



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**CEZALANDIRMAYA DAYALI OPTİMİZASYON
YAKLAŞIMI İLE KISA VADELİ HAVA ARACI
ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FURKAN ÖNEL

İSTANBUL, 2023



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**CEZALANDIRMAYA DAYALI OPTİMİZASYON
YAKLAŞIMI İLE KISA VADELİ HAVA ARACI
ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FURKAN ÖNEL
(200221002)**

**Danışman
(Asst. Prof. Shaaban A.I. Sahmoud)
Eş Danışman
(Asst. Prof. Berna Kiraz)**

İSTANBUL, 2023

08/08/2023

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği tezli yüksek lisans programı öğrencisi 200221002 numaralı **Furkan ÖNEL**'in, hazırladığı "Uçuş Verileri Analiz Edilerek Hava Araçlarına Ait Yörüngelerin Belirlenmesi ve Karakterize Edilmesi" konulu tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 08.08.2023 Salı günü saat 10:00'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **Kabulüne ~~Oy Çekliği~~/Oy Birliği** ile karar verilmiştir.

Tez adı değişikliği yapılması halinde: Tez adının CEZALANDIRMAYA DAYALI OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI İLE KISA VADELİ HAVA ARACI ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Karar
1. Dr. Öğr. Üyesi Şaban SAHMOUD (Danışman)	...kabul...
2. Doç. Dr. Ferzat ANKA	...kabul.....
3. Dr. Öğr. Üyesi Wisam ELMASRY	..Kabul..
4.
5.
6. (İkinci Danışman)*... Dr. Öğr. Üyesi. Berna kiraz

*2. Danışman varsa doldurulması gerekmektedir.

ETİK BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Furkan Önel

TEŞEKKÜR

Bu tezin yazılmasında büyük katkıları olan danışmanlarım Asst. Prof. Berna KİRAZ ve Asst. Prof.. Shaaban A. I. SAHMOUD'a, çalışmalarımnda destek olan İsa TAŐDELEN'e ve Emrah TEMA'ya ve hiç bir zaman desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Furkan Önel

CEZALANDIRMYA DAYALI OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI İLE KISA VADELİ HAVA ARACI ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ

Furkan Önel

ÖZET

Teknoloji ve havacılıkdaki gelişmeler ile birlikte tüm dünyadaki hava trafik yoğunluğu her geçen gün artmaktadır. Artan hava aracı sayısına bağlı olarak Hava Trafik Yönetim(ATM) ihtiyaçlarını karşılayacak güvenli ve etkili bir hava trafik yönetimi sağlayabilmek gerekmektedir. Hava trafik yönetiminin merkezinde görev ve sorumlulukları bakımından Hava Trafik Kontrolörleri(ATC) vardır. Uçuş emniyeti hava trafik yönetimindeki en önemli konudur. ATC' lerin temel görevi sorumlu oldukları hava trafiği için uçuş emniyetini sağlamaktır. Hava trafik yönetiminde uçuş emniyetini tehlikeye atan önemli konulardan biri de hava araçları arasında yaşanabilecek çakışmalardır. Hava araçları arasındaki olası bir çakışma durumunda kontrolörler en kısa sürede en etkili çakışma çözüm aksiyonunu almalıdırlar. Son zamanlarda kontrolörlerin çakışma çözüm yönteminin belirlenmesinde alacakları karar sürecinde yardımcı olabilecek karar destek araçları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu tezin ana konusu hava araçları arasındaki çakışmaların çözümü için bir metodolojinin araştırılması ve geliştirilmesidir. Bu çalışmada çakışma tespiti ve çözümü hava trafik yönetimi açısından değerlendirilerek, uçuş emniyeti açısından güvenlik kısıtları dikkate alınarak hava araçlarının asıl rotalarından sapma miktarını ve kontrolör iş yükünü minimize edecek bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Problemin çözümünde hava araçlarının çakışma geometrilerine göre çakışma çözümünde ön tanımlı bir kural setini uygulayan Cezalandırmaya Dayalı Çakışma Çözüm Metodolojisi(CDÇÇM) kullanılmıştır. Metodoloji BlueSky ATC simülatör ortamında oluşturulan çakışma senaryoları ve rastgele üretilmiş çakışma senaryoları ile test edilmiştir. CDÇÇM metodolojisi karmaşık ve yoğun trafikleri de içeren farklı çakışma senaryoları için vektörleme ve dikey seviye değişimi

yöntemlerinin kullanarak %82.21 başarı oranı ile çakışmalara çözüm üretmiştir. CDÇÇM çözüm üretiminde diğer hava araçlarını, yasaklı alanları ve minimum güvenli uçuş irtifasını dikkate almıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Aracı Çakışma Tespiti, Hava Aracı Çakışma Çözümü, Hava Trafik Kontrolü, Uçuş Emniyeti, Cezalandırmaya Dayalı Optimizasyon

SHORT TERM AIRCRAFT CONFLICT RESOLUTION USING PENALTY-BASED OPTIMIZATION APPROACH

Furkan Önel

ABSTRACT

With the developments in technology and aviation, the air traffic density all over the world is increasing day by day. Depending on the increasing number of aircraft, it is necessary to provide a safe and effective air traffic management that responds to the Air Traffic Management (ATM) demands. Air Traffic Controllers (ATC) are at the center of air traffic management in terms of their duties and responsibilities. Flight safety is the most important issue in air traffic management. The main duty of ATCs is to ensure flight safety for the air traffic they are responsible for. One of the crucial issues that jeopardize flight safety in air traffic management is conflicts that may occur between aircraft. In the event of a possible conflict between aircraft, controllers should take the most effective conflict resolution action as soon as possible. Recently, studies have been carried out on decision support tools that can assist controllers in the decision process of determining the conflict resolution method. The main subject of this thesis is the research and development of a methodology for the resolution of conflicts between conflicting aircraft. In this study, conflict detection and resolution are evaluated in terms of air traffic management and considered as an optimization problem that minimizes the deviation from the original route of aircraft and the controller workload, taking into account the safety constraints in terms of flight safety. In the solution of the problem, Penalty-Based Conflict Resolution Methodology (PBCRM), which applies a predefined rule set in conflict resolution according to the conflict geometries of aircraft, was used. The methodology has been tested with conflict scenarios generated by using BlueSky ATC simulator environment and randomly generated conflict scenarios. PBCRM methodology has found solutions to conflicts with a success rate of 83% by using vectoring and vertical level change

methods for different scenarios including complex and heavy traffic. PBCRM has taken into consideration other aircraft, prohibited areas and minimum safe flight altitude in the production of solutions.

Keywords: Aircraft Conflict Detection, Aircraft Conflict Resolution, Air Traffic Control, Flight Safety, Penalty-Based Optimization

ÖNSÖZ

Hava trafik yönetimindeki en önemli aktörlerden biri görev ve sorumlulukları bakımından Hava Trafik Kontrolörleri(ATC)' dir. Uçuş emniyeti hava trafik yönetimindeki en önemli konudur. ATC' lerin temel görevi sorumlu oldukları hava trafiği için uçuş emniyetini sağlayacak hava trafik hizmeti vermektir. Hava trafik yönetiminde uçuş emniyetini tehlikeye atan önemli konulardan biri de hava araçları arasında yaşanabilecek olası çakışmalardır. Bu tezin amacı hava araçları arasında tespit edilen çakışmaların çözümünde belirli güvenlik kısıtları göz önünde bulundurularak ATC' lere en kısa sürede hava araçları arasındaki güvenli ayırmayı sağlayacak optimal çakışma çözüm önerisi sunabilecek algoritmaları içeren bir yaklaşımın araştırılması ve geliştirilmesidir.

Ağustos, 2023

Furkan Önel

İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER	xvii
KISALTMALAR	xxvi
GİRİŞ	29
MOTİVASYON.....	31
BİRİNCİ BÖLÜM.....	36
1. TEMEL KAVRAMLAR	36
1.1. ÇAKIŞMA TANIMI	36
1.1.1. Ayırma Minimumları ve Koruma Bölgesi.....	36
1.1.2. Ayırma Kaybı ve Çakışma	37
1.1.3. Çakışma Geometrisi	38
1.1.3.1. En Yakın Yaklaşma Noktası(CPA).....	38
1.1.3.2. Çakışma Kesişim Noktası	39
1.2. ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ VE ATC ÇAKIŞMA ÇÖZÜM AKSİYONLARI.....	40
1.2.1. Vektörleme ile Çakışma Çözümü	41
1.2.2. Dikey Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü	44
1.2.3. Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü	45
1.2.4. Vektörleme, Dikey Seviye Değişimi ve Hız Değişimi Aksiyonlarının farklı kombinasyonları ile Çakışma Çözümü	46
İKİNCİ BÖLÜM	47
2. LİTERATÜR TARAMASI VE GENEL BAKIŞ	47
2.1. LİTERATÜRDEKİ CDR METOTLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	47
2.1.1. Gözetim Türüne Göre Sınıflandırma	48
2.1.2. Yörünge Tahminleme Türüne Göre Sınıflandırma.....	49
2.1.3. Yörünge Tahminleme Varsayımlarına Göre Sınıflandırma.....	51
2.1.4. Çakışma Çözümü Yönetimine Göre Sınıflandırma.....	52
2.1.5. Çakışma Çözüm Yaklaşımlarına Göre Sınıflandırma	55
2.1.6. Çoklu Çakışma Çözümüne Göre Sınıflandırma	58

2.1.7. Çakışmadan Kaçınma Planlamasına Göre Sınıflandırma.....	59
2.1.8. Çakışma Çözüm Manevrasına Göre Sınıflandırma	60
2.1.9. Engel Tiplerine Göre Sınıflandırma	61
2.1.10. Optimizasyon Yöntemine Göre Sınıflandırma	61
2.2. LİTERATÜRDEKİ CDR ÇALIŞMALARI.....	62
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	67
3. PROBLEMİN TANIMI.....	67
3.1. ÇAKIŞMA TESPİT PROBLEMİ	67
3.1.1. Yörünge Tahminleme ve Ayırma Kaybı Tespiti.....	67
3.2. ÇAKIŞMA ÇÖZÜM PROBLEMİ.....	68
3.2.1. Güvenlik Kısıtları	68
3.2.1.1. Ayırma Kaybının Önlenmesi	68
3.2.1.2. Yeni Çakışmaların ve Domino Etkisinin Önlenmesi	68
3.2.1.3. Yasaklı ve Kısıtlı Alan İhlalinin Önlenmesi	69
3.2.1.4. Minimum Güvenli Uçuş İrtifası Kısıtı	72
3.2.2. Problemin Amacı	73
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	74
4. METODOLOJİ	74
4.1. HAVA ARACI VERİ MODELİ	74
4.2. HAVA ARACI YÖRÜNGE TAHMİNLEME METODOLOJİSİ.....	75
4.2.1. Jeodezik Pozisyon Tahminleme Fonksiyonu.....	76
4.2.2. Güncel Duruma Dayalı Doğrusal Yörünge Tahminleme Algoritması(GDDDT)	76
4.2.2.1. Hava Aracının SFL'e Erişme Zamanının Hesaplanması.....	80
4.2.3. GDDDT Algoritması Yörünge Tahminleme Varsayımları.....	81
4.3. ÇAKIŞMA TESPİT METODOLOJİSİ.....	81
4.3.1. Çakışma Tespit Algoritması - ÇTA.....	81
4.3.1.1. Yatay Çakışma Tespit Algoritması – YÇTA.....	83
4.3.1.1.1. Dikey Çakışma Tespit Algoritması – DÇTA	85
4.4. ÇAKIŞMA ÇÖZÜM METODOLOJİSİ	87
4.5. CDÇÇM İLE VEKTÖRLEMeye DAYALI ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ.....	88
4.5.1. Çakışmanın Sınıflandırılması	89

4.5.2. Çözüm Stratejisinin Belirlenmesi ve Çakışma Çözümlerinin Üretilmesi.....	91
4.5.2.1. Karşılıklı Çakışma Çözüm Stratejisi ve Çözüm Üretme Algoritması	92
4.5.2.2. Çapraz Çakışma Çözüm Stratejisi ve Çözüm Üretme Algoritması	93
4.5.3. Güvenlik Kısıtlarının Uygulanması ve Uçuş Emniyetini İhal Eden Çözümlerin Elenmesi.....	98
4.5.3.1. Ayırma Kaybını Sağlamayan Aday Çözümlerin Elenmesi.....	99
4.5.3.2. Yeni Çakışma ve Domino Etkisi Yaratan Çözümlerin Elenmesi	99
4.5.3.3. Yasaklı ve Kısıtlı Alan İhlali Yapan Çözümlerin Elenmesi.....	100
4.5.3.4. Minimum Güvenli Yükseklik İhlali Yapan Çözümlerin Elenmesi	102
4.5.4. İçerisindeki Algoritması – İA	104
4.5.5. Cezalandırma Yaklaşımı ve Fonksiyonu	109
4.5.6. Amaç Fonksiyonunun Uygulanması ve Çakışma Çözüm Üretimi...	110
4.6. CDÇÇM İLE DİKEY SEVİYE DEĞİŞİMİ KULLANILARAK ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ.....	111
4.6.1. Dikey Seviye Değişimine Dayalı Çakışma Çözümlerinin Üretilmesi	113
4.6.2. Güvenlik Kısıtlarının Uygulanması	118
4.6.3. Dikey Manevra Cezalandırma Yaklaşımı ve Fonksiyonu	118
4.6.4. Amaç Fonksiyonunun Uygulanması ve Çakışma Çözüm Üretimi...	121
BEŞİNCİ BÖLÜM	122
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	122
5.1. SENARYO TASARIMI VE TEST ARAÇLARI	122
5.1.1. BlueSky ATC Simülatörü	122
5.1.2. Çakışma ve Çakışma Çözüm Senaryolarının Oluşturulması.....	124
5.1.3. Hava Aracı Pozisyon Bilgilerinin Loglanması	126
5.1.4. Simülatör Çakışma Tespit Parametrelerinin Ayarlanması	127
5.1.5. Rüzgar Hızının Sabitlenmesi	127
5.1.6. Senaryolarda Kullanılan Alanların Tanımlanması.....	127
5.2. TEST SENARYOLARI VE SONUÇLARI	128
5.2.1. Vektörlere Test Senaryoları ve Sonuçları.....	128
5.2.1.1. Senaryo001 : Yatayda Çapraz Çakışma Senaryosu	129

5.2.1.1.1. Senaryo Tanımı	129
5.2.1.1.2. Senaryonun Amacı.....	130
5.2.1.1.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	131
5.2.1.1.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	132
5.2.1.1.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	133
5.2.1.1.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	134
5.2.1.1.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	134
5.2.1.2. Senaryo002 : Yatayda Karşılıklı Çakışma Senaryosu	136
5.2.1.2.1. Senaryo Tanımı	136
5.2.1.2.2. Senaryonun Amacı.....	137
5.2.1.2.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	137
5.2.1.2.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	138
5.2.1.2.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	140
5.2.1.2.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	141
5.2.1.2.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	142
5.2.1.3. Senaryo003:Yasaklı Alan İçeren Karşılıklı Çakışma Senaryosu 143	
5.2.1.3.1. Senaryo Tanımı	143
5.2.1.3.2. Senaryonun Amacı.....	146
5.2.1.3.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	146
5.2.1.3.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	147
5.2.1.3.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	148
5.2.1.3.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	149
5.2.1.3.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	150
5.2.1.4. Senaryo004 : Minimum Güvenli Uçuş İrtifa Alanı İçeren Karşılıklı Çakışma Senaryosu	152
5.2.1.4.1. Senaryo Tanımı	152
5.2.1.4.2. Senaryonun Amacı.....	154
5.2.1.4.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	155
5.2.1.4.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	156
5.2.1.4.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	157
5.2.1.4.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	158

5.2.1.4.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	159
5.2.1.5. Senaryo005 : Yeni Bir Çakışma Durumu İçeren Yatayda Çapraz Çakışma Senaryosu.....	161
5.2.1.5.1. Senaryo Tanımı	161
5.2.1.5.2. Senaryonun Amacı.....	163
5.2.1.5.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	163
5.2.1.5.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	164
5.2.1.5.5. Çakışma Çözüm Senaryosunun Oluşturulması.....	165
5.2.1.5.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	166
5.2.1.5.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	167
5.2.2. Dikey Manevra Test Senaryoları ve Sonuçları.....	168
5.2.2.1. Senaryo006 : Her İki Hava Aracının Aynı Dikey Seviyede Çakışma Durumu Senaryosu	169
5.2.2.1.1. Senaryo Tanımı	169
5.2.2.1.2. Senaryonun Amacı.....	170
5.2.2.1.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	170
5.2.2.1.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	171
5.2.2.1.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	173
5.2.2.1.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	174
5.2.2.1.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	175
5.2.2.2. Senaryo007 : Hava Araçlarından Sadece Birinin Yükseldiği Çakışma Durumu Test Senaryosu	176
5.2.2.2.1. Senaryo Tanımı	176
5.2.2.2.2. Senaryonun Amacı.....	177
5.2.2.2.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	178
5.2.2.2.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	179
5.2.2.2.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	180
5.2.2.2.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	181
5.2.2.2.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	182
5.2.2.3. Senaryo008 : Hava Araçlarından Sadece Birinin Alçaldığı Çakışma Durumu Test Senaryosu.....	183
5.2.2.3.1. Senaryo Tanımı	183

5.2.2.3.2. Senaryonun Amacı.....	184
5.2.2.3.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	185
5.2.2.3.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	186
5.2.2.3.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	187
5.2.2.3.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	188
5.2.2.3.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	189
5.2.2.4. Senaryo009 : Hava Araçlarından Biri Alçalırken Diğeri Yükselen Duruma Sahip Çakışma Senaryosu	190
5.2.2.4.1. Senaryo Tanımı	190
5.2.2.4.2. Senaryonun Amacı.....	191
5.2.2.4.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	192
5.2.2.4.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	192
5.2.2.4.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	194
5.2.2.4.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	195
5.2.2.4.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	196
5.2.2.5. Senaryo010 : Her İki Hava Aracının Yükseldiği Çakışma Durumu Senaryosu.....	197
5.2.2.5.1. Senaryo Tanımı	197
5.2.2.5.2. Senaryonun Amacı.....	198
5.2.2.5.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi	199
5.2.2.5.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi	199
5.2.2.5.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması.....	201
5.2.2.5.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi.....	202
5.2.2.5.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	203
5.2.3. Senaryo011 : Global Merkezi Çözüm ve Performans Testi.....	204
5.2.3.1. Senaryo Tanımı	204
5.2.3.2. Senaryonun Amacı.....	204
5.2.3.3. Çakışma ve Çözüm Aksiyonu Senaryo Dosyasının Yürütülmesi..	204
5.2.3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi	206
5.3. METODOLOJİNİN FARKLI PARAMETRELER VE RASTGELE ÜRETİLMİŞ SENARYOLAR İLE TEST EDİLMESİ	206
5.3.1. Rastgele Çakışma Senaryoları Üretimi.....	207

5.3.2. Farklı CDÇÇM Parametreleri ile Testlerin Yürütülmesi.....	211
5.3.2.1. Test-1.....	211
5.3.2.2. Test-2.....	212
5.3.2.3. Test-3.....	213
5.3.2.4. Test-4.....	213
ALTINCI BÖLÜM	215
6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	215
6.1. SONUÇLARIN ANALİZİ	215
6.1.1. Metodoloji Analizi	215
6.1.2. Uçuş Emniyeti Analizi	218
6.1.3. Performans Analizi	219
6.1.4. Test Sonuçlarının Analizi	220
6.1.5. Test Sonuçlarının Literatürdeki Çalışmalar İle Karşılaştırılması... ..	220
SONUÇ.....	223
KAYNAKÇA	227
EKLER.....	232
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SEMBOLLER

- d** : Hava araçları arasındaki yatay mesafe
- α** : Hava araçları arasındaki dikey mesafe
- LU** : Mesafe birimine göre hava araçları arasındaki yatay mesafe
- ZU** : Mesafe birimine göre hava araçları arasındaki dikey mesafe
- DU** : Hava araçları arasındaki 3D mesafe
- P_{geo}** : Hava aracının enlem ve boylam bilgilerini içeren jeodezik pozisyonu
- P_{lat}** : Hava aracının jeodezik pozisyonuna(P_{geo}) ait enlem bilgisi
- P_{lon}** : Hava aracının jeodezik pozisyonuna(P_{geo}) ait boylam bilgisi
- P_x** : Hava aracının kartezyen pozisyonuna(P_{car}) ait x koordinatı
- P_y** : Hava aracının kartezyen pozisyonuna(P_{car}) ait y koordinatı
- P_{car}** : Hava aracının bir referans noktasına göre kartezyen pozisyonu(x,y)
- S_a** : Hava aracına ait irtifa bilgisi
- S_{gs}** : Hava aracının yere göre hızı
- S_{vs}** : Hava aracının dikey hızı
- S_{ta}** : Hava aracının gerçek kuzeye göre uçuş yönü
- S_{sfl}** : Hava aracına ATC tarafından atanmış uçuş seviyesi
- S_{bsfl}** : Hava aracına ATC tarafından atanmış bir uçuş seviyesi olup olmadığı bilgisi
- ϕ_1** : Başlangıç jeodezik pozisyonu enlem bilgisi
- λ_1** : Başlangıç jeodezik pozisyonu boylam bilgisi
- ϕ_2** : Hedef jeodezik pozisyon enlem bilgisi
- λ_2** : Hedef jeodezik pozisyon boylam bilgisi

θ	: Kuzeyden saat yönündeki açı
R	: Dünya' nın yarı çapı bilgisi
D	: Verilen mesafe
δ	: Açısal mesafe
ρ_1	: Birinci hava aracı için uçuş başı değışkilik cezası
ρ_2	: İkinci hava aracı için uçuş başı değışkilik cezası
β_1	: Birinci hava aracı için uçuş başı değışkilik miktarı
β_2	: İkinci hava aracı için uçuş başı değışkilik miktarı
Υ	: Uçuş başı değışiklik etki katsayısı
σ	: Uçuş başı değışkilik miktarı etki katsayısı
μ	: Rotasında değışiklik yapılan hava aracı sayısı
Ω	: Rotasında ters yönde değışiklik yapılan hava aracı sayısı
ϕ	: Kesişen rotalı çözüm içeren hava aracı sayısı
ν	: Rota değışiklik ceza katsayısı
ω	: Ters yönde rota değışiklik ceza katsayısı
χ	: Kesişen rota değışiklik ceza katsayısı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 6.1 : Deneysel Çalışmalarda Kullanılan TrafScript Komutları.....	99
Tablo 6.2 : Deneysel Çalışmalar Çakışma Tespit Parametreleri.....	102
Tablo 6.3 : Senaryo001 Hava Aracı Bilgileri.....	103
Tablo 6.4 : Senaryo001 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	106

Tablo 6.5 : Senaryo001 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	107
Tablo 6.6 : Senaryo002 Hava Aracı Bilgileri.....	110
Tablo 6.7 : Senaryo002 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	113
Tablo 6.8 : Senaryo002 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	114
Tablo 6.9 : Senaryo003 Hava Aracı Bilgileri.....	118
Tablo 6.10 : Senaryo002 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	121
Tablo 6.11 : Senaryo003 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	122
Tablo 6.12 : Senaryo004 Hava Aracı Bilgileri.....	127
Tablo 6.13 : Senaryo004 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	130
Tablo 6.14 : Senaryo004 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	131
Tablo 6.15 : Senaryo005 Hava Aracı Bilgileri.....	135
Tablo 6.16 : Senaryo005 Çakışma Çözüm Aksiyonlarından İlk 10 ‘u.....	139
Tablo 6.17 : Senaryo005 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	139
Tablo 6.18 : Senaryo006 Hava Aracı Bilgileri.....	143
Tablo 6.19 : Senaryo006 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	145
Tablo 6.20 : Senaryo006 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	147
Tablo 6.21 : Senaryo007 Hava Aracı Bilgileri	150
Tablo 6.22 : Senaryo007 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	153
Tablo 6.23 : Senaryo007 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	155
Tablo 6.24 : Senaryo008 Hava Aracı Bilgileri.....	157
Tablo 6.25 : Senaryo008 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	160
Tablo 6.26 : Senaryo008 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	162
Tablo 6.27 : Senaryo009 Hava Aracı Bilgileri.....	164

Tablo 6.28 : Senaryo009 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	167
Tablo 6.29 : Senaryo009 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	168
Tablo 6.30 : Senaryo010 Hava Aracı Bilgileri.....	171
Tablo 6.31 : Senaryo010 Çakışma Çözüm Aksiyonları.....	174
Tablo 6.32 : Senaryo010 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri.....	176
Tablo 6.33 : Rastgele Çakışma Senaryosu Oluşturma Parametreleri.....	180
Tablo 6.34 : Rastgele Çakışma Senaryosu ve Çakışma Alanına Eklenen Hava Aracı sayısı.....	184
Tablo 6.35 : Test-1 CDÇÇM Parametreleri.....	184
Tablo 6.36 : CDÇÇM Test-1 Sonuçlar.....	185
Tablo 6.37 : Test-2 CDÇÇM Parametreleri.....	185
Tablo 6.38 : CDÇÇM Test-2 Sonuçları.....	185
Tablo 6.39 : Test-3 CDÇÇM Parametreleri.....	186
Tablo 6.40 : CDÇÇM Test-3 Sonuçları.....	186
Tablo 6.41 : Test-4 CDÇÇM Parametreleri.....	186
Tablo 6.42 : CDÇÇM Test-4 Sonuçları.....	187
Tablo 7.0 : CDÇÇM Çakışma Tespit Metodolojisinin Sınıflandırılması.....	189
Tablo 7.1 : CDÇÇM Çakışma Çözüm Metodolojisinin Sınıflandırılması.....	189
Tablo 7.2 : Çakışma Çözümü İçin Optimal CDÇÇM Parametreleri.....	193
Tablo 7.3 : Metodoloji Test Sonuçlarının Literatürdeki Çalışmalar ile Karşılaştırılması.....	195
Tablo 7.4 : Metodoloji Karakteristiklerinin Literatürdeki Çalışmalar ile Karşılaştırılması.....	195

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Ayırma minimumları ve Koruma Bölgesi.....	9
Şekil 2.2 : İleri Zamanlı Çakışma Tespiti.....	10
Şekil 2.3: CPA Noktası Durum Geometrisi.....	11
Şekil 2.4 : İki Boyutta Çakışma Kesişim Noktası ve Açısı.....	12
Şekil 2.5 : Çakışma tespiti ve Çözüm Aksiyonu.....	13
Şekil 2.6 : Vektörleme Sonrası Rota Değişimi.....	14
Şekil 2.7 : Vektörleme ile Karşılıklı Çakışma Çözümü.....	15
Şekil 2.8 : Çapraz Kesişim Çakışması ve Vektörleme ile Çakışma Çözümü.....	16
Şekil 2.9 : Dikey Ayırma Kaybı Senaryosu.....	17
Şekil 2.10 : ATC Dikey Hız Değişim Talimatı ile Çakışma Çözümü.....	18
Şekil 2.11 : Yatay Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü.....	19
Şekil 3.1 : Çakışma Tespit Yöntemlerinin Kategorilere Göre Sınıflandırılması.....	20
Şekil 3.2: Çakışma Çözüm Yöntemlerinin Kategorilere Göre Sınıflandırılması.....	21
Şekil 3.3 : Merkezi ve Bağımlı Gözetim	22
Şekil 3.4 : Güncel Duruma ve Amaca Dayalı Yörünge Tahminleme.....	23
Şekil 3.5 : Yörünge Tahminlemede Belirsizliklere Ait Varsayım Yaklaşımları.....	25
Şekil 3.6 : Merkezi Hava Trafik Yönetimi ve ATC Çalışma Pozisyonu.....	27
Şekil 3.7 : Dağıtık Çakışma Çözümü.....	28
Şekil 3.8 : Çoklu Çakışma Durumu.....	31
Şekil 3.9 : Çakışma Çözüm Planlaması.....	33
Şekil 3.10 : Çakışma Çözümü Manevra Tipleri	33
Şekil 3.11: TCAS TA Uyarısı.....	38
Şekil 3.12 : TCAS Koruma Bölgesi	38
Şekil 3.13 : ATC Kontrol Döngüsü ve STCA.....	39

Şekil 4.1 : Çakışma Çözümü ve Domino Etkisi.....	43
Şekil 4.2 : Yasaklı Alan İhlali.....	45
Şekil 4.3 : Yasaklı Alan İhlali İçeren Çakışma Çözümü.....	46
Şekil 4.4 : Minimum Güvenli Uçuş Yüksekliği İhlali.....	47
Şekil 5.1 : SFL' e Göre Dikey Tahinleme.....	52
Şekil 5.2 : SFL' e Göre Dikey Tahminleme ile Gereksiz İkazın Önlenmesi.....	52
Şekil 5.3 : Çakışma Tespit Metodolojisi.....	57
Şekil 5.4 : Cezalandırmaya Dayalı Çakışma Çözüm Metodolojisi.....	63
Şekil 5.5 : CDÇÇM ile Vektörlmeye Dayalı Çakışma Çözümü.....	64
Şekil 5.6 : Ardışık Çakışma Geometrisi.....	64
Şekil 5.7 : Karşılıklı Çakışma Geometrisi.....	65
Şekil 5.8 : Çapraz Çakışma Geometrisi.....	65
Şekil 5.9 : Vektörlme ile Karşılıklı Çakışma Çözüm Stratejisi.....	67
Şekil 5.10 : Vektörlme ile Çapraz Çakışma Çözüm Stratejisi Örneği.....	70
Şekil 5.11 : Çapraz Çakışma Çözüm Stratejisi Yanlış Yön Seçimi.....	70
Şekil 5.12 : Çözüme Ait Yeni Rotaların Tahminlenmesi.....	73
Şekil 5.13 : CDÇÇM Güvenlik Kısıtı Filtrelemesi.....	74
Şekil 5.14 : Yasaklı veya Kısıtlı Alan İhlali.....	76
Şekil 5.15 : Çokgen ve Nokta Durumu.....	80
Şekil 5.16 : İçerisinde Kontrolü.....	80
Şekil 5.17 : Dikey Seviye ve Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü Örnek Senaryosu.....	87
Şekil 5.18 : CDÇÇM Dikey Seviye ve Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü.....	87
Şekil 5.19 : Çakışma Noktası İrtifası ve En yakın Uçuş Seviyeleri.....	87
Şekil 5.20 : Çakışma Çözümü için Tek Yönlü Dikey Seviye Değişimi.....	89
Şekil 5.21 : Çakışma Çözümü için Çift Yönlü Dikey Seviye Değişimi.....	91

Şekil 5.22 : Dikey Kesişen Rotalı Çakışma Çözüm Senaryosu.....	94
Şekil 5.23 : Ters Yönde Dikey Seviye Değişimi ile Çakışma Çözüm Senaryosu.....	95
Şekil 6.1 : BlueSky ATC Simülatörü Radar Ekranı.....	98
Şekil 6.2 : TrafScript ile Yazılmış Senaryo Dosyası Örneği.....	100
Şekil 6.3 : Pozisyon Bilgilerini Loglama Fonksiyonu.....	102
Şekil 6.4 : BlueSky Çakışma Tespit Parametrelerinin Ayarlanması.....	102
Şekil 6.5 : Senaryo001 Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	105
Şekil 6.6 : Senaryo001 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği	105
Şekil 6.7 : Senaryo001 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	106
Şekil 6.8 : Senaryo001 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği.....	108
Şekil 6.9 : Senaryo001 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	109
Şekil 6.10 : Senaryo002 Karşılıklı Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	111
Şekil 6.11 : Senaryo002 Karşılıklı Çakışma BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	112
Şekil 6.12 : Senaryo002 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	113
Şekil 6.13 : Senaryo002 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryo Dosyası İçeriği.....	116
Şekil 6.14 : Senaryo002 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	117
Şekil 6.15 : Senaryo003 Yasaklı Alan İçeren Karşılıklı Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	119
Şekil 6.16 : Senaryo003 Yasaklı Alan Tanımı.....	120
Şekil 6.17 : Senaryo003 Yasaklı Alan İçeren Karşılıklı Çakışma BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	120
Şekil 6.18 : Senaryo003 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	121
Şekil 6.19 : Senaryo003 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryo Dosyası İçeriği	124
Şekil 6.20 : Senaryo003 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	125

Şekil 6.21 : Senaryo003 Yasaklı Alan İhlali İçeren Çözüm Aksiyonu Örneği.....	127
Şekil 6.22 : Senaryo003 Yasaklı Alan İçeren Karşılıklı Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	128
Şekil 6.23 : Senaryo004 Minimum Güvenli İrtifa Uçuş Alanı.....	129
Şekil 6.24 : Senaryo003 MGUIA Alanı İçeren Karşılıklı Çakışma BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	129
Şekil 6.25 : Senaryo004 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	130
Şekil 6.26 : Senaryo004 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryo Dosyası İçeriği.....	133
Şekil 6.27 : Senaryo004 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	134
Şekil 6.28 : Senaryo003 MGUIA Alan İhlali İçeren Çözüm Aksiyonu Örneği.....	136
Şekil 6.29 : Senaryo005 Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	137
Şekil 6.30 : Senaryo005 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	137
Şekil 6.31 : Senaryo005 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	139
Şekil 6.32 : Senaryo005 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği.....	141
Şekil 6.33 : Senaryo005 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	142
Şekil 6.34 : Senaryo001 Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	144
Şekil 6.35 : Senaryo006 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	145
Şekil 6.36 : Senaryo006 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	146
Şekil 6.37 : Senaryo006 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği.....	149
Şekil 6.38 : Senaryo006 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	150
Şekil 6.39 : Senaryo007 Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	152
Şekil 6.40 : Senaryo007 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	152
Şekil 6.41 : Senaryo007 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	153
Şekil 6.42 : Senaryo007 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği.....	156

Şekil 6.43 : Senaryo007 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	157
Şekil 6.44 : Senaryo008 Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	159
Şekil 6.45 : Senaryo008 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	159
Şekil 6.46 : Senaryo008 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	160
Şekil 6.47 : Senaryo008 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği.....	161
Şekil 6.48 : Senaryo008 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	164
Şekil 6.49 : Senaryo009 Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	166
Şekil 6.50 : Senaryo009 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	166
Şekil 6.51 : Senaryo009 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	167
Şekil 6.52 : Senaryo009 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği.....	170
Şekil 6.53 : Senaryo009 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	171
Şekil 6.54 : Senaryo010 Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli.....	173
Şekil 6.55 : Senaryo010 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği.....	173
Şekil 6.56 : Senaryo010 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	174
Şekil 6.57 : Senaryo010 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği.....	177
Şekil 6.58 : Senaryo010 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi.....	178
Şekil 6.58 : CDÇÇM Performans Testi Senaryosu.....	180
Şekil 6.59 : Rastgele Üretilmiş 1000 Çakışma senaryosu.....	181
Şekil 6.60 : Yasaklı ve MGUÍA İçeren Rastgele Senaryo Üretimi.....	182
Şekil 6.61 : Rastgele Dikey Seviyesi Değiştirilmiş Ait Hava Aracı Pozisyonları.....	183
Şekil 6.62 : Rastgele Dikey Seviyesi Değiştirilerek Eklenen Hava Aracı Pozisyonları.....	183

KISALTMALAR

AC	Hava Aracı
ACAS	Hava Araçları Çarpışma Önleme Sistemi
ACO	Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması
ADS-B	Otomatik Bağımlı Gözetim Yayını
ANSP	Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcıları
APF	Yapay Potansiyel Alan
ATM	Hava Trafik Yönetimi
ATC	Hava Trafik Kontrolörü
BADA	Hava Aracı Performans Veritabanı
CCW	Saat Yönü Tersi Yöntemi
CD	Çakışma Tespiti
CDÇÇM	Cezalandırmaya Dayalı Çakışma Çözüm Metodolojisi
CDR	Çakışma Tespiti ve Çözümü
CPA	En Yakın Yaklaşma Noktası
CR	Çakışma Çözümü
CUDA	Birleştirilmiş Hesaplama Aygıt Mimarisi
ÇÇ	Çakışma Çözüldü
ÇÇÇA	Çapraz Çakışma Çözüm Algoritması
ÇSA	Çakışma Sınıflandırma Algoritması
ÇTA	Çakışma Tespit Algoritması
DÇTA	Dikey Çakışma Tespit Algoritması
DÇYÇÇA	Dikey Çift Yönlü Çakışma Çözüm Algoritması
DKR	Dikey Kesişen Rota
DSDÇÇA	Dikey Seviye Değişimi ile Çakışma Çözüm Algoritması

DST	Karar Destek Aracı
EUROCONTROL	Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Organizasyonu
FAA	Federal Havacılık İdaresi
FL	Uçuş Seviyesi
FRA	Serbest Rota Hava Sahası
FPM	Dakikadaki Feet Değişikliği
GDDDT	Güncel Duruma Dayalı Doğrusal Yörünge Tahminleme Algoritması
GKFM	Güvenlik Kısıtları ile Filtreleme Metodolojisi
GPU	Grafik İşlem Birimi
ICAO	Uluslararası Sivil Havacılık Ogaizasyonu
İA	İçerisindeki Algoritması
KÇÇA	Karşılıklı Çakışma Çözüm Algoritması
LoS	Ayırma Kaybı
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NLR	Hollanda Havacılık ve Uzay Merkezi
MGUİ	Minimum Güvenli Uçuş İrtifası
MGUİİT	Minimum Güvenli Uçuş İrtifası İhlal Tespit Algoritmasını
MGUİA	Minimum Güvenli Uçuş İrtifa Alanı
MTCD	Orta Vadeli Çakışma Tespiti
NOTAM	Havacılık Duyurusu
NM	Deniz Mili
PBCRM	Cezalandırmaya Dayalı Çakışma Çözüm Metodolojisi
PTM	Olasılıksal Dönüşüm Yöntemi
PZ	Korumalı Bölge
RA	Çözüm Tavsiyesi

SESAR	Avrupa Ortak Havasahası Hava Trafik Yönetimi Araştırmaları
SFL	Seçilmiş Uçuş Seviyesi
STCA	Kısa Vadeli Çakışma İkazı
TA	Trafik Uyarısı
TCAS	Trafik Çarpışma Öneleme Sistemi
THE	Yatay Çakışma Bitiş Zamanı
THS	Yatay Çakışma Başlangıç Zamanı
TVE	Dikey Çakışma Bitiş Zamanı
TVS	Dikey Çakışma Başlangıç Zamanı
TYDDÇÇA	Tek Yönlü Dikey Değişimi ile Çakışma Çözüm Algoritması

GİRİŞ

Tüm dünyadaki hava trafik yoğunluğu her geçen gün artmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda 2018 yılında Avrupa hava sahasında 11 milyon uçuşun gerçekleştiği ve 2019 ile 2025 yılları arasında uçuş oranındaki yıllık artışın yaklaşık %2.0 olacağı belirtilmiştir. EUROCONTROL yıllık hava trafik değerlendirme raporlarına göre 2022 temmuz ayının 13-19 haftasındaki ortalama uçuş sayısı 30509 olarak açıklanmıştır [1-2]. Hava trafiğindeki hava aracı sayısının 2030 yılına kadar 2019 yılındaki hava aracı sayının iki katına çıkacağı beklenmektedir. Hava trafik yönetiminin en önemli misyonu hava sahası kapasitesini en verimli şekilde kullanarak uçuş emniyetini sağlamaktır. Artan hava aracı sayısına bağlı olarak Hava Trafik Yönetim(ATM) ihtiyaçlarını karşılayacak güvenli ve hava sahası kapasite yönetimi açısından etkili bir hava trafik yönetimi sağlayabilmek gerekmektedir[3].

Hava trafik hacmindeki bu büyüme hava sahası kapasitesi ve uçuş emniyeti açısından negatif etki oluşturmaktadır. Hava trafik yönetiminde hava sahası kapasitesi bu artan hava trafik sayısına karşı sınırlı bir kaynaktır. Hava sahası kapasitesi sınırlı olduğundan hava trafiğindeki bu artış emniyetli bir hava trafik akışı için daha fazla kontrol anlamına gelmektedir. Artan trafik yoğunluğu ve sınırlı hava sahası kapasitesi hava trafiğinde tıkanmalara dolayısıyla hava araçlarının uçuş emniyetlerini tehlikeye sokabilecek şekilde birbirlerine yaklaşmalarına neden olmaktadır[4].

Uçuş emniyeti hava trafik yönetimindeki en önemli konudur. Hava seyrüsefer hizmet sağlayıcıları(ANSP), Hava Trafik Kontrolörleri(ATC) ve hava trafik kontrol sistemleri yardımlarıyla hava araçlarına emniyetli bir uçuş hizmeti verirler. Hava trafik yönetimindeki en önemli risk durumlarından biri de hava araçları arasında yaşanabilecek potansiyel çakışmalardır. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonuna(ICAO) göre ATC' lerin en önemli görevleri hava araçları arasında yaşanabilecek bir çakışmayı önlemek, düzenli ve hızlı bir hava trafik akışı sağlamaktır[5].

ATC' ler hava araçları arasındaki güvenli ayırma mesafesini koruyarak oluşabilecek bir potansiyel çakışmayı önlemeye çalışırlar. Standart bir örnek olarak seyir seviyesinde hava araçları arasındaki yatay mesafe 5 NM ve dikey mesafe 1000 feet'lik mesafenin altına düşürülmesi bir potansiyel çakışmaya neden olabilir. Yaşanabilecek bir potansiyel çakışmanın kontrolöre gerekli aksiyonu alabilmesi için yetecek bir uyarı zamanı ile birlikte tespit edilmesi çakışmanın önlenmesi açısından büyük önem taşır[6]. Günümüzde hava araçları arasındaki potansiyel çakışmaları belirli bir süre önceden tespit ederek ATC' leri görsel yada seli bir ikaz ile uyararak Kısa Vadeli Çakışma İkazı(STCA) ve Orta Vadeli Çakışma Tespiti(MTCDD) gibi Çakışma Tespiti(CD) araçları vardır[7-8]. Kontrolörler potansiyel bir çakışma tespit ettiklerinde hava araçları arasındaki güvenli ayırma limitlerini sağlayacak talimatlar ile gerekli önlemleri alarak bu çakışmayı çözmeye çalışırlar. Çakışmanın tespit edilmesi kadar çözülmesi de hava trafik yönetimi açısından büyük önem taşır. Bu kapsamda artan trafik yoğunluğu ile birlikte uçuşlar arasındaki güvenli ayırmayı sağlamanın zorluğu diğer uçuşlar içinde çakışma olasılığını arttıracak ve uçuşlara ait ciddi gecikmelerle birlikte hava trafiğinin sıkışmasına neden olacaktır[9].

Kontrolörler çakışma çözümlerinde hava araçların çakışmayı önleyecek bazı talimatlar verirler. Bu talimatlar genel olarak hava araçları için hız değişimi, vekörleme(yatayda yön değişimi), dikey manevra veya bu üç talimatın farklı kombinasyonlarından oluşan talimatlar ile örneklendirilebilir[Url-3]. Son zamanlarda kontrolörlerin çakışma çözüm(CR) yönteminin belirlenmesinde alacakları karar sürecinde yardımcı olabilecek karar destek araçları(DST) ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Çakışma tespitinde kontrolörün almak istediği kararı test eden bir araç ile(Wtat-If Probe) kontrolörün iş yükü azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu yardımcı araç ile kontrolör çakışmaya neden olan hava araçlarına ait ayırma talimatı vermeden talimatın neden olabileceği olası sonuçları test edebilmektedir[Url-2]. Bu örnek son zamanlarda hava trafik kontrol sistemlerinde çakışma çözümünde kontrolörlerin iş yükünü azaltan ve karar alma süreçlerinde yardımcı olan dijital asistanların yaygınlaştığının ve artarak yaygınlaşacağına dair iyi bir örnektir.

Hava trafik yönetimi evrensel olarak kazaların nadir olduğu yüksek güvenilirlikli bir hizmet sektörü olarak bilinir. Ancak ortaya çıkan bir kaç ciddi kaza ve

bazı önemli olaylar 21. yüzyılın başından itibaren uçuş emniyet seviyesinin ölçülmesine ve emniyetli uçuş yönetimine odaklanılmasına yol açmıştır. Buna benzer ciddi olaylar hava seyrüseferi ile direk ilişkili hava trafik yönetim hizmetlerine olan ilgili artırmış ve bu alanda yapılan çalışmaları desteklenmesini tetiklemiştir. Hava trafik yönetim sistemi genelinde ortaya çıkabilecek öngörülemez davranışlar, birbirini izleyen dinamik senaryolar, pilotların alacakları aksiyonlar sonrasında bu aksiyonun diğer trafikler üzerindeki etkisi gibi nedenlerin sonucu olarak öngörülemez ve uçuş emniyetini tehlikeye atan problemler oluşabilir. Yüksek yoğunluklu trafiklerde dahil ortaya çıkabilecek güvenlik problemleri içeren ve uçuş emniyetini tehlikeye atan yeni senaryolara karşı özellikle çakışma tespiti ve çözümü(CDR) alanında yoğun çalışmalar yapılması gerekmektedir. Artan hava trafik yoğunluğu, “Serbest Rota Havasahası”(FRA) gibi yeni ATM konseptleride dikkate alındığında özellikle çakışma tespiti ve çözümleri gibi acil durumlarda ATC’ lere yardımcı olabilecek çakışma çözümleyici karar destek araçları ATM alanındaki ilgi çeken ve odaklanılması gereken bir araştırma konusu haline gelmektedir[10].

MOTİVASYON

ATM alanındaki tüm paydaşlar hava trafiğindeki artışı ve artan talepleri karşılayabilecek yüksek emniyetli, yüksek kapasiteli gelişmiş bir hava trafik hizmet altyapısı için araştırmalar yapmaktalar. Bu konuda Avrupa’daki en önemli projeler Avrupa Ortak Havasahası ATM Araştırmaları(SESTAR) programı kapsamında yürütülmektedir. SESAR tanımladığı, geliştirdiği ve desteklediği yeni inovatif teknolojiler ile ATM sistem ve altyapıları için çözümler sunmaktadır. “Sürdürülebilir Akıllı Mobilite” stratejisi ile ATM alanındaki araştırmaları ve inovasyonlar desteklemektedir. “Dijital Avrupa Havasahası” konseptini benimseyen programlar ve son teknoloji çözümler ile dijital bir Avrupa hava sahası planlamaktadır. SESAR’ ın ana planı hava trafik yönetim sistemlerindeki yardımcı dijital asistan sistemlerin sayısını arttırarak kontrolörlerin iş yükünü azaltmakla beraber hava sahası yönetimim en etkili şekilde kullanmasını sağlamaktır. SESAR tarafından araştırılan, desteklenen ve inovatif çözümler beklenen en önemli konsept ATC’ lere yardımcı olabilecek “Dijital Asistan” araçlardır[3]. Hava trafik akışında güvenlik problemi oluşturan en önemli konulardan biri hava araçları arasında yaşanabilecek olası çakışmalardır. Hava

trafik yönetiminin temel görevlerinden biri de hava araçlarının uçuşlarına ait tüm fazlarda hava araçları arasında yaşanabilecek olası çakışma durumlarının tespiti, uçuş ekibinin olası çakışma durumu için bilgilendirilmesi ve bu çakışmaları önleyici aksiyonları almaktır. ATM' deki hava trafik hizmetinin merkezinde görev ve sorumlulukları bakımından Hava Trafik Kontrolörleri(ATC) vardır. Hava trafik kontrolörleri dijital hava trafik yönetim sistemlerinden faydalanarak belirli hava sahalarına ait hava trafiğini yönetmek ile sorumludurlar[10]. Artan hava trafiğine karşı yüksek uçuş emniyetine sahip bir hava trafik akışı için ATC 'ler çakışmaları tespit edecek ve çözüm önerileri oluşturabilecek yardımcı dijital sistemler ile desteklenmelidir. SESAR 'ın "Dijital Yer Asistanı" konseptinin en önemli alanlarından biri de Çakışma Tespiti ve Çözümü(CDR) sunan yardımcı asistan sistemlerdir[3].

Hava trafik kontrolörlüğü hava trafiğine ve taşımacılığına direk etki ettiğinden çok önemli sorumluluklar almayı gerektiren, özellikle trafiğin yoğun ve karmaşık olduğu durumlarda iş yükü yüksek bir alandır. Yüksek iş yükü ve sorumluluk beraberinde stresi ve hataları getirebilir. Her alanda olduğu gibi ATM alanında da insan hatalarının neden olduğu ciddi olaylar yaşanabilir. Havacılıkta yaşanabilecek hatalar bir çok insanın hayatını kaybetmesine neden olabilir. ATC'ler çok kısa zamanda ciddi kararlar almak durumunda kalabildiğinden burada alacakları kararlardaki küçük hatalar uçuş emniyetini büyük bir tehlikeye atabilir. Uzmanlar kontrolörlere yardımcı olabilecek yöntem ve araçların geliştirilmesinin insan kaynaklı hataların yönetilmesine yardımcı olacağını vurgulamaktadır. [11].

Havacılıkta insan faktörünün direk etki ettiği ve hava trafik emniyetini tehlikeye atan yaşanmış bir çok hadise bulunmaktadır[Url-1]. Hava trafik kontrolünde çözüm öneren yardımcı sistemlerin geliştirilmesi ATC 'lere özellikle karar alma süreçlerinde yapacakları seçimde yardımcı olarak iş yüklerini azaltacaktır. Hava trafik kontrolünde gelişen teknoloji ile birlikte sağlanan verinin artması, yeni sistem ve prosedürlerin eklenmesi kontrolörlerin iş yükünü arttırmakla beraber karar alma süreçlerininide daha karmaşık hale getirmektedir. Hava trafik kontrolünde geliştirilecek olan Karar Destek Araçları(DST) kontrolörlere karar alma süreçlerinde daha etkili çözümler üretmelerine yardımcı olabilirler. Ancak Karar Destek Araçları kendilerine

sağlanan veriler ile bir öneri sunduklarından ve bu verilerde belirsizlikler ve eksiklikler yaşanabileceğinden genel olarak her zaman için %100 güvenilir değillerdir. Hava trafik kontrol yönetimindeki meteorolojik veriler buna en güzel örnektir[12].

ATC' lerin hava trafik emniyeti açısından aldıkları en önemli kararlardan biride hava araçları arasında tespit edilen çakışmaları çözerken aldıkları kararlardır. Çakışma tespitinde bir çözüm önerisi sunarak kontrolöre karar almada yardımcı olabilecek bir Karar Destek Aracı ile kontrolör iş yükü azaltılabilir. Özellikle yüksek yoğunluktaki hava trafiğinde yaşanabilecek çakışmalarda sağlanacak çakışma çözümleyici Karar Destek Araçları ile kontrolörün alacağı aksiyonun süreside azaltılmış olur. Hava trafik kontrol yönetim sistemleri gibi emniyet kritik sistemlerde çakışma çözümünde kullanılacak Karar Destek Araçları ile kontrolörün çakışma çözümünde karar alma süreci kolaylaşır, iş yükü azalır ve uçuş emniyeti artırılabilir.

TEZİN AMACI VE KAPSAMI

Hava trafik kontrolörlerinin hava trafik yönetiminde karşılaştıkları ve en kritik kararlar almayı gerektiren konulardan biriside hava araçları arasındaki çakışma çözümüdür. Hava araçları arasındaki olası bir potansiyel çakışma durumunda kontrolörler en kısa sürede en etkili çakışma çözüm aksiyonunu almaları gerekir. Bu tezin amacı hava araçları arasında tespit edilen çakışmaların çözümünde belirli güvenlik kısıtları göz önünde bulundurularak ATC' lere en kısa sürede hava araçları arasındaki güvenli ayırmayı sağlayacak optimal çakışma çözüm önerisi sunabilecek algoritmaları içeren bir yaklaşımın araştırılması ve geliştirilmesidir.

Kontrolörler karşılaştıkları problemler karşısında hızlı, etkili ve hatasız kararlar almalıdırlar. Kısıtlı hava sahası kapasitesi ve artan trafik yoğunluğu göz önüne alındığında hava trafik kontrolörlerin uçuş emniyetini garanti altına almak için daha fazla efor harcamaları gerekir[4]. Çakışma tespitinden sonra çakışmanın çözümü noktasında kontrolör alacağı aksiyonun o anki çakışmayı çözebilme durumunu, çözüm aksiyonunun diğer hava araçlar ile yeni bir çakışma durumu oluşturması, çözümün güvenli uçuş irtifasını ihlal edip etmediği konusu ve çözümün hava aracının rotası üzerindeki etkisi gibi tüm faktörlerin çakışma anında değerlendirmesi ve karar alması kontrolör açısından kolay bir durum değildir. Tüm bu faktörleri göz önünde bulundurarak hava araçları arasındaki güvenli ayırmayı sağlayan optimal bir çözüm

üreten yardımcı dijital bir asistan kontrolörün iş yükünü ciddi anlamda azaltarak, alacağı çakışma çözüm aksiyonunu daha güvenli ve hava trafik akışı açısından daha verimli hale getirebilir.

Kontrolörler çakışma çözümünde vektörleme, hız değişimi, dikey hız değişimi veya bu üç tekniğin farklı kombinasyonlarından oluşan çakışma çözüm yöntemleri kullanırlar[[Url-3](#)]. Bu tez kapsamında kısa vadeli çakışma tespitlerine ait çakışma çözüm yöntemleri için optimal çözüm önerisi üreten bir yaklaşım çalışması yapıldığından vektörleme ve dikey hız değişim yöntemleri ile çakışma çözüm önerileri üretilmesi amaçlanmaktadır. Hız değişimi kısa vadeli çakışma çözümleri için uygun bir yöntem olmadığından, yapılacak çalışma kapsamında vektörleme ve dikey seviye değişim yöntemleri ile optimal çakışma çözüm önerilerinin üretilmesi hedeflenmektedir.

ÖZGÜNLÜK

Gelişen teknoloji ile birlikte hava araçları ile yer sistemleri arasındaki iletişimde gelişmektedir. Havacılıkta Seçici Sorgulama(Mode S) bir transponder protokolüdür. Mode S, ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü) tarafından geliştirilen bir iletişim standardıdır ve hava trafik kontrol sistemlerinde hava araçlarından gelen verileri almak ve göndermek için kullanılır. Mode S verilerinden biride hava aracı tarafından gönderilen “Seçilmiş Uçuş Seviyesi” bilgisidir. Seçilmiş Uçuş Seviyesi bilgisi hava aracına kontrolör tarafından atanır ve hava aracının dikey tahminlenen rotasını direk etkiler. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak CDÇÇM çakışma tespiti ve çözümünde kullandığı yörünge tahminleme algoritmasında Seçilmiş Uçuş Seviyesi’ ni dikkate almıştır. Bu verinin dikkate alınmadığı tahminlemelerde oluşacak bir çakışma öngörülemez veya oluşmayacak yanlış bir çakışma öngörülür. Bu iki etken hem çakışma tespiti hem de çakışma çözüm kalitesini direk etkiler.

Diğer taraftan CDÇÇM uyguladığı güvenlik kısıtları ile hava trafik yönetimindeki operasyonel ihtiyaçlara yakın çözümler üretir. Yasaklı alan kısıtı, minimum güvenli uçuş seviyesi kısıtı gibi kısıtlar hava trafik kontrolündeki operasyonları direk etkileyen kısıtlardır. CDÇÇM metodolojisi bu kısıtları gözetenek uçuş emniyet seviyesi yüksek çözümler üretir.

CDÇÇM dikey seviye değişimi gerektiren çakışma çözümleri için uyguladığı “Dikey Kesişen Rota” ve “Dikeyde Ters Yön” gibi cezalandırma yöntemleri uygulayarak dikey seviye değişimindeki operasyonel ve güvenlik risklerini minimize etmeye çalışır.

Literatürdeki birçok çalışma yakıt tüketimi, yol veya uçuş zamanını gibi maliyetlerden birini minimize etmeyi hedeflerken, CDÇÇM uyguladığı cezalandırma yöntemi ile hava aracı rotasındaki değişimi minimize etmekle beraber asıl rotasında değişiklik yapılan manevra sayısını minimize ederek kontrol iş yükünü de minimize eder.

TEZ TASLAĞI

Tez alışması yedi ana bölümden oluşmaktadır. [İlk](#) bölümde giriş ve motivasyon, tezin amacı yer almaktadır. [İkinci](#) bölümde hava trafik kontrolünde çakışma tespiti ve çözümüne ait temel kavramlar açıklanmıştır. [Üçüncü](#) bölümde literatüre yapılan çalışmalar araştırılmış ve değerlendirilmiştir. [Dördüncü](#) hava aracı çakışma çözüm problemi detyalica tanımlanmıştır. [Beşinci](#) bölümde bu tez çalışmasında araştırılan ve geliştirilen çakışma çözüm metodolojisine yer verilmiştir. [Altıncı](#) “BlueSky” hava trafik kontrol simulatörü ile yapılan metodolojiyi ait deneysel çalışmalar bulunmaktadır. [Yedinci](#) bölümde ise sonuçlar uçuş emniyeti, performans ve çakışma çözüm metodolojisi analiz edilerek bulgular değerlendirilmiştir. [Son](#) bölümde ise tez çalışmasına ait sonuç yer almaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. TEMEL KAVRAMLAR

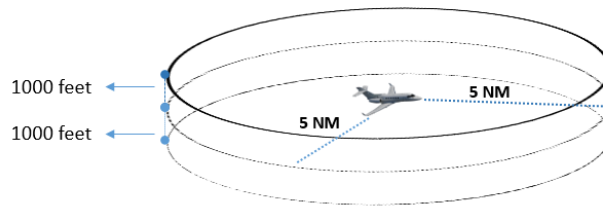
Bu bölümde hava trafik kontrol alanına ve problemlere ait temel kavramlar ile problem detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

1.1. ÇAKIŞMA TANIMI

1.1.1. Ayırma Minimumları ve Koruma Bölgesi

Hava trafik yönetiminde uçuş emniyetini sağlamak için yapılması gereken en önemli ve kritik görevlerden birisi hava araçları arasındaki güvenli ayırma minimumlarını sağlamaktır. ICAO' standartları ve kurallarına göre 29000 feet uçuş seviyesinin altında, radar kapsamında ve gözetim sistemine sahip(ADS-B) hava araçları arasındaki minimum mesafe yatayda 5 NM ve dikeyde 1000 feet'in altına düşmemelidir. Uçuş emniyetini tehlikeye atabilecek herhangi bir çakışma durumunu önlemek için kullanılan bu yatay ve dikey mesafeler "Ayırma Minimumları" olarak adlandırılır. Uçuş emniyeti için en temel görevlerden biri hava araçları arasındaki mesafeleri bu güvenli ayırma minimumları altına düşürmemektir.

Bu ayırma minimumlarına göre hava aracının çevreleyen hava sahası hacmi "Korumalı Bölge" (PZ) olarak adlandırılır. Bu korumalı bölgeye herhangi bir diğer hava aracının girmesi engellenmelidir[6].



Şekil 2.1 : Ayırma minimumları ve Koruma Bölgesi

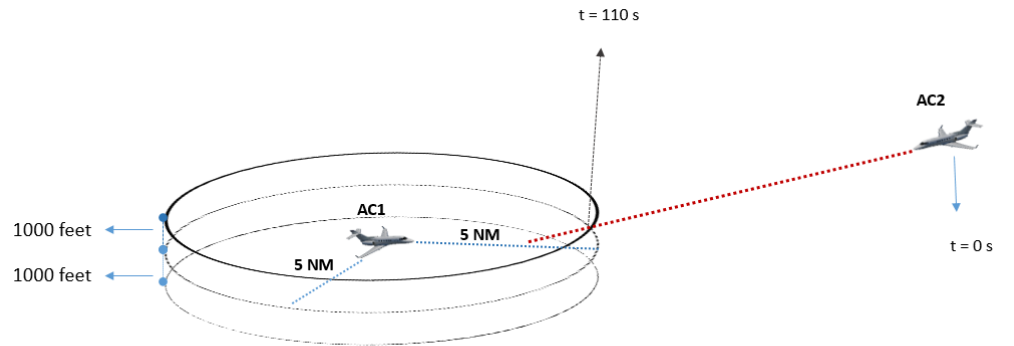
Hava trafik yönetiminde hava sahasının belirli bölümleri özel üç boyutlu bölgelere ayrılarak bu bölgelere özel ayırma minimumları atanabilir.

1.1.2. Ayırma Kaybı ve Çakışma

Ayırma kaybı(LoS) bir hava aracının yatay ve dikeyde minimum güvenli ayırma limitlerinin tanımladığı korumalı bölgeyi herhangi bir diğer hava aracının ihlal etme durumudur.

Çakışma ise hava araçları arasındaki güncel yada belirli bir öngörüleme zamanı içerisinde tahmin edilen pozisyonları için ayırma kaybı yaşanmasıdır. Burada not edilmesi gereken önemli nokta çakışma hava araçlarının çarpışması değil aralarındaki yatay ve dikey mesafenin ayırma minimumlarının altına düşmesidir. Öngörüleme zamanı bir hava aracının ileri zamanlı bir çakışma tespiti için yapılacak tahminlemeyi tanımlar. Örneğin bir çakışma tespiti için verilen öngörüleme zamanı 120 saniye ise bu hava aracı için sadece 120 saniye sonrasına kadar oluşabilecek ayırma kayıpları tespit edilir[6].

Çakışma tespiti(CD) bir hava aracının verilen öngörüleme zamanı içerisinde diğer hava araçları ile aralarındaki ayırma kaybı sonucu oluşacak veya oluşmuş çakışmaların tespit edilmesidir[6]. Örneğin aşağıdaki Şekil 2.2 'deki senaryoda AC2 hava aracı AC1 hava aracının koruma bölgesini 110 saniye sonra ihlal edeceği görülmektedir.



Şekil 2.2 : İleri Zamanlı Çakışma Tespiti

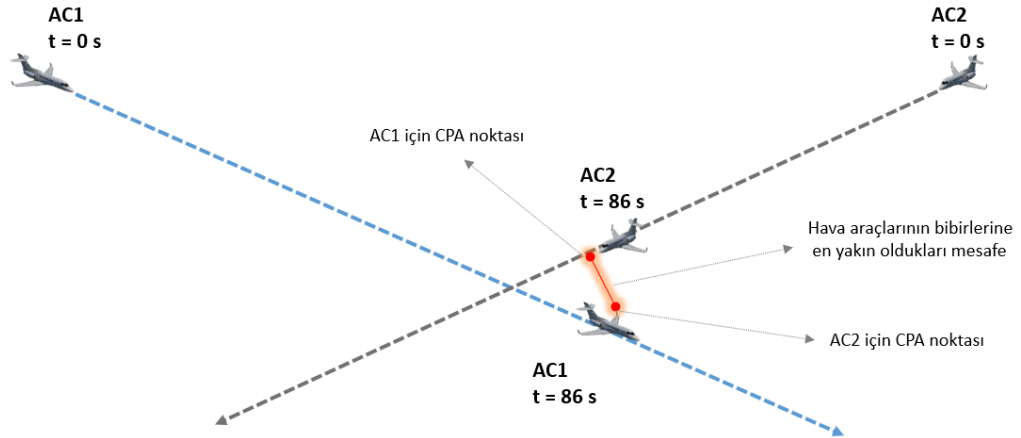
Şekil 2.2 'deki senaryoda AC1 ve AC2 hava araçları arasındaki ileri zamanlı bir çakışma tespitini görmekteyiz. Çakışmanın başlama zamanı AC2 hava aracının tahminlenen pozisyonunun AC1 hava aracının koruma bölgesini ilk ihlal ettiği zamandır. Hava araçları arasındaki tahminlenen ayırma kaybı 110 saniye sonra gerçekleşecektir.

1.1.3. Çakışma Geometrisi

Hava araçları arasında oluşan yada oluşabilecek çakışmalara ait çakışma geometrisi çakışmanın çözüm stratejisi için önemlidir. Hava araçları arasındaki çakışma çözümünde çakışma geometrisine göre farklı aksiyonlar alınabilir.

1.1.3.1. En Yakın Yaklaşma Noktası(CPA)

Hava araçlarının anlık pozisyonları, hızları ve yön bilgileri kullanılarak tamninen ileri zamanlı pozisyonları arasındaki mesafenin minimum olduğu noktadır. Birbirlerine yaklaşmakta olan hava araçları arasındaki mesafe CPA noktasında minimuma iner ve bu noktadan sonra hava araçları tekrar uzaklaşmaya başlar.



Şekil 2.3: CPA Noktası Durum Geometrisi

CPA noktası hesaplanırken hava araçları arasındaki yatay ve dikey mesafeler aynı birim ile ifade edilir. CPA noktası Denklem 2.1' deki gibi hesaplanır[13]. Şekil 2.3 incelendiğinde hava araçları arasındaki mesafe 86 saniye sonra minimuma ulaşmaktadır. Hava araçlarının 86 saniye sonraki pozisyonları CPA noktalarıdır. Hava

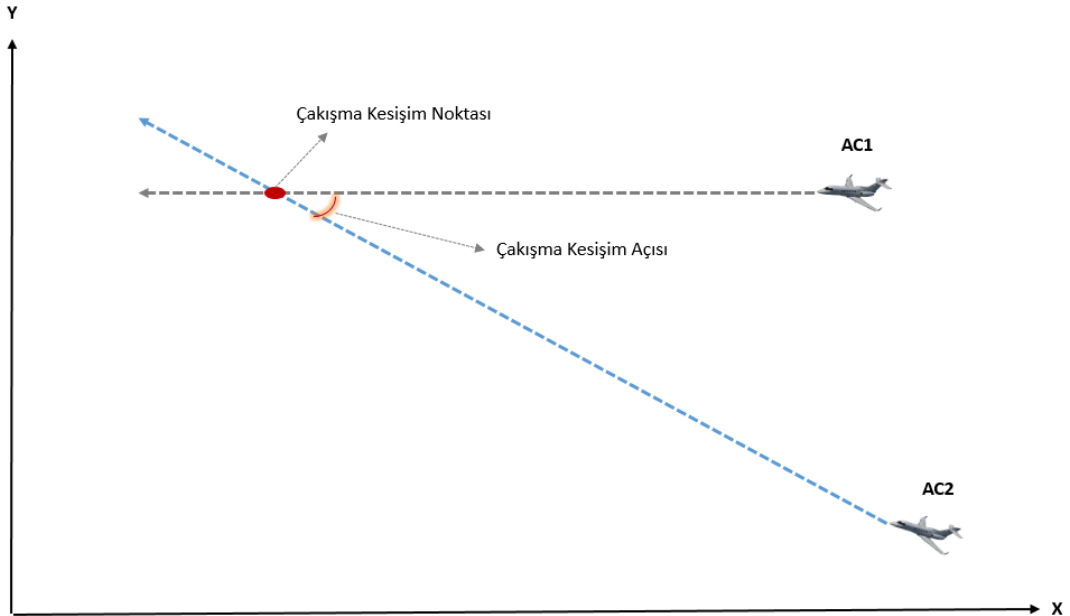
araçları arasındaki en yakın mesafe Denklem 2.1’ de olduğu gibi iki boyutlu olarak hesaplanır.

$$\begin{aligned} y &= \text{hava araçları arasındaki yatay mesafe} \\ d &= \text{hava araçları arasındaki dikey mesafe} \\ LU &= y / \text{yatay mesafe birimi} \\ ZU &= d / \text{dikey mesafe birimi} \\ DU &= \sqrt{LU^2 + ZU^2} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’ deki DU minimuma ulaştığı nokta CPA noktasıdır. Hava araçlarının hızı, yön bilgileri ve o anki güncel konumu kullanılarak CPA noktasına varış zamanı hesaplanır. Şekil 2.3 için varış CPA noktasına varış zamanı 86 saniyedir.

1.1.3.2. Çakışma Kesişim Noktası

Hava araçlarının anlık pozisyonları, hızları ve yön bilgileri kullanılarak iki boyutta hesaplanan hız vektörlerinin kesiştiği noktadır. Kesişim noktası ve kesişim açısı çakışma geometrisinin sınıflandırılması ve çakışma geometrisine uygun çakışma çözüm aksiyonunun alınması için önemlidir. CPA noktası ve çakışma noktası birbirlerinden farklı kavramlardır.

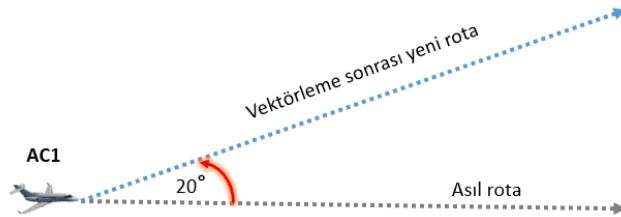


Şekil 2.4 : İki Boyutta Çakışma Kesişim Noktası ve Açısı

1. Vektörleme
2. Dikey Hız Değişimi
3. Hız Değişimi
4. Vektörleme, Dikey Seviye Değişimi ve Hız Değişimi aksiyonlarının farklı kombinasyonları
5. Diğer yöntemler

1.2.1. Vektörleme ile Çakışma Çözümü

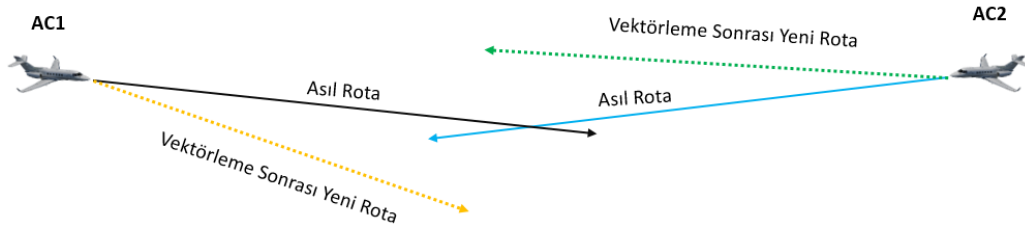
ICAO tanımlamalarına göre vektörleme, hava aracına seyrüsefer rehberliği sağlamak için bir hava trafik hizmeti gözetim sisteminden faydalanarak verilen özel uçuş başı değişikliğidir[14]. Uçuş başı hava aracının burnunun kuzey yönünü 0° kabul ederek saat yönündeki açı değeridir. Vektörleme özellikle seyir halindeki hava araçları arasında tespit edilen çakışma çözümlerinde ATC' ler tarafından yaygın olarak kullanılan bir çakışma çözüm yöntemidir. Vektörlemenin amacı hava aracının kontrolör tarafından istenen rotayı takip edip sürdürmesidir. Hava trafik yönetiminde hava araçlarının yatay yönü uçuş başı değiştirilerek değiştirilir. Örneğin Şekil 2.6' deki görselde hava aracının uçuş başı 20° sola çevrilerek vektörleme yapılmıştır.



Şekil 2.6 : Vektörleme Sonrası Rota Değişimi

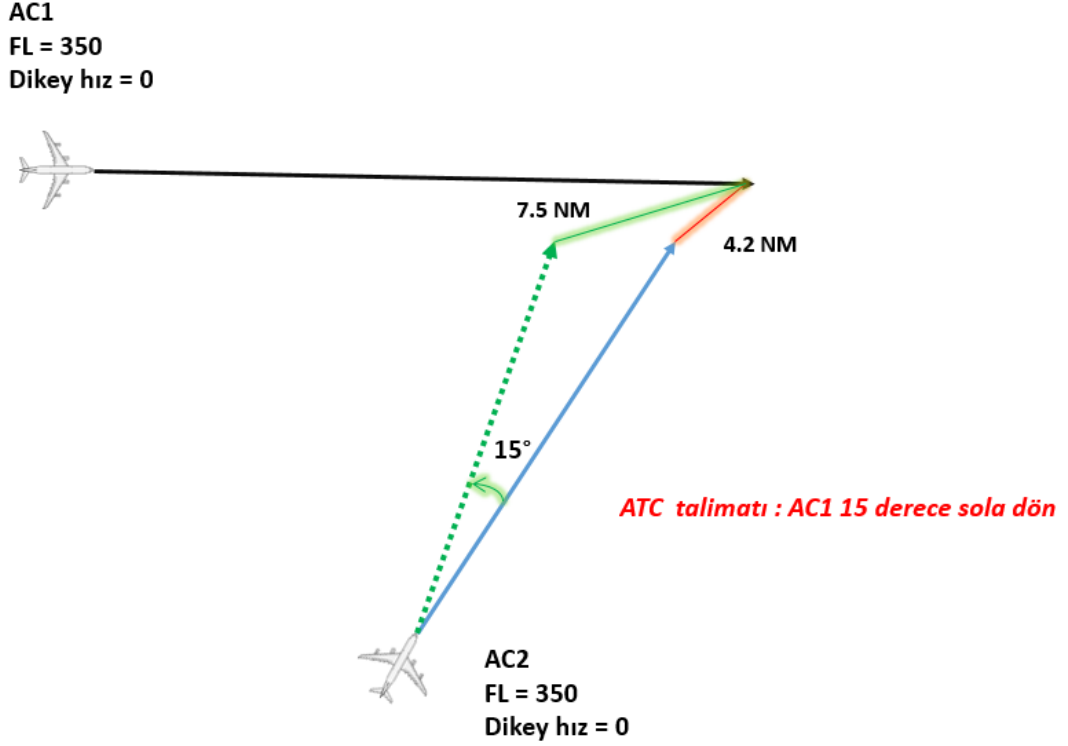
Özellikle karşılıklı çakışma geometrisine sahip hava araçları için çakışma çözümünde dikey seviye değişiminin uygun olmadığı çakışmalarda ATC' ler için çakışma çözümünde en etkili yöntem vektörleme olabilir. Çakışma çiftindeki hava araçlarına verilecek 5° veya 10° uçuş başı değişikliği hava araçlarına ait çakışmayı çözmek için gereken yatay mesafe ayırmasını sağlar. Şekil 2.7' de AC1 ve AC2 hava

araçları için karşılıklı bir çakışma geometrisine sahip bir çakışma senaryosu görselleştirilmiştir. Bu senaryoda AC1 ve AC2 hava araçları asıl rotalarına devam etmeleri durumunda ayırma kaybı oluşacak ve bir çakışma gerçekleşecektir. Böyle bir çakışma durumunda her iki hava aracı için ATC tarafından verilen uçuş başı değişikliği talimatı ile hava araçları arasındaki ayırma kaybı engellenerek çakışma çözümü sağlanır[Url-4].



Şekil 2.7 : Vektörleme ile Karşılıklı Çakışma Çözümü

Vektörleme yöntemi karşılıklı çakışmanın yanı sıra çapraz kesişen bir çakışma geometrisine sahip çakışma senaryoları içinde ATC' ler tarafından sıkça kullanılan bir çakışma çözüm yöntemidir. Şekil 2.8' deki görselde çapraz kesişim geometrisine sahip farklı bir çakışma senaryosu bulunmaktadır. Bu senaryo için ayırma minimumları dikeyde 2000 feet ve yatayda 5NM olduğunu düşünelim. AC1 ve AC2 hava araçlarını tahminlenen pozisyonları arasındaki yatay mesafe 3.4 NM' dir ve 5NM' lik yatay ayırma minimumunu ihlal etmektedir. Şekil 2.8' de AC1 ve AC2 hava araçları aynı dikey seviyede ve dikey hız değişimlerinin olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla hava araçlarının yatayda ayırma kaybı yaşadıkları anda hava araçları arasında tahminlenen dikey mesafe farkı da dikey ayırma minimumunun(2000 feet) altında olacağından bir çakışma söz konusudur. ATC bu çakışma çözümü için AC2 hava aracına uçuş başını 15° sola çevirmesi talimatı vererek vektörleme yöntemi kullanabilir. AC2 hava aracının 15° sola uçuş başı talimatı vermesi durumunda hava araçlarının tahminlenen yatay pozisyonları arasındaki mesafe yatay ayırma minimumu olan 5NM' nin üzerine 7.5 NM' ye çıkacak ve ayırma kaybı durumu ortadan kaldırılarak çakışma çözümü sağlayacaktır.



Şekil 2.8 : Çapraz Kesişim Çakışması ve Vektörleme ile Çakışma Çözümü

Vektörleme çakışma çözümü için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Çapraz kesişim geometrisine sahip çakışma durumlarında dikey seviye değişiminin uygun olmadığı ve hız değişimi için yeterli zamanın olmadığı durumlarda vektörleme en etkili çözümdür[Url-4].

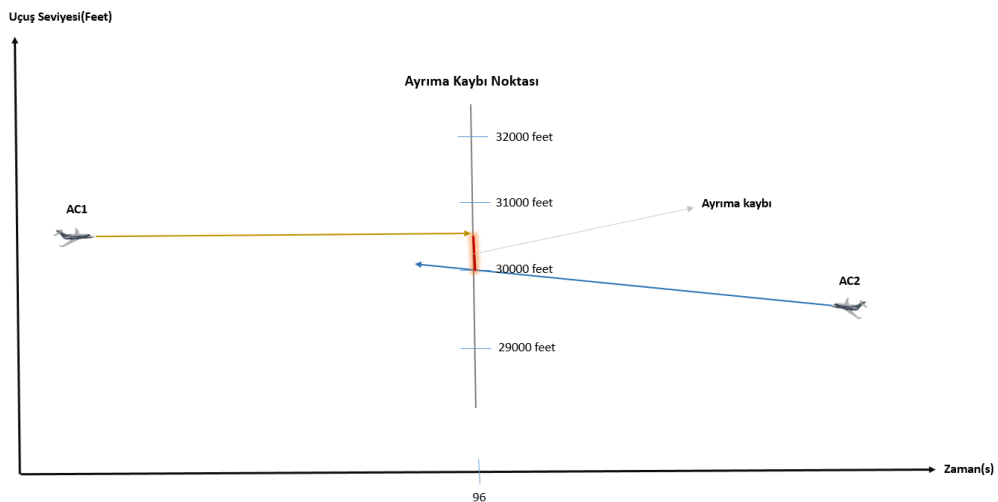
Ancak bu yöntem uygulanırken hava aracının asıl rotası değiştirilir ve bunun bazı önemli sonuçları oluşur. Vektörleme sonucu hava aracı asıl rotasını değiştirdiği için uçuş mesafesi artar[Url-3]. Artan uçuş mesafesine bağlı olarak uçuşun tahminlenen iniş zamanı gecikir, yakıt tüketimi ve karbondioksit salınımı artar. Uçuşun iniş zamanının gecikmesi demek hava aracının havada daha uzun süre kalması ve havada kaldığı sürece hava trafik hizmeti alacağından dolayı olarak hava trafik yoğunluğunun artmasına neden olur. Hava trafik yoğunluğunun artması demek uçuş emniyeti için daha fazla kontrol anlamına gelir. Daha fazla kontrol ATC' ler için daha fazla iş yüküdür. Ayrıca uçuştaki gecikme iniş yapacağı pistteki iniş ve kalkış yapacak hava araçlarının planlamalarında da değişikliğe neden olabilir. Diğer taraftan fazladan yakıt tüketimi uçuş maliyetinin artmasına ve fazladan karbondioksit salınımı ile hava kirliliğinin artmasına neden olur. Bu yüzden vektörleme talimatı verilirken çakışma

çiftindeki hava araçlarının rotalarını en az etkileyecek vektörlere talimatını verilmelidir.

1.2.2. Dikey Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü

Hava araçları arasındaki dikey ayırma kaybını önlemek, güvenli ve verimli bir hava trafik akışı sağlamak için hava araçları tırmanma ya da alçalma oranlarını değiştirme talimatları alabilirler. Bu talimatlardaki dikey hız değişimi istenilen dikey ayırma minimumunu sağlayacak ölçüde limitlenmelidir. Ayrıca dikey hız değişim talimatlarının sıklığı da limitlenmelidir. Kontrolörler çok sık dikey hız değişim talimatı vermekten kaçınmalıdırlar[14].

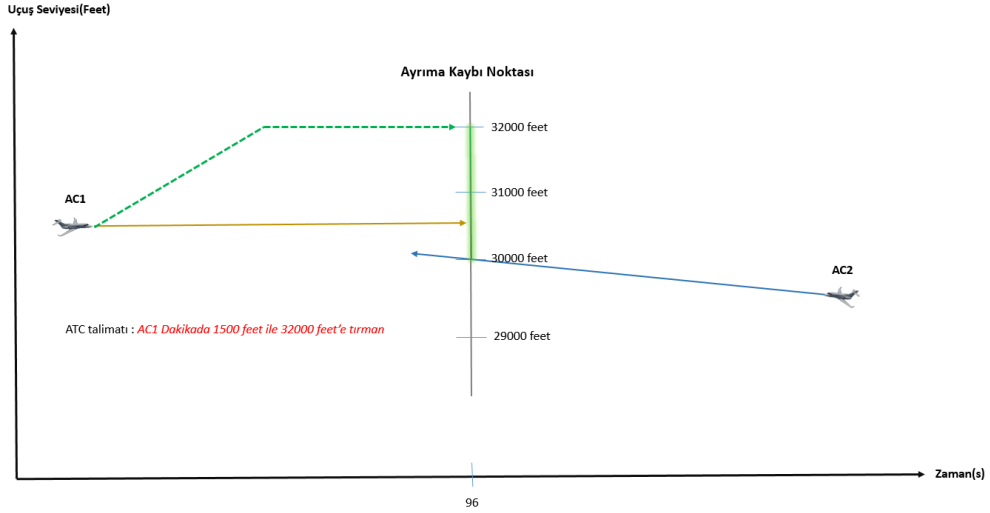
Bu yöntem ile hava araçları güvenli bir şekilde dikey seviye değişimi yaparak gerekli dikey ayırma minimumunu sağlayabilir. Yöntem uygun çakışma durumlarında doğru bir şekilde kullanılması durumunda güvenli ve daha verimli bir hava trafik akışı sağlar[Url-3]. Şekil 2.9' daki çakışma senaryosu için 1000 feet' lik bir dikey ayırma minimumu uygulandığını düşünelim. Senaryoda 96 saniye sonra AC1 ve AC2 hava araçlarının tahminlenen dikey pozisyonları arasındaki mesafe 1000 feet' lik dikey ayırma minimumunun altına düşeceğinden uçuş emniyetini tehlikeye atan potansiyel bir ayırma kaybı yaşanacaktır. Hava araçları arasındaki tahminlenen dikey mesafe 96 saniye sonra yaklaşık olarak 500 feet olacaktır.



Şekil 2.9 : Dikey Ayırma Kaybı Senaryosu

Şekil 2.10' da hava trafik kontrolörü, hava araçları arasındaki güvenli dikey ayırma minimumunu korumak için AC1 hava aracına dikey hız değişim talimatı

vermektedir. Kontrolör talimatı sonrasında AC1 hava aracı dakikada 1500 feet' lik tırmanma oranı ile tırmanarak 32000 feet'e çıkmaktadır. Kontrolörün bu dikey hız değişim talimatı sonrasında 96 saniye sonra hava araçları arasındaki tahminlenen dikey mesafe farkı güvenli dikey ayırma minimumu olan 1000 feet' in üzerine çıkacak ve ayırma kaybı ortadan kalkacaktır.



Şekil 2.10 : ATC Dikey Hız Değişim Talimatı ile Çakışma Çözümü

1.2.3. Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü

ICAO hava trafik yönetim prosedüründe hava araçları arasındaki dikey ayırma kaybını önlemek, güvenli ve verimli bir hava trafik akışı sağlamak için hava araçları hız değiştirme talimatları alabileceği belirtilmektedir[14]. Hava trafik yönetiminde hız değişimi ile çakışma çözümü genellikle orta vadeli(8 ile 20 dk arası) çakışma tespitlerindeki ayırma kaybını önlemek için kullanılır. Dikey seviye değişimi ve vektörleme yöntemleri çakışma çözümüne direk etki ederek kısa zaman içerisinde sonuca ulaşılan yöntemler olmasına karşın hız değişim yöntemi uygulandıktan ve belirli bir süre beklendikten sonra sonucu gözlemlenen bir yöntemdir. Hava araçları arasında bir çakışma tespit edildikten sonra hız değişim yöntemi ile çakışma çözüm aksiyonu alınması durumunda, ATC talimatı verdikten sonra bir süre değişikliğin sonucunu gözlemlemesi gerekir[Url-3].

Hız kontrolü hava aracının yatay hızının azaltılması ya da artırılması yönünde verilen talimattır. Dikey hız değişiminde olduğu gibi yatay hız değişiminde de kontrolörlerin sadece gerekli ayırmaı sağlayacak ölçüde hız değişim talimatı vermesi

istenir. Hız değişimi özellikle ardışık olarak seyir eden hava araçları arasında yaşanabilecek ayırma kayıplarına ait çakışma özümlelerinde etkilidir.[Url-7]. Şekil 2.11’ de AC1 ve AC2 hava araçları ardışık olarak seyir halinde umaktalar. Arkadaki AC1 hava aracının yatay hızı AC2 hava aracının hızından fazla olduğundan aralarındaki mesafe kapanmakta ve ayırma kaybı oluşmaktadır. Bu durumda kontrolör AC1 hava aracının yatay hızını azaltması ya da AC2 hava aracının yatay hızını arttırması yönünde bir talimat vererek çakışma çözüm aksiyonu alabilir.



Şekil 2.11 : Yatay Hız Değişimi ile çakışma özümü

Bu tez çalışmasında kısa vadeli çakışma çözümleri ele alındığından hız kontrolü yöntemi ile çakışma çözümü yapılmayacaktır.

1.2.4. Vektörleme, Dikey Seviye Değişimi ve Hız Değişimi Aksiyonlarının farklı kombinasyonları ile çakışma çözümü

Çakışma özümünde ATC’ ler hız değişimi ile vektörleme, dikey seviye değişimi ile birlikte vektörleme gibi farklı kombinasyonlar ile çakışma çözüm kararları alabilirler. Ancak bu Őekildeki iki farklı çakışma çözüm yönteminin birlikte uygulandığı durumlar hava aracındaki uçuş ekibinin(pilotların) iş yükünü artırır. [Url-3]. Bu tez kapsamında sadece vektörleme ve dikey seviye değişimi ile optimal çakışma çözüm önerisi hedeflendiğinden bu yöntem kullanılmayacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR TARAMASI VE GENEL BAKIŞ

Hava araçları arasındaki Çakışma Tespiti ve Çözümü(CDR) genel olarak iki alt problemden oluşur. Birincisi hava araçları arasındaki çakışma tespittir. Bu adımda hava araçlarının anlık pozisyon, yön ve hız bilgileri ile hava araçlarının ileri zamanlı tahminlenen pozisyonları arasındaki mesafe kullanılarak çakışma tespiti yapılır. İkinci adım ise hava araçları arasında tespit edilen çakışmayı belirli kısıtları dikkate alarak en kısa sürede optimal bir çakışma çözümü(CR) ile çözmektir. Bu iki alt problem Çakışma Tespiti ve Çözümü(CDR) problemini ifade eder[10].

2.1. LİTERATÜRDEKİ CDR METOTLARININ SINIFLANDIRILMASI

Literatürde yaygın olarak kullanılan bir çok CDR metodu bulunmaktadır. CDR metotları hava araçlarının gözetim türü, çakışma çözümünde merkezi yada dağıtılmış bir kontrol sistemi kullanılması, yörünge tahminleme tipi, öngörülebilirlik varsayımları, çakışmadan kaçınmak için kullanılan manevra türleri, çakışmadaki hava aracı sayısı(2 ‘den fazla veya iki hava aracı arasındaki çakışma), çakışmaya neden olan engel tipleri, optimizasyon hedefi ve kullanılan metot kategorisine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma kategorileri genel olarak çakışma tespit yöntemi ve çözüm yöntemi olarak iki sınıfa ayrılabilir. Bu bölümde CDR metotlarının sınıflandırılmasına etki eden faktörler ele alınmıştır[15]. Şekil 3.1’ de literatürdeki çakışma tespit yöntemlerinin kategorilere göre sınıflandırılması, Şekil 3.2’ de ise literatürdeki çakışma çözüm yöntemlerinin kategorilere göre sınıflandırılması bulunmaktadır.

Conflict Detection Categories		
Surveillance	Trajectory Propagation	Predictability Assumption
Centralised Dependent	State-Based Intent-Based	Nominal
Distributed Dependent		Probabilistic
Independent		Worst-Case

Şekil 3.1 : Çakışma Tespit Yöntemlerinin Kategorilere Göre Sınıflandırılması[15]

Conflict Resolution Categories			Applicable For All Conflict Resolution Categories				
Control	Method Categories	Multi-Actor Conflict Resolution	Avoidance Planning	Avoidance Manoeuvre	Obstacle Types	Optimization	
Centralised	Exact	} →	Sequential	Strategic	Heading	Static	Flight Path
	Heuristic		Concurrent	Tactical	Speed	Dynamic	Flight Time
Distributed	Prescribed	} →	Pairwise Sequential	Escape	Vertical	All	Fuel/Energy Consumption
	Reactive		Pairwise Summed				
	Explicitly Negotiated		Joint Solution				

Şekil 3.2: Çakışma Çözüm Yöntemlerinin Kategorilere Göre Sınıflandırılması[15]

2.1.1. Gözetim Türüne Göre Sınıflandırma

Gözetim, sensörler ve sensör ağları kullanılarak hava araçlarının pozisyonları hızları, gidiş yönleri, irtifaları gibi bilgilerle birlikte tespit edilmesi ve izlenmesidir. Hava araçlarına ait gözetim türü gözetimin hava aracının kendi ekipmanları yada dış sistemlere bağlı olarak yapılmasına göre ikiye ayrılır. Eğer gözetim hava aracının dış sistemlere ihtiyaç duyulmadan hava aracının kendi tespit sensörleri ile dış sistemlerden bağımsız olarak yapılıyorsa bu gözetim *bağımsız gözetim* olarak adlandırılır. Diğer taraftan gözetim dış sistemler yardımı ile yapılıyorsa *bağımlı gözetim* olarak adlandırılır. Buna ek olarak gözetim türü verinin alındığı kaynağa göre merkezi ve dağıtık olarak değişir. Merkezi gözetimde gözetim verileri tek bir kaynaktan alınıyorken dağıtık gözetimde ise gözetim verileri farklı kaynaklardan alınır.

Merkezi ve bağımlı gözetim türünde, hava araçları yer sistemlerinden(genellikle radar sensörlerinden) kendilerine gönderilen sorgu sinyallerine cevap verebilecek bir ekipman olan aktarıcılar(transponder) ile donatılırlar. Yer sistemlerindeki sensörler yardımıyla hava araçlarının iki boyutta pozisyon, hava aracı tarafından sağlanan irtifa bilgisi ve hava aracına yapılan sorgu sonucunda hava aracının gönderdiği bilgiler ile gözetim yapılır. Dağıtık ve bağımlı gözetim türüne örnek olarak ADS-B sistemi verilebilir. ADS-B sisteminde hava araçları herhangi bir yer sisteminden sorgu almadan kendi pozisyon, kimlik ve irtifa gibi gözetim verilerini yayınlarlar[15].

Bağımsız gözetimde ise hava araçları kendi üzerlerindeki sensörler ile dış sistemlere ihtiyaç duymadan diğer hava araçlarının gözetimini yapar. ADS-B sisteminde olduğu gibi hava araçlarının kendi gözetim verilerini(pozisyon, irtifa vb.) paylaşımlarına ihtiyaç duymadan kendi ekipmanlarındaki sensörler ile hava araçları tespit edilir.

Hava trafik kontrolündeki CDR sistemlerinde bağımlı, merkezi ve dağıtık gözetim türleri kullanılırken hava araçlarındaki çakışma tespit ve çözüm yöntemlerinde bağımsız gözetim türü de kullanılabilir. Özellikle insanız hava araçları “gör ve kaçın” prensibine göre kendi üzerlerindeki sensörler yardımıyla diğer hava araçlarını tespit eder ve çakışmalardan kaçınır. Şekil 3.3’ de gözetim türleri görselleştirilmiştir[15].

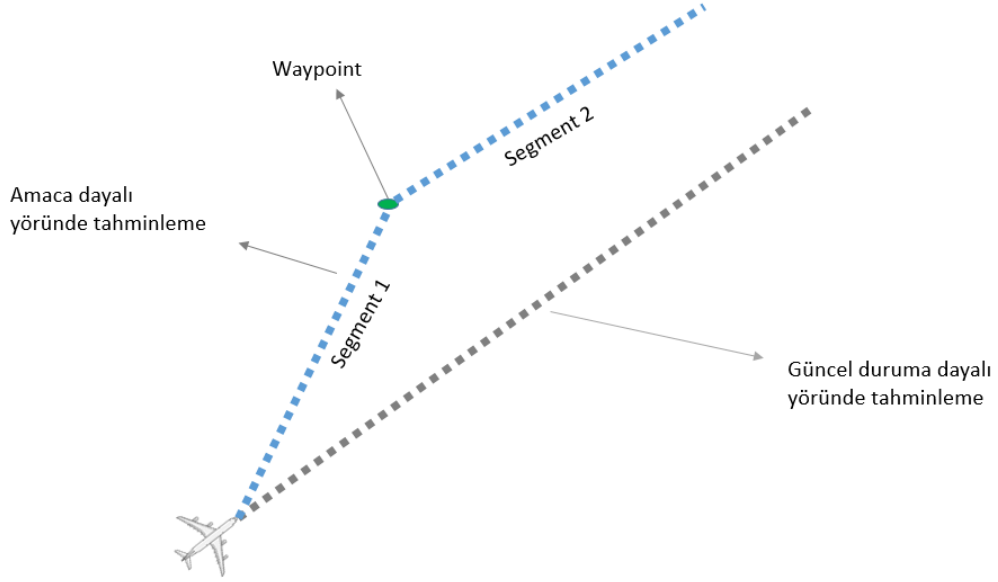


Şekil 3.3 : Merkezi ve Bağımlı Gözetim[15]

2.1.2. Yörünge Tahminleme Türüne Göre Sınıflandırma

Hava aracının ileri bir zamandaki yörüngesi yada tahminlenen pozisyonu güncel durum bilgileri(güncel pozisyon, yön ve hız) veya ileri bir zamandaki bilinen bir davranışına göre ele alınır. Güncel duruma dayalı(state-based) yörünge tahminlemede hava aracının o anki pozisyonu ve hız vektörü dikkate alınarak belirli bir öngörüleme süresi için hava aracının doğrusal rotası tahminlenir. Amaca dayalı(intent-based) yörünge veya pozisyon tahminlemede hava aracının güncel durumuna ek olarak ileri bir zamanda geçmesi gereken pozisyonlarda gözetilerek hava aracının dönüş ve uçuş başı değişikliklerine de içeren rotası tahminlenir. Amaca dayalı

yörünge tahminlemede yörünge tamamı doğrusal değildir. Yörünge bir dizi düz bacak segmenti olarak ifade edilir. Şekil 3.4’ de bir hava aracına ait güncel duruma ve amaca dayalı tahminlenmiş yörüngeler bir görsel ile örneklenmiştir.



Şekil 3.4 : Güncel Duruma ve Amaca Dayalı Yörünge Tahminleme

Güncel duruma dayalı yörünge tahminleme yaklaşımı amaca dayalı yaklaşıma göre daha basit ve hızlıdır. Çünkü amaca dayalı yaklaşım hava aracının geçeceği pozisyonları da kullandığından ve daha fazla hesaplamalar gerektirdiğinden güncel duruma dayalı yörünge üretimine göre daha karmaşık ve daha yavaştır. Ancak güncel duruma dayalı tahminlemede hava aracının gelecekteki yörünge değişiklikleri dikkate alınmadığından gelecekte yaşanabilecek ayırma kayıpları gözden kaçabilir. Çakışma çözümü açısından bakıldığında hava aracı çakışmadan kaçınmak için daha önceden belirlenen rotasından saptığından amaca dayalı yörünge üretimi yanlış ayırma kaybı tespitine neden olabilir[15].

Hava trafik yönetiminde kısa vadeli çakışma tespit yöntemlerinde (STCA gibi) hava aracının güncel durumuna dayalı pozisyon ve hız vektörü kullanılarak doğrusal bir pozisyon tahminlemesi yapılır[13]. MTCN gibi orta vadeli çakışma tespitinde ise hava aracının uçuş planından alınan rotasındaki pozisyonlar da gözetilerek amaca dayalı bir yörünge üretimi yapılır[6]. Orta ve uzun vadeli çakışma tespitleri için amaca dayalı yörünge tahminleme yaklaşımı kullanılır. Her iki yöntemde de ayırma kaybı

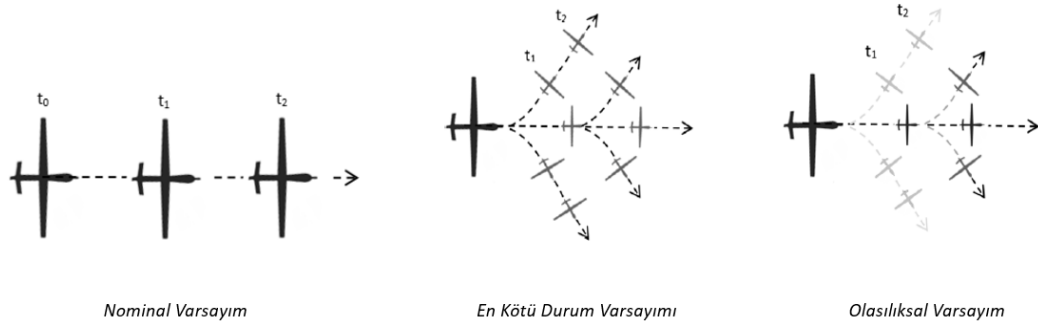
tahminlenen yörüngelere ait pozisyonlar arasındaki yatay ve dikey mesafelerin tanımlı ayırma minimumları ile karşılaştırması yapılarak kontrol edilir.

2.1.3. Yörünge Tahminleme Varsayımlarına Göre Sınıflandırma

Çakışma hava araçlarının ileri zamanlı tahminlenen yörüngelerine ait pozisyonları arasındaki ayırma kaybının tespit edilmesidir. Bir hava aracının başka bir hava aracı ile olan çakışma durumu kontrol edilebilmesi için tüm hava araçları için yörünge tahminlemesi yapılır. Bu tahminlemede hava araçlarının ileri zamanlı pozisyonları tahminlendiğinden, tahminleme yapılırken belirsizliklerin bu tahminlemelere eklenip eklenmeyeceği durumu gündeme gelir. Bu durum için nominal, en kötü durum ve olasılıksal varsayım olmak üzere üç varsayım yaklaşımı kullanılır. Nominal yaklaşımda diğer hava araçlarının koordinasyonsuz davranışları, rüzgar ve diğer hava durum varyasyonları gibi belirsizlikler yörünge üretimine dahil edilmez. En kötü durum senaryosunda ise belirsizliklerin neden olabileceği tüm olası yörünge değişimleri yörünge tahminlemeye yansıtılır. Ancak en kötü durum varsayımı çok fazla hesaplama gerektiren ve karmaşıklığı yüksek bir yöntem olduğundan gerçek ortam için uygulanabilirlik ihtimali düşüktür. En kötü durum varsayımı karmaşık ve çok fazla hesaplama gerektirdiğinden bu varsayımın yerine genellikle olasılıksal varsayım yöntemi kullanılarak belirsizlikler yörünge üretimine dahil edilir. Olasılıksal varsayım yönteminde hava araçlarının güncel o anki pozisyonları, maksimum dönüş ve tırmanma oranları dikkate alınarak muhtemel tüm yörünge değişikliklerinin olasılığı da hesaba katılarak yörünge üretimine dahil edilir. Hava aracının nasıl hareket edeceğine, hangi yörüngeyi izleyip izlemeyeceğine bu olasılık değerlerine göre karar verilir[15].

Nominal varsayım hava araçlarının daha kararlı davranışlar sergilediği ortamlarda yapılacak kısa süreli öngörüleme zamanına(2-4 dk) sahip yörünge tahminlemeleri için oldukça uygundur. Ancak nominal yaklaşımda belirsizlikler ihmal edildiğinden tahminlemeye ait öngörüleme süresi arttıkça tahminlenen pozisyonun doğruluğu azalır ve yanlış çakışma tespitlerine ya da bazı çakışmaların tespit edilememesine neden olur. Nominal yaklaşım için ileriye yönelik tahminleme süresi arttıkça tahminlenen yörünge'nin güvenilirliği azalır.

Olası tüm belirsizlikleri göze alarak potansiyel tüm yörünge değişikliklerini düşünerek gerçekte hava aracının ilerleyeceği yörüngeye en yakın yörüngeyi tahminleyebilmek için belirsizlikleri yörünge üretimine dahil etmek tahminlenen yörüngeyi doğruluğunu artırır. Ancak bu belirsizlikleri tüm hava araçlarının yörünge tahminleri için hesaba katıldığını düşünürsek bu hava araçları arasındaki yanlış pozitif çakışma tespiti oranını artırabilir[15]. Şekil 3.5’ de tahminleme varsayım yaklaşımlarına ait görseller bulunmaktadır.



Şekil 3.5 : Yörünge Tahminlemede Belirsizliklere Ait Varsayım Yaklaşımları[15]

Hava trafik kontrolünde çakışma tespitinde kullanılan ve yaygın bir çakışma tespit sistemi olan STCA kısa vadeli bir çakışma tespit sistemi olduğundan, nominal varsayım yaklaşımı ile üretilen doğrusal yörüngelere göre çakışma tespiti yapmaktadır. STCA’ de hava araçlarının 3D durum vektörleri kullanılarak doğrusal bir yörünge tahminlemesi yapılmaktadır[13].

2.1.4. Çakışma Çözümü Yönetimine Göre Sınıflandırma

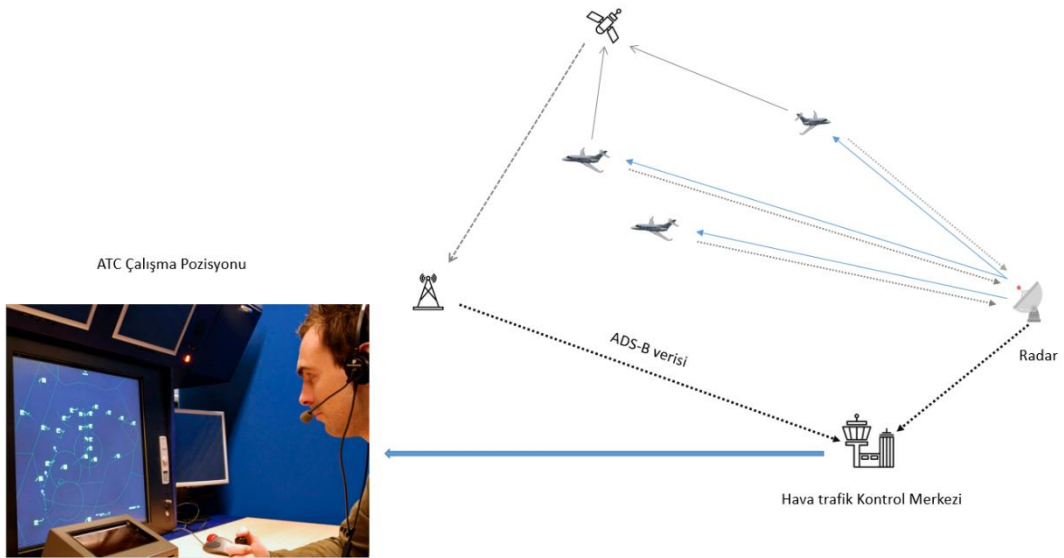
Hava araçları arasındaki çakışma çözümünde gerekli ayırmanın sağlanması için hava araçlarının ileri zamanlı yörüngeleri ve çakışma çözümleri merkezi ortak bir noktadan yapılacak şekilde veya her bir hava aracı kendi çakışma çözümü bireysel olarak üreterek dağıtık bir şekilde olabilir. Çakışma çözüm sistemleri temel olarak merkezi ve dağıtık olarak sınıflandırılabilir.

Çakışma tespiti ve çözümünün tüm hava araçlarına ait gözetim verilerinin bulunduğu tek bir merkezden yönetildiği sistemler merkezi sistemlerdir. Merkezi sistemler karmaşık hava trafik akışındaki çakışmalar için global bir çakışma çözümü üretirler. Her bir hava aracı tek bir merkezden üretilen çakışma çözümünü takip ettiklerinden belirsizlik azalır. Merkezi sistemli çakışma çözüm araçları çakışma

çözümünde çakışmaya sebep olan hava araçlarının yörüngelerini birbirleri ile kesişmeyecek ve gerekli güvenli ayırmayı sağlayacak şekilde optimize ederler. Merkezi yöntem ile çakışma çözüm yöntemi hava aracı sayısı ve bu hava araçlarına ait muhtemel manevralar düşünüldüğünde çok fazla hesaplama gerektiren bir yöntem olduğundan gerçek zamanlı çakışma çözümleri için yeterli olmayabilir. Çünkü gerçek zamanlı çakışma çözümünde çakışma çözüm sistemi olabildiğince kısa bir sürede çakışma çözümü üretmelidir. Çakışma durumu ve o anki hava trafiğine ait çakışma çözümü için gerekli bilgilerin sağlanması, güçlü bir donanım ve uygun yazılımsal metodolojiler ile üretilecek çakışma çözüm yörüngesine ait hesaplama zamanı azaltılması durumunda bu yöntem çakışma çözümü için en ideal yöntem olabilir. Merkezi çakışma çözüm yönteminde tüm hava araçlarına ait yörüngeler bilindiğinden, çakışma durumunda üretilecek çakışma çözüm yörüngesi tüm hava araçları ile olan ayırma kaybı durumu kontrol edilebilir. Hava trafik yoğunluğunun artmasına bağlı olarak her bir hava aracının çakışma tespiti için yörünge tahminlemesi, çakışma çiftindeki hava araçları yada aracı için optimize edilen yeni yörüngeye diğer hava araçları ile olan ayırma kayıplarının kontrolü de göz önüne alındığında merkezi çakışma çözüm yönteminin global bir çözüm üretmesi için yapması gereken işlemlerde artar. Bu yüzden merkezi bir çakışma çözüm sisteminin aynı anda çalışabileceği hava aracı sayısı limitlidir [15]. Örneğin merkezi bir hava aracı sistemi aynı anda 1000 hava aracı için ayırma kaybı kontrolü ve çakışma çözümü kontrolü yapabilir. Bu limitin üstündeki sayılar için kullanılan kaynaklara bağlı olarak sistemin çakışma çözümü üretme zamanı gerçek zamanlı bir hava trafik kontrol ortamı için yeterli olmayabilir veya 1000' in çok daha fazla üzerindeki hava aracı için sistem çakışma çözümü üretemez hale gelebilir.

Hava trafik kontrolörleri hava trafik kontrolünde insanlı hava araçları için çakışma çözümü ve gerekli minimum ayırmayı garanti etmek için merkez nokta olarak düşünülebilir. Yer sistemleri sensörler ve sensör ağlar aracılığı ile tüm hava araçlarına ait trafik bilgilerini tek bir merkezde toplayarak hava trafik kontrolörlerine görsel olarak sunar. Hava trafik kontrolörleri kendilerine sunulan hava trafik bilgileri(Şekil 3.6) ile uçuş emniyetini sağlamak için hava araçları arasındaki gerekli minimum ayırmayı tek bir noktadan yönetirler. CDR çözümlerinin amaçlarından biride hava

trafik merkezi ya da dağıtık çakışma çözüm sistemleri ile tüm hava araçlarına ait çakışma çözümlerinde insan yardımı olmadan optimal çakışmasız yeni yörüngeler üreterek hava trafik kontrolörlerin üzerindeki iş yükünü azaltmaktır. Bu sistem tüm hava araçlarına ait trafik bilgilerinin toplandığı ortak ve merkezi bir sistem ya da hava aracının kendisinde bulunan çakışma önleyici sistemler olabilir. İnsanlı hava araçları için sağlanan hava trafik kontrolünde çakışma tespiti ve çözümü hava trafik kontrol merkezlerinde tek bir noktadan merkezi olarak yönetilmektedir. Merkezi sistemde kontrolör tüm hava trafik resmini görsel olarak gördüğü için çakışma çözümü uygularken bu çözüm tüm hava araçları gözetilerek alınan *global* bir çözüm olur.

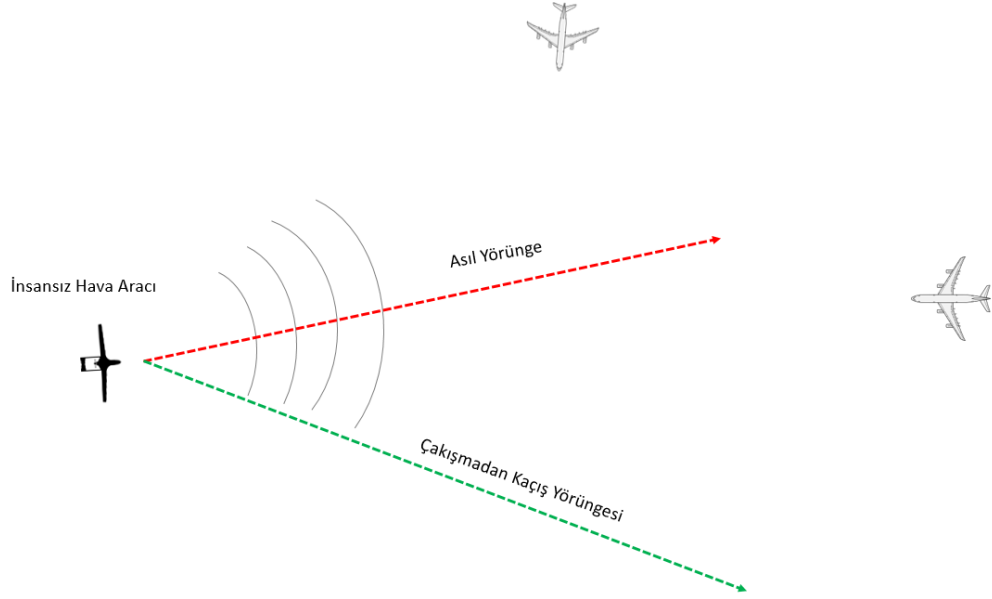


Şekil 3.6 : Merkezi Hava Trafik Yönetimi ve ATC Çalışma Pozisyonu

Merkezi çakışma çözüm sistemine örnek olarak hava trafik kontrol merkezindeki ATC' ler örnek olarak verilebilir. Hava trafik yönetim sistemleri yer sistemleridir ve tüm hava trafiğine ait bilgiler dijital sistemler ile kontrolörlere görsel olarak sunulur. Kontrolörler STCA gibi merkezi çakışma tespit sistemleri ile çakışmaları tespit ederler. Tespit edilen çakışma çözümü için ATC çakışma çözümüne yardımcı araçları kullanarak tüm hava araçları için global bir çakışma çözümü sunarlar[15].

Dağıtık çakışma çözüm sistemleri çakışma çözümünü ATC gibi merkezi bir noktadan yönetmek yerine her hava aracının kendi güvenli ayırmasını sağlayacak bireysel yaklaşım uygular. Her hava aracı kendi çevresindeki hava araçları kendi

sensörleri ile tespit eder ve kendi çakışma çözüm yöntemini belirleyerek çakışmayı önlemeye çalışır. Özellikle insansız hava araçlarının sayısının artması ile birlikte hava araçlarının kendi çakışma önleme veya kaçınma manevralarını kendilerinin uygulayabileceği çakışma önleme ve kaçınma sistemleri geliştirilmektedir. Şekil 3.7 'de dağıtık, merkezi olmayan çakışma çözümü görselleştirilmiştir.



Şekil 3.7 : Dağıtık Çakışma Çözümü

Dağıtık çakışma çözümündeki en önemli dezavantaj hava araçları arasında global bir koordinasyon olmamasıdır. Global bir koordinasyon olmayan çakışma çözümlerinde hava aracı kendi bireysel çakışma çözümünü uygular ancak bu global bir çözüm olmadığından ve diğer hava araçları bu çakışma çözüm manevrasından habersiz olduğundan yeni bir çakışma oluşabilir. Global bir koordinasyon içermeyen çakışma çözümleri uçuş güvenliğini tehlikeye sokabilir. Merkezi olmayan çakışma çözüm sistemlerinde hava aracı etrafındaki diğer hava araçlarının davranışlarını bilmediğinden global ve optimal bir çözümü garanti etmez[15].

2.1.5. Çakışma Çözüm Yaklaşımlarına Göre Sınıflandırma

Literatürdeki CDR çakışma çözüm yaklaşımlarının neredeyse tümü beş temel kategoride sınıflandırılabilir. Bu kategoriler hava araçlarının çakışmadan kaçınmak için veya çakışma durumunda çakışma çözümü için asıl rotalarında değişikliğe sebep olan çakışmasız yeni yörüngelerini belirleme yöntemlerini sınıflandırır. Literatürdeki

merkezi çakışma çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması için bu beş temel kategoriden ikisi kullanılır. Bu kategoriler kesin(exact) ve sezgisel(heuristic) kategorileridir. Literatürdeki merkezi çakışma çözüm metotları kesin ve sezgisel olarak temel iki kategoride sınıflandırılır. Diğer üç kategori ise dağıtık ve merkezi olmayan çakışma çözüm metotlarını sınıflandırmak için kullanılır. Merkezi olmayan çakışma çözüm metotları öngörülen, tepkisel ve koordineli olmak üzere üç kategoride sınıflandırılırlar[15].

Merkezi CDR yaklaşımında çakışma çözüm aşamasında tüm hava araçları ve bu hava araçlarının tahminlenen yörüngeleri hesaba katılarak bir çakışma çözüm yörüngesi üretilir. Tüm hava araçlarının ileri zamanlı tahminlenen pozisyonları bilindiğinden üretilen çakışma çözümü tüm hava araçları ile gerekli güvenli ayırma limitlerini sağlayan global bir çözüm olur. Bu yöntemde merkezi bir CDR sistemi çakışmaya neden olan hava aracının kendisi için üretilen çakışma çözüm yörüngesini uygulayacağı kabul edilir. Hava trafik kontrol yönetimindeki ATC' ler çakışma çözümünde merkezi bir sistem gibi davrandıklarından, çakışmayı çözecek manevra talimatını uçuş ekibine iletirler. Uçuş ekibi ATC' nin verildiği bu çakışma çözüm manevrasını uygulayarak çakışma çözümünü sağlar. ATC' lere çakışma çözümü sunacak merkezi asistan CDR sistemleri, çakışmaya karışan hava araçları yada araçlardan bir tanesinin yörüngesini çakışmayı çözecek şekilde optimize eder. Literatürdeki Merkezi CDR yaklaşımları çakışmayı çözecek optimum manevrayı belirlerken bir *tercih politikası* ve *çözüm maliyetini* gözeterek bir ceza fonksiyonunu minimize etmeye çalışırlar. Bu yöntemde çakışma çözümü için üretilen yörüngelerden hava aracı yörüngelerinden en düşük maliyete sahip optimum yörünge tercih edilir. Bu yöntemdeki tercih politikası yakıt tüketimi, uçuş zamanı, uçuş mesafesi gibi performanstan yana tercihler ya da uçuş emniyetidir. Bu iki tercihten biri optimize edilir. Örneğin, performansı optimizasyonunu tercih eden bir merkezi CDR yaklaşımı için hava aracının diğer bir hava aracının koruma alanını(PZ) çok az bir süre için ihmal etmesi daha fazla yakıt tüketimine tercih edilebilir. Diğer taraftan uçuş emniyeti arttıracak bir yörünge optimizasyonu ile çakışma çözümü hedefleniyorsa, hava aracı diğer bir hava aracının koruma alanını çok az bir süre için ihmal etmek yerine için uçuş mesafesini artırmayı ve daha fazla yakıt tüketimini tercih edebilir. Merkezi CDR

yaklaşımları kesin algoritma yaklaşımı kullanarak global optimumu bulmayı garanti eden yaklaşımlar yada sezgisel algoritmaları içeren yaklaşımlar ile daha kısa sürede iyi bir sonuç bulan ancak global optimumu garanti etmeyen yaklaşımlar olarak iki sınıfta kategorilendirilir [15].

Baroelli ve arkadaşları 2006' da yaptıkları çalışmada[16] çakışma çözümü için global optimum çakışma çözümünü bulmak için Karışık Tamsayılı Lineer Programlama yaklaşımını kullandılar. Kesin algoritma yaklaşımlarının global optimum çakışma çözüm yaklaşımını bulmasına rağmen yüksek hesaplama maliyeti ve hesaplama zamanının gerçek ortam için yeterli olmadığı düşünüldüğünden sezgisel yöntemler ile hesaplama maliyeti ve zamanını azaltacak çalışmalar yapıldı [15]. Bu sezgisel yöntemler global optimumu bulmayı garanti etmese de çakışma çözümü hesaplama zamanını azalttı. Çakışma çözümü için kullanılan yaygın sezgisel yaklaşımlar Değişken Komşu Araması(VNS)[17] Karınca Kolonisi Optimizasyonu [18] ve Evrimsel Algoritmalar[19] yaklaşımlarıdır.

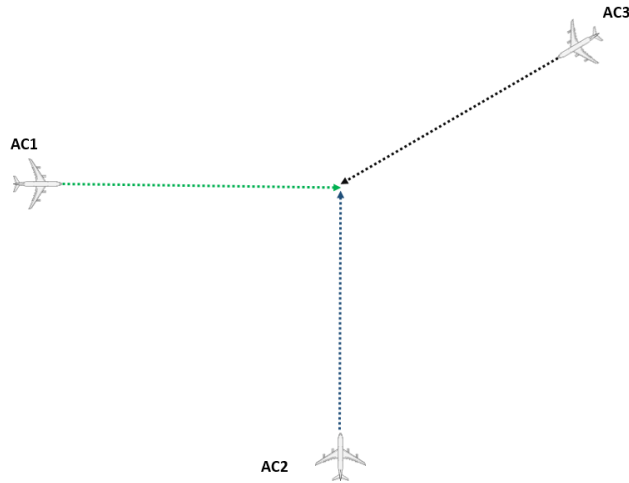
Öngörülen yaklaşımda hava aracı önceden tanımlanmış bir kural setine göre çakışma çözümü üretir. Tepkisel yaklaşımda ise hava araçları çakışma geometrisine göre ortak bir manevra stratejisi uygularlar. Öngörülü yaklaşımda çakışma çözümü üretilirken ICAO tarafından tanımlanan hava araçları arasındaki geçiş hakkı kuralları uygulanır. Örneğin kafa kafaya bir çakışma durumu için her iki hava aracı da sağ-sağ kuralını uygulayarak sağa doğru vektörleme yaparak çakışmayı çözmeye çalışırlar. Tepkisel yöntemde ise hava aracı etrafındaki hava araçlarının pozisyonlarına ve geometrilerine göre çakışmadan kaçınma tepkisi verir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta hava araçları arasında geçiş üstünlüğü kuralları uygulanırken bu kurallar bir hava aracı çifti için uygulanır. İki'den fazla hava aracının dahil olduğu çakışma çözümlerinde böyle bir kural seti uygulamak zordur. İki'den fazla hava aracının dahil olduğu çakışma durumlarında çakışma hava aracı çiftlerine ayrılır ve bu çakışmalar önceliklendirilerek sırayla çözülür. Çoklu çakışmadaki çakışma çiftleri çözüm önceliklendirmesi çakışmaya kalan zamana göre yapılır. Ancak çoklu çakışma durumunda ilk hava aracı çifti için üretilen çakışma çözümü çoklu çakışmadaki ikinci hava aracı çakışma çifti için üretilen çakışma çözümünü negatif anlamda etkileyebilir[15].

Karşılıklı koordinasyon yaklaşımında hava araçları çakışma çözümleri üretirken yapacakları manevra davranışlarını birbirleriyle paylaşarak koordineli bir çakışma çözümü sağlanır. Bu yöntemde çakışma çiftindeki hava araçları çakışma çözüm tercihlerini birbirleri ile paylaştığından hava araçlarının davranışları açısından bir belirsizlik yoktur. Bu yöntemde hava araçları arasında bir çakışma durumu olduğunda hava araçları kendi aralarında haberleşip hangi hava aracının çakışma çözüm manevrasını uygulayacağı ve hangi hava aracının diğer hava aracının davranışına uyacağı önceliklendirilir. Bu önceliklendirme hava araçlarının hızlarına, hava sahası kurallarına ve çakışma geometrisine göre yapılır. Bu yöntemde hava araçlarının birbirleri ile olan haberleşme sıklığı ve haberleşme ağı bant genişliği çok önemlidir[15].

Çakışma çözüm metotlarını genel olarak özetleyecek olursak merkezi CDR yaklaşımları kesin ve sezgisel yöntemler kullanırken, dağıtık CDR yaklaşımları öngörülü, tepkisel ve karşılıklı koordinasyonlu yöntemler ile çakışma çözümü üretirler[15].

2.1.6. Çoklu Çakışma Çözümüne Göre Sınıflandırma

Çoklu çakışma aynı anda ikiden fazla hava aracının karıştığı çakışma durumudur. Şekil 3.8’ de AC1, AC2 ve AC3 hava araçları arasında çoklu bir çakışma durumu görselleştirilmiştir.

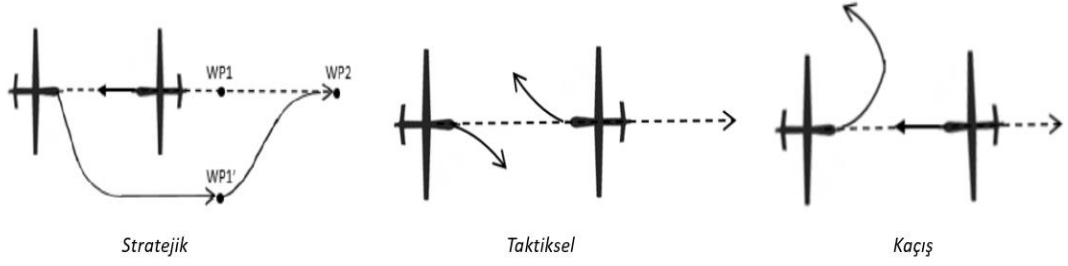


Şekil 3.8 : Çoklu Çakışma Durumu

Çoklu çakışma çözümü için merkezi CDR ve dağıtık CDR sistemlerinin uyguladığı farklı yaklaşımlar vardır. Merkezi CDR sistemlerinin çoklu çakışma çözümü hava aracı sayısı ve çakışmaya karışan hava aracı sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bazı karmaşık çoklu çakışma durumlarında merkezi CDR yaklaşımı ile çözüm üretilemeyebilir. Merkezi yaklaşımda çoklu çakışma çözümü temel olarak iki kategoriye ayrılır. İlk yaklaşımda çoklu çakışma durumundaki çakışmalar önceliklendirilerek sıralı bir şekilde çözülür. İkinci yaklaşımda ise çoklu çakışmaya karışan hava araçlarının yörüngeleri çakışmasız bir yörünge sunacak şekilde eş zamanlı olarak optimize edilerek çoklu çakışma çözümü sağlanır. Eş zamanlı çoklu çakışma çözüm yaklaşımı herhangi bir önceliklendirmeye ihtiyaç duymaz[15].

2.1.7. Çakışmadan Kaçınma Planlamasına Göre Sınıflandırma

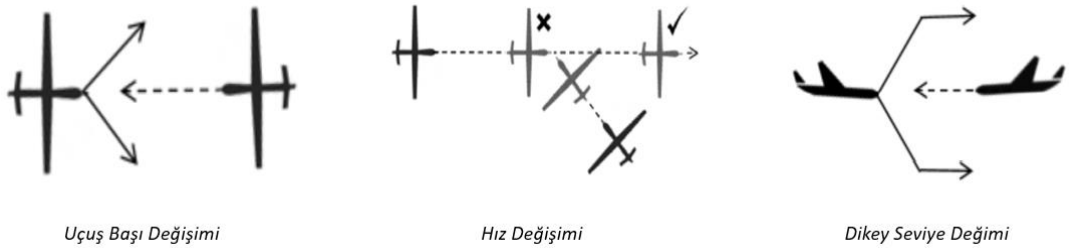
Çakışmadan kaçınma planlanması çakışmanın öngörüleme zamanına ve çakışma çözümünün hava aracının uçuş rotasındaki etkisine göre stratejik, taktiksel ve kaçış manevrası olarak üç gruba ayrılır. Stratejik çakışma çözüm planlaması daha uzun mesafeli aksiyonlar içeren ve uçuş rotası üzerinde önemli değişikliğe neden olan bir çakışma çözüm yöntemidir. Stratejik çakışma çözüm planlaması 20 dakikanın üzerinde bir ayırma kaybı ve çözümü için çakışma çözümü üretir ve daha önceden planlanan uçuş rotasında önemli güncellemelere neden olur. Taktiksel çakışma çözüm manevrası orta mesafeli aksiyonlar içeren ve uçuş planı üzerinde küçük değişikliklere neden olan 3 ile 5 dakikalık çakışma çözüm planlamasıdır. Kaçış manevrası ise çok daha kısa mesafeli aksiyonları içeren ve sadece çakışmadan kaçınmanın düşünüldüğü uçuş planının dikkate alınmadığı bir yöntemdir. Stratejik ve taktiksel planlamada hava araçları arasındaki gerekli ayırmayı sağlayacak güvenli bir çakışma çözümü ve hava aracının uçuş planı, uçuş mesafesi ve yakıt tüketimi gibi hususlar dikkate alınır. Üç yöntemde çakışmayı önlemeyi hedefler. Hava trafik yönetiminde özellikle yer bazlı çakışma önleme sistemleri stratejik ve taktiksel planlamayı hedefler. Hava araçlarında bulunan TCAS gibi çakışma önleme sistemleri ise kısa süreli sadece çakışmayı önlemeyi hedefleyen kaçış planlamasını hedefler. Şekil 3.9' da çakışma çözümü planlamalarına ait görsel bulunmaktadır[15].



Şekil 3.9 : Çakışma Çözüm Planlaması[15]

2.1.8. Çakışma Çözüm Manevrasına Göre Sınıflandırma

Hava araçları gelecekteki bir ayırma kaybından kaçınmak için bazı manevralar uygulayarak asıl yörüngelerini değiştirirler. Çakışmadan kaçınmak için uygulanan manevralar uçuş başı değişimi, yatay hız değişimi, dikey seviye değişimi veya bu manevraların farklı kombinasyonlarını içeren manevraları kapsar. CR yaklaşımlarını çoğu çakışma çözümünde hava araçlarının asıl rotlarından en az sapacakları ve en az sayıda manevra içeren çakışma çözüm yöntemlerine öncelik verirler.



Şekil 3.10 : Çakışma Çözümü Manevra Tipleri[15]

Hava trafik kontrolörleri çakışma çözümlerinde uçuş başı değişimi ile (vektörleme) çakışma çözümünü çokça tercih ettiklerinden dolayı literatürdeki çoğu CDR yaklaşımı uçuş başı değişimi yöntemini kullanır. Literatürdeki CDR çalışmaları kontrolörlerin çakışma çözümü için alacakları kararlarda kontrolörleri iş yükünü azaltacak yaklaşımları kapsar. Literatürdeki çakışma çözüm yaklaşımlarından biride hava aracının önceden tanımlı uçuş planındaki rotasını oluşturulan üç boyutlu uçuş noktalarını değiştirerek çakışma çözümün sağlanmasıdır. Bu yöntem özellikle 4D yörünge tahminleme çalışmalarının gelişim sağlanmasından sonra ortaya çıkan bir yöntemdir. 4D yörünge tahminlemede hava aracını rotasından bulunan 3D uçuş

noktalarına varacağı zamanları da hesaplayarak 4D bir yörünge tahminlemesi yapılmasıdır[20].

Çakışma çözümü manevraları, manevranın hava aracının anlık durumunun ayrık(discrete-state) yada sürekli(contunious-state) olarak ele alınma durumuna göre farklılık gösterebilir. Ayrık durumda hava aracının manevrası hesaplanırken o anki durumunun manevra boyunca değişmeyeceğine göre hesaplanır. Devam eden durumda ise hava aracın manevrası, manevra boyunca çevresel etkenlere göre güncellenir. Teorik olarak literatürdeki çoğu CDR yaklaşımı hava aracının ayrık durumunu baz alarak çakışma çözümü üretir. Hava aracının çakışma durumu ve çözümü hava aracını gözetim verisi ile sağlanan veri güncelleme periyoduyla tekrar değerlendirilir. Gözetim verisi yenilendikçe çakışma tespit ve çözümü tekrar yapılır. Sonuç olarak hava araçlarına ait gözetim verisi her güncellendiğinde hava araçlarının güncellenen ayrık durumlarına göre CDR algoritması çalışır[15].

2.1.9. Engel Tiplerine Göre Sınıflandırma

Literatürdeki CDR yaklaşımlarından bazıları statik engeller ile bazıları dinamik engeller ile bazıları ise hem statik hem de dinamik engeller ile çalışırlar. Hava trafik kontrolünde insanlı hava araçları için yapılan CDR çalışmalarında bir hava aracının etrafındaki diğer trafikler dinamik engel olarak kabul edilir. CDR yaklaşımlarından bazıları binalar, yeryüzü engelleri gibi statik engelleri de dikkate alır. Literatürdeki birçok yaklaşım dinamik engelleri yarı çapı ayırma minimumuna eşit bir çember olarak tanımlar. Statik engeller ise farklı yarıçaplı çemberler ile tanımlanır. CDR yaklaşımları hangi engel tiplerini(statik, dinamik veya her ikisi) dikkate aldığına göre kategorilendirilir[15].

2.1.10. Optimizasyon Yöntemine Göre Sınıflandırma

Hava araçlarına ait çakışma çözümünde CDR yaklaşımlarının birinci önceliği güvenlidir. Çakışma çözümünde hava aracının yörüngesi optimize edilirken üretilen çözüm güvenli ise yani herhangi bir ayırma kaybına ya da çakışmaya neden olmuyorsa, çözüm yörüngesinin asıl planlanan rotadan sapma miktarı ve bu çözümün maliyeti değerlendirilir. Literatürdeki çalışmalarda çakışma çözümünün verimliliği hava aracının uçuş zamanına, asıl uçuş rotasındaki değişikliğe veya yakıt tüketimine

etkisine göre değerlendirilir. Ayrıca çakışma çözümü maliyet fonksiyonu bazı özel misyonlara göre ağırlıklandırılarak bu ağırlıklandırmaya göre verimliliği değerlendirilebilir[15].

Mao ve arkadaşları 2007’de yaptıkları çalışmada[21] çakışma çözümünde uçuş mesafesini minimize edecek çakışma çözümü için hava araçlarının uçuş başlarında yapılan küçük açı değişiklikleriyle sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Uçuş mesafesinin minimize edilmesi direk olarak uçuş zamanını da minimize edeceği belirtilmiştir. Hava aracının yakıt tüketimini hesaplamak için hava aracının modeli, o andaki hızı ve ağırlığı gibi fiziksel özellikleri de dikkate alınması gerektiği vurgulanır. Baroelli ve arkadaşları 2006’da yaptıkları çalışmada[16] fazladan yakıt tüketimine etki eden en büyük çarpanın hız değişimleri olduğunu belirterek yakıt tüketimi hesaplamasını basite indirgemeye çalışmışlardır. Literatürdeki çalışmalar yakıt tüketimi için yapılacak en doğru yaklaşımın Hava aracı performans veritabanını(BADA) kullanmak olduğunu vurgulamışlardır[22-23].

2.2. LİTERATÜRDEKİ CDR ÇALIŞMALARI

Literatürde hava araçları arasındaki çakışma için çakışma çözümü üreten birçok strateji vardır. Bu stratejiler hava araçlarının hız değişimi, dikey seviye değişimi yada uçuş başı değişimi veya bunların farklı kombinasyonlarını içeren manevralara dayanan çakışma çözüm stratejileridir. Özellikle son zamanlarda çakışma çözüm problemi optimal çakışma çözümü üretirken sadece çakışmaya sebep olan çakışma çifti için değil hava sahasındaki tüm hava araçlarını hesaba katarak optimal bir çözüm üreten global optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır[4]. Hava araçları arasındaki çakışma çözümünde ilk global optimizasyon yaklaşımı 2002 yılında Pallottino ve arkadaşları tarafından yapılmıştır[24]. Algoritmalarında özel bir matematiksel model kullanılmıştır. Bu çalışmada Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama yaklaşımı ile biri vektörleme ile diğeri ise hız değişimi ile çözüm üreten iki formül kullanılmış ve toplam uçuş zamanı minimize edilmiştir. Bu modeldeki yörüngelerde karmaşık belirsizlikler dikkate alınmamıştır. Vela ve arkadaşları 2009’da hız değişim yönteminde rüzgar belirsizliğini de hesaba katan bir stokastik optimizasyon yaklaşımı ile çakışma çözümü problemini ele almışlardır[25]. Vela ve arkadaşları 2010 yılındaki çalışmalarında yakıt tüketimini minimize eden, hız değişimi ve seviye atama

yöntemleri kullanılarak optimal çakışma çözümü üretmeye çalışmışlardır[26]. Alonso-Ayuso ve arkadaşları 2011 ve 2014 yılında yaptıkları çalışmalarda Çoklu Amaç Optimizasyon Yöntemi ile uçuş rotasındaki sapmayı toplam manevra sayısı ile dengelemeye çalışan, yaklaşım olarak Pallotino ve arkadaşlarının 2002' de yaptıkları çalışmalara dayanan bir yöntem kullanmışlardır[27]. Omer ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları çalışmada[28] karmaşık tamsayılı bir model kullanarak yakıt tüketimini ve çakışma çözümü sonrası hava aracının orijinal yörüngesine tekrar dönme zamanını minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışmada çakışma çözümü için hava aracının uçuş başı değiştirildikten sonra orijinal yörüngesine tekrar dönebilmesini sağlayan bir model kullanmışlardır. 2016 yılında yapılan diğer bir çalışmada Lehouiller ve arkadaşları problemi bir graf modeli ile ele almışlardır. Problemdaki kısıtlar ikili kısıtlama(Binary constraint) yöntemi ile ifade edilmiştir[29].

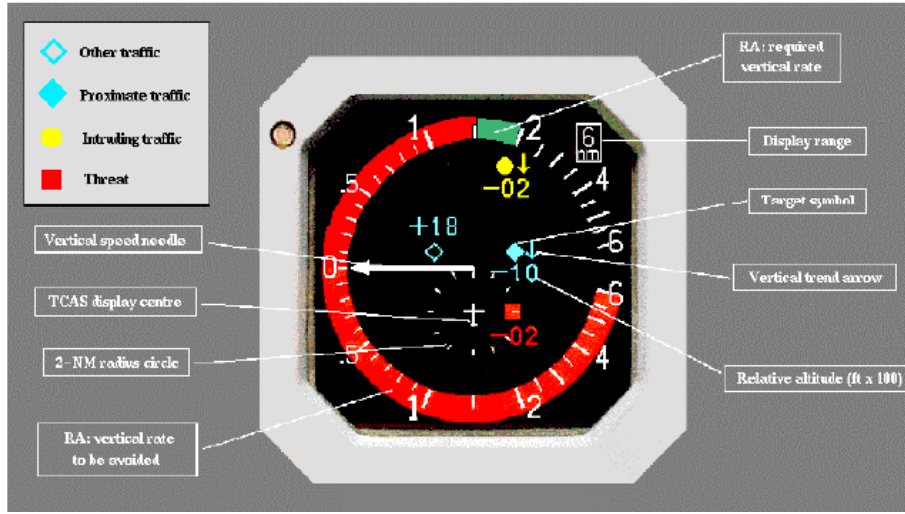
Klasik kesin algoritmalar ve yaklaşımların problemdeki karmaşıklığın(hava aracı sayısı, çoklu çakışma durumu, ekstra kısıtlar, vs.) artması durumunda çakışma çözümü hesaplama süreleri yetersiz olarak görüldüğünden sezgisel, hibrit ve evrimsel algoritmalar ve yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler ile çakışmaya çözümüne ait hesaplama ve optimizasyon zamanı azaltılmaya çalışılmıştır. Alonso ve arkadaşları Değişken Komşu Araması(VNS) metasezgisel bir yaklaşımını[17], Liu ve arkadaşları hibrit Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması(ACO) ve literatürde yol planlamada sıkça kullanılan Yapay Potansiyel Alan(APF) yaklaşımını[18], Sathyan ve arkadaşları Genetik Algoritmalar ve Bulanık Mantık yaklaşımını[19] kullanarak çakışma çözüm problemini ele almışlardır.

2018 yılında Zekun ve arkadaşları çakışma geometrisine dayalı model tabanlı bir optimizasyon algoritması ile problemi ele almışlardır. Problemden çakışma geometrisi çakışma çözümü için en önemli etken olarak değerlendirilmiştir. Hava araçlarının o anki yatay hızlarını sabit kalacağını kabul edip minimum manevra ile çakışmanın geometrik olarak çözümünü hedeflemişlerdir[30]. Eulalia ve arkadaşları 2019 yılında yaptıkları çalışmada çakışma tespiti ve çözümü için olasılığa dayalı bir yöntem kullanmışlardır. Rüzgar belirsizliğini de olasılıksal olarak hesaba katarak bir öngörüleme yapmışlardır. Çakışma Tespitinde Olasılıksal Dönüşüm Yöntemi(PTM) ile hava araçları arasındaki çakışma olasılıklarını hesaplamışlardır. Çakışma

çözümünde de yine hava araçları arasındaki çakışma olasılığına göre hava araçlarının orijinal rotalarından sapmayı minimize edecek bir optimizasyon yöntemi kullanmışlardır[31]. Duch-Thanh ve arkadaşları 2019 yılında yaptıkları çalışmada takviyeli öğrenme yöntemi kullanarak bir model geliştirmişlerdir.[37] Model dinamik ortamdaki belirsizlikleri de dikkate alarak yoğun trafiğe sahip bu çakışma senaryoları için %81 oranında bir başarı ile çözüm üretebilmiştir. Phu N. Ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları çalışmada[38] yine takviyeli öğrenme yöntemini kullanmışlardır. Yöntem sonucunda üretilen çözümler ATC 'ler tarafından değerlendirilmiş ve %65' lik bir başarı sağlamıştır.

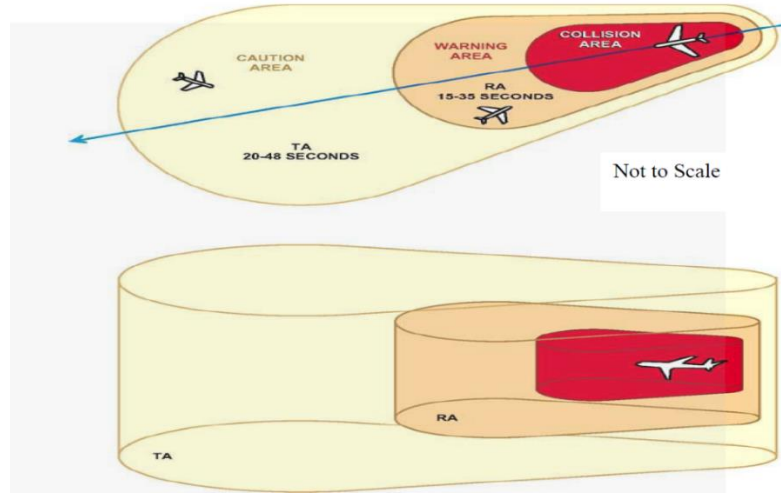
Havacılık otoriteleri tarafından standartlaştırılmış ve operasyonel olarak yaygın olarak kullanılan bazı çakışma tespit sistemleri bulunmaktadır. Bu çakışma tespit yöntemleri yer sistemleri ve hava araçlarında kullanılan sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Yer sistemlerinde EUROCONTROL standartlarına uygun olarak STCA ve MTCD çakışma tespit sistemleri bulunurken hava araçlarında ise FAA tarafından standartlaştırılmış TCAS sistemi kullanılır.

TCAS hava araçları arasında yaşanabilecek çarpışma riskini azaltmak için geliştirilen bir hava çarpışma önleme sistemidir. Literatürde ve uluslararası alanda bu sistem Hava Araçları Çarpışma Önleme Sistemi(ACAS) olarak adlandırılır. TCAS ATC sistemlerinden bağımsız olarak hava aracında bulunan bir ekipmandır. TCAS sisteminin Trafik Uyarısı(TA) ve Çakışma Çözüm Tavsiyesi(RA) olmak üzere temel iki fonksiyonu vardır. TCAS TA pilotu potansiyel olarak çarpışma riski oluşturabilecek hava araçlarına karşı görsel bir uyarı ile uyarır. Şekil 3.11' deki görselde TA uyarısının pilota sunuldu görsel bulunmaktadır.



Şekil 3.11: TCAS TA Uyarısı[32]

Çarpışma Riski oluşturabilecek bir hava aracı TCAS için uyarı bölgesinde tespit edilmesi durumunda bu trafik pilota görsel uyarı olarak sunulur. Riskli trafik tespitinde riskli hava aracının TCAS sahip hava aracına olan mesafesi, hızı ve hızının gerçek kuzeye göre yön bilgilerini kullanarak TCAS sahip hava aracının koruma bölgesini ihlal etme durumu zaman bazlı olarak kontrol edilir. Şekil 3.12 'deki görsel TCAS koruma bölgesine aittir.

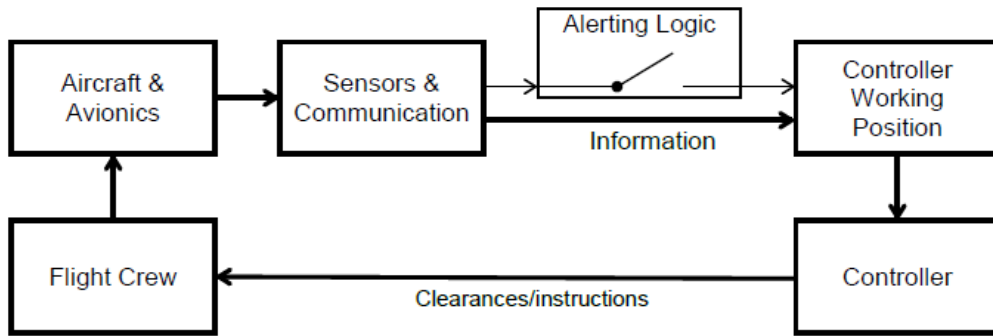


Şekil 3.12 : TCAS Koruma Bölgesi[32]

TCAS RA uyarısı ile pilota çarpışmadan kaçınabileceği dikey manevra tavsiyesi verilir. Çarpışmayı önleyecek gerekli dikey ayırmayı sağlayacak RA uyarısı ile pilot tırmanma, alçalma ya da dikey hızını koruma gibi aksiyonları alır. TCAS çarpışma zamanı hesaplamalarını CPA noktasına göre yapar. Potansiyel çarpışma riski

oluşturan hava araçları arasındaki yatay düzlemdeki ve dikeydeki çarpışma zamanları CPA yaklaşımı ile hesaplanır. TCAS TA uyarısını Şekil 3.12’ deki görselde de görüldüğü gibi potansiyel çarpışma durumundan 20-48 saniye öncesinde ve RA uyarısını Şekil 3.12’ deki görselde de görüldüğü gibi potansiyel çarpışmadan 15-35 saniye öncesinde verir[32].

Çakışma tespitinde yer sistemine örnek olarak STCA verilebilir. STCA kontrolörlerin hava araçları arasında yaşanabilecek potansiyel ayırma kayıpları sonucu oluşabilecek çakışmaları tespit ederek çakışmayı kontrolöre sesli ve görsel bir ikaz olarak sunan hava trafik yönetim alt sistemidir. STCA hava araçları arasındaki potansiyel bir çakışmayı belirli bir öngörüleme zamanı ile önceden çakışmaya neden olan ayırma kaybına kalan süre ile birlikte tespit eder[13]. STCA hava araçlarının hız, yön ve üç boyutlu pozisyon bilgilerini kullanarak hava araçlarına ait ileri zamanlı lineer olarak hesaplanan tahmini yakınlıklarına göre ikaz üreten hava trafik yönetim sistem döngüsündeki bağımsız bir uyarı mekanizmasıdır. Şekil 3.13’ de görüldüğü gibi STCA ikaz üretimi hava aracından gelen hız, yön ve pozisyon gibi gözetim sensör verilerini kullanarak kontrolöre durumsal bir farkındalık sağlar. Kontrolör STCA sistemi sayesinde hava araçları arasında tahminlenen çakışmalar için uçuş ekibini(pilotu) uyarır ve çakışmayı uçuş ekibine çakışmayı önleyici talimatlar verir. [13].



Şekil 3.13 : ATC Kontrol Döngüsü ve STCA[7]

STCA hava araçları arasındaki çakışmayı tespit etmek için kullanılır, ancak kontrolörün çakışma çözümü için alacağı kararda bir öneri sunmaz. Sadece uçuş emniyetini artırır. Karar Destek araçları ise kontrolörün alacağı karara etki edebilecek öneriler ile uçuş emniyeti seviyesiyle birlikte hava sahası kullanımını daha verimli hale getirerek hava sahası kapasitesini olumlu yönde etkilerler[7].

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. PROBLEMİN TANIMI

Bu tez çalışmasının amacı çakışma durumunda ATC'lere optimal çakışma çözümünün üretilmesi olduğundan CDR problemi hava trafik yönetimi açısından değerlendirilmiştir. CDR problemi uçuş güvenliği dikkate alınarak hava araçlarının asıl rotalarından sapma miktarını ve kontrolör iş yükünü minimize edecek bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Problem çakışma tespiti ve çakışma çözümü şeklinde iki alt problem olarak düşünülmüştür. CDR probleminde ilk olarak hava araçları arasındaki potansiyel bir ayırma kaybından kaynaklanan çakışma durumunun doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. İkinci aşama ise tespit edilen çakışma için optimum ve global çakışma çözümü üretilmesidir.

3.1. ÇAKIŞMA TESPİT PROBLEMİ

Çakışma tespit problemi hava araçları arasındaki gelecekteki bir ayırma kaybının ön tanımlı bir öngörüleme zamanına göre önceden tespit edilmesidir. Çakışma tespiti hava trafik kontrolörlerinin en karmaşık görevlerinden biridir[[Url-8](#)].

3.1.1. Yörünge Tahminleme ve Ayırma Kaybı Tespiti

Çakışma tespit probleminin ilk aşamasında hava araçlarının ileri zamanlı yörüngeleri üç boyutlu olarak tahminlenir. Yörünge tahminleme bölüm 3.1.2' deki durum bazlı veya amaca dayalı olarak iki farklı strateji ile yapılır. Yörünge tahminlemede rüzgar, olumsuz hava koşulları gibi belirsizlikler bölüm 3.2.2' deki yörünge tahminle varsayım yaklaşımlarına göre tahminleme dahil edilme durumu değişir.

Çakışma tespit probleminin ikinci aşamasında ise hava araçlarının tahminlenen yörüngelerine ait pozisyonları arasındaki yatay ve dikey mesafeler hesaplanır. Herhangi iki hava aracı için tahminlenen yörüngeleri arasındaki hem yatay hem de dikey mesafe ayırma minimumlarının altına düştüğü zaman için çakışma tespit edilir. Bir çakışma durumu için hava araçları arasındaki çakışmaya kalan zamanın hesaplanması gerekir. Çakışma tespitini hava araçlarının tahminlenen yörüngeleri arasındaki mesafe belirli bir zaman aralığı ile(Örneğin 1 saniye) adım adım

karşılaştırılarak veya aritmetik denklemler kullanılarak farklı çakışma tespit algoritmaları kullanılabilir[13].

3.2. ÇAKIŞMA ÇÖZÜM PROBLEMİ

Bu tez çalışmasında çakışma çözüm problemi hava araçları arasında tespit edilen bir çakışma için uçuş güvenlik kısıtları dikkate alınarak hava araçlarının yapacağı manevra sayısını, asıl rotalarından sapma miktarlarını ve kontrolör iş yükünü minimize eden *global* bir çakışma çözümünün üretilmesi olarak ele alınmıştır. Bu bölümde çakışma çözümünde hedeflenen amaç ve probleme ait güvenlik kısıtları detaylıca ele alınmıştır.

3.2.1. Güvenlik Kısıtları

Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonuna(ICAO) göre hava trafik kontrolörlerinin en önemli görevleri uçuş emniyetini sağlayacak şekilde düzenli ve hızlı bir hava trafik akışı sağlamaktır[5]. Hava trafik yönetiminde uçuş güvenliği herşeyden önce gelir. Bu tez çalışmasının amacı çakışma durumunda ATC' lere güvenlik kısıtlarını dikkate alarak optimum bir çakışma çözümünün üretilmesidir. Bu bölüm hava trafik kontrolünde uçuş emniyetini sağlamak için dikkat edilmesi gereken probleme ait güvenlik kısıtlarını kapsamaktadır.

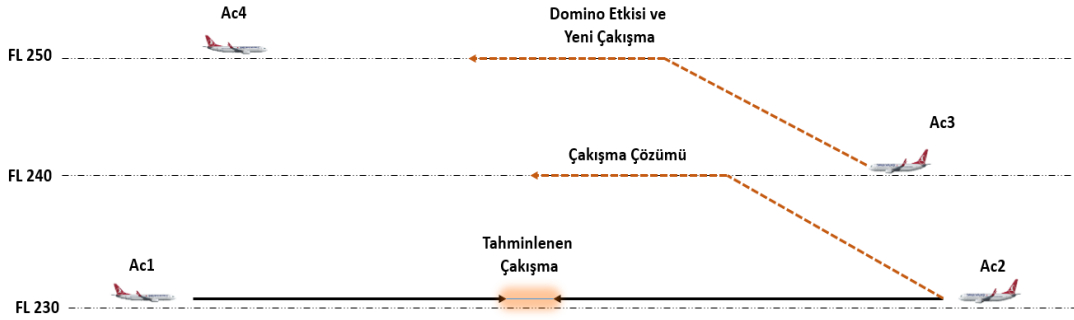
3.2.1.1. Ayırma Kaybının Önlenmesi

Tespit edilen bir çakışmaya ait üretilen çakışma çözümünün sağlaması gereken ilk kısıt üretilen çakışma çözümünün çakışmaya konu olan hava araçları arasındaki minimum güvenli ayırma limitlerini en kısa sürede tekrardan sağlanmasıdır. CDR yaklaşımı hava araçları arasında ayırma minimumlarına göre tespit edilen çakışma için bir çözüm önerisi üretmeli ve üretilen bu çözüm önerisi uygulandıktan kısa bir süre sonra çakışmaya neden olan hava araçlarının tahminlenen yakınlıkları çakışma tespitinde kullanılan yatay ve dikey ayırma limitlerinin tekrar üzerine çıkarak çakışmayı çözmelidir.

3.2.1.2. Yeni Çakışmaların ve Domino Etkisinin Önlenmesi

Hava araçları arasında tespit edilen bir çakışma için üretilen çakışma çözüm önerisi yeni bir çakışmaya neden olmamalıdır. Hava araçlarına ait bir çakışma çözümü

için uygulanan talimat çakışmaya karışan hava araçları arasındaki çakışmayı çözerken hava trafik ağındaki başka bir hava aracıyla yeni bir çakışmaya neden olabilir. Hava trafik ağındaki yeni oluşan bu çakışma çözümü için verilecek manevra talimatı da başka bir hava aracı ile yeni bir çakışmaya neden olabilir ve bu durum hava trafik ağında bir *domino etkisi* yaratabilir[10].



Şekil 4.1 : Çakışma Çözümü ve Domino Etkisi

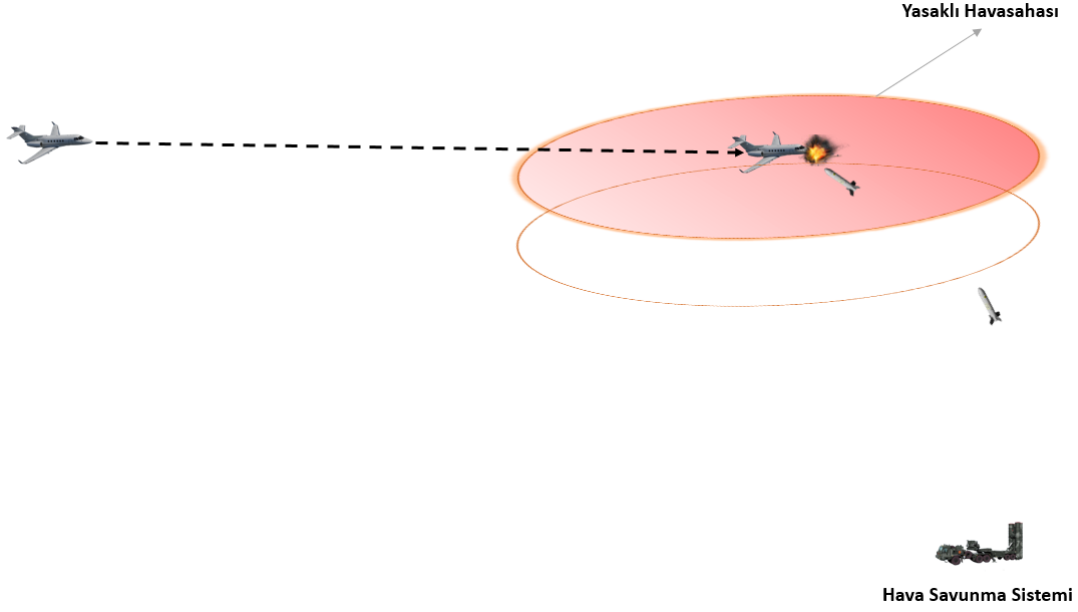
Şekil 4.1’ de hava araçları arasında tespit edilen bir çakışmaya ait uygulanan yanlış bir çakışma çözümünün hava trafik ağında oluşturduğu domino etkisi görsel olarak sunulmuştur. Görsel Ac1, Ac2, Ac3 ve Ac4 olmak üzere 4 hava aracı bulunmaktadır. Ac1 ve Ac2 230 FL’ de uçmakta ve bu hava araçları arasında bir çakışma tespit edilmektedir. Ac1 ve Ac2 hava araçları arasındaki çakışma çözümü de Ac2 hava aracı için FL 240’ a tırmanma talimatı verilmiştir. Bu talimat sonrası Ac2 tırmanmaya başlamıştır. Verilen bu talimat Ac1 ve Ac2 arasındaki çakışmayı 1000 feet’ lik bir dikey ayırma limiti için çözecektir. Ancak uygulanan bu çakışma çözümü FL 240’ da uçan Ac3 hava aracı ile yeni bir çakışmaya neden olacaktır. Ac3 ve Ac2 arasında oluşan bu çakışma çözümü için Ac3 hava aracının dikeyde tırmanmaktan başka seçeneği olmadığından Ac3 hava aracına tırmanma talimatı verilerek oluşan bu yeni çakışma çözülmeye çalışılmıştır. Ancak Ac3 hava aracının FL 240’ dan FL 250’ a tırmanması Ac4 hava aracı ile yeni bir çakışmaya neden olacaktır. Çakışma çözümü için uygulanan çözüm manevrasının hava trafik ağındaki diğer hava araçları için çakışmaları tetikleme durumu literatürde domino etkisi olarak adlandırılır. Çakışma çözüm probleminde tespit edilen bir çakışma için üretilen bir çakışma çözümü domino etkisi yaratmamalıdır.

3.2.1.3. Yasaklı ve Kısıtlı Alan İhlalinin Önlenmesi

Hava araçlarının bazı hava sahası alanlarına girmeleri tamamen yasaklanabilir ya da kısıtlanabilir. Hava araçlarının girmesinin yasaklandığı veya kısıtlandığı hava sahaları hava trafik kontrol literatüründe ve havacılıkta yasaklı veya kısıtlı hava sahası olarak adlandırılır. ICAO tanımlarına göre yasaklı hava sahası, bir devletin kara sahası veya karasuları üzerinde, içinde hava taşıtlarının uçuşunun yasak olduğu, boyutları tanımlanmış bir hava sahası olarak ifade edilir. Kısıtlı alan ise ICAO tanımlamasında, bir Devletin kara alanlarının veya karasularının üzerinde, içinde hava taşıtlarının uçuşunun belirli koşullara göre sınırlandırıldığı, boyutları tanımlanmış bir hava sahası olarak ifade edilir[33].

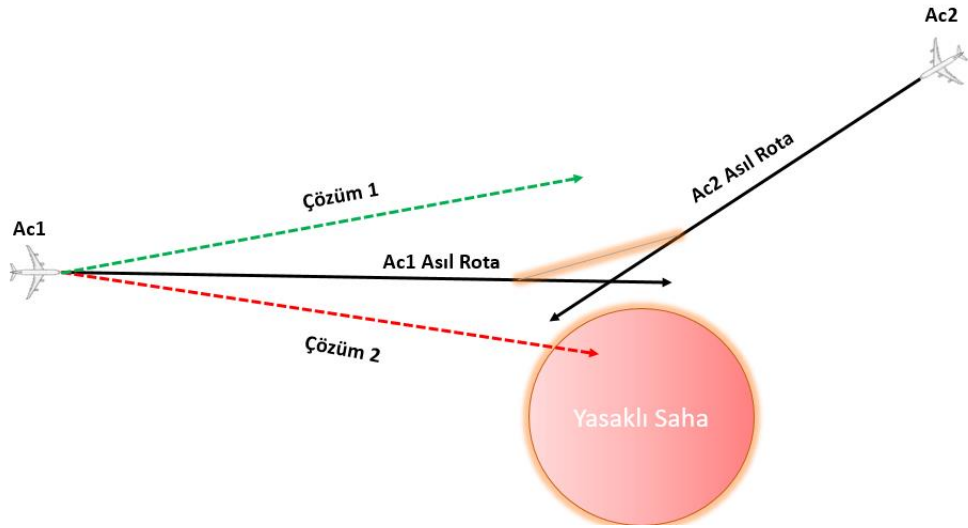
Yasaklı ve kısıtlı hava sahaları farklı amaçlar için tanımlanmış olabilirler. Örneğin, güdümlü füze denemesi, askeri eğitim uçuşu, askeri yakıt ikmal bölgesi, hava savunma sistemleri denemeleri gibi nedenlerden dolayı hava sahasının belirli bir hacmi uçuşa tamamen kapalı ya da belirli zaman aralıkları için uçuşa kapalı olabilir. Yasaklanan ve kısıtlanan hava sahalarına ait bilgiler uçuş emniyetini tehlikeye atmamak için ilgili otoriteler tarafından tüm havacılık paydaşları ile farklı yollar ile paylaşılır. Havacılık alanındaki tüm paydaşlar bu yasaklı ve kısıtlı hava sahaları için bilgilendirilirler. Bilgilendirme yolu farklı olabilir. Bu yasaklı ve kısıtlı hava sahaları hava trafik kontrolünde bazen bir NOTAM(Havacılık Duyurusu) olarak paylaşılır.

Bu yasaklı ve kısıtlı hava sahalarına girmesi istenmeyen hava araçları tarafından bu yasaklı veya kısıtlı hava sahalarının ihlal edilmesi uçuş emniyetini çok büyük ölçüde tehlikeye atar. Yaklaşık 200' den fazla yolcuya sahip bir yolcu uçağının hava savunma sistemlerinin denendiği bir hava sahasına girdiğinde oluşabilecek tehlikeli durumun çok ciddi sonuçları olabilir. Şekilde 4.2' de yasaklı bir alan ihlali görsel olarak verilmiştir.



Şekil 4.2 : Yasaklı Alan İhlali

Hava araçlarına ait çakışma çözümü için üretilen çakışma çözüm manevrası herhangi bir yasaklı veya kısıtlı hava sahasını ihlal etmemelidir. Çakışma çözümüne ait tahminlenen yörüngenin herhangi bir yasaklı veya kısıtlı hava sahası hacmini ihlal etme durumu kontrol edilmelidir. Şekil 4.3’de hava araçları arasındaki bir çakışma çözümü için üretilen iki çözüm manevrası görselleştirilmiştir. Şekil 4.3’ deki Çözüm 2 manevrası hava araçları arasındaki çakışmayı çözmekte ancak bu manevra sonucu Ac1 hava aracının izleyeceği yörünge yasaklı alanı ihlal etmektedir.



Şekil 4.3 : Yasaklı Alan İhlali İçeren Çakışma Çözümü

Hava araçları arasındaki çakışma çözümümde üretilen çözümüm herhangi bir yasaklı alanı ihlal etme durumu kesinlikle önlenmelidir. Yasaklı alan ihlali çakışma çözüm problemindeki en önemli kısıtlardan birini oluşturur. Yasaklı ve kısıtlı alanlar bu tez çalışmasındaki çakışma çözüm probleminde statik bir engel olarak ele alınmıştır.

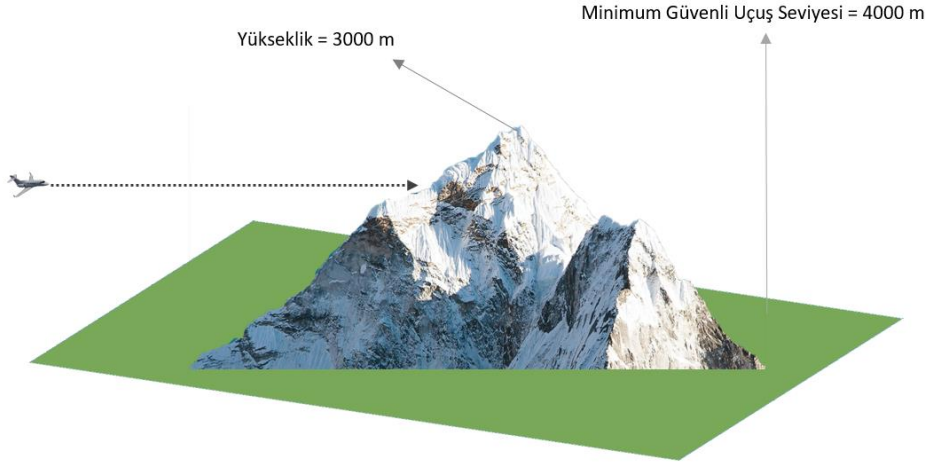
3.2.1.4. Minimum Güvenli Uçuş İrtifası Kısıtı

Minimum Güvenli Uçuş İrtifası(MGUI), çeşitli durumlarda arazi veya engellerin varlığı nedeniyle altında uçmanın güvensiz olduğu bir irtifayı belirtmek için kullanılan genel bir ifadedir. Minimum irtifalar, belirli bir alandaki en yüksek arazi ve olması durumunda engelle ilişkili olarak hesaplanır. Bu hesaplamadaki hata dikkate alınarak bu irtifaya belirli bir marj eklenir[[Url-16](#)].

Hava araçlarının o anki veya tahminlenen ileri zamanlı pozisyonlarının belirlenen bir alan için tanımlanmış minimum güvenli irtifa limitinin altında olması bu hava aracının bir yükseltiye yada engele çarpabileceği anlamına gelmektedir. Minimum güvenli uçuş irtifası hava araçlarının dağ gibi arazi yükselteleri veya insan yapımı(binalar, radyo kuleleri, vs.) yada doğal engeller(ağaçlar, vs.) ile oluşabilecek bir çarpmasını önlemek için kullanılır.

Çoğu durumda araziye ve engelleri modellemek için çokgen hacimler kullanılır. Minimum Güvenli Uçuş İrtifa Alanları(MGUIA), engellerin (örn. kuleler, radyo direkleri) çokgen hacmi veya tanımlı bir yükseklik sınırı olan silindirler olarak belirtilmesine izin verebilir[[35](#)].

Hava araçlarının herhangi bir yeryüzü veya insan yapımı engeli ile çakışmasının önlenmesi uçuş emniyeti açısından çok kritiktir. Çakışma tespiti yapılmış bir hava aracı çifti için üretilen çakışma çözüm aksiyonu Minimum Güvenli Uçuş İrtifası' nı ihlal etmemelidir. Bu kısıt çakışma çözüm problemi için uçuş emniyetini etkileyen en önemli güvenlik kısıtlarından biridir. Şekil 4.4' de MGUIA alanı ve bu alan için bir minimum güvenli uçuş irtifası ihlali görselleştirilmiştir.



Şekil 4.4 : Minimum Güvenli Uçuş Yüksekliği İhlali

3.2.2. Problemin Amacı

Problemin amacı hava araçları arasında tespit edilen kısa vadeli bir çakışma için güvenlik kısıtlarını sağlayan, dikey seviye değişimi ve vektörleme yöntemlerini kullanarak taktiksel bir kaçış planlaması(bölüm 3.1.7’de detaylıca açıklanmıştır) içeren optimum ve global bir çakışma çözümünün üretilmesidir.

Literatürdeki çalışmalar ve güncel hava trafik yönetim sistemleri araştırıldığı zaman bölüm 3.1.10 ‘da belirtildiği gibi hava araçlarına ait çakışma çözümünde CDR yaklaşımlarının birinci önceliği güvenlidir. Çakışma çözüm probleminde güvenlik ve operasyonel kısıtlar sağlandıktan sonra çakışma çözümünde hava aracının yörüngesi optimize edilir. Çakışma çözümü optimize edilirken üretilen çözüm güvenli ise çözüm yörüngesinin asıl planlanan rotadan sapma miktarı ve bu çözümün maliyeti değerlendirilir. Literatürdeki çalışmalarda çakışma çözümünün verimliliği veya maliyeti hava aracının uçuş zamanına, asıl uçuş rotasındaki değişikliğe veya yakıt tüketimine etkisine göre değerlendirilir. Çakışma çözüm probleminin amacı bu sapma miktarı ve çözüm maliyetinin minimize edilmesidir. Bu tez çalışmasında çakışma çözüm probleminin amacı belirli kısıtlar altında(bölüm 4.2.1 ve 4.2.2’ de detaylıca açıklanmıştır) çakışma çözümünde hava araçlarının hava araçlarının yapacağı manevra sayısını, asıl rotalarından sapma miktarlarını ve kontrolör iş yükünü minimize edecek çakışma çözüm önerisinin üretilmesidir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. METODOLOJİ

Bu tez çalışmasında çakışma çözüm problemi hava araçları arasında tespit edilen bir çakışma için uçuş güvenlik kısıtları dikkate alınarak hava araçlarının yapacağı manevra sayısını, asıl rotalarından sapma miktarlarını ve kontrolör iş yükünü minimize eden global bir çakışma çözümünün hesaplanması olarak ele alınmıştır. Bu bölümde, problemin çözümünde kullanılan hava aracı veri modeli, hava aracına ait pozisyon tahminleme metodolojisi, çakışma tespit metodolojisi ve çakışma çözüm metodolojileri ele alınmıştır.

4.1. HAVA ARACI VERİ MODELİ

Bu tez çalışmasında hava aracına ait pozisyon tahminlemelerinde, çakışma tespiti ve çözümünde kullanılan hava aracı veri modeli, hava aracının anlık durum değişkenleri kümesinden oluşur. Hava trafik kontrolünde hava aracına ait anlık durum değişkenlerini oluşturan veriler gözetim verileri ve uçuş planı bilgileri olmak üzere temel iki kaynaktan alınarak oluşturulur. Bu tez çalışmasında kullanılan hava aracı durum değişkenlerine ait veriler hava aracı gözetim sistemleri tarafından sağlanan verilerdir. Bir hava aracının anlık durumunu ifade etmek için kullanılan durum değişkenleri aşağıdaki gibidir:

P_{geo} : Hava aracının enlem ve boylam bilgilerini içeren jeodezik pozisyonu

P_{car} : Hava aracının bir referans noktasına göre kartezyen pozisyonu(x,y)

S_a : Hava aracına ait irtifa bilgisi

S_{gs} : Hava aracının yere göre hızı

S_{vs} : Hava aracının dikey hızı

S_{ta} : Hava aracının gerçek kuzeye göre uçuş yönü

S_{sfl} : Hava aracına ATC tarafından atanmış ve uçuş ekibi tarafından uygulanan uçuş seviyesi

S_{bsfl} : Hava aracına ATC tarafından atanmış bir uçuş seviyesi olup olmadığı bilgisi

Yukarıdaki durum değişkenlerinden oluşan değişkenler kümesi bir hava aracının anlık durumunu $A = (P_{geo}, P_{car}, S_a, S_{gs}, S_{vs}, S_{ta}, S_{sfl}, S_{bsfl})$ ifade eder. Hava aracının anlık

yatay pozisyonunu ifade eden P_{geo} ve P_{car} durum değişkenleri alt durum değişkenlerinden oluşmaktadır.

Tez çalışmasının bu bölümünden itibaren hava araçların anlık durumunu ifade eden veri modeli $A = (P_{geo}, P_{car}, S_a, S_{gs}, S_{vs}, S_{ta}, S_{sfl}, S_{bsfl})$, durum değişkenleri kümesini kapsamaktadır. Hava trafik kontrol sistemleri gözetim verisi olarak merkezi ve bağımlı gözetim türündeki gözetim verileri ile çalışmaktadır. Bu çalışmada da hava aracının anlık durum değişkenlerini ifade eden veriler merkezi ve bağımlı gözetim verisi türündendir. Merkezi ve bağımlı gözetim türü bölüm 3.1.1' de detaylıca açıklanmıştır.

4.2. HAVA ARACI YÖRÜNGE TAHMİNLEME METODOLOJİSİ

Hava trafik kontrolünde çakışma tespitinde ve çözümünde hava aracının belirli bir öngörüleme zaman parametresine bağılı olarak ileri zamanlı tahminlenen pozisyonları kullanılır. Hava araçlarının ileri zamanlı pozisyonlarının tahminlemesi yörünge tahminleme olarak adlandırılır. Literatürde yapılan çalışmalarda hava aracının ileri bir zamandaki yörüngesi ya da tahminlenen pozisyonu güncel durum bilgilerine veya ileri bir zamandaki bilinen bir davranışına göre ele alınır. Güncel duruma dayalı(state-based) yörünge tahminlemede hava aracının o anki pozisyonu ve hız vektörü dikkate alınarak belirli bir öngörüleme süresi için hava aracının doğrusal bir yörüngesi tahminlenir. Amaca dayalı(intent-based) yörünge tahminlemede ise hava aracının güncel durumuna ek olarak ileri bir zamanda geçmesi gereken pozisyonlarda gözetilerek hava aracının dönüş ve uçuş başı değişikliklerini de içeren rotası tahminlenir[15].

Bu tez çalışmasında hava araçları arasındaki kısa vadeli çakışma tespiti ve çözümü amaçlandığından güncel duruma dayalı bir yörünge tahminleme metodolojisi kullanılmıştır. Güncel duruma dayalı çakışma çözümü amaca dayalı çakışma çözümüne göre daha basit ve hızlıdır. Amaca dayalı yörünge tahminleme hava aracının uçuş planında yer alan hava aracının geçeceği planlanan pozisyonları da kullanarak bir hesaplama yapar. Bu hesaplama amaca dayalı yörünge tahminlemeyi daha karmaşık hale getirir. Kısa vadeli çakışma tespit ve çözümleri için güncel duruma dayalı yörünge

tahminleme daha uygun olduğundan bu çalışmada yapılacak olan yörünge tahminleme metodolojisi güncel duruma dayalı yörünge tahminlemedir.

4.2.1. Jeodezik Pozisyon Tahminleme Fonksiyonu

Jeodezik pozisyon tahminleme fonksiyonu bir enlem ve boylamdan oluşan başlangıç noktasından, verilen belirli bir mesafe ve açıdaki(gerçek kuzeye göre) bir hedef jeodezik pozisyonun enlem ve boylam değerlerinin hesaplanmasında kullanılır. Hesaplamalar Denklem 5.1[[Url-14](#)] ile yapılabilmektedir.

$$\varphi_1 = \text{başlangıç jeodezik pozisyonu enlem bilgisi} \quad (5.1)$$

$$\lambda_1 = \text{başlangıç jeodezik pozisyonu boylam bilgisi}$$

$$\varphi_2 = \text{hedef jeodezik pozisyon enlem bilgisi}$$

$$\lambda_2 = \text{hedef jeodezik pozisyon boylam bilgisi}$$

$$\theta = \text{kuzeyden saat yönündeki açı}$$

$$R = \text{Dünya'nın yarı çapı bilgisi}$$

$$D = \text{verilen mesafe}$$

$$\delta = \text{açısal mesafe}$$

$$\delta = D/R$$

$$\varphi_2 = \text{asin}(\sin\varphi_1 \cdot \cos\delta + \cos\varphi_1 \cdot \sin\delta \cdot \cos\theta)$$

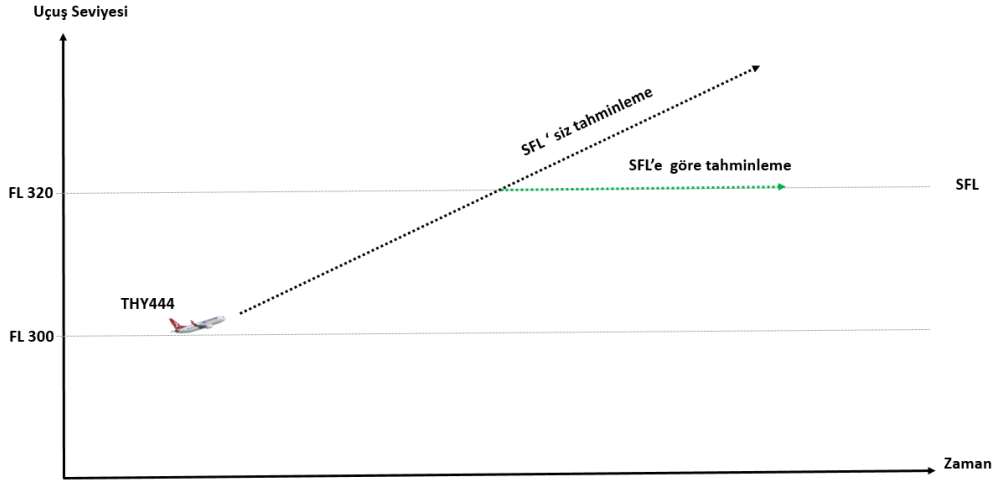
$$\lambda_2 = \text{atan2}(\sin\theta \cdot \sin\delta \cdot \cos\varphi_1, \cos\delta - \sin\varphi_1 \cdot \sin\varphi_2)$$

4.2.2. Güncel Duruma Dayalı Doğrusal Yörünge Tahminleme Algoritması(GDDDT)

Güncel duruma dayalı yörünge tahminlemede hava aracının anlık durum değişkenleri kullanılarak belirli bir öngörüleme zamanına göre ileri zamanlı üç boyutlu pozisyonlardan(Enlem, Boylam, İrtifa) oluşan doğrusal yörüngesi tahminlenir. Algoritma hava aracının o anki pozisyonundan başlayarak ($t = 0$) öngörüleme zamanına kadar(öngörüleme zamanı 120 saniye ise $t = 120$) hava aracının her bir saniyedeki üç boyutlu pozisyonunu hesaplar.

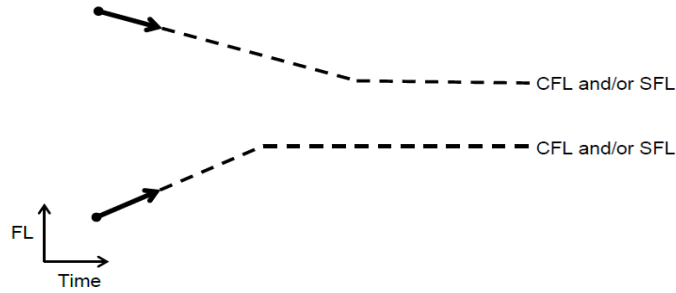
GDDDT algoritması hava aracının her bir t ' ninci saniyesi için hem yatay düzlemdeki jeodezik pozisyonunu hem de irtifasını hesaplar. Hava trafik kontrol

sistemlerinde güncel duruma dayalı tahminlemelerde hava araçlarına atanan uçuş seviyesi(SFL) dikkate alınarak bir tahminleme yapılır. SFL değeri kontrolör tarafından uçuş ekibine bildirilen ve uçuş ekibi tarafından uygulanan uçuş seviyesini ifade eder. Hava aracı kontrolör tarafından atanan bu uçuş seviyesine eriştikten sonra dikey düzlemde bu seviyeyi koruyarak uçuşunu sürdürür. Özellikle STCA sistemleri hava araçları arasında çakışma tespiti yaparken, gereksiz ve yanlış çakışma tespitlerinden kaçınmak için hava aracına atanmış SFL değerini dikkate alır. Hava aracına ait dikey tahminleme yapılırken SFL değerini dikkate alarak bir tahminleme yapılır[13]. Şekil 5.1’ de SFL dikkate alındığı ve alınmadığı iki farklı senaryoya ait dikey tahminleme bulunmaktadır.



Şekil 5.1 : SFL' e Göre Dikey Tahminleme

Dikey tahminlemede SFL değerinin dikkate alınmaması durumunda hava araçları arasında gereksiz ve yanlış çakışmalar tespit edilebilir. Şekil 5.2’ de SFL dikkate alarak yapılan tahminlemenin gereksiz bir ikazı nasıl önlediği görülmektedir.



Şekil 5.2 : SFL' e Göre Dikey Tahminleme ile Gereksiz İkazın Önlenmesi[13]

Aşağıda GDDDT algoritmasına ait adımlar yer almaktadır.

```
1 tahminlenen3DPozisyonListesi [] // yörüngeye ait tahminlenen pozisyonların ekleneceği liste
2 A = ( Pgeo, Pcar, Sa, Sgs, Svs, Sta, Ssfl, Sbsfl)
3 öngörülemeZamanParametresi= 240 // saniye
4 tzaman = 0
5 tSFLzamanı = 0 // hava aracının atanmış uçuş seviyesine ne zaman erişeceği
6 Eğer Sbsfl = Evet ise:
7 | tSFLzamanı = SFLZamanıHesapla( A ) // A hava aracının SFL' e erişme zamanını hesaplar
8 tzaman < öngörülemeZamanıParametresi olduğu sürece dön:
9 | // t anı için jeodezik pozisyon tahminlemesi
10 | yatayMesafe = Sgs * tzaman
11 | tahminlenenJeodezikPozisyon = jeodezikPoziyonHesapla(Pgeo, yatayMesafe, Sta)
12 | // t anı için dikey pozisyon tahminlemesi
13 | tahminlenenİrtifa = 0
14 | Eğer Sbsfl = Evet ise :
15 | | Eğer tzaman < tSFLzamanı ise : // hava aracı uçuş seviyesine erişmemiş ise
16 | | | tahminlenenİrtifa = Sa + Svs * tzaman
17 | | Değilse:
18 | | | tahminlenenİrtifa = Ssfl
19 | Değilse:
20 | | tahminlenenİrtifa = Sa + Svs * tzaman
21 | pozisyon3D = ( tahminlenenJeodezikPozisyon, tahminlenenİrtifa )
22 | tahminlenen3DpozisyonListesineEkle( pozisyon3D )
23 | tzaman, = tzaman + 1 // her bir saniye için 3D pozisyon hesaplanır
```

Algoritma 5.1 : Güncel Duruma Dayalı Doğrusal Yörünge Tahminleme Algoritması

Algoritma 5.1' de bir hava aracının anlık durum veri modeline ait durum değişkenleri kullanılarak hava aracının o an bulunduğu üç boyutlu pozisyondan başlayarak 240 saniye sonrasına kadar bir saniye aralıklar ile bulunabileceği üç boyutlu pozisyonlar kümesi yani doğrusal yörüngesi tahminlenir. Algoritma hava aracının her bir t anındaki yatay düzlemdeki jeodezik pozisyonunu ve irtifasını hesaplayarak bu t anı için hava aracının 3D pozisyonunu hesaplar. Algoritmanın 1. adımında hava aracının anlık durum değişkenlerine göre tahminlenecek doğrusal yörüngesine ait 3D pozisyonların listesi tanımlanır. 2. adımda hava aracının anlık durum değişkenlerini içeren veri modeli girdi olarak alınır. 3. adımda algoritmanın kaç saniyelik bir yörünge tahminleme yapacağı bilgisi öngörüleme zaman parametresi

olarak algoritmaya girdi olarak tanımlanır. Algoritma 5.1' de öngörüleme zaman parametresi 240 saniye olarak girdi yapılmıştır. Öngörüleme zaman parametresi tahminlenecek doğrusal yörünge, hava aracının o anki 3D pozisyonundan başlanarak 1 saniyelik aralıklar ile her bir saniyede bulunacağı 3D pozisyonun 240' ıncı saniyeye kadar tahminleneceği anlamına gelir. Doğrusal 3D yörünge tahminlemesinin 240 saniyelik bir öngörüleme ile yapılacağı belirtilmiştir. 4. adımda tahminlemeye başlanacak zaman değişkeni tanımlanmıştır. 5. adımda ise hava aracının SFL' e erişme zamanını ifade eden değişken tanımlanmıştır. 6. adımda hava aracına atanmış bir uçuş seviyesi olup olmadığı kontrol edilir. 7. adımda ise atanmış bir uçuş seviyesine sahip hava aracının bu atanmış seviyeye erişme zamanı *SFLZamanıHesapla()* fonksiyonu ile hesaplanır. Bu fonksiyona ait algoritmanın adımları 5.2.2.1'de detaylıca açıklanmıştır. 8. adımda hava aracının güncel o anki pozisyonundan başlanarak öngörüleme zamanı parametresi süresince her bir saniye için yapacağı pozisyon tahminlemesine ait döngü başlatılır. Bu döngü 4. adımda tanımlanan döngü iterasyonuna ait zaman değişkeni değeri öngörüleme zaman parametresine eşitlenene kadar devam eder. Bu döngü 23. Adımda görüldüğü gibi her iterasyonda 4. adımda tanımlanan zaman değişkenini 1 saniye artırarak iterasyona devam eder. Döngü içerisindeki ilk adım olan 10. adımda hava aracının o anki güncel durum bilgisine ait yer hızı durum değişken değeri kullanılarak t zaman sonrası için bu yer hızı ile güncel pozisyonundan yatay düzlemde ne kadar uzaklaşacağı hesaplanır. 11. adımda ise 5.2.1 'de detaylıca açıklanan *Jeodezik Pozisyon Hesaplama Fonksiyonu* ile hava aracının t zaman sonraki yatay düzlemdeki jeodezik pozisyonu hesaplanır. 10. adımda hesaplanan yatay mesafe ve hava aracının durum değişken modeline ait uçuş yönü, ve o anki güncel pozisyonu *Jeodezik Pozisyon Hesaplama Fonksiyonu'* na parametre olarak verilir. 11. adım sonunda hava aracının güncel yer hızı ve uçuş yönüne göre(hız vektörüne göre) t 'ninci saniyede yatay düzlemde bulunacağı jeodezik pozisyon(enlem, boylam) hesaplanır. 21. adımda hava aracının t' ninci saniye için hesaplanan yatay düzlemdeki jeodezik pozisyonu ve irtifası kullanılarak 3D pozisyonu oluşturulmuştur. 22. adımda ise 21. adımda oluşturulan 3D pozisyon hava aracına ait tahminlenen doğrusal yörüngeyi tanımlayan pozisyonlar listesine eklenmiştir. 23. adımda ise t zaman değişkeni 1 saniye artırılarak iterasyona devam edilmiştir.

13. adımdan itibaren hava aracının t' ninci saniyedeki dikey düzlemdeki pozisyonu hesaplanmaya başlanır. 13. adımda t' ninci saniyedeki tahminlenen irtifa değerine ait değişken tanımlanır. Güncel Duruma Dayalı Doğrusal Yörünge Tahminleme Algoritması(GDDDT) hava aracının dikey pozisyonlarını tahminlerken hava aracına atanmış uçuş seviyesini(SFL) dikkate alır. 14. adımda hava aracına kontrolör tarafından atanmış bir uçuş seviyesi olup olmadığı kontrol edilir. 15. adımda ise atanmış uçuş seviyesine sahip bir hava aracının t' ninci saniyede atanmış uçuş seviyesine erişme durumu kontrol edilir. 16. adımda ise atanmış uçuş seviyesine sahip ve bu seviyeye yükselen ya da alçalan hava aracının t' ninci saniyedeki irtifa değeri güncel dikey hızı kullanılarak hesaplanır. 18. adımda ise atanmış uçuş seviyesine sahip bir ve atanmış uçuş seviyesine erişmiş bir hava aracının bu seviyeyi koruyacağı varsayılacak şekilde tahminlenen irtifası uçuş seviyesine sabitlenmiştir. 20. adımda ise atanmış bir uçuş seviyesine sahip olmayan bir hava aracının güncel dikey hızı ve irtifası kullanılarak t' ninci saniyedeki irtifası hesaplanmıştır.

5.1' deki GDDDT algoritması çıktı olarak A hava aracının $t = 0$ zamanından $t = 240'$ a kadar bir saniyelik aralıklar ile her bir saniyede bulunacağı 3D pozisyonlardan oluşan doğrusal bir yörüngesini verir.

4.2.2.1. Hava Aracının SFL'e Erişme Zamanının Hesaplanması

Hava aracının kontrolör tarafından atanmış uçuş seviyesine erişme zamanına hesaplayan *SFLZamanıHesapla()* fonksiyonuna ait algoritmanın adımları Algoritma 5.2' de detaylıca açıklanmıştır.

```

1   $t_{SFLzamanı}$  // hava aracının atanmış uçuş seviyesine erişme zamanı
2   $A = (P_{geo}, P_{car}, S_a, S_{gs}, S_{vs}, S_{ta}, S_{sfl}, S_{bsfl})$ 
3  Eğer  $S_{bsfl} = \text{Evet}$  ise :
4  |  $t_{SFLzamanı} = |S_{sfl} - S_a| / S_{vs}$ 
5  Değilse:
6  |  $t_{SFLzamanı} = \text{null}$ 
7  dön  $t_{SFLzamanı}$ 

```

Algoritma 5.2 : SFL' e Erişme Zamanını Hesaplama Algoritması

SFL'e Erişme Zamanının Hesaplanma Algoritması hava aracının anlık durum veri modelindeki durum değişkenlerine ait dikey hız(S_{vs}), güncel irtifa(S_a) ve atanmış

uçuş seviyesi bilgilerini(S_{sfl} , S_{bsfl}) kullanarak hesaplanmıştır. Algoritmanın 4. adımında hava aracının anlık irtifası ile atanmış uçuş seviyesi arasındaki farkın mutlak değeri hava aracının dikey hızına bölünerek SFL'e erişme zamanı hesaplanmıştır.

4.2.3. GDDDT Algoritması Yörünge Tahminleme Varsayımları

Literatürdeki yörünge tahminleme yaklaşımlarında hava araçlarının ileri zamanlı pozisyonları tahminlendiğinden, tahminleme yapılırken belirsizliklerin bu tahminlemelere eklenip eklenmeyeceği durumu gündeme gelir. Bu durum için bölüm 3.1.3'de de detaylıca açıklandığı gibi nominal, en kötü durum ve olasılıksal varsayım olmak üzere üç varsayım yaklaşımı kullanılır. Nominal yaklaşım hava araçlarının daha kararlı davranışlar sergilediği kısa süreli öngörüleme zamanına sahip tahminlemeler için uygun, basit ve diğer yaklaşımlara göre daha hızlı olduğundan GDDDT algoritması ile yörünge tahminlemede belirsizliklerin tahminlemeye dahil edilmesi noktasında nominal yaklaşım izlenmiştir. Hava trafik kontrol sistemlerinde kullanılan STCA gibi kısa vadeli çakışma tespit sistemleri de yörünge tahminlemede nominal yaklaşımı uygular.

4.3. ÇAKIŞMA TESPİT METODOLOJİSİ

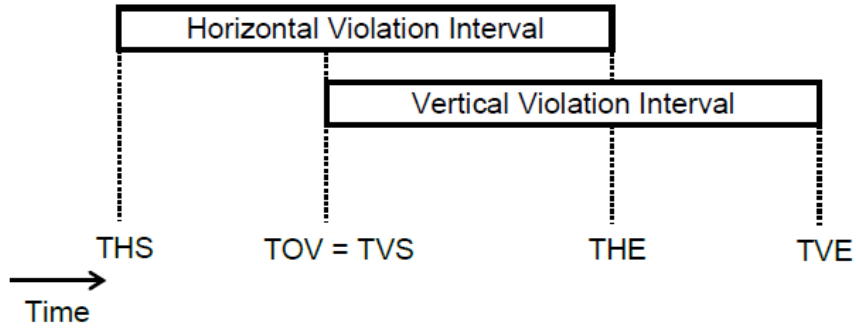
Bölüm 4 ' deki problem tanımında da detaylıca açıklandığı gibi Çakışma Tespiti ve Çözümü(CDR) problemi temel iki adımdan oluşmaktadır. İlk adım çakışmanın tespit edilmesi ve ikinci adım çakışma çözümünün üretilmesidir. Çakışma tespit metodolojisi her iki adım içinde çok önemlidir. Birinci adımda çakışmalar çakışma çözüm metodolojisi ile tespit edilmektedir. İkinci adımda ise çakışma çözümü önerilerinin yeni bir çakışmaya neden olup olmadığı yine çakışma tespit metodolojisi ile tespit edilerek üretilen çözüm değerlendirilir.

4.3.1. Çakışma Tespit Algoritması - ÇTA

Bu çalışmadaki çakışma çözüm metodolojisi hava araçları arasındaki çakışma tespitinde hava araçlarına ait GDDDT algoritması ile tahminlenmiş ileri zamanlı 3D pozisyonları kullanmaktadır. Çakışma çözüm metodolojisi merkezi bağımlı gözetim verileri için GDDDT algoritması ile güncel duruma dayalı bir yörünge tahminlemesi yapmaktadır. Yörünge tahminlemesi yapılırken belirsizlikler nominal yaklaşım ile alınmıştır. Çakışma tespitinde Çakışma Tespit Algoritması(ÇTA) ile hava araçlarının

tahminlenen pozisyonları arasındaki yatay ve dikey mesafe farkları minimum güvenli ayırma limitleri ile karşılaştırılarak çakışma tespiti yapılmaktadır. ÇTA yatay düzlemdeki çakışma tespiti için Yatay Çakışma Tespit Algoritması(YÇTA)' nı , dikey düzlemde çakışma tespiti için Dikey Çakışma Tespit Algoritması(DÇTA)' nı kullanmaktadır. YÇTA çıktı olarak yatay düzlemdeki çakışmaya ait çakışma başlangıç ve bitiş zamanını içeren bir zaman çizelgesi üretir. DÇTA çıktı olarak dikey düzlemdeki çakışmaya ait çakışma başlangıç ve bitiş zamanını içeren bir zaman çizelgesi üretir.

Hava araçları arasında bir çakışma olabilmesi için hava araçları arasındaki hem yatay hem de dikey mesafe farkları minimum güvenli ayırma limitleri altında olmalıdır. Yani hava araçlarına ait yatay çakışma zamanı başlangıcı(THS) ve bitişi(THB) ile dikey çakışma zamanı başlangıcı(TVS) ve bitişi(TVE) keşiyorsa hava araçları arasında bir çakışma vardır. Aşağıdaki 5.3' deki görselde görüldüğü gibi yatay ve dikey düzlemlerdeki çakışma zaman çizelgelerinin keşimesi durumunda bir çakışma tespiti söz konusudur[13]. ÇTA algoritması bu yaklaşıma göre çalışmaktadır.



Şekil 5.3 : Çakışma Tespit Metodolojisi[13]

ÇTA algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir:

```

1  A1 ; // ac1 hava aracı durum veri modeli
2  A2 ; // ac2 hava aracı durum veri modeli
3  minDikeyAyırmaMesafesi; // minimum güvenli dikey ayırma mesafesi
3  minYatayAyırmaMesafesi; // minimum güvenli yatay ayırma mesafesi
4  öngörülemeZamanı; // Çakışma öngörüleme zamanı (örnek : 120 saniye)
5  çakışmaBaşlamaZamanı; // Saniye cinsinden çakışma başlama zamanı
6  çakışmaBitişZamanı; // Saniye cinsinden çakışma başlama zamanı
7  ac1TahminlenenPozisyonListesi = gdddt ( A1 , öngörülemeZamanı ) ;
8  ac2TahminlenenPozisyonListesi = gdddt ( A2 , öngörülemeZamanı ) ;
9  yatayÇakışmaZamanÇizelgesi = yatayÇakışmaKontrolüYap( minYatayAyırmaMesafesi,
öngörülemeZamanı , ac1TahminlenenPozisyonListesi , ac2TahminlenenPozisyonListesi );
10 dikeyÇakışmaZamanÇizelgesi = dikeyÇakışmaKontrolüYap( minYatayAyırmaMesafesi,
öngörülemeZamanı , ac1TahminlenenPozisyonListesi , ac2TahminlenenPozisyonListesi );
11 yatayÇakışmaBaşlamaZamanı = yatayÇakışmaZamanÇizelgesi.getStartTime();
12 yatayÇakışmaBitişZamanı = yatayÇakışmaZamanÇizelgesi.getEndTime();
13 dikeyÇakışmaBaşlamaZamanı = dikeyÇakışmaZamanÇizelgesi.getStartTime();
14 dikeyÇakışmaBitişZamanı = dikeyÇakışmaZamanÇizelgesi.getEndTime();
15 çakışmaBaşlamaZamanı = max(yatayÇakışmaBaşlamaZamanı,dikeyÇakışmaBaşlamaZamanı);
16 çakışmaBitişZamanı = min(yatayÇakışmaBitişZamanı, dikeyÇakışmaBitişZamanı);
17 Eğer çakışmaBaşlamaZamanı < çakışmaBitişZamanı ise :
18 | döndür yeniÇakışma(çakışmaBaşlamaZamanı , çakışmaBitişZamanı )
19 Değilse :
20 | döndür null;

```

Algoritma 5.3 : Çakışma Tespit Algoritması

ÇTA algoritması ilk olarak hava aracı çiftindeki her bir hava aracının anlık durum modelleri ile GDDDT algoritmasını kullanarak ileri zamanlı 3D pozisyon tahminlemesi yapar. Daha sonra 5.3.1.1 ‘deki YÇTA algoritması ile yatay düzlemdeki çakışma zaman çizelgesini 5.3.1.2’deki DÇTA algoritması ile de dikey düzlemdeki çakışma zamanı çizelgesini üretir. Dikey ve yatay düzlemedeki zaman çizelgelerini karşılaştırır. Dikey ve yatay çakışma zaman çizelgelerine ait bir kesişim olması durumunda çakışma tespiti yapar.

4.3.1.1. Yatay Çakışma Tespit Algoritması – YÇTA

Yatay Çakışma Tespit Algoritması girdi olarak hava araçlarına ait ileri zamanlı tahminlenmiş 3D pozisyonlar listesini, minimum güvenli yatay ayırma mesafesini ve

öngörüleme zamanını alır. Daha sonra hava araçlarının o anki $t=0$ anından öngörüleme zamanına kadar ($t=$ öngörüleme zamanı) her bir saniye için tahminlenmiş pozisyonları tahminlenmiş pozisyonlar listesinden alarak, bu pozisyonlar arasındaki yatay mesafeyi hesaplar. Hava aracına ait tahminlenen pozisyonlar arasındaki yatay mesafe farkının minimum yatay güvenli ayırma mesafesi altına indiği zamanı yatay çakışma başlangıç zamanı olarak hesaplar. Hava aracına ait tahminlenen pozisyonlar arasındaki yatay mesafe farkının minimum yatay güvenli ayırma mesafesi üstüne çıktığı zamanı ise yatay çakışma bitiş zamanı olarak hesaplar. Eğer çakışma öngörüleme zamanı içerisinde sonlanmıyorsa yatay çakışma bitiş zamanını öngörüleme zamanı olarak atar. YÇTA algoritması çıktı olarak hava araçları arasında yatay düzlemdeki çakışma zaman çizelgesini üretir.

```

1  ac1TahminlenenPozisyonListesi[] // ac1 için GDDT ile tahminlenmiş 3D pozisyonlar listesi
2  ac2TahminlenenPozisyonListesi[] // ac2 için GDDT ile tahminlenmiş 3D pozisyonlar listesi
3  minYatayAyırmaMesafesi;
4  öngörülemeZamanı; // Çakışma öngörüleme zamanı (örnek : 120 saniye)
5  çakışmaBaşlamaZamanı; // Saniye cinsinden çakışma başlama zamanı
6  çakışmaBitişZamanı; // Saniye cinsinden çakışma başlama zamanı
7  çakışmaBaşladı = false;
8  çakışmaSonlandı = false;
9  iterasyon = 0;
10 iterasyon < öngörülemeZamanı olduğu sürece dön :
11 | ac1Pozisyon3D = ac1TahminlenenPozisyonListesi.get(iterasyon)
12 | ac2Pozisyon3D = ac2TahminlenenPozisyonListesi.get(iterasyon)
13 |  $P_{x1} = ac1Pozisyon3D.okuX()$  ;
14 |  $P_{x2} = ac2Pozisyon3D.okuX()$  ;
15 |  $P_{y1} = ac1Pozisyon3D.okuY()$  ;
16 |  $P_{y2} = ac2Pozisyon3D.okuY()$  ;
17 | yatayMesafeFarkı = yatayMesafeFarkıHesapla(  $P_{x1}$  ,  $P_{y1}$  ,  $P_{x2}$  ,  $P_{y2}$  );
18 | Eğer yatayMesafeFarkı < minYatayAyırmaMesafesi ve çakışmaBaşladı = false ise :
19 | | çakışmaBaşlamaZamanı = iterasyon;
20 | | çakışmaBaşladı = true;
21 | | Eğer çakışmaBaşladı = true ise :
22 | / / Eğer yatayMesafeFarkı > minYatayAyırmaMesafesi ve çakışmaSonlandı = false ise
23 | | | çakışmaBitişZamanı = iterasyon;
24 | | | çakışmaSonlandı = true;
25 | Eğer çakışmaBaşladı = true ve çakışmaSonlandı = false ise :
26 | çakışmaBitişZamanı = öngörülemeZamanı;
27 döndür yatayÇakışmaZamanÇizelgesi[ çakışmaBaşlamaZamanı, çakışmaBitişZamanı ]

```

Algoritma 5.4 : Yatay Çakışma Tespit Algoritması

4.3.1.1. Dikey Çakışma Tespit Algoritması – DÇTA

Dikey Çakışma Tespit Algoritması girdi olarak hava araçlarına ait ileri zamanlı tahminlenmiş 3D pozisyonlar listesini, minimum güvenli dikey ayırma mesafesini ve öngörüleme zamanını alır. Daha sonra hava araçlarının o anki $t=0$ anından öngörüleme zamanına kadar ($t=$ öngörüleme zamanı) her bir saniye için tahminlenmiş pozisyonları tahminlenmiş pozisyonlar listesinden alarak, bu pozisyonlar arasındaki dikey mesafeyi hesaplar. Hava aracına ait tahminlenen pozisyonlar arasındaki dikey mesafe farkının

minmum dikey güvenli ayırma mesafesinin altına indiği zamanı dikey çakışma başlangıç zamanı olarak hesaplar. Hava aracına ait tahminlenen pozisyonlar arasındaki dikey mesafe farkının minmum dikey güvenli ayırma mesafesi üstüne çıktığı zamanı ise dikey çakışma bitiş zamanı olarak hesaplar. Eğer çakışma öngörüleme zamanı içerisinde sonlanmıyorsa dikey çakışma bitiş zamanını öngörüleme zamanı olarak atar. DÇTA algoritması çıktı olarak hava araçları arasında dikey düzlemdeki çakışma zaman çizelgesini üretir.

```

1  ac1TahminlenenPozisyonListesi[] // ac1 için GDDT ile tahminlenmiş 3D pozisyonlar listesi
2  ac2TahminlenenPozisyonListesi[] // ac2 için GDDT ile tahminlenmiş 3D pozisyonlar listesi
3  minDikeyAyırmaMesafesi;
4  öngörülemeZamanı; // Çakışma öngörüleme zamanı (örnek : 120 saniye)
5  çakışmaBaşlamaZamanı; // Saniye cinsinden çakışma başlama zamanı
6  çakışmaBitişZamanı; // Saniye cinsinden çakışma başlama zamanı
7  çakışmaBaşladı = false;
8  çakışmaSonlandı = false;
9  iterasyon = 0;
10 iterasyon < öngörülemeZamanı olduğu sürece dön :
11 | ac1Pozisyon3D = ac1TahminlenenPozisyonListesi.getir(iterasyon)
12 | ac2Pozisyon3D = ac2TahminlenenPozisyonListesi.getir(iterasyon)
13 | ac1İrtifa = ac1Pozisyon3D.irtifayıGetir();
14 | ac2İrtifa = ac2Pozisyon3D.irtifayıGetir();
17 | dikeyMesafeFarkı = | ac1İrtifa - ac2İrtifa | ;
18 | Eğer dikeyMesafeFarkı < minDikeyAyırmaMesafesi ve çakışmaBaşladı = false ise :
19 | | çakışmaBaşlamaZamanı = iterasyon;
20 | | çakışmaBaşladı = true;
21 | | Eğer çakışmaBaşladı = true ise :
22 | / / Eğer dikeyMesafeFarkı > minDikeyAyırmaMesafesi ve çakışmaSonlandı = false ise
23 | | | | çakışmaBitişZamanı = iterasyon;
24 | / | | | çakışmaSonlandı = true;
25 Eğer çakışmaBaşladı = true ve çakışmaSonlandı = false ise :
26 | çakışmaBitişZamanı = öngörülemeZamanı;
27 döndür dikeyÇakışmaZamanÇizelgesi[ çakışmaBaşlamaZamanı, çakışmaBitişZamanı ]

```

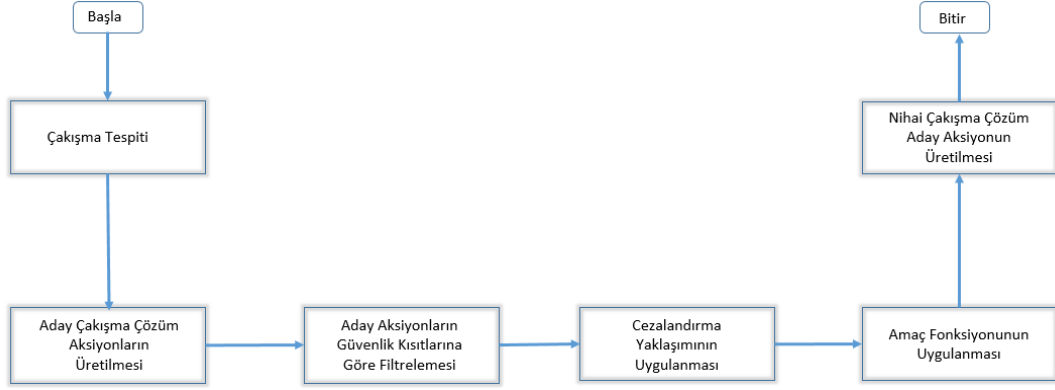
Algoritma 5.5 : Yatay Çakışma Tespit Algoritması

4.4. ÇAKIŞMA ÇÖZÜM METODOLOJİSİ

Çakışma çözüm metodolojisinde, gözetim biriminden elde edilen hava aracının anlık durum verilerine göre bölüm 5.3' de detaylıca açıklanan çakışma tespit metodolojisi ve algoritmalar kullanılarak tespit edilen çakışmalar için uçuş emniyeti açısından güvenli, global ve optimum çakışma çözüm önerisi üretilir. Çakışma çözüm metodolojisi ATC' lere çözüm için uygulayabileceği optimum vektörleme ve dikey seviye değişimini önermektedir. Bu çakışma çözümleri uygulanarak hava araçlarının ileri bir zamanda yaşayacakları ayırma kaybı önelenerek çakışmaya karışan hava araçlarının birbirlerine en yakın geçecekleri noktada aralarındaki yatay ve dikey mesafenin yatay ve dikey güvenli ayırma minimumlarından fazla olması hedeflenir.

Cezalandırmaya Dayalı Çakışma Çözüm Metodolojisi(CDÇÇM), gözetim verilerinin merkezi olarak kontrol edildiği, hava aracının anlık durumunu baz alarak taktiksel bir kaçınma(3.1.7' de detaylıca açıklanmıştır) planı uygulayan global bir optimum çözüm sunar. Tüm hava araçlarına ait veriler merkezi olarak kontrol edildiğinden oluşturulan çözüm tüm hava araçları için global bir çözümdür. Bu yaklaşım çakışma çözümü için vektörleme ve dikey seviye değişimi olmak üzere iki farklı çözüm manevrası kullanır. Literatürde hız değişimi gibi farklı çözüm manevraları ve bu manevraların kombinasyonları şeklinde oluşan farklı manevralarda bulunmaktadır. Hız değişimi ile çakışma çözümü kısa vadeli ve taktiksel çakışma çözümleri için uygun olmadığından bu yaklaşımda kullanılmamaktadır. Çakışma çözüm metodolojisi cezalandırmaya dayalı bir yaklaşım ile uçuş emniyetini sağlayan manevra sayısını, asıl rotalarından sapma miktarlarını ve kontrolör iş yükünü minimize eden bir optimizasyon uygular. Metodoloji bölüm 3.1.5' de detaylıca açıklanan öngörülü yaklaşım ile daha önceden belirlenmiş kurallar ve anlık çakışma geometrisine göre kombinasyonel olası aday çözümler üretir. Üretilen aday çakışma çözüm aksiyonları ilk olarak uçuş güvenliği açısından değerlendirilir. Bu aşamada uçuş güvenliğini tehlikeye atan üretilmiş aday çakışma çözüm aksiyonları elenir. Daha sonra uçuş güvenliğini sağlayan aday çakışma çözümleri asıl rotalarından sapma miktarlarına göre atanmış ceza puanlarını dikkate alan bir amaç fonksiyonu ile optimize edilerek ceza puanı en düşük olan çakışma çözüm aksiyonu seçilir. CDÇÇM çakışma çözümü üretirken bölüm 4.2.1' deki güvenlik kısıtlarını dikkate almaktadır.

Cezalandırmaya Dayalı Çakışma Çözüm Metodolojisinin genel adımlarını içeren görsel aşağıdaki Şekil 5.4 ' de sunulmuştur.



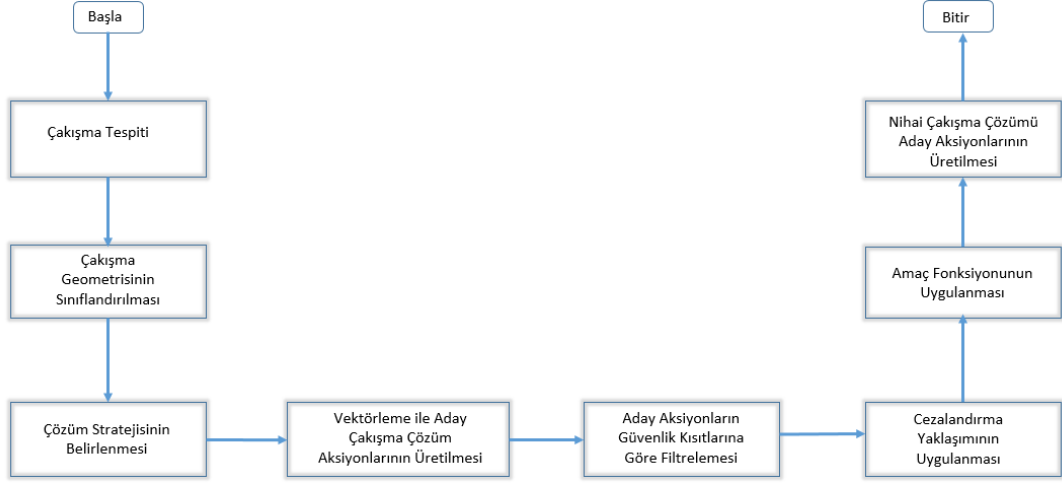
Şekil 5.4 : Cezalandırmaya Dayalı Çakışma Çözüm Metodolojisi

CDÇÇM çakışma çözümünde iki farklı çözüm önerisi sunmaktadır. Bunlar *Vektörleme* ve *Dikey Seviye Değişimi* çözümleridir. Bu çözüm önerileri tüm hava araçları için global ve optimum çözüm önerileridir. Hem vektörleme ile çözüm üretimi hemde dikey seviye değişimi ile çözüm üretimi Şekil 5.4' deki genel adımları uygular. Bu çözüm önerilerinde uygulanan her bir adım ve kullanılan algoritmalar ilerleyen bölümlerde detaylıca açıklanmıştır.

4.5. CDÇÇM İLE VEKTÖRLEMeye DAYALI ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ

CDÇÇM ile vektörlemeye dayalı çakışma çözümünde bir hava aracı çiftine ait çakışmanın yatay düzlemdeki anlık durum geometrisi ICAO tarafından tanımlanan kurallara göre “*ardışık*”, “*karşılıklı*” ve “*çapraz*” olmak üzere 3 kategoride kategorize edilir. Çakışma geometrisi kategorisine göre daha önceden ICAO tarafından tanımlanan ve kontrolörlerin sıklıkla uyguladıkları çakışma çözüm kuralları ve önerileri gözetilerek kombinasyonel yaklaşım ile çakışma çiftindeki hava araçlarından birinin ya da her ikisinin uçuş başları değiştirilerek aday çakışma çözüm önerileri üretilir. CDÇÇM ile vektörlemeye dayalı üretilen bu aday çözümlere asıl rotalarından sapma miktarlarına ve çakışma çözümü için gereken manevra sayısına göre ceza puanı uygulanır. Aday çözümler bölüm 4.2.1' deki güvenlik kısıtları açısından değerlendirilir. Bu kısıtlar kapsamında güvenli olmayan aday çözümler elenir. Son olarak uçuş emniyeti açısından güvenli olan aday çözümler ceza puanlarını minimize etmeyi amaçlayan amaç fonksiyonu ile değerlendirilerek en düşük ceza puanına sahip

aday çözüm seçilir. CDÇÇM ile vektörelmeye dayalı çakışma çözüm metodolojisi aşağıdaki Şekil 5.5 ‘ de görsel olarak sunulmuştur.

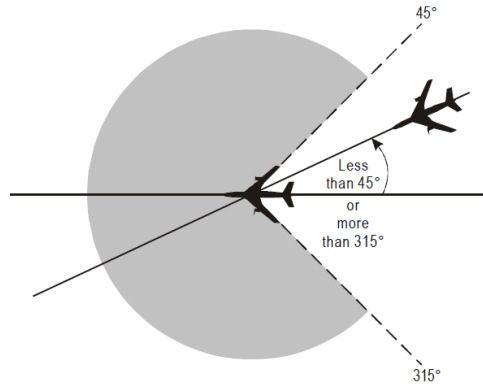


Şekil 5.5 : CDÇÇM ile Vektörelmeye Dayalı Çakışma Çözümü

4.5.1. Çakışmanın Sınıflandırılması

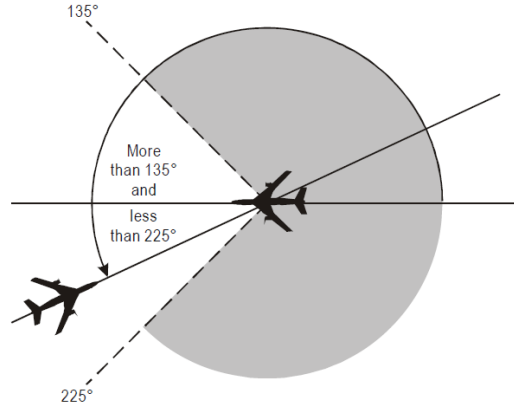
Vektörelmeye dayalı çakışma çözümünde ilk adım olarak yatay düzlemdeki çakışma geometrisi kategorize edilerek sınıflandırılır. Bu kategorizasyona göre uygulanacak çakışma çözüm stratejisi belirlenir. Çakışma çözüm geometrisi sınıflandırılırken ICAO Hava Kuralları[14] dikkate alınır.

Çakışma çiftindeki hava araçlarından biri diğerinin iz açısının tersi yönündeki açının 45° üstündeki ve 45° altındaki açı aralığında kalıyorsa ve hava araçlarının doğrultuları arasındaki açı 45° nin altında ise bu çakışma geometrisi “ardışık çakışma” olarak adlandırılır[14]. Şekil 5.6’ da ICAO hava kurallarına göre ardışık çakışma geometrisine ait görsel bulunmaktadır.



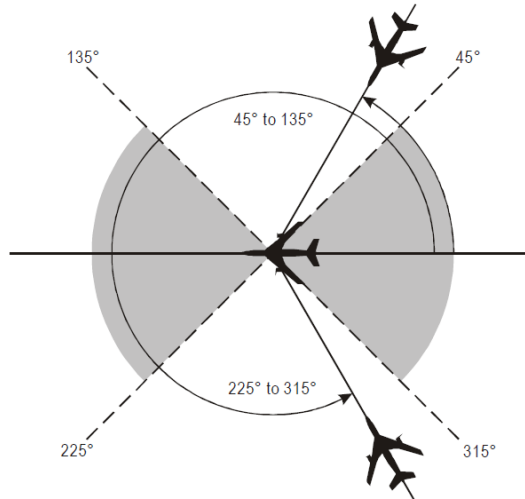
Şekil 5.6 : Ardışık Çakışma Geometrisi [14]

Çakışma çiftindeki hava araçlarından biri diğerinin iz açısının 45° üstündeki ve 45° altındaki açı aralığında kalıyorsa ve hava araçlarının doğrultularına ait kesişim açısı 135° 'nin üstünde ise bu çakışma geometrisi “karşılıklı çakışma” olarak adlandırılır[14]. Şekil 5.7’ de ICAO hava kurallarına göre karşılıklı çakışma geometrisine ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 5.7 : Karşılıklı Çakışma Geometrisi [14]

Çakışma geometrisi ardışık yada karşılıklı değilse bu çakışma türü “çapraz çakışma” olarak sınıflandırılır. Şekil 5.8’ de ICAO hava kurallarına göre çapraz çakışma geometrisine ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 5.8 : Çapraz Çakışma Geometrisi [14]

Hava araçlarının yatay düzlemdeki çakışma geometrileri Çakışma Sınıflandırma Algoritması(ÇSA) ile sınıflandırılır. Şekil 5.13 'de ÇSA algoritmasına ait adımlar yer almaktadır.

```

1  çakışmaTürü = ''
2  A1                // hava aracı 1 veri modeli
3  A2                // hava aracı 2 veri modeli
4  α1 = A1.günceİzAçısınıOku(); // hava aracı 1 iz açısı
5  β = α1 + 180        // α1' in karşıt açısının hesaplanması
6  λ = çakışmaKesişimAçısınıHesapla(A1, A2) // A1 ile A2 arasındaki çakışma kesişim açısı
7  ρ = α2' in α1' e göre açısı // gerçek kuzeye göre
8  φ1 = β + 45        // A1' in karşıt yönünün saat yönünde 45° üstü
9  φ2 = β - 45        // A1' in karşıt yönünün saat yönünde 45° altı
10 ψ1 = α1 + 45      // A1' in aynı yönde saat yönünde 45° üstü
11 ψ2 = α1 - 45      // A1 ile aynı yönde saat yönünde 45° altı
12 Eğer ρ > φ2 ve ρ < φ1 ve λ < 45 ise :
13 | çakışmaTürü = Ardışık Çakışma
14 Değilse Eğer ρ > ψ1 ve ρ < ψ2 ve λ >= 135 ise :
15 | çakışmaTürü = Karşılıklı Çakışma
16 Değilse :
17 | çakışmaTürü = Çapraz Çakışma
17 döndür çakışmaTürü

```

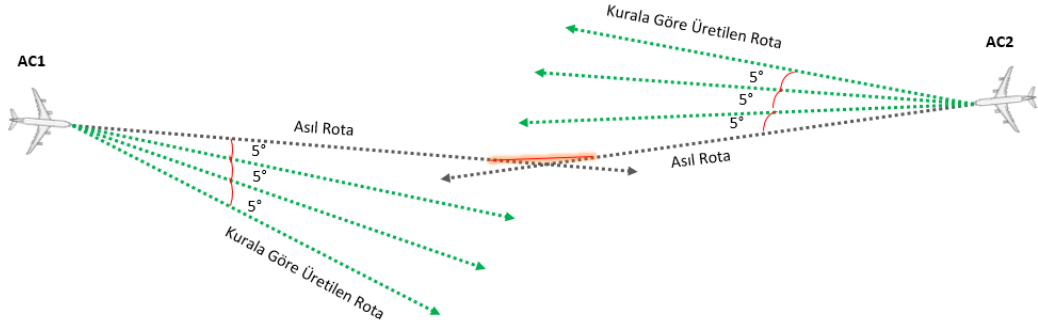
Algoritma 5.6 : Çakışma Sınıflandırma Algoritması

4.5.2. Çözüm Stratejisinin Belirlenmesi ve Çakışma Çözümlerinin Üretilmesi

Vektörlere dayalı çakışma çözümü üretilirken, çakışma geometrisine göre çakışma türü belirlendikten sonra çakışma türüne göre daha önceden belirlenmiş çakışma çözüm stratejisi uygulanır. Bu tez çalışmasında vektörlere dayalı çakışma çözümünde karşılıklı ve çapraz çakışan hava araçları için çözüm üretilmektedir. Ardışık olarak çakışan hava araçları için hız değişimi ile çakışma çözümü daha uygundur[Url-7]. Bu yüzden bu çalışmada ardışık çakışan hava araçları için vektörlere dayalı çakışma çözümü üretilmemektedir.

4.5.2.1. Karşılıklı Çakışma Çözüm Stratejisi ve Çözüm Üretme Algoritması

Bu tez çalışmasında karşılıklı çakışma türündeki çakışmalar için vektörleme ile çakışma çözümü uygulanırken ICAO tarafından tanımlanan “sağ-sağ” kuralı uygulanır. ICAO, karşılıklı ve kafa kafaya yaklaşmakta olan hava araçları için her iki hava aracında uçuş başlarını sağ tarafa doğru değiştirmesini ifade eder[33]. ICAO tarafından yayınlanan Havacılık Kuralları dökümanınının 3.2.2.2 bölümünde bu kural yer almaktadır. Bu yöntem kontrolörün iletişim için kullandığı frekansta daha fazla iletişim gerektirdiğinden kontrolörün iş yükünü artırmasına karşın hava araçlarının asıl rotaları üzerinde diğer yöntemlere göre daha az bir değişime neden olduğundan karşılıklı çakışma senaryoları için kontrolörler tarafından en çok kullanılan yöntemdir. Karşılıklı çakışma çözümleri için hızlı ve etkili bir yöntem olduğundan hava araçlarını asıl rotaları üzerindeki değişim ve uçuş mesafesinin artması göz ardı edilir[Url-5]. Karşılıklı çakışma çözüm stratejisine ait görsel Şekil 5.9’ da bulunmaktadır.



Şekil 5.9 : Vektörleme ile Karşılıklı Çakışma Çözüm Stratejisi

Karşılıklı çakışma çözüm stratejisinde hava araçlarının uçuş başları her bir hava aracının sağına doğru 5 ‘ er derecelik açılarla değiştirilir. Karşılıklı çakışmada hava araçlarının uçuş başlarında yapılacak küçük değişiklikler ile çakışma çözümü sağlanabilir. Kontrolörler tarafından yapılan uçuş başı değişiklikleri genellikle 5’in katları şeklinde olduğundan çözüm stratejisinde de vektörleme ile üretilen çözümlerdeki uçuş başı değişimleri 5’ in katları şeklindedir [Url-4].

Karşılıklı Çakışma Çözüm Algoritması(KÇÇA) girdi olarak çakışma çiftine ait hava araçlarını anlık durumlarını alır ve karşılıklı çakışma çözüm stratejisini uygulayarak vektörleme çözümleri üretir. Karşılıklı çakışma çözüm stratejisinde sağa doğru uçuş başı değişikliğinin sınırlandırılması gerekir. KÇÇA algoritması karşılıklı

çakışma çözüm strateji ile 5' er derecelik artışlar ile hava araçlarına ait tüm kombinasyonel çözümleri üretir. KÇÇA algoritması kombinasyonel çözümler ürettiğinden üretilen çözüm sayısını sınırlandırmak için hava araçlarının uçuş başlarında yapılacak yön değişikliklerini maksimum değişim açısı ile sınırlamaktadır. KÇÇA algoritması maksimum değişim açısını 20° olarak uygular. KÇÇA algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir.

```

1  List[] vektörlemeÇakışmaÇözümleri      // vektörleme ile üretilen çakışma çözümleri listesi
2  ac1                                       // çakışmaya çiftindeki hava aracı 1
3  ac2                                       // çakışma çiftindeki hava aracı 2
4  değişimAçısı1 = 0.0;
5  değişimAçısı2 = 0.0;
6  maksimumDeğişimAçısı = 20.0           // maksimum vektörleme değişim açısı
7  değişimAçısı1 <= maksimumDeğişimAçısı olduğu sürece dön :
8  |  ac1GüncellzAçısı = ac1.güncellzAçısınıOku()
9  |  ac2GüncellzAçısı = ac2.güncellzAçısınıOku ()
10 |  ac1YeniİzAçısı = ac1GüncellzAçısı + değişimAçısı;
11 |  değişimAçısı2 <= maksimumDeğişimAçısı olduğu sürece dön :
12 | |  ac2GüncellzAçısı = ac2GüncellzAçısı + değişimAçısı
13 | |  vektörlemeÇakışmaÇözümü           // Yeni çözüm oluşturma
14 | |  vektörlemeÇakışmaÇözümü.yeniİzAçısıAta(ac1, ac1YeniİzAçısı)
15 | |  vektörlemeÇakışmaÇözümü.yeniİzAçısıAta(ac2, ac2YeniİzAçısı)
16 | /  Eğer ac1YeniİzAçısı != ac1GüncellzAçısı ve ac2GüncellzAçısı != ac2GüncellzAçısı ise :
17 | / /  vektörlemeÇakışmaÇözümleri .ekle(vektörlemeÇakışmaÇözümü)
18 | |  değişimAçısı2 = değişimAçısı2 + 5.0;
19  değişimAçısı1 = değişimAçısı1 + 5.0;
20  döndür vektörlemeÇakışmaÇözümleri

```

Algoritma 5.7 : Vektörleme ile Karşılıklı Çakışma Çözüm Algoritması

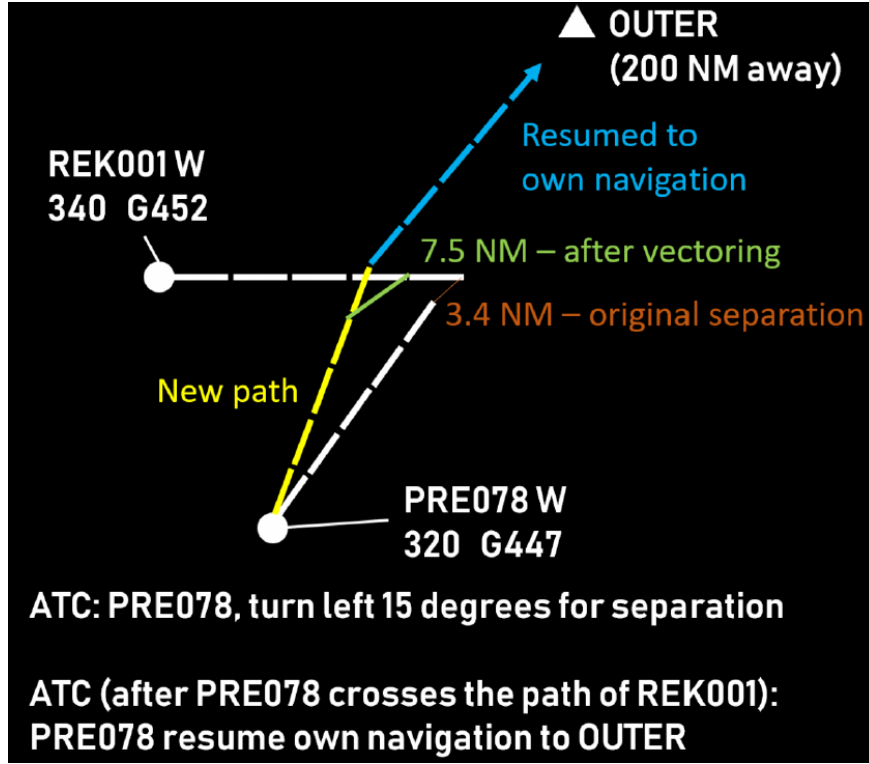
KÇÇA algoritması çıktı olarak karşılıklı çakışma çözüm stratejisine göre üretilmiş tüm kombinasyonel çakışma çözümlerine ait bir çakışma çözüm aksiyonlar listesi döner.

4.5.2.2. Çapraz Çakışma Çözüm Stratejisi ve Çözüm Üretme Algoritması

Çakışma geometrisi “çapraz” olarak tespit edilen çakışmalar için, çapraz çakışma stratejisi kullanılarak vektörleme ile çözüm üretilir. Çapraz çakışma çözüm

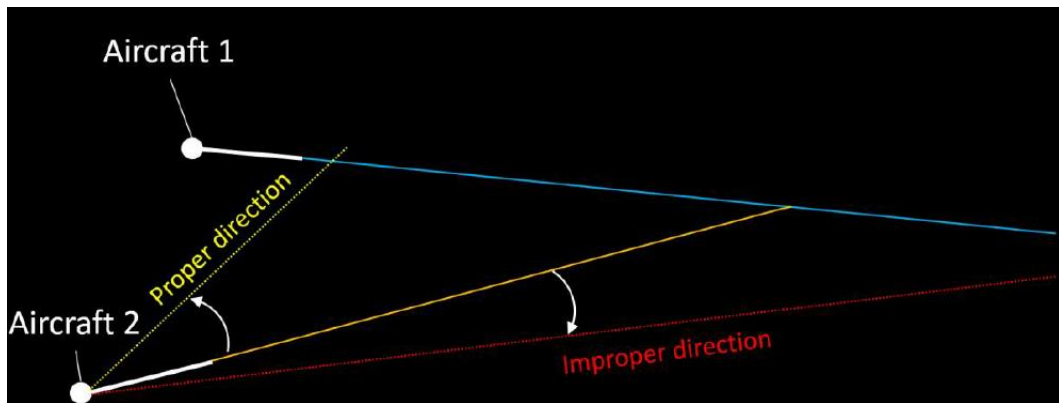
stratejisi belirlenirken ATC' lerin sıklıkla kullandıkları ve ICAO tarafından tanımlanan havacılık kuralları dikkate alınmıştır. Çapraz kesişen çakışmalar için çakışma çiftindeki hava araçlarından hava araçlarının lineer doğrultularının kesişim noktasına daha geç ulaşacak, yavaş olan hava aracının uçuş başı vektörleme ile kesişim noktasına daha erken ulaşacak hızlı olan diğer hava aracının arkasına doğru çevrilir[33]. Bu yöntem özellikle dikey seviye değişiminin uygulanmadığı(operasyonel sebepler veya trafik yoğunluğundan dolayı) ve hız değişimi için yeterli zamanın olmadığı durumlarda ATC' ler tarafından sıklıkla kullanılan etkili bir yöntemdir[Url-4]. Şekil 5.10' da çapraz çakışma çözüm stratejisi ile REK001W çağrı adlı ve PRE078W çağrı adlı hava araçları arasındaki çakışma ve uygulanan çözüm yer almaktadır. Bu senaryoda hava araçları aynı seviyede ve bu hava araçları için minimum yatay ayırma mesafesi 5 NM 'dir. Hava araçlarının orjinal rotalarında devam etmeleri durumunda birbirlerine en yakın geçecekleri noktada aralarındaki yatay mesafe 3.4 NM' ye inerek 5NM' lik güvenli ayırma mesafesini ihlal edecektir. ATC bu çakışmayı çözmek için ilk olarak hava araçlarının seyir hızlarını karşılaştırarak çakışma noktasına ilk varacak olan hava aracını belirlemekte. Senaryo incelendiğinde bu senaryoda REK001W hava aracının yere göre seyir hızı(G452) PRE078W hava aracının yere göre seyir hızından(G447) daha hızlı olduğu görülmekte. ATC kesişim noktasına daha geç ulaşacak olan PRE078W hava aracına sola doğru yani kesişim noktasına daha erken ulaşacak REK991W hava aracının arkasına doğru 15° 'lik bir vektörleme talimatı vermektedir. Bu talimat sonrasında hava araçlarının birbirlerine en yakın geçeceği noktada aralarındaki yatay mesafe 3.4 NM ' den 7.5 NM' ye çıkarılarak minimum güvenli ayırma mesafesi(bu örnek için 5 NM) tekrar sağlanmış olur[Url-4].

Bazı senaryolarda sadece yavaş olan hava aracının uçuş başını hızlı olan hava aracının arkasına çevirmek çakışmayı çözmeye yeterli olmayabilir. Bu gibi senaryolar içinde çakışma çözümü üretilebilmesi adına sadece yavaş olanı değil, yavaş hava aracında yapılan vektörleme ile aynı yönde hızlı olan hava aracının uçuş başı yönünde değiştirilebilir.



Şekil 5.10 : Vektörlleme ile Çapraz Çakışma Çözüm Stratejisi Örneği[Url-4]

Çapraz çakışma çözüm stratejisinde vektörlleme yönünün yanlış yönde (hızlı olan hava aracının önüne doğru) seçilmesi durumunda çakışma çözümü kısa süreliğine çözülmüş gibi gözüksede ileride tekrar bir çakışma oluşur[Url-5]. Şekil 5.11 ' deki görsel bu senaryoya bir örnektir.



Şekil 5.11 : Çapraz Çakışma Çözüm Stratejisi Yanlış Yön Seçimi [Url-5]

Çapraz Çakışma Çözüm Algoritması(ÇÇÇA) çapraz çakışma çözüm stratejisini kullanarak vektörlleme dayalı aday çakışma çözüm aksiyonları üretir. ÇÇÇA Algoritması ilk olarak hava araçlarının lineer doğrultularına ait kesişim

noktasını hesaplar. Daha sonra kesişim noktasına çakışma çiftindeki hava araçlarından ilk olarak hangisinin varacağını tespit eder. Kesişim noktasına daha geç varacak olan hava aracının uçuş başını vektörlere ile daha erken varacak olan hava aracının arkasına gelecek yönde ve 5' er derecelik artışlarla çevrilen tüm kombinasyonlar için çakışma çözüm aksiyonları üretilir. Buna ek olarak daha erken varacak hava aracının uçuş başında kesişim noktasına daha geç varacak olan hava aracına uygulanan vektörlere ile aynı yönde yine 5' er derecelik açılarla çevrilecek tüm kombinasyonlar için çakışma çözüm aksiyonları üretilir. ÇÇÇA algoritması 60°' lik maksimum vektörlere açı değişimi uygulayarak kombinasyonel çözüm aksiyon sayısını limitler. ÇÇÇA sonuç olarak çapraz çakışma çözüm stratejisine göre kombinasyonel yaklaşımla 5' er derecelik vektörlere değişim açısıyla olası tüm vektörlere aksiyonlarını içeren bir liste üretir. ÇÇÇA algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir.

```

1 List[] vektörlemeÇakışmaÇözümleri // vektörleme ile üretilen çakışma çözümleri listesi
2 ac1 // çakışmaya çiftindeki hava aracı 1
3 ac2 // çakışma çiftindeki hava aracı 2
4 değişimAçısı1 = 5.0;
5 değişimAçısı2 = 5.0;
6 maksimumDeğişimAçısı = 60.0
7 Pxy = kesişimNoktasınıHesapla(ac1, ac2) // hava araçlarının hız vektörlerine ait kesşim noktası
8 öndekiHavaAracı = kesişimNoktasınaİlkErişeniBul(ac1,ac2);
9 Eğer ilkAc.id == ac1.id ise :
10 | arkadakiHavaAracı = ac2
11 Değilse :
12 | arkadakiHavaAracı = ac1
13 λ = ilkErişeninSonErişeneGöreYönnüBul(ilkAc, sonAc) // saat yönünde veya tersi yönde
14 Eğer λ saat yönü ise :
15 | değişimAçısı1 <= maksimumDeğişimAçısı olduğu sürece dön :
16 | | σ = arkadakiHavaAracı.güncelİzAçısınıOku() // arkadaki hava aracının iz açısı
17 | | σnew = σ + değişimAçısı1
18 | | vekötrlemeÇözüm1 = arkadakiHavaAracınaYeniYönAta(σnew)
19 | / vektörlemeÇakışmaÇözümleri.ekle(vekötrlemeÇözüm1)
20 | | değişimAçısı2 <= maksimumDeğişimAçısı olduğu sürece dön :
21 | | | ρ = öndekiHavaAracı.güncelİzAçısınıOku() // öndeki hava aracının iz açısı
22 | | | ρnew = ρ + değişimAçısı
23 | | | vekötrlemeÇözüm2 = öndekiHavaAracınaYeniYönAta(σnew)
24 | / / vektörlemeÇakışmaÇözümleri.ekle(vekötrlemeÇözüm2)
25 | | | değişimAçısı1 = değişimAçısı1 + 5.0
26 | | | değişimAçısı2 = değişimAçısı2 + 5.0
27 Değilse :
28 | değişimAçısı1 <= maksimumDeğişimAçısı olduğu sürece dön :
29 | | σ = arkadakiHavaAracı.güncelİzAçısınıOku() // arkadaki hava aracının iz açısı
30 | | σnew = σ - değişimAçısı1
31 | | vekötrlemeÇözüm1 = arkadakiHavaAracınaYeniYönAta(σnew)
32 | / vektörlemeÇakışmaÇözümleri.ekle(vekötrlemeÇözüm1)
33 | | değişimAçısı2 <= maksimumDeğişimAçısı olduğu sürece dön :
34 | | | ρ = öndekiHavaAracı.güncelİzAçısınıOku() // öndeki hava aracının iz açısı
35 | | | ρnew = ρ - değişimAçısı
36 | | | vekötrlemeÇözüm2 = öndekiHavaAracınaYeniYönAta(σnew)
37 | / / vektörlemeÇakışmaÇözümleri.ekle(vekötrlemeÇözüm2)

```

38 | | | $değişimAçısı1 = değişimAçısı1 + 5.0$

39 | | | $değişimAçısı2 = değişimAçısı2 + 5.0$

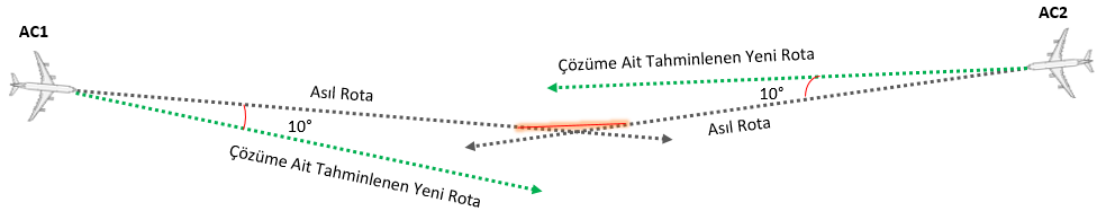
40 **döndür** vektörlemeÇakışmaÇözümleri

Algoritma 5.8 : Vektörleme ile Çapraz Çakışma Çözüm Algoritması

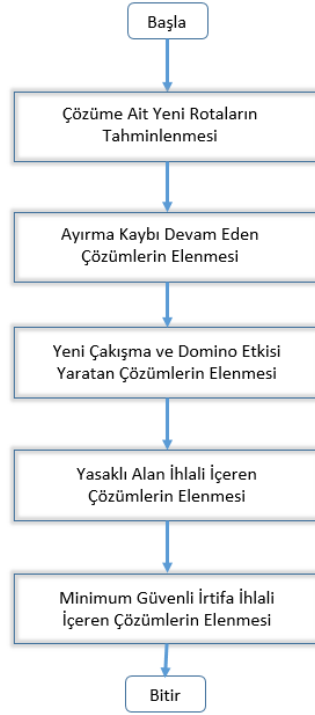
4.5.3. Güvenlik Kısıtlarının Uygulanması ve Uçuş Emniyetini İhal Eden Çözümlerin Elenmesi

Bölüm 3.1.10 ‘ da belirtildiği gibi hava araçlarına ait çakışma çözümünde CDR yaklaşımlarının birinci önceliği güvenlidir. Üretilen bir çakışma çözümü problem çözümünde tanımlanan güvenlik kısıtlarını mutlaka sağlamalıdır. Üretilen aday çakışma çözüm aksiyonlarındaki hava aracının yada araçlarının yörüngesi bir cezalandırma fonksiyonu ve amaç fonksiyonu ile optimize edilmeden önce güvenlik kısıtlarını sağlayıp sağlamadıkları kontrol edilmelidir. CDÇÇM metodolojisi üretilen aday çözüm aksiyonları için çözüm yörüngesinin asıl planlanan rotadan sapma miktarı ve bu çözümün maliyetini değerlendirmeden önce problem tanımında bölüm 4.2.1’ de detaylıca güvenlik kısıtlarını sağlaması gerekir.

CDÇÇM aşağıdaki Şekil 5.13’ deki Güvenlik Kısıtları ile Filtreleme Metodolojisi(GKFM) kullanılarak üretilen aday çözümlerden güvenlik kısıtlarını sağlamayan çözümleri eleyerek filtrelemektedir. Güvenlik kısıtları uygulanmadan önce çözüm aksiyonuna göre GDDDT algoritması ile çakışma çiftindeki hava araçlarının yeni rotaları tahminlenir. Tahminlenen bu yeni rotalar hava araçlarının çakışma çözüm rotalarıdır. Örneğin Şekil 5.12’ deki AC1 ve AC2 hava araçları arasında tespit edilen bir çakışma için CDÇÇM ile üretilen çözüm önerilerinden biri her iki hava aracının uçuş başlarını 10° sağa çevirmek olsun. Bu çözümün güvenlik kısıtlarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edebilmek için çözüme yeni rotaların GDDDT algoritması ile tahminlenmesi yapılır.



Şekil 5.12 : Çözüme Ait Yeni Rotaların Tahminlenmesi



Şekil 5.13 : CDÇÇM Güvenlik Kısıtı Filtrelemesi

4.5.3.1. Ayırma Kaybını Sağlamayan Aday Çözümlerin Elenmesi

Çakışma tespiti yapıldıktan sonra çakışma çözüm yaklaşımında ilk hedef çakışmaya karışan hava araçları arasındaki minimum yatay ve dikey ayırma mesafelerinin tekrardan sağlanmasıdır. Bu güvenlik kısıtı uygulanırken hava araçları için CDÇÇM ile üretilen çakışma çözümünün GDDDT ile tahminlenen yeni rotaları için bir ayırma kaybının olup olmadığı bölüm 5.3 ‘deki çakışma tespit metodolojisi ve çakışma tespit algoritması kullanılarak test edilir. Üretilen çakışma çözümü sonrası bu çakışma çözümü için çakışma çiftine ait çakışma durumu devam etmesi durumunda bu çözüm elenir. Kısacası bu adımda üretilen çakışmanın çakışma çifti arasındaki çakışmayı çözüp çözmediği kontrol edilir.

4.5.3.2. Yeni Çakışma ve Domino Etkisi Yaratan Çözümlerin Elenmesi

Bu güvenlik kısıtı ise CDÇÇM ile üretilen çözüm aksiyonuna ait çakışma çiftindeki hava araçlarının tahminlenen rotaları ile çakışma çifti dışındaki diğer hava araçlarının güncel durumlarına ait GDDDT ile tahminlenmiş rotaları arasında yeni bir olası çakışmanın oluşup oluşmadığı kontrol edilir. Bu kontrol oluşabilecek bir domino etkiside önler. Bölüm 4.2.1.2’ de çakışma çözümünde yeni çakışma durumu ve

domino etkisi detaylıca açıklanmıştır. Bu kısıt uygulanırken havadaki çakışma çifti dışındaki tüm hava araçlarının güncel durumlarına dayalı rotaları GDDDT algoritması ile tahmin edilerek çözüme ait rotalar ile karşılaştırılır. CDÇÇM ile üretilmiş çözüm aksiyondaki hava araçlarının yeni rotaları ile diğer hava araçlarının güncel rotaları arasında bir çakışma söz konusu ise bu çözüm elenir.

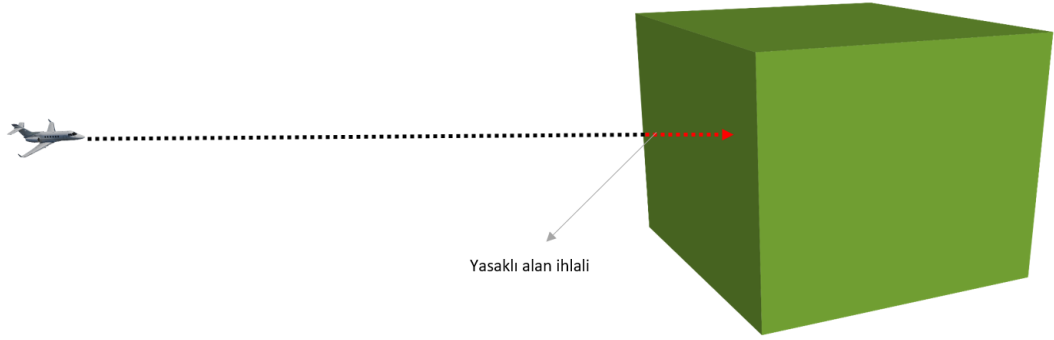
Hava sahasındaki tüm hava araçları ile oluşabilecek bir çakışma durumu kontrol edildiğinden, CDÇÇM global bir çözüm üretmesini sağlar. Literatürdeki çalışmalar incelendiği zaman üretilen çözümün özellikle güvenlik açısından global bir çözüm olması beklenir.

4.5.3.3. Yasaklı ve Kısıtlı Alan İhlali Yapan Çözümlerin Elenmesi

Hava araçlarının bazı hava sahası hacimlerine girişleri yasaklanabilir yada kısıtlanabilir. Güvenlik gerekçelerinden dolayı hava araçlarının tanımlanan bu hava sahası hacimlerine girmesi hava trafiği açısından ciddi tehlikelere yol açabilir. Çakışma çözümü üretilirken üretilen çözüme ait hava araçlarının tahminlenen rotaları bu kısıtlı sahaları ihlal etmemelidir. Çakışma çözümünün yasaklı veya kısıtlı bir hava sahasını ihlal etme durumu bölüm 4.2.1.3' de detaylıca açıklanmıştır.

Bu kısıt uygulanırken çakışma çiftindeki hava araçlarının CDÇÇM ile üretilmiş çakışma çözüm aksiyonuna göre GDDDT ile tahminlenmiş rotalarının herhangi bir yasaklı veya kısıtlı hava sahasını ihlal etme durumu kontrol edilir. Çakışma çiftindeki hava araçlarının en az birinin CDÇÇM ile üretilmiş çakışma çözüm aksiyonuna göre GDDDT ile tahminlenmiş rotası herhangi bir yasaklı yada kısıtlı hava sahasını ihlal etmesi durumunda üretilmiş bu çözüm elenerek filtrelenir.

Yasaklı ve kısıtlı hava sahaları üç boyutlu hava sahası hacimleridir. Bir hava aracının tahminlenmiş rotasına ait 3 boyutlu pozisyonlardan herhangi bir yasaklı yada kısıtlı hava sahası hacmi içerisinde olması durumunda ihlal gerçekleşir. Yasaklı ve kısıtlı hava sahası hacimlerine ait tanımlamalar iki boyutlu bir çokgeni oluşturan kartezyen pozisyonlar listesi ile dikey alt ve üst sınır limitleridir. Şekil 5.14 'de bir hava aracının yasaklı bir hava sahası hacmini ihlali yer almaktadır.



Şekil 5.14 : Yasaklı veya Kısıtlı Alan ihlali

Yasaklı alan ihlal kontrolü yapılırken Yasaklı Alan İhlal Tespit Algoritması (YAİTA) kullanılır. YAİTA algoritması girdi olarak yasaklı alanlar listesi ve hava aracının tahminlenmiş 3D pozisyonlar listesini alır. YAİTA algoritması hava aracının tahminlenmiş tüm 3D pozisyonlarının yasaklı hava sahası hacminde olup olmadığını her bir pozisyon için kontrol eder. Algoritma bir 3D pozisyonun yasaklı alan içerisinde olup olmadığını kontrol ederken ilk olarak pozisyona ait yükseklik değerinin dikey ekseninde yasaklı alanın alt ve üst sınır yükseklik değerleri içerisinde olup olmadığını kontrol eder. Eğer hava aracına ait 3D pozisyona ait yükseklik alanın dikey alt ve üst sınırı içinde ise, bu pozisyona ait 2D kartezyen pozisyonun yasaklı alanı 2D olarak tanımlayan çokgenin içinde olup olmadığını kontrol eder. Bu kontrol aslında 2D bir pozisyonun bir çokgen içerisinde olup olmadığını kontrolüdür. Bu kontrolü yapmak için bölüm 5.5.2 'deki "İçerisindemi" Algoritmasını(İA) kullanır. Bu algoritmayı uygulayan *icerisindemi()* fonksiyonu bölüm 5.5.2' de detaylıca açıklanmıştır. YAİTA algoritması hava aracının tahminlenmiş 3D pozisyonlarından herhangi birinin hem yatayda hem de dikeye yapılan kontroller sonucunda yasaklı hava sahası hacmi içerisinde tespit etmesi durumdan yasaklı alan ihlal tespiti yapar. YAİTA algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir.

```

1 yasaklıAlanListesi [ ] ; // Yasaklı alanlar listesi
2 A; // Çözüm aksiyonunu içeren hava aracı durum modeli
3 tahminlenenPozisyonListesi [ ] = gddt( A ); // Çözüm aksiyonuna göre tahminlenmiş rota
4 yasaklıAlanİhlaliVar = false;
5 i = 0;
6 i < tahminlenenPozisyonListesi olduğu sürece dön :
7 | P3D = tahminlenenPozisyonListesi [ i ];
8 | Pxy = P3D.get2D();
9 | tahminleneİrtifa = P3D.getAltitude();
10 | j = 0;
11 | j < yasaklıAlanListesi.boyut olduğu sürece dön :
12 | | yasaklıAlan = yasaklıAlanListesi [ j ] ;
13 | | altSınırYüksekliği = yasaklıAlan.altİrtifaSınırınıOku();
14 | | üstSınırYüksekliği = yasaklıAlan.üstİrtifaSınırınıOku();
15 | | Eğer altSınırYüksekliği < tahminleneİrtifa ve tahminleneİrtifa < üstSınırYüksekliği ise :
16 | | | Eğer içerisindemi( Pxy , yasaklıAlan ) = true ise :
17 | | | yasaklıAlanİhlaliVar = true;
18 | | | döndür yasaklıAlanİhlaliVar;
19 | | j ++;
20 | i ++;
21 döndür yasaklıAlanİhlaliVar;

```

Algoritma 5.9 : Yasaklı Alan İhlal Tespit Algoritması

Yasaklı ve Kısıtlı Alan İhlali kontrolünde EUROCONTROL spesifikasyonu[34] dikkate alınmıştır.

4.5.3.4. Minimum Güvenli Yükseklik İhlali Yapan Çözümlerin Elenmesi

Bir diğer önemli güvenlik kısıtı da çakışma çiftindeki hava araçları için CDÇÇM ile üretilen çözüm aksiyonuna göre GDDDT ile tahminlenmiş yeni rotalarının minimum güvenli uçuş irtifasını ihlal etmemeleridir. Hava araçlarının dağ, tepe veya insan yapımı engeller ile oluşabilecek çakışmalarını önleyebilmek için hava araçlarının uçabileceği minimum güvenli irtifalar bölgesel olarak tanımlanır. Minimum Güvenli Uçuş İrtifasına(MGUİ) sahip bu bölgeler Minimum Güvenli Uçuş İrtifa Alanları(MGUİA) olarak adlandırılır. Bu alanlar iki boyutlu bir çokgen olarak tanımlanarak ve bir Minimum Güvenli Uçuş İrtifası atanarak oluşturulur. Bir MGUİA alanına minimum güvenli uçuş yüksekliği tanımlanırken o bölgedeki en yüksek

yeryüzü yüksekliği ve manialar dikkate alınır. MGUIA alanları ve minimum güvenli yükseklik ihlaline ait detaylı bilgi problem tanımında bölüm 4.2.1.4 ‘ de yer almaktadır.

Bu kısıt uygulanırken çakışma çiftindeki hava araçlarının CDCÇM ile üretilmiş çakışma çözüm aksiyonuna göre GDDDT ile tahminlenmiş rotalarındaki her bir pozisyona ait irtifa değerinin herhangi bir minimum güvenli irtifa uçuş alanını ihlal etme durumu kontrol edilir. Çakışma çiftindeki hava araçlarının en az birinin CDCÇM ile üretilmiş çakışma çözüm aksiyonuna göre GDDDT ile tahminlenmiş rotası herhangi bir minimum güvenli irtifa uçuş alanını ihlal etmesi durumunda üretilmiş bu çözüm elenerek filtrelenir.

MGUI ihlal kontrolü yapılırken Minimum Güvenli Uçuş İrtifası İhlal Tespit Algoritmasını (MGUIİT) kullanılır. MGUIİT algoritması girdi olarak MGUIA alanlar listesi ve hava aracının tahminlenmiş 3D pozisyonlar listesini alır. MGUIİT algoritması hava aracının tahminlenmiş tüm 3D pozisyonlarının MGUIA alanı içerisinde olup olmadığını teker teker kontrol eder. Algoritma bir 3D pozisyonun MGUIA alanı içerisinde olup olmadığını kontrol ederken ilk olarak pozisyona ait yükseklik değerinin MGUIA alanına ait minimum güvenli uçuş irtifa değerinin altında olup olmadığını kontrol eder. Eğer hava aracına ait 3D pozisyona ait yükseklik alana ait minimum güvenli uçuş irtifa değerinin altında ise, bu pozisyona ait 2D kartezyen pozisyonun MGUIA alanını 2D olarak tanımlayan çokgenin içinde olup olmadığını kontrol eder. Bu kontrolü yapmak için bölüm 5.5.2 ‘deki “İçerisinde” Algoritmasını(İA) kullanır. Bu algoritmayı uygulayan *icerisinde()* fonksiyonu bu bölümde detaylıca açıklanmıştır. MGUIİT algoritması hava aracının tahminlenmiş 3D pozisyonlarından herhangi birinin herhangi bir MGUIA alanına ait minimum güvenli uçuş seviyesini ihlal etmesi durumunda ihlal tespiti yapar. MGUIİT algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir.

```

1  mguiaAlanListesi [ ] ; // MGUİA alanlar listesi
2  A; // Çözüm aksiyonunu içeren hava aracı durum modeli
3  tahminlenenPozisyonListesi [ ] = gddt( A ); // Çözüm aksiyonuna göre tahminlenmiş rota
4  minimumGüvenliİrtifaİhlaliVar = false;
5  i = 0;
6  i < tahminlenenPozisyonListesi.boyut olduğu sürece dön :
7  | P3D = tahminlenenPozisyonListesi [ i ];
8  | Pxy = P3D.get2D();
9  | tahminleneİrtifa = P3D.getAltitude();
10 | j = 0;
11 | j < mguiaAlanListesi.boyut olduğu sürece dön :
12 | | mguiaAlanı = mguiaAlanListesi [ j ];
13 | | minimumGüvenliYükseklik = mguiaAlanı.getMinimumSafeAltitude();
15 | | Eğer minimumGüvenliYükseklik > tahminleneİrtifa ise :
16 | | | Eğer içerisindemi( Pxy ,msawAlanı) = true ise :
17 | | | minimumGüvenliİrtifaİhlaliVar = true;
18 | | | döndür minimumGüvenliİrtifaİhlaliVar;
19 | | j ++;
20 | i ++;
21 döndür minimumGüvenliİrtifaİhlaliVar;

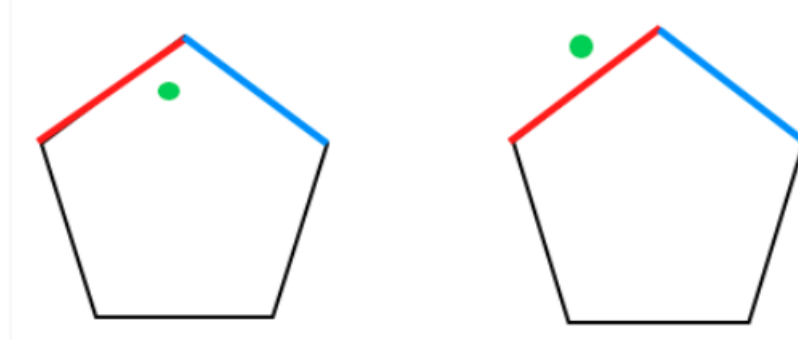
```

Algoritma 5.10 : Minimum Güvenli Uçuş İrtifası İhlal Tespit Algoritması

Minimum güvenli uçuş irtifası kontrolünde EUROCONTROL spesifikasyonu[35] dikkate alınmıştır.

4.5.4. İçerisindemi Algoritması – İA

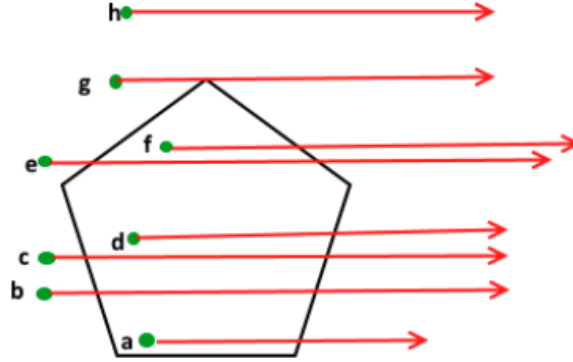
İçerisindemi algoritması bir noktanın bir çokgen içerisinde olup olmadığını kontrol eder. Algoritmayı implemente eden “İçerisindemi()” fonksiyonu kendisine parametre olarak verilen bir kartezyen pozisyonu ve çokgeni oluşturan kartezyen pozisyonlar dizisini alır. Daha sonra bu kartezyen noktasının çokgen içerisinde olup olmadığını test eder[Url-15].



Şekil 5.15 : Çokgen ve Nokta Durumu[Url-15]

Fonksiyondaki algoritmanın temel adımları aşağıdaki gibidir :

1. Verilen noktadan sağa doğru yatay sonsuz bir çizgi çizilir.
2. Çizginin çokgen kenarlarıyla kesişme sayısı sayılır.
3. Kesişim sayısı tek ise veya nokta çokgenin bir kenarında bulunuyorsa, nokta çokgenin içindedir. Kesişim sayısı çift ise veya nokta kenar çokgenin herhangi bir kenarı üzerinde değilse, nokta dışarıdadır.



Şekil 5.16 : İçerisinde Kontrolü[Url-15]

İçerisinde(*mi*) algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir.

```

1  çokgen [ ] ; // Çokgeni oluşturan kartezyen noktalar dizisi
2  n ; // Çokgenin kenar sayısı
3  p; // Kontrolü yapılacak kartezyen nokta
4  Eğer n < 3 ise : // Çokgenin 3 den az kenarı varsa çokgen değildir
5  | döndür 0;
6  Nokta sonsuzNokta = yeniNokta(99999, p.y); // y değeri p ile aynı sonsuzde bir nokta oluşturur
7  Çizgi exline = yeniÇizgi( p , sonsuzNokta ) // p noktasından sonsuza doğru bir çizgi oluşturur.
8  sayaç = 0;
9  i = 0;
10 yap :
11 | // Çokgenin ardışık noktalarından kenar oluşturur
12 | Çizgi kenar = yeniÇizgi( çokgen[i] , çokgen[ i + 1] )
13 | Eğer kesiştirMu( kenar , exline ) = 1 ise :
14 | | Eğer yönKontrolüYap( kenar.p1 , kenar.p2) = 0 ise :
15 | | | döndür üzerindeMi( kenar , p );
16 | | sayaç++;
17 | i = ( i + 1 ) % n ;
18 i != 0 olduğu sürece :
19 döndür sayaç ve 1 ; // Sayac tek olduğunda

```

Algoritma 5.11 : İçerisindeki Algoritması[[Url-15](#)]

İçerisindeki Algoritması bir noktanın bir çokgen içerisinde olup olmadığını kontrol ederken *kesiştirormu()*, *üzerindeMi()* ve *yönKontrolüYap()* yardımcı fonksiyonlarını kullanır. *Kesiştirormu()* fonksiyonu, iki çizginin kesiştirip kesiştirmediğini belirlemek için kullanılır. İki çizginin kesiştirip kesiştirmediğini kontrol etmek için *yönKontrolüYap()* fonksiyonunu kullanarak yön kontrolü yapar ve ayrıca çizgilerin her bir noktasının diğer çizgi üzerinde olup olmadığını *üzerindeMi()* fonksiyonu ile kontrol eder. Eğer iki çizgi kesiştiriyorsa, 1 döndürür[[Url-15](#)]. İki çizgi kesiştirmiyor ise 0 döndürür. *Kesiştirormu()* fonksiyonuna ait algoritma adımları aşağıdaki gibidir.

```

1  l1 ;                               // Line 1
2  l2 ;                               // Line 2
3  yon1 = yönKontrolüYap(l1.p1, l1.p2, l2.p1);
4  yon2 = yönKontrolüYap (l1.p1, l1.p2, l2.p2);
5  yon3 = yönKontrolüYap (l2.p1, l2.p2, l1.p1);
6  yon4 = yönKontrolüYap l2.p1, l2.p2, l1.p2);
7  Eğer yon1 != yon2 ve yon3 != yon4 ise :      // Kesiştiğinde
8  | döndür 1;
9  Eğer yon1 = 0 ve üzerindemi(l1, l2.p1) = 1 ) ise : // line2'nin p2'si line1'de olduğunda
10 | döndür 1;
11 Eğer yon2 = 0 ve üzerindemi(l1, l2.p2) = 1 ) ise : // line2'nin p1'i line1'de olduğunda
12 | döndür 1;
13 Eğer yon3 = 0 ve üzerindemi(l2, l1.p1) = 1 ) ise : // line1'in p2'si line2'de olduğunda
14 | döndür 1;
15 Eğer yon4 = 0 ve üzerindemi(l2, l1.p2) = 1 ) ise : // line1'in p1'i line2'de olduğunda
16 | döndür 1;
17 döndür 0;

```

Algoritma 5.12 : Kesişiyormu Algoritması[[Url-15](#)]

yönKontrolüYap() fonksiyonu, üç noktanın konumunu belirlemek için kullanılan bir yöntem olan "CCW (Counter Clockwise)" yöntemini uygular. Bu yöntem, üç noktanın bir doğru üzerinde mi yoksa saat yönünün tersinde mi olduğunu belirlemek için kullanılır[[Url-15](#)]. Fonksiyon, üç nokta (a, b ve c) alır ve bu noktaların konumunu belirlemek için aşağıdaki adımları takip eder:

1. *val* adlı bir değişken tanımlanır ve üç noktanın konumunu belirlemek için gerekli hesaplamalar yapılır.
2. Eğer *val* değeri 0 ise, bu demektir ki üç nokta da aynı doğru üzerinde yer alıyor. Bu durumda fonksiyon 0 değerini döndürür.
3. Eğer *val* değeri 0'dan küçük ise, bu demektir ki üç nokta saat yönünün tersinde yer alıyor. Bu durumda fonksiyon 2 değerini döndürür.
4. Eğer *val* değeri 0'dan büyük ise, bu demektir ki üç nokta saat yönünde yer alıyor. Bu durumda fonksiyon 1 değerini döndürür.

Kesişiyormu() fonksiyonuna ait algoritma adımları aşağıdaki gibidir.

```

1  a ;                               // a Noktası
2  b ;                               // b Noktası
3  c ;                               // c Noktası
4  val = (b.y - a.y) * (c.x - b.x) - (b.x - a.x) * (c.y - b.y);
4  Eğer val = 0 ise :                 // Üç nokta aynı hizada
5  | döndür 0;
6  Değilse Eğer val < 0 ise :       // Saat yönünün tersine
7  | döndür 2;
9  Değilse :                         // Saat yönünde
10 | döndür 1;

```

Algoritma 5.13 : Yön Kontrolü Algoritması[[Url-15](#)]

Üzerindemi() fonksiyonu, bir doğru ve bir noktayı girdi olarak alır. Fonksiyonun amacı, verilen noktanın (p) verilen doğru(d) üzerinde olup olmadığını kontrol etmektir. İlk olarak, noktanın x koordinatı (p.x) ve doğrunun x koordinatlarının maksimum ve minimum değerleri karşılaştırılır. Eğer noktanın x koordinatı, doğrunun x koordinatlarının maksimum ve minimum değerleri arasında ise, nokta doğru üzerinde olabilir. Aynı şekilde, noktanın y koordinatı (p.y) ve doğrunun y koordinatlarının maksimum ve minimum değerleri de karşılaştırılır. Eğer noktanın hem x hem de y koordinatları doğrunun koordinat sınırları arasında ise, nokta doğru üzerinde kabul edilir ve fonksiyon 1 değerini döndürür. Eğer nokta doğru üzerinde değilse, fonksiyon 0 değerini döndürür. *Üzerindemi()* fonksiyonuna ait algoritma adımları aşağıdaki gibidir.

```

1  d ;                               // Doğru Parçası
2  p ;                               // Kartezyen koordinat sistemine göre bir nokta
3  //Nokta Doğrunun üzerinde mi diye kontrol et
4  Eğer ( p.x <= max(d.nokta1.x, d.nokta2.x) ve p.x <= min(d.nokta1.x, d.nokta2.x) ) ve
   (( p.y <= max(d.nokta1.y, d.nokta2.y) ve p.y <= min(d.nokta1.y, d.nokta2.y) ) ise :
5  | döndür 1;
6  Değilse :
7  | döndür 0;

```

Algoritma 5.14 : Yön Kontrolü Algoritması[[Url-15](#)]

Sonuç olarak *İçerisindemi()* fonksiyonu bir noktanın bir çokgen içerisinde olup olmadığını döndürür.

4.5.5. Cezalandırma Yaklaşımı ve Fonksiyonu

CDÇÇM ile çakışma çözümünde çakışma çiftindeki hava araçları veya aracının yörüngesi optimize edilirken üretilen çözüm güvenlik kısıtlarını sağlıyorsa, çözüm yörüngesinin asıl rotadan sapma miktarı, çakışma çözümündeki manevra sayısı ve bu çözümün maliyeti değerlendirilir. CDÇÇM metodolojisi çakışma çözümü yörünge optimizasyonunda çakışma çiftindeki hava araçlarının *asıl rotalarından sapma miktarlarını ve kontrolör iş yükünü* minimize etmeyi hedefler. CDÇÇM metodolojisi bu hedefi uygulayabilmek için çakışma çifti için üretilen her bir çözüm aksiyonu için bir cezalandırma puanı hesaplar.

CDÇÇM metodolojisi ile vektörlemeye dayalı çakışma çözüm aksiyonları için cezalandırma puanı hesaplanırken aşağıdaki iki kural gözetilir:

1. Rotasında değişiklik yapılan(uçuş başı değiştirilen) hava aracı sayısı
2. Asıl rotadan sapma miktarı

Birinci madde çakışma çiftindeki hava araçları için üretilen çakışma çözüm aksiyonunun çakışma çiftindeki hava araçlarından kaç tanesi için uçuş başı değişikliği yapıldığını yani manevra sayısını dikkate alır. Bu cezalandırmanın amacı çakışma çözümünde, çakışma çiftindeki hava araçlarında yapılacak uçuş başı değişiklik sayısını azaltarak mümkün olması durumunda çakışma çiftindeki hava araçlarından sadece birinde değişiklik yapmaya zorlamaktır. İkinci madde hava aracının güncel uçuş başı ile çakışma çözümü için üretilen çakışma çözüm aksiyonundaki uçuş başı değişiklik farkını dikkate alarak bir ceza puanı hesaplamaktadır. İkinci maddede uygulanan cezalandırma yaklaşımının amacı çakışma çözümünde hava aracının yatay düzlemdeki rotasından sapma miktarını minimize etmektir.

Cezalandırma uygulanırken birinci maddenin toplam cezalandırma puanına etkisi her zaman için ikinci maddeden fazladır. Çünkü CDÇÇM metodolojisi vektörleme ile çakışma çözümü üretiminde her zaman için hava araçlarının asıl rotalarından minimum sapacak çözümleri üretmeyi hedefler. Örneğin bir çakışma çifti için her bir hava aracında 5' er derecelik uçuş başı değişikliği yerine tek bir hava aracında 15 derecelik bir uçuş başı değişimini tercih eder. Çünkü her bir hava aracında yapılan uçuş başı değişikliği çakışma durumu çözüldükten ve hava araçları arasında

tekrar güvenli bir mesafe oluştuktan sonra bu hava araçları ATC' ler tarafından tekrar asıl rotalarına yönlendirmeyi gerektirir.[Url-3]. Her iki hava aracında yapılacak uçuş başı değişikliği kontrolörün çakışma sonlanması ve sonrasına kadar her iki hava aracını da takip etmesi ve sonrasında asıl rotalarına yönlendirmesi anlamına gelir. Bu kontrolörler için ekstra iş yükü oluşturur. CDÇÇM ile vektörleme cezalandırma yaklaşımındaki birinci kural hem kontrolör iş yükünü minimize etmeyi hem de toplam rotadan sapma miktarını minimize etmeyi hedeflerken ikinci kural direk olarak asıl rotadan sapma miktarını minimize eder.

CDÇÇM ile vektörleme çakışma çözüm aksiyonu için cezalandırma yaklaşımına ait değişkenler ve cezalandırma fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

ρ_1 : Birinci hava aracı için uçuş başı değişiklik cezası

ρ_2 : İkinci hava aracı için uçuş başı değişiklik cezası

β_1 : Birinci hava aracı için uçuş başı değişiklik miktarı

β_2 : İkinci hava aracı için uçuş başı değişiklik miktarı

\forall : Uçuş başı değişiklik etki katsayısı

σ : Uçuş başı değişiklik miktarı etki katsayısı

CDÇÇM metodolojisine göre vektörleme ile üretilen bir çakışma çözüm aksiyonu için toplam ceza puanını hesaplayan cezalandırma fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\text{Toplam Ceza} = \forall(\rho_1 + \rho_2) + \sigma(\beta_1 + \beta_2), \forall > \sigma \quad (5.1)$$

4.5.6. Amaç Fonksiyonunun Uygulanması ve Çakışma Çözüm Üretimi

CDÇÇM metodolojisine göre vektörleme ile çakışma çözümünün amacı güvenlik kısıtlarını sağlayan ve vektörleme cezalandırma yaklaşımı ile ceza puanları hesaplanmış çözüm aksiyonları listesinden toplam ceza puanı en az olan çözümün belirlenerek çakışma çözümü olarak üretilmesidir. Üretilen bu çakışma çözümü problem tanımında belirlenen ve bölüm 4.2.1' deki güvenlik kısıtlarını sağlayan, manevra sayısını, asıl rotalarından sapma miktarlarını ve kontrolör iş yükünü minimize eden bir çözümdür.

Amaç fonksiyonunu uygulayan algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

```

1 vektörlemeÇözümleri [ ] ;
2 enİyiÇözüm;
3 güvenliÇözümler= güvenlikKısıtlarınıUygula( vektörlemeÇözümleri );
4 sıralanmışGüvenliÇözümler= küçüktenBüyükçeSırala( güvenliÇözümler);
4 enİyiÇözüm = sıralanmışGüvenliÇözümler[0];
6 döndür enİyiÇözüm;

```

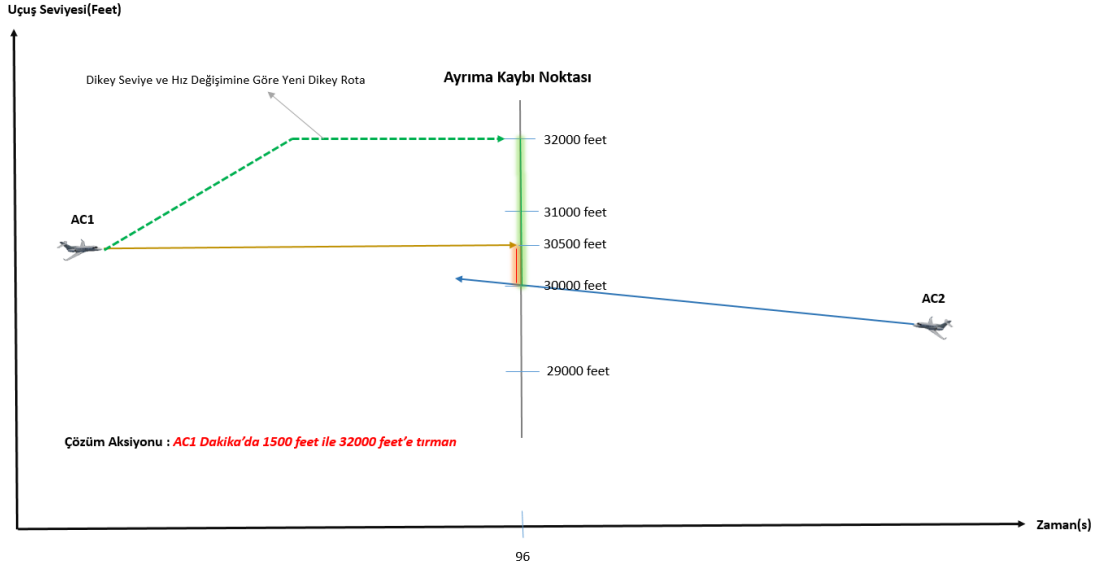
Algoritma 5.15 : Vektörleme Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu CDÇÇM ile üretilmiş vektörleme çözümlerinden güvenlik kısıtlarına uymayan çözümleri eler. Daha sonra güvenlik kısıtlarını sağlayan çözümleri vektörleme ceza yaklaşımına göre hesaplanmış toplam ceza puanlarına göre sıralayarak en az ceza puanına sahip çözümü bulur.

4.6. CDÇÇM İLE DİKEY SEVİYE DEĞİŞİMİ KULLANILARAK ÇAKIŞMA ÇÖZÜMÜ

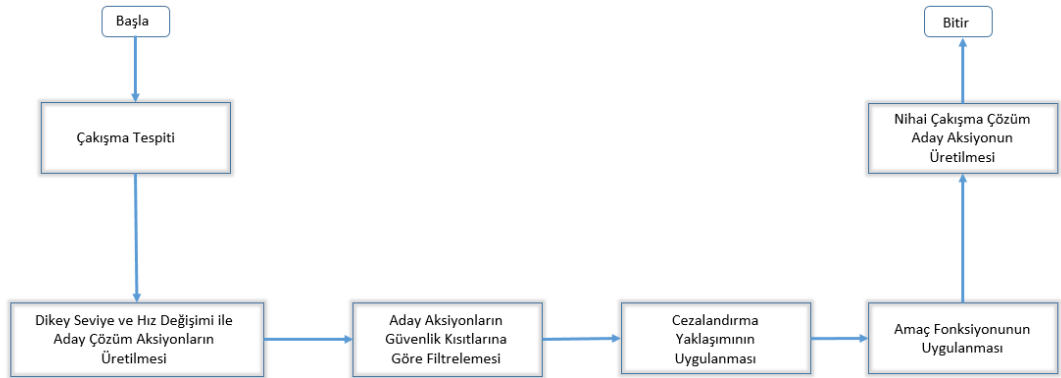
Bölüm 2.2’ de detaylıca açıklandığı gibi kontrolörler tarafından uygulanan diğer bir çakışma çözüm yönteminde *Dikey Seviye Değişimi* ile çakışma çözümüdür. CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözümünde bir hava aracı çiftine ait çakışmadaki hava araçlarına dikey seviye ve dikey hız atanarak aday çakışma çözümleri üretilir. Atanan bu dikey seviye ve hız ile hava araçlarının çakışma noktasında aralarındaki dikey mesafe tekrar minimum dikey ayırma mesafesinin üstüne çıkar ve ayırma kaybı ortadan kaldırılmış olur.

CDÇÇM metodolojisine göre dikey seviye ve hız değişim yöntemi kullanılarak çakışma çiftindeki hava araçlarından birine veya her ikisine yeni dikey seviye ve hız atayarak dikey düzlemdeki rotaları değiştirilir. Şekil 5.17’ deki örnek senaryoda AC1 ve AC2 hava araçlarının çakışma noktasında dikey düzlemdeki irtifa farkları 500 feet’ tir. Bu senaryo için minimum dikey ayırma mesafesi 1000 feet iken bu iki hava aracının irtifaları farkı çakışma noktasında 1000 feet’ in altındadır. Bu senaryoda dikey seviye ve hız değişimi ile üretilen aksiyonlardan biri AC1 hava aracının dakikada 1500 feet ile 30000 feet ‘ ten 32000 feet’ e tırmanmasıdır. Bu çözüm aksiyonuna göre üretilen yeni dikey rotada AC1 ve AC2 hava araçlarının çakışma noktasında aralarındaki irtifa farkı 2000 feet olmakta ve tekrar minimum dikey ayırma mesafesi olan 1000 feet’ in üzerine çıkmaktadır.



Şekil 5.17 : Dikey Seviye ve Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü Örnek Senaryosu

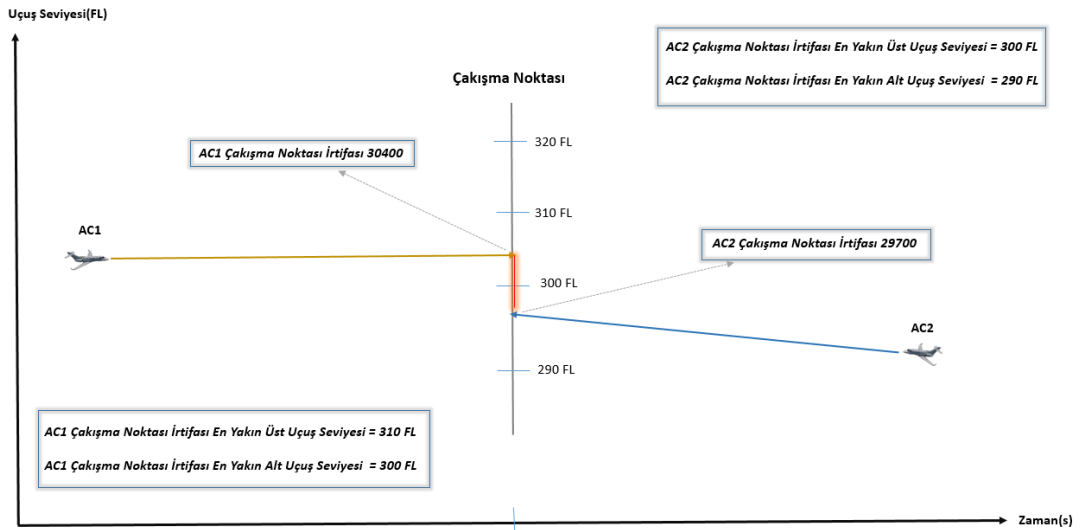
CDÇÇM ile dikey seviye ve hız değişimine dayalı üretilen bu aday çözümlere çakışma çiftinde dikey seviye değişimine uğrayan hava aracı sayısı(çakışma çiftindeki her iki hava aracı için yada tek biri için değişiklik), hava trafik akışını olumsuz etkileyen operasyonel durumlar gözetilerek bir ceza puanı uygulanır. Tüm aday çözümler bölüm 4.2.1' deki güvenlik kısıtlarına göre değerlendirilir. Bu kısıtlar kapsamında güvenli olmayan aday çözümler filtrelenerek elenir. Son olarak uçuş emniyeti açısından güvenli olan aday çözümler ceza puanlarını minimize etmeyi amaçlayan bir amaç fonksiyonu ile değerlendirilerek en düşük ceza puanına sahip aday çözüm seçilir. CDÇÇM ile dikey seviye ve hız değişimine dayalı çakışma çözüm metodolojisi aşağıdaki Şekil 5.18' de görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 5.18 : CDÇÇM Dikey Seviye ve Hız Değişimi ile Çakışma Çözümü

4.6.1. Dikey Seviye Değişimine Dayalı Çakışma Çözümlerinin Üretilmesi

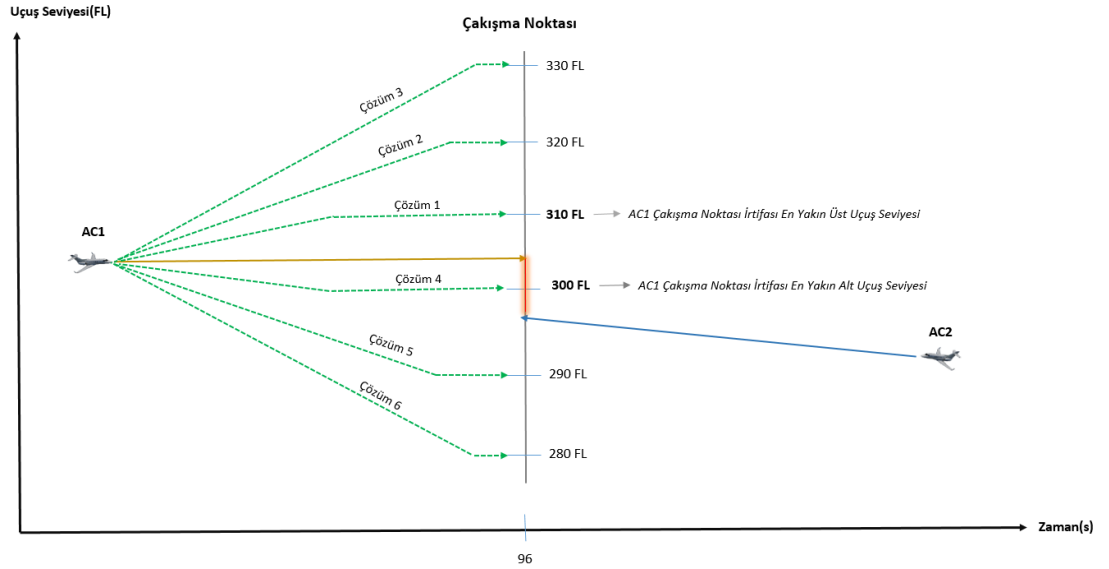
CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı aday çakışma çözüm aksiyonları üretilirken hava araçlarının belirli bir seviye değişiklik limitine göre atanabilecek tüm dikey seviyeleri içeren kombinasyonel bir yaklaşım izlenir. Kombinasyonel yaklaşımla üretilen bu çözüm aksiyonları hava aracına atanmış bir SFL(Atanmış Uçuş Seviyesi) ve o anki dikey konumundan bu seviye erişmesi için gereken minimum dikey hızı içerir. Dikey Seviye Değişimi ile Çakışma Çözüm Algoritması(DSDÇÇA) bir çakışma çiftindeki hava araçlarına çakışmayı çözmek için yeni seviye atarken ilk olarak hava araçlarının çakışma noktasındaki tahminlenen irtifalarını (çakışma noktası irtifası) hesaplar. Daha sonra bu çakışma noktası irtifasında en yakın uçuş seviyelerini bulur. Şekil 5.19' daki örnek senaryoda çakışma çiftindeki hava araçları ve hava araçlarının çakışma noktasındaki hesaplanan irtifaları görülmektedir. AC1 hava aracının çakışma noktası irtifasına en yakın üst uçuş seviyesi 310 FL ve en yakın alt uçuş seviyesi 300 FL ' dir. AC1 hava aracının çakışma noktası irtifasına en yakın üst uçuş seviyesi 310 FL ve en yakın alt uçuş seviyesi 300 FL ' dir. AC1 hava aracının çakışma noktası irtifasına en yakın üst uçuş seviyesi 310 FL ve en yakın alt uçuş seviyesi 300 FL ' dir.



Şekil 5.19 : Çakışma Noktası İrtifası ve En yakın Uçuş Seviyeleri

Dikey Seviye Değişimi ile Çakışma Çözüm Algoritması(DSDÇÇA) çakışma çiftine ait çakışma çözümleri üretirken ilk olarak sadece tek bir hava aracında değişiklik içeren tek yönlü çakışma çözüm aksiyonları üretir. Örneğin AC1 ve AC2 hava araçlarının oluşturduğu bir çakışma için DSDÇÇA algoritması ilk olarak sadece AC1

hava aracının ait seviye değışiklikleri içeren tek yönlü çakışma çözümleri üretir. DSDÇÇA algoritması çakışma çözüm aksiyonları üretirken hava araçlarının çakışma noktası irtifalarına en yakın üst uçuş seviyesini *seviye değışim aralığına* göre artırarak, alt uçuş seviyesini *seviye değışim aralığına* göre azaltarak yeni çözümler üretir. Artış ve azalış miktarı *maksimum seviye değışim limiti* ile sınırlandırılır. Şekil 5.20’ de örnek bir senaryo için AC1 hava aracına ait tek yönlü çakışma çözüm aksiyonlarına ait görsel bulunmaktadır. Bu senaryo için maksimum seviye değışim limiti 20 FL ve seviye değışim aralığı 10 FL’ dir. Örnek senaryoda görüldüğü üzere AC1 hava aracının çakışma noktasındaki irtifasına en yakın üst seviye 310 FL ‘dir. AC1 için üretilen tırmanma çözümleri 330 FL ile (310 FL + maksimum seviye değışimi) sınırlandırılmıştır. Yine aynı şekilde AC1 hava aracı için açalma talimatı içeren dikey seviye değışim çözümleri 280 FL (300 FL – maksimum seviye değışimi) ile sınırlandırılmıştır. Maksimum seviye değışim limitinin artırılması dikey seviye değışim çözümlerinin ve toplam kombinasyonel çözüm sayısının artması anlamına gelir.



Şekil 5.20 : Çakışma Çözümü için Tek Yönlü Dikey Seviye Değişimi

Hava araçlarının dikey tırmanma performansları dikkate alındığından maksimum seviye değışiminin yüksek verilmesi kısa vadeli çakışma çözüm aksiyonları için uygulanamayacak çözümler üretilmesine neden olur. Bu tez

kapsamında kullanılan dikey seviye değişim algoritmalarında maksimum seviye değişim limiti bu yüzden 20 FL olarak belirlenmiştir.

DSDÇÇA algoritması sadece tek bir hava aracında dikey değişiklik içeren çözümler üreten Tek Yönlü Dikey Değişimi ile Çakışma Çözüm Algoritması(TYDDÇÇA) ile hem AC1 hemde AC2 için tek yönlü çözümler üretir. Tek yönlü çakışma çözüm algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir:

```

1  A ; // Çakışma çiftindeki bir hava aracı
2  tÇakışma; // Çakışmaya kala süre
3  dikeySeviyeÇözümleri[]; // Çakışma Çiftindeki bir hava aracı için üretilen çözümler
4  maksimumSeviyeDeğişimi; // 20 FL
5  seviyeDeğişimAralığı; // 10 FL
6  çakışmaNoktasıİrtifası =çakışmaNoktasıİrtifasınıHesapla(A , çakışmayaKalanSüre );
7  çakışmaNoktasıEnYakınÜstUçuşSeviyesi =enYakınÜstUçuşSeviyesiniBul( çakışmaİrtifası );
8  çakışmaNoktasıAltYakınÜstUçuşSeviyesi =enYakınAltUçuşSeviyesiniBul( çakışmaİrtifası );
9  i = 0;
10 Eğer A.atanmışSFL != null ise : // Eğer zaten atanmış bir seviye varsa tek çözüm vardır
11 | çözüm= yeniDikeySeviyeÇözümüOluştur()
12 | çözüm.yeniDikeySeviye = A.atanmışSFLoku();
13 | çözüm.yeniDikeyHız = A.güncelDikeyHızOku()
14 Değilse:
15 | i < maksimumSeviyeDeğişimi olduğu sürece dön :
16 | | turmanmaÇözümü = yeniDikeySeviyeÇözümüOluştur()
17 | | turmanmaÇözümü.yeniDikeySeviye = çakışmaNoktasıEnYakınÜstUçuşSeviyesi + i ;
18 | | turmanmaÇözümü =gerekliMinimumHızıHesapla(yeniDikeySeviye, tÇakışma);
19 | | alçalmaÇözümü = yeniDikeySeviyeÇözümüOluştur()
20 | | Eğer i != 0 ise :
21 | | | alçalmaÇözümü.yeniDikeySeviye = çakışmaNoktasıAltYakınÜstUçuşSeviyesi - i ;
22 | | | alçalmaÇözümü =gerekliMinimumHızıHesapla(yeniDikeySeviye, tÇakışma);
23 | | | dikeySeviyeÇözümleri.ekle( alçalmaÇözümü );
24 | | | dikeySeviyeÇözümleri.ekle( turmanmaÇözümü );
25 | | i = i + seviyeDeğişimAralığı;
26 döndür dikeySeviyeÇözümleri [ ]

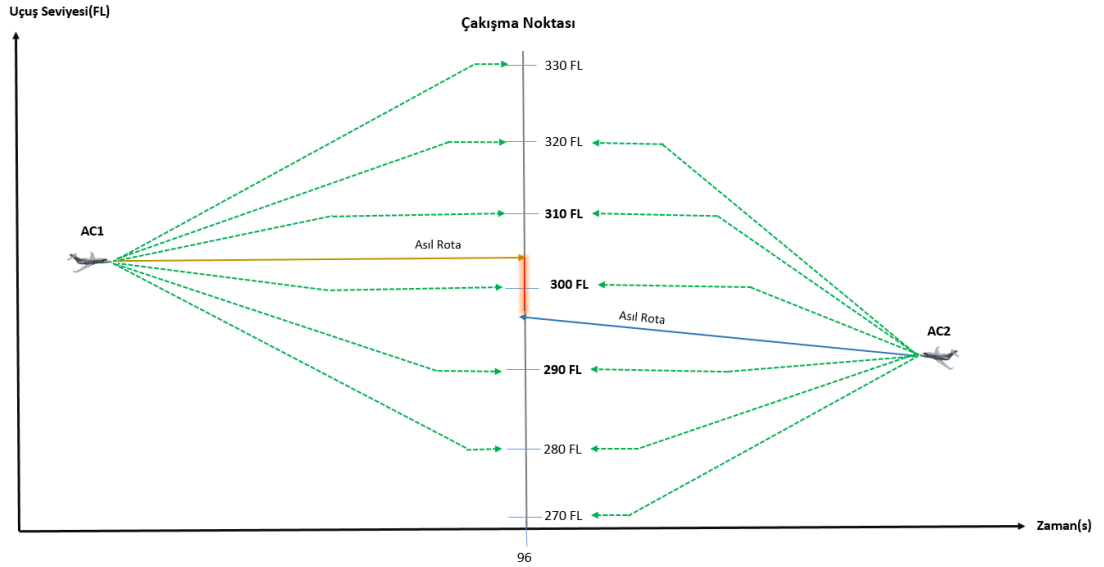
```

Algoritma 5.17 : Tek Yönlü Dikey Seviye Değişimi ile Çakışma Çözümü Algoritması

Tek yönlü dikey seviye değişim ile çakışma çözüm algoritması girdi olarak çakışma çiftindeki bir hava aracını, çakışmaya kalan süreyi, maksimum seviye

değişimini ve seviye değişim aralığını alır. İlk olarak çakışma irtifası ve çakışma irtifasına en yakın alt ve üst uçuş seviyelerini bulur. En yakın üst uçuş seviyesini seviye değişim aralığına göre arttırarak tırmanma çözüm aksiyonlarını, en yakın alt uçuş seviyesini seviye değişim aralığına göre azaltarak çakışma çözüm aksiyonları üretir. Algoritma çıktı olarak verilen hava aracı için dikey seviye değişimi ve bu seviye değişimine erişmesi için gereken dikey hız değişimini içeren dikey çakışma çözüm aksiyonlar listesini sonuç olarak döner.

Daha sonra her iki hava aracı için tek yönlü olarak üretilen aksiyonları kullanarak her iki hava aracında çakışma çözümü aksiyonlarını içeren Dikey Çift Yönlü Çakışma Çözüm Algoritması(DÇYÇÇA) ile çift yönlü çakışma çözümleri üretir. Çift yönlü çakışma çözümünde Şekil 5.21’ de olduğu gibi çakışma çiftindeki her iki hava aracında dikey seviyeleri değiştirilir.



Şekil 5.21 : Çakışma Çözümü İçin Dikey Çift Yönlü Dikey Seviye Değişimi

Çift yönlü çakışma çözüm algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir:

```

1 dikeySeviyeÇözümleriA1[]; // Sadece birinci hava aracında değişiklik olan çözümler
2 dikeySeviyeÇözümleriA2[]; // Sadece ikinci hava aracında değişiklik olan çözümler
3 çiftYönlüDikeySeviyeÇözümleri[]; // Her iki hava aracında değişiklik içeren çözümler
3 i = 0;
4 i < dikeySeviyeÇözümleriA1. boyut olduğu sürece dön :
4 | j = 0;
4 | j < dikeySeviyeÇözümleriA2. boyut olduğu sürece dön :
4 | | dikeySeviyeÇözümüA1 = dikeySeviyeÇözümleriA1[ i ];
4 | | dikeySeviyeÇözümüA2 = dikeySeviyeÇözümleriA1[ j ];
4 | | çiftYönlüDikeySeviyeÇözümü = yeniÇözüm(dikeySeviyeÇözümüA1, dikeySeviyeÇözümüA2);
3 | | çiftYönlüDikeySeviyeÇözümleri. ekle ( çiftYönlüDikeySeviyeÇözümü );
3 | | j ++;
3 | i ++;
8 döndür 3 çiftYönlüDikeySeviyeÇözümleri[];

```

Algoritma 5.18 : Çift yönlü Dikey Seviye Değişimi ile Çakışma Çözümü Algoritması

DSDÇÇA tek yönlü ve çift yönlü çakışma çözüm algoritmalarını ve bu algoritmalar ile üretilen tüm kombinasyonel çözüm aksiyonlarını kapsayan çözümler üretir. DSDÇÇA algoritmasının çıktısı bir çakışma için dikey seviye değişim yöntemi ile uygulanabilecek potansiyel aday çakışma çözüm aksiyonlarıdır. DSDÇÇA algoritmasına ait adımlar aşağıdaki gibidir:

```

1 A1; // Çakışma çiftindeki birinci hava aracı
2 A2; // Çakışma çiftindeki birinci hava aracı
6 tÇakışma; // Çakışmaya kala süre
3 dikeySeviyeÇözümleriA1[]; // Sadece birinci hava aracında değişiklik içeren çözümler
3 dikeySeviyeÇözümleriA2[]; // Sadece ikinci hava aracında değişiklik içeren çözümler
3 dikeySeviyeÇözümleriA1A2[]; // Hem birinci hem ikinci hava aracında değişiklik içeren çözümler
4 dikeySeviyeÇözümleriA1[] = tekYönlüDikeySeviyeÇözümüÜret(A1)
4 dikeySeviyeÇözümleriA2[] = tekYönlüDikeySeviyeÇözümüÜret(A2)
3 dikeySeviyeÇözümleriA1A2[] = çiftYönlüDikeySeviyeÇözümleriÜret(dikeySeviyeÇözümleriA1, dikeySeviyeÇözümleriA2)
7 tümDikeySeviyeÇözümüKombinasyonları[] = birleştir(dikeySeviyeÇözümleriA1, dikeySeviyeÇözümleriA2, dikeySeviyeÇözümleriA1A2);
8 döndür tümDikeySeviyeÇözümüKombinasyonları[];

```

Algoritma 5.19 : Dikey Seviye Değişimi ile Çakışma Çözümü Algoritması

4.6.2. Güvenlik Kısıtlarının Uygulanması

Vektörlere ile çakışma çözüm metodolojisinde olduğu gibi Dikey Seviye Değişimi ile çakışma çözüm metodolojisinde de birinci öncelik güvenlidir. Çakışma çözüm yöntemi değişmesine karşın uygulanan güvenlik kısıtları aynıdır. Hem vektörlere ile üretilen hem de dikey seviye değişimi ile üretilen aday çakışma çözüm aksiyonları problem tanımında bölüm 4.2.1' deki güvenlik kısıtlarını sağlamalıdır. Dolayısıyla vektörlere ile üretilen aday çözüm aksiyonları için güvenlik kısıtlarını uygulayan ve bölüm 5.5.3' de detaylıca açıklanan Güvenlik Kısıtları ile Filtreleme Metodolojisi(GKFM) ve algoritmalar dikey seviye değişimi ile üretilen çözüm aksiyonları içinde uygulanır. Dikey seviye değişim yöntemi ile üretilen aday çözüm aksiyonları cezalandırma yaklaşımı ve amaç fonksiyonu ile optimize edilmeden önce GKFM metodolojisi ve algoritmaları kullanılarak filtrelenir.

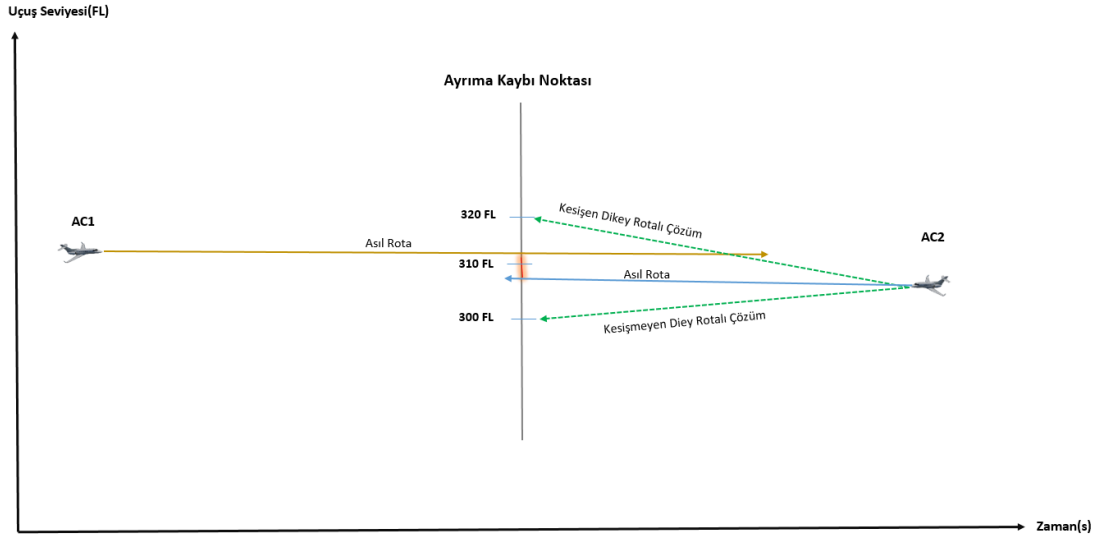
4.6.3. Dikey Manevra Cezalandırma Yaklaşımı ve Fonksiyonu

CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözümü çakışma çözüm aksiyonlarındaki rota değişikliği ve operasyonel risk durumlarını minimize etmeyi amaçlar. Çakışma çözüm aksiyonlarına ait rota değişikliği ve operasyonel risk durumlarını minimize edebilmek için bu iki kritere göre bir cezalandırma yaklaşımı ve ceza fonksiyonu uygular. CDÇÇM metodolojisi ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm aksiyonları için cezalandırma puanı hesaplanırken aşağıdaki üç madde gözlemlenir:

1. Rotasında değişiklik yapılan(yeni dikey seviye atanmış) hava aracı sayısı
2. Atanmış seviyelere göre tahminlenen dikey rotaların kesişimi
3. Rotasında ters yönde dikey seviye değişimi yapılan hava aracı sayısı

Birinci madde çakışma çiftindeki hava araçlarında yapılacak dikey seviye değişiklik sayısını(tek bir hava aracı için veya her iki hava aracı için) minimize ederek rota değişikliğini ve kontrolör iş yükünü minimize etmeyi hedeflemektedir. Kontrolörler tarafından hava araçlarının rotalarında yapılan değişiklik arttıkça bu değişikliğin sebep olacağı sonuçları kontrol etmesi için gereken çaba da artar. Rota değişiklik sayısının minimize edilmesi kontrolörün çakışma çözümü için oluşacak iş yükünde bu noktada minimize etmesi anlamına gelir.

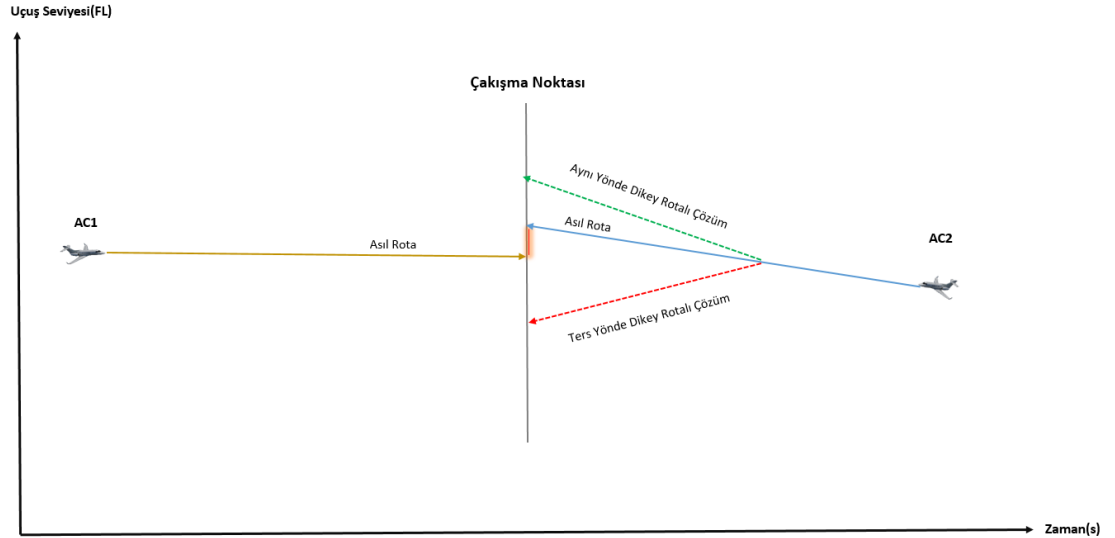
İkinci madde hava araçlarında bulunan çakışmadan kaçınma sistemi olan TCAS çözüm öneri sisteminde(RA) uyguladığı dikey kesişen rota içeren çözüm önerilerinin cezalandırılmasıdır. TCAS, çakışma durumunda çakışma geometrisine göre çözüm önerirken önerilen çözümdeki dikey rotaların kesişmemesini tercih eder. Çakışma çifti için ayırma kaybını önlese dahi kesişen dikey rota içeren çözümler potansiyel bir güvenlik riski oluşturabilir[32]. Şekil 5.22’ de dikey seviye değişimi ile üretilen kesişen dikey rotalı ve kesişmeyen dikey rotalı iki çözüm örneklenmiştir. Bu senaryoda AC2 hava aracı için üretilen iki çözümde çakışmayı çözmektedir. Ancak AC2 hava aracının tırmanma çözüm aksiyonuna ait dikey rotası AC1 hava aracının dikey rotası ile kesişmektedir. Bu durum potansiyel bir güvenlik riski oluşturabileceğinden uçuş emniyeti açısından tercih edilmeyen operasyonel bir risk durumudur. Bu yüzden bu maddenin cezalandırma yaklaşımında toplam ceza puanına etki katsayısı diğer iki kuraldan çok daha fazladır.



Şekil 5.22 : Dikey Kesişen Rotalı Çakışma Çözüm Senaryosu

Üçüncü maddede ise çakışma çözüm aksiyonunun tırmanmakta yada alçalmakta olan hava aracının dikey yönüne ters yönde bir dikey rota değişikliği içermesi durumunda uygulanır. Bu durum üretilen çözüm aksiyonlarında hava araçlarının dikey düzlemdeki rotaları ile aynı yönde rotalar içeren aksiyonlara öncelik verilmesini sağlar. Böylece üretilen aday çözümler maliyet açısından amaç fonksiyonu ile değerlendirilirken ters yönde bir dikey seviye değişimi içeren çözüm aksiyonları diğer çözümlere göre daha geri planda kalır. Hava aracının o anki dikey rotasını tersi

yönde değiştirmesi uçuş ekibi açısından tercih edilmez. Çünkü hava aracının örneğin tırmanması için yapılan konfigürasyon, alçalmak için gereken konfigürasyonlar ile değiştirilir[32]. Diğer taraftan uçuş konforu, yakıt ve uçak performansı gibi konularda göz önüne alındığında ters yönde bir dikey seviye değişimi farklı çözümler alternatifleri varken çok fazla tercih edilmez. Çakışma çiftindeki ters yönde dikey seviye değişim sayısının (tek bir hava aracı için veya her iki hava aracı için) toplam ceza puanını etki katsayısı birinci maddeden fazla ikinci maddeden azdır. şekil 5.23’ de ters yönde dikey seviye değişim senaryosuna bir örnek verilmiştir. AC2 hava aracı için üretilen çözümler ters yönde olduğundan bu çakışma çifti için çakışma çiftinde ters yönde rota değişiklik sayısı 1’ dir.



şekil 5.23 : Ters Yönde Dikey Seviye Değişimi ile akışma Çözüm Senaryosu

Dikey seviye değişimi için üretilen çözümler aksiyonlarına uygulanan cezalandırma yaklaşımında toplam ceza puanına etki katsayısı en fazla olan kesifen dikey rota içerme durumu daha sonra ters yönde dikey seviye değişikliği sayısı ve son olarak çakışma çiftindeki asıl rotası değiştirilen hava aracı sayısıdır.

Bir çakışma çözümler aksiyonu için toplam ceza puanını hesaplayan cezalandırma fonksiyonuna ait değişkenler ve fonksiyon aşağıdaki gibidir:

μ : Rotasında değişiklik yapılan hava aracı sayısı

Ω : Rotasında ters yönde değişiklik yapılan hava aracı sayısı

ϕ : Kesifen rotalı çözümler içeren hava aracı sayısı

v : Rota değişiklik ceza katsayısı

ω : Ters yönde rota değişiklik ceza katsayısı

χ : Kesişen rota değişiklik ceza katsayısı

$$\text{Toplam Ceza} = (v * \mu) + (\omega * \Omega) + (\varphi * \chi), \quad v < \omega \text{ ve } v * \omega < \chi \quad (5.2)$$

4.6.4. Amaç Fonksiyonunun Uygulanması ve Çakışma Çözüm Üretimi

CDÇÇM metodolojisine göre dikey seviye değişimi ile çakışma çözümünün amacı güvenlik kısıtlarını sağlayan ve dikey seviye değişimi cezalandırma yaklaşımı ile ceza puanları hesaplanmış çözüm aksiyonları listesinden toplam ceza puanı en az olan çözümün belirlenerek dikey çakışma çözümü olarak üretilmesidir. Üretilen bu çakışma çözümü, problem tanımında belirlenen ve bölüm 4.2.1' deki güvenlik kısıtlarını sağlayan, kontrolör iş yükünü, rota değişiklik sayısını, ters yönde rota değişiklik sayısını ve operasyonel uçuş emniyeti risklerini minimize eden bir çözümdür.

Dikey seviye değişimi amaç fonksiyonunu uygulayan algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

- 1 *dikeySeviyeDeğişimiÇözümleri* [] ;
- 2 *enİyiDikeySeviyeDeğişimÇözümü*;
- 3 *güvenliÇözümler* = **güvenlikKısıtlarınıUygula**(*dikeySeviyeDeğişimiÇözümleri*);
- 4 *sıralanmışGüvenliÇözümler* = **küçüktenBüyüğeSırala**(*güvenliÇözümler*);
- 4 *enİyiDikeySeviyeDeğişimÇözümü* = *sıralanmışGüvenliÇözümler*[0];
- 6 **döndür** *enİyiDikeySeviyeDeğişimÇözümü*;

Algoritma 5.20 : Dikey Seviye Değişimi Amaç Fonksiyonu

Dikey seviye değişimi amaç fonksiyonu CDÇÇM metodolojisine göre üretilmiş dikey seviye değişimi çözüm aksiyonlarından güvenlik kısıtlarına uymayan çözümleri eler. Daha sonra güvenlik kısıtlarını sağlayan çözümleri dikey seviye değişimi cezalandırma yaklaşımına göre hesaplanmış toplam ceza puanlarına göre sıralayarak en az ceza puanına sahip çözümü bulur.

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde CDÇÇM ile vektörleme ve dikey seviye değişim yöntemleri kullanılarak çözüm aksiyonlarının üretildiği deneysel çalışmalar yer almaktadır. CDÇÇM ile üretilen çözüm aksiyonları metodolojiye uygun, problem tanımındaki kısıtları ve amacı sağlayan çözümler olup olmadığını test eden test senaryoları ile test edilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. İlk bölümde bu test senaryoları için kullanılan test araçları ve senaryo tanımlamaları, ikinci bölümde ise bu test araçları ile gerçekleştirilmiş test senaryoları yer almaktadır. Üçüncü bölümde ise CDÇÇM farkı parametre değerleri ve rastgele üretilmiş çakışma senaryoları ile test edilmiştir.

5.1. SENARYO TASARIMI VE TEST ARAÇLARI

Hava trafik kontrol sistemlerinde çakışma tespiti ve çözümü ile ilgili araştırmalarda genellikle hava trafik kontrol simülatörleri kullanılır. Bu test çalışmasında çakışma test senaryolarının oluşturulması ve yürütülmesinde BlueSky ATC simülatörü kullanılmıştır. Çakışma senaryoları ve CDÇÇM ile üretilen çözüm aksiyonları BlueSky ATC simülatörü ile simüle edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Her bir çakışma senaryosu için CDÇÇM ile üretilen çözüm aksiyonları bir tablo ile ifade edilmiştir. Bu bölümde BlueSky ATC simülatörü, çakışma ve çakışma çözüm senaryolarının oluşturulması ve senaryolara ait varsayımlar açıklanmıştır.

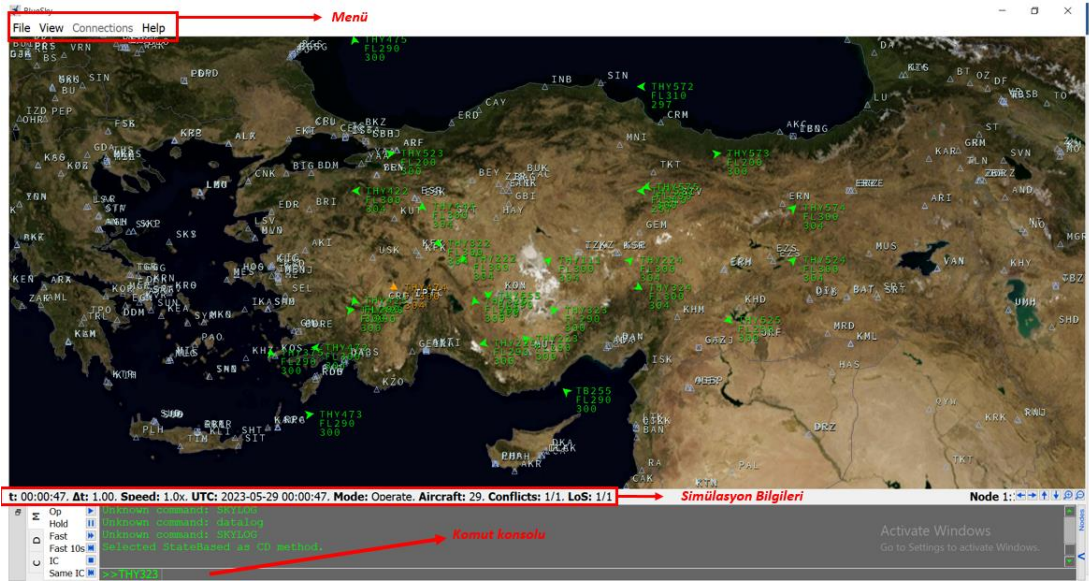
5.1.1. BlueSky ATC Simülatörü

BlueSky, hava trafiğini görselleştirmek, analiz etmek, veya simüle etmek isteyen herkese herhangi bir kısıtlama, lisans veya sınırlama olmadan kullanım fırsatı sunan açık kaynak bir ATC simülatörüdür. BlueSky'ın geliştirilme amacı hava trafik yönetimi ve hava trafik akışı ile ilgili araştırma yapmak için bir araç sağlamaktır[[Url-17](#)].

BlueSky ATC simülatörü, hava trafiği karmaşıklık ölçümleri, rota planlama ve çakışma tespiti ve çözme algoritmaları gibi konularda araştırma yapmak için öğrenciler ve araştırmacılar tarafından kullanılması için hazırlanmış bir araçtır.

BlueSky'ın amacı, kullanımı kolay bir grafik kullanıcı arayüzü ile tamamen taşınabilir, ücretsiz olarak indirilebilen bir ATM simülatoru geliştirmektir. Hedef kullanıcılar ATM araştırmacıları olduğundan, çok fazla bilgisayar bilimi bilgisi gerektirmeyen basit, düzenlenebilir metin dosyaları ve konsol komutları içerir.

BlueSky'de bir hava trafik simülasyonu oluşturmak için, kullanıcıların trafiği oluşturmak ve kontrol etmek için yalnızca bazı basit komutlar hakkında temel bilgilere sahip olması yeterlidir. Bu komutlar, çalışma sırasında simülator arayüzündeki konsoldan girilebilir veya önceden oluşturulmuş bir senaryo metin dosyası ile simülasyona girdi olarak verilebilir. Konsol girdi sonucu veya senaryo simülasyonu, çalışma süresi boyunca radar ekranına benzer bir ekranda görüntülenir. Şekil 6.1'de BlueSky radar ekranına ait bir görsel yer almaktadır. Senaryo dili olarak *TrafScript* dili kullanılır. Basit bir senaryo dili olan *TrafScript*'in kullanılması, yeni kullanıcılar için öğrenme eşiğini düşürür. Senaryolarda kullanılan dosya içeriği düz metindir.



Şekil 6.1 : BlueSky ATC Simülatoru Radar Ekranı

BlueSky simülatorünün ana hedef topluluğu akademidir, ancak araç herhangi bir ATM araştırmacısı için de yararlı olabilir. Akademide ve araştırmalarda tercih edilmesinin iki temel nedeni vardır. Birincisi sınırsız erişilebilirliktir. Herhangi bir lisans kısıtlaması olmadan simülasyon aracı indirilip kullanılabilir ve ayrıca kullanılan veriler ve kaynak kod için herhangi bir kısıtlama yoktur. İkinci neden ise kullanımının çok kolay olmasıdır. Konsol komutları, senaryo tanımları oldukça basit ve düz metin

şeklindedir. Bunun yanı sıra kaynak kodu çok açık ve anlaşılabilir. Bunu bir örnekle özetlersek: basit bir bilgisayar kullanıcısı olan ve sadece havacılık bilgisi olan bir doktora öğrencisi, indirdikten sonraki ilk bir saat içinde kendisini ilgilendiren senaryolar için kullanılabilir şekilde geliştirilmesi hedeflenmiştir. Diğer taraftan açık kaynak olması, kendi topluluğunun geliştirilmesine katkıda bulunmasını ve özel ihtiyaçlar için çözümler üretilmesini sağlar[36].

BlueSky ATC simülatörün bazı öne çıkan özellikleri aşağıdaki gibidir:

- *Numpy* and *pygame* kütüphaları kullanılarak Python 2.x ile yazılmıştır.
- Seyrüsefer yardımcıları, uçak performans verileri ve coğrafi açık kaynak verileri içerir.
- Küresel boyutta seyrüsefer yardımcıları ve hava alanı verileri sağlar.
- Hava aracı performansı simülasyonları, uçuş yönetim sistemi, otopilot, çakışma tespiti ve çözümleri ve havasal ayırma güvence sistemleri içerir.
- BADA 3.x ile uyumludur
- Hollanda Havacılık ve Uzay Merkezi(NLR) ve NASA Langley Araştırma Merkezi tarafından kullanılan NLR Trafik Yöneticisi TMX ile uyumlu
- Bir hava trafiği, bir konsol penceresindeki kullanıcı girişleri yoluyla veya komuttan önce bir zaman etiketiyle("HH:MM:SS.hh") aynı komutları içeren senaryo dosyalarının (.SCN) oynatılmasıyla kontrol edilir.
- Trafik üzerine fare ile tıkladığından konsol aracılığı ile trafiğe ait enlem, boylam, ve konum bilgilerini içeren bir bilgi verilir[Url-17].

5.1.2. Çakışma ve Çakışma Çözüm Senaryolarının Oluşturulması

Çakışma senaryoları oluşturulurken BlueSky'ın senaryo dili *TrafScript* kullanılmıştır. *TrafScript*, BlueSky' da kullanılan ATM simülasyon senaryo dili olan

dildir. Senaryoda her bir satır komutlardan ve argümanlardan oluşur. Komutlar ve argümanlar ayraçlar ile ayrılır. Genel *TrafScript* komut yapısı aşağıdaki gibidir:

Komut [ayraç] ***argüman1*** [ayraç] ***argüman2***

Ayraç olarak *bolşuk* veya *virgül* kullanılabilir. *TrafScript* dili büyük/küçük harfe duyarlı değildir, büyük ve küçük harfler herhangi bir etki olmaksızın serbestçe kullanılabilir. BlueSky komut modülü senaryo dosyasını okur ve komutun önündeki zaman etiketi ile simülasyon zamanı eşleştiğinde ilgili zaman etiketi sonrasında gelen komutu çalıştırır. Şekil 6.2’ de bir senaryo dosyası yer almaktadır. Şekil 6.2’ deki senaryo dosyası incelendiğinde senaryo dosyasının her bir satırında zaman dangası ile başlayan bir komut ve bu komuta ait argümanlar yer almaktadır. Senaryonun 2. satırında simülasyonun 00:00:00.00 zamanında B738 tipinde, 35.8330556 enleminde, 30.24527778 boylamında, uçuş başı gerçek kuzeye göre 92°, 300 FL irtifada, kalibre edilmiş hızı (CAS) 304 olan (yaklaşık 471 knot) ve çağrı adı THY444 olan bir hava aracı oluşturulmasını ifade eden *TrafScript* ifadesi yer almaktadır. Son satırında ise senaryonun 15. Saniyesinde THY555 çağrı adlı hava aracının uçuş başını gerçek kuzeye göre 27° ye çevirmesinin ifade eden komut *TrafScript* dili ile ifade edilmiştir. Tüm senaryo dosyaları “.SCN” uzantılıdır.

```

00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444, B738, 35.8330556, 30.24527778, 92, FL300, 304
00:00:00.00>CRE THY555, B738, 35.4661111, 30.3708333, 37, FL300, 304
00:00:15.00>THY555 HDG 27

```

Şekil 6.2 : TrafScript ile Yazılmış Senaryo Dosyası Örneği

Bu tez kapsamında kullanılan tüm BlueSky *TrafScript* komutlarına ait tablo aşağıdaki gibidir:

Tablo 6.1 : Deneysel Çalışmalarda Kullanılan TrafScript Komutları[[Url-17](#)]

Command	Description	Usage	Argument types
ALT	Altitude command (autopilot)	ALT acid, alt, [vspd]	['acid', 'alt', 'vspd']

ASAS	Airborne Separation Assurance System switch	ASAS ON/OFF/VMIN/VMAX	['on/off']
CRE	Create an aircraft	CRE acid,type,lat,lon,hdg,alt,spd	['txt','txt','latlon','hdg','alt','spd']
HDG	Heading command (autopilot)	HDG acid,hdg (deg,True)	['acid', 'float']
INSTLOG	INSTLOG data logging on	INSTLOG ON/OFF,[dt] or LISTVARS or SELECTVARS var1,...,varn	['txt','float/txt','...']
LINE	Draw a line on the radar screen	LINE name,lat,lon,lat,lon	['txt','latlon','latlon']
PAN	Pan screen (move view) to a waypoint, direction or aircraft	PAN airport	['pandir/latlon']
SKYLOG	SKYLOG data logging on	SKYLOG ON/OFF,[dt] or LISTVARS or SELECTVARS var1,...,varn	['txt','float/txt','...']
SNAPLOG	SNAPLOG data logging on	SNAPLOG ON/OFF,[dt] or LISTVARS or SELECTVARS var1,...,varn	['txt','float/txt','...']

5.1.3. Hava Aracı Pozisyon Bilgilerinin Loglanması

Hava araçlarının çakışma ve çakışma çözüm senaryolarına ait simülasyonlarındaki hava araçlarının yatay ve dikey pozisyonları arasındaki farkın zaman göre değişimini elde edebilmek için BlueSky ATC simülatörünün açık kaynak koduna pozisyonları bir “.txt” uzantılı dosyaya loglayacak bir fonksiyon eklenmiştir. Bu değişikliği yapabilmek için “*traffic.py*” phyton dosyasına bu loglama fonksiyonu eklenmiştir. Eklenen bu fonksiyon sadece hava aracının simülasyondaki pozisyonlarını bir “txt” dosyasına loglamaktadır. Eklenen bu fonksiyon aşağıdaki gibidir:

```

def add_latlon_as_row2file(self):
    # Open a file with access mode 'a'
    file_object = open(self.file_name, 'a')
    file_object.write(','.join(self.id) + "," + ','.join([str(i) for i in self.alt]) + ","
+ ','.join([str(i) for i in self.lat]) + "," + ','.join([str(i) for i in self.lon]) + ","
+ ','.join([str(i) for i in self.trk]) + "," + ','.join([str(i) for i in self.vs]) + ","
+ ','.join([str(i) for i in self.gs])+ "\n")
    # Close the file
    file_object.close()

```

Şekil 6.3 : Pozisyon Bilgilerini Loglama Fonksiyonu

5.1.4. Simülasyon Çakışma Tespit Parametrelerinin Ayarlanması

BlueSky ATC simülasyonu hava araçları arasındaki çakışma tespitinde, çakışma tespit parametreleri olarak “*settings.cfg*” dosyasında, aşağıdaki görselde olduğu gibi ayarlanır. Görselde öngörüleme zamanı 240 saniye, minimum güvenli yatay ayırma 5 NM ve minimum güvenli dikey ayırma 1000 feet olarak ayarlanmıştır.

```

# ASAS lookahead time [sec]
asas_dtlookahead = 240.0

# ASAS update interval [sec]
asas_dt = 1.0

# ASAS horizontal PZ margin [nm]
asas_pzr = 5.0

# ASAS vertical PZ margin [ft]
asas_pzh = 1000.0

```

Şekil 6.4 : BlueSky Çakışma Tespit Parametrelerinin Ayarlanması

5.1.5. Rüzgar Hızının Sabitlemesi

BlueSky ATC simülasyonunun açık kaynak olması ve kaynak kod üzerinde değişiklik yapılabilmesine olanak sağlaması araştırmacılar için çok önemli bir fayda sağlamaktadır. Bu tez kapsamında yapılan hesaplamalarda rüzgar hızı her zaman için sabit ve 0 m/s olarak kabul edilmiştir. Bu varsayımın simülatördeki senaryolara yansıtılabilmesi için “*traffic.py*” python dosyasındaki rüzgar hızı 0 m/s olarak değiştirilmiştir.

5.1.6. Senaryolarda Kullanılan Alanların Tanımlanması

Çakışma ve çakışma çözüm senaryolarında kullanılan yasaklı ve minimum güvenli irtifa uçuş alanları “.xml” formatında tanımlanarak test senaryolarında CDÇÇM metodolojisine girdi olarak verilmiştir.

5.2. TEST SENARYOLARI VE SONUÇLARI

Bu bölümde BlueSky ATC simülatörü kullanılarak oluşturulmuş çakışma test senaryoları ve bu çakışma senaryoları için CDÇÇM ile vektörel ve dikey seviye değişim yöntemleri kullanılarak üretilmiş çakışma çözüm aksiyonları yer almaktadır. Her bir çakışma senaryosu operasyonel ve güvenlik kısıtları gözetilerek oluşturulmuştur. Çakışma senaryolarına ait üretilen çakışma çözüm aksiyonları her bir senaryo özelinde detaylıca değerlendirilmiştir. Farklı çakışma senaryoları kullanılarak CDÇÇM metodolojisinin problem tanımında belirtilen güvenlik ve operasyonel kısıtları, problemin amacını sağlayıp sağlamadığı test edilmiştir. Çakışma çözümleri için çözüm aksiyonu üreten CDÇÇM metodolojisi JAVA programlama dili ile implemente edilmiştir. Her bir senaryoya ait *çakışma senaryosu* ve çakışma çözüm aksiyonunu içeren *çakışma çözüm senaryosu* BlueSky ATC simülatörü ile yürütülerek ve sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

BlueSky ATC simülatörü ile yürütülen test senaryoları için çakışma tespitinde aşağıdaki parametreler kullanılmıştır. BlueSky ATC simülatörünün çakışma tespit parametrelerinin nasıl ayarlanacağı bölüm 6.1' de detaylıca açıklanmıştır. CDÇÇM ile vektörlmeye ve dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm aksiyonu üretiminde aynı parametre grubu dikkate alınarak çözüm üretilmiştir. Bu bölümdeki tüm test senaryolarında çakışma tespiti ve çözüm aksiyonu üretiminde kullanılan öngörüleme zamanı parametresi, minimum yatay güvenli ayırma mesafe parametresi ve minimum dikey güvenli ayırma parametresi aşağıdaki Tablo 6.2' deki gibidir.

Tablo 6.2 : Deneysel Çalışmalar Çakışma Tespit Parametreleri

Çakışma Öngörüle Zamanı	240 saniye
Minimum Yatay Güvenli Ayırma Mesafesi	5 NM
Minimum Dikey Güvenli Ayırma Mesafesi	1000 feet

5.2.1. Vektörlme Test Senaryoları ve Sonuçları

Vektörlme test senaryolarında hava araçlarının yatay düzlemdeki durum geometrilerine göre üretilmiş test senaryoları ve bölüm 5.5' de detaylıca açıklanan CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm algoritmaları kullanılarak üretilmiş çözüm aksiyonları uygulandıktan sonra oluşan sonuçlar güvenlik kısıtları ve amaç

fonksiyonu açısından ele alınarak değerlendirilmiştir. Çakışma senaryosu ve CDCÇM ile vektörelmeye dayalı üretilen çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm aksiyonu senaryosu ayrı ayrı BlueSky ATC simülatörü ile çalıştırılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

BlueSky ACT simülatöründe yürütülen çakışma ve çakışma çözüm senaryo dosyasındaki hava araçlarının pozisyon bilgileri simülasyon boyunca bir dosyaya kaydedilerek hava araçlarının aralarındaki yatay mesafe hesaplanmıştır. Tüm çakışma ve çakışma çözüm senaryoları için hava araçları arasındaki yatay mesafenin zamana göre değişim grafikleri oluşturulmuştur.

5.2.1.1. Senaryo001 : Yatayda Çapraz Çakışma Senaryosu

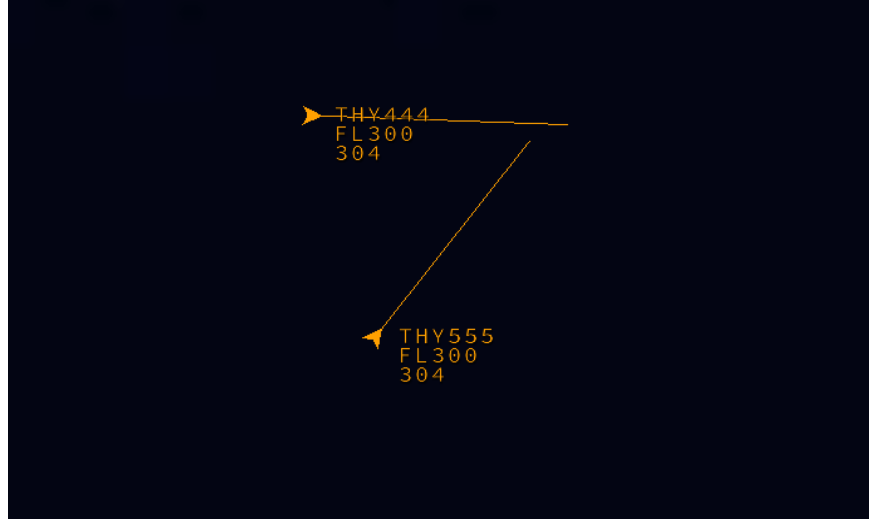
5.2.1.1.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryoda aralarında yatay düzlemde yaklaşık 23 NM mesafe farkı olan THY444 ve THY555 çağrı adlarına sahip iki hava aracı yatay düzlemde birbirlerine çapraz olarak yaklaşan bir çakışma geometrisine sahiptirler. Hava araçlarına ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.3 : Senaryo001 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	470 knot	470 knot
Dikey Hız	0.0 m/s	0.0 m/s
İz Açısı	92°	37°
Uçuş Seviyesi	300 FL	300 FL

Senaryoya ait çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.5 : Senaryo001 Çakışma Geometrisi BlueSky Görsele

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de görüldüğü üzere senaryoda THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları Tablo 6.3’ deki bilgilere göre birbirlerine yaklaşmaktadırlar. Bu senaryoda vektörlere dayalı çakışma senaryosu olduğundan hava araçları dikeyde aynı uçuş seviyesine sahiptirler. Ayrıca her iki hava aracının da dikey hızları sabit ve 0.0 m/s ‘ dir. Tablo 6.3’ deki bilgilere ve Şekil 6.5’ deki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği aşağıdaki gibidir :

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.8330556,30.24527778,92,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.4661111,30.3708333,37,FL300,304
```

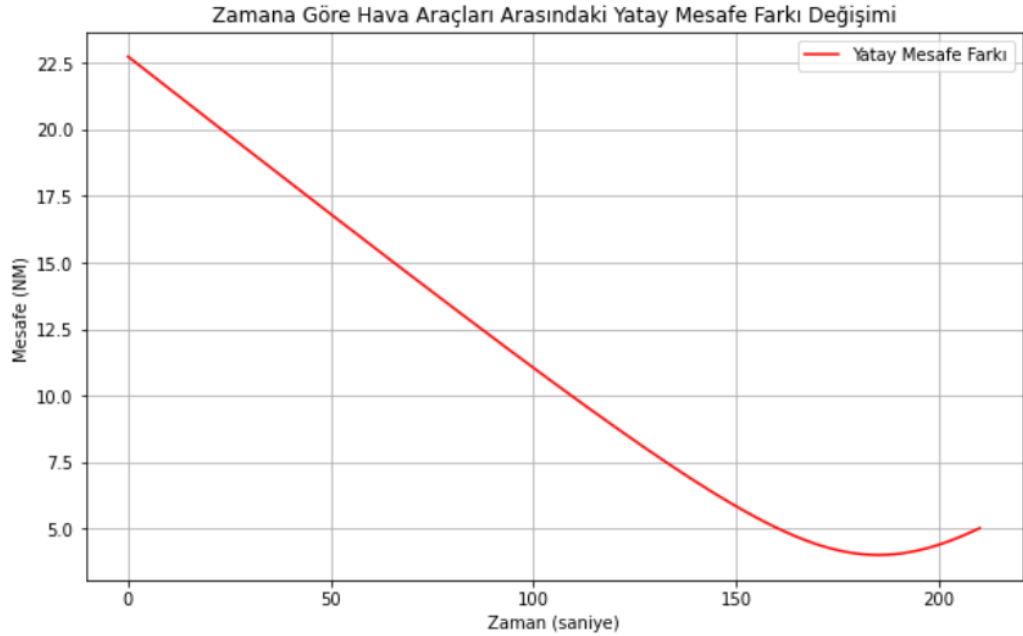
Şekil 6.6 : Senaryo001 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

5.2.1.1.2. Senaryonun Amacı

Yatayda çapraz kesişecek şekilde birbirlerine yaklaşan hava araçları için CDÇÇM ile vektörlere dayalı üretilen optimum çakışma çözüm aksiyonunun ayırma kaybı kısıtını sağladığının kanıtlanmasıdır. Çakışma çözümünün CDÇÇM metodolojisine uygun olarak çözüm aksiyonu ürettiğinin gösterilmesidir.

5.2.1.1.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.6' daki çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ACT simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki yatay mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.7' de görsel olarak sunulmuştur. Bu görsel incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki yatay mesafenin öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniyeden önce) 5 NM' nin altına indiği ve minimum güvenli yatay ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.7 : Senaryo001 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Hava araçları arasında bir çakışma tespiti için hem yatay hem de dikey minimum güvenli ayırma parametrelerinin ihlal edilmesi gerekir. Hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 0.0 feet ve dikey hızları 0.0 m/s olduğundan dikeyde zaten bir ayırma kaybı bulunmaktadır. Şekil 6.7' de yataydaki ihlalde görsel olarak sunulduğundan, bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.1.1.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözümü üretiminde hava araçlarının Tablo 6.1’ deki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.1’ deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile vektörlere dayalı çakışma çözüm yöntemi bu çakışma senaryosu için 156 farklı çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen bu 156 farklı çözüm aksiyonundan güvenlik kısıtlarını ihlal eden çözümler elendiğinde 155 adet güvenli çakışma çözüm aksiyonu kalmaktadır. Bu güvenli çözüm aksiyonları da ceza puanı en düşük olan optimum çözüm çakışma çözümü olarak üretilmiştir. 156 adet çözüm aksiyonunu içeren tablonun tamamı Ek 2’ de yer almaktadır. Üretilen çakışma çözüm aksiyonlarının ilk 10 tanesi aşağıdaki tabloda yer almaktadır:

Tablo 6.4 : Senaryo001 Çakışma Çözüm Aksiyonları

Çözüm No	THY444 İz Açısı	THY555 İz Açısı	Çakışma Çözüldü	Yeni Çakışma	Yasaklı Alan İhlali	MGUİA İhlali	Ceza Puanı
1	92	32	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
2	92	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1010
3	92	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1015
4	92	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1020
5	92	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1025
6	92	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1030
7	92	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1035
8	92	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1040
9	92	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1045
10	92	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1050

Tablo 6.4’ deki çakışma çözüm aksiyonları incelendiğinde çözüm aksiyonlarının ceza puanlarına göre sıralandığı görülmektedir. En düşük ceza puanına sahip çakışma çözüm aksiyonu ilk sıradaki birinci çözümdür. Ancak bu çözüm uygulandığında hava araçları arasındaki çakışma çözümü sağlanmamaktadır. Bu yüzden çakışma çözümü için “Çakışma Çözüldü” kolonu “FALSE” olarak işaretlenmiştir. İlk çözüm ceza puanı ve amaç fonksiyonu açısından optimum çözüm olsa da problem tanımındaki güvenlik kısıtlarından Ayrırma Kaybı Kısıtı’ nı ihlal

ettiğinden dolayı elenmektedir. 2 numaralı çözüm güvenlik kısıtlarını sağlayan ve ceza puanı en düşük çözüm olduğundan optimum çözümdür. Bu çakışma senaryosu için CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı üretilen, güvenlik kısıtlarını sağlayan ve ceza puanı en düşük optimum çözüm Tablo 6.4' deki 2 numaralı çözümdür.

5.2.1.1.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

Bu çakışma senaryosu için CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmamış anlık durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.5' de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY555 çağrı adlı hava aracının uçuş başının 10° sola yani THY444 çağrı adlı hava aracının arkasına doğru çevrilmesidir.

Tablo 6.5 : Senaryo001 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	470 knot	0.0 m/s	92.0°	300 FL
Çözüm	THY444	470 knot	0.0 m/s	92.0°	300 FL
Orijinal	THY555	470 knot	0.0 m/s	37.0°	300 FL
Çözüm	THY555	470 knot	0.0 m/s	27.0°	300 FL

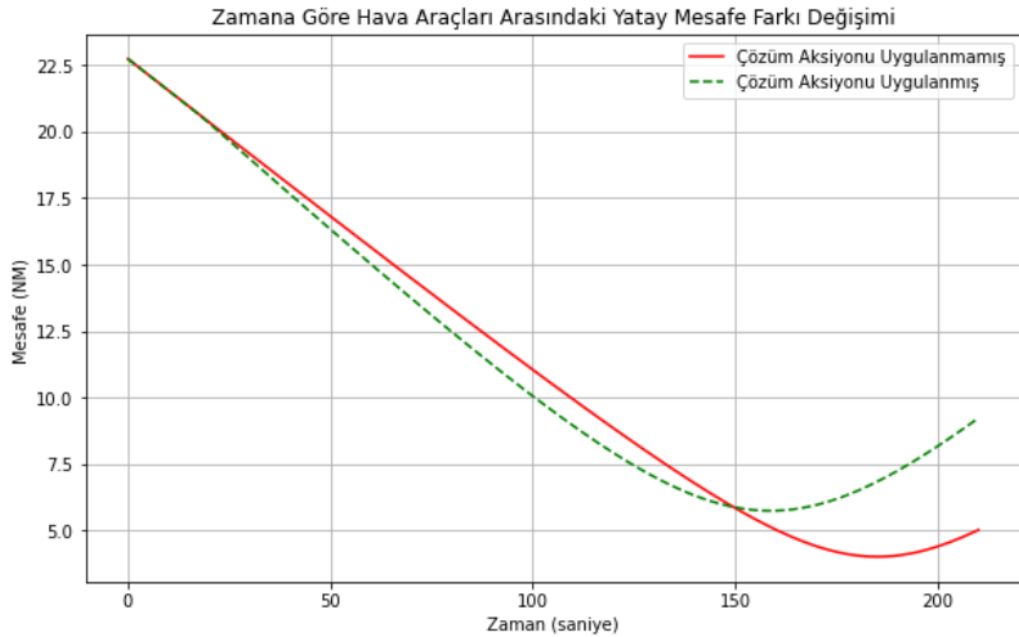
Tablo 6.5 ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.8' deki gibidir. Şekil 6.8' de görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryo başladıktan 15 saniye sonra çağrı adı THY555 olan hava aracına yeni uçuş başı atanmasıdır. Bu işlem çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.8330556,30.24527778,92,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.4661111,30.3708333,37,FL300,304
00:00:15.00>THY555 HDG 27
```

Şekil 6.8 : Senaryo001 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği

5.2.1.1.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.8' deki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında ilk 15 saniye içerisinde bir çakışma tespiti olduğu görülmüştür. Ancak 15. Saniyede THY555 hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş başı değiştirildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.9' da çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosundaki hava araçları arasındaki yatay mesafe farkının zamana göre değişimi yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki yatay mesafe farkı öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniye) 5 NM' nin altına düşerek minimum güvenli yatay ayırma parametresini ihlal etmektedir. Çözüm aksiyonu uygulanılan senaryoda hava araçları arasındaki yatay mesafe hiçbir zaman minimum güvenli ayırma parametresinin (5 NM) altına düşmeyerek ayırma kaybını önlemektedir.



Şekil 6.9 : Senaryo001 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

5.2.1.1.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları karşılaştırıldığında, üretilen çözümün güvenlik kısıtlarını sağladığı, üretilen vektörlme çözüm

aksiyonunun, üretilen güvenli çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmektedir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5’deki CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Çözüm senaryosunu incelediğimizde üretilen çözümde THY555 hava aracının THY444 hava aracının arkasında doğru bir vektörlme yapıldığı görülmekte. Buda bize vektörlmeye dayalı çakışma çözüm metodolojisindeki çapraz çakışma çözüm stratejisinin uygulandığını göstermekte. Hava araçlarının çakışma durum geometrisi incelendiğinde çakışma geometrisinin çapraz olduğu görülmekte ve algoritmanın çakışma sınıflandırma işlemini bu senaryo için başarılı bir şekilde uyguladığı kanıtlanmaktadır. Çapraz çakışma geometrisindeki çözüm stratejisinde hava araçlarından kesişim noktasına daha geç ulaşacak hava aracının daha erken ulaşacak hava aracının arkasında doğru vektörlme yapılır. Bu senaryo için üretilen çakışma çözüm aksiyonunda THY55 çağrı adlı hava aracı THY444 çağrı adlı hava aracının arkasına doğru 10° döndürülmektedir. Bu çözüm aksiyonu bize CDÇÇM metodolojisi ile vektörlme yaklaşımının bu senaryo için çakışma çözüm stratejisini başarılı bir şekilde uyguladığını göstermektedir.

Güvenlik kısıtları açısından değerlendirdiğimizde senaryoda herhangi bir yasaklı ve MGUIA alanı tanımlanmadığından bu kısıtlar zaten sağlanmaktadır. Senaryoda üçüncü bir hava aracı olmadığından domino etkisi kısıtının kontrol edileceği bir durum oluşmamaktadır. İlerleyen senaryolarda bu kısıtların uygulanması gereken senaryolarda yer almaktadır. Şekil 6.9’deki grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasında bir ayırma kaybı söz konusu iken, çözüm aksiyonu uygulandıktan sonra yatay düzlemdeki ayırma kaybı ortadan kalkmaktadır. Buda bize vektörlme ile çakışma çözüm yaklaşımımızın ayırma kaybı kısıtını dikkate alarak çözüm ürettiğini göstermektedir.

Ek 2’deki bu senaryo için üretilen çözüm aksiyonları incelendiği zaman, ceza puanları ile hava araçlarının iz açılarındaki değişimin direk ilişkili olduğu görülmekte. Çözüm aksiyonunda, iz açısı değişim sayısı ve iz açısı değişim miktarı arttıkça ceza puanında arttığı, iz açısı değişim sayısının ceza puanına etkisinin iz açısı değişim

miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Buda bize bu senaryo için üretilen çözümlerde vektörleme cezalandırma yaklaşımının doğru uygulandığını kanıtlamaktadır. Son olarak Tablo 6.4' deki 2 numaralı çözüm aksiyonunun güvenlik kısıtlarını sağlayan ve ceza puanı en düşük optimum bir çözüm olduğu görülmektedir.

5.2.1.2. Senaryo002 : Yatayda Karşılıklı Çakışma Senaryosu

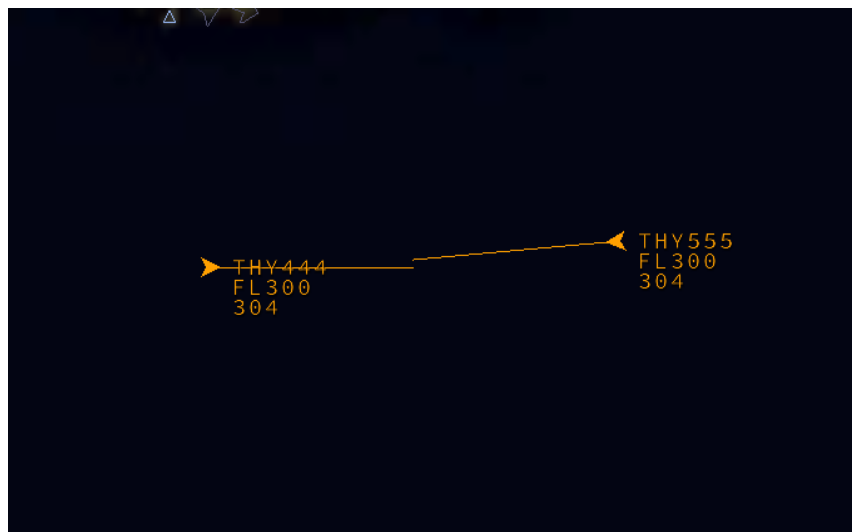
5.2.1.2.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryoda yatay düzlemde aralarında yaklaşık 60 NM mesafe fark olan THY444 ve THY555 çağrı adlarına sahip iki hava aracı yatay düzlemde birbirlerine karşılıklı olarak yaklaşan bir çakışma geometrisine sahiptirler. Hava araçlarının anlık çakışma durum geometrilerine ait bilgiler Tablo 6.6' da yer almaktadır. Bu tabloda hava araçlarına ait çağrı adı, yer hızı, iz açısı, dikey hız ve uçuş seviyesi bilgileri bulunmaktadır.

Tablo 6.6 : Senaryo002 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	470 knot	470 knot
Dikey Hız	0.0 m/s	0.0 m/s
İz Açısı	90°	265°
Uçuş Seviyesi	300 FL	300 FL

Senaryoya ait karşılıklı çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.10 : Senaryo002 Karşılıklı Çakışma Geometrisi BlueSky Görselfi

Yukarıdaki çakışma geometrisinde görüldüğü gibi senaryoda THY444 ve THY555 hava araçları Tablo 6.6' daki bilgilere göre birbirlerine karşılıklı olarak yaklaşmaktadırlar. Bu senaryoda vektörlemeye dayalı çakışma senaryosu olduğundan hava araçları dikeyde aynı uçuş seviyesine sahiptirler. Ayrıca her iki hava aracının da dikey hızları sabit ve 0.0 m/s ' dir. Tablo 6.6' daki bilgilere ve Şekil 6.10 'daki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği aşağıdaki gibidir :

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.584003,29.514747,90,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.653833,30.972721,265,FL300,304
```

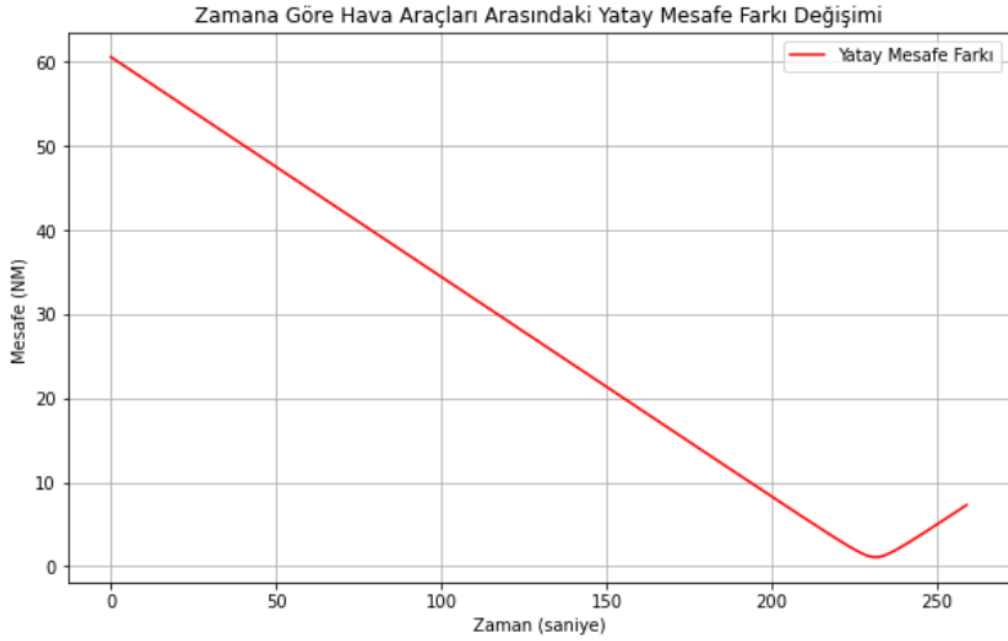
Şekil 6.11 : Senaryo002 Karşılıklı Çakışma BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

5.2.1.2.2. Senaryonun Amacı

Yatayda karşılıklı çakışacak şekilde birbirlerine yaklaşan hava araçları için CDÇÇM ile vektörleme dayalı üretilen optimum çakışma çözüm aksiyonunun ayırma kaybı kısıtını sağlayan çakışma çözüm aksiyonunu ürettiğinin kanıtlanmasıdır. Çakışma çözümünün CDÇÇM metodolojisine uygun olarak çözüm aksiyonu ürettiğinin gösterilmesidir.

5.2.1.2.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.11' deki *Senaryo002* çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör karşılıklı yaklaşan bu hava aracı çifti için bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ACT simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki yatay mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.12' de görsel olarak sunulmuştur. Şekil 6.12 incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki yatay mesafe farkının öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniyeden önce) 5 NM 'nin altına indiği ve minimum yatay ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.12 : Senaryo002 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Hava araçları arasında bir çakışma tespiti için hem yatay hem de dikey minimum güvenli ayırma parametrelerinin ihlal edilmesi gerekir. THY44 ve THY555 çağrı adlı hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 0.0 feet ve bu hava araçlarının dikey hızları 0.0 m/s olduğundan dikeyde zaten bir ayırma kaybı bulunmaktadır. Şekil 6.12’ de hava araçları arasındaki mesafe farkı 5NM olan minimum ayırma parametresinin altına indiği yataydaki ihlal görsel olarak sunulduğundan, bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.1.2.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözüm aksiyonu üretiminde hava araçlarının Tablo 6.6’ deki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2’ daki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm yöntemi bu karşılıklı çakışma senaryosu için 24 farklı çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen bu 24 farklı çözüm aksiyonundan güvenlik kısıtlarını ihlal eden çözümler(1. ve 2. Çözüm) elendiğinde 22 adet güvenli çakışma çözüm aksiyonu kalmaktadır. Bu güvenli çözüm aksiyonları da ceza puanı en düşük olan optimum çözüm çakışma çözümü olarak üretilmiştir. Üretilen çakışma çözüm aksiyonları aşağıdaki tabloda yer almaktadır:

Tablo 6.7 : Senaryo002 Çakışma Çözüm Aksiyonları

Çözüm No	THY444 İz Açısı	THY555 İz Açısı	Çakışma Çözüldü	Yeni Çakışma	Yasaklı Alan İhlali	MGUİA İhlali	Ceza Puanı
1	90	270	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
2	95	265	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
3	90	275	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1010
4	100	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1010
5	90	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1015
6	105	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1015
7	90	285	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1020
8	110	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1020
9	95	270	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2010
10	95	275	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2015
11	100	270	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2015
12	95	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2020
13	100	275	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2020
14	105	270	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2020
15	95	285	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
16	100	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
17	105	275	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
18	110	270	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
19	100	285	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
20	105	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
21	110	275	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
22	105	285	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
23	110	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
24	110	285	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040

Tablo 6.7’ deki vektörlmeye dayalı çakışma çözüm aksiyonları incelendiğinde çözüm aksiyonlarının ceza puanlarına göre sıralandığı görülmektedir. En düşük ceza puanına sahip çakışma çözüm aksiyonu 1. ve 2. sıralardaki çözümlerdir. Ancak bu

çözümler uygulandığında hava araçları arasındaki çakışma çözümü sağlanmamaktadır. Bu yüzden çakışma çözümü için “Çakışma Çözüldü” kolonu “FALSE” olarak işaretlenmiştir. Bu iki çözüm aksiyonları uygulanması durumunda hava araçları arasındaki yatay düzlemdeki ayırma kaybı durumu devam etmektedir. Bu iki çözüm ceza puanı ve amaç fonksiyonu açısından optimum çözüm olsa da problem tanımındaki güvenlik kısıtlarından Ayrıma Kaybı Kısıtı’ nı ihlal ettiğinden dolayı elenmektedir. 3 numaralı çözüm güvenlik kısıtlarını sağlayan ceza puanı en düşük çözüm olduğundan optimum çözümdür. Bu çakışma senaryosu için CDCÇM ile vektörelmeye dayalı üretilen, güvenlik kısıtlarını sağlayan ve ceza puanı en düşük optimum çözüm Tablo 6.7 ‘ deki 3 numaralı çözümdür.

5.2.1.2.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

Bu karşılıklı çakışma senaryosu için CDCÇM ile vektörelmeye dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmamış anlık durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.8 ‘de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY555 çağrı adlı hava aracının uçuş başının 10° sağa çevrilmesidir.

Tablo 6.8 : Senaryo002 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	470 knot	0.0 m/s	90.0°	300 FL
Çözüm	THY444	470 knot	0.0 m/s	90.0°	300 FL
Orijinal	THY555	470 knot	0.0 m/s	265.0°	300 FL
Çözüm	THY555	470 knot	0.0 m/s	275.0°	300 FL

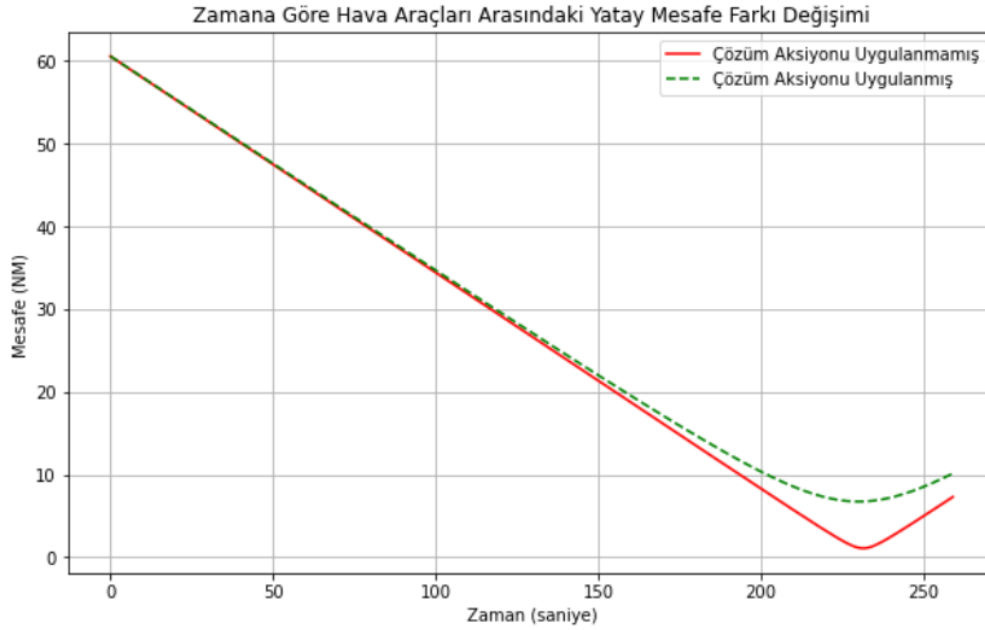
Tablo 6.8’ deki çözüm aksiyonu verileri ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.13’ deki gibidir. Şekil 6.13’ de görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryo başladıktan 20 saniye sonra çağrı adı THY555 olan hava aracına yeni uçuş başı atanarak 10° sağa dönme talimatı verilmesidir. Bu işlem çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.584003,29.514747,90,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.653833,30.972721,265,FL300,304
00:00:20.00>THY555 HDG 275
```

Şekil 6.13 : Senaryo002 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryo Dosyası İçeriği

5.2.1.2.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.13 'deki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında ilk 20 saniye içerisinde bir çakışma tespiti olduğu görülmüştür. Ancak 20. saniyede THY555 hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş başı 10° sağa çevrildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Çakışma çözüm senaryosu yürütülürken hava araçlarının kaydedilen yatay pozisyonları arasındaki mesafe farkının zamana göre değişimi hesaplanmıştır. Şekil 6.14' de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosuna göre kaydedilen hava aracı pozisyonları arasındaki yatay mesafe farkının zamana göre değişimi yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki yatay mesafe farkı öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniye) 5 NM' nin altına düşerek minimum güvenli yatay ayırma parametresini ihlal etmektedir. Çözüm aksiyonu uygulanan senaryoda hava araçları arasındaki yatay mesafe öngörüleme zamanı içerisinde minimum güvenli ayırma parametresinin (5 NM) altına düşmeyerek ayırma kaybını önlemektedir.



Şekil 6.14 : Senaryo002 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

5.2.1.2.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Karşılıklı çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları karşılaştırıldığında, üretilen çözümün güvenlik kısıtlarını sağladığı, üretilen vektörlme çözümünün üretilen güvenli çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmiştir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5’ deki CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Çözüm senaryosunu incelediğimizde üretilen çözümde THY555 çağrı adlı hava aracının sağa doğru 10° ‘lik bir vektörlme yaptığı gözlemlenmiştir. Buda bize vektörlmeye dayalı çakışma çözüm metodolojisindeki *karşılıklı* çakışma çözüm stratejisinin uygulandığını göstermektedir. Bu senaryo için hava araçlarının çakışma durum geometrisi incelendiğinde çakışma geometrisinin *karşılıklı* olduğu görülmekte ve vektörlmeye dayalı çakışma çözüm algoritmasının çakışma sınıflandırma işlemini bu senaryo için başarılı bir şekilde uyguladığı kanıtlanmaktadır. Karşılıklı çakışma geometrisindeki çözüm stratejisinde çakışma çözümü için ICAO tarafından belirlenen *sağ-sağ* kuralı ile hava araçları düşük bir vektörlme ile sağ tarafa döndürülür. Bu

senaryo için üretilen çakışma çözüm aksiyonunda THY55 hava aracı sağa doğru 10° döndürülmektedir. Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.7 incelendiğinde hava araçlarının iz açılarında değişiklik yapılan tüm çözüm aksiyonlarında hava araçlarının uçuş başları *sağ-sağ* kuralına göre sağa doğru çevrilerek çakışma çözüm aksiyonu üretilmiştir. Buda bize CDÇÇM metodolojisi ile vektörleme yaklaşımının bu senaryo için karşılıklı çakışma çözüm stratejisini başarılı bir şekilde uyguladığını göstermektedir.

Güvenlik kısıtları açısından değerlendirdiğimizde senaryoda herhangi bir yasaklı ve MGUIA(Minimum Güvenli Uçuş İrtifa Alanı) tanımlanmadığından bu kısıtlar zaten sağlanmaktadır. Senaryoda üçüncü bir hava aracı olmadığından domino etkisi kısıtının kontrol edileceği bir durum oluşmamaktadır. İlerleyen senaryolarda bu kısıtların uygulanması gereken senaryolarda yer almaktadır. Şekil 6.14’deki grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasında bir ayırma kaybı söz konusu iken, çözüm aksiyonu uygulandıktan sonra yatay düzlemdeki ayırma kaybı ortadan kalkmaktadır. Buda bize vektörleme ile çakışma çözüm yaklaşımımızın ayırma kaybı kısıtını dikkate alarak çözüm ürettiğini göstermektedir.

Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.7 incelendiğinde, iz açısı değişim sayısı ve iz açısı değişim miktarı arttıkça ceza puanında arttığı, iz açısı değişim sayısının ceza puanına etkisinin iz açısı değişim miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Buda bize bu senaryo için üretilen çözümlerde vektörleme cezalandırma yaklaşımının metodolojiye göre doğru uygulandığını göstermektedir.

Son olarak Tablo 6.7 ‘deki üretilen çözümlerden seçilen çözüm aksiyonunun güvenlik kısıtlarını sağlayan ve ceza puanı en düşük optimum bir çözüm olduğu görülmektedir.

5.2.1.3. Senaryo003:Yasaklı Alan İçeren Karşılıklı Çakışma Senaryosu

5.2.1.3.1. Senaryo Tanımı

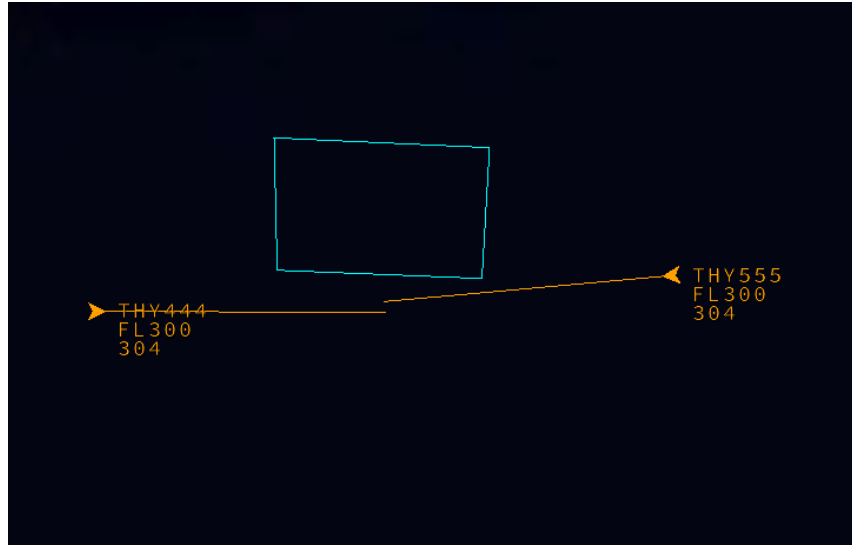
Bu senaryo yatay düzlemde aralarında yaklaşık 70 NM mesafe fark olan THY444 ve THY555 çağrı adlarına sahip iki hava aracı yatay düzlemde birbirlerine karşılıklı olarak yaklaşan bir çakışma geometrisine sahiptirler. Bu senaryo *Senaryo002* ‘deki karşılıklı çakışma senaryosu ile çakışma geometrisi bakımından aynıdır. Bu

senaryoda *Senaryo002* karşılıklı çakışma senaryosuna ek olarak çakışma bölgesine yasaklı bir alan eklenmiştir. Çakışma bölgesine yasaklı bir alan eklenmesi, çözüm aksiyonu üretilirken bu yasaklı alanı dikkate alan çözümlerin üretilmesini gerektirir. Hava araçlarının anlık çakışma durum geometrilerine ait bilgiler Tablo 6.9’ da yer almaktadır.

Tablo 6.9 : Senaryo003 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	470 knot	470 knot
Dikey Hız	0.0 m/s	0.0 m/s
İz Açısı	90°	265°
Uçuş Seviyesi	300 FL	300 FL

Senaryoya ait karşılıklı çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.15 : Senaryo003 Yasaklı Alan İçeren Karşılıklı Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de olduğu gibi senaryoda THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları Tablo 6.9’ daki bilgilere göre birbirlerine karşılıklı olarak yaklaşmaktadırlar. Senaryoda ayrıca bir yasaklı alan tanımlanmıştır. Yasaklı alan tanımları çözüm aksiyonu üretim metodolojisine “xml” formatında bir girdi olarak verilmektedir. Bu senaryo için tanımlanan yasaklı alan dikeyde üst limiti 40000 feet ve alt limiti 20000 feet, yatayda 4 noktadan(WGS-84 formatında) oluşan bir

çokgendir. Bu senaryodaki yasaklı alan tanımına ait xml dosya içeriği Şekil 6.16’ daki gibidir:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<RestrictedAreas>
  <area id="NTM001">
    <name>MAVI_VATAN_TATBIKAT</name>
    <upperLimit>40000</upperLimit>
    <lowerLimit>20000</lowerLimit>
    <point>
      <lat>35.639471</lat>
      <lon>30.446798</lon>
    </point>
    <point>
      <lat>35.653280</lat>
      <lon>30.022199</lon>
    </point>
    <point>
      <lat>35.876278</lat>
      <lon>30.015737</lon>
    </point>
    <point>
      <lat>35.859687</lat>
      <lon>30.462423</lon>
    </point>
  </area>
</RestrictedAreas>
```

Şekil 6.16 : Senaryo003 Yasaklı Alan Tanımı

Bu senaryoda vektörlmeye dayalı çakışma senaryosu olduğundan hava araçları dikeyde aynı uçuş seviyesine sahiptirler. Ayrıca her iki hava aracının da dikey hızları sabit ve 0.0 m/s ‘ dir. Tablo 6.9’ daki bilgilere ve Şekil 6.15’ deki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği Şekil 6.17’ de görsel olarak sunulmuştur. Senaryo dosyası içeriği incelendiğinde yasaklı alan tanımı “LINE” komutu ile senaryo dosyasına eklenmiştir. Bu tanımlama BlueSky ATC simülatöründe sadece sembolik bir görsel oluşturmaktadır. Senaryo dosyasındaki yasaklı alan tanımının amacı sadece BlueSky ATC simülatöründe görsel bir farkındalık oluşturmaktır.

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>LINE NTM001P1,35.639471,30.446798,35.653280,30.022199
0:00:00.00>LINE NTM001P2,35.653280,30.022199,35.876278,30.015737
0:00:00.00>LINE NTM001P3,35.876278,30.015737,35.859687,30.462423
0:00:00.00>LINE NTM001P4,35.859687,30.462423,35.639471,30.446798
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.584003,29.514747,90,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,35.653833,30.972721,265,FL300,304
```

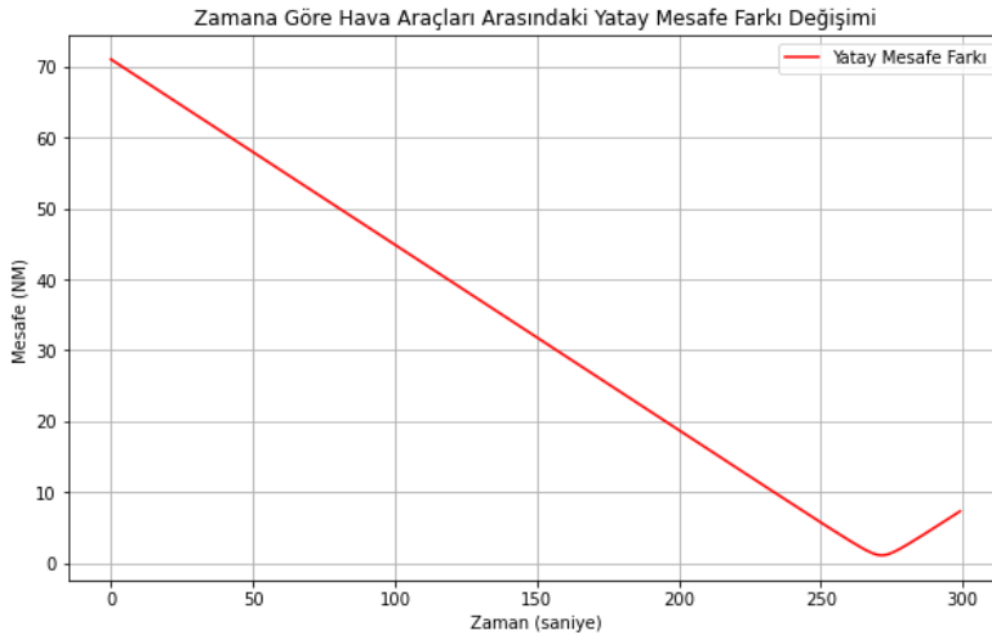
Şekil 6.17 : Senaryo003 Yasaklı Alan İçeren Karşılıklı Çakışma BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

5.2.1.3.2. Senaryonun Amacı

Yatayda karşılıklı çakışacak şekilde birbirlerine yaklaşan hava araçları için CDÇÇM ile vektörleme dayalı üretilen optimum çakışma çözüm aksiyonu üretilirken yasaklı alan ihlal kısıtının dikkate alınarak çözüm üretilmesi amaçlanmaktadır. Üretilen çözüm aksiyonlarının senaryoda tanımlı yasaklı alanı ihlal etmeden, diğer güvenlik kısıtlarını da sağlayarak optimum bir çözüm üretmesi hedeflenmektedir.

5.2.1.3.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.17' deki *Senaryo003* test senaryosuna ait çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör karşılıklı yaklaşan bu hava aracı çifti için bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ACT simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki yatay mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.18' de görsel olarak sunulmuştur. Şekil 6.18 incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki yatay mesafe farkının öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniyeden önce) 5 NM 'nin altına indiği ve minimum yatay ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.18 : Senaryo003 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Hava araçları arasında bir çakışma tespiti için hem yatay hem de dikey minimum güvenli ayırma parametrelerinin ihlal edilmesi gerekir. THY444 ve THY555 hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 0.0 feet ve bu hava araçlarının

dikey hızları 0.0 m/s olduğundan dikeyde zaten bir ayırma kaybı bulunmaktadır. Şekil 6.18’ deki grafikte hava araçları arasındaki mesafe farkı 5NM olan minimum ayırma parametresinin altına indiği yataydaki ihlal görsel olarak sunulduğundan, bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.1.3.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözüm aksiyonu üretiminde hava araçlarının Tablo 6.9’ daki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2’ deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm yöntemi bu karşılıklı çakışma senaryosu için 24 farklı vektörlme çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen çözüm aksiyonları Tablo 6.10’ da yer almaktadır. Üretilen çözüm aksiyonlarından 1 numaralı çözüm için çakışma çözümü sağlanmamakta ve yasaklı alan ihlali olduğundan bu çözüm güvenlik kısıtlarını sağlamadığından elenmektedir. 2 numaralı çözüm ise yine hava araçları arasında yeterli bir güvenli ayırma sağlamadığından ayırma kaybı güvenlik kısıtını sağlamadığından elenmektedir. 3 , 5 , 7 , 9 ve 9 ile 24 numaralı çözüme kadar olan çözümler(24’ de dahil) senaryo tanımındaki yasaklı alanı ihlal ettiğinden bu çözümler de elenmektedir. Güvenlik kısıtlarını sağlamayan çözümler elendiğinde geriye 4 , 6 ve 8 Çözüm kalmaktadır. Bu çözümler arasında da ceza puanı en düşük çözüm 4 numaralı çözümdür. 4 numaralı çözüm tüm güvenlik kısıtlarını sağlayan ve en düşük ceza puanına sahip optimum çözümdür.

Tablo 6.10 : Senaryo002 Çakışma Çözüm Aksiyonları

Çözüm No	THY444 İz Açısı	THY555 İz Açısı	Çakışma Çözüldü	Yeni Çakışma	Yasaklı Alan İhlali	MGUİA İhlali	Ceza Puanı
1	90	270	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	1005
2	95	265	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
3	90	275	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	1010
4	100	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1010
5	90	280	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	1015
6	105	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1015

7	90	285	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	1020
8	110	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1020
9	95	270	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2010
10	95	275	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2015
11	100	270	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2015
12	95	280	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2020
13	100	275	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2020
14	105	270	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2020
15	95	285	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2025
16	100	280	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2025
17	105	275	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2025
18	110	270	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2025
19	100	285	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2030
20	105	280	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2030
21	110	275	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2030
22	105	285	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2035
23	110	280	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2035
24	110	285	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	2040

5.2.1.3.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

Yasaklı alan içeren karşılıklı çakışma senaryosu için CDÇÇM ile vektörlemeye dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmamış anlık durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.11' de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY444 çağrı adlı hava aracının uçuş başının 10° sağa çevrilmesidir.

Tablo 6.11 : Senaryo003 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	470 knot	0.0 m/s	90.0°	300 FL
Çözüm	THY444	470 knot	0.0 m/s	100.0°	300 FL
Orijinal	THY555	470 knot	0.0 m/s	265.0°	300 FL
Çözüm	THY555	470 knot	0.0 m/s	265.0°	300 FL

Tablo 6.10 ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.19' daki gibidir. Şekil 6.19' da görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryo başladıktan 20 saniye sonra çağrı adı THY444 olan hava aracına yeni uçuş başı atanarak 10° sağa dönme talimatı verilmesidir. Bu işlem çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

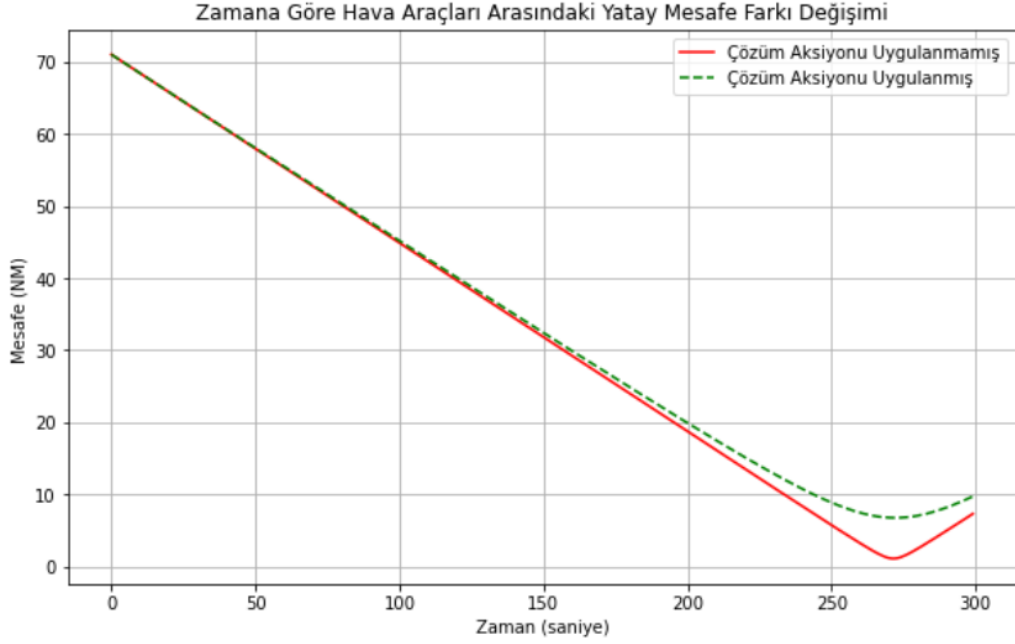
```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>LINE NTM001P1, 35.639471, 30.446798, 35.653280, 30.022199
0:00:00.00>LINE NTM001P2, 35.653280, 30.022199, 35.876278, 30.015737
0:00:00.00>LINE NTM001P3, 35.876278, 30.015737, 35.859687, 30.462423
0:00:00.00>LINE NTM001P4, 35.859687, 30.462423, 35.639471, 30.446798
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444, B738, 35.584003, 29.514747, 90, FL300, 304
00:00:00.00>CRE THY555, B738, 35.653833, 30.972721, 265, FL300, 304
00:00:20.00>THY444 HDG 100
```

Şekil 6.19 : Senaryo003 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryo Dosyası İçeriği

5.2.1.3.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.19' daki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında ilk 20 saniye içerisinde bir çakışma tespiti olduğu görülmüştür. Ancak 20. saniyede THY444 hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş başı 10° sağa çevrildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Çakışma çözüm senaryosu yürütülürken hava araçlarının kaydedilen yatay pozisyonları arasındaki mesafe farkının zamana göre değişimi hesaplanmıştır. Şekil 6.20' de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosuna göre kaydedilen hava aracı pozisyonları arasındaki yatay mesafe farkının zamana göre değişimi yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki yatay mesafe farkı öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniye) 5NM' nin altına düşerek minimum güvenli yatay ayırma parametresini ihlal etmektedir. Çözüm aksiyonu uygulanan senaryoda hava araçları arasındaki yatay mesafe öngörüleme zamanı

içerisinde minimum güvenli ayırma parametresinin (5 NM) altına düşmeyerek ayırma kaybını önlemektedir.



Şekil 6.20 : Senaryo003 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

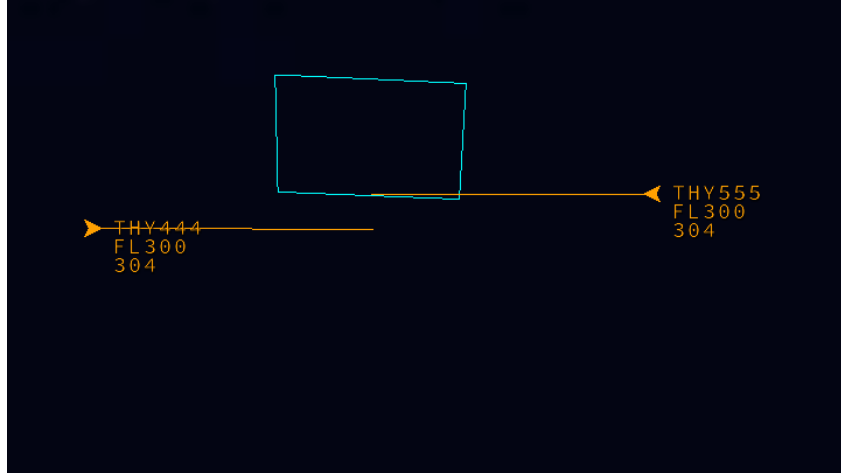
5.2.1.3.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yasaklı alan içeren karşılıklı çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları karşılaştırıldığında, üretilen nihai çözümün güvenlik kısıtlarını sağladığı ve üretilen güvenli çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmiştir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5' deki CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Çözüm senaryosunu incelediğimizde üretilen çözümde THY444 hava aracının sağa doğru 10° 'lik bir vektörlme yaptığı gözlemlenmiştir. Buda bize vektörlmeye dayalı çakışma çözüm metodolojisiindeki *karşılıklı* çakışma çözüm stratejisinin uygulandığını göstermektedir. Bu senaryo için hava araçlarının çakışma durum geometrisi incelendiğinde çakışma geometrisinin *karşılıklı* olduğu görülmekte ve vektörlmeye dayalı çakışma çözüm algoritmasının çakışma sınıflandırma işlemini bu senaryo için başarılı bir şekilde uyguladığı göstermektedir. Karşılıklı çakışma geometrisindeki çözüm stratejisinde çakışma çözümü için ICAO tarafından belirlenen

sağ-sağ kuralı ile hava araçları düşük bir vektörleme ile sağ tarafa döndürülür. Bu senaryo için üretilen çakışma çözüm aksiyonunda THY444 hava aracı sağa doğru 10° döndürülmektedir. Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.10 incelendiğinde hava araçlarının iz açılarında değişiklik yapılan tüm çözüm aksiyonlarında hava araçlarının uçuş başları *sağ-sağ* kuralına göre sağa doğru çevrilerek çakışma çözüm aksiyonu üretilmiştir. Buda bize CDCÇM metodolojisi ile vektörleme yaklaşımının bu senaryo için karşılıklı çakışma çözüm stratejisini başarılı bir şekilde uyguladığını göstermektedir.

Güvenlik kısıtları açısından değerlendirdiğimizde senaryoda herhangi bir MGUİA tanımlanmadığından bu minimum güvenli uçuş güvenlik kısıtı zaten sağlanmaktadır. Senaryoda üçüncü bir hava aracı olmadığından domino etkisi kısıtının kontrol edileceği bir durum oluşmamaktadır. Tablo 6.10 'daki çözümler ve çakışma geometrisine ait görsel incelendiğinde THY555 çağrı adlı hava aracının uçuş başını sağ tarafa doğru çeviren çözüm aksiyonlarının senaryoda tanımlı yasaklı alanı ihlal ettiği için elendiği görülmektedir. THY555 çağrı adlı hava aracının uçuş başı sağa doğru çevrilmiş çözüm aksiyonlarına ait tahminlenmiş pozisyonlar yasaklı alana ait çokgen içerisinde ve bu pozisyonlara ait tahminlenmiş dikey irtifa yasaklı alanının dikey sınırları arasında olduğundan yasaklı alan ihlali oluşur. Dolayısıyla THY555 çağrı adlı hava aracının uçuş başını sağ tarafa çeviren çözümler yasaklı alan ihlal kısıtını sağlamamaktadır. Şekil 6.21 THY555 çağrı adlı hava aracının uçuş başının 5° sağa döndürülmesi durumunda senaryoda tanımlı yasaklı alanı nasıl ihlal ettiği gösterilmektedir. Buda bize CDCÇM metodolojisinin çakışma çözümü üretiminde yasaklı alanları dikkate aldığını göstermektedir.



Şekil 6.21 : Senaryo003 Yasaklı Alan İhlali İçeren Çözüm Aksiyonu Örneği

Şekil 6.20’deki grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasında bir ayırma kaybı söz konusu iken, çözüm aksiyonu uygulandıktan sonra yatay düzlemdeki ayırma kaybı ortadan kalkmaktadır. Buda bize vektörleme ile çakışma çözüm yaklaşımımızın ayırma kaybı kısıtını dikkate alarak çözüm ürettiğini göstermektedir.

Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.10 incelendiğinde, iz açısı değişim sayısı ve iz açısı değişim miktarı arttıkça ceza puanında arttığı, iz açısı değişim sayısının ceza puanına etkisinin iz açısı değişim miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Buda bize bu senaryo için üretilen çözümlerde vektörleme cezalandırma yaklaşımının metodolojiye göre doğru ve başarılı bir şekilde uygulandığını göstermektedir. Son olarak Tablo 6.10 ‘daki üretilen çözümlerden seçilen çözüm aksiyonunun güvenli kısıtlarını sağlayan ve ceza puanı en düşük optimum bir çözüm olduğu görülmektedir.

5.2.1.4. Senaryo004 : Minimum Güvenli Uçuş İrtifa Alanı İçeren Karşılıklı Çakışma Senaryosu

5.2.1.4.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryo dağlık bir alanda ve yatay düzlemde aralarında yaklaşık 60 NM mesafe fark olan THY444 ve THY555 çağrı adlarına sahip iki hava aracı yatay düzlemde birbirlerine karşılıklı olarak yaklaşan bir çakışma geometrisine sahiptirler. Bu senaryoda çakışma bölgesine minimum güvenli uçuş irtifası alanı tanımlanmıştır. Çakışma bölgesine minimum güvenli uçuş irtifası alanı eklenmesi, çözüm aksiyonu

üretilirken bu minimum güvenli uçuş irtifası alanı dikkate alan çözümlerin üretilmesini gerektirir. Hava araçlarının çakışma durum geometrilerine ait bilgiler Tablo 6.12’ de yer almaktadır.

Tablo 6.12 : Senaryo004 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	400 knot	400 knot
Dikey Hız	0.0 m/s	0.0 m/s
İz Açısı	91°	260°
Uçuş Seviyesi	190 FL	190 FL

Senaryoya ait karşılıklı çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.22 : Senaryo004 MGÜİA İçeren Karşılıklı Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de olduğu gibi senaryoda THY444 ve THY555 hava araçları Tablo 6.12’ deki bilgilere göre birbirlerine karşılıklı olarak yaklaşmaktadırlar. Senaryoda ayrıca bir minimum güvenli uçuş irtifa alanı(MGÜİA) tanımlanmıştır. MGÜİA alan tanımları çözüm aksiyonu üretim metodolojisine “xml” formatında bir girdi olarak verilmektedir. Bu senaryo için tanımlanan MGÜİA alanına ait minimum güvenli uçuş yüksekliği 21000 feet’ dir ve ala yatayda 4 noktadan(WGS-84 formatında) oluşan bir çokgendir. Bu alan hava araçlarının bulunduğu bölgedeki tehlikeli dağlık bir alanı ifade etmektedir. Bu senaryodaki MGÜİA alan tanımına ait xml dosya içeriği Şekil 6.23’ deki gibidir:

```

<MsawArea>
  <area id="MSAW01">
    <name>Mountain</name>
    <minSafeAltInFeet>21000</minSafeAltInFeet>
    <point>
      <lat>37.339471</lat>
      <lon>30.446798</lon>
    </point>
    <point>
      <lat>37.353280</lat>
      <lon>30.022199</lon>
    </point>
    <point>
      <lat>37.576278</lat>
      <lon>30.015737</lon>
    </point>
    <point>
      <lat>37.339471</lat>
      <lon>30.446798</lon>
    </point>
  </area>
</MsawArea>

```

Şekil 6.23 : Senaryo004 Minimum Güvenli İrtifa Uçuş Alanı

Bu senaryoda vektörlmeye dayalı çakışma senaryosu olduğundan hava araçları dikeyde aynı uçuş seviyesine sahiptirler. Ayrıca her iki hava aracının da dikey hızları sabit ve 0.0 m/s ' dir. Tablo 6.12' deki bilgilere ve Şekil 6.22' deki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği Şekil 6.24' de görsel olarak sunulmuştur. Senaryo dosyası içeriği incelendiğinde MGUIA alan tanımı "LINE" komutu ile senaryo dosyasına eklenmiştir. Bu tanımlama BlueSky ATC simülöründe sadece sembolik bir görsel oluşturmaktadır. Senaryo dosyasındaki MGUIA alan tanımının amacı sadece BlueSky ATC simülöründe görsel bir farkındalık oluşturmaktır.

```

0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>LINE NTM001P1, 37.339471, 30.446798, 37.353280, 30.022199
0:00:00.00>LINE NTM001P2, 37.353280, 30.022199, 37.576278, 30.015737
0:00:00.00>LINE NTM001P3, 37.576278, 30.015737, 37.559687, 30.462423
0:00:00.00>LINE NTM001P4, 37.559687, 30.462423, 37.339471, 30.446798
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444, B738, 37.284003, 29.644747, 91, FL190, 304
00:00:00.00>CRE THY555, B738, 37.353833, 30.899721, 260, FL190, 304

```

Şekil 6.24 : Senaryo004 MGUIA Alanı İçeren Karşılıklı Çakışma BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

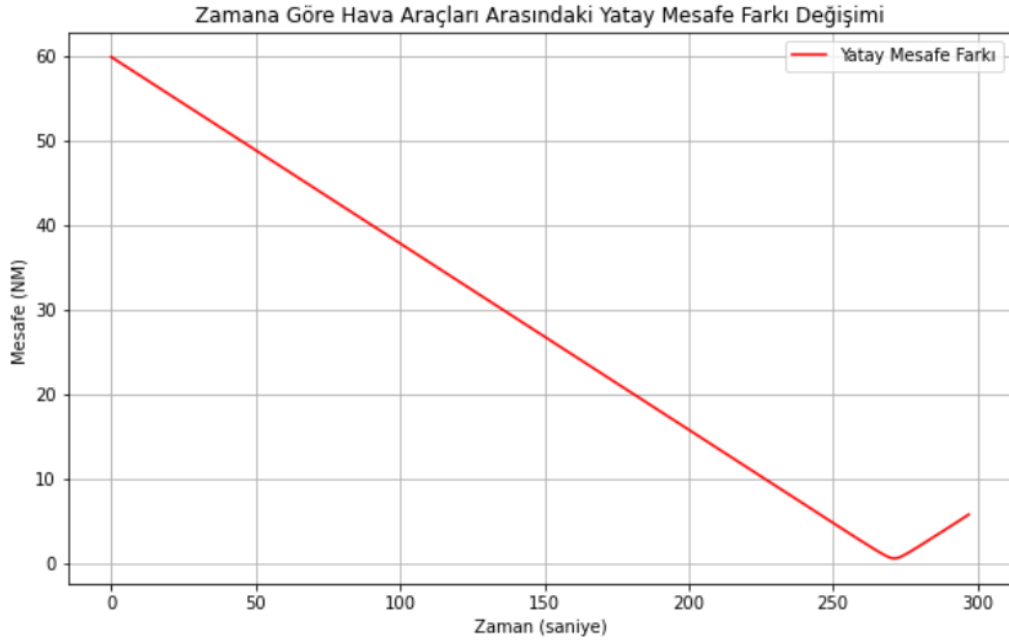
5.2.1.4.2. Senaryonun Amacı

Yatayda karşılıklı çakışacak şekilde birbirlerine yaklaşan hava araçları için CDÇÇM ile vektörlme dayalı üretilen optimum çakışma çözüm aksiyonu üretilirken

minimum güvenli uçuş irtifa alan ihlal kısıtı dikkate alınarak çözüm üretilmesi amaçlanmaktadır. Üretilen çözüm aksiyonlarının senaryoda tanımlı minimum güvenli irtifa uçuş alanını ihlal etmeden, diğer güvenlik kısıtlarını da sağlayarak optimum bir çözüm üretmesi hedeflenmektedir.

5.2.1.4.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.22' deki *Senaryo004* test senaryosuna ait çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör karşılıklı yaklaşan bu hava aracı çifti için bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ACT simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki yatay mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.25' de görsel olarak sunulmuştur. Şekil 6.25 incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki yatay mesafe farkının öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniyeden önce) 5 NM 'nin altına indiği ve minimum yatay ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.25 : Senaryo004 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Hava araçları arasında bir çakışma tespiti için hem yatay hem de dikey minimum güvenli ayırma parametrelerinin ihlal edilmesi gerekir. THY44 ve THY555 hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 0.0 feet ve bu hava araçlarının dikey hızları 0.0 m/s olduğundan dikeyde zaten bir ayırma kaybı bulunmaktadır. Şekil 6.25' deki grafikte hava araçları arasındaki mesafe farkı 5NM olan minimum ayırma

parametresinin altına indiği yataydaki ihlal görsel olarak sunulduğundan, bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.1.4.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözüm aksiyonu üretiminde hava araçlarının Tablo 6.12’ deki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2’ deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile vektörlemeye dayalı çakışma çözüm yöntemi bu karşılıklı çakışma senaryosu için 24 farklı vektörleme çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen çözüm aksiyonu Tablo 6.13’ de yer almaktadır. Üretilen çözüm aksiyonlarından ilk 4 çözüm için çakışma çözümü sağlanmamakta ve ayrıca 3. Çözüm için minimum güvenli uçuş irtifa alanı ihlali olduğundan bu çözümler güvenlik kısıtlarını sağlamadığından elenmektedir. 3, 5, 10, 12, 13, 16, 17, 20, 21, 23 numaralı çözümlerin minimum güvenli uçuş irtifa alanı kısıtını ihlal ettikleri görülmektedir. Ayırma kaybı ve minimum güvenli uçuş irtifası kısıtını sağlayamayan çözümler elendikten sonra geriye kalan çözüm aksiyonlarından en düşük ceza puanına sahip çözüm 6 numaralı çözümdür. 6 numaralı çözüm tüm güvenlik kısıtlarını sağlayan ve en düşük ceza puanına sahip optimum çözümdür.

Tablo 6.13 : Senaryo004 Çakışma Çözüm Aksiyonları

Çözüm No	THY444 İz Açısı	THY555 İz Açısı	Çakışma Çözüldü	Yeni Çakışma	Yasaklı Alan İhlali	MGUİA İhlali	Ceza Puanı
1	91	265	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
2	96	260	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
3	91	270	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	1010
4	101	260	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1010
5	91	275	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	1015
6	106	260	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1015
7	91	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1020
8	111	260	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1020
9	96	265	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	2010

10	96	270	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	2015
11	101	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2015
12	96	275	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	2020
13	101	270	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	2020
14	106	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2020
15	96	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
16	101	275	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	2025
17	106	270	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	2025
18	111	265	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
19	101	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
20	106	275	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	2030
21	111	270	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	2030
22	106	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
23	111	275	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	2035
24	111	280	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040

5.2.1.4.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

MGUİA alanı içeren karşılıklı çakışma senaryosu için CDÇÇM ile vektörelmeye dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmamış anlık durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.14' de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY444 çağrı adlı hava aracının uçuş başının 15° sağa çevrilmesidir.

Tablo 6.14 : Senaryo004 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	400 knot	0.0 m/s	91.0°	150 FL
Çözüm	THY444	400 knot	0.0 m/s	106.0°	150 FL
Orijinal	THY555	400 knot	0.0 m/s	260.0°	150 FL
Çözüm	THY555	400 knot	0.0 m/s	260.0°	150 FL

Tablo 6.11' deki veriler ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.26' daki gibidir. Şekil 6.26 'da görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait

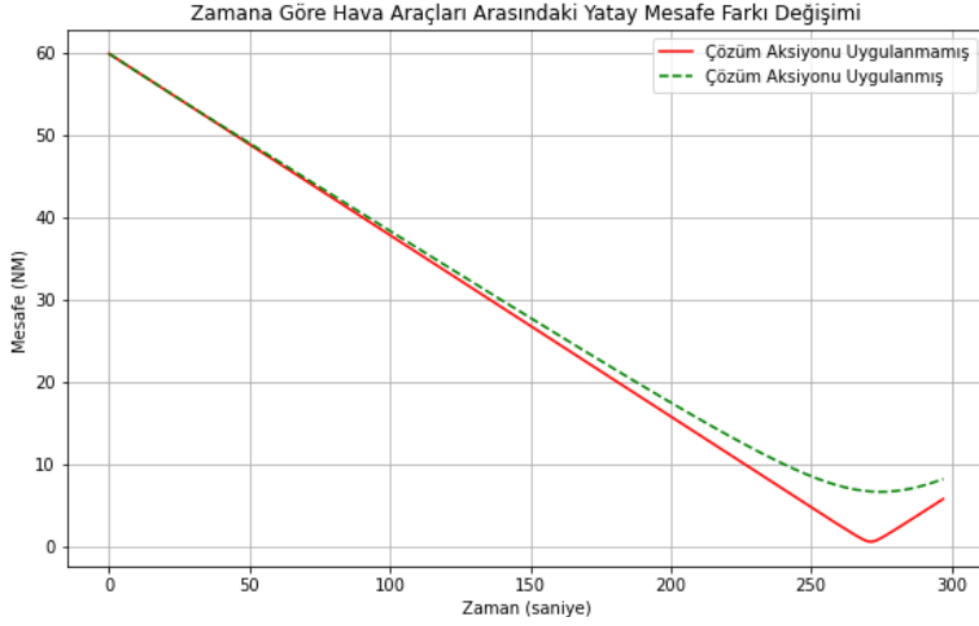
içerikten tek farkı senaryo başladıktan 20 saniye sonra çağrı adı THY444 olan hava aracına yeni uçuş başı atanarak 15° sağa dönme talimatı verilmesidir. Bu işlem çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

```
00:00:00.00>noise off
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>LINE NTM001P1, 37.339471, 30.446798, 37.353280, 30.022199
0:00:00.00>LINE NTM001P2, 37.353280, 30.022199, 37.576278, 30.015737
0:00:00.00>LINE NTM001P3, 37.576278, 30.015737, 37.559687, 30.462423
0:00:00.00>LINE NTM001P4, 37.559687, 30.462423, 37.339471, 30.446798
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444, B738, 37.284003, 29.644747, 91, FL190, 304
00:00:00.00>CRE THY555, B738, 37.353833, 30.899721, 260, FL190, 304
00:00:20.00>THY444 HDG 106
```

Şekil 6.26 : Senaryo004 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryo Dosyası İçeriği

5.2.1.4.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.26' daki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları arasında ilk 20 saniye içerisinde bir çakışma tespiti olduğu görülmüştür. Ancak 20. saniyede THY444 çağrı adlı hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş başı 15° sağa çevrildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.27' de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözümü senaryosuna göre kaydedilen hava aracı pozisyonları arasındaki yatay mesafe farkının zamana göre değişimi yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki yatay mesafe farkı öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniye) 5 NM' nin altına düşerek minimum güvenli yatay ayırma parametresini ihlal etmektedir. Çözüm aksiyonu uygulanan senaryoda hava araçları arasındaki yatay mesafe öngörüleme zamanı içerisinde minimum güvenli ayırma parametresinin (5 NM) altına düşmeyerek ayırma kaybını önlemektedir.



Şekil 6.27 : Senaryo004 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağılı Mesafe Farkı Değişimi

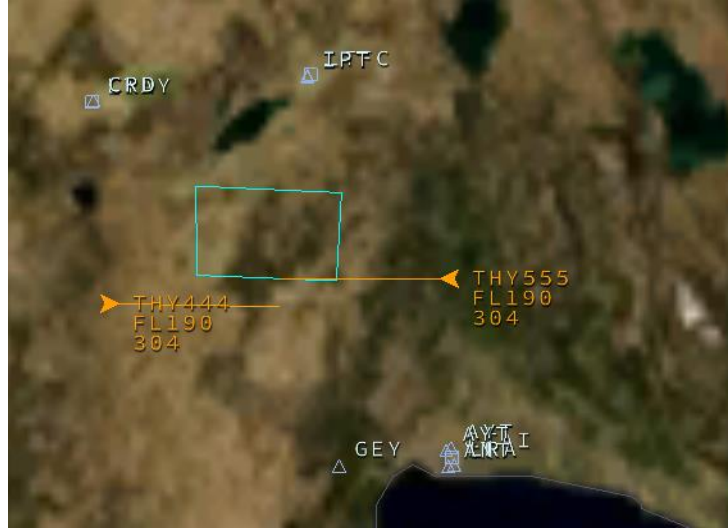
5.2.1.4.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Minimum Güvenli Uçuş İrtifa Alanı(MGUİA) alan içeren karşılıklı çakışma senaryosu ve CDCÇM ile vektölemeye dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları karşılaştırıldığında, üretilen nihai çözümün güvenlik kısıtlarını sağladığı ve üretilen güvenli çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmiştir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5’ deki CDCÇM ile vektölemeye dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Çözüm senaryosunu incelediğimizde üretilen çözümde THY444 hava aracının sağa doğru 15° ‘lik bir vektörlene yaptığı gözlemlenmiştir. Buda bize vektörlene dayalı çakışma çözüm metodolojisiindeki *karşılıklı* çakışma çözüm stratejisinin uygulandığını göstermektedir. Bu senaryo için hava araçlarının çakışma durum geometrisi incelendiğinde çakışma geometrisinin *karşılıklı* olduğu görülmekte ve vektörlene dayalı çakışma çözüm algoritmasının çakışma sınıflandırma işlemini bu senaryo için metodolojiye uygun bir şekilde uyguladığı göstermektedir. Karşılıklı çakışma geometrisindeki çözüm stratejisinde çakışma çözümü için ICAO tarafından belirlenen *sağ-sağ* kuralı ile hava araçları düşük bir vektörlene ile sağ tarafa

döndürülür. Bu senaryo için üretilen çakışma çözüm aksiyonunda THY444 hava aracı sağa doğru 15° döndürülmektedir. Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.13 incelendiğinde hava araçlarının iz açılarında değişiklik yapılan tüm çözüm aksiyonlarında hava araçlarının uçuş başları *sağ-sağ* kuralına göre sağa doğru çevrilerek çakışma çözüm aksiyonu üretilmiştir. Buda bize CDCÇM metodolojisi ile vektörleme yaklaşımının bu senaryo için karşılıklı çakışma çözüm stratejisini başarılı bir şekilde metodolojiye uygun bir şekilde uygulandığını göstermektedir.

Güvenlik kısıtları açısından değerlendirdiğimizde senaryoda herhangi bir yasaklı alan tanımlanmadığından yasaklı alan güvenlik kısıtı zaten sağlanmaktadır. Senaryoda üçüncü bir hava aracı olmadığından domino etkisi kısıtının kontrol edileceği bir durum oluşmamaktadır. Tablo 6.13' deki çözümler ve çakışma geometrisine ait görsel incelendiğinde THY555 hava aracının uçuş başını sağ tarafa doğru 5° ' den fazla çeviren çözüm aksiyonlarının bazıları senaryoda tanımlı minimum güvenli uçuş irtifa alanının bulunduğu dağlık bölgeyi ihlal ettiği için elendiği görülmektedir. THY555 çağrı adlı hava aracının uçuş başı sağa doğru 5° ' den fazla çevrilmiş çözüm aksiyonlarına ait tahminlenmiş pozisyonlar minimum güvenli irtifa uçuşa alanına ait çokgen içerisinde ve bu pozisyonlara ait tahminlenmiş dikey irtifa bu alan için tanımlı minimum güvenli uçuş irtifasının altında olduğundan minimum güvenli irtifa uçuş alanı için ihlali oluşur. Dolayısıyla THY555 hava aracının uçuş başını sağ tarafa çeviren çözümler yasaklı alan ihlal kısıtını sağlamamaktadır. Şekil 6.28' de THY555 hava aracının uçuş başının 10° sağa döndürülmesi durumunda senaryoda tanımlı MGUİA alanı nasıl ihlal ettiği gösterilmektedir. Buda bize CDCÇM metodolojisinin çakışma çözümü üretiminde MGUİA alanlarını dikkate aldığını göstermektedir.



Şekil 6.28 : Senaryo003 MGUIA Alan İhlali İçeren Çözüm Aksiyonu Örneği

Son olarak Tablo 6.13 'deki üretilen çözümlerden seçilen çözüm aksiyonunun güvenlik kısıtlarını sağlayan ve ceza puanı en düşük optimum bir çözüm olduğu görülmektedir.

5.2.1.5. Senaryo005 : Yeni Bir Çakışma Durumu İçeren Yatayda Çapraz Çakışma Senaryosu

5.2.1.5.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryoda THY444, THY555 ve THY333 çağrı adlarına sahip üç farklı hava aracı vardır. Senaryoda durum geometrisi THY444 ve THY555 hava araçları arasında çapraz çakışacak şekilde bir çakışma mevcut iken THY333 hava aracının bu iki hava aracı ile arasında potansiyel ileri zamanlı bir çakışma söz konusu değildir. Bu senaryoda önceki senaryolardan farklı olarak üçüncü bir hava aracı eklenmesinin nedeni CDÇÇM metodolojisinin THY444 ve THY555 çağrı adlarına sahip hava araçları arasındaki çakışma çözüm aksiyonu oluştururken THY333 çağrı adına sahip hava aracıyla oluşabilecek yeni çakışma durumunu da gözeterek optimum bir çakışma çözüm aksiyonu üretilmesinin beklenmesidir. Senaryodaki hava araçlarına ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.15 : Senaryo005 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555	THY333
Yer Hızı	470 knot	470 knot	470 knot

Dikey Hız	0.0 m/s	0.0 m/s	0.0 m/s
İz Açısı	60°	307°	307°
Uçuş Seviyesi	300 FL	300 FL	300 FL

Senaryoya ait çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.29 : Senaryo005 Çakışma Geometrisi BlueSky Görsele

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de görüldüğü üzere senaryoda THY444, THY555 ve THY333 çağrı adlı hava araçları Tablo 6.15’deki bilgilere göre birbirlerine yaklaşmaktadırlar. Bu senaryoda vektörlere dayalı çakışma senaryosu olduğundan hava araçları dikeyde aynı uçuş seviyesine sahiptirler. Ayrıca her üç hava aracının da dikey hızları sabit ve 0.0 m/s ‘dir. Tablo 6.5’deki bilgilere ve Şekil 6.29’deki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği aşağıdaki gibidir :

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.746194,29.524105,60,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.733240,30.588085,307,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY333,B738,35.549810,30.597637,307,FL300,304
```

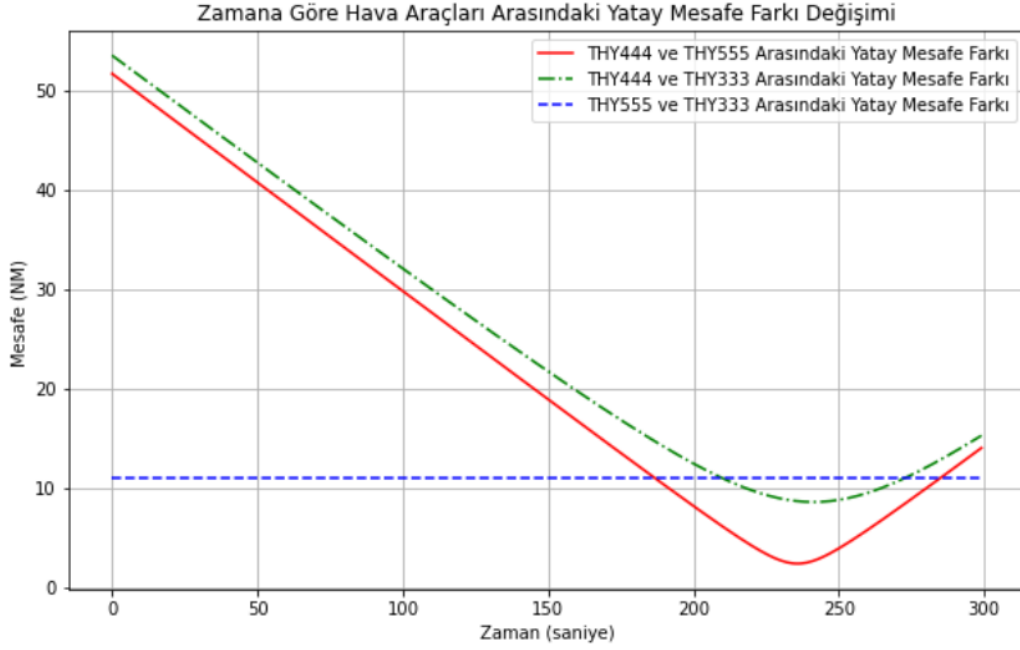
Şekil 6.30 : Senaryo005 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

5.2.1.5.2. Senaryonun Amacı

CDÇÇM metodolojisi ile çakışma çözüm aksiyonu üretilirken çakışma çifti dışındaki hava araçları ile oluşabilecek potansiyel ileri zamanlı çakışma durumları da göz önünde bulundurularak güvenlik kısıtlarını sağlayan optimum bir çakışma çözüm aksiyonun üretilmişinin gösterilmesidir. Çakışma çiftindeki hava araçları için üretilen çakışma çözümü çakışma çifti dışındaki hava araçları için yeni bir çakışma oluşturup hava trafiği açısından bir domino etkisi yaratmamalıdır. Bu senaryo özelinde THY444 ve THY555 hava araçları arasındaki çakışma için CDÇÇM metodolojisi ile üretilen çakışma çözümü THY333 çağrı adlı hava aracı için yeni bir çakışma oluşturmamalıdır.

5.2.1.5.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.29' daki çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları arasında bir çakışma tespit etmektedir. Simülatör THY333 çağrı adlı hava aracı ile diğer hava araçları arasında herhangi bir çakışma tespiti yapmamaktadır. BlueSky ATC simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki yatay mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.31' de görsel olarak sunulmuştur. Bu görsel incelendiği zaman THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları arasındaki yatay mesafenin öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniyeden önce) 5 NM 'nin altına indiği ve minimum yatay ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir. Ancak THY444 hava aracı ile THY333 çağrı adlı hava araçları arasında mesafe öngörüleme zamanı içerisinde(240 saniyeden önce) 5 NM 'nin altına inmemektedir. THY555 ve THY333 çağrı adlı hava araçları arasındaki mesafe farkı ise sabit ve 10 NM üzerinde olduğundan bu hava araçları arasında herhangi bir çakışma söz konusu değildir.



Şekil 6.31 : Senaryo005 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Hava araçları arasında bir çakışma tespiti için hem yatay hem de dikey minimum güvenli ayırma parametrelerinin ihlal edilmesi gerekir. Hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 0.0 feet ve dikey hızları 0.0 m/s olduğundan dikeyde zaten bir ayırma kaybı bulunmaktadır. Şekil 6.31’ de THY444 ve THY555 hava araçları arasında oluşan yataydaki ihlalde görsel olarak sunulduğundan, bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.1.5.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözüm aksiyonu üretilirken bölüm 5.5’ de detaylıca açıklanan CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm yöntemi kullanılmıştır. Çakışma çözümü üretiminde hava araçlarının Tablo 6.12 ‘deki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2’deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm yöntemi bu çakışma senaryosu için 156 farklı çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen bu 156 çözüm aksiyonunun ceza puanına göre sıralanmış hali Ek 2 ‘de bulunmaktadır. Bu çözüm aksiyonlarından ceza puanına göre sıralanmış ilk 10’u Tablo 6.16’da yer almaktadır. Bu tablodaki çözümlerden en düşük ceza puanına sahip 1 numaralı çözüm ayırma kaybı kısıtını sağlamadığından yani yatayda yeterli ayırmayı sağlayamadığından elenmektedir. 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı çözümler ise yeni bir

çakışmaya neden olduğundan domino eskisi kısıtını sağlamamaktadır. 7 numaralı çözüm tüm güvenlik kısıtlarını sağlayan ve en düşük ceza puanına sahip optimum çözümdür.

Tablo 6.16 : Senaryo005 Çakışma Çözüm Aksiyonlarından İlk 10 'u

Çözüm No	THY555 İz Açısı	THY444 İz Açısı	Çakışma Çözüldü	Yeni Çakışma	APW	MSAW	Ceza Puanı
1	307	65	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
2	307	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1010
3	307	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1015
4	307	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1020
5	307	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1025
6	307	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1030
7	307	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1035
8	307	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1040
9	307	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1045
10	307	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1050

5.2.1.5.5. Çakışma Çözüm Senaryosunun Oluşturulması

Bu çakışma senaryosu için CDCÇM ile vektörelmeye dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmamış anlık durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.17' de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY444 çağrı adlı hava aracının uçuş başının 35° sağa çevrilmesidir.

Tablo 6.17 : Senaryo005 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	470 knot	0.0 m/s	60.0°	300 FL
Çözüm	THY444	470 knot	0.0 m/s	95.0°	300 FL
Orijinal	THY555	470 knot	0.0 m/s	307.0°	300 FL
Çözüm	THY555	470 knot	0.0 m/s	307.0°	300 FL
Orijinal	THY333	470 knot	0.0 m/s	307.0°	300 FL
Çözüm	THY333	470 knot	0.0 m/s	307.0°	300 FL

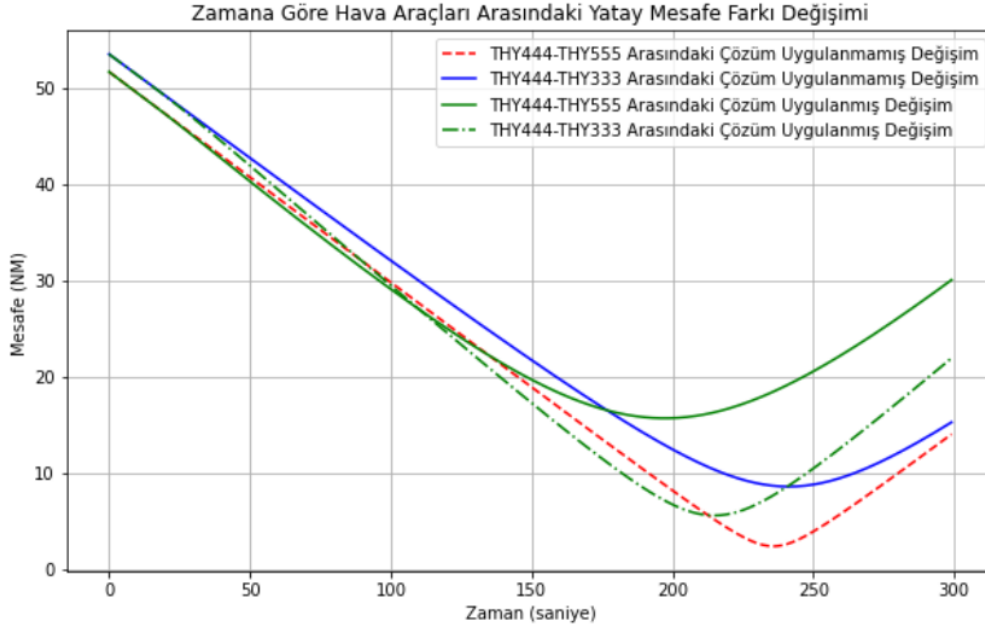
Tablo 6.17 ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.32' deki gibidir. Şekil 6.32' de görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryo başladıktan 15 saniye sonra çağrı adı THY444 olan hava aracına yeni uçuş başı atanmasıdır. Bu işlem çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.746194,29.524105,60,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.733240,30.588085,307,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY333,B738,35.549810,30.597637,307,FL300,304
00:00:15.00>THY444 HDG 95
```

Şekil 6.32 : Senaryo005 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği

5.2.1.5.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.32' deki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında ilk 15 saniye içerisinde bir çakışma tespiti olduğu görülmüştür. Ancak 15. saniyede THY444 hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş başı değiştirildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.33' de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosundaki hava araçları arasındaki yatay mesafe farkının zamana göre değişimi yer almaktadır. Bu grafiğe göre çözüm aksiyonu sonrasında THY444 ve THY555 hava araçları arasındaki ayırma kaybı ortadan kaldırılarak çakışma çözümü sağlanmış ve THY333 çağrı adlı hava aracıyla herhangi yeni bir çakışma durumu oluşmamıştır. Çakışma çözüm senaryosuna göre hava araçları arasındaki yatay mesafenin zamana göre grafiği aşağıdaki gibidir:



Şekil 6.33 : Senaryo005 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

5.2.1.5.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları karşılaştırıldığında, THY444 ve THY555 hava araçları arasındaki çakışma çözümün güvenlik kısıtlarını sağladığı, THY333 ile yeni bir çakışma oluşturmadığı, üretilen vektörlme çözüm aksiyonunun üretilen güvenli çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmektedir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5’deki CDÇÇM ile vektörlmeye dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Bu senaryo özelinde Tablo 6.16’deki ceza puanına göre sıralanmış ilk 10 çözüm incelendiğinde 2, 3, 4, 5 ve 6 çözüm aksiyonlarında THY444 hava aracı sağa doğru çevrilmektedir. Bu çözüm aksiyonlarının uygulanması halinde THY444 ve THY333 hava araçları arasında yeni bir çakışma olduğundan CDÇÇM metodolojisi tablodaki 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı çözümler için “Yeni Çakışma” kolonunu “TRUE” yapmış ve domino etkisi kısıtını uygulayarak bu çözümleri elemiştir. Buda bize CDÇÇM metodolojisinin domino etkisi kısıtını başarılı bir şekilde metodolojiye uygun bir şekilde uyguladığını göstermektedir.

Ek 2' deki bu senaryo için üretilen çözüm aksiyonları incelendiği zaman, ceza puanları ile hava araçlarının iz açılarındaki değişimin direk ilişkili olduğu görülmekte. Çözüm aksiyonunda, iz açısı değişim sayısı ve iz açısı değişim miktarı arttıkça ceza puanında arttığı, iz açısı değişim sayısının ceza puanına etkisinin iz açısı değişim miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Buda bize bu senaryo için üretilen çözümlerde vektörleme cezalandırma yaklaşımının doğru uygulandığını göstermektedir. Son olarak Tablo 6.6' daki üretilen çözümlerden 7 numaralı çözümün tüm güvenlik kısıtlarının sağlayan ve ceza puanı en düşük optimum bir çözüm olduğu görülmektedir.

5.2.2. Dikey Manevra Test Senaryoları ve Sonuçları

Dikey manevra test senaryolarında hava araçlarının dikey düzlemdeki durum geometrilerine göre üretilmiş test senaryoları ve bölüm 5.5' de deatylıca açıklanan CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm algoritmaları kullanılarak üretilmiş çözüm aksiyonları uygulandıktan sonra oluşan sonuçlar güvenlik kısıtları ve amaç fonksiyonu açısından ele alınarak değerlendirilmiştir. Çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm aksiyonu senaryosu ayrı ayrı BlueSky ATC simulatörü ile çalıştırılarak sonuçlar analiz edilmiştir. Bu bölümdeki her bir test senaryosu çakışma tespit parametreleri olarak Tablo 6.2' deki parametre değerlerini kullanmaktadır.

Test senaryoları dikeydeki seviye değişimleri ile çakışma çözümü için tasarlandığından bu bölümdeki tüm çakışma senaryoları yatayda minimum güvenli yatay ayırma parametresini ihlal edecek şekilde tasarlanmıştır. Çakışma senaryolarındaki ve çakışma çözüm senaryolarındaki hava araçları dikey pozisyon bilgileri kaydedilerek hava araçları arasındaki dikey mesafe farkları zamana göre hesaplanmıştır. Hem çakışma hemde çözüm senaryolarına air zamana göre dikey mesafe değişim grafikleri oluşturulmuştur. Çakışma çözüm aksiyonları tablolarında kullanılan kısaltmalar aşağıdaki gibidir:

- ÇÇ - Çakışma Çözüldü
- DKR – Dikey Kesişen Rota
- TYM – Ters Yönde Dikey Manevra

5.2.2.1. Senaryo006 : Her İki Hava Aracının Aynı Dikey Seviyede Çakışma Durumu Senaryosu

5.2.2.1.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryoda THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları yatay düzlemde dik kesişecek şekilde birbirlerine yaklaşmaktadırlar. Hava araçları dikeyde aynı uçuş seviyesi(300 FL) ve aynı dikey hıza (0.0 fpm) sahiptirler. Bu senaryodaki çakışma geometrisinde hava araçları arasında hem yatay hem de dikey düzlemde Tablo 6.2’deki çakışma parametrelerine göre ileri zamanlı bir çakışma söz konusudur. Senaryoda bu çakışmanın CDCÇM metodolojisi ile dikey seviye değişim yöntemi ve algoritmaları kullanılarak çözüm aksiyonu üretilmesi test edilmiştir. Hava araçlarına ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.18 : Senaryo006 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	471 knot	466 knot
Dikey Hız	0.0 fpm	0.0 fpm
İz Açısı	0°	270°
Uçuş Seviyesi	300 FL	300 FL

Senaryoya ait çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.34 : Senaryo001 Çakışma Geometrisi BlueSky Görseli

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de görüldüğü üzere senaryoda THY444 ve THY555 hava araçları Tablo 6.18’ deki bilgilere göre birbirlerine yaklaşmaktadırlar. Senaryo dikey seviye değişimine dayalı çakışma senaryosu olduğundan hava araçları arasında yatayda ileri zamanlı bir ayırma kaybı olacak şekilde tasarlanmıştır. Çakışma görselindeki hava aracı etiketlerinde de görüleceği üzere her iki hava aracında 300 FL ile aynı dikey seviyede ve dikey hızları 0.0 fpm ‘dir. Tablo 6.18’ deki bilgilere ve Şekil 6.34 ‘deki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği aşağıdaki gibidir:

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL300,300
```

Şekil 6.35 : Senaryo006 BlueSky Senaryo Dosyası içeriği

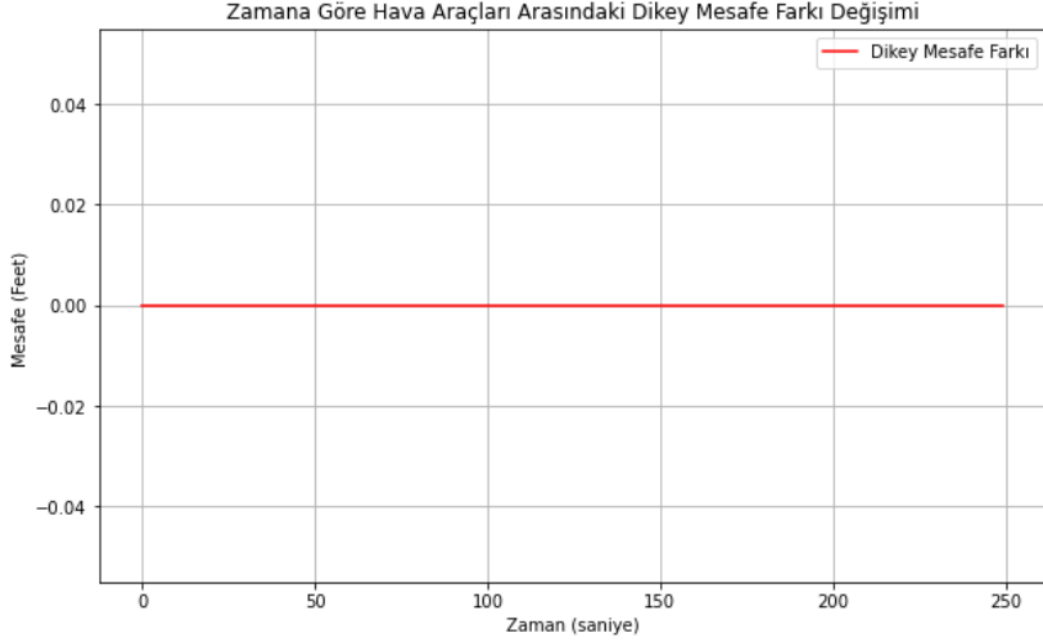
5.2.2.1.2. Senaryonun Amacı

Çakışma senaryosundaki gibi aynı dikey seviyede birbirlerine yaklaşan hava araçları için CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen optimum çakışma çözüm aksiyonunun ayırma kaybı kısıtını sağladığının kanıtlanmasıdır. Çakışma çözümünün CDÇÇM metodolojisine uygun olarak çözüm aksiyonu ürettiğinin gösterilmesidir. Senaryodaki THY444 ve THY555 hava araçları için üretilen dikey çakışma çözümü hava araçları arasındaki çakışmayı en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm aksiyonu ile sağlamalıdır.

5.2.2.1.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.35’ deki çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2’ deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ATC simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki dikey mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.36’ da görsel olarak sunulmuştur. Bu görsel incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki dikey mesafenin öngörüleme zamanı boyunca(240 saniye)

1000 feet' in altında olduğu ve minimum dikey güvenli ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.36 : Senaryo006 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Bu senaryo BlueSky ATC simülatorü ile yürütüldüğünde simülator bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.2.1.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözümü üretiminde hava araçlarının Tablo 6.18' deki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi bu çakışma senaryosu için 42 farklı çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen bu çözümlerin ceza puanına göre sıralanmış hali Tablo 6.19' da yer almaktadır. Bu tablodaki 42 çözüm aksiyonun tümü hava araçları arasındaki çakışmayı çözmektedir. Tüm çözüm aksiyonlar THY444 ve THY555 hava araçları için ayırma kaybı kısıtını sağlamaktadır.

Tablo 6.19 : Senaryo006 Çakışma Çözüm Aksiyonları

No	THY444 SFL (FL)	THY444 Dikey Hız (FPM)	THY555 SFL (FL)	THY555 Dikey Hız (FPM)	ÇÇ	DKR	TYM	Ceza Puanı
1	310	300	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	5319

2	290	-300	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	5319
3	310	300	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	5319
4	290	-300	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	5319
5	320	600	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	10638
6	280	-600	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	10638
7	320	600	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	10638
8	280	-600	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	10638
9	330	900	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	15957
10	270	-900	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	15957
11	330	900	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	15957
12	270	-900	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	15957
13	310	300	290	-300	TRUE	FALSE	FALSE	40638
14	290	-300	310	300	TRUE	FALSE	FALSE	40638
15	310	300	280	-600	TRUE	FALSE	FALSE	45957
16	290	-300	320	600	TRUE	FALSE	FALSE	45957
17	320	600	290	-300	TRUE	FALSE	FALSE	45957
18	280	-600	310	300	TRUE	FALSE	FALSE	45957
19	310	300	270	-900	TRUE	FALSE	FALSE	51276
20	290	-300	330	900	TRUE	FALSE	FALSE	51276
21	320	600	280	-600	TRUE	FALSE	FALSE	51276
22	280	-600	320	600	TRUE	FALSE	FALSE	51276
23	330	900	290	-300	TRUE	FALSE	FALSE	51276
24	270	-900	310	300	TRUE	FALSE	FALSE	51276
25	320	600	270	-900	TRUE	FALSE	FALSE	56595
26	280	-600	330	900	TRUE	FALSE	FALSE	56595
27	330	900	280	-600	TRUE	FALSE	FALSE	56595
28	270	-900	320	600	TRUE	FALSE	FALSE	56595
29	330	900	270	-900	TRUE	FALSE	FALSE	61914
30	270	-900	330	900	TRUE	FALSE	FALSE	61914
31	310	300	320	600	TRUE	TRUE	FALSE	335957
32	290	-300	280	-600	TRUE	TRUE	FALSE	335957

33	320	600	310	300	TRUE	TRUE	FALSE	335957
34	280	-600	290	-300	TRUE	TRUE	FALSE	335957
35	320	600	330	900	TRUE	TRUE	FALSE	336595
36	280	-600	270	-900	TRUE	TRUE	FALSE	336595
37	330	900	320	600	TRUE	TRUE	FALSE	336595
38	270	-900	280	-600	TRUE	TRUE	FALSE	336595
39	310	300	330	900	TRUE	TRUE	FALSE	341276
40	290	-300	270	-900	TRUE	TRUE	FALSE	341276
41	330	900	310	300	TRUE	TRUE	FALSE	341276
42	270	-900	290	-300	TRUE	TRUE	FALSE	341276

Tablo 6.19’ daki çakışma çözüm aksiyonları incelendiğinde çözüm aksiyonlarının ceza puanlarına göre sıralandığı görülmektedir. En düşük ceza puanına sahip çakışma çözüm aksiyonu ilk dört sıradaki 1, 2, 3 ve 4 numaralı çözüm aksiyonlarıdır. Bu senaryo için üretilen en iyi çözüm 1 numaralı çözümdür. 1 numaralı çözüm en düşük puana sahip “Dikey Kesişen Rota-DKR” ve “Ters Yönde Dikey Manevra-TYM” içermemektedir.

5.2.2.1.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

Bu çakışma senaryosu için CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmamış anlık durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.20’ de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY444 çağrı adlı hava aracına 300 fpm dikey hız ile 310 FL ‘ ye tırmanmasıdır.

Tablo 6.20 : Senaryo006 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	470 knot	0.0 fpm	0.0°	300 FL
Çözüm	THY444	470 knot	300.0 fpm	0.0°	310 FL
Orijinal	THY555	470 knot	0.0 fpm	270.0°	300 FL
Çözüm	THY555	470 knot	0.0 fpm	270.0°	300 FL

Tablo 6.20’ deki veriler ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.37’ deki gibidir. Şekil 6.37’de

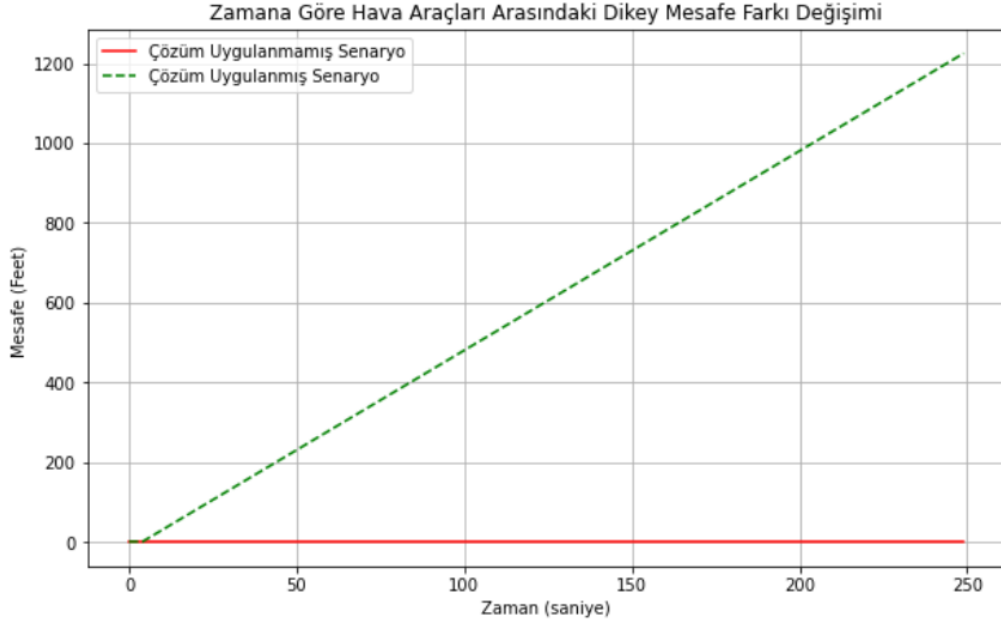
görülebileceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryonun 5. saniyesinde çağrı adı THY444 olan hava aracına 310 FL uçuş seviyesi ve 300 fpm dikey hız atanmasıdır. Bu işlem çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

```
00:00:00.00>noise off
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL300,300
00:00:05.00>THY444 ALT 31000 300
```

Şekil 6.37 : Senaryo006 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği

5.2.2.1.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.37' deki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında ilk 5 saniye boyunca bir çakışma tespiti olduğu görülmüştür. Ancak 5. saniyede THY444 hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş seviyesi ve dikey hızı değiştirildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.38' de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosundaki hava araçları arasındaki dikey mesafe farkının zamana göre değişim grafiği yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı öngörüleme zamanı boyunca(240 saniye) 1000 feet' in altındadır ve minimum güvenli dikey ayırma parametresini ihlal etmektedir. Çözüm aksiyonu uygulanmış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe 1000 feet' lik minimum güvenli dikey ayırma parametresinin üzerine çıkararak ayırma kaybı önlenmektedir.



Şekil 6.38 : Senaryo006 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

5.2.2.1.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları karşılaştırıldığında, üretilen dikey seviye değişimi çözüm aksiyonunun hava araçları arasındaki çakışmayı çözdüğü, çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmektedir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5' deki CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.19 incelendiğinde bir çözüm aksiyonu için ceza puanını rotasında değişiklik yapılan (yeni dikey seviye atanan) hava aracı sayısı, atanan seviyelere göre tahminlenen dikey rotaların kesişimi (DKR kolonu) ve rotasında ters yönde dikey seviye değişimi yapılan hava aracı sayısı (TYM kolonu) etkilemekte olduğu gözlemlenmektedir. 31 ve 42 numaralarda dahil olmak üzere 31 ve 42 numaraları arasındaki çözümler için dikey kesişen rota durumu söz konusu olduğunda bu çözümlere uygulanan ceza puanı en yüksek olanlarıdır. Bu senaryo için çözüm aksiyonu üretirken cezalandırma yaklaşımında dikey kesişen rota cezasının ceza puanına etkisinin diğer cezalandırma faktörlerinden yüksek bir ağırlığa sahip olduğu

görülmektedir. Ayrıca üretilen optimum çözüm “Dikey Kesişen Rota-DKR” ve “Ters Yönde Dikey Manevra-TYM” içermeyen optimum çözümdür. Buda bize çözüm aksiyonu üretiminde CDÇÇM metodolojisindeki cezalandırma yaklaşımının başarılı bir şekilde uygulandığını göstermektedir.

5.2.2.2. Senaryo007 : Hava Araçlarından Sadece Birinin Yükseldiği Çakışma Durumu Test Senaryosu

5.2.2.2.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryoda THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları yatay düzlemde dik kesişecek şekilde birbirlerine yaklaşmaktadırlar. THY555 çağrı adlı hava aracı 280 FL ‘ de ve 1500 fpm ile 300 FL’ ye tırmanmaktadır. THY444 çağrı adlı hava aracı 300 FL’ de ve 0.0 fpm ile uçuşunu sürdürmektedir. Bu senaryodaki çakışma geometrisinde hava araçları arasında hem yatay hem de dikey düzlemde Tablo 6.1’ deki çakışma parametrelerine göre ileri zamanlı bir çakışma söz konusudur. Senaryoda hava araçlarından birinin yükseldiği çakışma geometrisine sahip bir çakışma için CDÇÇM metodolojisi ile dikey seviye değişim yöntemi ve algoritmaları kullanılarak çözüm aksiyonu üretilmesi test edilmiştir. Hava araçlarına ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.21 : Senaryo007 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	471 knot	466 knot
Dikey Hız	0.0 fpm	1500 fpm
İz Açısı	0°	270°
Uçuş Seviyesi	300 FL	280 FL

Senaryoya ait çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.39 : Senaryo007 Çakışma Geometrisi BlueSky Görsele

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de görüldüğü üzere senaryoda THY444 ve THY555 hava araçları Tablo 6.21’ deki bilgilere göre birbirlerine yaklaşıyorlar. Senaryo dikey seviye değişimine dayalı çakışma senaryosu olduğundan hava araçları arasında yatayda ileri zamanlı bir ayırma kaybı olacak şekilde tasarlanmıştır. Çakışma görselindeki hava aracı etiketlerinde de görüleceği üzere THY444 hava aracı 0.0 fpm ile 300 FL’ de seyir ederken THY555 çağrı adlı hava aracı 280 FL’ den 1500 fpm ile tırmanmaktadır. Bu bilgilere ve Şekil 6.39’ daki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği aşağıdaki gibidir:

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL280,300
00:00:03.00>THY555 ALT 30000 1500
```

Şekil 6.40 : Senaryo007 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

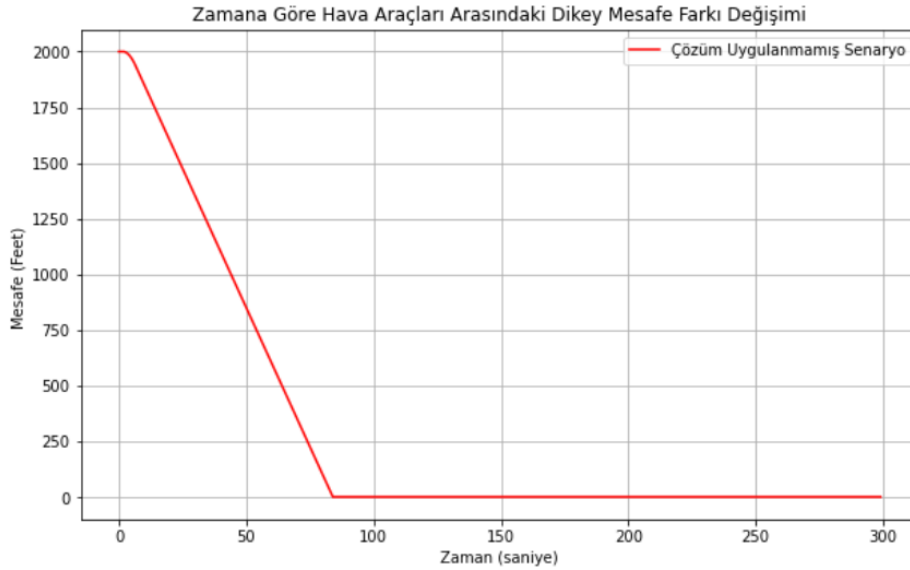
5.2.2.2.2. Senaryonun Amacı

Farklı dikey seviyelerde ve dikey hızlara sahip hava aracı çiftindeki bir hava aracının yükselerek diğer hava aracı için bir ayırma kaybı ve çakışma oluşturacak bir senaryo için CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen optimum çakışma

çözüm aksiyonunun ayırma kaybı kısıtını sağladığının kanıtlanmasıdır. Çakışma çözümünün CDÇÇM metodolojisine uygun olarak çözüm aksiyonu ürettiğinin ve cezalandırma yaklaşımı ile optimum sonucu elde ettiğinin gösterilmesidir. Senaryodaki THY444 ve THY555 hava araçları için üretilen dikey çakışma çözümü hava araçları arasındaki çakışmayı en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm aksiyonu ile sağlamalıdır.

5.2.2.2.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.39' daki çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ATC simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki dikey mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.41' de görsel olarak sunulmuştur. Bu görsel incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki dikey 1000 feet' in altında olduğu ve minimum dikey güvenli ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.41 : Senaryo007 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.2.2.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözümü üretiminde hava araçlarının Tablo 6.21' deki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi bu çakışma senaryosu için 42 farklı çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen bu çözümlerin ceza puanına göre sıralanmış hali Tablo 6.22' de yer almaktadır. Bu tablodaki 42 çözüm aksiyonun tümü hava araçları arasındaki çakışmayı çözmektedir. Tüm çözüm aksiyonlar THY444 ve THY555 hava araçları için ayırma kaybı kısıtını sağlamaktadır.

Tablo 6.22 : Senaryo007 Çakışma Çözüm Aksiyonları

No	THY444 SFL (FL)	THY444 Dikey Hız (FPM)	THY555 SFL (FL)	THY555 Dikey Hız (FPM)	ÇÇ	DKR	TYM	Ceza Puanı
1	310	319	300	1500	TRUE	FALSE	FALSE	35000
2	290	-319	300	1500	TRUE	FALSE	FALSE	35000
3	NO SFL	0	290	319	TRUE	FALSE	FALSE	35000
4	320	638	300	1500	TRUE	FALSE	FALSE	40000
5	280	-638	300	1500	TRUE	FALSE	FALSE	40000
6	330	957	300	1500	TRUE	FALSE	FALSE	45000
7	270	-957	300	1500	TRUE	FALSE	FALSE	45000
8	310	319	290	319	TRUE	FALSE	FALSE	70000
9	320	638	290	319	TRUE	FALSE	FALSE	75000
10	280	-638	310	957	TRUE	FALSE	FALSE	75000
11	280	-638	320	1276	TRUE	FALSE	FALSE	80000
12	330	957	290	319	TRUE	FALSE	FALSE	80000
13	270	-957	310	957	TRUE	FALSE	FALSE	80000
14	280	-638	330	1595	TRUE	FALSE	FALSE	85000
15	270	-957	320	1276	TRUE	FALSE	FALSE	85000
16	270	-957	330	1595	TRUE	FALSE	FALSE	90000
17	NO SFL	0	280	0	TRUE	FALSE	TRUE	120000
18	NO SFL	0	270	-319	TRUE	FALSE	TRUE	125000
19	290	-319	280	0	TRUE	FALSE	TRUE	145000

20	280	-638	270	-319	TRUE	FALSE	TRUE	145000
21	290	-319	270	-319	TRUE	FALSE	TRUE	150000
22	310	319	280	0	TRUE	FALSE	TRUE	155000
23	310	319	270	-319	TRUE	FALSE	TRUE	160000
24	320	638	280	0	TRUE	FALSE	TRUE	160000
25	320	638	270	-319	TRUE	FALSE	TRUE	165000
26	330	957	280	0	TRUE	FALSE	TRUE	165000
27	330	957	270	-319	TRUE	FALSE	TRUE	170000
28	NO SFL	0	310	957	TRUE	TRUE	FALSE	335000
29	NO SFL	0	320	1276	TRUE	TRUE	FALSE	340000
30	NO SFL	0	330	1595	TRUE	TRUE	FALSE	345000
31	310	319	320	1276	TRUE	TRUE	FALSE	365000
32	320	638	310	957	TRUE	TRUE	FALSE	365000
33	320	638	330	1595	TRUE	TRUE	FALSE	365000
34	280	-638	290	319	TRUE	TRUE	FALSE	365000
35	330	957	320	1276	TRUE	TRUE	FALSE	365000
36	310	319	330	1595	TRUE	TRUE	FALSE	370000
37	290	-319	310	957	TRUE	TRUE	FALSE	370000
38	330	957	310	957	TRUE	TRUE	FALSE	370000
39	270	-957	290	319	TRUE	TRUE	FALSE	370000
40	290	-319	320	1276	TRUE	TRUE	FALSE	375000
41	290	-319	330	1595	TRUE	TRUE	FALSE	380000
42	270	-957	280	0	TRUE	TRUE	TRUE	445000

Tablo 6.22’ deki çakışma çözüm aksiyonları incelendiğinde çözüm aksiyonlarının ceza puanlarına göre sıralandığı görülmektedir. En düşük ceza puanına sahip 1 numaralı çakışma çözüm aksiyonu bu çakışma senaryosu için optimum çözümdür.

5.2.2.2.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

Bu çakışma senaryosu için CDCÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmamış anlık durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.23’ de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu

senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY444 çağrı adlı hava aracına 319 fpm dikey hız ile 310 FL ‘ ye tırmanmasıdır.

Tablo 6.23 : Senaryo007 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	471 knot	0.0 fpm	0.0°	300 FL
Çözüm	THY444	471 knot	319.0 fpm	0.0°	310 FL
Orijinal	THY555	466 knot	1500.0 fpm	270.0°	300 FL
Çözüm	THY555	466 knot	1500.0 fpm	270.0°	300 FL

Tablo 6.23’ deki veriler ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.42’ deki gibidir. Şekil 6.42’ de görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryonun 5. saniyesinde çağrı adı THY444 olan hava aracına 310 FL uçuş seviyesi ve 319 fpm dikey hız atanmasıdır. Bu işlem çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

```

0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL280,300
00:00:03.00>THY555 ALT 30000 1500
00:00:05.00>THY444 ALT 31000 319

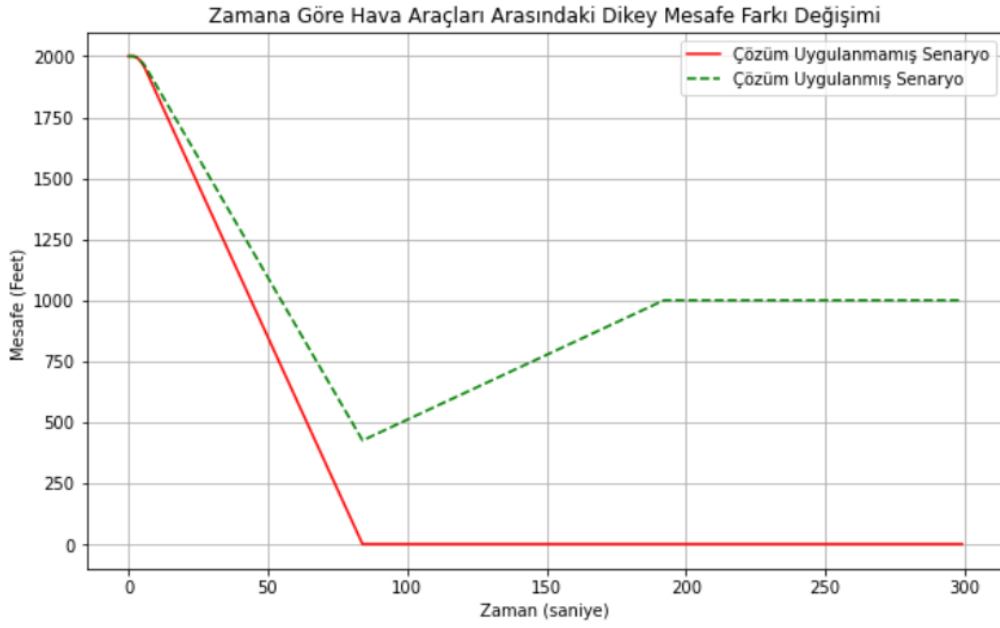
```

Şekil 6.42 : Senaryo007 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği

5.2.2.2.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.42’ deki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında bir çakışma yaşandığı görülmüştür. Ancak 5. saniyede THY444 çağrı adlı hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş seviyesi ve dikey hızı değiştirildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.43’ de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosundaki hava araçları arasındaki dikey mesafe

farkının zamana göre değişim grafiği yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 1000 feet' in altındadır ve minimum güvenli dikey ayırma parametresini ihlal etmektedir. özüm aksiyonu uygulanmış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe 1000 feet' lik minimum güvenli dikey ayırma parametresinin üzerine çıkararak ayırma kaybı önlenmektedir.



şekil 6.43 : Senaryo007 özüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

5.2.2.2.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çakışma senaryosu ve CDCM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları karşılaştırıldığında, üretilen dikey seviye değişimi çözüm aksiyonunun hava araçları arasındaki çakışmayı çözdüğü, üretilen dikey çözüm aksiyonunun çözüm aksiyonları içerisinden en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmektedir. Çakışma özümü oluşturulurken bölüm 5.5' deki CDCM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

özüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.22 incelendiğinde bir çözüm aksiyonu için ceza puanını rotasında değişiklik yapılan(yeni dikey seviye atanan) hava aracı sayısı, atanan seviyelere göre tahminlenen dikey rotaların kesişimi(DKR kolonu) ve rotasında

ters yönde dikey seviye değişimi yapılan hava aracı sayısı(TYM kolonu) etkilemekte olduğu gözlemlenmektedir. Üretilen optimum çözüm “Dikey Kesişen Rota-DKR” ve “Ters Yönde Dikey Manevra-TYM” içermeyen optimum çözümdür.

Sonuçlar ve grafikler karşılaştırıldığında CDÇÇM ile dikey seviye değişim yöntemi kullanılarak hava araçlarından birinin yükseldiği çakışma senaryosu için başarılı bir çözüm üretilmiştir. Üretilen dikey seviye çözümü CDÇÇM metodolojisine uygun olarak üretilmiştir.

5.2.2.3. Senaryo008 : Hava Araçlarından Sadece Birinin Alçaldığı Çakışma Durumu Test Senaryosu

5.2.2.3.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryoda THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları yatay düzlemde dik kesişecek şekilde birbirlerine yaklaşmaktadırlar. THY444 çağrı adlı hava aracı 300 FL ‘ de ve -1000 fpm ile 280 FL’ ye alçalmaktadır. THY555 çağrı adlı hava aracı 280 FL’ de ve 0.0 fpm ile uçuşunu sürdürmektedir. Bu senaryodaki çakışma geometrisinde hava araçları arasında hem yatay hem de dikey düzlemde Tablo 6.2’ deki çakışma parametrelerine göre ileri zamanlı bir çakışma söz konusudur. Senaryoda hava araçlarından birinin alçaldığı çakışma geometrisine sahip bir çakışma için CDÇÇM metodolojisi ile dikey seviye değişim yöntemi ve algoritmaları kullanılarak çözüm aksiyonu üretilmesi test edilmiştir. Hava araçlarına ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.24 : Senaryo008 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	471 knot	466 knot
Dikey Hız	-1000.0 fpm	0.0 fpm
İz Açısı	0°	270°
Uçuş Seviyesi	300 FL	280 FL

Senaryoya ait çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.44 : Senaryo008 Çakışma Geometrisi BlueSky Görsele

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de görüldüğü üzere senaryoda THY444 ve THY555 hava araçları Tablo 6.24’ deki bilgilere göre birbirlerine yaklaşmaktadırlar. Senaryo dikey seviye değişimine dayalı çakışma senaryosu olduğundan hava araçları arasında yatayda ileri zamanlı bir ayırma kaybı olacak şekilde tasarlanmıştır. Çakışma görselindeki hava aracı etiketlerinde de görüleceği üzere THY555 hava aracı 0.0 fpm ile 280 FL’ de seyir ederken THY444 çağrı adlı hava aracı 300 FL’ den -1000 fpm ile alçalmaktadır. Bu bilgilere ve Şekil 6.44 ‘deki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği aşağıdaki gibidir:

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL280,300
00:00:03.00>THY444 ALT 28000 -1000
```

Şekil 6.45 : Senaryo008 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

5.2.2.3.2. Senaryonun Amacı

Farklı dikey seviyelerde ve dikey hızlara sahip hava aracı çiftindeki bir hava aracının alçalarak diğer hava aracı için bir ayırma kaybı ve çakışma oluşturacak bir senaryosu için CDCÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen optimum

çakışma çözüm aksiyonunun ayırma kaybı kısıtını sağladığının kanıtlanmasıdır. Çakışma çözümünün CDÇÇM metodolojisine uygun olarak çözüm aksiyonu ürettiğinin ve cezalandırma yaklaşıma ile optimum sonucu elde ettiğinin gösterilmesidir. Senaryodaki THY444 ve THY555 hava araçları için üretilen dikey çakışma çözümü hava araçları arasındaki çakışmayı en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm aksiyonu ile sağlamalıdır.

5.2.2.3.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.45' deki çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ATC simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki dikey mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.46' da görsel olarak sunulmuştur. Bu görsel incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki dikey 1000 feet' in altında olduğu ve minimum dikey güvenli ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.46 : Senaryo008 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.2.3.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözümü üretiminde hava araçlarının Tablo 6.24' deki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2' deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi bu çakışma senaryosu için 42 farklı dikey seviye değişimi çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen bu çözümlerin ceza puanına göre sıralanmış hali Tablo 6.25' de yer almaktadır. Bu tablodaki 42 çözüm aksiyonun tümü hava araçları arasındaki çakışmayı çözmektedir. Tüm çözüm aksiyonlar THY444 ve THY555 hava araçları için ayırma kaybı kısıtını sağlamaktadır.

Tablo 6.25 : Senaryo008 Çakışma Çözüm Aksiyonları

No	THY444 SFL (FL)	THY444 Dikey Hız (FPM)	THY555 SFL (FL)	THY555 Dikey Hız (FPM)	ÇÇ	DKR	TYM	Ceza Puanı
1	290	-319	NO SFL	0	TRUE	FALSE	FALSE	35000
2	280	-960	290	319	TRUE	FALSE	FALSE	35000
3	280	-960	270	-319	TRUE	FALSE	FALSE	35000
4	280	-960	300	638	TRUE	FALSE	FALSE	40000
5	280	-960	260	-638	TRUE	FALSE	FALSE	40000
6	280	-960	310	957	TRUE	FALSE	FALSE	45000
7	280	-960	250	-957	TRUE	FALSE	FALSE	45000
8	290	-319	270	-319	TRUE	FALSE	FALSE	70000
9	290	-319	260	-638	TRUE	FALSE	FALSE	75000
10	270	-957	300	638	TRUE	FALSE	FALSE	75000
11	290	-319	250	-957	TRUE	FALSE	FALSE	80000
12	270	-957	310	957	TRUE	FALSE	FALSE	80000
13	260	-1276	300	638	TRUE	FALSE	FALSE	80000
14	260	-1276	310	957	TRUE	FALSE	FALSE	85000
15	250	-1595	300	638	TRUE	FALSE	FALSE	85000
16	250	-1595	310	957	TRUE	FALSE	FALSE	90000
17	300	0	NO SFL	0	TRUE	FALSE	TRUE	120000
18	310	319	NO SFL	0	TRUE	FALSE	TRUE	125000

19	300	0	290	319	TRUE	FALSE	TRUE	145000
20	310	319	300	638	TRUE	FALSE	TRUE	145000
21	310	319	290	319	TRUE	FALSE	TRUE	150000
22	300	0	270	-319	TRUE	FALSE	TRUE	155000
23	300	0	260	-638	TRUE	FALSE	TRUE	160000
24	310	319	270	-319	TRUE	FALSE	TRUE	160000
25	300	0	250	-957	TRUE	FALSE	TRUE	165000
26	310	319	260	-638	TRUE	FALSE	TRUE	165000
27	310	319	250	-957	TRUE	FALSE	TRUE	170000
28	270	-957	NO SFL	0	TRUE	TRUE	FALSE	335000
29	260	-1276	NO SFL	0	TRUE	TRUE	FALSE	340000
30	250	-1595	NO SFL	0	TRUE	TRUE	FALSE	345000
31	290	-319	300	638	TRUE	TRUE	FALSE	365000
32	270	-957	260	-638	TRUE	TRUE	FALSE	365000
33	260	-1276	270	-319	TRUE	TRUE	FALSE	365000
34	260	-1276	250	-957	TRUE	TRUE	FALSE	365000
35	250	-1595	260	-638	TRUE	TRUE	FALSE	365000
36	290	-319	310	957	TRUE	TRUE	FALSE	370000
37	270	-957	290	319	TRUE	TRUE	FALSE	370000
38	270	-957	250	-957	TRUE	TRUE	FALSE	370000
39	250	-1595	270	-319	TRUE	TRUE	FALSE	370000
40	260	-1276	290	319	TRUE	TRUE	FALSE	375000
41	250	-1595	290	319	TRUE	TRUE	FALSE	380000
42	300	0	310	957	TRUE	TRUE	TRUE	445000

Tablo 6.25’ deki çakışma çözüm aksiyonları incelendiğinde çözüm aksiyonlarının ceza puanlarına göre sıralandığı görülmektedir. En düşük ceza puanına sahip 1 numaralı çakışma çözüm aksiyonu bu çakışma senaryosu için optimum çözümdür.

5.2.2.3.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

Bu çakışma senaryosu için CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmamış anlık durum

geometrisine ait bilgiler Tablo 6.26’ da bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY444 çağrı adlı hava aracına -319 fpm dikey hız ile 290 FL ‘ ye alçalmasıdır.

Tablo 6.26 : Senaryo008 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	471 knot	-1000.0 fpm	0.0°	300 FL
Çözüm	THY444	471 knot	-319.0 fpm	0.0°	290 FL
Orijinal	THY555	466 knot	0.0 fpm	270.0°	280 FL
Çözüm	THY555	466 knot	0.0 fpm	270.0°	280 FL

Tablo 6.26’ daki veriler ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.47’ deki gibidir. Şekil 6.47’ de de görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryonun 5. saniyesinde çağrı adı THY444 olan hava aracına 290 FL uçuş seviyesi ve -319 fpm dikey hız atanmasıdır. Bu işlem senaryo için çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

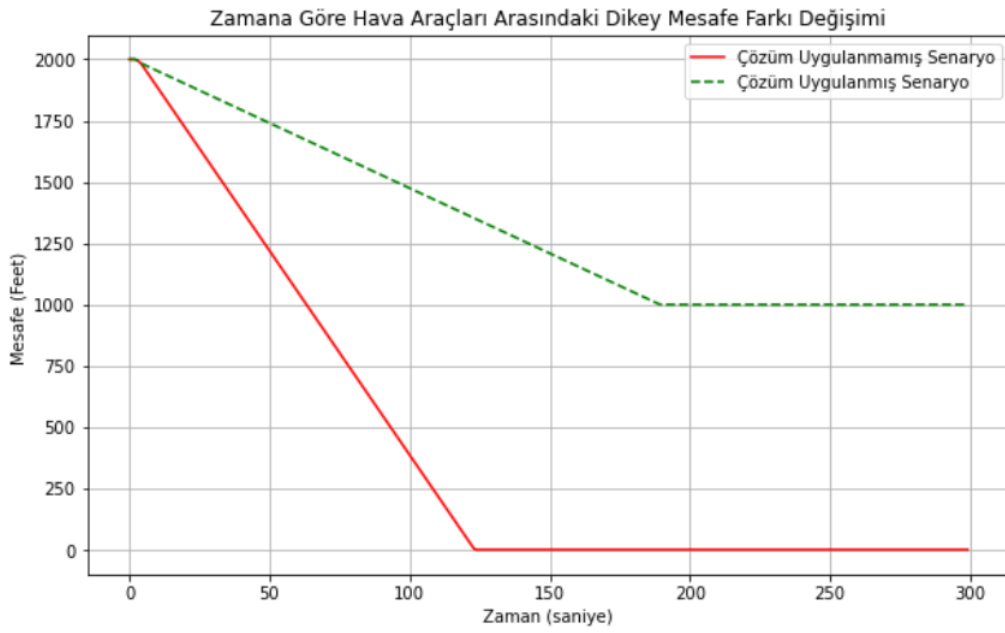
```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL280,300
00:00:03.00>THY444 ALT 28000 -1000
00:00:05.00>THY444 ALT 29000 -319
```

Şekil 6.47 : Senaryo008 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği

5.2.2.3.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.47’ deki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında bir çakışma yaşandığı görülmüştür. Ancak 5. saniyede THY444 çağrı adlı hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş seviyesi ve dikey hızı değiştirildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın zamanla ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.48’ de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve

çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosundaki hava araçları arasındaki dikey mesafe farkının zamana göre değişim grafiği yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 1000 feet' in altındadır ve minimum güvenli dikey ayırma parametresini ihlal etmektedir. Çözüm aksiyonu uygulanmış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe 1000 feet' lik minimum güvenli dikey ayırma parametresinin üzerine çıkarak ayırma kaybı önlenmektedir.



Şekil 6.48 : Senaryo008 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

5.2.2.3.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları karşılaştırıldığında, üretilen dikey seviye değişimi çözüm aksiyonunun hava araçları arasındaki çakışmayı çözdüğü, çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmektedir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5' deki CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının başarılı bir şekilde uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.25 incelendiğinde bir çözüm aksiyonu için ceza puanını rotasında değişiklik yapılan(yeni dikey seviye atanan) hava aracı sayısı,

atanan seviyelere göre tahminlenen dikey rotaların kesişimi(DKR kolonu) ve rotasında ters yönde dikey seviye değişimi yapılan hava aracı sayısı(TYM kolonu) etkilemekte olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca üretilen optimum çözüm “Dikey Kesişen Rota-DKR” ve “Ters Yönde Dikey Manevra-TYM” içermeyen optimum çözümdür.

Sonuçlar ve grafikler karşılaştırıldığında CDÇÇM ile dikey seviye değişim yöntemi kullanılarak hava araçlarından birinin alçalacağı çakışma senaryosu için başarılı bir çözüm üretilmiştir. Üretilen dikey seviye çözümü CDÇÇM metodolojisine uygun olarak üretilmiştir.

5.2.2.4. Senaryo009 : Hava Araçlarından Biri Alçalırken Diğeri Yükselen Duruma Sahip Çakışma Senaryosu

5.2.2.4.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryoda THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları yatay düzlemde dik kesişecek şekilde birbirlerine yaklaşmaktadırlar. THY444 çağrı adlı hava aracı dikey düzlemde 300 FL ‘ de ve -1500 fpm ile 280 FL’ ye alçalmaktadır. THY555 çağrı adlı hava aracı 270 FL’ de ve 1000 fpm ile 290 FL’ ye tırmanmaktadır. Bu senaryodaki çakışma geometrisinde hava araçları arasında hem yatay hem de dikey düzlemde Tablo 6.2’ deki çakışma parametrelerine göre ileri zamanlı bir çakışma söz konusudur. Senaryoda hava araçlarından birinin alçalıp diğerin yükseldiği çakışma geometrisine sahip bir çakışma için CDÇÇM metodolojisi ile dikey seviye değişim yöntemi ve algoritmaları kullanılarak çözüm aksiyonu üretilmesi test edilmiştir. Hava araçlarına ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.27 : Senaryo009 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	471 knot	466 knot
Dikey Hız	-1500.0 fpm	1000.0 fpm
İz Açısı	0°	270°
Uçuş Seviyesi	300 FL	270 FL

Senaryoya ait çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.49 : Senaryo009 Çakışma Geometrisi BlueSky Görself

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de görüldüğü üzere senaryoda THY444 ve THY555 hava araçları Tablo 6.27’deki bilgilere göre birbirlerine yaklaşmaktadırlar. Çakışma görselindeki hava aracı etiketlerinde de görüleceği üzere THY555 hava aracı 270 FL’den yükselmekte iken THY444 çağrı adlı hava aracı 300 FL’den alçalmaktadır. Bu bilgilere ve Şekil 6.50 ‘deki görsele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği aşağıdaki gibidir:

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL270,300
00:00:03.00>THY444 ALT 28000 -1500
00:00:03.00>THY555 ALT 28000 1000
```

Şekil 6.50 : Senaryo009 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

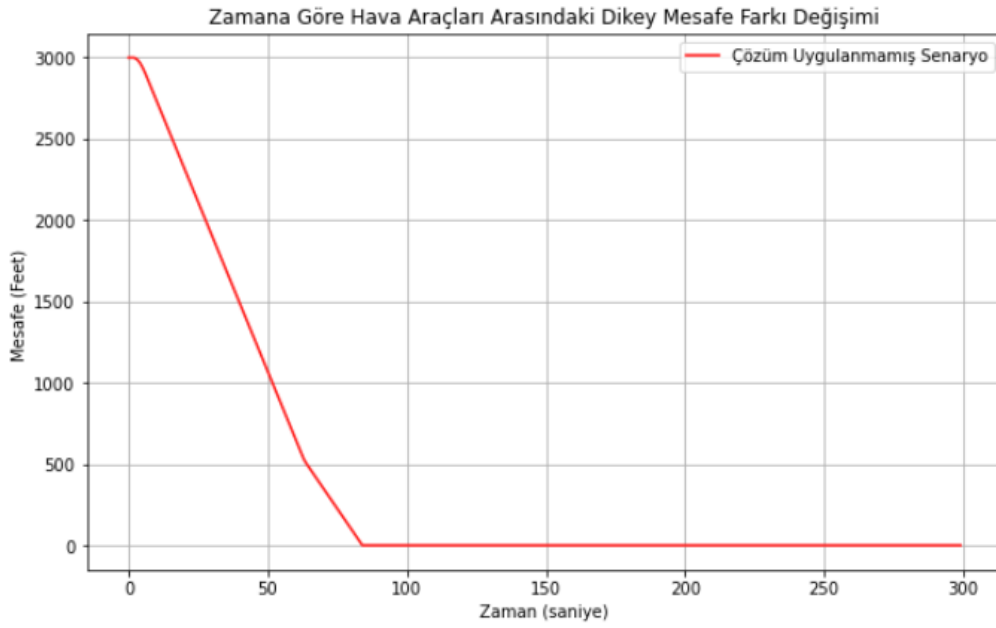
5.2.2.4.2. Senaryonun Amacı

Biri yükselmekte ve diğeri alçalmakta olan farklı dikey seviyelerde, farklı dikey hızlara sahip hava aracı çifti için çakışma oluşturacak bir senaryoda CDCÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen optimum çakışma çözüm aksiyonunun ayırma kaybı kısıtını sağladığının kanıtlanmasıdır. Çakışma çözümünün CDCÇM

metodolojisine uygun olarak çözüm aksiyonu ürettiğinin ve cezalandırma yaklaşımı ile optimum sonucun elde edildiğinin gösterilmesidir.

5.2.2.4.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.50’deki çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2’deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde BlueSky ATC simülatörü bu hava aracı çifti için bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ATC simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki dikey mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.51’de görsel olarak sunulmuştur. Bu görsel incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki dikey 1000 feet’ in altında olduğu ve minimum dikey güvenli ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.51 : Senaryo009 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.2.4.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözümü üretiminde hava araçlarının Tablo 6.7’deki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2’deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDCÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi bu çakışma senaryosu için 42 farklı çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen bu çözümlerin ceza

puanına göre sıralanmış hali Tablo 6.28’ de yer almaktadır. Bu tablodaki 42 çözüm aksiyonun tümü hava araçları arasındaki çakışmayı çözmektedir. Tüm çözüm aksiyonlar THY444 ve THY555 hava araçları için ayırma kaybı kısıtını sağlamaktadır.

Tablo 6.28 : Senaryo009 Çakışma Çözüm Aksiyonları

No	THY444 SFL (FL)	THY444 Dikey Hız (FPM)	THY555 SFL (FL)	THY555 Dikey Hız (FPM)	ÇÇ	DKR	TYM	Ceza Puanı
1	290	-319	280	1000	TRUE	FALSE	FALSE	35000
2	270	-957	300	1000	TRUE	FALSE	FALSE	75000
3	270	-957	310	1276	TRUE	FALSE	FALSE	80000
4	260	-1276	300	957	TRUE	FALSE	FALSE	80000
5	260	-1276	310	1276	TRUE	FALSE	FALSE	85000
6	250	-1595	300	957	TRUE	FALSE	FALSE	85000
7	250	-1595	310	1276	TRUE	FALSE	FALSE	90000
8	280	-1500	270	0	TRUE	FALSE	TRUE	115000
9	300	0	280	960	TRUE	FALSE	TRUE	120000
10	280	-1500	260	-319	TRUE	FALSE	TRUE	120000
11	310	319	280	960	TRUE	FALSE	TRUE	125000
12	280	-1500	250	-638	TRUE	FALSE	TRUE	125000
13	270	-957	260	-319	TRUE	FALSE	TRUE	145000
14	300	0	290	638	TRUE	FALSE	TRUE	145000
15	310	319	300	957	TRUE	FALSE	TRUE	145000
16	290	-319	270	0	TRUE	FALSE	TRUE	150000
17	270	-957	250	-638	TRUE	FALSE	TRUE	150000
18	310	319	290	638	TRUE	FALSE	TRUE	150000
19	290	-319	260	-319	TRUE	FALSE	TRUE	155000
20	290	-319	250	-638	TRUE	FALSE	TRUE	160000
21	300	0	270	0	TRUE	FALSE	TRUE	235000
22	300	0	260	-319	TRUE	FALSE	TRUE	240000
23	310	319	270	0	TRUE	FALSE	TRUE	240000
24	300	0	250	-638	TRUE	FALSE	TRUE	245000

25	310	319	260	-319	TRUE	FALSE	TRUE	245000
26	310	319	250	-638	TRUE	FALSE	TRUE	250000
27	270	-957	280	960	TRUE	TRUE	FALSE	335000
28	280	-1500	290	638	TRUE	TRUE	FALSE	335000
29	260	-1276	280	960	TRUE	TRUE	FALSE	340000
30	280	-1500	300	957	TRUE	TRUE	FALSE	340000
31	250	-1595	280	960	TRUE	TRUE	FALSE	345000
32	280	-1500	310	1276	TRUE	TRUE	FALSE	345000
33	290	-319	300	957	TRUE	TRUE	FALSE	365000
34	290	-319	310	1276	TRUE	TRUE	FALSE	370000
35	270	-957	290	638	TRUE	TRUE	FALSE	370000
36	260	-1276	290	638	TRUE	TRUE	FALSE	375000
37	250	-1595	290	638	TRUE	TRUE	FALSE	380000
38	300	0	310	1276	TRUE	TRUE	TRUE	445000
39	260	-1276	270	0	TRUE	TRUE	TRUE	445000
40	260	-1276	250	-638	TRUE	TRUE	TRUE	445000
41	250	-1595	260	-319	TRUE	TRUE	TRUE	445000
42	250	-1595	270	0	TRUE	TRUE	TRUE	450000

Tablo 6.28’deki çakışma çözüm aksiyonları incelendiğinde çözüm aksiyonlarının ceza puanlarına göre sıralandığı görülmektedir. En düşük ceza puanına sahip 1 numaralı çakışma çözüm aksiyonu bu çakışma senaryosu için optimum çözümdür.

5.2.2.4.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

Bu çakışma senaryosu için CDCÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmış ve uygulanmamış durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.27’de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY444 çağrı adlı hava aracının dikey alçalma hızını -1500 FL’den -319 FL’ye düşürmesi ve 290 FL dikey seviyesinin atanmasıdır.

Tablo 6.29 : Senaryo009 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	471 knot	-1500.0 fpm	0.0°	300 FL
Çözüm	THY444	471 knot	-319.0 fpm	0.0°	290 FL
Orijinal	THY555	466 knot	0.0 fpm	270.0°	270 FL
Çözüm	THY555	466 knot	1000.0 fpm	270.0°	280 FL

Tablo 6.29’ daki veriler ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.52’ deki gibidir. Senaryo dosyasında görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryonun 5. saniyesinde çağrı adı THY444 olan hava aracına 290 FL uçuş seviyesi ve -319 fpm dikey hız atanmasıdır. Bu işlem çakışma için çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

```

0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL270,300
00:00:03.00>THY444 ALT 28000 -1500
00:00:03.00>THY555 ALT 28000 1000
00:00:10.00>THY444 ALT 29000 -319

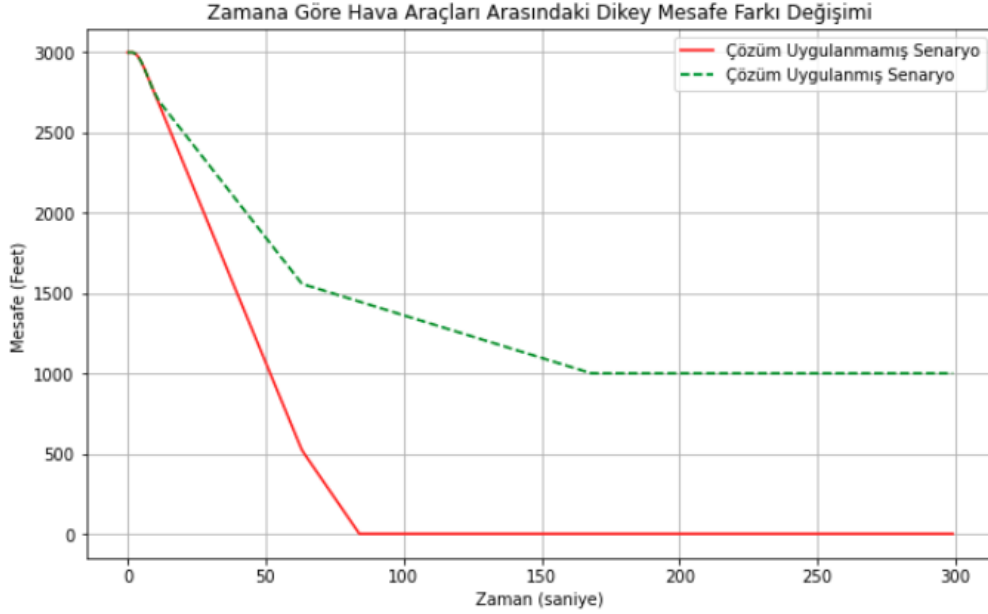
```

Şekil 6.52 : Senaryo009 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği

5.2.2.4.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.52’ deki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında bir çakışma tespiti görülmüştür. Ancak 5. saniyede THY444 çağrı adlı hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş seviyesi ve dikey hızı değiştirildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın zamanla ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.53’ de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosundaki hava araçları arasındaki dikey mesafe farkının zamana göre değişim grafiği yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 1000 feet’ in altındadır ve minimum güvenli dikey ayırma

parametresini ihlal etmektedir. Çözüm aksiyonu uygulanmış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe 1000 feet' lik minimum güvenli dikey ayırma parametresinin üzerine çıkarak ayırma kaybı önlenmektedir.



Şekil 6.53 : Senaryo009 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

5.2.2.4.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözüm aksiyonunu içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları incelendiğinde, üretilen dikey seviye değişimi çözüm aksiyonunun hava araçları arasındaki çakışmayı çözdüğü, çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmektedir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5' deki CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.28 incelendiğinde bir çözüm aksiyonu için ceza puanını rotasında değişiklik yapılan (yeni dikey seviye atanmış) hava aracı sayısı, atanmış seviyelere göre tahminlenen dikey rotaların kesişimi (DKR kolonu) ve rotasında ters yönde dikey seviye değişimi yapılan hava aracı sayısı (TYM kolonu) etkilemekte olduğu gözlemlenmektedir. Bu senaryo özelinde biri alçalan diğeri yükselen bir çakışma geometrisi olduğundan, ters yönde manevra içeren çakışma çözüm aksiyonu sayısı daha önceki senaryolara göre daha fazladır.

Sonuçlar ve grafikler incelendiğinde CDÇÇM ile dikey seviye değişim yöntemi kullanılarak hava araçlarından birinin alçaldığı diğerinin yükseldiği çakışma senaryosundaki çakışmayı çözen başarılı bir çözüm üretilmiştir. Üretilen dikey seviye çözümü CDÇÇM metodolojisine uygun olarak üretilmiştir.

5.2.2.5. Senaryo010 : Her İki Hava Aracının Yükseldiği Çakışma Durumu Senaryosu

5.2.2.5.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryoda THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları yatay düzlemde dik kesişecek şekilde birbirlerine yaklaşmaktadırlar. THY444 çağrı adlı hava aracı dikey düzlemde 300 FL ' de ve 1000 fpm ile 310 FL' ye tırmanmaktadır. THY555 çağrı adlı hava aracı 290 FL' de ve 1500 fpm ile 310 FL' ye tırmanmaktadır. THY555 hava aracı THY444 hava aracından çok daha hızlı tırmandığından bu senaryodaki çakışma geometrisinde hava araçları arasında hem yatay hem de dikey düzlemde Tablo 6.1' deki çakışma parametrelerine göre ileri zamanlı bir çakışma söz konusudur. Senaryoda hava araçlarından her iki hava aracının yükseldiği çakışma geometrisine sahip bir çakışma için CDÇÇM metodolojisi ile dikey seviye değişim yöntemi ve algoritmaları kullanılarak çözüm aksiyonu üretilmesi test edilmiştir. Hava araçlarına ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.30 : Senaryo010 Hava Aracı Bilgileri

Çağrı Adı	THY444	THY555
Yer Hızı	471 knot	466 knot
Dikey Hız	1000.0 fpm	1500.0 fpm
İz Açısı	0°	270°
Uçuş Seviyesi	300 FL	290 FL

Senaryoya ait çakışma geometrisi aşağıdaki görseldeki gibidir:



Şekil 6.54 : Senaryo010 Çakışma Geometrisi BlueSky Görşeli

Yukarıdaki çakışma geometrisinde de görüldüğü üzere senaryoda THY444 ve THY555 hava araçları Tablo 6.30’ daki bilgilere göre birbirlerine yaklaşılmaktadırlar. Çakışma görşelindeki hava aracı etiketlerinde de görüleceği üzere THY555 hava aracı 300 FL’ den yükselmekte iken THY444 çağrı adlı hava aracı da 290 FL’ den yükselmektedir. Bu bilgilere ve Şekil 6.54 ‘deki görşele ait BlueSky çakışma senaryosu dosya içeriği aşağıdaki gibidir:

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL290,300
00:00:03.00>THY444 ALT 31000 1000
00:00:03.00>THY555 ALT 31000 1500
```

Şekil 6.55 : Senaryo010 BlueSky Senaryo Dosyası İçeriği

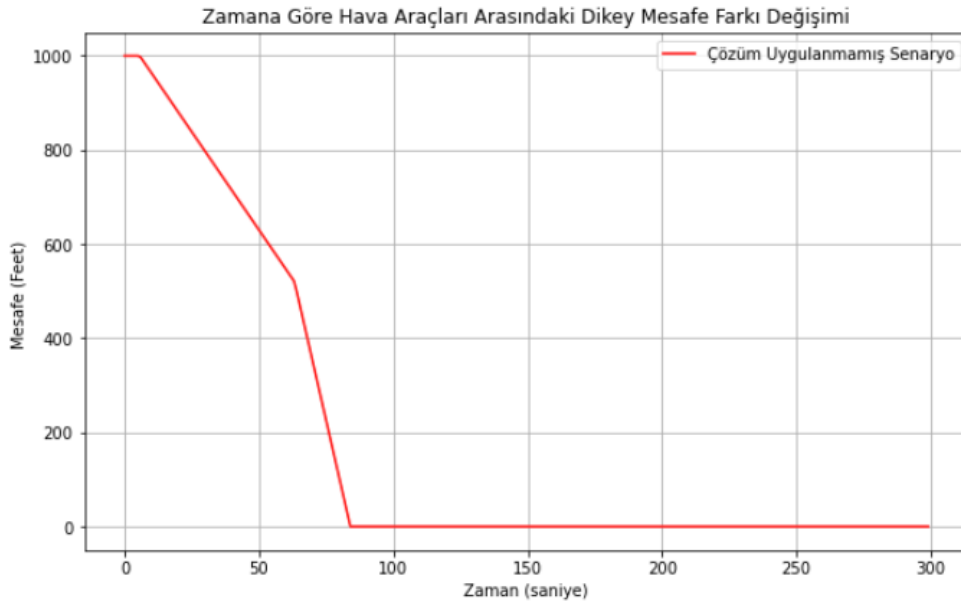
5.2.2.5.2. Senaryonun Amacı

Her iki hav aracının da yükselmekte olduğu ve farklı dikey seviyelerde, farklı dikey hızlara sahip hava aracı çifti için çakışma oluşturacak bir senaryoda CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen optimum çakışma çözüm aksiyonunun ayırma kaybı kısıtını sağladığının kanıtlanmasıdır. Çakışma çözümünün CDÇÇM

metodolojisine uygun olarak çözüm aksiyonu ürettiğinin ve cezalandırma yaklaşımı ile optimum sonucun elde edildiğinin gösterilmesidir.

5.2.2.5.3. Çakışma Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.54’ deki çakışma senaryosu dosyası BlueSky ATC simülatörü ile Tablo 6.2’ deki çakışma tespit parametrelerine göre yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ileri zamanlı bir çakışma tespit etmektedir. BlueSky ATC simülatöründe yürütülen bu senaryodaki hava araçlarının aralarındaki dikey mesafenin zamana göre değişim grafiği Şekil 6.56’ da görsel olarak sunulmuştur. Bu görsel incelendiği zaman hava araçlarının aralarındaki dikey 1000 feet’ in altında olduğu ve minimum dikey güvenli ayırma parametresini ihlal ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 6.56 : Senaryo010 Çakışma Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

Bu senaryo BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde simülatör bu hava aracı çifti için ikaz tespiti yapmaktadır.

5.2.2.5.4. Çakışma Çözüm Aksiyonunun Üretilmesi

Çakışma çözümü üretiminde hava araçlarının Tablo 6.30’ daki çakışma geometrisi verileri ve Tablo 6.2’ deki çakışma tespit parametreleri kullanılmıştır. CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi bu çakışma senaryosu için 44 farklı çözüm aksiyonu üretmiştir. Üretilen bu çözümlerin ceza puanına göre sıralanmış hali Tablo 6.31’ de yer almaktadır. Bu tablodaki 44 çözüm

aksiyonun tümü hava araçları arasındaki çakışmayı çözmektedir. Tüm çözüm aksiyonlar THY444 ve THY555 hava araçları için ayırma kaybı kısıtını sağlamaktadır.

Tablo 6.31 : Senaryo010 Çakışma Çözüm Aksiyonları

No	THY444 SFL (FL)	THY444 Dikey Hız (FPM)	THY555 SFL (FL)	THY555 Dikey Hız (FPM)	ÇÇ	DKR	TYM	Ceza Puanı
1	330	1000	310	1500	TRUE	FALSE	FALSE	34125
2	320	638	310	1500	TRUE	FALSE	FALSE	39125
3	300	0	310	1500	TRUE	FALSE	TRUE	129125
4	290	-319	310	1500	TRUE	FALSE	TRUE	134125
5	280	-638	310	1500	TRUE	FALSE	TRUE	139125
6	290	-319	320	957	TRUE	FALSE	TRUE	155000
7	290	-319	330	1276	TRUE	FALSE	TRUE	160000
8	280	-638	320	957	TRUE	FALSE	TRUE	160000
9	290	-319	340	1595	TRUE	FALSE	TRUE	165000
10	280	-638	330	1276	TRUE	FALSE	TRUE	165000
11	290	-319	350	1914	TRUE	FALSE	TRUE	170000
12	280	-638	340	1595	TRUE	FALSE	TRUE	170000
13	290	-319	360	2234	TRUE	FALSE	TRUE	175000
14	280	-638	350	1914	TRUE	FALSE	TRUE	175000
15	290	-319	370	2553	TRUE	FALSE	TRUE	180000
16	280	-638	360	2234	TRUE	FALSE	TRUE	180000
17	280	-638	370	2553	TRUE	FALSE	TRUE	185000
18	310	960	320	957	TRUE	TRUE	FALSE	335000
19	310	960	330	1276	TRUE	TRUE	FALSE	340000
20	310	960	340	1595	TRUE	TRUE	FALSE	345000
21	310	960	350	1914	TRUE	TRUE	FALSE	350000
22	310	960	360	2234	TRUE	TRUE	FALSE	355000
23	310	960	370	2553	TRUE	TRUE	FALSE	360000
24	320	638	330	1276	TRUE	TRUE	FALSE	365000
25	330	957	340	1595	TRUE	TRUE	FALSE	365000

26	330	957	320	957	TRUE	TRUE	FALSE	365000
27	340	1276	350	1914	TRUE	TRUE	FALSE	365000
28	340	1276	330	1276	TRUE	TRUE	FALSE	365000
29	320	638	340	1595	TRUE	TRUE	FALSE	370000
30	330	957	350	1914	TRUE	TRUE	FALSE	370000
31	340	1276	360	2234	TRUE	TRUE	FALSE	370000
32	340	1276	320	957	TRUE	TRUE	FALSE	370000
33	320	638	350	1914	TRUE	TRUE	FALSE	375000
34	330	957	360	2234	TRUE	TRUE	FALSE	375000
35	340	1276	370	2553	TRUE	TRUE	FALSE	375000
36	320	638	360	2234	TRUE	TRUE	FALSE	380000
37	330	957	370	2553	TRUE	TRUE	FALSE	380000
38	320	638	370	2553	TRUE	TRUE	FALSE	385000
39	300	0	320	957	TRUE	TRUE	TRUE	450000
40	300	0	330	1276	TRUE	TRUE	TRUE	455000
41	300	0	340	1595	TRUE	TRUE	TRUE	460000
42	300	0	350	1914	TRUE	TRUE	TRUE	465000
43	300	0	360	2234	TRUE	TRUE	TRUE	470000
44	300	0	370	2553	TRUE	TRUE	TRUE	475000

Tablo 6.31’ deki çakışma çözüm aksiyonları incelendiğinde çözüm aksiyonlarının ceza puanlarına göre sıralandığı görülmektedir. En düşük ceza puanına sahip 1 numaralı çakışma çözüm aksiyonu bu çakışma senaryosu için optimum çözümdür.

5.2.2.5.5. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Oluşturulması

Bu çakışma senaryosu için CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma çözümü ve hava araçlarının çözüm aksiyonu uygulanmış ve uygulanmamış durum geometrisine ait bilgiler Tablo 6.32’ de bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde, bu senaryo için oluşturulan optimum çakışma çözüm aksiyonunun THY444 çağrı adlı hava aracına 330 FL dikey hız atanması olduğu görülür.

Tablo 6.32 : Senaryo010 Çakışma Çözümü ve Öncesi Hava Aracı Durum Bilgileri

Orijinal/Çözüm	Çağrı Adı	Yer Hızı	Dikey Hız	İz Açısı	Uçuş Seviyesi
Orijinal	THY444	471 knot	1000.0 fpm	0.0°	300 FL
Çözüm	THY444	471 knot	1000.0 fpm	0.0°	330 FL
Orijinal	THY555	466 knot	1500.0 fpm	270.0°	290 FL
Çözüm	THY555	466 knot	1500.0 fpm	270.0°	290 FL

Tablo 6.32’ deki veriler ve üretilen çakışma çözüm aksiyonuna göre oluşturulan BlueSky senaryo dosyası içeriği Şekil 6.57’ deki gibidir. Senaryoda görüleceği üzere çakışma çözüm senaryosunun çakışma senaryo dosyasına ait içerikten tek farkı senaryonun 10 saniyesinde çağrı adı THY444 olan hava aracına 330 FL uçuş seviyesi atanmasıdır. Bu işlem çözüm aksiyonunun uygulanması anlamına gelmektedir.

```

0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL290,300
00:00:03.00>THY444 ALT 31000 1000
00:00:03.00>THY555 ALT 31000 1500
00:00:10.00>THY444 ALT 33000 1000

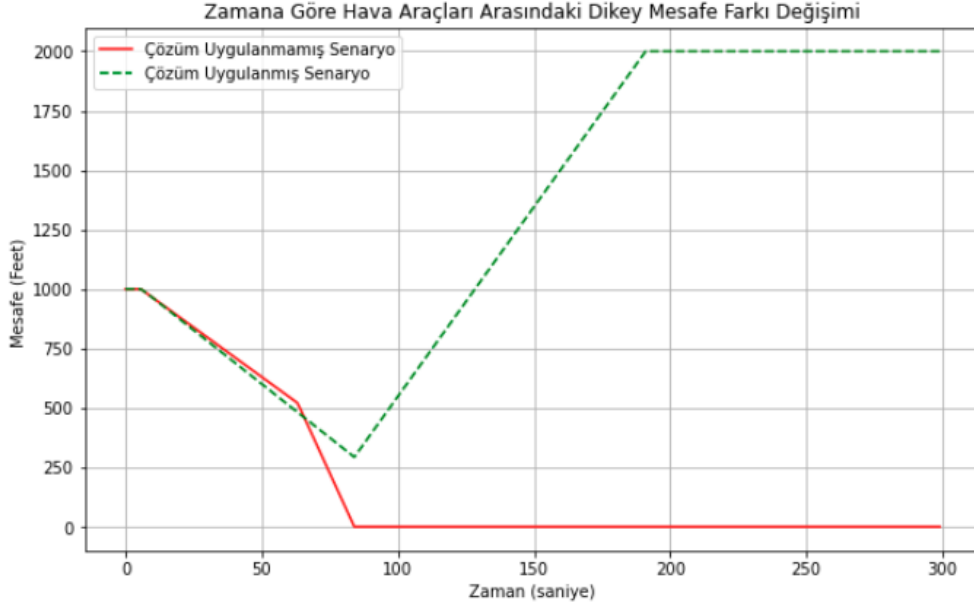
```

Şekil 6.57 : Senaryo010 BlueSky Çakışma Çözüm Senaryosu Dosyası İçeriği

5.2.2.5.6. Çakışma Çözüm Aksiyonu Senaryosunun Yürütülmesi

Şekil 6.57’ deki çakışma çözüm senaryosu BlueSky ATC simülatörü ile yürütüldüğünde çağrı adları THY444 ve THY555 hava araçları arasında bir çakışma yaşandığı görülmüştür. Ancak 10. saniyede THY444 çağrı adlı hava aracının çözüm aksiyonu doğrultusunda uçuş seviyesi değiştirildikten sonra hava araçları arasında ileri zamanlı tespit edilen çakışmanın senaryonun ilerleyen zamanlarında ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.58’ de çakışma çözümü uygulanmamış çakışma senaryosu ve çözüm aksiyonu uygulanmış çakışma çözüm senaryosundaki hava araçları arasındaki dikey mesafe farkının zamana göre değişim grafiği yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde çakışma çözümü uygulanmamış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe farkı 1000 feet’ in altındadır ve minimum güvenli dikey ayırma

parametresini ihlal etmektedir. Çözüm aksiyonu uygulanmış senaryoda hava araçları arasındaki dikey mesafe 1000 feet'lik minimum güvenli dikey ayırma parametresinin üzerine çıkarak ayırma kaybı önlenmektedir.



Şekil 6.58 : Senaryo010 Çözüm Senaryosu Hava Araçları Arasındaki Zaman Bağlı Mesafe Farkı Değişimi

5.2.2.5.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çakışma senaryosu ve CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı üretilen çakışma dikey çözüm aksiyonlarını içeren çakışma çözüm senaryosu sonuçları incelendiğinde, çözüm aksiyonunun hava araçları arasındaki çakışmayı çözdüğü ve çözüm aksiyonları içerisinde en düşük ceza puanına sahip optimum çözüm olduğu gözlemlenmektedir. Çakışma çözümü oluşturulurken bölüm 5.5' deki CDÇÇM ile dikey seviye değişimine dayalı çakışma çözüm yöntemi ve algoritmalarının başarılı bir şekilde uygulandığı ve sonuçların bu metodolojiye uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Çözüm aksiyonlarını içeren Tablo 6.31 incelendiğinde bir çözüm aksiyonu için ceza puanını rotasında değişiklik yapılan (yeni dikey seviye atanan) hava aracı sayısı, atanan seviyelere göre tahminlenen dikey rotaların kesişimi (DKR kolonu) ve rotasında ters yönde dikey seviye değişimi yapılan hava aracı sayısı (TYM kolonu) etkilemekte olduğu gözlemlenmektedir. Bu senaryo özelinde her iki hava aracının yükseldiği bir

çakışma geometrisi olduğundan, dikey kesişen rota içeren çakışma çözüm aksiyonu sayısı daha önceki senaryolara göre daha fazladır.

Sonuçlar ve grafikler karşılaştırıldığında CDÇÇM ile dikey seviye değişim yöntemi kullanılarak hava araçlarından her iki hava aracının yükseldiği çakışma senaryosundaki çakışmayı çözen başarılı bir çözüm üretilmiştir. Üretilen dikey seviye çözümü CDÇÇM metodolojisine uygun olarak üretilmiştir.

5.2.3. Senaryo011 : Global Merkezi Çözüm ve Performans Testi

5.2.3.1. Senaryo Tanımı

Bu senaryo CDÇÇM ile çözüm aksiyonu üretme metodolojisinin performans testini kapsamaktadır. Senaryoda 10 yasaklı saha, 40 hava aracı ve bu 40 hava aracı arasında yer alan THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları arasındaki çakışma durumuna yer verilmiştir. Bu senaryo Windows 10 işletim sistemli, Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30 GHz işlemci özelliklerine sahip, 32 GB RAM belleğe sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

5.2.3.2. Senaryonun Amacı

Senaryonun amacı 40 hava aracı, 10 yasaklı alan ve bir çakışma çiftini kapsayan bir hava trafiği için CDÇÇM ile global ve merkezi bir çakışma çözümü üretme süresinin test edilmesidir.

5.2.3.3. Çakışma ve Çözüm Aksiyonu Senaryo Dosyasının Yürütülmesi

Çakışma senaryosunda 40 hava aracı ve yaraklı alanları içeren senaryo dosyası Şekil 6.58' deki gibidir. Senaryo dosyasında da görüleceği üzere senaryo başlangıcında 40 hava aracı ve 10 yasaklı saha tanımlanmıştır. Burada tanımlanan yasaklı alanlar sadece BlueSky radar ekranında görsel bir durumsal farkındalık oluşturmak içindir. Yasaklı alanların CDÇÇM metodolojisine girdi olarak verilebilmesi için “.xml” formatında *Senaryo003* yasaklı alan senaryosunda olduğu gibi tanımlanmıştır.

```

00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL300,300
00:00:00.00>CRE THY222,B738,38.548891,31.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY223,B738,37.049113,33.316499,315,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY224,B738,38.548891,35.701611,45,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY225,B738,37.049333,32.316499,256,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY322,B738,38.948891,31.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY323,B738,37.649113,33.816499,80,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY324,B738,38.148891,35.901611,120,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY325,B738,37.749333,32.016499,345,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY422,B738,39.948891,29.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY423,B738,37.649113,28.816499,80,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY424,B738,38.148891,29.901611,120,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY425,B738,37.749333,29.066499,345,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY524,B738,38.548891,39.701611,45,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY525,B738,37.49333,38.316499,256,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY522,B738,39.948891,36.201611,270,FL310,304
00:00:00.00>CRE THY523,B738,40.649113,29.816499,80,FL200,300
00:00:00.00>CRE THY375,B738,36.749333,27.016499,345,FL280,300
00:00:00.00>CRE THY472,B738,36.948891,28.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY473,B738,35.649113,27.816499,80,FL190,300
00:00:00.00>CRE THY474,B738,39.148891,26.901611,120,FL400,304
00:00:00.00>CRE THY475,B738,42.749333,29.066499,345,FL250,300
00:00:00.00>CRE THY574,B738,39.548891,39.701611,45,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY575,B738,40.049333,36.316499,256,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY572,B738,41.948891,36.201611,270,FL310,304
00:00:00.00>CRE THY573,B738,40.649113,37.816499,80,FL200,320
00:00:00.00>CRE THY873,B738,42.649113,33.816499,80,FL200,300
00:00:00.00>CRE THY122,B738,41.948891,34.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY123,B738,40.649113,33.816499,80,FL270,400
00:00:00.00>CRE THY124,B738,39.148891,36.901611,120,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY125,B738,40.749333,38.066499,80,FL200,300
00:00:00.00>CRE THY124,B738,42.548891,33.701611,45,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY125,B738,36.49333,32.316499,256,FL330,310
00:00:00.00>CRE THY722,B738,37.948891,31.201611,270,FL310,304
00:00:00.00>CRE THY923,B738,38.649113,40.816499,80,FL200,300
00:00:00.00>CRE THY975,B738,40.749333,38.016499,345,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY072,B738,39.948891,28.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY973,B738,34.649113,27.816499,80,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY874,B738,39.148891,40.901611,120,FL300,304
00:00:00.00>POLYALT NTM001,30000,20000,39.0,29.0,39.0,30.0,38.0,30.0,38.0,29.02
00:00:00.00>POLYALT NTM002,30000,20000,40.0,38.0,40.0,39.0,41.0,39.0,41.0,38.02
00:00:00.00>POLYALT NTM003,10000,40000,37.0,33.0,37.0,34.0,36.0,34.0,36.0,33.02
00:00:00.00>POLYALT NTM004,10000,30000,42.0,27.0,42.0,27.5,41.0,27.5,41.0,27.0
00:00:00.00>POLYALT NTM005,4000,10000,37.0,30.1,37.0,30.5,38.0,30.5,38.0,30.1
00:00:00.00>POLYALT NTM006,40000,60000,43.0,33.0,43.0,34.0,44.0,34.0,44.0,33.0
00:00:00.00>POLYALT NTM007,20000,25000,38.0,38.0,38.0,38.3,39.0,38.3,39.0,38.0
00:00:00.00>POLYALT NTM008,15000,60000,39.5,36.0,39.5,36.7,39.0,36.7,39.0,36.0
00:00:00.00>POLYALT NTM009,40000,60000,42.0,34.0,42.0,36.0,44.0,36.0,44.0,34.0
00:00:00.00>POLYALT NTM010,15000,20000,35.0,31.0,35.0,31.7,34.0,31.7,34.0,31.0

```

Şekil 6.58 : CDÇÇM Performans Testi Senaryosu

Bu senaryo dosyası BlueSky ATC simülöründe yürütüldüğünde THY444 ve THY555 hava araçları arasında Tablo 6.1’deki çakışma tespit parametrelerine göre bir çakışma tespiti yapılmaktadır. Bu senaryo için CDÇÇM metodolojisinin JAVA programlama dili ile implemente edilmiş uygulaması Windows 10 işletim sistemli, Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30 GHz işlemci özelliklerine sahip, 32 GB RAM belleğe sahip bir bilgisayarda çalıştırılarak çakışma çözümü üretilmiştir.

40 hava aracı, 10 yasaklı alan ve bir çakışma çifti için CDÇÇM metodolojisi ortalama 100 milisaniyede çözüm üretmektedir. CDÇÇM bu 100 milisaniyede 156 çözüm aksiyonu üretmiş, üretilen bu çözüm aksiyonları için güvenlik kısıtlarını uygulamış, cezalandırma yaklaşımı ile güvenli çözümlerin ceza puanlarını hesaplamış ve amaç fonksiyonuna göre maliyeti yani ceza puanı en düşük çözüm aksiyonunu üretmiştir. THY444 ve THY555 hava araçları için üretilen çözüm aksiyonu THY555 hava aracının uçuş başının 15° sola çevrilerek bir vektörleme yapılmasıdır. Bu aksiyonu içeren çakışma çözüm aksiyonu BlueSky ATC simülatöründe yürütüldüğünde THY444 ve THY555 çağrı adlı hava araçları arasındaki çakışmanın çözüldüğü gözlemlenmiştir.

5.2.3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Üretilen bu çakışma çözümü tüm güvenlik kısıtlarını sağlayan, senaryoda tanımlı 40 hava aracını ve 10 yasaklı alanı dikkate alarak global bir çözüm üretmiştir. Üretilen bu çözüm tüm hava trafiğindeki hava araçlarına ait verilere göre üretildiğinden aynı zamanda merkezi bir çözümdür. 40 hava aracı, 10 yasaklı alan ve bir çakışma çifti için tek bir çekirdek kullanılarak 100 milisaniyede çözüm üretilmiştir. Kontrolörün çakışma çözüm aksiyonunun alması için gereken süre göz önüne alındığında 100 milisaniye tek bir çekirdekte çalıştırılan bu uygulama için başarılıdır.

5.3. METODOLOJİNİN FARKLI PARAMETRELER VE RASTGELE ÜRETİLMİŞ SENARYOLAR İLE TEST EDİLMESİ

CDÇÇM metodolojisine ait algoritmaların çözüm üretiminde kullandığı ve çözüm üretimine etki eden iki önemli parametre vardır. Bunlar vektörleme için “*izin verilen maksimum uçuş başı değişim açısı*” ve dikey seviye değişimi için “*izin verilen maksimum uçuş seviyesi değişim aralığı*” parametreleridir. Bu iki parametrenin değişimi CDÇÇM ürettiği çakışma çözümünü etkilemektedir. İzin verilen maksimum uçuş başı değişim açısı, çakışma çözümü için çakışma çiftindeki hava araçlarının vektörleme ile uçuş başları değiştirilirken o anki uçuş başlarından ne kadar değişiklik yapılabileceğini sınırlar. İzin verilen maksimum uçuş seviyesi değişim aralığı ise çakışma çözümü için çakışma çiftindeki hava araçlarına atanabilecek maksimum dikey seviye değişim aralığını ifade eder. Bu test çalışmalarında CDÇÇM metodolojisindeki algoritmalarının kullandığı bu iki parametreye farklı değerler atanarak, rastgele

oluşturulmuş senaryolar ile CDÇÇM test edilmiştir. Literatürde yapılan deneysel çalışmalarda deney ortamı hazırlanırken belirli bir yarı çapta, veya bir dikdörtgen alanı içerisinde uçuş başı, hızı, konumu ve uçuş seviyesi değiştirilerek rastgele çakışma senaryoları oluşturulduğu görülmektedir. 2019 yılında yapılan çalışmada[37] 50 NM yarıçapında bir çember içerisinde aralarında en az 5 NM yatay mesafe olan, 400 knot hızda ve muhtemelen 4 ile 8 dakika arasında aralarında bir çakışma olacak çakışma senaryoları oluşturulmuştur. 2020 yılında yapılan diğer bir çalışmada[38] ise iki hava aracı arasında rastgele 500 çakışma oluşturulmuş ve her bir çakışma senaryosuna çakışma çifti dışında rastgele 3 trafik eklenmiştir. 2022 yılında yapılan diğer bir çalışmada ise geçmişe yönelik kayıtlı veriler ve çakışmalar kullanılmış ve çakışma çifti dışında rastgele trafikler üretilerek bu çakışma senaryolarına eklenmiştir. 188 farklı çakışma senaryosu üretilerek yöntem test edilmiştir. [39]

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde deneysel çalışmalar için oluşturulan çakışma senaryoları belirli bir alan içerisinde hava araçlarının uçuş başı, hızları ve konumları rastgele değiştirilerek çakışma senaryoları üretilmiştir. Bir çakışma çifti için üretilen bir çözüm global olması ve diğer bir hava aracı için çakışma oluşturmaması gerekir. Literatürdeki çalışmalarda bu konu dikkate alınarak senaryoların oluşturulduğu çakışma alanlarına çakışma çifti dışında hava araçları eklenerek ve eklenen hava aracı sayısı artırılarak çakışma çözüm zorluk seviyesi arttırılmaya çalışılmıştır.

5.3.1. Rastgele Çakışma Senaryoları Üretimi

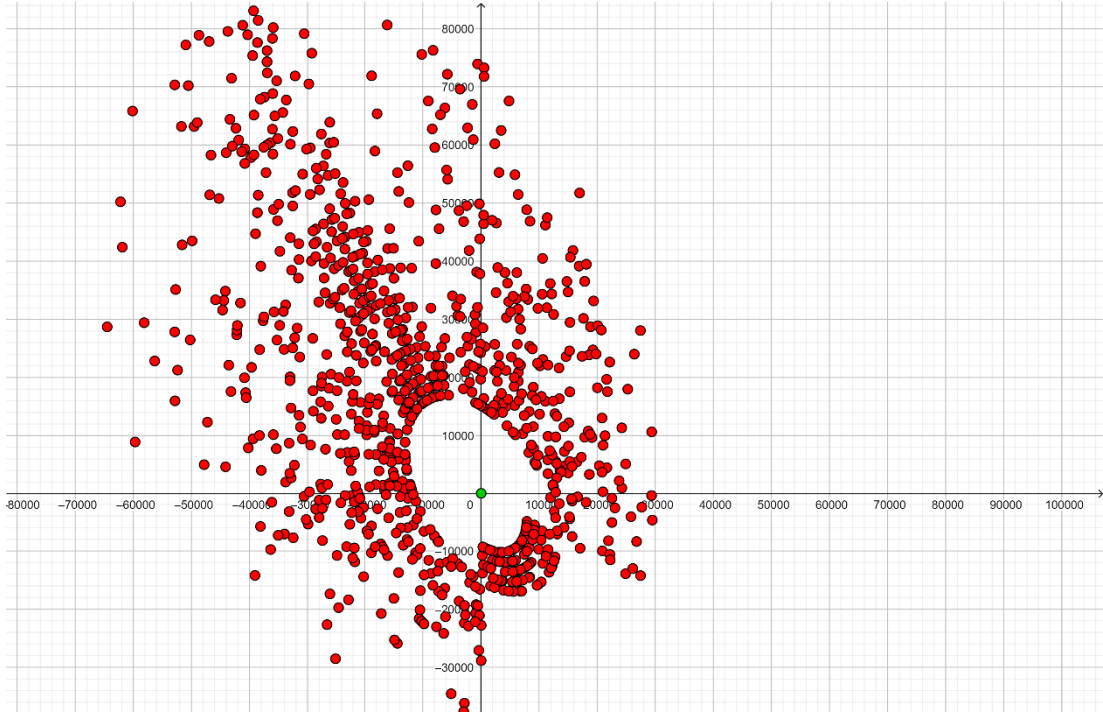
Bu çalışma kapsamında 50 NM x 50 NM' lik bir alan içerisinde senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar oluşturulurken literatürdeki[37,38,39] çalışmalarında olduğu gibi farklı uçuş başı, hız, konum ve yükseklikte rastgele hava araçları üretilerek çakışma senaryoları üretilmiştir. Senaryo üretiminde rastgele üretilen hava aracı verilerindeki değer aralıkları aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.33 : Rastgele Çakışma Senaryosu Oluşturma Parametreleri

Değer	Aralık
Uçuş Başı	1 – 360 derece
Hız	300 – 600 knot

Yükseklik	30 FL – 36 FL
Yatay Pozisyon	50 x 50 NM senaryo alanında

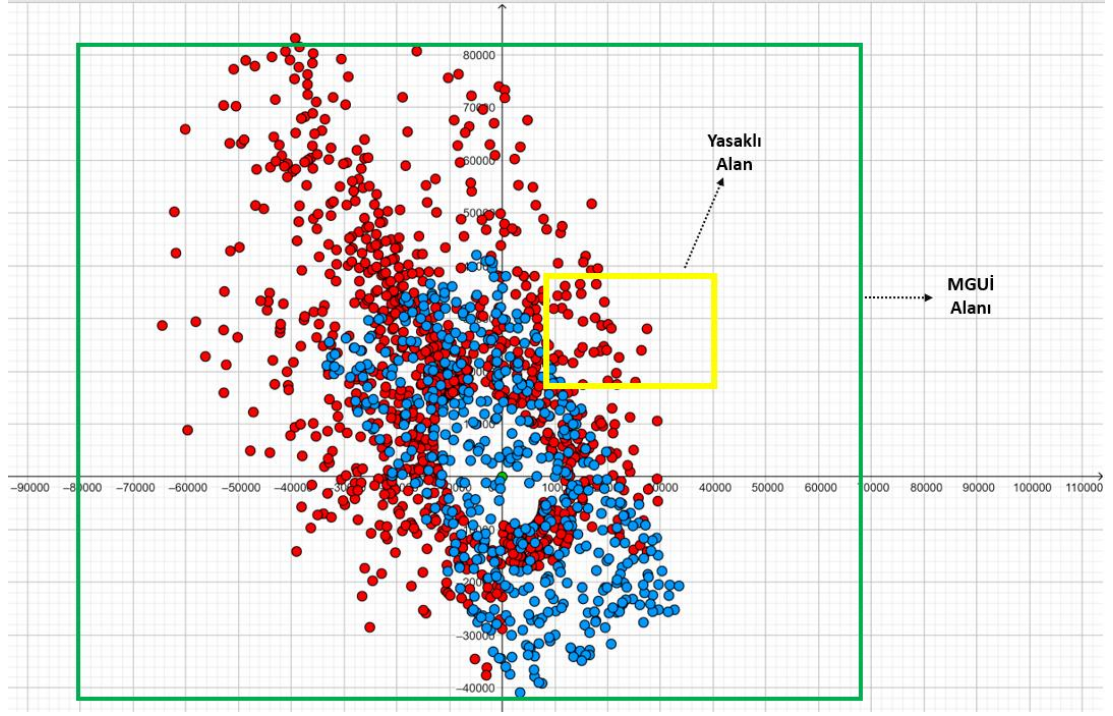
Senaryo üretilirken senaryodaki birinci hava aracı 50 x 50 NM 'lik senaryo alanının merkezine yerleştirilmiştir. Daha sonra Tablo 6.33'deki parametreler kullanılarak rastgele hava araçları üretilerek çakışma senaryoları elde edilmiştir. Senaryolarda merkezde bulunan hava aracı ile farklı çakışma sürelerine sahip, farklı pozisyonlarda, farklı uçuş başı ve hıza sahip 1000 hava aracı üretilmiştir. Aşağıdaki görselde bir hava aracı senaryo alanının merkezine yerleştirilmiş ve bu hava aracı ile çakışma oluşturan rastgele oluşturulmuş 1000 hava aracı yer almaktadır.



Şekil 6.59 : Rastgele Üretilmiş 1000 Çakışma senaryosu

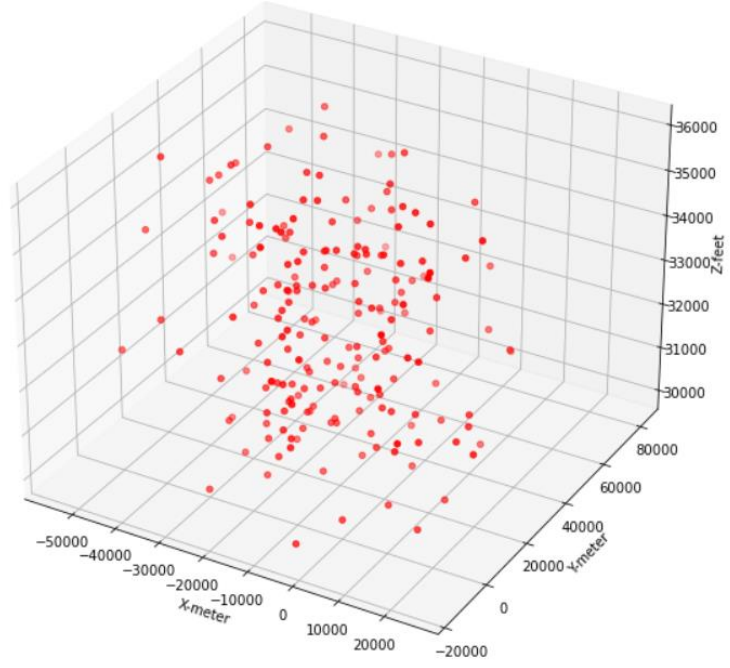
Merkezdeki hava aracı(yeşil) ile rastgele oluşturulan(kırmızı) hava araçları arasında 1000 farklı çakışma oluşmuştur. Bu 1000 farklı çakışma senaryosuna, çakışma çifti dışında senaryo alanında rastgele üretilmiş farklı sayılarda hava araçları eklenmiştir. Bu 1000 adet rastgele üretilmiş çakışma senaryolarında çakışma alanına 1, 3, 10 ve 20 adet hava aracı eklenerek toplamda 5000 farklı çakışma senaryosu oluşturulmuştur. Aşağıdaki görselde merkezdeki yeşil renkteki hava aracına ile çakışmaya sahip rastgele üretilmiş 1000 hava aracına ve bu çakışma bölgesine rastgele eklenmek için üretilmiş hava araçlarına(mavi) ait pozisyonların görseli yer almaktadır.

Sarı alan senaryolardaki çakışma alanına eklenmiş yasaklı alanı yeşil alan ise minimum güvenli uçuş irtifa alanını ifade etmektedir.



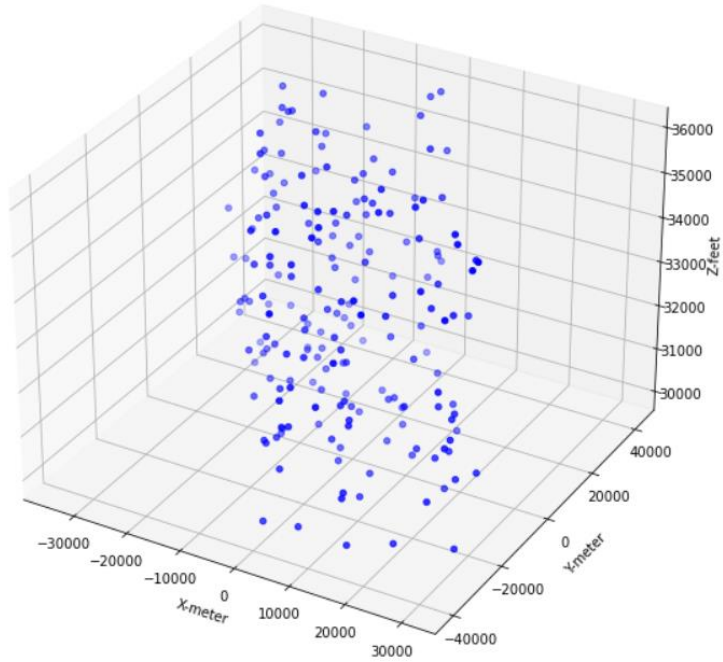
Şekil 6.60 : Yasaklı ve MGUIA İçeren Rastgele Senaryo Üretimi

CDÇÇM metodolojisi dikey seviye değişimi gerektiren senaryolar içinde ayrıca test edilmiştir. Senaryolar oluşturulurken yine literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi belirli bir alan içerisinde farklı yönlerde, farklı hızlarda, farklı konumlarda ve farklı uçuş seviyelerinde rastgele üretilen trafiklere ile çakışma senaryoları oluşturulmuştur. Senaryolarda rastgele hava araçları üretilirken kullanılan aralık değerleri Tablo 6.33'deki gibidir. Dikey seviye değişimi gerektiren rastgele üretilmiş senaryoların her biri çakışmaya karışan hava araçları ve bu çakışma bölgesinde rastgele üretilmiş hava araçlarından oluşmaktadır. Senaryolarda çakışma alanında çakışma çifti dışında rastgele üretilen hava aracı sayısı senaryolara göre değişiklik göstermektedir. Bir senaryo için çakışma bölgesine 1, 3, 10 veya 20 tane hava aracı eklenerek çakışma çözümündeki zorluk seviyesi kademeli olarak arttırılmıştır. Aşağıda dikey seviyeleri rastgele üretilmiş çakışma içeren hava araçlarının pozisyonlarına ait üç boyutlu pozisyonlar görselde yer almaktadır.



Şekil 6.61 : Rastgele Dikey Seviyesi Değiştirilmiş Ait Hava Aracı Pozisyonları

Rastgele üretilmiş senaryolardaki çakışma alanında çakışma çifti dışında dikey seviyeleri rastgele üretilmiş hava araçlarına ait üç boyutlu pozisyonları aşağıdaki görselde yer almaktadır.



Şekil 6.62 : Rastgele Dikey Seviyesi Değiştirilerek Eklenen Hava Aracı Pozisyonları

Hava araçlarının hız, uçuş başı, konum ve uçuş seviyeleri değiştirilerek ve çakışma alanına farklı sayıda hava araçları eklenerek üretilen 6000 çakışma senaryosundan oluşan 5 teste ait tablo aşağıdaki gibidir. Her bir test adımı rastgele üretilmiş 1200 farklı çakışma senaryosu ve çakışma alanına çakışma çifti dışında eklenmiş farklı sayıda rastgele üretilmiş hava araçları yer almaktadır.

Tablo 6.34 : Rastgele Çakışma Senaryosu ve Çakışma Alanına Eklenen Hava Aracı sayısı

Test	Çakışma Senaryo Sayısı	Çakışma Çifti Dışında Çakışma Alanına Eklen Hava Aracı Sayısı
1	1200	0
2	1200	1
3	1200	3
4	1200	10
5	1200	20

5.3.2. Farklı CDÇÇM Parametreleri ile Testlerin Yürütülmesi

Bu bölümde CDÇÇM farklı parametre grupları ve bölüm 6.3.1 'de açıklandığı gibi rastgele üretilmiş 6000 farklı çakışma senaryosu ile test edilmiştir. CDÇÇM 4 farklı parametre grubu ile test edilmiştir.

5.3.2.1. Test-1

Bu bölümde CDÇÇM aşağıdaki parametre grubu kullanılarak 6000 farklı test senaryosu ile test edilmiştir. Aşağıdaki tabloda CDÇÇM çakışma çözümünde kullandığı parametre grubu yer almaktadır.

Tablo 6.35 : Test-1 CDÇÇM Parametreleri

Parametre	Değer	Birim
Karşılıklı çakışma maksimum uçuş başı değişim açısı	10	Derece
Çapraz çakışma maksimum uçuş başı değişim açısı	20	Derece
Maksimum uçuş seviyesi değişim aralığı	10	FL

CDÇÇM Tablo 6.35'deki parametre grubu ve rastgele üretilmiş 6000 farklı senaryo ile test edildiğinde sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Tablo 6.36 : CDÇÇM Test-1 Sonuçlar

Test	akışma Sayısı	Eklenen Hava Aracı Sayısı	Yasaklı Alan Sayısı	MGUİA Sayısı	özölen akışma Sayısı	özölemeyen akışma Sayısı	Başarı Oranı(%)
1	1200	0	1	1	914	286	76.16
2	1200	1	1	1	898	302	74.83
3	1200	3	1	1	856	344	71.33
4	1200	10	1	1	747	453	62.25
5	1200	20	1	1	621	579	51.75
Sonuç	6000	1-20	1	1	4036	1964	67.26

5.3.2.2. Test-2

Bu teste ait CDÇÇM parametre grubu aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.37: Test-2 CDÇÇM Parametreleri

Parametre	Değer	Birim
Karşılıklı akışma maksimum uçuş başı değişim açısı	15	Derece
Çapraz akışma maksimum uçuş başı değişim açısı	40	Derece
Maksimum uçuş seviyesi değişim aralığı	10	FL

CDÇÇM Tablo 6.37'deki parametre grubu ve rastgele üretilmiş 6000 farklı senaryo ile test edildiğinde sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Tablo 6.38 : CDÇÇM Test-2 Sonuçları

Test	akışma Sayısı	Eklenen Hava Aracı Sayısı	Yasaklı Alan Sayısı	MGUİA Sayısı	özölen akışma Sayısı	özölemeyen akışma Sayısı	Başarı Oranı(%)
1	1200	0	1	1	971	229	80.91
2	1200	1	1	1	969	231	80.75
3	1200	3	1	1	938	262	78.16
4	1200	10	1	1	841	359	70.08
5	1200	20	1	1	749	451	62.41

Sonuç	6000	1-20	1	1	4468	1532	74.46
-------	------	------	---	---	------	------	-------

5.3.2.3. Test-3

Bu teste ait CDÇÇM parametre grubu aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.39 : Test-3 CDÇÇM Parametreleri

Parametre	Değer	Birim
Karşılıklı çakışma maksimum uçuş başı değişim açısı	20	Derece
Çapraz çakışma maksimum uçuş başı değişim açısı	60	Derece
Maksimum uçuş seviyesi değişim aralığı	20	FL

CDÇÇM Tablo 6.39'daki parametre grubu ve rastgele üretilmiş 6000 farklı senaryo ile test edildiğinde sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Tablo 6.40 : CDÇÇM Test-3 Sonuçları

Test	Çakışma Sayısı	Eklenen Hava Aracı Sayısı	Yasaklı Alan Sayısı	MGUİA Sayısı	Çözülen Çakışma Sayısı	Çözilemeyen Çakışma Sayısı	Başarı Oranı(%)
1	1200	0	1	1	1021	79	85.08
2	1200	1	1	1	1005	95	83.75
3	1200	3	1	1	996	204	83.00
4	1200	10	1	1	908	292	75.66
5	1200	20	1	1	839	361	69.91
Sonuç	6000	1-20	1	1	4969	1031	82.81

5.3.2.4. Test-4

Bu teste ait CDÇÇM parametre grubu aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.41 : Test-4 CDÇÇM Parametreleri

Parametre	Değer	Birim
Karşılıklı çakışma maksimum uçuş başı değişim açısı	30	Derece
Çapraz çakışma maksimum uçuş başı değişim açısı	80	Derece
Maksimum uçuş seviyesi değişim aralığı	20	FL

CDÇÇM Tablo 6.41'deki parametre grubu ve rastgele üretilmiş 6000 farklı senaryo ile test edildiğinde sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Tablo 6.42 : CDÇÇM Test-4 Sonuçları

Test	Çakışma Sayısı	Eklenen Hava Aracı Sayısı	Yasaklı Alan Sayısı	MGUİA Sayısı	Çözülen Çakışma Sayısı	Çözilemeyen Çakışma Sayısı	Başarı Oranı(%)
1	1200	0	1	1	1047	153	87.25
2	1200	1	1	1	1038	162	86.50
3	1200	3	1	1	1027	173	85.58
4	1200	10	1	1	962	238	80.16
5	1200	20	1	1	925	275	77.08
Sonuç	6000	1-20	1	1	4999	1001	83.31

ALTINCI BÖLÜM

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde tez kapsamında yapılan çalışmanın değerlendirilmesi, test sonuçlarının analizi ve farklı parametre gruplarıyla test edilmiş CDÇÇM metodolojisinin test sonuçlarının literatürdeki güncel önemli çalışmalara ait sonuçlar ile karşılaştırılması yer almaktadır.

6.1. SONUÇLARIN ANALİZİ

6.1.1. Metodoloji Analizi

Bu bölümde tez kapsamında çakışma çözüm problemi için çözüm üreten CDÇÇM metodolojisi analiz edilmiştir. CDÇÇM metodolojisi literatürdeki çalışmalara göre sınıflandırılarak değerlendirilmiştir. Bölüm 4’ deki problem tanımında da ifade edildiği gibi çakışma çözüm problemi temelde iki temel problemden oluşur. Birincisi çakışma tespiti, ikincisi ise tespit edilen bu çakışmanın çözümü. Literatürdeki çalışmalar kapsamında çakışma tespit metodolojisi gözetim türü, yörünge tahminleme ve öngörülebilirlik varsayımı kategorilerine göre sınıflandırılır. CDÇÇM metodolojisinde kullanılan çakışma tespit metodolojisinin sınıflandırılmasına ait tablo aşağıdaki gibidir :

Tablo 7.0 : CDÇÇM Çakışma Tespit Metodolojisinin Sınıflandırılması

Gözetim Türü	Yörünge Tahminleme	Öngörülebilirlik Varsayımı	Çakışma Tespit Zamanı
Merkezi ve Bağımlı	Güncel Duruma Dayalı ve Lineer	Nominal Yaklaşım	Kısa Vadeli

Bu tez kapsamında kullanılan çakışma tespit metodolojisinde kısa vadeli(0 – 5 dk), merkezi ve bağımlı bir gözetim türü kullanan, güncel duruma dayalı bir yörünge tahminleme yapan ve varsayımlarda literatürdeki nominal yaklaşımı benimseyen bir yöntem kullanılmıştır. Çakışma tespitinin merkezi ve bağımlı olması, çakışma tespiti ve çözümü için global bir çözüm üretilebilmesini sağlamıştır. Yörünge tahminlemede hava aracının anlık güncel durumu gözetilerek kısa vadeli lineer bir öngörüleme ile yapılmıştır. Kısa vadeli çakışma tespiti ve çözümü için hava aracının kararlı bir

davranış sergilediği tahminlemelere ihtiyaç duyulduğundan, hava aracının anlık güncel verileri ile kısa zamanlı lineer bir tahminleme kullanılmıştır. Hava aracının kararlı davranışlar sergilediği kısa vadeli yörünge tahminlemeler için en uygun yöntem olan nominal yaklaşım tercih edilmiştir. Tez kapsamında geliştirilen çakışma tespit metodolojisinde büyük ölçüde bir çok hava limanında aktif olarak kullanılan, kendini kanıtlamış ve EUROCONTROL tarafından desteklenen STCA metodolojisinden[13] faydalanılmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışmalar dahilinde kısa vadeli çakışma tespitinde kullanılan çakışma tespit metodolojisinin hava araçları arasında ileri zamanlı bir çakışma tespitinde başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

CDÇÇM metodolojisinde kullanılan çakışma çözüm metodolojisi hava araçlarının *çakışma durum geometrisine, çakışma geometrilerine göre tanımlanmış ön tanımlı kurallara, güvenlik kısıtlarına ve hava araçlarının güncel rotalarında en az değişikliği hedefleyen cezalandırma yöntemine* göre çakışma çözümü üretmektedir. CDÇÇM metodolojisinin literatürdeki kategorilerine göre sınıflandırılması aşağıdaki gibidir:

Tablo 7.1 : CDÇÇM Çakışma Çözüm Metodolojisinin Sınıflandırılması

Kontrol Türü	Merkezi kontrol
Metot Kategorisi	Çakışma geometrisi ve ön tanımlı kurallara dayalı öngörülü yaklaşım
Kaçınma Planı	Taktiksel
Çözüm Manevrası	Yatay manevra(vektörleme), Dikey manevra
Yörünge Optimizasyon	Güvenlik kısıtlarına göre rota optimizasyonu
Engel Tipleri	Statik ve Dinamik
Çoklu-Aktör Çakışma Çözümü	Desteklememekte

Çakışma tespiti ve çözümünün tüm hava araçlarına ait gözetim verilerinin bulunduğu tek bir merkezden yönetildiği sistemler merkezi sistemler olarak bilinir. CDÇÇM çakışma çözüm metodolojisinde de merkezi bir kontrol kullanılmıştır. Böylece karmaşık hava trafik akışındaki çakışmalar için *global* bir çakışma çözümü üretilebilmiştir. Bu yöntem kullanılarak her bir hava aracı tek bir merkezden üretilen çakışma çözümünü takip ettiklerinden belirsizlik azaltılmıştır. Merkezi sistemli çakışma çözüm araçları çakışma çözümünde çakışmaya sebep olan hava araçlarının

yörüngelerini birbirleri ile kesişmeyecek ve gerekli güvenli ayırmayı sağlayacak şekilde optimize etmesi gerektiğinden ve çok fazla hesaplama gerektiren bir yöntem olduğundan gerçek zamanlı çakışma çözümleri için yeterli olmadığı durumlar olabilir. Çünkü gerçek zamanlı çakışma çözümünde çakışma çözüm sistemi olabildiğince kısa bir sürede çakışma çözümü üretmesi gerekir. CDÇÇM metodolojisi için kullanılan çakışma çözüm metodolojindeki merkezi kontrolde uygulanan güvenlik kısıtları filtrelemesi ve cezalandırma puanına göre üretilen çözümlerin sırlanarak en düşük ceza puanlı çözüm ele alındığından hesaplama işlemlerinde önemli bir optimizasyon sağlanmıştır. Ayrıca kontrolün merkezi olması üretilen çözümün tüm hava trafiği için global bir çözüm üretmesini sağlamıştır. CDÇÇM metodolojisine göre üretilen çözüm aksiyonları çakışma çifti dışındaki hava araçlarını da dikkate alan global çözümler olmuştur.

Çakışma çözümünde vektörleme için çakışma geometrisine göre ICAO tarafından tanımlanan ön tanımlı kurallardan faydalanılarak bir çakışma çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Dikey manevra içeren çözüm aksiyonlarında ise TCAS Çakışma Öneri Sistemi(RA)[28] tarafından kullanılan kural ve yöntemlerden faydalanılarak bir çakışma çözüm stratejisi geliştirilmiştir. Tez kapsamında bölüm 6' da uygulanan test senaryoları ve sonuçları değerlendirildiğinde CDÇÇM metodolojisinin hem vektörleme hem de dikey seviye değişimi için üretilen çözümlerde uygulana ön tanımlı kuralların başarılı bir şekilde çakışmayı çözdüğü gözlemlenmiştir.

CDÇÇM metodolojisi çakışmadan kaçış planlaması olarak taktiksel bir yaklaşım uygulamıştır. Taktiksel çakışma çözüm manevrası orta ve kısa mesafeli aksiyonlar içeren ve uçuş planı üzerinde küçük değişikliklere neden olan 3 ile 5 dakikalık çakışma çözüm planlamasıdır. Bu tez kapsamında taktiksel kaçış manevrasında uçuş planı kullanılmamıştır. Ancak literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak taktiksel kaçınma planlamasında kontrolör tarafından atanan ve uçuş ekibi tarafından uygulanan Seçilmiş Uçuş Seviyesi(SFL) dikkate alınmıştır. Çakışma çözümünde SFL' in dikkate alınması özellikle dikey düzlemde oluşabilecek potansiyel yeni çakışmaların önlenmesini sağlamıştır.

CDÇÇM metodolojisi çakışma çözüm manevrası olarak yatay manevra(vektörleme) ve dikey manevra olmak üzere bu iki manevra çözümünü uygulamıştır. CDÇÇM ön tanımlı kurallar ve çakışma geometrisine göre çözüm ürettiğinden bu manevraların her ikisini birden içeren manevra çözümünü desteklememektedir. CDÇÇM metodolojisi farklı çakışma senaryoları için vektörleme ve dikey seviye değişimi manevra yöntemlerini kullanarak çözümler üretebilmiştir.

CDÇÇM metodolojisi hem statik hem de dinamik engellerin olduğu çakışma senaryoları için amaç fonksiyonuna uygun ve güvenlik kısıtlarını sağlayan başarılı güvenlik çakışma çözüm aksiyonları üretebilmiştir. Bu tez kapsamında çakışma çifti dışındaki diğer hava araçları dinamik, kısıtlı ve minimum güvenli irtifa uçuş alanları ise literatürde de olduğu gibi statik engeller olarak tanımlanmıştır. CDÇÇM ile üretilen çakışma çözüm aksiyonlarının hem statik hem de dinamik engelleri dikkate aldığı gözlemlenmiştir.

Çakışma çözüm aksiyonlarındaki hava aracı yörüngeleri güvenlik kısıtlarına, ve amaç fonksiyonuna göre optimize edilmiştir. Çakışma çözümü için uygulanan yörünge optimizasyonunda rota değişikliği ve kontrol iş yükünü minimize etmeyi hedefleyen bir cezalandırma yaklaşımı kullanılmıştır. Böylece CDÇÇM ile üretilen çakışma aksiyonuna ait hava araçlarının yörüngeleri güvenlik kısıtlarını sağlayan, rota değişikliği ve kontrol iş yükünü minimize edecek şekilde optimize edilmiştir. Yörünge optimizasyonu için cezalandırma yaklaşımının kullanılması CDÇÇM metodolojisinin çözüm aksiyonu için gereken hesaplama zamanını azaltmıştır. Üretilen güvenli çakışma çözümlerinin ceza puanlarına göre sıralanarak, global ve optimum çözümün bu sıralı çözümlerden en düşük ceza puanına sahip çözüm olarak seçilmesi çözüm aksiyonu için hesaplama zamanının azalmasına direkt etki etmiştir.

6.1.2. Uçuş Emniyeti Analizi

Hava trafik yönetiminde uçuş güvenliği herşeyden önce gelir. CDÇÇM metodolojisi çakışma çözümü uygularken problem tanımında detaylıca açıklanan bir dizi güvenlik kısıtı uygular. Bölüm 6' daki deneysel çalışmalar incelendiğinde çakışma çözümünde CDÇÇM metodolojisinin ayırma kaybı kısıtını, yeni çakışma ve domino etkisi kısıtını, yasaklı alan kısıtını ve minimum güvenli uçuş irtifası kısıtını başarılı bir

şekilde uyguladığı gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmaların bir çoğu ayırma kaybı kısıtı ve yeni çakışma durumu kısıtını dikkate alan, çakışmayı çözen ve yeni bir çakışma üretmeyen çözümler sunan çalışmalardır. Yasaklı alan ve Minimum güvenli uçuş seviyesini dikkate alan çalışma sayısı çok az neredeyse yoktur. Bu tez çalışmasının literatürdeki çakışma çözüm çalışmalarından diğer bir önemli farkıda bu dört güvenlik kısıtını dikkate alarak çakışma çözüm aksiyonları üretmesidir. Literatürdeki bir çok çalışma bu güvenlik kısıtlarından sadece birini yada bir kaçını dikkate alan çözümler üretmektedir.

Özellikle yasaklı alan ve minimum güvenli uçuş irtifası kısıtlarının uygulanması çözüm metodolojisine ciddi anlamda yeni hesaplama ve kontrol yükü getirmektedir. Bu işlem çakışma çözümündeki hava araçlarının optimize edilen ve tahminlenen yeni yörüngelerine ait pozisyonların herhangi bir yasaklı alan veya minimum güvenli uçuş irtifası içerisinde olup olmadığının kontrol edilmesini gerektirir. Bunun yanısıra yeni bir çakışma ve domino etkisi kısıtı üretilen çakışma çözüm aksiyonundaki hava araçlarının optimize edilen yeni yörüngelerinin havadaki diğer tüm hava araçlarının tahminlenmiş yörüngeleri ile karşılaştırılarak bir ihlal olup olmadığını kontrol etmeyi gerektirir. Bu işlem çok fazla hesaplama yükü anlamına gelir. CDÇÇM metodolojisi tüm bu güvenlik kısıtlarını kısa bir sürede başarılı bir şekilde uygulayabilmiştir.

6.1.3. Performans Analizi

Bölüm 6' daki *Senaryo011*' incelendiğinde bu senaryo için CDÇÇM metodolojisinin JAVA programlama dili ile implemente edilmiş uygulaması Windows 10 işletim sistemli, Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30 GHz işlemci özelliklerine sahip, 32 GB RAM belleğe sahip bir bilgisayarda tek çekirdekte çalıştırılarak çakışma çözümü üretilmiştir. 40 hava aracı, 10 yasaklı alan ve bir çakışma çifti için CDÇÇM metodolojisi ortalama 100 milisaniyede bir çözüm üretmiştir. CDÇÇM bu 100 milisaniyede 156 çözüm aksiyonu üretmiş, üretilen bu çözüm aksiyonları için güvenlik kısıtlarını uygulamış, cezalandırma yaklaşımı ile güvenli çözümlerin ceza puanlarını hesaplamış ve amaç fonksiyonuna göre maliyeti yani ceza puanı en düşük çözüm aksiyonunu üretmiştir. CDÇÇM metodolojisi tüm güvenlik kısıtlarının ve amaç fonksiyonunu uygulayarak tek çekirdekte 100 milisaniye

gibi kısa bir sürede başarılı bir çakışma çözüm aksiyonu üretebilmiştir. CDÇÇM metodolojindeki işlemlerin çok çekirdekli bir işlemcide paralel olarak çalıştırılması durumunda bu süre dahada azalacaktır.

6.1.4. Test Sonuçlarının Analizi

CDÇÇM rastgele üretilmiş 6000 çakışma senaryosu ve farklı parametre değerleriyle yapılan test sonuçları analiz edildiğinde maksimum uçuş başı ve uçuş seviyesi değişikliğine ait izin verilen maksimum değer parametreleri düşük olduğunda CDÇÇM metodolojisi çakışma çözüm başarı oranı düşmektedir. Bu parametre değerlerinin artırılması çakışma çözüm başarı oranını arttırmaktadır. Ancak hava araçlarının uçuş başlarında ve dikey seviyelerinde değişime ait değer arttıkça asıl rotalarından sapma miktarları da artar. Ayrıca parametre değerlerinin artırılması CDÇÇM için fazladan hesaplama maliyeti anlamına gelmektedir. Bu durumlar göz önünde bulundurularak testler analiz edildiğinde CDÇÇM için en uygun parametre grubunun aşağıdaki gibi olduğu gözlemlenir. CDÇÇM 6000 farklı senaryo için aşağıdaki parametre değerlerini kullanarak %82.81' lik bir oran ile başarılı bir şekilde çakışma çözümü üretmiştir.

Tablo 7.2 : Çakışma Çözümü İçin Optimal CDÇÇM Parametreleri

Parametre	Değer	Birim
Karşılıklı çakışma maksimum uçuş başı değişim açısı	20	Derece
Çapraz çakışma maksimum uçuş başı değişim açısı	60	Derece
Maksimum uçuş seviyesi değişim aralığı	20	FL

6.1.5. Test Sonuçlarının Literatürdeki Çalışmalar İle Karşılaştırılması

Bu bölümde CDÇÇM test sonuçları literatürdeki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerde elde edilen başarı oranları değerlendirilmiştir.

Duch-Thanh ve arkadaşları takviyeli öğrenme yöntemi kullanarak geliştirdikleri modeli[37] 50 NM yarıçapa sahip bir çakışma alanında, hızları 400 knot ve aralarındaki anık yakınlıkları 5 NM' nin üstünde ve muhtemelen 4 ile 8 dakika arasındaki bir sürede çakışacak rastgele üretilmiş 4800 çakışma senaryosu ile test etmişlerdir. Model dinamik ortamdaki belirsizlikleri de dikkate alarak yoğun trafiğe

sahip bu çakışma senaryoları için %81 oranında bir başarı ile çözüm üretebilmiştir. CDÇÇM metodolojisi rastgele üretilmiş 6000 senaryo için %82.81'lik bir başarı oranına sahiptir. Ancak CDÇÇM metodolojisi dinamik ortamdaki belirsizlikleri dikkate almamaktadır. Belirsizliklerin hesaba katılması çakışma çözüm zorluk seviyesini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla belirsizliklerin hesaba katıldığı karmaşık yüksek trafiğe sahip senaryolar CDÇÇM zorluk seviyesini daha da arttırarak başarı oranını düşürebilir.

Phu N. Ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları çalışmada[38] çakışma çözüm yöntemlerini 500 adet senaryo ile test edilmiştir. Her bir senaryoda bir çakışma çifti ve çakışma alanına eklenen 3 hava aracı bulunmaktadır. Üretilen bu 500 senaryodan rastgele seçilmiş 400 senaryo ile modellerini eğitmiş 100 senaryo ile modellerini test etmişlerdir. Bu 100 senaryo için modellerinin ürettiği çözümlerden %65' i hava trafik kontrolörleri tarafından onaylanmıştır. %65 düşük bir oran olarak gözükse de, bu çözümlerin hava trafik kontrolör tarafından kabul görmesi çok önemlidir. CDÇÇM çakışma çifti dışında ve çakışma bölgesinde 1 ile 20 arasında rastgele trafiklerin yer aldığı daha karmaşık senaryolar için %82.21'lik bir başarı oranı sağlamıştır. Ancak bu çakışma çözümleri kontrolörler tarafından değerlendirilmemiştir.

Ralvi I. Ve arkadaşlarının 2022 yılında yaptıkları çalışmada[39] geliştirilen çakışma çözüm modeli gerçek hava aracı verileri baz alınarak rastgele üretilmiş ve her bir senaryoda çakışma çifti de dahil 5 trafiğin olduğu 195 senaryo için %93 'lük bir başarı oranı ile çakışma çözümü sağlamıştır. CDÇÇM metodolojisi çakışma çifti dışında 10 veya 20 hava aracının olduğu daha yoğun trafikler içeren çakışmalarında dahil olduğu 6000 farklı senaryo için %82.21' lik bir başarı oranına sahiptir. CDÇÇM metodolojisi bu çalışma ile karşılaştırıldığında senaryo sayısı ve çakışma senaryosundaki trafik yoğunluğu daha yüksek testler ile test edilmiştir. Ancak 2022 yılında yapılan bu çalışma kendi kendine öğrenebilen takviyeli öğrenme yöntemine sahip iken CDÇÇM kural tabanlı bir cezalandırma yaklaşımı uygulamakta ve 2022 yılında yapılan bu çalışmadaki gibi kendi kendine öğrenme yetkinliğine sahip değildir. Aşağıdaki tablolarda literatürde son yıllarda yapılmış önemli bu 3 çalışma ve CDÇÇM karakteristiklerini ve test sonuçlarını karşılaştıran tablolar yer almaktadır.

Tablo 7.3 : Metodoloji Test Sonuçlarının Literatürdeki Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Çalışma	Metodoloji	Senaryo Sayısı	Eklene Hava Aracı Sayısı	Minimum Güvenli Uçuş Alanı Sayısı	Yasaklı Alan Sayısı	Başarı Oranı (%)
<i>Duch-Thin</i>	Takviyeli Öğrenme	4800	2-15	0	0	81
<i>Phu N.</i>	Takviyeli Öğrenme	100	3	0	0	65
<i>Ralvi I.</i>	Takviyeli Öğrenme	195	5	0	0	93
<i>CDÇÇM</i>	Cezalandırmaya Dayalı Optimizasyon Modeli	6000	1-3-10-20	1	1	83

Tablo 7.4 : Metodoloji Karakteristiklerinin Literatürdeki Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Karakteristik	Duch-Thin	Phu N.	Ralvi I.	CDÇÇM
<i>ATC Onayı</i>	X	√	X	X
<i>Belirsizliklerin Hesaba Katılması</i>	√	X	X	X
<i>Seçilmiş Uçuş Seviyesinin Uygulanması</i>	X	X	X	√
<i>Öğrenme Tabanlı</i>	√	√	√	X
<i>Kural Tabanlı</i>	X	X	X	√
<i>Yasaklı Alan Kısıtı</i>	X	X	X	√
<i>Minimum Güvenli Uçuş Seviyesi Kısıtı</i>	X	X	X	√
<i>Global Çözüm</i>	√	√	√	√
<i>Başarı Oranı (%)</i>	81	65	93	83

SONUÇ

Tüm dünyadaki hava trafik yoğunluğu her geçen gün artmaktadır. Hava trafiğinde hava aracı sayısının 2030 yılına kadar 2019 yılındaki hava aracı sayısının iki katına çıkacağı beklenmektedir. Artan hava aracı sayısına bağlı olarak Hava Trafik Yönetim(ATM) ihtiyaçlarını karşılayacak güvenli ve hava sahası kapasite yönetimi açısından etkili bir hava trafik yönetimi sağlayabilmek gerekmektedir.

Hava trafik kontrolörlüğü hava trafiğine ve taşımacılığına direk etki ettiğinden çok önemli sorumluluklar almayı gerektiren, özellikle trafiğin yoğun ve karmaşık olduğu durumlarda iş yükü yüksek bir çalışma alanıdır. Yüksek iş yükü ve ciddi sorumluluk beraberinde stresi ve hataları getirebilir. Her alanda olduğu gibi ATM alanında da insan hatalarının neden olduğu ciddi olaylar yaşanabilir. Havacılıkta yaşanabilecek hatalar bir çok insanın hayatını kaybetmesine neden olabilir. Hava trafik kontrolünde çözüm öneren yardımcı sistemlerin geliştirilmesi ATC 'lere özellikle karar alma süreçlerinde yapacakları seçimde yardımcı olarak iş yüklerini azaltacaktır.

Uçuş emniyeti hava trafik yönetimindeki en önemli konudur. Hava trafik yönetimi evrensel olarak kazaların nadir olduğu yüksek güvenilirlikli bir hizmet sektörü olarak bilinir. Ancak ortaya çıkan bir kaç ciddi kaza ve bazı önemli olaylar 21. yüzyılın başından itibaren uçuş emniyet seviyesinin ölçülmesine ve emniyetli uçuş yönetimine odaklanılmasına yol açmıştır. Hava trafik yönetiminde uçuş emniyetini tehlikeye atan en önemli konulardan biride hava araçları arasında yaşanabilecek çakışmalardır. Özellikle yüksek yoğunluklu trafiklerde ortaya çıkabilecek güvenlik problemleri içeren ve uçuş emniyetini tehlikeye atan yeni senaryolara karşı çakışma tespiti ve çözümü(CDR) alanında yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Hava araçları arasındaki olası bir potansiyel çakışma durumunda kontrolörler en kısa sürede en etkili çakışma çözüm aksiyonunu almaları gerekir. Bu tez kapsamında hava araçları arasında tespit edilen çakışmaların çözümünde belirli güvenlik kısıtları göz önünde bulundurularak ATC' lere en kısa sürede hava araçları arasındaki güvenli ayırmayı sağlayacak, kontrolör iş yükünü azaltacak optimum bir çakışma çözüm önerisi sunabilecek algoritmaları içeren bir yaklaşım üzerine çalışılmıştır. Çakışma tespiti ve çözümü problemi hava trafik yönetimi açısından

değerlendirilerek, uçuş emniyeti açısından güvenlik kısıtları dikkate alınarak hava araçlarının asıl rotalarından sapma miktarını ve kontrolör iş yükünü minimize edecek bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Problemin çözümünde hava araçlarının çakışma geometrilerine göre çakışma çözümünde ön tanımlı bir kural setini uygulayan Cezalandırmaya Dayalı Çakışma Çözüm Metodolojisi(CDÇÇM) kullanılmıştır. CDÇÇM metodolojisi çakışmanın tespit edilmesi, çakışma geometrisinin sınıflandırılması, ön tanımlı kural setine göre çakışma çözüm aksiyonlarının üretilmesi, güvenlik kısıtlarını sağlamayan çakışma çözüm aksiyonlarının elenmesi, cezalandırma yaklaşımına göre çözüm aksiyonlarının ceza puanlarının hesaplanması ve amaç fonksiyonu açısından en düşük ceza puanına sahip çözümün seçilmesi gibi algoritmaları içeren bir metodolojidir.

CDÇÇM çakışma çözüm metodolojisinde de merkezi bir kontrol kullanmıştır. Böylece karmaşık hava trafik akışındaki çakışmalar için *global* bir çakışma çözümü üretilebilmiştir. Bu yöntem kullanılarak her bir hava aracı tek bir merkezden üretilen çakışma çözümünü takip ettiklerinden belirsizlik azaltılmıştır. Çakışma çözümünde vektörleme için çakışma geometrisine göre ICAO tarafından tanımlanan ön tanımlı kurallardan faydalanılarak bir çakışma çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Dikey manevra içeren çözüm aksiyonlarında ise TCAS Çakışma Öneri Sistemi(RA)[28] tarafından kullanılan kural ve yöntemlerden faydalanılarak bir çakışma çözüm stratejisi geliştirilmiştir. CDÇÇM metodolojisi çakışmadan kaçış planlaması olarak taktiksel bir yaklaşım uygulamıştır. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak taktiksel kaçınma planlamasında kontrolör tarafından atanan ve uçuş ekibi tarafından uygulanan Seçilmiş Uçuş Seviyesi(SFL) dikkate alınmıştır. Çakışma çözümünde SFL' in dikkate alınması özellikle dikey düzlemde oluşabilecek potansiyel yeni çakışmaların önlenmesini sağlamıştır. CDÇÇM metodolojisi çakışma çözüm manevrası olarak yatay manevra(vektörleme) ve dikey manevra olmak üzere bu iki manevra çözümünü uygulamıştır. CDÇÇM metodolojisi hem statik hem de dinamik engellerin olduğu 6000 farklı çakışma senaryosu için amaç fonksiyonuna uygun ve güvenlik kısıtlarını sağlayan %82.21'lik başarı oranı ile çakışma çözüm aksiyonları üretebilmiştir.

Çakışma çözüm aksiyonlarındaki hava aracı yörüngeleri güvenlik kısıtlarına, ve amaç fonksiyonuna göre optimize edilmiştir. Çakışma çözümü için uygulanan

yörünge optimizasyonunda rota değişikliği ve kontrolör iş yükünü minimize etmeyi hedefleyen bir cezalandırma yaklaşımı kullanılmıştır. Böylece CDÇÇM ile üretilen çakışma aksiyonuna ait hava araçlarının yörüngeleri güvenlik kısıtlarını sağlayan, rota değişikliği ve kontrol iş yükünü minimize edecek şekilde optimize edilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda çakışma çözümünde CDÇÇM metodolojisinin ayırma kaybı kısıtını, yeni çakışma ve domino etkisi kısıtını, yasaklı alan kısıtını ve minimum güvenli uçuş irtifası kısıtını başarılı bir şekilde uyguladığı gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmaların bir çoğu ayırma kaybı kısıtı ve yeni çakışma durumu kısıtını dikkate alan, çakışmayı çözen ve yeni bir çakışma üretmeyen çözümler sunan çalışmalardır. Yasaklı alan ve Minimum güvenli uçuş seviyesini dikkate alan çalışma sayısı çok az neredeyse yoktur. Deneysel çalışmalar sonucunda literatürdeki çakışma çözüm çalışmalarından farklı olarak CDÇÇM metodolojisi bu dört önemli güvenlik kısıtını dikkate alarak başarılı bir şekilde çakışma çözüm aksiyonları üretmiştir.

CDÇÇM metodolojisinin hava araçları üzerinde minimum manevra sayısı ve rota değişikliğinin hedefleyerek kontrolör iş yükünü ve rota değişikliğini minimize ettiği deneysel çalışmalar sonucunda gözlemlenmiştir. Yapılan performans test sonucu incelendiğinde 40 hava aracı, 10 yasaklı alan ve bir çakışma çifti içeren bir senaryo için CDÇÇM metodolojisinin JAVA programlama dili ile implemente edilmiş uygulaması Windows 10 işletim sistemli, Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30 GHz işlemci özelliklerine sahip, 32 GB RAM belleğe sahip bir bilgisayarda tek çekirdekte çalıştırılarak en geç ortalama olarak 100 milisaniyede bir çakışma çözümü üretebilmiştir.

Deneysel sonuçlar ve CDÇÇM metodolojisi incelendiğinde özellikle yasaklı alan ve minimum güvenli uçuş irtifası kısıtlarının uygulanması çözüm metodolojisine ciddi anlamda yeni hesaplama ve kontrol yükü getirdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra yeni bir çakışma ve domino etkisi kısıtı üretilen çakışma çözüm aksiyonundaki hava araçlarının optimize edilen yeni yörüngelerinin havadaki diğer tüm hava araçlarının tahminlenmiş yörüngeleri ile karşılaştırılarak bir ihlal olup olmadığını kontrol etmeyi gerektirdiğinden bu işlemde ciddi anlamda bir hesaplama yükü getirmektedir. Hava aracı sayısı, yasaklı ve minimum güvenli uçuş irtifa alan sayısı arttıkça çözüm üretme aksiyon sayısında artacağı öngörülmektedir. Gelecek

çalışmalarda bu işlemdeki hesaplama zamanını azaltmak için bu hesaplamalardaki algoritmalar birden fazla işlemci çekirdeğinde ile paralel olarak çalıştırılabilir. Bu algoirtmalar farklı girdiler ile aynı hesaplamaları yaptıklarından paralelleştirmede Grafik İşlem Birimi(GPU) ve Birleştirilmiş Hesaplama Aygıt Mimarisi(CUDA) programlama kullanılarak hesaplama zamanı minimuma indirilebilir.

Bu tez çalışmasında hava aracı performans verileri ve rüzgar hızı gör ardı edilmiştir. Gelecek çalışmalarda rüzgar hızını ve hava aracı performans verilerinide dikkate alan bir yörünge tahminleme metodolojisi uygulanabilir. CDÇÇM metodolojisi çoklu aktör içeren çalışmalar için çalışma çözüm aksiyonu üretmemektedir. Hava trafik yönetiminde çoklu aktör içeren çalışma durumları az sayıda yaşansada gelecek çalışmalarda çoklu çalışma senaryoları içinde çözüm üretecek şekilde CDÇÇM metodolojisi güncellenebilir. Çoklu çalışma durumu çalışma çiftleri şeklinde alt problemlere çevrilerek CDÇÇM metodolojisi ile çoklu aktör içeren çalışmalar çözülebilir.

Son olarak ön tanımlı kural setine ve çalışma geometrisine göre çözüm üreten CDÇÇM metolojisinin karmaşık senaryolar için daha etkili çözümler üretebilmesi adına çalışma çözüm aksiyonu üreten kısmı yapay zeka ve derin öğrenme teknikleri ile oluşturulacak bir model ile güçlendirilebilir. Yapay zeka ve derin öğrenme ile üretilen çözüm aksiyonu için uygulanan güvenlik kısıtları ve cezalandırma yöntemi CDÇÇM metolojisinde olduğu gibi klasik yöntemler ile devam ettirilmesi uçuş emniyeti açısından önemlidir.

KAYNAKÇA

- [1] **M. Riberio, J. Ellerbroek and J. Hoekstra**, (2019) “Analysis of Conflict Resolution Methods for Manned and Unmanned Aviation Using Fast-Time Simulations”, *In Proceedings of the Ninth SESAR Innovation Days, 2–5 December 2019*, ISSN 0770-1268.
- [2] **Eurocontrol**, (2022) "EUROCONTROL Comprehensive Assessment EUROPEAN AVIATION", Assesment Report.Mot.
- [3] **K. Pushparaj, A. Ayeni, G. Ky, S. Alam, V. Vijayaragavan, B. Gulyas and N. Duong**, (2019) “Quantum-Inspired Model for Human-Automation Trust in Air Traffic Control derived from Functional Magnetic Resonance Imaging”, *In Proceedings of the Ninth SESAR Innovation Days, 2–5 December 2019*, ISSN 0770-1268.
- [4] **F.H.C. Dias, S. Rahme, D. Rey, S.S.** (2020) “A two-stage algorithm for aircraft conflict resolution with trajectory recovery.” *School of Civil and Environmental Engineering, UNSW Sydney Sydney, 2052, NSW, Australia*.
- [5] **H. Dudoit, V. Rimsa, M. Bogdevicius, & J. Skorupski**, “Effectiveness of Conflict Resolution Methods in Air Traffic Management.” *Aerospace* 2022, 9, 112. [https:// doi.org/10.3390/aerospace9020112](https://doi.org/10.3390/aerospace9020112)
- [6] **L. P. I. Piedade**, (2018) " Aircraft Conflict Prioritization and Resolution using the Solution Space Diagram.", Master Thesis of Aerospace Engineering, Técnico Lisboa.
- [7] **Eurocontrol**, (2017). “EUROCONTROL Guidelines for Short Term Conflict Alert Part I - Concept and Requirements.”, DOCUMENT IDENTIFIER : EUROCONTROL-GUID-159.
- [8] **Eurocontrol**, (2017). “EUROCONTROL Specification for Medium-Term Conflict Detection.”, DOCUMENT IDENTIFIER: EUROCONTROL-SPEC-0139
- [9] **J. Cai, N. Zhang**, (2019). “Mixed Integer Nonlinear Programming for Aircraft Conflict Avoidance by Applying Velocity and Altitude Changes.” *Arabian Journal for Science and Engineering* (2019) 44:8893–8903, <https://doi.org/10.1007/s13369-019-03911-w>.

- [10] **J. Tang**, (2019) "Conflict Detection and Resolution for Civil Aviation: A Literature Survey" National University of Defense Technology, Changsha, China.
- [11] **E. Yazgan, E. Sert and D. Şimşek**, (2021) " Overview of Studies on the Cognitive Workload of the Air Traffic Controller", *International Journal of Aviation Science and Technology, Volume 2, Issue 1, (2021)*, 28-36.
- [12] **Carolina M., Brion W.**, (2019) "Air Traffic Control Decision Support Tool Design and Implementation Handbook." U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration.
- [13] **Eurocontrol**, (2017) "EUROCONTROL Guidelines for Short Term Conflict Alert - Part III- Implementation and Optimisation Examples." DOCUMENT IDENTIFIER : EUROCONTROL-GUID-159.
- [14] **ICAO** , (2016), "Procedures For Air Navigation Management - Air Traffic Management.", Doc 444, Sixteenth Edition, 2016 .
- [15] **Marta Riberio, Joost Ellerbroek, Jaco Hoekstra**, (2020) "Review of Conflict Resolution Methods for Manned and Unmanned Aviation", Control and Simulation, Faculty of Aerospace Engineering, Delft University of Technology, Kluyverweg 1, 2629 HS Delft, The Netherlands.
- [16] **Borrelli, F., Subramanian, D. Raghunathan, A. Biegler**, (2006) "MILP and NLP Techniques for centralized trajectory planning of multiple unmanned air vehicles", In Proceedings of the 2006 American Control Conference, Minneapolis, MN, USA, 14–16 June 2006, IEEE: Piscataway, NJ, USA: 10.1109/CSCS.2019.00021.
- [17] **Alonso-Ayuso, A. Escudero, L.F. Martin-Campo, F.J., Mladenovic**, (2014) "A VNS metaheuristic for solving the aircraft conflict detection and resolution problem by performing turn changes". *J. Glob. Optim.*
- [18] **Liu, H. Liu, F. Zhang, X. Guan, X. Chen, J.; Savinaud, P.** ,(2018) "Aircraft conflict resolution method based on hybrid ant colony optimization and artificial potential field", *Sci. China Inf. Sci.* 2018.
- [19] **Sathyan, A. Ernest, N. Lavigne, L. Cazaurang, F. Kumar, M. Cohen, K.**, (2017) "A Genetic Fuzzy Logic Based Approach to Solving the Aircraft Conflict Resolution Problem", In AIAA Information Systems-AIAA Infotech-Aerospace; American Institute of Aeronautics and Astronautics: Grapevine, TX, USA, 2017. Research and Development Seminar (ATM2013); FAA: Washington, DC, USA; Eurocontrol: Brussels, Belgium, 2013.

- [20] **Mutuel, L.H.; Neri, P.; Paricaud,** (2013) "Initial 4D Trajectory Management Concept Evaluation", In Tenth USA/Europe Air Traffic Management
- [21] **Mao, Z.H.; Dugail, D.; Feron,** (2007) "Space Partition for Conflict Resolution of Intersecting Flows of Mobile Agents", *Agents. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2007, 8, 512–527.
- [22] **Rey, D.; Rapine, C.; Fondacci, R.; Faouzi,** (2016) "Subliminal Speed Control in Air Traffic Management: Optimization and Simulation *Transp. Sci.* 2016, 50, 240–262.
- [23] **Eurocontrol,** (2009) "Base of Aircraft (BADA) Aircraft Performance Modelling Report", echnical Report EEC Technical/Scientific Report No. 2009-009; EUROCONTROL: Brussels, Belgium, 2009.
- [24] **Pallottino, L., Feron, E.M., Bicchi, A.,** (2002). "Conflict resolution problems for air traffic management systems solved with mixed integer programming". *IEEE transactions on intelligent transportation systems* 3, 3–11.
- [25] **Vela, A.E., Salaun, E., Solak, S., Feron, E.,** (2009). "Atwo-stage stochastic optimization model for air traffic conflict resolution under wind uncertainty", in: *Digital Avionics Systems Conference, 2009. DASC'09. IEEE/AIAA 28th, IEEE.* pp. 2–E.
- [26] **Vela, A.E., Solak, S., Clarke, J.P.B., Singhose, W.E., Barnes, E.R., Johnson, E.L.,** (2010). "Near real-time fueloptimal en route conflict resolution". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 11, 826–837.
- [27] **Alonso-Ayuso, A., Escudero, L.F., Martín-Campo, F.J.,** (2014). "Exact and approximate solving of the aircraft collision resolution problem via turn changes". *Transportation Science* 50, 263–274.
- [28] **Omer, J.,** (2015). "A space-discretized mixed-integer linear model for air-conflict resolution with speed and heading maneuvers". *Computers & Operations Research* 58, 75– 86.
- [29] **Lehouillier, T., Omer, J., Soumis, F., Desaulniers, G.,** (2016). "Solving the Air Conflict Resolution Problem under Uncertainty as an Iterative Bi-Objective Mixed Integer Linear Program"
- [30] **Zekun W.,** (2019). "An Aircraft Conflict Resolution Model Based on Geometric Optimization". *J. Phys.: Conf. Ser.* 1168 022034
- [31] **Eulalia H., Alfonso V., Damian R. ,** (2019). "A probabilistic approach to measure aircraft conflict severity considering wind forecast uncertainty".

- [32] **FAA**, (2011) “Introduction to TCAS II Versiyon 7.1.” U.S. Department of Transportation FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION Flight Standards Service.
- [33] **ICAO**, (2005) “ICAO Rules of Air Annex 2 to The Convention on International Civil Aviation.”
- [34] **Eurocontrol**, (2017) “EUROCONTROL Guidelines for Area Proximity Warning Part III - Implementation and Optimisation Examples.” DOCUMENT IDENTIFIER : EUROCONTROL-GUID-161.
- [35] **Eurocontrol**, (2017) “EUROCONTROL Guidelines for Minimum Safe Altitude Warning Part III - Implementation and Optimisation Examples.” DOCUMENT IDENTIFIER : EUROCONTROL-GUID-160.
- [36] **Jacco H. Joost E.**, (2016). "BlueSky ATC Simulator Project: an Open Data and Open Source Approach". Conference: International Conference for Research on Air Transportation At: Philadelphia Volume: 7.
- [37] **Duc-Think P., Ngoc Phu T., Sameer A., Vu D., Daniel D.**, (2019) “A Machine Learning Approach for Conflict Resolution in Dense Traffic Scenarios with Uncertainties”, *13th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Jun 2019, Vienne, Austria.*
- [38] **Phu N. Tran, Duc-Think P., Sim Kuan G., Sameer A., and Vu D.** (2020) “An Interactive Conflict Solver for Learning Air Traffic Conflict Resolutions”, *13th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Jun 2019, Vienne, Austria.*
- [39] **Ralvi I., David Aranega S. , Miqule Angel P.** (2022) “Toward Conflict Resolution with Deep Multi-Agent Reinforcement Learning”, *Journal of Air Transportation Vol. 30, No. 3, July–September 2022.*

Url-1 < <https://www.skybrary.aero/articles/accident-and-serious-incident-reports-re> >, erişim tarihi 18.11.2022.

Url-2 < <https://www.skybrary.aero/articles/probe-what-if-controller-tool> >, erişim tarihi 19.11.2022.

Url-3 < <https://www.skybrary.aero/articles/conflict-solving> >, erişim tarihi 19.11.2022.

Url-4 < <https://www.skybrary.aero/articles/basic-controller-techniques-vectoring> >, erişim tarihi 27.11.2022.

Url-5 < <https://www.skybrary.aero/articles/vectoring-geometry>>, erişim tarihi 27.11.2022.

Url-6 < <https://www.skybrary.aero/articles/basic-controller-techniques-vertical-speed>>, erişim tarihi 27.11.2022.

Url-7 < <https://www.skybrary.aero/articles/basic-controller-techniques-speed-control>>, erişim tarihi 27.11.2022.

Url-8 < <https://www.skybrary.aero/articles/conflict-detection> >, erişim tarihi 06.12.2022.

Url-9 < <https://www.skybrary.aero/articles/rate-turn> >, erişim tarihi 29.12.2022.

Url-10 < <https://https://www.skybrary.aero/articles/roll> >, erişim tarihi 29.12.2022.

Url-11 <<https://https://www.skybrary.aero/articles/rate-turn#:~:text=The%20bank%20angle%20required%20to,10%20and%20then%20adding%207.> >, erişim tarihi 29.12.2022.

Url-12 < <https://www.skybrary.aero/articles/flight-control-laws> >, erişim tarihi 29.12.2022.

Url-13 < <https://www.skybrary.aero/aircraft/a320> >, erişim tarihi 31.12.2022.

Url-14 < <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html> >, erişim tarihi 31.12.2022.

Url-15 < <https://www.geeksforgeeks.org/how-to-check-if-a-given-point-lies-inside-a-polygon> > erişim tarihi 26.04.2023

Url-16 < <https://www.skybrary.aero/articles/minimum-safe-altitude-msa>> erişim tarihi 30.05.2023

Url-17 < <http://homepage.tudelft.nl/7p97s/bluesky/> > erişim tarihi 30.05.2023

EKLER

EK-1

Senaryo001 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.8330556,30.24527778,92,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.4661111,30.3708333,37,FL300,304
```

Senaryo001 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.8330556,30.24527778,92,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.4661111,30.3708333,37,FL300,304
00:00:15.00>THY555 HDG 27
```

Senaryo002 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.584003,29.514747,90,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.653833,30.972721,265,FL300,304
```

Senaryo002 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.584003,29.514747,90,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.653833,30.972721,265,FL300,304
00:00:20.00>THY555 HDG 275
```

Senaryo003 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>LINE NTM001P1,35.639471,30.446798,35.653280,30.022199
0:00:00.00>LINE NTM001P2,35.653280,30.022199,35.876278,30.015737
0:00:00.00>LINE NTM001P3,35.876278,30.015737,35.859687,30.462423
0:00:00.00>LINE NTM001P4,35.859687,30.462423,35.639471,30.446798
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.584003,29.514747,90,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.653833,30.972721,265,FL300,304
```

Senaryo003 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>LINE NTM001P1,35.639471,30.446798,35.653280,30.022199
0:00:00.00>LINE NTM001P2,35.653280,30.022199,35.876278,30.015737
0:00:00.00>LINE NTM001P3,35.876278,30.015737,35.859687,30.462423
0:00:00.00>LINE NTM001P4,35.859687,30.462423,35.639471,30.446798
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.584003,29.514747,90,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.653833,30.972721,265,FL300,304
00:00:20.00>THY444 HDG 100
```

Senaryo004 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>LINE NTM001P1,37.339471,30.446798,37.353280,30.022199
0:00:00.00>LINE NTM001P2,37.353280,30.022199,37.576278,30.015737
0:00:00.00>LINE NTM001P3,37.576278,30.015737,37.559687,30.462423
0:00:00.00>LINE NTM001P4,37.559687,30.462423,37.339471,30.446798
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,37.284003,29.644747,91,FL190,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,37.353833,30.899721,260,FL190,304
```

Senaryo004 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
00:00:00.00>noise off
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>LINE NTM001P1,37.339471,30.446798,37.353280,30.022199
0:00:00.00>LINE NTM001P2,37.353280,30.022199,37.576278,30.015737
0:00:00.00>LINE NTM001P3,37.576278,30.015737,37.559687,30.462423
0:00:00.00>LINE NTM001P4,37.559687,30.462423,37.339471,30.446798
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,37.284003,29.644747,91,FL190,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,37.353833,30.899721,260,FL190,304
00:00:20.00>THY444 HDG 106
```

Senaryo005 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.746194,29.524105,60,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.733240,30.588085,307,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY333,B738,35.549810,30.597637,307,FL300,304
```

Senaryo005 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.746194,29.524105,60,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,35.733240,30.588085,307,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY333,B738,35.549810,30.597637,307,FL300,304
00:00:15.00>THY444 HDG 95
```

Senaryo006 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL300,300
```

Senaryo006 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
00:00:00.00>noise off
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>datalog on
00:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL300,300
00:00:05.00>THY444 ALT 31000 300
```

Senaryo007 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL280,300
0:00:03.00>THY555 ALT 30000 1500
```

Senaryo007 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL280,300
0:00:03.00>THY555 ALT 30000 1500
0:00:05.00>THY444 ALT 31000 319
```

Senaryo008 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL280,300
0:00:03.00>THY444 ALT 28000 -1000
```

Senaryo008 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL280,300
0:00:03.00>THY444 ALT 28000 -1000
0:00:05.00>THY444 ALT 29000 -319
```

Senaryo009 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL270,300
0:00:03.00>THY444 ALT 28000 -1500
0:00:03.00>THY555 ALT 28000 1000
```

Senaryo009 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL270,300
0:00:03.00>THY444 ALT 28000 -1500
0:00:03.00>THY555 ALT 28000 1000
0:00:10.00>THY444 ALT 29000 -319
```

Senaryo010 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL290,300
0:00:03.00>THY444 ALT 31000 1000
0:00:03.00>THY555 ALT 31000 1500
```

Senaryo010 Çakışma Çözüm Senaryosu Dosya İçeriği

```
0:00:00.00>CRELOG CONFLOG 1.0 Conflict log
0:00:00.00>CONFLOG ON
0:00:00.00>INSTLOG ON
0:00:00.00>SKYLOG ON
0:00:00.00>pan LGKJ
0:00:00.00>datalog on
0:00:00.00>SKYLOG ON 00:00:00.00
0:00:00.00>ASAS ON
0:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
0:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL290,300
0:00:03.00>THY444 ALT 31000 1000
0:00:03.00>THY555 ALT 31000 1500
0:00:10.00>THY444 ALT 33000 1000
```

Senaryo011 Çakışma Senaryosu Dosya İçeriği

```
00:00:00.00>pan LGKJ
00:00:00.00>ASAS ON
00:00:00.00>CRE THY444,B738,35.548891,29.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY555,B738,36.049113,30.316499,270,FL300,300
00:00:00.00>CRE THY222,B738,38.548891,31.701611,0,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY223,B738,37.049113,33.316499,315,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY224,B738,38.548891,35.701611,45,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY225,B738,37.049333,32.316499,256,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY322,B738,38.948891,31.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY323,B738,37.649113,33.816499,80,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY324,B738,38.148891,35.901611,120,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY325,B738,37.749333,32.016499,345,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY422,B738,39.948891,29.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY423,B738,37.649113,28.816499,80,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY424,B738,38.148891,29.901611,120,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY425,B738,37.749333,29.066499,345,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY524,B738,38.548891,39.701611,45,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY525,B738,37.49333,38.316499,256,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY522,B738,39.948891,36.201611,270,FL310,304
00:00:00.00>CRE THY523,B738,40.649113,29.816499,80,FL200,300
00:00:00.00>CRE THY375,B738,36.749333,27.016499,345,FL280,300
00:00:00.00>CRE THY472,B738,36.948891,28.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY473,B738,35.649113,27.816499,80,FL190,300
00:00:00.00>CRE THY474,B738,39.148891,26.901611,120,FL400,304
00:00:00.00>CRE THY475,B738,42.749333,29.066499,345,FL250,300
00:00:00.00>CRE THY574,B738,39.548891,39.701611,45,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY575,B738,40.049333,36.316499,256,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY572,B738,41.948891,36.201611,270,FL310,304
00:00:00.00>CRE THY573,B738,40.649113,37.816499,80,FL200,320
00:00:00.00>CRE THY873,B738,42.649113,33.816499,80,FL200,300
00:00:00.00>CRE THY122,B738,41.948891,34.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY123,B738,40.649113,33.816499,80,FL270,400
00:00:00.00>CRE THY124,B738,39.148891,36.901611,120,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY125,B738,40.749333,38.066499,80,FL200,300
00:00:00.00>CRE THY124,B738,42.548891,33.701611,45,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY125,B738,36.49333,32.316499,256,FL330,310
00:00:00.00>CRE THY722,B738,37.948891,31.201611,270,FL310,304
00:00:00.00>CRE THY923,B738,38.649113,40.816499,80,FL200,300
00:00:00.00>CRE THY975,B738,40.749333,38.016499,345,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY072,B738,39.948891,28.201611,270,FL300,304
00:00:00.00>CRE THY973,B738,34.649113,27.816499,80,FL290,300
00:00:00.00>CRE THY874,B738,39.148891,40.901611,120,FL300,304
00:00:00.00>POLYALT NTM001,30000,20000,39.0,29.0,39.0,30.0,38.0,30.0,29.02
00:00:00.00>POLYALT NTM002,30000,20000,40.0,38.0,40.0,39.0,41.0,39.0,41.0,38.02
00:00:00.00>POLYALT NTM003,10000,40000,37.0,33.0,37.0,34.0,36.0,34.0,36.0,33.02
00:00:00.00>POLYALT NTM004,10000,30000,42.0,27.0,42.0,27.5,41.0,27.5,41.0,27.0
00:00:00.00>POLYALT NTM005,4000,10000,37.0,30.1,37.0,30.50,38.0,30.5,38.0,30.1
00:00:00.00>POLYALT NTM006,40000,60000,43.0,33.0,43.0,34.00,44.0,34.0,44.0,33.0
00:00:00.00>POLYALT NTM007,20000,25000,38.0,38.0,38.0,38.3,39.0,38.3,39.0,38.0
00:00:00.00>POLYALT NTM008,15000,60000,39.5,36.0,39.5,36.7,39.0,36.7,39.0,36.0
00:00:00.00>POLYALT NTM009,40000,60000,42.0,34.0,42.0,36.00,44.0,36.0,44.0,34.0
00:00:00.00>POLYALT NTM010,15000,20000,35.0,31.0,35.0,31.7,34.0,31.7,34.0,31.0
```

EK-2**Senaryo001 akışma özüm Aksiyonları**

özüm No	THY444 İz Açısı	THY555 İz Açısı	akışma özüldü	Yeni akışma	Yasaklı Alan İhlali	MGUİA İhlali	Ceza Puanı
1	92	32	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
2	92	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1010
3	92	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1015
4	92	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1020
5	92	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1025
6	92	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1030
7	92	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1035
8	92	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1040
9	92	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1045
10	92	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1050
11	92	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1055
12	92	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1060
13	87	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2010
14	82	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2015
15	87	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2015
16	77	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2020
17	82	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2020
18	87	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2020
19	72	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
20	77	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
21	82	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
22	87	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
23	67	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
24	72	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030

25	77	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
26	82	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
27	87	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
28	62	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
29	67	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
30	72	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
31	77	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
32	82	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
33	87	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
34	57	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
35	62	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
36	67	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
37	72	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
38	77	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
39	82	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
40	87	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
41	52	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
42	57	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
43	62	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
44	67	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
45	72	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
46	77	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
47	82	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
48	87	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
49	47	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
50	52	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
51	57	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
52	62	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
53	67	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050

54	72	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
55	77	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
56	82	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
57	87	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
58	42	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
59	47	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
60	52	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
61	57	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
62	62	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
63	67	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
64	72	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
65	77	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
66	82	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
67	87	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
68	37	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
69	42	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
70	47	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
71	52	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
72	57	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
73	62	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
74	67	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
75	72	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
76	77	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
77	82	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
78	87	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
79	32	32	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
80	37	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
81	42	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
82	47	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065

83	52	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
84	57	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
85	62	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
86	67	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
87	72	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
88	77	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
89	82	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
90	87	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
91	32	27	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
92	37	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
93	42	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
94	47	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
95	52	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
96	57	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
97	62	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
98	67	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
99	72	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
100	77	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
101	82	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
102	32	22	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
103	37	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
104	42	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
105	47	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
106	52	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
107	57	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
108	62	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
109	67	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
110	72	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
111	77	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075

112	32	17	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
113	37	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
114	42	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
115	47	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
116	52	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
117	57	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
118	62	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
119	67	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
120	72	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
121	32	12	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
122	37	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
123	42	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
124	47	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
125	52	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
126	57	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
127	62	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
128	67	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
129	32	7	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
130	37	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
131	42	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
132	47	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
133	52	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
134	57	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
135	62	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
136	32	2	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
137	37	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
138	42	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
139	47	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
140	52	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095

141	57	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
142	32	357	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
143	37	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
144	42	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
145	47	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
146	52	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
147	32	352	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2105
148	37	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2105
149	42	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2105
150	47	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2105
151	32	347	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2110
152	37	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2110
153	42	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2110
154	32	342	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2115
155	37	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2115
156	32	337	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2120

Senaryo005 akışma özüm Aksiyonları

özüm No	THY444 İz Açısı	THY555 İz Açısı	akışma özüldü	Yeni akışma	Yasaklı Alan İhlali	MGUİA İhlalli	Ceza Puanı
1	307	65	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	1005
2	307	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1010
3	307	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1015
4	307	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1020
5	307	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1025
6	307	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	1030
7	307	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1035
8	307	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1040
9	307	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1045
10	307	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1050
11	307	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1055
12	307	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	1060
13	312	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2010
14	317	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2015
15	312	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2015
16	322	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2020
17	317	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2020
18	312	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2020
19	327	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2025
20	322	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2025
21	317	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2025
22	312	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2025
23	332	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2030
24	327	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2030
25	322	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2030
26	317	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2030

27	312	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2030
28	337	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2035
29	332	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2035
30	327	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2035
31	322	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2035
32	317	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2035
33	312	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2035
34	342	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
35	337	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2040
36	332	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2040
37	327	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2040
38	322	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2040
39	317	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2040
40	312	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2040
41	347	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
42	342	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2045
43	337	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2045
44	332	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2045
45	327	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2045
46	322	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2045
47	317	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
48	312	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2045
49	352	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
50	347	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2050
51	342	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2050
52	337	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2050
53	332	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2050
54	327	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2050
55	322	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050

56	317	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
57	312	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2050
58	357	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
59	352	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2055
60	347	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2055
61	342	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2055
62	337	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2055
63	332	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2055
64	327	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
65	322	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
66	317	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
67	312	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2055
68	2	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
69	357	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2060
70	352	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2060
71	347	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2060
72	342	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2060
73	337	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2060
74	332	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
75	327	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
76	322	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
77	317	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
78	312	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2060
79	7	65	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
80	2	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2065
81	357	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2065
82	352	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2065
83	347	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2065
84	342	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2065

85	337	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
86	332	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
87	327	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
88	322	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
89	317	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
90	312	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2065
91	7	70	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2070
92	2	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2070
93	357	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2070
94	352	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2070
95	347	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2070
96	342	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
97	337	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
98	332	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
99	327	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
100	322	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
101	317	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2070
102	7	75	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2075
103	2	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2075
104	357	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2075
105	352	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2075
106	347	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
107	342	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
108	337	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
109	332	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
110	327	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
111	322	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2075
112	7	80	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2080
113	2	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2080

114	357	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2080
115	352	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
116	347	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
117	342	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
118	337	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
119	332	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
120	327	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2080
121	7	85	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2085
122	2	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2085
123	357	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
124	352	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
125	347	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
126	342	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
127	337	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
128	332	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2085
129	7	90	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	2090
130	2	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
131	357	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
132	352	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
133	347	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
134	342	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
135	337	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2090
136	7	95	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
137	2	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
138	357	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
139	352	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
140	347	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
141	342	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2095
142	7	100	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100

143	2	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
144	357	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
145	352	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
146	347	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2100
147	7	105	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2105
148	2	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2105
149	357	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2105
150	352	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2105
151	7	110	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2110
152	2	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2110
153	357	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2110
154	7	115	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2115
155	2	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2115
156	7	120	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	2120

