



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AWACS UÇAKLARINDA EKİP ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMALAR YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ

Hamit Taner ÜNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilişim Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AWACS Uçaklarında Ekip Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritmalar Yöntemiyle Çözümü

Hamit Taner ÜNAL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilişim Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ

2018, 105 Sayfa

Jüri
Prof.Dr.Fatih BAŞÇİFTÇİ
Yrd.Doç.Dr.Tahir SAĞ
Yrd.Doç.Dr.Ayşe ELDEM

Günümüzde Türkiye dâhil, yirmiden fazla ülkenin silahlı kuvvetler envanterinde bulunan AWACS Uçakları (Airborne Warning and Control System) gelişmiş bir havadan erken uyarı ve kontrol sistemidir. Gövdesine monte edilmiş radar ve diğer elektronik sistemlerle uzak mesafedeki hava ve deniz vasıtalarının tespiti, tanımlanması ve dost kuvvetlerin kontrolü başta olmak üzere harekâtın başarısı için kritik önemdeki çok çeşitli fonksiyonlara sahiptir. AWACS, bu fonksiyonları yerine getirmek üzere her biri yoğun bir eğitim sürecinden geçen, çeşitli dallarda uzmanlaşmış uçuş ve görev ekibine sahiptir.

Uçuş ve Görev ekiplerinde bulunan her personel, eğitim sonunda "harbe hazır" unvanını alarak AWACS filosunda görev yapmaya başlar. Görevlerin başarılı olarak icrası ve oldukça maliyetli olan uçuşlarda kaynakların etkin kullanımı için en doğru ekibin oluşturulması ve yönergelerde belirtilen kriterler doğrultusunda personelin uçuşlara atanması gereklidir.

Karmaşık gereksinimlere ve çok çeşitli kriterlere sahip olan AWACS Ekip çizelgeleme probleminin klasik yöntemlerle çözülmesi oldukça zor ve zahmetlidir. Halen, AWACS üslerinde manuel yöntemlerle icra edilen çizelgeleme faaliyeti için önemli miktarda insan gücü, kaynak ve zaman harcanmaktadır. Bu tez çalışmasında, AWACS ekip çizelgeleme probleminin çözümü için literatürde çizelgeleme problemlerinin çözümünde sıklıkla başvurulan ve hızlı çözüme ulaşma yeteneğiyle ön plana çıkan Genetik Algoritmalar (GA) yöntemi kullanılmıştır.

Bu kapsamda; öncelikle problem tanımlanarak kromozom yapısı oluşturulmuş, uçucuların görevlere atanmasında, ilgili yönergelerde bulunan görev ve mecburi istirahat süreleri, sürekli eğitim gereksinimleri, görev dağıtımında eşitlik ve görev çeşitliliği gibi kriterler baz alınarak katı ve yumuşak kısıtlar belirlenmiş, müteakiben uygunluk fonksiyonu matematiksel olarak modellenerek seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik algoritma operatörleri için probleme has stratejiler geliştirilmiştir.

Algoritmanın denenmesi, genetik algoritma parametrelerinin test edilebilmesi ve görsel olarak kullanıcıya sunulabilmesi amacıyla özgün ve milli AWACS Ekip Planlama Yazılımının birer parçası olan Çizelgeleme ve Eğitim Gereksinimleri Modülleri hazırlanmıştır. Jenerik olarak oluşturulan AWACS üssü için başlangıç verileri programa girilmiş ve uçuş, simülatör, yerde eğitim ve nöbet gibi farklı kategorilerde, gerçeğe yakın 20 görevden oluşan örnek bir uçuş programı üzerinden Genetik Algoritmalar koşturularak çözüme yönelik deneyler uygulanmıştır.

Deneylerden elde edilen çözümler incelendiğinde; Genetik Algoritmaların diğer çizelgeleme problemlerinde olduğu gibi AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminde de başarılı sonuçlar verdiği görülmüş ve klasik yöntemlerle kıyaslandığında oldukça kısa sürelerde katı kısıtların tamamını, yumuşak kısıtları da %100'e varan oranlarda karşıladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AWACS, Havadan ihbar ve kontrol, ekip çizelgeleme, genetik algoritmalar, optimizasyon.

ABSTRACT

MS THESIS

Using Genetic Algorithms to Solve AWACS Crew Scheduling Problem

Hamit Taner ÜNAL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN COMPUTER ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ

2018, 105 Pages

Jury
Advisor Prof. Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ
Assist.Prof.Dr.Tahir SAĞ
Assist.Prof.Dr.Ayşe ELDEM

AWACS (Airborne Warning and Control System) is an advanced airborne early warning and control system currently being employed by the armed forces of more than twenty countries, including Turkey. With its radar and other electronic systems mounted on its body, it has a wide variety of critical functions for the success of the operation. These functions include, but not limited to the detection and identification of air and sea vehicles at remote locations, as well as control of friendly aircraft. In order to operate the complex equipment and fulfill those critical functions, the AWACS has a specialized flight and mission crew, all of whom are extensively trained in their respective roles.

Each and every member of the flight and mission crew is appointed at AWACS Squadron after being entitled to "Combat Ready" status with succesful completion of training. For mission accomplishment and effective use of resources, the crews should be scheduled and individuals should be assigned to missions appropriately.

Scheduling of AWACS crews to dedicated missions with classical methods is a very difficult and troublesome task due to its complex requirements and a wide range of criteria based on specific guidelines. Currently, the scheduling is being performed manually at AWACS bases, while spending a significant amount of human labor, time and resources. In this thesis, Genetic Algorithms (GA), which are popular for gaining fast solutions and proved to be effective solving general scheduling problems have been used to solve AWACS Crew Scheduling problem.

In this scope; first of all the problem is defined and chromosome structure has been formed. The rigid and soft constraints are determined on the basis of criteria outlined in relevant guidelines, such as mission duration, crew rest periods, continuous training requirements, equality in task distribution and task diversity. The fitness function of the algorithm is mathematically modeled and strategies have been developed for genetic algorithm operators such as selection, crossover and mutation.

In order to test the algorithm and evaluate the performance of genetic parameters, while visually presenting the obtained results, the Scheduling and Training modules of original AWACS Crew Scheduling Software have been developed. On this software, a notional AWACS Base has been created with initial sample data. Then, several experiments have been conducted, running genetic algorithms for a notional flight schedule with 20 missions, including flight, simulator sessions, ground training classes and squadron duties.

As a result; Genetic Algorithms have been proved to be very successful in AWACS Crew Scheduling Problem as in other scheduling problems, having up to %100 of soft constraints and all of the hard constraints met, within significantly short time compared to classical methods.

Keywords: AWACS, Airborne Early Warning, crew scheduling, genetic algorithms, optimization

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında benden desteğini esirgemeyen başta tez danışmanım Prof.Dr.Fatih BAŞÇİFTÇİ olmak üzere Bilişim Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı hocalarına ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Hamit Taner ÜNAL
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xi**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Havadan İhbar ve Kontrol (HİK) Sistemi (Airborne Early Warning and Control System-AWACS) 2
1.1.1. AWACS Uçaklarının Temel Fonksiyonları ve Görevleri 4
1.1.2. AWACS Uçuş ve Görev Ekibi 6
1.1.3. Görev Çeşitleri 7
1.1.4. Planlama ve Görev Akışı 8
1.1.5. Uçuş ve Görev Ekibi Eğitimleri 9
1.2. Tezin Amacı 10
1.3. Tezin Önemi 10
1.4. Tezin Organizasyonu 11

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **12**

2.1. Havayolu Şirketlerinde Uçuş Ekip Çizelgeleme 12
2.2. Demiryolu Çalışanları için Ekip Çizelgeleme 14
2.3. Hastane Çalışanları için Çizelgeleme 15
2.4. Ders ve Sınav Programlarının Hazırlanmasında Çizelgeleme Problemi 16
2.5. Atölye ve Akış Tipi Üretim Çizelgeleme Üzerine Çalışmalar 17
2.6. Askeri Alanda Yapılan Çizelge Çalışmaları 19

3. MATERYAL VE YÖNTEM **22**

3.1. Ekip Çizelgeleme Problemi ve Öne Çıkan Yöntemler 24
3.2. Genetik Algoritmalar 25
3.2.1. Genetik Gösterim ve Kavramlar 27
3.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması 30
3.2.3. Uygunluk Fonksiyonu ve Değerlendirme 30
3.2.4. Seçim 32
3.2.4.1. Rulet Çarkı 32
3.2.4.2. Turnuva Seçimi 33
3.2.4.3. Rank Metodu (Sıralama Seçimi) 33
3.2.4.4. Elitizm 34
3.2.5. Çaprazlama *(Crossover)* 34

3.2.5.1. Tek Noktalı Çaprazlama 34
3.2.5.2. Çok Noktalı Çaprazlama 35
3.2.5.3. Diğer Çaprazlama Yöntemleri 36
3.2.6. Mutasyon 36
3.2.7. Durdurma Kriteri ve Algoritmanın Sona Ermesi 37

4. AWACS EKİP ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ 38

4.1. AWACS Filolarında Ekip Çizelgeleme 38
4.2. Tanımlar 39
4.3. Görev Çeşitleri 40
4.4. Çizelgeleme Kriterleri 41
4.4.1. Azami Uçuş ve Mecburi İstirahat Süreleri 42
4.4.2. Eğitim Gereksinimleri 42
4.4.3. Görevlendirmede Eşitlik *(Fairness)* ve Görev Çeşitliliği 42
4.5. Problemin Tanımlanması 43
4.5.1. Görev Pozisyonları ve Uçucu Personel 44
4.5.2. Eğitim Yönergeleri ve Mevcut Eğitim Durumları 45
4.5.3. Senaryo Görev Çeşitleri 46
4.5.4. AWACS Filosu Jenerik Uçuş ve Görev Programı 47
4.6. Genetik Algoritma ile Çözüm 49
4.6.1. Genetik Gösterim ve Kromozom Yapısı 49
4.6.2. İlk Popülasyonun Oluşturulması 50
4.6.3. Uygunluk Fonksiyonunu ve Matematiksel Model 51
4.6.4. Seçim İşlemi 57
4.6.5. Elitizm 57
4.6.6. Çaprazlama 58
4.6.7. Mutasyon 59
4.6.8. Algoritmanın Sonlandırılması 60
4.7. Deney Seti 62
4.7.1. Uçucu Bilgileri ve Eğitim Kayıtları 63
4.7.2. Çizelgeleme Modülü 64
4.7.3. Performans Grafiği 65
4.8. Deneyler ve Deney Sonuçları 65
4.8.1. Performans Değerlendirmesi 67
4.8.2. Popülasyon Boyutunun Çözüme Etkisi 67
4.8.3. Turnuva Boyutunun Çözüme Etkisi 69
4.8.4. Çaprazlama Stratejisinin Çözüme Etkisi 70
4.8.5. Çaprazlama Oranının Çözüme Etkisi 72
4.8.6. Mutasyon Oranının Çözüme Etkisi 73
4.8.7. Elitizm Oranının Çözüme Etkisi 75

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 77

EKLER 88

EK-1 Uçucu Güncel Eğitim Gereksinimi Tablosu 88
EK-2 Jenerik Görevlere Ait Eğitim Öğeleri 91

ÖZGEÇMİŞ 92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AAR	Air-to-Air Refuelling (Havadan Yakıt İkmali)
AFIT	Air Force Institute of Technology (Hava Kuvvetleri Teknoloji Enstitüsü)
AWACS	Airborne Warning and Control System (Havadan İhbar ve Kontrol Sistemi)
AC	Aircraft Commander (Uçak Komutanı)
CBT	Computer Based Training (Bilgisayar Destekli Eğitim)
COT	Continuation Training (Harbe Hazırlığın Devamı Eğitimi)
CRM	Crew Resource Management (Ekip Kaynak Yönetimi)
EA	Evrimsel Algoritma
EKY	Ekip Kaynak Yönetimi
FA	Fighter Allocator (Av Tahsis Subayı)
FP	First Pilot (Yardımcı Pilot)
GA	Genetik Algoritma
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (Açgözlü Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü)
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
İHA	İnsansız Hava Aracı
IFF	Identification Friend or Foe (Dost-Düşman Tanıma)
ILS	Iterated Local Search (İterasyonlu Yerel Arama)
HİK	Havadan İhbar ve Kontrol
KKO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
LS	Life Support (Hayatta Kalma Eğitimi)
MOGA	Multi-Objective Genetic Algorithm (Çok Amaçlı Genetik Algoritma)
NP	Non-deterministik Polinomial
NPS	Naval Postgraduate School
NSGA	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
PC	Passive Controller (ESM Kontrolörü)
PSO	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
RADAR	Radio Detection and Ranging
SA	Simulated Annealing (Tavlama Benzetimi)
SC	Surveillance Controller (Gözetleme Kontrolörü)
SPEA	Strength Pareto Evolutionary Algorithm

TA	Tabu Arama
TB	Tavlama Benzetimi
TD	Tactical Director (Görev Komutanı)
TSP	Travelling Salesperson Problem (Gezgin Satıcı Problemi)
UHF	Ultra High Frequency
VEGA	Vector Evaluated Genetic Algorithm
VNS	Variable Neighborhood Search
VHF	Very High Frequency
WC	Weapons Controller (Silah Kontrolörü)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 ABD Hava Kuvvetleri E-3 Sentry AWACS Uçağı 1
Şekil 1.2 Güney Kore Hava Kuvvetleri Boeing 737 AEW&C Görev Kabini 5
Şekil 1.3 NATO E-3A Görev Kabini, Silah Kontrol Ekibi. 7
Şekil 1.4 NATO E-3A Görev Planlama 8
Şekil 3.1. Metasezgisel Yöntemlerin Sınıflandırılması 23
Şekil 3.2 John Holland (1929-2015) 24
Şekil 3.3. Genetik Algoritma Akış Diyagramı 25
Şekil 3.4 Örnek: 7 Şehirli Gezgin Satıcı Problemi 26
Şekil 3.5 Rulet Çarkı Yönteminde Uygunluk Oranlarının Yerleşimi 32
Şekil 3.6 Rank metodunda kromozomların sıralanışı 33
Şekil 3.7 Tek Noktalı Çaprazlama 35
Şekil 3.8 İki Noktalı Çaprazlama 35
Şekil 3.9 Ters çevirme ile kromozomun mutasyona uğratılması 37
Şekil 3.10 Yer değişikliği ile kromozomun mutasyona uğratılması 37
Şekil 4.1 Problem Senaryosu için Oluşturulan Jenerik AWACS Üssü 43
Şekil 4.2 Uçucu Personel Eğitim Durum Tablosu 45
Şekil 4.3 Genetik Gösterim ve Kromozom Yapısı 49
Şekil 4.4 İlk Popülasyon Seçimi İçin Kaba Kod 50
Şekil 4.5 Uygunluk Hesabı İçin Kaba Kod 56
Şekil 4.6 Turnuva Seçimi İçin Kaba Kod 57
Şekil 4.7 Tek Noktalı Çaprazlama İşlemi 58
Şekil 4.8 Çaprazlama İçin Kaba Kod 59
Şekil 4.9 Mutasyon İşlemi 60
Şekil 4.10 Mutasyon İçin Kaba Kod 60
Şekil 4.11 Genetik Algoritma için Kaba Kod 61
Şekil 4.12 Program Arayüzü 62
Şekil 4.13 Uçucu Bilgileri ve Eğitim Gereksinimleri Modülü 63
Şekil 4.14 Çizelgeleme Modülü 64
Şekil 4.15 Performans Grafiği 65
Şekil 4.16 Eğitim Tekrar Tablosu ve Uçucu Güncel Durumu 67
Şekil 4.17 Popülasyon Boyutunun Çözüme Etkisi 69
Şekil 4.18 Turnuva Boyutunun Çözüme Etkisi 70

Şekil 4.19 Çaprazlama Stratejisinin Çözüm Performansına Etkisi 71
Şekil 4.20 Çaprazlama Oranının Çözüm Performansına Etkisi 73
Şekil 4.21 Mutasyon Oranının Çözüm Performansına Etkisi 74
Şekil 4.22 Elitizm Oranının Çözüm Performansına Etkisi 76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 AWACS Sistemleri ve Kullanan Ülkeler 4
Çizelge 1.2 NATO E-3A Görev Ekibi 6
Çizelge 3.1 X parametresi için ikili kodlama 29
Çizelge 3.2 Altı (6) kromozoma sahip GA için başlangıç popülasyonu ve uygunluk değerleri 32
Çizelge 4.1 Jenerik AWACS Üssü Görev Pozisyonları ve Mevcut Durumları 44
Çizelge 4.2 Senaryo Görev Çeşitleri 46
Çizelge 4.3 Jenerik Senaryo Uçuş ve Görev Programı 47
Çizelge 4.4 Deney Planı 66
Çizelge 4.5 Popülasyon Boyutu Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler 68
Çizelge 4.6 Turnuva Boyutu Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler 70
Çizelge 4.7 Çaprazlama Stratejisi Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler 71
Çizelge 4.8 Çaprazlama Oranı Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler 72
Çizelge 4.9 Mutasyon Oranı Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler 74
Çizelge 4.10 Elitizm Oranı Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler 75

1. GİRİŞ

Çizelgeleme problemleri günlük hayatta sıklıkla karşılaşılan ve genellikle çözümü zor ve zahmetli iş programlarıdır. Fabrikalarda çalışan işçilerin makinelere planlanması, hemşirelerin vardiya çizelgeleri ve okulların ders programları çizelgeleme problemleri için başlıca örneklerdir.

Hedeflenen program için tüm seçenekler değerlendirildiğinde, çizelgeyi oluşturan kişi, mekân ve makine gibi unsurların sayısı az bile olsa çözüm uzayı üssel olarak artacağı için analitik yöntemler yetersiz kalabilmekte, hatta çözüm imkânsız olabilmektedir.

Hesaplama teorisinde, herhangi bir probleme ait çözüm süresi değişkenlerin sayısına, kısıtlarına ve değerlerine bağlıdır. Polinomial (P) olarak adlandırılan bu problemlerde, bir çözüm kümesi ve bu çözüm kümesine ulaşmak için harcanan zaman bellidir. Örneğin, iki bilinmeyenli bir denklemin çözümünü bulmak (P) sınıfına giren bir problemdir. Problemin analitik yöntemlerle bilinen bir çözümü mevcut değil ise, bir başka deyişle polinomial zamanda çözümü mümkün değilse, Nondeterministik Polinomial (NP) olarak adlandırılır. Klasik yöntemler ile bu tip bir problemin çözümü imkânsız (NP-Hard) veya çok uzun sürebilir (NP-Complete). Bulunan çözüm ise istenilen çözüm de olmayabilir. Bu tip problemlerin çözümü için sezgisel (*heuristic*) ve probleme bağlı olmayan metasezgisel (*metaheuristics*) yöntemler geliştirilmiş ve kabul edilebilir süre içerisinde en iyi sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır (Bayata, 2012).

Çoğunlukla NP-Complete ve NP-Hard sınıfına giren çizelgeleme problemleri için literatürde yer alan çalışmalar, problemlerin matematiksel olarak modellenerek çözümü üzerinde yoğunlaşmakta ve genellikle sezgisel çözüm yöntemlerinin kıyaslanması şeklinde yapılmaktadır. Bugüne kadar geliştirilen tabu arama, tavlama benzetimi, genetik algoritmalar gibi doğadan ilham alan algoritmaların problemin türüne göre nasıl sonuçlar verdiği incelenmiş ve çözümde kullanılan parametrelerin optimize edilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmaların tümü ele alındığında her bir problem için farklı çözüm yöntemlerinin başarılı olduğu görülmüş ve tüm problemlere uygulanabilecek tek bir yöntemin söz konusu olamayacağı anlaşılmıştır. Ekip çizelgeleme problemlerinde bulunan sert ve yumuşak kısıtların birlikte varlığı, bu tip problemlerin çözümünde Genetik Algoritmalar yönteminin diğer yöntemlere göre daha kabul edilebilir çözümler üretebildiğini göstermiştir.

1.1. Havadan İhbar ve Kontrol (HİK) Sistemi (Airborne Early Warning and Control System-AWACS)

AWACS uçağı gelişmiş bir havadan erken uyarı ve kontrol sistemidir. Gövdesine monte edilmiş radar ve diğer elektronik sistemlerle uzak mesafedeki hava ve deniz vasıtalarının tespiti, tanımlanması ve dost kuvvetlerin kontrolü başta olmak üzere harekâtın başarısı için kritik önemdeki çok çeşitli fonksiyonlara sahiptir.

İlk olarak ikinci dünya savaşında kullanılmış olsa da bugün kullanılan kabiliyetlere yakın ilk sistemler 1960'lı yıllarda geliştirilmeye başlanmıştır (Van Deventer, 2000). Askeri literatürde E-3 Sentry adı verilen ve ABD, NATO, İngiltere, Fransa, Japonya, Suudi Arabistan gibi ülkelerde kullanılan AWACS sistemi dört motorlu, ticari Boeing 707 uçağına Northrop Grumman radarı ve diğer elektronik unsurların entegre edilmesiyle oluşturulmuş bir görev platformudur (Williams, 1997). İlk olarak 1978 yılında ABD'de kullanılmaya başlanmıştır ve günümüzde dünya üzerinde en çok kullanılan AWACS platformu olmaya devam etmektedir. Şekil 1.1'de ABD Hava Kuvvetleri E-3 Sentry AWACS Uçağı görünmektedir.



Şekil 1.1 ABD Hava Kuvvetleri E-3 Sentry AWACS Uçağı

Halen dünya üzerinde, Türkiye de dâhil olmak üzere yirmiden fazla ülkede AWACS uçağı kullanılmaktadır ve bu sayı her yıl daha da artmaktadır. Hem taktik hem de stratejik öneme sahip olan AWACS sistemleri, harekât alanındaki etkinliği önemli ölçüde artırdığı için "Yüksek Değerlikli Hava Unsuru" olarak tanımlanmakta ve birinci seviyede korunması gereken kuvvet çarpanı olarak yer almaktadır. AWACS sistemleri, diğer savaş uçaklarına kıyasla oldukça maliyetli, bakım-idamesi zor bir unsur olarak öne çıkmakta, gelişen teknolojiye paralel olarak kabiliyetleri her geçen gün daha da artmaktadır (Delaney, 1990). Envanterdeki AWACS sistemleri ve kullanan ülkeler Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 AWACS Sistemleri ve Kullanan Ülkeler

Sistem		**Kullanan Ülkeler**
E-3 Sentry A/B/C/D/F/G/H		ABD, NATO, Fransa, İngiltere, Suudi Arabistan
E-767		Japonya
Boeing 737 AEW&C		Avustralya, Güney Kore, Türkiye
A-50 KJ-2000		Rusya, Hindistan, Çin
Embraer R-99 EMB-145H ERJ-145		Brezilya, Yunanistan, Meksika, Hindistan
Saab 2000 Erieye AEW&C		Pakistan, Suudi Arabistan
G550 CAEW IAI EL/W-2085		İsrail, Singapur, İtalya
E-2C/D Hawkeye		ABD, Fransa, Mısır
Saab S100B		İsveç, Tayland, BAE

1.1.1. AWACS Uçaklarının Temel Fonksiyonları ve Görevleri

AWACS Uçakları sahip olduğu radar ve gelişmiş elektronik donanım ile harekât sahasının en etkili unsurlarından bir tanesidir. Özellikle hava harekâtında düşman hava sahasını çok uzak mesafelerden izleyebilme kabiliyeti sayesinde dost unsurların etkin bir şekilde kontrol edilebilmesini ve olası tehditlerden haberdar olarak hedeflerine hızlı bir şekilde yönlendirilmesini sağlar. AWACS uçaklarının temel fonksiyonları aşağıda sıralanmıştır.

Gözetleme (Surveillance): AWACS Uçakları öncelikli olarak hava sahasının uzak mesafelere kadar gözetlenmesi ve tehdit bölgesinden gelebilecek yüksek hızlı hedefler için erken uyarı rolünde görev üstlenirler. Gövdeye entegre radar ve Dost Düşman Tanıma Sistemi (Identification Friend or Foe-IFF) ile bulunduğu bölgenin çevresindeki hava vasıtalarının tespit ve teşhisini sağlayarak tanımlanmış hava resminin oluşmasına katkıda bulunur. Bazı sistemler aynı zamanda deniz vasıtalarının da tespitini sağlarlar. Toplanan tüm tespitler datalinkler vasıtasıyla diğer hava ve yer unsurlarına canlı olarak aktarılır.

Modern AWACS sistemlerinde Link-16 Taktik Data Link sistemi artık standart bir donanım haline gelmiştir. Link-16 ile tüm hava ve deniz tespitlerini canlı olarak havadaki diğer uçaklara ve yer istasyonlarına aktarmak mümkündür. Ayrıca diğer unsurlardan toplanan canlı bilgilerle harekât sahasının tümüne hâkim bir şekilde görev icra edilebilir.

NATO E-3A Uçaklarında 2011 yılından itibaren deniz vasıtaları için Otomatik Teşhis Sistemi (Automatic Identification System-AIS) yeteneği kazandırılmış ve geniş bir alanda bulunan tüm deniz tespitlerine ait teşhis bilgilerinin uçak içinde görüntülenmesi sağlanmıştır. Bu sayede kendini teşhis etmeyen şüpheli gemiler anında tespit edilebilmekte, deniz korsanlığı ve insan kaçakçılığı gibi uluslar arası suçlara kolaylıkla müdahale edilebilmektedir (Dennis, 2008).

Silah Kontrol (Weapons): E-3 Sentry, Boeing 737 AEW&C gibi büyük platform uçaklarda gövde içine yerleştirilmiş konsollar aracılığıyla Silah Kontrolörleri tarafından dost unsurların kontrolü gerçekleştirilir. Gövdeye entegre UHF/VHF telsizler ve datalink sistemleri kullanılarak dost savaş uçakları hedeflerine yönlendirilerek hava harekatının taktik seviyede kontrolü sağlanır (Fahey ve ark., 2001).

Özellikle hava-hava angajmanlarının kontrolünde AWACS önemli bir role sahiptir. Savaş uçaklarında bulunan radarların AWACS radarına göre menzil açısından

çok daha düşük kabiliyette olduğu hesaba katıldığında, dost uçakların hedeflerine doğru bir şekilde yönlendirilebilmesi için AWACS'ta bulunan silah kontrolörünün desteğine ihtiyaç duyar. Harekât sahasını 360 derece izleyebilen silah kontrolörü dost uçakları en uygun parametreler ile hedefe yaklaştırır ve görüş ötesi menzile sahip hava-hava füzeleri için ideal atış pozisyonuna girmesine yardım eder. Bununla birlikte dost unsurlara tehdit olan düşman uçakları zamanında ikaz ederek gerekli kaçınmanın yapılabilmesini sağlarlar. Şekil 1.2'de Güney Kore Hava Kuvvetlerine ait Boeing 737 AEW&C'nin Görev Kabini görünmektedir.



Şekil 1.2 Güney Kore Hava Kuvvetleri Boeing 737 AEW&C Görev Kabini

Elektronik Destek Tedbirleri (Electronic Support Measures): Bazı AWACS Uçakları Elektronik Destek donanımına sahiptir ve bu donanım sayesinde düşman hava ve yer vasıtalarının sahip olduğu elektronik yayınları tespit ederek, söz konusu tehditlerin teşhisine yardımcı olur. Ayrıca, AWACS'ın hareketli bir platform olması sayesinde yayın kaynaklarının yerini kendi başına, üçgenleme metoduyla tespit edebilir. Bu tespitlerin AWACS görev bilgisayarındaki Elektronik Destek Kütüphanesi ile karşılaştırılması ile Düşman Muharebe Düzenindeki ilaveler ve değişiklikler tespit edilebilir.

Günümüzde savaş uçakları ve yerden havaya füzeler çoğunlukla kendi atış kontrol radarlarına sahiptirler ve radardan yayınlanan RF yayını; dalga boyu, frekans, pals tekrar frekansı gibi kendine has özellikler taşır. Ayrıca radarın farklı modları için de bu yayının özelliği değişebilir. Örneğin bir yerden-havaya-füze (SAM) sistemine ait radar, tarama modunda ayrı yayın yaparken, atış kontrol modunda farklı bir yayın yapabilir. AWACS'ta bulunan ESM sistemi bu yayınlara ait parametreleri anında tespit ederek düşmanın harekât sahasındaki kabiliyetlerine ve yaptığı işlemlere hâkim olur. Elde ettiği bilgileri de anında diğer dost uçaklarla ve yerdeki komuta-kontrol merkezleriyle paylaşabilir.

1.1.2. AWACS Uçuş ve Görev Ekibi

Kullanılan bir çok AWACS platformu gövdesine entegre görev konsolları ve çeşitli görev pozisyonlarındaki kontrolörler vasıtasıyla kendi başına görev yapabilme kabiliyetine sahiptir. AWACS uçaklarının yukarıda anılan fonksiyonları yerine getirilebilmesi amacıyla her biri kendi alanında uzmanlaşmış görev ekibi bulunur. En kapsamlı görev ekibine sahip NATO E-3A Uçaklarında görev pozisyonları, fonksiyonlarına göre Çizelge 1.2'de sıralanmıştır (Vidulich ve ark., 2004).

Çizelge 1.2. NATO E-3A Uçuş ve Görev Ekibi

Kısa Adı	**Görev Pozisyonu**	**Görevleri**
Uçuş Ekibi - *Flight Crew*		
AC	Uçak Komutanı *Aircraft Commander*	E-3A Uçağının emniyetli bir şekilde uçuşundan sorumludur ve uçuş ekibinin liderliğini yapar.
FP	Yardımcı Pilot *First Pilot*	Uçuşun icrası görevini üstlenir ve Uçak Komutanına karşı sorumludur.
NAV[1]	Seyrüsefer Subayı *Navigator*	Uçuş rotasının belirlenmesinden ve uçuş esnasında rota ve orbit yönetiminden sorumludur
FE	Uçuş Mühendisi *Flight Engineer*	Uçak uçuş sistemlerinin uçuş öncesinde hazırlanmasından ve uçuş esnasında yönetilmesinden sorumludur.
Görev Ekibi - *Mission Crew*		
TD	Görev Komutanı *Tactical Director*	Tüm görev ekibinin liderliğini yapar ve görevin genel olarak icrasından sorumludur.
PC	ESM Kontrolörü *Passive Controller*	ESM Sistemlerinin yönetiminden ve uçuş esnasından elektronik yayınların Elektronik Destek Kütüphanesi ile karşılaştırılarak teşhisinden sorumludur.
SC	Gözetleme Kontrolörü *Surveillance Controller*	Gözetleme Ekibinin liderliğini yapar ve E-3A Gözetleme fonksiyonlarının yerine getirilmesinden sorumludur.
SO	Gözetleme Operatörü *Surveillance Operator*	Hava sahasının gözetlenmesi, datalink sistemlerinin kullanımı ve diğer gözetleme faaliyetlerinin yürütülmesinden sorumludur.
FA	Av Tahsis Subayı *Fighter Allocator*	Silah Kontrol Ekibinin liderliğini yapar ve AWACS'ın taktik kontrolüne verilen dost unsurların kontrolünden sorumludur.
WC	Silah Kontrolörü *Weapons Controller*	Dost unsurların taktik kontrolünü gerçekleştirir ve hedeflerine yönlendirilmesini sağlar.
Teknisyenler - *Technicians*		
CT	Muhabere Teknisyeni *Comms Technician*	AWACS İletişim (muhabere) sistemlerinin uçuş esnasında faaliyetinden sorumludur.
ST	Sistem Teknisyeni *System Technician*	Görev bilgisayarı ve görev konsolları ile diğer görev sistemlerinin uçuş esnasındaki faaliyetinden sorumludur.
RT	Radar Teknisyeni *Radar Technician*	Radar/IFF ve diğer radar alt sistemlerinin uçuş esnasındaki faaliyetinden sorumludur.

[1] 2014 Yılı itibariyle NATO AWACS Kokpit modernizasyonu ile bu görev pozisyonu kaldırılmıştır.

E-3A Uçaklarının 2014 yılında başlayan modernizasyonu ile seyrüsefer subayı (Navigator) ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Modern teknolojiye sahip Boeing 737 AEW&C uçaklarında ise uçuş mühendisi ve teknisyenler artık yer almamaktadır. Görevi gerçekleştiren personel sayısı, görevin içeriğine göre değişiklik gösterebilmektedir. Normal şartlarda ekip lideri pozisyonlarında birer kişi yer alırken, WC ve SO pozisyonlarındaki personel sayısı görevin niteliğine göre değişiklik gösterir. Şekil 1.3'de NATO E-3A'nın 6 kişilik Silah Kontrol ekibi görünmektedir.

Gelişen teknolojiyle birlikte Boeing 737 AEW&C gibi modern sistemlerde seyrüsefer subayı, uçuş mühendisi ve teknisyen ihtiyacı ortadan kalkmış, söz konusu görev pozisyonları yerlerini bilgisayarlara bırakmıştır.



Şekil 1.3 NATO E-3A Görev Kabini, Silah Kontrol Ekibi

1.1.3. Görev Çeşitleri

Harekât şartlarının gerektirdiği durumlara göre AWACS uçakları çok çeşitli görevler üstlenebilir. Gözetleme, taktik kontrol, muhabere rölesi, deniz harekâtının desteği gibi görevler başlıca AWACS görevlerini teşkil eder. Bir AWACS filosu için ise görevler temelde "Harekât" ve "Eğitim" görevleri olarak ikiye ayrılır. Harekât görevleri, gerçek durumlarda uygulanan ve ülke savunması için fiili olarak gerçekleştirilen görevlerdir. Sıcak savaş, gerginlik veya kriz durumlarında AWACS uçakları harekât görevlerinde kullanılır. Eğitim görevleri ise harekât görevlerini simüle eden ve harekât ile aynı şartların benzetildiği tatbikat, rutin eğitim uçuşları gibi diğer görevleri kapsar. Eğitim görevlerinde maksat ekibin harekât görevlerine hazırlanması ve her an hazır durumda beklemesidir. Eğitim görevleri fiili uçuşlu olabileceği gibi yerde, simülatörde de gerçekleştirilebilir (Van Deventer, 2000).

1.1.4. Planlama ve Görev Akışı

AWACS uçuşları yüksek maliyetli olduğu için titiz bir planlama süreci gerektirir. Planlamalar öncelikle uzun vadeli *(long-range)* olarak yapılır ve bir yıllık taslak uçuş planı yayımlanır. Değişen ihtiyaçlar ve dinamik görev istekleri doğrultusunda üç aylık ve bir aylık hazırlanan kısa vadeli *(short-range)* programlar güncellenerek haftalık olarak yayımlanır.

Haftalık yayımlanan program doğrultusunda bir uçuşa planlanan görev ekibi bir gün öncesinde "Görev Planlaması-*Mission Planning*" gerçekleştirir. Bu safhada göreve ait tüm ihtiyaçlar belirlenir, sistem haritaları, görev frekansları, kontrol edilecek dost unsurlarla koordinasyon gibi hazırlıklar yapılır (Hess ve ark., 1999). Şekil 1.4'te NATO E-3A Görev Planlaması görünmektedir.

Uçuş günü, kalkış saatinden birkaç saat önce gerekli brifingler ve uçuş öncesi *(pre-flight*) hazırlıklar yapılır ve planlanan zamanda görev için kalkış yapılır. Kalkış sonrası rota üzerinde radar ve görev sistemleri çalıştırılarak "Görev Başlangıcı-*On Station*" ilan edilir.



Şekil 1.4 NATO E-3A Görev Planlama

AWACS uçakları görevlerini belirli bir rota üzerinde icra edebileceği gibi, çoğunlukla "orbit" adı verilen ve sabit bir görev bölgesinde bekleme şeklinde gerçekleştirir. E-3A gibi büyük platform AWACS'lar için optimum irtifa 29.000-31.000 feet arasıdır. Uçuş süresi ise ortalama 5-8 saattir. Havada Yakıt İkmali (*Air-to-Air Refuelling*) ile bu süre 15-20 saatlere kadar uzatılabilir (Delaney, 1990).

Görev bitimi "*Off-station*" ilan edilerek dönüş rotasına girilir ve planlanan zamanda iniş gerçekleştirilir. İniş sonrasında tüm ekip tarafından "dibrifing" icra edilir.

1.1.5. Uçuş ve Görev Ekibi Eğitimleri

Görev ekibi eğitimleri "temel", "harbe hazırlık" ve "harbe hazırlığın devamı" eğitimi olarak özetlenebilir. Temel eğitim, AWACS filosuna atanan personele verilen ilk eğitimi kapsar ve teorik eğitim başta olmak üzere simülatör ve hakiki uçuşlarla gerçekleştirilir. Temel eğitim çoğunlukla sistem kullanımı ve görev pozisyonunun gerektirdiği becerilerin öğretildiği kısımdır. Harbe hazırlık eğitimi ise hakiki harekât görevlerine yönelik olarak savaş, gerginlik veya kriz durumlarında uygulanması gereken prosedürlerin kazandırıldığı bir eğitimdir. Harbe hazırlık eğitimini başarı ile bitiren personel "harbe hazır (*combat ready)*" unvanını alarak gerçek görevlere planlanır (Colegrove ve Bennett Jr, 2006).

Diğer askeri uçaklarda ve özellikle savaş pilotlarında olduğu gibi görev ekibi için de harbe hazırlık eğitimi tek seferlik bir eğitim değildir. "Harbe Hazırlığın Devamı Eğitimi – *Continuation Training (COT)*" olarak adlandırılan eğitim programı ile tüm görev ekibinin her daim harbe hazır bulunmaları sağlanır. Bu programda, her personel kendi görev pozisyonunun gerektirdiği eğitimleri belirli periyotlarda tekrarlayarak becerilerini taze tutması sağlanır. Örneğin bir AWACS pilotunun her 45 günde en az bir kez hakiki kalkış ve iniş gerçekleştirme zorunluluğu harbe hazırlığın devamı eğitiminin bir parçasıdır. Böylelikle uçucuların yeteneklerinin zayıflamasına izin verilmeden görevi etkinlikle gerçekleştirmeleri hedeflenir.

Her bir görev pozisyonu için harbe hazırlığın devamı gereksinimleri ve görevler tablosu ilgili yönergelerde yayımlanarak titizlikle takibi sağlanır. Belirtilen süre içerisinde istenilen tekrar sayısını yakalayamayan personel harbe hazır unvanını yitirir ve söz konusu personele öğretmen nezaretinde tazeleme eğitimi planlanır. Yeniden harbe hazır unvanı ancak tazeleme eğitimi sonrası öğretmenin onayından sonra verilir.

Birtakım becerilerin yalnızca hakiki uçuşlarda tazelenmesi mümkün iken (iniş ve kalkış gibi), bazılarının tazelenmesi için simülatörde eğitim yapılması yeterlidir (taktik kontrol vb.). Etkin bir planlama ile simülatörde gerçekleştirilebilen beceriler çok daha düşük maliyetle tazelenebilir.

Bazı eğitimler ise yalnızca teorik olarak sınıf ortamında (Ekip Kaynak Yönetimi eğitimi gibi) veya bilgisayar destekli eğitim (*Computer Based Training*) şeklinde verilebilir.

1.2. Tezin Amacı

Bu tezin amacı AWACS uçaklarındaki ekip çizelgeleme problemine modern optimizasyon tekniklerinden Genetik Algoritmalar (GA) yöntemini kullanarak bir çözüm yaklaşımı sunmaktır.

Türkiye de dâhil olmak üzere yirmiden fazla ülkede kullanılan ve her geçen gün daha da stratejik bir konuma yükselen AWACS uçakları, bünyesinde bulunan yüksek teknoloji radar ve diğer elektronik görev sistemleri ile erken uyarı, hava sahasının gözetlenmesi, taktik kontrol ve elektronik istihbarat gibi ülke savunması açısından birçok fonksiyona sahiptir. AWACS uçakları, tüm bu fonksiyonları yerine getirmek üzere çeşitli uzmanlık alanlarına ve oldukça karmaşık eğitim sistemine sahip bir görev ekibini barındırır. Haliyle, bu karmaşık yapıda ekip çizelgeleme oldukça zor ve zaman alan bir süreç gerektirir.

Değişen harekât şartlarında en yüksek harbe hazırlık seviyesini muhafaza etmek ve yüksek maliyetli AWACS uçuşlarına en uygun ekibin planlanabilmesi için klasik yöntemler ile yapılan çizelgeleme yetersiz kalabilmektedir. Bu bakımdan, endüstride ve diğer gelişen alanlarda kendini ispatlamış metasezgisel tekniklerden yararlanabileceği öngörülmüş ve söz konusu tekniklerin AWACS ekip çizelgeleme sürecine olumlu katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

1.3. Tezin Önemi

Modern optimizasyon tekniklerinin ekip çizelgeleme alanında kullanımına ilişkin literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır. Fabrika işçileri, zincir restoran çalışanları, hemşire vardiya çizelgelemeleri, okulların haftalık ders programları gibi başlıca çizelgeleme problemlerine yönelik çözüm yaklaşımları ön plana çıkmaktadır.

Havacılık alanında en fazla üzerinde çalışılan konu ise ticari havayolu şirketlerinde pilotların ve uçuş ekibinin çizelgelenmesidir. Askeri alanda yapılan çalışmalar çok kısıtlı olmakla beraber askerlerin çeşitli görevlere atanmasını işleyen bazı çalışmalar bulunmaktadır.

AWACS uçuş ve görev ekibinin çizelgeleme problemi için daha önce hiç çalışma yapılmamış olması bu tez için temel motivasyon kaynağını oluşturmuştur. Bu bakımdan literatürde ilk olarak AWACS görev ekibi için çizelgeleme problemine bir çözüm yaklaşımı sunmak üzere çalışma yapılmıştır.

1.4. Tezin Organizasyonu

Tez, temel olarak beş bölümden oluşmuştur. Giriş bölümü olan birinci bölümde AWACS uçakları ve görev ekibine dair genel bir bilgilendirme yapılmış ve çizelgeleme problemini oluşturan temel öğeler sunulmuştur.

İkinci bölümde ekip çizelgeleme ve ekip çizelgelemede kullanılan metotlara ilişkin kapsamlı bir kaynak araştırması yapılmış ve literatürde yer alan başlıca çalışmalar listelenmiştir. Kaynak araştırmasını takip eden "Materyal ve Metot" bölümünde, Genetik Algoritmalar hakkında detaylı bilgi verilerek, örnek problemler üzerinde çözümler sunulmuş ve klasik yöntemlere göre üstün yönleri irdelenmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde AWACS ekip çizelgeleme problemi matematiksel olarak tanımlanmış ve problemin çözümü için gerekli giriş parametreleri genetik algoritmalara uyarlanmıştır. Bu noktadan hareketle yapay bir deney ortamı hazırlanmış, jenerik bir AWACS filosunda sıklıkla icra edilen görevleri içeren uçuş çizelgesi üzerinden ekip atama işlemleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Deneyler C# ile yazılan görsel bir yazılım üzerinden gerçekleştirilmiş, deney sonuçları ve kıyaslamalı performans çizelgeleri bu yazılım üzerinden kayıt altına alınarak tez içerisinde sunulmuştur. Beşinci ve son bölümde sonuçlar değerlendirilerek çözüm yöntemi ve kullanılan parametrelere ilişkin çıkarımlar yapılmış, elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

Deneylerde, GAMS, Matlab vb. gibi ticari bir Genetik Algoritma seti kullanılmamıştır. Bunun yerine, deney seti olarak tamamen özgün ve milli AWACS Ekip planlama yazılımının temel taşlarından "Ekip Çizelgeleme Modülü" ve "Eğitim Gereksinimleri Modülü" hazırlanmış ve uluslararası standartlarda proje takibini esas alan yaklaşımla paket program olarak çıktı oluşturulması için başlangıç adımı oluşturulmuştur.

Bu kapsamda, hazırlanan yazılımın sanayi-üniversite işbirliği alanında da kullanabileceği öngörülmekte ve endüstriyel katma değere sahip olacağı değerlendirilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Genetik Algoritmalar ve çizelgeleme üzerine literatürde birçok çalışma mevcuttur. Çizelgeleme problemleri günlük hayatta sıklıkla karşılaşılan ve klasik yöntemlerle çözümü oldukça zor ve zaman alan problemlerdir. Zincir restoran çalışanlarından, hastanelerdeki hemşire vardiya programlarına, okullardaki ders çizelgelerinden fabrikalardaki üretim hattı planlamalarına kadar birçok alanda çözüme yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar kategoriler halinde aşağıda sunulmuştur.

2.1. Havayolu Şirketlerinde Uçuş Ekip Çizelgeleme

Havacılık alanında en çok üzerinde çalışılan konu havayolu şirketlerinde pilotların ve uçuş mürettebatının eşleştirilmesi ve uygun uçuşlara atanması problemidir. Bu konuda yapılan başlıca çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Çetin (2008), doktora tezinde ticari havayolu şirketlerinin uçuş ekip planlamasında genetik algoritmalar yöntemini kullanmıştır. Uçuş ekip eşleştirme ve ekip atama problemleri için oluşturduğu yapıyı Matlab Genetik Algoritmalar aracı ile çözüme uygulamış ve sonuçta genetik algoritmaların klasik yöntemlerle yapılan çizelgelemeye kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Holm (2008), İskandinav Havayollarında (SAS) ekip planlamadan kaynaklı maliyetleri en aza indirgemek amacıyla matematiksel modeller oluşturmuş ve optimizasyon teknikleri kullanarak pratikte uygulanabilir olumlu sonuçlara ulaşmıştır. SAS'ın oldukça detaylı planlama kriterleri içinden, pilotların ve uçuş ekibinin yıllık izinleri, görevde yükselme durumları, uçak tipine göre eğitim ihtiyaçlarının hepsini birden esas alarak minimum maliyete ulaşmada analitik yöntemlerden faydalandığı görülmüştür.

Özdemir (2004), uçuş ekip çizelgelemede doğrusal programlama yöntemlerinden faydalanmış ve maliyetlerin azaltılması için çeşitli matematiksel çözümler öne sürmüştür.

Zeren (2008), çalışmasında ekip rotasyon optimizasyonu konusunda var olan bazı çalışmaları incelemiş ve özellikle çok merkezli çözüm ile genetik algoritmanın daha da sağlam ve efektif çalışması konusunda geliştirmeler yapmıştır. Yapılan iyileştirme ile genetik algoritmanın çok daha sağlam (robust) çalışmasını sağlamış ve yakınsama hızını yükseltmiştir.

Kornilakis ve Stamatopoulos (2002), Olympic Havayollarında ekip eşleştirme ve ekip atama için genetik algoritmalar yönteminden faydalanmışlar ve maliyetlerin azaltılmasında oldukça başarılı olmuşlardır.

Deng ve Lin (2011), Ticari Havayollarının ekip çizelgeleme problemi için Karınca Kolonisi Optimizasyonunu uygulamışlar ve Gezgin Satıcı Problemine benzer bir matematiksel model ile çözüme gitmişler ve sonucu genetik algoritmalar ile kıyaslamışlardır.

Guo ve ark. (2005), Havayolu Ekip kurtarma problemi için genetik algoritmalar yöntemini kullanmış, "yerel iyileştirme" olarak adlandırdığı metot ile klasik GA yaklaşımlarından daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Maenhout ve Vanhoucke (2010) havacılık endüstrisi için maliyetleri azaltmanın yanında çizelgenin sosyal açıdan kalitesini de esas alan çok amaçlı bir dağınık arama yaklaşımı benimsemişlerdir. Çalışmalarında metasezgisel yöntemler yerine dal-fiyat gibi analitik arama algoritmalarından faydalanmışlardır.

Souai ve Teghem (2009), birleştirilmiş havayolu ekip çizelgelemesi için genetik algoritmalarla beraber yerel arama algoritmalarını birleştiren hibrid bir yaklaşımı esas almışlardır.

Azadeh ve ark. (2013), havayolu ekip çizelgeleme probleminin çözümü için karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) ve genetik algoritmaları birleştiren hibrit bir çözüm sunmuşlar ve diğer algoritmalardan üstün olduğunu savunmuşlardır.

Duran (2012), yüksek lisans tezinde havayolu çizelgelemede uçuş blok zamanlarını seyir süresi ve seyir dışı süre olarak ikiye ayırarak incelemiş seyir zamanlarını kontrol edilebilir karar değişkenleri, seyir dışı süreleri ise rassal değişkenler olarak almıştır. Doğrusal olmayan maliyet fonksiyonları ve şans kısıtlarını ikinci dereceden konik eşitsizlikler ile ifade ederek en iyi çözümleri hızlı elde edebilmiştir.

Korkmaz (2013), uçuş çizelgesindeki tüm uçuşları kapsayan ve en düşük maliyete sahip ekip eşlemeleri kümesini seçmeyi amaçlayan ekip eşleme problemi çözmeye çalışmış, problemi çözmek için Süpürme Algoritması tabanlı karma bir sezgisel algoritma geliştirmiştir.

Özdemir (2004), çalışmasında uçuş dizisi bulma probleminin matematiksel ifade ediliş seklini açıklamış ve tamsayı programlama problemi şeklinde ifade edilen problemdeki karmaşıklığı azaltmak için doğrusal programlama modeline çevirmiştir. Yaptığı deneylerde Carmen algoritmasının çok hızlı fakat kötü sonuç verdiğini belirterek hibrid bir çözüm önerisi sunmuştur.

Zeybekcan (2005), değişik yardımcı problemleri kullanarak sütun üretme algoritmalarını test problemlerine uygulamış, problemi Onur Air ve Türk Hava Yolları için ayrı ayrı çözmüştür.

Levine (1996), havayolu ekip çizelgeleme probleminin çözümü için hibrid bir genetik algoritma modeli sunmuş ve bu modeli 40 adet gerçek-dünya problemi üzerinde uygulamıştır. Problemlerin yarısında optimum sonuca ulaşmış, 9'unda ise iyi sonuçlar üretebilmiştir. Sonuçları dal kesme ve dal-sınır metotlarıyla karşılaştırmıştır.

Kerati ve ark. (2002), küresel ekip çizelgeleme ve listeleme için multi-kromozom modelini esas alan ve çeşitli uygunluk fonksiyonlara sahip bir genetik algoritma modeli üzerinde çalışmışlardır.

Rachakonda (2009), pilot memnuniyeti ve şirket ekonomisini dengede tutacak bir formül üzerinde genetik algoritmaları uygulamış ve rastlantısal anahtarlar ve yerel arama yöntemlerini ortaya koymuş, elde edilen sonuçları CPLEX dal sınır uygulamalarıyla karşılaştırmıştır.

2.2. Demiryolu Çalışanları için Ekip Çizelgeleme

Havayolu şirketlerine benzer şekilde demiryolu çalışanları için de ekip çizelgeleme önemli bir yere sahiptir. Özellikle yoğun seferler yapan demiryolu şirketleri için ekip maliyetlerinin düşürülmesinde etkin bir personel yönetimi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış ve bu çalışmaların bazılarında sezgisel yöntemlerden faydalanılmıştır.

Caprara ve ark. (1997), demiryolu ekip çizelgeleme ve planlama aşmalarını ayrı ayrı ele alarak çeşitli algoritmalarla çözüm seçenekleri sunmuşlardır. Çözüm seçenekleri İtalya'nın büyük demiryolu şirketlerinden Ferrovio dello Stato SpA için uygulanmış ve benimsenmiştir.

Yüceoğlu (2009), Türkiye Devlet Demiryollarında taktik seviyede ekip planlama problemini çözmek için "ardışık" ve "tümleşik" yaklaşım olarak iki çözüm geliştirmiş ve aç gözlü yöre arama algoritmasıyla çizelgeleme elde etmiştir.

Huisman (2007), demiryolu ekibinin yeniden çizelgelemesinde sütun türetme tabanlı bir algoritmayı Hollanda demiryollarında uygulamış ve önerilen çözümün faydalarını ortaya koymuştur.

Üstündağ (2010) çalışmasında ekip çizelgeleme probleminin çözümünde sütun oluşturma algoritmasına ek olarak ekip atama için rassal atama yöntemini kullanmıştır.

2.3. Hastane Çalışanları için Çizelgeleme

Hastanede çalışan doktor ve hemşirelerin nöbet ve vardiya programları NP-zor problemler sınıfına girer ve gelişmiş algoritmalar için önemli bir çalışma alanı olma niteliği taşır. Bu konuda yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Atmaca ve ark. (2012), hemşire çizelgeleme probleminin çözümü için 0-1 hedef programlama temelli bir çözüm önererek gerçek bir hastanede uygulamışlar ve manuel yöntemlerle kıyaslamışlardır.

Çivril (2009), yüksek lisans tezinde çift vardiya çalışan hastaneler için hemşire çizelgeleme problemini genetik algoritmalar yöntemini kullanarak çözmüştür.

Aickelin ve Dowsland (2004), hemşire çizelgeleme problemi için bir "dolaylı" genetik algoritma metodu ortaya atmış ve İngiltere'deki büyük hastanelerden birinde uygulamıştır. Dolaylı çözüm yaklaşımında hemşirelerin farklı olarak çizelgelenebileceği her bir permütasyon için sezgisel bir yorumlayıcı tanımlamış ve çok bilinin dört farklı çaprazlama operatörüne ilave olarak hibrid bir çaprazlama operatörü ile çözüm uzayını daraltmayı başarmıştır.

İlkuçar (2012) doktora tezinde sağlık bakanlığı bünyesinde çalışan belirli branşlardaki hekimlerin, hizmet puanı, kıdem ve tercihlerine göre, bakanlığa bağlı sağlık kurumlarının mevcut personel durumu ve ihtiyaçları da göz önüne alınarak kurumlara rotasyon işleminin optimizasyonunu yapmıştır. Problemde çözüm yöntemi olarak genetik algoritma kullanılmış ve kromozom seçme işlemi bilgisayar yardımı ile yapılarak monotonluk önlenmiştir.

Kelemci (2007), çalışmasında hemşire nöbet çizelgelerini, bölümler arasında hemşire transferini de sağlayacak şekilde genetik algoritmalar kullanarak hazırlayabilecek çözümler üzerinde durmuş, söz konusu çözümler diğer algoritmalar ile kıyaslamıştır.

Rosenberger ve ark. (2004) hemşire çizelgeleme ve hemşirelere hasta atamasında, çeşitli senaryolar üzerinde sezgisel ve tamsayılı programlama çözümlerini kıyaslamışlardır.

Yeh ve Lin (2007) bir hastanenin acil departmanında kaliteyi yükseltebilmek için hemşire çizelgelerini simülasyon tekniği ve genetik algoritmalar yöntemiyle hazırlayan bir çözüm yaklaşımı öne sürmüşlerdir. Uygulama sonucunda optimuma en yakın çözümlere ulaşarak hasta bekleme süresini kısaltmışlar ve ilave hemşire ihtiyacını en aza indirgemişlerdir.

2.4. Ders ve Sınav Programlarının Hazırlanmasında Çizelgeleme Problemi

Okulların ders programları oldukça karmaşık kriterlerin bir arada bulunduğu ve çözülmesi zor çizelgeleme problemlerinden birini teşkil eder. Derslerin dağıtımı, sınıfların belirlenmesi ve öğretmenlerin, istekleri de göz önüne alınarak program içinde yerleşimi üssel artan bir çözüm uzayı ile klasik yöntemlerle uzun sürecek bir döngü gerektirir. Problemin kısa zamanda, optimuma yakın çözümü için genellikle genetik algoritmalar gibi sezgisel yöntemlerden faydalanılmaktadır. Aşağıda ders ve sınav programlarının çözümünde yapılan çalışmalardan bazıları sıralanmıştır.

Abidin (2013) doktora tezinde kural tabanlı bir genetik algoritma kullanarak eğitim planı hazırlama problemine bir çözüm yöntemi ortaya koymuştur.

Arogundade ve ark. (2010) üniversitelerin sınav haftalarında, özellikle sınav salonu planlanması ve sınav programlarının uygun şekilde çizelgelenmesi için genetik algoritma tabanlı bir çözüm yaklaşımı sunmuşlar, kullanılan kısıtları hazırladıkları bilgisayar programı ile hiyerarşik bir düzende ele almışlardır. Böylelikle optimum veya optimuma yakın sonuçlara kısa sürede ulaşabilmişlerdir.

Aydın (2008), yüksek lisans tezinde üniversite ders programlarının hazırlanmasında genetik algoritmaları kullanmış ve kati kısıtların ihlaline izin vermeyen genetik operatörler yardımıyla çok daha kısa sürede uygun çözümlere ulaşmıştır.

Bayata (2012) ders çizelgeleme probleminin çözümünde genetik algoritmalara uygulanan farklı parametrelerin çözüm süresini ne kadar etkilediğine ilişkin bir takım deneyler yapmış ve bu parametrelerin ayarlanması suretiyle çözüm performansının 12 kata kadar artırılabileceğini göstermiştir.

Elen ve Çayıroğlu (2010) üniversite ders programının çizelgelemesinde sezgisel optimizasyon tekniklerinden faydalanarak hazırladıkları program sayesinde gerçek verilerle kıyaslamışlardır.

Glibovets (2003) çalışmasında Genetik Algoritmaların çalışma prensibini özetleyerek üniversite ders çizelgeleri için yapılan bir uygulamada yakınsama oranı ve çözüm kalitesini incelemiştir.

Gülcü (2006) eğitim kurumlarının ders programlarının hazırlanmasında genetik algoritma ve tabu arama yöntemlerini ayrı ayrı kullanarak bu yöntemleri çözümün kalitesi, araştırmanın izlediği seyir ve çözüm bulmanın maliyeti açısından incelemiş ve değerlendirmeye almıştır.

Ulak (2010) üniversite ders programlarının çizelgelenmesinde çok amaçlı genetik algoritmaları kullanmış ve popüler algoritmalardan MOGA yönteminin manuel usullere göre üstünlüklerini irdelemiştir.

Wijaya ve Manurung (2009) genetik algoritmaları kısıt memnuniyeti ile modelleyerek ders çizelgeleri için bir çözüm yaklaşımı sunmuş, çalışmada dört farklı kromozom yapısı ile optimum çözümleri aramış, kromozom yapısının sonuca etkisini irdelemiştir.

Sutar ve Bichkar (2012) katı kısıtlara dayalı bir genetik algoritma modeli sunarak üniversite ders programlarının hazırlanması için uygun çözümler üretmeye çalışmışlardır.

Colorni ve ark. (1998) ders programlarının çizelgelenmesinde metasezgisel yöntemlerden tabu arama, tavlama benzetimi ve genetik algoritmaları karşılaştırmak suretiyle çözüm yöntemlerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Her ne kadar tabu arama algoritması daha yüksek hızlı sonuçlar verse de genetik algoritmaların kullanıcıya birden fazla çözüm önerisi sunması sayesinde pratikte daha kullanışlı olduğunu göstermiştir.

Gerşil ve Palamutçuoğlu (2013) ders çizelgelemede melez genetik algoritmalar yöntemini kullanmış ve yaptıkları deneylerle en uygun paremetreleri çeşitli tekniklerle uygulamak suretiyle çözümü optimize etmişlerdir.

2.5. Atölye ve Akış Tipi Üretim Çizelgeleme Üzerine Çalışmalar

Personel çizelgelemede, kullanılan teçhizat ve makine gibi dış etkenlerin veya çizelgelenmesi gereken işlerin bütün halinde programlanması modern algoritmaların ilgi alanlarından biridir. Diğer çizelgeleme problemlerinden daha karmaşık olması ve özellikle maliyet kalemlerine yaptığı etki sebebiyle bu tip problemlerde genetik algoritmalar gibi sezgisel yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Salido ve ark. (2016) çeşitli konfigürasyona sahip makineler üzerinde çalışan işçilerin belirli işlere atanmasında genetik algoritma temelli bir çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Bazı makinelerin gün içinde farklı hızlarda çalışması ve çeşitli işlem zamanlarına sahip olması sebebiyle bu probleme uygun bir genetik algoritma modeli geliştirmişler ve yaptıkları deneylerle enerji ve iş gücü tasarrufu sağlamayı hedeflemişlerdir.

Bektur ve Hasgül (2013) yaptıkları çalışmada, çalışanların yetenekleri, tecrübeleri, kişisel istekleri ve problem kısıtları baz alınarak hedef programlama temelli bir atama gerçekleştirmişlerdir.

Chen ve ark. (2012) paralel makinelerle esnek atölye çizelgeleme probleminin çözümünde genetik algoritma ve grup genetik algoritma temelli bir çözüm önerisi sunmuşlardır. Çalışma sonucunda genetik algoritmaların performans olarak klasik yöntemlere kıyasla daha üstün olduğunu göstermişlerdir.

Kaya (2006) operasyonel sabit iş çizelgelemede genetik algoritmalar ile çözüm kalitesinin iyileştirilmesine yönelik bir uygulama yapmıştır.

Öncüer (2012) yüksek lisans tezinde çevrimsel iş gücü çizelgeleme problemi için metasezgisel yöntemler kullanılarak kısa zamanda iyi çözümlerin elde edilebilmesini amaçlamış, çalışma kapsamında, genetik algoritma ve tavlama benzetimi metasezgisel yöntemleri kullanılarak ele alınan problem için farklı algoritmalar denemiştir.

Gölcük ve ark. (2014) atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için sürü temelli bir metasezgisel algoritma olan kril sürüsü algoritmasını kullanmışlardır.

Dilaver (2015) yüksek lisans tezinde, atölye çizelgeleme problemlerinde, siparişlerin en kısa sürede tamamlanması için Genetik Algoritmaları kullanan üç farklı çalışma incelemiş, bu üç çalışmayı GA'nın farklı metotları ile çözümlemiştir. Çalışmalarda GA ile elde edilen sonuçların ve klasik yöntemlerle olan kıyaslamaları inceleyerek birbirleri arasındaki ortak yönleri ve farklılıkları değerlendirmiştir.

Paksoy ve Uzun (2008) proje çizelgelemede genetik algoritma çözümü kullanmış, kaynak kısıtlarını algoritmada kullanarak problemlerin faaliyet sayısı, basit veya karmaşık olması gibi özelliklerin çözüm üzerindeki etkilerini incelemiştir.

Özleyen (2011) kısıtlı kaynaklı iş programlaması problemi faaliyetlerin öncelik sırasını ve kaynak kısıtlarını dikkate alarak mümkün olan minimum proje süresini bulmayı amaçlayan geliştirilmiş bir genetik algoritma modeli üzerinde çalışma yapmıştır.

Körez (2005) sıralı akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için 10 farklı iş-makine kombinasyonu üzerine yapılan uygulamada, genetik algoritmalar ile Smith Panwalkar Dudek algoritmasını ve tavlama benzetimini kıyaslamıştır.

Engin (2001) doktora tezinde akış tipi çizelgeleme problemleri için Genetik Algoritma kullanarak çözüm kalitesinin iyileştirilmesine yönelik bir çalışma yapmış,

çözümü etkileyen paremetreleri optimize etmek suretiyle en iyi çözümleri bulmayı hedeflemiştir.

Aydemir (2009) üretim sistemlerinde müşteri siparişlerinin tamamlanması için atölye tipi çizelgeleme problemlerinde öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma (GA) yaklaşımıyla iş akışı planında yer alan işlemlerin, simülasyon destekli olarak toplam tamamlanma zamanını ya da en son işin sistemi terk etme zamanını minimize etmeye çalışan bir yazılım geliştirmiştir.

2.6. Askeri Alanda Yapılan Çizelge Çalışmaları

Askeri doktrinlerde maliyetleri düşürmenin yanında yüksek görev başarısı ve her daim harbe hazır olma hedeflenir. Silahlı Kuvvetlerin çeşitli alanlarında çizelgeleme problemi önemli bir yer tutar. Personel ve işgücü çizelgelemesinden nöbet hizmetlerine, uçak ve teçhizat bakımlarından lojistik işlerine kadar birçok görevde çizelgeleme için kullanılan manuel yöntemler yerini bilgisayar destekli çözümlere ve modern algoritmalara bırakmıştır. Bu konuda yapılan başlıca çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Kleeman ve Lamont (2005) Amerikan Hava Kuvvetlerinde uçak motorlarının bakım çizelgelerinin hazırlanmasında çok amaçlı optimizasyon algoritmalarını kullanan bir çözüm yaklaşımı sunmuştur.

Younas ve ark. (2013) İsveç ordusunda, bir tugaydaki askerlerin çeşitli eğitim ve görevlere atanmasında çok amaçlı optimizasyon algoritmalarını kullanmıştır. Çalışmada modern algoritmalardan NSGA-II kullanılmış ve çeşitli parametrelerle optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

Güneş ve ark. (2005) askeri nöbet çizelgelerini ilgili kanun ve yönergelere uygun olarak hazırlayan bir yazılımı genetik algoritmalar kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Rana-Stevens ve ark. (2000) Amerikan Hava Kuvvetlerinde ekip çizelgeleme için genetik algoritma temelli ACS (Air Crew Simulation) adı verilen yazılımı geliştirmişlerdir.

Pakkan ve Ermiş (2010) İnsansız Hava Araçlarının, verilen hedeflere yönlendirilmesinde, offline görev planlamasının daha verimli hale getirilebilmesi için Genetik Algoritma kullanan bir çözüm yaklaşımı sunmuşlardır.

Montana ve ark. (1999) depolardan limana taşınan askeri teçhizatın en düşük maliyetle planlanması için genetik algoritma tabanlı bir uygulama geliştirmişlerdir.

Yukarıda sayılan çalışmalara ilave olarak, özellikle Hava Kuvvetlerindeki savaş uçağı filolarında çizelgelemeye yönelik olarak yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Aslan (2003) Amerikan Hava Kuvvetleri Teknoloji Enstitüsündeki (AFIT) yüksek lisans tezinde Türk Hava Kuvvetleri F-16 eğitim filosunun günlük uçuş programlarının hazırlanmasında karar destek sistemi üzerine çalışma yapmış, çalışmasında sezgisel yöntemlerden faydalanarak iterasyon temelli ve nesne tabanlı bir çözüm yaklaşımı sunmuştur.

Dyer (1991) Amerikan Hava Kuvvetleri A-10 filosunda uçucuların çizelgeye atanmasında görsel programlama ve veritabanı destekli sezgisel bir algoritma kullanmış, günlük ve haftalık çizelgeleri yaptığı otomasyon ile kullanıcı dostu bir ekran üzerinden kolaylaştırmayı hedeflemiştir.

Evans (2015) son yıllarda yaşanan bütçe kesintileri paralelinde ABD Özel Kuvvetleri MC-130 uçakları için, uçucuların harbe hazırlık seviyesini yüksek seviyede tutmak ve eğitimlerden maksimum kazanımları elde etmek için tasarruf temelli bir yaklaşımla tamsayılı doğrusal programlama modelini esas alan bir çözüm yöntemi sunmuştur.

Gökçen (2008) savaş uçağı filolarında yapılan günlük ve haftalık çizelgelerin hazırlanmasının ardından uçucu mazeretleri sebebiyle gerçekleştirilemeyen görevler için programda yapılacak değişiklikleri kısa sürede çözümleyebilmek amacıyla geniş bir literatür taraması gerçekleştirmiş ve söz konusu problemin çözümü ve etkin bir yeniden çizelgeleme için analitik yöntemlerden faydalanmıştır.

Durkan (2011) AFIT'teki yüksek lisans tezinde savaş uçağı filolarında ekip çizelgelemeyi Yöneylem Araştırmasındaki bir atama problemi olarak ele almış, insan-makine ilişkisini, pilot-görev ilişkisi ile özdeşleştirerek, filo çizelgeleme problemi için değer odaklı düşünme metodunu uygulamıştır. Böylelikle karar vericilerin en iyi çözümü seçebilmesi için analitik bir karar destek algoritması sunmuştur.

Erdemir (2014) savaş uçağı filolarında çizelgeleme için Açgözlü Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü (GRASP – *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) kullanmış ve hazırladığı görsel arayüzle çizelgeleme sorumluları için çizelgelemeyi kolaylaştırıcı karar destek otomasyonu hazırlamıştır.

Yavuz (2010) AFIT'teki Yüksek Lisans Tezinde Türk Hava Kuvvetlerindeki F-16 filolarında haftalık çizelgelerin hazırlanması için GRASP yöntemini kullanmış ve çizelgeleme sürecini hızlandırmayı hedeflemiştir. Bu kapsamda, algoritmanın çizelgeyi etkileyen harekât ihtiyaçları, mecburi istirahat süresi vb. gibi uçucu kısıtları ve yönerge kısıtlarını ele almış, hazırladığı MATLAB programı ile örnek bir haftalık program üzerinden sonuçları incelemiştir.

Vestli (2015) çalışmasında savaş uçağı filolarında pilotların Harbe Hazırlığın Devamı Eğitimlerinde azami süreler içerisine görevlerini tazeleyebilmelerini sağlayacak çizelgelerin oluşturulması için Sütun Türetme yöntemini kullanmıştır.

Kawakami (1990) Japonya ve ABD Hava Kuvvetlerine ait savaş uçağı filolarında pilotların uçuşlara atanması için tamsayı programlama temelli bir algoritma kullanmış, jenerik olarak oluşturulan programda 19 pilot, 477 kısıt ve 129 değişkenli bir problem için oldukça kısa sürede çözüme ulaşabilmiştir.

Nguyen (2002) yüksek lisans tezinde savaş uçağı eğitim filolarında öğrencilerin uçuşlara atanması için görsel etkileşimli bir modelleme yaklaşımı sunmuş, programda olası aksamalar için ilave tedbirler ile optimum çizelgenin elde edilmesini hedeflemiştir.

Newlon (2007) savaş uçağı eğitim filolarında etkin bir çizelgeleme için matematiksel programlama temelli bir algoritma kullanmış, programda her bir girdi için ikili kod değişkenlerin oluşturduğu tamsayı çözümlerini değerlendirmiştir.

Van Brabant (1993) yüksek lisans tezinde Amerikan Deniz Kuvvetlerindeki operasyonel savaş uçağı filolarında uçuş programlarının hazırlanması için tamsayı programlama temelli bir çözüm yaklaşımı sunmuş, böylelikle uçucuların harbe hazırlık seviyesini yükseltmeyi hedeflemiştir.

Shirley Jr. (1994) çalışmasında Amerika Birleşik Devletleri Kıtalararası Balistik Füze Bataryası Ekip Çizelgeleme Problemini çözmek için kural tabanlı sezgisellerden faydalanmış, kullandığı algoritma ile kısa sürede optimuma yakın çizelgeleri elde etmiştir.

O'Connor (1991) yüksek lisans tezinde savaş uçağı filolarında görev başarısı ve yüksek motivasyon için iyi bir çizelgeleme faaliyetinin gerekliliğine vurgu yaparak programın hazırlanmasında çizelgeme sorumlularına yardımcı olacak bir otomasyon programı hazırlamıştır.

Brown (1995) ABD Deniz Piyadelerinin Savaş Uçağı Filolarında ekip çizelgeleme problemi için eğitim gereksinimleri ve görev dağıtımında eşitlik ilkesini esas alan bir yaklaşımla karışık tamsayılı programlama yöntemini kullanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Optimizasyon, gerçek dünya problemlerine en uygun çözümlerin aranması veya çözüm sürecinin sürekli olarak iyileştirilmesi olarak adlandırılabilir.

Optimizasyonda amaç her zaman en iyi çözümün bulunması değil, en uygun veya kabul edilebilir çözüm veya çözüm kümesinin bulunmasıdır. Bazı problemlerin çözümü en gelişmiş bilgisayarlarda bile çok uzun zaman alabilmektedir. Bu durumda, günlerce ve haftalarca en iyi çözüme ulaşmak yerine, daha kısa sürede optimal çözüm kümesini elde etmek ve ortaya çıkan seçenekleri kullanıcıya sunmak daha iyi bir yaklaşım olacaktır.

Optimizasyonda temel olarak bir amaç fonksiyonu (*objective function*), giriş parametreleri ve bu fonksiyonu etkileyen kısıtlar *(constraints)* bulunur. Hedef genellikle amaç fonksiyonunun, belirtilen kısıtlar çerçevesinde maksimize veya minimize edilmesidir. Amaç fonksiyonunun bir tane olması halinde tek amaçlı optimizasyon (*single-objective*) birden fazla olması halinde ise çok amaçlı optimizasyon (*multi-objective*) olarak adlandırılır (Sağ, 2008).

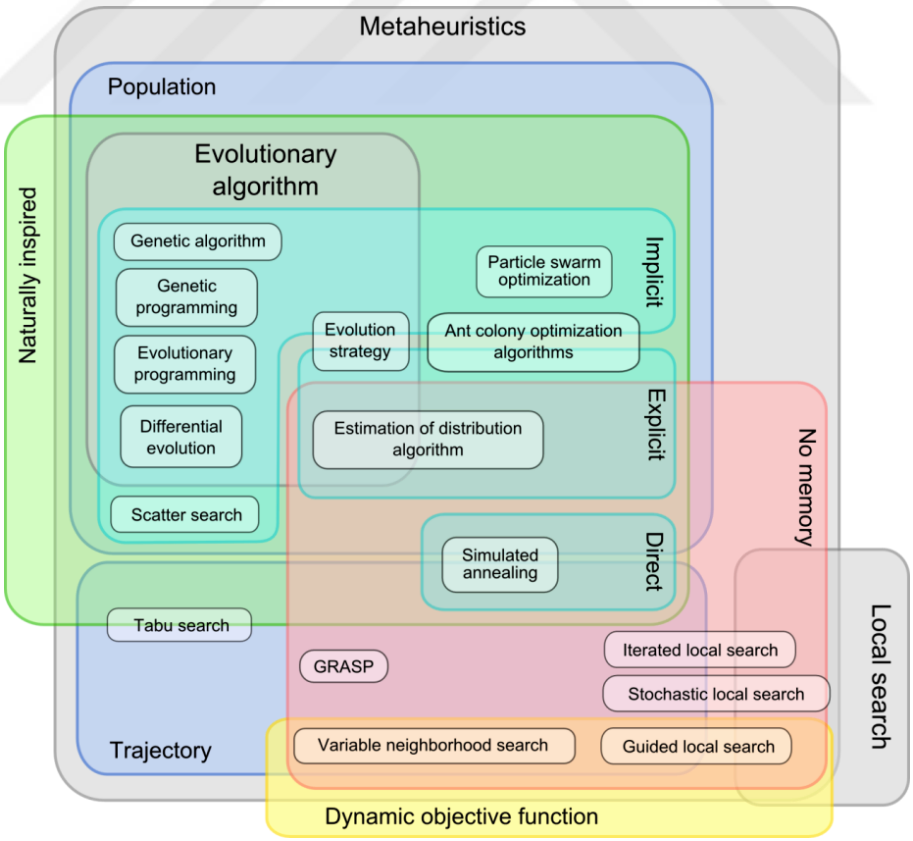
Problemde yalnız bir çözüm olmayabilir. Bu durumda olası çözümler arasından optimum olanı bulmak gerekir. Dolayısıyla “en iyi” çözüm tanımlaması izafi bir olgu olarak karşımıza çıkar. Optimum çözüm ise problemi ortaya koyan kişiye bağlıdır. Bir takım problemlerde tam cevap bulunabilirken, bir kısmında ise problem grafiğinde optimum noktalar birden fazla olabilir. Bu problemlerde çözümler izafi bir şekilde ortaya çıkabilir. (Çunkaş, 2006).

Optimizasyon problemlerinin çözümünde ilk olarak analitik yöntemler ortaya konulmuş ve bu yöntemler özellikle Yöneylem Araştırması (*Operations Research*) olarak adlandırılan disiplinin temellerini oluşturmuştur. Kantorovich (1939) ve Van Dantzig (1947) Doğrusal Programlama modelleri ile bu alanda öncü bilim adamları olmuşlardır. Analitik yöntemlerde tamsayılı programlama, 0-1 tamsayılı programlama, karma tamsayılı programlama, simpleks algoritması, grafik çözüm, dal-sınır algoritması, dal-kesme ve dal fiyat algoritmaları ile sütun türetme algoritmaları popüler çözüm yöntemleri arasındadır.

Problem uzayının genişlemesi ve gerçek dünya problemlerinde analitik yöntemlerin yavaş kalması sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Gezgin Satıcı Problemi (GSP) ve Sırt Çantası (Knapsack) problemleri gibi NP-Zor problemler analitik yöntemlerle çözülemeyecek kadar uzun zaman alabilmektedir. Bu tip problemleri daha kısa sürede çözebilmek için sezgisel ve metasezgisel yöntemler (*metaheuristics*) kullanılmaya başlanmıştır. Sezgisel yöntemler yalnızca bir problem için geliştirilen algoritmalar iken metasezgiseller ise *sezgisel-ötesi*, bir başka deyişle birçok problemi kapsayan çözüm yöntemleridir.

Metasezgisel yöntemlerde doğadan ilham alan evrimsel algoritmalar ön plana çıkmaktadır. Genetik algoritmalar, çok amaçlı optimizasyon algoritmaları gibi teknikler canlıların doğadaki üreme ve yeni nesiller ile türün iyileştirilmesi prensibini kullanır. Ayrıca, canlı organizmalar tarafından kullanılan karınca kolonisi optimizasyonu, arı algoritmaları, parçacık sürüsü optimizasyonu gibi teknikler de bazı problemlerin çözümü için ortaya atılmıştır. Gelişmiş arama algoritmalarından türeyen tabu arama, tavlama benzetimi, VNS, GRASP gibi teknikler de metasezgisel yöntemleri kullanan gelişmiş algoritmalardır. Metasezgisel yöntemlerin genel sınıflandırması Şekil 3.1'de detaylı olarak verilmiştir (Dréo ve ark., 2006).



Şekil 3.1. Metasezgisel Yöntemlerin Sınıflandırılması (Dréo ve ark., 2006)

Optimizasyon teknikleri birçok gerçek dünya problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Söz konusu tekniklerin bilgisayar yardımı ile programlanması neticesinde bu problemler pratikte kapsamlı uygulama alanı bulmaktadır.

3.1. Ekip Çizelgeleme Problemi ve Öne Çıkan Yöntemler

Çizelgeleme (*scheduling*), hayatın her alanında karşımıza çıkan, insan ve makine gibi birden fazla unsurun bir arada bulunduğu çalışma alanlarının vazgeçilmez bir programlama sürecidir. (Gölcük ve ark., 2014).

İşgücü veya ekip çizelgeleme ise personele uygun çalışma çizelgelerinin oluşturulması olarak tanımlanabilir. Organizasyonların birbirinden farklı çalışma kurallarından ötürü modeller ve çözüm teknikleri birbirinden farklı olmaktadır (Topaloğlu, 2009).

Ekip çizelgeleme NP-Complete ve NP-Hard problemler sınıfına girdiği için çoğunlukla sezgisel yöntemlerden faydalanılmaktadır. Genetik algoritmalar ile çizelgeleme problemlerinin birlikte kullanımı ilk olarak 1985 yılında Davis (1985) tarafından yapılmıştır. Belirlenmiş dağıtım tarihleri ve işlem zamanları olan süreçlerin çizelgelenmesi, akış zamanını asgariye indirmeyi hedefleyen bir makineli model, paralel makine modelleri, iş atölye çizelgeleme problemi, akış atölyesi problemleri, süreç planlama problemi gibi çalışmalar yapılmıştır. Çizelgeleme problemlerinde genetik algoritmalar neredeyse optimuma yakın bir çözüme, diğer yöntemlere göre hızlı bir şekilde ulaşmıştır (Dilaver, 2015).

Genetik algoritma, atama, çizelgeleme, kavrama, tasarlama, hücre bazlı üretim gibi alanlarda iyi sonuçlar veren uygulamalarda kullanılmıştır. Özellikle son yıllarda, genetik algoritmalar bilim, ticaret ve mühendislikte çeşitli problemlerde arama ve optimizasyon algoritması olarak çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun asıl nedeni, kolay uygulanabilir ve genel kabul görmüş olmasıdır. Genetik algoritma ile yapılmış farklı çalışmalar (Mitchell, 1998)'in çalışmalarında ele alınmıştır (İlkuçar, 2012).

Bu çalışmada da AWACS uçaklarında ekip çizelgeleme için metasezgisel yöntemlerden Genetik Algoritmalar metodu kullanılmıştır.

3.2. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, doğal yaşam sürecini modelleyerek fonksiyonları en iyi hale getirmeyi hedefleyen algoritmalardır. Genetik Algoritma parametreleri, kromozomların genlerini temsil ederken, parametrelerin tümü de kromozomu oluşturur. Genetik Algoritmaların her bir nesli kromozom (birey) şeklinde temsil edilen popülasyonlardan oluşur. Popülasyonun uygunluğu (*fitness*), belirli kısıtlar doğrultusunda maksimize veya minimize edilmeye çalışılır. Her yeni jenerasyon, seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi süreçlerden geçerek nesli iyileştirmeye doğru ilerler. (Angeline, 1995)

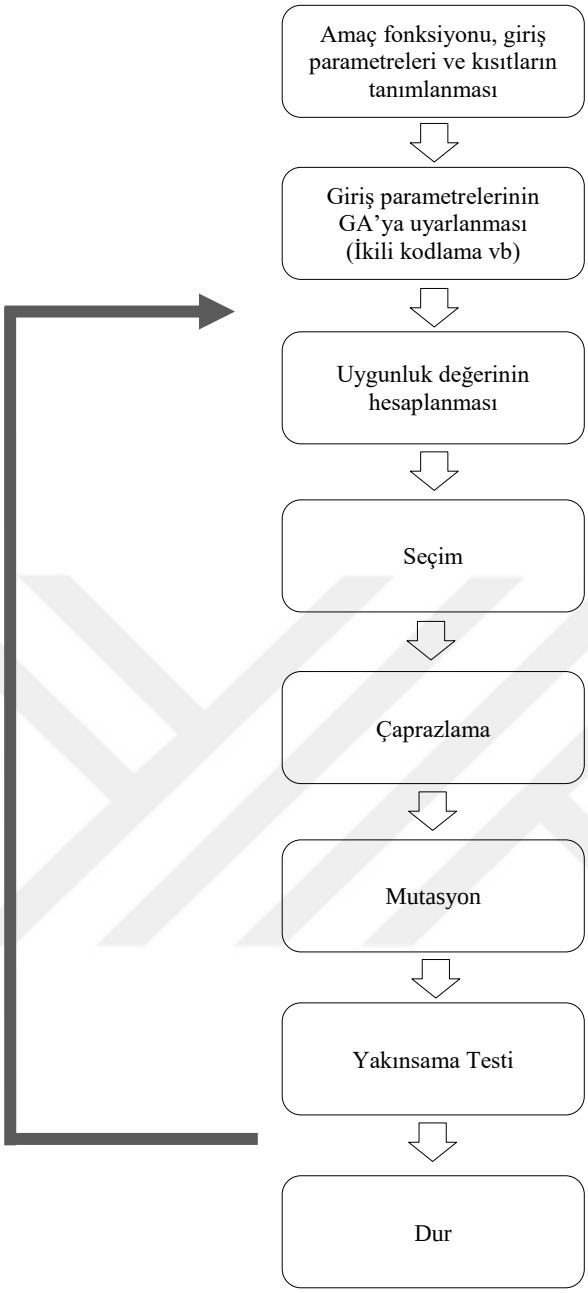
Bu metot, uzun çalışmalar sonrasında ilk kez John Holland (1975) tarafından ortaya atılmıştır. Genetik Algoritmalara ait çözüm sistemleri Holland'ın öğrencisi Goldberg (Goldberg ve Holland, 1988) tarafından geliştirilmiş ve günümüzde birçok araştırmacı tarafından geliştirilmeye devam etmektedir. 2015 Yılında hayatını kaybeden Michigan Üniversitesi profesörü John Holland Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 John Holland (1929-2015)

Genetik Algoritmalar arama ve optimizasyon için sezgisel yöntemlerdir. Geniş arama algoritmalarının aksine, genetik algoritmalar en iyiyi seçmek için tüm farklı durumları üretmez. Bundan dolayı, mükemmel çözüme ulaşamayabilir. Fakat zaman kısıtlamalarını hesaba katan en yakın çözümlerden biridir. Genetik Algoritmalar şartlara uyum sağlayabilir. Bunun anlamı, önceden hiç bilgisi olmamasına karşın, olayları ve bilgiyi öğrenme ve toplama yeteneğine sahip olmasıdır (Çunkaş, 2006).

Diğer optimizasyon metotlarında olduğu gibi Genetik Algoritmalar için de amaç fonksiyonu, parametreler ve kısıtlar tanımlanır. Aynı şekilde çözüme ne kadar yaklaşıldığı kontrol edilerek algoritma sonlandırılır. Basit bir genetik algoritmanın akış diyagramı Şekil 3.3'de verilmektedir.



Şekil 3.3. Genetik Algoritma Akış Diyagramı

Öncelikle kromozom yapısı oluşturulur ve ilk popülasyon için rastgele atama yapılır. Daha sonra popülasyondaki her birey için *f(x)* uygunluk fonksiyonu (*fitness function*) hesaplanır. Müteakiben popülasyona seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler uygulanır. Genetik operatörlerin uygulanması sonrasında elde edilen yeni nesil tekrar uygunluk hesabına tabi tutulur. İstenilen uygunluk elde edildiğinde algoritma durdurulur ve popülasyondaki optimum çözüm alınır (Bolat ve ark., 2004).

Genetik algoritma, bir problemin olası çözümlerinden oluşan sabit büyüklükte bir popülasyon içinde tekrarlanarak yürütülen işlemlerden oluşan bir yöntemdir. Tekrarlanan her basamak jenerasyon olarak adlandırılır. Her basamakta, mevcut popülasyon içindeki çözümler belli bir uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilir. Bu değerlendirmeler, bir sonraki basamakta incelenecek aday çözümleri oluşturan popülasyonu belirler. Genetik algoritmanın ilk basamağı için başlangıç popülasyonu, aday çözümler arasından rastgele seçilir. Algoritmanın başında belirlenen başlangıç popülasyon sayısı ise genetik algoritmaların performans ve verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Popülasyon sayısının az seçilmesi, problemin çözümü için araştırma uzayından verimsiz sayıda örnek alınmasını sağlayacağı gibi, popülasyon sayısının büyük seçilmesi de her jenerasyonda daha çok değerlendirme yapılacağından olası sonuca ulaşma hızını yavaşlatır (Kahvecioğlu, 2004).

3.2.1. Genetik Gösterim ve Kavramlar

Genetik gösterim mevcut problem için parametrelerin kombinasyonunu gösterir. Farklı genetik gösterimler problemlerin farklı çözümlerini ifade eder. Genetik algoritmalar, evrimin doğal sürecini taklit ettiğinden beri, genetik algoritmaların genetik gösterimi varlıkların davranışını idare etmede genetik kodu taklit etmektedir. Doğal dünyada, varlığın genetik kodu çevreye uyumluluğu gösterir. Yapay bir sistemde, genetik gösterim parametrelerin kombinasyonu ile ilgilidir. Böylece genetik gösterim parametrelerin optimal dizilimini yansıtmalıdır (Çetin, 2008).

GA'yı diğer arama yöntemlerinden ayıran en önemli özellik parametrelerin kendisi yerine parametreleri temsil eden dizilerin kullanılmasıdır. Bu sebeple ilk adım, problem için arama uzayını en iyi temsil eden ideal kodlamanın inşasıdır. Literatürde en yaygın kullanılan kodlama her dizinin 0 ve 1 değerlerinden oluşarak gösterildiği ikili düzende kodlamadır. Problemin cinsine göre gerçek sayılarla, tam sayılarla, sembollerle veya matrislerle de kodlama yapılabilir (Çetin, 2008).

Genetik algoritmaların tipik uygulaması, verilen problemin genetik karakterler kümesine (optimize edilecek parametreler) dönüştürülmesidir. Örneğin amaç aşağıda verilen fonksiyonun optimize edilmesi olsun;

$$\max f(x) = 15x - x^2 \tag{3.1}$$

Bu örnekte *x*'in tamsayı olduğu ele alınırsa her bir kromozom dört bit ile ifade edilebilir. Burada *x*'in tamsayı değeri genetik algoritmanın fenotipi olarak adlandırılırken ikili kodlama ile oluşturulan diziler genotip (kromozom) şeklinde tanımlanabilir. *x* parametresi için ikili kodlama aşağıdaki Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 *x* parametresi için ikili kodlama

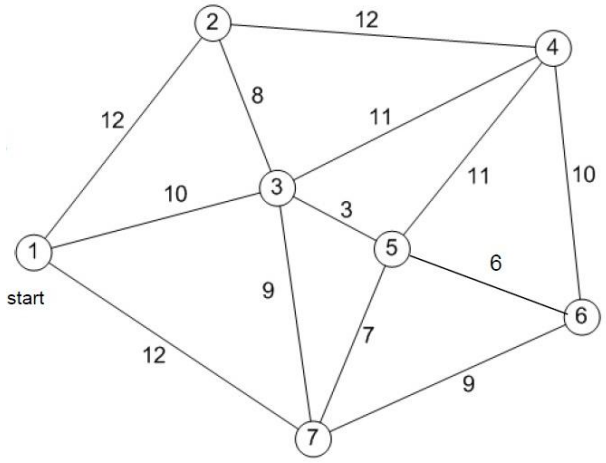
Tamsayı ***fenotip***	**İkili Kod** ***genotip***
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

İkili kodlamada her değer ikili sistemde (*binary*) temsil edilir. İkili dizideki her bit çözüme ait bir özellik taşır. İkili kodlama dışında Değer Kodlama ve Permütasyon kodlama gibi çeşitli kodlama stratejileri mevcuttur. Kodlama stratejisi bir çok yönden problemin niteliğine göre değişiklik gösterir. (Bayata, 2012).

Permütasyon Kodlama: Gezgin satıcı problemi (GSP) veya iş sıralama problemi gibi sıralama problemlerinde permütasyon kodlaması kullanılabilir. Permütasyon kodlamasında tüm kromozomlar sayıların bir düzen içerisinde gösterildiği sayı dizileri şeklindedir. Şekil 3.4'te verilen 7 şehirli gezgin satıcı probleminde kullanılan permütasyon kodlaması aşağıda görülebilir (Çetin, 2008).

Kromozom A: 1 7 5 3 2 4 6

Kromozom B: 1 2 4 3 5 6 7



Şekil 3.4 Örnek: 7 Şehirli Gezgin Satıcı Problemi

Kromozom satıcının uğrayacağı şehirlerin sırasını göstermektedir.

Değer Kodlama: Reel sayıların kullanıldığı fonksiyonlarda değer kodlama etkili yöntemlerden bir tanesidir. Reel sayıların ikili kodlaması bir çok açıdan dezavantajlara sahiptir ve hesaplama karmaşıklığının artmasına sebep olur. Değer kodlamada kromozomlar direkt olarak değişkenlere atanan değerleri veya sayı, karakter, nesne gibi unsurları da taşıyabilir. (Bayata, 2012).

Kromozom A : 1,234
Kromozom B : SHJKLABGN
Kromozom C : (Geri) (İleri) (Sağ) (Sol)

Ağaç Kodlama: Bazı programlama dillerinde çözüme yönelik ifadeler ağaçlar şeklinde temsil edilebilir. Kromozom yapısı bu ifadelere ait ana dallar ve alt dallarla gösterilir. Programı gerçekleştiren işlevler ve komutlar söz konusu ana ve alt dalların bir öğesi olabilir. Ağaç kodlama için en basit örnek LISP programlama dilidir. LISP programlama dilinde ana ve alt dallardan oluşan ağaçlar ayrıştırılmak suretiyle genetik operatörler (çaprazlama, mutasyon vb) gerçekleştirilir. (Bayata, 2012).

Gen, doğadaki canlılara ait kalıtımsal özellikleri taşıyan parçalardır. Bu sebeple kalıtım sürecinin fiziksel ve işlevsel birimi özelliğini taşır. Her gen, özgün bir fonksiyonu olan kromozomların belirli konumlarında bulunan dizi/değerlerden oluşur. Kromozomda, belirli bir pozisyonda bulunan genler, söz konusu değişkenin değerini

ifade eder. Bir genin alabileceği değerlere "*allel*" denilmektedir. Örneğin saç rengini temsil eden bir gende siyah, kahverengi veya kızıl bu genin allelleri olur. (Bayata, 2012).

3.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Genetik algoritmalarda ilk aşama başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Bunun için öncelikle popülasyon (toplum) büyüklüğü belirlenir. Hesaplama tekniğine bağlı olarak farklı büyüklükler seçilebilir. Eğer popülasyon çok küçük olursa, geniş çaplı bir arama mümkün olmayabilir. Ama yakınsama ve tahminler hızlı yapılır. Eğer popülasyon çok büyük olursa, gerekenden fazla bilgiyle uğraşmak vakit kaybına yol açabilir ve sonuca ulaşmak çok uzun zaman alabilir (Bayata, 2012).

Popülasyonun başlangıcı için iki teknik vardır. Bir canlı popülasyonu (kolonideki tüm canlılarla ilgili bütün genetik bilgiler) ikincil bir kaynaktan yüklenebilir. Bu data yönlendirilmiş evrim için bir başlangıç noktası sağlar. Genel olarak genetik algoritmalar rastgele popülasyonla başlarlar. Bu genetiği rastgele işlemlerle belirlenmiş tam büyüklüğe sahip bir popülasyondur (Bayata, 2012).

3.2.3. Uygunluk Fonksiyonu ve Değerlendirme

Bir popülasyondaki bireylerin çözüme ne kadar yakın olduğu "uygunluk fonksiyonu" ile değerlendirilir. Bu sebeple öncelikle genlerin uygunluk değerleri hesaplanır. Genetik Algoritmalarda probleme has çalışan bölüm uygunluk fonksiyonudur. Uygunluk fonksiyonu, genleri problemin parametreleri haline getirerek çözüm için ne kadar uygun olduklarını bulur. Genetik algoritmalardan beklenen performans, uygunluk (amaç) fonksiyonunun hassas olarak belirlenmesi ile alakalıdır. İyi bir dizilim, maksimizasyon için yüksek, minimizasyon için düşük uygunluk değerine sahip olur. (Çetin, 2008).

Seçim işlemi her iterasyonda uygunluk değeri baz alınarak gerçekleşir. Çünkü kromozomların kalitesi, uygunluk değerlerine göre ölçülmektedir. Uygunluk değeri en iyi olan kromozom, problemin optimum çözümünü veren kromozomdur (Bayata, 2012).

Denklem (3.1)'de verilen fonksiyon için popülasyon büyüklüğünü 6 (altı) olarak belirler isek, altı (6) kromozoma sahip GA için başlangıç popülasyonu ve uygunluk değerleri Çizelge 3.2'deki gibi şekillenir (Çunkaş, 2006).

Çizelge 3.2 Altı (6) kromozoma sahip GA için başlangıç popülasyonu ve uygunluk değerleri

Kromozom	Rastgele Üretilen Değer	İkili Kodlama	Uygunluk Değeri	Uygunluk Oranı	Kümülatif Uygunluk
K_1	12	1100	36	16.5%	16.5
K_2	4	0100	44	20.2%	36.7
K_3	1	0001	14	6.4%	43.1
K_4	14	1110	14	6.4%	49.5
K_5	7	0111	56	25.7%	75.2
K_6	9	1001	54	24.8%	100.0
			Toplam:218		

Burada;

$$\max f(x) = 15x - x^2 \tag{3.1}$$

uygunluk fonksiyonu için her bir kromozoma ait uygunluk değeri hesaplanmış ve toplama bölünerek uygunluk oranı bulunmuştur. Örneğin K_1 kromozomu için uygunluk değeri:

$$\begin{aligned} f(12) &= 15x12 - 12^2 \\ &= 180 - 144 \\ &= 36 \end{aligned} \tag{3.2}$$

şeklinde bulunur. Bu değer tüm popülasyonun toplam uygunluk değerine bölündüğünde uygunluk oranı elde edilir.

$$\frac{36}{218} = 16.5\% \tag{3.3}$$

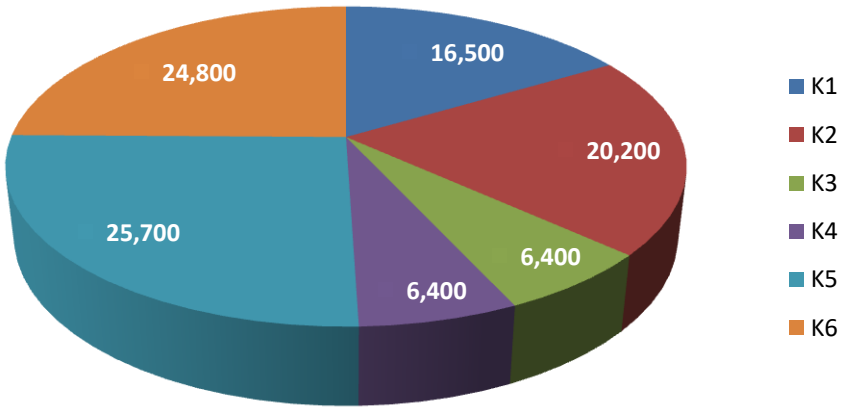
Bu oran eşleşme için kromozomların seçilme şansını tanımlar. Tabloda da görüldüğü üzere uygunluk fonksiyonu uygulandığında düşük bir değer döndüren K_3 ve K_4 kromozomları için seçilme şansı az iken K_5 ve K_6 için seçilme şansı yüksektir. Bu şekilde tüm popülasyon için uygunluk oranları hesaplanarak kümülatif uygunluk oranı tablosuna işlenerek bir sonraki aşamaya geçilir.

3.2.4. Seçim

Oluşturulan popülasyonun üreme sonucunda bir sonraki nesle daha iyi bireyleri aktarabilmesi için seçim işlemi gereklidir. Doğal hayatta seçim işlemi rastgele olabileceği gibi genellikle iyi olan bireyler bir sonraki nesle aktarılır. Genetik algoritmalarda da benzer prensip vardır. Uygunluk oranına göre sıralanan bireylerde oranı yüksek olan bireyin rastgele seçim sonucunda kazanma ihtimali daha büyüktür. Seçim metodu olarak literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan, rulet çarkı, turnuva seçimi ve rank yöntemi en sık kullanılanlardır.

3.2.4.1. Rulet Çarkı

Bu yöntemde bireyler bir rulet çarkına yerleştirilir. Bireylerin uygunluk fonksiyonlarına göre rulet çarkında kaplayacakları hacim belirlenir, uygunluk fonksiyonu yüksek olanların rulet çarkında daha fazla hacimler kaplaması beklenir (Çetin, 2008). Şekil 3.5'te yukarıda verilen örnek problem için Rulet Çarkı Yönteminde Uygunluk Oranlarının Yerleşimi görülmektedir.



Şekil 3.5 Rulet Çarkı Yönteminde Uygunluk Oranlarının Yerleşimi

Rulet çarkı rastgele döndürüldüğünde daha yüksek hacim kaplayan kromozomun seçime alınması ihtimali diğerlerine göre daha yüksektir.

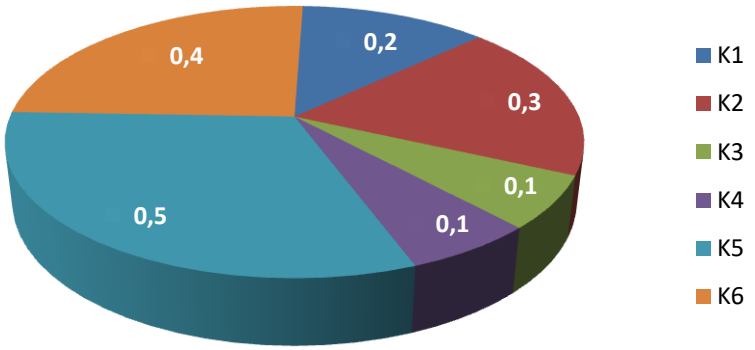
3.2.4.2. Turnuva Seçimi

Turnuva seçiminde tüm nesil içinden her seferinde, boyutu önceden belirlenen rastgele bir dizi seçilir. Bu dizi içerisinde uygunluğu en yüksek olan kromozom seçimin galibi olur. Turnuvanın boyutu (*tournament pressure*) problemin özelliğine göre farklı şekillerde belirlenebilir.

3.2.4.3. Rank Metodu (Sıralama Seçimi)

Rulet çarkı yönteminde bazı kromozomların uygunluk oranı çok yüksek çıkabilir. Bu durumda çark her döndürüldüğünde o değerin çıkma ihtimali çok yüksek olur ve problemin lokal bir değerde takılma riski ortaya çıkar. Genetik algoritmalarda maksat uygunluk oranı düşük dahi olsa her kromozomun seçim işlemine dâhil olmasını sağlamaktır. Bu şekilde kısa süre içerisinde lokal minimuma takılmadan optimuma ulaşılabilir.

Rank metodunda kromozomlar uygunluk oranına göre sıralanır. Sıralama sonucunda her kromozomun gerçek uygunluk oranı yerine onun için atanan "rank" değeri verilir. Örneğin, maksimize edilecek bir fonksiyon için uygunluk oranı küçükten büyüğe doğru sıralanır ve her kromozoma 0.1, 0.2, … şeklinde rank değerleri verilir. Verilen rank değerine göre rulet çarkına yerleştirilir. Böylelikle uygunluk oranlarındaki fark korunurken çok büyük ve çok küçük uygunluk oranları arasındaki uçurum engellenmiş olur. Şekil 3.6'da Rank metodunda kromozomların sıralanışı görülmektedir.



Şekil 3.6 Rank metodunda kromozomların sıralanışı

3.2.4.4. Elitizm

Seçim işleminde her durumda rastgele değerler üretileceği için uygunluğu yüksek olan bazı kromozomlar şansları yüksek olsa bile seçilemeyebilirler. Bu durumun engellenmesi için popülasyondaki bireylerden en yüksek uygunluğa sahip olan bir kısmı seçim işlemine tabi tutulmadan, bir sonraki nesle direkt olarak aktarılırlar. Bu işleme elitizm adı verilir. Elitizm oranı problemden probleme değişiklik gösterebilir. Birçok problemde çözüm hızını önemli derecede artırdığı ispatlanmıştır (Laumanns ve ark., 2000).

3.2.5. Çaprazlama *(Crossover)*

Seçim işleminin ardından, yeni popülasyonun elde edilebilmesi için doğal yaşamda olduğu gibi üreme, veya genetik algoritmalarda kullanılan terimiyle "çaprazlama" işlemi uygulanır. Çaprazlama için seçilen bireylerden, bu bireylerin ortak özelliklerini taşıyan "yavru" bireyler elde edilir. Genetik algoritmaların temelinde yatan ve ilk bakışta anlamsız gibi görünen bu adım sayesinde bizi optimal çözüme yaklaştıran yeni çözüm adayları belirlenmiş olur.

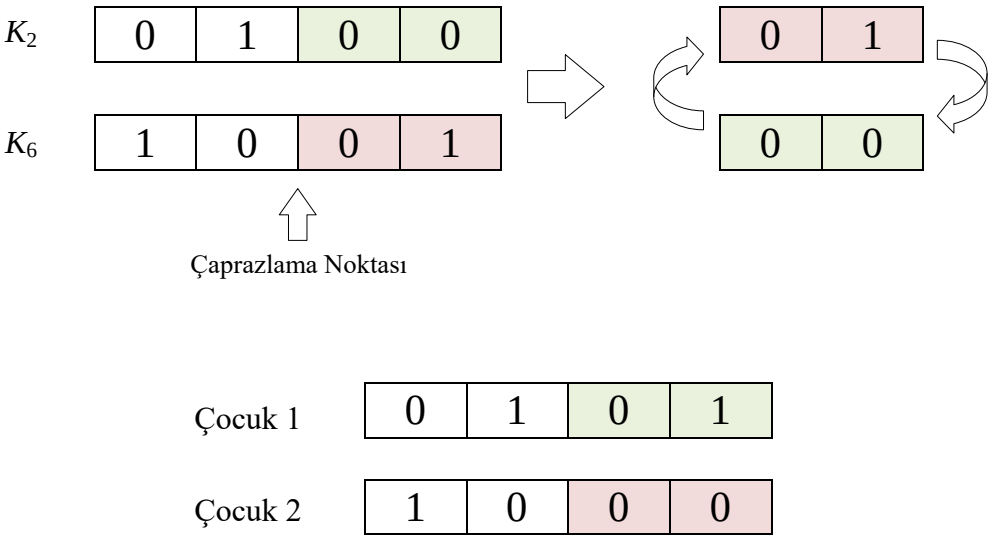
Genetik Algoritmalarda popülasyonun tamamı çaprazlamaya tabi tutulmaz. Yalnızca seçim işlemi sonucunda bir kısmı çaprazlamaya alınır.

Literatürde bir çok çaprazlama çeşidi mevuttur. Çaprazlamanın nasıl yapılacağı kodlamanın yapısına ve problemin özelliğine göre değişiklik gösterebilir. En sık kullanılan çaprazlama metotları aşağıda sıralanmıştır.

3.2.5.1. Tek Noktalı Çaprazlama

Tek noktalı çaprazlamada ikili kodlanan kromozomlar belirli bir bit sırasından sonra bit dizilerini değiştirmek suretiyle iki yavru birey oluşturur.

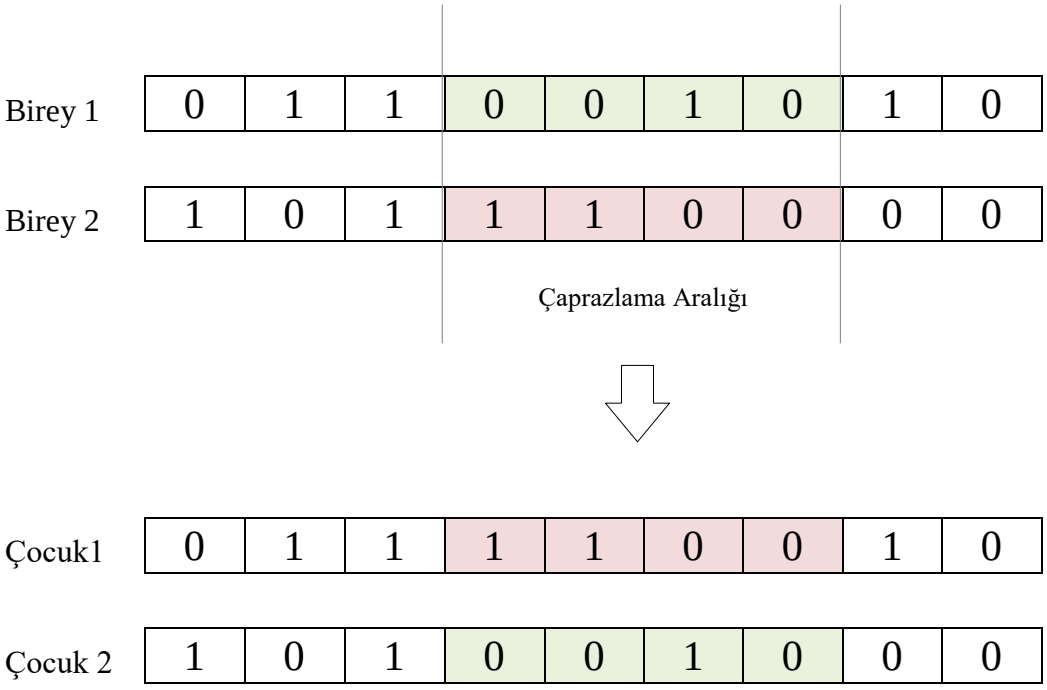
Şekil 3.7'de Tek Noktalı Çaprazlama görülmektedir. Daha önce verilen örnekten devam edilecek olursa; seçim sonucunda çaprazlamaya alınacak kromozomların K_2 ve K_6 olacağı varsayımı ile tek noktalı çaprazlama gerçekleşebilir.



Şekil 3.7 Tek Noktalı Çaprazlama

3.2.5.2. Çok Noktalı Çaprazlama

İkili kodlanan kromozomlarda, tek noktalı çaprazlamaya benzer şekilde, bir yerine iki veya daha fazla çaprazlama noktası belirlenir. Aralıkta kalan bitler diğer kromozomla yer değiştirir. İki noktalı çaprazlama örneği Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 İki Noktalı Çaprazlama

3.2.5.3. Diğer Çaprazlama Yöntemleri

Literatürde, genetik algoritmaların çözümünde kullanılan birçok çaprazlama yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler başlıca şu şekildedir.

- PMX, Partially Mapped Crossover (Goldberg ve Lingle, 1985)
- CX, Cycle Crossover (Oliver ve ark., 1987)
- OX1, Order Crossover (Davis, 1985)
- OX2, Order Based Crossover (Syswerda, 1991)
- POS, Position Based Crossover (Syswerda, 1991)
- Heuristic Crossover (Grefenstette, 1988)
- Arithmetic Crossover (Michalewicz, 2013)

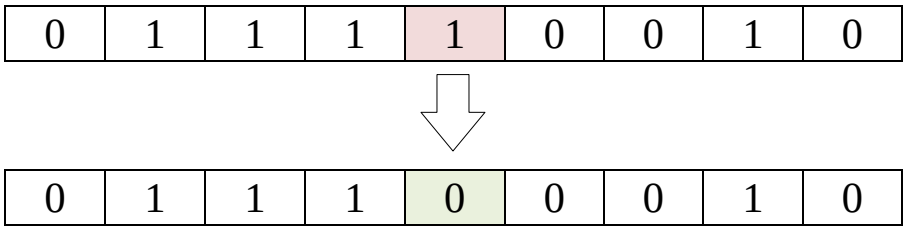
3.2.6. Mutasyon

Doğal yaşamda mutasyon, bireyde canlı hücresinin çekirdeğinde bulunan ve kalıtsal özelliklerinin ortaya çıkmasını sağlayan DNA molekülünün; radyasyon, X ışını, ultraviyole, ani sıcaklık değişimleri ve kimyasallar sonucunda bozulmaya uğramasıdır. Mutasyon oldukça nadir görülür ve kromozomların çok küçük bir parçasında gerçekleşir.

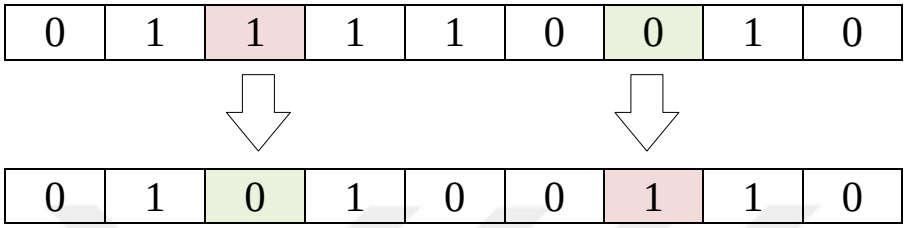
Genetik algoritmalarda da mutasyon doğal yaşama benzer şekilde kromozomlarda yapılan küçük, yapısal değişikliklerdir. Seçim ve çaprazlama stratejilerinde olduğu gibi, problemin çözümünde nihai maksat lokal çözüme yakalanmadan optimal çözüme ulaşmaktır. Bu işlemler ne kadar iyi yapılırsa yapılsın genetik algoritma çözümünde de lokal bir çözümde takılma ihtimali vardır. Bu ihtimali ortadan kaldırmak için başvurulan çözüm yöntemi bazı kromozomları "mutasyona" uğratmaktır. Böylelikle optimum çözümü yakalama şansı artar.

Genetik algoritmalarda problemin yapısına bağlı olarak aşağıdaki mutasyon operatörlerinden biri seçilebilir (Bayata, 2012):

- Ters çevirme (Şekil 3.9'da Ters Çevirme ile Mutasyon gösterilmiştir)
- Yer değişikliği (Şekil 3.10'da Yer Değişikliği ile Mutasyon gösterilmiştir.)
- Ekleme
- Karşılıklı değişim



Şekil 3.9 Ters çevirme ile kromozomun mutasyona uğratılması



Şekil 3.10 Yer değişikliği ile kromozomun mutasyona uğratılması

3.2.7. Durdurma Kriteri ve Algoritmanın Sona Ermesi

Seçim, çaprazlama ve mutasyon sonucunda yeni popülasyon elde edilmiş olur ve teorik olarak bir önceki nesle göre daha iyi bir çözüm kümesi bulunmuş olur. Üreme işleminin her tekrarı bir "iterasyon" olarak adlandırılır. Genellikle iterasyon sayısının artması çözümün kalitesini de artıracaktır fakat gerçek çözüme ulaşabilmek için ne kadar iterasyon gerektiği konusunda genel bir kural bulunmamaktadır. Burada kullanıcı tercihleri devreye girer ve çoğunlukla zaman kısıtı ön plandadır. Genetik algoritma ile çözülmek istenen problemler NP-Hard veya NP-Complete olacağı için zaten sonsuz süre gerektiren problemlerde kullanıcı arzu edilen çözüm zamanına ulaşıldığında algoritmayı durdurabilir ve eldeki çözümü optimum çözüm olarak kabul eder.

Bugüne kadar yapılan deneylerde genetik algoritmalar optimum çözümleri bulmakta oldukça büyük başarı göstermiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte analitik yöntemlerle çözümü mümkün olmayan problemlerin kabul edilebilir bir sürede çözümü gerçekleşmektedir.

Genetik algoritmalar üzerinde araştırma yapan insan sayısının artması ile birlikte çözümü bilinen test fonksiyonları yaygınlaşmış (Goldstein-Price fonksiyonu vb) ve bu test fonksiyonları ile çözüme ulaşma süresi ölçülebilir hale gelmiştir. Bu durumda durdurma kriteri olarak "çözümü ulaşmak" da sayılabilmektedir.

4. AWACS EKİP ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

4.1. AWACS Filolarında Ekip Çizelgeleme

AWACS Filolarında ekip çizelgeleme (*crew scheduling*) oldukça karmaşık ve çözülmesi zor bir problem türü olarak karşımıza çıkar. Problemin birçok kısıtı ve her kısıtı etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu şartlarda doğru ve etkin bir çizelgeleme için yoğun bir insan gücü, zaman ve kaynak ayrılmaktadır. AWACS üslerinde çoğunlukla merkezi bir çizelgeleme biriminin yanında filoların, filolardaki alt bölümlerin ve her görev pozisyonuna ait kısımların kendi çizelgeleme sorumluları (*scheduler*) birbirleri ile sürekli koordine halinde çizelgeleme faaliyetlerini yürütürler. Bu amaçla geniş kapsamlı yıllık ve üç aylık planlama toplantılarına ilave olarak aylık ve haftalık toplantılarla kesintisiz bir çizelgeleme süreci devam eder.

Ekip çizelgelemesi yalnızca uçucuların uçuşlara atandığı bir işlem değildir. AWACS filosunun asli görevi olan harekât ve eğitim uçuşlarının yanında simülatör görevleri, teorik ve bilgisayar destekli eğitimler, Ekip Kaynak Yönetimi (*Crew Resource Management – CRM*) ve Hayatta Kalma Eğitimi (*Life Support*) gibi periyodik tazeleme eğitimleri, filoda ve filo dışında tutulan nöbetler ile idari diğer görevler de çizelgeleme probleminin birer parçasıdır. Tüm bu görevlerin birbiri ile çakışan gün ve saatlerde olması ve atama yapılacak personel sayısının da kısıtlı olması sebebiyle etkin bir çizelgeleme oluşturmak oldukça zahmetli bir faaliyete dönüşmektedir.

Çizelgelemede genel olarak iki husus ön plana çıkar. Bunların birincisi tüm uçucuların eğitimlerini yönergelerde belirtilen süre ve kısıtlar dâhilinde devam ettirmesi, ikincisi ise görevlerin eşit bir şekilde kişilere dağıtılmasıdır. Kimi zaman bu iki husus birbiri ile çelişen iki kısıt olarak karşımıza çıkar. Bu durumda yönergelerin belirlediği öncelikler ön planda tutularak programa en uygun seçim belirlenir.

Çizelgeleme yapılırken çok uzun vadeli çizelgeleme genellikle tercih edilmez. Bunun yanında çok kısa vadeli çizelgeler de etkin bir çizelgeleme için uygun değildir. Uygulamada en az bir haftalık ve en fazla bir aylık çizelgelemenin kullanışlı olduğu görülmektedir. Periyodik eğitimler ve nöbetlerin aylık olarak planlanması daha uygun iken iptal ve erteleme riski bulunan uçuş ve simülatör görevlerinin bir veya azami iki haftalık planlanması da hem çizelgeleme sorumluları hem de uçucular için idealdir. Çünkü iptal edilen veya ertelenen her görev kendisinden sonraki çizelgeyi doğrudan etkileyecek ve tüm çizelgenin yeniden hazırlanması gerekebilecektir.

4.2. Tanımlar

AWACS Filosu (Squadron): AWACS sistemlerine sahip ülkelerin çoğunlukla silahlı kuvvetler bünyesinde oluşturdukları, envanterdeki uçakların ve erken ihbar ve kontrol görevlerinin icrası için eğitim alan uçucuların bulunduğu teşkilat birimi filo olarak adlandırılır. Genellikle uçak sayısına bağlı olmakla birlikte bir AWACS üssünde bir veya birden fazla filo bulunabilir.

***Uçuş Ekibi – Görev Ekibi (Flight Crew – Mission Crew)*:** AWACS uçaklarında, uçak tipine bağlı olarak her bir uçuş bir ekip tarafından icra edilir. Ekibin içerisinde her biri kendi görev pozisyonunda uzmanlaşmış çeşitli sayıda uçucu bulunur. Genellikle pilot, yardımcı pilot, seyrüsefer subayı ve uçuş mühendisi gibi AWACS uçağının uçuş faaliyetinden sorumlu olan ekip "Uçuş Ekibi" olarak adlandırılırken "Görev Komutanı", "Av Tahsis Subayı", "Silah Kontrolörü" ve "Gözetleme Kontrolörü" gibi erken ihbar, gözetleme ve silah kontrol görevlerini icra eden ekip ise "Görev Ekibi" olarak adlandırılır. Uçuş ve Görev Ekibinin tümü için "Uçak Ekibi" kavramı kullanılmaktadır.

AWACS filosunda istihdam edilen uçucuların sayısı ülkelerin ihtiyaçları ve kapasiteleri doğrultusunda belirlenir ve bu sayı "pilot-sandalye oranı" adı verilen kavram ile birlikte oransal olarak ifade edilir. ABD ve NATO ülkelerinde bu oran değişmekle birlikte ortalama 1'e 1.5 (1:1.5) ve 1'e 2 (1:2) arasındadır (United States General Accounting Office, 1999). Örneğin 4 (dört) uçaklı bir AWACS filosunda ekip sayısı 6 ve 8 arasında değişiklik gösterir. Toplan 12 görev pozisyonu ve 7 ekibe sahip bir filo ele alındığında toplam uçucu sayısı 12x7=84 olacaktır. Bu sayı eğitimde olanlar da hesaba katıldığında bir miktar fazla da olabilir.

Ekip sayısının uçak sayısından fazla olmasının sebebi uçuculara ait operasyonel kısıtlardan kaynaklanmaktadır. Bir uçucunun günlük, aylık ve yıllık olarak ne kadar süre uçabileceği yönergelerde belirtilir. Bu kısıtlar doğrultusunda uçak sayısından fazla uçucu bulundurmak önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkar.

Uçuş Süresi – Görev Süresi: Uçuş süresi AWACS uçağının kalkışından inişine kadar olan süreye denir. Uçak tipine ve uçağın havada yakıt ikmal kabiliyeti olup olmamasına bağlı olarak bu süre değişkenlik gösterebilir. Görev süresi ise uçuş öncesi hazırlıkları da kapsayan toplam süreye verilen isimdir.

Mecburi İstirahat Süresi (Crew Rest): Çizelgeleme yapılırken uçuş ve görev süresine ek olarak her uçuş öncesinde ve sonrasında, miktarı yönergelerde belirtilen istirahat süreleri hesaba katılır. Böylelikle uçucuların kronik yorgunluk (*fatigue*) yaşamadan görevlerini emniyetli bir şekilde icra etmeleri hedeflenir. Ülkelerin belirlediği standartlara bağlı olarak uçuş öncesi ve sonrasında 8-12 saat arasında mecburi istirahat süreleri mevcuttur. Bu süreler içerisinde uçuculara başka hiçbir görev verilmez ve istirahat etmeleri sağlanır. Ayrıca, uçuculara ait aylık ve yıllık azami uçuş süreleri de ilgili yönergelerde belirtilir.

4.3. Görev Çeşitleri

AWACS Filolarında başta uçuş ve simülatör görevleri olmak üzere uçucuların icra ettikleri bir çok görev mevcuttur. Problemin çözümünde kullanılan başlıca görevler aşağıda sıralanmıştır.

Uçuş: Uçucuların filodaki asli görevini teşkil eder. Uçuşlar temelde harekât ve eğitim uçuşları olarak ikiye ayrılır. Harekât uçuşları, gerçek durumlarda icra edilen ve ülke savunması için fiili olarak gerçekleştirilen görevlerdir. Sıcak savaş, gerginlik veya kriz durumlarında AWACS uçakları harekât görevlerinde kullanılır. Eğitim uçuşları ise harekât görevlerini simüle eden ve harekât ile aynı şartların benzetildiği tatbikat, rutin eğitim uçuşları gibi diğer görevleri kapsar. Eğitim görevlerinde maksat ekibin harekât görevlerine hazırlanması ve her an hazır durumda beklemesidir.

Simülatör: Uçuşu ve uçuşta karşılaşılacak durumları simüle eden teçhizat simülatör olarak adlandırılır. AWACS filolarında eğitimlerin oldukça düşük maliyetle gerçekleştirilebileceği uçuş ve görev simülatörleri mevcuttur. Genellikle uçuş simülatörleri ile görev simülatörleri ayrı olarak görev icra eder. Bunun sebebi uçuş ekibi ile görev ekibinin yoğunlaştığı eğitim alanlarının çoğunlukla birbirinden farklı olması ve zaman tasarrufudur. Örneğin bir pilot simülatör eğitiminde defalarca kez iniş-kalkış eğitimi yapabilir. Bu eğitim esnasında görev ekibi açısından herhangi bir faaliyet olmayacağı için simülatörlerin ayrı olarak kullanılması durumu ortaya çıkmaktadır.

Simülatör görevleri de belirli bir çizelge dahilinde planlanır ve hakiki uçuşlarda olduğu gibi yapılan eğitimler kayıt altına alınır.

Periyodik Eğitimler: AWACS filosundaki uçucular harbe hazır unvanını kazandığı andan itibaren "Harbe Hazırlığın Devamı Eğitimi – *Continuation Training (COT)*" adı verilen bir eğitim programına tabi olurlar. Bu kapsamda her uçucunun belirli görevleri, belirli periyotlarda tekrar etmesi, bunun yanında temel eğitimde aldığı bazı teorik ve pratik eğitimleri de yine belirli periyotlarda tazeleme eğitimi şeklinde yeniden alması gereklidir. Örneğin NATO AWACS üssünde Ekip Kaynak Yönetimi (CRM) eğitimi temel eğitim başlangıcında verilir ve harbe hazır olunduktan sonra yıllık olarak tekrarlanır. Tekrar eğitimi başlangıç eğitimi kadar kapsamlı olmasa da bilgilerin tazelenmesi için yeterlidir. Aynı şekilde, Hayatta Kalma Eğitimi (*Life Support*) temel eğitim başlangıcında uygulamalı olarak verilir ve uçucuların harbe hazır unvanı devam ettiği sürece yıllık olarak tekrarlanır. Böylelikle uçucuların temel bilgi ve becerileri her zaman etkin kullanması sağlanır.

Nöbetler ve Diğer İdari Görevler: Uçucular uçuş, simülatör ve periyodik eğitimlerinin yanında filoda veya filo dışında çeşitli nöbetler ve diğer idari görevler üstlenirler. Bu nöbetler süreli, vardiyalı veya 24 saat olabilir. Nöbetlere ek olarak birlik içinde veya dışında idari görevler alabilirler. Bu durum da asli görevi uçuş olan uçucuların çizelgelenmesinde önemli bir faktörü oluşturur. Özellikle 24 saat tutulan nöbetlerde, nöbet sonrası istirahat de hesaba katıldığında bir uçucunun iki gün boyunca uçuş, simülatör ve diğer eğitim faaliyetlerine katılamayacağı bir durum ortaya çıkacaktır.

Bununla birlikte nöbet listesinde bulunan her uçucunun eşit bir şekilde nöbetlere planlanması da ayrı bir hedef olarak karşımıza çıkar. Örneğin 30 kişilik bir nöbet listesinde her uçucunun aylık yalnızca bir tane nöbet tutması gerekir. Buna ek olarak nöbet tutulan günün hafta içi, hafta sonu veya resmi tatil olması durumuna göre bir sonraki nöbetinde diğer uçucular ile eşit oranda nöbete planlanması önemlidir. Hazırlanacak çizelge tüm bu girdileri göz önünde bulundurmalı ve söz konusu kısıt ve faktörleri hesaba katarak hazırlanmalıdır.

4.4. Çizelgeleme Kriterleri

Uçucuların görevlere atanmasında başta yönerge kriterleri olmak üzere bir takım kıstaslar mevcuttur. Çizelge hazırlanırken dikkate alınan başlıca kriterler aşağıda açıklanmıştır.

4.4.1. Azami Uçuş ve Mecburi İstirahat Süreleri

Muharip uçak filolarında olduğu gibi AWACS filosunda da uçucuların riayet etmesi gereken azami uçuş ve mecburi istirahat süreleri mevcuttur. Mecburi istirahat süresi ilgili yönergelerde belirtilen miktarlarda, uçuş öncesinde ve uçuş sonrasında uçuculara başka hiçbir görevin verilemeyeceği zaman dilimini kapsar. Çizelgeleme yapılırken bu süreler mutlak surette dikkate alınır.

4.4.2. Eğitim Gereksinimleri

Birinci bölümde de belirtildiği üzere AWACS uçucuları birliğe katıldıkları günden itibaren yoğun bir eğitime tabi tutulurlar. Temel ve harbe hazırlık eğitimi adı verilen eğitimler sonucunda uçucular "harbe hazır" unvanı kazanarak uçuşa başlarlar. Uçucu aktif görevine devam ettiği sürece "harbe hazırlığın devamı" adı verilen eğitim kapsamında belirli eğitimleri, belirtilen periyotlarda tekrar etmesi gerekir. Bu tekrarlar uçuşta, simülatörde veya yerde teorik eğitim şeklinde olabilir. Örneğin bir pilotun her 45 günde en az bir uçuş, 3 ay içerisinde ise 3 uçuş icra etmesi harbe hazırlığın devamı kriterlerindendir. Her görev pozisyonunun harbe hazırlığın devamı gereksinimleri ilgili tablolarda detaylı olarak belirtilir ve sürekli olarak takibi yapılır. Belirtilen gereksinimleri, belirtilen sürelerde karşılayamayan uçucular harbe hazır unvanlarını yitirirler. Bu durumda ilgili eğitimi öğretmen nezaretinde tekrar etmeleri ve bu eğitim sonucunda öğretmen tarafından harbe hazır durumlarının onaylanması gerekir. Bu durum AWACS filosu açısından ilave bir maliyet ve zaman kaybını doğurur.

Çizelgelemede en çok dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesi harbe hazırlığın devamı gereksinimlerinin zamanında karşılanmasıdır. Her uçucunun eğitim tekrar durumları sürekli gözden geçirilerek kalifiye geçiş süresi yaklaşan uçuculara öncelikli olarak uçuş planlanır.

4.4.3. Görevlendirmede Eşitlik *(Fairness)* ve Görev Çeşitliliği

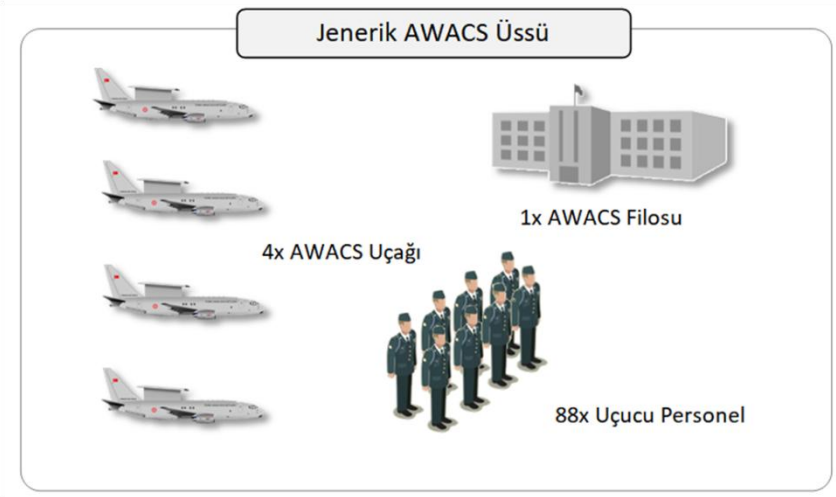
Statüsü eşit olan personelin görevlere planlanmasında eşitlik kriteri de önemli bir faktör olarak yer alır. Yıl içinde icra edilen uçuş saati, görev miktarı, nöbet sayısı mümkün olduğunca birbirine yakın olmalı ve personel arasında eşit dağıtım esas alınmalıdır. Yalnızca görev miktarı açısından değil, görevin niteliğinde de eşit dağıtımın

sağlanması gerekmektedir. Örneğin belirli bir tipteki tatbikat görevini her uçucunun eşit miktarlarda icra etmesi tecrübe kazanımı açısından da önem taşır.

Bunun yanında nöbetlerde, tutulan nöbetin hafta içi, hafta sonu veya resmi tatil günlerine göre eşit olarak çizelgelenmesi gerekir.

4.5. Problemin Tanımlanması

AWACS Uçaklarında Ekip Çizelgeleme Problemi herhangi bir ülke örneği verilmeden, jenerik olarak oluşturulmuş bir AWACS üssünde, dört uçak ve 8 farklı görev pozisyonundan 88 uçucu personeli bulunan bir AWACS filosu için uçuş, simülatör, yerde eğitim ve nöbet görevlerini kapsayan bir haftalık örnek bir çizelgenin oluşturulması olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.1'de problem senaryosu için oluşturulan jenerik AWACS Üssü görülmektedir.



Şekil 4.1 Problem Senaryosu için Oluşturulan Jenerik AWACS Üssü

Bu kapsamda deney seti olarak tamamen özgün ve milli AWACS Ekip planlama yazılımının başlangıç aşaması olan "Ekip Çizelgeleme Modülü" ile "Eğitim Gereksinimleri Modülü" hazırlanmış ve bu yazılım üzerinden genetik algoritma kullanılarak oluşturulan çizelgeler ile çeşitli deneyler yapılmıştır.

Problem senaryosu, halen Barış-Orta Seviye Kriz durumunda görevler icra eden jenerik AWACS üssünün nispeten yoğun sayılabilecek bir haftalık uçuş çizelgesinin otomatik olarak hazırlanmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda eğitim uçuşlarına ilave olarak operasyonel uçuşlar da programa dâhil edilmiştir.

4.5.1. Görev Pozisyonları ve Uçucu Personel

Jenerik AWACS uçağının görev pozisyonları belirlenirken Boeing 737 AEW&C gibi modern sistemler model olarak alınmıştır. Çizelge 4.1'de jenerik AWACS üssü görev pozisyonları ve mevcut durumları verilmiştir. Jenerik AWACS'ın kokpitinde yalnızca Uçak Komutanı ve Yardımcı Pilot bulunmakta, Seyrüsefer Subayı ve Uçuş Mühendisi görev almamaktadır. Görev ekibi ise 10 koltuklu görev kabinine göre planlanmıştır. Bu durumda bir Görev Komutanı, bir ESM Kontrolörü, bir Av Tahsis Subayı, üç Silah Kontrolörü, bir Gözetleme Kontrolörü ve üç Gözetleme Operatörü bulunmaktadır. NATO AWACS'ta halen görev alan teknisyenler senaryoya dâhil edilmemiştir.

Çizelge 4.1. Jenerik AWACS Üssü Görev Pozisyonları ve Mevcut Durumları

Kısa Adı	**Görev Pozisyonu**	**Koltuk Adedi**	**Aktif Uçucu Sayısı**	**Filo Uçucuları**
Uçuş Ekibi - *Flight Crew*				
AC	Uçak Komutanı *Aircraft Commander*	1	8	AC1...AC8
FP	Yardımcı Pilot *First Pilot*	1	7	FP1...FP7
Görev Ekibi - *Mission Crew*				
TD	Görev Komutanı *Tactical Director*	1	8	TD1...TD8
PC	ESM Kontrolörü *Passive Controller*	1	6	PC1...PC6
FA	Av Tahsis Subayı *Fighter Allocator*	1	7	FA1...FA7
WC	Silah Kontrolörü *Weapons Controller*	3	19	WC1...WC19
SC	Gözetleme Kontrolörü *Surveillance Controller*	1	7	SC1...SC7
SO	Gözetleme Operatörü *Surveillance Operator*	3	15	SO1...SO15
	Toplam	12	77	

Jenerik AWACS Üssünün personel sayısının belirlenmesinde 1'e 1.8 (1:1.8) pilot-sandalye oranı kullanılmıştır. Bu durum ABD ve diğer AWACS kullanıcı ülkeler

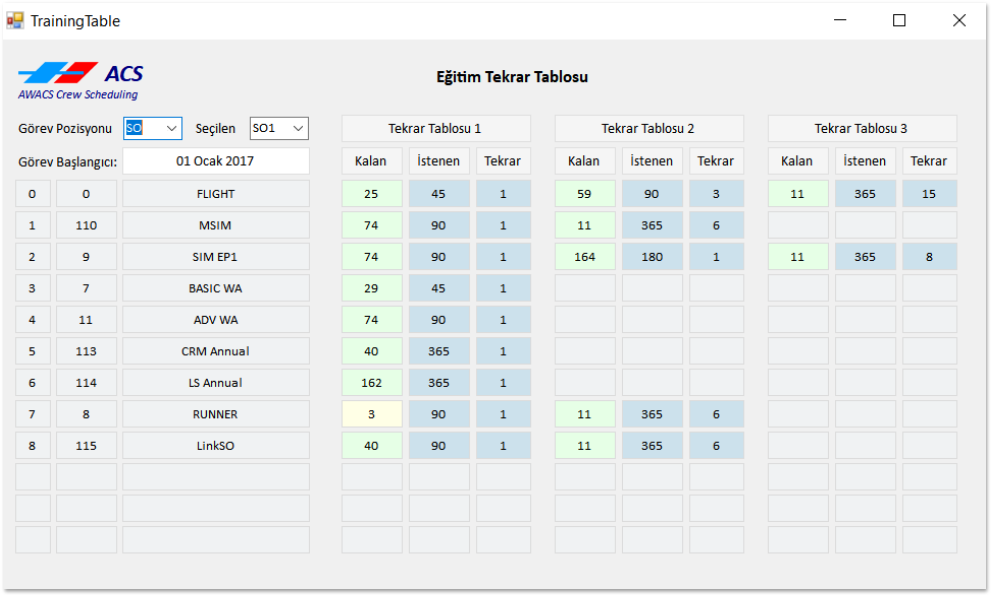
tarafından kullanılan ortalama orana yakın bir değerdir (United States General Accounting Office, 1999). Her görev pozisyonu ve koltuk için ortalama 7-8 personel istihdam edildiği varsayılarak aktif uçucu sayısının ortalama 7 olduğu bir durum simüle edilmiştir. Jenerik üsteki 88 uçucu personelin 77'sinin aktif uçucu olduğu, diğer personelin halen eğitimde olduğu varsayılmıştır. Bu durumda aktif pilot sandalye oranı 1:1.6 olmaktadır.

Jenerik AWACS Uçağı uçuş ve görev ekibinin görev pozisyonları Çizelge 4.1'de sıralanmıştır. Uçucu isimleri görev pozisyonu kısaltmasının sonuna sıra numarası eklenerek jenerik olarak belirlenmiştir.

Uçucu personelin tecrübe seviyeleri değişmekle birlikte her uçucunun son bir yıl veya daha öncesinde harbe hazır unvanını kazandıkları ve AWACS üssünün son bir yıl içerisinde barış-orta seviye kriz durumlarına yönelik görevler icra ettiği varsayılmıştır.

4.5.2. Eğitim Yönergeleri ve Mevcut Eğitim Durumları

Hazırlanan senaryo dâhilinde Jenerik Hava Üssünün her görev pozisyonu için harbe hazırlığın devamı gereksinimleri tablosu program içinde belirtilmiştir. Uçucu Personel Eğitim Durum Tablosu Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Algoritmanın kalitesini doğru bir şekilde test edebilmek maksadıyla personelin uçuş gereksinim durumları birbirinden farklı bir şekilde belirlenmiş ve program çıktısının çizelge önceliklerini iyi değerlendirip değerlendiremediği ölçülmek istenmiştir.



Şekil 4.2 Uçucu Personel Eğitim Durum Tablosu

Şekil 4.2'de verilen Eğitim Durum Tablosunda görüleceği üzere her bir uçucu personel için; ilgili görev pozisyonuna ait yönerge gereksinimleri "tekrar tabloları" şeklinde belirtilmiştir. Harbe Hazırlığın Devamı Eğitimi kapsamındaki eğitim öğeleri (*training events*) sıralanarak, her bir eğitim öğesinin hangi periyotlarda kaç tekrar gerektirdiği belirtilmiş, bununla birlikte senaryo kapsamında ilgili uçucuya ait mevcut durum "kalan gün" şeklinde listelenmiştir.

4.5.3. Senaryo Görev Çeşitleri

Senaryo kapsamında, gerçek durumlarda sıklıkla icra edilen AWACS görevleri seçilmiş ve programa dâhil edilmiştir. Senaryo görev çeşitleri; uçuş, simülatör, yerde eğitim ve nöbet şeklinde kategorilere ayrılarak Çizelge 4.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Senaryo Görev Çeşitleri

Görev Çeşidi	Görev Adı	Açıklama
Uçuş	Temel Eğitim Uçuşu (BASIC-M/S)	Temel Eğitim Uçuşları, uçuş ve görev ekibinin eğitimi maksadıyla temel seviye silah kontrol aktivitesi (*Basic Weapons Activity*) bulunduran görev (*M-Mission*) veya yalnızca gözetleme maksatlı (*Surveillance-S*) görevlerdir. Uçuş ve Görev Ekibinin tamamı veya görev ekibinin bir kısmı göreve katılır.
	İleri Seviye Eğitim Uçuşu (ADVANCED-M)	İleri Seviye Eğitim uçuşları uçuş ve görev ekibinin eğitimi maksadıyla tatbikat (*exercise)* veya yüksek yoğunluklu silah kontrol aktivitelerinin (*Advanced Weapons Activity*) bulunduğu görevlerdir. Uçuş ve Görev Ekibinin tamamı katılır.
	Harekât Uçuşu (OPER-M)	Hakiki harekât görevlerdir. Çoğunlukla Tam Görev Uçuşu (M-Sortie) olarak uçulsa da bazı harekât görevleri Gözetleme Uçuşu (*S-Sortie*) olarak da uçulabilir. Uçuş ve Görev Ekibinin tamamı veya görev ekibinin bir kısmı katılır.
	Pilot Eğitim Uçuşu (P/AAR)	Yalnızca uçuş ekibinin eğitimi maksadıyla icra edilen eğitim görevleridir. Herhangi bir operasyonel görev içermez. Uçuş kapsamında Havada Yakıt İkmali eğitimi (*Air-to-Air Refuelling, AAR*) bulunup bulunmadığı ayrıca belirtilir.
Yerde Eğitim	Ekip Kaynak Yönetimi Eğitimi (CRM)	Uçucuların Ekip Kaynak Yönetimi konusundaki bilgi ve becerilerini tazelemek maksadıyla yılda bir kere icra edilen tazeleme eğitimidir. Tüm uçuş ve görev ekibi için mecburidir.
	Hayatta Kalma Eğitimi (LS – Life Support)	Uçak içinde meydana gelebilecek acil durum, yangın, mecburi iniş, pist dışına veya suya mecburi iniş durumlarında yapılacak hareket tarzlarının gösterildiği, yılda bir kez tazeleme şeklinde alınması gereken yerde eğitim türüdür. Tüm uçuş ve görev ekibi için mecburidir.

Çizelge 4.2'nin devamı

Görev Çeşidi	Görev Adı	Açıklama
SIM	Görev Simülatörü (M-SIM)	Görev Ekibinin temel ve ileri seviye eğitim ihtiyaçlarını karşılamak maksadıyla görev simülatöründe icra edilen senaryolu eğitim türüdür. Tüm görev ekibi katılır.
	Uçuş Simülatörü (F-SIM)	Uçuş ekibinin eğitim ihtiyaçlarının karşılanmasını amacıyla uçuş simülatöründe icra edilen eğitimdir. Yalnızca uçuş ekibi katılır.
Nöbet	Filo Nöbeti (DUTY)	Filo Harekât Odası ve filo görevlerinin 24 esasınca koordinasyonu maksadıyla icra edilen günlük nöbet görevidir. Senaryo kapsamında yalnızca SC ve PC görev pozisyonundaki personel uçuşlarına ilave olarak filo nöbet listesine alınmıştır.

AWACS Uçaklarının hakiki görevleri yukarıdakiler ile sınırlı olmayıp, gerçek şartlarda çok daha fazla görev çeşidine sahiptir. Yukarıdaki görevler yalnızca deney seti için oluşturulan jenerik görevlerdir. Bu sayede algoritmanın çeşitli görevler için ekip çizelgeleme performansı ölçülmek istenmiştir.

4.5.4. AWACS Filosu Jenerik Uçuş ve Görev Programı

AWACS filosunda çizelgeleme süreci uçuş programının onaylanıp yayımlanması ile başlar. Program dahilinde icra edilecek harekât ve eğitim uçuşları, simülatör görevleri ile periyodik yer eğitimleri ve nöbetler yer alır. Jenerik senaryo kapsamında hazırlanan bir haftalık Uçuş ve Görev programı Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Jenerik Senaryo Uçuş ve Görev Programı

Gün	Görev No	Görev Çeşidi	Görev		Mevcut	Çizelgelenecek Görev Pozisyonları
1	0	UÇUŞ	BASIC-M Kalkış Saati İniş Saati	 : 08.00 : 14:00	12	AC FP TD PC FA WC WC WC SC SO SO SO
	1	SIM	M-SIM Başlangıç Bitiş	 : 09:00 : 12:00	10	TD PC FA WC WC WC SC SO SO SO
	2	SIM	F-SIM Başlangıç Bitiş	 : 09:00 : 12:00	4	IP[2] AC AC AC EP FP FP FP
	3	Nöbet	Filo Nöbeti Başlangıç Bitiş	 : 08:00 : +1/08:00	1	SC PC
	4	Yerde Eğitim	CRM[3] Başlangıç Bitiş	 : 08:00 : 14:00	10	X X X X X X X X X X

[2] IP (Instructor Pilot) Öğretmen Pilot, EP (Evaluator Pilot) Kıymetlendirici Pilot'u ifade eder.
[3] Tüm görev pozisyonlarından toplam 10 kişilik kapasite ayrılmıştır.

Çizelge 4.3'ün devamı

Gün	Görev No	Görev Çeşidi	Görev	Mevcut	Çizelgelenecek Görev Pozisyonları
2	5	UÇUŞ	ADVANCED-M Kalkış Saati : 08.00 İniş Saati : 14:00	12	AC FP TD PC FA WC WC WC SC SO SO SO
	6	UÇUŞ	P-AAR Başlangıç : 12:00 Bitiş : 18:00	4	IP AC AC AC EP FP FP FP
	7	Nöbet	Filo Nöbeti Başlangıç : 08:00 Bitiş : +1/08:00	1	SC PC
	8	Yerde Eğitim	Life Support[4] Başlangıç : 08:00 Bitiş : 14:00	10	X X X X X X X X X X
	9	UÇUŞ	OPER-M Kalkış Saati : 23.00 İniş Saati : +1/05:00	12	AC FP TD PC FA WC WC WC SC SO SO SO
3	10	UÇUŞ	BASIC-M Kalkış Saati : 08.00 İniş Saati : 14:00	12	AC FP TD PC FA WC WC WC SC SO SO SO
	11	Nöbet	Filo Nöbeti Başlangıç : 08:00 Bitiş : +1/08:00	1	SC PC
4	12	SIM	M-SIM Başlangıç : 09:00 Bitiş : 12:00	10	TD PC FA WC WC WC SC SO SO SO
	13	Nöbet	Filo Nöbeti Başlangıç : 08:00 Bitiş : +1/08:00	1	SC PC
5	14	UÇUŞ	P-NIGHT (NO AAR) Başlangıç : 20:00 Bitiş : 23:30	4	IP AC AC AC EP FP FP FP
	15	UÇUŞ	ADVANCED-M Kalkış Saati : 06.00 İniş Saati : 15:00	12	AC FP TD PC FA WC WC WC SC SO SO SO
	16	Nöbet	Filo Nöbeti Başlangıç : 08:00 Bitiş : +1/08:00	1	SC PC
6	17	Nöbet	Filo Nöbeti Başlangıç : 08:00 Bitiş : +1/08:00	1	SC PC
7	18	UÇUŞ	OPER-M AAR Kalkış Saati : 06.00 İniş Saati : 15:00	12	AC FP TD PC FA WC WC WC SC SO SO SO
	19	Nöbet	Filo Nöbeti Başlangıç : 08:00 Bitiş : +1/08:00	1	SC PC

[4] Tüm görev pozisyonlarından toplam 10 kişilik kapasite ayrılmıştır.

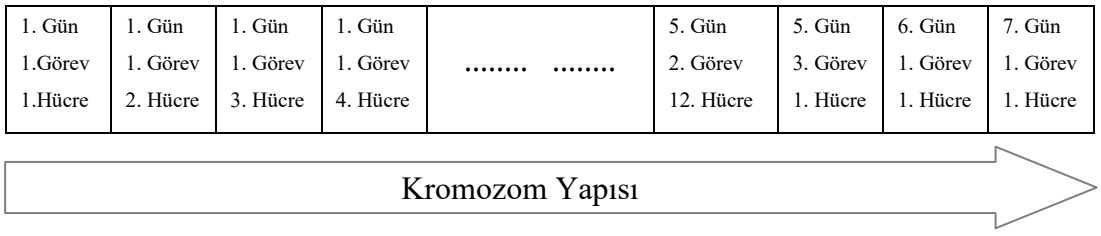
4.6. Genetik Algoritma ile Çözüm

Önceki kısımda tanımlanan problem ve oluşturulan senaryonun çözümü için genetik algoritma kullanılarak hazırlanan çözüm yaklaşımı aşağıda basamaklar halinde sıralanmıştır.

4.6.1. Genetik Gösterim ve Kromozom Yapısı

AWACS Uçaklarında Ekip Çizelgeleme Probleminin çözümünde en önemli işlem basamağı uygun kromozom yapısının oluşturularak, devamında genetik işlemlerin uygulanmasına elverişli hale getirmektir. Üçüncü bölümde belirtildiği üzere genetik algoritmalarda kromozomlar çözüme ait tüm bilgileri içinde bulundururlar. Bu durumda popülasyona ait her bir kromozom bir haftalık çizelgeye ait tüm görevlerin bilgilerini bulundurması gerekir. Kromozomu oluşturan genlerin karşılığı olarak her görev için, çizelgelenecek bir görev pozisyonu ve o görev pozisyonuna atanacak uçucu düşünülebilir (*scheduling slot*).

Örneğin, birinci gün, birinci görevde ataması yapılacak 12 uçucu, bir başka deyişle toplam 12 gen bulunmaktadır. Bir haftalık programın tamamı ele alındığında çizelgede atama yapılacak her hücre (*scheduling slot*) bir geni ifade eder. Genler baştan sona doğru dizildiğinde ise kromozomu oluştururlar. AWACS Ekip Çizelgeleme Problemi için genetik gösterim ve kromozom yapısı Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Genetik Gösterim ve Kromozom Yapısı

Gezgin satıcı probleminde (GSP) olduğu gibi; kodlanan kromozomdaki her genin pozisyonu diğer genlere de bağımlıdır. Aynı personel aynı uçuşa ikince kez planlanamaz veya zaman çakışması bulunan başka bir göreve atanamaz. Bu kriterin karşılanabilmesi için ilk popülasyonun oluşturulmasında ve müteakip diğer genetik işlemlerde çakışmalar mümkün olduğunca elimine edilir.

4.6.2. İlk Popülasyonun Oluşturulması

Genetik algoritmalarda ilk popülasyon çoğunlukla rastgele atama yöntemi ile belirlenir. Bu problemde de aynı yöntem kullanılarak birinci genden itibaren uygun uçucular çizelgenin atama yapılacak hücrelerine rastgele atanırlar. Rastgele atama esnasında, gerekirse atama tekrarlanarak görev ve zaman çakışmalarının giderilmesi ve bulunan çözümün geçerli bir çözüm olması (*valid solution*) hedeflenir. Her ne kadar ön eleme işlemi gerçekleştirilse dahi bazı durumlarda ilgili hücreye atanacak uygun bir aday bulunamayabilir. Bu da döngünün sonsuza giderek programın kilitlenmesine sebep olur. Bu durumda algoritmaya bir çıkış kapısı eklenerek uygun aday havuzundaki tüm uçucuların denenmesi sonucunda uygun aday bulunamamış ise rastgele (fakat uygun olmayan) bir aday ile devam edilir. İlk popülasyon seçimi için kaba kod Şekil 4.4'te verilmiştir.

fonksiyon ilk_populasyonu_olustur

```
1   Başla
2   Uçucu listesini al, görev pozisyonlarına göre sınıflandır
3   Her bir çizelge hücresi için
4   {       Uygun adayları belirle
5           Rastgele bir uçucu seç
6           Uçucunun zaman çakışmasını kontrol et
7           Çakışma varsa {Bir sonraki uçucuyu seç ve 5.maddeyi uygula.
8           Tüm uçucular denendi ise{sıradaki uçucuyu ata}}
9           Çakışma yoksa {Atama yap}sonraki gen ile devam et
10  }
11  Bitir
```

Şekil 4.4 İlk Popülasyon Seçimi İçin Kaba Kod (pseudo code)

Analitik çözüm yöntemlerinde bir sorun veya eksiklik gibi görünen, hatta çözümsüz çıkış (*dead end*) olarak değerlendirilen bu durum aslında genetik algoritmaların en üstün taraflarından bir tanesidir. Doğal hayatta olduğu gibi her canlı mükemmel özelliklere sahip olmayabilir. Bu durum o canlının doğal seleksiyonun bir parçası olmayacağı anlamına gelmez. Kromozoma ait bazı genler problemli olsa da kromozomun tamamında çok faydalı genler bulunabilir ve müteakip genetik işlemlerde de görüleceği üzere çaprazlama ve mutasyon sonucunda ilk başta bozuk gibi görünen bu kromozomun sağlam genleri sonraki nesle geçerek kendisinden sonraki neslin iyileşmesini sağlayabilir.

4.6.3. Uygunluk Fonksiyonunu ve Matematiksel Model

Genetik algoritmalarda çözümün kalitesini uygunluk fonksiyonu belirler. Büyüklüğü önceden belirlenen popülasyon kümesinde her bir bireyin ideal çözüme yakınlığı uygunluk fonksiyonunun bireye uygulanması sonucu bulunur.

AWACS Ekip Çizelgeleme probleminde çözümün kalitesini belirleyen faktörler diğer çizelgeleme problemlerinde olduğu gibi ***katı ve yumuşak kısıtlardır***. Uygunluk fonksiyonunun öncelikle katı kısıtları yerine getirmesi, katı kısıtları karşılayan aday çözümlerin ise mümkün olan en fazla yumuşak kısıtı karşılaması istenir. Matematiksel model uygunluk fonksiyonunun minimize veya maksimize edilmesi prensibi ile ifade edilir.

AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminin modellenmesinde katı ve yumuşak kısıtlara ait fonksiyonlar "maliyet" prensibi ile minimize edilmek istenmektedir. İstenilen kriterleri karşılamayan her gen, fonksiyona değişen miktarlarda maliyet ekler. Bu maliyetlerin birbiri ile toplanması sonucu kromozom maliyeti elde edilir.

Katı Kısıtlar: Kromozomu oluşturan genlerin ilk seçimi ve bundan sonraki genetik evrelerde yönergelerde belirtilen kurallar çerçevesinde aday havuzları oluşturulur ve seçim bu havuzdan yapılır. Böylelikle uzmanlık alanı, izin ve yıllık izin vb. gibi idari çakışmaların engellenmesi hedeflenir. Çizelgelemede göz önüne alınan ve kontrol edilmesi nispeten zor olan en temel katı kısıt ise zaman çakışmasıdır. Elde edilen çözümde hiçbir şekilde bir uçucu aynı anda iki görevde birden bulunamaz.

Kromozomu oluşturan genlerden her biri zaman uzayında üst üste getirilmek suretiyle çakışma hesabı yapılır ve çakışan her zaman dilimi için (*timeslot*) ceza puanı eklenir. Bulunan toplam ceza puanı bireye ait çakışma maliyetini verir (*conflict cost*). Popülasyona ait bireylerden çakışma puanı sıfır (0) olan birey geçerli çözüm (*valid solution*) olarak adlandırılır.

Kromozomun zamansal çakışma maliyeti aşağıdaki formül ile bulunabilir;

$$c_{ij} = \sum_{t=0}^{n} v_{tij} \tag{4.1}$$

Burada;

c : uçucuya ait çizelge çakışma maliyeti *(conflict cost)*

i : uçucu, i=0...n; n:uçucu sayısı

j : görev, j=0...n; n=görev sayısı

t : zaman dilimi (timeslot), t=0....n; görevi kapsayan zaman dilimi sayısı

v : zaman dilimi müsaitlik durumu. Burada;

$$v = \begin{cases} 0, çakışma\ yok\ ise \\ \geq 1, çakışma\ mevcut\ ise \end{cases}$$

şeklinde tanımlanır. Popülasyona ait bireyin toplam çakışma maliyeti;

$$\Delta c_{ij} = \sum_{l=0}^{n} c_{ljk} \tag{4.2}$$

Burada; *l:* gen, *l=0....n; n:*toplam gen sayısıdır.

Yumuşak Kısıtlar: Kromozomun toplam maliyetinin bulunması için çözümün performansını etkileyen yumuşak kısıtların değerlendirilmesi gereklidir. Her bir yumuşak kısıt, uygunluk fonksiyonuna belirli oranda bir maliyet ekler. Aday çözümlere ait her bir genin eklediği maliyetler toplanarak kromozomun genel maliyeti elde edilir. AWACS Ekip Çizelgelemesinde yönergelerde belirtilen eğitim gereksinimleri, görev çeşitliliği ve eşitlik ilkesi (*fairness*) genel yumuşak kısıtları oluşturur.

AWACS uçucularının çizelgeye atanmasında en önemli faktör harbe hazırlığın devamı kriterlerinin yerine getirilmesidir. Bunun için öncelikle eğitim tekrarı için kalan gün sayısı hesaplanmalıdır. Atama yapılacak görevde bulunan tüm eğitim öğeleri (*training events*) değerlendirildiğinde, her bir eğitim öğesi için kalan gün sayısı, hesaplama için asli kriteri oluşturur.

Eğitim öğesine ait maliyet faktörü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$te_{ijk} = \min \frac{d_{ijk}}{P_{k\max}} \tag{4.3}$$

Burada;

$i = 1,.....,n$
$j = 1,.....,m$
$k = 1,.....,q$

d_{ijk} : i uçucusu için j görevindeki k eğitim öğesine ait kalan gün sayısı

$P_{k\max}$: k eğitim öğesi için tekrar tablosunda bulunan maksimum tanınan süre

n : Toplam uçucu sayısı (aynı görev pozisyonunda)

m : Toplam görev miktarı

q : Toplam eğitim öğesi

Çizelgelemede, atama yapılacak tüm hücrelerin eğitim öğesi maliyetleri toplandığında, popülasyona ait bireyin toplam eğitim maliyeti elde edilmiş olur.

$$\Delta te_{ijk} = \sum_{l=0}^{n} \min \frac{d_{ijk}}{P_{k\max}} \tag{4.4}$$

Nöbetler: Yukarıdaki hesaplama uçuş, simülatör ve yerde eğitim gibi görevler içindir. Nöbetler için ise durum biraz farklıdır. Nöbete yapılacak atamalarda uçucunun, daha önce nöbeti ne kadar sıklıkla tuttuğu ve atama yapılacak nöbet görevinin niteliğine göre (hafta içi, hafta sonu vs.) daha önce aynı nitelikteki görevi ne sıklıkla icra ettiğidir.

$$q_{ij} = \frac{r_{ij}}{S_{ij}} + \frac{r_{ijw}}{S_{ij}} \tag{4.5}$$

Burada,

q_{ij} : *i* uçucusunun *j* görevindeki nöbet maliyeti,

r_{ij} : *i* uçucusunun *j* görevine ait nöbeti daha önce kaç kez tuttuğu

S_{ij} : *i* uçucusunun *j* görevine ait nöbet listesine kaç gün önce girdiği

r_{ijw} : aynı uçucunun *w* tipinde (hafta içi, hafta sonu vs) kaç nöbet tuttuğudur.

Popülasyona ait bireyin toplam nöbet maliyeti ise;

$$\Delta q_{ij} = \sum_{l=0}^{n} \left(\frac{r_{ij}}{S_{ij}} + \frac{r_{ijw}}{S_{ij}} \right) \tag{4.6}$$

şeklinde hesaplanabilir.

NOT: Bu kısımda açıklanan kavramlarda ‘uçucu’ ve ‘birey’ tanımları birbiri ile karıştırılmamalıdır. Uçucu; her bir çizelgeleme hücresine atanan gerçek kişi iken ‘birey’ bir genetik algoritma terimi olup oluşturulan çözüm popülasyonundaki her bir aday çözümü ifade etmektedir.

Görev Çeşitliliği: AWACS Filosunda her uçucunun birbirine yakın tecrübe seviyesine sahip olabilmesi için her bir görevi eşit miktarda icra etmesi gerekir. Eğitim tekrar gereksinimleri her bir eğitim öğesi için minimum tekrar aralıklarını belirlerken görev çeşitliliği eğitimden filo olarak azami fayda alınmasını sağlar. Özellikle tatbikat görevlerinin icrasında uçucuların tatbikat tecrübeleri önem taşır. Oldukça maliyetli olan bu görevlerde her uçucuya eşit şans verilmesi görevin kalitesini artırıcı faktörlerdendir.

Uçuculara ait görev çeşitliliği, söz konusu görev tekrar sayısının, uçucunun kendi görev pozisyonunda, harbe hazır unvanı ile aktif uçucu olarak görev yaptığı gün sayısına bölünerek elde edilebilir.

$$\mu_{ij} = \frac{b_{ij}}{R_i} \tag{4.7}$$

μ_{ij} : *i* uçucusunun *j* görevindeki görev çeşitlilik maliyeti

b_{ij} : *i* uçucusunun *j* görevini tekrar etme sayısı

R_i : *i* uçucusunun aktif görevde bulunduğu gün sayısı

Popülasyona ait bireyin toplam görev çeşitliliği maliyeti ise;

$$\Delta\mu_{ij} = \sum_{l=0}^{n} \frac{b_{ij}}{R_i} \tag{4.8}$$

şeklinde hesaplanır.

Eşitlik (Fairness) : Harbe hazır olan ve bu statüsünü yönergelerde belirtilen şekilde muhafaza eden uçucuların, özellikle harekât görevlerine atanmalarında en önemli kriterlerden birisi de eşitlik ilkesinin korunmasıdır. Özellikle görev yoğunluğunun arttığı dönemlerde her uçucunu uçuş saatlerini eşit seviyede tutmak, ekip yorgunluğu ve kronik yorgunluğun (*fatigue*) önlenmesi açısından önemlidir.

Bir uçucuya ait eşitlik maliyeti aşağıdaki formül ile hesaplanabilir;

$$h_i = \frac{u_i}{R_i} \tag{4.9}$$

h_i : i uçucusunun eşitlik maliyeti

u_i : i uçucusunun toplam uçuş saati

R_i : i uçucusunun aktif görevde bulunduğu gün sayısı

Popülasyona ait bireyin toplam eşitlik maliyeti ise;

$$\Delta h_i = \sum_{l=0}^{n} \frac{u_i}{R_i} \tag{4.10}$$

formülü ile bulunur.

Toplam Maliyet: Sonuç olarak, popülasyona ait bireyin toplam maliyeti (*T*);

$$T_{ijk} = \sum_{l=0}^{n} \left(\Delta te_{ijk} + \Delta c_{ij} + \Delta q_{ij} + \Delta\mu_{ij} + \Delta h_i \right) \tag{4.11}$$

şeklinde hesaplanır. Popülasyonun uygunluğunun hesaplanmasında amaç tüm maliyetlerin minimizasyonudur.

Genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonu ise;

$$\min T_{ijk} = \min \sum_{l=0}^{n} \left(\Delta te_{ijk} + \Delta c_{ij} + \Delta q_{ij} + \Delta \mu_{ij} + \Delta h_i \right) \tag{4.12}$$

şeklinde modellenebilir. Burada her ne kadar toplam maliyet minimize edilmek istense de çözümün geçerli olabilmesi için çakışma maliyetinin her durumda sıfır (0) olması gereklidir.

$$\begin{aligned} \min \Delta c_{ij} = 0 &\Rightarrow valid \\ \min \Delta c_{ij} > 0 &\Rightarrow invalid \end{aligned} \tag{4.13}$$

fonksiyon uygunluk_hesapla

```
1   Başla
2   Atanan uçucu listesini al
3   Her bir çizelge hücresi için {
4       Atanan uçucuya görev zamanı için her dilime bir ekle
5       Her bir çizelge hücresi, her bir zaman dilimi için
6       {   Eğer atanan uçucunun zaman dilimi 1'den büyük ise;
7           {   Çakışma maliyetini artır  }
8           Eğer görev uçuş, simülatör veya yerde eğitim ise;
9           {   eğitim öğesi puanını hesapla ve ekle   }
10          Görev nöbet ise;
11          {   nöbet puanının hesapla ve ekle         }
12  Toplam puanı hesapla ve döndür      }
13  Bitir
```

Şekil 4.5 Uygunluk Hesabı İçin Kaba Kod (pseudo code)

Özet olarak; popülasyona ait bireylerin uygunluk fonksiyonları hesaplandığında, atama yapılacak çizelge hücresine en uygun uçucu adayının, toplam maliyeti en düşük olan aday olması hedeflenir. Genetik algoritmanın bundan sonraki aşamalarında, neslin daha iyiye gidebilmesi için uygunluk maliyetinin her iterasyonda azalması beklenir. Uygunluk hesabı için kaba kod Şekil 4.5'te verilmiştir.

4.6.4. Seçim İşlemi

İlk popülasyonun oluşturulması ve popülasyondaki her bireyin maliyetinin hesaplanmasının ardından sıra seçim aşamasına gelir. Üçüncü bölümde de belirtildiği üzere genetik algoritmalarda seçim için rulet tekerleği, turnuva seçimi ve rank yöntemi gibi çeşitli seçim stratejileri mevcuttur. Bu çalışmada seçim işleminde turnuva seçimi kullanılmaktadır.

Seçim işlemi doğal seleksiyonun temel öğesidir. Çiftler üremeden önce popülasyondaki adaylar arasından kendileri için güçlü ve estetik bir aday bulmaya çalışırlar. Algoritmada da durum farklı değildir. Elde edilen popülasyonda en güçlü ve estetik adaylar uygunluk maliyeti en düşük olan adaylar olacaktır.

Turnuva seçiminde; popülasyon içerisinde, sayısı daha önceden belirlenen miktarda rastgele adaylar seçilerek yarışmaya sokulur ve uygunluk maliyeti en düşük olan aday turnuvanın galibi olarak sonraki genetik işlemlere girer. Turnuva seçimi için kaba kod Şekil 4.6'da verilmiştir.

Seçim popülasyonunun miktarı (*tournament pressure*) da çözümün kalitesinde önemli bir yer tutar. Çok büyük seçilmesi elbette iyi adayları bulacaktır fakat bu durumda çeşitlilik azalır. Çok küçük seçilmesi durumunda ise iyi olmayan adayların turnuva galibi olma ihtimali artar.

```
fonksiyon turnuva_secimi

1   Başla
2   Popülasyon listesini al
3   Popülasyondan belirli miktarda aday belirle
4       Adayları maliyetlerine göre küçükten büyüğe sırala
5       Maliyeti en küçük adayı al ve yeni popülasyonun üyesi yap
6   İşlemi popülasyon boyutu kadar tekrarla
7   Seçilen popülasyonu döndür
8   Bitir
```

Şekil 4.6 Turnuva Seçimi İçin Kaba Kod (pseudo code)

4.6.5. Elitizm

Seçim stratejisi her ne kadar iyi adayları bulmayı amaçlasa da, işlemler rastgele gerçekleşeceği için bazı güçlü adaylar seçim işleminde elenebilir. Bu durumun engellenmesi ve en güçlü adayların mutlak surette bir sonraki nesle aktarılabilmesi için

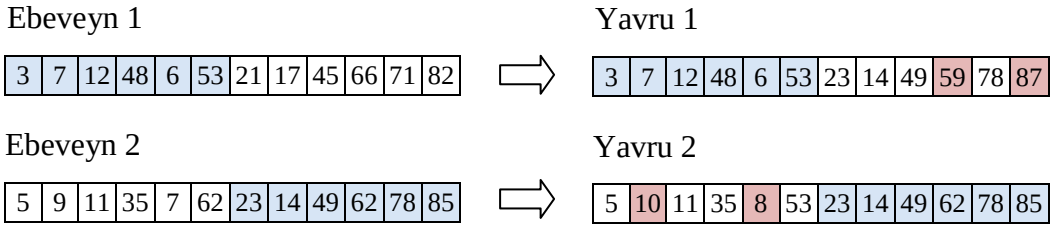
elitizm işlemi uygulanır. Elitist strateji literatürdeki birçok problemde kullanılmış ve olumlu sonuçlar vermiştir. Burada önemli olan husus elitizm ile ayrılacak popülasyon üyelerinin miktarının iyi belirlenmesidir. Miktarın yüksek tutulmasının çeşitliliği azaltabileceği göz önünde bulundurularak en uygun oranın seçilmesi hedeflenmelidir.

4.6.6. Çaprazlama

Genetik algoritmalarda üreme çaprazlama işlemi ile gerçekleştirilir. Çaprazlamada amaç popülasyondaki iki adayın kromozom özelliklerinden bir kısmının alınarak yavru bireye aktarılması ve yeni bir birey oluşturulmasıdır. Analitik yöntemler ile kıyaslandığında bu işlem geçerliliği düşük bir işlem gibi görünebilir. Fakat genetik algoritmaların gücü bu işlemden kaynaklanmaktadır. Her nesilde çözüm çeşitliliği artırılırken iyi olan ata adaylara ait özellikler korunur.

Çaprazlama için literatürde birçok strateji mevcuttur. Üçüncü bölümde de belirtildiği üzere tek noktalı, iki noktalı, aritmetik vb çaprazlama yöntemleri, çeşitli problemlere uygulanmıştır. AWACS Ekip Çizelgeleme probleminin çözümünde tek ve çok noktalı çaprazlama yöntemleri, problemin kendine has özellikleri değerlendirilerek revize edilmiş ve özgün bir çaprazlama stratejisi benimsenmiştir. Gezgin satıcı probleminde olduğu gibi çaprazlama sonrasında yavru bireylerin kromozom özellikleri geçerli bir çözümden çok uzaklaşabilir. Bu durum da her nesilde iyileşme yerine geriye gidiş ve adayların güçsüzleşmesi olarak probleme yansır. Bunun yerine ebeveynlerin kromozomlarındaki genlerin bir kısmı alındıktan sonra bu genlere uygun yeni genlerin belirlenmesi ile çakışma ihtimali minimize edilmiş olur. Böylelikle çaprazlamada nihai hedef yakalanırken, neslin iyileşmesi sağlanır.

AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminde revize edilmiş tek noktalı çaprazlama işlemi Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Tek Noktalı Çaprazlama İşlemi

Şekil 4.7'de gösterilen tek noktalı çaprazlama işleminde yavrular ebeveynlere ait genlerden yarısını direkt olarak alırken diğer yarısını azami oranda diğer ebeveynden alır. Çakışma tespit edilen genler doğal çeşitliliği sağlamak maksadıyla rastgele ve yeniden belirlenmiştir. Yeniden belirleme esnasında ilk alınan genlerin zaman eksenleri incelenerek çakışan durumlar elimine edilir.

```
fonksiyon crossover

1   Başla
2   Popülasyonu al
3   Çaprazlama oranı kadar çaprazlanacak adayları belirle (ata)
4   Aday kromozomun bir kısmını al ve yavruya kopyala
5   Yavru bireyin kalan kısmını diğer ata bireyden kopyala
6   Zaman çakışması varsa;
7       {   havuzdaki bir sonraki uçucu ile değiştir   }
8   İşleme tüm aday uçucular için devam et
9   Yeni popülasyonu oluştur
10  Bitir
```

Şekil 4.8 Çaprazlama İçin Kaba Kod (pseudo code)

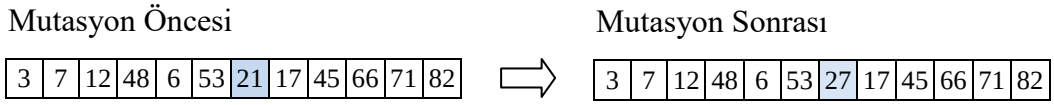
Belirlenecek çaprazlama oranı probleme göre değişiklik gösterse de bazı genlerin çaprazlamaya tabi tutulmadan bir sonraki nesle direkt olarak aktarılması da söz konusudur. Çaprazlama için kaba kod Şekil 4.8'de verilmiştir.

4.6.7. Mutasyon

Genetik algoritmalarda mutasyon, çözüm esnasında lokal minimuma yakalanmamak için yapılan etkili bir işlemdir. Problem kimi zaman bir çözüm üzerinde yoğunlaşır ve sabitlenir. Bu durumda, bu kısır döngüden çıkmanın en iyi yolu mutasyondur. Mutasyon için bugüne kadar çok çeşitli teknikler kullanılmıştır. Sıklıkla başvurulan yöntem rastgele bir genin değiştirilmesi veya bir başka gen ile yer değiştirmesidir.

AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminin Çözümünde mutasyon işlemi, çaprazlama işleminde kullanılan tekniğe benzer bir yöntem ile gerçekleştirilir. Mutasyona uğratılacak birey belirlendikten sonra, rastgele bir gen alınır ve söz konusu gene ait aday uçucu havuzundan bir başka uçucu atanır. Eğer atanan uçucuda zaman çakışması mevcut ise bir başka uçucuya geçilir. Bu döngü çakışma bulunmayan uçucuya kadar devam eder. Eğer tüm uçucular denenmiş ise rastgele bir uçucu atanır.

Genetik algoritmanın diğer parametrelerinde olduğu gibi Mutasyon oranı için de kesin bir değer söz konusu değildir. Bazı çalışmalarda bu oran %20 seviyesine kadar artırılabilse de (Bayata, 2012) , genellikle %10 ve altında mutasyon oranlarının çözüme katkı sağladığı görülmüştür. Mutasyon işlemi Şekil 4.9'da, mutasyon için kaba kod Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Mutasyon İşlemi

fonksiyon mutasyon

```
1    Başla
2    Popülasyonu al
3    Mutasyona uğratılacak adayları belirle
4    Adayın kromozomundan bir geni al ve değiştir
5    Zaman çakışması varsa;
6          {     bir sonraki uçucuyu ata   }
7    İşleme tüm aday uçucular için devam et
8    Yeni popülasyonu oluştur
9    Bitir
```

Şekil 4.10 Mutasyon İçin Kaba Kod (pseudo code)

4.6.8. Algoritmanın Sonlandırılması

Genetik algoritmalar analitik yöntemlerde olduğu gibi tek bir sonuç vermez. Oluşturulan her neslin daha iyi sonuçlar vereceği varsayılarak ideal çözüme ulaşmaya çalışılır. Bunun için programa bir durdurma kriteri eklenmesi gerekir.

Durdurma kriteri kullanıcının tercihlerine göre değişiklik gösterebilir. Elde edilen çözümün uygunluk fonksiyonuna göre maliyeti belirli bir değere ulaştığında, maliyet sıfırlandığında veya istenilen iterasyon sayısı gerçekleştiğinde algoritma durdurulabilir. AWACS Ekip çizelgeleme probleminde maliyetin sıfıra ulaşma durumu pratikte beklenmez. Çünkü gerçek hayatta tüm uçucuların eğitim maliyetleri sıfırdan büyük bir değer taşır. Bu durumda çözüme ayrılan zaman, dolayısıyla iterasyon sayısını

veya daha önceden belirlenen bir performans tablosuna göre istenen çizelgenin elde edilmesini durdurma kriteri olarak belirlemek en akılcı çözüm olacaktır.

Deney ortamında performans ölçümü yapmak amacıyla jenerik AWACS filosundaki her bir uçucu için performans tabloları hazırlanmış ve bu tablolar genetik algoritma çözümleri ile kıyaslanarak algoritmanın performansı ve ne kadar sürede ideal çözüme ulaştığı ölçülmüştür.

Gerçek hayatta ise en düşük maliyet değerini elde edilen çözümün kullanıcıya sunulması yerinde olacaktır. Performans tablosu ile karşılanan kriterler yerine getirilmiş olsa da algoritma daha uygun çözüm alternatiflerini bulmaya devam edecektir. Problemin bir çok kısıta sahip olduğu göz önüne alındığında, kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde optimum değeri elde etmek hedeflenmelidir.

Tüm algoritmaya ilişkin kaba kod Şekil 4.11'de verilmiştir.

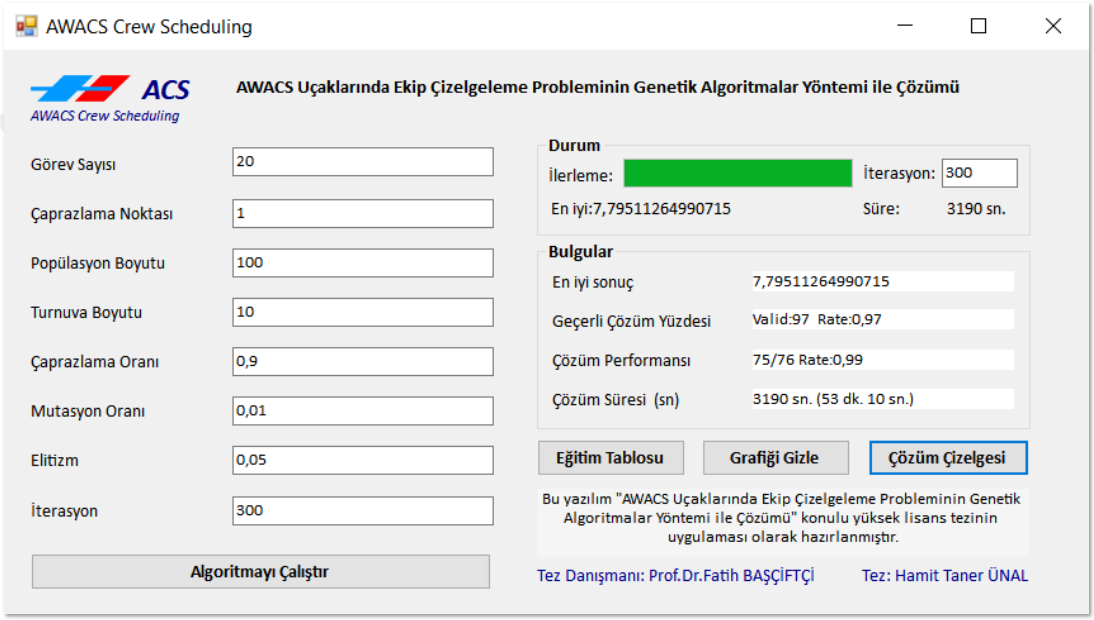
```
fonksiyon GA

1   Başla
2   Uçucu listesini al ve görev pozisyonlarına göre sınıflandır
3   Uçuculara ait geçmiş uçuş kayıtları ve eğitim gereksinimleri tablosunu
    oluştur
4   İlk popülasyonu rastgele oluştur
5   Oluşturulan popülasyona ait zaman çizelgesini oluştur ve zaman
    çakışmalarını tespit et
6   Popülasyona ait uygunluk fonksiyonlarını hesapla
7       {   Popülasyon çakışma maliyetini hesapla
            Popülasyon eğitim maliyetini hesapla
            Popülasyon görev çeşitliliği maliyetini hesapla
            Popülasyon görev eşitliği maliyetini hesapla
        }   Tüm maliyetleri topla ve genel uygunluğu bul
8   Popülasyonu toplam maliyete göre küçükten büyüğe sırala
9   Elit bireyleri belirle ve bir sonraki nesle aktarılmak üzere ayır
10  Popülasyona turnuva seçimi uygula
11  Seçilen bireylere, istenilen oranda çaprazlama uygula
12  Çaprazlama sonucu oluşan yavru bireylere istenilen oranda mutasyon
    uygula
13  Yeni popülasyonu oluştur ve döngüyü sonlandırma kriteri
    gerçekleşene kadar tekrar et
14  Bitir
```

Şekil 4.11 Genetik Algoritma İçin Kaba Kod (pseudo code)

4.7. Deney Seti

Problemin çözümüne yönelik deneyler yapmak ve algoritmanın performansını ölçmek amacıyla Visual Studio.NET 2017 programı ve C# programlama dili kullanılarak Windows Masaüstü yazılımı (*desktop application*) hazırlanmıştır. Bu yazılım özgün ve milli AWACS Ekip Planlama Yazılımına altyapı oluşturacak biçimde çizelgeleme ve eğitim modüllerini içermekte ve oluşturulan jenerik AWACS uçuş programı üzerinden uçucuları en uygun görevlere atamaktadır.



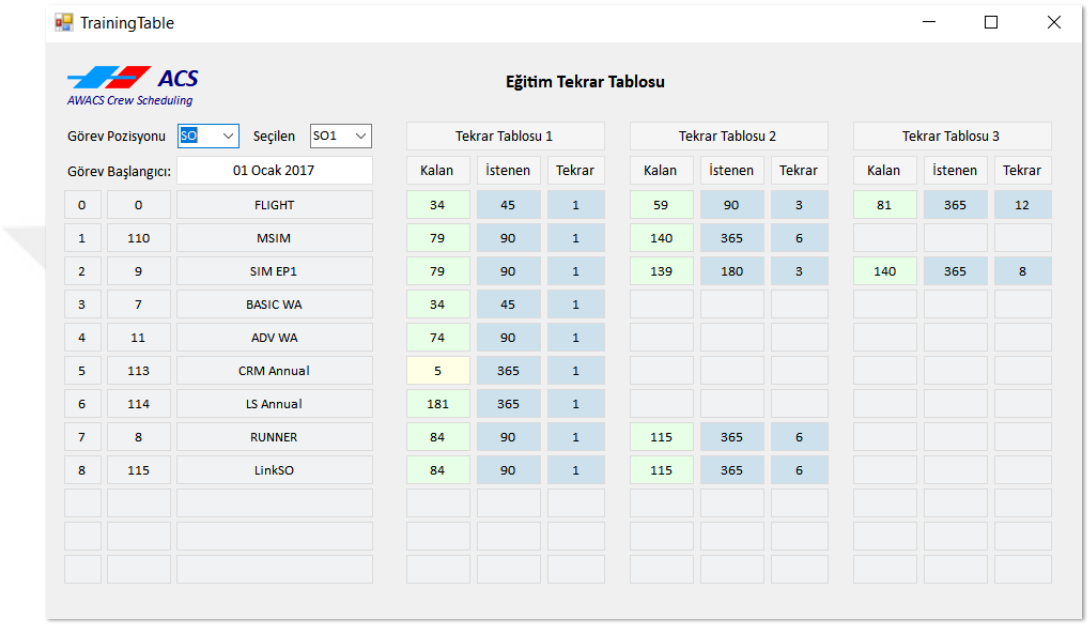
Şekil 4.12 Program Arayüzü

Şekil 4.12'de Program Arayüzü görülmektedir. Bu arayüz genetik algoritma için gerekli parametreleri kullanıcıdan alarak, bu parametrelere uygun genetik işlemleri gerçekleştirmekte ve algoritmanın çalıştırılması sonucu bulunan en iyi çözümü ve diğer alternatif çözümleri yeniden kullanıcıya sunmaktadır.

Jenerik uçuş programı, uçuculara ait temel bilgiler ve geçmiş uçuş kayıtları ile jenerik yönerge gereksinimleri program içerisine önceden yüklenmiştir. Bu parametreler istenildiği şekilde değiştirilebilir. AWACS üssünde bulunan filo sayısı, uçucu sayısı, görev pozisyonları ve dünya üzerindeki herhangi bir AWACS sistemine ait tüm parametreler yazılıma yüklenerek esnek biçimde kullanılabilir. Ayrıca tüm veriler, istenilen veritabanı veya WEB sunucusuna yüklenerek çok kullanıcılı ve gerçek zamanlı çizelgeleme işlemleri gerçekleştirilebilir.

4.7.1. Uçucu Bilgileri ve Eğitim Kayıtları

Uçuculara ait temel bilgiler ve eğitim kayıtları, hazırlanan eğitim modülü üzerinden izlenebilir. Şekil 4.13'de Uçucu Bilgileri ve Eğitim Gereksinimleri Modülü görülmektedir. Bu modülde jenerik olarak yüklenen Harbe Hazırlığın Devamı gereksinimleri tablosu da verilmiş ve uçucuların güncel durumları gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Uçucu Bilgileri ve Eğitim Gereksinimleri Modülü

Şekil 4.12'de görüldüğü üzere seçilen her bir uçucu için, ilgili görev pozisyonuna yönelik jenerik yönerge tabloları ile mevcut durum izlenebilmektedir. Sıralanan her bir eğitim öğesi için yönerge gereksinimlerine kalan gün durumu takip edilerek, söz konusu uçucunun hangi göreve atanması gerektiği görülebilir. Görsel olarak istenen görevi ön plana çıkarmak maksadıyla uçuculara ait kritik durum bilgileri sarı ve kırmızı renkte gösterilmiştir.

Eğitim gereksinimler modülünde listelenen eğitim öğeleri yalnızca deneyleri gerçekleştirmek amacıyla girilmiş jenerik unsurlardır. Uçak tipi ve AWACS sistemi kullanıcısı ülkelere göre, gerçek durumda çok daha fazla eğitim öğesi ve tekrar gereksinimi bulunmaktadır.

Bununla birlikte, gerçek durumda takibi zor veya mümkün olmayan eğitim öğeleri de (Runner ve LinkSO gibi) test amaçlı listeye eklenmiş ve algoritma çözüm çizelgesinin söz konusu eğitim öğelerini de kapsaması hedeflenmiştir.

4.7.2. Çizelgeleme Modülü

Çizelgeleme modülü, genetik algoritmanın çalıştırılması sonucu bulunan en iyi çözümü ve diğer alternatif çözüm önerilerini kullanıcıya sunan arayüzdür. Bu arayüzde jenerik uçuş programı ve her bir göreve ait görev tipi, görev adı, tarihi, başlangıç ve bitiş zamanları gibi bilgiler listelenerek, söz konusu görevlere atanan uçucular ilgili hücrelere işlenir.

Çözüme ait çizelgede tüm katı ve yumuşak kısıtları karşılayan uçucular yeşil renkte, katı kısıtların tamamını karşılayıp yumuşak kısıtları kısmen karşılayan uçucular ise sarı renkte işaretlenir. Katı kısıtları karşılayamayan uçucular kırmızı renkte gösterilir.

Çizelgeleme modülü ayrıca oluşturulan son popülasyona ait alternatif çözümleri de kullanıcıya sunar. Bazı durumlarda en düşük maliyete sahip çözüm en ideal çözüm olmayabilir. Çizelgeleme sorumlusu isterse alternatif çözümleri inceleyerek en uygun çözümü seçebilir. Çizelgeleme modülüne ait örnek ekran çıktısı Şekil 4.14'te verilmiştir.

AWACS Crew Scheduling

ACS
AWACS Crew Scheduling

Çözüm Çizelgesi

Pop:0 En iyi:7,79511264990715 75/76 Rate:0,99

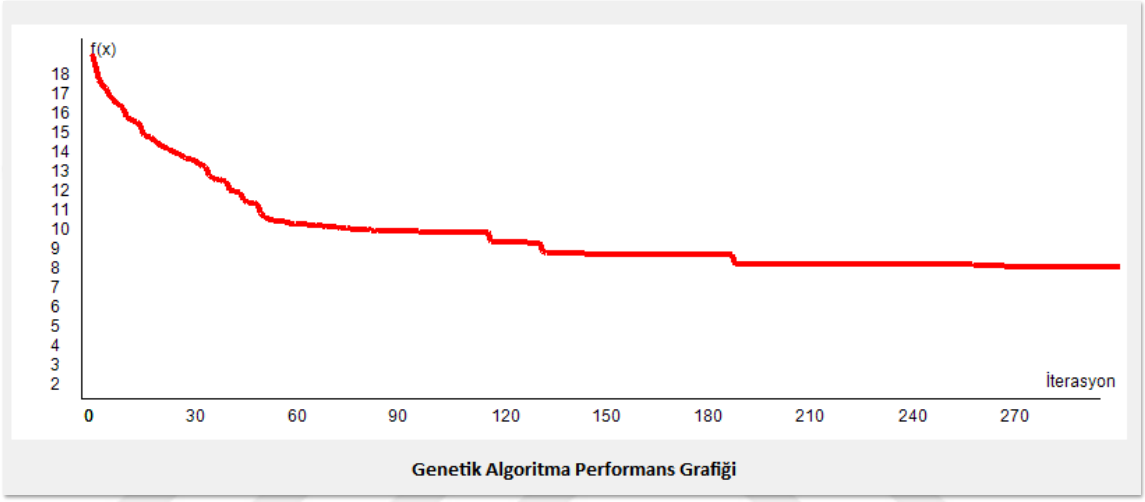
		Task 0	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	Task 6	Task 7	Task 8	Task 9
	Mission	BASIC M	MISSION SIM	FLIGHT SIM	SQ DUTY	CRM	ADVANCED M	P WITH AAR	SQ DUTY	LIFE SUPPORT	OPER M
	Type	Flight	SIM	SIM	Duty	Class	Flight	Flight	Duty	Class	Flight
	Date	01.01.2018	01.01.2018	01.01.2018	01.01.2018	01.01.2018	02.01.2018	02.01.2018	02.01.2018	02.01.2018	02.01.2018
	Start	08:00	09:00	09:00	08:00	08:00	08:00	12:00	08:00	08:00	23:00
	End	14:00	12:00	12:00	08:00	14:00	14:00	18:00	08:00	14:00	05:00
0	CREW 0	AC5		AC1	SC7	WC17	AC6	AC4	SC1	SC2	AC1
1	CREW 1	FP2		FP7		FA6	AC8	FP6		WC16	FP1
2	CREW 2	TD4	TD5	FP6		WC2	TD5	FP3		WC1	TD4
3	CREW 3	PC3	PC2	FP5		AC6	PC4	FP4		AC3	PC5
4	CREW 4	FA2	FA4			SO9	FA6			PC1	FA5
5	CREW 5	WC3	WC14			SO1	WC19			TD2	WC17
6	CREW 6	WC6	WC11			SO6	WC14			FP2	WC10
7	CREW 7	WC15	WC12			SC1	WC2			FA7	WC5
8	CREW 8	SC2	SC5			TD1	SC5			SO6	SC3
9	CREW 9	SO2	SO13			FP3	SO5			SO2	SO3
10	CREW 10	SO12	SO3				SO9				SO15
11	CREW 11	SO8	SO4				SO1				SO12

Şekil 4.14 Çizelgeleme Modülü

Şekil 4.14'te görüldüğü gibi çizelgelemeye tabi tutulacak tüm görevler yatay olarak, görevlere atanan uçucular ise dikey olarak listelenmiştir. Algoritmanın çalışması esnasında ve sonrasında aktif çizelge canlı olarak izlenebilmekte ve çözüm performansı takip edilebilmektedir.

4.7.3. Performans Grafiği

Genetik algoritma ile çözümde her neslin daha iyi bir çözüm sunması beklenir. Program çalışırken elde edilen güncel çözüm performansı grafik şeklinde kullanıcılara sunularak, farklı parametrelerle elde edilen çözümlere yönelik yorum yapılabilir. Genetik algoritmanın performans grafiğini gösteren ekran görüntüsü Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 Performans Grafiği

4.8. Deneyler ve Deney Sonuçları

AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminin çözümünde en ideal sonuçları elde edebilmek için Çizelge 4.4'de verilen deney planı doğrultusunda, birbirinden farklı genetik algoritma parametreleri ile 20 adet deney yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Her bir deney en az üç kez tekrarlanarak ortalama veriler kayıt altına alınmış, elde edilen çözüm çizelgeleri üzerinden çizelge performansı değerlendirilmiştir.

Tüm deneyler Intel i7 3770 (3.40 Ghz) işlemci ve 8 GB RAM ile Windows 10 işletim sistemine sahip x64 tabanlı masaüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Deney sürelerini kısaltmak maksadıyla uçuculara ait uçuş saati ve görev çeşitliliği kısıtları sabit tutulmuş, harbe hazırlığın devamı gereksinimleri üzerinden maliyet minimizasyonuna odaklanılmıştır. Nihai hedef olarak en kısa sürede **en düşük maliyetli** çözümün bulunması belirlenmiştir. Çizelge 4.4'te Deney Planı verilmiştir.

Çizelge 4.4 Deney Planı

Parametre	Deney No	Popülasyon	Turnuva Boyutu	Çaprazlama Noktası	Çaprazlama Oranı	Mutasyon	Elitizm	İterasyon
Popülasyon Boyutu	1	20	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
	2	50	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
	3	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
	4	200	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
Turnuva Boyutu	5[5]	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
	6	100	0.4	1	0.6	0.05	0.1	500
	7	100	0.7	1	0.6	0.05	0.1	500
Çaprazlama Noktası	8	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
	9	100	0.1	2	0.6	0.05	0.1	500
	10	100	0.1	3	0.6	0.05	0.1	500
Çaprazlama Oranı	11	100	0.1	1	0.3	0.05	0.1	500
	12	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
	13	100	0.1	1	0.9	0.05	0.1	500
Mutasyon Oranı	14	100	0.1	1	0.6	0.01	0.1	500
	15	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
	16	100	0.1	1	0.6	0.1	0.1	500
	17	100	0.1	1	0.6	0.2	0.1	500
Elitizm Oranı	18	100	0.1	1	0.6	0.05	0.05	500
	19	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500
	20	100	0.1	1	0.6	0.05	0.2	500

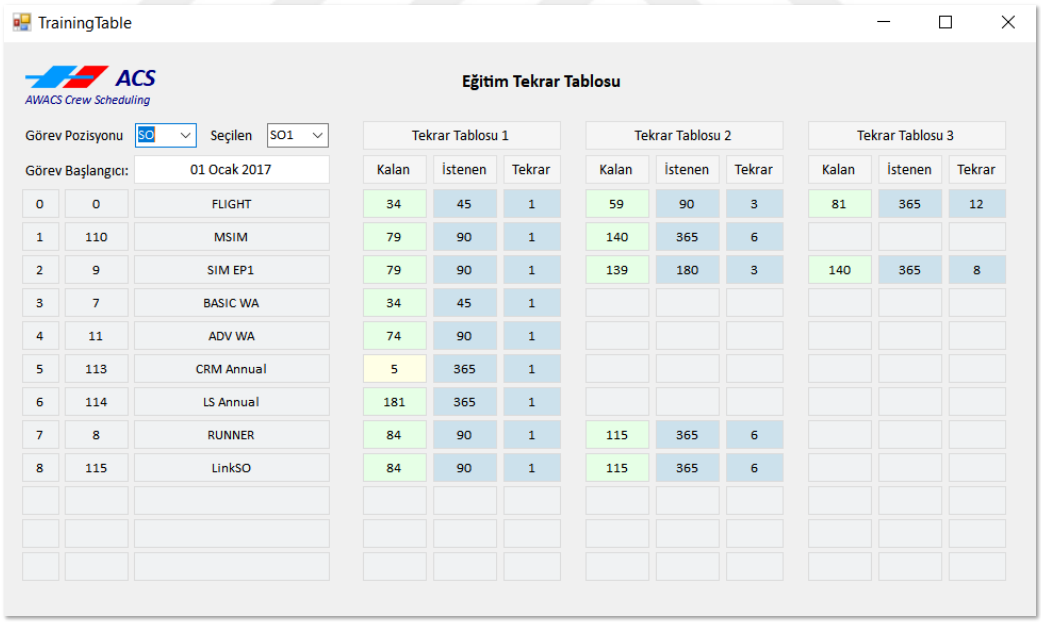
Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere genetik algoritmanın her bir parametresi için diğer değişkenler sabit tutularak, söz konusu parametrenin çözümü hangi seviyede etkilediğini gözlemlemek hedeflenmiştir. Parametreler belirlenirken, ilgili değer aralığında düşük, orta ve yüksek seviyeye ait örnekler deney kapsamına alınmıştır. İterasyon sayısı kullanıcı tercihli bir değişken olduğu için bu parametre sabit tutulmuştur.

[5] 3, 5, 8, 12, 15 ve 19 numaralı deneyler aynı parametrelere sahiptir.

4.8.1. Performans Değerlendirmesi

Çizelgeye atanan uçucuların istenen kısıtları hangi seviyede karşıladığına ilişkin bir değerlendirme yapmak oldukça zordur. Deneylerde çözüm performansını tam olarak ölçebilmek maksadıyla her bir uçucuya ilişkin eğitim gereksinimleri jenerik olarak ve birbirinden farklı biçimde belirlenmiş ve kayıt tablolarına işlenmiştir. Şekil 4.16'da Eğitim Tekrar Tablosu ve Uçucu Güncel Durumu görülmektedir. Örneğin CRM eğitimini tekrarlaması gereken uçucuların eğitim tablosunda CRM için kalan gün sayısı kısaltılarak algoritmanın ilgili eğitimi öncelik olarak belirlemesi hedeflenmiştir. Her bir uçucuya ait jenerik eğitim gereksinimi tablosu EK-1'de verilmiştir.

Uçucuların hangi uçuşa ihtiyacı olduğunu görmek için eğitim tekrar tablolarına bakmak yeterlidir. Eğitim tekrar tablosunda, ilgili eğitim öğesine ait kalan gün sayısı düşük olan uçucunun o eğitim öğesini içeren uçuş veya göreve atanması önceliklidir. Jenerik uçuş ve görev programında bulunan her bir görevin hangi eğitim öğelerini içerdiğine dair liste EK-2'de verilmiştir.



Şekil 4.16 Eğitim Tekrar Tablosu ve Uçucu Güncel Durumu

4.8.2. Popülasyon Boyutunun Çözüme Etkisi

Popülasyon boyutu genetik algoritmanın performansını etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesidir. Bu parametre düşük değerler aldığında yeterli çeşitlilik

sağlanamadığı için çözüm performansına olumsuz etki yapar. Öte yandan, parametre değerinin büyük seçilmesi ise çözüm süresinin uzamasına sebep olur (Koumousis ve Katsaras, 2006). Popülasyon sayısının artırılmasında her ne kadar işlem maliyeti artsa da kimi zaman alternatif çözüm sayısı ile birlikte çözüm kalitesinin artırılması için tercih edilebilir.

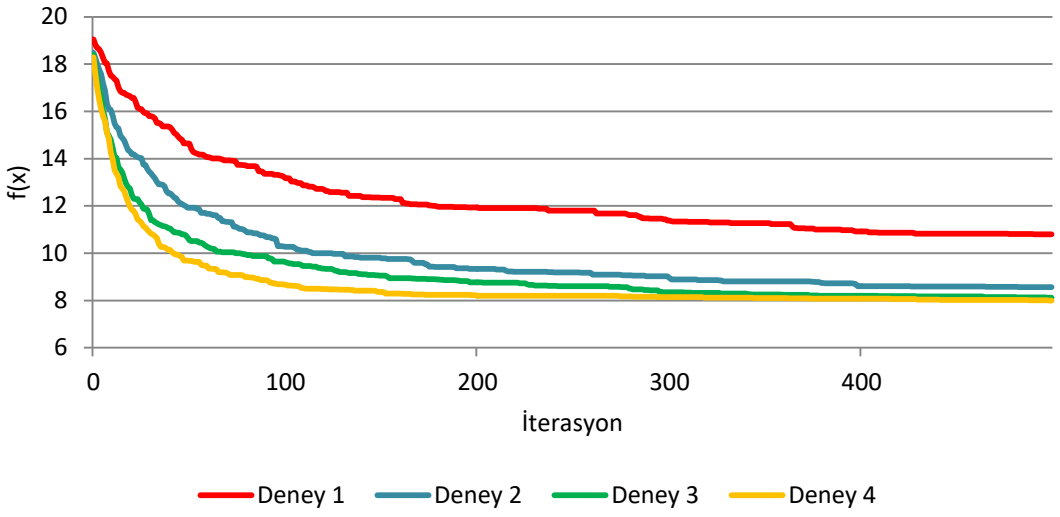
Popülasyon boyutunun çözüme olan etkisini görebilmek için diğer parametreler sabit tutularak birbirinden farklı popülasyon boyutu ile yapılan deneyler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Popülasyon Boyutu Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler

Deney No	Popülasyon	Turnuva Boyutu	Çaprazlama Noktası	Çaprazlama Oranı	Mutasyon	Elitizm	İterasyon	En iyi Çözüm	Çözüm Performansı	Çözüm Süresi (sn)
1	20	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500	10.38	%93	1160
2	50	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500	8.43	%97	2600
3	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500	8.06	%100	5500
4	200	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500	7.95	%100	10700

Deney sonuçları incelendiğinde; tüm deneyler için çözüm performansı %90'ın üzerine çıkmış, popülasyon boyutu nispeten yüksek olan iki deneyde %100'e ulaşılmıştır.

Şekil 4.17'de Popülasyon Boyutunun Çözüme Etkisini gösteren karşılaştırmalı grafik gösterilmiştir. Verilen karşılaştırmalı grafikte farklı popülasyon boyutları ile yapılan çözümlerin iterasyona bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus iterasyon sayısı aynı olsa da çözüm sürelerinin birbirinden çok farklı olduğudur. Grafikte de görüldüğü üzere düşük popülasyonlu deneyler istenilen sürede yeterli sonuca ulaşamazken yüksek popülasyon boyutu kullanılan deneylerde kabul edilir çözümler elde edilmiş fakat maksimum iterasyona ulaşma süresi orantısal olarak uzamıştır. Her ne kadar iyi sonuçlar elde edilse de uzun çözüm süresi birçok durumda tercih edilmez.



Şekil 4.17 Popülasyon Boyutunun Çözüme Etkisi

4.8.3. Turnuva Boyutunun Çözüme Etkisi

Seçim işleminde kullanılan Turnuva Yönteminde, çözümü etkileyen kriter turnuva boyutudur. Örneğin 100 popülasyona sahip bir problemde turnuva boyutunun 10 seçilmesi demek, popülasyon içerisinden rastgele belirlenen 10 bireyin sıralamaya girerek, en iyi çözümü sunan bireyin müteakip genetik işlemlere girmesi anlamına gelir. Turnuva boyutu küçük tutulursa iyi bireylerin seçilerek sonraki nesle aktarılma ihtimali azalır. Bunun yanında turnuva boyutunun yükseltilmesi ise sürekli aynı bireylerin seçilmesi ihtimalini artırır. Bu da çözüm çeşitliliğinin azalmasına ve dolaylı olarak çözüm performansının düşmesine sebep olur.

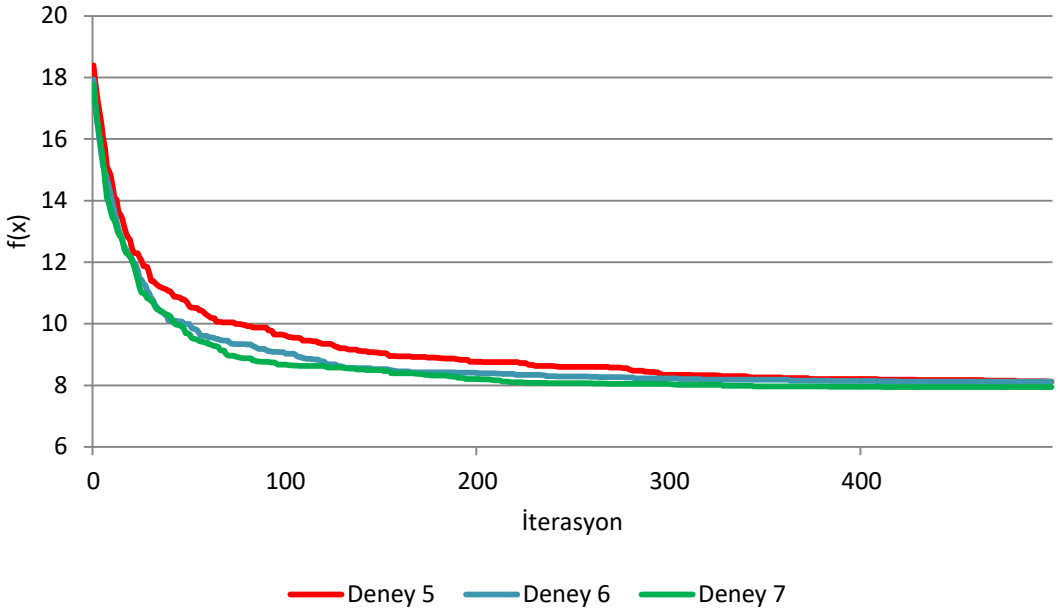
Turnuva boyutunun büyük seçilmesi hesaplama karmaşıklığını artırmakta ve işlem süresinin nispeten uzamasına sebep olmaktadır (Goldberg ve Deb, 1991). AWACS Ekip Çizelgeleme Problemi açısından düşünüldüğünde, durum diğer problemlerden çok farklı değildir. İşlemler popülasyon ve uygunluk değerleri üzerinden yapılmakta ve kromozom yapısının çözüme etkisi bulunmamaktadır. Bu sebeple çizelgelenen görev sayısı ne olursa olsun turnuva boyutunun makul değerlerde tutulması gerektiği aşikârdır.

Turnuva boyutunun çözüme olan etkisini görebilmek için diğer parametreler sabit tutularak birbirinden farklı turnuva boyutu ile yapılan deneyler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Turnuva Boyutu Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler

Deney No	Popülasyon	Turnuva Boyutu	Çaprazlama Noktası	Çaprazlama Oranı	Mutasyon	Elitizm	İterasyon	En iyi Çözüm	Çözüm Performansı	Çözüm Süresi (sn)
5	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500	8.06	%100	5500
6	100	0.4	1	0.6	0.05	0.1	500	8.04	%100	5300
7	100	0.7	1	0.6	0.05	0.1	500	7.89	%100	5400

Yapılan deneylerde turnuva boyutunun yükseltilmesi kimi zaman olumlu sonuçlar verse de lokal minimuma yakalanma ihtimalini artırdığı için her deney tekrarında aynı performansı gösterememektedir. Nispeten düşük seçilen turnuva boyutu her deney tekrarında benzer sonuçları vererek çözüm kararlılığını göstermiştir. Turnuva boyutunun çözüme etkisini gösteren karşılaştırmalı grafik Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 Turnuva Boyutunun Çözüme Etkisi

4.8.4. Çaprazlama Stratejisinin Çözüme Etkisi

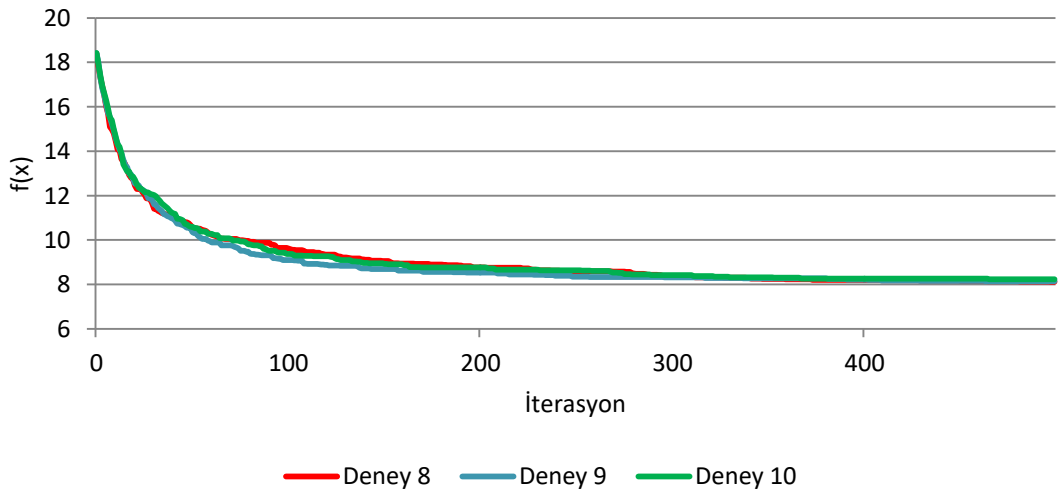
Üçüncü bölümde anlatıldığı üzere, literatürde bir çok çeşit çaprazlama yöntemi mevcuttur. Çaprazlama yöntemlerinin çözüme katkısı problemden probleme değişse de

asli amacın çaprazlamaya giren bireylerin özelliklerini taşıyan yavru çözümler elde etmek olduğu unutulmamalıdır. Çizelgeleme problemlerinde sıklıkla kullanılan tek noktalı, iki noktalı ve üç noktalı çaprazlama yöntemi AWACS Ekip Çizelgeleme Problemine de uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 4.7'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7 Çaprazlama Stratejisi Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler

Deney No	Popülasyon	Turnuva Boyutu	Çaprazlama Noktası	Çaprazlama Oranı	Mutasyon	Elitizm	İterasyon	En iyi Çözüm	Çözüm Performansı	Çözüm Süresi (sn)
8	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500	8.06	%100	5500
9	100	0.1	2	0.6	0.05	0.1	500	8.11	%100	5200
10	100	0.1	3	0.6	0.05	0.1	500	8.01	%100	5200

Gerçekleştirilen üç deneyin ilkinde tek noktalı, ikincisinde iki noktalı, üçüncüsünde üç noktalı çaprazlama uygulanmış, sonuç olarak hepsinin birbirine yakın ve iyi çözümler ürettiği görülmüştür. Tek noktalı çaprazlamanın en önemli avantajı kromozom yapısını bozmadan ebeveyn bireylere ait özellikleri azami oranda yavru bireylere yansıtabilmesidir. Böylelikle daha iyi çözümler bir sonraki nesle daha yüksek oranda aktarılabilmektedir. İki ve üç noktalı çaprazlamada ise daha kısa sürede çeşitlilik artırılabilmektedir. Şekil 4.19'da Çaprazlama Stratejisinin Çözüm Performansına Etkisi görülmektedir.



Şekil 4.19 Çaprazlama Stratejisinin Çözüm Performansına Etkisi

4.8.5. Çaprazlama Oranının Çözüme Etkisi

Çaprazlama işlemi genetik algoritmaları diğer çözüm yöntemlerinden ayıran en önemli özelliklerden bir tanesidir. Kromozom yapısı nasıl olursa olsun, çaprazlamada amaç önceki nesilde elde edilen popülasyon çiftlerinin bir kısım özelliklerini alarak yavru bireyler oluşturmaktır. Popülasyonunun tamamı çaprazlamaya tabi tutulacağı gibi çok az bir kısmı da çaprazlamaya alınabilir. Problemin özelliğine bağlı olarak çaprazlama oranı, çözüm performansında değişik etkiler gösterir. Bu etkileri gözlemlemenin en iyi yolu farklı çaprazlama oranları ile gerçekleştirilen deneylerdir.

AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminde çaprazlama oranının etkisini izleyebilmek amacıyla, diğer tüm parametreler sabit tutularak üç farklı deney yapılmıştır. Düşük, nispeten orta ve yüksek çaprazlama oranları ile yapılan deneyler ve sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

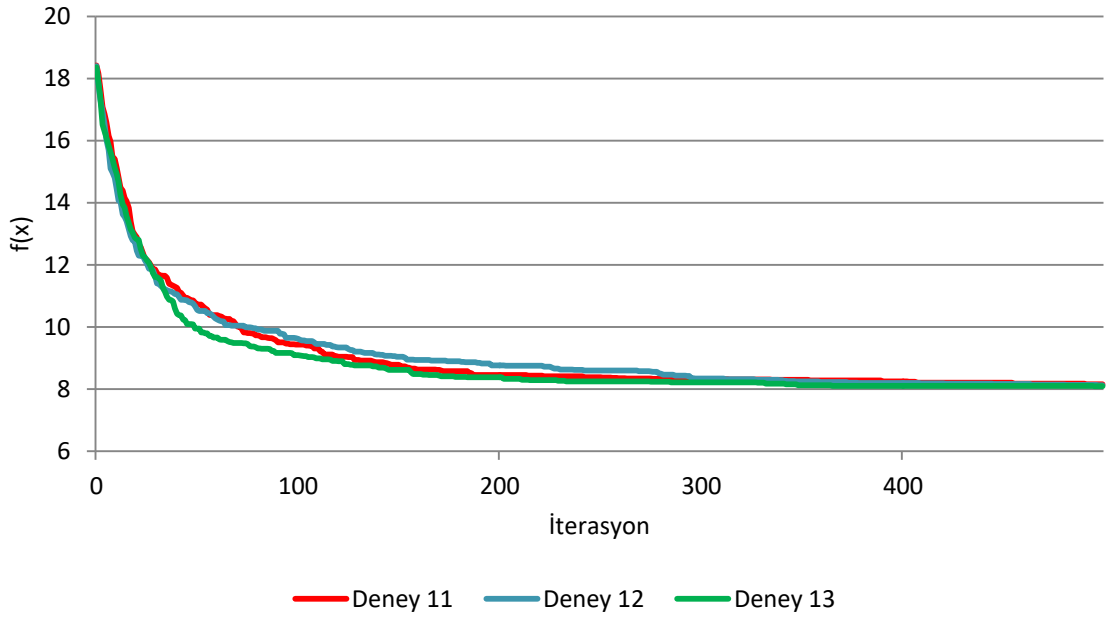
Çizelge 4.8 Çaprazlama Oranı Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler

Deney No	Popülasyon	Turnuva Boyutu	Çaprazlama Noktası	Çaprazlama Oranı	Mutasyon	Elitizm	İterasyon	En iyi Çözüm	Çözüm Performansı	Çözüm Süresi (sn)
11	100	0.1	1	0.3	0.1	0.05	500	8.11	%100	4800
12	100	0.1	1	0.6	0.1	0.05	500	8.06	%100	5500
13	100	0.1	1	0.9	0.1	0.05	500	8.01	%100	5700

Deneylerde sonuçlar birbirine çok yakın seyretmekle birlikte düşük ve yüksek çaprazlama oranlarının nispeten orta seviyedeki orana nazaran kararsız bir performans gösterdiği görülmüştür. Düşük çaprazlama oranları çeşitliliği artırmada etkisiz kalırken, yüksek çaprazlama oranı da, işlem zamanını uzatmakla birlikte iyi çözümlerin yeniden kötüleşmesine sebep olabilmektedir. Bu sebeple orta seviye (%60-70) bir oranın optimum çözüm performansını elde ettiği görülmüştür.

Nitekim genetik algoritmalarda %60-%80 aralığı sıklıkla kullanılmakta ve iyi çözümlere ürettiği bilinmektedir (Sağ, 2008). Sonuçlar değerlendirildiğinde AWACS Ekip Çizelgeleme Problemi açısından da ortalama değerlerin kullanılmasının faydalı olduğu anlaşılmaktadır.

Çaprazlama Oranının çözüm performansına etkisini gösteren karşılaştırmalı grafik Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 Çaprazlama Oranının Çözüm Performansına Etkisi

4.8.6. Mutasyon Oranının Çözüme Etkisi

Genetik algoritmalarda lokal minimuma yakalanmamak için kullanılan en etkili yöntem mutasyondur. Böylelikle, gittikçe iyiye giden nesil bozulmadan, çok küçük değişiklikler ile lokal minimumdan kurtulabilir (Davis, 1985). Bugüne kadar yapılan çalışmalarda genellikle %10 ve daha düşük mutasyon oranları kullanılmıştır (Bayata, 2012). Bazı problemlerde 1/1000 oranına kadar düşük seviyelerin kullanıldığı ve iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminde, diğer parametreler sabit tutularak farklı mutasyon oranları ile gerçekleştirilen çözümler Çizelge 4.9'da verilmiştir. Mutasyon oranının çözüme etkisini görebilmek maksadıyla dört adet deney yapılmıştır. Her deneyde, diğer parametreler sabit tutularak mutasyon oranı kademli olarak artırılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

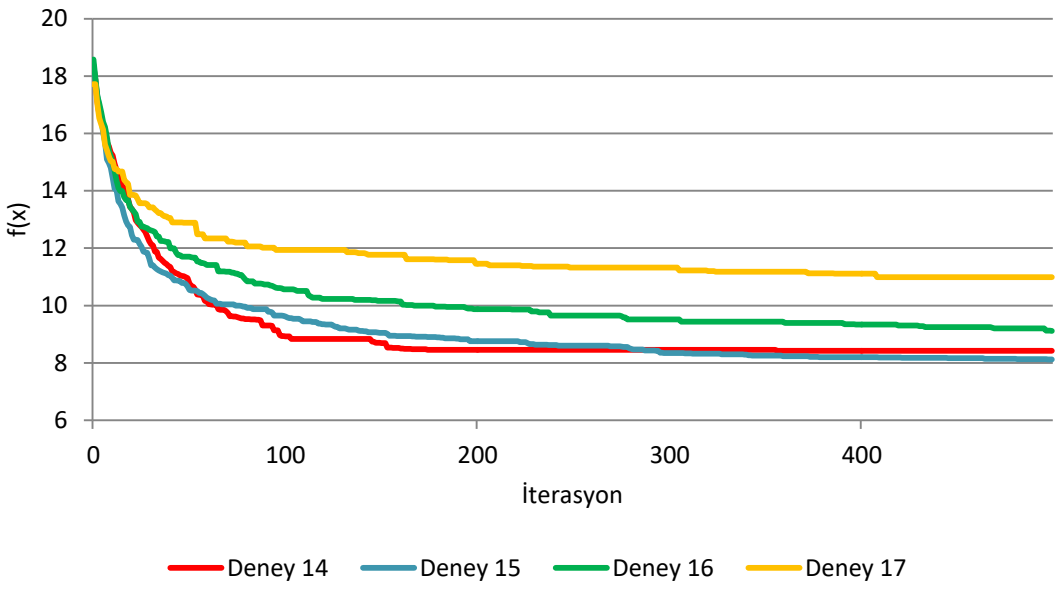
Deney sonuçları incelendiğinde nispeten düşük seçilen oranın (%1 - %5 arası) çözüme daha iyi katkı sağladığı görülmüştür. Mutasyon oranı artırıldığında çözüm performansında gözle görülür bir düşüş izlenmektedir.

Çizelge 4.9 Mutasyon Oranı Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler

Deney No	Popülasyon	Turnuva Boyutu	Çaprazlama Noktası	Çaprazlama Oranı	Mutasyon	Elitizm	İterasyon	En iyi Çözüm	Çözüm Performansı	Çözüm Süresi (sn)
14	100	0.1	1	0.6	0.01	0.1	500	7.80	%100	5000
15	100	0.1	1	0.6	0.05	0.1	500	8.06	%100	5500
16	100	0.1	1	0.6	0.1	0.1	500	8.90	%99	5600
17	100	0.1	1	0.9	0.2	0.1	500	10.92	%91	5600

Nitekim, bu tip NP-Hard problemlerde sonsuz sayıda seçeneğe klasik yöntemlerle ulaşmak imkansız iken genetik algoritma ile ideal çözüme yaklaşmak mümkün olmakta, optimum performansı elde edebilmek için ise en kısa sürede azami çeşitliliğe sahip olmak gerekmektedir. Mutasyonun önemi burada bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Mutasyon Oranının Çözüm performansına etkisini gösteren karşılaştırmalı grafik Şekil 4.21'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere nispeten düşük oranların yüksek seçilen oranlara kıyasla daha kısa sürede ideal çözüme ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.21 Mutasyon Oranının Çözüm Performansına Etkisi

4.8.7. Elitizm Oranının Çözüme Etkisi

Elitist strateji literatürde bir çok çalışmada kullanılmakta ve popülasyondaki iyi bireylerin kaybolmadan bir sonraki nesle aktarılabilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte elit olarak seçilen birey sayısı çözüme farklı biçimde etki etmektedir. Bu etkinin ölçülebilmesi amacıyla üç adet deney yapılmış ve diğer parametreler sabit tutularak düşük, orta ve yüksek seviyede seçilen elitizm oranlarının çözüme etkileri ölçülmüştür.

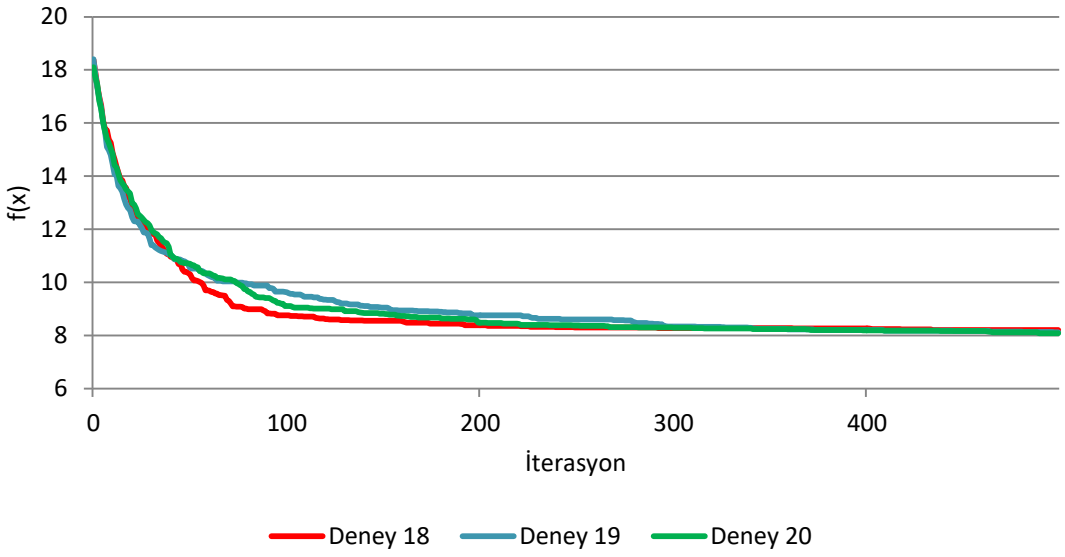
Elitizm oranı değiştirilerek gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 Elitizm Oranı Değiştirilerek Gerçekleştirilen Deneyler

Deney No	Popülasyon	Turnuva Boyutu	Çaprazlama Noktası	Çaprazlama Oranı	Mutasyon	Elitizm	İterasyon	En iyi Çözüm	Çözüm Performansı	Çözüm Süresi (sn)
18	100	0.1	1	0.6	0.1	0.05	500	8.07	%100	5500
19	100	0.1	1	0.6	0.1	0.1	500	8.06	%100	5500
20	100	0.1	1	0.6	0.1	0.2	500	8.10	%100	5500

Deney sonuçları incelendiğinde, elitizm oranındaki küçük değişimlerin çözüme önemli miktarda etki etmediği görülmekle birlikte, oranın düşük seçilmesinin çözüm performansı açısından daha olumlu olduğu anlaşılmaktadır.

Nitekim, yüksek seçilen oranlar çözüm çeşitliliğini düşürmekte ve istenilen sonuca ulaşmakta yavaş kalınmasına sebep olabilmektedir. Deney sonuçlarına ait karşılaştırmalı grafik Şekil 4.22'de verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere küçük seçilen elitizm oranı, yüksek oranlara kıyasla çözüme daha hızlı ulaşmayı başarmıştır.



Şekil 4.22 Elitizm Oranının Çözüm Performansına Etkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminin çözümü için modern optimizasyon tekniklerinden Genetik Algoritmalar Yöntemi kullanılarak bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur.

AWACS Ekip Çizelgeleme problemi, diğer çizelgeleme problemlerinde olduğu gibi NP-Hard problem sınıfına girer ve çizelgelenecek görev sayısı arttıkça çözüm uzayı üssel olarak artacağı için analitik yöntemlerle çözümü oldukça zor, hatta imkânsızdır.

AWACS Sistemlerinin konuşlandığı üslerde çizelgeleme faaliyeti, her biri alanında uzman çizelgeleme sorumluları (*scheduler*) tarafından yerine getirilir. Halen tüm dünyada yoğun insan gücü ile gerçekleştirilen ve önemli miktarda zaman ve kaynak ayrılan çizelgeleme işlemi için birçok kriter ve her bir kriteri etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Dolayısıyla, kaynakların etkin kullanımı ve görev başarısının artırılması için tüm bu faktörlerin göz önüne alınarak ideal çizelgenin oluşturulması büyük önem taşır.

Literatürde; sivil havayolu ekip planlama, okullarda ve üniversitelerde ders ve öğretim programlarının çizelgelenmesi, hastanede çalışan doktor ve hemşirelerin vardiya çizelgelerinin oluşturulması, fabrika işçileri ve zincir restoran çalışanlarının çizelgelenmesi gibi bir çok probleme başarılı çözümler sunan genetik algoritmalar, bu çalışma ile birlikte ilk kez AWACS uçaklarında ekip çizelgeleme için uygulanmıştır.

Bu kapsamda, öncelikle problem tanımlanarak kromozom yapısı oluşturulmuş, müteakiben katı ve yumuşak kısıtlar belirlenerek uygunluk fonksiyonu matematiksel olarak modellenmiş ve seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik algoritma operatörleri için probleme has stratejiler geliştirilmiştir.

Algoritmanın denenmesi, çeşitli Genetik Algoritma parametrelerinin test edilebilmesi ve görsel olarak kullanıcıya sunulabilmesi amacıyla özgün ve milli AWACS Ekip Planlama Yazılımının birer parçası olan Çizelgeleme ve Eğitim Gereksinimleri Modülü hazırlanmıştır. Jenerik olarak oluşturulan AWACS üssü için başlangıç verileri programa girilmiş ve uçuş, simülatör, yerde eğitim ve nöbet gibi farklı kategorilerdeki, gerçeğe yakın 20 görevden oluşan örnek bir uçuş programı üzerinden Genetik Algoritmalar koşturularak çözüme yönelik deneyler uygulanmıştır.

Deneyler, Genetik Algoritmaların popülasyon boyutu, çaprazlama stratejisi, çaprazlama oranı, mutasyon oranı gibi farklı parametrelerle çözüm performansını izlemeye yönelik olarak planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda her bir

parametre, diğer parametreler sabit tutularak denenmiş ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Sonuçların güvenilir olması için her bir deney en az üç kez tekrarlanmıştır.

Deneylerden elde edilen çözümler incelendiğinde; Genetik Algoritmaların AWACS Ekip Çizelgeleme Probleminin çözümünde oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Şöyle ki;

a. Tanımlanan katı kısıtlar, tüm deneylerde %100 oranında karşılanmış ve her bir deney için tüm popülasyonun en az %80'inin katı kısıtların tamamını karşıladığı görülmüştür.

b. Yumuşak kısıtların değerlendirilmesi için hazırlanan performans tablosuna göre, yapılan deneylerin bir çoğunda uçucuların %90'ın üzerinde bir oran ile "öncelikli" olarak tanımlanan görevlere atandığı gözlemlenmiştir. Optimize edilen parametrelerde bu oran %100'e kadar çıkmıştır.

c. Özellikle periyodik eğitimlerde yalnızca sınıf mevcudu kadar belirlenen öncelik tablosu için çözümlerin %100'e yakını tam listeyi sunabilmiştir.

ç. Çözüm süreleri, optimize edilen parametrelerde kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiş, katı kısıtların tamamı saniyeler içinde, yumuşak kısıtların tamamına yakını ise yalnızca dakikalarla ölçülen sürelerde karşılanmıştır.

Yukarıda elde edilen sonuçlara ilave olarak; halen manuel yöntemlerle yönetilmesi zor olan "Harbe Hazırlığın Devamı Gereksinimleri", program ve algoritma ile kolaylıkla takip edilebilmektedir. Örneğin, SO görev pozisyonu için "LinkSO" ve "Runner" isimli eğitim öğeleri, yalnızca görev bazlı değil, aynı zamanda uçak içinde koltuk bazlı bir öğedir. Bir başka deyişle, ilgili eğitim öğesine ihtiyacı olan uçucunun o uçuşa atanması tek başına yeterli olmamakta, ilgili çizelge sırasına (koltuk) atanması gerekmektedir. Algoritma bu öncelikleri de başarıyla çizelgelemiş ve mevcut durumda yönergeler kapsamına alınmayan fakat görevlerin başarısı için ihtiyaç duyulan diğer gereksinimleri de yerine getirebildiğini göstermiştir.

Oluşturulan jenerik programın yalnızca test amaçlı ve normal şartlarda pek rastlanmayan, çözülmesi zor kriterleri içerdiği düşünüldüğünde, pratikte algoritmanın oldukça hızlı ve dayanıklı *(robust*) çizelgeler oluşturacağı değerlendirilmektedir.

Gelecek çalışmalarda algoritmanın çözüm sürelerini kısaltmaya yönelik optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesi ve uçucuların ihtiyacı olan dinamik kriterlerin modellenmesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

Abidin, D., 2013, Curriculum Plan Optimization With Rule Based Genetic Algorithms, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences*, İzmir, 207.

Aickelin, U. ve Dowsland, K. A., 2004, An indirect genetic algorithm for a nurse-scheduling problem, *Computers & Operations Research*, 31 (5), 761-778.

Angeline, P. J., 1995, Evolution revolution: An introduction to the special track on genetic and evolutionary programming, *IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications*, 10 (3), 6-10.

Arogundade, O. T., Akinwale, A. T. ve Aweda, O. M., 2010, A genetic algorithm approach for a real-world university examination timetabling problem, *International Journal of Computer Applications*, 12 (5), 0975-8887.

Aslan, D., 2003, A decision support system for effective scheduling in an F-16 pilot training squadron, Ms Thesis, *Air Force Institute of Technology (AFIT) School of Engineering and Management*, Wright Patterson Air Force Base, Ohio.

Atmaca, E., Pehlivan, C., Aydoğdu, C. B. ve Yakıcı, M., 2012, Hemşire çizelgeleme problemi ve uygulaması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28 (4), 351-358.

Aydemir, E., 2009, Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kural Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Aydın, M. A., 2008, Solving University Course Timetabling Problem Using Genetic Algorithm, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir University Institute of Sciences Indestrial Engineering*, İstanbul.

Azadeh, A., Farahani, M. H., Eivazy, H., Nazari-Shirkouhi, S. ve Asadipour, G., 2013, A hybrid meta-heuristic algorithm for optimization of crew scheduling, *Applied Soft Computing*, 13 (1), 158-164.

Bayata, Ö., 2012, Genetik Algoritmaların Ders Çizelgeleme Probleminde Kullanımı ve Eğitim Kurumlarında Uygulanması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Bektur, G. ve Hasgül, S., 2013, Kıdem seviyelerine göre işgücü çizelgeleme problemi: Hizmet sektöründe bir uygulama, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İİBF Dergisi*, 15 (2), 385-403.

Bolat, B., Erol, K. O. ve İmrak, C. E., 2004, Genetic algorithms in engineering applications and the Function of operators, *Sigma*, 4.

Brown, R. P., 1995, Optimizing Readiness and Equity in Marine Corps Aviation Training Schedules, Ms.Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey, California.

Caprara, A., Fischetti, M., Toth, P., Vigo, D. ve Guida, P. L., 1997, Algorithms for railway crew management, *Mathematical programming*, 79 (1-3), 125-141.

Chen, J. C., Wu, C.-C., Chen, C.-W. ve Chen, K.-H., 2012, Flexible job shop scheduling with parallel machines using Genetic Algorithm and Grouping Genetic Algorithm, *Expert Systems with Applications*, 39 (11), 10016-10021.

Colegrove, C. M. ve Bennett Jr, W., 2006, Competency-based training: Adapting to warfighter needs, *AIR COMBAT COMMAND LANGLEY AFB VA FLIGHT OPERATIONS DIVISION*.

Colorni, A., Dorigo, M. ve Maniezzo, V., 1998, Metaheuristics for high school timetabling, *Computational optimization and applications*, 9 (3), 275-298.

Çetin, E. İ., 2008, Uçuş Ekip Planlamada Genetik Algoritmalar Yönteminin Kullanılması, Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Antalya, 181.

Çivril, H., 2009, Hemşire Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Çunkaş, M., 2006, Genetik Algoritmalar ve Uygulamaları Ders Notları, *Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Konya*.

Davis, L., 1985, Job shop scheduling with genetic algorithms, *Proceedings of an international conference on genetic algorithms and their applications*.

Delaney, W. P., 1990, Air Defense of the United States: Strategic Missions and Modern Technology, *International Security*, 15 (1), 181-211.

Deng, G.-F. ve Lin, W.-T., 2011, Ant colony optimization-based algorithm for airline crew scheduling problem, *Expert Systems with Applications*, 38, 5787-5793.

Dennis, P., 2008, NATO AWACS: Alliance Keystone for Out-of-Area Operations, *Canadian Military Journal*, 8 (4), 22-31.

Dilaver, D., 2015, Genetik Algoritmalar Yardımıyla İş Atölye Çizelgelemesi Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İzmir.

Dréo, J., Pétrowski, A., Siarry, P. ve Taillard, E., 2006, Metaheuristics for hard optimization: methods and case studies, Springer Science & Business Media, p.

Duran, A. S., 2012, Robust Airline Scheduling with Controllable Cruise Times and Chance Constraints, Ms Thesis, *Bilkent University*, Ankara.

Durkan, M., 2011, Multi objective decision analysis for assignment problems, Ms.Thesis, *Air Force Institute of Technology (AFIT) School of Engineering and Management*, Wright Patterson Air Force Base, Ohio.

Dyer, D. E., 1991, A Visual Programming Methodology for Tactical Aircrew Scheduling and Other Applications, *ROME LAB ROME NY*.

Elen, A. ve Çayıroğlu, I., 2010, Solving of scheduling problem with heuristic optimization approach, *Technology*, 13 (3), 159-172.

Engin, O., 2001, Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Artırılmasında Parametre Optimizasyonu, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Erdemir, U., 2014, Optimizing Flight Schedules by an Automated Decision Support System, Ms.Thesis, *Air Force Institute of Technology (AFIT) School of Engineering and Management*, Wright Patterson AFB, Ohio.

Evans, S. E., 2015, Improving the Cost Efficiency and Readiness of MC-130 Aircrew Training, PhD Dissertation, *The Pardee RAND Graduate School*, Santa Monica, 146.

Fahey, R. P., Rowe, A. ve Dunlap, K., 2001, Synthetic task design: Cognitive task analysis of AWACS weapons director teams, *COMPUTER DATA SYSTEMS INC SAN ANTONIO TX*.

Gerşil, M. ve Palamutçuoğlu, T., 2013, Ders çizelgeleme probleminin melez genetik algoritmalar ile performans analizi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (1), 242.

Glibovets, N., 2003, Genetic algorithms used to solve scheduling problems, *Cybernetics and Systems Analysis*, 39 (1), 81-90.

Gokcen, O. B., 2008, Robust aircraft squadron scheduling in the face of absenteeism, Ms Thesis, *Air Force Institute of Technology (AFIT) School of Engineering and Management*, Wright Patterson AirForce Base, Ohio.

Goldberg, D. E. ve Lingle, R., 1985, Alleles, loci, and the traveling salesman problem, *Proceedings of an international conference on genetic algorithms and their applications*, 154-159.

Goldberg, D. E. ve Holland, J. H., 1988, Genetic algorithms and machine learning, *Machine learning*, 3 (2), 95-99.

Goldberg, D. E. ve Deb, K., 1991, A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms, *Foundations of genetic algorithms*, 1, 69-93.

Gölcük, İ., Baykasoğlu, A. ve Madenoğlu, F. S., 2014, Kril Sürüsü Algoritması ile Atölye Çizelgeleme, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (48), 61-75.

Grefenstette, J. J., 1988, Credit assignment in rule discovery systems based on genetic algorithms, *Machine learning*, 3 (2-3), 225-245.

Guo, Y., Suhl, L. ve Thiel, M. P., 2005, Solving the airline crew recovery problem by a genetic algorithm with local improvement, *Operational Research*, 5 (2), 241.

Gülcü, A., 2006, Yapay Zeka Tekniklerinden Genetik Algoritma ve Tabu Arama Yöntemlerinin Eğitim Kurumlarının Haftalık Ders Programlarının Hazırlanmasında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Ünversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Güneş, A., Kahvecioğlu, A. ve Tuncel, H., 2005, Askeri nöbet çizelgelerinin genetik algoritma kullanılarak en iyilenmesi, *Anadolu Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği*, 11, 470-474.

Hess, S. M., MacMillan, J., Elliott, L. R. ve Schiflett, S., 1999, Team-in-the-loop, synthetic simulation: Bridging the gap between laboratory and field research, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 308-312.

Holland, J., 1975, Adaptation in artificial and natural systems, *Ann Arbor: The University of Michigan Press*.

Holm, A., 2008, Manpower Planning in Airlines - Modeling and Optimization, Ms Thesis, *Linkopings Universitet*, Linkoping-Sweden.

Huisman, D., 2007, A column generation approach for the rail crew re-scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 180 (1), 163-173.

İlkuçar, M., 2012, Personel Atama Probleminin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu: Hekim Atama Probleminde Bir Uygulama, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Isparta.

Kahvecioğlu, A., 2004, Onarılabilir Elemanlara Önleyici Bakımın Etkisi ve Optimizasyonu, *Mühendis ve Makine*, 45 (531), 43-51.

Kantorovich, L., 1939, Mathematical methods for production planning and organization, *Leningrad University (LGU), Leningrad*.

Kawakami, T., 1990, An aid for flight squadron scheduling, Ms.Thesis
Naval Postgraduate School (NPS), Monterey, California.

Kaya, S., 2006, Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalar ile Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Kelemci, Ö., 2007, Hemşire Vardiya Problemine Genetik Algoritmaların Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü*, İstanbul.

Kerati, S., Moudani, W., De Coligny, M. ve Mora-Camino, F., 2002, A heuristic genetic algorithm approach for the airline crew scheduling problem, *Workshop on Multiple Objective Metaheuristics, Paris*.

Kleeman, M. P. ve Lamont, G. B., 2005, Solving the aircraft engine maintenance scheduling problem using a multi-objective evolutionary algorithm, *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, 782-796.

Korkmaz, G., 2013, Sivil Havacılıkta Uçucu Ekip Çizelgelemesi, Yüksek Lisans Tezi, *Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü*, İstanbul.

Kornilakis, H. ve Stamatopoulos, P., 2002, Crew Pairing Optimization with Genetic Algorithms, In: Methods and Applications of Artificial Intelligence: Second Hellenic Conference on AI, SETN 2002 Thessaloniki, Greece, April 11–12, 2002 Proceedings, Eds: Vlahavas, I. P. ve Spyropoulos, C. D., *Berlin, Heidelberg*: Springer Berlin Heidelberg, p. 109-120.

Koumousis, V. K. ve Katsaras, C. P., 2006, A saw-tooth genetic algorithm combining the effects of variable population size and reinitialization to enhance performance, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 10 (1), 19-28.

Körez, M. T., 2005, Sıralı Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinde Genetik Algoritma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Laumanns, M., Zitzler, E. ve Thiele, L., 2000, A unified model for multi-objective evolutionary algorithms with elitism, *Evolutionary Computation, 2000. Proceedings of the 2000 Congress on*, 46-53.

Levine, D., 1996, Application of a hybrid genetic algorithm to airline crew scheduling, *Computers & Operations Research*, 23 (6), 547-558.

Maenhout, B. ve Vanhoucke, M., 2010, A hybrid scatter search heuristic for personalized crew rostering in the airline industry, *European Journal of Operational Research*, 206 (1), 155-167.

Michalewicz, Z., 2013, Genetic algorithms+ data structures= evolution programs, Springer Science & Business Media, p.

Mitchell, M., 1998, An introduction to genetic algorithms, MIT press, p. 106.

Montana, D., Bidwell, G., Vidaver, G. ve Herrero, J., 1999, Scheduling and route selection for military land moves using genetic algorithms, *Evolutionary Computation, 1999. CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on*, 1118-1123.

Newlon, T. M., 2007, Mathematical programming model for fighter training squadron pilot scheduling, Ms.Thesis, *Air Force Institute of Technology (AFIT) School of Engineering and Management*, Wright Patterson AFB, Ohio.

Nguyen, C. T., 2002, An interactive decision support system for scheduling fighter pilot training, Ms.Thesis, *Air Force Institute of Technology (AFIT) School of Engineering and Management*, Wright Patterson AFB, Ohio.

O'Connor, J. B., 1991, An expert system for aviation squadron flight scheduling, Ms.Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey, California.

Oliver, I., Smith, D. ve Holland, J. R., 1987, Study of permutation crossover operators on the traveling salesman problem, *Genetic algorithms and their applications: proceedings of the second International Conference on Genetic Algorithms: July 28-31, 1987 at the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.*

Öncüer, T., 2012, Çevrimsel İş Gücü Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi Yöntemleriyle Çözülmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü*, İstanbul.

Özdemir, U., 2004, Methodology for Crew-Pairing Problem in Airline Crew Scheduling, Ms Thesis, *Boğaziçi Univeristy*, İstanbul.

Özleyen, E., 2011, A Genetic Algorithm for the Resource Constrained Project Scheduling Problem, Ms Thesis, *Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences,* Ankara.

Pakkan, B. ve Ermiş, M., 2010, İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4 (3), 77-84.

Paksoy, S. ve Uzun, A., 2008, Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17 (2), 345-362.

Rachakonda, R. K., 2009, Crew Rostering Problem: A Random Key Genetic Algorithm With Local Search, *The Ohio State University*.

Rana-Stevens, S., Lubin, B. ve Montana, D., 2000, The air crew scheduling system: The design of a real-world, dynamic genetic scheduler, *Genetic and Evolutionary Computation Conference Late Breaking Papers*.

Rosenberger, J. M., Green, D. B., Keeling, B., Turpin, P. G. ve Zhang, J. M., 2004, Optimizing nurse assignment, *Proceedings of the 16th annual society for health systems management engineering forum*.

Sağ, T., 2008, Çok Kriterli Optimizasyon İçin Genetik Algoritma Yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Salido, M. A., Escamilla, J., Giret, A. ve Barber, F., 2016, A genetic algorithm for energy-efficiency in job-shop scheduling, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85 (5-8), 1303-1314.

Shirley Jr, M. D., 1994, An Improved Heuristic for Intercontinental Ballistic Missile Crew Scheduling, *AIR FORCE INST OF TECH WRIGHT-PATTERSON AFB OH SCHOOL OF ENGINEERING*.

Souai, N. ve Teghem, J., 2009, Genetic algorithm based approach for the integrated airline crew-pairing and rostering problem, *European Journal of Operational Research*, 199 (3), 674-683.

Sutar, S. R. ve Bichkar, R. S., 2012, University timetabling based on hard constraints using genetic algorithm, *International Journal of Computer Applications*, 42 (15), 1-7.

Syswerda, G., 1991, Scheduling optimization using genetic algorithms, *Handbook of genetic algorithms*, 322-349.

Topaloğlu, S., 2009, A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare, *European Journal of Operational Research*, 198 (3), 943-957.

Ulak, A., 2010, University Course Timetabling Using Multiobjective Genetic Algorithms, Ms Thesis, *Yeditepe University* İstanbul.

United States General Accounting Office, U. S. G., 1999, Military Personnel, Actions Needed to Better Define Pilot Requirements and Promote Retention, *United States of America*, GAO, p.

Üstündağ, Y., 2010, Demiryolu Ekip Çizelgeleme ve Ekip Atama Problemi için bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

Van Brabant, J. D., 1993, A monthly squadron sortie scheduling model for improved combat readiness, *Naval Postgraduate School (NPS), Monterey, California*.

Van Dantzig, D., 1947, On the principles of intuitionistic and affirmative mathematics, *Indagationes Mathematicae*, 9, 429-440.

Van Deventer, R., 2000, Airborne Warning and Control System (AWACS) and Space: A Framework to Help Understand the Issues, *AIR UNIV MAXWELL AFB AL SCHOOL OF ADVANCED AIRPOWER STUDIES*.

Vestli, M., Lundsbakken, L., Fagerholt, K. ve Hvattum, L. M., 2015, Scheduling fighter squadron training missions using column generation, *Optimization Letters*, 9 (8), 1659-1674.

Vidulich, M. A., Nelson, W. T., Bolia, R. S., Guilliams, N. M. ve McLaughlin, A. B., 2004, An evaluation of speech controls for AWACS weapons directors, *SYTRONICS INC DAYTON OH*.

Wijaya, T. ve Manurung, R., 2009, Solving university timetabling as a constraint satisfaction problem with genetic algorithm, *Proceedings of the international conference on advanced computer science and information systems (ICACSIS 2009), Depok*.

Williams, G. K., 1997, AWACS and JSTARS, *Technology and the Air Force: A retrospective assessment*, 267-187.

Yavuz, M., 2010, Optimizing an F-16 squadron weekly pilot schedule for the Turkish Air Force, Ms.Thesis, *Air Force Institute of Technology (AFIT) School of Engineering and Management*, Wright Patterson AFB, Ohio.

Yeh, J.-Y. ve Lin, W.-S., 2007, Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department, *Expert Systems with Applications*, 32 (4), 1073-1083.

Younas, I., Kamrani, F., Moradi, F., Ayani, R., Schubert, J. ve Håkansson, A., 2013, Solving battalion rescheduling problem using multi-objective genetic algorithms, *Asian Simulation Conference*, 93-104.

Yüceoğlu, B., 2009, Tactical crew planning at Turkish state railways, Ms Thesis, *Sabancı University*.

Zeren, B., 2008, Genetik Algoritmalar ile Havayolu Ekip Planlamada Ekip Rotasyon Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Zeybekcan, N., 2005, Airline Crew Scheduling, MS Thesis, *Dokuz Eylul University*, İzmir.

EKLER

EK-1 Uçucu Güncel Eğitim Gereksinimi Tablosu

Sıra No	Gör. Poz	Uçucu Adı	Görev 0	Görev 1	Görev 2	Görev 3	Görev 3	Görev 4	Görev 5	Görev 6	Görev 7	Görev 8	Görev 9	Görev 10	Görev 11	Görev 12	Görev 13	Görev 14	Görev 15	Görev 16	Görev 17	Görev 18	Görev 19
0	AC	AC1		X																			
1	AC[6]	AC2	X						X	X			X	X				X	X			X	
2	AC	AC3										X											
3	AC	AC4											X										
4	AC	AC5								X									X			X	
5	AC	AC6						X															
6	AC	AC7								X									X			X	
7	AC	AC8											X					X					
8	FP	FP1	X						X	X			X	X				X	X			X	
9	FP	FP2										X											
10	FP	FP3						X															
11	FP	FP4								X									X			X	
12	FP	FP5		X																			
13	SFP	FP6		X																			
14	SFP	FP7		X																			
15	TD	TD1						X															
16	TD	TD2										X											
17	TD	TD3	X						X				X	X				X	X			X	
18	TD	TD4		X					X				X			X			X			X	
19	TD	TD5		X												X							
20	TD	TD6	X											X								X	
21	TD	TD7	X											X								X	
22	TD	TD8		X					X				X			X			X			X	
23	STD	TD9																					
24	PC	PC1				D					D	X			D		D			D	D		D
25	PC	PC2		X		D					D				D	X	D			D	D		D
26	PC	PC3		X		D			X		D		X		D	X	D		X	D	D	X	D
27	PC	PC4	X	X		D			X		D		X	X	D	X	D	X	X	D	D	X	D
28	PC	PC5	X	X		D			X		D		X	X	D	X	D	X	X	D	D	X	D
29	PC	PC6	X			D			X		D		X	X	D		D	X	X	D	D	X	D
30	SPC	PC7																					
31	FA	FA1	X						X				X	X				X	X			X	
32	FA	FA2	X											X								X	
33	FA	FA3		X					X				X			X			X			X	

[6] AC1 ve AC2 aynı zamanda IP ve EP, AC3 yalnızca IP unvanına sahiptir.

Sıra No	Gör. Poz	Uçucu Adı	Görev 0	Görev 1	Görev 2	Görev 3	Görev 3	Görev 4	Görev 5	Görev 6	Görev 7	Görev 8	Görev 9	Görev 10	Görev 11	Görev 12	Görev 13	Görev 14	Görev 15	Görev 16	Görev 17	Görev 18	Görev 19
34	FA	FA4		X												X							
35	FA	FA5	X											X								X	
36	FA	FA6						X															
37	FA	FA7										X											
38	WC	WC1										X											
39	WC	WC2						X															
40	WC	WC3	X						X				X	X				X	X			X	
41	WC	WC4		X					X				X			X			X			X	
42	WC	WC5	X						X				X	X				X	X			X	
43	WC	WC6	X											X								X	
44	WC	WC7	X						X				X	X				X	X			X	
45	WC	WC8	X											X								X	
46	WC	WC9		X					X				X			X			X			X	
47	WC	WC10	X						X				X	X				X	X			X	
48	WC	WC11		X												X							
49	WC	WC12		X												X							
50	WC	WC13	X						X				X	X				X	X			X	
51	WC	WC14		X					X				X			X			X			X	
52	WC	WC15	X											X								X	
53	WC	WC16										X											
54	WC	WC17						X															
55	WC	WC18		X												X							
56	WC	WC19	X											X								X	
57	SWC	WC20																					
58	SWC	WC21																					
59	SWC	WC22																					
60	SWC	WC23																					
61	SC	SC1				D	X				D				D		D			D	D		D
62	SC	SC2				D					D	X			D		D			D	D		D
63	SC	SC3	X			D			X		D		X	X	D		D	X	X	D	D	X	D
64	SC	SC4	X			D					D			X	D		D			D	D	X	D
65	SC	SC5		X		D			X		D		X		D	X	D		X	D	D	X	D
66	SC	SC6	X			D					D			X	D		D			D	D	X	D
67	SC	SC7		X		D					D				D	X	D			D	D		D
68	SSC	SC8																					
69	SO	SO1						X															
70	SO	SO2										X											
71	SO	SO3	X						X				X	X				X	X			X	
72	SO	SO4	X						X				X	X				X	X			X	
73	SO	SO5	X						X				X	X				X	X			X	
74	SO	SO6						X															

Sıra No	Gör. Poz	Uçucu Adı	Görev 0	Görev 1	Görev 2	Görev 3	Görev 3	Görev 4	Görev 5	Görev 6	Görev 7	Görev 8	Görev 9	Görev 10	Görev 11	Görev 12	Görev 13	Görev 14	Görev 15	Görev 16	Görev 17	Görev 18	Görev 19
75	SO	SO7	X											X									
76	SO	SO8	X											X								X	
77	SO	SO9						X															
78	SO	SO10	R						R				R	R				R	R			R	
79	SO	SO11	X						X				X	X				X	X			X	
80	SO	SO12	R						R				R	R				R	R			R	
81	SO	SO13	L	L					L				L	L		L		L	L			L	
82	SO	SO14	X						X				X	X				X	X			X	
83	SO	SO15	L	L					L				L	L		L		L	L			L	
84	SSO	SO16																					
85	SSO	SO17																					
86	SSO	SO18																					
87	SSO	SO19																					

X : Görev için uygun
D : Nöbet için uygun
R : “Runner” isimli eğitim öğesini tekrar etmesi gerekir (koltuk 11)
L : “LinkSO” isimli eğitim öğesini tekrar etmesi gerekir (koltuk 9)

NOT : Görev Pozisyonu başında bulunan “S” öğrenci uçucu olduğu anlamına gelir. Aktif görev almaz.

EK-2 Jenerik Görevlere Ait Eğitim Öğeleri

Görev	Görev Adı	Flight	Take Off	Landing	FSIM	AAR	NAAR	Night TO	Night LD	MSIM	SIM EP	Basic WA	Adv WA	Runner	LinkSO	CRM Annual	Life Support	SQ Duty
Görev 0	BASIC-M	X	X	X							X	X						
Görev 1	MSIM									X			X		X			
Görev 2	FSIM				X													
Görev 3	DUTY																	X
Görev 4	CRM															X		
Görev 5	ADV-M	X	X	X									X	X	X			
Görev 6	P-AAR	X	X	X		X												
Görev 7	DUTY																	X
Görev 8	LIFE SUPPORT																X	
Görev 9	OPER-M	X	X	X			X	X	X				X	X	X			
Görev 10	BASIC-M	X	X	X							X	X		X	X			
Görev 11	DUTY																	X
Görev 12	MSIM									X			X		X			
Görev 13	DUTY																	X
Görev 14	P-NIGHT	X	X	X				X	X									
Görev 15	ADV-M	X	X	X		X							X	X	X			
Görev 16	DUTY																	X
Görev 17	DUTY																	X
Görev 18	OPER-M AAR	X	X	X		X					X	X	X	X	X			
Görev 19	DUTY																	X

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Hamit Taner ÜNAL
Uyruğu	**:**	Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	ISPARTA - 1983
Telefon	**:**	+905305678289
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	htaner.unal@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Maltepe Askeri Lisesi, İZMİR	1999
Üniversite	:	Hava Harp Okulu Elektronik.Müh.- İSTANBUL	2003
Yüksek Lisans	:	-	
Doktora	:	-	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2003-2016	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	Subay (Teğmen-Yüzbaşı)
2005-2011	Hava Radar Mevzi Komutanlığı, Merzifon, Amasya	Silah Kontrolörü
2011-2014	NATO AWACS E-3A Unsur Komutanlığı, Geilenkirchen, Almanya	Gözetleme Kontrolörü, Harekat Analiz Subayı
2014-2016	Havadan İhbar Kontrol (HİK) Grup Komutanlığı, Konya	Gözetleme Kontrolörü

UZMANLIK ALANI

Bilgisayar Programlama (C#, Java, JavaScript) – Optimizasyon – Ekip Çizelgeleme - Simülasyon

YABANCI DİLLER

İngilizce, Almanca

YAYINLAR

- Ünal, H.T, Başçiftçi, F., 2016, "Prioritization Algorithm for Robust Crew Planning At Airborne Early Warning and Control Aircraft", *UMYOS, 5th International Vocational Schools Symposium*, Cilt 1, Sf:920-924.

AWACS UÇAKLARINDA EKİP ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMALAR YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ

ORIGINALITY REPORT

7%	5%	5%	2%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	acikerisim.selcuk.edu.tr:8080 Internet Source	1%
2	Submitted to Selçuk Üniversitesi Student Paper	1%
3	www.ucleme.com Internet Source	<1%
4	ama09.obspm.fr Internet Source	<1%
5	www.oecfh.com Internet Source	<1%
6	Submitted to Erasmus University Rotterdam Student Paper	<1%
7	www.cedarhillsfamilypractice.com Internet Source	<1%
8	guitaron.ru Internet Source	<1%
9	Maqsood, Shahid(Khan, M. Khurshid and	