

160322

HAVA TAŞIMACILIĞINDA FİLO ATAMA PROBLEMLERİNİ ÇÖZMEYE
YÖNELİK BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRME

Mehmet Eryiğit

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı Doktora Programı

Doktora Tezi

Ankara, 2005

KABUL VE ONAY

Mehmet Eryiğit tarafından hazırlanan "Hava Taşımacılığında Filo Atama Problemlerini Çözmeye Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi" başlıklı bu çalışma, 12.07.2005 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ülkü Şişik (Başkan)

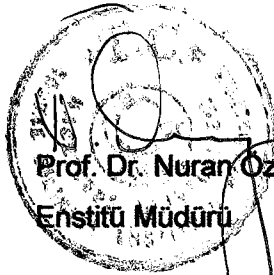
Doç. Dr. Aydın Ulucan (Danışman)

Doç. Dr. Argun Karacabey

Doç. Dr. Bahtişen Kavak

Yrd. Doç. Dr. Öznur Aşan

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

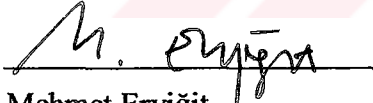


Prof. Dr. Nuran Özyer
Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kağıt ve elektronik kopyalarının Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

- ☒ Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin/Raporum sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin/Raporumun yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.


Mehmet Eryiğit

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca eleştiri ve öneri ile beni yönlendiren tez hocam Doç. Dr. Aydın ULUCAN'a,

“Kafana fazla takma bu tez işini” deyip bana sabırla yardım eden ve yol gösteren, her konuda örnek almaya çalıştığım Ağbim Doç. Dr. Resul ERYİĞİT'e,

Doktora süresince değerli katkılarını hiçbir zaman eksik etmeyen, tezimi büyük özveriyle okuyan ve değerlendiren, kapısı her zaman herkese açık olan hocam Prof. Dr. Ülkü ŞİŞİK'e,

Gerek tez izleme komite sunumunu gerekse tez savunmasını bir sınav havasına sokmayan hocam Doç. Dr. Argun KARACABEY'e,

Tez savunma esnasındaki kritik soruları ile beni yönlendiren, klasik hoca tanımlamasının dışında gördüğüm hocam Doç. Dr. Bahtışen KAVAK'a,

Doktora eğitimim süresince her konuda bana yardımcı olan ve önerileri ile beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Öznur AŞAN'a,

Her zaman yakın ilgi ve alakasını gördüğüm, iki yıl süresince asistanlığını yaptığım, hoca-öğrenci ilişkisinden daha çok ağbılık yapan AİBÜ İşletme Bölüm başkanı hocam Prof. Dr. Ergün İLTER'e,

Çoğu zaman karşıt fikirde olduğum, her konuda pratik çözümler sunabilen, beni işletme bölümünü okumaya yönlendiren ağbim Yrd. Doç. Dr. Recep ERYİĞİT'e,

Türkçe düzeltmeleri ve önerileri için “fıkralara konu olabilecek sözleri olan” arkadaşım Arş. Gör. Akif AYARLIOĞLU'na

Üç yıl boyunca aynı odayı paylaştığım arkadaşlarım Arş. Gör. Esra ERENLER ve Arş. Gör. Kubilay ÖZYER'e

ve aileme teşekkür ederim.

ÖZET

ERYİĞİT, Mehmet. Hava Taşımacılığında Filo Atama Problemlerini Çözmeye Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ankara, 2005

Bu tez çalışması ile hava taşımacılığında filo atama problemlerinin çözümüne yönelik olarak bir Karar Destek Sistemi geliştirilmesi düşünülmüştür. Bu Karar Destek Sistemi ile filo atama problemlerinin çözümü, yeni bir uçak alımı ve/veya yeni bir uçuş ayağı belirleme kararının verilmesi ve her bir uçuş ayağı için yolcu talep tahmini yapılması planlanmıştır.

Elde edilen haftalık optimum filo ataması gerçekleştirilirken havaalanlarında beklenmedik olaylar yaşanmasının toplam maliyetler üzerindeki etkisi *RePast* ajan *Java* yazılım kütüphanesi kullanılarak simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, beklenmedik olayların ana toplama ve dağıtım istasyonlarında (*hub istasyonlar*) diğer istasyonlara oranla çok daha fazla maliyet artışına neden olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Ayrıca, geliştirilen Karar Destek Sistemine yeni bir uçak alımı ve yeni bir uçuş ayağı belirleme kararlarını vermek için çoklu karar verme kriterlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi modülü eklenmiş ve ilgili kararlar bu modül yardımı ile alınmıştır.

Her bir uçuş ayağında yolcu talep tahmini yapabilmek amacıyla Karar Destek Sistemine yolcu talep tahmin modülü eklenmiştir. Basit ve ikili (Holt Metodu) üssel düzeltme yöntemleri ile normal ve tekdüze dağılımlara göre oluşturulan veriler kullanılarak yolcu talep tahmini yapılmıştır. Hesaplanan istatistiksel moment değerlerine göre ikili üssel düzeltme yöntemi basit üssel düzeltme yöntemine göre daha uygun sonuçlar vermiştir.

Hava taşımacılığında filo atama problemlerini çözmeye yönelik olarak geliştirilen Karar Destek Sistemi tamamen *Java* yazılım programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Filo Atama Problemi, Karar Destek Sistemleri, Akıllı Ajanlar, Analitik Hiyerarşi Süreci, Yolcu Talep Tahmini, Hava Operasyonları

ABSTRACT

ERYİĞİT, Mehmet. Design and Implementation of a Decision Support System for the Fleet Assignment Problem in Air Transportation, Phd Thesis, Ankara, 2005

The main subject of this thesis study is the design and implementation of a Decision Support System for the solution of the fleet assignment problem in air transport industry. This system is developed to solve fleet assignment problems, to decide whether to Schedule a new flight leg and to do forecasting studies for the individual flight legs.

The main part of the thesis is involved with the affect of unexpected events on the optimum fleet assignment. An intelligent agent system, based on *Java Repast Agent ToolKit*, is developed to simulate the effect of these type of events on weekly operations of the airline. The most important finding of these simulations is that the lost due to unexpected events is much higher if they happen in the hub stations compared to other stations.

As the second part of the thesis, an Analytical Hierarchy Process module is added to developed Decision Support System. Two problems, namely buying a new airplane and whether or not to add a new flight leg to existing legs are solved by using this module.

Another part of the Decision Support System deals with the passenger demand forecasting. This forecasting module implements single and double exponential smoothing methods. As part of this thesis study, artifical passenger demand data created according to uniform and normal distributions for a three month period are used to test the quality of mentioned forecasting methods. Double exponential smoothing technique is found to perform better than single exponential smoothing. The Decision Support System developed for the fleet assignment in air transport industry is implemented completely by using object-oriented Java programming language, so it can easily be changed, improved and interfaced with new modules.

Keywords: Fleet Assignment Problem, Decision Support Systems, Intelligent Agents, AHP, Passenger Demand Forecasting, Airline Operations

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar	viii
ŞEKİLLER	ix

1. BÖLÜM: GİRİŞ

1.1 TEZİN AMACI	3
1.2 VARSAYIM VE KISITLAR	5
1.3 YÖNTEM	5
1.4 TEZİN BEKLENEN KATKISI	6
1.5 TEZİN BÖLÜMLERİ	8

2. BÖLÜM: FİLO ATAMA PROBLEMİ

2.1 GİRİŞ	11
2.2 UÇUŞ VE FİLO ÇİZELGELEMESİ	12
2.3 HAVACILIK OPERASYONLARI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR	20
2.3.1 Filo Atama Ağ Modelleri	20
2.3.1.1 Soysal (Generic) İki Boyutlu Zaman-Uzay Ağ Modeli	21
2.3.1.2 Karmaşık İki Boyutlu Zaman-Uzay Ağ Modeli	21
2.3.1.3 Üç Boyutlu Zaman-Uzay Ağ Modeli	22
2.3.2 Filo Atama Ağ Modellerinin Temel Özellikleri	23
2.3.2.1 Yay Sınıflandırmaları	23
2.3.2.2 Düğüm Sınıflandırmaları	25
2.4 FİLO ATAMA PROBLEMİ (FAP)	27
2.4.1 Günlük Filo Ataması	29
2.4.2 Haftalık Filo Ataması	31
2.4.3 Hub-ve-Spoke Havaalanları Sistemi	32
2.4.4 Filo Atama Problemi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	34
2.5 FİLO ATAMA MODELLERİ	38

3. BÖLÜM: KARAR DESTEK SİSTEMLERİ (KDS)

3.1 GİRİŞ	44
3.2 TEMEL KAVRAMLAR VE KARAR TİPLERİ.....	45
3.3 KARAR VERME STİLLERİ	47
3.3.1 Analitik Karar Verme	47
3.3.2 Sezgisel (Heuristic) Karar Verme.....	48
3.4 KARAR VERME SÜRECİ.....	49
3.5 KARAR DESTEK SİSTEMLERİ (KDS)	52
3.5.1 Karar Destek Sistemlerinin (KDS) Unsurları	54
3.5.2 Karar Destek Sistem Tip Sınıflandırması	58
3.5.3 KDS'nin Yapısı,Tasarımı ve Geliştirilmesi.....	59
3.5.4 Karar Destek Sistemlerinin Amaç ve Yararları	60
3.5.5 KDS'nin Literatürde Uygulama Alanları	61
3.5.6 KDS'nin Uygulamadaki Başarısızlık Nedenleri.....	64
3.5.7 Geleneksel ve Konu-Tabanlı KDS Karşılaştırması	65

4. BÖLÜM: HAVAYOLU OPERASYONLARI VE SİMÜLASYON

4.1 GİRİŞ	67
4.2 HAVAYOLU OPERASYONLARI	67
4.2 HAVAYOLU OPERASYONLARININ SİMÜLASYONUNA YÖNELİK GELİŞTİRİLEN KARAR DESTEK SİSTEMLERİ.....	71
4.2.1 SimAir: Hava Yolu Operasyonları Stokastik Modeli	72
4.2.2 Gerçek Zamanlı Karar Destek Sistemi (KDS).....	75
4.3 HAVAYOLU OPERASYONLARINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER.....	77

5. BÖLÜM: ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS – AHP)

5.1 GİRİŞ	79
5.2 AHP'DEKİ KARAR VERME SÜRECİ.....	81
5.3 ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ.....	83
5.3.1 AHP'nin Aksiyomları.....	83
5.3.2 Hiyerarşi Tasarımı ve Yapısını Oluşturma	84
5.3.3 İkili Karşılaştırma Oranları ve Hiyerarşi Değerlendirmesi.....	86
5.3.4 AHP'nin Literatürde Uygulama Alanları	89

5.3.5 AHP ve Simülasyon.....	90
------------------------------	----

6. BÖLÜM: AKILLI AJANLAR

6.1 GİRİŞ.....	92
6.2 AJANLAR VE ÇEVRE İLİŞKİSİ.....	94
6.3 AKILLI AJANLAR VE AJAN TİPİ SINIFLANDIRMALARI.....	96
6.3.1 Zayıf Ajan Kavramı.....	99
6.3.2 Güçlü Ajan Kavramı (Stronger Notion of Agency).....	102
6.3.3 Ajanların Diğer Özellikleri.....	103
6.4 GELENEKSEL VE AJAN TEKNOLOJİSİ TABANLI YAZILIM	104
6.5 ÇOKLU-AJAN SİSTEMİ	106
6.6 AKILLI AJANLARIN UYGULAMA ALANLARI	107
6.7 AKILLI AJANLAR VE YENİLİK	108
6.8 AJAN TEKNOLOJİSİNİ KULLANMANIN FAYDALARI.....	109

7. BÖLÜM: TAHMİN YÖNTEMLERİ

7.1 GİRİŞ.....	112
7.2 HAREKETLİ ORTALAMALAR YÖNTEMİ.....	116
7.2.1 Basit Hareketli Ortalama	116
7.2.2 Ağırlıklı Hareketli Ortalamalar.....	117
7.3 ÜSSEL DÜZELTME YÖNTEMLERİ	117
7.3.1 Basit Üssel Düzeltme Yöntemi.....	117
7.3.2 İkili Üssel Düzeltme (Holt Metodu) Yöntemi	119
7.3.3 Üçlü Üssel Düzeltme (Holt-Winters) Yöntemi	119
7.4 REGRESYON YÖNTEMLERİ.....	121
7.4.1 Doğrusal Regresyon	121
7.4.2 Kuadratik Regresyon Yöntemi	121

8. BÖLÜM: UYGULAMA

8.1 GİRİŞ.....	123
8.2 FİLO ATAMA KARAR DESTEK SİSTEMİ BÖLÜMLERİ.....	125
8.2.1 Filo Atama Karar Destek Sistemi (FAKDS)	125
8.2.2 Yolcu Talep Tahmini.....	134

8.2.3 Optimum Atama Sonuçlarının Gösterilmesi	137
8.2.4 Akıllı Ajanlar Simülasyonu	138
8.2.4.1 Beklenmedik Olayların Havaalanları Üzerindeki Etkileri	142
8.2.4.2 Simülasyon	146
8.3 KARAR DESTEK SİSTEMİ AKIŞ DİYAGRAMLARI.....	161

9. BÖLÜM: SONUÇ

9.1 AMPİRİK BULGULAR.....	167
9.2 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	169

KAYNAKLAR.....	171
-----------------------	------------

EK-1 : HAVAYOLU TERMİNOLOJİSİ	179
--	------------

EK-2 : AJAN YAZILIM PROGRAMLARI.....	182
---	------------

EK – 3:	183
----------------------	------------

EK – 4:	186
----------------------	------------

EK – 5:	189
----------------------	------------

TABLOLAR

Tablo 2.1: Uçuş Ve Gecikme Yayıları Arasındaki İlişki.....	25
Tablo 3.1: Kds'nin Ortak Fonksiyonel Yönetim Alan Uygulamaları	63
Tablo 3.2: Kds'nin Diğer Uygulama Alanları	63
Tablo 3.3: Geleneksel Ve Konu Tabanlı Kds Arasındaki Farklılıklar	66
Tablo 5.1: Temel Ölçek Unsurları.....	88
Tablo 8.1: Tekdüze (Uniform) Dağılıma Göre Talep Tahmin Yöntemleri Sonucu Elde Edilen İstatistiksel Moment Değerleri	136
Tablo 8.2: Normal Dağılıma Göre Talep Tahmin Yöntemleri Sonucu Elde Edilen İstatistiksel Moment Değerleri.....	137
Tablo 8.3: Olay Yaşanan Havaalanına Gelen Uçuşların Gecikme Maliyetleri.....	145
Tablo 8.4: Olay Yaşanan Havaalanından Kalkış Yapacak Olan Uçuşlarla İlgili Maliyetler ..	146
Tablo 8.5: Havaalanlarından Gerçekleştirilen Uçuş Sayıları	147
Tablo 8.6: Olay Sayısı Ve Olay Sürelerinin Belirlendiği Simülasyon Örneği	148
Tablo 8.7: Simüle Edilecek Senaryolar	148

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Havayolu Çizelgeleme Süreci	14
Şekil 2.2: Bir Çizelge Geliştirmenin Dört Aşaması.....	16
Şekil 2.3: Zaman –Uzay Ağ Modeli ve Unsurları	22
Şekil 2.4: İstasyon L' 'deki Uçuş, Yer ve Geceleme Yayları.....	27
Şekil 2.5: Hub İstasyonu.....	32
Şekil 3.1: Karar Verme Süreci.....	50
Şekil 3.2: Karar Verme Süreç Unsurları Arasındaki İlişkiler	51
Şekil 3.3: Karar Destek Sisteminin Unsurları.....	57
Şekil 3.4: Karar Destek Sistem Yapısı.....	59
Şekil 5.1: Girdi Matrisi	81
Şekil 5.2: AHP'nin Genel Hiyerarşik Yapısı.....	81
Şekil 5.3: Hiyerarşi Tasarımı	86
Şekil 6.2: Ajanların İçsel, Dışsal Ve Ortak Özellikleri.....	99
Şekil 6.3: Yazılım İnşa Farklılığı.....	105
Şekil 6.4: Bir Ajan-Tabanlı Sistemin Konik (Canonical) Görünümü.....	105
Şekil 8.1: Filo Atama Karar Destek Sistemi Unsurları	124
Şekil 8.2: Filo Atama Karar Destek Sistemi Giriş Ekranı	126
Şekil 8.3: Filo Atama KDS Modelindeki Havaalanları Arayüz Ekranı	126
Şekil 8.4: Filo Atama KDS Modelindeki Filo Tipleri Tanımlama Ekranı.....	127
Şekil 8.5: Filo Atama KDS Modelindeki Uçuş Ayakları Tanımlama Ekranı.....	128
Şekil 8.6: Yeni Bir Uçuş Ayağı Belirleme Hiyerarşisi	128
Şekil 8.7: Yeni Bir Uçuş Ayağı Belirleme Hiyerarşisi	129
Şekil 8.8: Ahp Çözüm Arayüz Başlangıcı	129
Şekil 8.9: İkili Matris Oluşturmada Kullanılan Ölçeklendirme Değerleri.....	130
Şekil 8.10: Yeni Uçak Alım Karar Kriterleri İkili Karşılaştırma Matrisi, Normalize Değerler, Tutarlılık Ölçütleri ve Tutarlılık Oranı.....	130

Şekil 8.11: Fiyat Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi, Normalize Değerler, Tutarlılık Ölçütleri ve Tutarlılık Oranı.....	131
Şekil 8.12: Performans Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi, Normalize Değerler, Tutarlılık Ölçütleri ve Tutarlılık Oranı	131
Şekil 8.13: Uçuş Mesafesi Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi, Normalize Değerler, Tutarlılık Ölçütleri ve Tutarlılık Oranı	131
Şekil 8.14: Analitik Hiyerarşi Süreci İle Yeni Uçak Alımı İçin Seçim Yapılması.....	132
Şekil 8.15: Yeni Bir Uçuş Ayağı Belirleme Karar Kriterleri İkili Karşılaştırma Matrisi, Normalize Değerler, Tutarlılık Ölçütleri ve Tutarlılık Oranı	133
Şekil 8.16: Talep Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi, Normalize Değerler, Tutarlılık Ölçütleri ve Tutarlılık Oranı.....	133
Şekil 8.17: Mesafe Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi, Normalize Değerler, Tutarlılık Ölçütleri ve Tutarlılık Oranı	133
Şekil 8.18: Bilet Fiyatı Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi, Normalize Değerler, Tutarlılık Ölçütleri ve Tutarlılık Oranı	134
Şekil 8.19: Yeni Bir Uçuş Ayağının Analitik Hiyerarşi Süreci İle Seçim Yapılması.....	134
Şekil 8.20: Tekdüze (Uniform) Dağılım Verilerine Göre Basit ve İkili Üssel Düzeltme Yöntemlerine Göre Talep Tahmini.....	135
Şekil 8.21: Normal Dağılım Verilerine Göre Basit ve İkili Üssel Düzeltme Yöntemlerine Göre Talep Tahmini.....	136
Şekil 8.22: Filo Atama Kds Modeli Çözüm Sonucu Optimal Atama, Maliyet ve Gelirler	137
Şekil 8.23: Ajanlar Arasındaki İlişkiler	139
Şekil 8.24: Repast Ve Havaalanı / Uçaklarda Olay Yaratma Ekranı.....	141
Şekil 8.25: Toplam Bekleme Süresi.....	142
Şekil 8.26: Toplam Gecikme Süresi	143
Şekil 8.27: Olay Olan Havaalanına İnmesi Gereken Uçakların Başka Havaalanına İnmesi Durumu.....	144
Şekil 8.28: Olay Olan Havaalanından Kalkması Gereken Uçakların Kalkmaması Durumu ..	145
Şekil 8.29: Simülasyon Parametreler Ekranı	146
Şekil 8.30: Senaryo 1: Olay Sayısı Olay Süresinin Normal Dağılıma Göre Saptanması Durumunda Her Bir Havaalanında Yaratılan Olay Sayısı ve Toplam Kayıplar.....	149
Şekil 8.31: Senaryo 2: Olay Sayısı: Normal Olay Süresinin Tekdüze Dağılıma Göre Saptanması Durumunda her bir Havaalanında Yaratılan Olay Sayısı ve Toplam Kayıplar	150

Şekil 8.32: Senaryo 3: Olay Sayısının Normal Dağılım Olarak ve Olay Süresinin 180 Dakika Olması Durumunda Her Bir Havaalanında Yaratılan Olay Sayısı ve Toplam Kayıplar ..	150
Şekil 8.33: Senaryo 4: Olay Sayısı Tekdüze (Uniform), Olay Süresinin Normal Dağılım Dağılıma Göre Saptanması Durumunda Her Bir Havaalanında Yaratılan Olay Sayısı ve Toplam Kayıplar.....	151
Şekil 8.34: Senaryo 5: Olay Sayısı Tekdüze (Uniform), Olay Süresinin Tekdüze (Uniform) Dağılıma Göre Saptanması Durumunda Her Bir Havaalanında Yaratılan Olay Sayısı ve Toplam Kayıplar.....	151
Şekil 8.35: Senaryo 6: Olay Sayısı Tekdüze (Uniform) ve Olay Süresinin 180 Dakika Olması Durumunda Her Bir Havaalanında Yaratılan Olay Sayısı ve Toplam Kayıplar.....	152
Şekil 8.37: Senaryo 8: Olay Sayısı 2 ve Olay Süresinin Tekdüze Dağılıma Göre Saptanması Durumunda Her Bir Havaalanında Yaratılan Olay Sayısı ve Toplam Kayıplar.....	153
Şekil 8.38: Senaryo 9: Olay Sayısı: 2 ve Olay Süresi: 180 Dakika Olması Durumunda Her Bir Havaalanında Yaratılan Olay Sayısı ve Toplam Kayıplar.....	153
Şekil 8.39: Havaalanlarında Yaşanan Beklenmedik Olayların Yaratığı Maliyet Artışları	154
Şekil 8.40: Başlangıç Optimum Atama Sonucunda Her Bir Uçağa Ait Doluluk Durumları....	155
Şekil 8.41: Havaalanlarında İki Saatlik Olay Yaşanmasının İlgili Havaalanlarında Yaratığı Toplam Maliyet Artışları.....	156
Şekil 8.42: Havaalanlarında İki Buçuk Saatlik Olay Yaşanmasının İlgili Havaalanlarında Yaratığı Toplam Maliyet Artışları.....	157
Şekil 8.43: Havaalanlarında Üç Saatlik Olay Yaşanmasının İlgili Havaalanlarında Yaratığı Toplam Maliyet Artışları.....	158
Şekil 8.44: Havaalanlarında Üç Buçuk Saatlik Olay Yaşanmasının İlgili Havaalanlarında Yaratığı Toplam Maliyet Artışları.....	159
Şekil 8.45: Havaalanlarında Dört Saatlik Olay Yaşanmasının İlgili Havaalanlarında Yaratığı Toplam Maliyet Artışları.....	159
Şekil 8.46: Normal Dağılıma Göre Oluşturulan Verilerden Talep Tahmini Yapılması Durumunda Standart Sapma - Toplam Yolcu Sayısı İlişkisi ve Standart Sapma Toplam Kar İlişkisi	160
Şekil 8.47: Tekdüze (Uniform) Dağılıma Göre Oluşturulan Verilerden Talep Tahmini Yapılması Durumunda Standart Sapma - Toplam Yolcu Sayısı İlişkisi ve Standart Sapma Toplam Kar İlişkisi.....	161
Şekil 8.48: Filo Atama Karar Destek Sistemi Akış Diyagramı	163
Şekil 8.49: Uçaklarda Beklenmedik Olayların Yaşanması Durumunda Çözüm Algoritması ..	164
Şekil 8.50: Havaalanlarında Beklenmedik Olayların Yaşanması Durumunda Çözüm Algoritması.....	165

1. BÖLÜM: GİRİŞ

Hava taşımacılığı, ulaştırma sektörleri arasında en hızlı ve en dinamik taşımacılık türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle globalleşen dünyada önemi ve taşımacılık içerisinde payı giderek artmaktadır. Ulusal ve uluslararası hava taşımacılık firmaları gerek insan taşımacılığında gerekse yük taşımacılığında çok büyük ölçekli firmalar haline dönüşmektedirler. Bu dönüşüm var olan uçak filolarının genişletilmesi ve/veya yeni filolar kurulmasını gerektirmektedir. Oligopolist bir pazarda çalışan bu firmalar bir yandan piyasa kuralları içinde pazar paylarını artırmayı amaçlarken diğer yandan da maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedirler.

Havayolu taşımacılığı son zamanlarda dünyada olduğu gibi Türkiye’de de büyük teknolojik ve yapısal bazı değişiklikler geçirmiş ve dünya çapında rekabete açılmıştır. Rekabetin artması hava taşımacılık maliyetlerini azaltma yönündeki çalışmaları hızlandırmıştır. Hava taşımacılığında yaşanan serbestleşme bu sektörün genişlemesine neden olmaktadır. Hava taşımacılığı yapan firmaların büyük rekabeti hava taşımacılığında maliyetlerin düşmesine ve dolayısıyla taşıma fiyatlarının aşağıya çekebilmesine neden olmaktadır. Türkiye’nin de içinde bulunduğu Avrupa’da 2004 yılında bir önceki yıla göre hava trafiğinde %5 büyüme kaydedilmiştir. 2005’in ilk altı ayında ise bu rakam %20 seviyesine çıkmıştır. Türkiye’de iç ve dış hatlarda yılda yaklaşık 6 milyon yolcu taşınmaktadır. Bunun yaklaşık 4.5 milyonunu tek bir havayolu (Türk Hava Yolları - THY) tarafından gerçekleştirilmektedir (THY Rapor 2005).

ABD ve Avrupa Birliği dışında kalan ülkelerde de 90’lardan sonra kişi başına düşen gelirin artması diğer ulaşım alternatiflerine göre daha pahalı olan hava ulaşımına olan talebin artmasına neden olmuştur. Artan talebi karşılamak amacıyla ve hava taşımacılığında yaşanan serbestleşmenin de etkisiyle bir çok özel hava taşımacılık firması kurulmuş ve/veya mevcut hava yolu firmaları kapasitelerini genişletmişlerdir. Kapasitenin artırılması mevcut filo ağının ve uçuş ayaklarının genişletilmesine sebep olmaktadır.

Ulusal ve uluslararası hava taşımacılık pazarlarında yaşanan yoğun rekabet ve krizler nedeniyle havayolu firmaları sürekliliklerini devam ettirebilmek amacıyla taşıma

ağlarını güçlendirmeye çalışmaktadırlar (THY Rapor 2003). Bu nedenle ticaretin yoğunlaştığı bölgelere doğru yeni uçuş hatlarının açılması taşımacılık ağını güçlendirmedeki önemli unsurlardan biri olmaktadır. Bunu yapabilmek için yoğun rekabet ortamında maliyetleri minimum düzeye indirmek gerekmektedir. Maliyetlerini düşürebilen firmaların rekabet avantajları artmaktadır. Maliyetleri düşürmenin bir yolu da optimum filo atamasını yapabilmektir. Çünkü, filo atama problemi toplam maliyetlerle doğrudan ilgili olan bir konudur. Filo atama probleminin optimum çözümü, operasyonel maliyetleri ve diğer bazı maliyetleri azaltmaktadır. Filo atama probleminin filo sayısı ve uçuş ayağı gibi iki boyutu vardır. Problem için optimum çözümün bulunması bu iki boyutun büyüklüğüne bağlıdır.

Maliyetleri minimize edecek atama problemleri gerek hava yolu şirketleri gerekse akademik çevrelerce uzun süredir çalışılan bir konu olmuştur. Bu amaçla ikinci dünya savaşından sonra hızlı artış kaydeden hava taşımacılığında karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik çalışmalar da artmıştır. Bireysel veya birkaç grubun kendi başlarına yaptıkları bu çalışmaları her yıl süreklilik arz edecek bir toplantı ile karşılıklı tartışmayı amaç edinen araştırmacılar havacılıkla ilgili bir grup oluşturmuşlardır.

1960'larda beş havayolu firmasında çalışan yöneylem araştırmacıları sürekli olacak bir forum organize etmek amacıyla bir araya gelmişlerdir. Bu araştırmacıların amaçları, hava taşımacılığı ile ilgili yapılan çalışmaları tartışmak ve yaşanan problemlere çözüm bulmak için bazı gruplar oluşturmaktır. Araştırmacıların bu çabaları AGIFORS'un (Uluslararası Yöneylem Araştırmaları Federasyonu (IFOR) Havayolu Grubu) kurulmasına önayak olmuştur. İlk AGIFORS sempozyumu 1961 yılında yapılmıştır. AGIFORS'un bu yıllık konferanslarından bağımsız olarak havacılık alanlarındaki problemlerin çözümü için çalışan çeşitli özel ilgi grupları da kurulmuştur. Bu grupların çoğu yılda bir kere toplanarak ilgili çalışmalarını tartışmışlardır (Richtter 1989).

Richtter tarafından 1956-1985 yılları arasında AGIFORS sempozyumlarında sunulan havacılık ile ilgili makaleler beş yıllık periyotlarda sınıflandırılarak incelenmiştir. Bu yıllarda yapılan araştırmalar; ortak planlama, finans ve yönetim bilişim sistemleri, tahminleme, filo atama, çizelge oluşturma ve değerlendirme, tayfa yönetimi, personel yönetimi, faaliyetler ve olanaklar (facilities), koltuk rezervasyonu, boşluk ve getiri

kontrolü, bakım ve stok yönetimi ve hava taşımacılığında genel yöneylem araştırmaları ve diğer konular gibi başlıklar altında gruplandırılmıştır.

Dünyadaki bir çok havayolu firmasının en büyük problemlerinden biri olan ve çok büyük boyutlara ulaşan filo atama problemlerini çözümlemek amacıyla çeşitli matematiksel modeller oluşturulmakta ve filo atama problem çözümünü kolaylaştıracak bazı sezgisel yaklaşımlar sunulmaktadır. Filo atama probleminin tamsayılı doğrusal programlama şeklinde modellenmesi konusunda çalışan ilk araştırmacılardan biri Abara (1989) olmuştur. Genellikle, problem sonsuz sayıda tekrarlanacağı varsayılan “tipik bir gün” için modellenmektedir. Bu durum, taşımacılık yapan çoğu havayolu firması için gerçeği yansıtan bir durumdur. Uluslararası uçuşlar gerçekleştiren firmalar için bütün problemin kapsanacağı haftalık atama probleminin düşünülmesi gerekmektedir. Bu durum problemin boyutunu çok fazla büyüttüğü için optimum çözümün bulunması zorlaşmaktadır. Bu amaçla çok büyük boyutlardaki problemleri çözmek amacıyla çeşitli sezgisel yaklaşımlar (örneğin LP rahatlatma, vb.) geliştirilmektedir. Matematiksel modellere ek olarak havayolu operasyonlarını çözümlemek amacıyla bazı karar destek sistemleri geliştirilmiştir. Rosenberger ve diğerleri (2000) tarafından geliştirilen SimAir ve Rakshit (1996) tarafından geliştirilen gerçek zamanlı karar destek sistemi örnek olarak verilebilir.

1.1 TEZİN AMACI

Filo ataması yapılırken, atama süresince uçuşlarda herhangi bir aksaklık olmayacağı, her bir uçuşun planlandığı şekilde gerçekleştirileceği düşünülmektedir. Fakat çeşitli beklenemedik olaylar (örneğin; kötü hava koşulları, uçak arızalanmaları, uçak bakım zamanlarının uzaması, bazı terörist olayların yaşanması, yolcu gecikmeleri, pilot veya kabin görevlilerinin hastalanması veya başka nedenlerden dolayı göreve başlayamamaları, vb.) nedeniyle uçuşlar önceden planlandığı gibi gerçekleştirilememektedir. Bu durumda, beklenmeyen olay veya olayların havaalanında veya uçakta meydana gelmesi toplam maliyetler üzerinde farklı etkilere neden olabilmektedir.

Havaalanlarında meydana gelen bir olay o havaalanlarını belli bir süre etkileyeceğinden gelen uçuşların başka havaalanına veya geldiği havaalanına geri gönderilmeleri söz konusu olmaktadır. Bu durum uçaktaki mevcut yakıt miktarına bağlıdır. Diğer taraftan, olay yaşanan havaalanından kalkması gereken tüm uçuşlar olay çözümlenene kadar iptal edilecektir. Böyle bir durumda, bu havaalanından herhangi bir uçak havalanamadığı için, ilgili uçağın sonraki uçuşları ya belli bir süre ertelenecek yada uçuşlar iptal edilecektir. Uçuşunu ertelemek veya iptal etmek istemeyen firma, bu yolcular için ya boş olan bir uçağını tahsis edecek yada farklı bir firmadan iptal durumundaki uçuşları için uçak kiralayacaktır. Diğer bir ifade ile yolcuları diğer firmalara satacaktır. Bu durumlar herhangi bir uçakta sorun çıkması nedeniyle planlanan uçuşun gerçekleştirilememesi durumunda da geçerli olmaktadır.

Beklenmedik olaylar için yedek uçak bulundurulması veya olay yaşandığında farklı firmalardan uçak kiralanması, firmanın toplam maliyetleri üzerinde farklı etkilerde bulunmaktadır. Firmanın beklenmedik olaylar için belli sayıda uçak bulundurulması, o firmanın herhangi bir olay yaşanana kadar belli bir havaalanında uçakları atıl olarak bulundurmasını ifade etmektedir. Bu durumda uçaklar için belli bir sabit maliyete katlanılmaktadır. Olay gerçekleştikçe uçak kiralanması durumunda ise kira maliyetinden başka sabit maliyet söz konusu olmamaktadır.

Bu tez kapsamında hava taşımacılığında yaşanan bazı problemlerin çözümüne yönelik olarak bir **Karar Destek Sistemi** geliştirilecektir. Bu genel probleme ek olarak aşağıda ifade edilen üç alt problemin çözümüne yönelik modüllerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. .

- Havaalanlarında meydana gelen beklenmedik olayların optimum filo ataması ve toplam maliyetler üzerindeki etkisi,
- Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemiyle yeni bir uçuş ayağı belirleme veya yeni bir uçak alım kararının verilmesi,
- Her bir uçuş ayağı için yolcu talep tahmini yapılması

gibi problemlerin çözümü amaçlanmaktadır.

1.2 VARSAYIM VE KISITLAR

Hava taşımacılığında karşılaşılan bazı problemleri çözmeye yönelik olarak geliştirilen Karar Destek Sistemi ile ilgili bazı varsayım ve kısıtlar söz konusudur. Varsayımlar ve kısıtlar aşağıdaki gibi olacaktır.

Varsayımlar

- Havaalanları arasındaki uçuş zamanları dakika olarak bilinmektedir.
- Herhangi bir havaalanında olay olduğunda o havaalanına gelen uçaklar yaklaşık olarak aynı sürede başka bir havaalanına ineilmektedir.
- Yolcu sayılarının normal ve/veya tekdüze dağılıma uyduğu varsayılmıştır.

Kısıtlar

- Coğrafi bilgi sisteminin olmaması,
- Havayolu firmalarından gerçek veri alınamaması nedeniyle tüm hesaplamalar hipotetik veriler üzerinden yapılacaktır.

1.3 YÖNTEM

Hava taşımacılığında karşılaşılan bazı problemleri (filo atama problemi, her bir uçuş ayağı için yolcu talep tahmini yapmak, yeni bir uçak alımı ve/veya yeni bir uçuş ayağı belirleme problemi) çözmeye yönelik olarak geliştirilecek olan Karar Destek Sistemi *Java* yazılımı kullanılarak oluşturulacaktır. Filo atama problemi *ILOG OPL Studio* arayüzünde modellenerek *Java* kütüphaneleri yardımı ile *CPLEX*'te çözülecektir. Havaalanlarında veya uçaklarda beklenmedik bazı olayların toplam maliyetlere olan etkisi *RePast* akıllı ajanlar *Java* kütüphanesi kullanılarak araştırılacaktır.

Her bir uçuş ayağındaki yolcu talep tahminleri normal veya tekdüze dağılımlara göre veri türetilerek yapılacaktır. Talep tahmin yöntemi olarak basit ve ikili üssel düzeltme yöntemleri kullanılacaktır. Hesaplamalar *Java* istatistik kütüphanesi kullanılarak yapılacaktır.

Yeni bir uçuş ayağı ve/veya yeni bir uçak alımı kararı çoklu karar verme kriterlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılarak verilecektir. Bu amaçla Analitik Hiyerarşi Süreci kullanıcı arayüzü geliştirilecektir. Tüm hesaplamalar ve programlamalar ilgili *Java* yazılım kütüphaneleri kullanılarak yapılacaktır.

1.4 TEZİN BEKLENEN KATKILARI

Bu çalışmanın literatüre katkısı iki temel alanda toplanmaktadır. Bu alanlar;

- Temel filo atama modeli, talep tahmin modelleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) modeli gibi modelleri bir arada toplayan, kullanıcı arayüzü hazırlanmış bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmesi.
- Elde edilen planlarının uygulama aşamasında karşılaşılabilecek beklenmedik olaylara karşı davranışını gözlemleyen ve planları revize eden akıllı ajan tabanlı simülasyon modeli geliştirilmesi.

Bu temel katkılar daha detaylı olarak aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

- *Karar Destek Sistemi Yapısı*: KDS yapısı, model tabanı, veritabanı, kullanıcı arayüz modülü, KDS geliştirme platformu ve kullanılan ikincil yazılım başlıklarından oluşmaktadır.
 - *Model Tabanı* başlığı altında talep tahmin modülü, AHP modülü ve filo atama modülleri incelenecektir.
 - *Talep Tahmin Modülü*: Basit ve ikili üssel düzeltme yöntemleri ile her bir uçuş yağı için yolcu talep tahmini yapabilecek bir program geliştirilecektir. Bu program 3 aylık hipotetik veriler kullanarak denenecektir.
 - *Analitik Hiyerarşi Süreci Modülü*: Analitik Hiyerarşi Süreci ile rasgele sayıda kriter ve alternatifte sahip bir problem için optimum çözüm yapacak bir program geliştirilecektir. Bu program kullanılarak yeni bir uçak alımı ve yeni bir uçuş ayağı belirleme problemlerini çözecek bir kullanıcı grafik arayüzü geliştirilecektir.

- *Filo Atama Modülü:* Filo atama problemini çözmek amacıyla bir filo atama modülü geliştirilecektir. Geliştirilen karar destek sistemi ile küçük ve orta ölçekli bir hava yolu firmasının uçuşları örnek olay olarak düşünülerek çözüm araştırılacaktır.
- *Veri Tabanı Modülü,* geliştirilecek olan KDS'de kullanılacak olan veriler ile ilgilidir. Veri tabanı modülü havaalanları, uçuş ayakları, filo tipleri ve tahmin için kullanılacak olan verilerden oluşacaktır.
- *Kullanıcı Arayüz Modülü.* Bu modül veri giriş ekranları ve problem çözüm sonucunda oluşturulacak olan raporlardan oluşacaktır.
 - *Veri Girişi:* Veri girişini sağlamak amacıyla havaalanları, filo tipleri ve uçuş ayaklarına ilişkin kullanıcı arayüzleri geliştirilecektir.
 - *Üretilen Raporlar:* Filo atama probleminin çözümü sonucunu gösteren optimum filo ataması raporu oluşturulacaktır. Her bir filoya ait olan uçakların durumlarını gösterir bir rapor hazırlanacaktır. Havaalanlarında yaşanan beklenmedik olaylara ve bu olaylar sonucundaki maliyet artışlarını gösteren raporlar ve grafikler hazırlanacaktır.
- *KDS Geliştirme Platformu ve Kullanılan İkincil Yazılımlar:* KDS Java yazılım programı kullanılarak geliştirilecektir. Talep tahmini için Java istatistiksel kütüphanesi, AHP için Java kütüphaneleri ve havaalanlarındaki beklenmedik olayların simülasyonu RePast Java ajan yazılım kütüphaneleri kullanılacaktır. Bunlardan farklı olarak filo atama modeli ILOG OPL Studio'da programlanarak Javanın ilgili kütüphaneleri yardımı ile CPLEX'te çözülecektir.
- *Akıllı Ajan Tabanlı Simülasyon Çalışmaları:* KDS sistemine akıllı ajan tabanlı simülasyon modülünün eklenmesi ikinci temel katkıyı oluşturmaktadır. RePast ajan yazılım kütüphanesi kullanılarak havaalanlarında yaşanan beklenmedik bazı olayların toplam maliyetler üzerindeki etkileri incelenecektir. Yapılacak olan simülasyon çalışmaları aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

- Örnek uygulamanın çözümü sonucunda elde edilen optimum filo atamasının beklenmedik olaylara karşı duyarlılığı *Java* tabanlı RePast ajan yazılım kütüphanesi kullanılarak simüle edilecektir. Havaalanlarında meydana gelebilecek beklenmedik olay sayıları ve bu olayların süreleri belli istatistiksel dağılımlar (normal ve/veya tekdüze dağılımlar) ile oluşturulabileceği gibi kullanıcı tarafından belirlenebilecektir. Bu parametreler çerçevesinde beklenmedik olayların ilgili havaalanlarında yaratacağı maliyet artışları RePast ajan yazılım programı ile simüle edilecektir.
- Başlangıçta varsayılan yolcu sayılarının çeşitli istatistiksel dağılımlarla (Normal ve tekdüze (uniform) dağılım) değişmesi durumunda ortalama kayıpların nasıl değiştiği incelenecektir.
- Belli dağılımlara göre yolcu sayılarındaki azalmanın beklenen ortalama karda nasıl bir etki yapacağı incelenecektir.

1.5 TEZİN BÖLÜMLERİ

Bu çalışma hava taşımacılığında yaşanan filo atama problemlerini çözmeye yönelik bir karar destek sisteminin geliştirmesine yöneliktir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında bir çok farklı konu ortak bir tabanda, ortak bir problemi çözmek için kullanılacaktır. Birbirinden bağımsız olan bu konular (filo atama, karar destek sistemleri, havayolu operasyonları ve karar destek sistemleri, analitik hiyerarşi süreci, akıllı ajanlar, talep tahmin yöntemleri) uygulama, disiplinler arası bir çalışmayı gerektiren bir karar destek sisteminde bir araya getirilecektir. Bu sebeple, karar destek sistemi ve içerisinde uygulama olarak kullanılan diğer hususlar ayrı başlıklar altında incelenmektedir. Tezin bundan sonraki bölümleri aşağıdaki gibi olacaktır.

İkinci bölüm Filo Atama Problemini tanımlamaya ayrılmıştır. Filo atama problemi, önceden belirlenmiş olan belli sayıdaki uçuş ayağına belirli sayıdaki filonun atanması olarak tanımlanmaktadır. Filo atama problemini daha net olarak ortaya koyabilmek için, uçuş ve filo çizelgeleme, havacılık ile ilgili temel kavramlar (uçuş yayları ve düğümleri vb.), günlük ve haftalık filo atama problemleri, filo atama problemi ile ilgili çalışmalar ve bazı filo atama modelleri incelenerek karar destek sisteminde kullanılacak olan filo

atama modeli sunulmaktadır. Bu tip problemler (0-1) tamsayı doğrusal programlama olarak ifade edilmektedir. bu konu ile ilgili terminoloji Ek 1’de sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde Karar Destek Sistemleri (KDS) anlatılacaktır. En geniş ve basit tanımlamasıyla KDS, karar vericiye vereceği kararlarda yardımcı olacak herhangi bir şey olarak tanımlanmaktadır. Bu tez kapsamında, hava taşımacılığı yapan firma yöneticilerine alacakları stratejik veya taktiksel karar düzeylerinde yardımcı olacak bir sistem geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla bu bölümde, temel kavramlar, karar tipleri, karar verme sitilleri, karar verme süreci, karar destek sistem unsurları, karar destek sistem tipleri, karar destek sistem yapıları ve geliştirilmesi ile KDS’lerin literatürde uygulama alanları incelenecektir.

Havayolu Operasyonları, KDS ve Simülasyon dördüncü bölümün konusunu oluşturacaktır. Filo rotasyonları ve uçuş çizelgelemeleri ve bunlar ile ilişkili diğer hususlar hava yolu operasyonlarını ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile filo atamasını etkileyen unsurlar havayolu operasyonları olarak düşünülebilir. Bu amaçla havayolu operasyonları ile KDS’ler ve simülasyon arasındaki ilişkiler incelenmektedir. Bu bölümde sırasıyla havayolu operasyonları, bu operasyonları çözmeye yönelik olarak geliştirilen bazı KDS programları (SimAir, Gerçek Zamanlı KDS) açıklanacaktır.

Beşinci bölümde Analitik Hiyerarşi Süreci anlatılacaktır. Bu tez çalışması kapsamında yeni bir uçak alım kararı ve yeni bir uçuş ayağı kararları çoklu karar verme kriterlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak verilecektir. Bu nedenle bu bölümde Analitik Hiyerarşi Sürecinin genel özellikleri, yapısı, ikili karşılaştırma matrisi ve genel uygulama alanları incelenecektir.

Altıncı bölümde Akıllı Ajanlar incelenecektir. Akıllı ajanlar, basit olarak çevreden gelen bilgilere göre yapısını değiştirebilen, çevresindeki diğer ajanlarla etkileşimde bulunabilen, belli amaçlara odaklanabilen ve bağımsız hareket edebilme gibi özelliklere sahip yazılım programları olarak tanımlanmaktadır. Bu tez çalışmasında kontrolör ajanı, uçak ajanı, havaalanı ajanı ve beklenmedik olay yaratan olmak üzere dört tip ajan, havaalanlarında veya uçaklarda meydana gelebilecek beklenmedik olayları simüle etmek için kullanılmaktadır. Bu amaçla akıllı ajanların genel olarak neyi ifade ettiği,

genel özellikleri, genel yapıları, geleneksel yazılımlar ile arasındaki farklar ve literatürde uygulama alanları incelenecektir.

Yedinci bölüm Talep Tahmin Yöntemleri ayrılmıştır. Tahmin yöntemleri kullanılarak her bir uçuş ayağındaki yolcu sayıları tahmin edilecektir. Bu amaçla, bu bölümde genel olarak tahmin yöntemleri, hareketli ortalamalar, üssel düzeltme yöntemleri ve regresyon yöntemleri başlıkları altında incelenecektir.

Sekizinci bölümde uygulamanın sonuçları sunulacaktır. Uygulama bölümünde, geliştirilen karar destek sistemi ayrıntıları ile anlatılarak simülasyon sonucunda elde edilen bulgular anlatılacaktır..



2. BÖLÜM: FİLO ATAMA PROBLEMİ

Bu bölümde filo atama problemlerinin genel özellikleri, filo ve uçuş çizelgelemesi ile ilgili genel kavramlar açıklanacaktır.

2.1 GİRİŞ

Hava taşımacılığı, ulaştırma sektörü içinde yer alan en hızlı gelişen ve en dinamik taşımacılık türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, globalleşen dünyada önemi ve taşımacılık sektörü içerisinde payı giderek artmaktadır. Ulusal ve uluslararası hava taşımacılık firmaları gerek insan taşımacılığında gerekse yük taşımacılığında çok büyük ölçekli firmalar haline dönüşmektedirler. Bu dönüşüm, var olan uçak filolarının genişletilmesi ve/veya yeni filolar kurulmasını gerektirmektedir. Oligopolist bir pazarda çalışan bu firmalar bir yandan piyasa kuralları içinde pazar paylarını artırmaya çalışırken diğer yandan da maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedirler.

Hava taşımacılığında işletme maliyet büyüklüğünü belirleyen en önemli faktörlerden biri, eldeki filoların uçuş ayaklarına atanmasıdır. Bu problem filo atama problemi olarak adlandırılmaktadır. Hava taşımacılığında, maliyetleri minimize edecek tahsis problemleri gerek hava yolu şirketleri gerekse akademik çevrelerce üzerinde uzun süreler boyunca çalışılan bir konudur.

Filo tahsis problem çözüm yöntemlerinin çoğunda, problem parametrelerinin (yerde harcanan zaman, uçuş süresi, bakım süresinin uzunluğu, vb.) kesin değerler aldığı varsayılmaktadır. Oysa gerçek yaşamda, hava koşulları, havaalanlarında yaşanan uçuş gecikmeleri vb. nedenlerden dolayı işletmeler parametrelerin bir çoğunu öngörülemez veya ancak istatistiksel olarak öngörülebilir yapabilirler. Bu nedenle, belirsizliklerin optimum atamayı nasıl etkileyeceğini araştırmak önemli bir konu olmaktadır. Bu amaçla problem belli senaryolar (kötü hava koşulları, uçak arızalanmaları vb. gibi nedenlerle uçuş gecikmeleri veya iptalleri) dahilinde simüle edilerek, olası aksaklık durumlarının maliyetleri ve optimal filo atamasını ne derece değiştirdiği araştırılmaktadır.

Stratejik veya operasyonel karar verici, optimal filo atamaya yönelik ölçülebilir veya ölçülemez faktörlere bağlı olarak belirli kararlar vermek durumundadır. Bu tip kararları

verirken belirli karar destek sistemlerinden faydalanmaktadır. Geliştirilecek olan KDS, belirli bir hava yolu için haftalık filo atama problemini çözmeyi amaçlamaktadır. KDS, bu bölümün sonunda ifade edilecek olan “Filo Atama Modeli – FAM” maliyet minimizasyonu yapmak amacıyla karar vericiden, filo atama modelinin gereksinimi olan filo tip özelliklerine, uçuş gerçekleştirilecek olan havaalanlarına ve uçuş ayaklarına ilişkin bilgileri talep etmektedir. KDS, talep ettiği bu veriler ile başlangıç optimum filo atamasını yapacaktır. Bu başlangıç ataması üzerine, girdi verilerinin simülasyonu (yolcu sayısı, yakıt dolum süresi, sabit ve değişken maliyet) ve akıllı ajan temelli simülasyon olmak üzere iki farklı simülasyon uygulanacaktır.

Bu bölümde; uygulama kısmında geliştirilecek olan KDS’nin önemli bir parçasını oluşturacak olan hava taşımacılığı ve filo atama modelleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu nedenle, uçuş ve filo çizelgelemesi, hava taşımacılığı ile ilgili temel kavramlar, uçuş ayakları ile ilgili kavramlar, günlük filo ataması, haftalık filo ataması, filo atama ile ilgili olarak yapılan genel çalışmalar ve filo atama modeli ile ilgili geliştirilen temel modeller ayrıntılı açıklanmıştır.

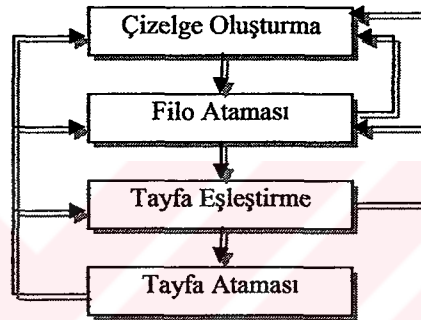
2.2 UÇUŞ VE FİLO ÇİZELGELEMESİ

Artan “hızlı ulaşım” isteği bir çok hava yolu şirketinin kurulmasına ve mevcut olan havayolu şirketlerinin de kapasitelerini artırmalarına, yeni uçak filo ağı kurmalarına neden olmaktadır. Havayolu firmaları sermaye, yakıt ve iş gücü yoğun olarak çalışan firmalardır. Sürekliliklerini devam ettirebilmeleri, uçuş ayaklarını etkili bir şekilde yürütmelerine bağlı olmaktadır. Havayolu firmalarının kar-zarar durumu genel ekonomik durumu takip etmektedir. Tarihsel olarak karların düşük ve maliyetlerin yüksek olduğu dinamik bir çevre olan hava taşımacılığında, planların ve çizelgelenmiş olan uçuşların nasıl işletildiği, havayolu firmalarının geleceğini belirleyen en önemli etken olmaktadır (Subramanian 1994). Filo sayısının, pilot sayısının, uçuş personelinin (tayfaların), yer personelinin, vb. unsurların sayısının artması maliyetleri çok büyük rakamlara taşıyabilmektedir. Firma, faaliyetlerini etkin, verimli ve ekonomik bir şekilde çözebilmek için filo çizelgeleme ve atama problemlerini çözümlmek durumundadır. Çoğu önemli hava yolu firması aylık uçuş çizelgelemesini aşağıda sıralamaya göre çözmeye çalışmaktadır (Rushmeir ve diğerleri 1997):

- a. *Pazar Planlaması:* Uçuş gerçekleştirilecek olan şehirlere direk olarak yapılacak uçuşlar ve yolcu dinlenme hizmet sıklıklarının planlanması, bu aşamada gerçekleştirilmektedir.
- b. *Çizelgeleme Tasarımı:* Bu aşama, merkez hava alanlarına olan uçuşların zamanlamasını içeren kalkış zamanları, varılacak olan havaalanları ve kalkış havaalanları temelinde uçuş tarife tasarımlarının yapılmasını ifade etmektedir.
- c. *Filo Ataması:* Çizelgede yer alan her uçuş ayağına uygun bir uçak tipinin atanmasını ifade etmektedir.
- d. *Uçak Gönderimi:* Bir gün içinde her bir uçağın uçulabileceği uçuş sıralamalarının oluşturulması ve uygulanmasını ifade etmektedir.
- e. *Tayfa Eşleştirmesi:* Uçak personelinin, 1-4 günlük periyodun üzerindeki uçuşların sıralama atamasının oluşturulması işlemi, tayfa eşleştirmesi olarak adlandırılmaktadır.
- f. *Tayfa Blokları:* Her bir tayfa için her uçuşun aylık sınırlamalar içerisinde tayfa eşleştirme ayarlamalarının yapılması olarak tanımlanmaktadır.
- g. *Personel Çizelgelenmesi:* Uçuş çizelgesini desteklemek için yer araç-gereçleri için uçak personeli olmayan çalışanların (yer personeli) çizelgelenmelerinin yapılmasını ifade etmektedir.

Büyük hava yolu şirketlerinde tayfa ve uçakların çizelgelenmesi ve planlaması çok karmaşık bir görevi ifade etmektedir. Bu nedenle filo ataması ve tayfa eşleştirme problemleri genellikle çeşitli planlama aşamalarına bölünerek yapılmaktadır. Planlama süreci yukarıdaki sıralamayı da kapsayacak şekilde Şekil 2.1'deki gibi özetlenebilmektedir (Yu 1998). Bu şekil, bir aşamanın sonucunun sonraki aşama için veri olarak tanımlandığı aşamaların mantıksal bir sıralamasını göstermektedir. Taslak planlar nihai ve basım haline gelinceye kadar diğer bölümlerden gelen bilgilerle bir çok kez güncellenmektedir. Bu planlar, işlevsel bölümlerde bile değiştirilebilir niteliktedirler. Örneğin, uçuş iptal edilebilir veya ertelenebilir veya tayfalardan bir veya bir kaç hasta olabilir. Bu türdeki beklenmedik durumlar, filo atama ve tayfa eşleştirme

problemlerinin yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Hava yolu şirketleri, tampon kaynaklar (destek tayfa, yedek uçak) kullanarak bu problemleri çözmeye çalışmaktadırlar (Yu 1998). Örneğin uçak bozulma olasılığına karşı belirli hava alanlarında boş uçak bulundurulması, veya tayfaların veya pilotların hastalanması durumunda faaliyetlerin aksamaması için yedek personelin bulundurulması gerekmektedir. Aksi durumda uçuş iptal edilebilmekte, veya mevcut hizmetler eksik personel ile sunulmaya çalışmaktadır. Bu durum verilen hizmetin kalitesini etkileyeceğinden mevcut yolcu rezervasyonlarında azalma olabilmekte ve bu durum da havayolu firmasının karını etkileyebilmektedir.



Şekil 2.1: Havayolu çizelgeleme süreci

Şekil 2.1'deki ilk iki aşama birlikte filo çizelgeleme ve son iki aşama ise mevcut olan tayfaların uçuşlara ataması anlamına gelen tayfa çizelgeleme olarak adlandırılmaktadır. Filo çizelgelemede havayolu şirketi, hangi uçağın kullanılacağına ve nereye uçacağına karar vermektedir. Burada kullanılacak olan her filonun sahip olduğu uçak tipinin ve özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgilere ek olarak uçulması gereken her uçuş ayağı ile ilgili tüm bilgilerin de elde edilmesi gerekmektedir. Kalkış havaalanı, kalkış zamanı, varış havaalanı, varış zamanı, her bir uçuş ayağındaki tahmini yolcu sayısı ve uçuş ayağının uçuş uzunluğu gibi unsurlar uçuş ayağının temel özelliklerini ifade etmektedir. Tayfa çizelgelemesi, tayfa eşleştirme (anonim iş değişimi) ve tayfa atama aşamalarından oluşmaktadır.

Birinci aşamada, çizelge oluşturulur. Çizelge oluşturmadaki amaç; filo atama problemindeki kısıtlar ve mevcut uçaklar ile pazarlama bölümünün beklentilerini eşleştirebilmektir. Uçuş gerçekleştirilecek olan farklı hava alanlarındaki uçaklar için uygun zaman boşluklarının ayarlanması veya saptanması bu aşamadaki işleme örnek

olarak verilebilir. Bu sürecin çıktısı, işletilmeye karar verilen uçağın uçuş ayağında kesintisiz uçuş sayısını göstermektedir(Yu 1998).

İkinci aşamada, birinci aşamada belirlenen filo tiplerinin saptanan uçuş ayaklarına ataması yapılmaktadır. Her uçuş ayağının belirli maliyetleri ve gelirleri söz konusudur. Belirli bir uçuş ayağının beklenen getirisi, bu uçuş ayağında kullanılan uçağın kapasitesi, ilgili uçuş ayağının beklenen yolcu sayısı, vb. gibi unsurlara bağlıdır (Klabjan ve Schwan 1999). Toplam beklenen kar, ilgili tüm uçuşların hesaplanan beklenen karları toplamına eşittir.

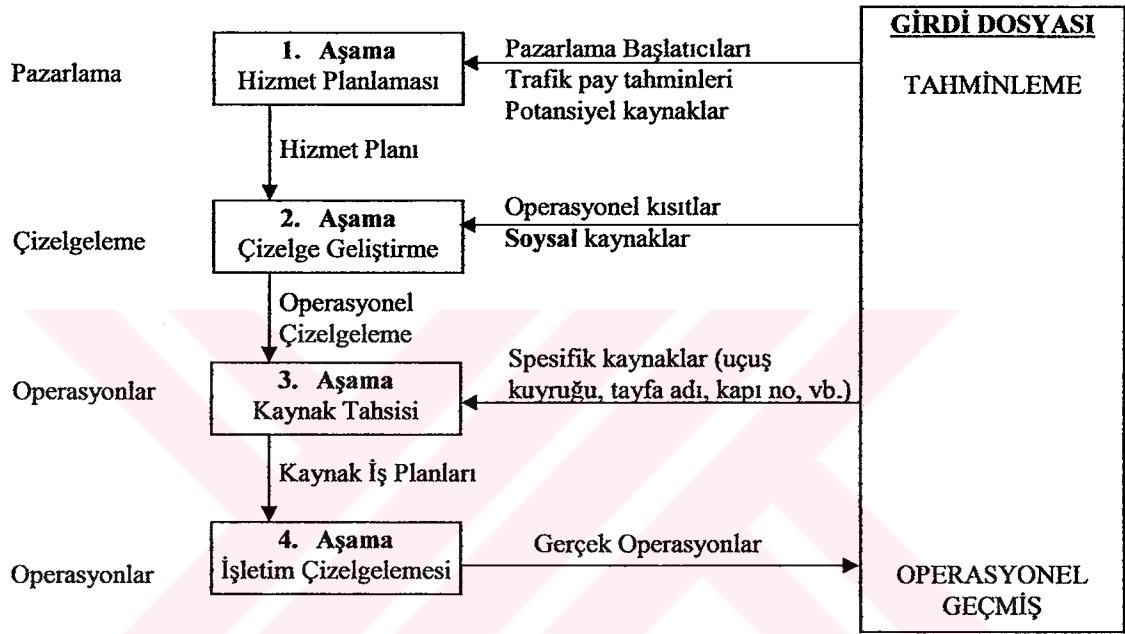
Üçüncü aşama tayfa eşleştirmesi ile ilgilenmektedir. Eşleştirme, aynı tayfa yerleşim yerinde başlayan ve biten herhangi bir uçuş ayağındaki bir görev için kullanılacak olan tayfaların dizisini ifade etmektedir. Yapılacak olan eşleştirmede tayfaların görevlerinin, tayfanın ikametgahının olduğu şehirde başlayan ve biten görevler dikkate alınmalıdır. Aynı şehirde başlayan ve biten uçuş ayaklarına göre tayfa eşleştirme yapılmasının nedeni, tayfanın ikametgahı dışında konaklama maliyetlerini minimize etmek veya yolcu statüsünde seyahat eden tayfa sayısını minimize etmektir.

Dördüncü aşamadaki planlama problemi, tayfaların daha önce yapılmış olan eşleştirmelere atanmasıdır. Bu problem tayfa ataması veya listeleme problemi olarak ifade edilmektedir. Buradaki amaç, işin kuralları ve gereklerini, eğitim gereklerini yerine getirerek bütün işi (eşleştirmeler) kapsayabilmektir. Optimal bir tayfa eşleştirme ataması, tayfa maliyetlerini minimize etmektedir. Eğer tayfalara sabit ücret ödeniyorsa, tayfa üye sayısı minimize edilirken, elde edilecek olan fayda maksimize edilecektir.

Havacılık operasyonlarında, filo rotasyonları ve uçuş çizelgeleme gibi iki önemli operasyon söz konusudur. Uçuş çizelgeleme, çizelge oluşturma ve çizelge değerlendirme aşamasından oluşmaktadır. Çizelgeleme oluşturma aşamasında, uçuş ayakları için tahmin edilen yolcu talebi, ilgili hava yolu pazar payı ve varış ve ayrılış olayları için uygun havaalanlarının zaman boşluklarına göre hazırlanan bir taslak tarife oluşturulur. Taslak tarife faaliyet yoğunluğu, maliyet ve performans düşünceleri için çizelge değerlendirme aşamasındaki uygunluk kontrolleri, filo rotasyonları, filo boyutları, tayfa çizelgeleme ve uçak bakım ayar ve zamanlarını içermektedir. Bu aşama

süresince karşılaşılabilecek herhangi bir gelişme, oluşturulan taslak tarifiede sonradan meydana gelebilecek değişiklikler için geri bildirim sağlayacaktır (Yan ve Tseng 2002).

Havacılık operasyonları içerisinde önemli bir husus, hava yolu faaliyet çizelgelemesinin oluşturulmasıdır. Bu çizelgeme ile yapılması gereken işler belli bir düzene sokulmaya çalışılmaktadır. Herhangi bir faaliyet çizelgelemesi geliştirmek, belli aşamaların takip edilmesini gerektirmektedir.



Şekil 2.2: Bir çizelge geliştirmenin dört aşaması

Kaynak: Mathaisel, Dennis FX, "Decision Support for Airline Schedule Planning." *Journal of Combinatorial Operations*, 1, 1997.

Mathaisel'e (1997) göre, bir hava yolu faaliyet çizelgelemesi geliştirmenin 4 aşaması vardır. Bu aşamalar belli bir hiyerarşi içerisinde. Bir aşamanın çıktısı bir sonraki aşamanın girdisini oluşturmaktadır. Bu nedenle her aşamanın dikkatlice hazırlanması gerekmektedir. Bu aşamalar; hizmet çizelgelemelerinin geliştirilmesi, operasyonel olarak uygun bir çizelgelemenin geliştirilmesi, spesifik kaynak atamalarının gerçekleştirilmesi ve işletim çizelgelemesinin yeniden yapılması aşamalarından oluşmaktadır. Şekil 2.2'de bu aşamaların neler olduğu ve her bir aşamanın çıktısının ne olduğu gösterilmektedir.

Birinci aşama, hizmet planlaması olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada amaç, bir sonraki çizelgeleme periyodu için veriler oluşturmaktır. Bu çizelgeleme, hava sahalarını kullanabilmek için günlük veya haftalık hizmet alım isteklerini içermektedir. Bazı havayolu firmaları, bu aşamayı “gelecekte gerçekleştirilecek faaliyetlerin çizelgelemesi” olarak ifade etmektedirler. Çünkü, yapılan çizelgelemeler geleceğe yönelik olarak yapılmaktadır. Bu aşama aşağıda ifade edilen girdileri talep etmektedir.

- Mevcut potansiyel kaynakların belirlenebilmesi için uçaklara ilişkin bilgiler, havaalanı kapı numaralarının belirlenmesi,
- Pazar potansiyelinin tahmin edilmesi. Uçuş başlangıç yerindeki hava trafik payı, rakip firmaların durumları, rekabetçi hizmet düzeyleri vb. gibi unsurlar pazar potansiyeline örnek olarak verilebilir.
- Mevcut çizelgelemeler ve sunulan hizmetlerdeki değişimler gibi bilgilerinin temin edilmesi.

Birinci aşamanın çıktısı olarak soysal (generic) hizmet planı elde edilmektedir. Ulaşılan bu plan basit ve uygun hizmetlerin bir kümesinden (set of services) oluşmaktadır. Birinci aşamada spesifik bir uçak veya tayfa ataması yapılmamaktadır. Sadece belirli bir havaalanından ayrılma ve varışlar için geçici hizmet zamanları söz konusu olmaktadır. Bu aşamanın çıktısı ikinci aşamanın girdisi olmaktadır.

İkinci aşamada, uygulamada kullanılacak olan çizelgeleme elde edilmektedir. Bu aşamadaki amaç, hava yolu için uygun olan aylık çizelgelemelerin oluşturulmasıdır. Bu çizelgeleme oluşturulurken gerçekte olduğu düşünülen veri kaynakları kullanılmaktadır. Bu çizelgelemeyi oluşturabilmek için aşağıdaki girdiler kullanılmaktadır.

- Pazarlama bölümü tarafından oluşturulan basit hizmet planı,
- Bakım ve uçuş operasyon kontrolleri sonucu elde edilen kaynaklar,
- Kabin, kokpit ve tayfaların (isimsiz) soysal kümesi,
- Çalışanların hafta sonu ve tatil hizmet planları,

- Merkez veya ana dağıtım havaalanı (hubbing) kısıtlarının belirlenmesine yönelik veriler.

Bu verilerin elde edilmesi ile çizelge oluşturulur ve aşağıdaki çıktılar elde edilir.

- Detaylandırılmış operasyonel çizelgeleme,
- Hava yolu resmi güzergahı (Official airline guide - OAG) ve hava yolu rezervasyon sistemlerinin basıma uygun çıktıları,
- Uçak ve tayfaların optimal rotasyonları,
- Havaalanı kapılarının (gate) uçuşlar için uygun tahsisleri,
- İstasyon personel gereksinimleri.

gibi çıktılar ikinci bölümün sonucu olarak elde edilmektedir. Bu çıktılar üçüncü bölümün girdisi olarak kullanılmaktadır.

Üçüncü aşama, mevcut kaynakların tahsisi ile ilgilenmektedir. Bu aşamada, havayolunun sahip olduğu özel kaynaklar (uçuş kuyruk numaraları, tayfa isimleri, kapı numarası, vb.) ile ilgili olarak optimal iş atamalarının bulunmasına çalışılmaktadır. Bu bölümün girdileri aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır.

- İkinci aşamada elde edilen operasyonel çizelgeme,
- Uçakların ilgili bakım zamanları ve bakım zaman döngüleri,
- Uçak rotasyonları ve tayfaların konaklama zaman ve yerleri,
- Tayfa rotasyon ve gezilerine ilişkin bilgiler,
- Kapı (gate loading) yüklemelerine ilişkin veriler,
- İstasyonlardaki personel yüklemelerine (crew loadings) ilişkin veriler.

Bu girdiler kullanılarak eldeki mevcut kaynakların optimum şekilde atamaları gerçekleştirilmektedir. Üçüncü aşamanın çıktıları aşağıdaki gibi olmaktadır.

- Çizelgelenmiş olan bakımlar ile elde edilen uçuş atamaları,
- Gerçekleştirilen veya gerçekleştirilecek faaliyetlerin bakım çizelgeleri,
- Tayfa rezervasyonlarını da içeren tayfa tahsisleri,
- Hava alanı kapı çizelgeleri,
- İstasyon personel atamaları.

Dördüncü aşama, sistem operasyon kontrolü (System Operation Control - SOC), operasyon kontrol merkezleri (Operations Control Centers - OCC) veya uçuş operasyonları olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamadaki amaç, en az ekstra maliyetle bir operasyonel çizelgelemeyi işletebilmektir. Ek maliyetler, planlanmamış operasyonel sapmalardan – örneğin uçuş ertelemeleri veya uçuş iptalleri – kaynaklanmaktadır. Bu bölümün girdileri gerçekleştirilecek olan operasyonlar ile ilgilidir.

- Operasyon çizelgeleri,
- İş tahsislerinin yapılması,
- Operasyon sapmaları,
- Hava durumu, uçuşlarda meydana gelen bozulmalar veya personelin hastalık durumları,
- Gelen uçuşlardaki gecikmeler,
- Yerleşik (on-board) trafik yükleri,
- Kısa dönem operasyon maliyetlerindeki değişim beklentileri.

gibi veriler kullanılarak aşağıdaki çıktılar elde edilmektedir.

- Değiştirilmiş işletim çizelgesi,
- Uçuş iptalleri, ertelemeleri, yapılması gereken ekstra beklentiler,

- Kaynak tahsislerinin yeniden yapılması

İşletim planlamasının oluşturulması, çizelge geliştirme, optimal kaynak tahsisinin gerçekleştirilmesi ve son aşamada da işletim çizelgelemesinin oluşturulması ile filo çizelgelemesi sona ermektedir. Bu işlem, planlamacılar ve uçuş yönlendiricileri olmak üzere iki farklı grup tarafından yapılmaktadır. Bu iki grup kendi faaliyetleri açısından bağımsız olarak çalışırlar. Fakat, filo çizelgeleme sürecini tamamlayabilmek amacıyla bu iki grup birbirleri ile etkileşimli olarak çalışmak durumundadırlar. Planlamacılar, havayolunun pazarlama faaliyetleri kapsamında, yolcu yerleştirmelerini en iyi şekilde yapabilmek için kaynakların optimal dağılımını yapmaya çalışmaktadırlar. Uçuş yönlendiricileri ise düzensiz olarak gerçekleşen faaliyetleri yerleştirebilmek için uçak ve tayfaların yönlendirmelerini ortaya çıkarmak ve ayarlamaktan sorumludurlar.

Filo çizelgelemesini tanımladıktan sonra havacılık operasyonları ve filo atama ile ilgili bazı temel kavramların açıklanması filo atama problemlerinin daha iyi kavranmasında yardımcı olacaktır.

2.3 HAVACILIK OPERASYONLARI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

Temel kavramlar, filo atama ağ modelleri ve bu modellerin temel özellikleri olmak üzere iki başlık altında incelenecektir. Filo ataması ile ilgili diğer temel kavramların bazıları Ek 1’de havayolu terminolojisi başlığı altında sunulacaktır.

Filo atama ağ modelleri, zaman-zaman ağ modelleri (time-time network models) ve zaman-uzay ağ modelleri (time-space network models) olmak üzere iki şekilde özetlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında zaman-uzay ağ modeli yapısındaki problemler ile ilgilenileceği için bu tür modeller incelenecektir.

2.3.1 Filo Atama Ağ Modelleri

Filo atama problemi zaman-uzay ağ modeli şeklinde düşünülmektedir. Zaman-zaman ağ (time-time network) modeli dinamik ağ modeli olarak ifade edilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, tam dinamik bir ağ modelinde, ağ içerisinde yer alan her bir bağlantı t

zamanından $t+x$ zamanına ($x > 0$) doğru ilerleyen bir akışı göstermektedir. $x=1$ olduğu zaman bütün bağlantılar tam dinamik modellemenin özel bir durumunu göstermektedir. Bu yeni durum aşamalandırılmış model (staged model) olarak adlandırılmaktadır. Zaman-uzay ağ modeli ise; soysal (generic) iki boyutlu zaman-uzay ağ modeli, karmaşık iki boyutlu zaman-uzay ağ modeli ve üç boyutlu zaman-uzay ağ modeli olmak üzere üç farklı şekilde sunulmaktadır (Huang 1998).

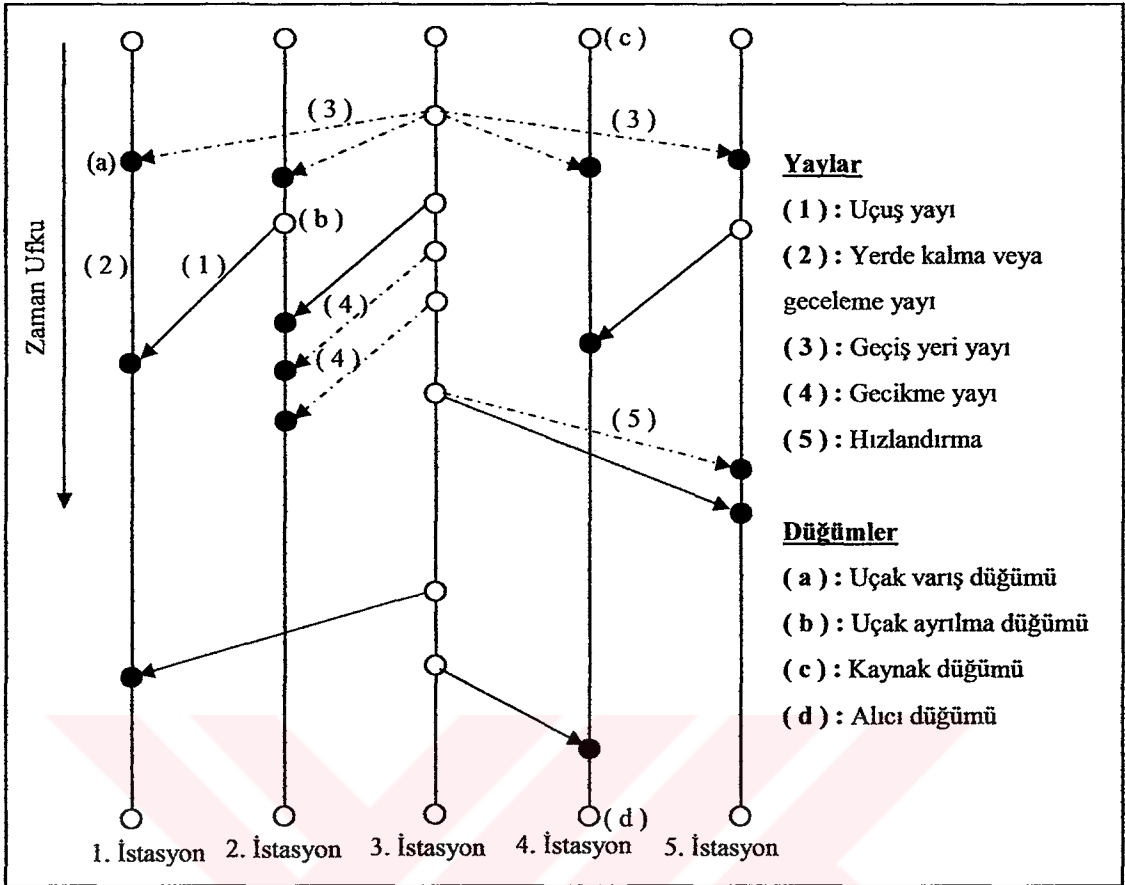
2.3.1.1 Soysal (Generic) İki Boyutlu Zaman-Uzay Ağ Modeli

Bu modelin bir boyutunda uzay (havayolu çizelgelemesinde kullanılacak olan havaalanları veya istasyonlar) diğer boyutunda ise zaman yer almaktadır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi X ekseninde uçuş gerçekleştirilecek olan istasyonlar yer almaktadır. Y ekseninde ise, zaman yer almaktadır. Her bir istasyon 24 saatlik bir zaman döngüsüne sahiptir. İlgili istasyon, gelen uçuşların varış zamanını ve giden uçuşların kalkış zamanlarını göstermektedir.

2.3.1.2 Karmaşık İki Boyutlu Zaman-Uzay Ağ Modeli

Bu modelde yer alan alanlar küçük parçalara bölünmektedir. Bu bölümlmeye örnek olarak uçuş geliş zamanı, ayrılma zamanı, uçağın ayrılması için hazır hale geldiği zaman ve belirli bir havaalanından uçak ayrılma zamanı verilebilir.

Birinci ve ikinci model arasındaki temel farklılık, karmaşık iki boyutlu zaman-uzay ağının filo çizelgelemesi ve uçuş rotasyon problemlerini eş-anlı olarak çözebilmesidir. Soysal model, ilk olarak filo çizelgeleme problemini inceler ve sonrasında ağ akış çözülme (decomposition) modelini kullanarak uçak rotasyon problemini çözer fakat eş anlı bir çözüm yapamaz.



Şekil 2.3: Zaman –uzay ağ modeli ve unsurları

Kaynak: Huang, Sheng-Chen Alex, Airline Delay Perturbation Problem Under Minor Disturbance, NEXTOR Working Paper, UCB-ITS-WP-98-1, 1998.

2.3.1.3 Üç Boyutlu Zaman-Uzay Ağ Modeli

Bu tipteki ağ modelleri çoğunlukla iki boyutlu harita serilerinden oluşmaktadır. Herhangi bir haritadaki herhangi bir noktadan geçen bir yay bir sonraki zamanı ifade eden farklı bir haritada farklı bir zaman periyoduna geçmektedir. Çoğu araştırmacı, bu tip modellerin çok karmaşık olmasından dolayı, bu tür yaklaşımları kullanmamaktadırlar.

2.3.2 Filo Atama Ağ Modellerinin Temel Özellikleri

Filo atama ağ modellerinde yaylar ve düğümler olmak üzere iki önemli kavram söz konusudur. Bir ağ içerisinde yer alan her bir düğüm, belirli bir zamanda belirli olan bir hava alanında meydana gelen bir olayı göstermektedir. Ağda yer alan her bir yay ise, farklı iki düğüm olayı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 2.3'te yer alan yay ve düğümler aşağıdaki gibi sınıflandırılmakta ve tanımlanmaktadır (Huang 1998).

2.3.2.1 Yay Sınıflandırmaları

Uçuş yayı, yerde kalma yayı, geceleme yayı, geçiş yeri yayı, gecikme yayı, hızlandırma yayı ve bakım yayı olmak üzere yedi temel yay söz konusudur. Bu yayların tanımları aşağıda kısaca sunulmaktadır.

Uçuş Yayı: Belirli iki veya daha fazla havaalanı arasındaki ayrılma düğümü ile varış düğümlerini birbirine bağlayan tüm olası uçuşlar olarak tanımlanmaktadır. Bu yayın üst sınırı genellikle 1 (ilgili uçuş ayağına belirli bir anda yalnızca tek bir filo tipinin hizmet vermesini ifade etmektedir) ve alt sınırı ise 0'dır. Uçuş yayının sifıra eşit olmasının anlamı, o uçuş ayağına hiçbir uçağın hizmet vermemesidir. Bazı farklı durumlarda, iki veya daha fazla uçak aynı anda aynı havaalanından kalkıp aynı hava alanına aynı zamanda varabilir. Bu durumda, belirli hava alanları arasında birden fazla uçuş yayından bahsedilebilir. Fakat bu durum sıkça karşılaşılan bir durum değildir. Bu nedenle, bu tür yaylar bu çalışmanın konusu olmayacaktır. Uçuş yay maliyeti, operasyon maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Bu yaydaki gelir ise, uçuş faaliyetinin gerçekleştirilmesi sonucu elde edilecek gelirlerin toplamından oluşmaktadır.

Yerde Kalma Yayı: Bu yay, aynı havaalanında farklı zaman noktalarındaki iki düğümü birbirine bağlamaktadır. Diğer bir ifade ile, herhangi bir uçağın havaalanında kalma zamanını göstermektedir. Yerde kalma yayı, belli bir zaman çerçevesinde bir hava alanında uçakların geceleme veya belli bir süre beklemesini ifade etmektedir (Yan ve Tseng 2002). Bir yer yayındaki uçak sayısı, ilgili zaman aralığı süresince ilgili havaalanında veya istasyonda bekleyen uçakların sayısına eşittir. Uçaklar yükleme, yük boşaltma veya bakım amacıyla yerde kalabilirler (Clarke ve diğerleri 1995). Yer yay

maliyetleri; hava alanı vergisi, hava alanında bekleme ücreti, hava alanı kapı kullanma masrafları gibi giderlerin toplamından oluşmaktadır. Herhangi bir uçuş gerçekleştirilmediği için herhangi bir gelir söz konusu değildir.

Geceleme Yayı: Bu yay, yerde kalma yayı ile benzer özellikler göstermektedir. Yerde kalma yayından farklı olarak, burada belirli saatler arasında uçuş yapılamamasından kaynaklanan bir zorunlu konaklama durumu söz konusudur. Bu yayın sayısı, belirli bir hava alanında geceleme için kalan uçakların toplamından oluşmaktadır.

Geçiş Yeri (Ferry) Yayı: Herhangi bir uçuş ayağında rahatsızlık (perturbation) olması durumunda, bu rahatsızlığı ortadan kaldırmak amacıyla o havaalanına yolcu taşımaksızın aktarılan uçağa ait uçuş yayını ifade etmektedir. Bu yay, aynı zamanda bir kaynak (source) düğümünü ifade etmektedir. Uçuş ayakları arasından herhangi bir uçuşun iptal edilmesi zincirleme bazı etkiler doğuracaktır. Uçuşu iptal edilen uçak, hedef havaalanına ulaşamayacağı için, o hava alanında kendisi için planlanan bir sonraki uçuşu gerçekleştiremeyecektir. Bu durum takip eden birçok diğer uçuşun iptal edilmesine neden olmaktadır. Planlanan uçuş dengesini korumak amacıyla, herhangi bir istasyonda boş bekleyen uçak, yolcusuz olarak ilgili hava alanına gönderilmektedir. Çoğu havayolu, uçuş dengesini korumak amacıyla bu tür bir yol seçmek yerine bazı uçuş ayaklarını iptal etmektedir. İptal edilen uçuş döngüsü, son uçuş ayağının iniş yaptığı aynı hava alanından ayrılan ilk uçuş ayağının olduğu başka bir rotasyondaki uçuş ayaklarının dizisini oluşturmaktadır. Bu yayın maliyeti, operasyon ve yönetsel maliyetlerin toplamından oluşmaktadır. Çünkü, uçaklardan kaynaklanabilecek herhangi bir aksaklık için belirli bir hava alanında bekletilen boş bir uçağın ihtiyaç duyulan havaalanına yolcu taşımaksızın aktarımı söz konusudur. Diğer taraftan, bu yayda yolcu taşınması yapılmadığı için yayın gerçekleşmesinde herhangi bir gelir söz konusu olmamaktadır.

Gecikme Yayı: Bu yay, işletmenin uyguladığı veya uygulayacağı gecikme stratejisinin bir ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Çizelgelenmiş olan bazı yaylara paralel yaylar eklenmesi ile elde edilir. Örneğin, Ankara'dan 9.00 AM'de kalkan ve 9.45 AM'de Trabzon havaalanına varan bir uçuş yayı için Tablo.1'deki gibi gecikme yayları eklenebilir.

Tablo 2.1: Uçuş ve gecikme yayları arasındaki ilişki

Kalkışlar	Varışlar	Yaylar
9.00 AM	9.45 AM	Uçuş Yayı
9.05 AM	9.50 AM	Gecikme Yayı
9.10 AM	9.55 AM	Gecikme Yayı

Gecikme yayları eklendikten sonra, gerçekleşebilecek durumlar da göz önüne alınarak yeni bir çizelgeleme yapılır. Çizelgelemede değişiklik olup olmaması gecikme süresine bağlı olmaktadır. Eğer planlanan gecikme sürelerinden daha fazla bir gecikme olursa, aynı uçağın takip eden uçuşlarında gecikmeler veya iptaller gerçekleşebilir. Gecikme zamanları dikkate alınarak hazırlanan alternatif çizelgelemenin işletilmesi sonucu oluşan maliyetler uçuş yayı maliyeti ile aynı olacaktır. Gecikme yaylarının maliyeti, hangi olay gecikmeye neden oluyorsa o olaydan kaynaklanabilecek maliyetler olarak düşünülmektedir. Gecikmeye rağmen katılan operasyon maliyetleri bu yay için ortaya çıkan maliyetlere örnek olarak verilebilir.

Hızlandırma (Speed Up) Yay: Herhangi bir uçuş yayında varılması planlanan hava alanına planlanan zamandan daha erken varılabilmesini sağlamak amacıyla uçak hızının artırılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu yayda oluşacak olan maliyetler, hızlandırma nedeni ile daha fazla yakıt tüketilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yay, yolcu sayısında herhangi bir değişiklik yapmadığı için herhangi bir ek gelir söz konusu değildir.

Bakım Yay (maintenance arc): Bu yay, bakım periyodunda olan uçakları ifade etmektedir. Bakım şehrinde –gece- geliş düğümünde başlar ve en az 12 saat sonra sabah ayrılma düğümünde sona erer (Subramanian ve diğerleri 1994). Herhangi bir gelirin söz konusu olmadığı bu yayda maliyetler, bakım için yapılan harcamalar toplamından oluşmaktadır.

2.3.2.2 Düğüm Sınıflandırmaları

Zaman-uzay ağ modelinde, varış, ayrılma, kaynak ve alıcı düğümleri olmak üzere dört temel düğüm vardır. Bu düğümler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Varış D    mleri: Varış d    m  , uçuş yayının sonlandığı havaalanındaki belirli bir zaman noktasını ifade etmektedir. Bu d    m, geliş zamanını ve geldiğı havaalanını veri olarak kaydetmektedir.

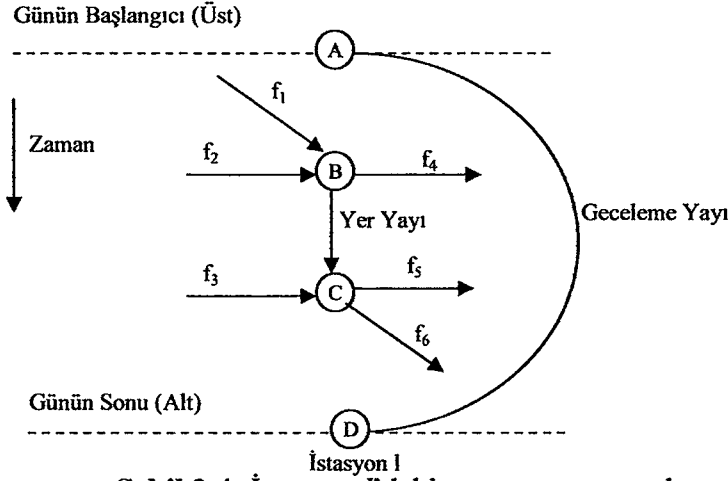
Ayrılma D    mleri: Bir uçak, belirli bir havaalanından belirli bir zamanda ayrılır. Ayrılma d    m  , bir uçuş yayının başlangıç noktası olarak tanımlanmaktadır. Bu d    m, giden uçağı i lişkin olarak ayrılma zamanı ve gideceğı havaalanı bilgisini kaydetmektedir.

Bu iki d    m tanımına göre uçuş yayı, ayrılma d    m   ve varış d    m   arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Kaynak (source) D    m  : Kaynak d    m   belirli bir havaalanında istendiğinde kullanılabilecek uçak sayısını verir. Kaynak d    m  , ya arzın ilk kullanıma a ılıdığı gün başlangıcında ya da günün başka belli bir zamanında boş ve kullanılabilecek uçak var olduğunda gerçekleşmektedir.

Alıcı (sink) D    m  : Alıcı d    m  , günün ortasında oluşursa olay d    m   olarak alınabilir. Olaylı talep d    m   belirli bir havaalanında verilen bir zamanda uçak eksikliğı anlamına gelir. Eğer günün sonunda oluşursa bu sadece bir talep d    m  d  r. Yani, bir havaalanında tüm operasyonlardan sonra, operasyonların başladığı sabah ki sayıda uçak olmalıdır.

  zet olarak, istasyon ve yaylar arasındaki i lişkilerin farklı şematik bir gösterimi şekil 2.4'te olduğu gibi gösterilebilir. Eğer bir ayrılma durumundaki uçuş zamanı gelen uçağın bir sonraki uçuşu için hazır hale gelme zamanından büyük ise, gelen uçak giden bir başka uçuş ayağına atanabilir.



Şekil 2.4: İstasyon I'deki uçuş, yer ve geceleme yayları

Kaynak: Gopalan, R., ve Talluri, K., T., (1998), Mathematical models in airline Schedule planning: A survey, Annals of Operation Research, 76, pp. 155-185.

Şekil 2.4'e göre; A düğümü başlangıç yani kaynak düğümünü gösterirken D düğümü alıcı düğümünü göstermektedir. B ve C düğümleri hem varış düğümünü hem de ayrılma düğümünü göstermektedir. B ve C arasındaki yay, yer yayını gösterirken; D ve A düğümleri arasındaki yay geceleme yayını göstermektedir. İstasyondaki dönüş düğümü, gelen ve giden uçuşlar arasındaki ilgili olasılıkları belirtmektedir (Gopalan ve Talluri 1998).

2.4 Filo Atama Problemi (FAP)

Filo atama, çizelgelenmiş olan uçuşlara mevcut olan uçak tiplerinin atanması olarak tanımlanmaktadır. Rushmeier ve Kontogiorgis (1997) filo atama problemini, düzenlenen havayolu çizelgelemesindeki her bir uçuş ayağı için uygun olan uçak tiplerinden birinin o uçuş ayağına atanması olarak tanımlamışlardır.

Filo atama, her bir uçuş için uçak tiplerine karar verme ile ilgilenir. Diğer bir ifade ile, her bir uçuşa yalnızca belirli bir filo atanmaktadır (Kilborn 2000). Uygun filo kapasiteleri, filo tipleri ve uçuş zaman çizelgeleri filo atama modelinin girdilerini oluşturmaktadır. Bu amaca ulaşabilmek için ya beklenen geliri artırıcı yada uçuş ile ilgili maliyetleri azaltıcı faaliyetler üzerinde çalışmak gerekmektedir. Beklenen gelirde artış sağlayabilmek amacıyla yolcu talebinin çok olduğu uçuş ayaklarına koltuk kapasitesi fazla olan uçakların atanması gerekmektedir. İlgili uçuş harcamalarını

minimize etmek için yakıt, personel ve bakım ile ilgili maliyetleri azaltacak tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Filo atama modeli ile ilgili olarak oluşturulan temel matematiksel yapı, zaman-uzay (time-space) ağ yapısında bir modeldir. Bu modelde, her istasyon (veya havaalanı) her bir uçak filosu için bir zaman hattına (time-line) sahiptir. Bu zaman hattı dairesel özellik göstermekte ve tekrarlanan 24-saatlik bir periyodu ifade etmektedir. Veri olan bir zaman hattı süresince bir düğüm, en az bir olayın olduğu zamandaki her bir noktayı göstermektedir.

Filo atama problemi, havayolu çizelgelemesinin oluşturulmasından sonra çözülmektedir. Filo atamada her bir uçuş ayağının ihtiyacı bir filo veya farklı uçak tipi tarafından karşılanmaktadır. Filo atamasında karşılaşılabilecek rotasyon problemi, her bir uçağın gerçekleştireceği uçuş ayaklarındaki sırayı belirlemektedir (Schaefer ve Nemhauser 2002). Jarrah'a (2000) göre filo ataması iki aşamada gerçekleştirilmektedir.

- **Birinci aşama:** Filo atama modeli kullanılarak bir başlangıç filo atama çözümü bulunur. Elde edilen bu başlangıç çözümünün uygulanabilir bir çizelgeleme olması gerekmektedir. Başka bir ifade ile, çizelgelemede herhangi bir uçuşa atanan her bir filo tipi atanmış olduğu uçuş ayağında sorunsuz şekilde uçabilmelidir. Filo tipi uçuş uzunluğu, pazarlama kısıtları, belirli havaalanlarındaki gürültü kısıtlamaları ve her bir uçak için yeterli bakım fırsatlarının varlığı gibi faktörler bu aşamada dikkate alınması gereken unsurlardır. Bu aşamada önemli bir diğer amaç, farklı sayıdaki uçuşlar için uygun koltuk kapasitesine sahip olan filo tiplerinin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacak uygun atamanın yapılabilmesidir. Koltuk kapasitesi yüksek olan filo tipleri, bilet fiyatlarının ve yolcu taleplerinin yüksek olduğu uçuş ayaklarına atanmaktadır. Koltuk kapasitesi az olan filo tiplerinin düşük talepli uçuşlara atanması maliyetleri düşürmektedir.

- **İkinci aşama:** Bu aşamada planlamacılar, birinci aşamada elde edilen çözüm unsurlarını analiz etmek, değiştirme ve benimsemekte önemli çaba harcamaktadırlar. Bu aşama el ile yapılmaktadır.

Subramanian ve diğerlerine (1994) göre, filo boyutu ve uçak tiplerinin farklılığı çizelge planlaması üzerinde üssel (exponential) bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle, filo sayısı ve/veya farklı tipteki uçak sayısının artması, filo atama probleminin çözümsüz olmasına neden olmakta ve bu tip problemler NP-hard problem olarak adlandırılmaktadır.

Filo atama problemleri günlük ve haftalık filo atama problemi olmak üzere iki farklı başlık altında incelenmektedir. Günlük filo atama ve haftalık filo atama formülasyonları temelde aynı mantık üzerine kurulmuştur. Bu iki tip arasındaki en önemli farklılıklardan birisi, haftalık filo atamalarının uluslararası uçuşları da kapsamasıdır. Haftalık filo atamasında problem boyutunun çok fazla büyümesi nedeniyle çözümü yapmak zorlaşmaktadır. Bu iki kavram aşağıda daha ayrıntılı olarak incelenmektedir.

2.4.1 Günlük Filo Ataması

Uygulamada en fazla günlük filo atama problemi ile karşılaşilmektedir. Günlük filo atama modelinin temel varsayımlarından birisi, oluşturulan filo atamasının her gün için sabit kalacağı varsayımdır (Gopalan ve Talluri 1998). Bir uçuşun günlük uçuş olarak adlandırılabilmesi için, gün içerisinde A havaalanından B havaalanına giden uçağın aynı gün B havaalanından A havaalanına dönmesi gerekmektedir. Aksi durum günlük uçuş olarak adlandırılmamaktadır ve bu tip uçuşlar günlük filo atama modeli içerisinde yer almamaktadır.

Filo atamasında kullanılan uçak sayısını belirlemek için, günün belirli bir zamanını sabitlemek ve havada veya yerde herhangi bir andaki uçakların sayısını toplamak yeterlidir (Gopalan ve Talluri 1998). Uçak sayısının hesaplanacağı zaman dilimi rasgele seçilebilir. Fakat, bunun için en uygun zaman, havada olan uçak sayısının minimum olduğu bir zamanın seçilmesidir. Uluslararası uçuşların yapılmadığı bir uçuş çizelgelemesinde gece yarısından sonra örneğin 03.00 AM gibi bir saatte tüm uçaklar geceleme yayında bulunmaktadır. Dolayısıyla bu saatte geceleme yayındaki uçak sayısı toplam uçak sayısını verecektir. Gopalan ve Talluri (1998) makalelerinde uluslararası uçuşları içermeyen bir uçuş çizelgelemesi ve günlük filo atama (daily fleet assignment) problemi ile ilgilenmişlerdir.

Günlük filo atama probleminde amaç, her bir yay maliyetleri toplamını minimize etmektir. Bu amaçla her bir yay maliyetinin hesaplanması ve modele katılması gerekmektedir. Uçuşta yer almayan yaylar için herhangi bir maliyet hesaplaması yapılmamaktadır. Her bir uçuş yayı için toplam maliyet, yolcu iptallerinden (spill) kaynaklanan fırsat maliyeti ve uçuş ayağına atanan uçak tipinin operasyonel maliyetleri toplamından oluşmaktadır.

Filo atama modeline, tayfa çizelgelemesini ve araç bakımını kolaylaştırmak amacıyla bazı ek kısıtlar eklenebilir. Yasal düzenlemelere bağlı olarak pilotlar bir sonraki günde olan uçuşuna devam etmeden önce en az bir gece dinlenmeleri (örneğin 10 saat) gerekmektedir. Bu tür kısıtlar optimal sonuçlar elde edebilmek için modele eklenmektedir (Gopalan ve Talluri 1998).

Günlük filo ataması bazı durumların oluşmasıyla değişebilmektedir. Bu durumlardan birisi, iki farklı uçuş ayağına atanan uçak tiplerinin değiş-tokuşunun yapılmasıdır. Uçak değiş-tokuşunun yapılması, yolcu sayısında beklenmedik bir değişiklik olması, uçak bakım süresinin uzaması gibi farklı nedenlerden kaynaklanabilir. Bu nedenlerden dolayı, filo atamasının kalan süre için yeniden yapılması gerekmektedir. Yeniden optimizasyon yapılması durumunda başlangıç ataması ile son atama arasında farklılıklar olabilir. Gopalan ve Talluri'e (1998) göre, bu tür bir filo değiş-tokuşu formülasyonu aşağıdaki varsayımlar altında gerçekleştirilmektedir.

- Yalnızca iki tip araç değiş-tokuşu yapılmaktadır,
- ABD'de gibi büyük coğrafik özelliklere sahip ülkelerde yapılan uçuşlarda doğudan batıya olan uçuşlar (red-eye) söz konusu değildir,
- Uluslararası uçuşlar yapılmamaktadır.

Haftalık filo ataması, günlük filo atamasından bazı özellikleri nedeni ile farklılık göstermektedir. Günlük filo atama modeli, iş günleri, hafta sonu tatilleri, resmi tatil günleri için ayrı ayrı yapılmaktadır. Bu günler için filo atama modeli temelde aynı olmasına rağmen yolcu özellikleri ve yolcuların seyahat amacı açısından farklılık göstermektedirler. Haftalık filo ataması ile günlük filo ataması arasındaki farklılığı daha

iyi anlayabilmek için haftalık filo atamasını biraz daha ayrıntılı incelemekte fayda vardır.

2.4.2 Haftalık Filo Ataması

Günlük filo atama modelinde, iş günleri süresince havayolu çizelgelemelerinde önemli değişimlerin olmadığı varsayımı yapılmaktadır. Bu nedenle, günlük filo atama problemi, Pazartesi gününden Cuma gününe kadar geçen süre içerisinde tek bir gün için yapılmaktadır. Fakat, bir çok yerel havayolu firması için hafta sonu çizelgelemeleri iş günü çizelgelemelerinden farklılaşmaktadır. Bunun nedeni, hafta içi yapılan uçuşların özellikleri ile hafta sonu uçuş özelliklerinin aynı olmamasıdır. Hafta içinde seyahat eden yolcuların yoğunluğu iş amacıyla seyahat ederken, hafta sonu yolcuların yoğunluğu tatil amacıyla seyahat etmektedirler. Dolayısıyla her bir uçuş ayağındaki yolcu özellikleri ve talepleri farklılaşmaktadır.

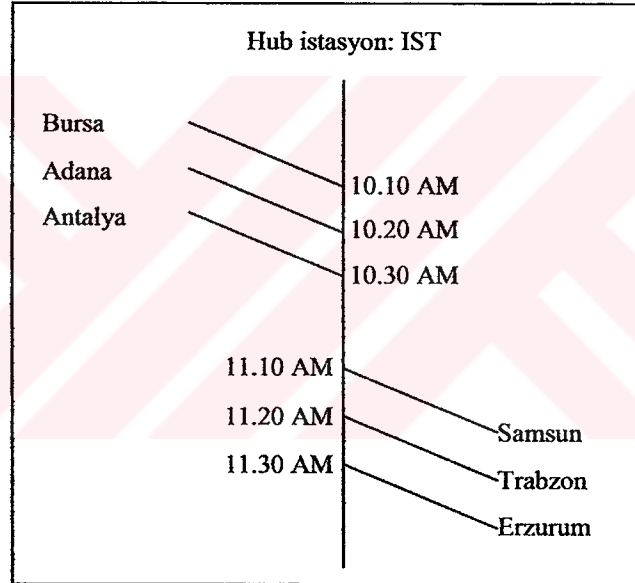
Haftalık filo atama modelinde, günlük filo atama modelinden farklı olarak uçuş ayağı bir gün için değil bir haftalık süre için oluşturulmaktadır. Haftalık uçuş çizelgelemesinde sadece cumartesi gecesi için bir geceleme yayı oluşturulmaktadır. Bu durumda dikkate alınacak planlama zamanı 0 – 10080 (7x24x60) dakika olacaktır. Haftalık filo atama modelinde, çizelgelemenin pazar gününden cumartesi gününe doğru kesintisiz olarak yapılacağı varsayımı söz konusudur.

Barnhart ve diğerleri (1996), uzun-erimli (Logn-haul) filo atama problemi üzerinde çalışmışlardır. Haftalık filo atama probleminde, tüm haftayı temsil eden bir günde günlük filo atama problemi için başlangıç olarak sezgisel (heuristic) bir çözüm elde edilmektedir. Bu tür bir problemin çözümü, her bir havaalanında geceleme amacıyla kalacak olan uçaklarının kesin sayısını da vermektedir.

Gerek günlük gerekse haftalık filo atama problemleri ile ilgilenilsin, önemli olan bir kavram *Hub - ve - spoke* sistemidir. Özellikle tek veya çok duruşlu uçuşlarda *hub* istasyonları firmalara maliyet avantajı kazandırmaktadır. Firmalara maliyet avantajı sağlayan bu kavramlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

2.4.3 Hub-ve-Spoke Havaalanları Sistemi

Kaynak sınırlamalarından dolayı havayolu firmaları her pazara duraksamasız (non-stop) uçuşlarla hizmet verememektedir. Bu nedenle havayolu firmaları, yapacakları uçuşların büyük bir çoğunluğunu bir veya iki havaalanından gerçekleştirmektedirler. Havayolu faaliyetlerinin büyük bir kısmının gerçekleştirildiği bu tip havaalanları ana dağıtım ve toplama istasyonu (*hub*) olarak adlandırılmaktadır. Havayolu faaliyetlerinin az olduğu hava alanları ise *spoke* olarak adlandırılmaktadır. *Hub - ve - spoke* sisteminin temel avantajlarından biri, farklı kaynaklardan gelen yolcuları *hub* istasyonunda toplayıp bu yolcuların farklı istasyonlara yeniden dağıtımını gerçekleştirebilmesidir. Şekil 2.5’de bir *hub* bankası örneğini gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Hub istasyonu

Hub-ve-spoke sistemi, bir hava yolu uçuş çizelgelemesinin yapısını ifade etmektedir. *Hub* istasyonlara oranla *spoke* istasyon faaliyetleri sınırlıdır. Çoğu yerel havayolu firması pazar payı büyüklüğüne bağlı olarak birkaç farklı *hub* istasyonu kullanmaktadır.

Hub-ve-spoke sistemlerinin temel avantaj ve dezavantajları Hafizoğulları, Chinnusamy ve Tunasar (2002) tarafından aşağıdaki gibi sunulmuştur.

Hub-ve-Spoke Sistemlerinin Temel Avantajları

- Bir çok şehir çiftinin yolcu talebi, büyük oranda az sayıda uçak ile karşılanmaktadır.
- Çok fazla sayıda yolcu için büyük kapasiteli uçaklara yönelinmesi nedeniyle ekonomiklik artmaktadır.
- Uçak bakım olanakları kolayca tek merkezde toplanabilmektedir.
- Tayfa yerleşkeleri *hub* havaalanları ile sınırlandırılabilir.

Bu avantajlarına karşılık *hub-ve-spoke* sisteminin bazı dezavantajları da söz konusudur.

- Hub'lardaki yolcular için ekstra beklemlerin olması zaman kaybına neden olmaktadır.
- Kapasite, kaynak faydalanımlarını ters yönde etkileyen *hub* havaalanlarındaki yoğunluğun çok fazla olması.
- Tüm sistemin performansını etkileyen yerel hava olayları ile ilgili gecikmeler yaşanması.
- Uçuş kaçırmış yolcu maliyetlerinin yüksek olması

Hub-ve-spoke ağları, yolcuların bir başlangıç istasyonundan hedef istasyona bir veya daha fazla ara duruşlar yaparak uçabilmelerine izin vermektedir. Yolcu güzergahları, *hub – spoke* istasyonlarını birbirine bağlayan uçuş ayaklarının bir dizisini ifade etmektedir. *Hub-ve-spoke* sistemleri *hub*'lardaki bozulmalara veya aksaklıklara karşı oldukça duyarlıdır. Bir *hub* istasyonunda yaşanan aksaklık, yolcuların orijinal güzergahlarındaki uçuşların gerçekleşmesini engelleyebilmektedir. Bu sebeple iptal edilen güzergahta en az bir uçuş ayağı iptal edilmektedir. Bağlantısı kesilen veya iptal edilen güzergahlardaki yolcular başka güzergahlara yeniden yönlendirilir veya diğer uçuş ayaklarına atanırlar.

Hub-ve-Spoke havaalanı sistemlerinin sağladığı avantajlar da dikkate alınarak günlük veya haftalık filo atamaları (0-1) tamsayı programlama şeklinde modellenmektedir. Bu bölümde modellerden bazıları sunulacaktır.

2.4.4 Filo Atama Problemi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde, filo atama problem çözümü üzerine yapılan bazı çalışmalar ve çözüme çözümüne yönelik yaklaşımlar kısaca anlatılacaktır. Filo atama modelleri, (0-1) tamsayılı doğrusal programlama olarak modellenmektedir. Birçok araştırmacı filo atama problemleri üzerinde çalışmaktadır. Araştırmacılar, NP-hard (non-polinomial problemler) tipinde olan filo atama problemlerini bazı sezgisel yaklaşımlar ile çözülebilir hale getirmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Hane ve diğerleri (1994) filo atama probleminin çözümü için “çok akışlı şebeke” modelini kullanmışlardır. Çalışmada, problem boyutu küçük olan günlük filo ataması ve yerel uçuşların gerçekleştirildiği bir yapı düşünülmüştür. Çalışmada filo atama probleminin etkin ve verimli bir şekilde çözülebilmesi için birbirini takip etmesi gereken bazı çözüm adımları önerilmiştir.

Sakkout, ECLⁱPS^{e1} kısıt mantık programlama (constraint logic programming – CLP) platformunu kullanarak büyük boyutlu kombinatoriyel optimizasyon probleminin modellemesi ve çözümü üzerinde çalışmıştır. Sakkout tarafından filo atama problemi, farklı tiplerdeki uçakların çizelgelenmiş uçuşlara atanması olarak tanımlanmıştır. Tekbir temelde model geliştirilmiş ve bu model ECLⁱPS^e’de çözülmüştür. Sakkout modelin geliştirilmesi ve çözümü için üç farklı aşama uygulamıştır. Birinci aşamada dal-sınır (branch –bound) araştırması yapılmıştır. Bu yaklaşım modelin geliştirilmesi ve ECLⁱPS^e platformunda geçerliliğini saptayabilmek için kullanılmıştır. İkinci yaklaşım olarak karışık tamsayı programlama kullanılmıştır. Üçüncü yaklaşım ise birinci yaklaşımın düzeltme temelli bir uzantısının kullanımı şeklindedir (Sakkout 1997).

¹ ECLⁱPS^e hakkında daha detaylı bilgi www.eclipse.org adresinden edinilebilir.

Götz ve diğerleri (1999) çalışmalarında, filo atama problemine getirdikleri çözüm yaklaşımının üç aşamadan oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu süreçler, önceki süreç, sezgisel bir yaklaşım ve sonraki süreç olarak ifade edilmiştir. Sunulan sezgisel yaklaşım ile çalıştırılan model, LP (doğrusal programlama) ve IP (tamsayı programlama) yaklaşım çözümleri ile karşılaştırıldığında, çözümün daha kısa süre aldığını ve daha yüksek kaliteli çözümlerin ortaya konulduğunu ifade etmişlerdir.

Rosenberger ve diğerleri (2002) çalışmalarında örnek olarak alınan bir havayolunun günlük operasyonları için stokastik bir model sunmuşlardır. Makalede sunulan modelde birincil amaç, rastlantısal bir çerçevede kurtarma (recovery) politikaları için yapılan planların değerlendirilmesidir. Makalede, oluşturulan stokastik modelin yapısı, çizelge bozulmalarının nedenleri, çizelge kurtarmaları ve performans ölçümleri tanımlanmıştır. Stokastik modellerin simülasyon uygulaması olarak oluşturulan SimAir programı oluşturulmuş ve uygulamanın sayısal sonuçları sunulmuştur.

Rushmeier ve Kontogiorgis (1997) filo atama modelini karışık tamsayı ve çok akışlı bir yapı olarak formüle etmişlerdir. Bu çalışmada uçuşların bağlantı olasılıkları tam olarak temsil edilmeye çalışılmıştır. Filo atama modeli bu temelde oluşturulmuş ve bir çözüm yaklaşımı getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar yüksek kalitede filo atamalarının gerçekleştirilebileceğini göstermiştir.

“Uzmanlaştırılmış filo atama modeli” Kontogioris ve Acharya (1999) tarafından sunulmuştur. Yapılan çalışmada, işgünü (working day) filo çizelgelemesine göre daha zor olan hafta sonu filo çizelgelemesinin modellenmesi ve çözülmesi üzerinde durulmuştur. Hafta sonu uçuşlarına gelen talebin iş günü yolcu taleplerinden farklılaşması nedeniyle, havaalanı olanaklarının kullanımından kaynaklanan maliyetlerin minimizasyonunu sağlanmaya yönelik olarak model kurulmuştur. Makalede, US havayollarında çalışan çizelgeleme uzmanlarına destek sağlayabilmek amacıyla uzmanlaştırılmış bir filo atama modeli geliştirilmiştir.

Ioachim ve diğerleri(1999) filo atama problem çözümü için Dantzig-Wolfe Ayırıştırması yöntemini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada filo atama ve listeleme problemleri ile ilgili kısıtların yeni bir tipi sunulmuştur. Sayısal çalışmalar, Avrupa havayollarından

elde edilen çizelgeleme problem verileri ve haftalık filo rotasyon verileri üzerinde çalışmalar yapılarak sonuçları sunulmuştur.

Jarrah, Goodstein ve Narasimhan'a (2000) göre, başlangıç filo ataması elde edilip yapılan atamaların sabitlenmesinden önce, planlamacılar uçuş ayağı boyunca elde edilen çözümün bireysel unsurlarını analiz etmek ve değiştirmek için önemli derece çaba harcamaktadırlar.

Filo ataması, yeni oluşturulan bir çizelgeleme periyodu için, planlama sürecinde önemli bir adımı ifade etmektedir. Jarrah, Goodstein ve Narasimhan (2000) makalelerinde, etkin yeniden filo ataması (re-fleeting) modelini oluşturmuşlardır. Problem boyutunu küçültmek amacıyla düğüm birleştirme (node aggregation) ve ada analizi (island analysis) olmak üzere birbirini takip eden iki farklı yöntem kullanılmıştır. Düğüm toplama yöntemi ile problem boyutu potansiyel filo atamasına engel olmaksızın azaltılabilmektedir. Problem boyutunun etkin bir şekilde küçültülebilmesi amacıyla çizelgeye ada analizi (island analysis) uygulanmıştır. Re-fleeting problemi yan kısıtlarla (side constraints) multi-commodity tamsayı akış ağı kullanılarak formüle edilmiştir.

Rexing ve diğerleri (2000), filo atama problemlerinin çözümü için matematiksel programlama tekniklerini kullanmışlardır. Çalışma ile, var olan uçak tiplerinin ilgili uçuşlara eş zamanlı olarak atanması ve havaalanından ayrılışlarının çizelgelenmesi için genelleştirilmiş bir filo atama modeli sunulmaktadır. Makalede, büyük boyutlu problem çözümleri için iki farklı algoritma sunulmaktadır.

Hjorring, Karisch ve Kohl (2000), filo atama probleminin çözümü için tamsayılı doğrusal programlama kullanmışlardır. Makalede, filo atama probleminin çözüm kalitesi, modelin doğrulanması ve problemin çözüm süresi gibi üç farklı bakış açısı birleştirilmeye çalışılmıştır.

Grönkvist (2000), için çok akışlı ağ yönetimi ile filo atama problemini çözmeye çalışmıştır. Makalede, filo ataması, ve uçak rotasyonu problemlerinin çözüm metotları ve formülasyonları tartışılarak bu alanda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çözüm üzerinde değil formülasyon üzerinde yoğunlaşmıştır.

Kilborn (2000), uçak çizelgeleme problemini kısıt programlama (constraint programming) yaklaşımı ile modellemek ve çözmek amacıyla bir model sunmuştur. Sunulan çözüm yönteminin diğer matematiksel modeller ile karşılaştırıldığında gerçek problemler için daha hızlı ve kaliteli sonuçlar verebileceği savunulmuştur. Yapılan çözümde, 17 uçaklı bir filonun 3000'nin üzerinde uçuş ayağına atanması problemi için çözüm araştırılmıştır. Bu aşamada bulunan çözüm sonraki optimizasyon problemlerinin başlangıç girdisi olarak kullanılmaktadır.

Filar, Manyem ve White (2001), filo atama problem çözümü için matematiksel programlama tekniklerini kullanmışlardır. Herhangi bir uçuş ayağında meydana gelebilecek küçük bir gecikme, bir çok zincirleme gecikmelere veya uçuş iptallerine neden olabilmektedir. Makalede, bu tür bozulmalar ve sonuçlarına yönelik olarak son zamanlarda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Barnhart, Kniker ve Lohatepanont (2002), kar maksimizasyonunu sağlayacak filo atama probleminin çözümü için yeni bir formülasyon ve çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Makalede ABD'deki büyük hava yolu şirket verileri modele girdi olarak alınmış ve sonuçta üstün çözümler elde edilmiştir.

Leeuwen, Hesselink ve Rohling (2002), hava alanından ayrılan uçakların çizelgelenmesini kısıt tatmin (constraint satisfaction) teknikleri temelinde çözmeye çalışmışlardır. Amaç, havaalanlarında yaşanan tıkanıklıkları azaltabilecek bir modelin oluşturulması ve problemin çözülmesidir. Bu amaçla, çizelgeleme süreç planlamasında çalışan kontrolörlere yardımcı olabilecek bir metod geliştirilmeye çalışılmıştır. Problem, kısıt tatmin problemi olarak formüle edilmiştir.

Yan ve Tseng (2002), uygun tarifeleri ve daha iyi filo rotasını bulabilmek amacıyla eş zamanlı taşımalara yardımcı olacak bir çözüm algoritması ve modeli geliştirilerek uygulamışlardır. Oluşturulan algoritma, Lagrange Rahatlatma, ağ simpleks (Network simplex) metodu ve en az maliyet akış artırma algoritmaları temeline dayandırılmıştır. Örnek olay olarak Tayvan havayolları operasyonları alınmış ve elde edilen sonuçlar modelin iyi çalıştığını göstermiştir.

Yan ve Tseng, kar maksimizasyon amacını gerçekleştirebilmek için hava yolu taşımacılığında zaman-boşluk ağ tekniklerini kullanmışlardır. Bu amaçla, uçuş çizelgeleme modeli oluşturmak amacıyla bütünleşik filo rotasyonu kullanılmıştır. Bu model ile yapılması gerekli direk uçuşlar, çok-duruşlu uçuşlar, çeşitli uçuşların sistematik olan manipülasyonları, ağ içindeki yolcu hareketleri ve uçakların birlikte optimizasyonu yapılmaya çalışır. Modelin temel unsurları, filo –akış zaman-uzay (Fleet - flow time - space Networks) ağları, yolcu-akış zaman-uzay ağları (The passenger - flow time - space Networks) ve matematiksel formülasyonlarından oluşmaktadır.

Klabjan (2003) makalesinde, sofistike olan optimizasyon modellerini ve algoritmalarını incelemiş ve çözüm metodolojilerini vurgulamıştır. İşlevsel süreçler kadar stratejik işletme süreçlerini de içeren modeller ve düzensiz işlemler üzerinde odaklanılmıştır.

Antoine ve diğerleri (2004) filo atama problemini Kolektif (ortak) Zeka (collective Intelligence) – COIN – kullanarak modellemişlerdir. COIN veri toplama, kaynakların dağıtım hesaplaması ve ağ teoremini içeren optimizasyon problemlerinin modellenmesi ve çözülmesinde başarıyla uygulanmıştır.

Lohatepanont ve Barnhart (2004), filo atama ve havayolu çizelgeleme problemlerinde entegre matematiksel programlamalar (Integrated Mathematical Programming) kullanmışlardır. Makalede, filo atama ve çizelge tasarımını içeren “havayolu çizelge planlama süreç” aşamaları üzerine odaklanılmıştır. Firma kazancını maksimize edecek ve firma operasyon giderlerini minimize edecek “filo atamasının” oluşturulması için çalışılmıştır. Örnek olay olarak büyük bir ABD hava yolu firma verileri kullanılmıştır. Bu veriler ile yapılan uygulamanın ilk sonuçları, firma açısından önemli getirilerin elde edilebileceğini göstermiştir.

2.5 FİLO ATAMA MODELLERİ

Uygun filonun veya uygun uçak tipinin doğru uçuş ayağına atanması filo ataması olarak adlandırılmaktadır. Uygulamada hava yolu firmaları, koltuk kapasiteleri ve operasyonel özellikleri birbirinden farklı özelliklerde filolara sahiptirler. Filo atama probleminde, yolcu talepleri, bilet fiyatları, koltuk kapasitesi, yakıt maliyeti, tayfa sayısı ve bakım-onarım gibi faktörler düşünüldüğünde, çizelgenin uygulanması sonucu olası toplam kar

maksimize edilmeye veya toplam maliyetler minimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla, filo atama problemleri bazı matematiksel programlama yöntemleri kullanılarak çözülmeye çalışılmaktadır. Filo atama problem çözümü yalnızca belirli uçak tiplerinin uçuş ayaklarına atanmasını sağlamamaktadır. Atama sonucu, bir uçağın nerede olduğunu ve ne zaman yerde olacağını da göstermektedir (Clarke 1995). Filo atama problem çözüm teknikleri temelde iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Birinci sınıflandırma sıcak başlangıç (warm start) olarak adlandırılmaktadır. Bu tip filo atama probleminde geçerli bir başlangıç ataması veri olarak kullanılmaktadır. Optimal filo atama problem çözümü, başlangıç çözümüne bağlıdır. Diğer sınıflandırma ise, başlangıç atamasının verilmediği durumu ifade etmektedir ve soğuk başlangıç (cold start) olarak adlandırılmaktadır. Bu tip sınıflandırmada sadece filo büyüklükleri, her bir filodaki uçak tipleri ve yolcu talepleri bilinmektedir. Bu bilgilere ek olarak uçuş ayakları ile ilgili bazı detaylar da bilinmektedir.

Genel bir filo atama modelinde maliyet minimizasyonuna, kapsama, akış dengesi ve filo boyutu gibi üç temel kısıt altında ulaşılmaya çalışılmaktadır (Abara 1989; Hane ve diğerleri 1995; Clarke 1996). Bu bölümde, modellerden yalnızca bir tanesi (Rushmeier, Hoffman ve Padberg 1995) detaylı bir şekilde incelenecektir. Bu model maliyet minimizasyonuna şeklinde oluşturulmuştur. Bu amaç için her uçağın kaynaktan bir kez geçmesi, her bir uçağın alıcı havaalanına bir kez gitmesi, her gerçek uçuşa tek bir uçağın atanması ve yolcu rezervasyon kısıtları gibi kısıtlar belirlenerek maliyetler minimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu filo atama modeli, bu tez çalışması kapsamında geliştirilecek olan filo atamasına yönelik Karar Destek Sistemi içerisine yerleştirilecektir. Modele ilişkin amaç fonksiyonu, kısıtlar ve parametreler aşağıda sunulmaktadır.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{fl \in FL} \sum_{pl \in PL} (C_{fl,pl} - R_{fl,pl}) \cdot X_{fl,pl}$$

Kısıtlar

Tüm filonun her uçağı kaynaktan bir kez geçmek zorundadır.

$$\sum_{\substack{fl \in FL : \\ fl_{dA} = Ka}} X_{fl, pl} \leq pl_a \quad \forall pl \in PL$$

Tüm filonun her uçağı alıcıya yalnızca bir kez gitmek zorundadır.

$$\sum_{\substack{fl \in FL : \\ fl_{aA} = al}} X_{fl, pl} \leq pl_a \quad \forall pl \in PL$$

Her gerçek uçuşa yalnızca bir uçak atanmalıdır.

$$\sum_{pl \in PL} X_{fl, pl} = 1 \quad \forall fl \in FL : fl_{dA} \langle \rangle Ka \text{ ve } fl_{aA} \langle \rangle al$$

Uuçak belli bir hava alanını kullanmak için o havaalanında bulunmak zorundadır.

$$\sum_{\substack{fl^- \in FL : \\ fl_{aT}^- = fl_{dA} \\ fl_{aT}^- + pl_{rT} \leq fl_{dT}}} X_{fl^-, pl} - \sum_{\substack{fl^- \in FL : \\ fl^- \langle \rangle fl \text{ ve} \\ fl_{dA}^- = fl_{dA} \quad fl_{dT}^- \leq fl_{dT}}} X_{fl^-, pl} \geq X_{fl, pl} \quad \left(\begin{array}{l} \forall pl \in PL \text{ ve} \\ \forall fl \in FL : \\ fl_{dA} \langle \rangle Ka \\ fl_{aA} \langle \rangle al \end{array} \right)$$

$$\sum_{\substack{fl^- \in FL : \\ fl_{aA}^- = fl_{dA} \\ fl_{aT}^- + pl_{rT} \leq fl_{dT}}} X_{fl^-, pl} - \sum_{\substack{fl^- \in FL : \\ fl^- \langle \rangle fl \\ fl_{dA}^- = fl_{dA} \\ fl_{dT}^- \leq fl_{dT}}} X_{fl^-, pl} \geq X_{fl, pl} \quad \left(\begin{array}{l} \forall pl \in PL \\ \forall fl \in FL : \\ fl_{aA} = al \end{array} \right)$$

Eğer $pl_d \langle fl_d$ ise $X_{fl, pl}$

Karşılanmayan maksimum yolcu rezervasyon kısıtları.

$$\sum_{pl \in PL} X_{fl, pl} \cdot pl_s \geq fl_d \cdot (1 - MS)$$

Her uçak haftayı başladığı yerde bitirmek zorundadır.

$$\sum_{\substack{fl \in FL: \\ fl_{dA} = Ka \\ fl_{aA} = ap}} X_{fl, pl} = \sum_{\substack{fl \in FL: \\ fl_{dA} = ap \\ fl_{aA} = al}} X_{fl, pl} \quad \left(\begin{array}{l} \forall ap \in AP \\ \forall pl \in PL \end{array} \right)$$

Tek duruşlu servisler uçuş ve dönüş uçuşunun her iki ayağının da aynı uçakla yapılması gerekmektedir.

$$\sum_{\substack{f1 \in FL: \\ f1_{id} = p_{fd}}} X_{f1, pl} = \sum_{\substack{f2 \in FL: \\ f2_{id} = p_{sid}}} X_{f2, pl} \quad \left(\begin{array}{l} \forall p \in osf \\ \forall pl \in PL \end{array} \right)$$

Gelir ve Maliyetler

Gelir ve maliyetlerin hesaplanması iki farklı duruma göre yapılmaktadır.

Gelir Matrisi

$$R(pl, fl) = \begin{cases} = \begin{cases} = pl_s \cdot fl_{pr} & \text{eger } fl_{pass} > pl_s \\ = fl_{pass} \cdot fl_{pr} & \text{aksi durum} \end{cases} & \left(\begin{array}{l} \text{eger } fl_{dA} \diamond Ka \\ fl_{aA} \diamond al \end{array} \right) \text{ ve} \\ 0 & \text{aksi durum} \end{cases}$$

Maliyet Matrisi

$$C(pl, fl) = \begin{cases} = \begin{cases} = pl_{fc} + pl_{vc} \cdot pl_s \cdot (fl_{aT} - fl_{dT}) & \text{eger } fl_{pass} > pl_s \\ = pl_{fc} + pl_{vc} \cdot fl_{pass} \cdot (fl_{aT} - fl_{dT}) & \text{aksi durum} \end{cases} & \left(\begin{array}{l} \text{eger } fl_{dA} \diamond Ka \\ fl_{aA} \diamond al \end{array} \right) \text{ ve} \\ 0 & \text{aksi durum} \end{cases}$$

Modelde Kullanılan Parametreler

$X_{fl, pl} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	eğer filo (pl) uçuş ayağı (fl) 'ye atanırsa aksi durum
---	---

$P_{pl, fl}$: Filo (pl) 'nin uçuş ayağı (fl) 'ye atanması sonucu elde edilebilecek gelir.

$C_{pl, fl}$: Filo (pl) 'nin uçuş ayağı (fl) 'ye atanması sonucu katlanılması gereken maliyet

$PL = (1, \dots, pl)$: Modelde kullanılan filo sayısı

$FL = (1, \dots, fl)$: Modelde kullanılan uçuş ayağı sayısı

pl_a : Filo tipi (pl)'nin sahip olduğu uçak sayısı

fl_{dA} : Uçuş ayağı (fl)'nin ayrıldığı havaalanı

fl_{aA} : Uçuş ayağı (fl)'nin varacağı havaalanı

fl_{aA}^- : Uçuş ayağı (fl)'den bir önceki uçuş ayağının varacağı havaalanı

fl_{dA}^- : Uçuş ayağı (fl)'den bir önceki uçuş ayağının ayrıldığı havaalanı

fl_{aT}^- : Uçuş ayağı (fl)'den bir önceki uçuş ayağının varış zamanı

fl_{dT}^- : Uçuş ayağı (fl)'den bir önceki uçuş ayağının ayrılış zamanı

fl^- : Uçuş ayağı (fl)'den bir önceki uçuş ayağı

pl_{rT} : Filo tipi (pl)'nin sahip olduğu uçakların yakıt dolum zamanları

fl_{dT} : Uçuş ayağı (fl)'nin ayrılma zamanı

fl_{aT} : Uçuş ayağı (fl)'nin varış zamanı

pl_d : Filo tipi (pl)'nin uçuş mesafesi

fl_d : Uçuş ayağı (fl)'nin uzunluğu

MS : Maksimum yolcu iptal yüzdesi

$AP (=1, \dots, ap)$: Modelde kullanılan havaalanı sayısı

f_{1id} : Tek-duruşlu uçuşlarda, uçuşun birinci ayağının **id** numarası

P_{fid} : ilk **id** çiftleri

$osf(=1, \dots, p)$: Tek duruşlu uçuşlar

Her bir (fl, pl) çifti için $C_{fl,pl}$ aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

pl_{fc} : Filo tipi (pl) 'nin sahip olduğu uçakların sabit maliyetleri

pl_{vc} : Filo tipi (pl) 'nin sahip olduğu uçakların değişken maliyetleri

pl_s : Filo tipi (pl) 'nin sahip olduğu uçakların koltuk kapasitesi

fl_{pr} : Uçuş ayağı (fl) 'nin bilet fiyatı

fl_{pass} : Uçuş ayağı (fl) 'deki yolcu talebi

Ka : Kaynak havaalanı

al : Alıcı havaalanı

Bu bölümde genel olarak filo atama problemi, uçuş ve filo çizelgelemesi ve filo atama problemi ile ilgili genel kavramlar açıklanmıştır. Bir sonraki bölümde Karar Destek Sistemleri açıklanacaktır. Bu tez çalışmasında hava taşımacılığında karşılaşılabilecek olan çeşitli problemlerin çözüme yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmeye çalışılacaktır. Bu sebeple Karar Destek Sistemlerinin ve genel unsurlarının bir sonraki bölümde açıklanmasında fayda vardır.

3. BÖLÜM: KARAR DESTEK SİSTEMLERİ (KDS)

Bu tez çalışmasının asıl amacı hava taşımacılığında karşılaşılan filo atama problemlerini çözmeye yönelik bir karar destek sisteminin geliştirilmesidir. Bu nedenle üçüncü bölüm genel olarak Karar Destek Sistemleri ve unsurlarının açıklanmasına yönelik olarak hazırlanmıştır.

3.1 GİRİŞ

Karar Destek Sistemleri (KDS), en basit anlamı ile karar vericiyi vereceği kararlarda destekleyen herhangi bir şey olarak tanımlanmaktadır. Bu kısa tanımlama KDS'nin en çok kabul görmüş en geniş anlamdaki tanımlamasıdır. Bu tanımlamaya göre, bir fincan kahve, bir kitap, bir bilgisayar paket programı, işletim sistemi veya etkin olarak çalışan bir sekreter karar destek sistemi olarak adlandırılabilir. Karar destek sistem tanımlamasının bu derece geniş olması, bir çok farklı alanda farklı konular için karar destek sistemlerinin geliştirilmesine neden olmaktadır. Muhasebe, finansman, pazarlama, sağlık hizmetleri, insan kaynakları, yönetim bilişim sistemleri, üretim yönetimi ve havacılık karar destek sistemlerinin yoğunluklu uygulandığı alanlara örnek olarak verilebilmektedir.

Karar destek sistemlerinin sık uygulandığı alanlardan biri de, havacılık operasyonlarının düzenlenmesi problemleridir. Filo çizelgeleme ve atamalarının yapılması, hava sahası ve havaalanı trafiğinin kontrol edilmesi, tayfa eşleştirme ve atamalarının yapılması gibi havacılık operasyonlarının etkin ve minimum maliyetle gerçekleştirilebilmesinde karar vericiye yardımcı olacak çeşitli karar destek programları geliştirilmektedir. Bu çalışma ile geliştirilecek olan Karar Destek Sistemi, hava taşımacılığında haftalık filo atamalarını gerçekleştirecek, karşılaşılabilecek muhtemel bazı problemlerin (uçak arızalanmaları veya kötü hava koşulları vb gibi sebeplerden dolayı uçuş ertelemeleri veya iptalleri) simülasyonu sonucunda maliyet-duyarlılık analizlerini yaparak en uygun filo atama alternatiflerini kullanıcıların hizmetine sunacaktır.

Bu bölümde; karar destek sistemi ile ilgili bazı temel kavramlar, karar tipleri, karar verme stilleri, karar verme süreci ve karar destek sistemleri genel olarak açıklanacaktır. Bir karar destek sistem yapısının nasıl olduğu, karar destek sistemini oluşturan

unsurların neler olduğu ve nasıl geliştirileceği sunulacaktır. Karar destek sisteminin havacılık uygulamaları dışındaki uygulama alanlarının neler olduğuna kısaca değinilecek ve son zamanlarda gelişmekte olan konu tabanlı karar destek sistemleri ile geleneksel karar destek sistemleri arasındaki farklılıklar ortaya konulacaktır.

3.2 TEMEL KAVRAMLAR VE KARAR TİPLERİ

Karar destek sistemini daha iyi kavrayabilmek amacıyla bilgi, analiz, karar, karar verme ve karar süreci gibi kavramların kısaca tanımlanmasında fayda vardır.

Bilgi (Knowledge), verilerin çeşitli analizleri sonucunda elde edilmektedir. Analiz, belli bir kavrama değer verme ve bu kavram ile ilgili olarak karar vermeyi desteklemek amacıyla elde edilen veriden bazı anlamlar çıkarmak için araştırma yapma metodu olarak tanımlanmaktadır. Karar, alternatifler arasından nedensel bir seçeneğin seçilmesini ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile karar, alternatifler arasından akla dayanan bir seçim yapılmasını ifade etmektedir. Karar kavramının; bir kararın seçme eylemini gerektirmesi, kararın bilinçli olarak ussal süreçleri kapsaması ve kararın bir amaca yönelik olması gibi üç önemli sonucu vardır (Can 2002). En basit anlamda karar verme ise, bireyin ya da örgütün belli seçenekler arasından birini seçmesi olarak tanımlanmaktadır. Karar verme, problem çözmenin daha geniş bir çerçevesini ifade eden bir kavramdır. Diğer bir ifade ile karar verme, bir süreç, problem çözme işlemi ve amaca uygun değişik davranış şekillerinden birini seçme işlemi olarak tanımlanmaktadır (Kuruüzüm 1998). Problem çözme, gerçek ve daha çok arzu edilen durumlar arasındaki boşluğun kapatılmasına yönelik bütünsel bir süreci ifade etmektedir (Mallach 2000).

Diğer bir kavram karar modelleridir. Karar modelleri, bir problemin veya işletmenin içinde bulunduğu durumun mantıksal veya matematiksel sunumunu ifade etmektedir. Karar modelleri olaylar arasında ilişki kurmak için karar vericiye yardımcı olan unsurların kavramsal olarak bütünselliğini ifade etmektedir (Evans ve Olson 2003).

İstenmeyen bir sonucun olma olasılığı olarak tanımlanan risk, kişinin sonucunu kontrol edemediği şeylerle ilişkilendirilen belirsizlik durumları ile ilgilenmektedir. Belirsizliği belli bir derece azaltabilmek amacıyla karar destek sistemlerinde çeşitli senaryolar oluşturularak simülasyonlar yapılmaktadır.

Karar destek sistemleri temel olarak yapısal, yarı yapısal ve yapısal olmayan gibi üç temel karar tipi ile ilgilenmektedir. Bu tip kararlardan başka, karar vericiler veya farklı kademelerdeki yöneticiler operasyonel, taktiksel veya stratejik kararlar verirken KDS'lerden faydalanmaktadırlar. Bu karar tipleri aşağıda kısaca tanımlanmaktadır.

Yapısal Kararlar (Structured Decisions): Bu tip kararlarda iyi tanımlanmış bir karar verme prosedürü söz konusudur. Yapısal karar, bütün karar aşamalarında (zeka, tasarım ve seçim) belirli bazı içsel prosedürlerin olmasını ifade etmektedir.

Yarı-yapısal Kararlar (Semistructured Decisions): Bu tip kararlar kısmen de olsa yapısal görünüme sahiptir fakat, tamamen yapısal özellikte değildir. Bunun anlamı; her üç aşamanın (zeka, tasarım ve seçim) bir veya ikisi yapısaldır fakat diğerleri yapısal özellikte değildir.

Yapısal Olmayan Kararlar (Unstructured Decisions): Karar aşamalarının üçünün (zeka, tasarım ve seçim) yapısalıktan uzak olmasını ifade etmektedir. Bu durumda her bir aşamanın en az bir ifadesinde girdilerin, çıktıların ve içsel prosedürlerin nasıl belirtileceği bilinmemektedir. Karar alırken herhangi bir prosedürün takip edilme zorunluluğu söz konusu değildir.

Operasyonel Kararlar: Bu tip kararlar, organizasyonun tek düze olan günlük operasyonları ile ilgilenmektedir. Örgütlerin piyasada bir işletme olarak faaliyetlerini sürdürebilmesi için yapmaları gereken faaliyetleri ifade etmektedir. Sipariş süreci, stok kontrol, müşteri faturalamaları, üretim çizelgelemeleri gibi konularda verilen kararlar operasyonel kararlara örnek olarak verilebilir(Reymonds 1995).

Taktiksel Kararlar: Dar bir ifade ile, taktiksel kararlar yönetsel kontrol kararlarıdır. Firmanın stratejik amaçlarını karşılamak için firma kaynaklarının dağıtımı ve kontrolünü içermektedir. Bu kararlar, üst düzey yönetim tarafından oluşturulan hedef ve amaçları karşılamak amacıyla gerekli araçları uygulamadan sorumlu orta kademe yöneticiler tarafından alınmaktadır. Taktiksel kararlar operasyonel kararlar kadar tek düze ve yapısal değildir. Çoğu zaman taktiksel kararlarda yer alan önemli değişkenlerin hepsi bilinmemektedir ve kararlar ile arasındaki ilişki açık olarak anlaşılamamaktadır (Reymonds 1995).

Stratejik Kararlar: Bu tip kararlar organizasyonun bütününü veya önemli bir parçasını uzun bir süre etkileyen kararlardır. Stratejik kararlar, örgütün amaç ve politikalarını etkilemekte ve örgüt yönetimin en üst kademesinde alınmaktadır. Firmanın amaçlarını oluşturmayı, uzun dönemli planlama tabanında basit varsayımları tanımlamayı ve firmanın kritik başarı faktörlerini tanımlamayı içermektedir. Stratejik kararlar yüksek düzeyde karmaşıklık, yapısal olmayan ve tekrar etmeyen olaylara meyillidir. Bu karar sürecinde düşünülmesi gereken tüm değişkenler tanımlanamamaktadır. Bu kararların firma üzerindeki etkisinin tam olarak anlaşılması için birkaç ay hatta yıl geçmesi gerekebilir (Reymonds 1995).

Bu tip kararlar, belli bir karar verme stiline göre alınmaktadır. Analitik ve sezgisel karar verme, karar vermede en çok başvurulan iki karar stilidir. Bu iki kavramın kısaca açıklanması, karar tiplerini ve karar sürecini anlamamızda yardımcı olacaktır.

3.3 KARAR VERME STİLLERİ

Bir karar verilirken belli unsurların bütünsel olarak düşünülmesi gerekmektedir. Bu nedenle uygulanan karar verme stili, verilecek olan kararları etkileyecektir. Elde bulunan veriler, hangi tip karar verme stilinin kullanılacağını belirleyen önemli unsurlardan biridir. Karar verme stilleri, analitik karar verme ve sezgisel (heuristic) karar verme olmak üzere aşağıda kısaca açıklanmaktadır (Kendal ve Kendal 1992).

3.3.1 Analitik Karar Verme

Öğrenmenin belli analizler sonucu gerçekleştiği, herhangi bir karar vermede bazı prosedürlerin adım adım izlenerek kantitatif bilgi ve modellerin değerlendirildiği ve optimal sonuçların araştırıldığı durum, analitik karar verme stili olarak adlandırılmaktadır.

Analitik karar vericiler, enformasyonun (information) sistematik olarak elde edildiğine, sınırlı alternatiflerin sistematik olarak değerlendirildiğine ve enformasyon tabanlı kararlar alındığına inanırlar. Analitik karar vermenin temel özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

- Öğrenme belirli analizler sonucu gerçekleşmektedir,
- Karar verirken belli prosedürler aşama – aşama izlenmektedir,
- Karar verirken kantitatif enformasyon (information) ve modeller değerlendirilmektedir,
- Karar vermeye yardımcı olmak amacıyla matematiksel modeller ve algoritmalar oluşturulmaktadır,
- Program sonucunda optimal sonuçlar araştırılmaktadır.

Analitik karar verme metodolojik bir sistemi ifade etmektedir. Analitik karar verme sürecinde grafik çizimi, olasılık ve matematiksel modelleme gibi karar teknikleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler uygun, kabul edilebilir, eksiksiz ve doğru enformasyona ihtiyaç duymaktadır (Kendal ve Kendal 1992). Eğer karar vermeye yardımcı olacak enformasyon, analizlerde kullanılacak model ve kriterlere uymuyorsa doğru karar verme zorlaşacaktır. Doğru ve etkin karar vermeyi sağlamak için analizlerde kullanılacak olan model ve verilerin birbiri ile uyumlu olması gerekmektedir.

3.3.2 Sezgisel (Heuristic) Karar Verme

Sezgisel (heuristic) karar verme, genel olarak deneyim tabanlı bir karar verme sistemini ifade etmektedir. Karar vermede sistematiklik ve belirli prosedürlerin adım adım takip edilme zorunluluğu yoktur. Fakat, karar verirken bazı yönergelerden yararlanılmaktadır. Sezgisel karar vericiler, bir işi yaparak öğrenmektedirler. Bu tip karar vermenin bazı özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Kendal ve Kendal 1992).

- Bir iş yapılarak öğrenilmektedir,
- Karar verme sürecinde deneme ve yanılma yöntemi kullanılmaktadır,
- Karar verme sürecinde deneyimler önem taşımaktadır,
- Karar verici sahip olduğu genel hissine güvenerek karar vermektedir,

- Karar verici, tatmin edici bir çözüm araştırmaktadır.

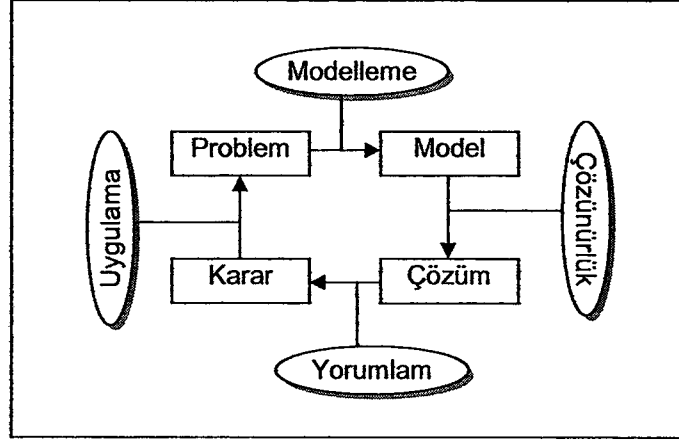
Hangi durumda analitik veya sezgisel karar verileceği problemin içinde bulunduğu duruma, karar destek sisteminin yapısına ve karar vericinin olayları algılama ve analiz etme yeteneğine bağlı olmaktadır.

3.4 KARAR VERME SÜRECİ

Belli bir karara varılabilmesi için belli bir hiyerarşi içerisinde belirli adımların takip edilmesi gerekmektedir. Her aşama belli prosedürlere bağlı olarak birbiri ile çeşitli ilişkilere sahiptir. Bu prosedürler ve aralarındaki ilişkiler, karar süreci olarak adlandırılmaktadır. Karar verme süreci; modelleme, çözümleme, yorumlama ve uygulama olmak üzere birbiri ile ilişkili dört temel süreçten (Şekil 3.1) oluşmaktadır.

Karar verme süreci modelleme aşamasında problem, mevcut olan problemin algılanmasını ve ilgili modelin oluşturulmasını kolaylaştıracak şekilde tanımlanmaktadır. Çözümleme aşaması, kesin veya sezgisel algoritmik bir yaklaşımı kullanıcıya empoze eden bir yapıdır. Bu yaklaşım, karar vericinin problemi nasıl çözümleyeceğini ifade etmektedir. Yorum aşamasında, kullanıcılara çözüm önerileri sunulmaktadır. Son aşama ise; operasyonel kararların uygulanması ve verilen kararların geçerliliğinin test edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Uygulama sonucu, problem çözümünün ne kadar güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu aşamalar arasındaki ilişki Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

Model bütünsel olarak incelendiği zaman modelleme, belirli bir problemin var olan veya geliştirilen belirli modellere uyumunu ifade etmektedir. Oluşturulan modelin belli teknikler yardımı ile çözülme süreci çözümleme olarak adlandırılmaktadır. Yorumlama, sonuçta elde edilen kararların problemi ne kadar ifade ettiğini, test etme süreci ise sonuçların uygulamasını ifade etmektedir. Problem – model – çözüm – karar aşaları karar verme sürecinin bir döngüyü ifade ettiğini göstermektedir.



Şekil 3.1: Karar Verme Süreci

Kaynak: Borne, P. ve diğerleri, "DSS for Urban Transportation Network", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, - Part C: Applications and Reviews, Vol:33, No:1, Feb. 2003.

Karar verme sürecinin bir başka tanımlaması ise; zeka (intelligence), tasarım (design), seçim (choice) ve uygulama (application) olmak üzere birbirini takip eden ve birbiri ile belli derecede etkileşime sahip olan dört unsurdan oluşmaktadır. Karar verme süreci ve bu süreci oluşturan unsurlar arasındaki ilişki Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Forgionne 2003; Forman ve Selly 2001). Bu dört unsur aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Zeka: Zeka aşaması, problem veya bir fırsatın tanımlanmasını içermektedir. Bu aşamada insanların isteklerini dinleme (müşterileri, rakipleri, çalışanları, tedarikçileri, vb), çevreyi tanıma ve içsel veya dışsal veri tabanlarının sorgulanması, gelecek ve mevcut bazı durumlar arasındaki boşluklar (gaps) hakkında beyin fırtınası ve SWOT analizi yapmak gibi çok çeşitli faaliyetleri içermektedir. İşlevsel olarak, bir durumu problem veya fırsat olarak görmek sonucu çok fazla değiştirmemektedir. Çünkü, bazı insanların problem olarak gördüğü bir durum başka insanlar tarafından fırsat olarak görülebilmektedir.

Tasarım: Bu aşama, problem veya fırsatlar için alternatif çözümlerin belirlenmesi veya tasarlanmasını ifade etmektedir. Alternatif çözümler sunmanın bir çok yolu vardır. Bu yollar aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir.

- İlgili konu hakkında beyin fırtınası yaparak karar kriterlerini ve/veya alternatiflerini geliştirmek,



Şekil 3.2: Karar verme süreç unsurları arasındaki ilişkiler

- Konu ile ilgili literatür incelemesi yapmak,
- İlgilenilen konunun, içerisinde bulunduğu endüstri veya çapraz endüstriler arası kıyaslama yaparak dış çevreden gelen veya gelebilecek olan belirlilik düzeyi düşük ve kontrol edilemeyen olayların tanımlanması,
- Alternatif çözümler için önerilerde bulunmak

Tasarım aşaması problemin tanımlanması, problemin içerisinde bulunduğu çevrenin gözlemlenerek problem çözümü ile ilgili gerekli bilgilerin toplanmasından sonraki aşamadır.

Seçim: Alternatifler arasından en uygun olanının seçilmesini ifade etmektedir. Bir çok insan, seçim aşamasını karar verme olarak düşünmektedir. Örneğin, iki yarışmacıdan birini seçme durumunda olan karar verici “en iyisini” veya bir alternatifler kombinasyonu seçmek, karar verme sürecinin muhtemelen en zor parçasını oluşturmaktadır. Son zamanlara kadar, seçim yapmak neredeyse sezgisel olarak deneme yanılma yolu ile yapılmaktaydı. AHP (analitik hiyerarşi süreci) uygulamaları, sezgisel karar verme sürecini değiştiren en önemli çok kriterli karar verme tekniği olmaktadır.

Uygulama: Karar analizleri sonucunda elde edilen değerlendirmeleri dikkate alarak, sunulan alternatiflerin değerlendirilmesi ve verilen kararlara güven duyulabileceği bir uygulama gerçekleştirmeyi ifade etmektedir. Uygulama aşamasında bir uygulama planı geliştirme, uygulamayı gerçekleştirmede ihtiyaç duyulan kaynakları temin etme ve sonuçta uygulama planını eyleme sokma gibi birbirini takip eden üç temel unsur söz konusudur. Başarılı bir uygulama gerçekleştirebilmek için bu aşamaların dikkatlice hazırlanması gerekmektedir.

Temel kavramlar, karar verme stilleri ve karar verme süreçlerini kısaca tanımladıktan sonra, karar vericilere yardımcı bir unsur olarak ortaya çıkan karar destek sistemlerini daha kolay tanımlayabiliriz.

3.5 KARAR DESTEK SİSTEMLERİ (KDS)

Herhangi bir karar verme düzeyindeki yöneticiye karar vermesinde yardımcı olan bir unsur olarak tanımlanan Karar Destek Sistemleri ile ilgili olarak, dar anlamda KDS ve geniş anlamda KDS olmak üzere iki temel ayrım söz konusudur.

Dar anlamda KDS, problem boyutu büyük ve yapısal olmayan alternatiflerin formüle edilmesi, bu problemlerin etkilerinin analiz edilmesi ve daha sonra uygulama için uygun çözümlerin seçilmesinde karar vericilere yardımcı olmak amacıyla analitik metotlar ve modeller kullanan etkileşimli bir bilgisayar programı olarak tanımlanmaktadır. KDS

temel olarak, verilen bir problemi çözmek için alternatifler sunan bir yazılım programıdır. Kullanıcı, problem parametrelerini grafik arayüzü yardımı ile programa girmektedir. KDS, kullanıcıdan almış olduğu verilere bağlı olarak aslında A yerine B'yi yapmanın görelî etkisini değerlendirmektedir (Dhaliwal ve diğerleri 2001).

Geniş anlamda KDS ise; dar anlamdaki KDS tanımlamasına ek olarak karar vericiyi destekleyen bazı teknolojileri de içermektedir. Bu teknolojilere bilgi ve enformasyon sistemleri, veritabanı yönetim sistemleri ve coğrafi bilgi sistemleri örnek olarak verilebilir. Geniş anlamada, KDS'nin aşağıdaki özellikleri dikkat çekmektedir.

- KDS, bilgisayar tabanlı bir sistem olması.
- KDS, enformasyon ve/veya teknoloji transfer ajanı olması.
- KDS, operasyon seçimine katkıda bulunmaktadır.

Karar Destek Sistemleri (KDS), özellikle belirsizlik düzeyinin yüksek olduğu durumlarda karar vericilere analitik bazı modeller kullanarak destek sunan sistemler olarak tanımlanmaktadır (Çetinyokuş 2004). Başka bir ifade ile KDS, yarı yapısal ve karmaşık görevlerde karar verici yöneticilere, karar süreçlerinde yardım etmek amacıyla bilgisayar kullanımını ifade etmektedir. KDS, temel olarak pazar kısıtları ile yönetilen kar hedefli organizasyonlarda geliştirilmiş ve uygulanmaktadır (Kamel 1999).

KDS, karar vericiye, çalışma alanını genişletilebilmesi için yardımcı olan mantıksal (logical) ilişkiler ve geniş boyutlardaki enformasyonu işleyerek karar vericiyi destekleyici bir araç şeklinde sunulmaktadır. KDS, uygun donanım ve kullanıcı arayüzü, veritabanı, problem formülasyonu için yazılım ve ilgili matematiksel programlamalar gibi unsurları içeren çeşitli ve karşılıklı olarak birbirine bağlı yazılım modellerinden oluşmaktadır (Makowski 1991).

KDS, kullanıcıya çok fazla soru soran “kara kutu” tipi bir araç olmamalıdır. Bunun yerine, kullanıcıya yardımcı olabilecek, verilen cevapların uygunluğunu kontrol edebilecek ve daha sonra KDS'nin tasarımcısı tarafından en iyi olduğu düşünülen cevapları kullanıcılara sunabilecek bir araç niteliğinde olmalıdır. KDS uygulaması için tasarlanan ve geliştirilen kullanıcı arayüzü, kullanıcıya soru sorulması ve gerekli

cevapların alınması konusunda fonksiyonel bir özelliğe sahip olmalıdır. KDS, tamamıyla karar vericinin kontrolü altında çalışan bir araç niteliğindedir (Makowski 1991).

KDS'ler bir çok açıdan fonksiyonel özelliklere sahip olabilirler. Karar vericilerle etkileşimli bir şekilde çalışan, karar vericinin anlayışında, kararlara farklı yapılar ekleyerek ve çok kriterli karar verme modellerini kullanarak çeşitli karar verme durumları için eldeki bilgileri organize eden araçlardır (Kendall ve Kendall 1992). Diğer bir ifade ile KDS, bilgi temelli karar süreçlerinde, bir kaynaktan bilgi ve veri alan ve bir sonraki aşama için bilgi sağlayabilen bilgisayar tabanlı sistemlerdir.

KDS'lerin uygulamadaki başarı düşüklüğünü ortadan kaldırabilmek amacıyla bilgi tabanlı teknolojiler ile entegre bir şekilde uygulanmaktadır. Ayrıca, çoğu uygulamada KDS ve yapay zeka bütünleşik bir şekilde oluşturulmaya çalışılmaktadır. Yapay zekanın veya akıllı ajanların KDS'lerde kullanılması, programın esnek olmasını ve güncellenmek istenen parçaların daha kolay güncellenebilmesini sağlama amacına yöneliktir.

KDS'nin bu farklı tanımlarında KDS'lerin belli veri tabanlarını kullandıkları, bir bilgisayar yazılım programı olduğu ve grafik arayüzünden oluştuğu gibi unsurlar mevcuttur. Bu unsurlar ve aralarındaki ilişkiler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

3.5.1 Karar Destek Sistemlerinin (KDS) Unsurları

Karar destek sistemleri, veritabanları, yazılım sistemi ve kullanıcı grafiksel arayüzü gibi unsurlardan oluşmaktadır. Bu unsurlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

- **KDS Veritabanı:** KDS'nin mevcut ve tarihsel verilerin toplanması ile ilgili olan kısmını oluşturmaktadır (örneğin; dışsal veri, içsel veri, kişisel veri tabanları gibi).
- **KDS Yazılım Sistemi:** Yazılım araçları / matematiksel ve analitik modellerin toplamını ifade etmektedir (örneğin; MBMS : model tabanlı yazılım sistemi).
- **Kullanıcı Grafiksel Arayüz:** Kullanıcının, program ile kolay etkileşimde bulunabilmesini sağlayan araçtır. Kullanıcı, problemi çözmeye yönelik olarak

istenilen verileri bu grafiksel arayüz yardımı ile sisteme girmektedir. Kullanıcı, problem çözüm sonucunu bu grafiksel arayüz yardımı ile almaktadır. Arayüz, yalnızca veri girişi ve çözüm sonucunu kullanıcıya göstermemektedir. Problemin hangi matematiksel yöntemler kullanılarak çözüldüğü çoğu KDS tarafından kullanıcıya sunulmamaktadır. Bu nedenle, kullanıcının sadece doğru veriyi girmesi ve sonucu doğru yorumlaması gerekmektedir.

Bu unsurları içeren herhangi bir KDS tasarımı yapmadan önce cevaplanması gereken bazı sorular söz konusudur. Bu sorulara verilen cevaplar nasıl bir KDS tasarlanması gerektiğini ortaya koyacaktır. Cevaplanması gereken sorulardan bazıları aşağıda özetlenmektedir.

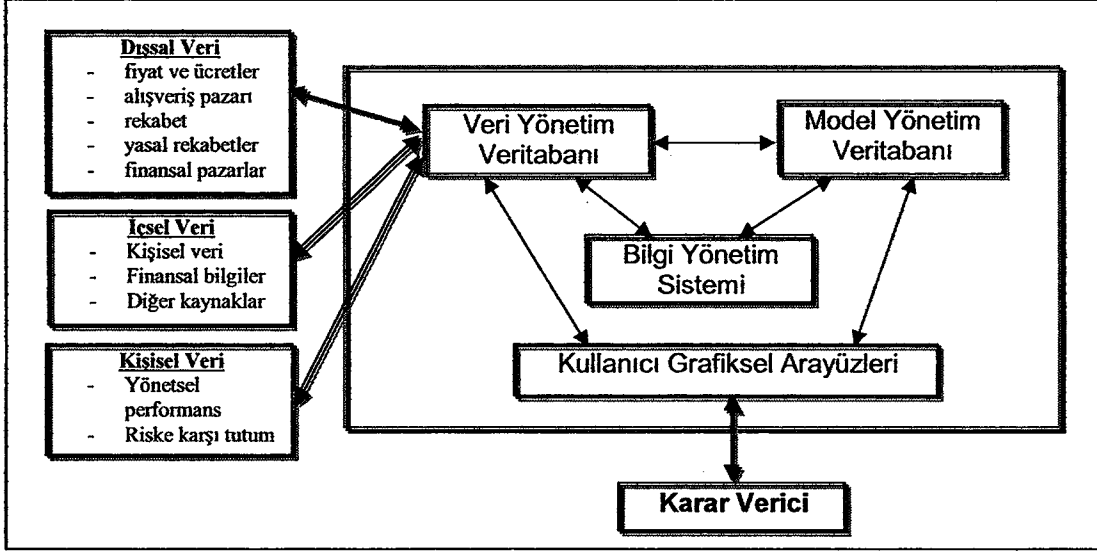
- KDS'ye kimin ihtiyacı varsa, o ihtiyaçlara cevap verebilecek bir KDS tasarlanmalıdır. Bu nedenle standart bir KDS yazılımı söz konusu olmamaktadır. Verilecek olan karar aynı olsa bile, oluşturulacak olan KDS'ler farklılık gösterebilmektedir.
- Karar verici, tasarlanacak olan KDS'den nasıl bir fayda beklemektedir? Analitik bir çözüm ve bu çözüm sonucunda belli alternatiflerin mi beklendiği yoksa belli bir sonucun mu beklendiği KDS'nin tasarımını etkilemektedir.
- Kullanıcı KDS'ye ne zaman ve hangi şartlar altında ihtiyaç duyacaktır? Bu soruya verilecek olan cevap KDS'nin ne kadar esnek olması gerektiğini de etkileyecektir.
- Karar verici KDS'yi karar sürecinin neresine yerleştirecektir? KDS'nin karar sürecinin hangi aşamasında olduğu veya olacağı, kullanıcıya sunacağı alternatifleri değiştirecektir.
- Karar verme sürecinde KDS'ye neden ihtiyaç duyulmaktadır ve tasarlanan KDS bu süreçte nasıl kullanılacaktır?

Bu ve bezeri sorular uygun ve kullanışlı bir KDS programında, tasarımını ve geliştirilmesini etkileyecektir. Soruların ve ihtiyaçların yanlış tanımlanması, oluşturulan KDS'nin etkinlik ve verimliliğini etkileyecektir. Bu açıdan bakıldığında, KDS tasarımı üç temel aşama sonucunda oluşturulmaktadır (Zachary 1988).

- Verilecek kararı, ilgili daha küçük parçalara ayırmak,
- Sorunu ve karar vericiyi analiz etme ve fonksiyonel seviyede karar destek sistemini tasarlamak,
- Fonksiyonel tasarımı ayrıntılandırma ve oluşturulan KDS'yi karar sürecine katmak.

Bu aşamalara göre, oluşturulacak olan KDS programının veri yönetimi (dışsal, içsel ve kişisel veri), problem çözümü için kullanılacak olan modellerin yönetimi, veri ve model yönetimini sağlayacak bilgi yönetimi, karar verici veya kullanıcının veri girişlerini KDS programına girebileceği ve uygun çözüm ve alternatifleri alabileceği kullanıcı arayüzü gibi çeşitli unsurlar söz konusudur (Şekil 3.3). Veri yönetiminin KDS içerisindeki görevi, firma içinden veya firma dışından özellik gösteren verileri almak, belli analizler yapmak amacıyla depolamak ve gerektiğinde KDS programının kullanımına sunmaktır. Model yönetim unsuru ise, problem çözümü ve analizi için kullanılacak olan modellerin belli bir düzen içerisinde muhafaza edilmesi, yapılacak analizlere uygun modellerin model havuzundan seçilmesi ve modelin problem çözümü için hazırlanması ile ilgilenmektedir. Veri yönetimi ve model yönetimi kendi aralarında etkileşim içerisinde olmak zorundadır. Bilgi yönetim unsuru ise, hem model yönetimi hem de veri yönetimi ile karşılıklı iletişim ve veri alış verişinde bulunmaktadır.

Grafiksel arayüz, gerekli verilerin (içsel, dışsal veya kişisel) programa aktarılması, gerektiğinde bu bilgilerin güncellemelerinin yapılması ile ilgilidir. Diğer bir fonksiyonu da, problem çözümü için model veri tabanından uygun modelin seçimini yapmak veya yeni bir model tanımlamaktır.



Şekil 3.3: Karar Destek Sisteminin Unsurları

Karar destek sistemleri bünyesinde, işletme verisi ve işlevsel matematiksel modelin ürettiği veri olmak üzere iki tip veri bulundurmaktadır. Matematiksel model, ham veriyi KDS'nin kullanımı için dönüştürmek amacıyla kullanılmaktadır.

İşletme verileri, belirli bir zaman diliminde veya belli bir zaman noktasında firmanın durumu ile ilgili verileri ifade etmektedir. Bu tip veriler, sadece operasyonel verilerin bir kopyasından ibaret değildir. İşletme verileri, operasyonel verilerin yeniden yapılandırılması ve bir araya toplanması ile üretilmektedir.

İşletme verileri üzerinde bazı matematiksel algoritmaların uygulanmasıyla farklı veriler elde edilebilir. Bu tip veriler işlenmiş veya tahmin edilmiş veri olarak adlandırılmaktadır. Doğrusal regresyon, doğrusal programlama ve zaman serileri analizi bu amaçla kullanılan algoritmalarından bazılarıdır.

KDS'ler belli amaçlara hizmet edebilmek amacıyla tasarlanır, geliştirilirler. Bu amaçla oluşturulan KDS'ler belli tiplerde sınıflandırılmaktadırlar. Bu sınıflandırmaları aşağıda kısaca açıklamakta fayda vardır.

3.5.2 Karar Destek Sistem Tip Sınıflandırması

Mevcut literatürde tanımlandığı gibi karar destek sistemlerinin model-yönelimli, iletişim-yönelimli, doküman-yönelimli, bilgi-yönelimli ve veri-yönelimli KDS olmak üzere beş tipi söz konusudur (Chowdhury ve Chan 2005; Behergava ve Power 2001).

İletişim-yönelimli (Communicaiton-driven) KDS: İletişim, işbirliği ve paylaşılan karar verme desteğini vurgulamaktadır. E-postalar, işitsel konferanslar, web konferansı, doküman paylaşımı, bilgisayar destekli yüz yüze toplantı yazılımları ve interaktif video, iletişim yönelimli KDS'lere örnek olarak verilmektedir. Bu tip KDS'ler iki veya daha fazla kişinin birbirleri ile iletişimde bulunabilmelerini, bilgi paylaşımlarını ve faaliyetlerini koordine etmelerini sağlamaktadır.

Model-yönelimli(Model-driven) KDS: Bu tip KDS'ler, öncelikle birbirinden ve çevreden bağımsızdırlar ve ne-eğer (what-if) analizin belirli tiplerini gerçekleştirmek amacıyla çeşitli modeller kullanmaktadırlar. Model-yönelimli KDS'ler, genellikle bir durumu analiz etmede kullanıcıya yardımcı olmak amacıyla son kullanıcıdan girdi verilerini talep etmektedirler. Geleneksel olarak, karar destek sitemleri model-yönelimli sistemlerdir (Kertsen 2000).

Veri-yönelimli (Data-driven) KDS: Belli kurallar oluşturmak amacıyla büyük veritabanlarında gizlenmiş kalıplar ve ilişkileri bulmak için istatistiksel veya diğer analitik araçları kullanarak faydalı enformasyonları bulma ve analiz etmede kullanıcılara yardımcı olan KDS'lerdir. İçsel veya dışsal veritabanı kaynaklarında bulunan zaman-serisel verilere ulaşım ve verileri işlemeyi vurgulamaktadır.

Doküman-yönelimli (document –driven) KDS: Bu tip KDS'ler, kullanıcılara ilgili dokümanlara kolay erişim ve analiz olanağı sağlamaktadır. Bu amaçla, çeşitli depolama ve süreçsel teknolojileri birleştirmektedirler.

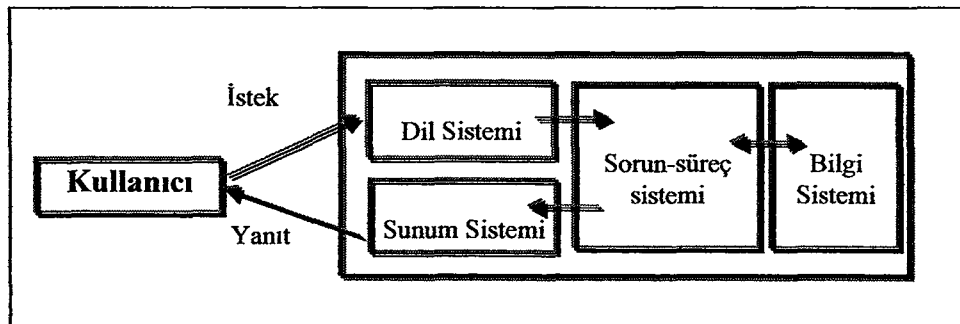
Bilgi-yönelimli (Knowledge-driven) KDS: Bu tip KDS'ler, daha fazla bilgilendirilmiş ve daha etkin kararlar vermeye izin veren planlar çerçevesinde organize edilen gerçekler, kurallar, enformasyon ve prosedürlerin bulunduğu ortamda uzman veya kural tabanlı sistemler olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda sayılan beş farklı tipteki KDS'ler benzer özellikteki bir yapıda tasarlanır ve geliştirilirler. Aşağıda genel olarak bir KDS'nin yapısı, tasarımı ve geliştirme süreci incelenecektir.

3.5.3 KDS'nin Yapısı, Tasarımı ve Geliştirilmesi

KDS geliştirme, planlama, analiz, tasarım ve uygulama gibi dört aşamanın bileşiminden oluşmaktadır. Planlama aşaması, karar destek sisteminin kuruluş amacını ifade etmektedir. Analiz aşamasında; ne?, ne zaman?, nerede? sorularına cevap aranmaktadır. Tasarım aşaması, sistemin nasıl çalışacağı ile ilgilidir. Son aşama olan uygulama aşaması ise; oluşturulan KDS sisteminin gerçek problemlere uygulanması olarak tanımlanmaktadır.

Karar destek sistemlerinin geliştirilebilmesi için belli bir yapı kurulmaktadır. Genel olarak Karar Destek Sistemlerinin yapısı dil sistemi (Language Systems – LS), Sunum sistemi (Presentation system – PS), Bilgi Sistemi (Knowledge System – KS) ve Problem – süreç sistemi (Problem-processing system – PPS) gibi dört farklı sistemin (Şekil 3.4) belli derecede etkileşimi ile çalışmaktadır. Dil sistemi, KDS'nin kabul edebileceği mesajların tümünden oluşmaktadır. Sunum sistemi, KDS'nin gönderdiği mesajlardan oluşmaktadır. Problem – süreç sistemi, KDS'nin aktif ve yazılım kısmından oluşmakta ve karar verme sürecinde problemin farkına varma ve problemi çözme kısmı ile ilgilenmektedir.



Şekil 3.4: Karar Destek Sistem Yapısı

- **Dil Sistemi:** KDS için girdi olabilecek tüm mesajlar dil sistemi olarak ifade edilmektedir.

- **Sunum Sistemi:** KDS'nin dış çevreye vereceği tüm mesajları ifade etmektedir.
- **Bilgi Sistemi:** Bilgi sistemi, KDS'nin analiz ve sentez yapma amacıyla dışarıdan aldığı ve depoladığı tüm veriler olarak tanımlanmaktadır.
- **Sorun-süreç Sistemi:** Bu sistem, problemi belli analizler yaparak çözen ve karar vericiye alternatifler sunan bir yazılım programını ifade etmektedir.

Geliştirilen bir KDS'nde, genel olarak hangi amaca hizmet edecektir? ve faydası ne olacaktır? gibi soruların cevaplanması gerekmektedir. Bu amaçla aşağıda KDS'lerin genel olarak amaç ve faydaları kısaca açıklanmaktadır.

3.5.4 Karar Destek Sistemlerinin Amaç ve Yararları

KDS'lerde amaç, karar verme yeterliliğinden çok karar verme etkinliğinin geliştirilmesine yöneliktir. KDS'nin diğer bir amacı, bazı yönetsel kuralları konumlandırmaktan çok, oluşturulan bu kuralları desteklemek yönündedir (Çil 2002).

Karar Destek Sistemleri belli amaçlar için belli ihtiyaçlara cevap verecek şekillerde tasarlanmakta ve geliştirilmektedir(Holsapple ve Whinston 1996).

- Karar vericiyi belli konularda desteklemek ve yardımcı olmak (supplementing the decision maker)
- Karar vericinin daha iyi bilgi, tasarım veya seçme yapabilmesinde yardımcı olmak.
- İlgili problemin çözümünü kolaylaştırmak.
- Yapısal olmayan kararlar için kullanıcıya yardımcı olmak.
- Kullanıcılara bilgi yönetimi konusunda destek sağlamak.

Etkin bir KDS, bu ve benzeri amaçları karşılarken kullanıcıya bazı faydalar sağlamaktadır. Karar Destek Sistemlerinin faydalarını tanımlarken, karar vericilere, verilen kararın türüne (kararın sezgisel olup olmadığı, kararların belli analizler sonucu verilip verilemediği, vb) ve karar verilecek durumlara dikkat etmek gerekmektedir. Bu

ve benzeri hususlar, herhangi KDS'nin her karar verici için aynı yararı sunamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, aynı KDS'ler bütün benzer karar verme durumlarında aynı faydaları sağlamamaktadır. KDS sisteminin genel yararları aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir.

- Karar verici KDS'yi kullanarak daha hızlı bilgi elde edebilmekte ve bilgiyi, belli şekilde karar vermesini kolaylaştıracak şekilde analiz edebilmektedir.
- KDS, çok karmaşık problemlerin çözümünü kolaylaştırarak karar vericiye gereksiz yere çok fazla zaman kaybettirmeden karar vermesinde yardımcı olmaktadır.
- Çok fazla bilgi içerisinde karar vermeye yardımcı olacak uygun verilerin çekilmesi ve kullanılması ile ilgili yardımda bulunur.
- Karar vericiye bir çok alternatifin avantaj ve dezavantajlarını kısa sürede karşılaştırma olanağı tanımaktadır. Böylece karar vericiye vereceği kararlarda zaman kazandırmaktadır.
- Karar vermede etkinlik ve hızlilik kazandırmaktadır.
- Bölümler ve çalışanlar arasındaki iletişimi daha etkin ve verimli hale getirmektedir.
- İyi tasarlanmış (problemin tam ve net olarak tanımlanması, buna uygun, doğru modelleme ve analiz tekniklerinin kullanılması ile) bir KDS, verilen karar kalitesini ve o kararın tutarlılığını sağlayabilecek yetenekte olmalıdır.
- KDS'ler olgusal ve inandırıcı tavsiyelerde bulunmaya muktedirler ve karar verici KDS kullanımı ile daha çabuk karar verme ve tavsiyelerde bulunabilmektedir.

Bu ve benzeri faydaları sunan KDS'ler bir çok farklı alana kolaylıkla uygulanabilmektedir. Aşağıda bu uygulama alanları kısaca incelenecektir.

3.5.5 KDS'nin Literatürde Uygulama Alanları

KDS, kullanıcılara belli kararları vermelerinde yardımcı olan bilgisayar tabanlı bir bilgi sistemini ifade etmektedir. Operasyonel, taktiksel veya stratejik karar verme

süreçlerinde karar vericilere yardımcı olan bir araç niteliğinde olan KDS aşağıdaki durumlarda kullanılmaktadır (Reymonds 1995).

- Problemin çok kompleks, el ile çözümünün çok zor olması ve düşünülmesi gereken çok fazla verinin söz konusu olduğu durumlarda,
- Değişkenlerdeki belli değişimlerin etkisini incelemek amacıyla duyarlılık analizlerinin yapılması gerektiği durumlarda,
- Ara sonuçlar karar verme sürecinin yönünü etkileyebileceğinden dolayı, karar verici ve sistem arasında etkileşime ihtiyaç duyulduğu durumlarda KDS kullanılmaktadır.

Eom ve diğerleri (1998) KDS'yi bilgisayar-tabanlı etkileşimli bir sistem olarak tanımlamaktadır. Bu açıdan KDS'nin sahip olduğu karakteristikler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Fagerholt 2004; Kamel 1999; Eom ve diğerleri 1998).

- Karar vericinin yerini almaktan çok karar vericileri desteklemek içindir,
- Problem çözümü için çok fazla veri ve model kullanılmaktadır,
- Yapısal, yarı yapısal ve yapısal olmayan görevlerin değişen dereceleriyle problemlere çözümler geliştirmeye çalışmaktadır,
- KDS'ler, karar süreçlerinin verimliliğinden çok sonucun etkinliği üzerinde durmaktadırlar.

Eom ve diğerleri (1998) tarafından KDS ile ilgili olarak 1988-1994 yılları arasında yazılmış yaklaşık 1600 makale incelenmiştir. Bu makaleler aşağıdaki kriterlere göre sızılmış ve aralarından 271 makale detaylı bir inceleme amacıyla seçilmiştir.

- Yarı yapısal veya yapısal olmayan karar tanımlamalarını içeren makaleler,
- Kullanıcı-bilgisayar arayüzünün tanımlandığı makaleler,
- Veri-diyalog-model sistemlerinin tanımlandığı makaleler

gibi üç temel sınıflandırma dikkate alınarak makale seçimi yapılmıştır.

KDS ile ilgili olarak incelenen 271 makalenin temel uygulama alanlarının %72'si ortak fonksiyonel yönetim alanında, %28'i ise diğer alanlarda yapılmıştır. Bu çalışma alanlarının detayları Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de ifade edilmiştir (Eom ve diğerleri 1998).

Tablo 3.1: KDS'nin Ortak fonksiyonel yönetim alan uygulamaları

Ortak fonksiyonel yönetim alanları			
Muhasebe	% 2	Finans	% 10
Uluslararası işletme	% 2	Pazarlama	% 13
Çok fonksiyonlu	% 3	Yönetim bilişim sistemleri	% 19
İnsan kaynakları	% 4	Üretim	% 41
Stratejik yönetim	% 6		

Tablo 3.2: KDS'nin diğer uygulama alanları

Diğer alanları			
Doğal Kaynaklar	% 4	Askeri	% 14
Karışık	% 8	Eğitim	% 19
Kentsel Planlama	% 10	Hükümet	% 33
Hastane ve Sağlık	% 12		

Üretim ve yönetim alanlarında yapılan uygulamalar (79 uygulama) talep planlaması, ana üretim planlaması, operasyon çizelgeleme ve kontrol, operasyon tasarımı, kapasite planlaması, stok planlaması ve satın alma ve arz gibi yedi alt başlıkta toplanmıştır (Eom ve diğerleri 1998).

KDS'lerin uygulama alanlarından biri de taşımacılık sektörüdür. Min ve Eom'a (1994) göre, KDS uygulamalarında hakim olan alanlar pazarlama ve lojistik uygulama alanlarıdır. Ortak fonksiyonel yönetim alanındaki tüm yazılı KDS uygulamalarının yaklaşık 1/3'ü pazarlama ve lojistik alanlarında yapılmıştır. Borne ve diğerlerinin (1994) yapmış oldukları bir çalışmada, iyi işlemeyen bir taşımacılık sistemi ve gerçek zamanlı (real-time) trafik düzenlemesi ile ilgilenmişlerdir. Bu makalede, Borne ve diğerleri (1994) trafik sistemindeki öngörülemez bozulmaların veya aksaklıkların algılanması, analiz edilmesi ve bozulmaları gerçek zamanlı olarak çözecek bir KDS'nin gerekliliğinin altını çizmişlerdir. Çözüm için çoklu-ajan (multi-agent) sistemini sunmuşlardır.

KDS ile ilgili olarak son yıllarda yapılan çalışmalar ve uygulama alanları çok farklılık göstermektedir. KDS, elektronik ticareti geliştirmede riskin değerlendirilmesi amacıyla Karar Destek Sistemleri (Ngai, ve Wat 2005), uygun model ve çözümler üretecek karar rehberliğini içeren sistemler sağlayan KDS (Barkhi ve diğerleri 2005), Konteyner sevkiyat operasyonları (Murty ve diğerleri 2005), tarımsal alanlarda su kaynaklarının yönetimi (Recio, Ibáñez ve Criado 2005), Ar-Ge proje seçimi (Tian ve diğerleri 2005), planlama sürecinde karar vericiye yol gösterici KDS ve uzman sistemlerini birleştiren akıllı KDS (Cheung, Leung ve Tam 2005), ürün tasarım seçimi (Besharati, Azarm ve Kanan 2005), öngörü (Fildes, Goodwin ve Lawrence 2005), ikame mal hattı tasarımında pazarlama yöneticilerine destek sunan KDS (Alexouda 2005), politik olayların analizi (Balnning ve Reinig 2005), dinamik ve kompleks yapılardaki elektronik ortamlarda karar verme (Vahidov ve Kertsen 2004), yatırım faaliyetlerinin değerlendirilmesi (Marquez ve Blanchar 2004), ilaç sektörü (Sen ve diğerleri 2004), portföy seçimi için entegre bir çerçeve sunumu (Helen ve diğerleri 2004), web tabanlı enformasyon sistemlerinin oluşturulması (Bharati ve Chaudhury 2002), deniz taşımacılığında filo çizelgelemesi (Fagerholt 2004), taşıt filo boyutunu planlamak amacıyla filo yöneticilerine yardımcı olmak (Hill, Mabert ve Montgomery 2003), uçak bakım personeli kapasite planlaması (Dijkstra 1991), risk analizi (Gherorghe ve Vamanu 2004) gibi çok farklı alan ve konular üzerinde uygulama alanı bulmuştur.

Yukarıda bahsedildiği gibi çok fazla uygulama alanı bulan KDS'ler uygulamada her zaman başarılı sonuçlar sunamamaktadır. KDS'lerin uygulamada başarısız olma nedenleri aşağıda bölümde kısaca belirtilmiştir.

3.5.6 KDS'nin Uygulamadaki Başarısızlık Nedenleri

KDS'ler karar vericilere çok fazla yardımcı olmalarına rağmen, uygulamada başarısızlıkla karşılaşabilmektedir. KDS'lerin Uygulamalarda başarısız olmaları farklı nedenlerden kaynaklanabilmektedir.

Çil'e (2002) göre KDS'lerin uygulamadaki başarılarının düşük olmasının nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir.

- KDS'ler ile kullanıcı arasında kopukluk olması. Bu kopukluk kullanıcıların sistemin gereksinimlerini yerine getirebilecek kadar bilgisayar bilgisine sahip olmamalarından kaynaklanmaktadır.
- KDS'ler fazla fonksiyonel ve esnek bir yapıya sahip olmayabilirler. Girdilerin belli şekillerde ve kısıtlar altında girilmesi zorunluluğu söz konusu olabilir. Modele yeni bir kısıt eklemek zor olabilir. KDS'lerin esnek ve fonksiyonel olmamaları, sistemin zamanla demode olmasına neden olmaktadır.
- Çoğu KDS'nin, elde edilmeye çalışılan çözüm için herhangi bir açıklama mekanizması bulunmamaktadır. Kullanıcı KDS'yi nasıl kullanacağı konusunda desteklenmeyebilir. Kullanıcının desteklenmemesi, geliştirilen destek programının başarılı sonuçlar elde etmesini etkilemektedir.

KDS'lerin uygulamadaki başarısızlıklarını azaltmak için geleneksel KDS sistemlerinden uzaklaşmakta farklı KDS farklı KDS tanımlamaları ve tasarımları geliştirilmektedir. Kullanım amaçlarının değiştirilmesi uygulamadaki başarısızlık düzeylerini azaltmaya yönelik olmaktadır. Bu açıdan, son zamanlarda konu –tabanlı KDS'ler geliştirilmektedir. Bir sonraki bölümde geleneksel ve konu tabanlı KDS'lerin karşılaştırması yapılacaktır.

3.5.7 Geleneksel ve Konu-Tabanlı KDS Karşılaştırması

Geleneksel KDS, karar vericilere verecekleri kararlarda yol göstererek yardımcı olabilecek kullanıcı arayüzüne sahip bilgisayar programları olarak tanımlanmaktadır. Geleneksel KDS yerini konu-tabanlı KDS'lere bırakmaktadır. Konu-tabanlı KDS, karar verilecek olan konuda kullanıcının program ile ve diğer karar grupları ile daha fazla etkileşim içerisinde bulunan ve kullanıcılara, stratejik karar alternatifleri sunabilen yazılım programları olarak tanımlanmaktadır. Bu iki KDS tipi arasındaki ilişki ve farklılıklar Tablo 3.3'de sunulmaktadır (Kamel 1999).

Bir çok farklı alanda kullanım olanağı bulan, kullanıcının amacına ve ihtiyacına göre tasarlanabilen, gerektiğinde kullanıcının yerine karar verebilen veya kullanıcıya bir çok farklı alternatifler sunabilen Karar Destek Sistemleri hemen hemen hayatımızın bir

parçası haline gelmektedir. Bu açıdan, tasarlanıp geliştirilen KDS'ler bireyselleşmektedir. Gerek kişi gerekse örgütler için bireysel, yalnızca onların ihtiyaçlarına cevap verecek KDS'ler tasarlanıp geliştirilebilmektedir. Etkinlik ve verimliliklerini artırmak için farklı bilim dallarının unsurlarını kullanmaktadırlar.

Tablo 3.3: Geleneksel ve Konu Tabanlı KDS Arasındaki Farklılıklar

	Geleneksel KDS	Konu-Tabanlı KDS
Odaklanma	- Karar verme - Tek karar - Karar verici - Alternatif üretme	- Konu - Etkileşimli konular grubu - Uyarı odaklaması - Ajanda ayarı
Tercih edilen alanlar	- Taktiksel ve operasyonel kararlar - Tek atımlık (one-shot) kararlar - Fonksiyonel uygulamalar - Bölümsel uygulamalar	- Stratejik kararlar - Yenilenen stratejik kararlar - Çapraz fonksiyonel uygulamalar - Aşırı örgütsel uygulamalar
Tasarım ve Dağıtım	- Bireysel karar vericiler için isteğe göre düzenleme sağlar - Kararlar arasında etkileşim sağlar - Prototip tasarımı söz konusudur - Tasarım yaklaşımı sitem olur	- Grup konuları çerçevesinde oybirliği sağlar - Birleştirme ve oybirliği sürecin hareketini sağlar - Prototip tasarım ve dağıtımı - Dağıtım yaklaşımı sistem olur
Görünen piston teknolojileri	- Uzman sistemler - Yapay zeka	- Fikir süreçselliği / ve ilişki yardımları - Çoklu ortam bağlantı platformları

Bu çalışma ile tasarlanıp geliştirilecek olan KDS programı, farklı veritabanları (havaalanı, uçuş ayağı ve filo özellikleri veritabanları), model veritabanı, simülasyon ve çözüm penceresinden oluşacaktır. Bu KDS'nin temel amacı, hava taşımacılığında filo ataması ile ilgili olan yöneticiye optimal filo ataması konusunda yardımcı olmaktır. Farklı senaryolar (kötü hava koşulları, uçak bozulmaları, çizelgelenmemiş bakım sürelerinin uzaması, yolcu gecikmeleri, havaalanı yoğunluğu veya hava sahası yoğunluğundan dolayı gelen veya giden uçuşların havaalanına inememesi veya kalkamaması) çerçevesinde simülasyon yaparak alternatif durumların ne olabileceğini kullanıcıya maliyet duyarlılık analizi ile birlikte sunacaktır. Bir sonraki bölümde havayolu operasyonları, karar destek sistemleri ve simülasyon arasındaki ilişki incelenecektir.

4. BÖLÜM: HAVAYOLU OPERASYONLARI VE SİMÜLASYON

Bu bölüm havayolu operasyonlarını yönetmek ve simüle etmek amacıyla geliştirilen karar destek sistemlerinden ikisini açıklamaya yöneliktir. Bu tez kapsamında geliştirilecek olan karar destek sistemi bu iki karar destek sisteminden farklı olarak filo atama problemlerini çözmeye yöneliktir. Çözüme ulaşırken akıllı ajanları simülasyon aracı olarak kullanmaktadır.

4.1 GİRİŞ

Havayolu firma karlılıklarını etkileyen en önemli unsurlardan biri havayolu operasyonlarıdır. Tayfa operasyonları, uçuş planlamaları, uçak performansı, gerçekleştirilen uçuşların izlenmesi, ilgili istasyonlardaki operasyonların izlenmesi ve yönetilmesi, hava tahmin istasyon bilgilerinin değerlendirilmesi gibi uçuş ile ilgili operasyonların tümü havayolu operasyonları olarak adlandırılmaktadır. Günlük veya haftalık olarak yapılan filo atamasının herhangi bir aksilik olmadan veya minimum düzeyde sorun ile (uçuş erteleme veya iptali) işletilmesi bu tip havayolu operasyonlarının iyi organize edilmesine ve yönetilmesine bağlı olmaktadır. Havayolu operasyonları ile filo atama ve tayfa eşleştirme problemleri karar destek sistemlerinde birleştirilmektedir. Karar destek sistemi, bazı havayolu olayları ile ilgili (örneğin kötü hava koşulları) kötü senaryoların simülasyonuna yönelik olarak geliştirilmektedir. Buradaki amaç, bu tür kötü senaryoların gerçekleşmesi durumunda önceden yapılmış olan filo atamasında herhangi bir sapma olup olmayacağının belirlenmesi ve eğer herhangi bir sapma gerçekleşirse, bu sapmanın nasıl düzeltileceğinin ve yeni durumun maliyetinin ne olacağının saptanmasıdır.

Bu bölümde, havayolu operasyonları ve havayolu operasyonlarının işletilmesine yönelik olarak geliştirilen bazı karar destek sistemleri açıklanacaktır.

4.2 Havayolu Operasyonları

Filo rotasyonu ve uçuş çizelgelemesi, havayolu operasyonlarındaki iki kritik faaliyet temsil etmektedir. Bu iki kritik faaliyet, uçakların verimli kullanımını, tarife oluşturmayı, uçak bakım ve tayfa çizelgelemelerini önemli derecede etkileyen

faktörlerdir. Uçuş çizelgeleme süreci, çizelge oluşturma ve çizelge değerlendirme olmak üzere birbirine bağımlı iki önemli aşamadan oluşmaktadır (Yan ve Tseng 2002).

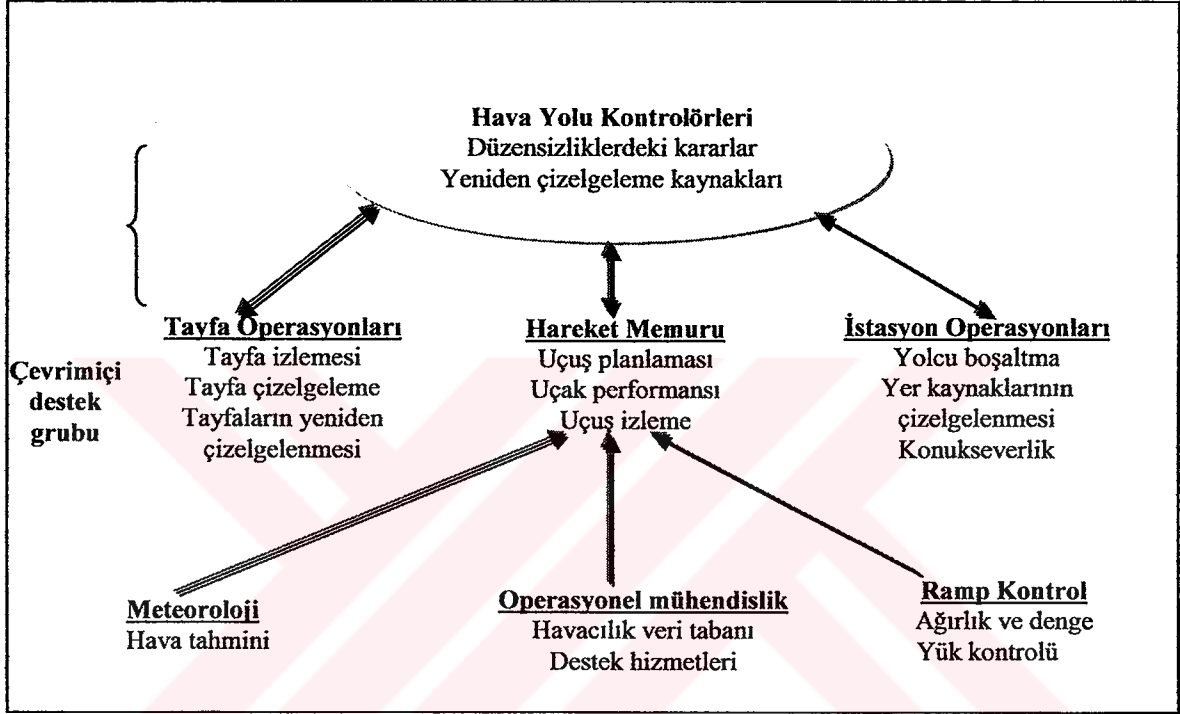
Çizelge oluşturma aşamasında, hedeflenen yolcu talebine, pazar payına ve havaalanlarının uygun zaman boşluklarına göre bir tarife taslağı oluşturulur. Bu aşamadan sonra taslak tarife, operasyonel olarak yapılabilirlik, maliyet ve performans açısından çizelge değerlendirme aşamasında süresince değerlendirilir. Bu değerlendirme aşamasındaki yapılabilirlik denetimleri filo rotasyonları, filo boyutu, tayfa çizelgeleme ve bakım ayarları ile ilgilidir. Bu aşamada elde edilen herhangi bir iyileşme taslak tarifeyi geliştirmek için çizelge oluşturma aşamasına geri bildirim olarak gönderilmektedir (Yan ve Tseng 2002). Filo çizelgeleme süreci, istenilen tarife elde edilinceye kadar iki aşama arasında tekrarlanır ve bir döngü oluşturulur.

Havayolu operasyonları genellikle stratejik ve taktiksel olmak üzere iki aşamada yürütülmektedir. Stratejik operasyonlar, filo çizelgeleme planlamasıyla ilgilenmektedir. Bu aşama, müşterilere sunulacak olan hizmetin veya hizmetlerin tasarlanmış çizelgesi (hizmet çizelgesi) olarak da adlandırılmaktadır. Bu tür çizelgeler, satış ve pazarlama bölümlerinin etkileşimli olarak çalışması sonucu oluşmaktadır. Operasyonların grubu, uçak rotasyonları ve tayfa rotasyonları gibi hava yolu kaynakları için nominal operasyonel çizelgeler (Nominal Operational Schedule - NOS) oluşturulmaktadır (Clarke 1995).

Operasyon grubunun taktik tarafı ise, çizelgeleme sürecinin son aşaması olan işletim çizelgelemesinden (executing scheduling) sorumludur. İşletim çizelgelemesi, günlük olarak işletim sistem kaynak çizelgelemelerinin yönetimini ifade etmektedir. İşletim çizelgelemesi aşağıdaki unsurları içermektedir:

- Önceden planlanmış olan çizelgelerin işletimi,
- Planlamalarda meydana gelen veya gelebilecek küçük operasyonel sapmalar için çizelgelerin güncellenmesi,
- Düzensiz operasyonlar için uçak çizelgelerinin yeniden yapılması.

Bütün havayolu operasyonlarının gerçekleştirilmesini denetleme görevi havayolu operasyon denetçileri tarafından yapılmaktadır. Havayolu operasyon denetleyicileri, bütün sistemin sahip olduğu kaynak (tayfa, uçak, uçuş, vb.) çizelgelemesinden, operasyonel durumların korumasından ve düzensiz operasyonların yönetiminden sorumludurlar. Nihai operasyonel kararlar bir çok operasyonel personel tarafından desteklenen bir veya daha çok operasyonel denetleyici tarafından alınmaktadır (Clarke 1995)



Şekil 4.1: Havayolu Operasyon Kontrol Merkezi (AOCC) için Bilgi Akış Diyagramı

Kaynak: Clarke, Michael, D. D., "Irregular Airline Operations: A Review of the State-of-the-practice in Airline Operations Control Centers." *Journal of Air Transportation Management*, 4, 1998.

Havayolu operasyonlarının yönetilmesi ve doğru kararların alınmasında, denetleyiciler aşağıda ifade edilen personel ve örgütsel bölümler ile etkileşimde bulunmaktadır (Şekil 4.1)

- Uçuş hareket memurları,
- Tayfa operasyonları (çizelgeleme, izleme ve yeniden çizelgeleme),
- İstasyon yöneticileri ve kapı koordinatörleri,

- Müşteri hizmet yöneticileri,
- Destek hizmet yöneticileri,
- Bakım ve mühendislik işlemleri,
- Meteoroloji (hava durumları) bölümü,
- Faaliyet mühendisliği / rotasyon planlamaları,
- Hava trafik kontrol koordinatörleri.

Normal operasyonların gerçekleştirilmesi süresince, uçuş hareket memurları, bir uçuşun başarılı bir şekilde sonlandırılmasından sorumludurlar. Düzensiz operasyonlar ve acil durumlarda, hareket memuru problemin operasyon denetçisini bilgilendirmektedir. Denetçilerin rolü, yukarıda ifade edilen durumlara benzer durumlarda ek koordinasyonu yönetmektir. Denetçi, düzensiz ve alışık olunmayan bir durum ile karşılaşrsa, gözden geçirilmiş operasyonel çizelgelemelerini kısa sürede tasarlamaktan sorumludur.

Birçok hava yolu şirketi, karlılık düzeyleri ve faaliyetlerini büyük oranda sonlandırmalarına etki edebilecek düzeli olmayan havayolu faaliyetleri nedeniyle sorunlar yaşayabilmektedirler. Gerçektende, bir çok havayolu taşıma firma zayıf olan finansal durumlarını güçlendirebilmek amacıyla, düzensiz havayolu faaliyetlerini çözmesi gereken temel problemlerden biri olarak görmektedirler. Şekil 4.1’de, havayolu operasyon kontrol merkezi (AOCC) için bilgi akış diyagramı ve havayolu kontrol merkezinin unsurları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

Düzensiz havayolu operasyonları problemini çözmeyi hedeflerken düşünülmesi zorunlu olan çeşitli unsurlar mevcuttur. Bu unsurlardan bazıları aşağıda belirtilmektedir.

- Havayolu ağının başından sonuna kadar yolculardan kaynaklanan gecikmeleri minimize etmek amacıyla uçak rotasyonları nasıl ayarlanmalıdır?
- Mevcut yolcu sayısı ve sahip olunan kaynaklar temelinde kar kaybını minimize edecek hangi uçuşlar iptal edilebilir.

- Uçuş tayfalarının optimum sayısı ile önerilen uçuş çizelgesini gerçekleştirmek olası mıdır?
- Düzensiz faaliyetlerin kötü sonuçlarında, tayfa rotasyonlarının yeniden geliştirilmesi ne derece kolaydır?
- Gözden geçirilmiş hava yolu çizelgesi, hava yolunun çizelgelenmiş tamir programını nasıl etkilemektedir.

Havayolu kontrol merkezi elemanlarının birinci görevi, verilen zaman periyodu içinde havayolunun stratejik çizelgesini yeniden oluşturmak, iptallerin ve gecikmelerin karşılık üzerindeki toplam etkisini ve operasyonel durumlardaki toplam değişimleri minimize etmektir. Bu tür düzensiz operasyonlardan en fazla etkilenen, filo atamaları ve takip eden uçak rotasyonlarıdır. Filo atamaları ve uçak rotasyonları stratejik aşamada genellikle birbirinden bağımsız olarak geliştirilmiş olsa da, gerçek zamanlı olarak yeniden uçuş çizelgeleme ihtiyacı, filo ataması ve rotasyonların birlikte ve aynı zamanda yapılmasına neden olmaktadır. Karar destek sisteminin bu aşamadaki faydası, havayolu ve potansiyel yolcular için gecikme ve / veya iptallerin azaltılmasında önemli yararlar sağlayabilmesidir.

Havayolu operasyonları çeşitli karar destek sistemleri yardımıyla simüle edilmektedir. Havayolu operasyonlarının simülasyonuna yönelik olarak geliştirilen karar destek sistemlerinden bazıları aşağıda sunulmaktadır.

4.2 HAVAYOLU OPERASYONLARININ SİMÜLASYONUNA YÖNELİK GELİŞTİRİLEN KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

Havayolu operasyonlarını simüle etmek amacıyla çeşitli programlar geliştirilmiştir. Bu karar destek sistemlerinden Rosenberger ve diğerleri (2000) tarafından geliştirilen *SimAir*, ve Rakshit (1996) tarafından geliştirilen *Gerçek Zamanlı Karar Destek Sistemi* incelenecektir.

4.2.1 SimAir²: Hava Yolu Operasyonları Stokastik Modeli

Havayolu operasyonları hemen hemen her zaman rassal olarak gerçekleşen olaylardır. Böyle olmasına rağmen, havayolu planlama modelleri uçuş operasyonlarında olabilecek aksaklıkları ilgili modele katmamaktadır. Havayolu firmaları, herhangi bir sorun ile karşılaşılmayacakmış düşüncesiyle operasyonlarını planlarlar. Rasgele gerçekleşen stokastik olaylara, planlanmış çizelgelemeyi bozan mekanik aksaklıklar ve kötü hava koşulları örnek olarak verilebilir. Bu tip mekanik aksaklıklar veya kötü hava koşulları, hava yolu firmasının planlanmış olan faaliyetlerini gerçekleştirmesini engellemekte ve faaliyetlerin yeniden çizelgelenmesine neden olmaktadır.

Operasyonları etkileyebilecek olan stokastik durumların dikkate alınmaması nedeniyle çizelgelemenin, planlanan ve gerçek performansı arasında çoğu kez dikkate değer bir farklılık oluşmaktadır. Planlama modellerinin dikkate almadığı stokastik durumlar, havayolu operasyonları için geliştirilen karar destek sistemlerinde dikkate alınmaktadır. Böylece, geliştirilen karar destek sistemleri, alternatif senaryoları simüle ederek karşılaştırmalı bir çözümü kullanıcının hizmetine sunmaktadırlar. Bu tip karar destek sistemlerinden biri SimAir (Hava Yolu Operasyonları Stokastik Modeli) olarak adlandırılmaktadır. SimAir, bir yurt içi hava yolu firmasının günlük faaliyetlerini simüle eden modüler bir hava yolu simülasyon programı olarak Rosenberger ve diğerleri (2000) tarafından geliştirilmiştir. SimAir'in birincil amacı; plan ve kurtarma (recovery) politikalarını değerlendirmektir. Kurtarma politikası, önceden belirlenmiş olan çizelgelemede bir sorun yaşanması durumunda çizelgenin minimum maliyetle yeniden düzenlenmesini ifade etmektedir. SimAir'in esnek olan yapısından dolayı kullanıcı, planın bozulmalara karşı olan duyarlılığını test edebilmekte ve farklı kurtarma (recovery) politikalarını birleştirebilmektedir.

Rosenberger ve diğerleri (2000), geçmiş deneyimlere dayanarak, yurt içi taşımacılığı yapan firmaların mevcut faaliyetlerini bir gün bile aksaklık olmaksızın gerçekleştiremediklerini ifade etmektedirler. Geleneksel hava yolu planlama modelleri,

² SimAir : A Stochastic Model of Airline Operations : Hava Yolu Operasyonları Stokastik Modeli

her bir uçuşun planlandığı gibi yapılacağını (planlanan saatte ve yerden kalkacağını ve planlanan yere ineceğini) varsaymaktadır. Bu senaryo nadir olarak gerçekleşmektedir.

Planlanan operasyon performansını değerlendirme aşamasında ortaya çıkan zorluklardan biri kurtarma (recovery) problemidir. Kurtarma (recovery) politikası, planlanan havayolu operasyonlarında meydana gelen herhangi bir bozulma durumunun nasıl düzeltileceği ile ilgilenmektedir. Havayolu operasyonlarında karşılaşılan herhangi bir bozulma sonucunda iki durum ortaya çıkmaktadır. Bu durumda çizelgelenmiş olan uçuşlar ya ertelenecek yada iptal edilecektir. Uçuşların iptal edilmesi veya ertelenmesi, uçak ve personelin yeniden çizelgelenmesini, filo atama ve tayfa eşleştirmelerinin yeniden yapılmasını gerektirmektedir. Uygulamada kullanılan farklı kurtarma (recovery) politikaları, farklı performans sonuçlarını ortaya çıkarmaktadır.

SimAir, çeşitli kurtarma (recovery) politikalarını uygulama yeteneğine sahip esnek modüller bir yapıya sahiptir. Simair birbirine tam olarak benzemeyen ve bütünleştirilebilen dışsal kurtarma algoritmalarının çalışmasına izin veren kurtarma araçlarının kullanımına izin veren bir yapıya sahiptir.

SimAir'in Yapısı

Havayolu operasyonlarının simülasyonu ile ilgili olarak geliştirilen SimAir simülasyon modeli; kontrolör modülü, kurtarma (Recovery) modülü ve olay geliştirme modülü olmak üzere birbirine bağlı üç farklı modüle sahiptir.

Kontrolör modülü: Bu modül, önceden çizelgelenmiş olan uçuşlarda aksaklık yaşanan zamanı saptamaktadır.

Kurtarma (Recovery) modülü: Bu modül, gözden geçirilmiş yeni bir çizelge önermektedir. Kontrolör ya gözden geçirilmiş olan çizelgeyi kabul edecek ya da farklı bir kurtarma önerisi talep edecektir.

Olay geliştirme modülü: Bu modül, rasgele gerçekleşen yer-zaman gecikmeleri, ek zaman gecikmeleri ve çizelgelenmemiş bakım gecikmelerini türetmektedir. Kullanıcı, alternatif gecikme dağılımlarını içeren olay geliştiriciyi kolayca güncelleyebilmektedir.

Yer ve blok zaman gecikmelerinin kaynağı bir çok etmeni birlikte içermektedir. Havaalanlarının yoğunluğu, bagaj yüklemeleri, yolcuların uçağa yerleştirilmeleri, hava durumu vb unsurlar bu etmenlere örnek olarak verilebilir. SimAir, uygulamada bu tip gecikmelerin kaynağını düşünmemektedir. Bu nedenle, bu unsurları bireysel olarak simüle etmenin bir anlamı yoktur.

SimAir havayolu operasyonlarını simüle ederken, blok zaman dağılımı, yer-zaman dağılımı (ground time) ve çizelgelenmemiş bakım dağılımı olmak üzere üç farklı dağılım kullanmaktadır. Bu dağılımlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Blok Zaman Dağılımı (Block-time Distribution)

SimAir, herhangi bir istasyona varış olayını çizelgelerken olay geliştiricisinden blok-zaman dağılımının bir realizasyonunu talep etmektedir. Blok zaman dağılımı, her bir uçuşun farklı karakteristik özelliklerine bağlıdır. Havaalanları günün belirli zamanlarında diğer zamanlara oranla çok daha fazla yoğun olmaktadır. Bu durum, blok-zaman dağılımını etkilemektedir. Blok-zaman, ayrılma istasyonu veya varış istasyonlarının yoğunluk durumlarına bağlı olarak değişmektedir.

Yer-Zaman Dağılımı (Ground Time Distribution)

Yer-zaman dağılımı, hava ve yolcu gecikme dağılımları gibi farklı dağılımların toplamından oluşmaktadır.

Çizelgelenmemiş Bakım Dağılımı (Scheduling maintenance Distribution)

Olay geliştiricisi, belirli bir uçağın çizelgelenmemiş bakımları için rasgele iki farklı değişken üretmektedir. Rasgele değişkenlerden biri, bakımın çizelgelemesinde gecikme olup olmadığını belirlemeye yöneliktir. Eğer herhangi bir gecikme varsa, daha sonra gecikmenin uzunluğunu belirleyen ikinci bir rassal değişken türetilmektedir. Bu her iki rassal değişken de çizelgelemede kullanılan uçağın özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

SimAir kontrolör modülü, uçuşlarda gerçekleşen aksamaları fark eder ve kurtarma (recovery) politikalarını uygulamaya sokar. Kontrolör, SimAir'in planlanmış uçuş çizelgesi üzerinde değişiklik yapmaz. Kontrolörün görevi, mevcut planda bir

bozulmanın olup olmadığını saptayarak kurtarma modülünü ne zaman çağıracağına karar vermektir. Kontrolör, planı gelen veriler ile günceller ve kurtarma modülünü çağırmaya devam edip etmemeye karar verir.

Olay geliştirme modülü kolayca güncellenebilen bir yapıda oluşturulmuştur. Böylece, farklı hava yollarına ait alternatif veri dağılımları kullanılabilir. SimAir, simülasyon saati ve zaman sıralı olay kuyruğu (time – sorted event queue) gibi iki önemli unsura sahiptir. Simülasyon saati, mevcut simülasyon zamanını ifade etmektedir. SimAir, bir hava alanına varışlar, havaalanından ayrılışlar ve tamir veya bakımı yapılmış uçak olayları gibi üç tip olayı kullanmaktadır.

SimAir, birinci olayı, son olayı ve olay kuyruğuna eklenen en son olayın izini takip edebilecek bir yapıda oluşturulmuştur. SimAir bu olaylar arasında geçen olaylarla pek ilgilenmez. SimAir, olay kuyruğundan bazı olayları silebilir. Olay kuyruğundan ilk olayı sildiğinde simülasyon saatini günceller. Olay kuyruğuna yeni bir olay yerleştirebilir. Örneğin, eğer ilk olay ayrılma olayı ise SimAir ayrılma zamanında simülasyon saatini güncelleyerek olay kuyruğuna ilgili uçuş ayağı için bir varış olayı ekleyebilir. Olayların kuyruktan silinmesinin amacı, mevcut çizelgelemeyi korumaktır.

Kurtarma politikaları, kötü hava koşullarından kaynaklanacak ve çizelgelememiş temel bakım problemleri gibi çizelge bozulmalarını desteklememektedir. SimAir’de kullanılan olasılık dağılımları için olay geliştiricinin altı aylık filo atama simülasyonunu yapabilmek amacıyla operasyonel verilerden elde edilen ampirik dağılımlar kullanılmaktadır.

4.2.2 Gerçek Zamanlı Karar Destek Sistemi (KDS)

Havayolu operasyonlarını kontrol etme ve yönetme amacına yönelik olarak geliştirilen karar destek sistemlerinden bir diğeri Rakshit tarafından geliştirmiştir. Bu karar destek sisteminin İstasyon Kontrol Merkezleri (SCCs) ve Operasyon Kontrol Merkezleri (OCCs) olmak üzere iki temel unsuru vardır. Bu iki merkezin amacı, yerel başarı performansları ve sistemin bütün etkinliği arasında bir denge kurmaktır. Buna ek olarak, bu merkezler belirli havaalanlarındaki kararları kesinleştirmek amacına yönelik çalışmaktadırlar. Operasyon Kontrol Merkezleri (OCCs), yaklaşık 100 denetleyici, iş

düzenleyicileri, operasyon yönlendiricileri ve sevk-komuta memurlarından oluşmaktadır. Bu merkezin, hava olayları tahmininden sorumlu meteoroloji grubu, uçuş yönlendirme personeli, uçuş-tayfa yönetim birimi, gelen tayfa yönetimi, sistem operasyonel kontrol bölümü gibi beş temel fonksiyonel birimi vardır (Rakshit, 1996).

Hava olayları tahmininden sorumlu meteoroloji grubu: Bu grup elemanları, kar fırtınası ve diğer kötü hava koşulları gibi havaalanlarına varış ve ayrılmaları engelleyebilecek potansiyel durumlar ile ilgilenmektedirler. Bölüm elemanları, bu tip olası olayların ne zaman meydana geleceği konusunda tahminler yapmaya çalışmaktadırlar.

Uçuş yönlendirme personeli: Bu bölümdeki personel, uçak rotasyonlarının, uçak, yolcu ve bagaj yüklemelerinin yapılmasından ve uçak yakıtının planlanmasından sorumludur. Bu bölümün etkin ve verimli çalışması olası gecikme veya erteleme durumlarını minimuma indirecektir.

Tayfa-uçuş yönetim birimi: Bu birim, planlanan her bir ayrılacak uçak için uygun durumda olan tayfanın o uçuşa atanacağını garanti etmek için çalışmaktadır. Diğer bir ifade ile bu birim tayfa eşleştirme (Crew Pairing) ile ilgilenmektedir.

Gelen tayfa yönetimi: Gelen yolcuların yönetimi ilgili bölümü ifade etmektedir.

Sistem operasyonel kontrol bölümü: Bu bölümde çalışanlar, bütün uçuş operasyonlarının doğru ve zamanında gerçekleştirilmesinden sorumludurlar. Bu grup, diğer grup ve bölümler ile koordineli olarak çalışmaktadır.

Gerçek zamanlı karar destek sistemi belli aşamaların takip edilmesiyle geliştirilmektedir. Birçok araştırma ve test yapıldıktan sonra “minimum maliyetli ağ akış modeli” geliştirilmiştir. Daha sonra, Busacker-Ceven algoritmasının değiştirilmiş şekline adapte edilmiştir. Kullanıcı ile yakın ilişki içinde çalışan ve birçok prototip yinelenmesinden geçen grafiksel kullanıcı arayüzü (graphical user interface – GUI) geliştirilmiştir. Sonuçta, modelin teknik detaylarını kullanıcıdan izole eden bir arayüz geliştirilmiştir. Bu arayüz, kullanıcıdan gerekli girdileri talep ederek her gün modelin sonuçlarını operasyonel dilde kullanıcılara sunmaktadır. Özel - tasarımı (custom-designed) alıcı-server (client-server) programlar ve ara yüzler, anabilgisayardan

güncellenmiş UNIX platformunda bir havayolu veritabanı geliştirerek gerçek-zamanlı veri problemleri çözülmektedir. Böylece, kullanıcı çok fazla detay ile uğraşmadan veya modeller içerisine gömülmeden karşılaşılan sorunlara gerçek zamanlı karar destek sistemi ile cevap verebilmektedir.

4.3 HAVAYOLU OPERASYONLARINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Daha öncede bahsedildiği gibi herhangi bir havayolu firmasının günlük faaliyetlerini sorunsuz olarak işletebildiği bir gün dahi söz konusu olmamaktadır. Havayolu operasyonlarında kötü hava koşulları, uçak arızalanmaları veya kazaları, uçak kaçırımları, vb gibi çeşitli sebeplerden dolayı sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı veya beklenmedik yolcu talep artışları sebebiyle uçuş gerçekleştirebilecek herhangi bir uçağın bulunmaması durumunda eksik uçak problemi söz konusu olmaktadır.

Belirli bir havaalanında planlanmış bütün ayrılma uçuşlarını gerçekleştirebilmek için yeterli sayıda uçak bulunmaması, uçak eksikliği (aircraft shortage) olarak tanımlanmaktadır. Uçak eksikliği, çeşitli nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Bu nedenlerden bazıları aşağıda ifade edilmektedir.

- *Havaalanına gelen uçuşlarda gecikme olması.* Bu durum, uçuşların gerçek varış zamanına kadar uçak eksikliğine neden olacaktır.
- *Havaalanına gelen uçuşların iptal edilmesi.* Bu havaalanından ayrılacak olan bir uçuşun iptalini gerektirecek kadar uzun bir süre uçak eksikliğine neden olacaktır.
- *Uçaklarda beklenmedik mekanik problemlerin ortaya çıkması.* Bu türde problemlerle karşılaşan bir uçağın bakımı yapılınca kadar, uçak eksikliğine neden olacaktır.

Teorik olarak, herhangi bir eksiklik veya aksaklık problemi, yedek uçak veya uçaklar ile giderilebilmektedir. Fakat, doğru zaman ve doğru yerde kullanıma uygun olabilecek yeterli sayıda yedek uçak bulundurma çok pahalı olmaktadır. Bu nedenle, bulundurulması gereken optimal yedek uçak sayısı hesaplanmalıdır.

Havayolu operasyonlarını çözmeye yönelik olarak geliştirilen karar destek sistemlerinden iki tanesi inceledikten sonra takip eden bölümde Analitik Hiyerarşi Süreci anlatılacaktır. Yeni bir uçuş ayağı belirleme veya yeni bir uçak alım kararının verilmesi Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak yapılacaktır.



5. BÖLÜM: ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS – AHP)

Çoklu karar verme tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) bu tez kapsamında yeni bir uçak alımı ve yeni bir uçuş ayağı belirlemek amacıyla kullanılacaktır. Bu iki problem geliştirilecek olan Karar Destek Sistemi içerisinde çözülmesi gereken alt problemlerden birini oluşturmaktadır. Bu sebeple Analitik Hiyerarşi Sürecinin incelenmesinde fayda vardır.

5.1 GİRİŞ

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karar verme sürecinde olan kişilerin nitel ve nicel faktörleri birleştirebilmelerine izin veren güçlü bir çözüm yöntemi niteliğindedir. AHP'nin temel yapısı, genel bir amaç, kriterler, olası alt kriterler ve amaç ile ilgili alternatiflerden oluşmaktadır. AHP, hiyerarşisinin oluşturulması, öğelerin göreceli üstünlüklerinin belirlenmesi ve sayısal tutarlılıkların hesaplanması gibi prensiplere bağlı olarak çalışmaktadır. Başka bir ifade ile AHP, hiyerarşi süreçlerinin sentezlenmesi olarak adlandırılmaktadır. Çünkü, AHP'nin temelinde çok fazla kompleks kararı içeren faktörlerin ölçülmesi ve sentezlenmesi yatmaktadır. AHP, “doğru” cevabı bulan büyüklü bir formülasyon veya modeli ifade etmemektedir (Forman ve Selly 2001)

Çoklu karar verme tekniklerinden biri olan AHP, karar kriteri seçmek için kullanılabilecek bir araç niteliğinde olması nedeni ile öznel veya maddi olmayan kriterleri içeren kompleks ve çok kriterli alternatifleri değerlendirebilmek amacıyla kullanılabilecek genel karar verme aracını ifade etmektedir. AHP, karar vericilerin karar değişkenlerini etkileyen tutumların göreceli önemi ile ilgili tercihleri ile ilgili olarak karar vericilere yardımcı olabilecek bir araç niteliğindedir. AHP, karar hiyerarşisinin her düzeyinde elemanlarının önceliklerini belirlemekte ve karar alternatiflerinin bütün olarak önceliklerini saptayabilmek için sentez yapmaktadır (Kivijarvi ve Tuominen 1999).

AHP'nin yapısından dolayı hiyerarşi içerisinde yer alan herhangi bir faktörde meydana gelen bir değişme diğer faktörleri etkileyebilmektedir. Karar problemlerinin AHP

şeklinde oluşturulması ile kararı etkileyebilecek bir çok veri türü bir araya getirilmektedir.

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), derecelendirmeyi ve kullanılan metotların karşılaştırılmasını birlikte yapmaktadır. Karar vermenin her aşamasındaki politika geliştiricileri, karşılaştıkları karmaşık problemleri analiz etmek ve çözmek amacıyla çoklu kriter analizini kullanmaktadırlar. Çoklu kriter yaklaşımı, karar vericilerin kararlarını ve problemlerin çözümünü kolaylaştırmak amacıyla kullanılan bir araç niteliğindedir (Saaty 1994).

Karar vericiler, belirli bir karar verebilmek amacıyla konu ile ilgili çeşitli bilgi (knowledge), enformasyon (information) ve teknik bilgiye ihtiyaç duymaktadır(Saaty 1994). Bu bilgi veya enformasyona aşağıdaki gibi dört aşama sonucunda ulaşılmaktadır.

- Karar verilecek olan problem hakkında detaylı bilgiler,
- Amaç ve politikalar,
- Sonuçları etkileyebilecek nedenler,
- Zaman ufku, senaryo ve kısıtlar, vb.

Zahedi'ye(1986) göre yukarıda sunulan dört aşamadan en önemlisi birinci aşamadır. Hiyerarşinin en üst kısmında kar maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu veya en iyi alternatifi seçmek gibi en geniş anlamlı karar-amaç fonksiyonu yer almaktadır. Hiyerarşinin daha alt düzeylerinde, verilecek olan kararın kalitesine katkı sağlayabilecek alt amaçlar bulunmaktadır. Bu alt amaç ve özellikler bir veya daha fazla basamaktan oluşabilir. Bu durum problemin karmaşıklığına bağlı olarak değişmektedir. Hiyerarşinin en alt basamağında ise, karar alternatifleri veya çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Başka bir ifade ile hiyerarşinin en alt basamağında yer alan seçeneklerden birisinin seçimi, en üst basamakta yer alan genel amacın gerçekleşmesine en fazla katkı yapan seçenek olmaktadır.

Herhangi bir karar hiyerarşisi oluşturma sürecinde, hiyerarşi içerisindeki basamak sayısı problemin ne kadar karmaşık olduğunu göstermektedir. Problemin karmaşıklığı çözüm için yapılması gereken analiz derecesini etkilemektedir.

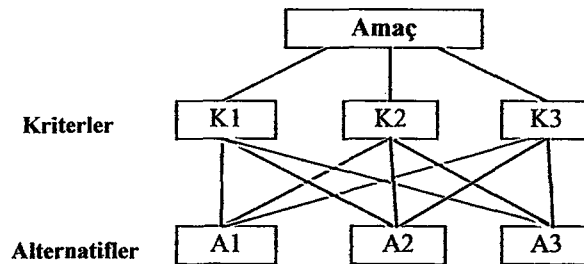
İkinci aşamada hiyerarşi içinde birbiri ile ilişkili olan elamanların ikili karşılaştırma matrisleri hesaplanmaktadır. Bu matris, matris elamanlarının birbirlerine göre göreceli üstünlüklerini göstermektedir. Oluşturulan matrisin köşegen (diagonal) elemanlarının değeri bire eşittir. Girdi matrisinin sağ tarafında kalan üçgenin elemanları, sol taraftaki üçgen elemanların tersi olarak hesaplanmaktadır (Şekil 5.1). Bu nedenle ikili karşılaştırma verileri matris elemanların yalnızca yarısı için toplanmaktadır.

s: seçenek	s1	s2	s3
s1	1	a	b
s2	1/a	1	c
s3	1/b	1/c	1

Şekil 5.1: Girdi matrisi

5.2 AHP'deki KARAR VERME SÜRECİ

Karar verme süreç seçeneklerinin çok fazla olması, varılmak istenen hedeflerin artması ve değişen çevresel koşullar altında karar verme sürecinin karmaşık hale gelmesi, karar vericiyi farklı karar verme yaklaşımlarının araştırmasına yöneltmektedir. Bu yaklaşımlardan birisi olan AHP, çok kriterli karar vermeyi gerektiren problem çözümleri için kullanılmaktadır. Bu yöntemde çok sayıda seçenek birden fazla kriter açısından değerlendirilerek en iyi alternatif bulunmaya çalışılmaktadır.



Şekil 5.2: AHP'nin Genel Hiyerarşik Yapısı

Şekil 5.2.'de AHP'nin basit yapısı gösterilmektedir. Karar verme bu yapıya göre gerçekleşmektedir. Bu nedenle karar verme sürecinde hiyerarşi içerisindeki tüm elemanların ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Karar verme sürecinde, kararı etkileyebilecek olan etmenler benzer etki ve sonuçlar açısından kümelenmekte veya gruplandırılmaktadır. Zahedi (1986) karar-problem çözümünde AHP kullanımının dört aşamadan oluştuğunu ifade etmektedir.

- Birbiri ile ilişkisi olan karar elemanları belirli bir hiyerarşi içinde karar problemlerine bölünerek bir karar hiyerarşisi oluşturulmaktadır.
- Karar elemanlarının ikili olarak karşılaştırılmalarıyla girdi verileri toplanmaktadır.
- Karar elemanlarının birbirlerine karşı göreceli ağırlıklarını tahmin etmek için öz değerler (eigenvalue) yöntemi kullanılmaktadır.
- Karar alternatifleri veya çıktıları olarak sonuca ulaşabilmek amacıyla karar elemanları toplanmaktadır.

Karar verme süreci aşağıda ifade edilen aşamaların takip edilmesini gerektirmektedir (Saaty 1994).

- Problem, onu oluşturan temel elemanlarına göre küçük parçalara ayrıştırılır. Bu elemanların arasındaki ilişkiler ortaya konularak problem tanımlanır.
- Problemi oluşturan alt parçalar arasındaki ilişki hiyerarşi içerisine yerleştirilir.
- Bilgi, duygu ve hisleri yansıtan yargılar saptanır.
- Elde edilen yargılar anlamlı sayılarla ifade edilir.
- Dördüncü aşamada her bir unsura atanan sayısal değerler kullanılarak hiyerarşinin alt parçalarının birbirine göre öncelikleri belirlenir.
- Toplam çıktıyı belirlemek amacıyla beşinci aşamanın sonuçları sentezlenir.

- Her bir alt parça için atanan sayısal değerler değiştirilerek son karara ilişkin duyarlılık analizi yapılır.

AHP, önce temel problemin parçalanması ve daha sonra bütün alt problem çözümlerinin bir sonuç elde etmek amacıyla birleştirilmesini ifade etmektedir. AHP yöntemi algılama, duygu, yargı ve deneyimleri belli bir çerçeve içerisinde organize ederek karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. AHP, küçük boyutlu problemler ile ilgili bazı yargılar oluşturabilmek amacıyla doğuştan gelen insan yeteneği temeline dayandırılmaktadır (Saaty 1994).

AHP ile problem çözümü yapmak için temelde 3 ilke kullanılmaktadır. Bunlar; ayrıştırma, alt problemlerin karşılaştırılmalı değerlendirilmesi ve alternatif ve kriterlerin önceliklerinin belirlenmesidir (Saaty 1984).

Ayrıştırma ilkesi, problemlerin alt problemlere ayrıştırılmasını ifade etmektedir. Karşılaştırma ilkesi, ikinci veya üçüncü düzeydeki unsurların birinci düzeydeki genel hedef (veya amaç) karşısındaki göreceli önemlerinin ikili karşılaştırmalarını yapabilmek amacıyla bir matris oluşturmayı ifade etmektedir. Önceliklerin sentez edilmesi ilkesi ise, hiyerarşinin en alt düzeyinde elde edilen önceliklerden hareketle problemin bütünü için ya da hiyerarşide en üst düzeyde yer alan genel bir kriter için öncelik belirlenmesini ifade etmektedir (Saat 1999).

Bu ilkeleri yerine getirebilmek için analitik hiyerarşi sürecinin sahip olduğu aksiyomların bilinmesi gerekmektedir.

5.3 ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ

Analitik Hiyerarşi Sürecini daha iyi kavrayabilmek için AHP'nin sahip olduğu aksiyomların, AHP hiyerarşi tasarımının ve yapısının nasıl oluşturulduğunun ve ikili karşılaştırma matrislerinin açıklanmasında fayda vardır.

5.3.1 AHP'nin Aksiyomları

Saaty (1986) ve Vargas'a (1990) göre, AHP'nin temeli şu dört aksiyoma dayanmaktadır:

Aksiyom I - Ters Karşılaştırma (Reciprocal Comparision): Karar verici, problem parçalarının karşılaştırmalarını yaparak bunların arasında bir tercih yapabilmelidir. Örneğin A B'nin x katı kadar tercih ediliyorsa, B'nin A'ya tercih edilmesi $1/x$ katı kadar olacaktır.

Aksiyom II - Homojenlik (Homogeneity): Bezer özelliklere sahip unsurlar ancak birbirleri ile karşılaştırılabilir. Karşılaştırması yapılan unsurlar homojen değilse, bu unsurlar öncelikle gruplandırmaya tabi tutulduktan sonra aynı grup elemanları birbiri ile karşılaştırılır.

Aksiyom III - Bağımsızlık (Independence): Bu aksiyom, belirlenen kriterlerin diğer alternatiflerin sahip olduğu özelliklerden bağımsız olmasını ifade etmektedir.

Aksiyom IV - Beklentiler (Expectations): Hedeflenen sonuç için gelecek ile ilgili beklentilerle uyum gösterecek kriter ve alternatifler belirli bir hiyerarşi içerisinde bulunmalıdır.

Bu aksiyomlar çerçevesinde problemler için bir çözüm hiyerarşisi oluşturulur. Hiyerarşi tasarımı ve yapısının oluşturulması problem çözümü için önemli adımları oluşturmaktadır.

5.3.2 Hiyerarşi Tasarımı ve Yapısını Oluşturma

Sonuç üzerinde önemli derecede etkili olabilecek karar vermenin en yaratıcı parçası şüphesiz problemin modellenmesidir. Bu açıdan problem ve problemi etkileyen tüm etmenlerin tanımlanması ve modele katılması gerekmektedir. AHP modelinde, problem bir hiyerarşiler bütünü olarak ele alınmakta ve o şekilde yapılandırılmaktadır. Bu süreci önceliklendirme (process of prioritization) süreci takip etmektedir.

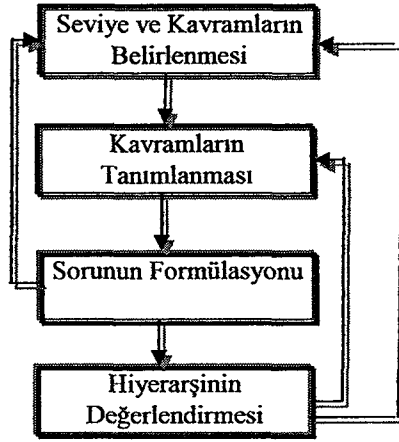
Saaty (1990; 1994) oluşturulacak olan hiyerarşinin detaylı tasarımı için bazı ayrıntılı öneriler sunmaktadır. Bu önerilerden bazıları aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

- Ana amacın (overall goal) tanımlanması. Örneğin, “Bu aşama ile neye ulaşılmaya çalışılıyor?” veya “Cevabı aranan temel soru nedir?” gibi sorulara cevap aranmaktadır.

- Alt amaçların belirlenmesi. Eğer ilgili ise, kararı etkileyen zaman ufkunun belirlenmesi de bu aşamada yapılmaktadır.
- Her ana ve alt amaçları başarabilmek için ilgili kriterlerin belirlenmesi.
- Her bir kriteri oluşturan alt kriterlerin belirlenmesi. Kriterler ve alt kriterlerin yüksek, orta ve düşük gibi sözsel ifadeler olarak veya parametrik değer aralıkları olarak ifade edilmesi gerekmektedir.
- İlgili oyuncuların belirlenmesi,
- Oyuncu amaçlarının belirlenmesi.
- Oyuncu politikalarının belirlenmesi.
- Opsiyon ve çıktıların belirlenmesi.
- Evet-hayır kararları için, en çok tercih edilen çıktı alınmaktadır. Elde edilen faydalar ve ilgili tercih olmaksızın karar verme maliyetleri karşılaştırılır.
- Marjinal analiz kullanılarak fayda – maliyet analizinin yapılması.

AHP hiyerarşi tasarımında, baskın hiyerarşi ile ilgilenilmesi nedeniyle hangi alternatifin en yüksek kazancı sağladığı, maliyetler açısından hangi alternatifin en fazla maliyete neden olduğu ve riskler açısından hangi alternatifin riskli olduğu araştırılmaktadır (Saaty 1990; 1994).

AHP uygulamasının tasarım (Şekil 5.3) aşaması birbirini takip etmeyen fakat birbiri ile ilişkili olan dört süreci içermektedir (Vargas 1990).



Şekil 5.3: Hiyerarşi Tasarımı

Kaynak: Vargas, Luis G., "An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications." *European Journal of Operational Research*, 48, 1990.

Hiyerarşinin en üst düzeyinde genel bir amaç veya hedef bulunur. Hiyerarşinin her düzeyinde bulunan öğeler aynı önem derecesinde olmalıdır. Eğer aynı seviyedeki öğelerin önem dereceleri birbirinden çok farklı ise öğelerin bulundukları düzeylerin farklılaştırılması gerekmektedir.

Hiyerarşi tasarımının birinci aşaması, hiyerarşi seviyelerinin ve kavramların belirlenmesinden oluşmaktadır. İkinci aşamada ise belirlenen kavramların tanımlanması yapılmaktadır. Sonraki aşmalarda, tanımlanan kavramlar çerçevesinde problem formüle edilerek hiyerarşinin değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Herhangi bir problemin çözümü için tasarlanan ve geliştirilen analitik hiyerarşi süreci içerisinde her düzeyde bulunan öğelerin birbirine göre önem derecelerinin hesaplanması ve sürecin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunu yapabilmek için her bir öğenin ikili karşılaştırmalarına bakmak gerekmektedir. İkili karşılaştırma oranlarının nasıl hesaplanacağı ve hiyerarşinin nasıl değerlendirileceği aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

5.3.3 İkili Karşılaştırma Oranları ve Hiyerarşi Değerlendirmesi

Karşılaştırmalar yoluyla hesaplanan göreceli ağırlıklar, A gibi bir matrisin her bir n satırı için elde edilmektedir (Zahedi 1986; Saaty 1990). Diğer bir ifade ile, A ve W diye iki farklı matris oluşturulmaktadır. A matrisinin her bir satırı hesaplanan göreceli ağırlıkları

göstermektedir. A ve W matrisleri aşağıda gösterilmektedir. n ise, matris elemanlarının sayısını göstermektedir.

$$A.W = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix}_{n \times n} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}_{n \times 1} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}_{n \times 1} \quad A.W = n.W$$

$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$: gerçek görelî ağırlıkların vektörü

n öz değeri ifade ederken W matrisi, A matrisinin sağ öz vektörünü göstermektedir. AHP yöntemi, değerlendiricinin W vektörünü bilmediğini varsaymaktadır. Bu nedenle, A matrisinin görelî ikili ağırlıkları doğru olarak türetilmemektedir. Bu nedenle, gözlemlenmiş A matrisi bazı tutarsızlıklar içermektedir. W matrisinin tahmini $\hat{W}$ olarak gösterilmektedir.

$\hat{A}\hat{W} = \lambda_{\max} \hat{W}$ formülü yardımı ile hesaplanmaktadır ve bu formülasyonda yer alan parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$\hat{A}$: ikili karşılaştırmaların gözlemlenen matrisi

$\lambda_{\max}$: $\hat{A}$ 'nın en büyük özdeğeri ve $\lambda_{\max}$, n 'nin tahmini değeri olarak düşünülmektedir.

$$\lambda_{\max} \geq n$$

$\hat{W}$: $\hat{A}$ matrisinin sağ öz vektörünü ifade etmekte ve W 'nin tahminini oluşturmaktadır.

Hesaplanan $\lambda_{\max}$ değerinin n 'e yaklaşması durumunda $\hat{A}$ 'nın gözlemlenmiş değerlerinin tutarlı olduğu söylenebilir. Bu özellik, AHP uygulamalarında tutarlılık indeksinin (Consistency Index - CI) ve Tutarlılık Oranının (Consistency Ratio- CR) oluşturulmasında yol gösterici olmaktadır.

Tutarlılık İndeksi (CI) = $(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ ve

Tutarlılık Oranı (CR) = $(CI / ACI) * 100$ formülleri yardımıyla bulunmaktadır.

Burada ACI (Average index of randomly generated weights), rassal olarak türetilmiş olan ağırlıkların ortalama indeksini göstermektedir. Öncelik vektörü ikili karşılaştırma matrisinin öz vektörüdür. Özvektörler yardımı ile her bir kriterin göreceli üstünlükleri hesaplanabilmektedir. Hesaplanan bu göreceli önemler yardımıyla toplam göreceli üstünlükler hesaplanmaktadır. Kural olarak, eğer CR'nin değeri %10'a eşit veya altında ise bu durum kabul edilebilir olarak düşünülmektedir. Aksi durumda, ikili karşılaştırmalardaki tutarsızlıkları çözmek için $\hat{A}$ 'nın yeniden gözlemlenmesi gerektiği tavsiye edilmektedir (Zahedi 1986; Saaty 1990; Ulucan 2004).

AHP'de kullanılan "özdeğer" metodu, ikili karşılaştırmalar matrisinden göreceli ağırlıkların (W) tahmin edilmesinde kullanılan bir metottur.

Bir hiyerarşinin değerlendirmesinde araç olarak ikili karşılaştırmalar matrisi kullanılır. Hiyerarşinin değerlendirmesi sonucunda her ögenin ikili karşılaştırmasında, bir üst düzeyde bulunan kritere göre hangi ögenin daha önemli olduğu ortaya konulmaktadır.

Her bir ögenin birbirine göre önem derecelerinin belirlenmesinde Tablo 5.1'de gösterilen ölçeklerden birinden faydalanılmaktadır (Saaty 1986; 1990; 1994; 2001). AHP uygulamasında, ikili karşılaştırmaların değerlerini saptamak için kullanılacak ölçeğin belirlenmesi en önemli hususlardan biridir. İkili karşılaştırmalar sonucunda elde edilecek olan değerler bu ölçek yardımıyla elde edilmektedir.

Tablo 5.1: Temel Ölçek Unsurları

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki faaliyet de amaca eşit düzeyde katkıda bulunmaktadır
2	Zayıf	 eşit ve ılımlı arası
3	Birinin diğerine karşı daha ılımlı derecede önemli olması	Deneyim ve tecrübe, bir faaliyetin diğerine göre biraz daha fazla tercih sebebi olmaktadır
4	İlimgil artı (moderate plus)	 ılımlı ve güçlü arası
5	Zorunlu ve güçlü önem	Deneyim ve tecrübe, bir faaliyeti diğerine göre daha güçlü bir şekilde tercih ettirmektedir.
6	Güçlü artı (strong plus)	 güçlü ve çok güçlü arası
7	Önem derecesi çok güçlü	Faaliyet çok güçlü bir şekilde tercih edilir ve bu faaliyetin baskın durumu uygulamada görülmektedir.

8	Çok çok güçlü	çok güçlü ve en uç arası
9	Aşırı derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede baskın olduğunu tasdik eder.
2,4,6,8	Orta değerler	Yukarıda listelenen yargılar arasındaki değerleri ifade eder.
rasyonellik	Ölçekten kaynaklanan değerler	Eğer tutarlılık matris yayılımı için n sayısal değerleri elde edilerek güçlendirilebiliyorsa değerler rasyoneldir.
Terslik (reciprocal)	i faaliyeti ile j faaliyeti karşılaştırıldığında yukarıdaki değerlerden birine sahipse, j faaliyeti i faaliyeti ile karşılaştırıldığında bu değer tersini alacaktır.	Eğer x y'nin 5 katı ise, yani, $x=5y$, $y=\frac{1}{5}x$ olur.
1.1 – 1.9	Düğümlenmiş faaliyetler için	Faaliyetlerin göreceli önemleri birbirine çok yakın olduğunda ve neredeyse birbirinden ayrıştırlamadığında kullanılır. 1.3 orta ve 1.9 en uç noktayı göstermektedir.

5.3.4 AHP'nin Literatürde Uygulama Alanları

AHP, çok farklı konularda uygulama alanı bulan çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Ekonomi ve planlama - üretim yönetimi (Shahraray 1990), ekonomi ve planlama (Emshoff ve Saaty 1982), enerji politikaları ve kaynak tahsisi (Saaty 1979; Gholamnezhad ve Saaty 1982), sağlık sektörü (Saaty 1981), malzeme elde bulundurma ve satın alma kararlarının verilmesi (Vargas ve Saaty 1981), esnek imalat sistemleri (Arbel ve Seidman 1984), otomotik imalat sistemleri (Weber 1993), proje seçimi (Johnson ve Hihn 1980), pazarlama (Wind ve Saaty 1980), veritabanı yönetim sistem seçimi (Zahadi 1985), ofis sistemlerinin otomasyonu (Seidmann ve Arbel 1983), bütçe tahsisi (Sinuany ve Stern 1984; Arbel 1983), portföy seçimi (Saaty, Rogers ve Pell 1980), eğitim (Saaty ve Rogers 1976), sosyoloji (Saaty ve Wong 1983), rekabet altında davranış (Saaty ve Vergas 1980), metodoloji geliştirme (Mitroff, Emshoff ve Kilman 1979), ulaştırma (Saaty 1977), lisans üstü çalışma için öğrenci seçimi (Bahurmoz 2003) pazarlama stratejilerinin belirlenmesi (Wind ve Saaty 1980), bilgi güvenlik yatırımlarının değerlendirilmesi (Bodin, Gordon ve Loeb 2005) vb gibi bir çok farklı alanlarda uygulanmaktadır.

Uygulama alanları her ne kadar birbirinden bağımsız görünse de ortak olan nokta, bütün olayların bir karar problemi içermesidir. Çalışmaların tamamında, belli bir olayın değerlendirmesi, seçimi veya tahmini için karar alternatiflerinin belli bir düzeyde derecelendirilmesi söz konusudur. Bütün olaylar, karar problemlerinde önemli rol oynayan sayısalardan daha çok sayısal olmayan verilere, unsurlara sahip olmaktadır.

Uygulama alanlarında karar alternatiflerinin sayısı sınırlıdır. Hiyerarşi içerisindeki aşamaların sayısı 3 ile 7 arasındadır (Zahedi 1986). Karar alternatiflerinin çok fazla olması, ikili karşılaştırma sayısını artıracığından çözüm matris boyutunun aşırı büyümesine neden olmaktadır. Eğer bu iki faktör artarsa girdi veri ihtiyacı hızlı bir şekilde katlanarak artmaktadır. Literatürde AHP uygulamalarının bir kısmı simülasyon yardımı ile yapılmaktadır. Bu sebeple bir sonraki başlıkta AHP'nin simülasyon ile olan ilgisi açıklanacaktır.

5.3.5 AHP ve Simülasyon

Kivijarvi ve Tuominen'e (1999) göre, çoğu simülasyon dili ve diğer bazı süreç modelleme sistemleri çoklu ve çelişkili amaçlar ve bu amaçlar arasındaki ilişkilerin incelenmesini destekleyebilecek yapıdadır. Kivijarvi ve Tuominen (1999) çalışmalarında simülasyonun, bu iki değişken seti arasındaki ilişkiler dikkate alınarak girdi değişkenlerinin değerlerinden hesaplanan zaman-ilişkili çıktılar sayesinde gerçekleşen yapay bir metoda başvurulduğunu ifade etmişlerdir.

AHP, bir problemin çözümünde özellikle problem yapısını analiz edebilecek güçlü bir araç olabilmektedir. Fakat AHP, problemin sahip olduğu dinamikleri analiz etme yeteneğine sahip değildir.

Uygulamalarda çoğu karar durumları, amaç yapısını ve problem dinamiklerini birlikte içermektedir. Dinamik durum, bir davranış ve sistemin veya problemin dikkate değer olan amacını analiz etmede AHP ve simülasyonun birleştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Kivijarvi ve Tuominen (1999), tanımlayıcı bir örnek olarak bir üretim – dağılım (production-distribution) olayında yatırım kararlarının analizi ile ilgilenmişlerdir. Yeni yöntem ve teknolojiler (Internet), firmaların kendi operasyonlarını ve müşterileri ile olan ilişkilerini yönetmede farklı değişimler meydana getirebilmektedir. Üretim-dağılım sistemleri, bu değişimlerin merkezinde yer alan en önemli unsurlardan biridir. Firmaların yüksek kalite ve etkinlik ihtiyacı, yeni lojistik sistemlerin özellikleri olmaktadır. Lojistik sistemler, malzeme yönetimi ile başlayan ve pazarlama faaliyeti ile biten firma içerisindeki bir çok fonksiyon ile çeşitli düzeylerde ilişkilere sahip bir

unsurdur. Diğer bir ifade ile lojistik sistemler, firma operasyonları üzerinde direk ve endirek bir çok etkiye sahip olabilmektedirler.

Simülasyon bakış açısından AHP, simülasyon modelinin geliştirilmesini yönlendiren bir metot durumundadır. Kivijarvi ve Tuominen'e (1999) göre AHP, yalnızca öznel değerlendirme temellerine dayalıdır. Üretim-dağılım sistemleri, çapraz fonksiyonel (cross-functional) sistemleri ifade etmektedir. Bu tip sistemler firma içerisindeki bütün önemli fonksiyonel bölümleri işin başından sonuna kadar olan süreçte etkileyebilmektedirler.

Bu bölümde çoklu karar verme tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci açıklandı. Bu yöntem, yeni bir uçak alımı veya yeni bir uçuş ayağı belirleme kararını vermek için kullanılmaktadır. Diğer bir alt problem ise havaalanlarında meydana gelen beklenmedik olayların maliyetler üzerindeki etkisinin ne olacağına yöneliktir. Bu problemin çözümüne yönelik simülasyon Akıllık Ajanlar kullanılarak yapılmaktadır. Bu simülasyon çalışmasını daha iyi kavrayabilmek için bir sonraki bölümde Akıllı Ajanlar kavramı açıklanacaktır.

6. BÖLÜM: AKILLI AJANLAR

Bu tez çalışması ile geliştirilecek olan Karar Destek Sistemi hava taşımacılığında karşılaşılan bazı problemleri çözmeye yönelik olacaktır. Bu problemlerden birisi filo atama problemidir. Örnek uygulamanın çözümü sonucunda elde edilen optimum filo atamasının beklenmedik olaylara karşı duyarlılığı Java tabanlı RePast akıllı ajan yazılım kütüphanesi kullanılarak simüle edilmektedir. Bu nedenle akıllı ajanların ayrıntılı olarak incelenmesi fayda sağlayacaktır.

6.1 GİRİŞ

Ajanlar belli bir sistem çerçevesinde çalışan unsurlar olarak tanımlanmaktadır. Jennings'e (2000) göre sistem, her biri belirli bir yapı ve hiyerarşi içinde birbiri ile iletişim ve etkileşim içerisinde olan bir çok alt sistemden oluşmaktadır. Alt sistemler arasındaki etkileşimleri ve bu sistemlerin kendi içlerindeki etkileşimlerini birbirinden ayırt etmek gerekmektedir. Alt sistemler, birbirlerinden hemen hemen bağımsızlarmış gibi hareket ederler. Fakat, her zaman bu türde davranışlar göstermezler. Çünkü bazı durumlarda, birbirleri ile etkileşim içerisinde bulunmaları bazı zorunluluklardan kaynaklanabilmektedir. Her ne kadar bu etkileşimlerin yoğunluğu tasarım aşamasında tahmin edilebilirse de, bu işlemler basit olarak yapılamamaktadır.

Ajan kavramı “aktif ajan” ve “pasif ajan” olmak üzere farklı iki kavram ile tanımlanabilmektedir. Bir ajanın aktif olması, o ajanın içinde bulunduğu durumu ne zaman güncellemesi gerektiğine ve ne zaman eyleme geçeceğine kendi kendine karar vermesini ifade etmektedir. Fakat pasif ajanların belli işlemleri yapabilmeleri için bazı dışsal varlıklar tarafından uyarılmaları gerekmektedir. Pasif ajanlar, dışsal bir uyarıcı olmadan kendi kendilerine karar verme ve eylemde bulunma yeteneğine sahip değildirler (Jennings 2000).

“Ajan” ve “akıllı ajan” kavramlarını tanımlamadan önce ajan teorisi, ajan mimarisi ve ajan dilleri gibi üç kavramın açıklanmasında fayda vardır. Bu üç kavram akıllı ajanlar kavramı içerisinde bulunan önemli unsurlardır.

Wooldridge ve Jennings (2000) ajan teorisi, ajan mimarisi ve ajan dil kavramlarını aşağıdaki gibi tanımlamışlardır.

- **Ajan Teorisi:** Bu kısım, “Ajan nedir?” sorusu ile ajanların nasıl sunulacağı ve ajanların birbiri ile karşılaştırılabilmesini sağlayan matematiksel formülasyonların kullanımı ile ilgilenmektedir.
- **Ajan Mimarisi:** Ajan mimarisi, ajanların yazılım mühendislik modelleri olarak düşünülmektedir. Bu alandaki araştırmacılar, öncelikle ajan teorisyenleri tarafından belirlenen özellikleri tatmin edebilecek yazılım ve donanım sistemlerinin tasarım problemleri ile ilgilenmektedirler.
- **Ajan Dilleri:** Ajan dili, ajanlarla deney ve programlama yapmak amacıyla kullanılan yazılım sistemlerini ifade etmektedir. Bu diller, teorisyenler tarafından belirtilen prensipleri şekillendirebilme özelliklerine sahiptirler.

Ajan, Kozma (1998) tarafından çevresi ile özerk şekilde etkileşimde bulunabilen her hangi bir şey olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım her ne kadar geniş bir tanım olarak düşünülse de en uygun tanım olarak görülmektedir.

Jennings’e (2000) göre ajanların aşağıdaki gibi bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- Ajanlar, iyi tanımlanmış sınırlar ve arayüzler ile ayrıntılı bir şekilde tanımlanabilen problemlerin çözüm unsurları olarak düşünülmektedir.
- Ajanlar, belirli bir çevre içerisinde konumlandırılırlar. Belli algılayıcılar (kamera, termometre, vb.) yardımıyla çevrelerinde meydana gelen olayların farkına varırlar ve ilgili girdileri çevrelerinden seçerek alırlar. Elde ettikleri verileri analiz ederek hareketlendiriciler (effector - motor, teker vb.) yardımıyla çevre üzerinde çeşitli eylemlerde bulunurlar (Şekil 6.1).
- Ajanlar, ulaşmaları gereken belirli amaçlara ve hedeflere sahiptirler ve bu amaçları gerçekleştirmek amacıyla tasarlanırlar.
- Ajanlar, kendi içsel durumlarını ve davranışlarını kontrol edebilecek şekilde tasarlanırlar.
- Ajanlar, etkisel ve tepkisel olarak hareket ederler.

- Ajanlar birbirleri ve çevreleri ile etkileşim içerisinde bulunurlar.

Kendi kendinin farkında olma (self-awareness), ilgili ajanın kontrol kompleksliğini azaltmaktadır. Çünkü, sistemin kontrol teknik bilgisi merkezileştirilmiş bir veri havuzundan alınmakta ve bu bilgi her bir bireysel problemin çözüm süreci içerisine yerleştirilmektedir (Jennings 2000). Hangi eylemin gerçekleştirilmesi gerektiği hakkındaki kararlar özerk varlıklar için geliştirilmektedir. Bu nedenle özerk varlıkların seçim kararı, problem çözümüne odaklanmaktadır. Bu seçim ajanın, gerçek ilişkilerine cevap vermek için diğer ajan veya unsurlarla bağlantı kurarak devreye girmesini sağlamaktadır. Ajanlar diğer ajanlarla etkileşimde bulunabilmek için onlarla benzer çevreyi kullanmalıdırlar veya ortak bir çevreden bilgi almalıdırlar veya aynı çevre üzerinde eylemde bulunmalıdırlar. Bu açıdan ajanların çevreleri ile olan ilişkilerinin incelenmesi gerekmektedir.

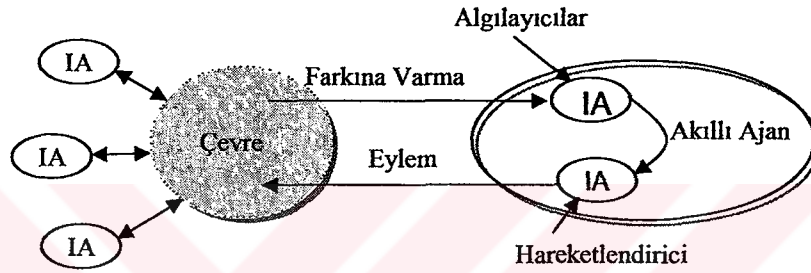
Bu bağlamda ajanlar ve çevre ilişkisi, akıllı ajanlar, ajan tipi sınıflandırmalar, akıllı ajanların genel özellikleri, geleneksel ve ajan teknolojisi tabanlı yazılım farklılıkları, çoklu ajanlar ve ajanların başlıca uygulama alanları takip eden başlıklar altında açıklanacaktır.

6.2 AJANLAR VE ÇEVRE İLİŞKİSİ

Bir ajan, algılayıcıları yardımıyla çevresinin farkına varmakta ve çevresini algılayabilmektedir. Ajan, çevresinden aldığı bilgilere göre çevreye içsel olarak cevap verip vermemeye karar verir ve hareketlendiriciler aracılığıyla çevresini etkileyebilecek eylemlerde bulunur. Ajanlar ile çevre arasındaki etkileşim ve bu etkileşimin gerçekleşmesine yardımcı olan araçlar Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Çevrenin özellikleri, çevre ile ajan arasındaki bilgi alış verişini ve ajanın çevreye vereceği tepkiyi ve ajanın çevre ile olan iletişimini etkilemektedir. Bu açıdan, çevrenin sahip olduğu özelliklerin bilinmesi, ajan ve çevre arasındaki ilişkileri tanımlamakta yardımcı olacaktır.

Kozma (1998), Russell ve Norvig’e (2003) göre çevrenin beş karakteristik özelliği söz konusudur. Bu özellikler aşağıda kısaca özetlenmektedir.

- **Çevrenin Erişilebilir veya Erişilemez Olması:** Erişilebilir çevre, ajanın çevre içinden ihtiyaç duyduğu tüm bilgiyi alabilmesini ifade etmektedir. Erişilemez çevre ise; ajanın ihtiyaç duyduğu tüm bilgiyi çevreden almasına izin vermemektedir. Çok fazla kompleks bir çevre erişilemez çevre olarak nitelenmektedir.
- **Çevrenin Belirli veya Belirsiz Olması:** Belirli çevrede ajanlar, çevre üzerinde hangi eylemin etkili olabileceğini bilirken, belirli olmayan çevrede hangi eylemin etkili olabileceğini bilememektedirler. Kompleksliği yüksek olan çevreler belirsiz çevre olarak nitelendirilmektedir.



Şekil.6.1: Çevre ve Akıllı Ajanlar Arasındaki İlişki

Kaynak: YASKAWA, S. ve A. SAKATA. "The Application of Intelligent Agent Technology to Simulation." *Mathematical and Computer Modeling*, 37, 2003.

- **Düzensiz (Episodic) ve Düzenli (nonepisodic) Çevre:** Düzensiz çevrede ajan davranışları tamamen birbirinden ayırt edilememektedir. Bu nedenle bir ajanın sergilediği eylemler ile farklı senaryolara bağlı olarak çalışan ajan performansı arasındaki bağ kesikli (discrete) olayların sayısına bağlı olarak değişmektedir.
- **Kesikli (Discrete) veya Sürekli (Continuously) Çevre:** Eğer sabitlenmiş ve sınırlı sayıda eylem ve anlayış varsa, çevre kesiklidir. Satranç oyunu kesikli bir çevre iken taksi kullanmak sürekli çevreyi ifade etmektedir.
- **Durağan (Static) ve Dinamik (Dynamic) Çevre:** Ajanın eylemleri sonucu üretilen veriler hariç tutulduğunda çevre değişmeden kalıyorsa durağan çevreden bahsedilebilir. Dinamik çevrede ise, ajanın kontrolü dışında çevrede değişiklik olabilmektedir. Dinamik çevre, çok kompleks bir ajan tasarımı gerektirmektedir.

6.3 AKILLI AJANLAR VE AJAN TİPİ SINIFLANDIRMALARI

Akıllı ajanlar kavramı, yapay zeka (**artificial intelligence**) konusunda yeni bir kavramdır. Yapay zekalardaki “ajan” örneği tepkisellik, özerklik, içsel olarak güdülenmiş varlıklar ve tamamıyla istekleri karşılanamayan çevre kavramları temeline dayanmaktadır. Bir ajan, amaçlarına ulaşmak için ilgili verilerle kendi kendine karar verebilecek şekilde özerk bir yapıya sahiptir. Özerklik, bağımsız bir birim veya genişletilmiş zaman periyodu içerisinde bir eleman gibi hareket edebilme yeteneğine sahip olabilmeyi ifade etmektedir (Roozmond 2001).

Yapay zeka uygulama alanında en son geliştirilen kavramlardan biri ajan-tabanlı hesaplama kavramıdır (Desouza 2001). Akıllı ajanların bazı tanımlamaları aşağıda yapılmaktadır.

- Akıllı ajan, kullanıcılara yardım eden ve kendi hesaplarına eylemde bulunabilen bir yazılım programıdır. Ajanlar, kullanıcıları tarafından belirlenen ve önceden tanımlanmış görevleri yapmaktadırlar. Ajanlar, tekrarlanan görevleri otomatikleştirebilirler, önceden olan olayları hatırlayabilirler, kompleks verileri özetleyebilirler ve gerektiğinde kullanıcılarına tavsiyelerde bulunabilirler.
- Akıllı ajanlar sürekli olarak şu üç fonksiyonu yerine getirmeye çalışmaktadırlar:
 - Çevredeki dinamik koşulları algılama,
 - Çevredeki koşulları etkilemek için eylemde bulunma,
 - Algıladıklarını yorumlayabilme amacıyla akıl yürütebilme.

Yapay zekanın yanında akıllı ajanların, problemleri gerçek zamanlı olarak çözme, bilgiyi anlama, amaç ve niyetlere sahip olma durumları arasında fark ortaya koyma, genelleştirmek, yeni kavramları ve/veya fikirleri birleştirebilmek için bazı ek özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bir akıllı ajanın problem çözüm parçası basit kural tabanlı bir sistem olabilir fakat, aynı zamanda bir sinir ağı, bir uzman sistem veya sadece bazı bulanık (fuzzy) kurallar olabilir.

Akıllı ajanlar, sıklıkla diğer ajanlar ve süreçler tarafından nüfuz edilen bir çevrede sürekli ve özerk bir şekilde faaliyet gösteren bir yazılım varlığı olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifade ile akıllı ajanlar, uzun ömürlü ve dış çevre veya kullanıcılardan bağımsız olarak çalışmaktadırlar. Özerk olarak çalışan ideal ajanlar, basit muhakeme yeteneği gerektiren deneyimlerinden bazı şeyler öğrenebilmek için yeterince akıllı olmalıdırlar. Aynı zamanda akıllı bir ajan tepkisel olmalıdır. Dışsal çevreyi görüntüleyebilmeli ve herhangi bir değişikliğe tatmin edici şekilde cevap verebilmelidir (Serenko ve Detlor 2004).

Son olarak bir ajan, insanlarla ve diğer yazılım ajanları ile işbirliğinde ve iletişim içerisinde bulunabilmelidir. Bir akıllı ajan, diğer operasyonel özellikteki davranışlarını anlamak için kullanıcı profilinin yapılabirliği olarak tanımlanan kişiselleştirilmiş tutumlar ve tercihleri içermelidir.

Genel olarak, literatürde ajan kavramları yazılım ajanları, zeki (akıllı) ajanlar, robot bilim ajanları (robotic agents) ve kavramsal ajanlar olmak üzere dört farklı kategoride sınıflandırılmaktadır (Fan ve Yen 2004). Bu çalışma ile geliştirilecek olan Karar Destek Sisteminde RePast akıllı ajan yazılım kütüphanesi kullanılacaktır. Bu nedenle yazılım ajanları ve akıllı ajan kavramları diğerlerine oranla daha geniş olarak incelenecektir. Diğer kategori ajanları kısaca açıklanacaktır.

Yazılım ajanları, mesaj gönderme yoluyla diğer ajanlarla iletişim kurabilen yazılım unsurları olarak tanımlanmaktadır. Akıllı ajanlar çoğu kez *mentalistic* anlamlar kullanılarak belirlenir, tasarlanır ve inşa edilirler. Kasıtlı (intentional) sistemler olarak akıllı ajanlar, modülleştirilmiş (modularized) akılları temsil etmek amacıyla yapay zeka alanında geniş ölçüde kullanım alanı bulmaktadırlar. Bu alandaki araştırmacılar bazı ajanların detaylı şekilde tanımlanmış özellikleri yardımıyla sosyal olabilme yeteneklerinin bireysel akılları yardımı ile nasıl inşa edilebileceği ile ilgilenmektedirler. Buna ek olarak akıllı ajanların, problemleri işbirliğiyle ve etkili bir şekilde çözebilmeleri için kendi aralarında nasıl bir koalisyon oluşturmaları gerektiği ile ilgilenmektedirler.

Bir robot tipi ajan, fiziksel algılamaya, manipölasyon yapmaya ve eldeki bilgiyi işlemeye muktedir olan özerk bir algılayıcı-motor-kontrol sistemi olarak tanımlanmaktadır.

Kavramsal ajanlar (cognitive agents), kavramsal bilimin bazı kavramlarını kullanarak geliştirilen akıllı, insan benzeri (human-like) sistemlerdir. Bu tip ajanlar, insan düşüncesi ve akıl yürütmesinin (reasoning) sayısal modellemelerini temsil etmektedir. Kavramsal ajanlar çevreden bilgiyi algırlar, insanlardan elde etmiş oldukları bilgiyi kullanarak içinde bulundukları durumları değerlendirirler ve içsel veya dışsal çevreyi etkilemek amacıyla çeşitli eylemlerde bulunurlar. Soar, ACT-R, iGEN ve Cougaar gibi ajanlar kavramsal ajanlara örnek olarak verilebilir.

Bir başka gruplandırma kullanım amacına göre yapılmaktadır. Akıllı ajanlar, kullanım amacına göre kullanıcı ajanları ve hizmet ajanları olmak üzere iki grupta toplanmaktadır (Serenko ve Detlor 2004).

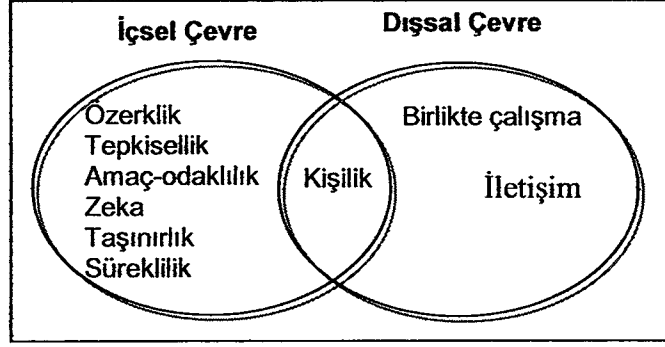
Kullanıcı ajanlar, insanların tercih ve isteklerini bilen ve kendi hesaplarına eylemde bulunabilen ajanlardır. Bu tip ajanlar kullanıcılar ile etkileşimde bulunarak onlara kararlarında yardımcı olmaktadır. Ajanların bu tip kategorilerine, kişisel haber editörleri, elektronik alış veriş dükkanları ve web yol göstericileri örnek olarak verilebilir.

Kullanıcı ajanların tersine, hizmet ajanları karmaşık bir bilgisayar sisteminin farklı parçaları ile işbirliğine giren ve arka planda çok genel görevleri yerine getiren akıllı ajanlar olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcılar, genellikle bu tip bir ajanın varlığından habersizlerdir. Bu gruba, web indeksleme, bilgi elde etme ve “telefon ağ yük dengeleme” ajanları örnek olarak verilebilir.

Farklı kategorilerde tanımlanabilen bir çok akıllı ajanın belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Akıllı ajanların sahip oldukları özellikler aşağıda kısaca açıklanmaktadır. Akıllı ajanlar Russell ve Norvig (2003) tarafından kısaca aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$\text{Akıllı Ajanlar} = \text{Algı} + \text{Akıl Yürütme} + \text{Harekete Geçirme}$$

Akıllı ajanların sınıflandırılmaları bu üç temel unsura göre belirlenmektedir. Akıllı ajanların içsel, dışsal ve ortak bazı özellikleri aşağıdaki (Şekil 6.2) gibi gösterilmektedir (Desouza 2001).



Şekil 6.2: Ajanların içsel, dışsal ve ortak özellikleri

Kaynak: DESOUZA, Kevin C. "Intelligent Agents for Competitive Intelligence: Survey of Applications." *Competitive Intelligence Review*, Vol. 12(4), 2001.

Akıllı ajan kavramı "zayıf ajan" ve "güçlü ajan" olarak ele alınmaktadır. Şekil 6.2'de ifade edilen özelliklerden bir kısmı "zayıf ajan" kavramını ve bazı özellikler de "güçlü ajan" kavramını tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır (Wooldridge ve Jennings 1995). Zayıf ajan ve güçlü ajan tanımlamaları ajanların sahip olduğu özelliklere göre farklılık göstermektedir. Zayıf ve güçlü formdaki ajan kavramları ajanların sahip oldukları özelliklere göre tanımlanmaktadır.

6.3.1 Zayıf Ajan Kavramı

Ajan, donanım veya daha geniş olarak yazılım tabanlı bir bilgisayar sistemi olarak ve aşağıdaki özellikler çerçevesinde tanımlanmaktadır. Akıllı ajan ise, belirlenmiş olan amaçları gerçekleştirmek için esnek ve özerk eylemler gerçekleştirebilme yeteneğine sahip bir bilgisayar yazılım programını ifade etmektedir. Buradaki esneklikten kasıt, sistemin özerk, tepkisel, sosyal yeteneğe sahip ve etkisel özellikte olmasını ifade etmektedir (Jennings ve Wooldridge 1995). Zayıf ajan kavramı akıllı ajanların esnekliğini ifade etmektedir. Zayıf ajan kavramı özerklik, tepkisellik, sosyal yetenek ve etkisel olmak üzere dört temel özelliğe sahiptir. Bu özellikler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

a. Özerklik (Autonomy): Ajanlar, insan veya diğer bazı unsurların direk araya girmelerine gerek kalmaksızın işlem yapabilen yazılımlardır. İçsel bölgelerinde veya durumlarında ve çevreye karşı verdikleri tepkiler üzerinde kendi kontrollerine sahiptirler.

Kendisine yüklenen görevleri bağımsız olarak gerçekleştirmeye muktedir olmak bir ajanın en önemli özelliği olmaktadır. Bu özellik, bir “ajan yazılım teknolojisi” hesaplama tekniklerinden farklılaştırmaktadır. Geleneksel bilgisayar uygulamaları, kullanıcı talimatları aracılığı ile yalnızca direk manipülasyona izin veren yazılımlardır. Halbuki, bir ajan kendi davranışı üzerinde belli kontrole ve gerekli kaynaklara sahip olmak zorundadır. Problem çözücüsü olarak ajanlar, problem çözümünde kontrolü kendi inisiyatiflerinde tutmaktadırlar.

Ajanlar, basitleştirilmiş kompleks sistem mühendisliği yardımı ile etkileşimde bulunacakları alan ve doğa hakkında karar verebilmektedirler. Ajanların kendi aralarındaki etkileşimler, tahmin edilemeyen zamanlarda tahmin edilemeyen sebepler için tahmin edilemeyen unsurlar arasında gerçekleşmektedir. Diğer bir ifade ile, her şey belirsizdir. Ajanlar, özellikle tahmin edilemeyen gereksinimler ile ilgilenmek amacıyla tasarlanmışlardır. Ajanlar, uygun olduğu herhangi bir zamanda yardım amacıyla ihtiyaçlarını spontane olarak geliştirmektedirler (Yaskawa ve Sakata 2003). Örneğin, Internette bir arama motorunu kullanırken, kullanıcı erişmek istediği veya ihtiyaç duyduğu ne ise, onu sisteme girer. Arama ajanı girdiyi alır ve kullanıcının yardımı olmaksızın binlerce web sayfasında ilgili bilgiyi araştırır ve en uygun sonuçları kullanıcının hizmetine sunar.

Özerk ajanlar kural-tabanlı (rule-based), amaç-tabanlı (goal-based) veya fayda-tabanlı (utility-based) olabilirler. Kural-tabanlı ajanlar ELIZA (psikiyatrik destek için geliştirilen ilk akıllı ajan yazılımı) gibi güçlü-kodlanmış kurallar kümesine göre işlem göstermektedirler. Amaç-tabanlı ajanlar, mevcut durumlarından amaç durumuna yönelik bir yol planlayarak amaçlarına ulaşmak için eylemde bulunurlar. Fayda-tabanlı ajanlar ise; amaç durumları ile ilişkilendirilmiş fayda temelindeki amaçları birbirinden ayırt ederler.

b. Tepkisellik ve Cevap Verebilme (Reactive, Responsive): Ajanlar, çevrelerinde olan olayları algılayabilen (bu çevre fiziksel dünya olabilir, grafiksel kullanıcı arayüzü aracılığı ile bir kullanıcı olabilir, diğer ajanların toplamı olabilir, INTERNET veya muhtemelen bütün bunların toplamı olabilir) ve çevrede olan değişimlere zamanında cevap verebilen yazılımlardır (Jennings ve Wooldridge 1995). Ajanlar, dış çevreden tamamen yalıtılmış bir ortamda faaliyette bulunamazlar. Belli bir sistem içerisinde veya bir ağ içinde çalışmak zorundadırlar. Bir ajanın çevresi, diğer ajanlardan, diğer sistemlerden ve programı kullanan insanlardan oluşmaktadır. Ajanlar, çevreden girdi alırlar ve aldıkları girdileri belli araçlarla değerlendirip çevreye geri gönderirler. Diğer bir ifade ile ajanlar, çevrenin farkına varmak ve çevreye uygun şekilde cevap verebilmek için çalışmaktadırlar.

c. Sosyal Yetenek (Social Ability): Ajanlar, ajan-iletişim dilinin (agent-communication language) farklı tiplerini kullanarak diğer ajanlarla (veya olası olarak insanlarla) etkileşimde bulunabilecek yeteneğe sahiptirler. Ajanlar, diğer ajanlar ile koordineli ve işbirliği içerisinde çalışarak ilgili problemleri çözmeye çalışmaktadırlar. Ajanlar interaktif olmalı ve kendi problemlerini çözebilmek ve/veya diğer ajanların faaliyetlerini gerçekleştirmelerinde onlara yardımcı olabilmek amacıyla birbirleri ile etkileşim içerisinde bulunmaktadırlar (Jennings ve Wooldridge 1995). Bu durum, ajanların belli bir sosyal yeteneğe sahip olmalarını gerektirmektedir.

d. Etkisellik (Proactiveness) ve Amaç Güdümlülük (Goal Driven): Ajanlar, çevrelerine cevap vermede basitçe eylemde bulunmayan, inisiyatif alarak amaç-odaklı davranış gösterebilmeye muktedir yazılımlardır. Ajanlar, süreç içerisinde tepki veren bir rol oynayarak amaçlarına ulaşabilmek için çalışmaktadırlar. Planlanan hedeflere ulaşmak için oportünist ve amaç odaklı davranışlar göstermektedirler (Jennings ve Wooldridge 1995). Ajanlar aslında kendi kendilerinin patronu olma ihtiyacındadırlar ve açıkça tanımlanmış amaçları başarmaya odaklanmışlardır. Ajanlardan başarmaları istenilen amaçların açık bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bir ajanın amaç güdümlü olması demek, sadece çevreye tepki vermekten daha çok, aynı zamanda bir ajanın çevreyi kendi etkisi altına almasını ifade etmektedir. Ajanlar, diğer ajanlar ile koordineli ve işbirliği şeklinde çalışarak ilgili problemleri çözmeye çalışmaktadırlar (Jennings ve Wooldridge 1995)

6.3.2 Güçlü Ajan Kavramı (Stronger Notion of Agency)

Özellikle yapay zeka (Artificial Intelligence–AI) konusunda çalışan bazı araştırmacılara göre “Ajan” terimi zayıf ajan kavramından daha spesifik ve güçlü bir anlama sahiptir. Bu araştırmacılar bir ajanı, zayıf ajan kavramı için tanımlanan özellikleri de kapsayan, genellikle insanlar için kullanılan kavramların uygulaması veya canlandırılması olan bir bilgisayar sistemi olarak tanımlamaktadırlar.

Bu açıdan bakıldığında güçlü ajan kavramı “zayıf ajan” kavramına ek bazı özelliklere daha sahiptir. Bu özellikler kısaca aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

- a. **Doğruluk (veracity):** Doğruluk, bir ajanın bilerek yanlış enformasyonlarla iletişimde bulunmayacağını varsaymaktadır.
- b. **İyilik (benevolence):** Bu özellik, ajanların çelişkili amaçlara sahip olmadıklarını varsayar ve her ajanın bu sebepten dolayı her zaman ne sorulmuşsa onu yapmak için denemelerde bulunacağını varsaymaktadır.
- c. **Rasyonellik (Rationality):** Her bir ajan, amaçlarına ulaşmak için çeşitli eylemlerde bulunmaktadır. Modern AI, rasyonel ajan mühendisliği olarak karakterize edilmektedir. Tipik bir ajan belli amaçlarla şekillendirilmektedir. Rasyonel ajan, amaçlarına göre optimal olarak eylemde bulunan bir varlık olarak tanımlanmaktadır.
- d. **Taşınırılık (Mobility):** Son zamanlarda Internet’in ve diğer elektronik ağ mobil ajanların yaygın olarak kullanılmaları çok popüler olmuştur. Taşınır ajanlar, elektronik ağ yapılarıyla kılavuzluk edebilecek ve görevlerini gerçekleştirebilecek kapasiteye sahip yazılım özelliği göstermektedirler. Taşınabilir olmayan ajanlar ise, ağlar aracılığı ile belli yazıları gönderebilirler ve diğer ajanlardan veya sistemlerden veri alabilirler. Fakat kendi kendilerine hareket edemezler.

Yukarıda sayılan özellikler zayıf ve güçlü formda ajanların tanımlanabilmesi için gereken temel özelliklerdir. Bu özelliklere ek olarak, gerek görüldüğünde ortaya çıkan bazı özellikler de söz konusudur. Bu tür özellikler, diğer özellikler başlığı altında toplanarak aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

6.3.3 Ajanların Diğer Özellikleri

a. Zeka (Intelligence): Ajanlar, çevreyi algılayacak zekaya sahip olma ve belli görevleri yerine getirirken özerk olma ihtiyacındadırlar. Bir ajan tarafından ortaya konan zekanın seviyesi, sahip olduğu fonksiyona bağlı olmaktadır. Ajanları akıllı yapacak uzman sistemler, sinir ağları ve genetik algoritmalar ajan yazılımları içerisinde birleştirilmektedir.

Uzman sistemler bir akıllı ajan olarak düşünülebilir mi? Uzman sistemler tipik olarak bir çevrede var olmazlar. Bu sistemler bilgileri belirli algılayıcılar aracılığı ile elde etmezler. Fakat, bilgiyi, bir ara etken olarak eylemde bulunan kullanıcı aracılığı ile algılamaktadırlar. Benzer olarak uzman sistemler, herhangi bir çevrede eylemde bulunmazlar ve genellikle diğer uzman sistemlerle işbirliğinde bulunmaları gerekmez. Bütün bunlar, bir uzman sistemin ajan olamayacağı anlamına gelmemektedir. Gerçekte, bazı gerçek zamanlı (örneğin süreç kontrolü) uzman sistemler ajan olarak adlandırılabilir (Rudowsky 2004).

b. Süreklilik (Continuity) :Ajanlar, kesintisiz bir şekilde faaliyette bulunmaktadır. Ajan-tabanlı uygulamanın sonlanabileceği düşünülmemektedir.

c. Kişilik (Personality): Kişilik, hem içsel hem de dışsal bir karakteristiktir. Akıllı ajanların insanları temsil etmesinin yanında çoğu kez insan benzeri özellikler de göstermesi arzu edilmektedir. İletişim ve işbirliği gibi dışa dönük karakteristiğe sahip ajanlar, bir çevre içinde etkileşimde bulunmaktadır. Güvenilirlik önemli bir kişisel özelliği ifade etmektedir. Benzer olarak kullanıcılar, tamamıyla etkileşime geçmeden önce akıllı ajanların çalışmalarına güven duyma zorunluluğundadırlar.

d. İşbirliği: Bir amacın elde edilmesinde birlikte çalışan birden fazla ajanın toplamı çoklu-ajan sistemi (multi-agent system) olarak adlandırılmaktadır. İnternet alanında çalışan bir ajan, diğer ajanlar ile işbirliği içerisinde olmalı ve aynı zamanda amaçlara yönelik çabaları koordine ederek diğer ajanlarla iş birliği içerisinde olmalıdır.

e. İletişim: Ajanlar, diğer ajanlar ve insanlarla iletişimde bulunma ihtiyacındadırlar. Ajan ve insanlar arasındaki iletişim, klavye ve konuşulanları tanıma aygıtları gibi çok

karmaşık teknolojiler aracılığı ile olabilmektedir. Çoklu-ajan iletişimi, standart veya tanımlı protokoller kullanılarak vuku bulabilmektedir.

f. Yerleşiklik: Her bir ajan, belirli bir çevreye yerleştirilmiştir. Bu çevre uzaysal ve geçici karakteristiklerden bağımsız olarak tanımlanamaz (Schleiffer 2004). Bir ajan, sahip olduğu algılayıcılar aracılığı ile çevresi hakkında bilgi almakta, sahip olduğu bilgiler temelinde, elde ettiği bilgileri değerlendirip yorumlamakta ve işlenmiş bilgiden dolayı çevresi ile etkileşime girebilmektedir.

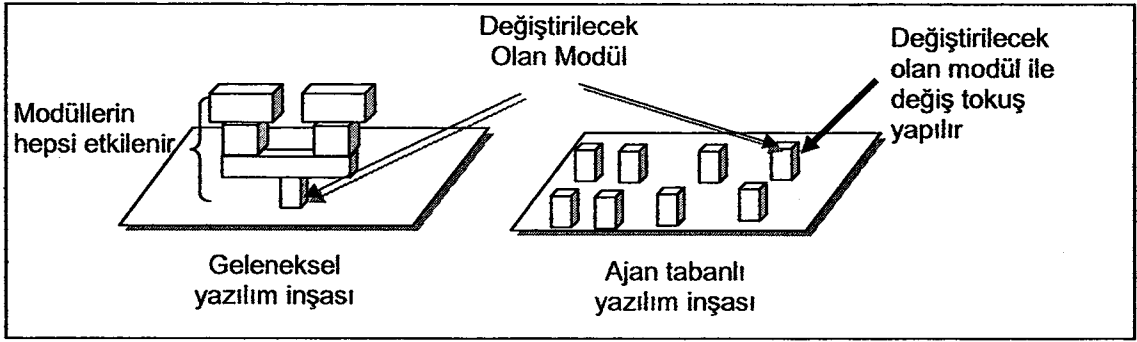
Ajanların sahip olduğu bu özellikleri açıkladıktan sonra geleneksel bilgisayar yazılımı ile ajan teknolojisine dayalı yazılımlar arasındaki farklılığı incelemek ajan tanımlamasını biraz daha netleştirecektir.

6.4 GELENEKSEL VE AJAN TEKNOLOJİSİ TABANLI YAZILIM

Ajan teknoloji tabanlı yazılım geliştirmede, problemleri çözmek amacıyla problemler küçük parçalara bölünmektedir. Bu sistemde, her bir ajan birbirinden bağımsız olarak çalışabilmektedir. Ajan tabanlı yazılım geliştirme süreci geleneksel yazılım geliştirme sürecinden farklılık göstermektedir (Şekil 6.3). Normal yazılım tasarımında, alt ve üst modüller bir bina bloğu gibi her biri diğerinin üzerine inşa edilmektedir. Bu nedenle, program modülünde yapılacak herhangi bir değişiklik tüm programı ve etkileşimde bulunduğu diğer tüm modülleri etkilemektedir (Yaskawa ve Sakata 2003).

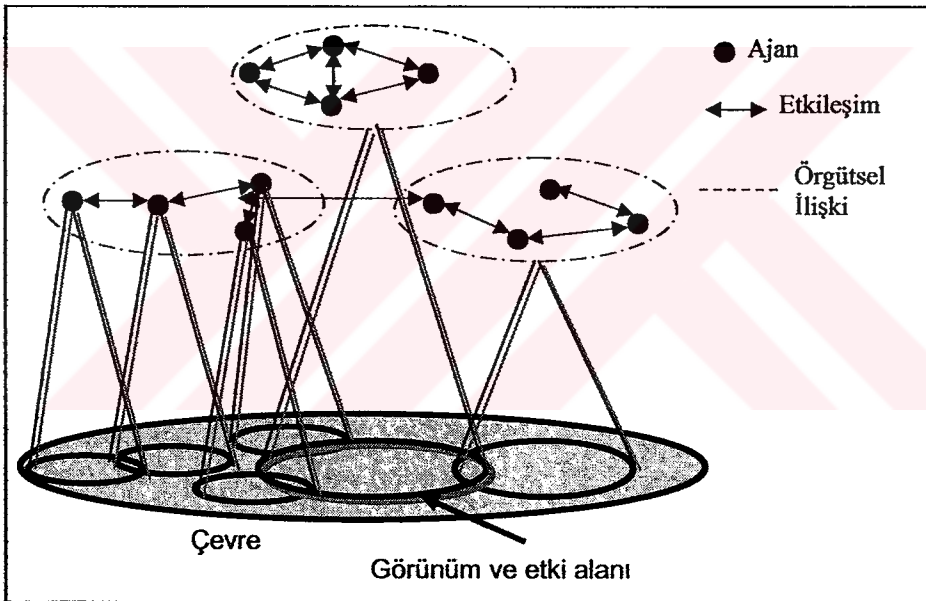
Ajan teknolojisi yazılımında, her bir fonksiyon bağımsız bir program gibi düşünülmektedir. Bu nedenle, oluşturulan her modül kendi başına hareket etmekte ve gerektiğinde diğer ajanlar ile bilgi alışverişi yapmak için onlarla etkileşimde bulunmaktadır.

Ajan teknolojisinde yapılacak olan herhangi bir değişim veya ekleme, yalnızca modifiye edilmiş olan ajanı etkilemektedir. Ajan tabanlı yazılım programı üzerinde kısmi olarak yapılacak değişimler, programın bütününe etkilememektedir. Her program kodu veya ajan, bilgiyi global bir hafızadan alır, bilgiyi belli bir süzgeçten geçirip yargılar ve sonuçları tekrar global hafızaya geri gönderir. Geleneksel ve ajan teknolojili bilgisayar programları arasındaki fark grafiksel olarak Şekil 6.3'te ortaya konulmaktadır.



Şekil 6.3: Yazılım İnşa Farklılığı

Kaynak: YASKAWA, S. ve A. SAKATA. "The Application of Intelligent Agent Technology to Simulation." *Mathematical and Computer Modeling*, 37, 2003.



Şekil 6.4: Bir ajan-tabanlı sistemin konik (canonical) görünümü

Kaynak: JENNINGS, N.R. "On Agent-Based Software Engineering." *Artificial Intelligence*, 117, 2000.

Şekil 6.4'te bir ajan tabanlı yazılım sisteminin konik görünümünü gösterilmiştir. Şekilde her bir ajanın ve bireysel veya örgütsel olarak ajan gruplarının çevre üzerindeki görünümü ve etki alanlarının ne olduğu gösterilmektedir. Her bir ajan kendi grubu içerisindeki diğer ajanlarla etkileşimde bulunabileceği gibi bir başka örgüt içerisinde yer alan diğer ajan tipleri ile de etkileşimde bulunabilmektedir. Bireysel olarak her bir

ajanın çevre üzerindeki etkisi örgütsel ajanların çevre üzerindeki etkisinden farklı olabilmektedir.

Geleneksel bilgisayar yazılımında, içsel bağıllık modülleri kullanılarak programda yapılan bir değişiklik, sistemin yeniden inşa edilmesini gerektirmektedir. Ajan tabanlı yazılımda ise, basitçe bir modülün yeniden değiştirilmesi yeterli olmaktadır (Şekil 6.3).

Ajanlar bazı özerklikler nedeni ile tipik hesaplama süreçlerinden farklılık gösterirler. Yüksek düzeyli (high-level) etkileşimler ve örgütsel ilişkiler (Şekil 6.4) ajan tabanlı yazılımların temel unsurları olarak düşünülmektedir.

Buraya kadar anlatılanlar bireysel ajan tanımlaması ile ilgili kavramlardır. Birden fazla bireysel ajanın bir problem çözümü için bir araya gelmesiyle çoklu ajan sistemi ortaya çıkmaktadır. Çoklu ajan kavramı aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

6.5 ÇOKLU-AJAN SİSTEMİ

Çoklu-ajan sistemleri (multi-agent system – MAS), işbirlikçi bir usulde problemlerin çeşitliliğini çözebilmek için bir çok ajanın etkileşimini ifade etmektedir (Roozmond 2001). Çoklu-Ajan Sistemi (ÇAS) aşağıdaki şekilde karakterize edilmektedir (Fam ve Yen 2004):

- Gerçek global bir kontrole sahip değildir.
- Kaynak, uzmanlık, akıl ve işlem yeteneğine sahiptirler.
- Tipik olarak, belirsizliklerle dolu açık bir çevrede çalışırlar.
- Sosyal ajanlığı ve sosyal yükümlülükleri vurgularlar.

Problemlerin boyutu ve kompleksliği ile ilgili olarak modülerlik (modularity), dağıtım, çıkarım ve zeka (intelligence) gibi temel dört teknik söz konusudur. Bu tekniklerin bütününe bir kombinasyonunu yansıtan ÇAS, kompleks sistemler geliştirmek amacıyla belirli prensipler ve işbirlikçi problem çözme mekanizmalarını birlikte sağlamaktadır. Bu açıdan şu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

- ÇAS, uzaysal, fonksiyonel veya geçici olarak dağıtılmış işlem gerektiren sistemleri belirlemek ve/veya tasarlamak için en iyi yoldur.
- ÇAS, insan gruplarında işbirlikçi davranışları simüle etmenin, eğitmenin ve desteklemenin doğal bir yolunu ifade etmektedir.
- ÇAS, paralellik, sağlamlık, ölçeklenebilirlik(scalability), anlaşılabilirlik, bakılabilirlik ve yeniden kullanılabilirliği özendirir.

Ajan, akıllı ajan ve çoklu ajan kavramlarını tanımladıktan sonra bu kavramların kullanım alanlarını kısaca incelemek faydalı olacaktır.

6.6 AKILLI AJANLARIN UYGULAMA ALANLARI

Wangermann ve Stenger (1997) makalelerinde uçak/hava sahası sistemi (aircraft/airspace – AAS) için 4 farklı tip akıllı ajandan bahsetmektedirler. Bunlar; uçak, havayolu, hava alanı operatörleri ve hava trafik yönetim birimlerinin çeşitli tiplerinden oluşmaktadır. Makalede uçak/hava sahası operasyonlarını yönlendirecek akıllı ajanların kullanımı üzerinde durulmuştur.

Ajanların muhtemelen en büyük ve en çok bilinen kullanım alanları web arama motorları alanında olmaktadır. Bu tür ajanlar, önceden tanımlanmış bir kritere uygun olarak dokümanların belli bir şekilde oluşturulmasında kullanıcılara yardımcı olmaktadır. Örneğin Lycos arama motoru günde 10 milyon web sayfasını ziyaret edebilen bir çoklu-ajan sistemidir. Bu sistemin temelini örümcek olarak adlandırılan özel bir ajan türü oluşturmaktadır. Örümcekler, bilgi toplamak için web sayfalarında dolaşan birbirinden bağımsız yazılım ajanlarıdır. Bu örümcekler güncelleme sunucuları (update server) olarak adlandırılan bir araç ile direk iletişimde bulunurlar ve aynı zamanda web sayfalarındaki ölü bağlantıları rapor ederek yeni sayfalar yaratmaktadırlar(Desouza 2001).

Analistler ajanları, yeni veriler arasındaki ilişkileri araştırmak, eski verileri güncellemek, belirli hesaplamaları yapmak için rutin olarak kullanmaktadırlar.

Wangermann ve Stenger'a (1997) göre ajan, olası bir veri tabanında karar verebilen bir varlıktır ve her bir ajanın yaptığı veya yapacağı her hareket sistemi etkileyecektir. Akıllı ajanların toplamının davranışını modellemek için her bir ajanın karar verme ve kontrol sürecini anlamaya ihtiyaç vardır.

Bilgisayar arayüz yardımcıları, bilgisayar kullanıcı arayüzlerinin kullanımını kolaylaştırmak ve bilgisayar veya spesifik yazılım uygulamalarının kullanım ve erişimini daha kolay yapabilmek için akıllı ajanlar olarak tasarlanmaktadır. Bu ajan-yardımcıları ihtiyaç duyulan şeyleri öğrenmeye muktedir varlıklardır. Ajanlar, dokümanlarda gerekli değişiklikleri yapabilir ve ihtiyaç duyulduğunda kullanıcılara yönelik olarak bazı teklifler sunabilmektedirler.

Akıllı ajanlar, ilgili olan bilgileri tespit etmek veya bazı bilgileri kısıtlamak için bilgiyi süzmek amacıyla çok iyi bir şekilde tasarlanmışlardır.

Gerçektende ajan teknolojisi geliştikçe ve ajanlar çok fazla akıllı duruma geldiklerinde, ajanlar nerdeyse hayatımızın her alanına girmiş olacaklardır. Ajanlar gelecekte hemen her alanda yer alabilecekler, kişisel programlarımızı öğrenebilecekler, randevularımızı ayarlayabileceklerdir. Hatta evimizde kullandığımız elektronik aletlerin içine girebilecekler, TV'de ilgilendiğimiz programları kaydedebilecekler ve yiyecek siparişlerimizi verebileceklerdir. Yukarıda ifade edilen kullanım yerlerine ek olarak kütüphanecilik uygulamalarında ve veri madenciliği alanlarında da akıllı ajanların kullanıldığı görülmektedir.

“Çok fazla uygulama alanı olan akıllı ajanlar ile yenilik veya teknoloji arasında bir ilişki var mıdır?” sorusunu cevaplamak ajanların geleceği hakkında önemli ipuçları verecektir. Bu nedenle aşağıda kısaca akıllı ajanlar ve yenilik arasındaki ilişki açıklanacaktır.

6.7 AKILLI AJANLAR VE YENİLİK

Yenilik, bir birey, grup veya örgüt tarafından görelî olarak yeni gibi algılanan bir fikir, uygulama, ürün veya hizmet olarak ifade edilmektedir. Yenilik üzerine yapılan tartışmalar, toplumun ve uygarlığın teknolojik süreç içindeki başarısı ile ilgili olması

nedeniyle her zaman önem taşımıştır. Yenilik ile ilgili bazı özellikler aşağıdaki gibi sayılmaktadır (Serenko ve Detlor 2004).

- Teknolojik yenilikler, kişilerin yaşam standartlarını etkileyen ve verimliliği belirlemedeki etmenlerden biridir.
- Teknoloji, pozitif veya negatif olarak yaşamımızın ekonomik olmayan (non-economic) kalitesini direk veya en-direk olarak etkilemektedir.
- Teknolojideki gelişmeler, topluma yeni değerler getiren oldukça değerli varlıklar olarak nitelenebilen yetenekler olmaktadır.

Ajanlar ile yeni teknoloji arasındaki ilişki, ajan teknolojisinin kullanım nedenlerini ve ajan teknolojinin kullanımı sonucunda elde edilen faydaları ortaya koymaktadır. Bu nedenle ajan teknolojisi kullanımının ne gibi faydalar sağlayacağı aşağıda kısaca açıklanacaktır.

6.8 AJAN TEKNOLOJİSİNİ KULLANMANIN FAYDALARI

Bir işletme için ajan teknolojisi kullanımının bir çok potansiyel faydası söz konusudur (Serenko ve Detlor 2004). Bu faydalar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

- Ajan tabanlı hesaplama, müşteri hizmet sürecini otomatikleştirerek ürün destek maliyetlerini azaltmada örgütlere yardım etmektedir. Bir çok firma her bir müşteriden gelen mesajları otomatik olarak okuyabilen, mesajın içeriğini anlayabilen veya gelen mesaja akıllı bir cevap verebilen veya mesajı uygun müşteri hizmet temsilcisine yönlendirebilen akıllı oto-cevap e-posta sistemlerini kullanmaktadırlar. Bu yaklaşım, sadece maliyet azaltımını sağlamamakta, fakat aynı zamanda firma ile müşteri deneyimini de etkilemektedir.
- Akıllı ajanlar, türdeş olmayan ağlarda kompleks uygulamalarla ilgilenen yazılım kullanıcılarına yardımcı olmaktadır. Burada, ajanlar havayolu bilet rezervasyonu gibi büyük ve karmaşık bir yazılım sisteminin farklı ve bağımsız parçaları arasında bir ara yüz gibi hizmet verebilmektedirler. Ajanlar, aynı zamanda, diğer yazılım

uygulamaları ile etkileşimde bulunan akıllı ve uyarlanabilir bir arayüz ile kullanıcılara yardımcı olacaklardır.

- Akıllı ajanlar, çevrim içi (online) örgütler için müşterileri hakkında bilgi toplama, toplanan bilgileri analiz etme ve o bilgiyi kullanmada kullanıcılara yardımcı olmaktadır. Böylece, ajanlar müşteri istekleri ile işletme amaçları arasında bir bağlantı kurmaktadır.
- Akıllı ajanların istihdam edilmesi sağlık, işletme zekası (business intelligence), karar destek sistemleri, ajan-destekli kullanıcı eğitimi ve hatta hukuk gibi bir çok farklı alanlarda yenilik getirmektedir.

Akıllı ajanların kullanımı, teknoloji geliştiricileri tarafından önceden öngörülmemiş örgütler üzerinde uzun dönemli sosyo-ekonomik etkilere sahip olabilecektir. Örgüt düzeyinde zamanla ortaya çıkan etkilere, elektronik ticari dönüşüm, operasyonel engeller ve güvenlik yükü örnek olarak verilebilir (Serenko ve Detlor 2004). Akıllı ajan teknolojileri imkan dahilinde kullanıcı davranışını değiştirerek İnternette kullanılabilir hizmetler sunmakta ve elektronik ticari pazarları tümüyle kullanıma dönüştürebilmektedir. Örgütlerin, planlanmış verimliliği ve akıllı ajan sistemlerinin etkinlikle ilişkili faydalarını toplamaya başlamalarından önce çeşitli operasyonel meydan okumaların tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Ajan tabanlı simülasyon sistemleri son 10 yılda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin de yardımıyla bir çok alanda kullanılmaya başlamıştır. Ajan tabanlı simülasyon kavramı, simülasyon sisteminin karmaşık iç yapıları olabilen, çevrenin farkında ve bu çevrede hareket edebilen bağımsız nesnelerden oluştuğu anlamına gelir. Bu tür sistemlerin tipik örnekleri sosyo-ekonomik sistemlerdir. Bu sistemlerde ekonomik aktörlerin rolünü ajanlar oynar.

Bu tür sistemlerin belki de en popüler ve basitlerinden biri John Conusay tarafından geliştirilen “Game of Life” adlı oyundur. Bu oyunda kareler şeklinde ayrılmış parsellerde yaşayan yaratıklar her bir zaman adımında kaç komşusu olduğuna bakar, önceden belirlenmiş komşu sayısından az sayıda komşu varsa yalnızlıktan, belli sayıdan

fazla komşu varsa açlıktan ölürlür. Komşu sayısı belirli aralıkta ise yaratıklar yaşamaya devam ederler.

Oldukça basit kurallarla hareket eden ajanların bile karmaşık genel davranış sergilediğinin fark edilmesinden sonra ajan tabanlı simülasyon sistemleri bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Açık kaynak kodlu ajan platformlarından bazılarına ilişkin bilgiler Ek 2’de verilmiştir.



7. BÖLÜM: TAHMİN YÖNTEMLERİ

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen karar destek sistemi ile her bir uçuş ayağı için yolcu talep tahminin yapılması amaçlanmaktadır. Bu bölüm, genel olarak talep tahmin yöntemlerini incelemek amacıyla hazırlanmıştır.

7.1 GİRİŞ

Belirli zaman dilimlerinden sıralı bir şekilde toplanmış gözlem sayılarının kümesi zaman serisi olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifade ile zaman serileri, belli bir zaman periyodunda kantitatif değişkenler üzerinde gözlem yoluyla veya başka şekillerde toplanan gözlem değerleri kümesi olarak tanımlanmaktadır. Bu tür verilerin toplanması ve depolanması belli amaçlar için yapılmaktadır. İşletmeler genellikle zaman serilerini, geleceği tahmin etmek için kullanmaktadırlar. Eğer işletme gelecek hakkında belli verilere sahip olursa, gelecekle ilgili olarak daha sağlıklı kararlar verilebilecektir. Gelecek hakkındaki belirsizlikleri azaltmak amacıyla geçmiş veriler üzerinden çeşitli analizler yapılarak gelecek ile ilgili bazı tahminler yapılmaya çalışılmaktadır.

Zaman serilerinde bağımlı değişken ve bağımsız değişken olmak üzere iki değişken söz konusu olmaktadır. Bağımsız değişken saat, gün, ay vb. gibi bir zaman ölçüsü olarak alınmaktadır. Bağımlı değişken, eşit zaman dilimlerinde gerçekleşen değerler olarak düşünülmektedir. Bağımlı değişken günlük değişen stok düzeyleri, satış düzeyleri veya harcama düzeyleri olabilir. t zamanında gerçekleşen değer X_t ile ifade edilmektedir ve $t = 1, 2, \dots, n$ zamanı göstermektedir. Bu tür bir sayılar kümesinde n gözlem sayısını göstermektedir. Zaman serisi analizlerinde, tahmin edilmeye çalışılan değişken değeri, o değişkenin geçmişteki değerlerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

$$\hat{Y}_t = f(X_{t-1}, X_{t-2}, \dots)$$

Zaman seri değerleri sürekli ve süreksiz veri toplama olmak üzere iki şekildedir. Eğer veriler belirli bir zaman birimlerine göre toplanıyorsa süreksiz, gözlenen değerler zaman içinden sürekli olarak toplanıyorsa sürekli zaman serisi söz konusu olmaktadır (Kayım 1986).

Bir çok zaman serisi mevsimsellik özelliği göstermektedir. Mevsimsellikten kasıt, zaman serisi içinde periyodik bazı dalgalanmaların belli dönemlerde benzer şekillerde tekrarlanmasıdır. Mevsimsellik, ekonomik alandaki zaman serilerinde hayli yaygın olan bir durumken, mühendislik ve bilimsel verilerde fazla yaygın değildir. Eğer bir zaman serisi mevsimsel bazı özellikler gösteriyorsa, bu mevsimsellik zaman serisi modeli içine konulmak zorundadır. Bu tür bir düzeltme yapılmaması durumunda tahminleme sonuçları yanıltıcı olabilir. Belli bir zaman serisinin mevsimsellik özelliği içerip içermediği verilerin grafik çizimi, mevsimsel alt seri çizimi, çoklu kutu grafiklerinin çizimi ve oto-korelasyon analizi gibi bazı yöntemler yardımı saptanabilmektedir.

Mevsimsellik testi yapılmak istenen herhangi bir zaman serisi analizi için Koşu sıra çizimi ilk adım olarak düşünülmektedir. Bu yöntemin yetersiz kaldığı durumlarda mevsimsellik alt seri çizimi veya kutu çizimi ile mevsimsellik durumu daha net olarak görülebilmektedir. Mevsimsellik alt seri çizimi, belirli grup kalıpları arasındaki ve grup kalıplarının kendi içindeki arasındaki mevsimsel farklılıkları göstermek için uygun bir yöntem olmaktadır. Kutu çizimi ise grup kalıpları arasındaki mevsimsel farklılığı gösterebilmesine rağmen grupların kendi içlerindeki farklılığı gösterememektedir. Bu duruma rağmen, büyük boyutlu zaman serilerinde mevsimsellik özelliğinin belirlenmesinde kutu çizimi, alt seriler çizimine göre daha kullanışlı bir yöntem durumundadır. Alt seriler ve kutu çizimi yöntemlerinin her ikisi de mevsimsel periyotların bilindiğini varsaymaktadır. Çoğu durumda analizi yapan kişi mevsimsel periyodun ne olduğunu bilmeyebilir. Mevsimsel periyodun ne olduğu bilinmiyorsa, oto-korelasyon analizi yapılır. Eğer bu analiz sonucunda mevsimsellik durumu anlamlı çıkarsa, analiz sonucunda ani yükselme dönemleri mevsimsellik durumunu gösterecektir.

Birçok zaman serisi tahmin tekniğinin ortak varsayımı, verilerin durağan bir özellik gösterdiğidir. Durağan bir süreçte ortalama, varyans ve oto-korelasyon yapılarının zaman içerisinde değişmediği varsayılmaktadır. Durağanlık matematiksel bir terim olarak kesin olarak tanımlanmaktadır. İstatistiksel olarak durağanlık, belli bir trende sahip olmayan, zaman içinde sabit bir varyansa ve sabit oto-korelasyona sahip olan ve periyodik dalgalanmalar göstermeyen zaman serisi olarak tanımlanmaktadır. Eğer elde edilen veriler durağan özellikte değilse, veri farklılaştırılması, veri setinin karekökü

veya logaritması alınarak varyansın dengelenmesi yoluyla veriler durağan bir yapıya oturtulabilir.

Bir zaman serisi analizinde trend, mevsimsel değişimler, uzun vadeli dalgalanmalar ve tesadüfi değişimler olmak üzere dört temel unsur vardır. Bu unsurlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Trend: Bu unsur, zaman serisinin uzun vadede nasıl bir değişim göstereceğini saptamaya yöneliktir.

Mevsimsel Değişimler: İlgili verilerin mevsimsel bir değişiklik gösterip göstermediğine karar verebilmek için eldeki veri sayısı uygun ve yeterli düzeyde olmalıdır. Mevsimsel değişimler ya insanlar tarafından yönlendirilmekte ya da doğa olayları tarafından yönlendirilmektedir.

Uzun Vadeli Dalgalanmalar: Uzun vadeden kasıt en az 3 yıllık veri ile çalışılmasıdır. Bu nedenle, uzun vadeli trend doğrusu üzerinde meydana gelen değişimler uzun vadeli dalgalanmalar olarak adlandırılmaktadır. Ekonomik olaylar (durgunluk, hızlı büyüme dönemleri, vb.) örnek olarak verilebilir.

Tesadüfi Değişimler: Bu durumda değişimlerin ne zaman meydana geleceği belli değildir. Bu tür dalgalanmaların önceden tespit edilmesi çok zor olması nedeniyle önceden önlem alınması söz konusu olamamaktadır.

Bu bölümün yazılmasındaki amaç, uygulama bölümünde geliştirilecek olan Karar Destek Sistemi içerisinde filo atamasını gerçekleştirebilmek için her bir uçuş ayağının yolcu sayısının tahmininde kullanılacak olan tahmin yöntemlerini ve genel tahmin yöntemlerini açıklamaktır. Bu amaçla, havayolu yolcu talepleri ile ilgili kullanılan tahminleme yöntemlerini incelemekte fayda vardır.

Havacılık endüstrisinde faaliyette bulunan havayolu firmaları planlama ile ilgili olarak hava sahası, uçuş pistleri ve havaalanı terminalleri gibi üç temel unsur ile karşılaşmaktadırlar (Grubb ve Mason 2001). Hava sahası ve havaalanı uçuş pist kullanımları ve kapasiteleri hava ulaşım hareketleri (örneğin uçuş sayısı) olarak ölçülmektedir. Diğer taraftan havaalanı terminal kapasiteleri gelen veya giden yolcu

sayısı ile ölçülmektedir. Hem havaalanı hem de hava sahası planlaması için kritik öneme sahip olan havayolu ulaşım hareketleri çok önemli bir değişken olarak düşünülmektedir. Bunun uzun dönemli tahmini oldukça zordur. Bu durum, belirli rotalarda havayolu filolarının kullanımına bağlıdır. Diğer taraftan yolcu sayısı, havaalanı terminal kapasitesinin planlanmasında önemli diğer bir konudur. Yolcu sayıları her bir havaalanı için ayrı ayrı tahmin edilmektedir. Grubb ve Mason (2001) çalışmalarında bütün UK (United Kingdom – Birleşik Krallık) havaalanları için toplam yolcu taleplerini düşünerek gelecek dönemler için toplam yolcu talebinin ne olacağını bulmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada tahminleme yöntemi olarak, geçmiş davranışları keşfeden ve gelecek için öngöründe bulunmaya izin veren, trend özelliği ve mevsimsel özellikleri modele katılabilen Holt-Winters metodu kullanılmıştır.

Havacılıkta yolcu sayılarının tahmini ile ilgili olarak bir diğer çalışma Saab ve Zouein (2001) tarafından yapılmıştır. Makalede, belirli bir uçuş ayağında, gelecek N sayıda ayrılma tarihinin her biri için kapı yolcu (*boarding passenger*) sayısını tahmin etmek için bir sistem önerilmektedir. Bu tahmin yöntemi herhangi bir uçuş ayağı için veri tarihinin ötesinde N ayrılış tarihi için rezervasyon seviyelerini girdi olarak kullanmaktadır. Bu sistemi oluşturmak için, her bir uçuş ayağı için geçmişteki gerçek yolcu sayıları ve ayrılma tarihinden önceki N zaman periyodu için yolcu rezervasyon düzeyleri gibi iki geçmiş veri kümesi kullanılmaktadır. Bu iki veri kümesi arasında güçlü derecede korelasyon ilişkisi olduğu varsayılmaktadır. Makalede sunulan tahmin sisteminin temeli Kalman filtrelemesine dayanmaktadır.

Bu tez kapsamında geliştirilecek olan Karar Destek Sistemi, filo ataması yapmak ve bu atamayı belli senaryolar çerçevesinde simüle etmeye yöneliktir. Filo atamasının bir unsuru, her bir uçuş ayağı için yolcu sayılarının bilinmesidir. Haftalık olarak gerçekleştirilecek olan filo atamasında yolcu sayısı olarak ya geçmiş dönemlerdeki yolcu sayıları veri olarak alınacaktır yada her bir uçuş için yapılan yolcu rezervasyon sayıları alınacaktır. Her iki durumda da belli istatistiksel analiz teknikleri kullanılarak gelecek dönemler için her bir uçuş ayağı için yolcu sayısının tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, her bir uçuş ayağının yolcu sayısının sürekli bir dağılama (normal veya uniform - tekdüze) sahip olduğu varsayımı yapılmaktadır. Ayrıca bu tip sürekli verilerin belli bir trend ve mevsimselliğe sahip olduğu varsayılmaktadır. Yolcu

talep tahmini normal veya tekdüze dağılım şeklinde oluşturulan verilere göre yapılmaktadır. Belli bir trend ve mevsimsel özellik gösteren veriler ile tahmin yapmada en uygun yöntem, üssel düzeltme [Basit, ikili (Holt metodu) ve üçlü (Holt Winters metodu) üssel düzeltme] yöntemleri olmaktadır (Kayım 1986; Taylor ve Taylor 1995; Grubb ve Mason 2001; LeBoff 2001; Rasdale 2001; Ulucan 2004). Her bir uçuş ayağı için normal veya tekdüze (uniform) dağılım şeklinde oluşturulan veri setlerinde üssel düzeltme yöntemleri kullanılarak filo atama dönemi için yolcu sayıları tahmin edilecektir.

Bundan sonraki başlıklarda kantitatif tahmin yöntemleri incelenecektir. Bu çalışma ile geliştirilecek olan Karar Destek Sistemlerinde her bir uçuş ayağı için kullanılacak olan beklenen yolcu sayıları basit, ikili (Holt Metodu) ve üçlü üssel düzeltme yöntemleri kullanılarak tespit edileceği için bu yöntemler diğer yöntemlere kıyasla daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

Kantitatif tahmin yöntemleri; hareketli ortalama, ağırlıklı hareketli ortalama, üssel düzeltme ve regresyon modelleri olarak açıklanacaktır.

7.2 HAREKETLİ ORTALAMALAR YÖNTEMİ

Hareketli ortalamalar yöntemi basit ve ağırlıklı hareketli ortalamalar olmak üzere iki başlık altında incelenecektir.

7.2.1 Basit Hareketli Ortalama

Hareketli ortalama yöntemi ile tahminlemede, tahmin edilecek olan değer ($\hat{Y}_{t+1}$) kendisinden önceki k adet verinin basit aritmetik ortalaması olarak hesaplanmaktadır. Bu $(t+1)$ dönemi için tahmin değeri,

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-k+1}}{k} \text{ formülü yardımı ile hesaplanabilir.}$$

Bu formülasyondaki k değerinin ne olacağı ile ilgili genel kabul görmüş bir kural sözkonusu değildir. Bu değer ne olacağı konusunda belirli bir kuralın bulunmaması

araştırmacıları bir çok deneme yapmaya ve denemeler sonucunda en uygun tahmin değerlerini veren zaman periyodunun seçilmesine itmektedir. Hareketli ortalamalarda amaç, tesadüfi olarak gerçekleşen olayları elimine edebilmektir (Kobu 2003). Bu yöntem, eğer şu andaki ve gelecekteki değerler, kedisinden önce gerçekleşen değerlerin etkisi altında ise uygun bir yöntem olmaktadır. Eğer bu tür bir etkileşim yoksa, bu yöntemin kullanılması ile yapılacak olan tahminleme istenen sonuçları vermeyecektir. Diğer aylara ait değerler, önceki ayların değerlerinden etkileniyorsa basit hareketli ortalamalar veya ağırlıklı hareketli ortalama yöntemleri kullanılmaktadır.

7.2.2 Ağırlıklı Hareketli Ortalamalar

Basit Hareketli Ortalama yönteminde, tahmin edilen dönemden önceki dönem verilerinin hepsinin de aynı ağırlıkta tahmin edilen değeri etkilediği varsayımı yapılmaktadır. Oysa, tüm dönemler tahmin edilen dönem değerini aynı derecede etkilememektedir. Bu nedenle karar verici her bir dönemi farklı şekilde ağırlıklandırabilir. Bu durumda $(t+1)$ döneminin tahmini değeri $(\hat{Y}_{t+1})$;

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{\alpha_1 X_t + \alpha_2 X_{t-1} + \dots + \alpha_k X_{t-k+1}}{k} \text{ formülü yardımı ile hesaplanabilir.}$$

Ağırlıklı Hareketli Ortalamalar (AHO) yöntemi kullanılarak yapılan tahminlerde k ve α değerleri analizci tarafından belirlenebileceği gibi veriler üzerinde yapılacak istatistiksel bazı analizler sonucunda da hesaplanabilmektedir.

7.3 ÜSSEL DÜZELTME YÖNTEMLERİ

Üssel düzeltme yöntemleri, basit, ikili (Holt Metodu) ve üçlü üssel düzeltme yöntemleri olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir.

7.3.1 Basit Üssel Düzeltme Yöntemi

Bu yöntem ile geçmiş dönem verileri, giderek azalan ağırlıklar verilerek tahmin formülasyonuna katılır. Bu yöntem,

$\hat{Y}_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)\hat{Y}_t$ şeklinde formüle edilmektedir.

Bu yöntemde kullanılan α , 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Eğer $\alpha = 1$ ise $\hat{Y}_{t+1} = X_t$ olur. Bunun anlamı, zaman içinde tahmin edilen değer t zamanında gerçekleşen gerçek değer ile aynıdır. Eğer $\alpha = 0$ ise t zamanı için tahmin edilen değer t dönemindeki tahmini değere eşittir. Eğer zaman serileri ortalamasındaki değişimler anlamlı değilse α 'ya yüksek değer atanması yanıltıcı sonuçlara sebep olabilir. örneğin, $\alpha = 0.30$ ise, seri ortalamasındaki değişimlerin %30'u gerçek değişimlerden, geri kalan %70'i ise rastlantısal değişimlerden kaynaklanıyor demektir. $t+1$ dönemi için tahmini değer ($\hat{Y}_{t+1}$) t dönemi tahmini ($\hat{Y}_t$) değerini içermektedir. Bu tip döngüsel yapıdan dolayı, $\hat{Y}_{t+1}$ geçmiş tüm gerçek veriler giderek azalan bir çarpan ile tahmin sürecine katılmaktadır. Bu durumda $\hat{Y}_{t+1}$,

$\hat{Y}_{t+1} = \alpha X_t + \alpha(1 - \alpha)^2 X_{t-1} + \dots + \alpha(1 - \alpha)^n Y_{t-n}$ formülü yardımı ile hesaplanmaktadır.

Başka bir ifade ile t döneminde değişkenin gerçek değeri (X_t) ile t dönemi için tahmini değer ($\hat{Y}_t$) arasındaki farkı $e_t (= X_t - \hat{Y}_t)$ olarak ifade edersek, $t+1$ dönemi için tahmini değer,

$\hat{Y}_{t+1} = \hat{Y}_t + \alpha.e_t$ formülü yardımı ile hesaplanabilir.

e_t terimi, gerçek gözlem değerleri ile tahmin değerler arasındaki farkı göstermesi nedeniyle $t+1$ dönemi için yapılacak olan tahmin t dönemindeki ağırlıklı öngörü hatası ve aynı dönemdeki tahmini değer toplamından oluşmaktadır. Kayım'a (1986) göre, α 'nın küçük değerleri seriyi çabuk düzeltmektedir. Eğer zaman serisi büyük dalgalanmalar ve rastlantısal değişimlerden oluşuyorsa α 'nın değeri küçük seçilmelidir. Eğer zaman serisi fazla değişiklik göstermiyorsa α için büyük bir değer seçilir.

Basit üssel düzeltme yönteminde en önemli husus α değerinin saptanmasıdır. Üssel düzeltme yönteminde kullanılacak olan α 'nın değeri saptanırken hata kareler ortalamasını minimum yapan değer α 'nın değeri olarak alınmaktadır. Uygulamacı, α için 0 ile 1 arasında çeşitli değerler saptayabilir. α 'ya atanan her değer için hata kareler

ortalaması hesaplanır. Hata kareler ortalamasını minimum yapan α değeri üssel düzeltme sabiti olarak alınmaktadır.

Basit üssel düzeltme yöntemi belli bir trend veya mevsimsel özellik göstermeyen zaman serileri için tahmin yapmak amacıyla kullanılan uygun bir yöntemdir. Zaman serilerinin belli bir trendi içermesi durumunda ise ikili üssel düzeltme (Holt Metodu) yöntemi uygun bir yöntem olmaktadır.

7.3.2 İkili Üssel Düzeltme (Holt Metodu) Yöntemi

Eğer gözlem değeri belli bir trend gösteriyorsa (belli zamanlarda düzenli bir azalma veya artma gösteriyorsa) basit üssel düzeltme yöntemine, trendi gösteren yeni bir değişkenin eklenmesi gerekmektedir. Bu yöntem, serideki trendi, tahmin değerlerine yansıtır. Bu yöntemle tahmin yapmak için üç farklı ve birbiri ile bağlantılı formülasyon kullanılmaktadır (Kayım 1986; LaViola 2003).

$$\hat{Y}_{t+n} = S_t + nT_t \quad \text{tahmin}$$

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad \text{serinin beklenen değeri}$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad \text{trend değeri}$$

Bu yöntemin uygulanmasında $t+1$ dönemi için tahmin değeri S_t ve T_t gibi iki terimden oluşmaktadır. S_t , t döneminde zaman serisinin beklenen değerini ve T_t ise t dönemindeki beklenen trendi göstermektedir. α ve β parametreleri 0 ile 1 arasında değer almaktadırlar ve bu iki parametre değerleri basit üssel düzeltme yönteminde olduğu gibi hesaplanabilmektedir.

7.3.3 Üçlü Üssel Düzeltme (Holt-Winters) Yöntemi

Basit üssel düzeltme yöntemi ile benzer özellikler göstermektedir. Buradaki fark, serideki trend ve mevsimsel değişimler ile ilgili unsurlar da modele katılmaktadır. Bu yöntemin tahminleme yöntemi olarak kullanılabilmesi için zaman serilerinin durağan olmaması, verilerin trend özelliğine sahip olması ve zaman serisinin mevsimsel

özellikleri içermesi gibi üç temel kural söz konusudur. Mevsimsel etkinin çarpımsal veya toplamsal etkiye sahip olması tahminleme yöntemini etkileyen bir unsurdur. Dolayısıyla Holt-Winter yöntemi ile tahminleme çarpımsal ve toplamsal olarak hesaplanabilir. Bu yöntem ile tahminlemede aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$\hat{Y}_{t+n} = S_t + nT_t + I_{t-L+l} \quad \text{toplamsal mevsimsellik etki olması durumu}$$

$$\hat{Y}_{t+n} = (S_t + nT_t)I_{t-L+l} \quad \text{çarpımsal mevsimsellik etki olması durumu}$$

burada I_t , t zamanındaki mevsimsel indeksi ifade etmektedir. X_t , gerçek gözlem değeri; S_t , t dönemindeki düzeltilmiş değerdir. L , verilerin toplanma periyodunu göstermektedir. I_t ve S_t değerleri,

$$I_t = \beta \frac{X_t}{S_t} + (1 - \beta)I_{t-L}$$

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$$

formülleri yardımı ile hesaplanmaktadır. Buradaki parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

S_{t-1} : bir önceki dönemin düzeltilmiş değeri

T_{t-1} : $(t-1)$ dönemindeki trend ve aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$$

α , β ve γ parametreleri 0 ile 1 arasında değer alan sabit parametrelerdir ve hata kareler ortalamasını minimum yapacak şekilde deneme yanılma yoluyla hesaplanmaktadır.

Doğrusal regresyon ve kuadratik regresyon, trend özelliği gösteren zaman serileri tahminlemesinde kullanılan diğer yöntemlerdir. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

7.4 REGRESYON YÖNTEMLERİ

7.4.1 Doğrusal Regresyon

Doğrusal trendde sahip olan zaman serilerinin doğrusal regresyon yöntemi ile tahminlemesinde $\hat{Y}_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \varepsilon_t$ formülasyonu kullanılmaktadır. Bu formülasyon sistematik ($\alpha_0 + \alpha_1 t$) ve sistematik olmayan (ε_t) iki bölümden oluşmaktadır. Bu şekilde kurulan formülasyondaki temel sorun α_0 ve α_1 değerlerinin hesaplanmasıdır. Hata terimi (ε_t) tahmini değer ($\hat{Y}_t$) ile t dönemindeki gerçek değer (Y_t) arasındaki farka eşittir. α_0 ve α_1 değerleri hesaplandıktan sonra $t+n$ dönemleri için bu değerler kullanılarak tahmin yapılabilir.

7.4.2 Kuadratik Regresyon Yöntemi

Bu yöntemin basit regresyon yönteminden tek farkı, tahmin yöntem denkleminin zaman değişkeninin karesini içermesidir. Bu durumda basit doğrusal regresyon modeli aşağıdaki şekli almaktadır.

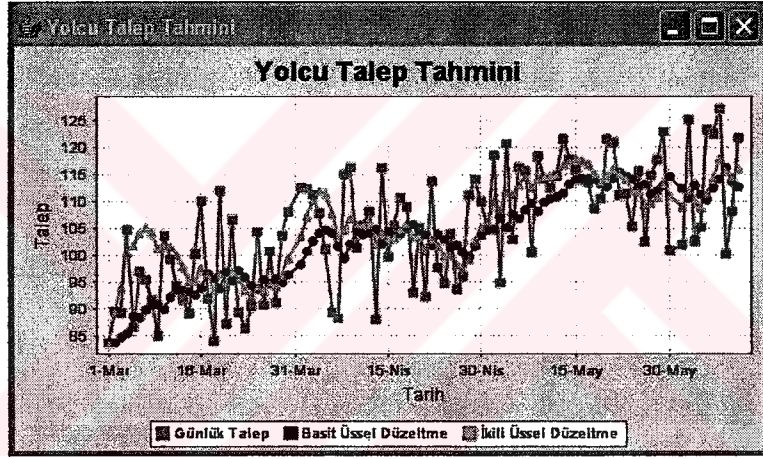
$$\hat{Y}_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \varepsilon_t$$

Basit doğrusal regresyonda olduğu gibi bu yöntemde de sistematik hareket ($\alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2$) ve sistematik olmayan hareket (ε_t) söz konusudur. Diğer parametrelerin tanımlaması ve α değerlerinin hesaplanması basit regresyon yönteminde olduğu gibidir.

Talep tahmini için kullanılacak olan yöntem seçimi maliyet, duyarlılık ve zaman açısından tasarruf sağlanmasında duyarlılık açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle hangi talep tahmin yönteminin kullanılacağına karar vermek önemli bir unsur olmaktadır. Tahmin sürecinin amacı belirlendikten sonraki aşamada tahmin yönteminin bilimsellik derecesi, zaman, alınacak olan kararların niteliği, bilgi kaynakları, değişmelerdeki istikrar ve karar vericinin niteliği gibi unsurların dikkatlice incelenmesi gerekmektedir (Kobu 2003).

Bu tez çalışmasında geliştirilen talep tahmin alt programı yalnızca talep tahmini yapmak için de kullanılabilir. Şekil 7.1’de 100 adet tarihi verisi olan bir dizinin basit ve ikili üssel düzeltme yöntemlerine göre elde edilen tahmini verilerin çizimini göstermektedir.

Talep tahmini modülü, Java’nın açık kaynak kütüphaneleri OpenForecast, SSJ ve JFreeChart kullanılarak geliştirilmiştir. OpenForecast, temel tahmin yöntemlerini içeren ve geliştirilmeye devam edilen bir java paketidir. SSJ, java tabanlı stokastik simülasyon program kütüphanelerinden biridir. Bu program rasgele sayıların istenilen dağılımına göre oluşturulmasına yardımcı olmak amacıyla oluşturulmuştur. JFreeChart, yine java-tabanlı iki boyutlu bir çizim programıdır ve zaman serisi tanımlamayı kolaylaştıran bir çok fonksiyona sahiptir.



Şekil 7.1: Tekdüze dağılıma göre oluşturulan verilerden talep tahmini yapılması

Şekil 7.1’deki veriler, yolcu sayısını 80 ile 110 arasında tekdüze rasgele bir dağılımdan alıp buna 5 günde yolcu sayısı 1 kişi artacak şekilde bir trend elde edilmiştir ve tüm zaman serisi 100 gün için oluşturulmuştur. Bu program ile her bir uçuş ayağı için talep tahmini yapılarak optimum atama değerleri bulunmaktadır.

8. BÖLÜM: UYGULAMA

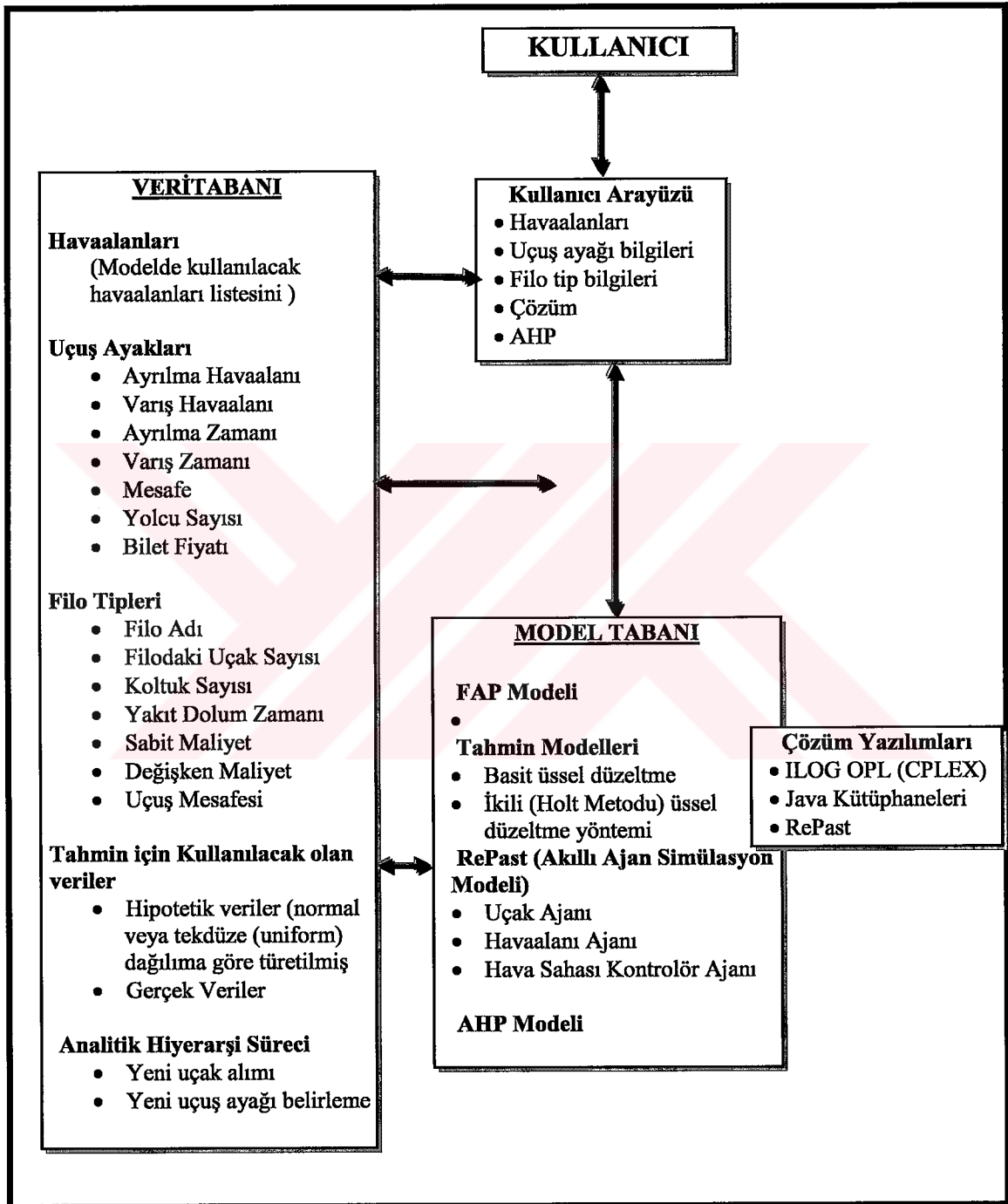
8.1 GİRİŞ

Bu tez kapsamında geliştirilen Filo Atama Karar Destek Sisteminin, veritabanları, model tabanı, çözüm yazılımları ve kullanıcı arayüzleri olmak üzere dört temel bölümü vardır. Bu KDS bölümleri ve kullanıcı arasındaki ilişkiler Şekil 8.1’de gösterilmektedir. Hava taşımacılığında filo atama problemlerini çözmeye yönelik olarak geliştirilen bu karar destek sistemini kullanan karar verici, bilgi girişini kolaylaştıran bazı arayüzleri kullanma olanağına sahiptir. Geliştirilen karar destek sisteminin temelde tek bir kullanıcı arayüzü vardır. Bu arayüz, filo atama ve analitik hiyerarşi süreci modülleri giriş ekranıdır. Bu giriş arayüzü kullanılarak havaalanları, uçuş ayağı, filo tipi bilgileri ve çözüm pencerelerini içeren karar destek sistemine (Şekil 8.3) ve analitik hiyerarşi süreci başlangıç penceresine (Şekil 8.8) ulaşılmaktadır.

Kullanıcı filo tipi, havaalanları ve uçuş ayakları ile ilgili bilgileri iki şekilde sisteme kaydedebilmektedir. Kullanıcı gerekli bilgileri ya daha önce hazırlanmış bir veri dosyasını sisteme okutarak elde edilebilir ya da kullanıcı arayüzleri yardımı ile gerekli bilgileri sisteme kaydedebilir. Bu pencerelere ilişkin detaylı bilgiler Bölüm 8.2’de anlatılmaktadır. Kullanıcı arayüzünün etkileşim içerisinde olduğu diğer bir kısım da modeller bölümüdür. Bu tez çalışmasında, filo atama problem (FAP) modeli, talep tahmin modeli, RePast (akıllı ajanlar simülasyon modeli) ve Analitik hiyerarşi süreci (AHP) modeli olmak üzere dört model kullanılmaktadır.

FAP modeli, filo atama problemini çözmek için *ILOG OPL Studio*’da programlanarak *CPLEX*’te çözülmektedir. Problem çözümü yapılırken Java, modeli *CPLEX*’e göndermekte ve çözümü alıp ekrana yazdırmaktadır. Tahmin modellerinden basit üssel düzeltme ve ikili üssel düzeltme yöntemleri her bir uçuş ayağı için yolcu sayılarının tahmin edilmesi için kullanılmaktadır. Analitik hiyerarşi süreci yeni bir uçak alımı ve/veya yeni bir uçuş ayağı belirleme gibi kararları vermek için kullanılmaktadır. Karar destek sisteminde kullanılan diğer bir model simülasyon modelidir. Bu model Java tabanlı bir ajan yazılım programı olan RePast yazılımında yapılmaktadır. Bu program ile hava sahası, havaalanı ve uçak ajanı gibi üç tip ajan yaratılmaktadır. Bu ajanlar

havaalanlarında ve/veya uçaklarda meydana gelen beklenmedik olay çözümlerini yaparak bu tür olayların maliyetler üzerindeki etkilerini araştırmada simülasyon aracı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 8.1: Filo Atama Karar Destek Sistemi Unsurları

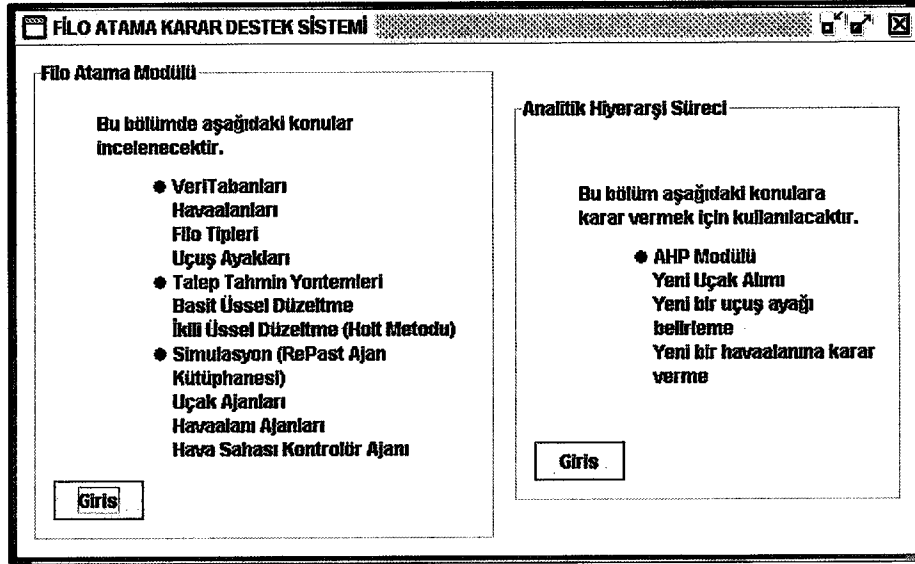
8.2 FİLO ATAMA KARAR DESTEK SİSTEMİ BÖLÜMLERİ

Geliştirilen Karar Destek Sistemi, filo atama problemlerini, yeni bir uçak alımı problemini ve her bir uçuş ayağındaki toplam yolcu taleplerini çözümleyebilmektedir. Ayrıca RePast akıllı ajan yazılım kütüphanesi kullanılarak havaalanlarında meydana gelen beklenmedik olayların ilgili havaalanlarında yaratacağı toplam kayıpların ne kadar olacağı hesaplanmaktadır. Bu bölümde, bu tür problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilen kullanıcı arayüzleri ve simülasyon sonuçları incelenecektir.

8.2.1 Filo Atama Karar Destek Sistemi (FAKDS)

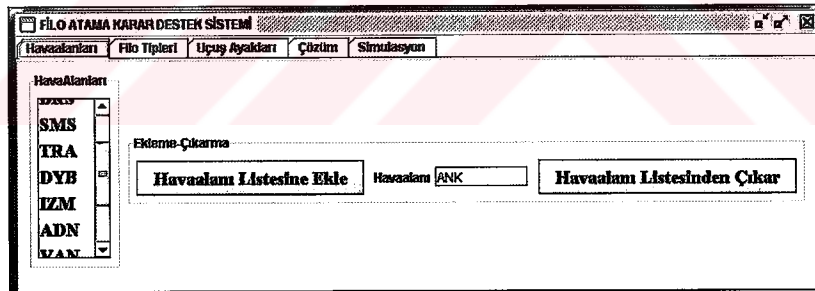
Bu tez kapsamında geliştirilen filo atama karar destek sistemi giriş ekranı “filo atama modülü” ve “Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Modülü” olmak üzere iki modülden oluşmaktadır (Şekil 8.2). Kullanıcı filo atama modülü sayfasındaki Giriş düğmesine bastığında filo atama çözüm ekranı (Şekil 8.3) açılmaktadır. Şekil 8.3’te havaalanları, filo tipleri ve uçuş ayağı bilgilerini ya arayüzler yardımı ile ya da daha önceden hazırlanmış veri dosyalarını okutarak doldurabilmektedir. Çözüm ekranında ise talep tahmin yöntemleri kullanılarak her bir uçuş ayağı için talep tahmini yapılarak filo atama problemi çözülmektedir. Optimum atama sonuçları, RePast ajan yazılım programı ve ajanlar (havaalanı, uçak ve kontrolör ajanları) kullanılarak simüle edilmektedir.

AHP modülü sayfasında bulunan “Giriş” düğmesine basıldığında AHP çözüm arayüz başlangıcı (Şekil 8.8) ekrana gelmektedir. Bu ekran ile yeni uçak alımı ve/veya yeni bir uçuş ayağı belirleme gibi kararlar, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP kullanılarak verilmektedir.



Şekil 8.2: Filo Atama Karar Destek Sistemi giriş ekranı

Bu çalışma ile geliştirilen filo atama karar destek sistemi, filo atama problem çözümü için kullanılacak havaalanları (Şekil 8.3), filo tip özellikleri (Şekil 8.4), uçuş ayaklarının tanımlandığı (Şekil 8.5) ve çözüm grafik kullanıcı arayüzlerinden oluşmaktadır.



Şekil 8.3: Filo Atama KDS Modelindeki Havaalanları Arayüz Ekranı

Çözüm seçeneğine geçmeden önce havaalanları, filo tipi özellikleri ve uçuş ayaklarına ilişkin verilerin tamamlanması gerekmektedir. Bu veriler ya üzerinde değişiklik yapılmaya olanak sağlayan daha önceden hazırlanmış bir dosyadan yüklenerek, ya da girdi bilgileri program yardımı ile tamamen sıfırdan oluşturulabilir. Şekil 8.3, filo atama problem çözümünde kullanılacak olan havaalanlarının tanımlandığı kullanıcı arayüzünü göstermektedir. Bu ekranın sol tarafında yer alan havaalanı bilgileri iki farklı şekilde oluşturulmaktadır. Eğer girdi verileri dosyadan okutuluyorsa, hava alanı isimleri

dosyadan alınmaktadır. Bu listede yer alan listeye havaalanı eklemek veya mevcut bir havaalanını listeden çıkarmak isteyen kullanıcı sağ taraftaki ilgili düğmeleri kullanacaktır.

Filo Adı	Filo Uçak Sayısı	Koltuk Sayısı	Dolum Zamanı	Sabit Maliyet	Değişken Maliyet	Mesafe
M86	100	12	18000	2	Shurt	
M87	200	18	35500	18		

Şekil 8.4: Filo Atama KDS Modelindeki Filo Tipleri Tanımlama Ekranı

Şekil 8.4, filo atamasında kullanılacak olan filo özellikleri bilgilerini göstermektedir. Her bir filo, filo içerisinde bulunan uçak sayısı, uçuş mesafesi, koltuk sayısı, yakıt dolum süresi, sabit maliyetler ve değişken maliyetler olmak üzere altı özelliğe sahiptir. Bu ekrandaki veriler iki şekilde oluşturulabilmektedir. Kullanıcı filo tipi girdi verilerini ya daha önceden hazırlanmış dosyadan alacaktır ya da ilgili alanları doldurarak filo tipi bilgilerini sıfırdan oluşturacaktır. Yeni bir filo veya filo tipi özelliği eklemek, mevcut filo bilgileri üzerinde değişiklik yapmak veya bilgileri silmek için kullanılabilecek ilgili butonlar mevcuttur.

Şekil 8.5, filo atama problem çözümünde kullanılacak olan tanımlı uçuş ayaklarını göstermektedir. Herhangi bir uçuş ayağı tanımlanırken ayrılma havaalanı, varış havaalanı, havaalanları arasındaki mesafe, ayrılma zamanı, varış zamanı, yolcu sayısı ve bu uçuş ayağı için belirlenen bilet satış fiyatı olmak üzere yedi husus söz konusudur. Kullanıcı, uçuş ayaklarına ilişkin bilgileri ya daha önceden hazırlanmış bir dosyadan alacak yada ilgili kutuları doldurularak verileri sıfırdan oluşturabilecektir. Herhangi bir uçuş ayağını silmek veya değiştirmek için ilgili butonlar kullanılabilir.

FİLO ATAMA KARAR DESTEK SİSTEMİ

Havaalanları Filo Tipleri Uçuş Ayakları Çözüm Simülasyon

Ayrılma Havaalanı: Varış Havaalanı: Mesafe: Ayrılma Zamanı: Varış Zamanı: Yolcu Sayısı: Bilet Fiyatı:

IST TRA Medium 87 337 137 3000

< 216, TRA, 7802, IST, 8037, Short, 40, 1000>
 < 217, TRA, 8711, IST, 8845, Short, 40, 1000>
 < 218, TRA, 8803, ANK, 9153, Medium, 51, 1000>
 < 218, SMS, 241, ANK, 452, Medium, 108, 1000>
 < 220, SMS, 780, ANK, 881, Medium, 138, 1000>
 < 221, SMS, 1473, ANK, 1884, Medium, 72, 1000>
 < 222, SMS, 2088, ANK, 2300, Medium, 84, 1000>
 < 223, SMS, 2782, ANK, 2893, Medium, 40, 1000>
 < 224, SMS, 3321, ANK, 3632, Medium, 138, 1000>
 < 226, SMS, 4014, ANK, 4225, Medium, 40, 1000>
 < 226, SMS, 4630, ANK, 4841, Medium, 48, 1000>
 < 227, SMS, 5631, ANK, 5842, Medium, 108, 1000>
 < 228, SMS, 8711, ANK, 8822, Medium, 40, 1000>
 < 228, SMS, 9327, ANK, 9538, Medium, 128, 1000>

Ekle

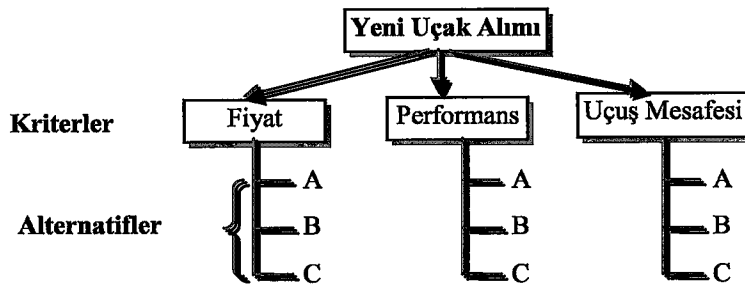
Tamamlı Uçuş Ayakları

Tamamlı Uçuş Ayağı Değiştir

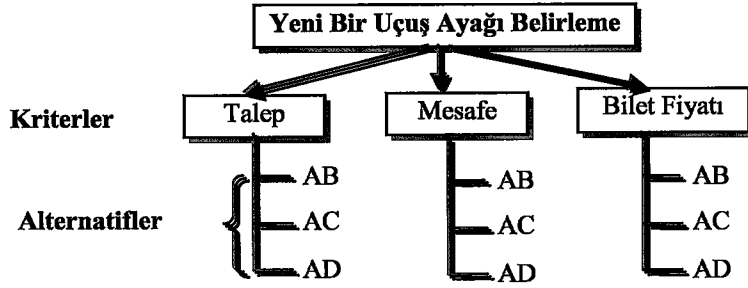
Şekil 8.5: Filo Atama KDS Modelindeki Uçuş Ayakları Tanımlama Ekranı

Filo atama problemi için geliştirilen Karar Destek Sistemi Java programlama dili kullanılarak yazılmıştır. 0-1 tamsayılı doğrusal programlama şeklinde oluşturulan filo atama problemi ILOG OPL Studio arayüzünde programlanmıştır. Java, başlangıç çözümünü yapabilmek için ILOG OPL Studio ile etkileşimli olarak çalışarak ILOG OPL Studio arayüzünde programlanan filo atama problemini CPLEX’de çözmektedir. Karar Destek Sistemi, çözüm yapabilmek için KDS’de tanımlanan havaalanı, filo tipleri ve uçuş ayakları bilgilerini model dosyası ile birleştirerek filo atama problemini çözmektedir.

Diğer bir kullanıcı arayüz penceresi, analitik hiyerarşi süreci penceresidir. Kullanıcı, bu pencereyi yeni bir uçak alımı ve/veya yeni bir uçuş ayağı belirme gibi iki farklı karar vermede kullanmaktadır. Bu iki duruma ilişkin karar hiyerarşileri Şekil 8.6 ve Şekil 8.7’de gösterilmektedir.



Şekil 8.6: Yeni uçak alımı hiyerarşisi



Şekil 8.7: Yeni bir uçuş ayağı belirleme hiyerarşisi

Yukarıda şematik olarak gösterilen yeni bir uçak alım kararını verebilmek amacıyla geliştirilen karar destek arayüzü Şekil 8.8’de gösterilmektedir. Geliştirilen arayüzde; problem adı ve kriter adları kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. Kriter sayısında herhangi bir sınırlama söz konusu değildir. Yeni uçak alım kararını verirken fiyat, performans ve uçuş mesafesi olmak üzere üç kriter belirlenmiştir.

Problemin Adı	Yeni Uçak Alım Kararı
1inci kriterin adı	Fiyat
2inci kriterin adı	Performans
3inci kriterin adı	Uçuş Mesafesi

Şekil 8.8: AHP çözüm arayüz başlangıcı

Şekil 8.6’de gösterildiği gibi yeni uçak alım kararı için üç farklı alternatif mevcuttur. Bu bilgiler tanımlandıktan sonraki aşamada, kriterlerin kendi aralarında ve her bir kriter bazında alternatiflerin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması gerekmektedir. İkili karşılaştırma matrisleri Şekil 8.9’de gösterildiği gibi programda kayıtlı olan öğelerin seçilmesi yoluyla yapılmaktadır. Talep kriterinin, mesafe kriterine göre **“kuvvetle tercih edilir”** bir kriter olması durumunda matriste bu hücrenin değeri 5 olacaktır. Aksi durumda mesafenin talebe göre tercih edilmesi $1/5 = 0.2$ kat daha fazla olacaktır. Benzer şekilde matrisin diğer elemanları “eş düzeyde tercih edilir = 1, daha fazla tercih edilir = 3, kuvvetle tercih edilir = 5, çok kuvvetle tercih edilir = 7, aşırı derece tercih edilir = 9” (Ulucan, 2004) seçeneklerinden biri kullanılarak belirlenmektedir.

	Talep	Mesafe	Bilet Fiyatı
Talep	1,00	Es düzeyde tercih edilir	1,00
Mesafe	0,20	Es düzeyde tercih edilir	0,20
Bilet Fiyatı	1,00	Daha fazla tercih edilir	1,00
Toplam	2,20	Kuvvetle tercih edilir	2,20
		Cok kuvvetle tercih edilir	
		Asiri derecede tercih edilir	

Normalize et

Şekil 8.9: İkili matris oluşturmada kullanılan ölçeklendirme değerleri

Yeni uçak alımı kararını verirken kullanılan kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı (Şekil 8.10), fiyat kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı(Şekil 8.11), performans kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı(Şekil 8.12) ve uçuş mesafesi kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı(Şekil 8.13) hesaplanmaktadır. Her bir ikili karşılaştırma matrisini normalize etmek için her bir hücre değeri o hücrenin ilgili olduğu sütunun toplam değerine bölünmektedir. Örneğin; fiyat-fiyat hücresinin normalize değeri $\frac{1}{1.67} = 0.600$ şeklinde hesaplanmaktadır. Benzer mantıkla diğer matris elemanları da normalize edilerek tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı hesaplanmaktadır.

Yeni Bir Uçak Alımı

	Fiyat	Performans	Uçuş Mesafesi
Fiyat	1,00	3,00	3,00
Performans	0,33	1,00	1,00
Uçuş Me...	0,33	1,00	1,00
Toplam	1,67	5,00	5,00

Normalize et

Normalize Edilmiş Karşılaştırmalar

	Fiyat	Performans	Uçuş Mes...	Kriter ağırlığı	Tutarlılık O...
Fiyat	0,600	0,600	0,600	0,600	3,000
Perfor...	0,200	0,200	0,200	0,200	3,000
Uçuş ...	0,200	0,200	0,200	0,200	3,000

Tutarlılık oranı

0.0

Şekil 8.10: Yeni uçak alım karar kriterleri ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı

Fiyat kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi

	A	B	C	
A	1,00	3,00	1,00	
B	0,33	1,00	0,33	
C	1,00	3,00	1,00	
Toplam	2,33	7,00	2,33	

Normalize et

Normalize Edilmiş Karşılaştırmalar

	A	B	C	Fiyat Puanı	Tutarlılık Ölçütü
A	0,429	0,429	0,429	0,429	3,000
B	0,143	0,143	0,143	0,143	3,000
C	0,429	0,429	0,429	0,429	3,000

Tutarlılık oranı

0,0

Şekil 8.11: Fiyat kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı

Performans kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi

	A	B	C	
A	1,00	5,00	3,00	
B	0,20	1,00	0,33	
C	0,33	3,00	1,00	
Toplam	1,53	9,00	4,33	

Normalize et

Normalize Edilmiş Karşılaştırmalar

	A	B	C	Performans Puanı	Tutarlılık Ölçütü
A	0,652	0,556	0,692	0,633	3,072
B	0,130	0,111	0,077	0,106	3,011
C	0,217	0,333	0,231	0,260	3,033

Tutarlılık oranı

0,03337

Şekil 8.12: Performans kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı

Uçuş Mesafesi kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi

	A	B	C	
A	1,00	3,00	0,14	
B	0,33	1,00	0,11	
C	7,00	9,00	1,00	
Toplam	8,33	13,00	1,25	

Normalize et

Normalize Edilmiş Karşılaştırmalar

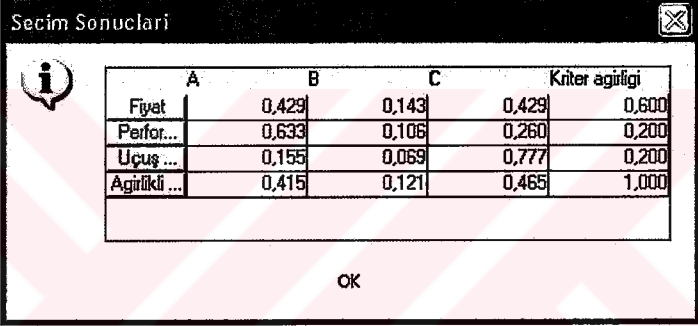
	A	B	C	Uçuş Mesafesi Puanı	Tutarlılık Ölçütü
A	0,120	0,231	0,114	0,155	3,043
B	0,040	0,077	0,089	0,069	3,013
C	0,840	0,692	0,797	0,777	3,190

Tutarlılık oranı

0,07081

Şekil 8.13: Uçuş mesafesi kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı

Karar verici alternatifler arasından seçim yapmadan önce normalize edilmiş tablolardan ikili karşılaştırmaların ne kadar tutarlı olduklarını kontrol etmesi gerekmektedir. Şekil 8.10 -8.13'deki tutarlılık oranlarının hepsinin de %10'nun altında olması nedeniyle tutarlılık oranlarında aşırı bir tutarsızlık söz konusu değildir. Dolayısıyla bu değerler, karar vermek için kullanılabilir değerlerdir. Her bir alternatif puanı ile ilgili kriter ağırlıkları çarpılarak her bir alternatif için toplam ağırlıklı puanlar hesaplanmaktadır (Şekil 8.14). Hangi alternatifin toplam ağırlıklı ortalama puanı büyükse o alternatif çözüm olarak seçilmektedir. Şekil 8.14'e göre, en yüksek ağırlıklı puana sahip (0.465) C alternatifi seçilmektedir.



	A	B	C	Kriter ağırlığı
Fiyat	0,429	0,143	0,429	0,600
Perfor...	0,633	0,106	0,260	0,200
Uçuş ...	0,155	0,069	0,777	0,200
Ağırlıklı ...	0,415	0,121	0,465	1,000

Şekil 8.14: Analitik Hiyerarşi Süreci ile yeni uçak alımı için seçim yapılması

Yeni uçak alım kararında olduğu gibi yeni bir uçuş ayağı belirme kararında da analitik hiyerarşi süreci kullanılmaktadır. Yeni bir uçuş ayağı belirleme kararını verirken kullanılan kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler matrisi, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı (Şekil 8.15), talep kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı (Şekil 8.16), mesafe kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı (Şekil 8.17) ve bilet fiyatı kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı (Şekil 8.18) hesaplanmaktadır.

Her bir ikili karşılaştırma matrisini normalize etmek için her bir hücre değeri o elamanın ilgili olduğu sütunun toplam değerine bölünmektedir. Örneğin; talep-talep hücresinin

normalize değeri $\frac{1}{2.14} = 0.467$ şeklinde hesaplanmaktadır. Benzer mantıkla diğer matris elemanları da normalize edilmekte, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı hesaplanmaktadır.

Yeni Bir Uçuş Ayağı Belirleme

	Talep	Mesafe	Bilet Fiyatı	
Talep	1,00		7,00	1,00
Mesafe	0,14	1,00		0,20
Bilet Fiyatı	1,00	5,00	1,00	
Toplam	2,14	13,00	2,20	

Normalize et

Normalize Edilmiş Karşılaştırmalar

	Talep	Mesafe	Bilet Fiyatı	Kriter ağırlığı	Tutarlılık Ölçütü
Talep	0,467	0,538	0,455	0,487	3,019
Mesafe	0,067	0,077	0,091	0,078	3,003
Bilet Fi...	0,467	0,385	0,455	0,435	3,016

Tutarlılık oranı

0.01086

Şekil 8.15: Yeni bir uçuş ayağı belirleme karar kriterleri ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı

Talep kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi

	A	B	C	
A	1,00		7,00	5,00
B	0,14	1,00		0,33
C	0,20	3,00	1,00	
Toplam	1,34	11,00	6,33	

Normalize et

Normalize Edilmiş Karşılaştırmalar

	A	B	C	Mesafe Puanı	Tutarlılık Ölçütü
A	0,714	0,714	0,714	0,714	3,000
B	0,143	0,143	0,143	0,143	3,000
C	0,143	0,143	0,143	0,143	3,000

Tutarlılık oranı

0.0

Şekil 8.16: Talep kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı

Mesafe kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi

	A	B	C	
A	1,00		5,00	5,00
B	0,20	1,00		1,00
C	0,20	1,00	1,00	
Toplam	1,40	7,00	7,00	

Normalize et

Normalize Edilmiş Karşılaştırmalar

	A	B	C	Mesafe Puanı	Tutarlılık Ölçütü
A	0,714	0,714	0,714	0,714	3,000
B	0,143	0,143	0,143	0,143	3,000
C	0,143	0,143	0,143	0,143	3,000

Tutarlılık oranı

0.0

Şekil 8.17: Mesafe kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı

Bilet fiyatı kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi

	A	B	C	
A	1,00	5,00	3,00	
B	0,20	1,00	0,33	
C	0,33	3,00	1,00	
Toplam	1,53	9,00	4,33	

Normalize et

Normalize Edilmiş Karşılaştırmalar

	A	B	C	Bilet Fiyatı Puanı	Tutarlılık Ölçütü
A	0,652	0,556	0,692	0,633	3,072
B	0,130	0,111	0,077	0,106	3,011
C	0,217	0,333	0,231	0,260	3,033

Tutarlılık oranı

0.03337

Şekil 8.18: Bilet fiyatı kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi, normalize değerler, tutarlılık ölçütleri ve tutarlılık oranı

Hangi uçuş ayağı alternatifinin seçileceğine karar vermeden önce normalize edilmiş tablolardan ikili karşılaştırmaların ne kadar tutarlı olduklarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 8.15 - 8.18'deki tutarlılık oranlarının hepsinin de %10'nun altında olması nedeniyle tutarlılık oranlarında aşırı tutarsızlık söz konusu değildir. Dolayısıyla bu değerler karar vermek için kullanılabilir.

Seçim Sonuçları				
	A	B	C	Kriter ağırlığı
Talep	0,724	0,083	0,193	0,487
Mesafe	0,714	0,143	0,143	0,078
Bilet Fl...	0,633	0,106	0,260	0,435
Ağırlıklı ...	0,684	0,098	0,219	1,000

OK

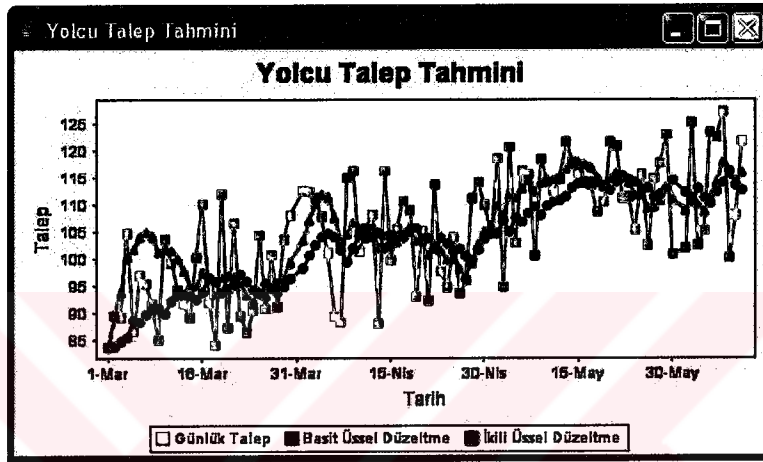
Şekil 8.19: Yeni bir uçuş ayağının Analitik Hiyerarşi Süreci ile seçim yapılması

Her bir alternatif puanı ile ilgili kriter ağırlıkları çarpılarak alternatifler için toplam ağırlıklı puanlar hesaplanmaktadır (Şekil 8.19). Şekil 8.19'a göre en yüksek ağırlıklı puana sahip (0.684) A alternatifi yeni uçuş ayağı olarak seçilmektedir.

8.2.2 Yolcu Talep Tahmini

İkinci bölüm, yolcu talep tahmini yapılması ile ilgili kısmı oluşturmaktadır. Bu bölümde her bir uçuş ayağı için yolcu talep tahmini yapılmaktadır. Yolcu talep tahmini normal dağılım, tekdüze (uniform) ve trendli normal dağılım olmak üzere üç farklı dağılımda

hipotetik olarak türetilmiş seriler kullanılarak yapılmaktadır. Talep tahmini hipotetik verilerin hangi dağılıma göre türetildiğine bağlı olarak değişmektedir. Talep tahmini, basit üssel düzeltme veya İkili Üssel Düzeltme (Holt yöntemi) yöntemlerinden biri kullanılarak yapılmaktadır. Veriler normal veya tekdüze (uniform) olarak oluşturulursa, basit üssel düzeltme yöntemi uygun talep tahmin yöntemi olmaktadır. Eğer veriler belli bir trend içeriyorsa, uygun talep tahmin yöntemi ikili üssel düzeltme (Holt Metodu) yöntemi olmaktadır. Çünkü Holt metodu trendi de içeren bir modeldir.



Şekil 8.20: Tekdüze (uniform) dağılım verilerine göre basit ve ikili üssel düzeltme yöntemlerine göre talep tahmini

Şekil 8.20, tekdüze (uniform) (80-110 arasında) dağılım olarak türetilen verilerin, basit ve ikili üssel düzeltme yöntemine göre yapılan talep tahmin değerlerini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ikili üssel düzeltme gerçek verilerle daha yakın özellikler göstermektedir. Talep tahmini Java istatistik kütüphanesi kullanılarak yapılmaktadır. Üssel düzeltme yöntemlerinde kullanılan düzeltme katsayısı, Java kütüphanesi tarafından ortalama hatalar karesini minimum yapacak şekilde hesaplanmaktadır.

Bu yöntem ile her bir uçuş ayağı için elde edilen tahmini talep değerleri filo atama problemini çözerken uçuş ayaklarındaki yolcu sayıları olarak kullanılmaktadır. Talep tahmini ile ilgili istatistiksel moment değerleri incelenerek hangi talep tahmin yönteminin daha uygun olduğuna karar verilebilir. Tekdüze dağılım olarak türetilen verilere ilişkin istatistiksel moment değerleri Tablo 8.1’de gösterilmektedir.

Tablo 8.1: Tekdüze (Uniform) dağılıma göre talep tahmin yöntemleri sonucu elde edilen istatistiksel moment değerleri

	MAD	MAPE	MSE	bias	SAE
İkili Üssel Düzeltme	7.932	0.075	84.556	-1.844	785.341
Basit Üssel Düzeltme	8.653	0.084	103.708	0.748	848.010

Tablo 8.1'deki veriler kullanılarak hangi tahmin yönteminin daha uygun olduğuna karar verilebilmektedir. İstatistiksel moment değerlerinden düşük değerlere sahip olan tahmin yöntemi uygun tahmin yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu değerlere göre ikili üssel düzeltme metodu diğer yöntemlere göre daha uygun bir yöntem olmaktadır. Sapma (*Bias*), tahmin değerlerinin gerçek değerlerden ne kadar saptığını göstermektedir. İstatistiksel moment ifadelerinin açılımı aşağıdaki gibidir.

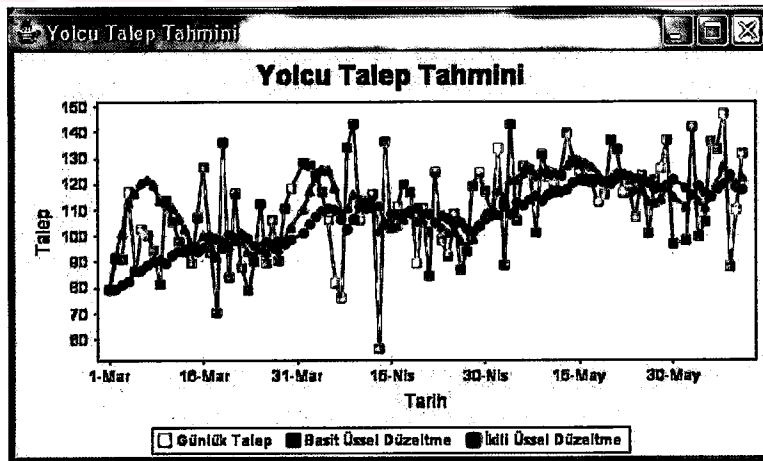
MAD: Ortalama Mutlak Sapma (Mean Absolute Deviation)

SAE: Mutlak Hatalar Toplamı (Sum of Absolute Errors)

MSE: Ortalama Hatalar Karesi (Mean Square Errors)

MAPE: Ortalama Mutlak Yüzde Hatalar (Mean Absolute Percentage Errors)

Bias: sapma



Şekil 8.21: Normal dağılım verilerine göre basit ve ikili üssel düzeltme yöntemlerine göre talep tahmini

Benzer şekilde normal dağılım şeklinde oluşturulan veriler kullanılarak talep tahmini değerleri ve normal dağılım verileri Şekil 8.21'deki gibi olmaktadır.

Normal dağılım şeklinde veri oluşturulurken ortalama 100 ve standart sapma 18 olarak alınmıştır. Bu durumda yapılan tahminlere ilişkin istatistiksel moment değerleri Tablo 8.2'de sunulmaktadır. Tablo 8.2 değerlerine göre ikili üssel düzeltme yöntemi daha uygun bir yöntem olarak görülmektedir.

Tablo 8.2: Normal dağılıma göre talep tahmin yöntemleri sonucu elde edilen istatistiksel moment değerleri

	MAD	MAPE	MSE	bias	SAE
İkili Üssel Düzeltme	14.774	0.140	326.917	-3.151	1462.673
Basit Üssel Düzeltme	16.506	0.160	417.036	1.525	1617.622

8.2.3 Optimum Atama Sonuçlarının Gösterilmesi

Bu bölüm, optimum atamaların gösterilmesi ile ilgilidir. Bir önceki bölümde elde edilen talep tahmin değerleri her bir uçuş ayağına kaydedilmektedir. İlgili veriler ve filo atama modeli kullanılarak CPLEX programı aracılığıyla çözüm yapılarak uygun atamalar (Şekil 8.22) elde edilmektedir. Elde edilen optimum atama sonuçları bir sonraki kısımda RePast ajan yazılım programı ile simüle edilmektedir.

Uçuş Ayakları											
Id	Ayrıl...	Ayrıl...	Varış ...	Varış Z...	Mesafe	Yolcu ...	Bilet Fl...	Ucan F...	Atama	Maliyet	Gelir
0	ANK	87	IST	337	Medium	137	3000	B75	1	157500	411000
1	ANK	202	TRA	452	Medium	119	1000	B85	1	189250	119000
2	ANK	472	SMS	683	Medium	54	1000	B85	1	97470	54000
3	ANK	510	IST	760	Medium	100	3000	B75	1	120500	300000
4	ANK	587	VAN	799	Medium	114	1000	B75	1	117172	114000
5	ANK	1165	SMS	1378	Medium	144	1000	B75	1	142036	144000
6	ANK	1511	TRA	1781	Medium	96	1000	B75	1	116500	96000
7	ANK	1550	IST	1761	Medium	48	3000	B85	1	91140	144000
8	ANK	1781	SMS	1992	Medium	72	1000	B75	1	81288	72000
9	ANK	1858	IST	2089	Medium	84	3000	B85	1	129120	252000
10	ANK	2127	TRA	2377	Medium	40	1000	B75	1	80500	40000
11	ANK	2204	SMS	2416	Medium	120	1000	B75	1	122280	120000
12	ANK	2628	IST	2878	Medium	87	3000	B75	1	87500	201000
13	ANK	2743	TRA	2993	Medium	40	1000	B85	1	90500	40000
14	ANK	3013	SMS	3224	Medium	66	1000	B75	1	76204	66000
15	ANK	3051	IST	3301	Medium	137	3000	B75	1	157500	411000
16	ANK	3128	VAN	3340	Medium	120	1000	B75	1	122280	120000
17	ANK	3708	SMS	3917	Medium	102	1000	B75	1	108588	102000
18	ANK	4052	TRA	4302	Medium	40	1000	B75	1	80500	40000
19	ANK	4091	IST	4302	Medium	66	3000	B75	1	76204	108000

Şekil 8.22: Filo Atama KDS Modeli Çözüm Sonucu Optimal Atama, Maliyet ve Gelirler

Elde edilen optimum çözüm ekranı her bir uçuş ayağının özelliklerine ek olarak, ilgili uçuş ayağına hangi filo tipinin atandığını, her bir uçuş ayağının gelir ve giderlerinin ne kadar olduğunu göstermektedir. Her bir uçuş ayağına ilişkin toplam gelirler tahmini değerler olmaktadır. Çünkü, bu değerler tahmini yolcu sayıları ile ilişkilidir.

8.2.4 Akıllı Ajanlar Simülasyonu

Bu bölüm, geliştirilen KDS programının simülasyon kısmını oluşturmaktadır. Bu bölümde simülasyon yapabilmek için havaalanları, uçaklar, hava sahası kontrolör ajanı ve havaalanlarında olay yaratan ajan olmak üzere temelde 4 farklı özellikte (1 hava sahası kontrolör ajanı, 10 havaalanı ajanı, 12 uçak ajanı ve 1 olay yaratan ajan) ajan tipi tanımlanmaktadır. Bu ajanların yaşayacakları belirli bir “Hava Sahası” oluşturularak her bir uçuş ayağı için atanan uçakların zamanında uçmaları görsel olarak simüle edilmektedir. Bu bölümde yapılan simülasyonun temelde iki amacı vardır.

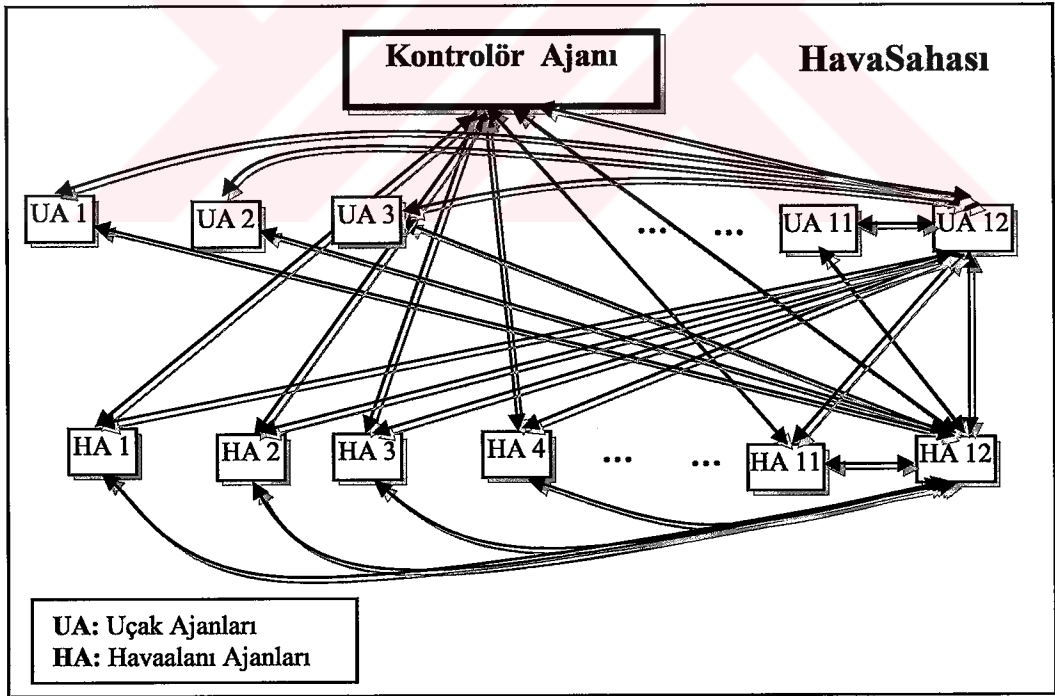
- Havaalanlarında beklenmedik olaylar yaratılması.
- Uçaklarda rasgele sürelerle beklenmedik olayların yaratılması.

Gerek havaalanlarında gerekse uçaklarda meydana gelen beklenmedik olayların toplam maliyetler ve gelirler üzerinde nasıl bir etki yapacağı araştırılmaktadır. Beklenmedik olayların (örneğin, olumsuz hava koşulları, uçak bozulmaları, vb olaylar) teker teker incelenmesine gerek yoktur. Çünkü bu olayların bireysel olarak incelenmesi ile toplam olarak incelenmesi arasında fark yoktur. Herhangi bir beklenmedik olay yaşanması durumunda “hava sahası kontrolör ajanı” durumu çözmek için havaalanı ve/veya uçak ajanları ile haberleşmektedir. Bu simülasyon kısmı, Java tabanlı RePast simülasyon programı ile yapılmaktadır.

Programın FS.java olarak adlandırılan simülasyon kısmı, RePast adlı ajan programlama platformu üzerine inşa edilmiştir. Bu ve benzeri platformların sağladığı başlıca faydalar aşağıdaki gibi sayılmaktadır.

- Ajanların görevlerini yerine getirmeleri için bir zaman-akış kavramı sağlamaları,
- Ajanların görülebileceği bir gösterim arayüzü sağlamaları,
- Ajanların yaşadığı soyut bir uzayın tanımlanabilmesi. Bu uzay, basit iki boyutlu tamsayı uzayı olabileceği gibi oldukça karmaşık coğrafi bilgi uzayı da (GIS) olabilmektedir.

Programdaki ajanların yapı ve işlevlerini anlatmadan önce, bu ajanların yaşadıkları uzayı tanımlamak, ajan kavramını anlamada fayda sağlayacaktır. Ajanların yaşadığı alan HavaSahası olarak adlandırılmaktadır(Şekil 8.23). Bu uzay, basit iki boyutlu bir tamsayı uzayı olarak tanımlanmaktadır. Aslında, daha gerçekçi bir programda uçulacak havaalanları ve uçuş yollarını da içeren bir GIS uzayı olarak tanımlanmaktadır. Bu tür bir uzay tanımlaması, simülasyon sırasında beklenmedik olayların gerçekleşmesinde uçakların nasıl yönlendirileceği sorusunu da kolaylaştırmaktadır.



Şekil 8.23: Ajanlar arasındaki ilişkiler

HavaSahası adlı uzay simülasyonunda tüm ajanlar, uçuşu tamamlanmış tüm uçuşlarla ilgili maliyet ve getiri bilgilerini ve belirli bir anda aktif durumdaki uçuşları kayıt etmektedir. Herhangi bir problem olduğunda Kontrolör ajanı, uçak ajanları ve

havaalanı ajanları ile haberleşerek problemin ne olduğuna dair sorular sormaktadır. HavaSahası ve ajanlar arasındaki ilişkiler Şekil 8.23'te gösterilmektedir.

Havaalanı ajanlarının işlevi; kendilerini ekrana çizmek, soranlara koordinatlarını bildirmek, uçakların inmesi veya kalkmasına izin vermek, kontrolör ajanının isteği ile o havaalanında belli bir anda bulunan ve uçabilecek uçaklardan istenilen özelliklere sahip uçağı belli bir uçuşa tahsis etmek, hava alanında "olay" varsa, bu olay süresince iniş ve kalkışları durdurmak ve olay çözüldüğünde tekrar normal işleyişe geçmektir. Havaalanı ajanları, belli bir anda kendilerinde bekleyen ve belli bir zaman diliminde gelmesini bekledikleri uçaklara ilişkin tüm verileri içeren bir liste tutarlar. Ayrıca o havaalanından simülasyon başlangıcından beri geçen tüm uçaklarla ilgili bilgiler de havaalanı ajanlarınca kayda geçirilir.

Hava sahası kontrolör ajanı, simülasyon sırasında görünmeyen bir ajandır. Bu ajanın işlevi, HavaSahası (Şekil 8.23) adlı hava sahasında kayıtlı herkesin görevini uygun zamanda yerine getirmesini sağlamaktır. Bu ajan, optimizasyon sonrası oluşturulan uçuş ayağı bilgilerini tutar ve bu listeden zamanı geldiğinde her uçuş için uygun bir uçak bulup o uçağı, varış havaalanına taşıyacağı yolcu sayısı ve uçuş süresi gibi bilgileri aktarır. Uçuşlar sırasında olay yaratılmış ise hem uçak ajanları hem de Havaalanı ajanları kontrolöre haber verirler. Kontrolör de olayı değerlendirip yapılması gerekeni geriye bildirir. Bu değerlendirme aşağıda belirtildiği gibidir.

- Eğer sorun havadaki uçak ajanından geliyorsa ve varış havaalanında, varış zamanından geç bitecek bir problem varsa ve bu problem de uçak inişini engelleyecek durumda ise, uçak başka bir havaalanına yönlendirilmektedir.
- Eğer sorun bir hava alanından kaynaklanıyorsa, oluşan olay süresince bu havaalanına inmesi gereken uçaklar başka uygun hava alanlarına yönlendirilmekte ve bu havaalanından kalkması gereken uçuşlar belli bir süre ertelenmektedir.

Uçak ajanlarının özellikleri, kendilerini simülasyon alanında canlı gösterebilmeleri, belli bir uçuş ayağını uçmak için emir alıp, bunu yerine getirmek amacıyla uçuş süresi içerisinde ayrılma havaalanından varış havaalanına gidebilmeleri, hava

sahasında meydana gelen olayları dinleyip, kendilerini ilgilendirenlerin farkına varabilmeleri ve sorun çözümü için kontrolörle haberleşip, kontrolörün direktifleri doğrultusunda hareket edebilmeleri olarak sayılabilir.

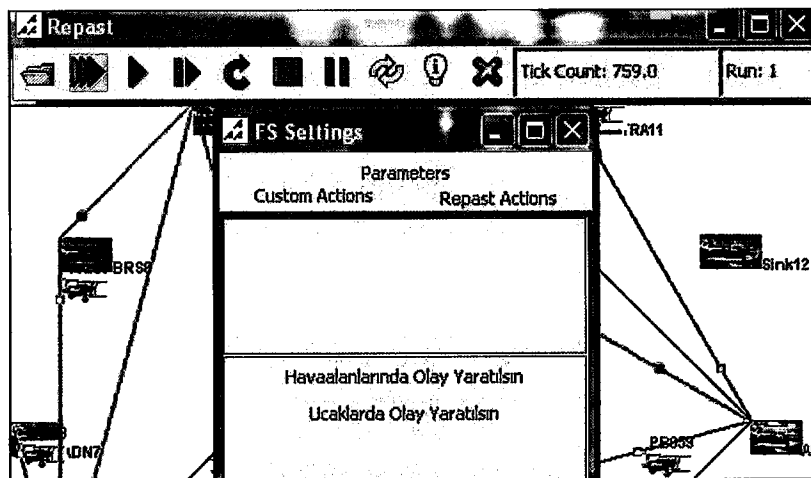
Uçak ajanları, uçtukları uçuş ayakları ile ilgili tüm bilgileri kaydederler ve herhangi bir zamanda bu bilgiyi isteyen havaalanı ajanı veya uçak ajanına bildirirler. Bu program içerisindeki tüm ajanlar **RePast** platformunun **AutoStepable** adlı ara yüzünü uyarlarlar. Bu arayüzü uyarlayan nesnelerin davranışı,

PostStep ()

step ()

PreStep ()

adlı yöntemlerde tanımlanan davranışları her simülasyon adımında yerine getirirler. Kontrolör ajanı her *PreStep ()* adımında, o zaman dilimi için ayarlaması gereken uçuş ayağı olup olmadığını kontrol eder, varsa ilgili havaalanını arayıp uygun uçak / uçakları uçuş ayağına atmasını ister ve ilgili uçaklara uçuşla ilgili bilgi verir. Bu ajanın *Step ()* adımında herhangi bir işlevi yoktur. Kontrolör ajanı ayrıca her *PreStep ()* adımında hava uzayında olay olup olmadığını kontrol eder ve gerekli çözümleri ilgililere bildirir.



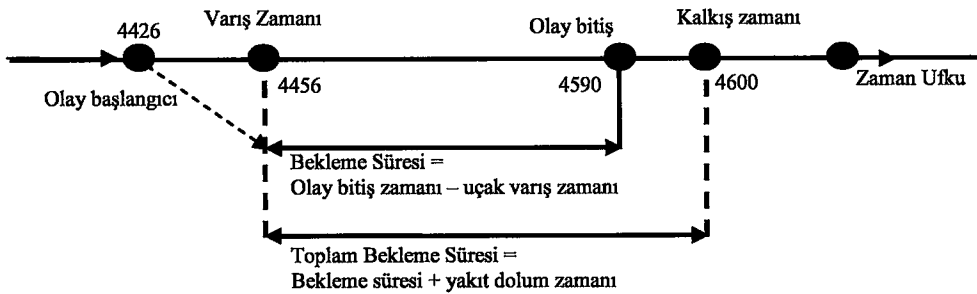
Şekil 8.24: RePast ve Havaalanı / uçaklarda Olay Yaratma Ekranı

Uçak ajanları her $preStep()$ adımında ne iş yapmakta olduklarını kontrol ederler. Eğer $step()$ adımında uçmaya başlaması gereken bir uçak varsa, hava alanından kalkış izni ister. Uçak, $Step()$ adımında uçuyorsa, varış havaalanına doğru konumunu değiştirir.

RePast platformunun sağladığı simülasyon olanaklarından biri, ajanların görevlerini yerine getirebilecekleri bir zaman çizelgeleme yöntemidir. Bu yöntemde, *RePast*'ın (Şekil 8.24) bir saat ve bu saatin her dakikasında belirli işleri yapabilme olanağı sağladığı düşünülmektedir. *RePast* ve benzeri platformların sağladığı bir başka kolaylık, ajanların hangi zaman diliminde hangi işi yapacaklarını gösteren çizelgeleri basitleştirerek kullanıcının hizmetine sunmalarıdır. Bunun bir örneği, bu programda da kullanılan ajanların *AutoStepable* ara yüzünü uyarlayarak her zaman dakikasını üç parçaya bölerek, zaman adımı öncesi, adımda ve adım sonrasında yapacakları işleri tarif edebilmektedirler.

8.2.4.1 Beklenmedik Olayların Havaalanları Üzerindeki Etkileri

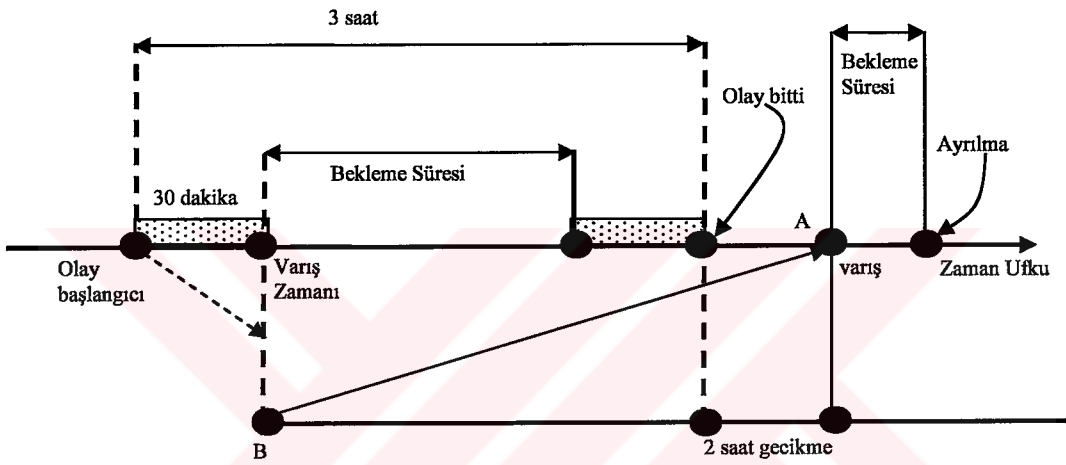
Havaalanında herhangi bir olay nedeniyle yaşanan aksaklıklar birbirini takip eden bir çok uçuşun ertelenmesine veya iptal edilmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle havaalanlarında meydana gelen olayların birbirlerini takip eden uçuşları çok fazla etkilememesi gerekir.



Şekil 8.25: Toplam Bekleme Süresi

Şekil 8.25 ve Şekil 8.26, farklı toplam bekleme ve gecikme zamanlarını göstermektedir. Bu şekillerde belli bir zaman ufku (1 hafta) söz konusudur. Zaman ufku üzerindeki olay

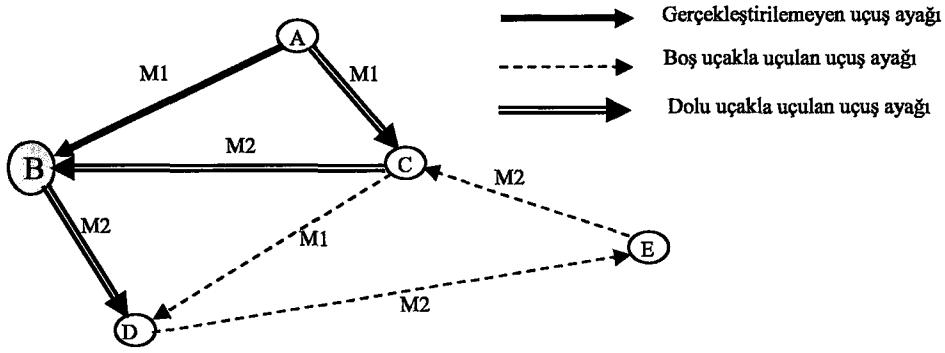
noktaları farklı havaalanlarında gerçekleşen olayları göstermektedir. Burada hesaplanan bekleme ve gecikme süreleri, herhangi bir havaalanında olay olması nedeniyle uçakların katlandıkları bekleme ve gecikme sürelerini göstermektedir. Herhangi bir havaalanında olay yaşanması durumunda bu havaalanına gelmesi gereken bir uçak, olay bitiminden sonra gelebilecektir. Örneğin A havaalanında yaşanan bir olay nedeni ile B havaalanından kalkan uçak A havaalanına ancak olayın bitim saatinden sonra ulaşabilecektir (Şekil 8.26). Bu gecikmenin süresi havaalanlarında yaşanan olayın süresi ile ilgilidir.



Şekil 8.26: Toplam gecikme süresi

Olay süresi ve gecikme süreleri ile ilgili olarak yaşanacak uçuş gecikmelerine ilişkin rotasyon Şekil 8.27'de gösterilmektedir. Şekil 8.27, herhangi bir havaalanının belli bir süre kapanması durumunda o havaalanına gelen uçuşların durumuna ilişkin alternatif rotasyonları göstermektedir.

Örneğin, B havaalanının herhangi bir olay nedeniyle belli bir süre kapanması durumunda, bu havaalanına gelmesi gereken tüm uçuşlar, havaalanı normal hizmet verebilecek duruma gelinceye kadar ertelenecek veya iptal edilecektir.



Şekil 8.27: Olay olan havaalanına inmesi gereken uçakların başka havaalanına inmesi durumu

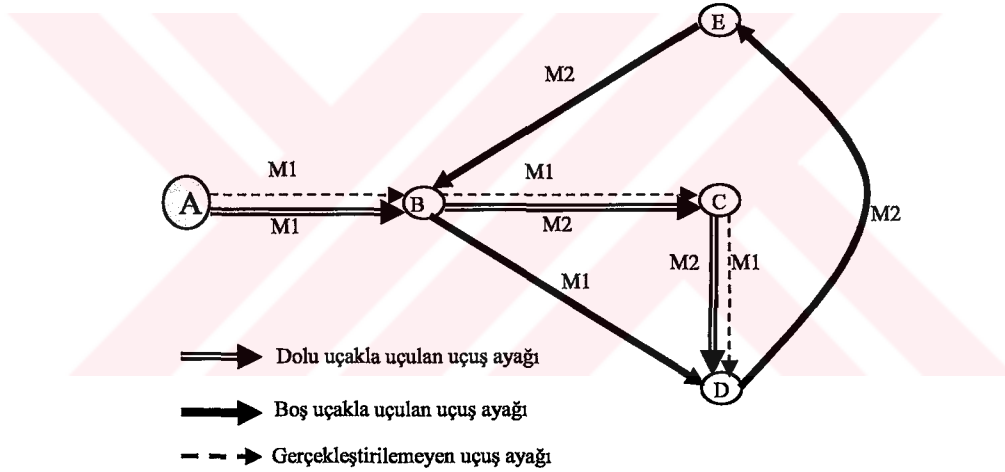
Bu tez kapsamında geliştirilen Karar Destek Sisteminde, bu tür bir durum ile karşılaşıldığında, uçuş erteleme veya iptaline gidilmeden önce belli bir süre içerisinde diğer tüm havaalanlarında boş bekleyen veya belli bir süre içerisinde boş duruma geçecek uygun uçaklar araştırılmaktadır. Şekil 8.27’de, M_1 tipindeki uçak AB uçuş ayağını gerçekleştirirken B havaalanı bir olay nedeniyle kapanmıştır. Bu nedenle M_1 tipindeki uçak başka bir havaalanına (C’ye) yönlendirilmektedir. M_1 uçağı C havaalanına indiğinde iki durum söz konusudur.

- M_1 uçağının, B havalındaki olayın bitiminde yolcuları C’den B’ye taşıyacak oradan da BD normal uçuş ayağını gerçekleştirecek zamana sahip olup olmadığı araştırılmaktadır. Buradaki önemli varsayım; B havaalanındaki olayın süresinin belli olmasıdır. Yani havaalanının ne kadar süre kapalı kalacağı bilinmektedir. Eğer M_1 uçağı, yeterli zamana sahipse bu uçuşu gerçekleştirir. Eğer yeterli zamana sahip değilse, C’den D havaalanına boş uçuş gerçekleştirip, sonraki normal uçuşu için D havaalanında bekler. Bu durumda CB – BD uçuş ayaklarını gerçekleştirebilecek başka bir uçak araştırılır.
- Başka bir havaalanında (örneğin E) uygun bir boş uçak (M_2) C havaalanına boş uçuş gerçekleştirir. M_2 uçağı CB – BD uçuş ayaklarını gerçekleştirip boş şekilde D havaalanından E havaalanına uçup kendi normal uçuşuna devam eder. Bu uçuşlarla ilgili maliyet artışları aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tablo 8.3: Olay yaşanan havaalanına gelen uçuşların gecikme maliyetleri

Uçuş Ayakları	Uçak	Doluluk	Maliyet Artışı
AC	M_1	Dolu	AB maliyeti (ek maliyet yok)
DE	M_2	Boş	M_2 'in sabit maliyeti
EC	M_2	Boş	M_2 'nin sabit maliyeti (SM)
BD	M_2	Dolu	$(M_2 \text{ Sabit maliyeti} - M_1 \text{ Sabit maliyeti}) +$ $(\text{Değişken Maliyet } M_2 - \text{Değişken Maliyet } M_1) * \text{ yolcu sayısı} * \text{ uçuş süresi}$
CB	M_2	Dolu	
CD	M_1	Boş	M_2 'nin sabit maliyeti (SM)

Şekil 8.28, olay yaşanan havaalanından kalkması gereken uçuşlara ilişkin güzergahları göstermektedir. Şekil 8.28’de M_1 tipi uçağın başlangıç optimum atamaya göre uçuşması gereken uçuş ayakları AB – BC – CD güzergahıdır. A havaalanında belli bir süre olay olması nedeniyle M_1 uçağının kalkamaması durumunda BC – CD uçuş ayakları da bu olaydan etkilenmektedir.

**Şekil 8.28:** Olay olan havaalanından kalkması gereken uçakların kalkamaması durumu

Bu uçuş ayaklarının A havaalanındaki olaydan çok fazla etkilenmemesi için BC – CD uçuş ayaklarını gerçekleştirebilecek uygun bir uçak araştırılır. Bulunan uygun uçağın B havaalanına gelip BC – CD uçuş ayaklarını gerçekleştirip D havaalanından tekrar geldiği E havaalanına geri dönüp, kendi normal uçuşunu gerçekleştirebilecek zamana sahip olması gerekmektedir. Uygun olan uçak (M_2) EB (boş), DE (boş), BC (dolu) ve CD (dolu) olmak üzere dört uçuş gerçekleştirmektedir. M_1 uçağı AB uçuş ayağını normal yapması gereken uçuş olarak tamamlar.

M_1 uçağı başlangıç optimum atama sonucuna göre D havaalanından sonraki uçuşlarını yapmak için BD uçuş ayağını boş olarak gerçekleştirmektedir ve bu durumun toplam maliyetlere etkisi Tablo 8.4'deki gibi hesaplanmaktadır.

Tablo 8.4: Olay yaşanan havaalanından kalkış yapacak olan uçuşlarla ilgili maliyetler

Uçuş ayakları	Uçak	Doluluk	Maliyet Artışı
AB	M_1	Dolu	Başlangıçta atanan maliyetten fark yok
BD	M_1	Boş	M_1 'in sabit maliyeti
EB	M_2	Boş	M_2 'nin sabit maliyeti (SM)
BC	M_2	Dolu	$(M_2 \text{ Sabit maliyeti} - M_1 \text{ Sabit maliyeti}) + (\text{Değişken Maliyet } M_2 - \text{Değişken Maliyet } M_1) * \text{yolcu sayısı} * \text{uçuş süresi}$
CD	M_2	Dolu	
DE	M_2	Boş	M_2 'nin sabit maliyeti (SM)

Gecikmelerin neden olduğu zincirleme sonuçlara ilişkin açıklamalar ve alternatif çözümlerin toplam maliyetler üzerinde yarattığı etkiler incelendikten sonra, beklenmedik olay frekanslarının her bir havaalanında yarattığı maliyet etkisi simüle edilecektir.

8.2.4.2 Simülasyon

Bu çalışmada, havaalanlarında yaşanan beklenemedik bazı olayların toplam maliyetler üzerindeki etkileri simüle edilmektedir. Bu simülasyon Şekil 8.29'da görünen arayüz kullanılarak yapılmaktadır.

Simülasyon Parametreleri

1) Olay Sayısı

a) Kac Olay Yaratılsın?

b) Normal dağılım olarak yaratılsın: Ortalama: Standart Sapma:

c) Uniform dağılım Min: Max:

2) Olay Sureleri

a) Olay Süresi

b) Normal dağılım olarak yaratılsın Ortalama: Standart Sapma:

c) Uniform dağılım Min: Max:

Olay Sayısı Dağılımı: Normal ☒ Olay Süresi Dağılımı: Normal ☒

Simüle Et

Şekil 8.29: Simülasyon Parametreler Ekranı

Bu arayüz ile simülasyon parametreleri belirlenebilmektedir. Bu parametreler olay sayısı ve olay süresi olmak üzere iki temel kısımdan oluşmaktadır. Olay sayısı ve olay süreleri kullanıcı tarafından belirlenebileceği gibi normal veya tekdüze (uniform) dağılımlar şeklinde de oluşturulabilmektedir. Kullanıcı olay sayısı ve olay süresini normal veya tekdüze (uniform) dağılım şeklide oluşturmak istiyorsa bu dağılımlarla ilgili parametreleri saptaması gerekmektedir.

Kullanıcı normal ve tekdüze (uniform) dağılımlara ilişkin parametreleri istediği şekilde simülasyon parametreleri penceresinden değiştirebilmektedir. İlgili parametreler belirlendikten sonra olay sayısının ve olay sürelerinin hangi dağılıma göre türetileceği belirlenerek simülasyon yapılmaktadır. Bu simülasyona ilişkin aşamalar aşağıdaki gibi olmaktadır.

- Beklenmedik olayların hangi havaalanlarında gerçekleşeceğinin saptanması gerekmektedir. Bu işlem, Tablo 8.5 kullanılarak yapılmaktadır. Olayın hangi havaalanında olacağına karar verirken iki farklı durum dikkate alınmaktadır. Bunlardan birincisi Tablo 8.5’de olduğu gibi havaalanları 1’den 10’a kadar sıralanmaktadır. 1-10 arasında bir rassal bir sayı türetilmektedir. Beklenmedik olay rassal olarak türetilen sayıya karşılık gelen havaalanında olmaktadır. Diğer durumda ise her bir havaalanından olan toplam uçuşlar dikkate alınmaktadır. Bir haftada toplam 230 uçuş gerçekleştirilmektedir. Tablo 8.5’deki kümülatif kalkış sayıları oluşturulurken her bir havaalanından kalkan uçuşlar dikkate alınmıştır. Gelen uçuşlar dikkate alınmamıştır. Herhangi bir olayın hangi havaalanında olduğuna karar verebilmek için 0-230 arasında rasgele bir sayı seçilmektedir.

Tablo 8.5: Havaalanlarından gerçekleştirilen uçuş sayıları

Havaalanı	Sıra	Kalkış sayısı	Kümülatif kalkış sayısı
ANK - Ankara	1	37	37
IST – İstanbul	2	80	117
VAN - Van	3	3	120
ADN – Adana	4	20	140
IZM – İzmir	5	14	154
ANT – Antalya	6	14	168
DYB - Diyarbakır	7	18	186
BRS – Bursa	8	12	198
TRA – Trabzon	9	21	219
SMS - Samsun	10	11	230

Seçilen bu sayı Tablo 8.5’de kümülatif olarak ifade edilen veri aralıklarından hangisine karşılık geliyorsa, olay o havanında olacak kararı verilmektedir. Örneğin, çekilen sayı 107 olsun. Tablo 8.5’e göre olay IST havaalanında olacaktır.

- Simülasyonun çalışma sürecini gösterebilmek için Tablo 8.6 kullanılmaktadır. Örneğin deney 1’in sonuçları Tablo 8.6’daki gibi olsun. Burada toplam 3 olay iki farklı havaalanında gerçekleşmektedir. Olaylardan ikisi (118 dakika ve 110 dakika olarak) ANK havaalanında gerçekleşmekte ve bir tanesi de BRS’de (84 dakika) gerçekleşmektedir. Buna göre, bu olayların ilgili havaalanlarında yaratacağı toplam maliyet artışları hesaplanmaktadır. Diğer deneysel sonuçlar Ek-3’te sunulmuştur.

Tablo 8.6: Olay sayısı ve olay sürelerinin belirlendiği simülasyon örneği

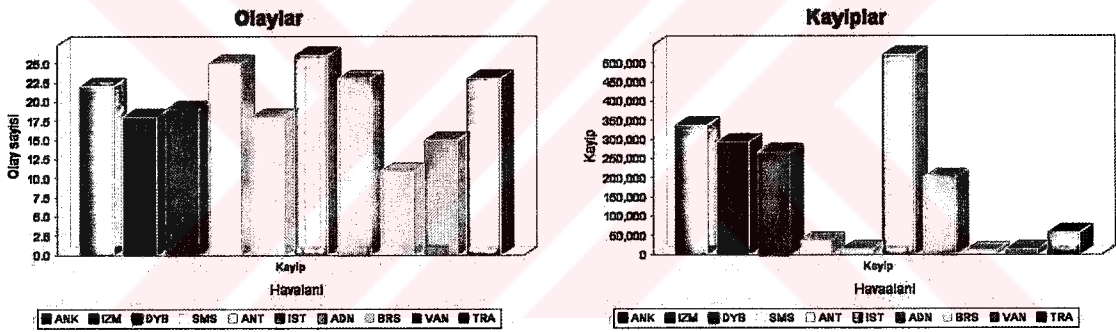
Havaalanları	Olay sayısı	Olayın başladığı an (dakika)	Olay süresi (Dakika)
ANK	1	8896	118
	1	972	110
IST	0		0
VAN	0		0
ADN	0		0
IZM	0		0
ANT	0		0
DYB	0		0
BRS	1	6274	84
TRA	0		0
SMS	0		0

Şekil 8.29’daki parametreler kullanılarak Tablo 8.6’ya benzer şekilde beklenmedik olaylar yaratılarak 9 farklı senaryo simüle edilmektedir. Bu senaryolar Tablo 8.7’de gösterilmektedir.

Tablo 8.7: Simüle edilecek senaryolar

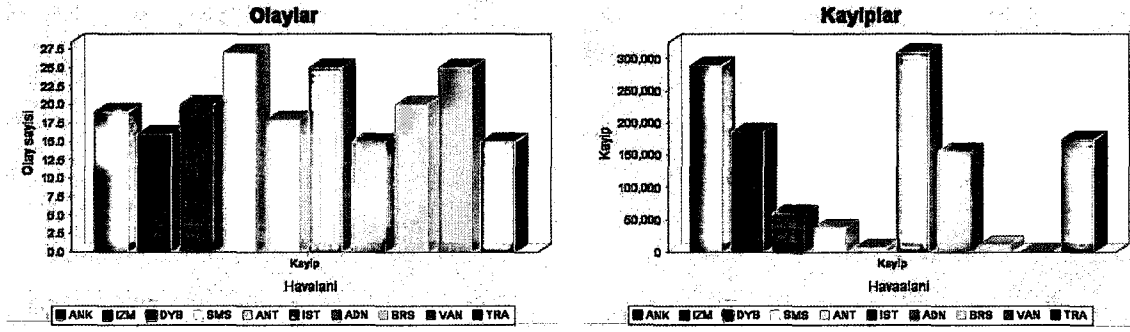
Senaryolar	Olay Sayısı	Olay Süresi
1	Normal dağılım	Normal Dağılım
2		Tekdüze Dağılım
3		Kullanıcı Belirler
4	Tekdüze dağılım	Normal Dağılım
5		Tekdüze Dağılım
6		Kullanıcı Belirler
7	Kullanıcı Belirler	Normal Dağılım
8		Tekdüze Dağılım
9		Kullanıcı Belirler

Tablo 8.7'deki senaryolar simüle edilerek, beklenmedik olayların gerçekleştiği havaalanlarında yarattığı maliyet artışları incelenmektedir. Şekil 8.30 – 8.39 arasındaki simülasyon sonuçları hesaplanırken olay olan havaalanı seçimi 1-10 arasında rassal sayı türetimi ile yapılmıştır. Şekil 8.30, olay sayısının ve olay sürelerinin normal dağılıma göre belirlendiği durumun simülasyon sonucunu göstermektedir. Ayrıca Şekil 8.30, havaalanlarında yaratılan toplam olay sayılarına ve her bir havaalanında meydana gelen toplam kayıplara ilişkin verilerin grafiğini göstermektedir. Şekilde x-ekseni havaalanlarını, y-ekseni ortalama olay başına kayıpları göstermektedir. Ortalama kayıp, bir havaalanındaki toplam kayıpların o havaalanındaki toplam olay sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır. Kayıplar, ilgili havaalanında gerçekleşen haftalık ortalama maliyet artışlarını göstermektedir. Şekil 8.30'da simülasyon sonucu en fazla olay SMS ve IST havaalanlarında olduğu görülmektedir. En fazla haftalık ortalama kaybın ise IST havaalanında gerçekleştiği görülmektedir.



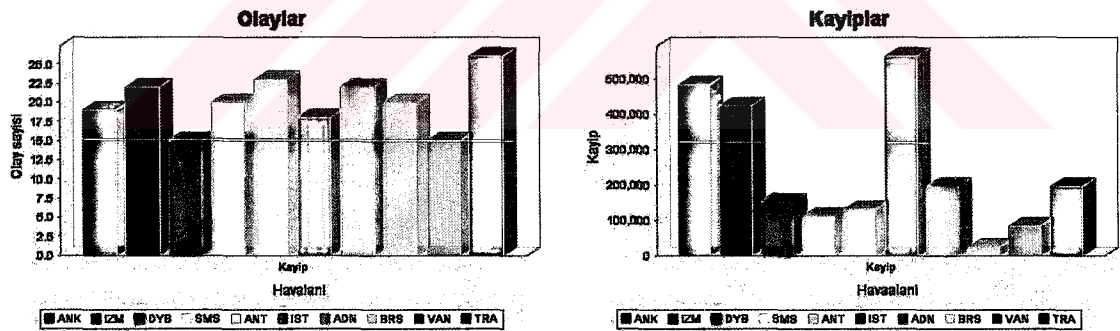
Şekil 8.30: Senaryo 1: Olay sayısının normal ve olay süresinin normal dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Senaryo 2'de olay sayısı normal dağılım olarak, olay süresi ise tekdüze (uniform) dağılım olarak alınmıştır. Buna göre en fazla olay SMS, IST ve BRS havaalanlarında gerçekleşmektedir. Buna karşılık en fazla ortalama maliyet artışı IST ve ANK havaalanlarında gerçekleşmektedir. Maliyet artışı ANT, BRS ve VAN havaalanlarında diğer havaalanlarına göre çok daha azdır.



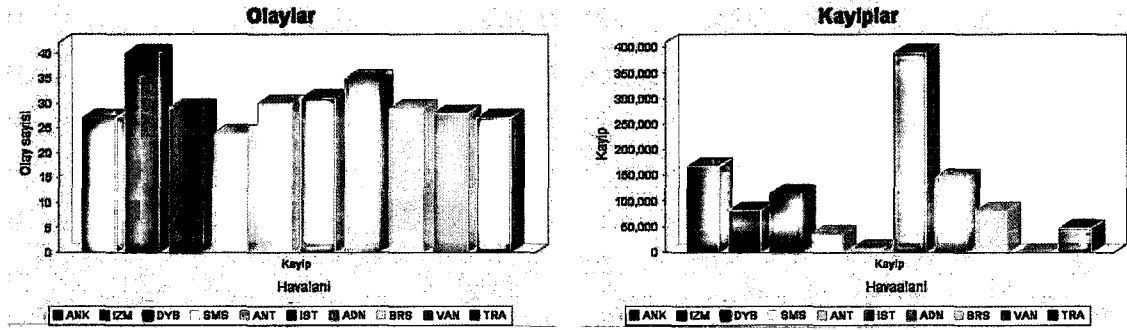
Şekil 8.31: Senaryo 2: Olay sayısının normal dağılım, olay süresinin ise tekdüze (uniform) dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Şekil 8.31, olay sayısının normal dağılım olarak ve olay sürelerinin tekdüze dağılım olarak belirlendiği durumun simülasyon sonucunu göstermektedir. Bir haftalık süre içerisinde en fazla olay SMS, IST ve VAN havaalanlarında yaşanmaktadır. Buna karşın en fazla ortalama maliyet artışının IST ve ANK havaalanlarında yaşandığı görülmektedir. SMS ve VAN havaalanlarındaki maliyet kayıpları diğer havaalanlarına oranla çok düşük olmaktadır.



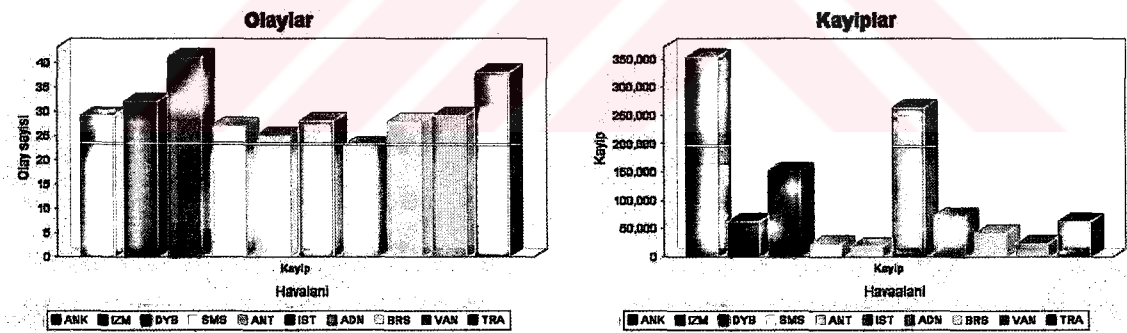
Şekil 8.32: Senaryo 3: Olay sayısının normal dağılım ve olay süresinin 180 dakika olması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Şekil 8.32, olay sayısının normal dağılım olarak oluşturulduğu ve her bir olayın süresinin 180 dakika olarak belirlendiği durumun simülasyon sonucunu göstermektedir. Bu durumda en fazla olay TRA havaalanında gerçekleşmektedir. En fazla olay TRA havaalanında gerçekleşmesine rağmen bu havaalanındaki ortalama maliyet artışı diğer havaalanlarına oranla düşük olmuştur.



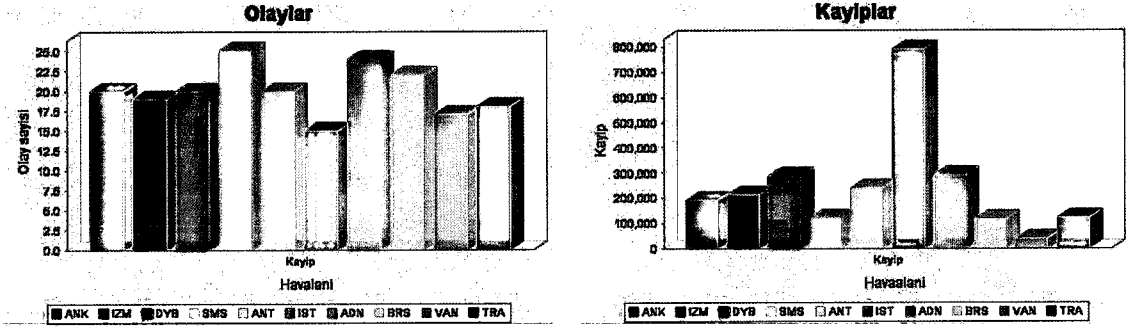
Şekil 8.33: Senaryo 4: Olay sayısı: tekdüze (uniform), olay süresi: normal dağılım dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Şekil 8.33, olay sayısının tekdüze ve olay sürelerinin normal dağılım olarak saptanmasına ilişkin simülasyon sonucunu göstermektedir. En fazla olayın IZM havaalanında yaşandığı görülmektedir. Diğer havaalanlarında yaşanan olayların sayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ortalama maliyet artışına baktığımızda IST havaalanından kaynaklanan maliyet artışının diğerlerine göre çok fazla olduğu görülmektedir.



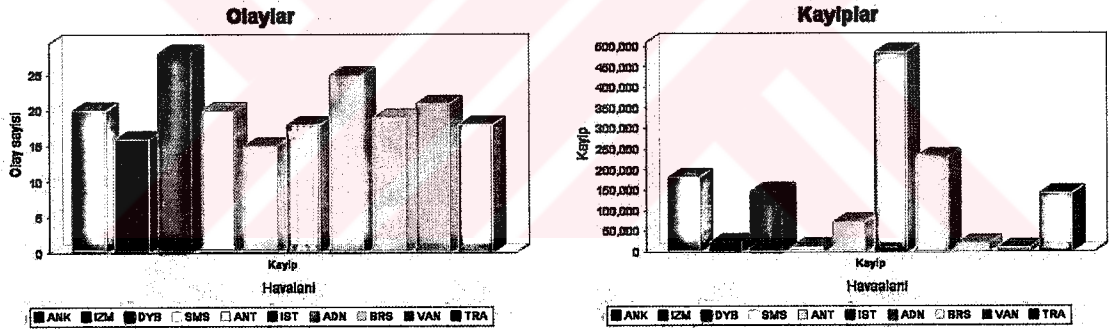
Şekil 8.34: Senaryo 5: Olay sayısı: tekdüze (uniform), olay süresi: tekdüze (uniform) dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Olay sayısının ve olay sürelerinin tekdüze dağılıma göre oluşturulması durumunun simülasyon sonucu Şekil 8.34'te sunulmaktadır. En fazla olay DYB ve TRA havaalanlarında yaşanmaktadır. En fazla maliyet artışı ise ANK havaalanında gerçekleşmektedir.



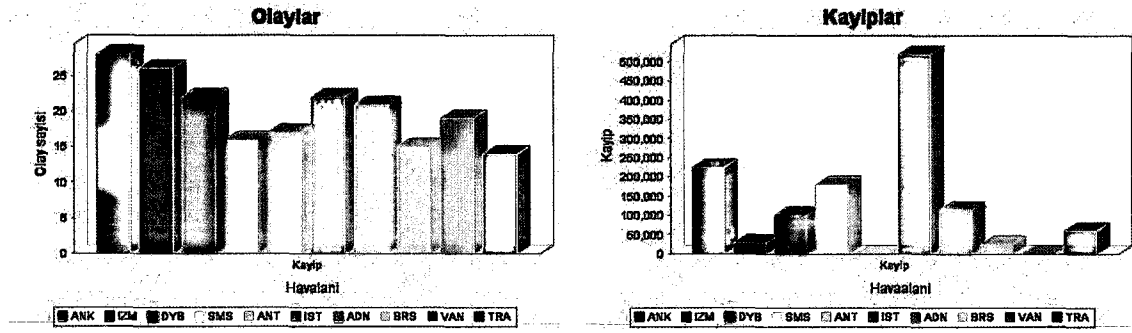
Şekil 8.35: Senaryo 6: Olay sayısı tekdüze (uniform) ve olay süresinin 180 dakika olması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Şekil 8.35, olay sayısının tekdüze dağılım ve olay sürelerinin 180 dakika olarak kullanıcı tarafından belirlendiği durumun simülasyon sonucunu göstermektedir. En fazla olay SMS ve ADN havaalanlarında yaşanmaktadır. En az olay IST havaalanında yaşanmasına rağmen toplam maliyetleri en fazla artıran havaalanı IST havaalanı olmaktadır.



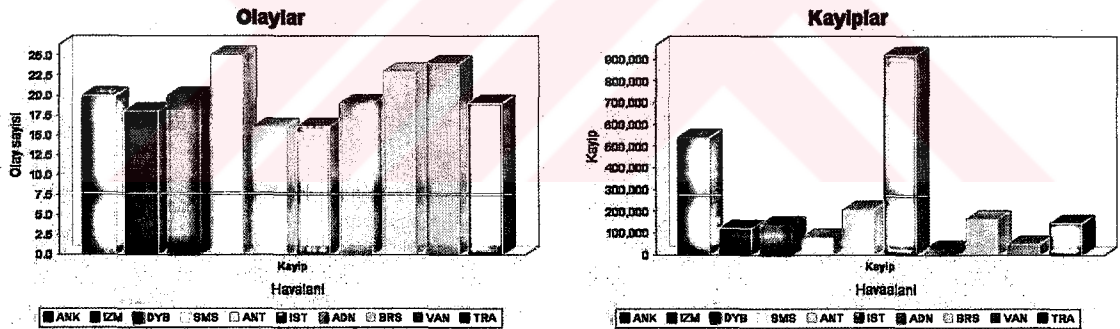
Şekil 8.36: Senaryo 7: Olay sayısı 2 ve olay süresinin normal dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Şekil 8.36, olay sayısının 2 olarak kullanıcı tarafından belirlendiği ve her bir olay süresinin normal dağılıma göre belirlendiği durumun simülasyon sonucunu göstermektedir. En fazla olay DYB ve ADN havaalanlarında gerçekleşmektedir. Fakat bu havaalanlarına oranla daha az olay yaşanan IST havaalanından kaynaklanan toplam maliyet artışının diğer havaalanlarına oranla çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 8.37: Senaryo 8: Olay sayısı 2 ve olay süresinin tekdüze (uniform) dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Senaryo 8, olay sayısının kullanıcı tarafından 2 olarak belirlendiği ve olayların sürelerinin tekdüze dağılıma göre belirlendiği durumunun toplam maliyetler üzerinde yapacağı etkinin simülasyonunu göstermektedir. Bu durumda en fazla olay ANK ve IZM havaalanlarında oluşmaktadır. En fazla maliyet kaybı IST havaalanında yaşanırken, ANT, BRS ve VAN havaalanlarındaki kaybın minimum düzeyde olduğu görülmektedir.



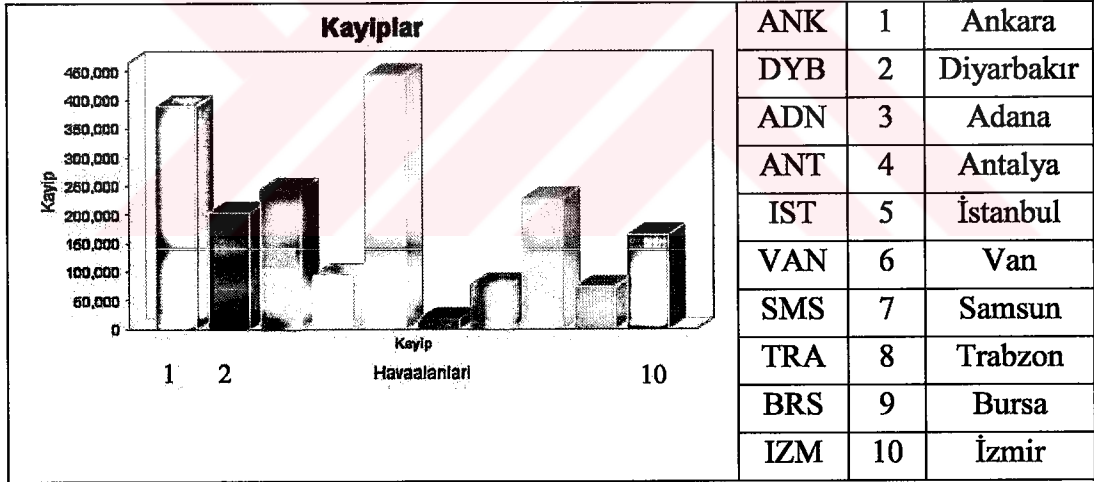
Şekil 8.38: Senaryo 9: Olay sayısı 2 ve olay süresi 180 dakika olması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Şekil 8.38, olay sayısının (2) ve olay sürelerinin (180 dakika) kullanıcı tarafından belirlendiği durumların simülasyon sonuçlarını göstermektedir. En fazla olayın DYB havaalanında yaşandığı görülmektedir. IST ve ANK havaalanları dışındaki havaalanlarının toplam maliyetlere etkisinin çok düşük olduğu görülmektedir.

IST ve ANK havaalanları bu örnek uygulamada ana toplama ve dağıtım (hub) havaalanlarıdır. Bu nedenle bu iki havaalanında diğer havaalanlarına oranla daha az

olay yaşanmasına rağmen, bu havaalanlarında toplam kayıplar her zaman daha fazla olmaktadır. Bu havaalanında yaşanan olaylar zincirleme olarak birçok uçuşu etkilemektedir. Bu nedenle her bir olayın maliyetler üzerindeki etkisi diğer havaalanlarına oranla daha fazla olmaktadır. Olay olan havaalanlarının seçimi havaalanlarının yoğunluklarına göre yapılabilmektedir. Bu durumda Tablo 8.5'deki kümülatif olay sayıları kullanılmaktadır. Bu durumla ilgili senaryo simülasyon sonuçları Ek-4'te sunulmaktadır.

Bu dokuz senaryonun simülasyonuna ek olarak her bir havaalanında bir haftalık sürede her bir saatte 1 iki, iki buçuk, üç, üç buçuk ve dört saatlik olaylar yaratılarak ilgili havaalanlarındaki maliyet artışlarına bakılacaktır. Simülasyonda bir haftalık filo atamasında her bir saatte bir, havaalanlarının herbirinde iki, iki buçuk, üç, üç buçuk ve dört saatlik beklenmedik olaylar yaratılmaktadır. Yaratılan beklenmedik olayların her bir havaalanında yarattığı bir haftalık toplam maliyet artışları (kayıplar) Şekil 8.39'da gösterilmektedir.

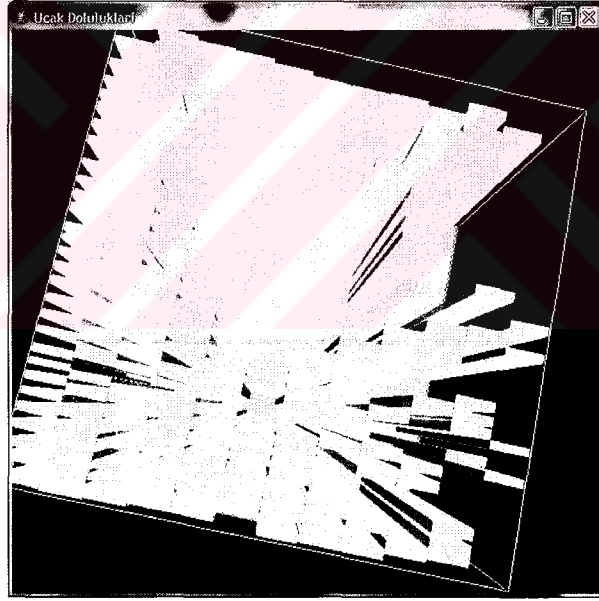


Şekil 8.39: Havaalanlarında yaşanan beklenmedik olayların yarattığı maliyet artışları

Şekil 8.39'a göre beklenmedik olayların toplam frekansında en fazla maliyet kaybı IST havaalanında olmaktadır. İkinci en fazla maliyet kaybı ise ANK de yaşanmaktadır. Bu tür olaylardan en az etkilenen havaalanı ise VAN havaalanıdır. Örnek uygulamada IST ve ANK havaalanlarının ana toplama ve dağıtma (*hub*) havaalanı görevini görmesi nedeni ile herhangi bir olaydan dolayı havaalanın belli bir süre kapatılması, gelen ve giden uçuşlar üzerinde zincirleme bir etki yapmaktadır. Bu nedenle havaalanlarında

yaşanan bir olaydan dolayı herhangi bir uçuşun gerçekleştirilememesi, hafta başında yapılan optimum atamayı etkilemektedir. Herhangi bir uçuşun mümkün olduğu sürece ertelenmemesi veya iptal edilmemesi için aşağıdaki hususlar incelenmektedir.

- Olay olduğu anda o havaalanına olay süresince gelecek olan tüm uçuşlar ve o havaalanından kalkacak tüm uçuşlar incelenmektedir.
- Tüm uçakların mevcut durumları ve olay süresince içerisinde bulunacakları durumlar incelenmektedir.
- Havaalanlarında olay yaşanmasından dolayı uçuşunu veya uçuşlarını gerçekleştiremeyecek durumda uçak varsa, uygun bir uçak atanmasının sağlanması veya uçak kiralanması yoluna gidilmektedir. Bu durumlarla ilgili akış diyagramları Şekil 8.48-50’te gösterilmektedir.

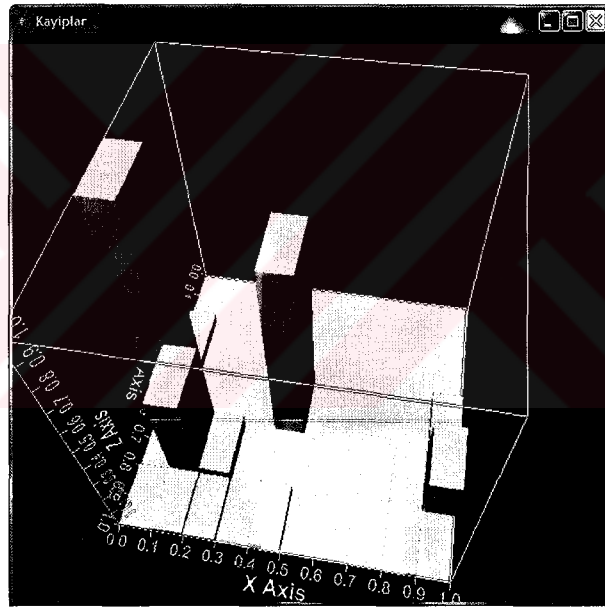


Şekil 8.40: Başlangıç optimum atama sonucunda her bir uçağa ait doluluk durumları

Bu tez çalışmasında yapılan örnek uygulamada kullanılan toplam 10 havaalanı, 3 filo (toplam 12 uçak) ve 230 uçuş ayağı vardır. Toplam 230 uçuş ayağı 12 uçak ile uçulmaktadır. Bir haftalık süre ($7 \times 24 \times 60 = 10080$ dakika) boyunca yapılan uçuşlara filo ataması yapılması sonucunda her bir uçağın kullanım süreleri hesaplanmıştır. Atamada kullanılan uçaklara ait doluluk oranlarına ilişkin grafik Şekil 8.40’te gösterilmektedir. Hangi filonun hangi uçuşları gerçekleştirdiği Ek-5’te gösterilmektedir.

Burada x-ekseni uçakları, y-ekseni zamanı ve z-ekseni uçak doluluklarını göstermektedir. Şekil 8.40'a göre ilk 5 uçağın doluluk oranlarının diğer uçaklara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Son 3 uçağın kullanım oranları ise diğerlerine göre çok daha düşüktür. Bu uçaklar fazla verimli kullanılamamaktadır. Havaalanlarında veya uçaklarda yaşanan beklenmedik olaylardan dolayı yaşanan uçak eksikliği problemi, öncelikli olarak atıl durumda bekleyen bu uçaklar kullanılarak çözülmeye çalışılmaktadır.

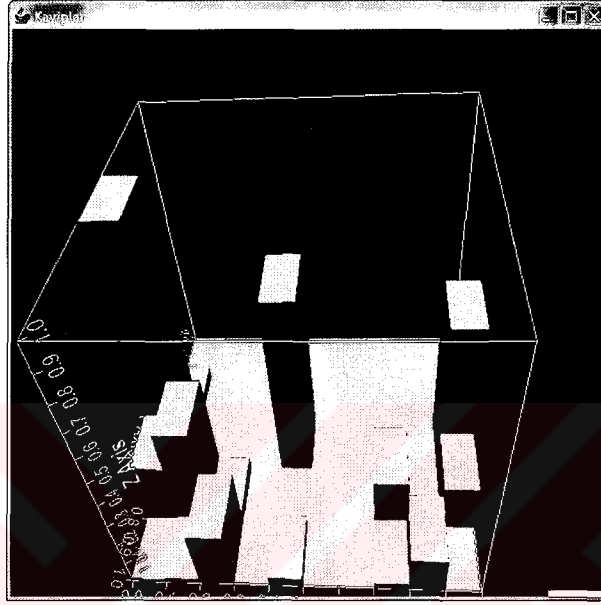
Havaalanlarında sırasıyla iki, iki buçuk, üç, üç buçuk ve dört saatlik olaylar yaratılması sonucunda her bir havaalanındaki toplam maliyet artışları hesaplanmıştır. Bu olaylarla ilgili şekillerde x-ekseni: havaalanlarını, y-ekseni: zamanı ve z-ekseni: havaalanlarındaki toplam maliyet artışlarını göstermektedir.



Şekil 8.41: Havaalanlarında iki saatlik olay yaşanmasının ilgili havaalanlarında yarattığı toplam maliyet artışları

Şekil 8.41'de, her bir havaalanında iki saatlik olay yaratılmasının toplam maliyetlere etkisinin ne olduğu gösterilmektedir. Her bir havaalanında bir haftalık süre içerisinde her 1 saatte 2 saatlik bir olay yaratılarak toplam maliyet artışları hesaplanmaktadır. Şekil 8.41'e göre, beklenmedik olayın hafta ortasında olması durumundaki maliyet artışları diğer zamanlara göre daha fazla olmaktadır.

Toplam maliyet artışları benzer şekilde, her bir havaalanında iki saatlik olay yaratılması durumunda da en fazla maliyet artışı ANK havaalanında ve IST havaalanında yaşanmıştır. üç havaalanında (ANT, VAN ve SMS) iki saatlik olay yaşanmasının herhangi bir maliyet artışına neden olmadığı görülmektedir. Bu iki saatlik olay diğer havaalanlarında benzer maliyet artışlarına neden olmaktadır.



Şekil 8.42: Havaalanlarında iki buçuk saatlik olay yaşanmasının ilgili havaalanlarında yarattığı toplam maliyet artışları

Şekil 8.42, her bir havaalanında 2.5 saatlik olay yaratılması durumundaki toplam maliyet artışlarını göstermektedir. 2 saatlik olay olması durumuna benzer şekilde en fazla maliyet artışının ANK havaalanında ve IST havaalanında yaşandığı görülmektedir. İki saatlik olay durumundan farklı olarak burada, IZM havaalanındaki maliyet artışı daha fazla olmaktadır. İki saatlik olay olması durumuna benzer olarak 3 havaalanında (ANT, VAN ve SMS) 2.5 saatlik olay yaşanması herhangi bir maliyet artışına neden olmamaktadır. İki buçuk saatlik olay yaşanması diğer havaalanlarında benzer maliyet artışlarına neden olmaktadır.

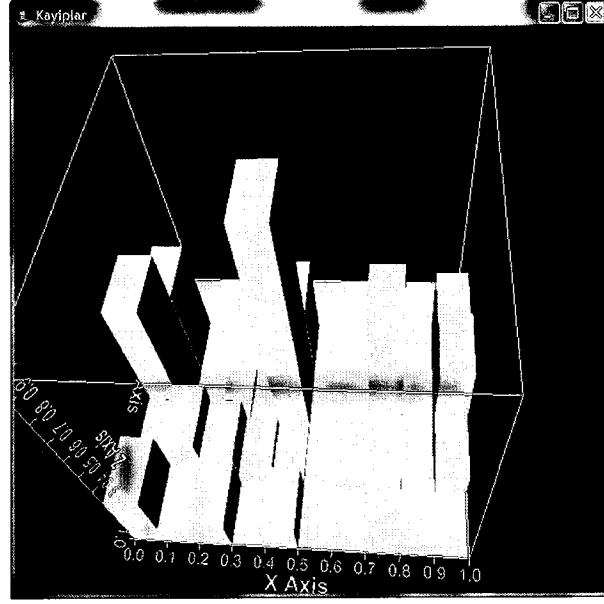
Şekil 8.43, her bir havaalanında 3 saatlik olay yaratılması durumundaki her bir havaalanındaki toplam maliyet artışlarını göstermektedir. Üç saatlik olaylar yaratılması durumunda en fazla maliyet artışı TRA havaalanında yaşanmaktadır. TRA'dan sonra en fazla maliyet artışı, ana toplama ve dağıtma havaalanları olan ANK ve IST

havaalanlarında yaşanmaktadır. VAN ve SMS havaalanlarında herhangi bir maliyet artışı yaşanmamaktadır.

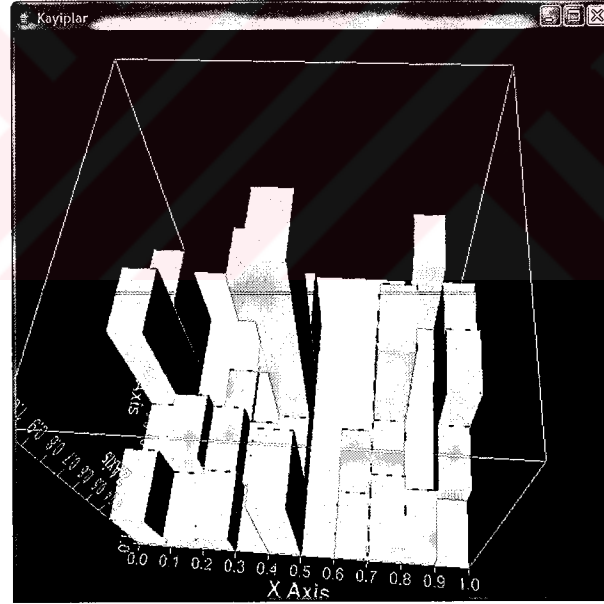
Şekil 8.44, her bir havaalanında 3.5 saatlik olay yaratılması durumdaki her bir havaalanındaki toplam maliyet artışlarını göstermektedir. Bu durumda da en yüksek maliyet artışı ana toplama ve dağıtım havaalanı durumunda olan ANK havaalanında yaşanmaktadır. Üç buçuk saatlik olay VAN havaalanında herhangi bir maliyet artışına neden olmamaktadır.



Şekil 8.43: Havaalanlarında üç saatlik olay yaşanmasının ilgili havaalanlarında yarattığı toplam maliyet artışları



Şekil 8.44: Havaalanlarında üç buçuk saatlik olay yaşanmasının ilgili havaalanlarında yarattığı toplam maliyet artışları

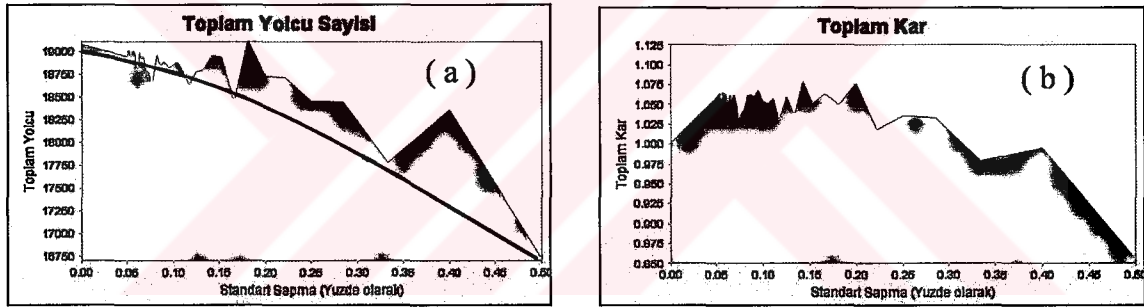


Şekil 8.45: Havaalanlarında dört saatlik olay yaşanmasının ilgili havaalanlarında yarattığı toplam maliyet artışları

Son olarak her bir havaalanında 4 saatlik olaylar yaratılmasının her bir havaalanında yaratacağı toplam maliyet artışının ne olacağı incelenmektedir (Şekil 8.45). Bu durumda da en yüksek maliyet artışı ana toplama ve dağıtım havaalanı durumunda olan ANK

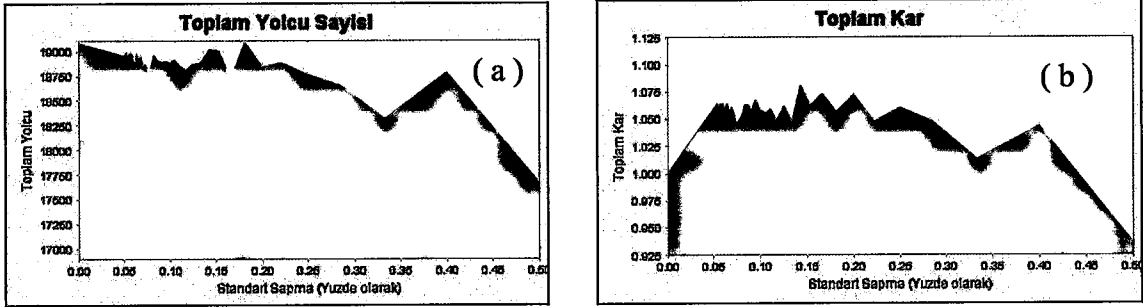
havaalanında yaşanmaktadır. Dört saatlik olayın VAN havaalanında herhangi bir maliyet artışına neden olmadığı görülmektedir.

RePast simülasyon sonuçlarından biri de toplam yolcu sayıları ve toplam kar ilişkisini göstermesidir (Şekil 8.46–8.47). Şekil 8.46, normal dağılıma göre oluşturulan verilerden talep tahmini yapılması durumunda standart sapma - toplam yolcu sayısı ilişkisi ve standart sapma toplam kar ilişkisini göstermektedir. Şekil 8.46(a), standart sapmaya karşı uçuş ayaklarındaki toplam yolcu talebini göstermektedir. Standart sapma arttıkça toplam yolcu sayısı azalmaktadır. Bunun sebebi, her bir uçuş ayağı için talep tahmini yapabilmek amacıyla türetilen veriler için ortalama değer 100 olarak alınmıştır. Kullanılan filolardaki uçak kapasiteleri 100, 150 ve 200 koltuktur. Bu nedenle standart sapma arttıkça gelen fazla yolcu talepleri karşılanamamaktadır. Dolayısıyla standart sapma arttıkça toplam yolcu (tüm uçuşlardaki yolcu sayıları toplamı) sayısı azalmaktadır.



Şekil 8.46: Normal dağılıma göre oluşturulan verilerden talep tahmini yapılması durumunda standart sapma - toplam yolcu sayısı ilişkisi ve standart sapma toplam kar ilişkisi

Toplam kar değerleri, talep tahmini sonucu hesaplanan değerlerin başlangıç çözümü ile hesaplanan toplam kara göre normalize edilerek hesaplanmaktadır. Toplam karın başlangıç normalize değeri 1.000 olarak saptanmıştır. Toplam yolcu sayısı belli bir trendle azalmasına rağmen standart sapmanın belli bir düzeyine kadar toplam kar artış göstermektedir. Belli bir standart sapmadan sonra toplam kar düşmeye başlamaktadır. Toplam karın düşmeye başladığı standart sapma değeri, ortalaması 100 olacak şekilde normal dağılım verileri türetmek için optimum bir değer olmaktadır.



Şekil 8.47: Tekdüze (uniform) dağılıma göre oluşturulan verilerden talep tahmini yapılması durumunda standart sapma - toplam yolcu sayısı ilişkisi ve standart sapma toplam kar ilişkisi

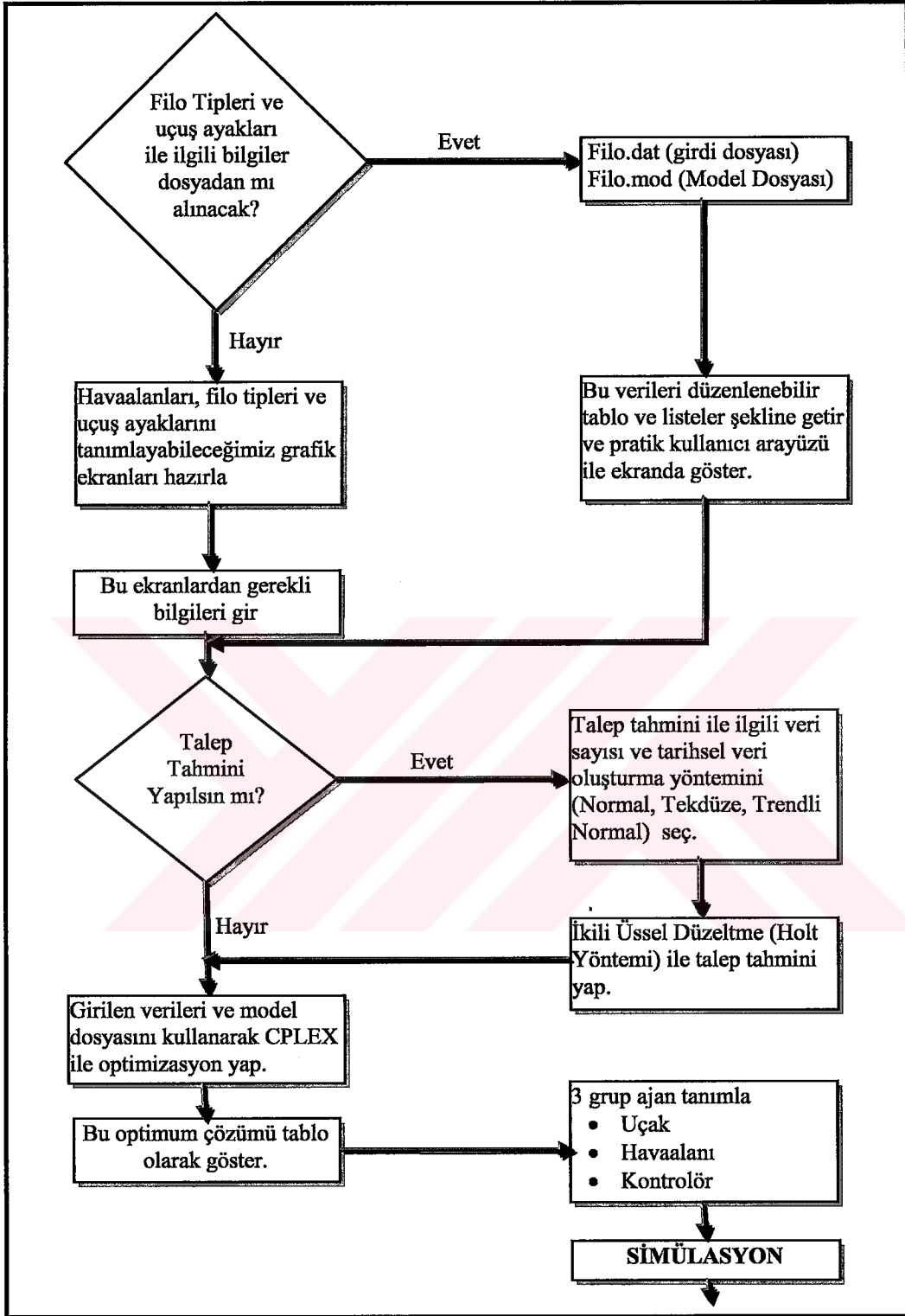
Talep tahmini için tekdüze (uniform) dağılım kullanılması durumunda oluşan toplam yolcu sayısı ve kar ilişkileri Şekil 8.47’de gösterilmektedir. Talep tahminin normal dağılıma göre oluşturulmasına benzer olarak burada da standart sapma artarken toplam yolcu sayısı azalmakta (Şekil 8.47a), standart sapmanın belli bir düzeyine kadar toplam kar artarken, belli bir düzeyin üstünde toplam kar düşmeye başlamaktadır (Şekil 8.47b). Toplam karın azalmaya başladığı standart sapma değeri, bu uygulama için optimum standart sapma olmaktadır.

8.3 KARAR DESTEK SİSTEMİ AKIŞ DİYAGRAMLARI

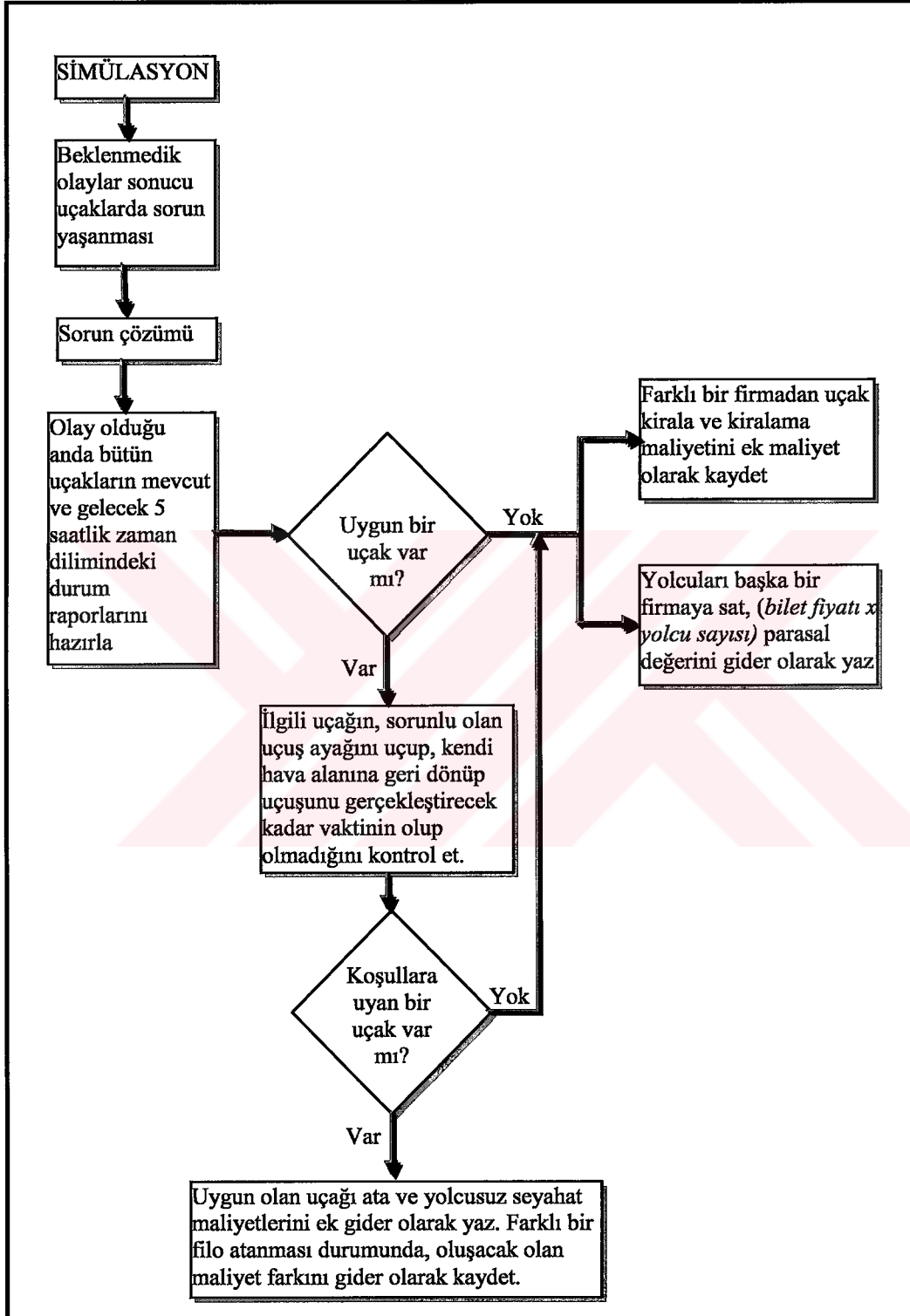
Sonuç olarak, geliştirilen filo atama karar destek sisteminin ve sorun çözüm yöntemlerinin akış algoritmaları Şekil 8.48 – 8.50’te gösterilmektedir. Şekil 8.48, geliştirilen karar destek sisteminin görünümü ve verilerin çözüm için derlenmesi ile ilgili algoritmayı göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi girdi olarak kullanılacak olan verilerin daha önce hazırlanmış bir dosyadan mı alınacağı yoksa karar destek sisteminin karar vericiye sunduğu kullanıcı arayüz grafiği aracılığıyla mı girileceği sorulmaktadır. Çözüm için gerekli bir diğer husus da her bir uçuş ayağı için yolcu talep tahmininde bulunulup bulunulmayacağıdır. Bu tez çalışmasında kullanılan filo atama modeli her bir uçuş ayağından elde edilen gelirleri de hesaba kattığı için, her bir uçuş ayağında tahmini olarak kaç yolcunun uçacağı bilinmelidir. Bu nedenle her bir uçuş ayağı için yolcu talep tahmini yapılmaktadır. Optimum çözümün bulunmasından sonra, bu optimum atama bazı beklenmedik olaylar ile simüle edilmektedir. Bu amaçla uçak, havaalanı ve kontrolör olmak üzere üç tip ajan tanımlanmaktadır (Şekil 8.23).

Şekil 8.49 uçaklarda beklenmedik olayların yaşanmasında ajanların davranış algoritmasını göstermektedir. Uçakların herhangi birinde herhangi bir durum yaşanmasında hava sahası ajanı, uçak ajanı ve havaalanı ajanı etkileşime geçer. Olayın gerçekleştiği anda tüm uçakların mevcut durumları ve beş saatlik süre içerisindeki durumları incelenir. Eğer bu süre içerisinde zaman olarak uygun bir uçak varsa, bu uçak olay yaşanan uçuş ayağına atanır. Eğer uygun bir uçak yoksa, iki alternatif söz konusudur. Birinci alternatif, ilgili uçuş ayağının gereklerini yerine getirebilecek başka bir uçağın kiralanmasıdır. Bu kiralama maliyeti ek gider olarak toplam maliyetlere eklenmektedir.

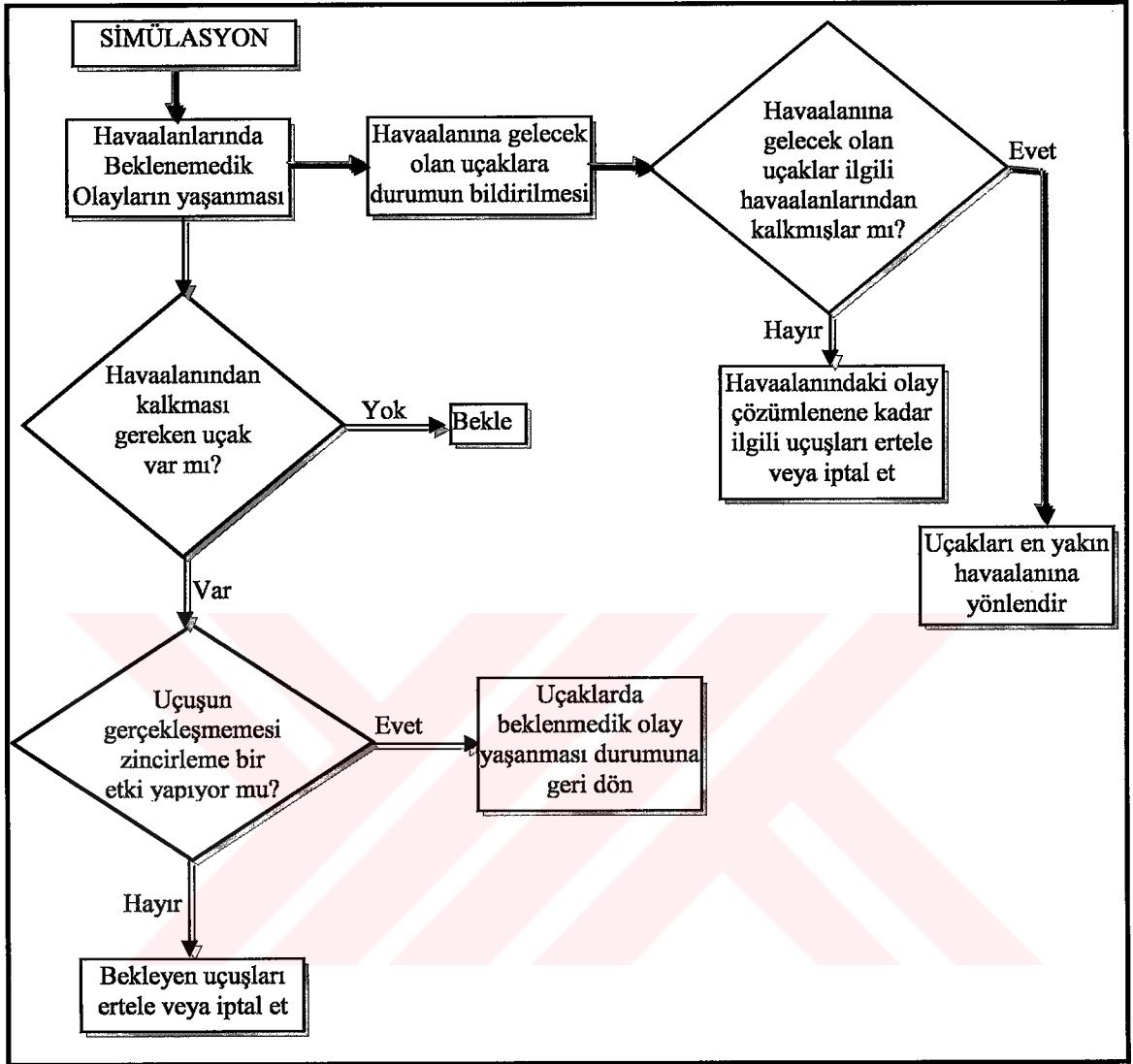
Şekil 8.50 havaalanlarının beklenmedik olaylar sonucu kapanması durumunda çözüm algoritmasını göstermektedir. Havaalanlarının belli bir süre kapanmasına neden olan herhangi bir olay sonucu havaalanı ajanı iki durumu göz önünde bulundurmaktadır. Bu durumlardan birincisi, havaalanına gelecek olan uçaklara durumu bildirmektir. Bu durumda, eğer ilgili uçaklar ilgili havaalanından kalkmışlarsa havaalanı ajanı, uçak ajanı ile iletişime geçerek ilgili uçakların başka bir havaalanına inmelerini sağlar.



Şekil 8.48: Filo Atama Karar Destek Sistemi akış diyagramı



Şekil 8.49: Uçaklarda beklenmedik olayların yaşanması durumunda çözüm algoritması



Şekil 8.50: Havaalanlarında beklenemedik olayların yaşanması durumunda çözüm algoritması

9. BÖLÜM: SONUÇ

Yaklaşık yüz yıldır yapılan hava taşımacılığı, taşımacılık sektörü içerisindeki en hızlı ve pahalı taşımacılık sektörüdür. Deniz ve hava taşımacılığına göre çok yeni bir taşımacılık sektörü olmasına rağmen çok hızlı büyüme göstermektedir. Hava taşımacılığına olan talebin artması, bu sektöre olan yatırımların artmasına neden olmaktadır. Sektördeki rekabetin artması firmaları maliyetlerini düşürebilme yönünde çalışmalara itmiştir. 1960'larda beş büyük havayolu firmasında çalışan yöneylem araştırmacıları, havacılık ile ilgili olarak yapılan çalışmaların birlikte tartışılabileceği bir toplantı organize etmişlerdir. Toplantı her yıl düzenli olarak yapılarak, hava taşımacılığı alanındaki araştırmalar tartışılmaktadır. Yapılan çalışma başlıklarından bazı; ortak planlama, finans ve yönetim bilişim sistemleri, tahminleme, filo atama, çizelge oluşturma ve değerlendirme, tayfa yönetimi, personel yönetimi, faaliyetler ve olanaklar, koltuk rezervasyonu, bakım ve stok yönetimi ve havacılıkta genel yöneylem uygulamalarına ilişkin çalışmalar yapılmaktadır.

Yukarıda sayılan havacılık ile ilgili çalışmalardan maliyetler ile ilgili önemli bir konu filo atama problemidir. Özellikle filo veya uçak sayısının ve uçuş ayaklarının artması, filo atama problemini ortaya çıkarmaktadır. Eldeki filonun belirli olan uçuş ayaklarına atanması olarak tanımlanan filo atamasını yapabilmek için matematiksel modeller üzerinde çalışılmaktadır. Bu çalışmalardan biri Abara (1989) tarafından yapılmıştır. Abara (1989), filo atama modelini tamsayı doğrusal programlama şeklinde formüle etmiştir. Filo atama problemi NP-hard (Non-deterministic Polynomial-time hard) tipinde problem olması nedeniyle belli bir sayıdan fazla filoya sahip olunması filo atama problemini çözümsüz olabilmektedir.

Filo atama problemini çözmeye yönelik olarak kullanılan yöntemlerden biri simülasyon metodudur. Rosenberger ve diğerleri (2000) rassal olaylar nedeniyle yaşanan uçuş gecikmelerinin simülasyonuna ilişkin bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Rakshit (1996) tarafında gerçek zamanlı havayolu problemlerini çözmeye yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Gerek matematiksel modeller kullanılsın gerekse karar destek sistemleriyle bazı olaylar simüle edilsin temel amaç, filo atamasından kaynaklanacak olan maliyetleri minimize

etmektedir. Bu tez çalışması sonucunda geliştirilen filo atama karar destek sistemi ile farklı bir çok unsuru bir arada kullanıcıya sunmak amaçlanmaktadır. Bu çalışma ile geliştirilmek istenen karar destek sistemi ile aşağıdaki problemlere çözüm getirebilmek amaçlanmıştır:

- Yeni bir uçak alımı ve/veya yeni bir uçuş ayağı belirleme kararlarının verilmesi,
- Her bir uçuş ayağı için yolcu talep tahmini yapmak,
- Haftalık filo atama problemini çözmek,
- Uçak ve/veya havaalanlarında beklenmedik olayların gerçekleşmesinin toplam maliyetler üzerinde nasıl bir etki yaratacağı gibi konular incelenerek sonuçlar ampirik bulgular başlığı altında sunulmuştur.

9.1 AMPİRİK BULGULAR

Geliştirilen karar destek sistemi ile yukarıda sayılan problemlere çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Çoklu karar verme kriterlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanımı için ilgili kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreç kullanıcı grafik arayüzü, kriter ve alternatif sınırlaması olmadan çözüm yapabilecek özelliktedir. Kriter ve alternatif boyutu bilgisayarın hafızasına ve gücüne bağlı olmaktadır. Oluşturulan hipotetik verilerle yeni bir uçuş ayağı belirleme ve yeni bir uçak alım kararları AHP ile verilmiştir. Tüm hesaplamalar *Java* yazılım programı ile yapılmıştır.

Karar Destek Sistemimi içerisinde geliştirilen diğer bir kullanıcı arayüzü yolcu talep tahmin modülüdür. Bu arayüz kullanılarak her bir uçuş ayağı için bir haftalık veya daha fazla yolcu talep tahmini yapılabilir. Yolcu talep tahmini için basit ve ikili (Holt Metodu) üssel düzeltme yöntemleri *Java* yazılım kütüphaneleri kullanılarak test edilmiştir. Bu test için belli bir trende sahip normal ve tekdüze (uniform) dağılımlara göre üç aylık hipotetik veriler oluşturulmuştur. Basit ve ikili üssel düzeltme yöntemleri kullanılarak istatistiksel moment değerleri hesaplanmıştır. Her iki dağılım verisinden

elde edilen istatistiksel moment değerleri incelendiğinde ikili üssel düzeltme yönteminin yolcu talep tahmini için daha uygun bir talep tahmin yöntemi olduğu saptanmıştır.

Her bir uçuş ayağı için tahmin edilen yolcu sayıları kullanılarak optimum filo ataması yapılmıştır. Filo atama problemi tamsayı doğrusal programlama olarak *ILOG OPL Studio*'da programlanmış ve *Java*'nın ilgili kütüphaneleri yardımı ile *CPLEX*'te çözülmüştür. Filo atama problemi haftalık tüm uçuşlar için yapılmaktadır.

Yapılması planlanan diğer bir konu havaalanlarında ve/veya uçaklarda beklenmedik olaylar yaşanmasının optimum sonuç ve toplam maliyetler üzerinde nasıl bir etki yaratacağının incelenmesi konusudur. Beklenmedik olayların ilgili havaalanlarında toplam maliyetler üzerindeki etkisi RePast akıllı ajan yazılım kütüphanesi kullanılarak simüle edilmiştir. Haftalık uçuşların simüle edilebilmesi için uçak ajanı, havaalanı ajanı, hava sahası kontrolör ajanı ve beklenmedik olay yaratan ajan olmak üzere dört tip ajan tanımlanmıştır. Haftalık olarak yapılacak tüm uçuşlar bu ajanların kontrolü ile yapılmaktadır. Uçaklarda ve/veya havaalanlarında beklenmedik olayların yaşanması, uçuşların planlandığı gibi gerçekleştirilmesini etkilemektedir. Herhangi bir olay nedeni ile planlanan uçuşlarda bir aksaklık yaşanması durumunda uçak ajanı, havaalanı ajanı ve kontrolör ajanı duruma tepki vermektedir. Ajanlar, olay nedeni ile herhangi bir uçuşun belli bir süreden (örneğin 2 saat) fazla ertelenmemesi veya iptal edilmemesi için çalışmaktadırlar. Buradaki önemli varsayım; beklenmedik olayın ne zaman başlayıp ne zaman bittiğinin bilinmesidir. Tüm ajanlar kendilerini ilgilendiren durumları hafızalarına kaydetmekte ve gerektiğinde diğer ilgili tüm ajanlara aktarabilme özelliğine sahiptirler.

Beklenmedik olayların havaalanlarında yaratacağı ortalama ve toplam maliyet artışlarının ne olacağı iki farklı simülasyon mantığı ile simüle edilmiştir. Bunlardan birincisi, olay sayısı ve olay sürelerinin belli dağılımlara göre veya kullanıcı tarafından kesin olarak saptanması durumlarının simüle edilmesidir. Olay süreleri ve olay sayıları normal veya tekdüze dağılımlara göre oluşturulabileceğı gibi kullanıcı olay sayılarını ve sürelerini kesin olarak belirleyebilmektedir. Böylece oluşturulan dokuz senaryonun (Ek-3) simülasyonu sonucunda ana toplama ve dağıtım istasyonlarının (*hub istasyon*) maliyetler açısından önemi bir kez daha saptanmıştır.

Diğer bir konu ise havaalanlarında bir haftalık süre içerisinde her bir saatte 2, 2.5, 3, 3.5, 4 saatlik beklenmedik olaylar yaratılarak bu olayların ilgili havaalanında yarattığı toplam kayıpların ne olduğu incelenmiştir. Çıkan sonuçlar *hub* istasyonların beklenmedik olaylardan diğer havaalanlarına göre daha çok etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, hafta ortasında gerçekleşen beklenmedik olayların diğer zamanlara oranla daha fazla maliyet artışına neden olduğu saptanmıştır.

Örnek olayın irdelenmesi ile başlangıçta varsayılan yolcu sayılarının çeşitli istatistiksel dağılımlarla (normal ve tekdüze dağılım) değişmesi durumunda, ortalama maliyet artışlarının ne olduğu incelenmiştir. Saptanan sonuçlarda, beklendiği gibi yolcu sayılarındaki azalmanın beklenen karda azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Fakat, yolcu sayılarında belli bir düzeye kadar olan azalmanın beklenen karın artmasına, belli bir noktadan sonra ise azalmasına neden olduğu saptanmıştır. Bu durumun değişken maliyetlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

9.2 SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava taşımacılığında karşılaşılan çeşitli problemlerin çözümüne yönelik olarak bir Karar Destek Sistemi geliştirilmiştir. Bu problemler filo atama probleminin çözümü, her bir uçuş ayağının yolcu sayısının saptanması ve yeni bir uçak alım kararının verilemesi problemleridir. Haftalık optimum filo ataması süresince herhangi bir havaalanında yaşanan beklenmedik olayların toplam maliyetler üzerinde nasıl bir etki yaptığı belli senaryoların simüle edilmesi ile saptanmaya çalışılmıştır. Fakat simülasyon yapılırken bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bunlar herhangi bir havaalanında bir olay yaşanması durumunda o havaalanına gelen uçuşlar yaklaşık olarak aynı sürede başka bir havaalanına inebilmektedir ve yolcu sayılarının normal ve tekdüze dağılıma uyduğu varsayımlarıdır. Simülasyon senaryoları oluşturulurken de bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlar, olay sayılarının ve olay sürelerinin belirlenmesine yöneliktir. Belirlenen simülasyon parametrelerinden olay sayısı kullanıcı tarafından kesin olarak belirlenebileceği gibi kullanıcı olay sayısını normal veya tekdüze dağılıma göre oluşturabilmektedir. Benzer şekilde olay süreleri de kullanıcı tarafından kesin olarak belirlenebileceği gibi normal veya tekdüze dağılıma göre belirlenebilmektedir. Bu varsayımlar çerçevesinde elde edilen sonuçlar gerçek veriler kullanılarak test

edilememiştir. Sonraki çalışma(lar) bu çalışma ile elde edilen hipotetik sonuçların gerçek veriler ile test edilmesi yönünde olacaktır.

Diğer bir husus ise Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) çalışmaya dahil edilmemesidir. CBS'nin kullanılmaması nedeniyle havaalanları arasındaki mesafe bilgileri, havaalanlarının pist bilgileri, havaalanlarının iklimsel bilgileri vb. hususlar bilinmemektedir. Bu çalışmada normal ve tekdüze dağılımlara göre türetilen hipotetik veriler kullanılmıştır. Meteorolojik bilgiler, yer bilgileri vb. bilgilerin kullanılması durumunda gerçek duruma daha uygun sonuçlar elde edilebilecektir.

Bu tez çalışması ile geliştirilen Filo Atama Karar Destek Sistemi bütünüyle *Java* yazılım programı kullanılarak geliştirilmiştir. Programın çok büyük olması nedeniyle tezin sonunda programa yer verilmemiştir. Program ile ilgilenen kişiler yazar ile iletişime geçebilirler (eryigit@hacettepe.edu.tr).

KAYNAKLAR

- ABARA, Jeph. "Applying Integer Linear Programming to the Fleet Assignment Problem." *Interfaces* 19:4 July-August (pp. 20-28), 1989.
- AHUJA, R., K. J. GOODSTEIN, A. MUKHERJEE, J B. ORLIN, ve D. SHARMA. "A Very Large-Scale Neighborhood Search Algorithm for The Combined Through And Fleet Assignment Model." *MIT Sloan School of Management Working Paper*, 4388-01, 2001.
- ALSTRUP, J. ve DIĞERLERİ. "Booking Control Increases Profit at Scandinavian Airlines." *Interfaces*, 19, 4 July-August, 1989.
- ANTOINE, N. E. ve DIĞERLERİ. "Fleet Assignment Using Collective Intelligence." *42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, 5-8 January, Reno, Nevada, 2004.
- BHARGAVE, H. K. ve D. J. POWER. "Decision Support Systems and Web Technologies: A Status Report." *America's Conference on Information Systems*, Boston, 3-5 August 2001 <<http://dssresources.com/papers/dsstrackoverview.pdf>>
- BAHURMOZ, M.A. Asma. "The Analytic Hierarchy Process at Dar Al-Hekma, Saudi Arabia." *Interfaces*, Vol. 33, No: 4, July-August 2003.
- BARNHART, C., T.S. KNIKER ve M. LOHATEPANONT. "Itinerary-Based airline Fleet Assignment", *Transportation Science*, 36 (2), 2002.
- BODIN, L. D., L. A. GORDON ve M. P. LOEB. "Evaluating Information Security Investments Using the Analytic Hierarchy Process." *Communications of the ACM*, Vol.48, No:2, Feb.2005.
- BORNE, P. ve DIĞERLERİ. "DSS for Urban Transportation Network." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, - Part C: Applications and Reviews*, Vol:33, No:1, Feb. 2003.
- CAN, Halil. *Organizasyon ve Yönetim*, Ankara, Siyasal Kitabevi, 6. Baskı, 2002

- CLARKE, M. D. Delano. "Solving the Problem of Irregular Airline Operations." *INFORMS New Orleans Fall 1995 Meeting, Airline Operations Planning and Control Section on Aviation Applications*, Oct. 1995.
- CLARKE, M. D. Delano. "Development of Heuristic Procedures for Flight Rescheduling in the Aftermath of Irregular Airline Operations." *Transportation Research Part B; Methodological*, 1997.
- CLARKE, M. D. Delano. "Irregular Airline Operations: A Review of the State-of-the-Practice in Airline Operations Control Centers." *Journal of Air Transportation Management*, 4, 1998.
- ÇİL, İbrahim. "Bilgi Tabanlı İmalat Karar Destek Sistemleri ve Bir Uygulama." *Endüstri Mühendisliği*, Ocak-Şubat-Mart Sayı:1, 2002.
- DESOUZA, C. Kevin. "Intelligent Agents for Competitive Intelligence: Survey of Applications." *Competitive Intelligence Review*, Vol. 12(4), 2001.
- DHALIWAL, R ve DİĞERLERİ. "Decision Support Systems (DSS): Information Technology in a Changing World." *Mini Review, IRRN 26.2*, Dec. 2001.
- EOM, S.B. ve DİĞERLERİ. "A Survey of Decision Support System Application (1988 – 1994)." *Journal of Operational Research Society*, 49, 1998.
- EVANS, J. R. ve D. L. OLSON. *Statistics, Data Analysis, and Decision Modelling*, Prentice Hall, 2nd Ed., 2003.
- FAN, X. ve J. YEN. "Modeling and Simulating Human Teamwork Behaviors Using Intelligent Agents." *Physics of Life Reviews*, 1, 2004.
- FILAR, J., A. P. MANYEM ve K. WHITE. "How Airlines and Airports Recover from Schedule Perturbations: A Survey." *Annals of Operations Research*, 108, 315–333, 2001.
- FORGIONNE, A., Guisseppi. "An Architecture for the Integration of Decision Making Support Functionalities." University of Maryland, Idea Group, 2003.

- FORMAN, E. H. ve M. A. SELLY. *Decision By Objectives, How To Convince Others that you are right*, World Science Pub., New Jersey, USA, 2001.
- GENESERETH, M. R. ve S. P. KETCHPEL. "Software Agents," *Communication of the ACM*, Vol. 37, No. 7 July 1994 Erişim Tarihi: 10 Temmuz 2005 <<http://citeseer.ist.psu.edu/genesereth94software.html>>
- GOPALAN, R. ve K. TALLURI. "Mathematical Models in Airline Scheduling Planning: A Survey." *Annals of Operations Research*, 76, 1998.
- GÖTZ, S. ve DİĞERLERİ. "Solving the weekly Fleet Assignment Problem for Large Airlines." *MIC'99 – III Metaheuristics International Conference*, Angra dos Reis, Brazil, July 19-22, 1999.
- GU, Z. ve DİĞERLERİ. "Some Properties of the Fleet Assignment Problem." 1993 <www.isye.gatech.edu/research/files/lec9206.pdf>
- GRÖNKVIST, Mattias. "Aircraft Scheduling." *Computing Science Dept. Winter Meeting*, Smögen, 2000, Erişim Tarihi: 9 Haziran 2005 <www.cs.chalmers.se/~mattiasg/acscheduling.ps>
- GRUBB, H. ve A. MASON. "Long Lead-time Forecasting of UK Air Passenger by Holt-Winbters Methods with Damped Trend." *International Journal of Forecasting*, 17, 2001.
- HANE, C. A. ve DİĞERLERİ "The Fleet Assignment Problem: Solving a Large- Scale Integer Programming." *Mathematical Programming* 70, 1995.
- HASGÜL, F. ve C. KOPARAL. "Bilgi Teknolojilerinin Değişim Pazarlarında Analitik Hiyerarşı Süreci Kullanımı." *YA/EM'2004 Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği XXIV Ulusal Kongresi*, 15-18 Haziran 2004 Gaziantep – Adana.
- HUANG, S. C. Alex. "Airline Delay Perturbation Problem Under Minor Disturbance." *NEXTOR Working Paper WP-98-1*, June 1998.

- IOACHIM, I. ve DIĞERLERİ. "Theory and Methodology: Fleet Assignment and Routing with scheduling Synchronization Constraints." *European Journal of Operation Research*, 119, 1998.
- JARRAH, A. I., J. GOODSTEIN, ve R. NARASIMHAN. "An Efficient Airline Re-Fleeting Model for the Incremental Modification of Planned Fleet Assignments." *Transportation Science*, Vol.34, No:4, Nov. 2000.
- JENNINGS, R. Nicholas."Agent Software." *Proceedings of the UNICOM Seminar on Agent Software*, 1995 <<http://citeseer.ist.psu.edu/article/jennings95applying.html>> Erişim Tarihi: 10 Temmuz 2005
- JENNINGS, N. ve M. WOOLDRIDGE, "Applying Agent Technology." *Applied Artificial Intelligence*, 1998 <<http://citeseer.ist.psu.edu/jennings98applying.html>> Erişim Tarihi: 10 Temmuz 2005
- JENNINGS, Nicholas R. "On Agent-Based Software Engineering." *Artificial Intelligence*, 117, 2000.
- JIN, D. ve H. L. POWELL. "Optimal Fleet Utilization and Replacement." *Transportation Research Part E* 36, 2000.
- KAYIM, Halil. *İstatistiksel Ön Tahmin Yöntemleri*, H.Ü. İ.İ.B.F. Yayın No: 11, 1986.
- KILBORN, Erik. "Aircraft Scheduling and Operation—a Constraint Programming Approach." *Department of Computing Science Chalmers University of Technology and Göteborg University*, Master Thesis, 2000.
- KIVIJARVI, H. ve M. TUOMINEN. "Integrating AHP and Dynamic Simulation: Experiences, Conceptualizations and Business Experiments." *ISAHP 1999*, Kobe, Japan, 1999.
- KLABJAN, D. ve K. SCHWAN. "Airline Crew Pairing Generation in Parallel." 1999. < <http://www.isye.gatech.edu/research/files/lec9902.pdf> > Erişim Tarihi: 21 Nisan 2005

- KLABJAN, Diego. "Large-scale Models in the Airline Industry." https://netfiles.uiuc.edu/klabjan/chapters_in_books/surveyAirlineOR.pdf > Erişim Tarihi: 8 Ocak 2005
- KLABJAN, D. ve DIĞERLERİ. "Solving Large Airline Crew Scheduling Problems: Random Pairing Generation and Strong Branching." *Computational Optimization and Applications*, 20, 2001.
- KOBU, Bülent. *Üretim Yönetimi*, 11.nci Baskı, İstanbul, Avcıol Basım Yayın, 2003.
- KONTOGIORGIS, S. ve S. ACHARYA. "US Airways Automates its Weekend Fleet Assignment." *Interfaces*, 29 (3), 1999.
- KOZMA, Joe. "Intelligent Agents – Getting Others To Do Your Work For You." *IEEE Potentials*, April/May, 1998.
- KURUÜZÜM, Ayşe. "Karar Destek Sistemlerinde Çok Amaçlı Yöntemler." Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Antalya, 1998
- LaVIOLA, J. Joseph. "Double Exponential Smoothing: An Alternative to Kalman Filter-Based Predictive Tracking." 9. *Eurographics Workshop on Virtual Environments*, 2003.
- LEEUEWEN, P., H. H., HESSELINK ve J.H.T., ROHLING. "Scheduling Aircraft Using Constraint Satisfaction." *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 76, 2002.
- LOHATEPANONT, M. ve C. BARNHART. "Airline Scheduling Planning: Integrated Models and Algorithms for Schedule Design and Fleet Assignment." *Transportation Science*, 38 (1), 2004.
- MAKOWSKI, Marek. "Selected Issue of Design and Implementation of Decision Support Systems." *International Institute for Applied Systems Analysis*, WP-91-16, Laxenburg, Austria, 1991.

- MATHAISEL, F. X. Dennis. "Decision Support for Airline Schedule Planning." *Journal of Combinatorial Optimization*, 1, 1997.
- MIN, H. ve S. B. EOM. "An Integrated Decision Support System for Global Logistics." *International Journal of Physical Distribution and Logistics Man*, Vol:24, No:1, 1994
- RAGSDALE, Cliff T. "Spreadsheet Modeling and Decision Analysis." South-Western College Pub., Internatioanl Pub., 2001.
- REYMODS, George W. "Information Systems for Managers." 3rd Ed., West Pub. Comp., New York, USA, 1995.
- RICHTER, Helmut. "Thirty Years of Airline Operations Research." *Interfaces* 19: 4 July – August, 1989.
- ROSENBERGER, J. M. ve DIĞERLERI. "A Stochastic Model of Airline Operations." *Transportation Science*, Vol. 36, No:4, Nov. 2002.
- ROSENBERGER, J.. M. ve DIĞERLERI. "SimAir: A Stochastic Model of Airline Operations." *Proceeding of the 2000 Winter Simulation Conference*, 2000.
- ROOZEMOND, Danko A. "Using Intelligent Agents for Pro-active, Real-time Urban Intersection Control." *European Journal of Operational Research*, 131, 2001.
- RUDOWSKY, Ira. "Intelligent Agents." *Proceeding of the Americas Conference on Information Systems*, New York, August 2004.
- RUSHMEIER, R. A. ve S. A. KONTOGIORGIS. "Advances in the Optimization of Airline Fleet Assignment." *Transportation Science*, Vol. 31, No:2, 1997.
- RUSSEL, S. ve P. NORVING. "Intelligent Agents." *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice-Hall, Inc., 2003.
- SAAB, S. S. ve P. P. ZOUEIN. "Forecasting Passenger Load for a Fixed Planning Horizon." *Journal of Air Transport Management*, 7, 2001.

SAAT, Mesiha. "Çok Amaçlı Karar Vermede Bir Yaklaşım: Analitik Hiyerarşi Süreci." *Gazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, Cilt.2, Sayı.2, 1999.

SAATY, Thomas L. "The Sudan Transport Study." *Interfaces*, Vol.8, No:1, 1977.

SAATY, Thomas L. "Axiomatic Foundation of The Analytic Hierarchy Process." *Management Science*, Vol. 32, No:7, June 1986.

SAATY, Thomas L. "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process." *European Journal of Operational Research*, 48, 1990.

SAATY, Thomas L. *Decision Making with Dependence and Feedback – The Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburg, USA, 2001.

SAKKOUT, Hani El. "Modelling Fleet Assignment in a Flexible Environment.", in Proc. of the Second International Conference on the Practical Application of Constraint Technology (PACT 96), 1996, <<http://citeseer.ist.psu.edu/57863.html>> Erişim Tarihi: 18 Temmuz 2005.

SCHAEFER, A. J. ve G. L. NEMHAUSER. "Improving Airline operational Performance through Schedule Perturbation." 2002, <<http://www.ie.pitt.edu/~schaefer/Papers/ImproveAirOpsSchedPert.pdf>> Erişim Tarihi: 10 Temmuz 2005

SCHLEIFFER, Ralf. "An Intelligent Agent Model." *European Journal of Operational Research*, Accepted 1 March 2004.

SEN, J. ve DİĞERLERİ. "Decision Support Systems in Drug Discovery." *Mini Rev. Med. Chem*, 4 (10), Dec. 2004.

SERENKO, A. ve B. DETLOR. "Intelligent Agents as Innovations." *AI & Soc.*, 18, 2004.

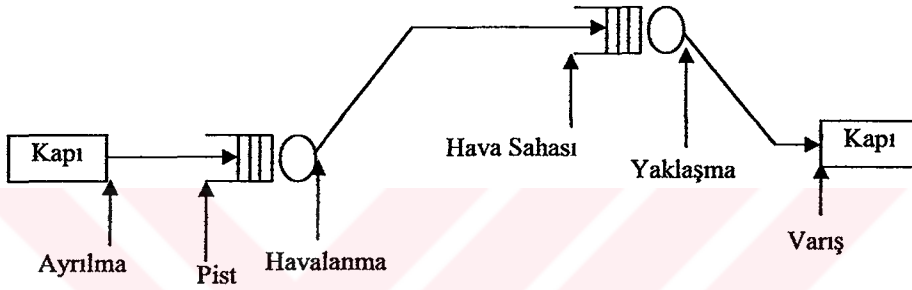
SHAHRARARY, S. Maryam. "SBDSS – A Simulation Based Decision Support System." *Proceedings of the 1990 Winter Simulation Conference*, 1990.

SUBRAMANIAN, R. ve DİĞERLERİ. "ColdStart: Fleet Assignment at Delta Air Lines." *Interfaces*, 24, 1994.

- TAYLOR, J. V. ve W. TAYLOR. *Production and Operations Management – Focusing on Quality and Competitiveness*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1995.
- ULUCAN, Aydın. *Yöneylem Araştırması – İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme*, Siyasal Kitabevi, Ankara, 2004.
- YAN, S. ve C. H. TSENG. “A Passenger Demand Model for Airline Flight Scheduling and Fleet Routing.” *Computer & Operations Research* 29, 2002.
- WANGERMANN, J. P. ve R. F. STENGEL. “Principled Negotiation Between Intelligent Agents: A Model for Air Traffic Management.” *Artificial Intelligence in Engineering*, 12, 1998.
- WIND, Y. ve T. L. SAATY. “Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process.” *Management Science*, Vol:26, No:7, July 1980.
- WEBER, Stephen, F. “A Modified Analytic Hierarchy Process for Automated Manufacturing Decisions.” *Interfaces*, Vol:23, No: 4, July-August 1993.
- WOOLDRIDGE, M. J. ve N. R. JENNINGS. "Agent Theories, Architectures, and Languages: a Survey." 1994 <<http://citeseer.ist.psu.edu/article/wooldridge94agent.html>> Erişim Tarihi: 18 Temmuz 2005.
- VARGAS, Luis G. “An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications.” *European Journal of Operational Research*, 48, 1990.
- YAN, S. ve C. G. LIN. “Airline Scheduling for the Temporary Closure of Airports.” *Transportation Science*, 31, 1, 1997.
- YASKAWA, S. ve A. SAKATA. “The Application of Intelligent Agent Technology to Simulation.” *Mathematical and Computer Modeling*, 37, 2003.
- ZAHEDI, Fatemeh. “The Analytic Hierarchy Process, A Survey of the Method and its Applications.” *Interfaces*, 16:4 July-August 1986.

Ek-1 : HAVAYOLU TERMİNOLOJİSİ

Blok Zaman: Bir uçağın ayrılma istasyonundaki kapıdan ayrıldığı zaman ile varış istasyonundaki kapıya vardığı zaman arasındaki geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. Bir uçuş ayağı ile ilgili olarak ayrılma olayı (departure event), pistte hareket (runway) olayı, havalanma (take-off) olayı, hava sahası (airspace) olayı, yaklaşma (approach) olayı ve varış (arrival) olayı (Şekil1) olmak üzere altı olay söz konusudur. Bir uçuş ile ilgili blok zaman, bu altı olaya göre hesaplanmaktadır. Bu olaylar, Şekil1’de görüldüğü gibi bir kuyruk-ağı içerisinde yer almakta ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil.1: Blok Zaman Unsurları

Kaynak: Rosenberger, J.M. ve Diğerleri. "A Stochastic Model of Airline Operations." *Transportation Science*, Vol.36, No:4, 2002.

- **Ayrılma Olayı (Departure Event):** Bu olay, uçağın kapıdan çıktığı ve pistte hareket için geldiği zaman oluşmaktadır.
- **Pistte Hareket (runway) Olayı:** Uçağın, ayrılma istasyonunda pist kuyruğuna girdiği zaman oluşmaktadır.
- **Havalanma (take-off) Olayı:** Uçağın pist kuyruğunun önüne ulaştığı ve uçuşa başladığı zaman bu olay oluşmaktadır.
- **Hava Sahası (airspace) Olayı:** Uçağın varış havaalanı hava sahası kuyruğuna girdiği zaman oluşmaktadır.
- **Yaklaşma (approach) Olayı:** Gelen uçağın hava sahası kuyruğunun önüne girdiği ve inmeye başladığı zaman oluşmaktadır.

- **Varış (Arrival) Olayı:** Uçak piste inip kapıya hareket ettiği zaman oluşmaktadır.

Blok zaman, her bir uçuş veya uçuş ayağının planlanan zamanı olarak ifade edilmektedir. Aynı başlangıç ve varış istasyonlarında havayolu firmaları için farklı değerler alabilir. Blok zaman, bir havayolu için günün belli zamanlarında da farklı değerler alabilmektedir (Schaefer ve Nemhauser 2002).

İstasyon: İlgili hava yolu firma veya firmalarına hizmet veren hava alanı olarak tanımlanmaktadır.

Uçuş: Belirli bir hava alanından belirli bir zamanda ayrılıp, belirli başka bir havaalanına belirli bir zamanda gidiş veya dönüşü ifade etmektedir. Başlangıç istasyonu, varış istasyonu, ayrılma zamanı ve varış zamanı gibi dört unsuru mevcuttur.

Uçuş ayağı, bir kalkış ve onu takip eden bir inişi ifade eder. Uçuş çizelgesi her bir istasyona gelen ve giden uçuşları dengeleyen uçuş ayaklarının listesini ifade etmektedir. Bir uçuş çizelgesi her gün kendi kendini tekrarlıyorsa günlük çizelgeleme olarak adlandırılmaktadır (Clarke 1995). Her bir uçuş ayağı bir havalanma ve bir yere inme olayını ifade eden tek bir sıçrama olarak ifade edilebilir. Diğer bir ifade ile uçuş ayağı ağ içinde gökyüzü yayları (sky arcs) kümesi olarak da ifade edilmektedir (Subramanian 1994).

Ayrılma zamanı: Belirli bir uçağın belirli bir havaalanından ayrıldığı zamanı ifade etmektedir. Haftalık filo atamasında ayrılma zamanı 0 ile 10800 dakika arasından bir zaman noktasını göstermektedir.

Varış zamanı: Belirli bir uçağın belirli bir havaalanına iniş zamanını ifade etmektedir.

Tek ve çok duruşlu uçuşlar: İki havaalanı arasındaki uçuşun gerçekleştirilebilmesi için yolcu değişimi, uçak değişimi, tayfa veya pilot değişimi yapmak amacıyla belirli bir havaalanında durulması ile gerçekleştirilen uçuşları ifade etmektedir.

Yerde Kalma Zamanı: Uçak ve tayfaların uçuş için hazır olmasından uçuşun gerçekleştirilmesine kadar geçen zaman olarak ifade edilmektedir.

Filo, aynı tip uçakların kümesi olarak tanımlanabilir. Aynı filo tipinin iki uçağı yolcu kapasiteleri açısından farklılaşabilmektedir. Örneğin, bir Boeing 737-300'nin kapasitesi 138 yolcu iken Boeing 737-200'ün yolcu kapasitesi 111 kişidir (Rosenberger ve diğerleri 2002).

Rota, belirli bir uçağın hangi havaalanından kalkıp hangi havaalanına ineceğini ifade eden uçuş rotasyonlarının bir alt dizisini ifade etmektedir. Kısmi rotasyon ise atanan her bir filodaki parçalanmış uçuş ayaklarını ifade eden yolların kümesinden oluşmaktadır.

Olay, bir uçuşun herhangi bir düğüme varışını veya ayrılışını göstermektedir (Şekil.3-4). Dğümleri birbirine bağlayan zaman boyut parçaları o istasyondaki *yer yaylarını* göstermektedir.



Ek-2 : AJAN YAZILIM PROGRAMLARI

ABLE: (Agent Building and Learning Environment): IBM tarafından geliştirilen, öğrenen ve akıl yürütebilen ajanlar programlamaya yönelik Java tabanlı bir sistemdir. Ajanlar, yapay sinir ağlarını kullanarak geçmiş deneyimlerinden bir şeyler öğrenebilirler. Buna ilişkin web adresi; <http://www.alphaworks.ibm.com/tech/able>

breve: Jon Klein tarafından yazılmış 3 boyutlu ajan simülasyon platformudur. Simülasyon için başka bir yazılım diline ihtiyaç duymadan kendi dilini kullanır.

Web adresi; <http://www.spiderland.org/breve>

Cougar: Amerikan DARPA projelerinden çıkan Java tabanlı akıllı ajan platformudur.

Web adresi; <http://www.cougar.org>

Jade: Tilab tarafından dağıtılan Java tabanlı ajan geliştirme uygulamalarıdır.

Web adresi; <http://jade.tilab.com>

Jas: Yapay sinir ağları ve genetik algoritmalarla sosyal ağ analiziyle ilgilenmektedir.

Web adresi; <http://jaslibrary.sourceforge.net>

Mason: Java tabanlı yeni platformlardan biridir. Sosyal ağ ve evrim tabanlı optimizasyon yöntemleri için uygun bir ajan yazılımıdır.

Web adresi; <http://cs.gmu.edu/ceclab/projects/mason>

Quicksilver: Java tabanlı, hızlı ve basit bir ajan simülasyon sistemidir.

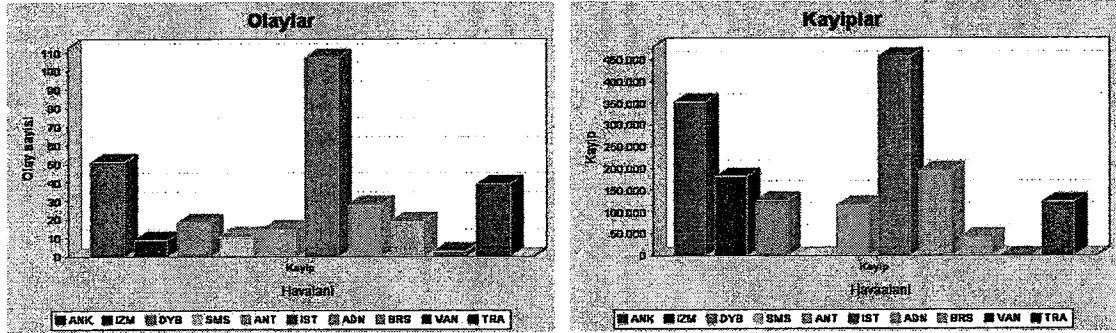
Web adresi; <http://quicksilver.tigris.org>

RePast: Chicago Üniversitesinde geliştirilmiş Java tabanlı ajan simülasyon sistemidir.

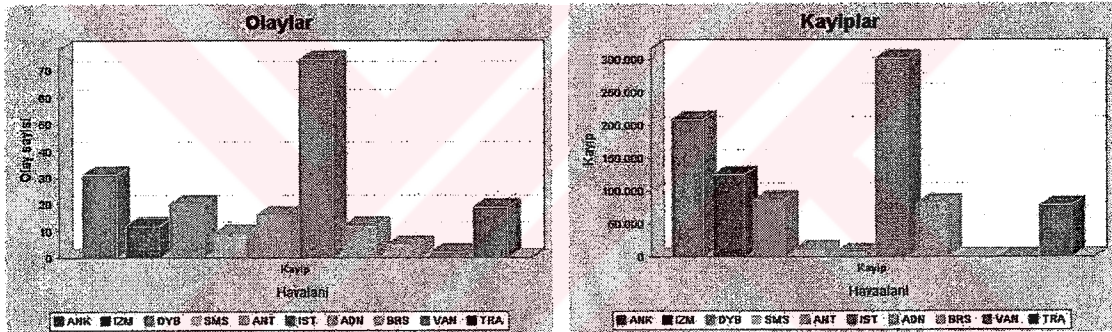
Web adresi; <http://repast.sourceforge.net>

Tobias ve Hofman (2004) bu ajan tabanlı simülasyon yazılımlarından 18'ini karşılaştırıp en iyisinin RePast olduğuna karar vermişlerdir.

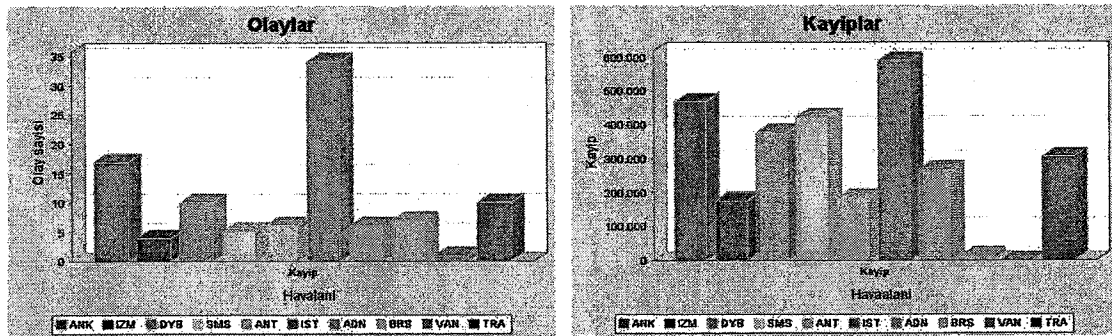
Ek-3: Olay Olan Havaalanlarının uçuş yoğunluklarına göre seçilmesi durumu



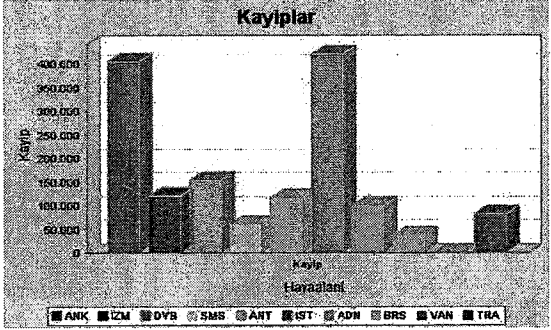
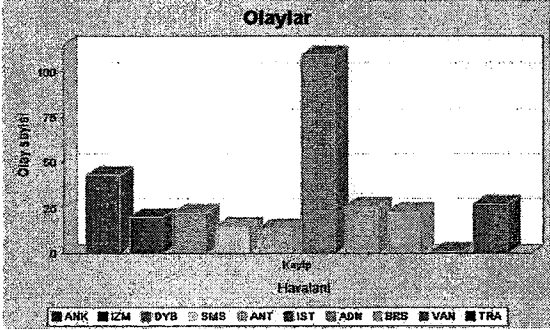
Senaryo 1: Olay sayısı: normal dağılım, olay süresi: normal dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar



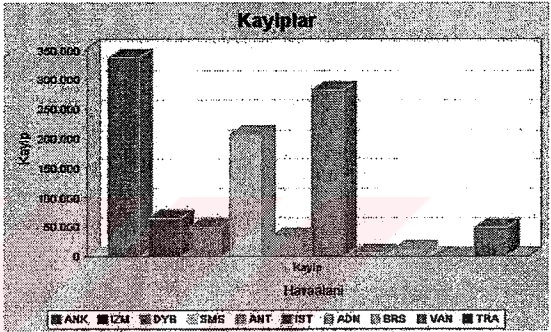
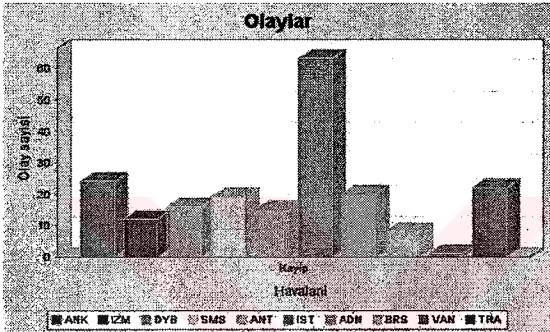
Senaryo 2: Olay sayısı: normal dağılım, olay süresi: tekdüze (uniform) dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar



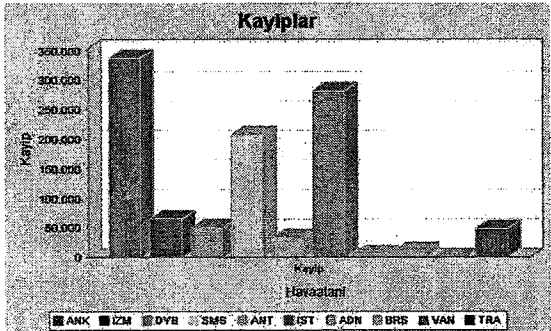
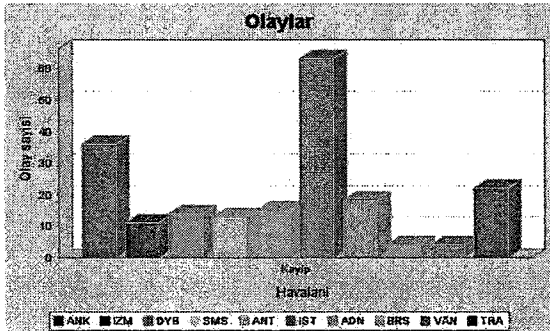
Senaryo 3: Olay sayısının normal dağılım olarak ve olay süresinin 180 dakika olması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar



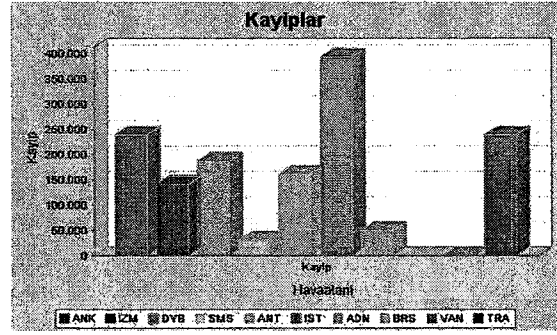
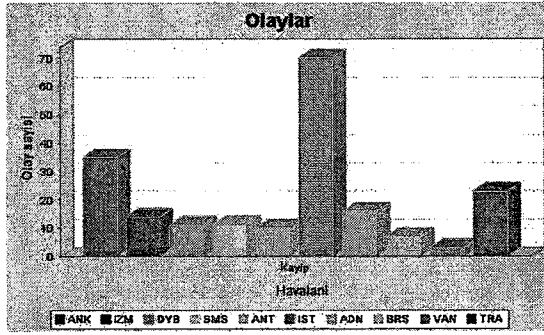
Senaryo 4: Olay sayısı: tekdüze (uniform), olay süresi: normal dağılım dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar



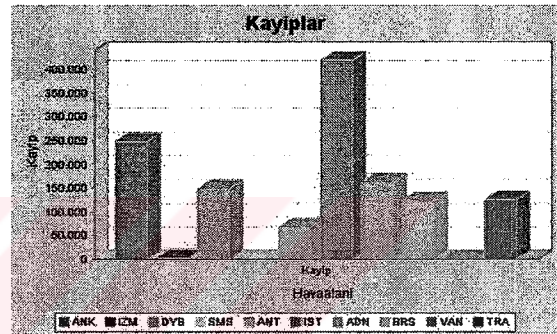
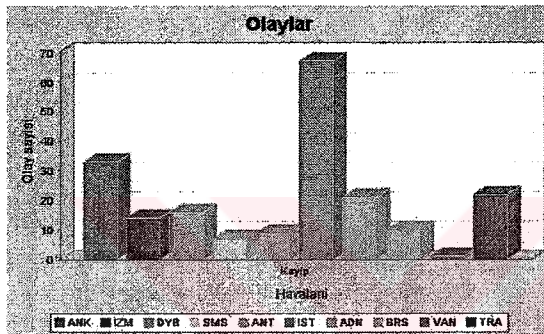
Senaryo 5: Olay sayısı: tekdüze (uniform), olay süresi: tekdüze (uniform) dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar



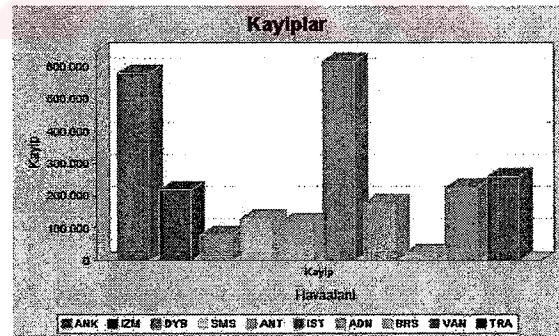
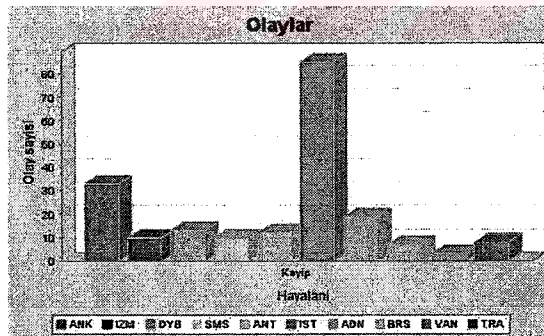
Senaryo 6: Olay sayısı tekdüze (uniform) ve olay süresinin 180 dakika olması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar



Senaryo 7: Olay sayısı: 2 ve olay süresinin normal dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar



Senaryo 8: Olay sayısı: 2 ve olay süresinin tekdüze (uniform) dağılıma göre saptanması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar



Senaryo 9: Olay sayısı: 2 ve olay süresi: 180 dakika olması durumunda her bir havaalanında yaratılan olay sayısı ve toplam kayıplar

Ek-4: Senaryolar

Olay Sayısı: Normal Dağılım Olay Süresi: Normal Dağılım			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	22	7430708	337.759
IZM	18	5286234	293.680
DYB	19	5072280	266.962
SMS	25	911520	36.461
ANT	18	256500	14.250
IST	26	13516897	519.881
ADN	23	4642250	201.837
BRS	11	111750	10.159
VAN	15	210500	14.033
TRA	23	1307010	56.827
Toplam	200	38.745.649	193.728
Olay Sayısı: Normal Dağılım Olay Süresi: Kullanıcı Tarafından			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	19	9.167.584	482.504
IZM	22	9.309.296	423.150
DYB	15	2.297.915	153.194
SMS	20	2.259.260	112.963
ANT	23	2.999.104	130.396
IST	18	10.136.692	563.150
ADN	22	4.320.875	196.403
BRS	20	498.750	24.938
VAN	15	1.267.082	84.472
TRA	26	5.091.416	195.824
Toplam	200	47.347.974	236.740
Olay Sayısı: Tekdüze Dağılım Olay Süresi: Tekdüze Dağılım			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	29	10.216.948	352.309
IZM	32	1.979.560	61.861
DYB	41	6.256.103	152.588
SMS	27	598.132	22.153
ANT	25	459.000	18.360
IST	28	7.398.312	264.225
ADN	23	1.666.675	72.464
BRS	28	1.187.025	42.394
VAN	29	673.064	23.209
TRA	38	2.382.020	62.685
Toplam	300	32.816.839	109.389

Olay Sayısı: Normal Dağılım Olay Süresi: Tekdüze Dağılım			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	19	5.478.730	288.354
IZM	16	2.968.564	185.535
DYB	20	1.178.760	58.938
SMS	27	1.018.820	37.734
ANT	18	124.500	6.917
IST	25	7.711.784	308.471
ADN	15	2.333.000	155.533
BRS	20	246.500	12.325
VAN	25	0	0
TRA	15	2.616.000	174.400
Toplam	200	23.676.658	118.383
Olay Sayısı: Tekdüze Dağılım Olay Süresi: Normal Dağılım			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	27	4.535.916	167.997
IZM	40	3.243.400	81.085
DYB	29	3.299.250	113.767
SMS	24	859.320	35.805
ANT	30	241.000	8.033
IST	31	12.047.329	388.624
ADN	35	5.085.406	145.297
BRS	29	2.376.928	81.963
VAN	28	0	0
TRA	27	1.247.412	46.200
Toplam	300	32.935.961	109.787
Olay Sayısı: Tekdüze Dağılım Olay Süresi: Kullanıcı Tarafından			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	20	3.808.418	190.421
IZM	19	4.052.860	213.308
DYB	20	5.724.449	286.222
SMS	25	2.996.336	119.853
ANT	20	4.820.978	241.049
IST	15	11.849.721	789.981
ADN	24	7.019.040	292.460
BRS	22	2.571.377	116.881
VAN	17	673.728	39.631
TRA	18	2.216.340	123.130
Toplam	200	45.733.247	228.666

Olay Sayısı: Kullanıcı Tarafından Olay Süresi: Normal Dağılım			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	20	3.636.586	181.829
IZM	16	362.120	22.633
DYB	28	4.093.171	146.185
SMS	20	239.000	11.950
ANT	15	1.090.700	72.713
IST	18	8.720.205	484.456
ADN	25	5.791.471	231.659
BRS	19	385.750	20.303
VAN	21	239.724	11.415
TRA	18	2.576.000	143.111
Toplam	200	27.134.727	135.674

Olay Sayısı: Kullanıcı Tarafından Olay Süresi: Tekdüze Dağılım			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	28	6.297.602	224.914
IZM	26	734.252	28.240
DYB	22	2.209.460	100.430
SMS	16	2.876.300	179.769
ANT	17	0	0
IST	22	11.404.802	518.400
ADN	21	2.411.000	114.810
BRS	15	376.500	25.100
VAN	19	0	0
TRA	14	837.250	59.804
Toplam	200	27.147.166	135.736

Olay Sayısı: Kullanıcı Tarafından Olay Süresi: Kullanıcı Tarafından			
Havaalanı	Olay Sayısı	Toplam Maliyet Artışı	Ortalama Maliyet Artışı
ANK	20	10.796.522	539.826
IZM	18	2.145.114	119.173
DYB	20	2.747.201	137.360
SMS	25	1.999.152	79.966
ANT	16	3.302.502	206.406
IST	16	14.656.264	916.017
ADN	19	513.000	27.000
BRS	23	3.806.297	165.491
VAN	24	1.165.072	48.545
TRA	19	2.742.520	144.343
Toplam	200	43.873.644	219.368

D951	Source-TRA:67-67	TRA-IST:87-221	IST-BRS:472-645	BRS-IST:741-914	IST-ADN:1088-1261
	ADN-IST:1434-1607	IST-ADN:1742-1915	ADN-IST:2050-2223	IST-ADN:2358-2493	ADN-IST:2589-2762
	IST-ADN:2974-3147	ADN-IST:3282-3455	IST-ADN:3629-3802	ADN-IST:3975-4148	IST-ADN:4283-4456
	ADN-IST:3282-3455	IST-ADN:3629-3802	ADN-IST:3975-4148	IST-ADN:4283-4456	ADN-IST:4591-4764
	IST-ADN:4899-5034	ADN-IST:5092-5265	IST-BRS:5515-5688	BRS-IST:5785-5958	IST-TRA:6131-6266
	TRA-IST:6516-6612	IST-BRS:6978-7113	BRS-IST:7325-7498	IST-BRS:7710-7883	BRS-IST:7979-8152
	IST-TRA:8326-8460	TRA-IST:8711-8845	IST-TRA:9211-9346	TRA-Sink:10099-10099	30 =total flight
M821	Source-ADN:28-28	ADN-IST:48-221	IST-DYB:356-606	DYB-IST:703-953	IST-DYB:1088-1299
	DYB-IST:1511-1723	IST-ADN:1935-2146	ADN-IST:2243-2416	IST-ANK:2666-2916	ANK-IST:3051-3301
	IST-DYB:3629-3840	DYB-IST:4052-4264	IST-TRA:4283-4418	TRA-IST:4514-4649	IST-TRA:4745-4880
	TRA-IST:5130-5265	IST-DYB:5400-5650	DYB-IST:5746-5996	IST-ADN:6131-6304	ADN-IST:6478-6612
	IST-ADN:6940-7113	ADN-IST:7325-7498	IST-ADN:7671-7844	ADN-IST:7979-8152	IST-ADN:8326-8499
	ADN-IST:8672-8845	IST-DYB:8865-9076	DYB-IST:9211-9423	IST-ADN:9596-9731	ADN-Sink:10099-10099
	60 =total flight				
M822	Source-ANK:67-67	ANK-IST:87-337	IST-TRA:433-568	TRA-IST:664-799	IST-TRA:1088-1222
	TRA-IST:1473-1607	IST-DYB:1627-1838	DYB-IST:1973-2185	IST-TRA:2204-2339	TRA-IST:2628-2762
	IST-DYB:2897-3147	DYB-IST:3244-3494	IST-TRA:3629-3763	TRA-IST:4014-4148	IST-DYB:4168-4379
	DYB-IST:4514-4726	IST-ANK:5169-5419	ANK-IST:5554-5804	IST-DYB:6131-6343	DYB-IST:6555-6728
	IST-DYB:6940-7151	DYB-IST:7363-7575	IST-TRA:7671-7806	TRA-IST:7902-8037	IST-BRS:8403-8576
	BRS-IST:8711-8884	IST-ADN:9173-9384	ADN-IST:9481-9654	IST-Sink:10099-10099	89 =total flight
M823	Source-IST:67-67	IST-ANK:125-375	ANK-IST:510-760	IST-ANK:1165-1415	ANK-TRA:1511-1761
	TRA-ANK:1858-2108	ANK-TRA:2127-2377	TRA-ANK:2666-2916	ANK-VAN:3128-3340	VAN-ANK:3436-3686
	ANK-SMS:3706-3917	SMS-ANK:4014-4225	ANK-SMS:4322-4533	SMS-ANK:4630-4841	ANK-IST:5130-5380
	IST-ADN:5477-5650	ADN-IST:5785-5958	IST-BRS:6208-6381	BRS-IST:6516-6651	IST-TRA:6978-7074
	TRA-IST:7363-7498	IST-DYB:7710-7921	DYB-IST:7941-8191	IST-ANK:8403-8653	ANK-VAN:8788-8999
	VAN-ANK:9096-9346	ANK-TRA:9365-9615	TRA-Sink:10099-10099	117 =total flight	
M824	Source-TRA:105-105	TRA-ANK:125-375	ANK-VAN:587-799	VAN-ANK:895-1145	ANK-SMS:1165-1376
	SMS-ANK:1473-1684	ANK-SMS:1781-1992	SMS-ANK:2089-2300	ANK-IST:2628-2878	IST-BRS:3013-3186
	BRS-IST:3282-3455	IST-ANK:3706-3956	ANK-IST:4091-4302	IST-DYB:4476-4726	DYB-IST:5130-5342
	IST-TRA:5477-5611	TRA-IST:5708-5842	IST-ANK:6208-6458	ANK-IST:6593-6766	IST-ANK:6978-7190
	ANK-IST:7440-7613	IST-ANK:7787-8037	ANK-SMS:8403-8614	SMS-ANK:8711-8922	ANK-SMS:9019-9230
	SMS-ANK:9327-9538	ANK-Sink:10099-10099	144 =total flight		
M825	Source-IZM:298-298	IZM-ANT:318-452	ANT-IZM:549-683	IZM-ANT:780-914	ANT-IZM:1011-1145
	IZM-ANT:1357-1492	ANT-IZM:1588-1723	IZM-ANT:1819-1954	ANT-IZM:2050-2185	IZM-ANT:2859-2993
	ANT-IZM:3090-3224	IZM-ANT:3321-3455	ANT-IZM:3552-3686	IZM-ANT:3898-4033	ANT-IZM:4129-4264
	IZM-ANT:4360-4495	ANT-IZM:4591-4726	IZM-ANT:5477-5611	ANT-IZM:5708-5842	IZM-ANT:5939-6073
	ANT-IZM:6170-6304	IZM-ANT:6824-6959	ANT-IZM:7017-7151	IZM-ANT:8018-8152	ANT-IZM:8249-8383
	IZM-ANT:8595-8730	ANT-IZM:8826-8961	IZM-ANT:9057-9192	ANT-IZM:9288-9423	173 =total flight
M871	Source-BRS:28-28	BRS-IST:48-221	IST-ADN:433-606	ADN-IST:741-914	IST-BRS:1165-1338
	BRS-IST:1473-1646	IST-TRA:1742-1877	TRA-IST:1973-2108	IST-ADN:2628-2801	ADN-IST:2936-3109
	IST-DYB:3244-3455	DYB-IST:3590-3802	IST-ADN:4476-4687	ADN-IST:4784-4957	IST-ANK:5592-5842
	ANK-IST:6863-7036	IST-ADN:7363-7536	ADN-IST:7633-7806	IST-DYB:8326-8537	DYB-IST:8749-8961
	IST-DYB:9173-9423	DYB-Sink:10099-10099	195 =total flight		
M872	Source-IST:67-67	IST-ADN:87-260	ADN-IST:395-568	IST-DYB:703-914	DYB-IST:1049-1261
	IST-DYB:1935-2185	DYB-IST:2628-2839	IST-TRA:2974-3109	TRA-IST:3205-3340	IST-BRS:3706-3879
	BRS-IST:4014-4187	IST-ANK:4514-4764	ANK-IST:7748-7998	IST-ANK:9211-9461	ANK-Sink:10099-10099
	210 =total flight				
M873	Source-DYB:67-67	DYB-IST:87-298	IST-ANK:549-799	ANK-IST:1550-1761	IST-ANK:1973-2223
	ANK-TRA:2743-2993	TRA-ANK:4052-4302	ANK-IST:4399-4610	IST-DYB:6478-6651	DYB-IST:6824-6997
	IST-ANK:7402-7613	ANK-IST:8788-8999	IST-BRS:9211-9384	BRS-Sink:10099-10099	224 =total flight
M874	Source-ANK:182-182	ANK-TRA:202-452	TRA-ANK:1511-1761	ANK-IST:1858-2069	IST-ANK:3090-3340
	ANK-TRA:4052-4302	TRA-ANK:4399-4649	ANK-TRA:4668-4918	TRA-ANK:8903-9153	ANK-SMS:9442-9654
	SMS-Sink:10099-10099	235 =total flight			
M875	Source-SMS:221-221	SMS-ANK:241-452	ANK-SMS:472-683	SMS-ANK:780-991	ANK-SMS:2204-2416
	SMS-ANK:2782-2993	ANK-SMS:3013-3224	SMS-ANK:3321-3532	ANK-SMS:4745-4957	SMS-ANK:5631-5842
	ANK-IST:9096-9307	IST-Sink:10099-10099	247 =total flight		
M876	Source-IST:1953-1953	IST-BRS:1973-2146	BRS-IST:2589-2762	IST-BRS:4514-4687	BRS-IST:5092-5265
	IST-Sink:10099-10099	253 =total flight			

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Eryiğit
Doğum Yeri ve Tarihi : Araklı/Trabzon 1976

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Hacettepe Üniversitesi İşletme Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Abant İzzet Baysal Üniversitesi İşletme Bölümü
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Stajlar :
Projeler :
Çalıştığı Kurumlar : Abant İzzet Baysal Üniversitesi İşletme Bölümü (1999 - 2001)
Hacettepe Üniversitesi İşletme Bölümü (2001 -)

İletişim

e-pota Adresi : eryigit@hacetepe.edu.tr; eryigit76@yahoo.com

Tarih : 12.07.2005

İNGİLİZCE, ALMANCA VE FRANSIZCA KARŞILIKLAR

HACETEPE ÜNİVERSİTESİ

İngilizce	Hacettepe University
Almanca	Hacettepe Universitatat
Fransızca	Universite de Hacettepe

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İngilizce	Graduate School of Social Science
Almanca	Institut für Sozialwissenschaften
Fransızca	Institut des Science Sociales

YÜKSEK LİSNANS TEZİ

İngilizce	Master's Thesis
Almanca	Magisterarbeit
Fransızca	These de Maitrise

DOKTORA TEZİ

İngilizce	Ph.D. Dissertation
Almanca	Inaugualdissertation
Fransızca	These de Doctorat