
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

EKİP ÇİZELGELEME PROBLEMİNDE İNSANİ FAKTÖR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ

Burcu YILMAZ KAYA

DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MART 2018

Burcu YILMAZ KAYA tarafından hazırlanan "EKİP ÇİZELGELEME PROBLEMİNDE İNSANİ FAKTÖR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Başkan: Prof. Dr. Ergün ERASLAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye: Doç. Dr. Feyzan ARIKAN ÖKTEMER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye: Doç. Dr. Mehmet KABAK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye: Doç. Dr. Yusuf Tansel İÇ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Tez Savunma Tarihi: 05/03/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burcu YILMAZ KAYA

05/03/2018

EKİP ÇİZELGELEME PROBLEMİNDE İNSANİ FAKTÖR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ

(Doktora Tezi)

Burcu YILMAZ KAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2018

ÖZET

Günümüz ekonomik şartları altında ekip çizelgeleme, özellikle havayolu taşımacılığı işletmeleri için hayati öneme sahip bir karar verme problemidir. Uygun olmayan çizelgeler firmanın hizmet üretkenliğini ve toplam performansını olumsuz yönde etkiler, maliyetleri arttırır ve firma prestijini zedeler. Bunların yanında kötü çizelgeleme faaliyetlerinin çalışan memnuniyeti ve performansı üzerinde de olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Ekip çizelgeleme problemi mevcut literatürde ekip eşleme ve uçuş rotalama olarak isimlendirilen iki alt problemden oluşan NP-Zor yapıda bir karar problemidir. Her ne kadar bu problem tipinin ana girdisini insan olgusu oluşturmakta olsa da mevcut literatürde insani faktörlerin çizelgeleme ve çizelge bozulmaları konularında etkilerinin dikkate alınmadığı ve hatta incelenmediği görülmektedir. Bu çalışmada Türkiye yerel pazarında faaliyet gösteren büyük ölçekli bir havayolu firmasının İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanından gerçekleştirmekte olduğu uçuşları için, literatürdeki diğer örneklerden farklı olarak, her iki alt probleminin de ele alındığı tam bir ekip çizelgeleme faaliyeti gerçekleştirilirken, mevcut çalışmalarda çok nadiren incelendiği görülen ileri ekip çizelgeleme faaliyetleri de insani faktörlerin etkileri göz önünde bulundurularak ekip ataması gerçekleştirilmesi ile sonuca ulaştırılmıştır. Bu problemlerin çözümünün, literatürde bulunan benzerlerinin çözümlerinden farklı olarak, herhangi bir kestirimci metot, sezgisel ya da yalnızca etkin çözüm sunabilecek bir matematiksel yöntem gerektirmeksizin, en iyi sonuç sunacak saf matematiksel modeller ile gerçekleştirilebilmesini mümkün kılabilmek amacı ile çalışma kapsamında özel bir karar destek sistemi geliştirilmiş, bilinen ve ileri ekip çizelgeleme problemlerini yeni bir bakış açısıyla ele alan bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada yer alan insani faktör analizi, etkin ve güvenilir bir grafiksel çıkarım metodu olan Etki Diyagramı yapısı ile gerçekleştirilirken, hesaplamalarda karşılaşılabilecek insani hataların en aza indirgenebilmesi amacı ile hesaplamalarda bir yazılım aracı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen gerçek hayat uygulaması sonuçları öne sürülen yeni yaklaşımın uygulanabilir, etkin ve güvenilir yapısını oluşturulan tek ve çok amaçlı modellerin ve bunların sonuçlarının karşılaştırmalı analizi ile ortaya koymaktadır.

Bilim Kodu	:	90603
Anahtar Kelimeler	:	Ekip çizelgeleme, ileri ekip çizelgeleme, insani faktör etki analizi, tam sayılı programlama, etki diyagramı, karar destek sistemi
Sayfa Adedi	:	378
Danışman	:	Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HUMANITARIAN FACTORS IN CREW SCHEDULING PROBLEM AND A DECISION SUPPORT SYSTEM PROPOSAL

(Ph. D. Thesis)

Burcu YILMAZ KAYA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2018

ABSTRACT

Crew scheduling is a decision-making problem which has a vital importance especially for airline companies, according to the economic circumstances of today. An unsuitable scheduling affects service quality and the overall performance of the company negatively increases costs and damages the company's prestige. Besides these, it is known that poor scheduling activities influence employee satisfaction and performance adversely. Crew scheduling problem is a NP-Hard decision problem, which is formed of two sub-problems called crew pairing and flight routing in existing literature. Although human factors constitute the main input of this problem type, performed literature reviews indicate that effects of the humanitarian factors on scheduling and schedule corruption subjects are not considered or even analyzed in existing studies of the related field. In this study, differently from the other instances existing in the related literature, a full crew scheduling activity which both two sub-problems are considered is performed while humanitarian affected crew assignment is realized as advanced crew scheduling activities, which is also rarely analyzed in existing literature, for the flights of the largest company acting in Turkey domestic market from İstanbul Sabiha Gökçen Airport. A novel decision support system is developed with the purpose of making possible to solve these problems via pure mathematical models to obtain optimal solutions instead of any predictive methods, heuristics or any mathematical methodology which can only acquire an effective solution, and an approach which can handle conventional and advanced crew scheduling problems in a different point of view is proposed, distinctively from the similar studies existing in the related literature. Humanitarian factors analysis is realized with the employment of Influence Diagram structure, that is an efficient and trustable graphical inference method, a software is utilized for the calculations with the aim of minimization of possible humanitarian faults. The results gained from the real-life application put forward the applicable, efficient and trustable structure of the proposed approach, according to the single and multi-objective mathematical models and the comparative analyses of their outcomes.

Science Code : 90603

Key Words : Crew scheduling, advanced crew scheduling, humanitarian factor effect analyses, integer programming, Influence diagrams, decision support systems

Page Number : 378

Supervisor : Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN

TEŞEKKÜR

Çalışmamın başlangıcından sonuçlandırılmasına kadar her aşamasında kıymetli önerileri ile beni yönlendiren, tecrübelerinden faydalanmamı sağlayan, katkı ve fikirlerini esirgemeyen, ayrıca karşılaştığım her zorlu süreçte desteğini hissettiğim danışman hocam Sayın Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN'e, bilimsel anlamda teşvik ve destekleriyle yanımda olan tez izleme komitesi üyesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Ergün ERASLAN ve Sayın Doç. Dr. Feyzan ARIKAN ÖKTEMER'e teşekkürü borç bilirim.

Hayatımın her döneminde maddi ve manevi desteklerini yanımda hissettiğim, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, üzerimdeki haklarını asla ödeyemeyeceğim canım anneme ve babama en samimi duygularımla teşekkür eder, şükran ve saygılarımı sunarım. Tezimin hazırlanması esnasında ve bu uzun süreçte yaşadığım tüm zorluklarda bana vermiş oldukları desteklerinden dolayı, her ihtiyacım olduğunda yardıma hazır ve yanımda olan anneme, babama, sevgili eşime ve hayat gayem canım kızıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……... iv

ABSTRACT…… v

TEŞEKKÜR…… vi

İÇİNDEKİLER…… vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ……. xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ…….. xv

SİMGELER VE KISALTMALAR……. xvii

1. GİRİŞ…… 1

2. EKİP ÇİZELGELEME……. 11

2.1. Çizelgeleme……. 11

2.2. Ekip Çizelgeleme……. 12

2.3. Ekip Çizelgeleme Çözümünde Kullanılan Yöntemler…… 15

2.3.1. Matematiksel programlama mantığına dayalı yöntemler……. 15

2.3.2. Sezgisel yöntemler…… 17

2.4. Havayolları Taşımacılığında Ekip Çizelgeleme……. 21

2.5. Ekip Çizelgeleme Literatür Araştırması……. 27

3. YÖNTEMLER…….. 49

3.1. Tam Sayılı Programlama…… 49

3.1.1. Tam sayılı programlamanın NP-Zor yapısı…….. 53

3.1.2. Tam sayılı programlama çözüm algoritmaları…….. 56

3.2. Etki Diyagramları…… 61

3.2.1. Etki Diyagramı tekniği ile ilgili kavramlar…… 64

3.2.2. Etki Diyagramlarında çıkarım yapma ve çözüm yöntemleri…….. 75

3.2.3. Etki Diyagramı tipleri…… 79

Sayfa

3.2.4. Etki Diyagramı çözücüsü olarak GeNIe paket programı…….. 82

3.2.5. Etki Diyagramı tekniğinin diğer grafiksel yöntemlerden farkı…….. 88

3.2.6. Etki Diyagramı tekniğine ilişkin literatür araştırması…… 91

4. ÖNERİLEN YÖNTEM VE LİTERATÜRE KATKISI…….. 99

5. UYGULAMA……. 109

5.1. Problemin Tanımı…… 109

5.2. Karar Destek Sistemi…….. 117

5.3. Ekip Çizelgelemenin Saf Matematiksel Model Olarak Çözümü……. 122

5.3.1. Çizelgeleme varsayımları…….. 122

5.3.2. Çizelgeleme kısıtları……. 123

5.3.3. Ekip eşleme……... 130

5.3.4. Uçuş rotalama……... 138

5.4. İnsani Faktör Analizi ve Çalışan Atama……..... 149

5.4.1. İnsani faktörlerin dikkate alınması ışığında çalışan seçimi ve ED uygulamaları…….. 150

5.4.2. Etki Diyagramı yapısının oluşturulması……... 152

5.4.3. İnsani faktörler ışığında ileri ekip çizelgeleme incelemesi- Ekip oluşturma ve çalışan atama problemleri matematiksel modelleri…….. 163

5.4.4. Matematiksel modellerde kullanılacak verilerin belirlenmesi…….. 164

5.4.5. Çalışanlara bağlı toplam yokluk değerleri temelinde ED sonuçlarının atama çizelgelerine etkisinin matematiksel modeller yardımı ile incelenmesi…… 167

5.4.6. Ekipler temelinde izin verilen yokluk düzeyleri temelinde ekipleri oluşturacak çalışan düzenin ED sonuçlarına göre matematiksel modeller yardımı ile belirlenmesi……. 176

5.4.7. Tek ve çok amaçlı model sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi……... 195

6. SONUÇ…… 197

Sayfa

KAYNAKLAR…… 203

EKLER…… 221

EK-1. Hesaplanan tüm olası ekip eşlemeleri…….. 222

EK-2. Ekip eşleme problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti…… 226

EK-3. Uçuş rotalama problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti…… 231

EK-4. 300 çalışan için beklenen ve beklenmeyen yokluk durumları…….. 236

EK-5. 300 çalışan için oluşturulan ED'lerin değer düğümü sonuçları…… 243

EK-6. 300 çalışan için yokluk verileri…… 255

EK-7. Matematiksel modellerde kullanılan parametre değerleri…… 266

EK-8. KümeKaplamaModeli_1.1 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti…… 273

EK-9. KümeKaplamaModeli_1.2 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti…… 275

EK-10. KümeKaplamaModeli_2.1 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti……..... 277

EK-11. KümeKaplamaModeli_2.2 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti……..... 279

EK-12. AtamaModeli_1 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti…….. 281

EK-13. AtamaModeli_1 problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları……. 283

EK-14. AtamaModeli_2.1 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti…… 301

EK-15. AtamaModeli_2.1 problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları…….. 303

EK-16. AtamaModeli_2.2 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti…..... 320

EK-17. AtamaModeli_2.2. problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları……. 322

EK-18. AtamaModeli_3 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti……... 338

Sayfa

EK-19. AtamaModeli_3 problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları……. 340

EK-20. ÇokAmaçlıAtamaModeli problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti……... 357

EK-21. ÇokAmaçlıAtamaModeli problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları……. 359

ÖZGEÇMİŞ…… 376

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Ekip çizelgeleme literatürü yayın verileri incelemesi…… 42

Çizelge 2.2. Ekip çizelgeleme problemi için kullanılan çözüm yöntemleri……... 43

Çizelge 2.3. Literatürde mevcut bulunan çalışmalarda ele alınan çeşitli kısıtlar…… 44

Çizelge 2.4. Tez kapsamında incelenen literatür araştırması yayınları……... 45

Çizelge 3.1. ED tiplerine göre literatür grupları……. 95

Çizelge 3.2. Çalışma alanlarına göre literatür grupları…… 96

Çizelge 5.1. Günlük olarak gerçekleştirilen SAW merkez üslü uçuşlar listesi……... 114

Çizelge 5.2. Günlük temelde SAW merkez üslü uçuş çiftleri……. 116

Çizelge 5.3. Azami süreler…….. 124

Çizelge 5.4. İniş sayılarına göre azami UGS'ler……. 124

Çizelge 5.6. Asgari boş süreler…… 127

Çizelge 5.7. GAMS sonuçlarına göre seçilen ekip eşlemeleri……..... 136

Çizelge 5.8. Düzenlenmiş ekip eşlemeleri…….. 137

Çizelge 5.9. Haftalık temelde hesaplanan ekip eşlemeleri…….. 141

Çizelge 5.10. Haftalık temelde uçulacak rotalar……. 147

Çizelge 5.11. ED elemanlarının sınıflandırılması…….. 155

Çizelge 5.12. Her düğüm için dağılım değerlerinin belirlenmesi…….. 156

Çizelge 5.13. Acil ameliyat şans düğümü koşullu olasılık hesaplama verileri…….. 157

Çizelge 5.14. Kişisel hafif hastalıklar şans düğümü koşullu olasılık hesaplama verileri……. 157

Çizelge 5.15. Beklenen yokluk şans düğümü koşullu olasılık hesaplama verileri……. 157

Çizelge 5.16. Beklenmeyen yokluk şans düğümü koşullu olasılık hesaplama verileri……. 158

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.17. “EtkiDiyagramı_4”, “EtkiDiyagramı_5” ve “EtkiDiyagramı_6” değer düğümü çıktı verilerinin karşılaştırılması……... 160

Çizelge 5.18. Çalışanların seçilmesine dair oluşturulan küme kaplama modellerinin karşılaştırmalı sonuç analizi……... 175

Çizelge 5.19. Tek amaçlı model sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi…….. 188

Çizelge 5.20. Tek amaçlı model sonuçlarının ortalama değerlerinin karşılaştırması…. 189

Çizelge 5.21. Tek ve çok amaçlı model sonuçlarının karşılaştırması……. 195

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Ekip çizelgeleme probleminin genel literatürdeki yeri……... 47

Şekil 3.1. Yeni ürün geliştirme kararın verilmesi için bir ED……. 66

Şekil 3.2. Basit bir BA örneği……. 69

Şekil 3.3. Örnek probleme dair şekilsel seviye ED çizimi…….. 75

Şekil 3.4. GeNIe programı ara yüzü…… 83

Şekil 3.5. Menü çubuğu……... 84

Şekil 3.6. Standart araç çubuğu……... 84

Şekil 3.7. Biçim araç kutusu…… 85

Şekil 3.8. Örnek olasılıklı şans düğümü özellikler tablosu……. 86

Şekil 3.9. Örnek kesikli şans düğümü özellikler tablosu……..... 86

Şekil 3.10. Örnek karar düğümü özellikler tablosu……. 87

Şekil 3.11. Örnek değer düğümü tablosu…… 87

Şekil 4.1. Öne sürülen yaklaşım için akış şeması…… 100

Şekil 5.1. Geliştirilen KDS'de ekip eşleme problemi veri derleme ekranı……. 119

Şekil 5.2. Geliştirilen KDS'de uçuş rotalama problemi veri derleme ekranı…….. 120

Şekil 5.3. Geliştirilen KDS'de uçuş rotalama matematiksel modelini oluşturma ekranı…….. 121

Şekil 5.4. UGS ve US terimlerinin zaman çizgisi üzerinde gösterimi…… 125

Şekil 5.6. Ekip eşleme programının ekran görüntüsü – 1……... 131

Şekil 5.7. Ekip eşleme programının ekran görüntüsü – 2……... 132

Şekil 5.8. Ekip eşleme programının ekran görüntüsü – 3……... 132

Şekil 5.9. Uçuş rotalama programının ekran görüntüsü – 1……... 139

Şekil 5.10. Uçuş rotalama programının ekran görüntüsü – 2…….. 140

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.11. Uçuş rotalama programının ekran görüntüsü – 3…….. 143

Şekil 5.13. ED uygulaması için oluşturulan temel graf……... 155

Şekil 5.14. ED uygulaması için oluşturulan “EtkiDiyagramı_6”…… 161

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
d	Bir haftalık periyottaki günler
i	Gerçekleştirilen görev sayısı
kj	Bir uçuş görevinin başlangıç zamanı
US_i	i. US süresi
UGS_i	i. UGS süresi
b	brifing alma süresi
d	brifing verme süresi
p_j, r_j, s_j	j saatinin içinde bulunduğu aralığa bağlı 0-1 değişken
K_{UGSi}, L_{UGSi}, M_{UGSi}, N_{UGSi}	i. UGS'nin aldığı değere bağlı 0-1 değişken
y_{id}	i. uçuşun d. gün gerçekleşmiş olması 0-1 değişkeni
DS_i	i. DS süresi
BG_d	d. günün boş gün olup olmamasına bağlı 0-1 değişken
$	Dolar
n	Pilot sayısı
I	Pilotlar kümesi
J	Rotalar kümesi
m	Söz konusu zaman periyodunda uçulacak rota
A_j	j rotasını uçabilecek pilotlar kümesi
x_{ij}	i. pilotun j rotasına atanmasına bağlı 0-1 değişken
C_{ij}	i. Pilotun j rotasına atanma maliyeti
N	Düğümler kümesi
A	Arklar kümesi
G	Yönlü çevrimsiz graf
V	Değer düğümü
$P(i)$	i olayının ortaya çıkma olasılığı

Simgeler	**Açıklamalar**
$\boldsymbol{C}$	Şans düğümleri kümesi
$\boldsymbol{D}$	Karar düğümleri kümesi
$\boldsymbol{S_i}$	i düğümüne ilişkin tablonun boyutu
$\boldsymbol{\Omega_k}$	k düğümünün çerçevesi
w	Atama problemi amaçları ağırlık değerleri kümesi
$\boldsymbol{i}$	Olası eşleme/rota sayısı
$\boldsymbol{p}$	Uçucu ekibe atanacak pilotlar kümesi
$\boldsymbol{x_i}$	*i*. Olası eşlemenin/rotanın seçilmesi değişkeni
$\boldsymbol{cc}$	Kabin ekibi elemanları kümesi
$\boldsymbol{K}$	Ekip başına sağlanması beklenen kıdem
$\boldsymbol{B}$	Ekip başına izin verilen bütçe
$\boldsymbol{Y_1}$	Toplam planlı yopkluk değeri
$\boldsymbol{Y_2}$	Toplam plansız yokluk değeri
$\boldsymbol{P}$	Hastalık nedenine bağlı planlı yokluk
$\boldsymbol{Q}$	Çevresel nedenlere bağlı planlı yokluk
$\boldsymbol{R}$	Kişisel hastalık nedenine bağlı plansız yokluk
$\boldsymbol{S}$	Diğer nedenlere bağlı plansız yokluk

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AM	Acil ameliyat
b	**“**brief” periyot süresi
BA	Bayes ağları
BED	Bulanık etki diyagramı
BHK	Belirsiz hava koşulları
BS	Bekleme süresi
ÇAED	Çok aktörlü etki diyagramı
d	**“**debrief” periyot süresi
DS	Dinlenme süresi
ED	Etki diyagramı

Kısaltmalar	Açıklamalar
EDED	Etkileşimli dinamik etki diyagramı
GA	Genetik algoritma
GAED	Gauss etki diyagramı
GAMS	Genel cebirsel modelleme sistemi
GED	Genişletilmiş etki diyagramı
GeNIe	Graphical network interface – Şekilsel şebeke arayüzü
HP	Hedef programlama
İS	İniş saati
İTED	İçerik temelli etki diyagramı
İY	İniş yeri
KDS	Karar destek sistemi
KGED	Karışık Gauss etki diyagramı
KHH	Kişisel hafif hastalık
KKO	Karınca kolonisi algoritması
KS	Kalkış saati
KY	Kalkış yeri
LH	Pilotlar için uçuş süresi üst limiti
LT	Ekipler için planlanan mola süresi üst limiti
MA	Memetik algoritma
MATLAB	Matrix laboratory – Matematik laboratuvarı
NP	Belirleyici olmayan polinomsal
NPED	Nitel politike etki diyagramı
OED	Olabilirlikli etki diyagramı
OTTED	Oyun teorisi temelli etki diyagramı
P	Polinomsal
SAW	Sabiha Gökçen Havalimanı
SBK	Sıra bağımlı kullanım
SED	Sınırlandırılmamış etki diyagramı
SHED	Sınırlı hafıza etki diyagramı
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü

Kısaltmalar	Açıklamalar
SKPK	Sorumlu kaptan pilot kararı
SN	Sefer no
TA	Tabu arama
TB	Tavlama benzetimi
THY	Türk Hava Yolları
TS	Etki diyagramı hafızası
TSP	Tam sayılı programlama
UGS	Uçuş görev süresi
US	Uçuş süresi
YEM	Yapısal eşitlik modeli

1. GİRİŞ

Her geçen gün büyümekte olan Dünya pazarları, artan rekabet ve zorlaşan ekonomik koşullar nedeni ile şirketleri tüm kaynaklarının en iyi şekilde yönetilmesi için etkin çözümler aramaya itmektedir. Değişen ve gelişen yönetim yapıları ile şirket yöneticileri, üretim ve hizmet sektörleri için, uygulama problemleri ve verimlilik çalışmalarında akademik çalışmalar ve bilimsel yöntemlerden olabildiğince yararlanmaya çalışmaktadır.

Kısıtlı zaman periyotları içinde tam kapasite ile en büyük oranda çıktıya ulaşmak amacı ile hem üretim hem de hizmet sektörlerinde doğru planlama yapmanın önemi gittikçe artmaktadır. İyi planlanmamış ve denetlenmeyen molalar, yanlış proses ve prosedür uygulamaları, ekipman hatası ya da bozulmaları, çalışan temelli beklenmedik yokluklar gibi pek çok önceden tahmin edilemeyen etmen, yapılan üretim ya da servis planlarını olumsuz etkilemekte, bu durum da çıktı ve dolayısı ile kazanç oranlarında düşüşlere neden olmakta, hatta şirketlere ek maliyetler getirmektedir. Bu tip sorunlarla karşılaşmamak gerçek hayat uygulamalarında neredeyse imkansızdır, bu nedenle doğru ve etkin çizelgeleme faaliyetleri yürütmek oldukça önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Çizelgeleme, imalat ve hizmet sektöründe önemli bir yere sahip olan bir karar verme sürecidir (Pinedo, 2002), kaynakları veya kapasiteyi siparişlere, işlere veya müşterilere göre düzenler. Mevcut kapasitenin etkin ve verimli kullanılmasına ve organizasyonun hedeflerine ulaşmasına yardımcı olur. Aktivitelerin nerede ve ne zaman yapılacağına karar verir (Varol, 2001). Tedarik ve üretimde, taşıma ve dağıtımda, bilgi işleme ve iletişimde kullanılır. Bir işletmedeki çizelgeleme çalışmaları matematiksel veya sezgisel yöntemler kullanarak görevlerin yapılması için eldeki kısıtlı kaynakların dağıtılmasını sağlar (Eren, 2004), operasyonların zamanlamasını ve koordinasyonunu gösterir (Varol, 2001). Bu kaynakların uygun dağıtımı, firmanın amaçlarını eniyiler ve işletmeyi hedeflerine ulaştırır. Kaynaklar bir atölyedeki makineler, bir hava alanındaki pistler, inşaat sahasındaki çalışanlar ya da bir hesaplama ortamındaki işleyici üniteleri olabilir. Görevler ise atölyedeki işlemler, hava alanında kalkış ve inişler, bir inşaat projesindeki aşamalar ya da uygulanan bilgisayar programları olabilir. Her görevin bir öncelik seviyesi, bir mümkün en erken başlama zamanı ve teslim tarihi vardır. Çizelgeleme faaliyetinde edinilen amaçlar da değişiklik gösterebilir;

örneğin, tüm görevlerin tamamlanma zamanının ya da teslim tarihinde yetiştirilemeyen işlerin sayısının enküçüklenmesi gibi (Eren, 2004).

Üretim sektörünün, talebin düşük olduğu zamanlarda stoka ürün biriktirmesi, talebin yüksek olduğu zamanlarda ise stoktan ürün karşılaması gibi değişken durumlara tepki verebilme şansı vardır. Bankalar ve hastaneler gibi önemli hizmet sektörlerinde, ürün veya hizmet, müşteriye bağımlı olarak karşılanır. Hizmet daha önceden stoklanamadığı için her talebin gecikmeden karşılanması zorlaşmaktadır. Dolayısıyla, çalışan çizelgeleme probleminin önemi hizmet alanlarında faaliyet gösteren işletmeler için çok daha kolay şekilde görülebilmektedir. Buradan hareketle, çalışan çizelgelemenin temel amacı, gerektiği anda ihtiyaç duyulan personeli bulunduracak iyi bir çalışma çizelgesi oluşturmaktır şeklinde ifade edilebilir (Ulusam Seçkiner, 2005).

Çalışan çizelgeleme, personelin belirli günler ve vardiyalarda çalışması için görevlendirilmesi prosedürüdür. Bu çizelgeleme problemi tipi, tüm kısıtları göz önüne alarak mevcut iş kaynaklarını, organizasyonun iş ihtiyaçları ile karşılaştırır. Çalışan çizelgeleme, çalışan insanlar, iş dünyası ve ekonomi için de önemlidir. Kötü çizelgeleme sonuçları insan hayatının kaybına varabilecek boyutlara ulaşabilmektedir (Varol, 2001).

Diğer tüm sektörlerde olduğu gibi taşımacılık sektöründe de çalışan çizelgeleme oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Mevcut literatür incelendiğinde, sektörün havayolları taşımacılığı, demiryolları taşımacılığı, toplu taşıma servisleri, hızlı ulaşım yolları ile taşımacılık gibi alanlarında gerçekleştirilmiş çalışmalara rastlanmaktadır. Bunların içinden havayolu planlama ve işletme problemleri yöneylem araştırması alanında son 50 yıldır kayda değer bir ilgi görmektedir.

Hem hava trafiğindeki talep patlaması hem de yöneylem araştırması tekniklerinin havayolu çizelgelemede yaygın kullanımı, ana havaalanlarında sıkı uçuş çizelgelerinin kullanımını ve kullanım gerekliliğini arttırmıştır. Bu durumun istenmeyen bir sonucu olarak, az sayıda uçuşun gelişindeki gecikme, pek çok uçuşu ve havaalanını içine alan bir bozulma zincirine neden olabilmekte, sistem boyunca aksamalarla sonuçlanabilmektedir (Jerzy, Manyem ve White, 2002).

Havayolu şirketleri arasındaki yüksek dereceli rekabet de hava taşımacılığı endüstrisinde ortaya çıkan dikkat çeken bir durumdur. Bu da yöneylem araştırması yöntemlerinin günden güne havaalanlarındaki fiyatlandırma, alan yönetimi, uçuş çizelgeleme ve çalışan çizelgeleme işlemleri için kullanılmasını yanında getirmiştir (Jerzy ve diğerleri, 2002). Bu durumun nedeni havayolu firmalarının sözü edilen bu problemlerine işletme maliyetlerini azaltmak ve karları ile pazar paylarını arttırmak amacıyla uygulanabilir çözümler aramakta oluşudur (Muter ve diğerleri, 2013). Çalışan çizelgeleme problemi farklı başlıklar altında incelenebilmektedir, bu başlıklardan en önemli inceleme konusu ise ekip çizelgeleme problemidir. Ayrıca ekip çizelgeleme problem tipi havayolu planlama problemleri içinde de özel ve önemli bir yere sahiptir ve şu sebeplerle en çok çalışılan problemdir; (i) ekip maliyetleri, şirketler için yakıt maliyetlerinden sonra en büyük maliyet kalemidir, (ii) pek çok kanun ve uygulama düzenlemeleri planlama sürecine entegre edilmek zorundadır. Bu kanun ve düzenlemeler, araştırmacılar açısından, tek bir mümkün çizelgeyi pek çok karmaşık maliyet yapısı ve olurluluk kuralları altında optimum kılmayı oldukça zor hale getirmektedir (Muter ve diğerleri, 2013).

Bu tez çalışmasında taşımacılık sektörü havayolu taşımacılığı alanı için ekip çizelgeleme problemi ele alınacaktır. Ekip çizelgeleme probleminin başka bir sektör ya da başka bir alanda incelenmeyecek olmasının nedeni, seçilen uygulama alanının söz konusu tüm alanların içinde en yüksek karmaşıklığa sahip olması, dolayısıyla çözümünün daha zor olması, bu nedenle bu problem tipine etkin çözümler getirilmesinin şirketlere daha büyük fayda sağlayacak olmasıdır.

Ekip çizelgeleme problemleri matematik bilimi içindeki en bilindik konulardan biridir. Ancak mevcut literatür incelendiğinde pek çok teorik geliştirme ve modelleme örneğine rastlanırken bilgisayarlı uygulamalar ile çözüm getirilen gerçek hayat uygulamaları çok azdır. Bunun nedeni, problemin karmaşık yapısı ve gerçek problem boyutlarının ele alınan örneklerin modellenmesini ve çözülmesini zorlaştırmasıdır. Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında yürütülen literatür araştırmaları göstermiştir ki, ekip çizelgeleme problemi alanında mevcut bulunmakta olan çalışmalar bu problemi, problemin NP-Zor yapısından dolayı, saf matematiksel modeller ile ele alamamaktadır. Bu durumda araştırmacılar ya gerçek boyutlu problemleri meta-sezgisel yöntemler ile optimal olduğu kanıtlanamayacak olsa da ancak etkin çözümlere ulaştırabilmekte, ya da çok bilindik dal ve sınır algoritmaları veya özellikle bu konu için geliştirilmiş olan sütun geliştirme algoritmaları gibi yöntemleri

uygulayarak, bu algoritmaların işlevsel kapasiteleri gereği gerçek boyutlu olmayan daha küçük çapta problemleri optimal sonuçlara ulaştırabilmiştir.

Mevcut literatürde bulunan ekip çizelgeleme problemine ilişkin matematiksel modeller genellikle 0-1 tam sayılı programlama (TSP) çerçevesinde ve bazı varsayımsal kısıtlar altında kurulmuştur. Özellikle insan faktörünün ana kaynak olarak ele alındığı ekip çizelgeleme problemi gibi problemlerde, insani faktörler söz konusu olduğunda yapılacak analizlere öğrenme etkileri, moral ve motivasyon seviyeleri, sağlık ya da aciliyet durumuna bağlı olarak tam verim ile çalışamama, hatta kimi zaman işi aksatma ve bunlara benzer pek çok olumsuzluğun etkisinin de eklenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında ele alınan gerçek boyutlu gerçek hayat ekip çizelgeleme probleminin saf matematiksel modeller ile optimal sonuca ulaştırılmasından sonra, ekiplere yapılacak çalışan atama problemi ise insani faktörlerden olan gecikme ve yokluk (olası kazalar, hastalıklar, vb. nedeniyle) etkilerinin oluşturulacak Etki diyagramları (ED) ışığında yapılacak hesaplamalar ile elde edilecek sonuçların kısıtlara yansıtılması ile belirlenecektir. Bu sayede daha etkin, daha geçerli, daha doğru atamaların gerçekleştirilebilmesi amaçlanmaktadır.

ED'ler karar süreçlerini modellemek ve risk altında optimum stratejiler oluşturmak için kullanılan biçimsel bir araçtır (Fasiuoli ve Zaffalon, 1998). 1970'lerde ortaya atıldıklarından beri ED'ler Bayes karar problemlerinin gösteriminde genel geçer bir standart haline gelmiştir (Bielza, Gomez ve Shenoy, 2011). ED'ler, simetrik karar ağaçlarının gösterimi için öne sürülen, karmaşık karar verme problemlerinin gösterimi ve çözümü için güçlü araçlardır (Cano, Gomez ve Moral, 2006; Jensen ve Nielsen, 2011). Bir ED, problemleri formüle etmek ve uzman bilgilerini birleştirmek için kullanılan sezgisel bir yapıdır. ED'ler ayrıca problemin direk olarak değerlendirilebileceği matematiksel bir tanım sağlamaktadır (Ezawa, 1998).

ED'ler, karar problemlerinde süreci modellemek, etki eden değişkenleri ve karar noktalarını belirlemek ve karar fonksiyonunun değerini bunların ortaya çıkma olasılıklarına göre belirlemek amacıyla kullanılan biçimsel araçlardır.

Mevcut literatür incelendiğinde, yalnızca havaalanı alanı değil tüm uygulama alanlarında bugüne kadar gerçekleştirilen çalışmalarda, çizelgelerin oluşturulmasında klasik kısıtların yanında iş gören tatmini veya firmaların özel istekleri gibi ek kısıtların ele alındığı ancak, beklenmeyen çalışan yokluklarının ve bunların neden olduğu çizelge bozulmalarının

incelenmediği görülmektedir (Chen, 2008; Higgins, 1998; Mesquita ve diğerleri, 2011; Muter ve diğerleri, 2013; Steinzen, Becker ve Suhl, 2007). Çalışan yokluklarının daha önceden belirlenememesi durumunda yaşanabilecek olumsuzluklar hali hazırda fazladan çalışanın farklı iş tanımlarıyla yedekte bekletilmesi (çalışanların yatı meydanında ya da konakladığı/ikamet ettiği yerde nöbette tutulması gibi) ile çözüme ulaştırılmaya çalışılmaktadır. Sonuç olarak insani yokluklardan kaynaklanan çizelge bozulmalarının ve bunların yol açacağı müşteri memnuniyetsizliği, marka prestijinin zarar görmesi, çalışan problemleri, geciken ya da iptal olan uçuşlara bağlı olarak maliyet artışı gibi pek çok sorunun yanı sıra, mevcut durumda uygulanmakta olan bu çözüm, firmalara fazladan maliyet getiren, etkinlikten uzak, çalışan motivasyonunun düşüşüne ve çalışan hoşnutsuzluğuna yol açan bir uygulamadır.

Bir gerçek hayat probleminin ele alındığı bu tez kapsamında yürütülen çalışmada ele alınan unsurların analizinin önemini vurguamak için, yukarıda bahsedilen mevcut uygulamalarda karşılaşılabilecek sorunlara örnek olarak Türk Hava Yolları (THY) işletmesinin yaşadığı 2012 grev krizi gösterilebilir. Yaşanan olayda, toplamda 1179 THY çalışanı greve çağrılmıştır. 2012 yılında THY bünyesinde çalışan toplam 17 000 personel (bunların 5587'si kabin memuru ve 2397'si pilot olmak üzere) bulunmaktadır. Grev 29 Mayıs 2012 tarihinde 03:00-24:00 saatleri arasında iş bırakma eylemi olarak gerçekleştirilmiştir (http://www.bbc.com).

Söz konusu grev eyleminin etkisi THY tarafından yapılan resmî açıklamadan hareketle şu şekilde özetlenmiştir; (i) yapılan grev süresince 223 uçuş iptal edilmiş, 100'e yakın sefer gecikmeli olarak gerçekleştirilebilmiştir, (ii) gerçekleştirilen grev sonucunda 100 000'in üzerinde yolcu mağdur olmuş, mağdur yolcular için yolcu hakları kapsamında 10 000'e yakın yolcuya alanlarda yemek verilmiş ve 1500 otel odası kiralanmıştır, (iii) yaşanan grev ve sonrasında gelişen olaylar sonucunda, çeşitli gruplarca THY'ye ait web siteleri bilgisayar korsanlarınca çökertilmiş, site hem müşteri kullanıcılar hem de çalışan kullanıcılar için büyük ek maliyet getirecek kadar uzun süre erişime kapalı kalmıştır. Bunların toplamında, THY firması için oluşan görünen zarar ve marka prestiji düşüşü hesaplandığında, gerçekleştirilen grev eylemi ve sonrasında yaşanan sürecin firma için 2 milyon $ civarında zarara neden olduğu tahmin edilmektedir (http://www.bbc.com).

Gerçekleştirilen grev eyleminin nedenleri greve katılan çalışanlar ve THY'de örgütlü Hava-İş sendikası yetkilileri tarafından çalışma koşullarının ağırlaşması, yeni hat ve rotaların açılmasında kapasite analizi yapılmaması, uluslararası sivil havacılık kanunlarına ve Türkiye Cumhuriyeti Devleti İş Kanunu hükümlerine aykırı iş yükü ataması yapılması, bu zor koşulların firmaya bildirilmesi ve firma tarafından düzenleme yapılmaması olarak açıklanmıştır. Bahsi geçen koşulların iyileştirilmesi kapsamında sunulan tekliflerin sunulduğu 3 Mayıs 2012 tarihinde gerçekleştirilen toplantıda, toplu iş sözleşmesinde uzlaşma sağlanamaması ile Hava-İş sendikası bir günlük iş bırakma eylemine gidilmesi çağrısı yapmış, bu çağrı THY çalışanlarınca kanunsuz eylem çağrısı olarak değerlendirilmiş ve grev sonucu yaşanan gelişmeler mahkemelere taşınmıştır (http://www.bbc.com).

Yukarıda verilen gerçek hayat örneğinden yola çıkılarak, bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uygulamada öne sürülen çözüm yöntemleri ile; hem çalışanların, hem firmaların, hem de ülke ekonomisinin zarar görmesinin kesin olduğu görülen bu gibi durumların ortaya çıkmasının engellenmesi; kolay kullanılabilir, matematiksel yöntemler sayesinde kesin optimal sonuç veren çizelgeleme programı ile en hızlı ve güvenilir şekilde yeni hat ve rotaların oluşturulması esnasında sivil havacılık ve firma kurallarının ihlalinin engellenmesi; insani faktörlerin dikkate alınması ile çalışanlara fazla iş yükü yüklenmesi ihtimalinin en aza indirgenmesi, aynı zamanda da firmanın öngörülemeyen zararlara girmesinin önünün kesilmesi; ve çalışanlar açısından dengelenmiş iş yüklü, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) kararnamesine uygun, aynı zamanda da beklenen planlı ve plansız yoklukları minimize eden çalışma koşullarının sağlanması hedeflenmektedir.

Bu kapsamda yürütülen tez çalışmasında havayolu taşımacılığı sektörü için gerçek hayattan büyük boyutlu bir ekip çizelgeleme problemi ele alınmış, NP-Zor yapıdaki bu problemin saf matematiksel programlama yöntemleri kullanılarak optimal şekilde çözülebilmesini sağlayacak bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiş, mevcut literatüre gerçekleştirilen bu katkının yanı sıra, tüm boyutları ile ele alınan ekip çizelgeleme probleminin ileri incelemesi adına ED yöntemi kullanılarak elde edilen rotalara personelin insani faktörlerin göz önüne alınarak ne şekilde atanması gerektiği araştırılmış, son olarak bu atama problemi de matematiksel modellerden faydalanılarak çözüme ulaştırılmıştır.

Çalışmada sırası ile ilk olarak NP-Zor yapıdaki ekip çizelgeleme probleminin çözümünde, problem verileri özel olarak geliştirilen bir KDS'nin kullanımı ile düzenlenmiş, böylece

literatürde mevcut bulunan çalışmalarda matematiksel yöntemler ışığında optimal sonuç elde edilmesi mümkün olmayan büyük boyutlu bu problemin küme kaplama modellerinin kullanımı ile nasıl çözüme ulaştırılabileceği gösterilmiştir.

Uygulama çalışmasında ele alınan kısıtlar ve bu kısıtlara dair sağ taraf değerleri SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05) ile belirlenen kavramlar ve azami/asgari çokluklar temelinde oluşturulmuştur. Belirtilen kısıtlar dikkate alınarak geliştirilen KDS .NET framework 4.5 ile Windows Form platformunda C# dilinde Visual Studio Express Edition 2012 for desktop IDEsi ile programlama yapılarak oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen uygulamanın ilk adımlarında ekip eşleme ve uçuş rotalama alt problemlerinin çözüme ulaştırılması ile tamamlanan ekip çizelgeleme problemi, tez çalışması kapsamında çalışan atama problemi ile ileri analiz edilmiş, ayrıca ED yöntemi kullanılarak olası çalışan yoklukları da atama modellerinde göz önünde bulundurulmuş, sağlanan katkılar oluşturulan tek ve çok amaçlı farklı matematiksel modeller ile ortaya çıkarılmış ve bu ileri incelemeler tez çalışmasının literatüre sağladığı bir başka katkıyı oluşturmuştur. Ele alınan gerçek hayat problemin büyüklüğü ve karmaşıklığı sadece uçuş sayıları ve atama yapılacak personel gereksinimi sayısı ile temsil edilebilecek boyutlardadır.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmaları ve mevcut yayınların kapsamlı ve derin incelemelerinden sonra, ele alınan problem tipine dair literatürde hali hazırda bulunan çalışmaların neredeyse tamamında sadece ekip çizelgeleme probleminin ilk ayağı olan ekip eşleme probleminin ele alınmış olduğu görülmüştür. Ayrıca mevcut çalışmalarda bu NP-Zor yapıdaki problemi çözmek için matematiksel modellerin yeterli kalmadığı kanıtlanmış olduğu, bu nedenle çözüm algoritmaları olarak çeşitli sezgisel modellerin uygulandığı ve problemin sezgisel yöntemler ile sonuca ulaştırılmaya çalışıldığı görülmüştür. Literatürde mevcut bulunan matematiksel modeller aracılığı ile çözüme gitmeye çalışılmış çoğu çalışmada ise sütun geliştirme algoritması ve benzeri gibi problem verilerinin düzenlenmesini, tüm verilerin aynı anda ve doğru olarak matematiksel modele aktarılmasını zorlaştıran ve bu nedenle gerçek boyutlu problemlerin ele alınmasında gerek model boyutu gerekse veri doğruluğu açısından uygulanması ve optimal sonuç alınması güç yöntemlerin, bu tip handikaplardan kaçınmak adına gerçek hayat problemlerinin ancak ufak parçalarını oluşturabilecek daha küçük boyutlu problemlere uygulandığı görülmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmalardan farklı olarak, bu tez çalışmasında ekip çizelgeleme problemi bir bütün olarak ele alınmış, problemin ikinci adımı olan ekip atama problemi de bu kapsamda sonuca ulaştırılmıştır. Bunun yanı sıra, bu çalışmada NP-Zor yapıda olduğundan sezgisel yöntemlerin kabul edilebilir ve optimale yakın ancak optimal olmayan çözümlerinin kabul edildiği benzer çalışmalardan farklı olarak, en temel ve kolay matematiksel model yöntemlerinin kullanılması geliştirilen KDS yardımı ile mümkün kılınmış, hem ekip eşleme hem de uçuş rotalama problemleri optimal sonuçlarına hızlı ve etkin şekilde ulaştırılabilmiştir. Bu ve benzeri çalışmalara ek olarak, mevcut literatürün çoğunluğunu temsil eden ve ekiplere dair rotaların oluşturulması ile ekip atama probleminin çözüldüğünü varsayan uygulamalardan farklı olarak, bu çalışmada ekip atama problemi iki aşama halinde, tek ve çok amaçlı matematiksel modelleme yöntemleri ile ele alınmış, bu esnada insani faktörlerin etkisi de ED tekniği ile çalışan analizleri yapılarak göz önünde tutulmuştur.

Çalışmanın devam eden bölümlerinde ilk olarak ekip çizelgeleme problem tipi ele alınacaktır. Tez çalışmasının İkinci Bölümünde günümüze dek literatürde büyük yer edinmiş olan çizelgeleme ve ekip çizelgeleme problemleri kısaca tanıtılacak, ekip çizelgelemenin genel çizelgeleme problemleri kümesi içindeki yeri ve önemi belirtilecek, daha sonra ekip çizelgeleme problem tipinin çözümünde literatürde sıkça rastlanan yöntemler açıklanacak, son olarak ise ekip çizelgeleme konu başlığı için tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırması betimlemeler ve tablolar eşliğinde sunulacaktır.

Tez çalışmasının Üçüncü Bölümünde, çalışma kapsamında faydalanılan çözüm yöntemleri açıklanacaktır. Bu bağlamda ilk olarak TSP ve TSP yönteminin ekip çizelgeleme literatürü içinde edindiği yer, daha sonra ise ED yöntemi ayrıntılarla sunulacak, son olarak ise ED yöntemine dair gerçekleştirilen literatür araştırmasına yer verilecektir.

Dördüncü Bölümde çalışma kapsamında geliştirilen bütünleşik çözüm ve ileri inceleme yöntemi ayrıntıları ile sunulacak, öne sürülen yaklaşım ayrıca bir akış şeması yardımı ile adım adım açıklanacaktır.

Beşinci Bölümde ise çalışma kapsamında yürütülen gerçek hayat uygulaması yer almaktadır. Bu bölümde sırası ile ele alınan problemin tanımı yapılacak ve probleme dair temel bilgiler sunulacak, daha sonra NP-zor yapıdaki TSP probleminin saf matematiksel modeller ile

çözebilmesini mümkün kılan KDS'nin nasıl tasarlandığı ve çalıştığı açıklanacak, devamında ise ele alınan ekip çizelgeleme probleminin iki adımı da bu KDS'nin kullanımı ve oluşturulan matematiksel modellerin çözümü ile sonuca ulaştırılacaktır. Uygulama çalışmasının devam eden alt bölümlerinde ise ED yöntemi kullanılarak insani faktör analizleri gerçekleştirilecek ve bu uygulamanın sonuçları ışığında ileri çizelgeleme faaliyetleri olarak çalışan atama problemi, oluşturulan tek amaçlı ve çok amaçlı modeller çerçevesinde ayrı ayrı incelenecek, son olarak insani faktör etkileri, tek amaçlı model sonuçları ve çok amaçlı model sonuçları ayrı ayrı ve hep birlikte karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

Çalışmanın son ve Altıncı Bölümünde ise çalışma kapsamı özetlenecek ve üç ayrı ve iteratif uygulama temelinde elde edilen sonuçlar irdelenerek tez çalışması sonuçlandırılacaktır.

2. EKİP ÇİZELGELEME

Ekip çizelgeleme, zengin planlama ve çizelgeleme problemleri kümesi içinde yer alan, matematiksel optimizasyon teknikleri kullanılarak modellenebilen ve çözülebilen önemli bir problem tipidir (Vaidyanathan, Jha ve Ahuja, 2007). Ekip çizelgeleme planlanan bir zaman çizelgesini kapsaması için ihtiyaç duyulan ekiplerin iş çizelgelerinin oluşturulması ile ilgilenir. Bu tip problemler genellikle taktik planlama seviyesinde kullanılabilir kaynakların orta dönemli kullanım planlamasının yapılması ile ilgilidir (Caprara, Fischetti, Toth, Vigo ve Guida, 1997).

Ekip çizelgeleme probleminin genel amacı ekiplerin iş kuralları çerçevesinde tüm işleri kapsayacak şekilde en küçük maliyetle atanmasıdır (Ceria, Nobili ve Sassano, 1998). Gerçekleştirilen çizelgeleme faaliyetleri ile ekip çalışanlarının iyileştirilmiş kalitede bir yaşam sürmeleri daha üretken çalışanlar olmalarını, daha az oranda çalışan değişikliği meydana gelmesini ve daha güvenli iş süreçleri elde edilmesini sağlar (Vaidyanathan ve diğerleri, 2007).

Tez çalışmasının bu bölümünde sırası ile çizelgeleme ve ekip çizelgeleme problemleri ele alınacak, ekip çizelgeleme problem tipi için mevcut literatürde sıklıkla uygulandığı görülen çözüm yöntemi tipleri açıklanacak, daha sonra havayolları taşımacılığı alanında ekip çizelgelemenin yeri ve kullanımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bölüm sonunda ise tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmaları sıralı şekilde verilmiş ve oluşturulan ek tablolar eşliğinde aydınlatılarak sunulmuştur.

2.1. Çizelgeleme

Çizelgeleme, imalat ve hizmet sektörlerinde önemli bir yere sahip olan bir karar verme sürecidir. Kendisine tedarik, üretim, taşıma, dağıtım, bilgi işleme ve iletişimde gibi pek çok farklı uygulama alanları bulan çizelgeleme problemi, genel olarak bir işletmedeki görevlerin yapılması için matematiksel veya sezgisel yöntemler kullanılarak görevlerin yapılması için eldeki kısıtlı kaynakların dağıtılması olarak tanımlanabilmektedir (Eren, 2004).

Çizelge ile ilgili kararlar alınırken dikkate alınması gereken bazı çizelge karakteristikleri olduğu literatürde mevcut bulunan pek çok çalışma ile belirlenmiştir. Bu karakteristikler aşağıda sıralandığı gibi özetlenebilmektedir (Ulusam Seçkiner, 2005).

- Örtüleme: Her planlama periyodu için ihtiyaç duyulan minimum personel sayısı.
- Kalite: İşleri yerine getirecek personel memnuniyetinin ölçüsü.
- Stabilite: Personelin gelecek günlerdeki görev yerlerinin ve izinlerinin doğruluğu ve devamlılığı.
- Esneklik: Personelin acil gereksinimlerine karşı çizelgenin kolayca yeniden düzenlenebilmesi.
- Eşitlik ilkesi: Bütün çalışanların çizelgeden etkileneceği gerçeği ve uygun olmayan vardiya tasarımlarından kaçınmak.

Tüm kısıtları göz önüne alarak mevcut iş kaynaklarını, organizasyonun iş ihtiyaçları ile karşılaştıran bir prosedür olan çalışan çizelgeleme problemi, genel çizelgeleme problemleri kümesinde büyük yer kaplayan, literatürde kabul görmüş önemli ve karmaşık bir problem tipidir. Genel olarak çalışanların çizelgelenmesi problemi vardiya çizelgeleme, iş çizelgeleme, izin çizelgeleme, tur çizelgeleme, rotasyon çizelgeleme ve ekip çizelgeleme, gibi başlıklar altında incelenmektedir. Ekip çizelgeleme problemi ise, diğer alt başlıkları da içine alabilen en geniş kapsamlı çalışan çizelgeleme problemi tipidir.

2.2. Ekip Çizelgeleme

Dantzig (1954) tarafından tanımlandığı günden bu yana birçok araştırmaya konu edilen ekip çizelgeleme, hastane, havaalanı, tren garı, otel, postane gibi önemli işletmelerin personellerinin çalışma çizelgelerini içeren geniş bir uygulama alanına sahiptir (Ulusam Seçkiner, 2005).

Personel çizelgeleme problemi verilerini organizasyonun hedeflerinden, müşterilerin beklentilerinden ve personelin ihtiyaçlarından, isteklerinden alır (Varol, 2001).

Rekabetin en üst düzeyde bulunduğu günümüz ekonomisinde, işletme boyutları büyüdükçe ekip çizelgeleme daha da önemli bir sorun haline dönüşmektedir. Bunun sonucu olarak

gerekli personelin doğru zamanda ve doğru yerde istihdam edilmesi daha karmaşık yapılı bir problem haline gelmektedir. Çizelgeleme faaliyetlerinin hizmet sistemleri açısından bakıldığından daha da zor olması, üretim sistemlerinde müşteri talebinin gecikmesiz olarak ürün stokundan karşılanabilmesinin veya ani taleplere cevap vermek üzere alınmış tedbirlerin mutlaka mevcut tutulmasının mümkün olması ile açıklanabilir. Buna karşın hizmet sistemlerinde personelin ya da hizmetin stoklanması mümkün olmadığından çoğu zaman talep ve hizmet aynı anda gerçekleşmektedir, bu da etkin çizelgeleme faaliyetlerini karlılık ve firma prestiji açısından hayati noktada önemli kılmaktadır.

Ekip çizelgeleme özel konu başlığı içinde de genel çizelgeleme konusunda bulunduğu gibi, çalışanlara dair çizelgeler oluşturulmadan evvel araştırmacılar tarafından işletme yetkililerinin görüşleri ve yasal düzenlemeler çerçevesinde alınması gereken bazı kararlar, belirlenmesi gereken bazı kurallar bulunmaktadır, bunlar bu konu için çizelge karakteristiklerini oluşturan hususlardır. Bu karar ve kurallar iş saatlerinin başlangıçları, iş gününün uzunluğu, işgünündeki dinlenme periyotlarının düzenlenmesi ve uzunluğu, dolu ve boş gün politikaları, vardiya bölümlemeleri ve fazla mesai politikaları, iş haftasının başlangıcının tanımlanması, tatil zamanı, hastalık izni, personel zamanı uzunlukları ile ilgili politikalar, vardiyalar, tatiller vb. için seçme ve görevlendirme politikaları, boş günler ve vardiyalar için sabit veya rotasyonel görevlendirme, rotasyonel boş günler için iş çevrimindeki hafta sonu tatillerinin oranı, geçici veya yarı zamanlı personel kullanma politikası şeklinde sıralanabilir (Nanda ve Browne,1992).

Ekip çizelgeleme problemi, çok aşamalı planlama ve kontrol gerektiren karmaşık bir problemdir. Bu problem çözüme ulaştırılırken incelenmekte olan işletmenin politikalarına ve koşullarına bağlı olarak planlama ve çizelgeleme eşzamanlı olarak gerçekleştirilir. Dolayısıyla problemin etkilendiği pek çok farklı çevresel koşul bulunmaktadır. Bu koşullar personel talebinin doğası (gün içinde sabit veya değişken olabilir), kullanılan iş çizelgeleme tipi, günlük vardiya uygulamaları ve sayıları, izin verilen maksimum iş uzunluğu, personel özellikleri (örneğin yarı zamanlı çalışanlar, yüksek nitelikliler, düşük nitelikliler gibi) şeklinde özetlenebilmektedir (Ulusam Seçkiner, 2005).

Ekip çizelgeleme probleminin çözümünde tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak, en düşük maliyeti verecek uygun bir çizelge elde edilmeye çalışılır. Oluşturulan çizelge çalışanın verimliliğine ve moraline doğrudan etki etmektedir. Özellikle bireysel önceliklerin çizelgede karşılanması önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Bunların ötesinde, iş çizelgeleri

hazırlanırken eğitim giderleri, fazla mesai ücretleri, sağlık ve güvenlik faktörleri mutlaka dikkate alınmalıdır (Güneş, 1999). Ulusal düzenlemeler, şirket içi kurallar, sendika anlaşmaları gibi çalışma ve ödeme koşullarını etkileyen elemanlar da karmaşık bir işletme kısıtları kümesi oluşturur ve bu kısıtlar ekip çizelgeleme yapılırken şu açılardan dikkate alınmaktadır; ekip nitelikleri, sağlık kontrolü, eğitim ihtiyaçları, ofis görevleri, tatiller ve diğer operasyonel ya da kişisel kısıtlar. Bu kısıtlar tüm şirketler için geçerli olsa da bazı özel kısıtlar eklenebilir ya da yukarıdaki kısıtlar bazı şirketler için geçerli olmayabilir (Moudani ve Mora-Camino, 2000).

Ekip çizelgeleme probleminin tanımlanmasını ve açıklanmasını kolaylaştıracak belirgin bazı özellikleri mevcuttur. Bunların ilki, talebin kısa dönemde oldukça değişken olması ve değişkenliğini planlama dönemleri boyunca sürdürmesidir. Restoranlarda ve ağır taşıma endüstrilerinde talep saatlik olarak değişir fakat tahmini mümkündür. Bir fabrikanın makine-bakım-onarım personeline olan olası ihtiyacı daha az tahmin edilebilen bir durum olmasına karşın, geç kalmanın getireceği yüksek maliyet hizmetin anında sunulmasını gerektirir. Hastanelerde, hemşire veya gıda sirkülasyonu sağlayan personel haftanın tüm günlerinde zorunlu olarak bulunmalıdır. Ekip çizelgelemenin ikinci özelliği, insan hizmetinin stok edilememesidir. Telefon operatörleri veya kasiyer gibi elemanlar bu duruma iyi birer örnektir. Müşterinin hizmet için beklemesi mümkündür ancak personelin talep meydana gelmeden hareket etmesi mümkün değildir. Ayrıca personelin zamanını boşa harcayarak talebin değişkenliğinin etkilerini yok etmek de uygun bir çözüm değildir. Problemin üçüncü özelliği, müşteri sabrının kritik bir faktör olmasıdır. Eğer müşteri uzun bir mesafeden gelerek, kuyrukta hizmeti beklemeye gönüllü ise herhangi bir sorunla karşılaşılmaz. Buna karşın, hizmet talebi kritik öneme sahip ve rekabet söz konusuysa, personel müşteri sabrına göre çizelgelenmelidir (Ulusam Seçkiner, 2005).

Mevcut literatür incelendiğinde ekip çizelgeleme problemlerinin çözümü için pek çok farklı çalışmada matematiksel programlama ve sezgisel algoritmalar gibi farklı tekniklerin kullanılmakta olduğu görülmektedir (Liu ve Wang, 2009). Bunlardan sezgisel algoritmalar problemleri kısa zaman içinde çözmektedir fakat bu tip algoritmalar sonuç olarak yaklaşık çözümler sunmaktayken, matematiksel programlama yöntemleri kesin ve optimal sonuçlar elde etmek için kullanılabilmektedir, ancak bu modellerin kurulması da vakit ve emek almakta, ayrıca büyük boyutlu problemlere çözüm getirmeye zaman zaman yetersiz kalmaktadırlar.

2.3. Ekip Çizelgeleme Çözümünde Kullanılan Yöntemler

Ekip çizelgelemenin geniş bir uygulama sahasına sahip olması, uygulandığı alana göre değişen varsayımların ve kısıtların dikkate alınmasına yol açmaktadır (Ulusam Seçkiner, 2005; Tabari, Pirmoradian ve Hassanpour, 2008). Ekip çizelgeleme problemleri için önerilen modeller, kesin matematiksel modeller ve zeki arama sezgiselleri olarak iki grupta incelenebilir. Genellikle küçük boyutlu problemlerde kaliteli ve optimal çözümleri kısa zamanda kesin matematiksel modeller vermektedir. Diğer taraftan, literatürde bulunan ve genel amaçlarla geliştirilmiş olan farklı sezgisellerin kullanımı ile, daha büyük boyutlu problemler için optimal olmayan ancak etkin çözümlerin elde edildiği pek çok uygulama da bulunmaktadır.

Bu alt bölümde mevcut literatür incelendiğinde en sık kullanıldığı görülen ekip çizelgeleme çözüm yöntemleri iki ana alt başlık altında kısaca anlatılacaktır.

2.3.1. Matematiksel programlama mantığına dayalı yöntemler

Bu alt bölümde ekip çizelgeleme problemini ele alan mevcut literatürde bulunan çalışmalarda kullanılmış en sık karşılaşılan bazı matematiksel programlama yöntemleri incelenecektir.

Tam sayılı doğrusal programlama yöntemi

Birçok araştırmacı, çizelgeleme problemlerinin değişik versiyonları için tam sayılı doğrusal programlama modelleri geliştirmişlerdir. Bir çizelgeleme problemi TSP modeli olarak formüle edilebileceği için mevcut TSP algoritmalarıyla çözülebilir. Ancak böyle bir yaklaşım sadece küçük ölçekli problemlere uygulanabilir. Çizelgeleme problemlerinin matematiksel programlama formülasyonları genellikle çok sayıda değişken ve kısıta ihtiyaç duyar. Mevcut TSP algoritmaları bu tür problemleri etkin bir şekilde çözmede başarılı değildir. Ancak bu tür formülasyonların bir avantajı birden fazla ölçütü tek bir amaç fonksiyonu altında birleştirebilmesidir (Eren, 2004).

Dinamik programlama yöntemi

Dinamik programlama yöntemi bir birerleme tekniğidir. Bu yöntem de çizelgeleme ve diğer tümleşik problemler için sıklıkla kullanılan bir çok aşamalı karar problemidir. Bu yöntemle ilgili en önemli ilk çalışmalar, Held ve Karp (1962), Lawler (1969) ile Lawler ve Moore (1969) tarafından yapılmıştır. Bu teknik belli kısıtlayıcı kuralları akılcı bir şekilde uygulayarak çok sayıda aday çözümü elimine ederler. Ancak bu teknik de büyük boyutlu problemler için etkin değildir. Çünkü durum değişkenlerinin sayısı artarken problemleri çözmek için gereken işlemlerde artar ve bu özellik büyük boyutlu problemlerin çözümünde dinamik yaklaşımının kullanımını kısıtlar (Eren, 2004).

Kısıt programlama

Kısıt programlama, genellikle tümleşik problemler olarak ele alınan kısıt tatmini probleminin çözümü için bir bilgisayar uygulamasıdır (Garey ve Johnson, 1979). Kısıt programlama, problemin çözümünde sırası ile problem tanımlama, tutarlılık teknikleri ve sistematik arama stratejileri aşamalarını içerir. Tümleşik problemler için kısıt programlama kullanmanın etkin çözüm arama mekanizması, kısıt tipi bağlamında esneklik ve model formülasyonunda elverişlilik gibi avantajları vardır (Liu ve Wang, 2009);

Hedef programlama

Hedef programlama (HP) kavramının ortaya çıkışı 1950'li yılların başında Charnes ve Cooper tarafından "Kısıtlı Regresyon" adı verilen bir yöntem geliştirilmesine dayanmaktadır (Arıkan, 1996). Daha sonra Charnes, Cooper ve Ferguson (1955) tarafından yapılan çalışmayla HP kavramı geliştirilmiştir. HP yönteminin kendi ismi ile yapılan ilk tanımı ise Charnes ve Cooper (1961) tarafından yapılmıştır.

HP yöntemi gözlem sayısının kısıtlı olduğu ve çoklu bağlantıların bulunduğu durumlarda diğer yöntemlere göre daha etkin bir yöntemdir. HP, karar vericinin çok sayıda amacı birlikte göz önünde tutarken kabul edilebilir bir çözümler kümesi bulmasını ve bu amaçlar için optimum bir uzlaşma noktası elde etmesini sağlamaktadır (Lee, 2009). HP'nin asıl amacı, amaçların gerçekleşmesi ile bunların hedef seviyelerinin arasındaki sapmaların enküçüklenmesidir (Chang, 2007). HP yöntemi, çözümü mümkün olmayan doğrusal

programlama problemlerine yeni çözüm yolları üretilmesi noktasından hareketle başlatılan yöneylem alanında farklı bir matematiksel programlama tekniği olarak tanıtılmıştır (Teke, 1998).

HP modellerini diğer matematiksel modellerden ayıran bir nokta amaç fonksiyonunda hiçbir karar değişkeninin yer almamasıdır. Bunun yerine hedef değerlerini temsil eden değişkenler, hedef kısıtlarının sapma değişkenlerinin direkt ya da endirekt en küçüklenmesi ile aranmaktadır. Modelde bulunan d^- ve d^+ istenmeyen sapma değerlerinden en az biri, aynı anda hedefin beklenen değerinden hem pozitif hem de negatif yönde sapma olamayacağından, sıfır olmalıdır (Bumin Özyörük, 1992). Ekip çizelgeleme problemlerinde, yine çizelgeleme problemlerinin doğasından ötürü 0-1 HP modelleri uygulanmaktadır. 0-1 HP, karar değişkeni değerlerinin yalnızca sıfır ya da bir ile sonuçlanabileceği bir HP metodolojisi çeşididir.

2.3.2. Sezgisel yöntemler

Bu alt bölümde ise ekip çizelgeleme problemini ele alan mevcut literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde en sık karşılaşılan bazı sezgisel yöntemler özetle açıklanmaktadır.

Tavlama benzetimi algoritması

Tavlama Benzetimi (TB), genellikle ayrık optimizasyon problemleri için kullanılan, metallerin tavlanması işleminden esinlenerek ortaya çıktığı için bu ismi almış olan, uygulanması oldukça kolay ve güvenilir sonuçlar veren, problemlere çözüm getirmede ayrıca sıklıkla tercih edilen bir sezgisel yöntemdir.

TB'de hedef yerel en iyilerden kurtularak genel en iyiye ulaşmaktır. Kabul olasılığı kavramsal bir sıcaklığa bağlı olarak $e^{-\Delta E/T}$ şeklinde ifade edilir. Burada ΔE mevcut çözüm ile üretilen komşu çözümün amaç fonksiyonları arasındaki değişimi ifade etmektedir. T ise kontrol parametresi olan sıcaklıktır. ΔE 'nin küçük değerleri için kötü çözümün kabul edilme olasılığı, büyük değerlerinkinden daha fazladır. Ayrıca, yüksek sıcaklık değerlerinde üretilen yeni çözümlerin çoğu kabul edilecektir. Sıcaklık sıfıra yaklaştıkça üretilen yeni çözümlerin kabul edilme olasılığı da düşecektir. Bu nedenle TB algoritmasında, yerel en iyilerden

kurtulmak için başlangıç sıcaklığı genel olarak yüksek bir değer olarak belirlenir (Şahin, 2008).

TB'de kullanılan algoritmaların etkili sonuçlar vermesi, algoritmada kullanılan parametrelerin seçimine bağlıdır. Bu parametreler, TB'de tavlama çizelgesini oluşturmaktadırlar. Tavlama çizelgesi ise başlangıç sıcaklığı, soğutma fonksiyonu, her bir sıcaklık değerinde gerçekleşecek iterasyon sayısı ve durdurma kriterinden meydana gelir. Başlangıçta sıcaklık değeri hemen hemen tüm komşu çözümleri kabul edecek kadar büyük iken, kontrol parametresindeki azalma ile komşu çözümlerin kabul edilme olasılığı da düşürülmektedir (Dekkers ve Aarts, 1991). Bu uygulamada, tavlama çizelgesi, başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı, kabul ölçütü ve bitirme koşulu parametrelerini içermektedir. Başlangıç çözümü, çalışmada algoritma tarafından rassal olarak oluşturulmaktadır. Algoritmanın başında üretilen çözümlerin büyük çoğunluğunun kabul edilmesi için başlangıç sıcaklığı (T_b) yeterince büyük olmalıdır. Soğutma işlemi iyi kalitede çözümler elde edebilmek için yavaş yapılmalıdır. Bunun için bir soğutma hızından (α) yararlanılır. Bir sıcaklıktan diğerine geçerken, önceki sıcaklık soğutma hızı ile çarpılarak yeni sıcaklık bulunur ($T_c = \alpha * T_c\text{-}1$). Parametre seçimi bütün sezgisel eniyileme problemleri için önemli bir konudur. TB'de soğutma hızı önemli bir parametredir ve iyi sonuçların elde edilmesi üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Algoritmayı durdurma koşulu olarak ise iterasyon sayısı kullanılmıştır. Algoritma en büyük iterasyon sayısına ($iter_{max}$) ulaştığı zaman arama sonlanır. Sıcaklık değeri azaltılırken, her bir sıcaklıkta belli sayıda yeni çözüm üretilerek arama işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada her bir sıcaklıkta üretilecek yeni çözümlerin sayısı, çözümü yapılan problemin tesis sayısı olarak belirlenmiştir.

Kolay uygulanabilirliği ve kombinatoryal eniyileme problemleri için iyi kalitede çözümler üretmesi gibi avantajları bulunan TB'nin bunlara karşın, daha fazla bilgisayar zamanına ihtiyaç duyması ve parametre seçimi için çok deneme gerektirmesi sahip olduğu dezavantajlardır (Şahin, 2008).

Tabu arama algoritması

Tabu Arama (TA) ilk olarak Grover (1986) tarafından insan hafızasının çalışmasından esinlenilerek önerilmiş bir yerel arama yöntemidir.

TA, yerel buluşsal bir aramayı çözüm kümesindeki yerel en iyi çözümlerin ötesinde arama yapacak şekilde yönlendiren bir ötebuluşsal yaklaşımdır ve bunu kötüye giden sonuçları da kabul ederek yapar (Gözüpek ve Genç, 2009). TA'nın ana bileşenleri başlangıç çözümü, komşuluk, tabu listesi (kısa dönemli hafıza), tabu süresi, uzun dönemli hafıza ve tabu yıkma kriterleridir.

TA herhangi bir başlangıç çözümü ile aramaya başlamakta ve komşu kümesindeki en iyi amaç fonksiyon değerine sahip ve tabu olmayan çözümü yeni çözüm olarak dikkate almaktadır. Bu işlemler seçilen bir durdurma koşulu gerçekleşinceye kadar devam etmekte, arama boyunca karşılaşılan en iyi çözüm TA metodunun bulduğu sonuç olmaktadır.

Çevrimi önlemek ve aramayı farklı bölgelere yönlendirmek amacıyla tabu olarak sınıflandırılan çözümler tabu listelerine kaydedilmektedir. Bu listeler en son hareketin, listenin başına eklenmesi ve en eski hareketin listeden çıkarılması prensibine göre yönetilirler. Tabu listesine kaydedilen hareketlerin tabu süresi boyunca yeniden kullanılmasına izin verilmemektedir. Ancak, o ana kadar bulunan en iyi çözümden daha iyi bir çözüm üreten bir tabu hareketi ile karşılaşılırsa bu harekete izin verilir. Bu kriter literatürde tabu yıkma kriteri olarak bilinmekte ve bazı yerlerde istek kriteri olarak anılmaktadır. Tabu listeleri, tabu aramanın kısa dönemli belleğini oluşturur. Birçok başarılı TA uygulaması ise kısa dönem belleğin yanı sıra, hareketlerin sıklık bilgilerini tutan uzun dönemli bellek kullanmaktadır. Sıklık bilgileri aramanın belli bölgelerde yoğunlaşmasını engellemek ve yayılmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Herhangi bir TA algoritmasının temel yapıtaşı arama komşuluğunun tanımıdır. Komşuluk bir çözümü diğerine dönüştüren bir hareket şeklinde tanımlanır.

Kısa dönemli bellek daha önceden düşünülen sonuçlara tekrar geri dönmemek için kullanılan bir unsurdur. Bu şekilde araştırmanın bir çözümler alt kümesinde dönüp durması engellenmiş olur. Tipik olarak algoritma geliştiren bilim adamları tasarlanmış tabular olan nitelikleri içeren çözümleri dışarıda bırakacak şekilde komşuluğu sınırlandırmaktadırlar. Kısa dönemli bellek, müşteri hareketinin bir rotadan diğerine geçişine geçici olarak izin vermeyerek geri dönüş hareketini engellemekte kullanılabilir.

Kısa süreli belleğin büyüklüğüne genellikle tabu zamanı denmektedir ve tabu zamanı çoğu kez rasgele bir düzgün dağılımdan seçilmektedir. Bir hamlenin kaç yineleme boyunca tabu olacağını belirtir. Her hücrenin tabu süresi farklı olabilir (Gözüpek ve Genç, 2009).

Aramayı çeşitlendirmek için kullanılan bellek türüne ise uzun dönemli bellek denmektedir. Genellikle, sıkça yapılan hareketleri engellemek ve arama sürecinin çözüm uzayında yeni çözüm bölgeleri araştırmasını sağlamak için geliştirilmiştir. Sıkça hareket eden müşterileri içeren hareketleri cezalandırmak için sıklık esaslı bir ölçü kullanılmaktadır. Bu strateji ender hareket eden müşterilerin hareketini daha çekici kılmakta ve araştırmanın yeni çözümler aramasına neden olmaktadır. TA esaslı algoritmaları geliştirenler arasındaki ortak fikir birliği yüksek kalite çözümler üretmek için uzun dönemli bellek kullanmanın gerekli olduğu şeklindedir.

Kısa dönemli ve uzun dönemli bellek fonksiyonlarının üstesinden gelmek için kullanılan mekanizmaya ise tabu yıkma kriterleri adı verilir. TA, tabu yıkma kriterlerinden biri karşılandığında biter. Bu kriterler en iyi sonuca ulaşmak, zaman aşımı veya azami yineleme sayısına ulaşmak olabilmektedir. Bunun yanı sıra, bir sonuç şimdiye kadar görülen tüm sonuçlar içindeki en iyi sonuçtan daha iyi ise bu çözüm tabu durumu dikkate alınmaksızın seçilmelidir ve bu durum da bir sonlanma, yani tabu yıkma kriteridir.

Genetik algoritma

Genetik Algoritma (GA) stokastik, popülasyon tabanlı ve biyolojik sistemlerin gelişim sürecini simüle eden bir arama yöntemidir. İlk kez Holland (1975) tarafından önerilmiştir. Bir GA, mümkün çözümlerin kodlandığı dizilerin bir seti ile biyolojik özelliği taklit eden genetik operatörlerin bir setinden oluşur. Rassal ya da belirlenen koşullara göre elde edilen başlangıç yığınına genetik operatörlerin uygulanması ile biyolojik gelişim süreci taklit edilmek sureti ile probleme çözüm aranır. GA, sezgisel bir yöntem olduğu için dikkate alınan probleme en iyi çözümü bulamayabilir, ancak makul zaman aralığında en iyi çözüme yakın çözümleri elde edebilir (Karaoğlan ve Altıparmak, 2005).

GA, genetik mantığını temel alan geleneksel optimizasyon yöntemleri içerisinde çok zor olarak kabul edilen çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak

kullanılan bir yöntemdir. GA geleneksel optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi bir tane başlangıç noktası ile çözüme başlamaz (Öztürk ve Duman, 2009).

Basit bir GA'nın ilk aşamasında, tüm mümkün çözümlerin alt kümesinden oluşan bir başlangıç yığını elde edilir. Yığının her elemanı bir dizi olarak kodlanır. Her dizi biyolojik olarak bir kromozoma eş değerdir. GA'nın herhangi bir adımındaki yığın, nesil olarak adlandırılır. Yığındaki her dizi bir uygunluk değerine sahiptir. Uygunluk değeri, hangi bireyin bir sonraki yığına taşınacağını belirler. Bir dizinin uygunluk değeri, problemin amaç fonksiyonu değerine eşittir. Bir dizinin gücü uygunluk değerine bağlı olup iyi bir dizi, problemin yapısına göre maksimizasyon problemi ise yüksek, minimizasyon problemi ise düşük uygunluk değerine sahiptir. GA'ın her iterasyonunda yeniden üretim işlemi, genetik operatörler ve uygunluk değerinin hesaplanması olmak üzere üç ana adım vardır. Mevcut yığından gelecek yığına taşınacak dizilerin seçilmesi işlemi "Yeniden Üretim İşlemi" olarak adlandırılır. Bu işlem ile özel genetik yapıların bir sonraki yığına taşınması sağlanır. Seçim işlemi ile oluşturulan yığındaki dizilerin bir kısmına uygulanan genetik operatörler, çaprazlama ve mutasyon operatörleridir. Çaprazlama operatörü, farklı diziler arasında bilgi değişimini sağlayarak yeni çözümleri elde ederken mutasyon operatörü, mevcut dizilerin bir kısmında rassal değişimi sağlayarak çözüm uzayında yeni noktaları elde etmektedir. "Uygunluk değeri", yeni yığına taşınacak dizilerin belirlenmesinde kullanılan bir araçtır. Bu nedenle, algoritmanın her iterasyonunda yığındaki dizilerin uygunluk değeri (amaç fonksiyonu değeri) hesaplanır.

Bu algoritmada genellikle kullanılan üç temel işlem bulunmaktadır; çaprazlama, mutasyon ve başarılı gen seçimi. Seçme işlemi için turnuva seçimi veya tesadüfi değer içeren rulet seçimi yöntemleri gibi yöntemler kullanılabilir. Ayrıca çaprazlama yöntemleri için parçalı eşleme çaprazlaması, sıralı çaprazlama, döngü çaprazlaması ve kenar sıralama çaprazlaması gibi çeşitli çaprazlama tipleri kullanılabilir. Bu çaprazlama yöntemlerinin dışında mutasyon işlemi için de tersleme, ekleme, çıkarma ve yer değiştirme gibi çeşitli alt seçenekler bulunmaktadır.

2.4. Havayolları Taşımacılığında Ekip Çizelgeleme

Taşımacılıkta bulunan planlama süreçleri stratejik planlama, taktik planlama, operasyonel planlama ve gerçek zamanlı kontrol gibi aşamalardan oluşur (Barnhart ve Laporte, 2007).

Stratejik planlama şebeke tasarımı ve yolcu ataması ile ilgili iken, taktik planlama ise servis sıklığı ve zaman çizelgeleme ile ilgilenmektedir. Operasyonel planlama ise her bir planlama periyodu için araç ve ekip çizelgelemeleri gerçekleştirmektedir (Mesquita ve diğerleri, 2011; Muter ve diğerleri, 2013).

Ekip çizelgeleme yöneylem araştırmasında ünlü bir problem tipidir ve havayolları, demir yolları ve toplu taşıma şirketleri için hem tek başına hem de bakım ve proje çizelgeleme problemleri ile birlikte çalışılmaktadır (Vaidyanathan ve diğerleri, 2007). Ekonomik nedenlerden dolayı taşımacılık sektöründe çalışanların çizelgelenmesi diğer sektörlere nazaran her zaman daha önemli olmuştur (Ulusam Seçkiner, 2005).

Ekip maliyetleri havayolu taşımacılığında oldukça yüksektir. Havayolu işletmeleri için toplam maliyetlerin %15-20'si kadarı çalışan maliyetlerine karşılık gelmektedir. Bu nedenle havayolları ekip elemanlarının etkin yönetimini sağlamaya çalışmak işletmeler için oldukça hayati bir konu haline gelmektedir (Moudani ve Mora-Camino, 2000).

Havayolları taşımacılığında ekip çizelgeleme problemi alışılagelmiş olarak iki aşamada incelenmektedir; ekip eşleme ve uçuş rotalama, ya da bilinen bir diğer adı ile ekip listeleme (Vaidyanathan ve diğerleri, 2007). Ekip eşleme; ele alınan problem için aynı ekip temelinde başlayan ve biten, aynı zamanda tüm kısıtları karşılayan bir bağlanmış parçalar dizisi oluşturma bölümüdür ve genellikle günlük temelde ele alınır. Amaç her uçuşun kapsandığı ekip eşleşmesinin en az maliyet kümesinin bulunmasıdır. Uçuş rotalama problem parçasının amacı ise her bir ekip eşleşmesinin örtüldüğü daha uzun dönemli, genellikle haftalık temelde, bir uçuş rotası hazırlamak, her eşlemenin kapsandığı uçuş dizileri oluşturmaktır.

Havayolu çizelgeleme problemlerinde kullanılan ortak bir tanımlama terminolojisi bulunmaktadır (Muter ve diğerleri, 2013). Uygulama esaslarındaki zamansal çokluklar ülkeden ülkeye yasalar çerçevesinde farklılık gösterse de kullanılan ortak terminoloji ve sivil havacılık düzenleme esasları temelinde pek çok terim ve bunlara dair yapılmış tanımlamalar benzerlik göstermektedir. Buna göre, duraklamasız bir uçuş bir "uçuş bacağı (etabı)" olarak adlandırılır. İki uçuş bacağı, eğer ilk uçuş bacağının varış istasyonu ile ikincinin kalkış istasyonu aynı ise, aynı ekip ile gerçekleştirilebilir, ancak bu iki uçuş arasındaki zaman ekip olurluluğunu tatmin etmek zorundadır. Dolayısı ile bir uçuş bacakları dizisi, iki art arda uçuşun arasındaki boş zaman mola zamanının alt limitinden küçük ve üst limitinden büyük

değilse, bir "dolu periyot" olarak adlandırılır. Ayrıca, bir dolu periyotta toplam geçen zaman, geçen zamanın üst limitinden küçük ya da bu değere eşit olmalıdır ve bir dolu periyottaki toplam uçuş sayısı uçuş sayısı üst limiti ile sınırlandırılmıştır. Dolu periyotlar ekip temelli oluşturulduğundan bir periyot ile ondan sonra gelen periyot sırası ile aynı istasyonda bitip başlamalıdır. Bunlara ek olarak, iki periyot arasında geçen zaman dinlenme zamanı alt ve üst limitleri ile sınırlandırılmıştır ve bir eşleşmede geçen toplam zaman "ayrılık zamanı"nın üst limitini geçemez. Son olarak, çizelgedeki her bir uçuş en az bir eşleşme ile kapsanmışsa, bir olurlu eşleşmeler kümesi oluşmuş olur (Muter ve diğerleri, 2013). Bu çalışma kapsamında kullanılacak olan özel terminoloji Beşinci Bölümde SHGM'nin yayınlamış olduğu ilgili genelge ve yönergelerde belirtildiği şekilden hareketle ayrıntıları ile açıklanmıştır.

Havayolu taşımacılığında ekip çizelgeleme çalışmaları havayolu planlama sürecinin bir parçasıdır ve bu süreç farklı kaynaklarda farklı adımlarla açıklanmıştır. Ancak ortak bir dil çevresinde bu adımlar birleştirilecek olursa, havayolu planlama sürecinin başlangıç noktası havayolunun basılmış uçuş seferleri çizelgeleridir. Bu çizelgeler genellikle o ay için olan trafik tahminlerine, taktik ve stratejik kararlara ve uçuş seferleri için olan dönemsel talep değişikliklerine bağlı olarak oluşturulur. Bu aşamada belirlenen periyotta hangi uçuşların uçulacağına karar verilir. Amaç pazarlama departmanının taleplerinin göz önüne alındığı, hangi şehirlere ne zaman uçulacağını gösteren planın yapılmasıdır. Bu çizelgede uçuşların kalkış yeri, varış yeri ve zamanları gibi bilgiler yer almaktadır (Çankaya, 2008; Gopalakrishnan ve Johnson, 2005; Çetin, Kuruüzüm ve Irmak, 2008; Lohatepanont ve Bamhart, 2004; Şenöz, 2005).

Havayolu planlaması sürecinde sırada gelen adım uçak filosunun oluşturulmasıdır. Burada hangi uçuş seferinin hangi uçak filosu tarafından uçurulacağı kararı talep, envanter bilgileri, bakım planları gibi veriler dikkate alınarak verilir. Aynı tipe ya da aynı yolcu kapasitesine sahip uçaklar kümesi filo olarak adlandırılmaktadır. Yani filolar birbirinden yolcu kapasitesi ya da uçak tipi açısından farklılık gösterebilirler (Çankaya, 2008). Bu aşamada amaç optimal geliri elde edebilmek için kapasite ve talep uyumunu sağlamaktır. Bir uçuş seferinin kazancı, o seferin satışlarına, yani talebe ve kullanılan uçağın büyüklüğüne bağlıdır. Dolayısı ile burada potansiyel müşteri sayısıyla uçağın koltuk sayısı arasındaki farkı minimize edecek atamanın yapılması gerekmektedir (Gopalakrishnan ve Johnson, 2005; Gopalan ve Talluri,

1998; Lohatepanont ve Bamhart, 2004; Şenöz, 2005). Bundan sonraki aşama uçuş ekibinin çizelgelenmesi aşamasıdır.

Daha sonra filodaki her uçağın izleyeceği uçuş rotası belirlenerek uçuş rotalama gerçekleştirilmelidir (Çankaya, 2008), ancak bunun için öncelikle ekip çizelgeleme probleminin ilk adımı olan ekip eşleme problemi çözülmelidir. Ekip eşleme probleminde, her bir ekip bir uçuşlar bacağı dizisine atanmaktadır, böylece çizelgedeki tüm uçuşlar kapsanabilir ve toplam maliyet enküçüklenebilir. Ekip çizelgeleme probleminin ikinci aşaması olan uçuş rotalama probleminde ise ekip eşleme probleminin çözümü girdi verisi olarak ele alınır (Muter ve diğerleri, 2013). Ekip eşleşme ve uçuş listeleme problemleri işletmenin uçuş hacmi, ortak kullanılan rota ve ekipman, uçuş gerçekleştirilen hava üssü, başlangıç ve bitiş noktaları sayıları gibi değişkenlere bağlı olarak işletmeden işletmeye farklılık gösterebilir, ancak yapılan literatür araştırmaları ışığında rotaların genellikle haftalık temelde oluşturulduğu ve ilan edildiği görülmüştür, bu esnada gerçekleşen güncellemeler zaman periyodu içinde çizelgelere ve listelere eklenir. Bir önceki aşamada olduğu gibi çok sayıda zorunluluk ve kısıt, bu aşama süresince de sağlanmalıdır ve mevcut durumda neredeyse tüm havayolları bu çizelgeleri manuel olarak hazırlanmaktadır.

Son aşamada ise uçuş ekiplerinin hangi uçuş seferleri sıralamasını gerçekleştireceği kararı verilir. Bu aşamada her uçuş seferinin tam olarak bir ekip tarafından kapsanması kısıtı önem taşımaktadır (Çankaya, 2008). Bir ekip; bir uçuş seferinin gerçekleştirilebilmesi için uçağa binmesi gerekli olan pilotlar, yardımcı pilotlar, uçuş ve kokpit görevlileri vb. gibi havayolu personeli anlamına gelmektedir. Bazı çalışmalarda bu ekip atama işleminin yanında, hangi personelin ekiplere atanacağının kararları da verilir.

Bu kapsamlı çalışmalara rağmen, kimi zaman hazırlanan havayolu çizelgelerinde beklenmedik uçak bakımları, olumsuz hava koşulları ya da ekip üyesi yokluğu gibi nedenlerle aksamalar ortaya çıkabilmektedir. Bu aksamalar ise uçuş bacaklarında gecikme ya da iptalleri gerektirmekte, bu da uçak ve ekiplerin izleyen uçuş bacaklarında yanlış çizelgelenmesini ve yolcu kapasitesinin azalmasını getirmektedir (Jerzy ve diğerleri, 2002).

Görüldüğü gibi havayolu planlama süreci oldukça zahmetli, dikkatle yürütülmesi ve güvenilir yöntemler ile sonuca ulaştırılması gereken bir süreçtir. Burada en büyük maliyeti barındıran aşamalar ekip çizelgeleme ve ekip atama aşamalarıdır. Çünkü bu aşamalarda (i)

uçuş seferleri planlanır, uçuş seferlerinin süresi ve kapsamları önemli maliyet kalemleridir, (ii) çizelgelenen seferlere ekipler atanır, bu aşamada ise personel maliyetleri hesaba katılmaktadır. Bunlara ek olarak, hangi yöntemin kullanılacağından ya da ne tip bir firmaya dair problem verilerinin ele alındığından bağımsız olarak, Türkiye'de gerçekleştirilecek tüm uçuşlar için hazırlanacak ekip çizelgelerin uyması gereken SHGM tarafından belirlenen bazı yasal düzenlemeler bulunmaktadır (SHT-6A.Rev.05).

Bu kapsamda, uçucu ekip ilişkin talimatta yer alan görev ve uçuş saatleri dikkate alınarak plânlanmalıdır. Aylık uçuş ekip planlamaları asgari 24 saat önce yayınlanmalıdır. Plânlama yapılırken ana üs dışındaki uçuş harekâtında olabilecek değişiklikler dikkate alınmak zorundadır. Ayrıca, uçuşlarda görev verilen uçucu ekibin, hava aracı tipine uygun olarak, ilgili kanun ve yönetmelikler ile işletme talimatlarında aranan özellikleri taşıması, yürürlükte bulunan sivil havacılık mevzuatı ile ön görülmüş diğer şartlara haiz olması zorunludur.

SHGM yayınladığı talimatlar ile belirtilmiş yasal sorumlulukların havayolu firmaları tarafından yerine getirilip getirilmediğini ise aşağıda anlatıldığı gibi takip edebilmektedir. Burada geçen havacılık terimleri ve bazı özel kavramlar tez çalışmasının Beşinci Bölümünde detaylı olarak açıklanmaktadır.

- Her bir uçucu personel için ayrı dosyalama yapılarak, uçucu ekiplerin uçuş görev süresi, uçuş süresi (blok süresi), boş süresi ve dinlenme süresi ile bu sürelerin başlama ve bitiş saatleri, iniş sayıları ve uçuş programları, günlük, haftalık, aylık, üç aylık ve yıllık olarak tutulur ve takip eden üç iş günü içinde (resmi tatiller hariç) kayıtlara geçirilmesi zorunludur. Bu kayıtlar en az 15 ay muhafaza edilir.
- Yukarıda belirtilen kayıtlardan; Uçuş Görev Süreleri ve Uçuş Sürelerinin günlük, haftalık ve aylık olarak başlangıç ve bitiş saatleri ile birlikte havacılık işletmeleri tarafından, takip eden ayın 10'una kadar SHGM'ye bir "rapor" ile yazılı veya elektronik ortamda bildirilmesi zorunludur. Ayrıca SHGM gerekli gördüğü hallerde bu maddenin birinci paragrafındaki tüm kayıtları her zaman istemeye yetkilidir.
- Havacılık işletmeleri, bu talimatta yer alan kuralların ve sınırlamaların aşılması halinde bu durumu kayıtlarında açık bir şekilde belirtmek ve en geç üç gün içinde "Uyumsuzluk Formu" doldurularak SHGM'ye göndermek zorundadırlar.

- Havacılık işletmeleri sorumlu kaptan pilot kararı ile uzatılmış uçuş süreleri ve azaltılmış sürelere ilişkin karar raporları en az bir yıl süre ile muhafaza edilir.
- Tüm uçucu personel kendilerine uygun yukarıdaki bilgileri içeren bireysel kayıtlarını tutmak, muhafaza etmek ve bu talimatta belirtilen sınırlamalarla ilgili yükümlülüklerini işletmeciye bildirmek zorundadır.
- Bir uçucu ekibin birden fazla havacılık işletmesi adına uçması durumunda, SHGM, bu havacılık işletmelerinden birini kayıtların tutulmasıyla ilgili olarak sorumlu tayin eder.
- Kayıtların yukarıda belirtilen kriterlerde tutulmasından uçucu ekip planlama ve koordinasyon sorumluları, kontrolünden ise havacılık işletmeleri sorumludur.

Görüldüğü gibi gerçek hayatta havayolu ekip çizelgeleme problemlerine dair uyulması mecburi olan pek çok kural vardır. Dolayısıyla, ekip çizelgeleme problemi içerdiği çok sayıda kısıt ve incelenmesi gereken veri havuzunun genişliği gibi pek çok nedenden oldukça zor bir problem tipidir. Bu problem tipinin çözümünün hangi nedenlere bağlı olarak zorlaştığı Gopalakrishnan ve Johnson (2005) tarafından ise şöyle açıklanmıştır;

- Eşlemelerin sayısı çoğu havayolu için çok fazladır. Geniş filolar için milyarlarca olası yasal eşleştirme bulunmaktadır.
- Çok sayıda karmaşık iş kuralı ve sivil havacılık güvenlik tüzükleri karşılanmak zorundadır. Bu tip kurallardan biri de 24'te 8 kuralıdır. Bu kurala göre; herhangi bir 24 saatlik periyot süresince, önceki görev periyodundaki uçuş zamanının iki katı olan bir mola ve 8 saat limitinin ihlal edildiği bir görev periyodundan sonra en az 14 saatlik mola verilmeksizin personele 8 saatten fazla uçuş atanamaz.
- Personel maliyetleri karmaşık personel ücret güvencelerine bağlıdır ve doğrusal değildir.

Ekip çizelgeleme probleminin karmaşık ve uzmanlık gerektiren yapısı bu alt bölümde açıklığa kavuşturulmuştur. Havayolu taşımacılığı alanında yapılacak ekip çizelgeleme işlemleri ise, işletmeler açısından gerek direk ve endirekt maliyetler gerek prestij olgusu gerekse müşteri memnuniyeti gibi hususlar açısından genel anlamdakinden de çok titiz bir çalışma, bilgi birikimi ve güvenilir yöntemlerin kullanımını gerektirmektedir.

2.5. Ekip Çizelgeleme Literatür Araştırması

Bu alt bölümde ekip çizelgeleme konu başlığı için gerçekleştirilen literatür araştırması sunulmuştur.

Bu literatür araştırması ilgili veri tabanlarında "ekip çizelgeleme", "matematiksel modeller" ile "ekip çizelgeleme", ve "sezgisel yöntemler" ile "ekip çizelgeleme" anahtar kelimeleri ile gerçekleştirilmiştir.

Yapılan literatür araştırmalarına ek olarak hazırlanan ve sırası ile; yayınların konu başlıklarına göre toplam yayınlar içinde dağılımını, sadece ekip çizelgeleme probleminin ele alındığı çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemlerini, gerçekleştirilen literatür çalışmaları kapsamında ekip çizelgeleme konu başlığında mevcut yayınlarda ele alınmış olan kısıtları ve literatür araştırmasını oluşturan yayınların sıralı listesini içeren özet tabloları alt bölüm sonunda sunulmuştur (Çizelge 2.1 – 2.4). Bunlara ek olarak, gerçekleştirilen literatür araştırması ışığında hazırlanan ve ekip çizelgeleme probleminin ve diğer çizelgeleme problemleri tiplerinin genel çizelgeleme problemleri türleri içinde teşkil ettiği payı temsil eden pasta şeması Şekil 2.1'de görülebilmektedir. Şekil 2.1'in incelenmesi ile de kolaylıkla anlaşılmaktadır ki sadece ekip çizelgelemenin gerçekleştirildiği yayın sayısı diğer tüm türlerin toplamından daha büyük bir orana sahiptir.

Mevcut literatür incelendiğinde karşılaşılan ilk çalışmalara örnek olarak, Ignall ve Walker (1977) tarafından yürütülen çalışmada ambulans ve ambulans ekibi ataması doğrusal TSP ile gerçekleştirilmiştir. Darby-Dowman ve Mitra, 1985 yılında yürüttükleri çalışmalarında küme bölme modeli ile ekip çizelgeleme gerçekleştirmiştir. Lavoie, Minoux ve Odier (1988) sütun geliştirme tekniği ile havayolu ekip eşleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Smith (1988) bir otobüs şirketi için 0-1 TS programlama modeli ile sezgiseli algoritmaları birleştirmiştir. Smith ve Wren (1988) çalışmalarında otobüs şoförü atamalarını küme kaplama ile gerçekleştirmiştir. Hong ve diğerleri (1989) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada ABD hava kuvvetleri için havayolu yük taşıma ekip ataması stokastik matematiksel programlama kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hedge ve Tadikamalla (1990) 300 farklı özellikteki çalışanının 150 farklı işe bir yıllık planlama ufkunda atamasını gerçekleştirmişlerdir.

Devam eden yıllarda gerçekleştirilen çalışmalara örnek olarak; Chew (1991) çalışmasında bir havayolu terminalindeki apron ekibinin çizelgelenmesi için bir vaka çalışması gerçekleştirmiştir. Ele alınan problemde uçuşlar duraksız, gidiş ve transit olarak üç grupta toplanmıştır ve uçak tipi birden fazladır. Hizmet edecek ekip ihtiyacı uçak tipine, uçuş tipine ve kargo yüküne bağlı olarak değişmektedir. Ekibin hizmet ve hazırlık zamanları da uçak ve uçuş zamanlarına bağlıdır. Vakada farklı vardiya çeşitleri mevcuttur, vardiya süreleri yemek molası dahil 7,5 ile 9 saat arasında değişmektedir. Çalışma iki aşamada yürütülmüştür; ilk olarak en az olası toplam işgücü ihtiyacı bir sezgisel ile bulunmuş, daha sonra ise izin günleri ve her bir gün için vardiya zamanlarını atayan bir liste TSP modeli ile döngüsel görev dizisi olarak oluşturulmuştur.

Bianco, Bielli, Mingozzi, Ricciardelli ve Spadoni (1992)'nın çalışmasında ise ekip listeleme için bir sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. TSP ile kurulan model çözülmüş, bu sonucu alt sınır alan bir sezgisel ile çözüm geliştirilmiştir.

Caprara ve diğerleri (1997) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İtalya'da bulunan bir demiryolu şirketi için ekip çizelgeleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Problem göz önüne alınan zaman periyodu içinde bulunan her yolculuğu kapsayan ve tüm operasyonel kısıtları en az maliyet ile karşılayan listeler kümesinin bulunması amacı ile, 0-1 TSP yöntemi ile modellenmiştir. Öne sürülen yöntem sırası ile ekip çizelgeleme ve ekip listeleme olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Ele alınan problemde günlük olarak 8000 tren ve 25 000 sürücülük bir işgücü pek çok depoya dağıtılmıştır. Oluşturulan matematiksel modelin çözümü, modelin Langrange rahatlamasından sonra, geliştirilen yapısal bir sezgisel ile gerçekleştirilmiştir. Langrange rahatlaması sonuçları alt sınır alınarak bir başlangıç görevi seçilmiş, daha sonra yerel aramalar ile en iyi liste bulunmuştur.

Vance, Barnhart, Johnson ve Nemhauser (1997) çalışmalarında havayolu taşımacılığı alanında ekip çizelgeleme problemi için küme bölme formülasyonunu iki adımda inceleyip bir doğrusal programlama modeli öne sürmüşlerdir. Çalışma neticesinde daha sağlam sonuçlar elde edilmiştir ancak çözüm daha zor olmuştur.

Ceria ve diğerleri (1998) çalışmalarında büyük ölçekli küme kaplama problemleri için Langrange temelli bir sezgisel geliştirmişlerdir. Öne sürülen yaklaşımın uygulaması bir İtalyan demiryolunda gerçekleştirilmiştir. Literatürde mevcut bulunan benzer çalışmalardan

farklı olarak bu çalışmada, ele alınan gerçek hayat problemlerinin boyutları 50 000 değişken ve 500 kısıttan 1 000 000 değişken ve 5000 kısıta değişmektedir. Bu büyük ölçekli problemlerde bulunan kısıt sayısının fazla olması doğrusal programlama temelli sezgisellerin geliştirilmesi ile problemin çözülmesini imkânsız hale getirmiştir. Dolayısı ile Langrange rahatlaması kullanılarak doğrusal programlama modelleri çözülebilir hale getirilmiştir. Öne sürülen çözüm yaklaşımı iki aşamadan oluşmaktadır; ilk olarak uygun bir değer fonksiyonu oluşturulabilmek için Langrange rahatlamasından elde edilen bilgiler kullanılmış, daha sonra bu fonksiyon değişken seçmek için kullanılan obur sezgiselde kullanılmıştır. Çok büyük boyutlu problemlerde bu sezgisel 10 000 saniyeliğine koşturulurken, daha küçük boyutlu problemler için ise koşum süresi 1000 saniye alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Langrange rahatlaması sonuçlarının alt sınır, sezgisel sonuçlarının üst sınır ve sahadan alınan değerlerin ise en iyi saha değerleri olarak nitelendirilmesi ile karşılaştırılmıştır. Saha verilerinin belirttiği değerler belirlenen koşum süreleri içinde elde edilememiştir. Daha sonra geliştirilen algoritma Beasley (1990) tarafından oluşturulan 10 küme kaplama problemi için çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Beasley (1990), Jacobs ve Brusco (1993) ve Beasley ve Chu (1994) çalışmalarında ortaya çıkan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu veri seti ile öne sürülen algoritma önemli ölçüde daha az sürede gözle görülür düzeyde daha iyi sonuçlar vermiştir.

Higgins (1998)'in çalışmasında ise bakım ve ekip çizelgeleme problemleri eşzamanlı olarak ele alınmıştır. Makalede çizelgelenmiş trenlerde aksamaların enküçüklenmesi ve tamamlanma zamanlarının azaltılması amacı ile bir bakım aktiviteleri ve ekip ataması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kriterler bütçe, bakım aktivitesi önceliği, ray uygunluğu ve ray bağlantıları arasındaki en küçük ulaşım zamanıdır. Oluşturulan model TA sezgiseli ile çözülmüş, komşuluklar ise iş sıralarının, bakım ekiplerinin, ya da her ikisinin birden değiştirilmesi ile tanımlanmıştır. Dört günlük bir planlama ufkunda 300 km'lik ray uzunluğu için bakım ekipleri sayısının değiştirilmesinin etkisi incelenerek bir Avusturalya şirketi için bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Elde edilen optimum çizelge elle oluşturulan tren çizelgelerine göre gecikmelerde %8'lik azalma ve ortalama tamamlanma zamanlarında ise %7'lik bir azalma sağlamıştır. Sunulan model çok projeli çizelgeleme ve ekip çizelgeleme kombinasyonu olarak oluşturulmuştur. 23 bakım ekibi ve 90 aktivite içeren bir problem saatlik zaman aralıklarıyla dört günlük bir zaman ufku için incelenmiştir. Problem 10 000'in üzerinde 0-1 karar değişkeni içermektedir, dolayısı ile bir yerel arama yöntemi olan TA sezgiselinin kullanılması problem tipine uygunluk göstermektedir. Öncelikle problemin 0-1

TSP modeli kurulmuştur. Daha sonra sezgisel için başlangıç çözümü aktiviteleri öncelikli bitirilme zamanlarına göre çizelgeleyerek bulunmuştur. Çalışmada bütçe kısıtı göz ardı edilmiştir. Daha sonra TA sezgiseli ile problem çözülmüş ve elde edilen sonuçlar mevcut durumda manuel olarak bakım planlamacıların tecrübelerine dayanılarak oluşturulan çizelgenin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen en iyi sonuç mevcut duruma göre %6,3'lük bir iyileştirme sağlamıştır.

Moudani ve Mora-Camino (2000) ise havayolu ekip listeleme problemini dinamik bir bakış açısı ile ele almıştır. Çalışmada araştırmacılar, ekip çalışanlarının uçuşlara aylık atamalarındaki değişikliklerin yol açtığı aksaklıkları çözmeye çalışmıştır. Amaç fonksiyonu, bir önceki ekip atamasından değişen zaman periyodu içinde uçuşları örtmek amacı ile yapılacak değişiklikleri minimize etmek olan bir optimizasyon probleminin asenkron çözümünü gerçekleştirecek bir yaklaşım oluşturulmuştur. Bu, matematiksel formülasyonda atama değişikliklerine ceza atanması ile gerçekleştirilmiştir. Bu cezaların oluşturduğu rahatsızlığın nicel olarak ölçülmesi zor olduğundan, bu değerlendirmeyi yapmak için bir bulanık mantık yaklaşımı geliştirilmiştir. Öne sürülen çözüm yaklaşımı orta büyüklükteki bir probleme uygulanmıştır. Bu makalede atama probleminin tekrarlı olarak yeniden çözülmesine dayanan sistematik bir yaklaşım sunulmuştur. Çözüm yaklaşımı iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşamada ekip atama problemi bir dinamik programlama tekniği temelinde çözülmüştür. Daha sonra da ilk aşamada oluşturulan çizelgede önemli bir aksama oluşması durumunda ve bu durumda yerel standart düzeltici bir prosedür uygulanamadığında, daha önceki aylık çizelgedeki olası değişiklikleri cezalandıran yeni bir optimizasyon kriteri tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçların kalitesi tatmin edici ve işlem zamanı yeterince küçük bulunmuştur.

Lourenço, Paixao ve Portugal (2001) bir otobüs taşımacılığı şirketi için ekip çizelgelemeyi TA ve GA temelli bir çok amaçlı meta sezgisel ile yapmışlardır.

Dias, De Sousa ve Cunha (2002) çalışmalarında GA kullanarak otobüs şoförü çizelgeleme problemini ele almışlardır. Küme kaplama ve küme bölme modellerini GA ile genişletmiş ve bir KDS oluşturmuşlardır.

Fahle ve diğerleri (2002) ekip çizelgeleme için sütun geliştirme temelli bir kısıt programlama modeli önermişlerdir. Araştırmacılar Caprara ve diğerleri (1997)'nin gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmayı temel alarak kendi çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada alt

problemler kısıt tatmini problemi olarak formüle edilmiştir. Uygulamalarda bir Avrupa havayolu firmasının 1998 yaz ve sonbaharının dört haftalık planlama periyoduna dair verileri kullanılmıştır. Problem örneği kokpit ekiplerinin atanmasını içermektedir ve bir kokpit ekibi 400 ekip üyesi ve yaklaşık 1000 aktiviteyi içermektedir. Maliyetler doğrusal bir amaç fonksiyonu ile temsil edilmektedir. Ana maliyetler toplam uçuş zamanı ve ekstra izin günlerinin maliyetleridir. Alt problemlerdeki en kısa yol kısıtları ve negatif indirgenmiş maliyet kısıtları alt problemin özel yapısını arama ağacının budanmasına yardımcı olmaktadır. Ancak daha büyük ölçekli gerçek hayat problemleri için bu budama yalnız başına iyi sonuçlar bulmada yeterli olmamaktadır. Öne sürdükleri yaklaşım sonucunda, Caprara ve diğerleri (1997)'nin çalışmalarında sadece kısıt mantık programlama kullanarak elde ettikleri sonuçlardan daha iyi olduğu çalışmada gösterilmiştir.

Raffensperger ve Swords (2002) çalışmalarında Prowler tipi askeri uçakların ekip eğitim çizelgelemesi problemi ele alınmıştır ve bunu çözmek için iki farklı TSP modeli sunulmuştur. İlk model bir tek ay boyunca mümkün olan uçuş sayısına bağlı olarak, her bir görev alanı için, %75 'in üzerinde eğitilmiş pilot sayısını en büyüklemektedir. İkinci model barış zamanını seferberlikten ayırır ve barış zamanında mümkün olan uçuş sayısına bağlı olarak seferberlikte gerçekleştirilen uçuş sayısını en küçüklemektedir. Çalışmada gerçek veriler kullanılarak sayısal sonuçlar elde edilmiştir ve elde edilen sonuçlar bir hava filosunun gerçek hazır bulunuşluluğu ile karşılaştırılmıştır. Hazır bulunuşluluk Amerikan pasifik ve Atlantik Filoları Deniz Hava Kuvvetleri Filo komutanlığı tarafından "bir birimin atandığı görevin gerçekleştirebilme yeteneğinin ölçülmesidir" şeklinde açıklanmaktadır. Problem pilotların bir aylık zaman ufkunda çizelgelendiği bir karışık TSP modeli olarak modellenmiştir. Hava filosunun planlama ufku iki bölümden oluşur; barış zamanı ve savaş zamanı. Araştırmacılar iki planlama ufkunu iki ayrı sırt çantası olarak düşünmüşlerdir, biri barış zamanı için bir diğeri de aciliyet durumu için. Barış zamanı sırt çantasının kapasitesi çoğunlukla bütçe kısıtı ile belirlenirken, aciliyet durumu sırt çantası kapasitesi ise arzu edilen cevap zamanı ile belirlenmektedir. Sonuçlarda Prowler hava filolarının ekip hazır bulunuşluluğunun daha iyi bir çizelgeleme ile %10 oranında artırılabileceği görülmüştür.

Yan ve Tu (2002) çalışmalarında Tayvan'da faaliyet gösteren bir havayolu firmasının kabin ekibi çizelgelemesini, geleneksel küme kaplama (bölme) problemine ek olarak, saf şebeke modeli ile gerçekleştirmişlerdir. Problemin matematiksel formülasyonu bir doğrusal TSP modeli ile temsil edilmiştir. Daha sonra model ekip akışlarını temel alan bir şebeke modeli

haline dönüştürülmüştür. Ahuja ve diğerleri (1993) tarafından sunulan bir akış ayrıştırma yöntemi ile ark akışları, kaynaktan batağa birer yol temsil eden ark zincirlerine dönüştürülmüştür. Yan ve Lin (1997)'in çalışmalarında inceledikleri bir vaka çalışması ele alınarak öne sürülen metodolojinin etkinliği incelenmiştir. Tüm problem örnekleri optimum sonuçlar vermiştir ve en uzun hesaplama zamanı 9,73 saniye olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar Yan ve Lin (1997)'in sonuçları ile karşılaştırıldığında şebeke modelinin de etkin ve verimli sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.

Sherali, Bish ve Zhu (2005) havayolu taşımacılığı alanında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, karışık TSP yöntemi ile talep temelli yer filosu oluşturma modeli kurulmuştur.

Yunes, Moura ve de Souza (2005) ise otobüs taşımacılığı için Brezilya'da bulunan bir şirketin ekip yönetimi problemini sütun oluşturma ve kısıt programlama yöntemleri ile çözmüşlerdir.

Lezaun, Perez ve De La Maza (2006) tarafından yürütülen çalışmada metro taşımacılığı için TSP kullanılarak ekip çizelgelemesi gerçekleştirilmiştir. Planlama ufku beş ayrı periyoda bölünmüştür ve yapılan incelemede çalışan istekleri göz önüne alınmıştır.

Smith ve Johnson (2006) çalışmalarında bir "fix and price" sezgiseli geliştirerek TSP yöntemi temelinde filolara ekip ataması gerçekleştirmişlerdir.

Steinzen ve diğerleri (2007) otobüs ekibi çizelgeleme problemi üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında araç ve ekip listeleme için bütünleşik bir çizelge oluşturmuşlardır. Böylece hem firmanın kaynakları tam kullanılmış hem de yolcuların yolculuk talepleri karşılanmaya çalışılmıştır.

Vaidyanathan ve diğerleri (2007) Kuzey Amerika demir yolları için ekip çizelgeleme problemine çözüm getirmişlerdir. Makalede Kuzey Amerika'da ekip çizelgelemenin Avrupa'daki çizelgelerden çok farklı olduğu öne sürülmüştür. Mevcut durumda ekiplere ilişkin kararlar el ile manuel alınmaktadır. Problem oluşturulan şebeke içerisinde optimal olarak çözülmesini sağlayacak bir TSP modeli olarak formüle edilmiştir. Çözüm hızını arttırmak amacı ile farklı ayrıştırma ve rahatlatma teknikleri kullanılmıştır. Oluşturulan

modelde ekip havuzları (aynı iş kuralları ile idare edilen ekiplerin kümesi) atama yapılacak noktaları temsil etmektedir ve ekip üyelerinin akışı kendilerinin atanmalarını temsil etmektedir. Problem bir TSP modeli olarak ele alınırken FIFO kısıtları yan kısıtlar olarak modellenmiştir. Oluşturulan modelin standart dal ve sınır metodolojisi ile çözülmesinin çok zor olduğu gösterilmiştir. Diğer taraftan FIFO kısıtları ile rahatlatılmış aynı problem randımanlı bir şekilde çözülebilmektedir. FIFO kısıtları ile rahatlatılan ekip çizelgeleme problemine "rahatlatılmış problem" denmiştir ve bunun çözümü optimal ekip çizelgeleme problemine bir alt sınır oluşturmuştur. Daha sonra bir sütun oluşturma algoritması geliştirilmiştir, bu sayede FIFO ihlallerinin etkileri kaldırılamaya çalışılmıştır. Çalışmacılar ayrıca bir kuadratik maliyet pertürbasyonu algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma ark maliyetlerini pertürbe eder ve FIFO ihlallerine ceza atar. Bu model ise çoğu durumda optimal sonucu vermektedir. Sonuçlar firma yetkililerini oldukça tatmin etmiştir ve mevcut durumla kullanılmakta olan süreçle değiştirilmiştir.

Chen (2008) bir konferansta sunduğu bildiride hızlı taşıma sistemleri için 0-1 TSP ile ekip çizelgeleme problemini modellemiştir. Oluşturulan model LINGO paket programı ile çözülmüştür. Çalışmada vardiya çizelgeleme, çalışanların isteklerine göre çalışma saatleri ve günleri ataması gerçekleştirilmiştir.

Çetin ve diğerleri (2008) çalışmalarında ekip çizelgeleme probleminin iki ardışık adımını bütünleşik bir yapıda ele almışlardır. Çalışmada küme bölme modeli formunda ifade edilen ekip eşleştirme probleminin TSP ile çözümü MATLAB bilgisayar programından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın ikinci kısmında ise ekip eşleştirme sonuçlarının girdi olarak kullanıldığı ekip atama problemi yine küme bölme modeline dönüştürülmüş ve Xpress-MP programı ile aranmıştır. Daha sonra dinlenme süresi, azami süre ve boş süre kısıtları altında olası atamalar hesaplanmış ve ekip atamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, özel bir havayolu şirketinin İzmir merkezli yaz dönemi uçuşlarını dikkate alan çizelgeleme problemi bir haftalık periyot için ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bir haftalık dönem için İzmir merkezli toplam 66 eşleşmeye ise 12 ekibin atanması ile üç ekibin yani 18 ekip üyesinin maliyetinden tasarruf edilebileceği söylenmiştir. Havayolu şirketinin bu ekip üyelerini bünyesinde tutmaya devam etmek istemesi durumunda ekip üyesi başına düşen uçuş süresinde düşüş olacak, bunun da ekip üyelerinin yaşam kalitesini ve memnuniyetini arttırmakla sonuçlanabileceğinin altı çizilmiştir.

Yen (2008) TSP'yi bir ekip çizelgeleme programı kurmak için matematiksel programlama aracı olarak kullanmışlardır. Ayrıca, bu çalışmada (i) genel vardiya çizelgeleme; (ii) çalışanların tercih ettikleri çalışma saatleri ve (iii) izin günlerini bulma gibi analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma bir Tayvan hızlı tren işletmesi için operasyon verimliliğini arttıracak hızlı ve yeterli bir hareket çizelgesi oluşturmayı hedeflemiştir. Çalışmada kurulan model LINGO ile çözülmüştür. Çalışmada üç farklı model (sırası ile A. B ve C) kurulmuştur. Her model için istasyon çalışanlarının çalışma sıklığı bulunabilmekte ve daha sonra bu sıklık denk bir vardiya çizelgelemeyi sağlamak için kullanılabilmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen vaka analizi göstermektedir ki model C diğer modellerden daha iyi sonuç vermektedir. Bu model için belirlenen hedef değer 15 640 iken, çözümde elde edilen mümkün değer ise 15 630 olarak bulunmuştur.

Çankaya ve Arıkan (2009) ekip çizelgeleme probleminin çözümünde değişkenlerin dinamik olarak üretildiği bir sütun oluşturma algoritması kullanmışlardır. Çalışmada ana problem küme kaplama problemi, alt problem ise en kısa yol problemi olarak formüle edilmiştir. Uygun bir çözüm vermeye yetecek sayıda başlangıç eşleştirmesi bir doğrusal programlama modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada, her olası uygun ekip eşleştirmesine bir maliyet değer atanarak, tüm uçuş seferlerini en az bir kere kapsayan minimum maliyetli ekip eşleştirmeleri kümesi, eşleştirmelerin dinamik olarak oluşturulduğu bir sütun oluşturma yöntemiyle elde edilmiştir. Ana problem, alt problem ve başlangıç eşleştirmelerini oluşturmada kullanılan model bütünleşik olarak GAMS optimizasyon programında kodlanmış ve bu bütünleşik model iteratif olarak çözülmüştür. Öne sürülen yöntem özel bir havayolu şirketi için günlük ekip eşleştirme üzerinde denenmiştir. Çalışmada havayolunun sadece yaz dönemi iç hatlar tarifesine ait uçuş çizelgesinden haftanın her günü gerçekleştirilen 42 uçuş seferi seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, öne sürülen algoritmanın uygulanabilirliği ve kullanılan sütun oluşturma algoritması da çözüm zamanı açısından oldukça büyük yarar sağlamaktadır. Bu sayede, ele alınan havayolu şirketinde mevcut durumda manuel olarak yapılan ve işgücü-saat açısından fazla kaynak kullanımına neden olan ekip çizelgeleme sürecinde bir iyileşme sağlanmıştır. Oluşturulan her ekip eşleştirmesine bir ekip atanacağından, bu uçuş seferlerini gerçekleştirebilmesi için havayolunun toplam 11 adet uçuş ekibine ihtiyacı olduğu belirlenmiştir.

Kratica, Cangalovi ve Kovaçeviç-Vujçiç (2009) çalışmalarında grafların asgari çifte çözümlü küme problemleri ele almışlardır. Problemin NP-Zor yapıda olduğu kanıtlanmış ve

doğrusal TSP modeli verilmiştir. Daha sonra probleme uygun standart genetik operatörler ile 0-1 kodlama kullanan bir GA ile problem çözülmüştür. Öne sürülen yaklaşım; ekip çizelgeleme, sahte boolean ve graf boyama problemleri üzerinde denenmiştir. Geliştirilen GA ayrıca hiperküplerin büyük ölçekli örnekleri için de test edilmiştir. GA çözümlerinin optimalliği toplam sayımla küçük ölçekli örnekler için doğrulanmıştır. Daha büyük örnekler için optimallik mevcut olan teorik sonuçları takip etmektedir. Hiperküplerin asgari çifte çözümlü küme problemlerinin GA sonuçları, direk olarak bilgisayar ile ele alınamayacak büyüklükte olan 2^{90} düğümlü büyük hiperküplerin metrik boyutları için üst sınır elde etmede kullanılacak olan bir dinamik programlama modelinde kullanılmıştır.

Wang, Liu ve Miao (2009)'nın çalışmasında ise küme kaplama modeli ile tren yolu ekip çizelgeleme problemi için dal ve sınır algoritması uygulanmıştır. Dal ve sınır algoritması büyük boyutlu problemleri çözemediğinden sütun oluşturma tekniği ile çözüme gidilmiş ve buna "dal ve fiyatlandırma" adı verilmiştir.

Çetin (2011) çalışmasında küme bölme modeli olarak ele alınan ekip eşleştirme probleminin GA ve TS programlama ile çözümünü incelenmiş ve GA'nın performansı değerlendirilmiştir. Uygulamada, özel bir havayolu şirketinin yaz dönemine ait İzmir ve Antalya merkezli yurtiçi ve yurtdışı uçuşları göz önüne alınmıştır İzmir'den kalkan her uçağın İzmir'e ve Antalya'dan kalkan her uçağın yine Antalya'ya döneceği düşünülerek 266 adet uçuştan 133 adet uçuş çifti oluşturulmuştur. Veriler düzenlendikten sonra küme bölme modeli girdisini oluşturacak olası eşleştirmeler bazı kısıtlar temelinde bulunmuştur. Eşleştirme kısıtları dikkate alınarak mevcut uçuşlara ait olası tüm eşleştirmeler Visual Basic programlama dili ile programlama yapılarak bulunmuştur. 220 adet olası eşleştirme hesaplanmıştır. Elde edilen olası eşleştirmeler küme bölme modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Problemin GA ile çözümünde MATLAB bilgisayar programından faydalanılmıştır. Problem parametrelerinin farklı kombinasyonları ile toplam 120 adet deneme yapılmıştır. Ayrıca, en iyi dört bireyin çözümde kalmasını sağlayacak şekilde elitist strateji dikkate alınmıştır. Modelin çözümünde en küçük eşleştirme sayısı 106 olarak bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuç ile şirketin eşleştirme planına göre %9,5'lik bir iyileştirme sağlanabileceği görülmüştür.

Mesquita ve diğerleri (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise bütünleşik araç-ekip çizelgeleme TSP ile gerçekleştirilmiştir. Ele alınan doğrusal olmayan çok hedefli

optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan sıralı algoritma, bütünleştirilmiş araç-ekip çizelgeleme hedefine daha yüksek bir öncelik ve sürücü listeleme hedefine daha düşük bir öncelik veren bir önceliklendirilmiş HP iskeletinden oluşmaktadır. Karar vericinin farklı araç-ekip çizelgeleri ve listeler içinden, mümkün olduğunca yönetimin çıkarları ve sürücülerin önceliklerini göz önüne alarak, seçim yapabileceği bir sezgisel yaklaşım da geliştirilmiştir. Çalışmada ayrıca Portekiz'de faaliyet gösteren bir otobüs şirketi için bir gerçek hayat problemi üzerinde öne sürülen yaklaşımın etkinliği gösterilmiştir. Ele alınan gerçek hayat probleminde araç filoları dört depo arasında paylaşılmaktadır ve sırası ile günde 122, 168, 224, 226 ve 238 çizelgelenmiş yolculuk için beş test problemi ele alınmıştır. Algoritmalar Visual Studio 6.0/C++ ile kodlanmış, doğrusal programlamanın rahatlaması ise CPLEX 11.0 ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sezgisel bütünleştirilmiş araç-ekip çizelgeleme probleminden tek hedefli listeleme problemine dönüşüm için kullanılmıştır. Sezgiselin bazı parametreleri optimizasyon süreci içinde kullanıcı tarafından, farklı mümkün sonuçlar içinden yönetimin çıkarlarını ve sürücülerin önceliklerini en iyi şekilde tatmin eden çizelgenin seçilebilmesi amacı ile, dışarıdan ayarlanabilmektedir.

Jütte ve Thonemann (2012) demiryolu ekip çizelgeleme problemini inceledikleri çalışmalarında, kabul edilebilir bir koşum zamanında yüksek kalitede sonuçlar sunabilen sütun geliştirme temelli bir ayrıştırma algoritması geliştirmişlerdir. Çalışmada öne sürülen böl ve maliyetlendir algoritması orijinal problemi paralel olarak optimize edilmesi gereken örtüşmeli bölgelere ayırmaktadır. Çalışma sonunda büyük boyutlu bir Avrupa demiryolu firmasına ait veriler ile gerçekleştirilen testlerin umut vaat eden sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Rasmussen, Justesen, Dohn ve Larsen (2012) ise çalışmalarında evde bakım hizmetleri sürdüren sağlık personeli için toplam hizmet seviyesinin enbüyüklenmesi çerçevesinde ekip çizelgelenme faaliyetini ele almışlardır. Çizelgeleme probleminin çözümünde ziyaretler arası ihtiyaç duyulan yolculuk zamanı ve ziyaret zaman pencereleri katı kısıtlar olarak, tercih kısıtları ve ziyaret başlangıç saatleri arası bağımlılıklar ise yumuşak kısıtlar olarak dikkate alınmıştır. Problem yan kısıtlara sahip bir küme bölme modeli ile modellenmiş ve bir dal ve maliyet çözüm algoritması ile klasik bir araç rotalama problemi olarak ele alınmış ve çözüme ulaştırılmıştır. Geliştirilen algoritma hem küçük boyutlu gerçek hayat problemleri hem de gerçek hayat koşullarından ilham alınarak oluşturulan problem parçaları üzerinde test edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, öne sürülen yöntemin koşum zamanını

arttırdığı ve bazı problem parçaları için düşük kaliteli sonuçlar verdiği görülse de manuel olarak optimal çözüme ulaşılamayacak büyük boyutlu problemlerin çözümünde başvurulabilecek bir algoritma oluşturulduğu belirtilmiştir.

Azadeh, Hosseinabadi, Eivazy, Nazari-Shirkouhi ve Asadipour (2013) çalışmalarında ekip çizelgeleme probleminin NP-zor yapısını çözebilmek için bir yerel arama sezgiseli ile senkronize çalışan bir parçacık sürü optimizasyon algoritması geliştirmişlerdir. Bu problem tipini çözmek için literatürde sıkça kullanıldığı bilinen GA ve karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) tekniklerinden yola çıkarak, GA ve KKO temelli iki ayrı melez algoritma daha geliştirerek, bu üç yöntem ile çözülen problem sonuçlarını karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen bir parçacık sürü optimizasyon algoritmasının diğer yöntemlere etkinliğini ve üstünlüğünü kanıtlamıştır.

Chen, Shen, Su ve Chen (2013)'in çalışmasında geleneksel Çin yemek molası kısıtlarına uygun bir ekip çizelgeleme gerçekleştirebilecek bir matematiksel model öne sürülmüştür. Ele alınan ekip çizelgeleme problemi için öne sürülen "oluştur ve seç" yaklaşımı ilk olarak özel geliştirilen bir sezgiselin kullanılması ile Çin yemek molası kurallarını ele almakta, daha sonra ise bu kuralları tatmin edecek geniş bir vardiya değişimi kümesi oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen 12 ayrı gerçek hayat problemi örneğinin öne sürülen yaklaşımın oluşturulan olası vardiya sayısında sağladığı düşüşü ispatladığı ve bu yaklaşımın Çin yemek molası kurallarının kullanıldığı büyük boyutlu ekip çizelgeleme problemlerinde kullanılmasının uygun olduğu sonuç olarak belirtilmiştir.

Giachetti, Damodaran, Mestry ve Prada (2013) ise çalışmalarında literatürde bulunan diğer çalışmalardan farklı olarak yolcu gemisi çalışanları için ekip çizelgeleme faaliyeti gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada problem iki aşamada ele alınmıştır, ilk aşamada çalışan sayısını belirlemek için gerekli işgücü seviyesi tespit edilmiş, ikinci aşamada ise 0-1 HP ile ekip atama maliyetlerinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan model gerçek hayat verileri ile çalıştırılmış ve problem sonuçları mevcut duruma kıyasla anlamlı şekilde kısa bir zamanda elde edilmiştir. Gerçek ekip atama maliyetleri ile çözüm sonucunda elde edilen beklenen veriler karşılaştırıldığında atama maliyetlerinde %9 ile 23 oranında azalmanın ve daha iyi işgücü seviyelemenin sağlandığı görülmüştür.

Muter ve diğerleri (2013) Türkiye'de faaliyet gösteren ve operasyonlarını durdurmadan çizelgelerini bir ekstra uçuş kümesi ekleyecek olan küçük bir yerel hava yolu firması için, hali hazırda var olan orijinal planları en az miktarda bozacak şekilde söz konusu ekstra uçuşları çizelgeye eklemek için bir model oluşturmuşlardır. Araştırmacılar ekip eşleme üzerine odaklanmış ve daha önceden planlanmış ve tanımlanmış ekip eşleşmelerini her potansiyel uçuş için daha önceden tanımlanan birkaç çözüme dahil etmişlerdir. Bu eklemeler var olan eşleşmelere bir ekstra uçuşun eklenmesi ya da uçuşların iki var olan eşleşmelere bölünmesi ile bir ekstra uçuşun kapsanması şeklinde yapılmıştır. Oluşturulan matematiksel programlama modeli geleneksel küme kaplama modelidir ve sütun oluşturma çözüm yöntemine yapılan bir ekleme ile çözülmüştür. Model sütunlardan oluşan kısıtlar içermektedir ve çözüm aşamasında sadece sütunca değil, yeni kısıtlar eklendikçe satırca da genişlemektedir. Bu zor problemi çözmek için bir satır ve sütun oluşturma yaklaşımı öne sürülmüştür. Bu yaklaşım yeni sütunları (eşleme) maliyetlendirmek için kullanılan çok etiketli en kısa yol problemine bazı düzeltmeler yapılmasını ve sütun oluşturma esnasında kısıtlı ana problemde eş zamanlı olarak gerçekleşen satır ve sütun artışları ile başa çıkmak için farklı mekanizmaları gerektirmektedir. Bu çalışmada Türkiye'deki yerel hava yollarından derlenen bir veri kümesi için gerçek hayat problemi uygulaması da sunulmuştur.

Diaz-Ramirez, Huertas ve Trigos (2014) ise çalışmalarında tek uçuş ayağı için tek ekip barındıran düşük bütçeli bir Latin Amerika havayolu firması için uçak bakım rotalama problemi ile ekip çizelgeleme problemini ardıl ve bütünleşik bir şekilde ele almışlardır. Ele alınan bakım rotalama problemi bilinen geleneksel yöntemler ile çözüme ulaştırılırken, ekip çizelgeleme probleminin çözümü için başlangıç çözümünü elde edecek bir sezgisel ve daha sonra ise sütun geliştirme tekniğinden doğacak maliyetlendirme sorunlarını çözmek için bir uyarlanmış etiketleme algoritması kullanılmıştır. Son olarak bütünleşik model kurulmuş ve çözülmüş, tüm yaklaşımlar gerçek uçuş çizelgeleri için test edilmiş ve elde edilen sonuçların uyumlu, hesaplama parametrelerinden bağımsız ve kısa koşum zamanlarında ulaşılmış olduğu belirtilmiştir. Ancak öne sürülen yaklaşımın ikincil çözümler için küçük iyileştirmeler getirdiği görülmüş, maliyet optimizasyonunda karşılaşılan bu az miktardaki iyileşmenin problem boyutunun küçüklüğünden ileri geldiği, daha büyük boyutlu problemler için daha yüksek miktarda tasarruf sağlanabileceği öne sürülmüştür.

Hanafi ve Kozan (2014) demiryolu taşımacılığında ekip çizelgeleme problemini incelemiş, boş geçiş zamanlarını en azlayarak ekip görev sayısını azaltmayı hedefleyen bir

matematiksel model öne sürmüşlerdir. Oluşturulan model çok sayıda karar değişkeni ve kısıt barındırdığından, optimal ya da optimale yakın bir çizelge bulabilmek için TB temelli melez yapısal bir sezgisel arama algoritması geliştirilmiş, bu algoritmanın performansı ise rassal olarak oluşturulan test verileri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların öne sürülen yaklaşımın kabul edilebilir bir zaman aralığında optimale yakın sonuçlar verdiğini gösterdiği belirtilmiştir.

Suyabatmaz ve Şahin (2015), çizelgelerin hem bağlılığı hem de olurluluğunun sağlandığı en az ekip büyüklüğü gereksinimini belirleyecek olan bir demiryolu ekip kapasitesi planlama problemini ele almışlardır. İncelenen problemi ağ yapısını temel alan alternatif bir matematiksel formülasyon ile sundukları çalışmada, küme kaplama problemi şeklinde işleyen bir yol temelli formülasyon ve sütün ve satır geliştirme algoritması sunmuşlardır. Ayrıca, çalışmada sunulan bu yaklaşımın uygulanabilirliğini bazı test problemleri üzerinde göstermişlerdir.

Maya Duque, Dolinskaya ve Sörensen (2016) ise çalışmalarında diğer pek çok çalışmadan farklı olarak afet yönetimi çerçevesinde, herhangi bir olası afet durumunda köy yolları ağı için acil onarım ekibi çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Araştırmacıların ağ onarım ekibi çizelgeleme ve rotalama problemi adı verdikleri bu problem tipi talep oluşturacak insani bölgelerin ve bunlara bağlanmayı sağlayan bazı yolların ulaşımını mümkün kılacak onarım ekiplerinin çizelgelenmesi ve rotalanması faaliyetlerini içermektedir. Ele alınan problemin çözümü için, küçük ve orta ölçekli örneklerde uygulanabilecek olan, bir dinamik programlama algoritması ve bir de ilerlemeli obur yapısal prosedür geliştirilmiş, bu algoritmaların sayısal örnekler üzerinde gerçekleştirilen uygulama testlerinin yönetimsel bakış açıları sağlayan olurlu çözümler getirdiği belirtilmiştir.

Öztop, Eliyi, Türsel Eliiyi ve Kandiller (2017) bilindik ekip çizelgeleme problemini araçların ve ekiplerin çizelgelenmesinin aynı anda ele alındığı bir otobüs taşımacılığı firması için gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ele alınan problemin çözümü için TSP temelli bir taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi modellenmiş, hazırlık zamanları problem boyutunu arttırmamak amacı ile dikkate alınmamıştır, yalnızca çalışma zamanlarının hesaplanması yapılmış, görev rotalarının seçiminde daha önceden bir toplam çalışma zamanı üst seviyesi belirlenmesi ile hazırlık zamanlı çalışma zamanlarının belirli bir sınırı aşması engellenmiştir. Gerçekleştirilen sayısal deneylerin sonuçlarının, en fazla 120 görev içeren örnekler için

önerilen algoritmanın optimal çözüme koşum zamanı anlamında tatmin edici şekilde ulaştığı çalışma sonunda belirtilmiştir.

Agustin, Juan ve Pardo (2017)'nın çalışmasında ise ekip çizelgeleme probleminin sadece ekip eşleme parçası ele alınmış, araştırmacılar bu kapsamda bir değişken komşuluk arama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Problem çerçevesinde göz önüne alınan kısıtların gerçek hayat kısıtları olduğu ve öne sürülen yaklaşımın hem gerçek hayat verileri içeren ufak çaplı bir probleme hem de araştırmacılar tarafından üretilen bir örnekler kümesine uygulandığı belirtilmiştir.

Deveci ve Çetin Demirel, 2018 yılında gerçekleştirdikleri çalışmalarında hava taşımacılığında ekip çizelgeleme probleminin yalnızca ilk adımını ele almış, çok bilindik bu problem tipinin en az maliyetle çözüme ulaştırılması için iki farklı GA çeşidini ve GA ile tepe tırmanma yöntemlerinin melezlenmesi ile oluşturulan bir memetik algoritmayı kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, gerçekleştirilen gerçek hayat örneği uygulamalarının öne sürülen memetik algoritmanın kullanılan tüm yöntemler içinde en iyi sonuçları sağladığının görüldüğü belirtilmiştir.

Yakın zamanda ekip çizelgeleme konusunda gerçekleştirilmiş tez çalışmaları incelendiğinde ise, Varol (2001) yüksek lisans tezinde 0-1 HP kullanarak bir askeri hastanenin acil servisinde hizmet vermekte olan asistan doktorlar için ekip çizelgeleme gerçekleştirmiştir. Ulusam Seçkiner (2005) ise doktora tezi çalışmasında iş yükü dengelemeli tur çizelgeleme problemleri olarak ifade ettiği personel çizelgeleme modelini, üç farklı varsayım ile üç farklı çizelgeleme ortamı için modellemiştir. Bu modeller için optimali bilinen ve optimali bilinmeyen test problemleri temelinde, yine tez kapsamında geliştirilen KKO ve TB algoritmaları ile sezgisellerin performansları ölçülmüştür. Çoruhlu (2007) yüksek lisans tezinde yaklaşık dört bin öğrencinin eğitim gördüğü bir yüksek öğretim kurumunda sınav çizelgeleme problemini göz önüne alarak, farklı fiziksel koşullara sahip sınav salonlarına sınav görevlilerinin atanmasını TSP kullanarak gerçekleştirmiştir. Çankaya (2008) ise çalışmasında ekip çizelgeleme probleminin çözümünde literatürde sıkça kullanılan, değişkenlerin dinamik olarak üretildiği bir sütun oluşturma algoritması kullanılmıştır. Ana problem küme kaplama problemi, alt problem ise en kısa yol problemi olarak formüle edilmiştir. Uygun bir çözüm vermeye yetecek sayıda başlangıç eşleştirmesi oluşturulmuş, ana problem ve alt problem iteratif olarak çözülmüştür.

Yapılan literatür araştırmalarına ek olarak bu alt bölüm kapsamında elde edilen veriler ışığında aşağıda görülen özet tabloları ve açıklayıcı şekiller hazırlanmıştır. Çizelge 2.1'de yapılan aramaların sonuçlarına göre yayınların konu başlıklarına göre genel çizelgeleme çalışması yayınları içinde dağılımları sayısal ve yüzdelik olarak görülmektedir. Çizelge 2.2'de ise sadece ekip çizelgeleme probleminin ele alındığı çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemleri ve kullanılma sıklıklarına dair veriler görülmektedir. Çizelge 2.3'te ise tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmasında incelenmiş bulunan çalışmalarda ele alınmış kısıtlar listesi sunulmaktadır. Son olarak Çizelge 2.4'te ise gerçekleştirilen literatür araştırmasında incelenen tüm çalışmaların özet listesi sunulmaktadır.

Çizelge 2.1. Ekip çizelgeleme literatürü yayın verileri incelemesi

Alt başlık	Ekip Çizelgeleme					Proje Çizelgeleme	Şebeke Problemleri	
Uygulama alanı	Otobüs	Havayolu	Tren	Metro	Diğer		Graf Yöntemleri	Küme Kaplama Yöntemi
Yayın sayısı	11	21	9	2	8	4	2	3
Toplam	51					4	5	
Yüzde	71,8					5,6	7	

Çizelge 2.1 (devam) Ekip çizelgeleme literatürü yayın verileri incelemesi

Alt başlık	Araç Çizelgeleme	Bakım Çizelgeleme	Diğer	
Uygulama alanı			Kaynak Çizelgeleme	Diğer
Yayın sayısı	5	3	1	2
Toplam	5	3	3	
Yüzde	7	4,2	4,2	

Çizelge 2.2. Ekip çizelgeleme problemi için kullanılan çözüm yöntemleri

	Yöntemler	Yayın Sayısı
Matematiksel Programlama Yöntemleri	0-1 HP	4
	0-1 TSP	22
	KP	1
Sezgisel Yöntemler	GA	2
	TB	2
	KKO	2
	Diğer	4
	KP ve 0-1 TSP	6
Bütünleşik Yöntemler	TA ve GA	1
	0-1 TSP ve GA	3
	0-1 TSP ve TA	1
	0-1 TSP ve diğer	2
	Dinamik Programlama ve Graf	2
	0-1 TSP ve Graf	2
	KKO, TB ve 0-1 TS	1

Çizelge 2.3. Literatürde mevcut bulunan çalışmalarda ele alınan çeşitli kısıtlar

Kısıt çeşitleri	Kısıt içerikleri
Klasik küme kaplama ya da şebeke optimizasyonu problemi kısıtları	Her ekibin bir işe atanması
	Her personelin bir ekibe atanması
	Olurlu personel kümesi
	Olurlu ekipler kümesi
	Olurlu görevler kümesi
	Her ekibin bir uçuş ile kapsanıyor olması şartı
	Her çalışanın bir ekip ile kapsanıyor olması şartı
	Kaynaktan çıkan ve kaynağa dönen arkların toplamının sıfır olması şartı
	Kaynaktan başlayıp tekrar kaynağa dönme şartı
	Akım denge şartları
Personel ihtiyacı (talep) üst ve alt sınırları	
Atanan personelin ihtiyacı karşılaması şartı	
Personel çalışma saatleri üst ve alt sınırları	
Özel personeller için özel çalışma şartları	Engelli çalışan
	Hamile çalışan
	0-1 yaş arası çocuk sahibi anne
Çalışma ve izin günü kısıtları	
Vardiyalar ile ilgili özel kısıtlar	
Kapasite kullanımı ve kapasite üst ve alt sınırları	
Kaynak kullanımı ve kaynak üst ve alt sınırları	
Mola kullanımı ve mola üst ve alt sınırları	
Tam zamanlı ve yarı zamanlı personele dair farklılık yaratma kısıtları	Çalışma şartları
	Maliyet
	İzin şartları
	Mola şartları
Karar değişkenlerinin sıfır-bir olması şartı	

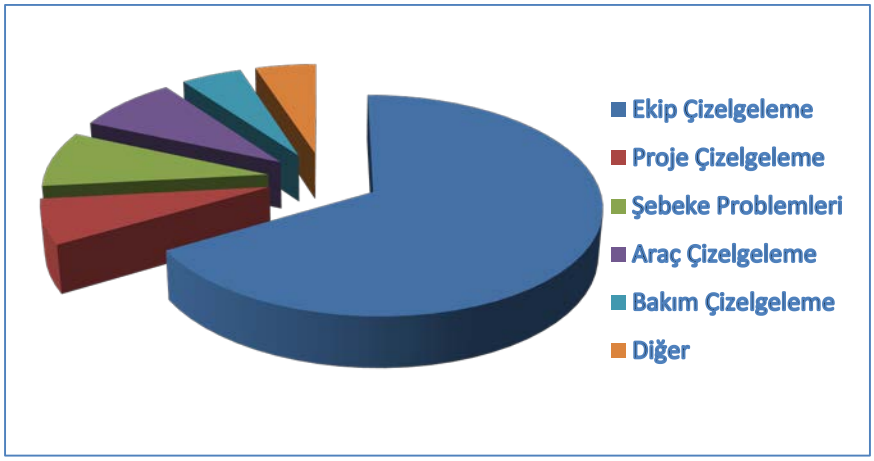
Çizelge 2.4. Tez kapsamında incelenen literatür araştırması yayınları

Çalışma	Çalışma alanı	Kullanılan Yöntem
Ignall ve Walker (1977)	Ambulans ve ambulans ekibi ataması	TSP
	Uçak temizleme ekibi çizelgeleme probleminin	TSP
Darby-Dowman ve Mitra (1985)	Ekip çizelgeleme	0-1 TSP- Küme bölme
Lavoie ve diğerleri (1988)	Havayolu ekip eşleme	Sütun geliştirme
Smith (1988)	Sezgisel algoritmaları birleştirme	0-1 TSP
Smith ve Wren (1988)	Otobüs şoförü atama	0-1 TSP- Küme kaplama
Hong ve diğerleri (1989)	Havayolu yük taşıma ekip ataması	Stokastik matematiksel programlama
Hedge ve Tadikamalla (1990)	Personel atama	Sezgisel (diğer)
Chew (1991)	Personel atama	TSP
Bianco ve diğerleri (1992)	Ekip listeleme	TSP
Caprara ve diğerleri (1997)	Ekip listeleme	0-1 TSP
Vance ve diğerleri (1997)	Ekip çizelgeleme	Doğrusal programlama
Higgins (1998)	Ekip çizelgeleme	Tabu Arama
Moudai ve Mora-Camino (2000)	Ekip listeleme	Bulanık mantık
Lourenco ve diğerleri (2001)	Ekip çizelgeleme	Kısıt programlama ve sütun oluşturma
	Ekip çizelgeleme	TA-GA
Varol (2001)	Lisans tezi – Hemşire çizelgeleme	0-1 HP
Dias ve diğerleri (2002)	Otobüs şoförü atama	GA
Fahle ve diğerleri (2002)	Ekip çizelgeleme	Kısıt programlama
Raffensperger ve Swords (2002)	Uçakların ekip eğitim çizelgelemesi	TSP
Yan ve Tu (2002)	Ekip çizelgeleme	Şebeke programlama
Ulusam Seçkiner (2005)	Doktora tezi – Personel çizelgeleme	TSP
Sherali ve diğerleri (2005)	Ekip yönetimi	Kısıt programlama
Leazun ve diğerleri (2006)	Ekip çizelgelemesi	TSP
Smith ve Johnson (2006)	Ekip ataması	TSP
Çoruhlu (2007)	Yüksek lisans – Asistan atama	TSP
Steinzen ve diğerleri (2007)	Araç ve ekip listeleme	Sezgisel algoritmalar
Vaidyanathan ve diğerleri (2007)	Ekip çizelgeleme	TSP
Chen (2008)	Ekip eşleştirme ve ekip atama	TSP
Çankaya (2008)	Yüksek lisans – Uçuş eşleme	Sütun geliştirme
Yen (2008)	Ekip çizelgeleme	TSP
Çankaya ve Arıkan (2009)	Ekip çizelgeleme	TSP
Kratica ve diğerleri (2009)	Ekip çizelgeleme	GA

Çizelge 2.4. (devam) Tez raporu kapsamında incelenen literatür araştırması yayınları

Çalışma	Çalışma alanı	Kullanılan Yöntem
Wang ve diğerleri (2009)	Ekip çizelgeleme	TSP
Muter ve diğerleri (2013)	Ekip eşleştirme	Sütun oluşturma
Çetin (2011)	Ekip eşleştirme	GA
Mesquita ve diğerleri (2011)	Araç-ekip çizelgeleme	TSP
Jütte ve Thonemann (2012)	Ekip çizelgeleme	TSP
Rasmussen ve diğerleri. (2012)	Ekip çizelgeleme	TSP
Azadeh ve diğerleri (2013)	Ekip çizelgeleme	GA-KKO
Giachetti ve diğerleri (2013)	Ekip çizelgeleme	0-1 HP
Chen ve diğerleri (2013)	Ekip çizelgeleme	TSP
Diaz-Ramirez ve diğerleri (2014)	Ekip çizelgeleme	Sezgisel (diğer)
Hanafi ve Kozan (2014)	Ekip çizelgeleme	TB
Suyabatmaz ve Şahin (2015)	Ekip çizelgeleme	0-1 TSP- Küme kaplama
Maya Duque ve diğerleri (2016)	Ekip çizelgeleme	TSP
Öztop ve diğerleri (2017)	Ekip çizelgeleme	TSP
Agustin ve diğerleri (2017)	Ekip çizelgeleme	Sezgisel (diğer)
Deveci ve Çetin Demirel, 2018	Ekip çizelgeleme	GA-MA

Şekil 2.1'de ise incelenen literatürde ekip çizelgeleme problemlerinin diğer çizelgeleme problemi türlerine kıyaslanmasına dair pasta şeması görülmektedir. Şemadan da kolaylıkla anlaşılmaktadır ki sadece ekip çizelgelemesinin gerçekleştirildiği yayın sayısı diğer tüm türlerin toplamından daha büyük bir orana sahiptir.



Şekil 2.1. Ekip çizelgeleme probleminin genel literatürdeki yeri

3. YÖNTEMLER

Bir TSP, literatürde ekonomik analizler, tedarik süreçleri, lojistik faaliyetler, atama problemleri, üretim planlama faaliyetleri, proje yönetimi ve çok kriterli karar verme problemleri gibi farklı problem tipleri için sıklıkla başvurulan, tüm değişkenlerinin sıfırdan büyük ya da sıfır (non negatif) değer alması gereken bir doğrusal programlama modelleme yöntemidir. TSP modellerinin saf matematiksel programlama yöntemleri ile çözüme ulaştırılması en zor olan matematiksel model tipi olduğu mevcut literatürde pek çok araştırmacı tarafından pek çok farklı çalışmada kanıtlanmıştır.

ED tekniği, önceden belirlenemeyen faktör etkilerinin planlanan durumlarda ortaya çıkma olasılığını ya da bilinen olasılıklar altında söz konusu durumlara getirebilecekleri hesaba katılmamış etki ve bozulma boyutlarının ölçülmesi için kullanılabilecek, güvenilir ve etkin bir çıkarım aracıdır.

Bu bölümde sırası ile TSP ve ED teknikleri açıklanacak, bu tekniklere dair genel bilgiler ve bunlara ait kısa literatür araştırmaları sunulacaktır.

3.1. Tam Sayılı Programlama

Matematiksel programlamada incelenmekte olan problemin tüm boyutlarıyla gerçek ve doğru şekilde yansıtılabilmesi ve aynı zamanda da optimal çözüme ulaştırılabilmesi hedeflenen ana amaçlardır. Bu durum özellikle doğrusal programlama modellerinin kullanılmasını gerektiren problemlerde, büyük boyutlu gerçek hayat uygulamalarını içeren problemin optimal çözümünün zorlaştığı gerçeğini beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte, bazı gerçek hayat problemlerinde, problem değişkenlerinin alacağı değerlerin tamsayı olmasını gerektiren birtakım durumlar da ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, basit bir üretim planlama probleminde dahi ele alınan problem tipinde incelenen ürün birimi ölçülebilir bir sürekliliğe sahip değilse (örneğin “kilogram”, “metre”, “inç”, vb. gibi ölçüler yerine “adet”, “koli”, “palet”, “kişi”, vb. gibi değerlerden teşkil oluyorsa), geliştirilecek olan matematiksel modelde kullanılacak karar değişkenlerinin tam sayılı karakteristikleri göz önüne alınmak zorunda kalınacaktır. Bazı durumlarda ise geliştirilecek matematiksel modelde yer alan değişkenlerin bir kısmı tam sayılı karakteristik gösterirken, bir diğer kısmı

sürekli değişken olarak tanımlanabilmektedir. Bazı durumlarda ise incelenmekte olan problemin karar değişkenleri sadece “evet/hayır”, “uygula/uygulama”, “üret/üretme” gibi sadece iki seçenekten oluşan kararları temsil etmektedir. Bu tip problemlerde karar değişkenleri tam sayılı karakteristik göstermenin yanında sayısal değer olarak sadece “sıfır” ve “bir” değerlerini alabilmektedir, bu durumun da problem kompleksitesini arttırarak matematiksel problemin çözümünü daha da güçleştirmekte olduğu bilinen bir gerçektir.

Problem değişkenlerinin tam sayılı başka bir deyişle kesikli değerler aldığı doğrusal programlama modellerinden teşkil olan matematiksel programlama yöntemine TSP adı verilmektedir (Taha, 2000).

TSP’nin en erken uygulamaları ve TSP’ye ait ilk matematiksel model denemeleri 1950’lerde gerçekleştirilen Gomory, Land ve Doing’e ait çalışmalarda bulunabilir (Milano, 2003). Mevcut literatürde bulunan ilk denemeler içeresinden önemli bir örnek olarak 1958'de Gomory tarafından önemli bir katkı sağlayan çalışmada önerilen model ilk kez TSP olarak adlandırılmış, yine aynı yazarın da içinde bulunduğu farklı çalışmacı grupları tarafından ilerleyen dönemde TSP modellerini çözmek için kullanılabilecek farklı yöntemler öne sürülmüş ve uygulamalarla çeşitli denemelerde bulunulmuştur.

Literatüre Gomory tarafından kazandırılan TSP çalışmalarının yanı sıra; TSP problemine dair ilk çalışmalara örnek olarak Land ve Doing 1960’da tüm TSP modelleri için genel bir sayımlama yöntemi önermiştir. Little, Murty, Sweeney ve Karel 1963’de Doing yöntemini ilk kez gezgin satıcı problemine uygulamışlardır. 1965’de Balas, 0-1 TSP problemi için bir algoritma geliştirmiştir. TSP konu başlığı altındaki diğer erken gelişmeler Glover, Lemke, Spielberg ve Driebeek tarafından sağlanmış ve karma tam sayılı durumlar için farklı algoritmalar geliştirilmiştir (Patır, 2009).

TSP modellerinde, karar değişkenleri tamsayı değerlerine sahipse ise çözüm anlam ifade etmektedir. Örneğin; insan, makine, teçhizat ve araç planlama problemlerinde, karar değişkenlerinin tamsayı olması gerekmektedir. Eğer bir problemin doğrusal programlama formülasyonundan tek farklılığı, tam sayılı değerlerin elde edilmek istenmesi ise, bu durumda TSP probleminden bahsedilebilmektedir (Süre, 2015).

TSP modelleri temelde üç ana alt başlık altında incelenebilir, bu problem tipleri şunlardır; (i) tüm değişkenlerin tamsayı olması gereken saf (tüm) tam sayılı problemler; (ii) değişkenlerin sadece kimisinin tamsayı olması gereken karma tam sayılı problemler ve (iii) tüm değişkenlerin değerinin 0 ya da 1 olması gereken tam sayılı problemler. Genel olarak bir doğrusal TSP modeli matematiksel olarak aşağıda görüldüğü gibi temsil edilebilmektedir;

$$Z\ maks/\min = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \tag{3.1}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij}\, x_i\ [\leq, \geq, =] b_j, \qquad j = 1, 2, \ldots, n \tag{3.2}$$

$$x_i \geq 0, \qquad \exists i\ için\ x_i tamsayı \tag{3.3}$$

Bütünüyle tüm (saf) TSP problemleri karar değişkenlerinin tamamının tam sayılı olmasının istendiği matematiksel modeller ile ifade edilirler. Bu tip problemlere örnek olarak montaj hattından çıkacak araç sayısının, bir çiftlikte bulunan hayvan sayısının ya da üretilen yumurta miktarının, bir torna veya freze tezgâhında islenen parça miktarının, ya da bir işin yapılması için gerekli olan çalışan ya da araç sayılarının bulunmasının hedeflendiği problemler ve pek çok buna benzer problem sıralanabilir. Bu problemlerde ele alınacak olan verilerin tamamı tamsayılarla ifade edilmek zorunda kalınan verilerdir. Bu verileri içeren bir model hazırlanması gerekiyorsa bir bu tüm TSP modeli olmalıdır. Genel olarak bir tüm TSP modeli matematiksel olarak aşağıda görüldüğü temsil edilebilmektedir;

$$Z\ maks/\min = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \tag{3.4}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij}\, x_i\ [\leq, \geq, =] b_j, \qquad j = 1, 2, \ldots, n \tag{3.5}$$

$$x_i \geq 0, \qquad \forall i\ için\ x_i tamsayı \tag{3.6}$$

Karar değişkenlerinden sadece bazılarının tam sayılı olarak ifade edildiği matematiksel modeller ise karma TSP modelleri başlığı altında incelenmektedir. Bu problem tipine örnek

olarak ise aynı anda hem sürekli hem kesikli üretimin yapıldığı fabrikalarda gerçekleştirilecek üretim planlama problemleri, aynı anda araç ve yakıt tüketimlerinin analiz edileceği araç rotalama problemleri, ya da aynı anda antrenör ve çalışma saati atanacak olan sporcuya özel antrenman programı oluşturma problemleri gibi problemler sıralanabilir. Genel bir karma TSP modeli matematiksel olarak aşağıda görüldüğü temsil edilebilmektedir;

$$Z\ maks/\min = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \tag{3.7}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij}\, x_i\ [\leq, \geq, =] b_j, \qquad j = 1, 2, \dots, n \tag{3.8}$$

$$x_i \geq 0, \qquad \exists i\ için\ x_i tamsayı \tag{3.9}$$

Tüm karar değişkenlerinin değerinin "0" ya da "1" olması gereken matematiksel modeller ise 0-1 TSP problemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu tip problemler genellikle seçme ve karar problemleridir. 0-1 TSP problemleri yapıları gereği, tüm TSP problemi tipinin özel bir durumu olarak ortaya çıkmaktadır. Genel bir karma TSP modeli matematiksel olarak aşağıda görüldüğü temsil edilebilmektedir. Verilen matematiksel modellerin yardımı ile ortaya koyulduğu gibi, uygulamada birbirinden farklı alanlarda ihtiyaç duyulan bu üç tip TSP modelinin birbirinden temelde gösterdikleri tek fark karar değişkenlerinin tam sayılı karakteristiklerini uyguladıkları çözüm uzayı yapısıdır.

$$Z\ maks/\min = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \tag{3.10}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij}\, x_i\ [\leq, \geq, =] b_j, \qquad j = 1, 2, \dots, n \tag{3.11}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, & i.karar\ değişkeni\ seçilir\ ise \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \tag{3.12}$$

Ekip çizelgeleme problemleri ise, problemin doğası gereği diğer çizelgeleme problemleri gibi, matematiksel olarak 0-1 TSP modelleri kullanılarak ifade edilirler. Bir ekip çizelgeleme problemi genel olarak literatürde aşağıda görülen matematiksel model ile temsil edilebilmektedir;

$$\text{Min} \sum_{j=1}^{m} \sum_{i \in Aj} c_{ij} x_{ij} \quad (3.13)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i \in Aj} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \in J \quad (3.14)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \left(x_{ij1} + x_{ij2}\right) \leq 1 \qquad \forall j1 \in J,\ j2 \in Oj1 \quad (3.15)$$

$$\sum_{j=1}^{m} d_j x_{ij} \leq LH \qquad \forall i \in I \quad (3.16)$$

$$\sum_{j=1}^{m} t_j x_{ij} \leq LT \qquad \forall i \in I \quad (3.17)$$

Burada, *I*, *n* pilotun kümesi; *J*, söz konusu zaman periyodunda uçulacak *m* rotanın kümesi; A_j, *j* rotasını uçmaya uygun pilotlar kümesi; O_{j1}, j_1 rotası ile örtüşen rotalar kümesidir. x_{ij}, *i* pilotu *j* rotasına atanmışsa 1, diğer durumda 0 değerini alan 0-1 karar değişkenidir. c_{ij}, *i* pilotunun *j* rotasına atanma maliyetidir. Eş. 3.14, her rotanın tek bir ekibe atanmasını sağlamak için, Eş. 3.15 ise aynı ekibin iki örtüşen rotaya birden atanmasını sağlamaktadır. Eş. 3.16 pilotların toplam uçuş süresinin *LH* üst limitini geçmemesini ve Eş. 3.17 her ekip için alınan molaların *LT* üst limitini geçmemesini sağlamaktadır. *LH* ve *LT* üst limitleri havayolundan havayoluna değişkenlik gösterebilen, ancak genel olarak ülke genelinde sivil havacılık mevzuatları ile belirlenen çokluklardır. Havayolları için genel olarak bir ekip çizelgeleme problemi yukarıda görüldüğü gibi modellenebilmektedir, ancak gerek görülmesi durumunda, incelenen problemin yapısına göre bu modele başka kısıtlar eklenmeli, problemin sahip olduğu karmaşık ve çok sayıda metrik bu kısıtlar ile matematiksel modelde özel olarak temsil edilmelidir.

3.1.1. Tam sayılı programlamanın NP-Zor yapısı

Doğrusal programlama modellerinin çözümünde kullanılan simpleks çözüm yöntemi optimal çözümün bulunması için birkaç köşe noktasının değerlendirilmesini yeterli kılarak, olurlu alanı araştırmasını gerektirmemektedir. TSP'de ise optimal sonuca ulaşabilmek için çözüm uzayında bulunan tüm köşe ve olurlu alan içindeki noktaların araştırılması gerekebilmektedir. Küçük bir TSP probleminin dahi çok büyük sayıda olurlu çözümü bulunabilmektedir.

Doğrusal TSP problemlerinin çözümünün zorluğu 1950'lerden beri bilinmektedir. Gomory'nin de işaret ettiği gibi sınırlı sayıda tekrarı olan tam sayılı problemleri çözmek mümkündür fakat gerçek hayatta genelde bu tekrar sayısı sınırlı olmamaktadır (Deniş, 2012). Şimdiye kadar bilinen yöntemlerin hiçbiri, TSP uygulamalarında incelenen matematiksel problemleri simpleks yönteminde olduğu gibi minimumda tutmayı başaramamıştır (Tütek ve Gümüşoğlu, 1994).

Kombinatoryal optimizasyon ayrık çözüm uzayına sahip problemler için optimum çözümü arayan metotlara verilen genel isimdir. Bu metotla amaç fonksiyonunu optimize eden kesikli karar değişkenlerinin değerlerinin bulunması hedeflenmektedir. Gezgin satıcı problemi, en kısa yol problemi, atama problemleri, araç rotalama problemleri gibi pek çok TSP problem tipi bu yapıdaki problemlerdir (Bastı, 2012).

Kombinatoryal problemler çözülmesi kolay ve zor olan iki tür problem yapısını içinde barındırmaktadır. Kolay olanlar P ("polynomial"- "polinomsal") sınıfı, zor olanlar ise NP-Zor ("non-deterministic polynomial-time hard"-"belirleyici olamayan polinom-zor zamanlı) sınıfı olarak gruplandırılmaktadır. Bir problem P sınıfına dahilse, bu problemin optimum çözümüne ulaşılabilirdir. NP-Zor sınıfına giren problemler ise optimum çözümü kabul edilebilir sürede elde edilemeyen problemlerdir. Bu sınıftaki problemler belirli Turing Makinesi ile çokterimli zamanda doğrulanabilirler ve bu şekilde doğrulanabilen her problem NP sınıfındadır. Bu nedenle NP, (belirli Turing Makinesi ile) çokterimli zamanda doğrulanabilen problemlerin sınıfı olarak da tanımlanabilir.

Hesaplama teorisinde, bazı tip problemlerin çözümü için en etkili algoritmaların çalışma süresinin girilen verinin büyüklüğüne bir polinom cinsinden bağlı olduğu bilinmektedir (buna polinomsal zamanda çalışan algoritma adı verilir). Karar problemlerinin bir türü olan P sınıfı problemler bu tip problemlerdir ve bazı algoritmalar kullanılarak, çözüm süresi problem boyutunun polinom fonksiyonu olarak artan bir sürede çözülebilir. Bir örnek verilecek olursa *n* adet düğüme sahip en kısa yol problemi Dijkstra's algoritması ile çözülebilir. Kullanılan Dijkstra's algoritmasının çözüm süresi O(n2) ile sınırlıdır (Cook, 2011). Ya da bir başka örnek olarak, verilen *n* basamaklı bir sayının asal olup olmadığını kontrol etmek için çalışma süresi n^6 mertebesinde bir polinomla hesaplanabilen bir algoritma oluşturulabilir. Dolayısıyla verilen bir sayının asal olup olmadığının araştırılması probleminin de P kategorisinde bir problem olduğu kanıtlanmış olacaktır.

Buna karşılık bir diğer grup problem vardır ki bunlar için, yukarıda da değinilmiş olduğu gibi, sorulan soruya girilen verinin büyüklüğüne polinom mertebesinde bağımlı bir sürede cevap verecek bir algoritma bilinmemektedir. Fakat bu tür bazı problemler için eğer bir şekilde cevabı tahmin edebiliyorsak, tahminimizin doğruluğunu sınamak için veri büyüklüğüne polinom mertebesinde bağımlı sürelerde çalışacak algoritmalar vardır. Bu tür problemler, yani bir tahminin doğruluğunun kontrolü için çalışma süresi verinin büyüklüğüne polinom cinsinden bağımlı bir algoritma olan problemler de NP kategorisini oluştururlar. Örnek olarak verilen *n* basamaklı bir sayının asal çarpanlarının neler olduğu sorusunu düşünebiliriz. Bu sorunun cevabı için bilinen en iyi algoritmanın çalışma süresi *n* sayısına bir polinom cinsinden değil de üstel fonksiyonlar cinsinden (e^n) bağımlıdır (buna "üstel zamanda çalışan algoritma" adı verilmektedir), fakat bu problem için eğer bir şekilde cevabı tahmin edebiliyorsak tahminimizin doğruluğunu sınamak için *n* sayısına polinom mertebesinde bağımlı bir sürede çalışacak bir algoritma bulunabilmektedir. Dolayısıyla bu şekilde, örnek olarak verilen bir *n* basamaklı sayının asal çarpanlarının neler olduğu sorusunun NP kategorisinde olduğu kanıtlanmış olacaktır.

Bir NP-Zor problem ise, en az her bir NP problem kadar zor sürede çözüme ulaşan problemlerin bulunduğu sınıfa ait olan problem tipidir. Bu ifade matematiksel olarak şu şekilde temsil edilebilir;

$$\{H | \forall L \in NP, \quad L \leq p\ H\} \tag{3.18}$$

Burada "$L \leq p$ H" matematiksel ifadesi, *L* probleminin *H* problemine polinomsal (çokterimli) zamanda indirgenebileceği anlamına gelmektedir.

TSP modellerinin formülasyonu, sürekli değişkenli matematiksel modellerin formülasyonuna önemli derecede benzerlik göstermesine rağmen bu benzerlik aldatıcıdır. Bazı ya da tüm değişkenlerin tamsayı olmasını sağlayan bazı kısıtların eklenmesi, hesaplama bakımından tam sayılı problemleri daha zor hale getirir. Tam sayılı problemlerin bir kısmı zor optimizasyon problemleri sınıfında yer alır ve çoğu TSP modelleri ise NP-Zor sınıfına aittir. (Bakır ve Altunkaynak, 2003). Genel doğrusal programlama modelleri polinomsal (değişkenlerin katsayılarıyla çarpılıp toplanarak sonucun bulunması) zamanda çözülebilirken, aynı formülasyonun tamsayı çözümünü bulmak için üstel hesaplama süreleri gerekmektedir (Deniş, 2012). NP-Zor türü problemlerin çözümü için polinom süreli bir

algoritma yoktur. Bu tür problemlerin özelliği problemin çözüm süresinin problem boyutuna bağlı olarak üstel şekilde artmasıdır. Dolayısıyla bu sınıfa giren problemlerin kesin çözümünün bulunması hayli zordur. Kuadratik atama, araç rotalama ve ekip çizelgeleme gibi TSP problemleri NP-Zor sınıfına giren bu tip problemlere örnek olarak verilebilir (Bastı, 2012).

Tam sayılı doğrusal programlamada, tam sayılı değişkenlerin sayısı, hesaplamaları etkileyen önemli bir faktördür. Değişken sayısının fazlalaştığı durumlarda, örneğin; değişken sayısının 100 olduğu 0-1 TSP probleminin çözümünde 2100 adet alternatif söz konusu olacaktır ve bunu bir bilgisayarın çözmesi dahi oldukça uzun bir çözüm zamanı gerektirecektir (Bakır ve Altunkaynak, 2003). Dolayısıyla, problemdeki tam sayılı değişken sayısını azaltmak hesaplama açısından avantajdır. Bütün bunların yanında, bazı durumlarda ele alınan problem yapısından kaynakla, karar değişkenlerinin tam sayılı karakteristiğinin göz ardı edilemediği ya da esnetilemediği görülmektedir. TSP problemlerinde uygun çözüm bölgesi ne sürekli ne de konvekstir. Ayrıca, incelenmekte olan problemin uygun çözüm noktaları, çözüm alanının uç noktalarına hatta bölgenin sınırları üzerine düşmeyebilir. Bu nedenle uç noktalarda çözüm arayan doğrusal programlama algoritmaları TSP problemleri için direkt olarak uygulanamamaktadır (Güler, 2008). Bunlar gibi durumlarda ise günümüzdeki bilgisayar programlarının TSP problemlerinin çözülmesi için yapılan hesaplamalara önemli katkıları bulunmaktadır (Özder, 2009).

3.1.2. Tam sayılı programlama çözüm algoritmaları

TSP modelini çözmek için, doğrusal programlama modelinin çözümünde olduğu gibi genel bir teknik yoktur (Varol, 2001). TSP problemlerinin çözümü için literatüre sunulmuş pek çok farklı çözüm algoritmaları bulunmaktadır. TSP algoritmaları, doğrusal programlamanın başarılı sonuçlar veren hesap yöntemlerinden yararlanmak üzerine inşa edilmişlerdir. Bu algoritmaların çözüm stratejileri en basit olarak üç adıma açıklanabilmektedir (Taha, 2000):

Adım 1. Herhangi bir 0-1 tam sayılı değişken 0 ile 1 sürekli kapalı aralığında değerler alacak şekilde değiştirip, bütün tam sayılı değişkenlerle ilgili tamsayı olma kısıtları da kaldırarak TSP çözüm uzayı gevşetilir. Böylelikle incelenen TSP normal bir doğrusal programlama problemi haline getirilmiş olur.
Adım 2. Doğrusal programlama problemi çözülerek sürekli optimum belirlenir.

Adım 3. Sürekli optimumdan başlanarak tekrarlı bir şekilde özel kısıtlar eklenen çözüm uzayında gerekli düzeltmeler gerçekleştirilir. Böylelikle, tamsayı olma gereksinimlerini de karşılayacak bir optimum uç noktaya ulaşılacaktır.

Burada, üçüncü adımda ifade edilen özel kısıtları oluşturabilmek için genel olarak iki yöntem kullanılmaktadır; (i) Dal ve sınır yöntemi, (ii) Kesme düzlemi yöntemi. Bahsi edilen bu iki yöntemden hiçbirinin TSP problemlerini çözmede sürekli olarak daha iyi sonuç verdiği söylenemese de yapılan literatür araştırmaları dal ve sınır yönteminin kesme düzlemi yöntemine göre çoğunlukla daha başarılı olduğunu göstermektedir (Taha, 2000). Bunların yanında, Yuvarlama algoritması ve 0-1 saklı sayma (ekleme) algoritması da TSP çözüm algoritmaları içinde uygulanmasına sıklıkla rastlanan diğer algoritmalar olarak gösterilebilmektedir.

Dal ve sınır yöntemi çözüm algoritması, ele alınan problemin tamsayı koşulu göz ardı edilerek çözülmesinin ardından, tamsayı olması istenen fakat tamsayı olarak elde edilemeyen değişkenler için uygun çözüm alanının parçalanması ve alt parçalarda optimum tamsayı çözümünün aranması yaklaşımını benimsemektedir. Bu algoritmada ilk olarak ele alınan TSP problemi karar değişkenlerinin tamsayı olma kısıtları göz ardı edilerek çözülür. Eğer elde edilen optimum çözüm tam sayılı bir çözüm ise, bu çözüm aynı zamanda tam sayılı probleminde çözümü olacaktır. Eğer çözüm tam sayılı olarak elde edilemedi ise, parçalanan çözüm uzayı içerisinde oluşturulan alt problemlerin en iyileri arasından, tüm problemin optimum noktasının seçilmesi için, verilen amaç fonksiyonunun durumuna göre, önceden belirlenen bir üst sınır veya alt sınır değeri referans kabul edilmektedir. Örneğin bir maksimizasyon problemi için, karar değişkenlerini kısıtlayan bir tamsayı olma koşulu olmadığı durumda elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değeri üst sınır, problemin uygun çözüm alanından alınan bir başka değer alt sınır kabul edilerek işlemlere başlanılmaktadır. İzleyen adımlarda tam sayılı bir çözüm bulundukça, mevcut alt sınır değerinden büyükse alt sınır güncellenerek, üst sınıra yaklaşılmaya çalışılmaktadır (Süre, 2015). Dal ve sınır algoritması ile minimizasyon türündeki bir problemin çözümünde ise, ortak dal ve sınır algoritması başlangıç adımlarından sonra ise sırası ile elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değeri alt sınır, problemin uygun çözüm alanından alınan bir başka ve alt sınır değerine en yakın bir değer ise üst sınır kabul edilerek işlemlere başlanılmaktadır, ve sonuçta tam sayılı olmayan değişkenin (birden fazla ise herhangi birisinin) uygulanan bu yeni ek kısıtlarla uygun çözüm alanı daraltılarak problemin tam sayılı çözümleri araştırılır (Sağır, 2013).

Dal ve sınır algoritması kombinetoryal (tümleşik) problemlerin çözümünde en sık kullanılan yöntemlerden biridir ve literatürde ilk olarak gezgin satıcı probleminde uygulanmıştır. Bu yöntemde, çözüm zamanları farklı veri setlerine göre önemli derecede değişkenlik gösterir. Dallanan değişken ile sınırlama yaklaşımının seçimi algoritmanın performansını önemli derecede etkiler. Ancak şu belirtilmelidir ki, dal ve sınır tekniği ile çizelgeleme problemlerinin çözümü, problem boyutu arttıkça zorlaşmaktadır (Eren, 2004).

Dal ve sınır algoritmasında olduğu gibi, Kesme düzlemi algoritması da sürekli bir doğrusal programlama probleminin optimum çözümü ile başlatılır. Diğer algoritmalardan farklı olarak, Kesme düzlemi algoritmasına özel çözüm işleminde bu noktadan sonra dallanma ve sınırlama yerine, "kesme" adı verilen özel kısıtlar artarda oluşturularak çözüm uzayının düzenlenmesi yoluna gidilir. Bu işlemler hem grafiksel olarak hem de cebirsel olarak uygulanabilecek niteliktedir.

Kesme düzlemi algoritması, grafiksel uygulamada optimum çözümün tam sayılı bir uç noktada meydana gelmesi için her adımda kesmeler ekleyerek çözüm uzayının yeniden düzenlenmesi şeklinde ilerletilir. Eklenen kesmeler, orijinal uygun tamsayı noktalarının herhangi birini elimine etmez, ama bu kesmeler en az bir tane uygun ya da uygun olmayan tamsayı noktasından geçmelidir. Bunlar, herhangi bir kesme için temel gerekliliklerdir. Genel olarak ele alınan problemlerin çözümünde, birkaç (sonlu sayıda) kesme ile tam sayılı uç noktaya ulaşılarak istenen sonuç sağlanabilmektedir (Taha, 2000).

Kesmelerin cebirsel olarak oluşturulmasında ise, incelenen TSP probleminin sürekli doğrusal programlama çözümünden elde edilen tabloda bulunan tam sayılı olmayan temel değişken satırlarından biri kaynak satır olarak seçilir. İstenilen kesme, bu kaynak satırın kesirli bileşenlerinden oluşturulur, bu nedenle de bu işleme kesirli kesme işlemi adı verilmektedir. Kesirli kesmenin oluşturulması için, tamsayı olmayan katsayıların her biri tam sayılı ve kesirli kısımlarına ayrılır, burada kesirli kısmın daima pozitif olması hususuna dikkat edilmelidir. Bu şekilde hazırlanan kesmelerin optimum tabloya eklenmesi, sonuçta beliren optimum uç noktayı tam sayılı kısıtların tatminine doğru hareket ettirerek gerek duyulan iterasyon sayısı sonucunda incelenmekte olan TSP problemini optimum tam sayılı sonuca ulaştıracaktır (Taha, 2000).

Kesme düzlemi çözüm algoritması, TSP'nin gelişimine sağladığı katkı açısından çok önemlidir. Bu algoritmanın uygulanmasında avantaj sayılabilecek bir nokta, ihtiyaç duyulan kesme sayısının problem boyutlarından bağımsız olmasıdır; az sayıda değişkene ve kısıta sahip olan problemlerin kimi zaman büyük boyutlu problemlerden daha fazla sayıda kesmeye gereksinim duyabildiği görülmektedir (Taha, 2000). Ancak bu algoritma, karma tam sayılı ve saf tam sayılı modeller için ayrı ayrı uygulanmak durumundadır, ayrıca algoritmanın yürütülmesinde her bir kesme düzlemi eklenmesinin işlem yüküne karşılık, dal ve sınır algoritması ile 0-1 model için geliştirilen 0-1 saklı sayma (ekleme) algoritması, işlem kolaylıkları ve her türlü modele doğrudan uygulanabilirlikleriyle daha kullanışlı çözüm algoritmaları olarak kabul edilmektedir (Varol, 2001).

0-1 saklı sayma (ekleme) algoritması olarak anılmakta olan ilk özel 0-1 TSP algoritması, dal ve sınır algoritmasının geliştirilmesinden yaklaşık olarak yedi yıl sonra, 1965 yılında Balas tarafından ortaya atılmıştır. Algoritma ilk zamanlarda, bir doğrusal programlama problemi modelinin çözülmesini gerektirmemesi ve temel hesaplarda sadece basit toplama ve çıkarmalardan ibaret olması nedeni ile genel dal ve sınır algoritmasıyla ilişkilendirilmemiştir. Ancak, kısa süre sonra iki algoritma arasındaki ilişki bazı araştırmacılarca ortaya çıkarılmış ve 0-1 saklı sayma (ekleme) algoritmasının dal ve sınır algoritmasının özel bir hali olduğu yöneylem çevrelerince kabul görmüştür (Taha, 2000). Bahsi geçen bu algoritmadaki sezgisel kavrayışın yapısı gereği, 0-1 değişkenlere sahip matematiksel modelleme problemi amaç fonksiyonunun tüm değişken katsayıları negatif olmama koşuluna uyan bir minimizasyon olması ve kısıtların tümünün, gerekirse sağ taraf değerleri negatifleştirilerek, (≤) tipinde olması gereksinimlerini karşılamaya uygun bir biçimde modellenmelidir.

Dal ve sınır algoritmasında olduğu gibi, 0-1 saklı sayma algoritmasındaki dallanma da bir dallanma değişkeninin kullanımını esas almaktadır. İki dallanma arasındaki fark ise, burada dallanma değişkeninin 0-1 tam sayılı değişken olması nedeniyle yalnızca 0 veya 1 değerlerini alabileceği kesin eşitliklerden ileri gelmektedir. Sınırlandırmanın ele alınışı da iyi bir tam sayılı çözüm amaç fonksiyonunun minimum değerine bir üst sınır getirmelidir düşüncesi bakımından dal ve sınır algoritmasındakinin aynısıdır. Bu çözüm algoritmasında da alt problemlerin incelenmesi üç şekilde sonuçlanabilir; (i) alt problem uygun bir çözüme yol açmaz, (ii) alt problem daha iyi bir üst sınır bulamaz ve (iii) alt problem uygun bir tam sayılı çözüm bulur. Görüldüğü gibi bu kurallar dal ve sınır algoritmasında uygulanan

kurallar ile aynıdır. Buradaki ana fark, doğrusal programlama modellerin çözülmemesi, bunun yerine sezgisel yaklaşım kullanılarak hesaplama yapılması ile sonuç üretilmesidir (Taha, 2003).

TSP çözüm algoritmaları literatüründe bulunan diğer bir yaklaşım ise TSP'ye göre modellenmiş bir problemi tamsayı kısıtsız çözmektir (Yuvarlama algoritması). Bu yaklaşım, matematiksel modelin tamsayı koşulu göz ardı edilerek optimum çözümünün bulunmasına ve daha sonra bu çözümün tamsayı olarak elde edilememesi halinde, tamsayı değeri elde edilmeyen değişkenlerin değerlerinin en yakın tamsayılara yuvarlanmasına ve diğer değişkenlerle birlikte olası tüm kombinasyonların bu şekilde aday birer çözüm gibi irdelenmeleri yaklaşımına dayanmaktadır (Sağır, 2013). Böylece mevcut doğrusal programlama algoritmalarının kullanımı mümkün olur. Bu algoritmalar aşırı hafızaya ihtiyaç duymaksızın büyük boyutlu problemleri çözebilir. Ancak bu tür bir yaklaşımın dezavantajı tamsayı olmayan çözümlerin sonuç elde etmek için en yakın tamsayıya yuvarlatılmak zorunda kalınmasıdır. Literatürde mevcut bulunan pek çok çalışmada, en iyi çözümlerle karşılaştırıldığında bu yuvarlamanın daha kötü çözümlere yol açtığı gösterilmiştir (Eren, 2004).

TSP üzerinde bu kadar çalışma ve yaklaşımlara rağmen çok az sayıda tam sayılı değişkeni olduğu halde, makul bir zamanda çözümüne erişilemeyen problemler vardır. Algoritmaların sonlu oluşu tartışmalıdır ve bunlar üstel sürelidirler (Varol, 2001).

Son yıllarda sıklıkla incelenen bir araştırma konusu olmasına rağmen, TSP hesaplama yöntemlerinde tatmin edici bir gelişme sağlanamamıştır. Günümüzde de TSP modellerini tam olarak çözen bir bilgisayar yazılımı bulunmamaktadır (Taha, 2000).

3.2. Etki Diyagramları

Mevcut ekip çizelgeleme literatüründe bulunan çalışmalar incelendiğinde, elde edilen çizelgeler üzerinde sonradan yapılan düzeltme çalışmaları ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu (Moudai ve Mora-Camino, 2000; Muter ve diğerleri, 2013), ancak oluşturulan çizelgelerin ne gibi nedenlerle ve nasıl bozulduğunun araştırılmadığı görülmektedir. Literatürde hazır bulunan çalışmalar üzerinde gerçekleştirilen geniş inceleme göstermiştir ki, genel olarak tüm mevcut çalışmalarda çizelgelerin oluşturulması esnasında klasik kısıtların yanında iş gören tatmini veya firmaların özel istekleri gibi ek kısıtlar göz önüne alınırken, beklenmeyen çalışan yokluklarının ve bunların neden olduğu çizelge bozulmalarının bu araştırmalarda incelenmemiştir (Chen, 2008; Higgins, 1998; Mesquita ve diğerleri, 2011; Muter ve diğerleri, 2013; Steinzen ve diğerleri, 2007). Çizelge bozulması riski, yalnızca hizmet sektöründe değil her faaliyet alanında büyük sorun teşkil etmektedir.

Çalışan yokluklarının daha önceden belirlenememesi durumunda yaşanabilecek olumsuzluklar çizelge bozulmaları ve bunların doğuracağı gecikmeler, ayrıca ek olarak gecikmelere bağlı maliyet artışı ile bu olumsuzlukların yol açacağı müşteri memnuniyetsizliği, marka prestijinin zarar görmesi, çalışan problemleri gibi pek çok soruna neden olacağı aşikârdır. Ortaya çıkacak olan bu sorunların yanı sıra, karşılaşılan bu olumsuz durumu süspanse etmek için hayata geçirilecek fazla mesai, fason üretim, gecikmeli süreçlerin üçüncü ve dördüncü partilere taşere edilmesi, ya da fazladan kiralama uygulamaları ise firmalara fazladan maliyet getirirken, etkinlikten uzak, çalışan motivasyonunun düşüşüne ve çalışan hoşnutsuzluğuna yol açacak anlık çözümler olmaktan öteye gidemeyecektir.

Dolayısıyla bu riskin nedenlerinin, olay henüz gerçekleşmeden ortaya koyulması ve bu ana nedenlerin olayın gerçekleşmesindeki katkılarının bilinmesi ile bu verilerin kurulacak olan matematiksel modellerde ele alınarak, yokluk değerlerinin önceden hesaba katılmış olduğu çizelgelerin oluşturulmasının hem çalışan hem de firmalar açısından daha faydalı olacağı hesaplanmaktadır.

Bu sebeplerle gerçekleştirilen bu doktora tezi çalışmasında, çizelgelemeyi etkileyen insani faktörlerin incelenmesi kapsamında, çalışan yokluğuna bağlı çizelge bozulmalarının ve bunlara dair nedenlerin incelenebilmesi bağlamında ED yönteminden faydalanılmıştır.

ED'ler hakkında literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır, bu risk analizi ya da bir diğer adıyla Bayes Ağı (BA) yöntemi çok sayıda farklı uygulama alanında başarılı olarak kullanılmıştır. Ancak mevcut literatür incelendiğinde 1980'li yıllara kadar ne olduğu, nasıl uygulanması gerektiği ve çalışma mantığı ile prensiplerinin nasıl oluştuğuna dair akılcı, tüm sorulara yanıt veren, derin bir çalışmaya rastlanamamıştır (Horvitz, Breese ve Hennion, 1988).

ED gösterimi, karmaşık karar analizi problemlerinin yapılandırılmasında ve ele alınmasında çok başarılı bir grafiksel analiz yöntemidir (Ndilikilikesha, 1994). Bu kapsamda, ED yönteminin ayrıntılı olarak incelenebilmesi için ilk olarak karar analizi kavramının kısaca açıklanması faydalı olacaktır.

Karar analizi, özellikle büyük firmalarda yaygın olarak uygulanmaktadır ve oldukça geniş ve karmaşık bir konudur (Deboys, 2004). Karar analizi kavramı 18. yy. içerisinde ortaya çıkmıştır. Bayes ve de Moivne, diğer araştırmacılardan farklı olarak, belirsizliğin istatistiksel soruları üzerinde çalışmış ve bu konudaki farklı yaklaşımlarının yanında olasılık teorisinin temellerini de atmışlardır (de Moivre, 2000). Bu zamanlarda İsviçre'de sıvı mekaniği üzerin de çalışmakta olan Bernoulli (1713) de kararların analiz edilebileceği bir temel kurmakta yardımcı olmuştur (Deboys, 2004). Bir başka matematiksel yaklaşım von Neumann ve Morgenstern (1944) tarafından oyun teorisi isimli çalışmaların da öne sürülmüştür. Bugün karar analizinde hala kullanılmakta olan bazı aksiyomlar oluşturulmuşlardır ve dolayısıyla hala kendi adetleri anılan bazı temel kavramlar vardır; von Neumann ve Morgenstern kullanım fonksiyonları gibi (Deboys, 2004).

Karar analizi ile ilgili bazı temel kavramlara dair tanımların yapılması bu kavramın anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Genel bir tanımlamaya göre "karar" arzu edilen bir hedefin gerçekleştirilmesi amacıyla kaynakların bilinçli ve geri alınamaz biçimde atanmasıdır (Deboys, 2004). "Karar analizi" ise, bir karar probleminin biçimsel gösterimini, değer taşıyan sonuçlar getiren analizinin yapılmasını ve belirlenen alternatiflerin önerilmesini içeren bir süreç olarak tanımlanabilmektedir. Bir "karar modeli" ise, bir problemi başkalarıyla paylaşmaya ve değerlendirmeye yardımcı olan bir araç olarak tanımlanacaktır (Deboys, 2004). Literatürde karar analizi problemleri iki ana sınıfta incelenmektedir; (i) belirsizliklerin büyük rol oynadığı sıralı kararlar ve (ii) bir grup alternatifin (olasılıkla çelişen hedefler) karşılaştırıldığı bir kerelik kararlar.

Mevcut literatürde iki farklı karar modeli tipi sıklıkla göze çarpmaktadır; deterministik karar modelleri ve olasılıklı karar modelleri. Deterministik modellerde, iyi bir karar yalnızca çıktısı ile değerlendirilir ve parametreler kesin olarak bilinmektedir. Örneğin, bir deterministik model ile en az taşıma maliyeti ile bir deponun nerede konumlandırılacağına karar verilebilir. Ancak kararlar genellikle çıktı hakkında belirsizlik bulunan durumlarda verilir ve bu durumda olasılıklar tanımlayarak, tam bilgiye sahip olmama sorununu aşmak gerekebilmektedir.

Olasılıklı modellerde ise her kararın taşıdığı risk çıktı kadar önemlidir ve bu riskler olasılıklarla tanımlanmaktadır. Kontrol edilemeyen olayların olasılıklarını hesaplamak için kullanılan, belirsizliği ölçmeye ve hesaplamaya yarayan pek çok istatistiksel yöntem bulunmaktadır (Deboys, 2004).

Genellikle, olasılıkların doğru olduğundan tam olarak emin olamayız, ancak iyi bir olasılık ölçümü duruma ilişkin tüm bilgiyi hesaba katarak ve kişisel yargılar ile uzman bilgisini birleştirebilmektedir. Her birey verileri işleyip farklı sonuçlar elde edecek. Başka bir deyişle herkes problemi kendi kişisel inançları, deneyimleri ve bilgisi temelinde sübjektif olasılığında değerlendirmeye yatkındır (Deboys, 2004).

"Çıktı", gerçekte gerçekleşen şeydir. Çıktının karar vericinin seçimlerine bağımlı olduğu açıktır. Şu bilinmelidir ki, karar analizi seçeneklerin incelenmesini sağlar ancak iyi bir çıktıyı garanti etmez. (Deboys, 2004).

Bu bilgiler ışığında, karar analizi açısından bir tanımlama yapılacak olursa, bir ED, kararların nasıl alındığını, belirsizliklerin kararları nasıl etkilediğini ve çıktının bundan nasıl etkilendiğini gösterir, ancak bunları sıralı olarak göstermez.

Herhangi bir tip karar diyagramı kullanıcıya biçimsel iletişim kurma avantajı sağlamaktadır. Bir problemin hızlıca çizilmiş bir grafiksel gösterimi dahi problemin algılanmasında büyük fayda gösterecektir (Deboys, 2004). Bir karar analizi problemine ilişkin bir ED'nin formüle edilmesi, ED uygulamasının en önemli ve en zor kısmıdır (Bai ve Qian, 2010).

Bir karar ağacında, tepeden tırnağa tüm düğümlerin içerildiği yola, bir "senaryo" denir. Bir karar probleminde, problemin karar ağacı gösterimindeki senaryolarının sayısı, tüm şans ve

karar değişkenlerin durum uzayının kartezyen çarpımın eleman sayısından küçükse o karar problemine "asimetrik", eşitse "simetrik" denir. Her tekniğin farklı bir asimetrik kodlanma yolu vardır; karar ağaçları asimetriyi senaryolar ile kodlamaktadır. ED'ler ise asimetriyi dağıtım ağaçları adı verilen şekilsel yapılar ile kodlarlar (Bielza ve Shenoy, 1999).

Bir ED'nin biçimsel tanımı yapılacak olursa; bir ED elemanları aşağıdaki gibi olan bir $I=(G,P)$ çiftidir (Ndilikilikesha, 1994);

$G=(N,A)$bir yönlü çevrimsiz graftır, şöyle ki $N=CUDU\{V\}$ ve aşağıdaki koşullar sağlanırken;
V değer düğümünü takip eden hiçbir düğüm yoktur;
G'nin içinde sadece ve tüm karar düğümlerinden oluşan yönlü bir yol vardır;
Bir karar düğümünden direk ulaşılan önceki düğümler, tüm bundan sonraki karar düğümünden de direk ulaşılan önceki düğümlerdir.

$P = \{P_i\} i \in C \cup \{V\}$ P_i koşullu olasılıklar $\hat{P}=(x_i|x_{\prod}(i))$ ailesinin bir toplamıdır, her $X_{\prod(i)}$ yapılandırması için bir dağılım olmak üzere, sadece şans düğümlerinden oluşan bir ED'ye BA adı verilmektedir.

Burada; X_i, i düğümüne ilişkin değişken; C, şans düğümleri kümesi; D, karar düğümleri kümesi; V, değer düğümüdür (tek bir değer düğümü vardır). Ayrıca yukarıda belirtilen BA olma şartlarından ilki hesaplamada kolaylık sağlarken, ikinci şart ise tek karar verici özelliği olarak bilinir ve kararların bir kronolojik sırada alındığını göstermektedir. Üçüncü şart ise unutmama özelliğidir ve bir karar anında elde edilen bilginin, tüm sonraki kararlar anında da bilinmekte olduğu varsayımıdır (Ndilikilikesha, 1994).

ED tekniği BA hakkında bilgi sahibi olunduğunda daha iyi anlaşılabilir. Dolayısıyla takip eden alt bölümde BA ve Bayes Teoremi hakkında bazı tanım ve kavramlara yer verilmiştir.

3.2.1. Etki Diyagramı tekniği ile ilgili kavramlar

ED'ler, 1970'lerin sonlarında belirsizlik altındaki karmaşık karar problemlerini yapılandırmak ve ele almak için bir araç olarak geliştirilmiştir. Daha sonraları, optimal

stratejilerin hesaplanması için etkin bir yöntem olabilecekleri görülmüştür (Ndilikilikesha, 1994).

ED, karar temelini temsil eden bir grafiksel bilgi betimlemesi dilidir (Howard ve Matheson, 1981; Ohnsted, 1983; Owens, 1978). Başka bir tanımla ED, ilgi miktarını ya da ifadelerini temsil eden düğümleri (örneğin alternatifler, durumlar) ve düğümler arasında etkileşimi temsil eden arkları içeren döngüsüz yönlü graftır (Horvitz ve diğerleri, 1988).

ED konusunda graf teorisi önemli bir yer tutmaktadır. İlk olarak, bir ED bir yönlü çevrimsiz graftan oluşur. İkincisi, ED'lerin çözümünde kullanılan algoritmalar ağırlıkla graf özelliklerine dayanır. Bu nedenle temel graf teorisi bilgisine sahip olunmalıdır (Ndilikilikesha, 1994).

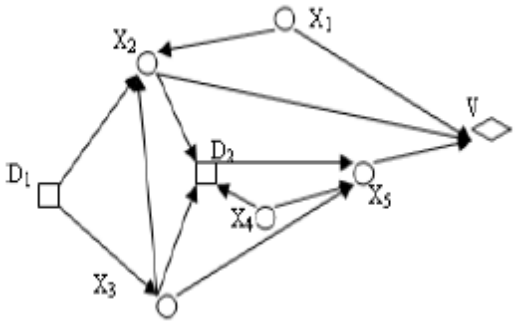
Bir ED, belirsizlik altında bir karar probleminin nitel ve nicel olmak üzere iki seviyede hiyerarşik gösterimidir. Nitel seviyede, düğümlerin problem değişkenlerini, arkların ise bu değişkenler arasındaki bağımsızlık ve bilgi ilişkisini temsil ettiği bir yönlü çevrimsiz graf bulunmaktadır (Ndilikilikesha, 1994).

Koşullu olasılıkların kullanılması sayesinde, ED'lerde sadece ebeveyn düğümlere ilişkin olasılıkların gösterilmesine ihtiyaç duyulur. Bu durum, modelleme sürecini farklı değişkenler arasındaki ilişkilerin tüm olasılık dağılımlarını tek düğümle göstererek basitleştirmektedir (Cai, Sun, Si ve Wang, 2012).

Koşullu olasılık; P(A=a|B=b) olarak gösterilen "*B*", "*b*" durumundayken "*A*"nın "*a*" durumunda olma olasılığıdır. P(A|B), P(a|b) koşullu olasılıklarının her bir *A* ve *B* durum kombinasyonu için bir adet tablo temsil eder (Jensen ve Nielsen, 2011).

ED'ler belirsiz bilgiyi modellemede çok kuvvetli araçlardır ve ED çıktıları oldukça değerlidir. ED'ler yapıları gereği verdikleri sonuçları doğrulayacak açıklamaları da otomatik olarak sonuç ile birlikte verirler. Tersine bir düşünceyle, son karar sonuçlarının elde olduğunu düşünürsek, ED'ler ile bu sonuçlara uyan olasılık profillerinin oluşturabileceği görülebilmektedir (Bielza ve diğerleri, 2011).

Howard (1990)'a göre ED'lerden başka hiçbir teknik onlar gibi uygulamada kapsamlı, çıkarımda usta ya da hesaplamada kuvvetli değildir (Heger ve White, 1997). ED'ler literatürde "ilişki diyagramı" olarak da adlandırılmaktadır. ED modellemede amaç, en yüksek beklenen kazancı getirecek karar alternatifini seçmektir (Prenchaiswadi ve Jongsawat, 2011).



Şekil 3.1. Yeni ürün geliştirme kararın verilmesi için bir ED

Şekil 3.1'de yeni ürün geliştirme süreci için oluşturulmuş basit bir ED yapısı görülmektedir. Burada geliştirme karar düğümü D_1, fiyat karar düğümü D_2, teknoloji gelişimi şans düğümü X_1, gelişim durumları X_2, yeni ürünlerin performansları X_3, malzeme ihtiyacı koşulları X_4, pazarlama X_5 ve karar kullanımını temsil eden değer düğümü ise *V*'dir. (Bai ve Qian, 2010). ED'lerin içerdiği bileşenler takip eden alt başlıkta daha ayrıntılı anlatılacaktır.

Bayes Teoremi ve Bayes Ağları

Bayes teoremi, olasılık kuramı içinde incelenen önemli bir konudur. Bu teorem bir rassal değişken için olasılık dağılımı içinde koşullu olasılıklar ile marjinal olasılıklar arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekli ile Bayes teoremi bütün istatistikçiler için kabul edilir bir ilişkiyi açıklar. Felsefi temelde olasılık değerlerinin nesnesel bir özellik değil, gözlemcinin meydana çıkardığı sübjektif bir değer olarak kabul eden sübjektivist olasılık düşünürlerine göre Bayes teoremi, yeni kanıtlar ışığında olasılık değeri hakkındaki sübjektif inanışların güncelleştirilip değiştirilmesini sağlayan temel bir gereçtir; yani sonsal bir yaklaşımın temelidir.

Olasılık teorisine göre, *B* olayına koşullu bir *A* olayı (yani *B* olayının bilindiği halde *A* olayı) için olasılık değeri, *A* olayına koşullu olarak *B* olayı (yani *A* olayı bilindiği haldeki *B* olayı)

için olasılık değerinden farklıdır. Ancak bu iki birbirine ters koşulluluk arasında çok belirli bir ilişki vardır ve bu ilişkiye Bayes Teoremi denilmektedir.

BA, bir durumun ortaya çıkmasına yol açan faktörler ile o durum arasında ilişki kurmak için kullanılan istatistiksel bir modeldir. BA'lar, rassal değişkenleri temsil eden düğümler ve bu değişkenler arasındaki neden sonuç ilişkisini temsil eden arklardan oluşurlar. Aşağıda yer alan adımları izleyerek bir BA oluşturmak mümkündür (Operasyonel Risk Çalışma Grubu, 2006):

- Öncelikle ağ topolojisi oluşturulmalıdır. Diğer bir deyişle, uzman görüşlerinden faydalanılarak değişkenler ve bu değişkenler arasında neden-sonuç ilişkisi belirlenmeli ve bir operayonel kayıp modeli oluşturulmalıdır. Ağ topolojisi, uzmanların ilgili operasyonel riskin oluşum sürecini nasıl yorumladığını yansıtır, dolayısıyla ağ topolojisini oluşturmanın tek bir yolu yoktur.
- BA'da yer alan "başlangıç düğümleri"nin tümü için olasılık dağılımı saptanmalıdır. Ayrıca hedef düğümlerinin başlangıç düğümlerine bağlı koşullu olasılık dağılımları saptanmalıdır. Söz konusu olasılık dağılımları, parametreler hakkında sahip olunan ön bilgiler ışığında oluşturulur. Bu olasılık dağılımlarının oluşturulmasının ardından, bu dağılımlar kullanılarak hedef düğümlerinin olasılık dağılımları hesaplanabilir.
- Operasyonel risklerin daha etkin yönetilmesi için, oluşturulan bir BA karar ve fayda düğümleri eklenerek geliştirilebilir. Bu sayede, hedef düğümünde yer alan bir operasyonel riskin azaltılması için uygulanacak kontrolün maliyetinin, sağladığı yarardan daha düşük olup olmadığı belirlenebilir.

Bayes teoremi; bir birleşik olayın olasılığını, koşullu olasılığa bağlayan olasılığın son önermesinden (aksiyom) sonuç çıkarmaktadır (Bayes, 1958). Bir H hipotezini E ispatına ilişkilendiren teoremin, standart formda yazılışı şu şekildedir (Horvitz ve diğerleri, 1988);

$$p(H|E,\xi) = \frac{p(E|H,\xi)p(H|\xi)}{p(E|\xi)} \tag{3.19}$$

~H kullanılarak H'nin ret edilmesi halinde bu denklem şöyle genişletilebilecektir (Horvitz ve diğerleri, 1988);

$$p(H|E,\xi) = \frac{p(E|H,\xi)p(H|\xi)}{p(E|H,\xi)p(H|\xi)+p(E|\sim H,\xi)p(\sim H|\xi)} \quad (3.20)$$

Sonuç olarak, olasılıklı mantık simetrisi, bir yerdeki olasılıklar mevcutken, ters yöndekilere ihtiyaç duyulduğunda yararlı olabilmektedir (Horvitz ve diğerleri, 1988).

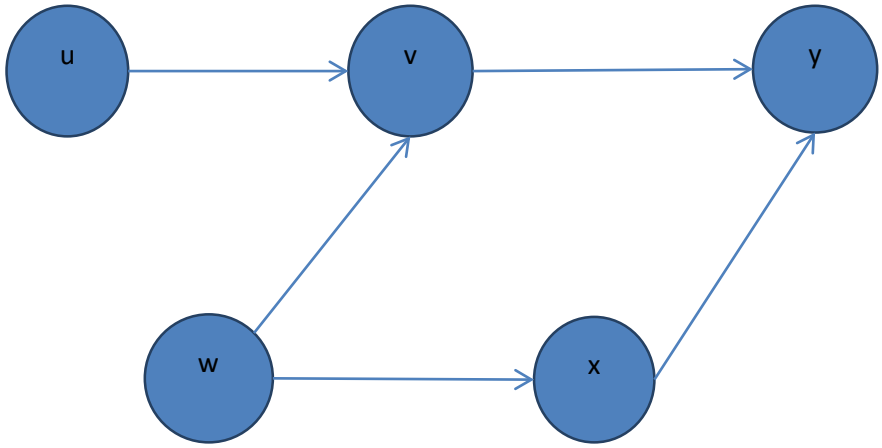
Olasılık teorisi, özellikle BA, çıkarımların ters yönde incelenmesine izin vermektedir. Yani; gözlemlenebilir ispat *E*'deki *H* hipotezinin etkisi verilmişken p (E|H, ξ) olarak ifade edilir, Bayes teoremi p (H|E, ξ) olarak ifade edilen *E*'nin *H* üzerindeki etkisinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Genellikle, *H* hipotezi *E* ispatının "nedeni" olarak algılanır (Horvitz ve diğerleri, 1988).

Şayet *H* bir hastalık ve *E* bir gözlemlenebilir belirti ise nedensel yöndeki kanıta dayanan ilişki ifade edilebilir (örneğin, p(E|H, ξ)) ve daha sonra Bayes teoremi kullanılarak etki ters yönde incelenebilir ve bu sayede tanımsal yönde akıl yürütme mümkün kılınmış olacaktır (örneğin, p(H|E, ξ). Bu çift yönlülüğün Bayes teoreminin sonucu olarak ortaya çıktığı söylenebilir (Horvitz ve diğerleri, 1988).

Bir BA, içerdiği bağımsızlığı grafiksel olarak göstermektedir. Bağımsızlık; *x* ifadesinin oluşunun, *y* ifadesinin doğru olduğu bilgisinden, ξ geçmiş bilgisi eldeyken, etkilenmemesidir (Eş. 3.21) (Horvitz ve diğerleri, 1988).

$$P(x|y, \epsilon) = p(x|\epsilon) \quad (3.21)$$

Kaynak değişkenleri (kendinden önce ya da kendilerine direk yol bulunmayan değişkenler) diğer tüm değişkenlerden bağımsızdır. Eğer iki değişken bir ya da daha çok ortak ebeveyne sahipse ancak aralarında bir ark yok ise; bunlar birbirinden, ortak ebeveynleri bilinirken, koşullu bağımsızdır. Şekil 3.2'de görülen basit BA incelendiğinde *u* ve *w* değişkenlerinin bağımsız, *v* ve *x* değişkenlerinin ise, *w* değişkeninin değeri bilinirken, birbirlerinden koşullu bağımsız olduğu görülebilir (Horvitz ve diğerleri, 1988).



Şekil 3.2. Basit bir BA örneği

Son olarak bir düğüm bağlantısız olduğu önceki düğümlerden, birinci ebeveynleri bilinirken, koşullu bağımsızdır. Örneğin Şekil 3.2'de görülen *y* değişkeni, *u* ve *w* değişkeninden, *v* ve *x* değişkenlerinin değerleri bilinirken, koşullu bağımsızdır. Dolayısıyla, BA'da bulunan tüm belirsiz değişkenlerin birleşik dağılımı şöyle hesaplanabilecektir (Horvitz ve diğerleri, 1988);

$$p(u,v,w,x,y|\xi) = p(y|u,x,\xi)\, p(v|u,w,\xi)\, p(x|w,\xi)\, p(w|\xi)\, p(u|\xi) \quad (3.22)$$

Cooper (1987) çalışmasında BA yapılarının NP-zor olduğunu, dolayısıyla kesin yöntemlerle doğru çıkarımlar yapılamayacağını göstermiştir, bu nedenle de olasılıklı yöntemlere yönelmiştir. BA'da olasılıksal çıkarım için kullanılan yöntemler ise şöyle sıralanabilir (Horvitz ve diğerleri, 1988);

- "Brute-Force" olasılıksal çıkarım yöntemi (stratejik planlama veya taktik olmaksızın, öncelikle güç vasıtasıyla amaca ulaşma yöntemidir, örneğin bir şifrenin kırılması için şifre hanesi kadar karakterin farklı kombinasyonlarla tek tek denenmesi).
- Deterministik yöntemler
  - Çoklu ağaçlar ya da tekli bağlanmış ağlar için geliştirilen dağıtık algoritma
  - Koşullu olasılık dağılımı içeren çoklu bağlanmış ağlar için algoritması
  - Çoklu bağlanmış ağları, tekli bağlanmış ağlara dönüştürmeye yarayan indirgeme yaklaşımları
  - BA'nın yeniden kurulması
- Stokastik yöntemler

- Stokastik simülasyon
- Monte Carlo örnekleme yaklaşımı
- Lojik örnekleme yaklaşımı
- Stokastik örnekleme şeması

- Bağlayıcı (bounding) yöntemler olarak ise tüm olasılıkları tek tek incelemeden, en doğru sonuca ulaşmak için dal ve sınır yöntemleri öne sürülmüştür.

BA'da kanıt yayılımındaki (olasılıksal çıkarım) algoritmik ilerlemeler gerçek hayatın nicel (sayısal) verilerini ve belirsizliğini tanımlayan ve ele alan olasılıklı uzman sistemlerin gelişmesini sağlamıştır. Bu uzman sistemlerde, kural temelli bilgi gösterimi, BA temelli bilgi gösterimi ile yer değiştirmiştir. Kuralcı uzman sistemler bir hedef fonksiyonunu optimize eden karar alternatif(ler)ini tavsiye eder. ED'ler kural temelli çıkarım sürecine bir alternatif oluşturmaktadır (Ezawa, 1998).

ED'ler, daha önce de belirtildiği gibi, birer BA uygulaması türleridir. ED betimlemesi, bilgi mühendislerine bağımlılıkları ya da daha önemlisi bağımsızlıkları tanımlama ve değiştirme özgürlüğü sağlamaktadır. Bir ED'deki bağımsızlıklar, değişkenlerin etkilerinin bölgeselliğinin biçimsel bir ifadesidir (Horvitz ve diğerleri, 1988).

Bir *G* ED'sinde tüm düğümlerin şans düğümü olduğu kabul edilirse, ED bir BA haline gelir ve bu haline "*G*'nin basitleştirilmiş grafı" denir. Bir ED'yi BA'ya ya da bir BA'yı ED'ye çevirirken şu dört kural uygulanmalıdır (Ma ve Liu, 2011);

Kural 1: ED'deki değer düğümlerinin çocukları yoktur.
Kural 2: Karar düğümlerinin ED'deki sırası, gerçek hayattaki ile aynı olmalıdır.
Kural 3: ED en az bir karar ve bir değer düğümüne sahip olmalıdır ve karar düğümü değer düğümünün atası olmalıdır.
Kural 4: ED'deki tüm değer düğümlerinin ataları yine değer düğümleridir.

Etki Diyagramı bileşenleri

ED'ler BA modelinin şebeke yapısına, kullanım ve karar düğümlerinin eklenmesi ile oluşturulduğundan, düğümler, arklar ve koşullu olasılık dağılımları içerirler (Cai ve diğerleri, 2012).

Bir ED'de bulunabilecek farklı tip bilgileri depolayan düğüm çeşitleri şunlardır; şans düğümü, karar düğümü ve değer düğümü.

Şans düğümleri dünyanın belirsiz durumlarını ifade ederler ve ED'de daireler ya da ovallerle gösterilirler. İki çeşit şans düğümü vardır; stokastik ve deterministik şans düğümleri (deterministik şans düğümleri çift çizgili dairelerle gösterilirler). Bir stokastik şans düğümünün değeri, kendisinden önceki düğümlerin çıktılarının bir olasılıklı fonksiyonudur. Bir deterministik düğümün değeri ise, kedisinden önceki düğümlerin çıktılarının mantıki fonksiyonudur. Bir deterministik şans düğümü, bir stokastik şans düğümünün özel bir hali olarak görülebilmektedir; olasılık dağılımı ile önceki düğümlerin değerleri bu düğümün değerini kesin olarak belirlediğinden, tek bir belirli değer üzerinde oluşacak bir nokta olacaktır (Horvitz ve diğerleri, 1988). Şans düğümleri ise çıktısı karar vericinin kontrolü altında olmayan rassal değişkenlerdir (Ndilikilikesha, 1994).

Bir ED'de iki şans düğümü birbirine bir ark ile bağlı değil ise, bunlara ilişkin değer birbirinden koşullu bağımsızdır (Heger ve White, 1997).

Literatürde bulunan çoğu ED örneği sadece şans düğümleri içermektedir. Bu durum, dünyadaki olaylar arasında açık karar ve değerlerden ziyade olasılıklı ilişkiler bulunduğunu ortaya koymaktadır (Pearl, 1966). Bu tip ED'lere daha önce de belirtildiği gibi BA da denebilmektedir.

Karar düğümleri, bir karar verici için mümkün olan olası eylemleri göstermektedir. Bunlar karar vericinin direk kontrolü altında olan değişkenlerdir. Bu düğümler ED'de dikdörtgenler ile ifade edilirler (Horvitz ve diğerleri, 1988).

Değer düğümleri ise, bir karar vericinin tercihlerini yansıtırlar. Bu düğümler genel olarak baklava dilimi olarak gösterilir. Değer düğümleri, seçimin ya da planın değerlendirilmesinde

dikkate alınan çıktıları ya da özellikleri gösterir. Değer fonksiyonu (gerçek değerli bir sayısal fonksiyon) hem bu çok farklı çıktıların arasındaki ödünleşimi, hem de risk ve zaman için kişisel tercihleri özetlemektedir (Horvitz ve diğerleri, 1988). ED konusundaki ilk çalışmacılar değer düğümlerini baklava dilimi olarak çizmişlerdir, bununla birlikte literatürde bunun altıgenler ya da sekizgenler olarak kullanıldığı durumları da bulunmaktadır (Heger ve White, 1997).

Bir ED'de bulunan arklar, düğümler arasındaki deterministik, olasılıklı ya da bilgisel (informational) ilişkileri temsil etmektedir (Horvitz ve diğerleri, 1988).

Bir bilgi arkı, bir değer ya da karar düğümüne giren ark; bir ilişki arkı, bir şans ya da deterministik düğüme giren ark; bir unutmama arkı, kararların bir sırayla alındığını ve geçmiş bir kararın değerinin hatırlandığını gösteren ve karar düğümleri arasında bulunan ark olarak tanımlanır (Attah-okine ve Kim Raddis, 1998).

Karar düğümüne giren arklar, seçim yapıldığı zaman hangi bilgilerin mümkün olacağını (örneğin; belirsiz değişkenlerin ya da yeniden çözülen daha önceki kararların değerlerini) gösterirler (Horvitz ve diğerleri, 1988). İlişki arkları, şans düğümlerine giren, olasılıklı bağımlılığı gösteren arklardır. Bir *i* düğümünden çıkan ve bir *j* şans düğümüne giren bir ark olması, X_j rassal değişkeninin, X_i'ye olasılıklı olarak bağlı olabileceği anlamına gelir. Bir *i* düğümü ile bir *j* şans düğümü arasında ark bulunmaması ise, *Xj*'den direk ulaşılabilen önceki düğümler bilinirken, X_j'nin X_i'den olasılıksal olarak bağımsız olduğunu gösterir. Bir değer düğümüne giren bir ark bulunup bulunmayışı da aynı şekilde yorumlanacaktır (Ndilikilikesha, 1994).

ED'lerdeki arklar genellikle şu kurallara uyarlar (Attah-okine ve Kim Raddis, 1998);

- Grafta yönlü bir çevrim yoktur.
- Karar düğümleri bilgi arkları tarafından doğrusal olarak sıralanırlar.
- Beklenen değer düğümünden çıkan ark yoktur.

ED'ler için değişkenler arasındaki bağımlılık ilişkisinin tanımlanması uzmanlaşmayı ya da konu hakkında derin bilgi sahibi olunmasını gerektirmektedir (Ma ve Liu, 2011). Bir *i* düğümünden çıkan ve bir *k* düğümüne giren bir arkın bulunması; *k* düğümündeki karar

verildiğinde X_j değerinin biliniyor olacağı anlamına gelir. Her *i* düğümü bir Ω_i, X_i değişkenin alabileceği mümkün değerler kümesine aittir. Ω_i kümesine "X_i'nin çerçevesi" denir. Değer düğümünün Ω_v kümesinin gerçek sayılardan oluştuğu varsayılsın. *K*, *N*'nin boş küme olmayan bir alt kümesiyken, Xk, *K* tarafından içerilen değişkenlerin vektörünü ve Ω_k $i \epsilon k$ için tüm Ω_i'lerin kartezyen çarpımını göstermektedir (*N*, sonlu ve boş küme olmayan bir elemanlar kümesidir). Bu durumda Ω_k kümesine "X_k'nın çerçevesi" denir. Ω_k'nın bir elemanına X_k'nın bir yapılandırması denir ve bu "x_k" ile gösterilir (Ndilikilikesha, 1994).

"*E=(G, P) bir ED ve i G'de bir karar düğümü olsun. i karar düğümüne ilişkin karar fonksiyonu* d_i *'nin* $\Omega_{\prod(i)}$*'den* Ω_i *'ye bir eşleştirmesidir*" (Ndilikilikesha, 1994).

Başka bir deyimle, bir d_i karar fonksiyonu, i kararı anında karar verisinin bilgi durumu bilinirken, gerçekleştirilecek eylemi göstermektedir. Karar fonksiyonları aynı zamanda karar kuralı ya da politikası olarak da tanımlanmaktadır. Bir *i* karar düğümüne ait bir d_i karar fonksiyonu, *i*'nin direk önceki düğümlerinin değerlerinden tanımlanan deterministtik bir fonksiyon olduğundan, her $X_{\prod(i)}$ yapılanması için bir dağılım olan, aşağıdaki dejenere olasılık dağılımı ile temsil edilebilmektedir (Ndilikilikesha, 1994).;

$$P_{di}\ (xi|x_{\prod(i)}\ ) = \begin{cases} 1, & xi = di\big(x\prod(i)\big)\ ise \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \tag{3.23}$$

"*Bir I ED'si için bir strateji her i* ϵ *D karar düğümü için bir tane olan, bir karar fonksiyonları kümesidir. Bir SD kısmı stratejisi, D'* $\subseteq$ *D'deki her karar düğümü için bir tane olan bir karar fonksiyonları kümesidir*" (Ndilikilikesha, 1994).

Dolayısıyla, bir strateji, o düğümdeki bilgiyi durumu bilinirken, her karar düğümünde geçekleştirilecek eylemleri göstermektedir (Ndilikilikesha, 1994).

S_I, i düğümüne ilişkin tablonun boyutu olsun, örneğin gerektirdiği girişlerin toplam sayısı gibi. S_I düğüm tipine göre değişecektir (Gomez ve Bielza, 2004);

$$S_i = \begin{cases} |i| \times \prod_{j \in C(i)} |j| & i \in C \\ \prod_{j \in C(i)} |j| & i = v \end{cases} \tag{3.24}$$

Burada |i|, i düğümünün olası değerlerini gösterir. Bu değerler şans düğümleri için çıktılar, değer düğümleri için ise (beklenen) kullanımlardır (Gomez ve Bielza, 2004).

Diyagramdaki tüm tabloların boyutlarının toplamı, diyagram depolama kapasitesi, ya da başka bir deyişle ED hafızası, "*TS*" olarak temsil edilecek olursa (Eş. 3.25);

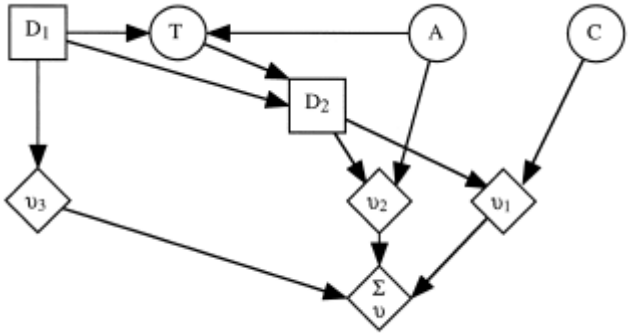
$$TS=\sum_{i\in c} Si+S_v \qquad (3.25)$$

Karar düğümleri ED değerlendirmesi boyunca aynı elemanlara, yani alternatiflerine, sahip olduğundan bunların boyutları *TS* hesabında dikkate alınmaz (Gomez ve Bielza, 2004).

Etki Diyagramı seviyeleri

Bir problemin ED gösterimi üç seviyede tanımlanmaktadır; şekilsel, fonksiyonel ve sayısal seviyeler (Bielza ve Shenoy, 1999). ED'lerin etkinliği ve başarısı, gösterimlerinin bu üç tanımlama seviyesine bağlıdır (Howard ve Mathson, 1981).

Şekilsel seviyede, karar değişkenlerini, etki şans değişkenlerini, koşullara bağlı birleşik olasılık dağılımı çarpımını, birleşik kullanım fonksiyonu çarpımını ve bilgi kısıtlarını gösteren, ED adı verilen yönlü çevrimsiz bir graf çizilir. Şekil 3.3'te ele alınan bir problemin şekilsel seviye ED çizimi görülmektedir (Bielza ve Shenoy, 1999). Şekilsel seviye başka bir deyişle, ağın topolojisi olarak ifade edilen problemin nitel yapısını tutmaktadır. Bu seviyede arklar ve düğümler, ifadelerin ya da değişkenlerin (düğümler) arasındaki bağımlılığı tanımlamaktadır. Şekilsel seviyedeki ED'ler yapay zekâ araştırmalarında ve modellerinde kullanılan bazı ortak simgelere benzerdir. Anlamsal öğeler gibi, bir ED'deki her bir değişken karşılıklı olarak özel ve toplu olarak kapsamlı bir değerler kümesine ilişkindir (Horvitz ve diğerleri, 1988).



Şekil 3.3. Örnek probleme dair şekilsel seviye ED çizimi

Fonksiyonel seviyede, ED'de bulunan her düğüm için koşullu dağılımlar tanımlanır (Bielza ve Shenoy, 1999) ve düğümler arasındaki ilişkilerin şekilleri belirlenir (Horvitz ve diğerleri, 1988).

Sayısal seviyede ise kullanım ve dağılımların sayısal detayları belirlenmektedir (Bielza ve Shenoy, 1999).

3.2.2. Etki Diyagramlarında çıkarım yapma ve çözüm yöntemleri

ED'ler söz konusu olduğunda, en iyi karar stratejisi ya da mevcut bulunan bilgi ile beklenen kullanımı enbüyükleyecek kararların nasıl bulunacağı düşünülmelidir. Tüm ED'ler iyi tanımlanmış bir karar problemini temsil etmezler, fakat edenlere "karar ağları" da denmektedir. Bir karar ağının, en az bir değer düğümüne sahip olması ve tüm karar düğümlerinin iyi sıralanmış bir yol üzerinde bulunması gerekmektedir. Bu şu anlama gelmektedir; her karar düğümü ardındaki karar düğümlerinden direk olarak önce gelmek ve onları direk etkilemek zorundadır. Ayrıca, bir karar düğümünün önceki düğümleri, tüm takip eden kararların önceki düğümleri olmalıdır. Bu kısıt "unutmama şartı" olarak bilinir ve bir karar için elde olan tüm bilginin, takip eden tüm kararlar için de mümkün olmasını garanti etmektedir (Horvitz ve diğerleri, 1988).

ED ile çıkarım yapmak için temel olarak, ilişki seviyesinde bir BA ya da ED kurulduktan ve fonksiyonel seviyede olasılıksal bağımlılıkların detayları belirlendikten sonra; ED'deki bir ya da daha çok ifadedeki değişimin diğer ifadeleri nasıl değiştirdiği incelenir. Bunun için farklı çıkarım kategorileri bulunmaktadır (Horvitz ve diğerleri, 1988).

ED'lerde çıkarım işleminde birleşik olasılık dağılımlarının çarpanlarına ayrılması da kullanılabilmektedir. Bu sayede, parçalanan problem daha sonra daha hızlı ve kolay çözüme ulaştırılabilmektedir.

Genellikle bir *I*= (*G*, *P*) ED'sinde, *P* kümesindeki olasılık dağılımları, ED'de bulunan tüm değişkenler için birleşik bir olasılık dağılımı tanımlamak için yeterli bilgiyi sağlamaz. Ancak ED için bir strateji tamamlandığında, *P* kümesi ile birlikte bu strateji, tüm değişkenler için bir birleşik olasılık dağılımını benzersiz olarak tanımlar (Ndilikilikesha, 1994).

"*Bir I= (G, P) ED'sinde P olasılık dağılımları ailesi kümesi C ile bir s stratejisi, N'deki tüm değişkenler için* $P_{p,s}$ *birleşik olasılık dağılımını aşağıdaki çarpanlara ayırmayı sağlar*" (Ndilikilikesha, 1994).

$$P_{p,s}(x_N) = \prod_{i \in C \cup (v)} \hat{P}(x_i | x_{\pi(i)}) \prod_{j \in D} P_{d_j}(x_j | x_{\pi(j)}) \tag{3.26}$$

Bir *I*= (*G*, *P*) ED'sinde farklı stratejiler X_N'deki değişkenler için faklı birleşik dağılımlara, sonuç olacak farklı beklenen değerlere işaret ederler. Bir *S* stratejisine dair beklenen değer $E_{P,S}(X_V)$ ile gösterilir ve şöyle tanımlanır (Ndilikilikesha, 1994);

$$E_{P,S}(x_v) = \sum_{x_i \in \omega_\sigma i \in N} x_v P_{P,S}(x_N) \tag{3.27}$$

Eş. 3.26, Eş. 3.27 içinde yazıldığında ise aşağıda görülen Eş. 3.28 elde edilecektir (Ndilikilikesha, 1994);

$$E_{P,S}(x_v) = \sum_{x_i \in \omega_\sigma \in N} x_v \left\{ \prod_{i \in C \cup \{v\}} \hat{P}\left(x_i \middle| x_{\pi(i)}\right) \prod_{j \in D} P_{d_j}(x_j | x_{\pi(j)}) \right\} \tag{3.28}$$

Burada amaç bu denklemi enbüyükleyen s* stratejisini bulmaktır.

"*Bir I ED'si için optimal strateji,* $E_{p,s}(x_v)$ *beklenen değerini enbüyükleyen s* stratejisidir. Bu da demektir ki, bir s* stratejisi ile I için her s stratejisi arasındaki ilişki şöyledir* (Ndilikilikesha, 1994)*;*

$$E_{P,S*}(x_v) \geq E_{P,S}(x_v) \tag{3.29}$$

Ndilikilikesha (1994) tarafından, bir ED'nin çözümünün bir optimal strateji ile beklenen en büyük değerin bulunmasından ibaret olduğu ispatlanmıştır. Bu bilgi ışığında, bu alt bölümde açıklanan işlemlerin sırası ile gerçekleştirilmesi sonucunda bulunan s^* değeri ile ele alınan ED'nin çözüme ulaştırılmış olduğu söylenebilecektir.

Bir ED'nin grafiksel olarak değerlendirilebilmesi için kullanılan değer düğümüne göre çözüm algoritması, düğümleri ve bunların arklarını graf üzerinden her bir düğümün pozisyonuna göre belirli bir sıraya göre silecektir. Çoğu durumda birden çok olası düğüm silme sırası olabilir. Tüm sıralar problemin sonucunu verse de özellikle gerçek hayat problemlerinin boyutları göz önünde bulundurulduğunda, farklı sıralar farklı zorluk seviyelerinde işlem hacimleri taşıyabilecektir. Optimal silme sırasının bulunması NP-Zor yapıda bir problemdir. Dolayısıyla mevcut literatür incelendiğinde ED'lerin çözümlerinin karmaşık işlemler gerektirdiğinin görülmesi şaşırtıcı değildir (Gomez ve Bielza, 2004).

Literatürde bulunan grafiksel ED değerlendirme yöntemlerinden sayılan Schacter'in değerlendirme algoritması (Schacter 1986) şu temel operasyonları içerir; beklenen kullanımı hesaplayarak şans düğümü silme, beklenen kullanımı enbüyükleyerek karar düğümü silme ve ark yönlerini tersine çevirme. Bu algoritmaya göre bir şans düğümü, yalnızca kendisinden sonra gelen düğüm değer düğümü ise silinebilmektedir. Dolayısıyla kendisinden sonraki düğüm silinen düğümden önceki tüm düğümleri kendine bağlamış sayılacak ve değerlerini alacaktır. Değer düğümünden önce gelen bir karar düğümünü silmek için, hiç batak düğüm bulunmadığı ve değer düğümünün tüm diğer koşullu önce gelen düğümlerinin karar düğümünün bilgisel önce gelen düğümleri olduğu varsayılır. Bir şans ya da karar düğümünün silinmesinin mümkün olmadığı durumlarda, iki şans düğümü arasındaki bir arkın yönü Bayes formülü ile tersine çevrilir. Bu işlem, belki de birkaç tersine çevirmeden sonra, silinecek bir şans düğümü bulunmasını sağlayacaktır. Tüm bu operasyonlar standart bir algoritma oluşturmak için bütünleşik olarak ardı ardına gerçekleştirilir. Schecter'in bu algoritmasının kaba kodu şöyledir (Gomez ve Bielza, 2004);

Olağan ED'yi kontrol et ve "unutmama" arklarını ekle
Tüm batak düğümleri yok et
While $C(v) \neq \{\}$ *do*
If $\exists i \in C \cap C_{(v)}: S_i = \{v\}$, *then* i şans düğümünü kaldır
i düğümü
Else if $\exists i \in D \cap C_{(v)}: C_{(v)\{i\}} \subset I_{(i)}$
i karar düğümünü kaldır
Yeni batak düğümlerini yok et
Else bul $i \in C \cap C_{(v)}: D \cap S_{(i)} = \{\}$
While $C \cap S_{(i)} \neq \{\}$ *do*
Bul $j \in C \cap S_{(i)}$ başka (i, j) yönlü ark kalmadı
(i, j) arkını tersine çevir
i şans düğümünü kaldır

Burada; *D*, karar düğümleri kümesi; *C*, şans düğümleri kümesi; *V*, değer düğümü; *G*=(*N*,*A*), eldeki ED; *N*, düğümler; *A*, arklar; *D*, *C*, $\{V\} \subset N$; *C(i)*, *i* düğümünün koşullu önce gelen düğümleri; *I(i)*, *i* düğümünün önce gelen (ebeveyn) bilgisel düğümleri, ve *S(i)*, *i* düğümünün direk önce gelen düğümleridir.

ED'lerin grafiksel olarak değerlendirmesi için Schacter'in algoritmasındaki arkları tersine çevirme yöntemi yerine, düğüm silme ya da "klik-ağaç" yaklaşımları temelinde oluşturulan yöntemler de bulunmaktadır (Cooper, 1987 Jensen, Nielsen ve Shenoy, 2006; Madsen ve Jansen, 2005; Shenoy, 2000). Bunlara eşdeğer algoritmalarla Schacter ve Heckerman (1987)'ın çalışmalarında da karşılaşılmaktadır. Bu önerilen yöntemler ED'nin bir BA'ya dönüştürülerek çözülmesine dayanmaktadır.

Farklı düğüm silme sıralarına yol açan iki durum vardır (Gomez ve Bielza, 2004);

- Silme için şans düğümlerinin bağlanması: Bu durum, aynı anda silinebilecek iki ya da daha çok şans düğümü bulunduğunda ortaya çıkar.
- Tersine çevirme için arkların bağlanması: Bu durum iki ya da daha fazla arkın aynı anda ters çevrilebilecek olması ile ortaya çıkar. Bu arklar aynı orijine sahip olabilir ya da olmayabilir.

ED'ler özellikle karar ağaçlarının başlangıç ayağı olarak öne sürülmüştür. Dolayısıyla şu anda da çözüm aşamasında ED'leri karar ağaçlarına dönüştürerek ele almak günümüzde ED'leri değerlendirmek için kullanılan etkili pek çok farklı yöntem olsa da sıkça başvurulan bir yoldur (Bielza ve diğerleri, 2011).

3.2.3. Etki Diyagramı tipleri

Geleneksel ED yapısı, tüm kararların kontrolünü elinde bulunduran tek bir karar verici bulunan karar probleminde uygulanabilmektedir (Jensen ve Nielsen, 2011). Ancak mevcut literatür incelendiğinde görülmektedir ki, araştırmacılar farklı tipte problemler için daha etkin sonuçlar alabilmek amacıyla farklı uygulama prosedürleri içeren ED tipleri geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırması süresince gruplandırılabilecek sayıda çok incelenmiş ED tipleri aşağıda sıralanmıştır.

Sınırlandırılmamış ED'ler (SED)

Bu ED tipinde tüm karar değişkenlerini içeren bir yöne olası ihtiyacı kaldırılmıştır. Bu tip ED'de karar düğümlerin sırası kasıtlı olarak belirtilmemiştir ve çözüm aşamasında daha önce verilmiş kararların ışında diğer kararların sırası belirlenmelidir. SED'lerin bir avantajı bazı karar ve şans değişkenlerine ait durum uzayı, bunlara ilişkin bir simetrik ED'dekinden daha ufaktır. SED'ler problemlerinin gösterimini basitleştirmek için tasarlanmışlardır ve karar problemlerinin genel sınıfına uygun değillerdir. Ayrıca çözüm prosedürü, karar düğümlerinin sırası belli olmadığında ve belirlenmesi gerektiğinden daha karmaşıktır (Bielza ve diğerleri, 2011).

Sınırlı hafıza ED'leri (SHED)

Bu tip ED'ler şu iki koşulun esnetildiği çok aşamalı karar problemler için modeller; (i) karar değişkelerinin toplam sırası, (ii) unutmama. Örneğin; D_2 D_1'den sonra gelen bir düğümse, d_1 kararı D_2'den önce alınmaktadır. D karar düğümünün ebeveynleri D kararındaki değişkenleri tam olarak temsil ederler ve D düğümünde bir karar verilmesi gerektiğini dikkate alınırlar (Bielza ve diğerleri, 2011).

SHED'ler diyagramda kullanılan bilgi arkı sayısının azaltarak hesaplamayı kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu tekniğin dezavantajı, SHED'de bulunan optimal sonucun, unutmama koşulu göz edilmeden elde edilecek optimal sonuçla aynı olmama olasılığıdır. Dolayısıyla analistler bu noktada problemin çözümlü hale gelmesi ile optimallik arasında bir seçim yapmalıdır (Bielza ve diğerleri, 2011).

Gauss ED'leri (GED)

Bu tip ED'lerde bütün şans düğümleri doğrusal Gauss dağılıma koşullu sürekli değişkenlerdir. Bu demek olur ki, ortalamaları ebeveynlerinin doğrusal fonksiyonu, varyansları ise sabittir. GED'de karar değişkenlerinin de sürekli olduğu ve değer fonksiyonunun ebeveyni olan şans ve karar değişkenlerinin bir kuadratik fonksiyonu olduğu varsayılır. Dolayısıyla bu tip ED'lerde optimum bir çözüm bulunması mümkün değildir (Bielza ve diğerleri, 2011).

Karışık Gauss ED'leri (KGED)

Poland (1994), hem kesikli hem sürekli şans değişkenlerinin bulunduğu KGED'leri önermiştir. Burada GED'deki gibi sürekli değişkenler koşullu doğrusal Gauss dağılımlarına sahiptir. Bu Tip ED'lerde sürekli düğümler kesikli ebeveynlere sahip olabilirken, kesikli düğümler sürekli ebeveynlere sahip olamamaktadır. Burada da karar düğümleri kuadratik fonksiyonlardır. Bu nedenle KGED'ler ile de optimal sonuçlar elde edilememektedir. Literatürde bu tip ED'lerin Markov Zinciri Monte Carlo simülasyon yöntemi ile değerlendirildiği pek çok örnek bulmak mümkündür (Bielza ve diğerleri, 2011).

İçerik Temelli ED'ler (İTED)

Bu tip ED'lerde karar analizi yalnızca olasılıklara bağlı değil, aynı zamanda kullanıcı için kullanımına ve içerik olarak etkisine de bağlı olarak gerçekleştirilir. Bu ED tipi BA'da Yapılandırılmış Bilgiyi Geri getirme uygulaması geliştirilerek oluşturulmuştur (de Campos ve diğerleri, 2005).

Genişletilmiş ED'ler (GED)

GED'ler, geleneksel ED'lerin düğüm ve ark tanımlarının tartışmaya yer bırakmayacak şekilde sözlüksel olarak yapıldığı diyagramlardır (Johnson, Lagerstörm, Narman ve Marten, 2007).

Bulanık ED'ler (BED)

BED'ler karar problemlerini gerçek hayat problemlerinde yer alan belirsizlikleri yalnızca olasılık dağılımları ile değil, aynı zamanda bu ED içindeki düğüm ve arkların kesin sayı değeri yerine bulanık değerler aldığı bir yapıda incelerler (Hui ve Yan-ling, 2009; Liu, Bai ve Yu, 2006; Lopez-Diaz ve Rodriguez-Muniz, 2007; Peng, 2009; Zhi ve Xue-jin, 2010).

Oyun Teorisi Temelli ED'ler (OTTED)

OTTED'ler, geleneksel ED'lerden farklı olarak yalnızca statik faktörleri değil, zaman içinde değişmekte olan dinamik değişkenleri de inceleyebilirler. Bu teknik, özellikle yüksek seviyeli rekabetin olduğu gerçek hayat problemlerinde karar analizleri için kullanılmaktadır (Zhou, Lü ve Liu, 2012).

Çok Aktörlü ED'ler (ÇAED)

ÇAED, karar vericinin birden fazla olduğu, grup karar vermesi gerçekleştirilen ED tipidir. Burada kararı etkileyen faktörleri belirleyen ve bunları değerlendiren bir karar verme takımı bulunur (Koller ve Milch, 2003; Nishiyama ve Sawaragi, 2011; Poole, 1997; Shi ve Lin, 2010; Yang, Si-feng, Zhi-geng ve Ming-li, 2011; Zeng ve Poh, 2009).

Etkileşimli Dinamik ED'ler (EDED)

ÇAED'lerin zaman kısıdını da göz önüne alan, sıralı çok aktörlü karar problemlerinin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen bir ED tipidir (Doshi, Chandrasekaran ve Zeng, 2010; Luo ve Tian, 2011; Luo, Li ve Zeng, 2011; Luo, Yin, Li ve Wu, 2011; Zeng ve Xiang, 2010; Zeng, Chen ve Doshi, 2011; Zeng ve Doshi, 2012).

Olabilirlikli ED'ler (OED)

Durum ve karar değişkenleri arasındaki yerel bağımlılıkları inceleyebilmek amacıyla kullanılır. Bir OED, seçildikleri sırayı gösteren bir karar değişkeni sırası ile birlikte değişkenlerin arasındaki bağımlılıkları temsil eden bir sentetik bölüm içerir (Garcia ve Sabadin, 2008; Guezguez, Amor ve Mellouli, 2009; Wang, Zhang ve Xu, 2013).

Nitel Politike ED'ler (NPED)

NPED, özel aktörlerin güçleri ile motivasyonlarını birleştiren bir yapıya sahiptir. Bu tekniğin diğer ED tiplerinden asıl farkı, incelenen aktörlerin sistem performansındaki rollerinin ele alınmasıdır. Teknik ED'ler ile neden sonuç döngülerinin ara noktası gibidir. Burada, karar değişkenlerinin birbiri üzerindeki etkileri de ölçülebilmektedir (Powell ve Lidell, 2004; Howard ve diğerleri, 2007).

3.2.4. Etki Diyagramı çözücüsü olarak GeNIe paket programı

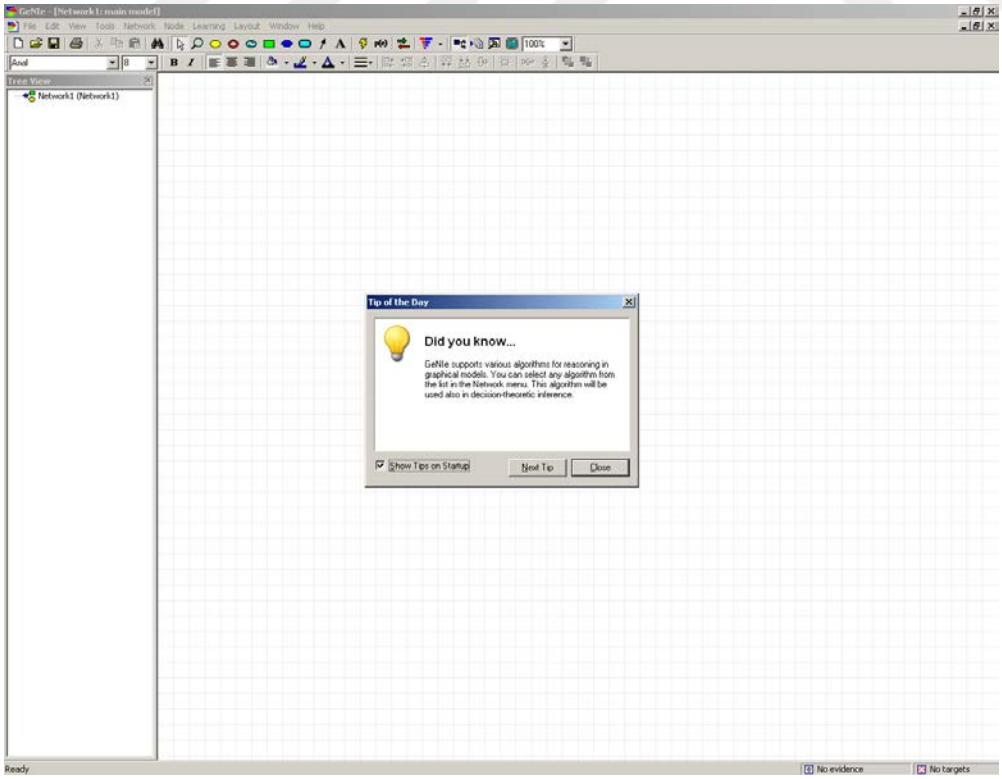
ED yöntemi bir karar problemini tüm yönleri ve göz ardı edilebilecek faktörlerin değerleri ile ele almayı sağlayan faydalı bir analiz aracı olsa da yöntemin yapısı gereği problemin grafiksel ifadesi için kurulması gereken BA yapısının oluşturulması ve sonuç indirgemelerinde gerçekleştirilmesi gerekecek yüksek işlem hacmi nedeni ile, bu faydalı tekniğin genellikle bazı yazılım araçları yardımı ile incelenmesi istenen probleme uygulandığı görülmektedir.

ED'lerin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanıldıkları mevcut literatürde bulunan çalışmalarda görülen yazılımlar Analytica, Decision Manager, DPL 7, HUGIN, Netica, Precuer Tree (MS Excel'in içinde bulunan bir araçtır), Tree Age Pro, GeNie, Elvina şeklinde sıralanabilmektedir (Bielza ve diğerleri, 2011).

Bu tez çalışmasında ED tekniğinin uygulanması için gerek kullanıcı dostu yapısı gerek yüksek veri elleçleyebilme kapasitesi gerekse ücretsiz olarak lisanslı kullanımının mümkün olması nedeni ile GeNIe paket programının kullanılması seçilmiştir.

GeNIe (Graphical Network Interface – Şekilsel Şebeke Arayüzü), şekilsel karar modelleri kurmak için, Decision Systems Laboratory, Pittsburg Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. GeNIe paket programı derinlemesine test edilmiş ve Pittsburg Üniversitesi, Carnegie Mellon Üniversitesi ve Alaska Üniversitesi'nde gerçekleştirilen derslerde öğretilen, araştırma projelerinde kullanılan yararlı ve güvenilir bir araçtır. Program Visual C++ ile geliştirilmiştir, böylece, sonuçlar daha az taşınabilir olsa da program Windows işletim sistemi kullanan platformlarda çalıştırılabilmektedir, bu da programın bir avantajıdır. GeNIe tüm boyut ve karmaşıklıktaki karar problemlerinin modellenmesini destekler, burada kapasite programın üzerinde kullanıldığı bilgisayarın işletim hafızası ile sınırlıdır. GeNIe programı, güvenilirliği ve şeffaflığı sayesinde, pek çok hükümet, ordu ve şirket tarafından kullanılmaktadır.

Şekil 3.4'te programın ana sayfasında bulunan ara yüz görülmektedir. Bu programın açılış görüntüsüdür. Program her açıldığında, programla ya da kullanımıyla ya da ED kavramlarıyla ilgili bazı küçük bilgilerin yer aldığı bir bilgi sayfası açılır, bu sayfanın ileride açılıp açılmaması bilgi sayfasının altındaki seçim kutusu ile belirlenebilir.



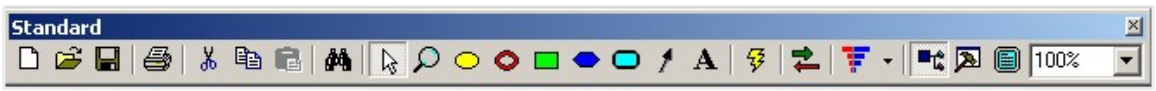
Şekil 3.4. GeNIe programı ara yüzü

GeNIe programının menü çubuğu Şekil 3.5'te görülmektedir. Buradaki butonlar sırası ile kontrol paneli açılır menüsünün açılmasına (kapat, simge durumuna küçült, taşı, boyutlar, vb.), dosya açılır menüsünün açılmasına (yeni model oluştur, kaydet, getir, yazdır), düzenle açılır menüsünün açılmasına (kes, kopyala, yapıştır, çoklu seç, seç, ara), görüntüle açılır menüsünün açılmasına (durum ve araç çubuklarının görüntülenip görüntülenmemesi, düğümlerin etiket biçiminin seçilmesi, vb.), araçlar açılır menüsünün açılmasına (farklı düğüm çizimleri için farklı çizim araçlarının seçilmesi), şebeke açılır menüsünün açılmasına (şebeke özelliklerinin gösterilmesi, modelin güncellenmesi, vb.), düğüm açılır menüsünün açılmasına (düğüm özelliklerinin gösterilmesi, düğüm tipinin değiştirilmesi, vb.), tanı açılır menüsünün açılmasına (GeNIe programının tanısal özelliklerinin kullanılması), görünüş açılır menüsünün açılmasına (grid özelliklerinin ayarlanması, düğüm görünüşlerinin seçilmesi), pencere açılır menüsünün açılmasına (pencerelerin açılıp kapanması, pencereden pencereye geçiş) ve yardım açılır menüsünün açılmasına (yardım konularına erişme, online yardım alma, yardım ayarlarını değiştirme) yaramaktadır.



Şekil 3.5. Menü çubuğu

Şekil 3.6'da programa dair standart araç çubuğu görülmektedir. Görülen butonlar ile sırasıyla yeni bir sayfa açılır, bulunan bir dosya açılır, aktif dosya kendi adı altında kaydedilir, aktif dosya yazdırılır, seçili nesne kesilir ve hafızada tutulur, seçili nesne yapıştırılır, girilecek yere hafızadaki içerik yapıştırılır, graf görünümünde ise bir düğüm/alt model bulunur, graf görünümünde yakınlaştırır, bir olasılıklı şans düğümü çizilir, bir kesikli şans düğümü çizilir, bir karar düğümü çizilir, bir değer düğümü çizilir, bir alt model yaratılır, bir ark çizilir, bir metin kutusu yaratılır, şebeke güncellenir, etki kuvvetini gösterir, ağaç görünümü penceresi açılır, çıktı penceresi açılır ve yakınlaştırma yüzdesi belirlenir.



Şekil 3.6. Standart araç çubuğu

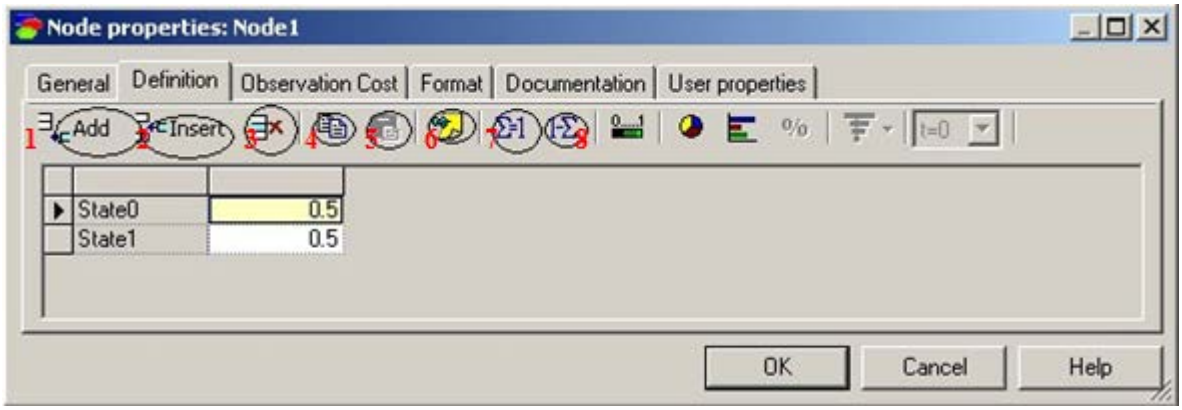
GeNIe biçim araç kutusu Şekil 3.7'de görülmektedir. Burada bulunan butonların kullanımıyla ise sırası ile, metin fontu çeşidi seçilir, metin font boyutu tipi seçilir, koyu font

stili seçilir, sağ tana yatık font stili seçilir, metin sola yaslanır, metin ortalanır, metin sağa yaslanır, arka plan rengi seçilir, metin rengi seçilir, çizgi rengi seçilir, çizgi kalınlığı seçilir, seçili nesneler sola kaydırılır, seçili nesneler sağa kaydırılır, seçili nesneler alt alta aynı hizaya getirilir, seçili nesneler yukarı kaydırılır, seçili nesneler aşağı kaydırılır, seçili nesneler yan yana aynı hizaya getirilir, seçili nesnenin orta noktası en yakın grid çizgisine kaydırılır, seçili nesneler alt alta dağıtılır, seçili nesneler yan yana dağıtılır, seçili nesneler öne getirilir ve seçili nesneler arkaya gönderilir.



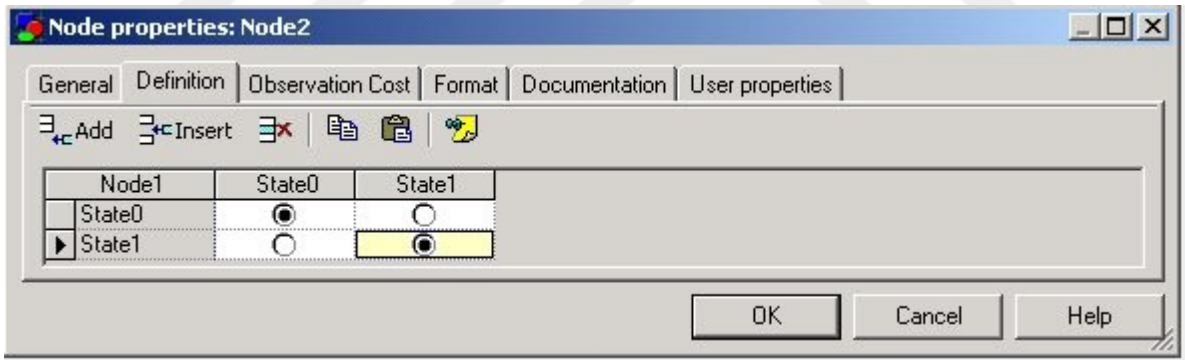
Şekil 3.7. Biçim araç kutusu

Şekil 3.8'de örnek bir "Olasılıklı Şans Düğümü Özellikler Tablosu" görülmektedir. Bu şans düğümü için iki durum olasıdır ve bunların olasılıkları eşit verilmiştir. GeNIe programı, olasılıklar toplamının bir olması gerektiğinden, herhangi bir yazım ya da hesaplama yanlışı olabileceğinden, eksik yazılmış olsa dahi olasılıkların toplamları bir olamayacak şekilde girilmesine izin vermez. Böyle bir durumda bir uyarı penceresi açılır ve olasılıklar toplamı bir olacak şekilde veriler düzenlenmedikçe bu pencere her seferinde açılmaya devam eder, hesaplama kısmına geçilemez. Şekil 3.8'de görülen tabloya benzer tablolar her şans düğümü için düzenlenerek, bunların oluşma olasılıkları yazı alanlarına çift tıklanarak girilir. Şekilde "1" ile gösterilen butona tıklayarak en sona yeni durumlar eklenebilir, "2" butonu tıklanarak istenilen aralığa yeni bir durum eklenebilir (örneğin durum0ve durum1 arasına), "3" tıklandığında ise seçilmiş olan durum tablodan silinir, her üç koşulda da olasılıklar toplamları bir olacak şekilde yeniden düzenlenmelidir. "4" tıklandığında seçilmiş olan durum hafızaya kopyalanır, "5" tıklandığında ise kopyalanmış veriler yapıştırılır. "6" butonu seçilmiş alana bilgi notu ekler. "7" butonu ile yazı alanlarındaki veriler normalize edilir, "8" butonu tıklandığında ise seçilmiş alan, diğer alanlara göre toplam bir olacak şekilde düzenlenir.



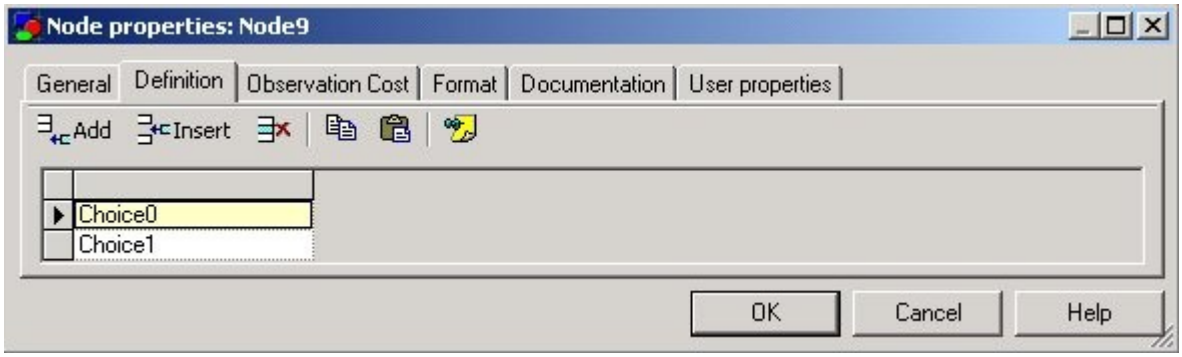
Şekil 3.8. Örnek olasılıklı şans düğümü özellikler tablosu

Şekil 3.9'da ise örnek bir "Kesikli Şans Düğümü Özellikler Tablosu" görülmektedir. Kesikli değerler alan değişkenler için bu tip düğümler kullanılır, burada karar verici ebeveyn düğümlerin durumlarını biliyor ve bu düğümün alacağı değeri buna göre belirliyordur. Tüm düzenleme hareketleri Olasılıklı Şans Düğümü için yapılanlarla aynıdır, burada tek fark durumların olasılıklarının elle giriliyor olması değil, durum değerlerinin çoktan seçmeli olarak belirlenmesidir.



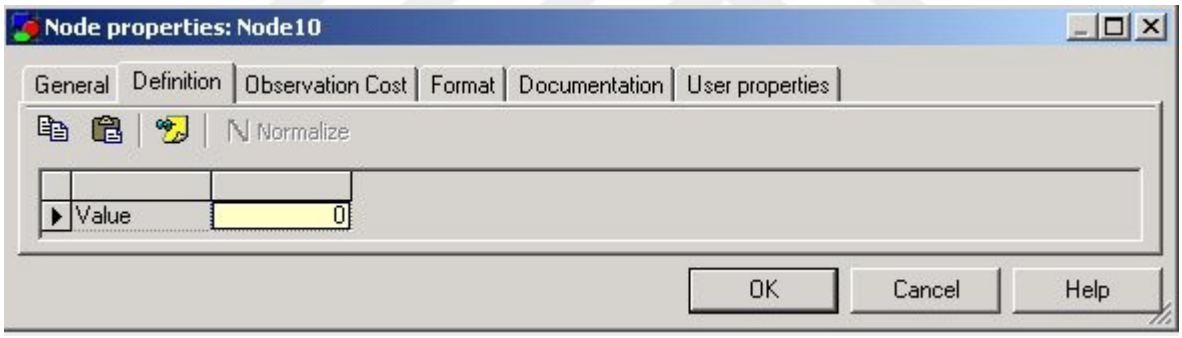
Şekil 3.9. Örnek kesikli şans düğümü özellikler tablosu

Şekil 3.10'da örnek bir "Karar Düğümü Özellikler Tablosu" görülmektedir. Bu tablo da şans düğümü tablosu ile aynı şekilde düzenlenebilmektedir.



Şekil 3.10. Örnek karar düğümü özellikler tablosu

Şekil 3.11'de örnek bir "Değer Düğümü Tablosu" bulunmaktadır. Değer düğümleri süreklidir ve herhangi bir reel değeri alabilirler. Kullanıcılar isterlerse, karar fonksiyonunun alacağı değeri 0-1 ya da 0-100 ya da istedikleri herhangi bir aralıkta belirlenecek şekilde atayabilirler. Buradaki butonlar da şans düğümü için açıklanan butonlar ile aynı şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 3.11. Örnek değer düğümü tablosu

GeNIe 2.0 paket programı, tüm düğümlerin farklı renkler, farklı kenar kalınlıkları ya da yazı şekilleri gibi, özgün olarak tasarlanabilmesine izin vermektedir. Bu değişiklikler özellikler tablolarındaki "Format" butonu yardımı ile kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca her düğüm için "General" butonu kullanılarak bilgi notları eklenebilir, "Documentation" butonu kullanılarak da düğümler ve durumlar URL ya da HTML linkleri ile ya da versiyon 1.0'da bulunan herhangi bir dosyaya bağlanabilir. "User properties" butonu ile ihtiyaç halinde, aynı yayıncı tarafından çıkarılmış başka karar verme yardımcısı programlarda kullanılabilecek kullanıcı, yer bilgisi, vb. bilgilerin girilmesi mümkündür. "Value" butonu ile ise, tüm ED hazırlanıp verileri girildikten sonra, programın ana ara yüz sayfasında bulunan hesaplama butonuna basıldığında, düğüme ait durumlar için hesaplanan değerler görülür.

GeNIe 2.0'da değişkenlerin iki türlü olduğu kabul edilir; (i) kesikli değişkenler (Hepatit B: var/yok; Kazanç: 10TL/20TL/30TL), (ii) sürekli değişkenler (Ateş: 30-45 C arası, Kazanç: 0-50 TL arası). Çoğu ED kesikli değişkenler için kurulur. Olasılık tahmini ise temelde iki şekilde gerçekleştirilir; nesnel ve öznel. Nesnel tahminler frekansa bağlı (bir paranın belli kez atılmasında kaç kez tura geleceğinin olasılığı hesaplanabilir) olabilir, ya da olasılık fiziksel ve şekli özelliklere bağlanabilir (para atmada tura gelme olasılığı paranın simetrik düz şekli ve iki yüzü bulunması gibi fiziksel özelliklere bağlıdır kabulünde bir paranın belli kez atılmasında kaç kez tura geleceğinin olasılığı hesaplanabilir). Öznel tahminlerde ise BA'daki gibi, olasılık karar vericinin o olayın olup olmamasına inancına bağlıdır. Nesnel tahminler gerçek hayat problemlerine uydurulamazlar ancak öznel tahminler bu konuda oldukça başarılı şekilde uygulanabilmektedir.

Öznel tahminlerde, değişkenlere bağlı sayısal veriler uzman görüşü ile bütünleştirilir. Sayısal olasılıklar bir veri tabanından da çekilebilir, uzman görüşü ile de belirlenebilir, her ikisinin birleşimi de olabilir (örneğin uzman görüşüne göre veri tabanından çekilebilir).

3.2.5. Etki Diyagramı tekniğinin diğer grafiksel yöntemlerden farkı

ED'ler yapıları ve uygulama alanları nedeni ile, sağladıkları fayda ve kullanım getirileri açısından sıklıkla basit ve kompleks karar ağaçları ile BA'ları ile karşılaştırılmaktadır. Bunların yanında, araştırmacıların ED'lerin kullanım alanlarında faydalanabilecekleri Yapısal Eşitlik Modelleme (YEM) gibi bazı farklı grafiksel ifade ve çıkarım yöntemleri de bulunmaktadır. Bu alt başlıkta özetle ED yönteminin diğer grafiksel inceleme ve çıkarım yöntemlerinden farkları ve ED yönteminin bunlara üstünlükleri açıklanacaktır.

Bir ED genellikle kolayca yüzlerce dala ulaşabilen bir karar ağacından daha az karmaşıktır ve daha kolay kurulur ve genişletilir. ED'ler karar verici ve bilgisayarlara erişilebilir bir tarz ile bağımlılık ve bağımsızlık olasılıkları hakkında açık bir gösterim sağlarlar. Bu gösterim önceki uyumlu dağılımların değerlendirilmesini de kolaylaştırmaktadır (Attah-okine ve Kim Raddis, 1998).

ED'ler karar ağaçlarına göre daha düşük hesaplama çabası gerektirirler. Örneğin, literatürde bulunan bir karar probleminde ED tekniği ile bulunan asimetrik karar ağacı 21 senaryolu

iken, aynı asimetrik ağaç karar ağacı tekniği ile bulunduğunda 144 senaryolu olacaktır (Bielza ve diğerleri, 2011).

Bunlara ek olarak, karar ağaçları küçük karar problemleri için daha uygundur. ED'ler ise belirsizlik ve BA içeren problem yapıları için uygundur (Bielza ve Shenoy, 1999).

Smith (1999)'a göre ED'lerin karar ağaçlarına göre avantajları şöyledir (Attah-okine ve Kim Raddis, 1998):

- Bir ED, bir karar ağacına nazaran problemlerin daha kompakt (az yer kaplayarak) tanımlanmasını sağlar.
- Kesikli, sürekli ya da bunların karışımı yapıdaki değişkenlerin arsındaki ilişkiyi değişkenlerin yapısından bağımsızca eşit olarak verir.
- Karar ağaçlarına karşı büyük bir avantaj sağlayarak, bir problemdeki değişkenlerin arasında bulunan koşullu bağımsızlığı kısaca, az ve öz olarak temsil eder.

ED'lerin karar ağaçlarına bir üstünlüğü de ED boyutunun değişken sayısı ile doğru orantılı artarken, karar ağacının kinin üstel olarak artmasıdır. Diğer bir üstünlüğü ise olasılıklı ilişkilerin ele alınabilmesidir. Ayrıca karar ağaçları küçük boyutlu problemlerde yeterliyken, gerçek hayat problemlerini karar ağacı yapısı ile anlaması, ED yapısına göre çok daha zor olacaktır (Heger ve White, 1997).

ED tekniği ile kullanım açısından karşılaştırılan bir başka karar modeli tekniği YEM olarak adlandırılır. YEM ölçülen ve gizli değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerin test edilmesinde ve kuramsal yapıların formüle edilmesinde karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılan bir istatistik tekniğidir. Son yıllarda sosyal bilimlerde, özellikle eldeki verilere en uygun modeli tespit etme çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

YEM, araştırmacının daha önce teorik olarak oluşturmuş olduğu modeldeki değişkenler arası doğrusal ilişkilerin regresyon eşitlikleri yardımıyla sorgulandığı bir analiz yöntemidir. YEM'in temel amacı, teorik olarak önceden belirlenen bir modeldeki ilişki yapılarının veriler tarafından doğrulanıp doğrulanmadığının ortaya konulmasıdır. Yani araştırmacı öncelikle teorik olarak bir modeli ortaya koymalıdır. Bu teorik olarak ortaya koyulan modelin de geçerliliği olması lazımdır, burada yer alan faktör ve ilişkilerin tamamen

kurgusal olmaması gerekmektedir. Burada kurgu teori bazlı yapılır, yani YEM açıklayıcı bir yöntem değildir. YEM'de modelin doğrulanabilmesi için bu teorik altyapılı modelleme yoluna gidilmektedir, modellerin doğrulanması ise uyum iyiliği katsayıları ile ilgilidir. Yani kısacası YEM'de kullanılan model bileşenleri arasındaki korelasyonlar incelenerek, birbirleri ile ilişkide olup olmadıkları, aynı zamanda ilişkilerin düzeyleri ve dereceleri belirlenebilmektedir. Bu sayede kurulan modeller gerçek problemi iyi yansıtabilmektedir.

YEM'de kullanılan şekilsel kavramlardan gözlenen değişken, ED tekniğindeki değer düğümleri gibi ele alınabilmektedir. Bunun dışında örtük değişkenler ya da hata kavramı ise, YEM'deki anlamı ile ED tekniğinde görülememektedir, bu karar ya da değer düğümleri ile ifade edilebilir, ancak özel bir kavram olarak ifade edilmiş ya da kullanılıyor değildir. YEM'de de bir olayın bileşenleri arasındaki ilişki incelenmektedir, neden sonuç ilişkisi gibi. Burada etki düzeyi değil neden sonuç ilişkisi görülmektedir ve özyinelemeli etkileşimlerin incelenmesi de söz konusudur. Dolayısı ile her ne kadar aynı alanda benzer amaçlarla kullanılabilecek yöntemler gibi görünseler de YEM ve ED yöntemlerinin uygulama esasları ve amaçları birbirinden farklıdır, ED yönteminin yüksek güvenilirlik sağlayacak eski bir model olmasında rağmen, çok daha kolay öğrenilebilir ve uygulanabilir bir teknik olduğu da gözden kaçırılmamalıdır.

ED tekniğinin diğer tüm yöntemlere göre getirdiği bir başka avantaj ise, iyi kurulmuş bir ED'nin genel karar verme probleminin titiz bir modeli olması ve buradan hareketle genel bir bilgisayar kodu ile otomatik olarak değerlendirilebilir olmalarıdır (Heger ve White, 1997).

ED'lerin bir diğer kuvvetli yönü bütünlüğüdür. Ayrıca, anlaşılması kolaydır ve olasılık modelinde bulunan koşullu bağımsız ilişkileri de ele alabilirler. Asimetrik ED'ler ile karar ağaçlarının arasındaki asimetri de incelenebilmektedir. ED tekniği bir problemde bulunan gereksiz bilgiyi ilişkisiz ya da kısır düğümler ile belirleyebilir. Böylece normal model basitleştirilebilir ve çözüm süresi ile zorluğu da azaltabilir (Bielza ve Shenoy, 1999).

ED'ler analistlerin, değişkenlerle neredeyse keyfi ilişkilerin tüm olasılık dağılımını temsil eden tek bir düğüm tanımlamasını sağlayarak modellemeyi basitleştirir. Koşullu olasılıkların kullanımıyla graftaki ebeveyn düğümlere ilişkin olasılıkları gösterir. Strateji arama verimliliğinde önemli kazançlar sağlarlar (Cai, Sun, Si ve Yannou, 2009).

ED'ler, karışık karar verme problemlerinin gösterimi ve çözümü için güçlü araçlar olsalar da her teknik için geçerli olduğu gibi, ED tekniği için de bazı eksiklikler ve tekniğin getirdiği dezavantajlardan bahsetmek mümkündür. Örneğin, değerlendirilmeleri olağan üstü büyük bir hesaplama yükü gerektirmekte ve bu da gerçek hayat modellerini incelerken öncelikli bir sorun olmaktadır (Cano ve diğerleri, 2006).

Ayrıca, ED'lerin insan uzmanlar tarafından incelenmesi ve uzmanların çıkarımlarda bulunmaları hem oldukça çok zaman ve çaba gerektirmekte hem de elde edilen sonuçlarda bazı mantıksızlıkların bulunmasına neden olabilmektedir. Günümüzde, bilgisayar destekli öğrenen ED'ler daha iyi sonuçlar vermekte ve araştırmacılar tarafından daha çok tercih edilmektedirler ancak bunlar da ek bilgi ve araştırmalar gerektirmektedir (Bai ve Qian, 2010).

3.2.6. Etki Diyagramı tekniğine ilişkin literatür araştırması

ED tekniği literatürde pek çok farklı alanda, çok sayıda araştırmacı tarafından, değişik türde karar problemleri için uygulanmış bir grafiksel gösterim yöntemidir.

Bu bölümde mevcut literatürde bulunan, konu açısından önemli ve daha yeni seçilmiş birkaç çalışma ile ilgili detaylı bilginin yanı sıra, ulaşılabilen tüm dokümanların, çalışmada kullanılan ED tipi orijinal ED'den farklılık gösterenler kullanılan ED tipine göre (Çizelge 3.1) ve incelenen tüm çalışmalar ise uygulama alanlarına göre (Çizelge 3.2) gruplandırılmış olduğu tablolar sunulmuştur.

King (1983) çalışmasında, ED kullanarak, bir kimyasal sistemin nitel dinamiklerini incelemişler. Şu adımlarla ED elde edilmiştir; her karşılık köşe için mantıksal bir ilişki atanır; ED'deki her bir devre için bir yerel doğruluk tablosu oluşturulur; mantıksal ilişkiler kullanılarak tablolar bütünleştirilip bir global doğruluk tablosu oluşturulur ve literatürde bulunmakta olan yöntemler kullanılarak global tablo ile durum geçişi diyagramı belirlenir.

Ndilikilikesha (1994) çalışmasında, her bir şans düğümüne bir koşullu olasılık tablosu yerine "potansiyel" adı verilen keyfi bir negatif olmayan fonksiyonun atandığı "potansiyel ED'ler" anlatılmıştır. Bu ED genellemesi sayesinde, arkları tersine çevirmeden şans düğümlerini

kaldırmak mümkün olmaktadır. Bu dönüşüm kullanılarak bir de optimal stratejileri belirlemek için bir indirgeme algoritması geliştirilmiştir.

Heger ve White (1997) çalışmalarında, çevresel karar probleminde sıkça karşılaşılan bir izle-ve-ele al problemine veri değerinde analizler içeren bir ED uygulaması gösterilmiştir.

Attah-okine ve Kim Raddis (1998) esnek asfaltlarda kalınlık belirleme için olasılıklı bir model sağlamakta araç olarak Bayes ED'lerinin kullanılmasını öne sürmüşlerdir. Burada ED modeli, asfalt katranlarının kalınlıklarının belirlenmesi prosedüründeki nitel ve nicel bilginin içerdiği belirsizliklerin işaret edilmesi için bir taslak olarak sunulmaktadır.

Ezawa (1998) çalışmasında, geleneksel ED'lerde deterministik ve karar düğümleri ile kanıt yayılımı operasyonları ele alınmıştır. Ayrıca, kanıt ve ilişkinin değeri, mükemmel bilginin değeri ve bunların ilişkisi ile ED'lerdeki kontrolün değeri kavramları incelenmiştir

Fasiuoli ve Zaffalon (1998)'un çalışmasında, bir karar probleminin modellenmesinde kullanılan bir ED'nin gerekli olmayan bazı arklar barındırabileceğini gözlenmiştir, bu durum ise çözüm prosedürünün hesaplanma zamanını üstel olarak aittir. Çalışmada, ED'lerin gereksiz kısımlarının kaldırılmasını sağlayan grafiksel bir kriter tanımlanmıştır.

Bielza ve Shenoy (1999) çalışmalarında, asimetrik karar problemlerinin gösterimi ve çözümü için karar ağaçları, ED'ler, değer ağları ve sıralı karar diyagramları teknikleri karşılaştırılmıştır. Literatürde bulunan bir problem bu dört teknikle ayrı ayrı çözülmüş, hem yöntemin kuvvetli ve zayıf yönlerinin altı çizilmiştir.

Bielza, Gomez, Rios-Insua ve Fernandez del Pozo (2000) 62 düğüm ve 169 ark içeren bir gerçek hayat probleminin çözümü için, o günün kişisel bilgisayarlarının kapasitelerini aşan 3.03×10^3 hafıza birimlik bir depolama kapasitesi gerektirmiş ve bu durum teorik ile pratik uygulamalar arasındaki boşluğun boyutunu göstermiş, bu denli karmaşık problemlerin o dönemde ED ile çözülemeyeceğini göstermiştir.

Magni, Quaglini, Marchetti ve Barosi (2000) çalışmalarında, müdahale için optimum zamanı belirleyecek statik ve dinamik yaklaşımlar arasındaki farklar ortaya konmuştur. Ele alınan

tıbbi problem için Markov karar süreçleri temelli bir dinamik yaklaşım uygulanmıştır ve aynı problem için statik yaklaşım ile önerilen yaklaşım karşılaştırılmıştır.

Deboys (2004) çalışmasında, karar analizinin prensipleri belirtilmiştir. Konu içerisindeki bazı temel kavramlar ve teknikler açıklanmış ve patent arama analizinde nasıl kullanılabilecekleri incelenmiştir.

Gomez ve Bielza (2004) çalışmalarında, ED değerlendirmesinde düğüm silme sırasının belirlenmesi için GA temelli bir yaklaşım öne sürülmüştür.

Jonassen ve Ionas (2008) çalışmalarında, nedensel ilişkilerin araştırmacıların anladığından daha karmaşık olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, nedensel ilişkileri anlamak ve uygulayabilmek için, nedensel ilişkilerin yön, kuvvet, olasılık, etki süresi, esneklik gibi nedensel ilişki nitelikleri ile süreç, birleşme/ayrışma ve gereklilik/yeterlilik gibi mekanik nitelikleri açık açık ifade edebilmelidir. Çalışmada, ED'leri de içeren pek çok nedensel ilişki inceleme yöntemleri tanıtılmıştır.

Cai ve diğerleri, (2009) çalışmalarında bakım stratejisi karar için şimdilik durumları karar eylemlerini, karar nesnelerini ve maliyet analizini bütünleştiren yeri bir ED karar modeli önermektedir. Çalışmada ayrıca sivil havacılık alanında bir gerçek hayat uygulaması sunulmuştur.

Zhou, Liu ve Xu (2009) çalışmalarında rekabet içinde bulunana rakiplerin karar verme modelini tanımlayan ED'ler oluşturulmuştur ve bunlar daha sonra BA'lara dönüştürülerek, rakiplerin gizli bilgilerine dair çıkarımlar yapmışlardır. Deneylerin sonuçları önerilen yöntemlerin etkinliğini kanıtlamıştır.

Bai ve Qian (2010) ise çalışmalarında, ED yapısı öğrenen bir algoritma sunulmuş ve GA ile karşılaştırılmıştır ve sunulan algoritmanın sağladığı avantajlar deneylerle gösterilmiştir.

Chen ve Zhou (2010) çalışmalarında hem kesikli hem sürekli karar ve şans değişkenleri içeren melez ED'lerce formüle edilen karar verme probleminin çözümü için simülasyon temelli bir yaklaşım sunulmaktadır. Öne sürülen yöntemde, beklenen koşullu kullanımı

tahmin etmekte optimum karar stratejilerini çözmek için Monte Carlo simülasyonu uygulanmıştır. Çalışmada son olarak bir kısıtlama problemi örnek olarak çözülmüştür.

Bielza ve diğerleri, (2011) çalışmalarında ED'lere ilişkin karar şans değişkenlerinin sırasının gösterilmesi ve şans ve karar değişkenlerinin kullanımı gibi modellere ve gösterim sorunları ele alınmıştır. Son olarak da günümüzde kullanılabilen yazılımlardan bahsedilmiştir.

Jeantet ve Spanjaard (2011) çalışmalarında, Beklenen Kullanım modelinin yapamadığı, rasyonel karar davranışlarının incelemesi öne sürülen Sıra Bağımlı Kullanım (SBK) modeli ile gerçekleştirilmiştir. Ancak, SBK modelinin doğrusal olmayışı, sıralı karar probleminde optimum strateji ararken hesaplamayı zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada da grafiksel modellerde, özellikle karar ağaçları ve ED'lerde, SBK optimal stratejilerini oluşturan yeni bir algoritma modeline indirgeyerek, dal ve sınır prosedürünün uygulanabileceği bir karışık tam sayılı programlama modeline çevirip problemi sonuçlandırmaktadır.

Liu ve Chen (2011) tarafından yürütülmüş çalışmada ise, Tayvan Ming Chi Teknoloji Üniversitesi'nde bulunan öğrencilerin temel matematik dersindeki öğrenme zorluklarını aşabilmeleri için, öğrenme çıktılarının tahmin edilebilmesini sağlayacak, bir "veri madenciliği BA bütünleşik yaklaşımı" sunulmuştur. 427 öğrenci veri elde edilmesi için anket cevaplamıştır. Uygulanan bütünleşik yöntemin adımları şöyledir: (i) öğrenme çıktılarının faktörlerinin belirlenmesi için bulanık teori kullanılmıştır, (ii) ED kurulması için veri madenciliği uygulanmıştır, (iii) BA olasılık tablolarının kurulması için makine öğrenmesi uygulanmıştır, (iv) öğrencilerin zayıf taraflarını görebilmeleri için derslerin başında uygulanan sınav sonuçlarının tahmin edildiği bir modelin kurulmuştur.

Minich (2011) çalışmalarında konum mahremiyeti / dokunulmazlık / gizlilik teorisinin gelişimindeki konular tanımlanmış ve hem teknolojik nedenler hem de daha güzel "gizlilik" teorileri temelinde düzenlenmiştir. Altı konu içeren üç geniş çapta kategori tanımlanmış: konum, "gizlilik" ve bilgi akışı. Bu konuları ilişkilendiren bir ED oluşturulmuştur.

Prenchaiswadi ve Jongsawat (2011) çalışmada Yapısal Modelleme, Çıkarım ve Öğrenme Makinesi adında bir yöntem kullanarak ED geliştirilmiştir. Bu yöntem bilinen ED prosedürleri ve C#.net platformunda kaynak kodları kullanılarak geliştirilmiştir.

Cai ve diğerleri, (2012) ise çalışmalarında mantıklı bir bakım planı oluşturmak için bütünleşik önem ölçüsü kavramı ile ED'ler kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. ED tiplerine göre literatür grupları

İTED	SHED
de Campos, Fern´andez-Luna ve Huete (2005)	van Gerven, Diez, Taal ve Lucas (2007)
GED	Li, Liu ve Xia (2010a)
Johnson ve diğerleri (2007)	Li, Liu ve Xia (2010b)
BED	Søndberg-Jeppesen ve Jensen (2010)
Liu ve diğerleri (2006)	Lauritzen ve Nilson (2011)
Lopez-Diaz ve Rodriguez-Muniz (2007)	Maua, de Campos ve Zaffalon (2012)
Kao (2008)	ÇAED
Hui ve Yan-ling (2009)	Poole (1997)
Peng (2009)	Koller ve Milch (2003)
Zhi ve Xue-Jin (2010)	Zeng ve Poh (2009)
OTED	Shi ve Lin (2010)
Zhou ve diğerleri (2012)	Nishiyama ve Sawaragi (2011)
EDED	Yang ve diğerleri (2011)
Doshi ve diğerleri (2010)	OED
Jian, Bo ve Zeng (2011)	Garcia ve Sabbadin, (2008)
Zeng ve Xiang (2010)	Guezguez ve diğerleri (2009)
Jian, Bo, Le ve Huayi (2011)	Wang, Zhang ve Xu (2013)
Luo ve Tian (2011)	NPED
Luo ve diğerleri (2011)	Howard, Vidgen, Powell ve Powell (2007)
Luo ve diğerleri (2011)	Powell ve Liddell (2004)
Zeng ve diğerleri (2011)	SED
Zeng ve Doshi (2012)	Ahlmann-Ohlsen, Jensen, Nielsen, Pedersen ve Vomlelova (2009)
GAED	Isa, Reitermanova ve Sykora (2009)
Madsen ve Jensen (2005)	

Çizelge 3.2. Çalışma alanlarına göre literatür grupları

Tıp	Teorik Çalışmalar				Bakım Problemleri	Mevsim ve Çevre Konusu
Bielza ve diğerleri (2000)	Horvitz ve diğerleri (1988)	Jonassen ve Ionas (2008)	Cano ve diğerleri (2006)	Jensen ve Nielsen (2011)	Vatn (1997)	Varis (1993)
Powell ve Liddell (2004)	Neufeld (1990)	Watthayu (2008)	Eleye-Datubo ve diğerleri (2006)	Jian ve diğerleri (2011)	Sachon ve Pate-Cornell (2000)	Varis ve diğerleri (1999)
Watson ve diğerleri (2004)	Ndilikilikesha (1994)	Ahlmann-Ohlsen ve diğerleri (2009)	Garcia-Sanchez ve Druzdel (2007)	Luo ve Tian (2011)	Jeong ve diğerleri (2007)	Lee ve Kim (2002)
Flores ve diğerleri (2005)	Ahn ve Ezawa (1997)	Cobb (2009)	Kocabaş ve Dragicevic (2007)	Luo ve diğerleri (2011)	Cai ve diğerleri (2009)	Hall (2005)
Kabanza ve diğerleri (2006)	Heger ve White (1997)	Guezguez ve diğerleri (2009)	Lacave ve diğerleri (2007)	Ma ve Liu (2011)	Cai ve diğerleri (2012)	Tookey ve diğerleri (2006)
Lee ve Craighead (2006)	Fagiuoli ve diğerleri (1998)	Isa ve diğerleri (2009)	Lopez-Diaz ve Rodriguez-Muniz (2007)	Zeng ve diğerleri (2011)	Üretim, Tasarım ve Kalite Problemleri	Smith ve Borgonovo (2007)
Gomez ve Fernandez del Pasa (2007)	Smith ve Papamichail (1999)	Bielza ve diğerleri (2010)	Masruroh ve Poh (2007)	Maua ve diğerleri (2012)	Attoh-Okine ve Roddis (1998)	Tabernier ve diğerleri (2010)
van Gerven ve diğerleri (2007)	Magni ve diğerleri (2000)	Doshi ve diğerleri (2010)	Nielsen ve diğerleri (2007)	Quintana ve Leung (2012)	Ang ve diğerleri (1999)	Carriger ve Barron (2011)
Kao (2008)	Jameson ve diğerleri (2001)	Li ve diğerleri (2010) (a)	Tamine-Lechani ve Boughanem (2007)	Zeng ve Doshi (2012)	Narman ve diğerleri (2007)	Asimetrik Karar Problemleri
Wu ve diğerleri (2009)	Lauritzen ve Nilsson (2001)	Li ve diğerleri (2010) (b)	Garcia ve Sabbadin (2008)		Love ve diğerleri (2010)	Bielza ve Shenoy (1999)
Zeng ve Poh (2009)	Campos ve diğerleri (2004)	Sondberg-Jeppesen veJensen (2010)	Cano ve diğerleri (2006)	Jensen ve Nielsen (2011)	Luo ve diğerleri (2011)	Shenoy (2000)
Wu ve diğerleri (2011)	Nielsen ve Jensen (2004)	Zeng ve Xiang (2010)	Eleye-Datubo ve diğerleri (2006)	Jian ve diğerleri (2011)	Pascual ve diğerleri (2011)	Demirer ve Shenoy (2006)
	de Campos ve diğerleri (2005)	Bielza ve diğerleri (2011)	Madsen ve Jensen (2005)	Jeantet ve Spanjuard (2011)		Jensen ve diğerleri (2006)

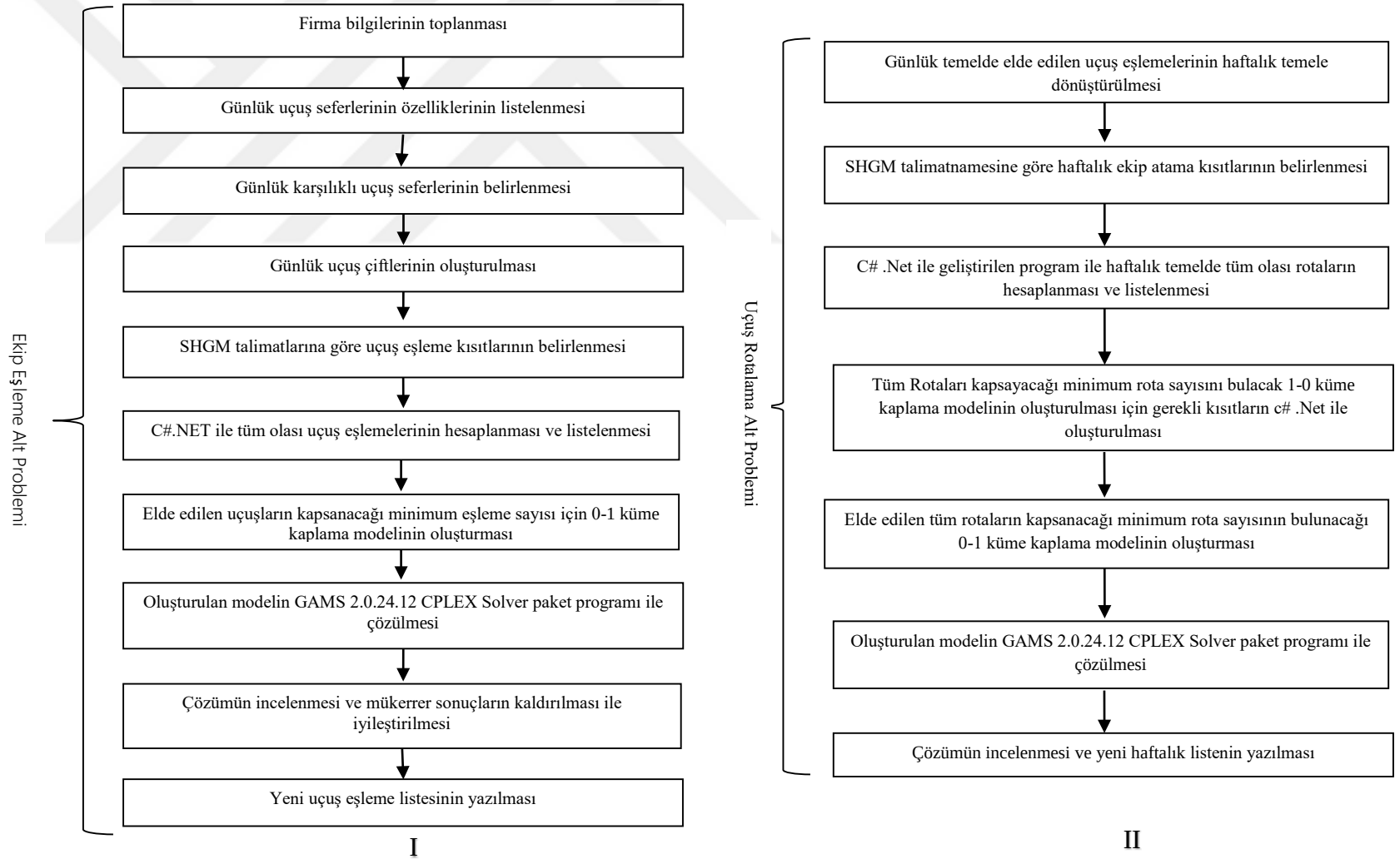
Çizelge 3.2. (devam) Çalışma alanlarına göre literatür grupları

Hizmet Sistemleri Problemleri	Yapay Zeka Uygulamaları			Bilgi Teknolojileri Problemleri	Risk Yönetimi Problemleri	
Dy ve diğerleri (2005)	Kim ve Park (1997)a	Basi ve Qian (2010)	Aven ve diğerleri (2006)	Johnson ve diğerleri (2007)	Armacost ve Pet-Edusards (1999)	Canbolat ve diğerleri (2007)
Xu ve diğerleri (2006)	Kim ve Park (1997) b	Chen ve Zhou (2010)	Xu ve Golay (2006)	Vargas ve diğerleri (2008)	Nishijima ve diğerleri (2000)	Chang ve Mosleh (2007)
Howard ve diğerleri (2007)	Poole (1997)	Shi ve Lin (2010)	Brynielsson (2007)	König ve Nordström (2009)	Fukuoka (2002)	Vasquez ve diğerleri (2006)
Sommestad ve diğerleri (2008)	Bielza ve diğerleri (1999)	Nishiyama ve Sawaragi (2011)	Chickering ve Paek (2007)	Sommestad ve diğerleri (2009)	Cox ve diğerleri (2003)	Cornalba ve diğerleri (2008)
Gustafsson ve diğerleri (2009)	Kim ve diğerleri (2002)	Premchaiswadi ve Jongsawat (2011)	Zarikas (2007)	Minich (2011)	Morgan (2003)	Badreddine ve diğerleri (2009)
Hui ve Yan-Ling (2009)	Koller ve Milch (2003)	Zhou ve diğerleri (2012)	Zhou ve diğerleri (2008)	Nishiyama ve diğerleri (2011)	Liu ve diğerleri (2006)	Liu ve diğerleri (2009)
Peng (2009)	Charnes ve Shenoy (2004)		Poropudas ve Virtanen (2009)	Horkoff ve diğerleri (2012)	Willems ve diğerleri (2005)	Sommestad ve diğerleri (2009)
Moizer ve Tracey (2010)	Gomez ve Bielza (2004)			Yer Seçimi Probelemleri	Carriger ve Newman (2011)	Jeet ve diğerleri (2010)
Yang ve diğerleri (2011)	Diğer			Lezki ve Er (2010)	Pang ve diğerleri (2011)	Zhi ve Xue-Jin (2010)
	Pinski (1977)	Cobb ve Shenoy (2008)	Liu ve Chen (2011)	Er ve Lezki (2012)	Wang, Zhang ve Xu (2013)	Yuan ve diğerleri (2011)
	King (1980)	Hui ve Yan-ling (2009)	Deboys (2004)			
	King (1983)	Zhou ve diğerleri (2009)				

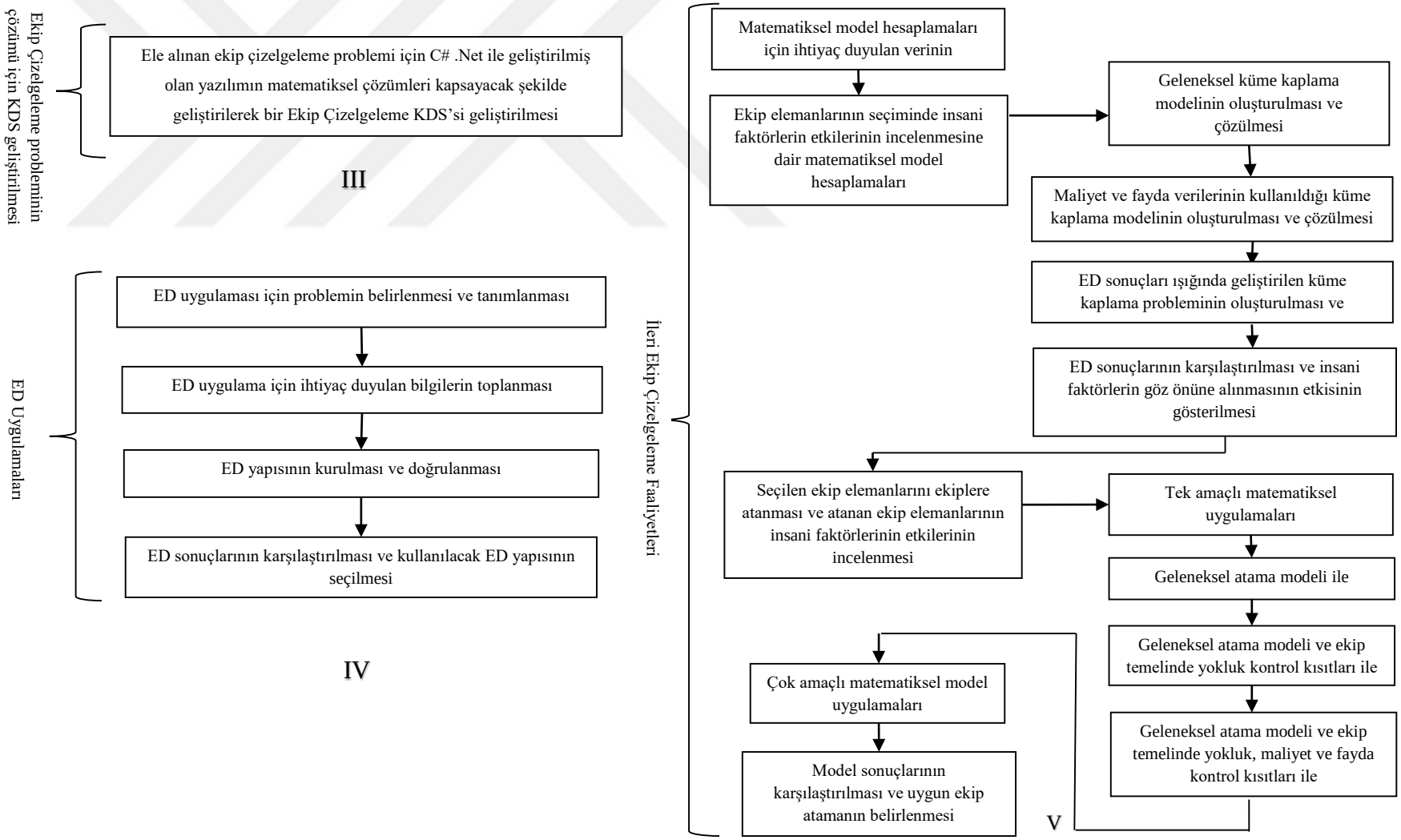
4. ÖNERİLEN YÖNTEM VE LİTERATÜRE KATKISI

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uygulama çalışmasının akış şeması ayrıntıları ile Şekil 4.1'de görülmektedir. Sunulan şekilde de açıkça belirtildiği gibi yürütülen tez çalışması pek çok ardıl adımdan oluşmaktadır. Buna göre tez kapsamında öne sürülen yaklaşıma dair bu ardıl adımlar kısaca özetlenecek olursa, ilk olarak incelenecek gerçek hayat problemi belirlenerek bu probleme dair veriler elde edilmiştir. Daha sonra ekip çizelgeleme probleminin her iki adımı, sırası ile ekip eşleme ve uçuş rotalama problemleri, geliştirilen KDS'nin kullanımı ve matematiksel modellerin uygulanması ile çözülmüştür. Bundan sonra haftalık temelde çözüme ulaştırılan ekip çizelgeleme probleminin ileri analizleri için insani faktör etkisi incelemelerinde bulunulmuş, ED tekniği uygulamaları ile ileri ekip çizelgeleme kapsamında atama kümesi içerisinde bulunan personel için analizler gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada ise ekiplere çalışan atamaları, klasik atama ve insani faktörlerin etkilerinin araştırılması kapsamında gerçekleştirilen ED uygulamalarının sonuçlarının da kullanılacağı şekilde ayrı ayrı modeller ile yapılmış, son olarak tez çalışması kapsamında kurulan pek çok matematiksel modelin çözüm sonuçlarının karşılaştırılması ile insani faktör etkilerinin dikkate alınmasının faydası ayrı bir tez çıktısı ve literatüre katkı olarak ortaya koyulmuştur.

Gerçekleştirilen tez çalışmasının aşamaları ve bu aşamaları oluşturan adımların içeriği bu bölümde ayrıntıları ile açıklanacaktır. Bunlara ek olarak, önerilen yöntem ile başarılan literatüre katkılar ile bunların nasıl gerçekleştirildiği de bu bölümde ortaya koyulacaktır.



Şekil 4.1. Öne sürülen yaklaşım için akış şeması



Şekil 4.1. (devam) Öne sürülen yaklaşım için akış şeması

Tez kapsamında literatüre sağlanacak ilk katkı ekip çizelgeleme problemine personelin moral ve motivasyon etkilerini yansıtabilmek ve tüm problemi çözümü esnasında bütünleşik olarak ele alabilecek kullanıcı dostu bir KDS tasarlamaktır. Bu bağlamda oluşturulacak matematiksel model anlayışı için çalışmalarında küçük boyutlu bir gerçek hayat problemini, matematiksel modeller ile bütünleşik çözüm yapamayan bir program ile düzenlenen verileri kullanarak çözüme ulaştırmış olan Çetin ve diğerleri (2008) ve çalışmasında ekip çizelgeleme probleminin yalnızca uçuş eşleme problem parçasını ele almış olan Mesquita ve diğerleri (2011)'in çalışmalarından faydalanılmıştır; bu çalışmada da araştırmacıların gerçekleştirmiş oldukları gibi tüm uçuşlardan uçuş çiftleri oluşturulmuş ve bilgisayar yazılımı kullanılarak olası tüm uçuş eşlemeleri yasal düzenlemelerin getirdiği kısıtlar altında listelenmiştir. Uçuş çiftleri oluşturulurken ana üsten günlük olarak yapılan tüm uçuşlar değil, karşılıklı uçuşlar göz önüne alınmıştır. Bunun nedeni SHGM talimatnamesinde belirtildiği gibi bir uçuş eşlemesinin ana üste başlayıp ana üste bitmesinin sağlanabilmesi ve Çankaya ve Arıkan (2009)'ın çalışmalarında belirtildiği gibi, günlük uçuş eşleme problemi çözüldüğünden, haftanın belirli günleri ya da sadece bir günü gerçekleştirilen uçuş seferlerinin göz önüne alınmamış olmasıdır.

Bu çalışmadan farklı olarak ele alınan uçuş eşleme problemi Çankaya (2008) çalışmasında olduğu gibi günlük planlama ufkundadır. Yapılacak tez çalışmasında planlama ufku olarak uçuş eşleme problemi için günlük problem, uçuş rotalama problemi için ise haftalık problem tipi seçilmiştir. Bu seçimin dayandığı nedenler şöyle açıklanabilir;

- Ekip eşleme problemleri ele alınırken farklı problem kategorileri ile incelenebilmektedirler. Bu problemlerin her birinde, belirli bir ekip kategorisi ve filo tipi için tüm uçuş seferlerini kapsayan minimum maliyetli bir ekip eşleştirmeleri kümesini bulmak amaçlanır. Günlük, haftalık ve ileri tarihli olmak üzere üç tip ekip eşleme problemi vardır. Ekip çizelgeleme süreci günlük uçuş eşleme optimizasyon problemi ile başlar. Bu seviyede, tüm uçuş seferlerinin her gün gerçekleşeceği varsayılır. Bir günlük problemi çözerek, tek bir gün için tüm uçuş seferlerinin kapsandığı bir eşlemeler kümesi elde edilir. Böylece bu çözümden yola çıkılarak, bulunan eşlemelerin kendini tekrar etmesiyle haftalık, aylık ya da daha ileri tarihli bir versiyon elde edilebilir. Ancak bu durumda haftalık/aylık istisnalar, kıdemler, ekip üssü dengelemeleri de dikkate alınmalıdır (Çankaya, 2008).

- Haftalık problem seviyesinde, önce günlük problemin çözümü bulunur ve tekrarlanarak haftalık çözüm elde edilir, bu esnada istisnalar doğrultusunda günlük problem çözümleri değiştirilebilir. Bu istisnaların sayısı az ise, genellikle böyledir, iyi bir haftalık çizelge elde edilir, ancak istisna sayısı arttıkça çözüm optimallikten uzaklaşır.
- İleri tarihli problem tipinde zaman ekseni genellikle bir aydır. Bu problem tipi günlük ve haftalık problemlerden daha zordur. Günlük ve haftalık çözümler uymayabilir, tatiller, uçuş iptal ya da eklemeleri gibi farklılıklar söz konusudur. Böyle düzensizlikler sonucunda problem boyutu çok büyür ve sonuç kalitesiz çözümlere ya da çözümsüzlüğe doğru gider (Çankaya, 2008).

Mevcut literatür incelendiğinde bu üç problem tipi arasında en çok incelenen problem tipi günlük ekip eşleme problem tipidir. Bu problem tipini ele almanın planlama safhasındaki aşırı maliyetlerin bu döneme ait olması nedeniyle maliyet minimizasyonu açısından da önemi çoktur, dolayısıyla günlük problemin optimizasyonu çizelgeleme sürecindeki en önemli aşama olmaktadır. Bahsi geçen bu nedenlerden ötürü**,** bu çalışmada da uçuş eşleme problemi için günlük problem tipi ele alınmıştır. Ancak uçuş rotalama problemi boş günler ve UGS'ler arasındaki DS'ler göz önüne alınması gereken bir problem tipidir. Bazı yayınlarda (örneğin Çankaya, 2008) günlük temelde uçuş eşlemeleri yapıldıktan sonra, her bir uçuş için bir ekibin gerektiği söylenerek, DS ve boş gün kısıtları gibi ekip atama yapılırken yasal olarak göz önüne alınması gereken kısıtlar hesaba katılmadan ekip atama gerçekleştirilmiştir, ancak bu çözüm gerçek hayat kısıtlarını barındırmamaktadır. Ayrıca bir ekip atama işlemi gerçekleştirilecekse, bu atama periyodunun en azından tüm yasal kısıtları bir kez barındırabilecek kadar uzun olması gerekmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında SHGM tarafından belirlenmiş olan boş gün ve DS kısıtlarının sağlanabileceği, aynı zamanda da problem boyutunu küçük tutarak işlem fazlalığından mümkün mertebe kaçınılabilecek planlama ufku olduğundan, uçuş rotalama problemi için ise haftalık problem tipi ele alınacaktır.

Daha sonra elde edilen tüm olası eşlemeler yine Çetin ve diğerleri (2008) çalışmasında olduğu gibi bir küme bölme modeli ile ifade edilmiş ve yine bu yayından farklı olarak GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver kullanılarak oluşturulan model çözülmüştür. Burada çözüm için kullanımına literatürde çok sık rastlanan sütun geliştirme algoritmasının seçilmemesinin nedeni ilk olarak bir sonraki adımda da ED etkilerini ölçmekte kullanılabilecek bir programın temellerini atmaktır. Bir başka neden ise

algoritmanın, büyük boyutlu doğrusal programlarda değişkenlerin çoğunun simpleks algoritmasında temelde olmayacağı ve optimal çözümde sıfır değerini alacağı varsayımı ile, problemi çözerken değişkenlerin sadece bir alt kümesinin dikkate alınmasının yeterli olduğu düşüncesine dayanmasıdır (Çankaya, 2008).

Son olarak elde edilen sonuçlar Çankaya (2008) çalışmasında olduğu gibi içerilen mükerrer sonuçlar açısından incelenerek, tüm uçuşların kapsanabileceği minimum eşleme sayısı bulunmuştur.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmaları ve mevcut yayınların kapsamlı ve derin incelemelerinden sonra, ele alınan problem tipine dair literatürde hali hazırda bulunan çalışmaların neredeyse tamamında sadece ekip çizelgeleme probleminin ilk ayağı olan ekip eşleme problemi ele alınmış olduğu görülmüştür. Ayrıca mevcut çalışmalarda bu NP-Zor yapıdaki problemi çözmek için matematiksel modellerin yeterli kalmadığı kanıtlanmış olduğu, bu nedenle çözüm algoritmaları olarak çeşitli sezgisel modellerin uygulandığı ve problemin sezgisel yöntemler ile sonuca ulaştırılmaya çalışıldığı görülmüştür. Literatürde mevcut bulunan matematiksel modeller aracılığı ile çözüme gitmeye çalışılmış çoğu çalışmada ise sütun geliştirme algoritması ve benzeri gibi problem verilerinin düzenlenmesini, tüm verilerin aynı anda ve doğru olarak matematiksel modele aktarılmasını zorlaştıran ve bu nedenle gerçek boyutlu problemlerin ele alınmasında gerek model boyutu gerekse veri doğruluğu açısından uygulanması ve optimal sonuç alınması güç yöntemlerin, bu tip handikaplardan kaçınmak adına gerçek hayat problemlerinin ancak ufak parçalarını oluşturabilecek daha küçük boyutlu problemlere uygulandığı görülmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmalardan farklı olarak, bu tez çalışmasında ekip çizelgeleme problemi bir bütün olarak ele alınmış, problemin ikinci adımı olan ekip atama problemi de bu kapsamda sonuca ulaştırılmıştır. Bunun yanı sıra, bu çalışmada NP-zor yapıda olduğundan sezgisel yöntemlerin kabul edilebilir ve optimale yakın ancak optimal olmayan çözümlerinin kabul edildiği benzer çalışmalardan farklı olarak, en temel ve kolay matematiksel model yöntemlerinin kullanılması geliştirilen KDS yardımı ile mümkün kılınmış hem ekip eşleme hem de uçuş rotalama problemleri optimal sonuçlarına hızlı ve etkin şekilde ulaştırılabilmiştir. Çalışmanın sağladığı bir diğer fayda olarak; manuel olarak düzenlenmesi büyük emek ve zaman kaybı getiren, ayrıca hatasız olarak yazılması neredeyse mümkün olmadığından uzun bir kontrol ve düzeltme süreci gerektirecek olan karmaşık matematiksel modeller, geliştirilen KDS'nin kullanımı ile hızlı ve güvenilir bir şekilde

oluşturulabilmektedir. Bu sayede, benzer problemlerin çözümünde de kullanılabilecek bu KDS ile büyük oranda zaman ve emek israfı engellenmiş olacaktır, bu durum KDS'nin kullanıcı dostu özelliğini desteklemektedir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen KDS yapısı ile ele alınan problem için gereken tüm hesaplamalar hızla ve kolaylıkla gerçekleştirilebilirken, farklı problemlere dair farklı veriler de aynı şekilde hızla ve kolaylıkla yapılabilecektir, bu durum KDS'nin kullanışlılığını desteklemektedir. Bu ve benzeri çalışmalara ek olarak, mevcut literatürün çoğunluğunu temsil eden ve ekiplere dair rotaların oluşturulması ile ekip atama probleminin çözüldüğünü varsayan uygulamalardan farklı olarak, bu çalışmada ekip atama problemi iki aşama halinde, tek ve çok amaçlı matematiksel modelleme yöntemleri ile ele alınmış, bu esnada sonradan ortaya çıkması olası çizelge bozulmalarını enazlayabilmek amacıyla insani faktörlerin etkisi de ED tekniğinin ayrıca kullanılması ile göz önünde tutulmuştur.

Yapılan uygulama çalışmasının tümü temelinde sağlanan katkılar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

A. Çalışmanın ilk bölümünde (KDS ve ekip çizelgeleme matematiksel programlama modellerinin geliştirilmesi) sağlanan literatür katkıları:

- NP-zor yapıda, matematiksel programlama yöntemlerinin yalın kullanımı ile optimal bir mümkün çözüme ulaşılması genellikle mümkün olmayan, bu nedenle bazı "böl ve çöz" algoritmaları, sütun geliştirme algoritmaları, dal ve sınır algoritmaları gibi yine matematiksel ancak karmaşık ek işlemler gerektirerek problemin çözüm süresini ve gerekli kapasiteyi arttıran, bu sebeplerle kimi zaman yine de optimal çözüme götüremeyen, ya da meta sezgisel yöntemlerin kullanımıyla optimal olmayıp optimal çözüme yakın etkin çözüm bulmayı mümkün kılan yöntemlerle çözülmeye çalışılmış olan ekip çizelgeleme problemi, literatürde bulunan en geniş ve zor uygulama alanı olan havayolu taşımacılığı için, geliştirilen yaklaşım ile küme kaplama modelleri kullanılarak matematiksel programlama yöntemlerinin yalın kullanımı ile optimal çözüme ulaştırılmıştır. Bu sayede, meta sezgisel yöntemlerin kullanımına gerek kalmadan optimal çözüm sağlanırken, karmaşık ek işlemler ve algoritmalar kullanılmadan, hızlı ve güvenilir sonuçlar, bilinen en yalın ve anlaşılabilir şekilde ifade edilen problemin çözümü ile elde edilmiştir.

- Öne sürülen yaklaşımda, ekip çizelgeleme problemi iki ayrı kısımda ele alınmış ve dolayısıyla üç ayrı ana matematiksel model sonuca ulaştırılmıştır. Birden çok matematiksel modelin verilerinin toplanması, bu modellerin oluşturulması ve çözülmesi gibi dezavantajlar getirdiği görülen bu yaklaşımın bahsedilen eksiklerinin giderilmesi için bir KDS geliştirilmiş, bu sayede ele alınan NP-zor yapıdaki problemin verileri kolaylıkla ele alınırken, matematiksel modeller KDS tarafından oluşturularak çözüme ulaştırılmış, elde edilen sonuç verileri yine KDS tarafından düzenlenerek kullanıcıya sunulmuştur.
- Öne sürülen yöntemde geliştirilen KDS'nin kullanıcılara sağladığı göze çarpan bir avantaj daha vardır. KDS kullanımı olmaksızın, büyük boyutlu NP-zor yapıdaki problemlere dair verilerin derlenmesi, matematiksel modellerin değişken sayılarının oldukça fazla olması, yazılacak her kısıt için hesaplanan tüm uçuş eşlemelerinin ve rotaların tek tek incelenmesi, bunların ise göz ile manuel olarak gerçekleştirilmesi oldukça uzun zaman alacak ve hatasız olarak tek seferde yapılması neredeyse imkânsız olan bir süreçtir. Bunların yanında, yapılacak bu işlemlerin her bir matematiksel model için tekrarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, geliştirilen KDS'nin kullanımı ile, emek ve zamandan oldukça fazla oranda tasarruf sağlanırken, manuel hesaplamalarda karşılaşılabilecek hatalar da ortaya çıkmadan elimine edilebilmiştir.

B. Çalışmanın ikinci bölümünde (insani faktörlerin dikkate alınmasının çalışan seçimi ve ekip oluşturma problemlerinin çözümündeki etkisinin incelenmesi) sağlanan literatür katkıları:

- Geliştirilen matematiksel modeller ile, oluşturulan ekiplere çalışan atamaları gerçekleştirilirken insani faktörlerin göz önünde tutulması sağlanmış, bu sırada sağlanan faydanın oluşturulan pek çok farklı matematiksel modelin ve bunların çözümlerinin karşılaştırmalı olarak gösterilmesi ve analiz edilmesi gerçekleştirilmiştir.
- Çalışan yokluğuna bağlı çizelge bozulmaları ve çalışan maliyetini en azlayan, çalışanların tecrübelerinden en yüksek faydayı sağlamayı mümkün kılan tek ve çok amaçlı modellerin çözülmesi ile hem çalışanların hem firmanın görünmeyen maliyet ve cezalardan etkilenme riskleri en aza indirilmiştir.
- Literatürde daha önce bu şekilde ele alınmamış olan insani yokluklara bağlı çizelge bozulmaları durumu hem tüm ekip çizelgelerinin oluşturulması hem de çalışanların

seçilerek bu ekiplere atanması çerçevesinde çözülen problemde ED hesaplamaları ile ele alınmıştır.

5. UYGULAMA

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen uygulama çalışmasında bir yerel havayolu firmasının merkez üssü İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı olan uçuşları için ekip çizelgeleme çalışması ve ileri ekip çizelgeleme analizleri yapılacaktır.

Bu amaçla uygulama çalışması bölümünde ilk olarak problem amaçlarına uygun bir KDS geliştirilmiş, daha sonra ekip eşleme ve uçuş rotalama problem parçaları bu KDS'nin de kullanımı ile ardıl olarak çözüme ulaştırılarak ekip çizelgeleme problemi sonuçlandırılmıştır. Bir sonraki adımda ileri çizelgeleme faaliyetleri kapsamında çalışan ataması gerçekleştirilmiş, bu esnada ise ED tekniği kullanılarak insani faktörlere dayalı olarak ortaya çıkabilecek olası çizelge bozulmalarının önlenmesine çalışılmıştır.

Bu bölümde yürütülen uygulama çalışması ayrıntılarıyla adım adım açıklanacak, gerçekleştirilen araştırmalar ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulacaktır.

5.1. Problemin Tanımı

Tez kapsamında öne sürülen, büyük boyutlu ekip çizelgeleme ve ileri ekip çizelgeleme problemlerinin optimal çözümünde saf matematiksel modellerin kullanımını mümkün kılacak bir KDS geliştirilmesi ve buna ek olarak çizelge bozulmalarını en azlayacak şekilde insani faktörlerin dikkate alınmasını içeren yeni yaklaşımın sunulması kapsamında, gerçekleştirilen uygulama çalışmasında bir gerçek hayat problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemin tanımlanması kapsamında ilk olarak uygulama çalışmasında incelenecek havayolu şirketi belirlenmiştir. İncelenmek üzere Türkiye çapında en geniş uçuş ağına sahip olan yerel bir özel havayolu firması seçilmiştir. Daha sonraki adımlarda sırası ile ele alınan problemin incelenebilmesi için gerekli veriler düzenlenecektir, ancak bu alt bölüm kapsamında ilk olarak, bu problemin incelenmesinde kullanılacak olan terminolojinin ve incelenmekte olan verilerin, göz önünde tutulan varsayım ve kısıtların anlamlarının daha kolay anlaşılabilmesi için, aşağıda öncelikle havayolu ekip çizelgeleme problemine dair tanımlar ve kavramlar açıklanacaktır.

Bu alt bölümde açıklanacak olan tüm tanım ve kısaltmalar, kavramlar, uygulama hususları ve yasal şartlar SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05)'ndan alınmıştır. Bu talimatın amacı; uçuş emniyetinin sağlanması için, Türk tescilli hava araçlarında görev yapacak uçucu ekipler ile havacılık işletmelerinin uyması zorunlu uçuş görev ve dinlenme sürelerine ilişkin esas ve usuller ile sınırlamaları belirlemek ve bu konudaki faaliyetleri düzenlemektir. Ayrıca, Ulaştırma Bakanlığından işletme ruhsatı almış havacılık işletmelerinin tümü, ilgili yönetici personel ile geçerli lisans ve/veya sertifika sahibi olan uçucu ekipler bu talimat ile belirlenmiş usul ve esaslara uymak zorundadırlar.

Ana Üs: Havacılık işletmesinin uçuş faaliyetlerini yürüttüğü ve işletme ruhsatında ana merkez olarak belirlenen, uçucu ekiplerin kendi imkânları ile konaklama ve iaşelerini sağladığı mahaldir.

Boş Süre: Uçucu ekiplere uçuş görev süresi, dinlenme süresi, nöbetçi ekip görev süresi, yedek ekip görev süresi, konaklama süresi dışında, hiçbir uçuş görevi veya ilave görevin verilmediği serbest süredir.

Dinlenme Süresi: Bir uçucu ekibin, bir önceki uçuş görev süresinin bittiği andan itibaren başlayan ve yeni bir uçuş görev süresinin başlama saatine kadar süren, her türlü görevden muaf tutulduğu süredir.

Hava Aracı: Havalanabilen ve havada seyredebilme kabiliyetine sahip, her türlü araçtır.

Havacılık İşletmeleri: Türk tescilli hava araçlarını ticari, gayri ticari veya diğer maksatlarla kullanmak üzere Bakanlıktan ruhsat alarak, sivil havacılık faaliyetinde bulunan işletmelerdir.

Havayolu Taşıma İşletmeciliği: Tüm havayolu taşımacılığı yapan işletmeler ile, onaylı azami koltuk kapasitesi 20 dahil daha fazla yolcu koltuk kapasiteli hava araçları ile tarifeli veya tarifesiz seferler yapan işletmeleri kapsar. Onaylı Azami Koltuk Kapasitesi 20 koltuktan az olan uçaklarla tarifeli veya tarifesiz sefer yapan havayolu işletmeleri için usuller hava taksi işletmelerinde olduğu gibidir.

Kabin Ekibi: Bir uçuş görevinin yapılmasında kokpit ekibinin dışında, esas görev yeri hava aracının kabini olan ve işletmeci tarafından yolcu emniyetini ve gereksinimlerini karşılamak üzere gerekli temel ve tazeleme eğitimlerini alarak sertifikalandırılmış personeldir.

Kaptan Pilot: Uçuş süresince hava aracının her türlü harekâtından sorumlu olan, işletme tarafından atanan, kaptan pilot statüsünde ve SHGM tarafından bu maksatla yetkilendirilmiş belirli bir lisansa sahip olan pilottur.

Kesintili Uçuş Görev Süresi: Her bir uçucu ekip için, uçuş süreleri arasında bekleme olan uçuş görev süresidir.

Kesintisiz Uçuş Görev Süresi: Her bir uçucu ekip için, uçuş süreleri arasında, havacılık işletmesinin planladığı, yeni bir uçuş görevi için hazırlık süresi haricinde bekleme yapılmayan uçuş görev süresidir.

Kokpit Ekibi: Hava aracının sevk ve idaresi ile kullanımından sorumlu ve SHGM tarafından lisanslandırılmış gerekli olan asgari sayıdaki pilot/pilotlar ile eğer varsa uçuş mühendisleridir.

Pilot: Hava aracının sevk ve idaresiyle görevli olan sorumlu kaptan pilot ve/veya kaptan pilot haricindeki SHGM tarafından yetkilendirilmiş, diğer pilot ya da pilotlardır.

Sorumlu Kaptan Pilot: Havacılık İşletmeleri tarafından belirlenen ve uçuşun sevk ve idaresinden sorumlu kaptan pilot veya acil durumlarda, kaptan pilotun görev yapamaması durumunda geçici olarak bu görevi üstlenecek pilottur.

Uçucu Ekip: Havacılık işletmeleri tarafından belirlenen, hava aracının sevk ve idaresiyle görevli pilotlar, uçuş mühendisleri ile sertifikalı kabin içi emniyet ve diğer hizmetlerin yürütülmesiyle görevli kabin ekibini ve yükleme görevlilerini, uçak tipine göre uçuş mühendisi kapsamında gerektiğinde seyrüsefer ve radyo operatörleridir.

Uçucu Ekip Planlama ve Koordinasyon Sorumlusu: Havacılık işletmeleri tarafından belirlenen ve uçuş faaliyetlerinin bu talimat kapsamındaki hükümlerinin planlanması,

yayınlanması, dağıtılmasından ve takibinden sorumlu olan ve SHGM tarafından hazırlanacak olan ayrı bir talimata göre yetkilendirilecek personeldir.

Uçuş Görev Süresi (UGS): Tek bir uçuş ya da uçuş serilerinden oluşmuş bir uçuş görevi için, uçuş ekip üyesinin uçuş hazırlığı ile başlayan ve aynı uçuş veya uçuş serilerinin sonundaki tüm uçuş görevlerinden muaf tutulduğu toplam süredir.

Uçuş Mühendisi: Uçuş işletme el kitapları gereğince hava aracında bulunması ve pilotlardan başka kokpitte görev yapması gerekli olan sertifikalı personeldir.

Uçuş Süresi (US): Bir hava aracının kalkış yapmak maksadıyla, kendi gücü ile veya harici bir güç uygulanmak suretiyle ilk hareketine başlama anından, uçuşun veya görevin sonunda tam olarak durarak yolcu, yük veya diğer muhteviyatı indirme ve/veya bindirme amacıyla kendisine tahsis edilen park yerine gelme anına kadar geçen toplam süredir.

Yükleme Görevlisi: Uçuş işletme el kitabı gereğince hava aracının belirtilen kurallara göre yüklemesini ve boşaltmasını yapan sertifikalı personeldir.

Zaman Tanımları:

Gün: 00.01 UTC ile 24.00 UTC arasındaki süreyi,
Hafta: Birbirini takip eden 7 günü,
Ay: Bir takvim ayını,
3 ay: Birbirini takip eden üç takvim ayını,
Yıl: Bir takvim yılını, ifade eder.

Bu metinde yer verilmeyen ancak SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05)'nda bulunan uygulama hususları, bunlara dair tanım ve maddeler hakkında: Ele alınan problemde problem karmaşıklığını azaltmak için bu tip uygulamaların (geçici ek görev, geçici üs, geçici üs süresi, ilave ekip, ilave tam ekip, nöbetçi ekip, nöbetçi ekip görev süresi, uçuş süresi – helikopter, uygun konaklama tesisi, uygun tesis, yedek ekip, yedek ekip görev süresi, genel havacılık faaliyetleri, hava aracı ile zirai mücadele ve yangın söndürme faaliyetleri, hava taksi faaliyetleri, pas görev süresi, nöbet süresi) oluşmadığı varsayılmıştır.

Tez çalışması kapsamında incelenecek olan ekip çizelgeleme probleminin tanımlanması aşamasında sırada gelen ikinci adımda ise ilk adımda belirlenen firmanın uçuş seferlerinin düzenleneceği merkez üs belirlenmiştir, bunun nedeni Türkiye Cumhuriyeti'nde faaliyet göstermekte olan tüm havayolu işletmelerinin her bir uçucu ekip için bir ana üs belirlemek ve bunu SHGM'ye bildirmek zorundalıklarıdır (http://web.shgm.gov.tr). Daha sonra bu firmanın İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı merkez üslü uçuşları firmanın web sitesi üzerinden listelenmiştir. Firmadan bu verilerin kullanılmasına dair herhangi bir izin ya da verilere dair hali hazırda firma tarafından kullanılmakta olan herhangi bir belge talep edilmemiştir.

Havayolu firmasının günlük olarak İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı (SAW) merkez üslü gerçekleştirdiği toplam 189 uçuş bulunmaktadır. Bu 189 uçuşa dair bazı özellikler aşağıdaki tabloda (Çizelge 5.1) verilmiştir.

Çizelge 5.1. Günlük olarak gerçekleştirilen SAW merkez üslü uçuşlar listesi

Varış/ Kalkış Yeri	Aktarmalı Uçuş Sayısı	Direk Uçuş Sayısı	Karşılıksız Uçuş Sayısı	Toplam Uçuş Sayısı
Adana (ADA)	7	6	1	13
Adıyaman (ADF)	3	-	1	3
Ağrı (AJI)	2	-		2
Ankara (ESB)		8	2	10
Antalya (AYT)	10	-		10
Balıkesir (BLK)	-	-	-	-
Balıkesir-Koca Seyit (EDO)	-	2		2
Batman (BAL)	4	-		4
Bodrum (BJV)	3	2	1	5
Bursa (YEI)	-	-	1	1
Çanakkale (CKZ)	-	-	-	-
Çorlu (TEQ)	-	-	-	-
Dalaman (DLM)	-	-	1	1
Diyarbakır (DIY)	9	4	1	13
Elazığ (EZS)	4	2	-	6
Erzincan (ERC)	2	-	-	2
Erzurum (ERZ)	8	4	-	12
Gaziantep (GZT)	5	4	1	9
Hatay (HTY)	4	2	-	6
Iğdır (IGD)	2	-	-	2
İzmir (ADB)	10	-	-	10
Kahramanmaraş (KCM)	-	-	1	1
Kars (KSY)	5	2	1	7
Kayseri (ASR)	-	6	-	6
Kocaeli (KCO)	-	-	-	-
Konya (KYA)	-	4	-	4
Lefkoşa (ECN)	5	-	1	5
Malatya (MLX)	4	-	-	4
Mardin (MQM)	4	2	-	6
Muş (MSR)	3	-	1	3
Samsun (SZF)	3	4	1	7
Sivas (VAS)	-	-	-	-
Siirt (SXZ)	2	-	-	2
Şanlıurfa (GNY)	6	-	-	6
Trabzon (TZX)	10	6	-	16
Van (VAN)	11	2	1	11

Çizelge 5.1’de de görüldüğü gibi bu 189 uçuşun bazıları direk ve karşılıklı uçuşlar, bazıları aktarmalı uçuşlar, bazıları ise karşılıksız, yani günde bir kez yapılan uçuşlardır. Bu uçuşların içinden aktarmalı uçuşlar ile karşılıksız uçuşlar yapılacak uygulama için ele alınacak veri kümesinden çıkarılmıştır. Çünkü bu uçuşlar her gün tekrar eden yapıda değildir ve uçuş eşleme problemi günlük periyotta incelenecektir. Ayrıca bu uçuşlar ile uçuş çifti, karşılıkları olmadığından ya da uçuşların sefer sayılarının takip edilememesinden dolayı mümkün değildir, aktarmalı olarak ele alınacak seferler başka bir direk ya da aktarmalı uçuşun da içinde olabilirler ve bu durumda bir uçuş seferi yanlışlıkla iki kez ele alınarak aynı sefere iki ekip atanması gibi istenmeyen durumlar oluşabilir. Bu durumda karşılıklı ve direk uçuşlar yeniden sayıldığında İstanbul merkez üslü günlük toplam 60 uçuş seferi olduğu görülmektedir. Bu 60 uçuştan sefer sayıları temelinde 30 adet uçuş çifti oluşturulmuştur ve bu uçuş çiftleri ile bunlara ilişkin kalkış ve varış saatleri ile yer bilgileri Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Günlük temelde SAW merkez üslü uçuş çiftleri

SN	KY	KS	İS	İY ve KY	KS	İS	İY
1	SAW	07:20	08:45	ADA	09:20	10:50	SAW
2	SAW	18:00	19:25	ADA	20:00	21:30	SAW
3	SAW	22:55	00:25	ADA	06:30	08:00	SAW
4	SAW	07:45	08:45	ESB	10:25	11:25	SAW
5	SAW	12:00	13:00	ESB	14:00	15:00	SAW
6	SAW	16:30	17:30	ESB	19:45	20:45	SAW
7	SAW	21:20	22:20	ESB	23:15	00:15	SAW
8	SAW	15:15	16:05	EDO	16:40	17:30	SAW
9	SAW	20:00	21:10	BJV	21:45	22:55	SAW
10	SAW	10:10	12:00	DIY	12:35	14:30	SAW
11	SAW	19:30	21:20	DIY	21:55	23:50	SAW
12	SAW	23:15	00:50	EZS	07:30	09:15	SAW
13	SAW	12:55	14:35	ERZ	15:10	17:00	SAW
14	SAW	20:00	21:40	ERZ	22:15	00:05	SAW
15	SAW	09:30	11:00	GZT	11:35	13:15	SAW
16	SAW	22:20	23:50	GZT	07:00	08:40	SAW
17	SAW	17:00	18:45	HTY	19:20	21:10	SAW
18	SAW	11:45	13:50	KSY	14:25	16:40	SAW
19	SAW	09:30	10:45	ASR	11:20	12:35	SAW
20	SAW	16:15	17:30	ASR	18:05	19:20	SAW
21	SAW	22:20	23:35	ASR	07:00	08:15	SAW
22	SAW	09:00	10:10	KYA	10:45	11:55	SAW
23	SAW	18:10	19:20	KYA	19:55	21:05	SAW
24	SAW	11:30	13:25	MQM	14:00	16:00	SAW
25	SAW	08:55	10:15	SZF	10:50	12:15	SAW
26	SAW	18:15	19:35	SZF	20:10	21:35	SAW
27	SAW	07:00	08:40	TZX	09:15	11:00	SAW
28	SAW	18:15	19:55	TZX	20:30	22:15	SAW
29	SAW	22:25	00:05	TZX	07:00	08:45	SAW
30	SAW	13:30	15:30	VAN	16:05	18:20	SAW

Burada SN: sefer numarası; KY: kalkış yeri; KS: kalkış saati; İS: iniş saati; İY: iniş yeri ve İS: iniş saatini temsil etmektedir. Problemin çözümü küme bölme modelinin oluşturulup çözülmesi ile gerçekleştirilecektir. Ancak bunun için öncelikle tüm olası eşleşmelerin elde edilmesi gerekmektedir. Bu işlemin manuel olarak yapılması ise oldukça büyük miktarda zaman ve emek gerektirecek, çoğu zaman bu büyük miktarlarda kaynakların kullanılmasına rağmen optimal sonuca ulaşılamayan, ayrıca manuel olarak gerçekleştirilen işlemler dikkate alındığında insan yanılgısına ve hatalara açık olacak bir süreci içermektedir.

Yukarıda açıklanmakta olan bu gibi sınırlandırmaların ve güçlüklerin üstesinden gelebilmek adına, tez çalışması kapsamında incelenmekte olan ekip çizelgeleme problemini bütünüyle saf matematiksel programlama yöntemleri ile optimal çözüme ulaştırabilmek amacı ile verilerin derlenmesi ve düzenlenmesi için özel bir KDS geliştirilmiştir. Sıradaki alt adımda bu KDS tanıtılacak ve sistem ile sistemin sağladığı faydalara dair gerekli açıklamalar yapılacaktır.

5.2. Karar Destek Sistemi

Uygulama çalışmasının bu kısmında ekip çizelgeleme problemini bir bütün olarak iteratif şekilde ele alabilecek bir KDS yapısının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında geliştirilen bu KDS, .NET framework 4.5 ile Windows Form platformunda C# dilinde Visual Studio Express Edition 2012 for desktop IDEsi ile hazırlanmış ve Windows 7 Home Premium işletim sistemi kullanan, 6.00 GB RAM ve 2.00 GHz CPU hızına sahip Intel ® Core ™ i7 işlemciye sahip bir dizüstü bilgisayarda çalıştırılmıştır. Ancak yeterli donanım gereklerine sahip olan farklı bilgisayarlarda da çalıştırılabilecek niteliktedir.

Geliştirilen KDS'nin işleyişi özetle şu şekilde aktarılabilir; verileri bulundukları .xlsx dosyalarından çekerek öncelikle SHGM talimatında belirtilen ekip eşleme kısıtlarını göz önüne alarak olası tüm ekip eşlemelerini sıralayarak, daha sonra bu verilerin kullanılacağı tüm uçuşların kapsanacağı minimum eşlemenin bulunmasını sağlayacak 0-1 küme kaplama matematiksel modelinde kullanılacak kısıtları oluşturabilmektedir. Geliştirilen KDS daha sonra bu matematiksel modelin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözülmesini sağlamakta ve elde edilen sonuçları kullanıcıya sunmaktadır. Bu aşamadan elde edilen sonuçları, daha sonraki adımda uçuş rotalama problem parçasının çözümü için kullanan KDS, gerekli düzenlemeleri tek tuşla gerçekleştirebilmekte, daha sonra olası tüm rotaları SHGM talimatında belirtilen haftalık uçuş rotalama kısıtlarını göz önüne alarak hesaplayabilmektedir. Yine KDS ile, bu verilerin kullanılacağı haftalık tüm eşlemelerin kapsanacağı minimum rotanın bulunmasını sağlayacak 0-1 küme kaplama matematiksel modelinde kullanılacak kısıtlar oluşturulabilmekte ve bu matematiksel model GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözülebilmektedir. KDS, elde edilen nihai sonuçları bir liste halinde kullanıcıya sunabilmektedir.

Yazılan programın algoritmik işleyişi ise aşağıdaki kaba kod ile şu şekilde temsil edilebilir;

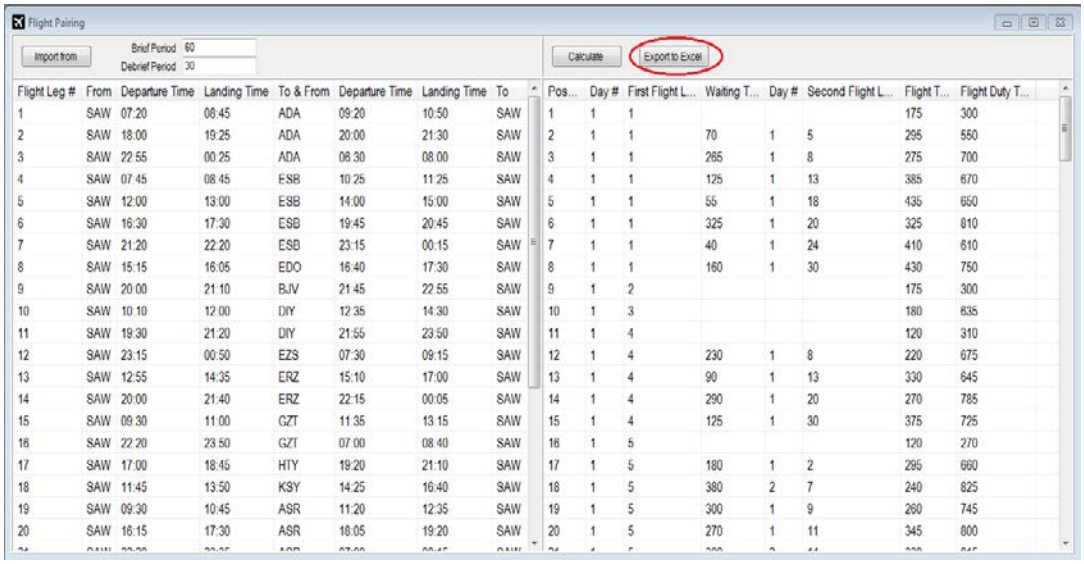
```
Proc                                                    //Yapıcı Metot
        var  ← Degiskenleri Al()

btnExceldenAl_click                                     //Excelden Uçuş verilerinin alınması
        var.UcuslarListesi ← Excelden Al()
        var.UcuslarListesi elemanları ile UcuslarTablosunuDoldur

btnHesapla_Click                                        // Başla
          1) b ← BriefPeriodAl
          2) d ← DeBriefPeriodAl
          3) var.Eslemeler ← yeni liste oluştur
          4) foreach var.UcuslarListesi  içindeki  ug ← UcusGorevi için
          5)   yeni ug.OlasıEslemeleri  Listesi Oluştur
          6)   ug_UGS ← ug UGS Hesapla
          7)   For  i = 0 , i < var.UcuslarListesi.length, i++
          8)         HedefUg ← var.UcuslarListesideki i ‘inci eleman
          9)         HedefUg için UGS hesapla
          10)        Ucus Süresi Hesapla
          11)        Bs hesapla
          12)        ToplamUGS Hesapla
          13)        Kısıt← kısıt Hesapla
          14)        If kısıt >= ToplamUGS        then
          15)              Ug nin OlasıEslemeleri Listesine HedefUg’yi ekle
          16)        End if
          17)  End For
          18)  Var.Eşlemeler Listesine ug ‘yi ekle
          19) Foreach end
                  //Eşleme işlemi Tamamlandı
          20) Var.Eslemeler listesini kullanarak Eslemeler tablosunu Doldur.
BtnExceleAkta_Click                                     //Bulunan Sonuçların Excele
aktarılması
          21) Excel dosyasına var.eşlemeler tablosunu doldur.
btnHesapla_Click                                        //Button      Click
Event
        22)SeçilenHaftalıkEşlemelerListesiOluştur()
        23)bittimi ← False
        24)while(!bittimi)
        25)     for(RotaIndex = 0; RotaIndex<RotaListesiSayısı;RotaIndex++)
        26)         RotaTamamlanmaDurumuKontrolüYap()
        27)         RotaYeniEklendiİseSonrakiRotayaGeç()
        28)         TamamlanmışRotaİseSonrakiRotayaGeç()
        29)         for(haftalıkIndex=0;
haftalıkIndex<HaftalıkListe.length;haftalikIndex++)
        30)             RotaEslemeHaftalıkEşlemeAynıİseSonrakineGeç()
        31)             EslemeRotayaEşlenmişİseSonrakineGeç()
        32)             DinlenmeZamanıHesapla()
        33)         KalkışİnişZamanlarınıKarşılaştırVeZamanKısıtınıUygula()
```

```
34)                    BoşZamanKısıtıUygula()
35)                    if(RotalarlistesineEkle)
36)                        RotayıRotalarListesineEkle()
37)                        SonrakineGeç()
38)                    else if(mevcutRotayıGüncelle)
39)                        RotayıGüncelle()
40)                        SonrakineGeç()
41)     Bittimi = RotalarınHepsimiBittimi()
42)ListeyiDoldur()
```

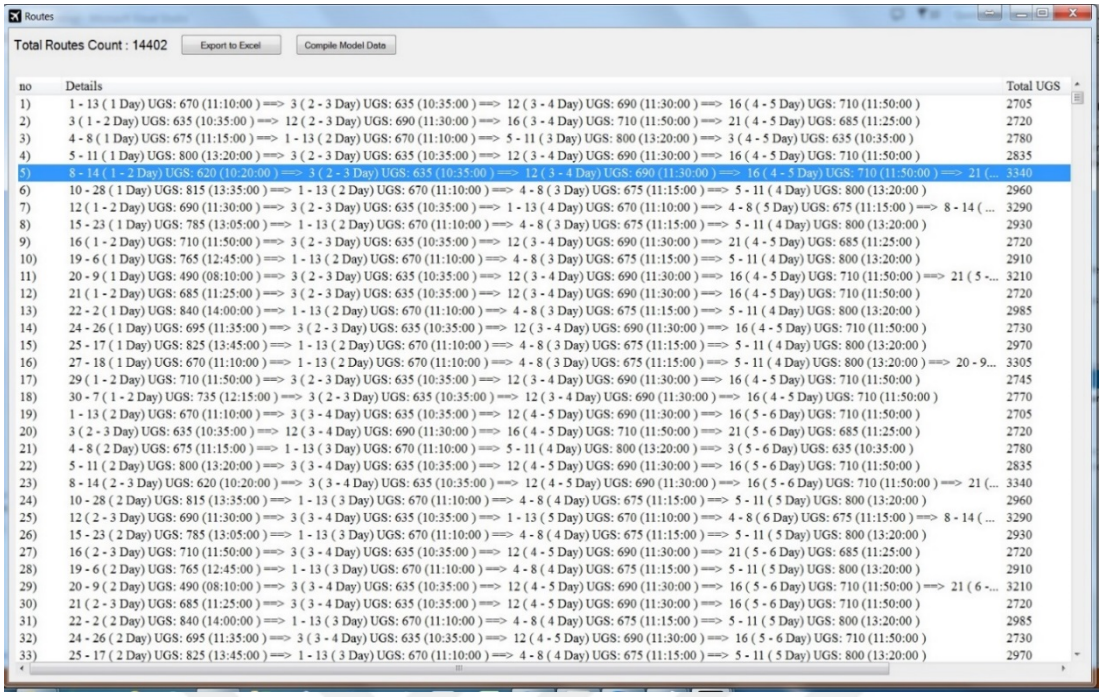
Hedeflenen KDS'nin .NET framework ile Windows Form platformunda C# dili ile programlanmasının nedenleri şöyle sıralanabilir;

- Windows Form platformunda uygulama geliştirilirken, grafik arayüzlerinin sürükle bırak mantığı ile kolayca tasarlanabiliyor olması,
- .NET framework 4.5 getirdiği kolaylıklar (örneğin tip güvenli listeler gibi),
- C# dili ile Excel'in interop rahatça kullanılabiliyor olması.

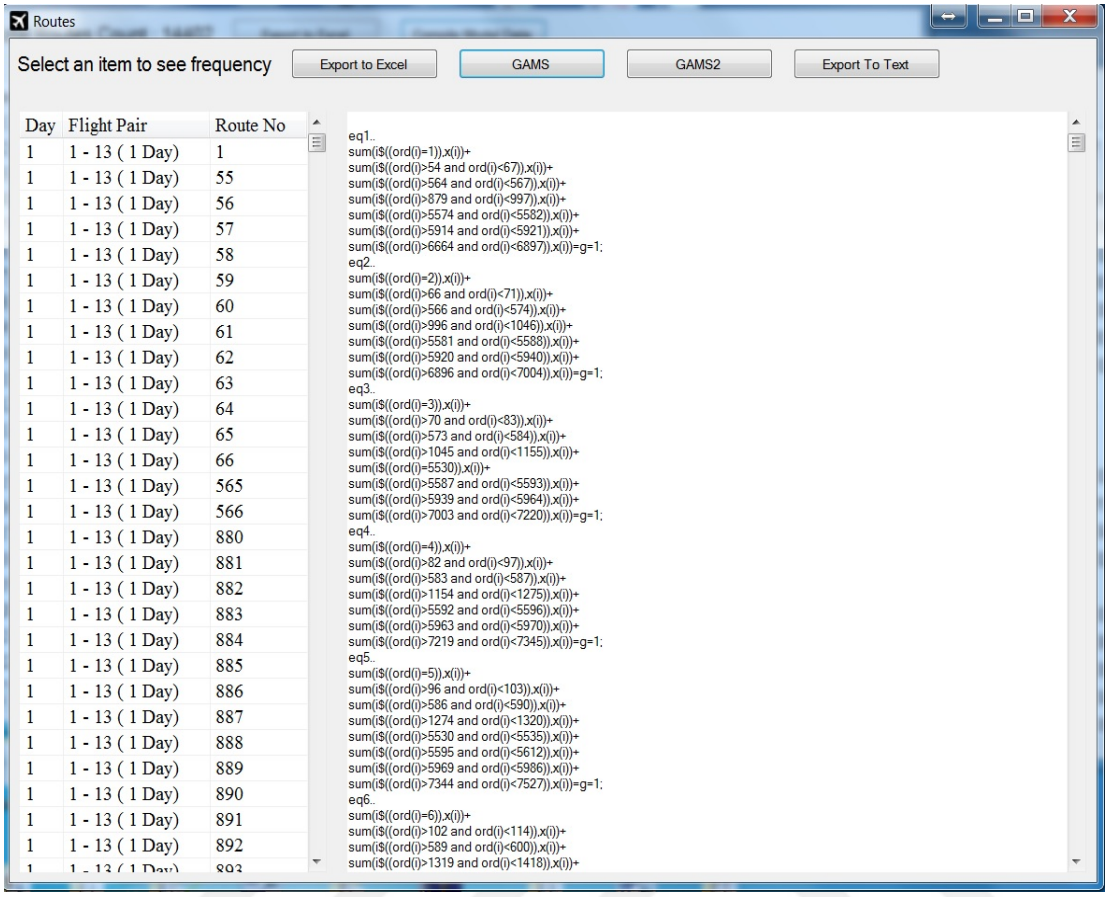
Hazırlanan KDS'nin "ekip eşleme problem sonucu", "uçuş rotalama" ve "uçuş rotalama matematiksel modelini oluşturma" işlemlerine ait ekran görüntülerine dair gösterimler sırası ile Şekil 5.1 – Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.1. Geliştirilen KDS'de ekip eşleme problemi veri derleme ekranı



Şekil 5.2. Geliştirilen KDS'de uçuş rotalama problemi veri derleme ekranı



Şekil 5.3. Geliştirilen KDS'de uçuş rotalama matematiksel modelini oluşturma ekranı

Tez çalışması kapsamında geliştirilen KDS ile sağlanan faydalar şu şekilde sıralanabilmektedir;

- Problem verilerinin KDS ile düzenlenmesi sayesinde, genelde matematiksel programlama yöntemleri ile optimal çözüme ulaştırılması mümkün olmayan NP-zor yapıdaki büyük boyutlu bir gerçek hayat ekip çizelgeleme problemi hem ekip eşleme hem de uçuş rotalama problem parçalarını ele alırken, iteratif olarak, matematiksel modellerin kullanımıyla optimal çözüme ulaştırılabilmiştir.
- Elde edilen optimal çözümde SHGM talimatında yer alan günlük ve haftalık temeldeki tüm yasal kısıtlar göz önünde tutulmuştur.
- Manuel olarak düzenlenmesi büyük emek ve zaman kaybı getiren, ayrıca hatasız olarak yazılması neredeyse mümkün olmadığından uzun bir kontrol ve düzeltme süreci gerektirecek olan karmaşık matematiksel modeller, geliştirilen KDS'nin kullanımı ile hızlı ve güvenilir bir şekilde oluşturulabilmektedir. Bu sayede, benzer problemlerin

çözümünde de kullanılabilecek bu KDS ile büyük oranda zaman ve emek israfı engellenmiş olacaktır, bu durum KDS'nin kullanıcı dostu özelliğini desteklemektedir.

- Geliştirilen KDS yapısı ile ele alınan problem için gereken tüm hesaplamalar hızla ve kolaylıkla gerçekleştirilebilirken, farklı problemlere dair farklı veriler de aynı şekilde hızla ve kolaylıkla yapılabilecektir, bu durum KDS'nin kullanışlılığını desteklemektedir.

5.3. Ekip Çizelgelemenin Saf Matematiksel Model Olarak Çözümü

Bu alt bölümde sırası ile ele alınan gerçek hayat ekip çizelgeleme problemi için geçerli olan çizelgeleme varsayımları ve çizelgeleme kısıtları açıklanacak, daha sonra ise yine sırası ile ekip eşleme ve uçuş rotalama problem parçalarının çözüme ulaştırılması çalışmaları sunulacaktır.

5.3.1. Çizelgeleme varsayımları

Çizelgeleme problemleri, analitik açıdan modellenmesi ve çözülmesi en zor problem sınıflarından kabul edilmektedir. Bu nedenle bu tip problemlerin matematiksel modellerini oluştururken çeşitli basitleştirici varsayımlar kullanılmaktadır. Bu varsayımlar şöyle özetlenebilir (Baker, 1994; French, 1982);

- Her operasyon bir bütündür. Bir işin iki operasyonu aynı anda işlenemez.
- Operasyon bölünemez ve yeni bir operasyonun başlayabilmesi için bir önceki işlemin bitmiş olması gerekir.
- Çizelgeleme sırasında herhangi bir iş iptal edilemez. İşlem görmeye başlayan iş tamamlanmak zorundadır.
- İşlem zamanları çizelgeden bağımsızdır.
- Operasyonların işlemler arasında beklemelerine izin verilir.
- Her uçuş türünden sadece bir tane vardır.
- Ekipler boş bekleyebilir.
- Bir ekip aynı anda birden fazla operasyonu gerçekleştiremez.
- Çizelgeleme periyodu boyunca ekipler çalışır durumdadır. Bozulmaları veya durdurulmaları söz konusu değildir.
- Teknolojik kısıtlar önceden biliniyor ve sabittir.

- İş sayısı, uçuş sayısı, işlem zamanı, hazırlık zamanı ve diğer tüm parametrelerde rassallık yoktur. Hepsi önceden biliniyor ve sabittir.

5.3.2. Çizelgeleme kısıtları

Uygulama çalışmasında ele alınan kısıtlar ve bu kısıtlara dair sağ taraf değerleri SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05) ile belirlenen kavramlar ve azami/asgari çokluklar temelinde oluşturulmuştur. Buna göre ele alınan kısıtlar azami süre kısıtlarının (US, UGS, b, d için), asgari süre kısıtlarının (DS için), azami meydana gelme sayısı kısıtlarının (inişler için) ile asgari meydana gelme sayısı kısıtlarının (boş günler için) nasıl belirlendiği aşağıda açıklanmıştır.

Süre sınırlamaları SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05)'nda ticari amaç dışı genel havacılık faaliyetleri, zirai mücadele ve yangın söndürme faaliyetleri, hava taksi faaliyetleri ve havayolu taşıma işletmeleri faaliyetleri için ayrı ayrı belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında havayolu taşıma işletmeciliği incelendiğinden diğer faaliyetler için belirtilen kısıtlar dikkate alınmamıştır.

SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05) temelinde oluşturulan kısıtlar ele alınan problemin boyutlarının azalmasına yardımcı olmaktadır, ancak aynı zamanda problemi karmaşıklaştırarak optimal bir çizelgenin bulunmasını da zorlaştırmaktadırlar.

Uçuş Süresi (US): Her bir uçuş ekip üyesi için, US bir haftada 36 saati, bir takvim ayında 110 saati, birbirini takip eden üç takvim ayında 300 saati, 1 takvim yılı içinde 1000 saati aşamaz (Çizelge 5.3).

Uçuş Görev Süresi (UGS): UGS aşağıda belirtilen sürelerin toplamıdır.

- Tek bir uçuş ya da uçuş serilerinden oluşmuş bir uçuş görevi için hazırlık yapılması ile ilk uçuş süresinin başlaması arasında geçen süredir (brifing alma). Bu süre hiçbir şekilde 60 dakikanın altında olamaz. Üst limiti ise havacılık işletmelerinin uçuş işletme el kitaplarında belirtilen süredir.

- İşletme tarafından verilen tek bir uçuş ya da uçuş serilerinden oluşmuş bir uçuş görevinde, ilk uçuş süresinin başlangıcı ile uçuş/uçuş serileri sonunda uçuş süresinin sona erdiği ana kadar geçen toplam süredir (US).
- Uçuş / Uçuş serilerinin sona ermesinden itibaren 30 dakikalık süredir (brifing verme). Üst limiti ise havacılık işletmelerinin uçuş işletme el kitaplarında belirtilen süredir.
- UGS'nin tarifi dışındaki şu hususlar da UGS kapsamındadır:

o Gecikme, arıza ve benzeri nedenlerle planlanmış UGS'nin başlangıç zamanı değişmişse, bu değişikliğin uçucu ekibin istirahat ettikleri mahali terk etmeden önce haber verilmesi halinde, yeni planlanan UGS (başlangıç zamanı), planlama için dikkate alınır.

o Kesintisiz UGS, her bir uçucu ekip üyesi için 14 saattir.

o Kesintili UGS, her bir uçucu ekip üyesi için 14 saat olup, US'ler arasında bekleme (BS) olan uçuş görev süresidir. İki US arasında 4 saatten daha az bekleme var ise uçucu ekip uygun tesiste, 4 saat veya daha fazla bekleme var ise uygun konaklama tesisinde dinlendirilirler. Her durumda, ilk uçuş görevinin başlangıcı olan periyoda denk gelen azami UGS'ler tutulmak zorundadır. Kesintili UGS, hiçbir şekilde, istisnai ve özel durumları da dikkate almak suretiyle, belirlenen azami UGS'yi aşamaz (Çizelge 5.4).

o Çizelge 5.4'te belirtilen azami süreler kullanılarak yapılacak uçuşlar birbirini takip eden 7 gün içinde 2'den fazla planlanamaz.

o UGS hiçbir şekilde haftalık 56 saati, bir ay içinde 210 saati, üç ay içinde 500 saati, bir takvim yılı içinde ise 1800 saati geçemez (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Azami süreler (http://web.shgm.gov.tr)

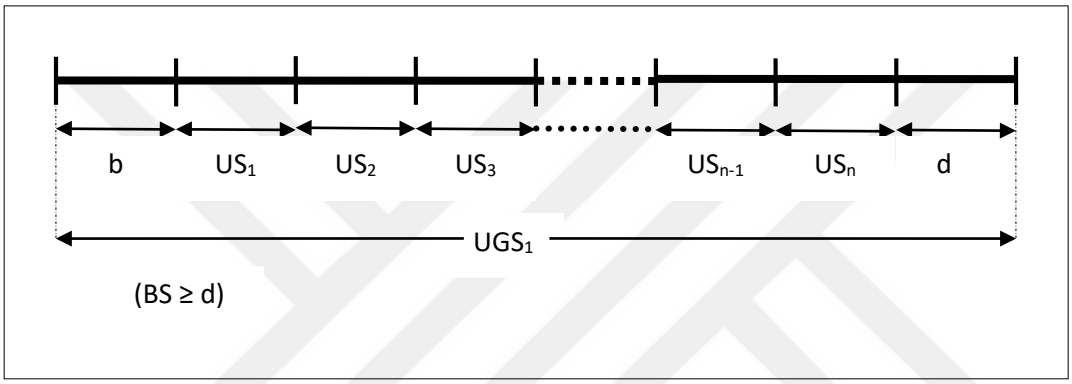
Süre	Haftalık	Aylık	Üç Aylık	Yıllık
UGS	56 Saat	210 Saat	500 Saat	1800 Saat
US	36 Saat	110 Saat	300 Saat	1000 Saat

Çizelge 5.4. İniş sayılarına göre azami UGS'ler (http://web.shgm.gov.tr)

Görev Başlangıç Saati	1–4 İniş	5 İniş
05.00 – 14.00	14 SAAT	13 SAAT
14.01 – 17.00	13 SAAT	12 SAAT
17.01 – 04.59	12 SAAT	11 SAAT

Çizelge 5.4'te verilen görev başlangıç saatleri kalkış meydanının mahalli kış saatidir. Yaz saati uygulaması ile beraber mahalli kış saati=mahalli yaz saati – 1 saat formülü kullanılarak gerekli ayarlamalar yapılabilir.

SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05)'ndan bağımsız olarak, daha net anlaşılabilmesi için UGS ve US kavramları aşağıdaki şekil üzerinde (Şekil 5.4) açıklanmıştır. Şekilde bekleme süresi (BS) ardıl iki uçuş için ilk uçuşun iniş zamanı ile sıradaki uçuşun kalkış zamanı arasındaki, yani ilk US bitiş zamanı ile ikinci US başlama zamanı arasındaki farktır. Brifing almak, yani uçuş bilgilerini almak, gerekli evrakları teslim almak ve teslim etmek, vb. gibi uçuş öncesi yapılması mecburi işlemler için ayrılan süre "b" ile, brifing vermek, yani uçuş sonrası yapılması gereken evrak işlemleri ve bilgi aktarımı için ayrılan süre ise "d" ile gösterilmiştir.



Şekil 5.4. UGS ve US terimlerinin zaman çizgisi üzerinde gösterimi

Dinlenme Süresi (DS): Dinlenme süresi ile ilgili esas ve uygulamalar aşağıdaki gibidir:

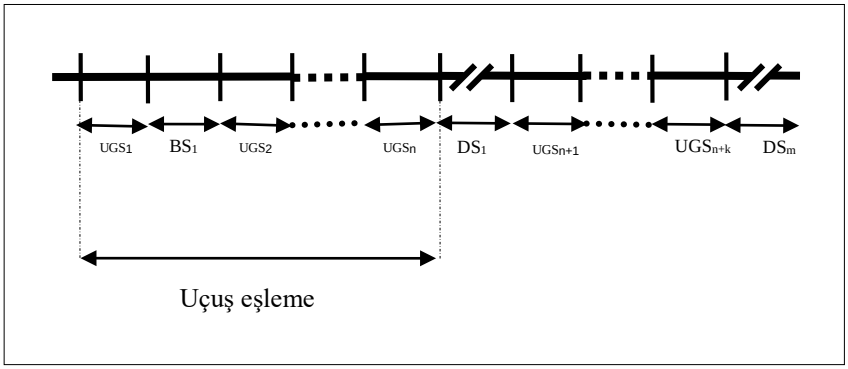
- DS'nin başlangıcı UGS'nin bitimidir. Ana üsler dışında, UGS'nin bitiminden sonra yerleşim yerine ulaşım bir saat ve üzerinde ise o takdirde dinlenme süresi başlangıcı, yerleşim yerine ulaşımın sona erdiği zamandır. Bu zamanın tespitinden sorumlu kaptan pilotlar sorumludur.
- DS'nin sona ermesi, yeni bir UGS'nin başlangıç zamanıdır. Ana üsler dışında, yeni bir UGS'nin başlayacağı noktaya ulaşım, bir saat ve üzerinde ise, o takdirde DS'nin sona erme zamanı yerleşim mahallinden ayrılış zamanıdır. Bu zamanın tespitinden sorumlu kaptan pilotlar sorumludur.
- 24 saat içinde uçucu ekibin her bir üyesine ayrı ayrı en az 10 saat DS verilir. Bu 24 saatlik süre, bir önceki DS'nin bitiminden itibaren başlar. 10 saatlik DS konaklama meydanlarında 8 saat olarak uygulanabilir.
- UGS'nin 14 saat üzerine çıktığı durumlarda DS, uçuş görevinden hemen sonra ve son uçuş görevinin bittiği mahalde başlatılır.
- UGS 6 saat veya altında ise DS en az 8 saattir.

- İlgili maddelerdeki hükümler uyarınca bir UGS, 11 saat ve üzerine arttırıldığında asgari DS 12 saate, UGS 12 saat ve üzerine arttırıldığında ise asgari DS 14 saate arttırılır (Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5).
- Her bir uçucu ekip üyesine ayrı ayrı olarak, birbirini takip eden son 7 gün içinde, DS'nin başlatılma kriterleriyle aynı şartlarda olarak, en az bir gün kesintisiz boş süre verilir. Bu boş süre, merkez üste verilmek üzere Çizelge 5.6'daki aylık asgari boş sürelere mahsup edilebilir ve UGS'nin bittiği günü takip eden gün süresini kapsar.
- Bir UGS sonrası ana üs, geçici üs veya konaklama meydanına dönen bir uçucu ekibe DS içinde eğitim, ilave görevler de dahil olmak üzere hiçbir görev verilemez.
- Havacılık işletmeleri uçucu ekiplere, DS'de dinlenmenin maksadını aşacak şekilde uçuş emniyetine zarar verebilecek faaliyetlerden uzak durmaları için uyulması gereken hususları yazılı olarak bildirirler.

Çizelge 5.5. Asgari DS'ler (http://web.shgm.gov.tr)

Bir Önceki UGS	Asgari DS	SKPK ile Asgari DS
6 Saate kadar	8 saat	8 saat
11 Saate kadar (Dahil)	10 Saat	10 Saat
11 Saatten daha fazla	12 Saat	10 Saat
12–14 Saat veya zaman dilimi farkı 3 saatten fazla	14 Saat	12 Saat

SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05)'ndan bağımsız olarak, daha net anlaşılabilmesi için UGS, US ve DS kavramları aşağıdaki şekil üzerinde (Şekil 5.5) açıklanmıştır.



Şekil 5.5. UGS, US ve DS terimlerinin zaman çizgisi üzerinde gösterimi

Boş süre: Boş süreler sadece merkez üste verilir. Bir ayda verilmesi gereken 7 günlük, yukarıda tanımı yapılmış asgari boş süreler, ay içinde 2+2+1+1+1 şeklinde gruplanarak planlanır, gruplamadaki bitişik çift boş günlerde bir tanesinin yeri, asgari 24 saat önce tebliğ edilmek şartıyla, ay içinde havacılık işletmesi tarafından değiştirilebilir. Aylık boş süreler kullanıldığı ay içine ve ayın iki yarısına eşit dağıtılır (Çizelge 5.6). Boş süreler çalışılan gün sayısı ile orantılı verilir.

Çizelge 5.6. Asgari boş süreler (http://web.shgm.gov.tr)

	Haftalık	Aylık	Üç Aylık	Yıllık
Boş Süre	1 Gün	7 Gün (2+2+1+1+1)	21 gün	96 Gün

DS ve boş gün kısıtları uçuş rotalama probleminin çözümünde hesaba katılacak kısıtlardır.

Bu kısıtlar SHGM tarafından Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05) ile gerçekleştirilmesi mecburi kılınan kısıtlardır. Dolayısıyla, uygulama çalışması kapsamında oluşturulacak matematiksel modellere ilişkin problemde belirtilen bu kısıtlar "katı kısıtlar" kısıt kümesini oluşturacaktır. Bu tip kısıtlar kesinlikle karşılanması gereken, gevşetilemez kısıtlardır, örneğin bizim problemimizde bu kısıtların ihlalleri çizelgelerin yasal olmamasına neden olacaktır. Bu kısıtların ihlali sonucunda SHGM'nin işletmelere uygulayacağı yaptırımlar da talimatta açıkça şu şekilde belirtilmiştir (http://web.shgm.gov.tr):

"Bu talimat hükümlerine aykırı davranışlarda bulunan havacılık işletmeleri ile ilgili yönetici personel ve uçucu ekip hakkında gerekli uyarılar yapılır ve gerekirse inceleme komisyonu tarafından değerlendirmede bulunulur. Buna göre;

- SHGM tarafından kusurlu görülen havacılık işletmesine, gerekli düzeltici uyarıda bulunulur. SHGM'nin uyarısına rağmen kusurun devamı ve/veya talimat hükümlerine aykırı hususların tekrarı halinde, inceleme komisyonu tarafından değerlendirilerek, işletme ruhsatı en fazla 30 güne kadar askıya alınır. Bir yıl içinde üçüncü kez kusurun devamı ve/veya talimat hükümlerine aykırı hususların tekrarı halinde uçuş emniyetinin sağlanamadığı gerekçe gösterilerek, ilgili mevzuat kapsamında işletme ruhsatının iptali de dahil yaptırım uygulanır.

- İşletme yönetiminden SHGM'ye karşı sorumlu genel müdür, kalite müdürü, uçuş işletme müdürü, uçucu ekip planlama ve koordinasyon sorumlusu olan yöneticiler, SHGM tarafından kusurlu görülürse yazılı olarak ihtar edilir. Kusurun devamı ve/veya talimat hükümlerine aykırı hususların tekrarı halinde ilgili yöneticilerin yetkileri, inceleme komisyonunun tespit edeceği kusur derecesine göre belli bir süre veya tamamen iptal edilir.
- SHGM tarafından lisans sahibi personel kusurlu görülürse, yazılı olarak ihtar edilir. Kusurun devamı ve/veya talimat hükümlerine aykırı hususların tekrarı halinde, ilgili şahsın lisansı, inceleme komisyonunun tespit edeceği kusur derecesine göre en az üç gün en fazla altı ay askıya alınır. Bir yıl içinde üçüncü kez kusurun devamı ve/veya talimat hükümlerine aykırı hususların tekrarı halinde ise ilgili şahsın lisansı tamamen iptal edilir."

Bu alt bölümde, gerçekleştirilen gerçek hayat problemine dair göz önünde bulundurulacak çizelgeleme kısıtları açıklanmıştır. SHGM tarafından belirlenen bu kısıtlar kısaca özetlenecek olursa bunlar matematiksel olarak aşağıda görüldüğü gibi temsil edilecektir, bu gösterim ekip çizelgeleme problemini çözüme ulaştırmak için değil, sadece tüm kısıtları sağ taraf değerleri ile birlikte görebilmek için oluşturulmuştur (SKPK ile görev ya da dinlenme, bekleme, vb. sürelerinin değiştirilmediği varsayılmıştır).

d: bir haftalık periyottaki günler (d = 1,2, …, 7)
i: gerçekleştirilen görev sayısı (i=1,2,…, n)
k_j bir uçuş görevinin başlangıç saati (k=00:00, 00:001, …, 23:59)
US_i = *i*. US'de harcanan saat
UGS_i = *i*. UGS'de harcanan saat
b: brifing alma esnasında harcanan zaman (dakika)
d: brifing verme esnasında harcanan zaman (dakika)
p_j, r_j, s_j: *j* saatinin içinde bulunduğu aralığa bağlı olarak değer alan 0-1 değişken
K_{UGSi}, L_{UGSi}, M_{UGSi}, N_{UGSi}: *i*. UGS'nin aldığı değere bağlı olarak değer alan 0-1 değişken
y_{id}: *i*. uçuş *d*. gün gerçekleşmiş olmasına bağlı olarak değer alan 0-1 değişken
DS_i: *i*. DS'de harcanan saat
BG_d: *d*. günün boş gün olup olmamasına bağlı olarak değer alan 0-1 değişken

$$\sum_{i=1}^{n} y_{id} * US_i \leq 36 \qquad \forall d \; için \tag{5.1}$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_{id} * UGS_i \leq 56 \qquad \forall d \text{ için} \tag{5.2}$$

$$b \geq 60 \tag{5.3}$$

$$d \geq 30 \tag{5.4}$$

$$p_j * UGS_i \leq 14 \qquad \forall i \text{ için} \tag{5.5}$$

$$_{rj} * UGS_i \leq 13 \qquad \forall i \text{ için} \tag{5.6}$$

$$_{sj} * UGS_i \leq 12 \qquad \forall i \text{ için} \tag{5.7}$$

$$p_j = \begin{cases} 1, j \in (05{:}00 - 14{:}00) \; ise \\ 0, d.d. \end{cases} \tag{5.8}$$

$$r_j = \begin{cases} 1, j \in (14{:}01 - 17{:}00) \; ise \\ 0, d.d. \end{cases} \tag{5.9}$$

$$s_j = \begin{cases} 1, j \in (17{:}01 - 04{:}59) \; ise \\ 0, d.d. \end{cases} \tag{5.10}$$

$$y_{id} = \begin{cases} 1, \; i.uçuş \; d.günde \; gerçekleşmiş \; ise \\ 0, d.d. \end{cases} \tag{5.11}$$

$$K_{UGS_i} * DS_{i+1} \geq 8 \tag{5.12}$$

$$L_{UGS_i} * DS_{i+1} \geq 10 \tag{5.13}$$

$$M_{UGS_i} * DS_{i+1} \geq 12 \tag{5.14}$$

$$N_{UGS_i} * DS_{i+1} \geq 14 \tag{5.15}$$

$$K_{UGS_i} = \begin{cases} 1, \; UGS_i \leq 6 \; ise \\ 0, d.d. \end{cases} \tag{5.16}$$

$$L_{UGS_i} = \begin{cases} 1, & 6 < UGS_i \leq 11 \; ise \\ 0, & d.d. \end{cases} \quad (5.17)$$

$$M_{UGS_i} = \begin{cases} 1, & 11 < UGS_i \leq 12 \quad ise \\ 0, & d.d. \end{cases} \quad (5.18)$$

$$N_{UGS_i} = \begin{cases} 1, & 12 < UGS_i \leq 14 \; ise \\ 0, & d.d. \end{cases} \quad (5.19)$$

$$2 \leq \sum_{d=1}^{7} BG_d \leq 1 \quad (5.20)$$

$$BG_d = \begin{cases} 1, & d.g\ddot{u}n \; bo\text{ş} \; g\ddot{u}n \; ise \\ 0, & d.d. \end{cases} \quad (5.21)$$

Burada Eş. 5.1 ve Eş. 5.2 sırası ile US ve UGS için haftalık azami süre kısıtlarını temsil etmektedir. Eş. 5.3 ve Eş. 5.4 ise brifing alma ve verme periyotlarının oluşmasını ve süre kontrolünü sağlayan kısıtlardır. Eş. 5.5 – Eş. 5.7, içinde bulunulan zaman aralığında gerçekleştirilen iniş sayısına bağlı olarak azami UGS kısıtlarını temsil ederken, Eş. 5.8 – Eş. 5.10 ise bir UGS'nin gerçekleştiği zaman aralığı içinde gerçekleştirilen iniş sayısını temsil eden 0-1 değişkenleri temsil etmektedir. Eş. 5.11, bir uçuşun gerçekleştiriğini gösteren 0-1 değişkeni temsil eden kısıttır. Eş. 5.12 – Eş. 5.15, bir önceki UGS değerine bağlı olarak asgari DS düzenleme kısıtlarını oluşturmaktadır. Eş. 5.16 – Eş. 5.19 *i*. UGS değerine göre değer alan 0-1 değişkenleri temsil eden kısıtlardır. Eş. 5-20 boş süre belirleme kısıtını oluştururken, son olarak Eş. 5.21 ise *d*. günün izin günü olmasını belirleyen 0-1 değişkeni temsil etmektedir.

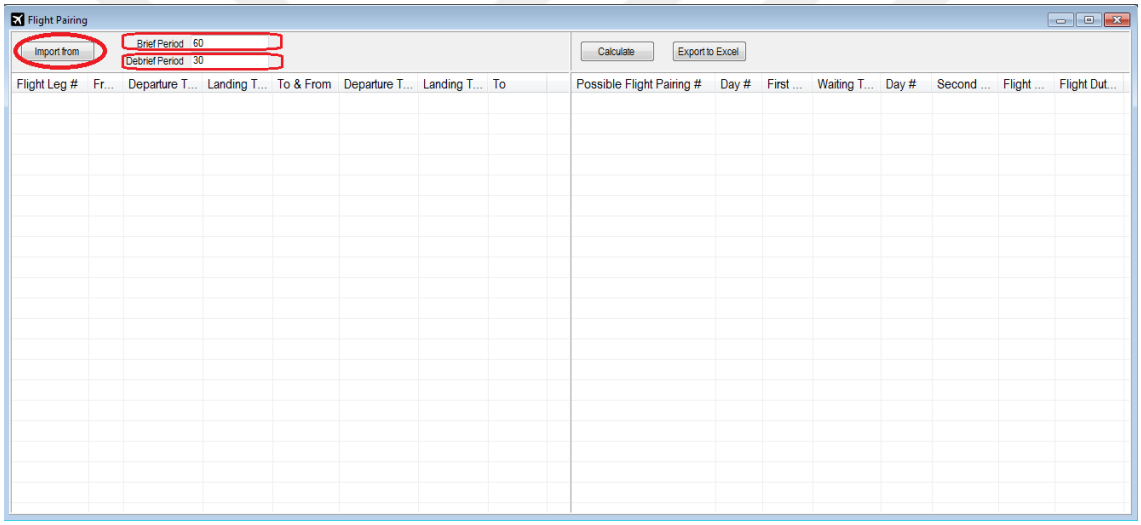
5.3.3. Ekip eşleme

Belirtilen kısıtlar dikkate alınarak mevcut problem için ekiplere ait olası tüm eşlemeler tez çalışması kapsamında .NET framework 4.5 ile Windows Form platformunda C# dilinde Visual Studio Express Edition 2012 for desktop IDEsi ile programlama yapılarak geliştirilen KDS'nin kullanılması ile bulunmuştur.

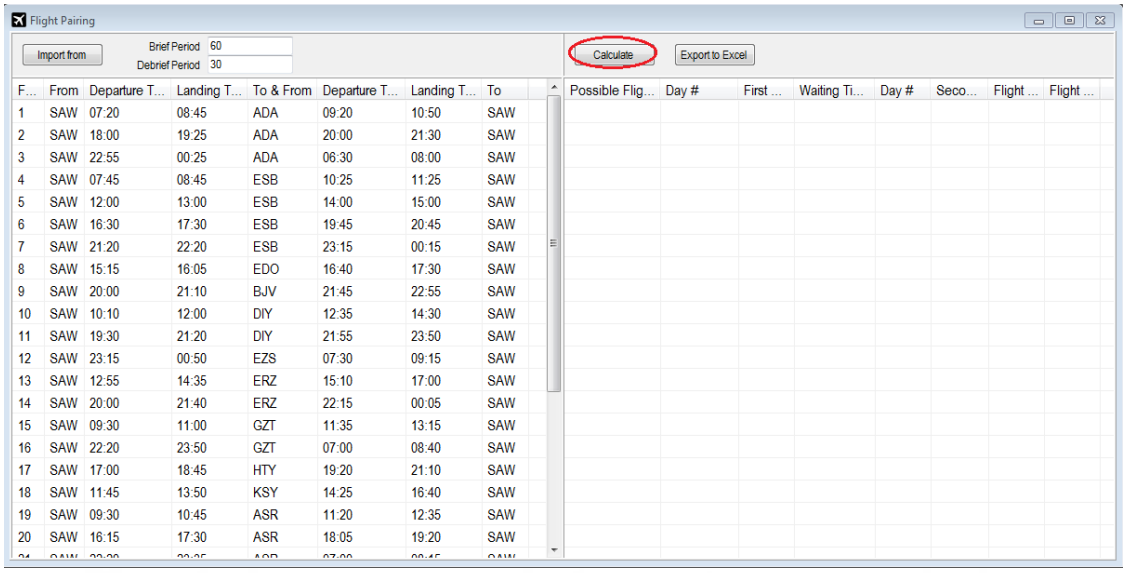
Çalışma kapsamında ele alınan gerçek hayat problemi verileri KDS ile elleçlenerek, günlük 60 uçuş ve 30 uçuş çifti için 131 olası eşleme hesaplanmış, yazılan program ile hesaplanan

olası eşlemeler ve bunlara dair tüm kısıt bilgileri yine geliştirilen KDS'nin kullanımı ile bir .xlsx dosyasına yazdırılmıştır.

Ekip eşleme aşamasında, ilk olarak program açıldığında veri sayfaları boştur. Brifing alma ve verme süreleri dışarıdan girilebilmektedir (Şekil 5.6). Sol üstte bulunan "Import from Excel" butonu tıklandığında, program elle hazırlanmış olan uçuş çiftlerinin bulunduğu hesaplama verilerini bulundukları dizinden seçmemizi sağlar ve dosyayı burada açarak verileri Excel'den alır. Daha sonra "Calculate" butonu tıklandığında program SHGM tarafından belirlenen uçuş eşleme kısıtlarına göre olası tüm ekip eşlemelerini hesaplar (Şekil 5.7).

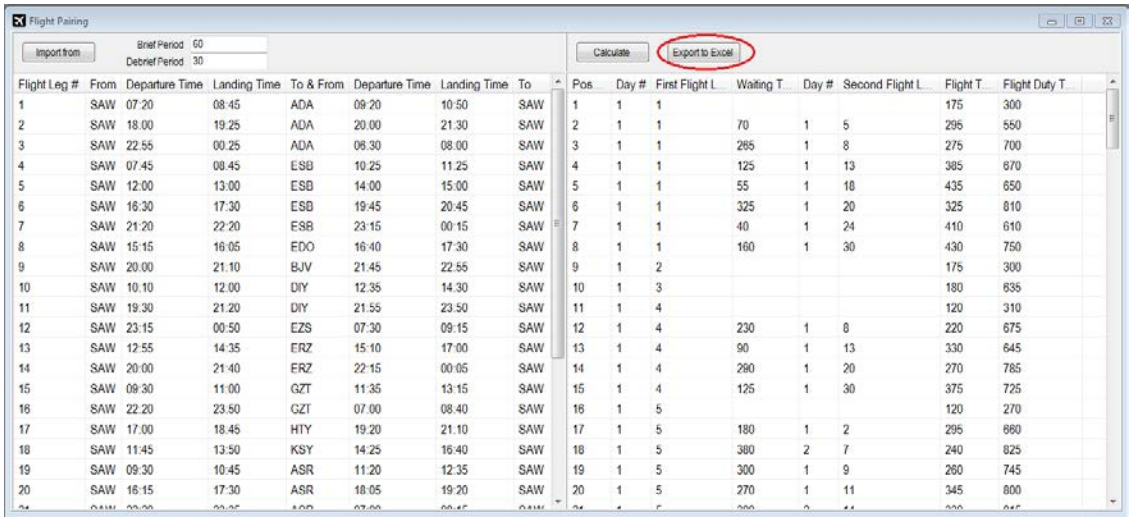


Şekil 5.6. Ekip eşleme programının ekran görüntüsü – 1



Şekil 5.7. Ekip eşleme programının ekran görüntüsü – 2

Program ekranı ikiye bölünmüştür; ekranın sol tarafı verilerin sağ tarafı ise sonuçların görüldüğü alanlardır. “Calculate” butonu tıklandığında yapılan hesaplar sonucu oluşturulan tüm olası eşlemeler sonuç ekranında gösterilir. Daha sonra kullanıcı isterse “Export to Excel” butonunu tıklayarak elde edilen sonuçları boş bir Excel sayfasına aktarır, daha sonra kullanıcı bu dosyayı istediği isimle istediği dizine kaydedebilmektedir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Ekip eşleme programının ekran görüntüsü – 3

Elde edilen tüm olası ekip eşlemeleri geliştirilen KDS yardımı ile yeni bir listeye yazdırılmış ve tablo boyutundan dolayı EK-1’de sunulmuştur. EK-1’de görüldüğü gibi günlük 30 uçuş çiftini kapsayacak 131 adet olası uçuş eşleme bulunmuştur. Bu ekip eşlemeleri küme bölme modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Toplam 30 uçuş çiftine ait tüm olası uçuş eşlemeleri dikkate alındığında 131 değişken ve 31 kısıttan oluşan bir küme bölme modeli oluşmuştur. Modelde her bir kısıt her bir uçuşun kapsandığı olası eşlemeleri göstermelidir. Örneğin 1. kısıt, 1 numaralı uçuşun (yani 1. gün SAW-ADA-SAW 07:20-10:50 uçuşunun) olası eşleşmeler tablosundaki (EK-1) ilk sekiz olası eşlemede mevcut olduğunu gösterecektir.

Modelde amaç eşleşme sayısının minimize edilmesi olduğundan amaç fonksiyonu katsayılarının her biri "1" olarak alınmıştır. Problemin küme kaplama modeli aşağıda görülmektedir ve bu modelin çözümü GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile gerçekleştirilmiştir. GAMS optimizasyon programı kodları EK-2'de sunulmuştur.

i= olası eşleme sayısı (i=1, 2, …, 131)
x_i= i. olası eşlemenin seçilme durumuna bağlı 0-1 değişken

$$\text{Min } z = x_1+x_2+ \ldots+x_{131} \tag{5.22}$$

Kısıtlar

$$x_1+x_2+ x_3+\ldots +x_8 = 1 \tag{5.23}$$

$$x_9=1 \tag{5.24}$$

$$x_{10}=1 \tag{5.25}$$

$$x_{11}+\ldots +x_{15} = 1 \tag{5.26}$$

$$x_{16}+\ldots +x_{26} = 1 \tag{5.27}$$

$$x_{27}=1 \tag{5.28}$$

$$x_{28}=1 \tag{5.29}$$

$$x_{29}+\ldots +x_{36} = 1 \tag{5.30}$$

$x_{37}=1$ (5.31)

$x_{38}+\ldots+x_{46}=1$ (5.32)

$x_{47}=1$ (5.33)

$x_{48}=1$ (5.34)

$x_{49}+\ldots+x_{53}=1$ (5.35)

$x_{57}=1$ (5.36)

$x_{58}+\ldots+x_{65}=1$ (5.37)

$x_{66}=1$ (5.38)

$x_{67}=1$ (5.39)

$x_{68}+\ldots+x_{76}=1$ (5.40)

$x_{77}+\ldots+x_{84}=1$ (5.41)

$x_{85}+\ldots+x_{88}=1$ (5.42)

$x_{89}=1$ (5.43)

$x_{90}+\ldots+x_{97}=1$ (5.44)

$x_{98}=1$ (5.45)

$x_{99}+\ldots+x_{107}=1$ (5.46)

$x_{108}+\ldots+x_{115}=1$ (5.47)

$x_{116}=1$ (5.48)

$x_{117}+\ldots+x_{124}=1$ (5.49)

$x_{125}=1$ (5.50)

$x_{126}=1$ (5.51)

$x_{127}+\ldots+x_{131}=1$ (5.52)

$$x_i = \begin{cases} 1, & i.\,eşleme\ seçilmiş\ ise \\ 0, & d.\,d. \end{cases} \quad (5.53)$$

Modelin GAMS optimizasyon programı ile çözülmesiyle, tüm uçuşların 30 eşleme ile kapsanabileceği görülmüştür. Çözüm sonucunda ulaşılan ekip eşlemeleri Çizelge 5.7'de görülmektedir.

Çizelge 5.7. GAMS sonuçlarına göre seçilen ekip eşlemeleri

Ekip Eşleme No	Yapılan Seferler	Sefer Başlama Saati	Sefer Bitiş Saati
1	1 ve 13	07:20	17:00
2	2	18:00	21:30
3	3	22:55	08:00
4	4 ve 8	07:45	17:30
5	5 ve 11	12:00	23:50
6	6	16:30	20:45
7	7	21:20	00:15
8	8 ve 28	15:15	22:15
9	9	20:00	22:55
10	10 ve23	10:10	21:05
11	11	19:30	23:50
12	12	23:15	09:15
13	13	12:55	17:00
14	14	20:00	00:05
15	15 ve 23	09:30	21:05
16	16	22:20	08:40
17	17	17:00	21:10
18	18 ve 11	11:45	23:50
19	19	09:30	12:35
20	20 ve 9	16:15	22:55
21	21	22:20	08:15
22	22 ve 17	09:00	21:10
23	23	18:10	21:05
24	24 ve 11	11:30	23:50
25	25 ve 17	08:55	21:10
26	26	18:15	21:35
27	27 ve 13	07:00	11:00
28	28	18:15	22:15
29	29	22:25	08:45
30	30 ve 7	13:30	00:15

Çizelge 5.7’de de görüldüğü gibi, küme kaplama modelinin çözümü sonucunda bazı çakışan eşlemeler ve bazı mükerrer sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, küme bölme modelinin yapısından kaynaklanmaktadır. Çankaya (2008) çalışmasında elde edilen bu tam sayılı çözümde aynı uçuş seferinin birden fazla eşleme ile kapsanmakta oluşunun, küme bölme modelinde bulunan ve küme kaplama modelinin gevşetilmiş versiyonu olan uçuş seferlerinin tam olarak bir eşleştirme tarafından kapsanması kısıdından kaynaklandığını, bu durumun da problemin çözümünü kolaylaştırdığını belirtmiştir.

GAMS optimizasyon programı ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde 6 adet mükerrer sonuç, 11 adet uçuş tekrarı görülmektedir. Elde edilen sonuç bu durumlar göz önüne alınarak yeniden düzenlendiğinde tüm uçuşların 18 eşleme ile kapsanabileceği görülmüştür. Elde edilen yeni ekip eşlemeleri Çizelge 5.8'de görülmektedir. Burada BS, US ve UGS değerleri dakika cinsinden yazılmıştır.

Çizelge 5.8. Düzenlenmiş ekip eşlemeleri

Ekip Eşleme No	Yapılan Seferler	Sefer Başlama Saati	Sefer Bitiş Saati	BS	US	UGS
1	1 ve 13	07:20	17:00	125	385	670
2	4 ve 8	07:45	17:30	230	220	675
3	5 ve 11	12:00	23:50	270	345	800
4	8 ve 14	15:15	00:05	150	310	620
5	10 ve 28	10:10	16:40	225	430	815
6	12	23:15	09:15		200	690
7	15 ve 23	09:30	21:05	295	330	785
8	16	22:20	08:40		190	710
9	19 ve 6	09:30	20:45	235	270	765
10	20 ve 9	16:15	22:55	40	290	490
11	21	22:20	08:15		150	685
12	22 ve 2	09:00	21:30	365	315	840
13	24 ve 26	11:30	21:35	135	400	695
14	25 ve 17	08:55	21:10	285	380	825
15	27 ve 18	07:00	16:40	45	465	670
16	29	22:25	08:45		205	710
17	30 ve 7	13:30	00:15	180	375	735
18	3	22:55	08:00	265	180	700

Özetle bu alt adımda ele alınan tez çalışması kapsamında ele alınan gerçek hayat probleminin çözüme ulaştırılması ve insani faktörlerin etkilerinin de eklendiği matematiksel modeller ile ileri incelemesinin yapılması doğrultusunda öne sürülen çözüm yaklaşımının ilk adımı olan ekip eşleme probleminin çözümünde, bir yerel havayolu firmasının SAW merkez üslü günlük 189 uçuştan oluşan seferleri öncelikle uçuş çiftleri oluşturulabilecek şekilde düzenlenmişi daha sonra elde kalan 60 uçuştan 30 adet uçuş çifti oluşturulmuştur.

Bu 30 uçuş çifti SHGM tarafından belirlenen azami ve asgari süreler ve günlük maksimum iniş sayısı kısıtları çerçevesinde, .NET framework 4.5 ile Windows Form platformunda C#

dilinde Visual Studio Express Edition 2012 for desktop IDEsi ile yazılan bir program ile ele alınmış, bu uçuş çiftleri temelinde mümkün olan tüm olası ekip eşlemeleri bu program aracılığı ile bulunmuştur.

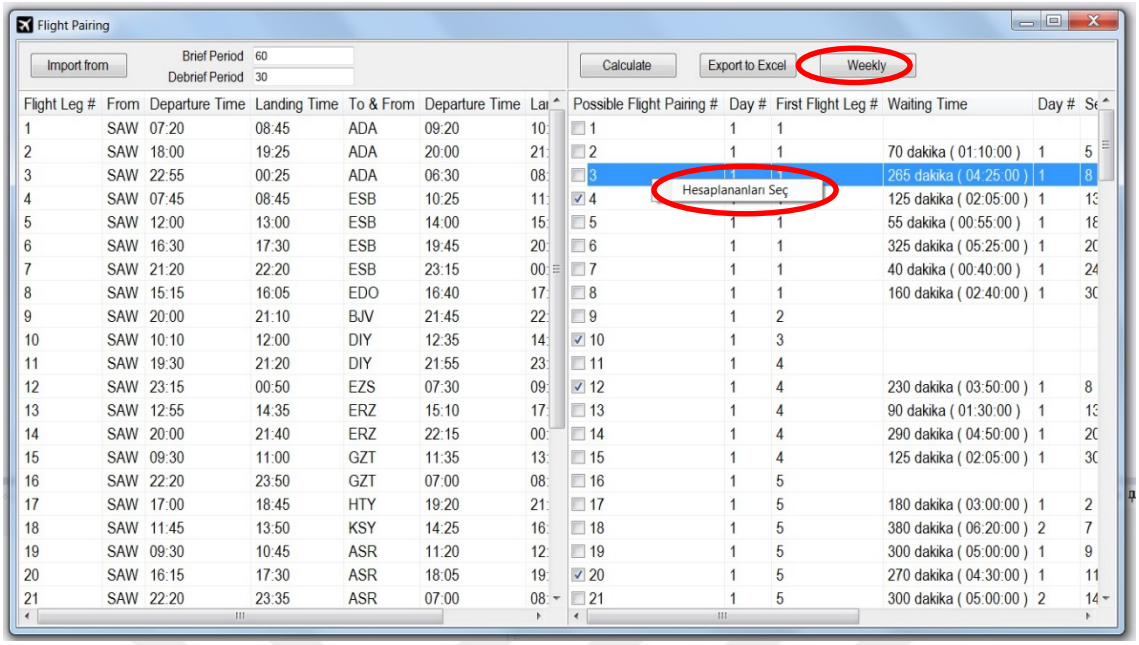
Elde edilen 131 olası eşleme bir küme bölme modeli ile ele alınmış, bu model GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözülmüş ve 30 adet olası eşleşme bulunmuştur. Bu eşlemeler mükerrer sonuçlar ve çakışan seferler açısından incelenmiş ve 131 olası eşleme içinden 18 ekip eşlemesi ile İstanbul merkez üssünden yapılan 60 uçuşun örtülebileceği görülmüştür.

Bu elde edilen sonuç takip eden alt adım içerisinde günlük problem tipinden haftalık problem tipine dönüştürülerek, ekip çizelgeleme probleminin ikinci adımını oluşturan uçuş rotalama probleminin çözümü için başlangıç verisi olarak ele alınacaktır.

5.3.4. Uçuş rotalama

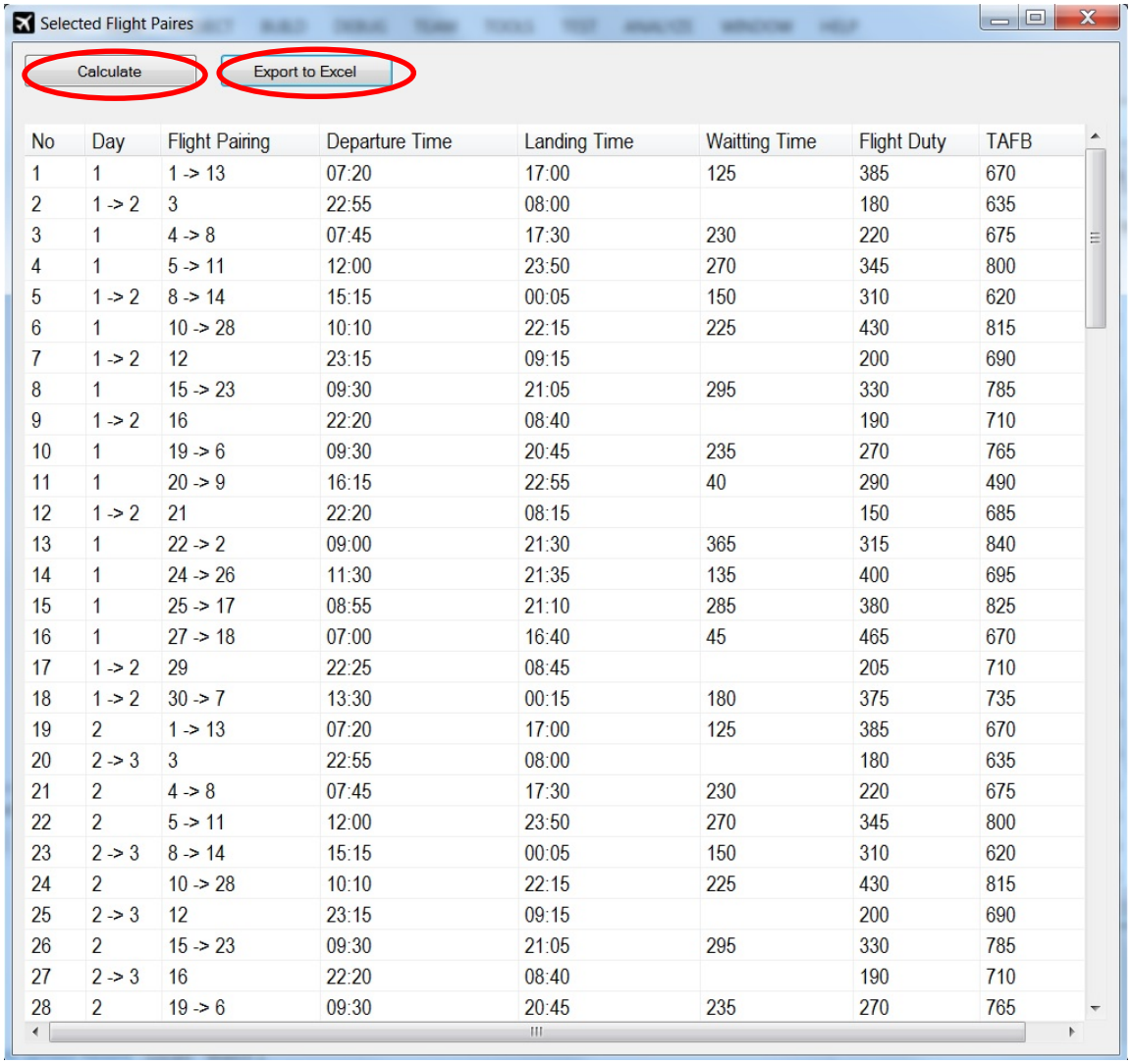
Tez kapsamında gerçekleştirilen gerçek hayat uygulamasının uçuş rotalama bölümünün ilk adımında, bir önceki alt adımda elde edilen günlük ekip eşlemeleri geliştirilen KDS'den faydalanılarak haftalık temele dönüştürülmüş, bu sayede haftalık 126 uçuş eşlemesi elde edilmiştir, bu da haftada SAW merkezli karşılıklı toplam 504 uçuş gerçekleştirildiği anlamına gelmektedir.

Bu işlemin nasıl gerçekleştirildiği şu şekilde adım adım açıklanabilir, ilk olarak bir önceki alt adımda elde edilen günlük ekip eşlemeleri geliştirilen bilgisayar programınca tekrar ettirilerek haftalık hale getirilmiştir. KDS arayüzünde ekip eşleme sonuçlarının sorgulandığı pencere üzerinde sağ tıklandığında açılan "Hesaplananları Seç" açılır menüsü tıklandığında program, 131 uçuş eşlemesinden oluşan listeden matematiksel modelin çözümünden mükerrer sonuçların çıkarılması ile belirlenen 18 uçuş eşlemesini etkin hale getirmekte, diğerlerini göz ardı etmektedir. "Weekly" butonu tıklandığında program günlük temelde bulunan uçuş eşlemelerini yeni bir sayfada haftalık temelde yazmaktadır (Şekil 5.9). Programın işlem süresi 0,1 saniyedir.



Şekil 5.9. Uçuş rotalama programının ekran görüntüsü – 1

Elde edilen haftalık temelde hazırlanan ekip eşlemeleri listesinin ekran görüntüsü ise Şekil 5.10'da görülmektedir. Şekilde bulunan sütunlarda sırası ile hesaplanan ekip eşlemesi numarası, ekip eşlemenin başladığı ve varsa bittiği gün bilgileri, ekip eşlemede bulunan uçuş numaraları bilgileri, ekip eşleme kalkış zamanı, uçuş eşleme iniş zamanı, bekleme zamanı, US ve UGS bilgileri yer almaktadır. Elde edilen 126 ekip eşlemesinin tümü Şekil 5.10'da verilen ekran görüntüsüne aynı anda sığmadığından, Çizelge 5.9'da hesaplanan haftalık ekip eşlemeleri listesi tam olarak verilmiştir. Haftalık uçuş eşlemeleri listesinin tam haline Şekil 5.9'da görülen "Export to Excel" butonu tıklandığında erişilebilmektedir. Programın haftalık uçuş eşlerini excel dosyasına yazdırması işlemi 7 saniye almaktadır.



No	Day	Flight Pairing	Departure Time	Landing Time	Waitting Time	Flight Duty	TAFB
1	1	1 -> 13	07:20	17:00	125	385	670
2	1 -> 2	3	22:55	08:00		180	635
3	1	4 -> 8	07:45	17:30	230	220	675
4	1	5 -> 11	12:00	23:50	270	345	800
5	1 -> 2	8 -> 14	15:15	00:05	150	310	620
6	1	10 -> 28	10:10	22:15	225	430	815
7	1 -> 2	12	23:15	09:15		200	690
8	1	15 -> 23	09:30	21:05	295	330	785
9	1 -> 2	16	22:20	08:40		190	710
10	1	19 -> 6	09:30	20:45	235	270	765
11	1	20 -> 9	16:15	22:55	40	290	490
12	1 -> 2	21	22:20	08:15		150	685
13	1	22 -> 2	09:00	21:30	365	315	840
14	1	24 -> 26	11:30	21:35	135	400	695
15	1	25 -> 17	08:55	21:10	285	380	825
16	1	27 -> 18	07:00	16:40	45	465	670
17	1 -> 2	29	22:25	08:45		205	710
18	1 -> 2	30 -> 7	13:30	00:15	180	375	735
19	2	1 -> 13	07:20	17:00	125	385	670
20	2 -> 3	3	22:55	08:00		180	635
21	2	4 -> 8	07:45	17:30	230	220	675
22	2	5 -> 11	12:00	23:50	270	345	800
23	2 -> 3	8 -> 14	15:15	00:05	150	310	620
24	2	10 -> 28	10:10	22:15	225	430	815
25	2 -> 3	12	23:15	09:15		200	690
26	2	15 -> 23	09:30	21:05	295	330	785
27	2 -> 3	16	22:20	08:40		190	710
28	2	19 -> 6	09:30	20:45	235	270	765

Şekil 5.10. Uçuş rotalama programının ekran görüntüsü – 2

Çizelge 5.9. Haftalık temelde hesaplanan ekip eşlemeleri

No	Gün	Uçuş Eşleme	Kalkış Zamanı	İniş Zamanı	BS	TUG	TUGS	No	Gün	Uçuş Eşleme	Kalkış Zamanı	İniş Zamanı	BS	TUG	TUGS
1	1	1 - 13	07:20	17:00	125	385	670	64	4	19 - 6	09:30	20:45	235	270	765
2	1-2	3	22:55	08:00		180	635	65	4	20 - 9	16:15	22:55	40	290	490
3	1	4 - 8	07:45	17:30	230	220	675	66	4-5	21	22:20	08:15		150	685
4	1	5 - 11	12:00	23:50	270	345	800	67	4	22 - 2	09:00	21:30	365	315	840
5	1-2	8 - 14	15:15	00:05	150	310	620	68	4	24 - 26	11:30	21:35	135	400	695
6	1	10 - 28	10:10	22:15	225	430	815	69	4	25 - 17	08:55	21:10	285	380	825
7	1-2	12	23:15	09:15		200	690	70	4	27 - 18	07:00	16:40	45	465	670
8	1	15 - 23	09:30	21:05	295	330	785	71	4-5	29	22:25	08:45		205	710
9	1-2	16	22:20	08:40		190	710	72	4-5	30 - 7	13:30	00:15	180	375	735
10	1	19 - 6	09:30	20:45	235	270	765	73	5	1 - 13	07:20	17:00	125	385	670
11	1	20 - 9	16:15	22:55	40	290	490	74	5-6	3	22:55	08:00		180	635
12	1-2	21	22:20	08:15		150	685	75	5	4 - 8	07:45	17:30	230	220	675
13	1	22 - 2	09:00	21:30	365	315	840	76	5	5 - 11	12:00	23:50	270	345	800
14	1	24 - 26	11:30	21:35	135	400	695	77	5-6	8 - 14	15:15	00:05	150	310	620
15	1	25 - 17	08:55	21:10	285	380	825	78	5	10 - 28	10:10	22:15	225	430	815
16	1	27 - 18	07:00	16:40	45	465	670	79	5-6	12	23:15	09:15		200	690
17	1-2	29	22:25	08:45		205	710	80	5	15 - 23	09:30	21:05	295	330	785
18	1-2	30 - 7	13:30	00:15	180	375	735	81	5-6	16	22:20	08:40		190	710
19	2	1 - 13	07:20	17:00	125	385	670	82	5	19 - 6	09:30	20:45	235	270	765
20	2-3	3	22:55	08:00		180	635	83	5	20 - 9	16:15	22:55	40	290	490
21	2	4 - 8	07:45	17:30	230	220	675	84	5-6	21	22:20	08:15		150	685
22	2	5 - 11	12:00	23:50	270	345	800	85	5	22 - 2	09:00	21:30	365	315	840
23	2-3	8 - 14	15:15	00:05	150	310	620	86	5	24 - 26	11:30	21:35	135	400	695
24	2	10 - 28	10:10	22:15	225	430	815	87	5	25 - 17	08:55	21:10	285	380	825
25	2-3	12	23:15	09:15		200	690	88	5	27 - 18	07:00	16:40	45	465	670
26	2	15 - 23	09:30	21:05	295	330	785	89	5-6	29	22:25	08:45		205	710
27	2-3	16	22:20	08:40		190	710	90	5-6	30 - 7	13:30	00:15	180	375	735
28	2	19 - 6	09:30	20:45	235	270	765	91	6	1 - 13	07:20	17:00	125	385	670
29	2	20 - 9	16:15	22:55	40	290	490	92	6-7	3	22:55	08:00		180	635
30	2-3	21	22:20	08:15		150	685	93	6	4 - 8	07:45	17:30	230	220	675
31	2	22 - 2	09:00	21:30	365	315	840	94	6	5 - 11	12:00	23:50	270	345	800
32	2	24 - 26	11:30	21:35	135	400	695	95	6-7	8 - 14	15:15	00:05	150	310	620
33	2	25 - 17	08:55	21:10	285	380	825	96	6	10 - 28	10:10	22:15	225	430	815
34	2	27 - 18	07:00	16:40	45	465	670	97	6-7	12	23:15	09:15		200	690
35	2-3	29	22:25	08:45		205	710	98	6	15 - 23	09:30	21:05	295	330	785
36	2-3	30 - 7	13:30	00:15	180	375	735	99	6-7	16	22:20	08:40		190	710
37	3	1 - 13	07:20	17:00	125	385	670	100	6	19 - 6	09:30	20:45	235	270	765
38	3-4	3	22:55	08:00		180	635	101	6	20 - 9	16:15	22:55	40	290	490

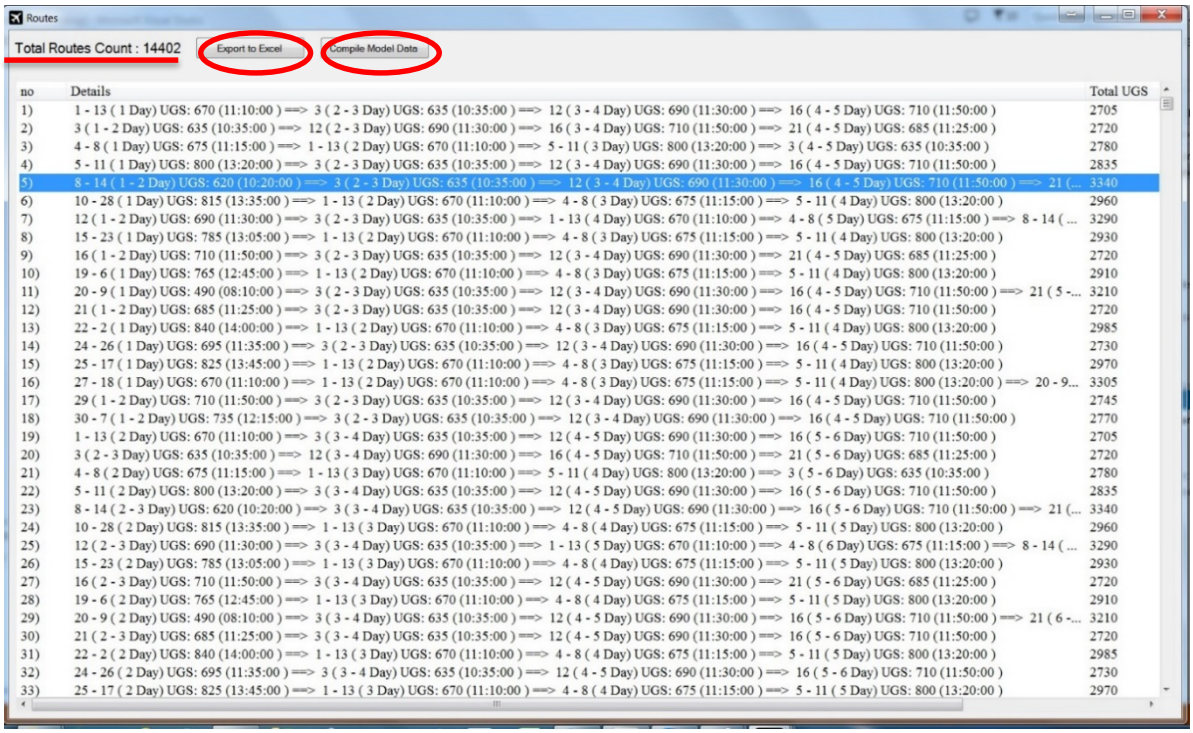
Çizelge 5.9. (devam) Haftalık temelde hesaplanan ekip eşlemeleri

39	3	4 - 8	07:45	17:30	230	220	675	102	6-7	21	22:20	08:15		150	685
40	3	5 - 11	12:00	23:50	270	345	800	103	6	22 - 2	09:00	21:30	365	315	840
41	3-4	8 - 14	15:15	00:05	150	310	620	104	6	24 - 26	11:30	21:35	135	400	695
42	3	10 - 28	10:10	22:15	225	430	815	105	6	25 - 17	08:55	21:10	285	380	825
43	3-4	12	23:15	09:15		200	690	106	6	27 - 18	07:00	16:40	45	465	670
44	3	15 - 23	09:30	21:05	295	330	785	107	6-7	29	22:25	08:45		205	710
45	3-4	16	22:20	08:40		190	710	108	6-7	30 - 7	13:30	00:15	180	375	735
46	3	19 - 6	09:30	20:45	235	270	765	109	7	1 - 13	07:20	17:00	125	385	670
47	3	20 - 9	16:15	22:55	40	290	490	110	7-8	3	22:55	08:00		180	635
48	3-4	21	22:20	08:15		150	685	111	7	4 - 8	07:45	17:30	230	220	675
49	3	22 - 2	09:00	21:30	365	315	840	112	7	5 - 11	12:00	23:50	270	345	800
50	3	24 - 26	11:30	21:35	135	400	695	113	7-8	8 - 14	15:15	00:05	150	310	620
51	3	25 - 17	08:55	21:10	285	380	825	114	7	10 - 28	10:10	22:15	225	430	815
52	3	27 - 18	07:00	16:40	45	465	670	115	7-8	12	23:15	09:15		200	690
53	3-4	29	22:25	08:45		205	710	116	7	15 - 23	09:30	21:05	295	330	785
54	3-4	30 - 7	13:30	00:15	180	375	735	117	7-8	16	22:20	08:40		190	710
55	4	1 - 13	07:20	17:00	125	385	670	118	7	19 - 6	09:30	20:45	235	270	765
56	4-5	3	22:55	08:00		180	635	119	7	20 - 9	16:15	22:55	40	290	490
57	4	4 - 8	07:45	17:30	230	220	675	120	7-8	21	22:20	08:15		150	685
58	4	5 - 11	12:00	23:50	270	345	800	121	7	22 - 2	09:00	21:30	365	315	840
59	4-5	8 - 14	15:15	00:05	150	310	620	122	7	24 - 26	11:30	21:35	135	400	695
60	4	10 - 28	10:10	22:15	225	430	815	123	7	25 - 17	08:55	21:10	285	380	825
61	4-5	12	23:15	09:15		200	690	124	7	27 - 18	07:00	16:40	45	465	670
62	4	15 - 23	09:30	21:05	295	330	785	125	7-8	29	22:25	08:45		205	710
63	4-5	16	22:20	08:40		190	710	126	7-8	30 - 7	13:30	00:15	180	375	735

Haftalık uçuş eşleme listesi oluşturulduktan sonraki adım ise haftalık tüm olası uçuş ekibi atamalarının elde edilmesidir, bu da olası tüm rotaların bulunması ile mümkündür. Şekil 24'te görülen "Calculate" butonuna tıklandığında KDS olası tüm rotaları SHGM'nin yayınladığı Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatında (SHT-6A.Rev.05) belirtilen kısıtlara göre hesaplamaktadır.

KDS tarafından hesaplanan tüm olası rotalar ve bu rotalara ilişkin bilgiler yeni bir sayfada yazdırılmaktadır (Şekil 5.11). Ele alınan problem verileri ve SHGM yasal kısıtları çerçevesinde toplam 14402 olası rota hesaplanmıştır. Programın işlem süresi 10 saniyedir. Elde edilen 14402 olası rotanın tümü Şekil 5.11 ile temsil edilen ekran görüntüsüne aynı

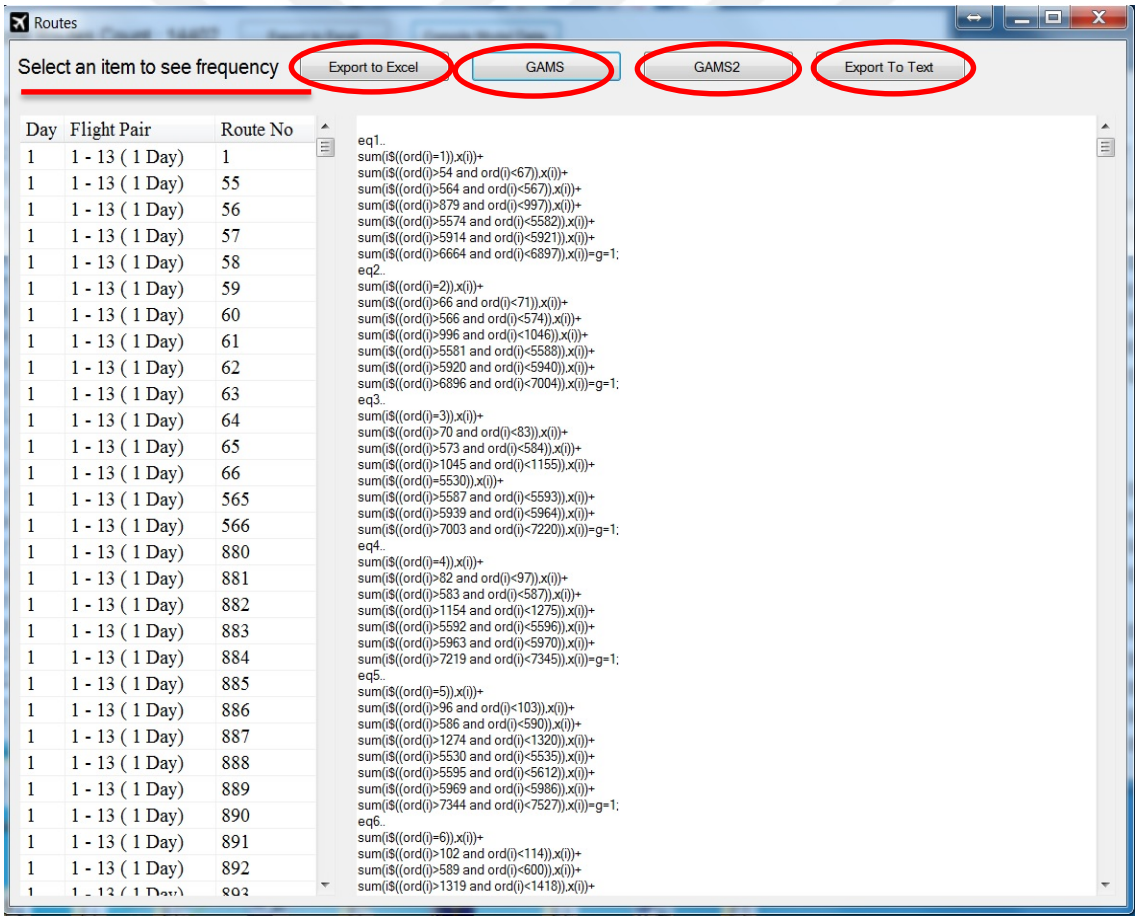
anda sığmamaktadır, kullanıcılar tarafından istenirse tüm rotaların toplu olarak bir .xlsx dosyasına yazdırılması ekranda bulunan “Export to Excel” butonunu tıklayarak mümkündür. Programın olası tüm rotaları .xlsx dosyasına yazdırması işlemi 219 saniye almaktadır.



Şekil 5.11. Uçuş rotalama programının ekran görüntüsü – 3

Hesaplanan olası rotalar küme bölme modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Toplam 126 ekip eşlemesine ait tüm olası rotalar dikkate alındığında 14402 değişken ve 127 kısıttan oluşan bir küme bölme modeli oluşmuştur. Modelde her bir kısıt bir uçuşun kapsandığı tüm olası rotaları göstermelidir. Örneğin 1. kısıt, haftalık ekip eşlemeleri listesindeki 1 numaralı uçuş eşlemesinin, olası tüm rotaların içinde mevcut olduğu tüm rota numaralarını gösterecektir. Model verilerinin derlenmesi, değişken sayısının oldukça fazla olması ve yazılması gereken 126 kısıt için her bir rotanın tek tek incelenmesi gerektiğinden, göz ile manuel olarak gerçekleştirilmesi oldukça uzun zaman alan bir süreçtir. Dolayısıyla, modelin kurulması sürecinin kullanıcı dostu ve hızlı bir şekilde yönetilebilmesi için, KDS ekranına uçuş rotalama probleminin küme kaplama modeli verilerini derlemek için bazı araçlar eklenmiştir. Şekil 5.10’da görülen “Compile Model Data” butonu tıklandığında program, haftalık ekip eşleme listesinin her günüde yer alan her uçuşu ayrı bir identitiy olarak ele alarak, o uçuşun içinde bulunduğu tüm rotaları yazdırmaktadır, bu veriler Şekil 5.12’de görüldüğü gibi yeni bir sayfada kullanıcıya sunulmaktadır. Bu işlemin gerçekleşmesi 14

saniye almaktadır. Burada bir ekip eşlemesi seçildiğinde, şeffaflık açısından program seçilen ekip eşlemesinin toplamda kaç rota içinde olduğunu da ekranda yazdırabilmektedir (Şekil 5.12). Daha sonra, bu veriler "Export to Excel" butonu tıklanarak yeni bir .xlsx sayfasına 590 saniyelik işlem süresinde yazdırılabilmektedir, ayrıca Şekil 5.12'de görülen "GAMS" ya da "GAMS2" butonlarından herhangi biri tıklandığında, küme kaplama modelinin çözümünde kullanılacak olan kısıtlama cümlecikleri program tarafından bölünmüş ekranın sağ yanına yazdırılmaktadır. Bu işlem ise 150 saniyede gerçekleşmektedir, program tarafından yazdırılan oluşturulacak matematiksel modelin kısıtlama cümleleri GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programında direk kullanılabilecek niteliktedir. Sayfada görülen "Export to Text" butonu tıklandığında ise yazdırılan GAMS kısıt cümleleri bir .txt dosyasına yazdırılmakta, kullanıcı bu dosyayı istediği isimle kaydedebilmektedir.



Şekil 5.12. Uçuş rotalama programının ekran görüntüsü – 4

Modelde amaç eşleşme sayısının minimize edilmesi olduğundan amaç fonksiyonu katsayılarının her biri "1" olarak alınmıştır. Problemin küme kaplama modeli aşağıda görülmektedir ve bu modelin çözümü GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX

Solver ile gerçekleştirilmiştir. Program Windows 7 Ultimate işletim sistemi kullanan, 4.00 GB RAM ve 23.20 GHz CPU hızına sahip Intel ® Core ™ i3 işlemciye sahip bir masaüstü bilgisayarda çalıştırılmıştır.

i= olası rota sayısı (i=1, 2, …, 14402)

x_i= *i*. olası rotanın seçilme durumuna bağlı 0-1 değişken

$$\text{Min z} = \quad x_1+x_2+\ldots+x_{14402} \tag{5.54}$$

Kısıtlar:

$$x_1 + \sum_{i=55}^{66} x_i + \sum_{i=565}^{566} x_i + \sum_{i=880}^{996} x_i + \sum_{i=5575}^{5581} x_i + \sum_{i=5915}^{5920} x_i + \sum_{i=6665}^{6896} x_i \geq 1 \tag{5.55}$$

$$x_2 + \sum_{i=67}^{70} x_i + \sum_{i=567}^{573} x_i + \sum_{i=967}^{1045} x_i + \sum_{i=5582}^{5587} x_i + \sum_{i=5921}^{5939} x_i + \sum_{i=6897}^{7005} x_i \geq 1 \tag{5.56}$$

.

.

.

$$x_3 + x_6 + x_8 + x_{10} + x_{13} + \sum_{i=15}^{16} x_i + x_{19} + \sum_{i=225}^{236} x_i + \sum_{i=574}^{583} x_i + \sum_{i=590}^{599} x_i + \sum_{i=602}^{611} x_i + \sum_{i=615}^{624} x_i + \sum_{i=631}^{640} x_i + \sum_{i=644}^{663} x_i + \sum_{i=670}^{671} x_i + \sum_{i=2430}^{2546} x_i + x_{5530} + x_{5544} + \sum_{i=5690}^{5696} x_i + \sum_{i=5940}^{5963} x_i + \sum_{i=5986}^{5996} x_i + \sum_{i=6006}^{6017} x_i + \sum_{i=6030}^{6044} x_i + \sum_{i=6093}^{6101} x_i + \sum_{i=6114}^{6148} x_i + \sum_{i=6168}^{6175} x_i + \sum_{i=9327}^{9558} x_i \geq 1 \tag{5.73}$$

$$x_1 + \sum_{i=4}^{5} x_i + x_7 + x_9 + \sum_{i=11}^{12} x_i + x_{14} + \sum_{i=17}^{18} x_i + x_{20} + x_{71} + x_{103} + x_{123} + x_{142} + x_{166} + x_{182} + x_{194} + \sum_{i=237}^{240} x_i + \sum_{i=565}^{566} x_i + \sum_{i=560}^{601} x_i + \sum_{i=612}^{614} x_i + \sum_{i=625}^{630} x_i + \sum_{i=641}^{643} x_i + \sum_{i=664}^{669} x_i + \sum_{i=1046}^{1048} x_i + \sum_{i=1320}^{1323} x_i + \sum_{i=1507}^{1512} x_i + \sum_{i=1686}^{1689} x_i + \sum_{i=1898}^{1901} x_i + \sum_{i=2042}^{2045} x_i + \sum_{i=2149}^{2153} x_i + \sum_{i=2547}^{2595} x_i + \sum_{i=5531}^{5543} x_i + \sum_{i=5697}^{5702} x_i + \sum_{i=5915}^{5920} x_i + \sum_{i=5964}^{5985} x_i + \sum_{i=5997}^{6005} x_i + \sum_{i=6018}^{6029} x_i + \sum_{i=6045}^{6092} x_i + \sum_{i=6102}^{6113} x_i + \sum_{i=6149}^{6169} x_i + \sum_{i=6176}^{6194} x_i + \sum_{i=7004}^{7011} x_i + \sum_{i=7527}^{7534} x_i + \sum_{i=7779}^{7786} x_i + \sum_{i=8014}^{8022} x_i + \sum_{i=8556}^{8561} x_i + \sum_{i=8731}^{8738} x_i + \sum_{i=8825}^{8834} x_i + \sum_{i=9559}^{9664} x_i \geq 1 \tag{5.74}$$

.

.

.

$$x_{21} + x_{24} + x_{26} + x_{28} + x_{31} + \sum_{i=33}^{34} x_i + x_{37} + x_{67} + \sum_{i=74}^{76} x_i + x_{78} + \sum_{i=80}^{81} x_i + x_{84} + x_{86} + x_{88} + x_{91} + x_{93} + x_{96} + x_{102} + x_{104} + \sum_{i=107}^{108} x_i + x_{110} + x_{112} + x_{117} + x_{124} + \sum_{i=127}^{128} x_i + x_{130} + \sum_{i=132}^{133} x_i + x_{138} + x_{143} + \sum_{i=146}^{147} x_i + x_{149} + \sum_{i=151}^{152} x_i + x_{162} + x_{167} + \sum_{i=170}^{172} x_i + \sum_{i=175}^{176} x_i + x_{183} + \sum_{i=186}^{188} x_i + x_{190} + x_{192} + x_{195} + \sum_{i=198}^{200} x_i + x_{202} + x_{204} + x_{209} + x_{215} + x_{217} + x_{219} + x_{224} + \sum_{i=395}^{406} x_i + \sum_{i=677}^{688} x_i + \sum_{i=695}^{704} x_i + \sum_{i=707}^{716} x_i + \sum_{i=720}^{729} x_i + \sum_{i=736}^{745} x_i + \sum_{i=749}^{768} x_i + \sum_{i=775}^{776} x_i + \sum_{i=997}^{1008} x_i + \sum_{i=1264}^{1274} x_i + \sum_{i=1309}^{1319} x_i + \sum_{i=1436}^{1447} x_i + \sum_{i=1637}^{1648} x_i + \sum_{i=1849}^{1860} x_i + \sum_{i=2281}^{2292} x_i + \sum_{i=2419}^{2429} x_i + \sum_{i=3980}^{4096} x_i + x_{5545} + x_{5559} + x_{5582} + x_{5592} + \sum_{i=5610}^{5611} x_i + x_{5617} + x_{5625} + x_{5632} + \sum_{i=5649}^{5650} x_i + x_{5657} + \sum_{i=5667}^{5668} x_i + \sum_{i=5671}^{5673} x_i + x_{5676} + x_{5678} + \sum_{i=5685}^{5686} x_i + \sum_{i=5805}^{5811} x_i + \sum_{i=6195}^{6218} x_i + \sum_{i=6241}^{6251} x_i + \sum_{i=6261}^{6272} x_i + \sum_{i=6285}^{6299} x_i + \sum_{i=6348}^{6356} x_i + \sum_{i=6367}^{6403} x_i + \sum_{i=6425}^{6429} x_i + \sum_{i=6897}^{6926} x_i + \sum_{i=7332}^{7344} x_i + \sum_{i=7499}^{7526} x_i + \sum_{i=7652}^{7680} x_i + \sum_{i=7927}^{7952} x_i + \sum_{i=8450}^{8478} x_i + \sum_{i=9081}^{9106} x_i + \sum_{i=9306}^{9326} x_i + \sum_{i=11989}^{12219} x_i \geq 1 \quad (5.81)$$

$$x_{19} + \sum_{i=22}^{23} x_i + x_{25} + x_{27} + \sum_{i=29}^{30} x_i + x_{32} + \sum_{i=35}^{36} x_i + x_{38} + \sum_{i=55}^{66} x_i + \sum_{i=72}^{73} x_i + x_{77} + x_{79} + \sum_{i=82}^{83} x_i + x_{85} + x_{87} + \sum_{i=89}^{90} x_i + x_{92} + \sum_{i=94}^{95} x_i + \sum_{i=97}^{101} x_i + \sum_{i=105}^{106} x_i + x_{109} + x_{111} + \sum_{i=113}^{116} x_i + \sum_{i=125}^{126} x_i + x_{129} + x_{131} + \sum_{i=134}^{137} x_i + \sum_{i=144}^{145} x_i + x_{148} + x_{150} + \sum_{i=153}^{161} x_i + \sum_{i=168}^{169} x_i + \sum_{i=173}^{174} x_i + \sum_{i=177}^{181} x_i + \sum_{i=184}^{185} x_i + x_{189} + x_{191} + x_{193} + \sum_{i=196}^{197} x_i + x_{201} + x_{203} + \sum_{i=205}^{207} x_i + \sum_{i=213}^{214} x_i + x_{216} + x_{218} + \sum_{i=220}^{223} x_i + x_{241} + x_{273} + x_{293} + x_{312} + x_{336} + x_{352} + x_{364} + \sum_{i=407}^{410} x_i + \sum_{i=670}^{671} x_i + \sum_{i=689}^{694} x_i + \sum_{i=705}^{706} x_i + \sum_{i=717}^{719} x_i + \sum_{i=730}^{735} x_i + \sum_{i=746}^{748} x_i + \sum_{i=767}^{774} x_i + \sum_{i=777}^{783} x_i + \cdots + \sum_{i=12220}^{12287} x_i \geq 1 \quad (5.82)$$

.

.

.

$$x_{289} + x_{373} + x_{384} + x_{425} + x_{437} + \sum_{i=454}^{456} x_i + x_{475} + \cdots + x_{1450} + x_{1454} + x_{1465} + x_{1480} + \cdots + \sum_{i=2852}^{2853} x_i + \cdots + \sum_{i=3349}^{3351} x_i + \cdots + \sum_{i=4577}^{4579} x_i + \cdots + \sum_{i=134}^{137} x_i + \sum_{i=5780}^{5781} x_i + \cdots + \sum_{i=6255}^{6256} x_i + \cdots + x_{7366} + \cdots + x_{8207} + \cdots + \sum_{i=9768}^{9769} x_i + \cdots + \sum_{i=10075}^{10077} x_i + \cdots + \sum_{i=11626}^{11629} x_i + \cdots + x_{12704} + \cdots + x_{13025} + \cdots + x_{14002} + \cdots + x_{14372} \geq 1 \quad (5.153)$$

$$x_{3022} + x_{3223} + x_{3435} + x_{3867} + x_{4004} + x_{4010} + \cdots + \sum_{i=4363}^{4374} x_i + \cdots + x_{5025} + \cdots + \sum_{i=5381}^{5392} x_i + \cdots + x_{6200} + \cdots + \sum_{i=6447}^{6451} x_i + \cdots + x_{7238} + \cdots + \sum_{i=7723}^{7724} x_i + \cdots + x_{8001} + \cdots + \sum_{i=8512}^{8514} x_i + \cdots + x_{9053} + \cdots + \sum_{i=9133}^{9235} x_i + \cdots + \sum_{i=10007}^{10009} x_i + \cdots + \sum_{i=11008}^{11009} x_i + \cdots + x_{12014} + \cdots + \sum_{i=13010}^{13013} x_i + \cdots + \sum_{i=14007}^{14005} x_i + \cdots + x_{14031} \geq 1 \quad (5.154)$$

.

.

.

$$x_i = \begin{cases} 1, & i.eşleme\ seçilmiş\ ise \\ 0, & d.d. \end{cases} \quad (5.171)$$

Burada; Eş. 5.55 haftalık temelde hazırlanan uçuş listesindeki 1-13 numaralı sefer çiftlerinden oluşan uçuş eşlemesinin 1. günde bulunduğu rotaların tamamını temsil etmekteyken Eş. 5.73 haftalık temelde hazırlanan uçuş listesindeki 1-13 numaralı sefer çiftlerinden oluşan uçuş eşlemesinin 2. günde bulunduğu rotaların tamamını temsil etmektedir, bu sayede model tüm olası rotalar içinden bu uçuş çiftinin ait olduğu günde gerçekleştirildiği yalnız bir rotayı seçecektir. Bu şekilde 126 uçuş eşlemesinin her biri için ayrı ayrı olası rotalarda bulunma durumları incelenerek kısıtlar yazılmıştır, Eş. 5.171 ise karar değişkenlerinin 0-1 tam sayı olma kısıdır.

Oluşturulan 127 kısıtlı 14402 karar değişkenli küme kaplama modeli GAMS optimizasyon programı ile çözülmüştür ve çözüme ait GAMS optimizasyon kodları EK-3'te sunulmuştur. Elde edilen çözüme göre haftalık 126 uçuşu ele alan 14402 olası rotanın toplam 38 rotanın uçuşu ile tüm uçuşlar kapsanacak şekilde çözüleceği görülmüştür. Bulunan rotalar Çizelge 5.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.10. Haftalık temelde uçulacak rotalar

220	4127	7329	12786
1400	4578	7525	13342
1549	4589	8343	13390
1662	4851	8909	13432
1738	5569	9768	13491
1838	5575	11353	13556
1917	5934	11491	13572
2117	5960	11777	13837
2298	6002	12769	
3337	6104	12776	

Bu alt bölümde özetle, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen gerçek hayat uygulamasının parçalarından biri olan ekip çizelgeleme probleminin ikinci ve son adımı olan uçuş rotalama problemi ele alınmış, bu kapsamda ekiplerin atanması gereken olası tüm rotalar öncelikle haftalık uçuş eşleme listesi oluşturularak, SHGM'nin bu hususta belirlediği yasal düzenlemeler kısıt olarak görülerek oluşturulmuştur.

Oluşturulan kısıtlar ve geliştirilen KDS'nin kullanımı ile bulunan olası rota sayısı 14 402'dir, bu da 14 402 adet karar değişkenine sahip, haftalık her bir ekip eşlemesi için bir kısıta sahip olacak, yani 126 kısıtlı bir küme kaplama modelinin kurulmasının gerekmekte olduğunu gösterir. Ele alınması gereken veri miktarının oldukça çok olması, modelin kurulması esnasında yapılacak olan incelemelerin gözle yapılması durumunda veri kaybının ya da yanlışlıkların yaşanması ihtimalinin yüksek olması getirmektedir. Dolayısıyla, ekip çizelgeleme problemini ele almak için geliştirilen programa matematiksel modelde kullanılacak ifadeleri oluşturmak için gereken verileri ve bu ifadelerden oluşan kısıtları yazdıracak metotlar eklenmiştir.

Elde edilen küme bölme modeli model GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre 38 rota ile haftalık tüm uçuşların gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

Tez çalışmasının uygun bir KDS'nin geliştirilmesi ve gerçek hayat ekip çizelgeleme probleminin çözüme ulaştırılması kısmını ele alan bu ilk bölümünde günlük ve haftalık temelde gerçekleştirilen ekip eşleme ve uçuş rotalama problemi çözümleri sonucunda, haftalık SAW merkez üslü gerçekleştirilmesi gereken 540 karşılıklı uçuşun toplam 38 rota ataması ile kapsanabileceği görülmüştür. Mevcut literatürde ekip çizelgeleme problemi, ya günlük problem çözüldüğünde, ya da bu safhaya gelindiğinde tamamlanmış sayılmakta, elde edilen eşlemelere ya da rotalara birer ekip atanması gerektiği varsayılmakta, yani bu tez çalışmasında ele alınan problem için toplamda 38 ekip ataması ile bu problemin çözülmüş olduğunun kabul edilmesi ile sonlandırılmakta, bu nedenle bazı kaynaklarda ekip çizelgeleme probleminin ikinci parçasını oluşturan "uçuş rotalama problemi", "ekip atama problemi" olarak da isimlendirilebilmektedir; sonuç olarak elde edilen rotaları gerçekleştirecek ekipleri oluşturan insan faktörü dikkate alınmamaktadır. Yürütülen tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen gerçek hayat uygulaması kapsamında ise, sıradaki alt adımda mevcut literatürün bu açığının kapanması adına, ED aracı kullanılarak insani faktörlerin dikkate alınması, bu sayede ileri çizelgeleme faaliyetleri incelemesi başlığı altında atanacak ekipler için ihtiyaç duyulan personel seviyelerinin nasıl değiştiğinin gözlemlenmesi gerçekleştirilecektir.

5.4. İnsani Faktör Analizi ve Çalışan Atama

Gerçekleştirilen uygulama çalışmasının ilk bölümünde, haftalık uçuşların uçucu ekiplerin atanacağı minimum kaç rota ile başarılabileceği sorusunun cevabı bulunmuş, ekip çizelgeleme problemi bilinen kapsamıyla iki problem parçası da ardıl olarak incelenerek sonuca ulaştırılmıştır. Literatürde mevcut bulunan çalışmalarda genel olarak ekip çizelgeleme problemi bu aşamada, yani rotaların oluşturulması ile sonlandırılmakta, ek bir analiz gerçekleştirilmeden rota sayısı kadar ekibin atanması ile problemin çözülmüş olacağının kabul edilmesi ile ekip atama probleminin de sonuca ulaştırıldığı varsayılmaktadır.

Ancak, gerçek hayat uygulamalarında rotalara atanacak ekipleri oluşturacak çalışanlara dair parametrelerin dikkate alınmaması, teoride çözüme ulaştırılmış görünen problemler için uygulamada aynı sonuca ulaşılamamasını getirmektedir. Özellikle bu ekipleri oluşturacak olan çalışanların insan olmaları, önceden ölçülmeyen ve hesaba katılmayan bazı insani faktörlerin etkisi ile, hesaplanan çizelgelerde bozulmaların yaşanmasına, bu durum ise ilk etapta uçuşlarda aksamalara ya da iptallere, ileriki etaplarda ise firma için prestij, çalışan ve müşteri kaybına, dolayısıyla büyük maliyetlere neden olmaktadır. Tez çalışmasının bu bölümünde, insani faktörlerin nedenlerinin ve bunların beklenen etkilerinin ED tekniği kullanımı ile ele alınması hedeflenmektedir. Bu sayede yapılacak çalışma ile mevcut literatüre başka bir katkıda bulunulurken, aynı zamanda da insan faktörünü inceleyen ekip çizelgeleme problemine, gerçek hayat durumlarını daha iyi yansıtacak bir çözüm getirilmesi planlanmaktadır.

Bu alt bölümde gerçekleştirilen çalışma iki ana başlık altında toplanabilir; ilk ana başlık altında ED faaliyetleri bulunmaktadır; incelenen problem için gerçekleştirilen bilgi toplama ve ED yapısı ile bunları inceleyerek matematiksel model verilerini elde etme işlemleri burada yer almaktadır. İkinci ana başlıkta ise gerçekleştirilen matematiksel model işlemleri yer almaktadır. Burada oluşturulan modeller, insani faktör değerlerine, başka bir deyişle bir önceki adımda elde edilen ED uygulaması sonuçlarına, göre hangi çalışanların seçileceğinin belirlenmesi için küme kaplama modelinin kullanılması ve seçilen çalışanların yine insani faktörler temelinde ekiplere nasıl atanması gerektiğinin belirlenmesi için tek amaçlı ve çok amaçlı atama modellerinin kullanılması olarak iki alt başlıkta incelenecektir.

5.4.1. İnsani faktörlerin dikkate alınması ışığında çalışan seçimi ve ED uygulamaları

Uygulama çalışmasında, tez çalışmasının literatüre sağladığı katkılardan birisi olarak, ekip seçme ve atama problemleri için insani faktörlerin etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, ED uygulamaları gerçekleştirilerek, çalışanlara bağlı çizelgeleme bozulmalarının ana nedenleri ve bunların beklenen gecikmenin üzerindeki ağırlıkları hesaplanacak ve bu veriler geleneksel problem kısıtlarına ek olarak ele alınacak matematiksel modellerde ek kısıtlar ve amaç fonksiyonları aracılığı ile temsil edilecektir.

Çalışmanın ilk bölümünde günlük ve haftalık temelde gerçekleştirilen ekip eşleme ve uçuş rotalama problemi çözümleri sonucunda, haftalık gerçekleştirilmesi gereken 540 karşılıklı uçuşun toplam 38 rota ataması ile kapsanabileceği görülmüştür. Mevcut literatürde, problemin bu aşamadaki çözümü, toplamda 38 ekip ataması ile bu problemin çözülmüş olduğunun kabul edilmesi ile sonlandırılmaktadır. Ancak bu gibi çözümlerde ekiplerin hangi çalışanlar tarafından doldurulacağı ve bu çalışanların hangi kriterler temelinde seçilmesi gerektiği dikkate alınmamış olmaktadır. Literatürde bulunan kısıtlı sayıdaki ve küçük boyutlu problemlere uygulanmış olan bazı çözümlerde ise ekiplerin nasıl doldurulacağı problemlerinin ele alındığı, ancak bu problemin maliyet, çalışma saati, ya da karşılanan müşteri sayısı gibi tamamen maddi boyutlara göre kısıtlanmış olduğu görülmektedir. Son yıllarda yapılan sınırlı sayıdaki çalışmada ekip atama problemine çalışanların çalışmayı tercih ettikleri günler kısıdını da içine alan çözümler getirilmiştir, ancak bu çalışmaların ekip çizelgeleme problemi olarak değil çizelgelenmiş ekiplere çalışan atama problemi olarak ele alınmış olduğu görülmektedir.

<u>İncelenecek problem tipinin belirlenmesi</u>

Ekip çizelgeleme literatüründe mevcut bulunan çalışmalar incelendiğinde, elde edilen çizelgeler üzerinde sonradan yapılan düzeltme çalışmaları ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu (Moudai ve Mora Camino, 2000; Muter ve diğerleri, 2013), ancak oluşturulan çizelgelerin ne gibi nedenlerle ve nasıl bozulduğunun araştırılmadığı görülmektedir. Çizelge bozulması riski, yalnızca hizmet sektöründe değil her faaliyet alanında büyük sorun teşkil etmektedir. Dolayısıyla bu riskin nedenlerinin, olay henüz gerçekleşmeden ortaya koyulması ve kullanılan ED yöntemi ile bu ana nedenlerin olayın gerçekleşmesindeki katkılarının bilinmesi ile bu verilerin kurulacak olan matematiksel modellerde ele alınarak, yokluk

değerlerinin önceden hesaba katılmış olduğu çizelgelerin oluşturulmasının hem çalışan hem de firmalar açısından daha faydalı olacağı hesaplanmaktadır.

Bu sebeplerle, çalışmanın bu kısmı kapsamında ele alınacak problem tipi, çizelgelemeyi etkileyen insani faktörlerin incelenmesi kapsamında, çalışan yokluğuna bağlı çizelge bozulmalarının engellenmesi olarak belirlenmiştir. Uygulama çalışmasının önceki bölümünde çizelgeler oluşturulurken SHGM tarafından belirtilen tüm yasal zorunluluklar, çalışanların yasal hakları ve firmaya ait istek ve düzenlemeler göz önüne alınmıştır. Bu şartlar altında, hazırlanan çizelgelerin bozulmasına neden olabilecek hususların teknolojik bir takım problemler (bakım-onarımdan kaynaklanan ya da belirsiz nedenleri olan), beklenmeyen hava koşullarının oluşması, terörist saldırı ya da eylemler (26.07.2013 tarihinde İstanbul Atatürk Havalimanı pasaport kontrol sistemine düzenlenen siber saldırı sonucu 06:00-07:30 saatleri arasında sistem çalışmamış, dış hatlarda yoğun kuyruklar oluşmuş, uçuşlarda gecikmeler yaşanmıştır) ve çalışanların insani gecikmeleri/yoklukları olduğu uzman görüşleri ve yapılan literatür araştırmaları sonucunda belirlenmiştir. Bu hususlardan çalışanların insani gecikmeleri/yoklukları ve teknolojik problemlerin yaşanması haricindekilerin, tutarlı ve kesin bilgiler, geçmişe dayalı tahminler ya da bir takım olasılık hesaplamaları ışığında matematiksel modelleme araçları ile incelenebilmeleri mümkün değildir, çünkü bu hususlar münferit, kesikli şekilde gerçekleşen ve önceden tahmin edilemez olaylardır. Analitik olarak ele alınabilecek iki hususdan biri olan teknolojik problemlerin yaşanması hususu ise makinelere bağlı, daha kolay fark edilebilir, kolay modellenebilir olmasından ve verilerinin daha rahat erişilebilir oluşundan dolayı, mevcut literatürde gerek sivil gerek askeri havacılık kurumları açısından pek çok araştırmacı tarafından, farklı kısıtlar altında, çok sayıda çalışmada ele alınmış, sıklıkla incelenmiş bir problemdir (Muter ve diğerleri, 2013). Bu nedenlerle, bu çalışmada, genellikle daha az tahmin edilebilir oluşundan ve dolayısıyla modellenmesi ve analiz edilmesi güç yapısından kaynakla, literatürde çok boyutlu olarak irdelenmemiş olduğu görülen, özellikle matematiksel modellerin kullanımı ile kesin bir optimal çözüme ulaşılmasının zor kabul edildiği, insani gecikmeler ve yokluklar hususu ele alınmış, çalışan yokluğuna bağlı çizelge bozulmalarının incelenmesi problemi de göz önüne alınarak pek çok farklı matematiksel model kullanılarak, insani faktörlerin çizelgeler üzerindeki etkisi incelenmiş ve uygun atamalar ile ekipler oluşturulmuştur.

5.4.2. Etki Diyagramı yapısının oluşturulması

ED yapılarının oluşturulması üç temel aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamalardan ilk ikisi "problemin nicel yapısının oluşturulması", diğer son aşama ise "problemin nitel yapısının oluşturulması" olarak bilinir (Bielza ve Shenoy, 1999; Ndilikilikesha, 1994). Bu aşamalar ile ilgili detaylı bilgi devam eden alt başlıklar altında sunulmuştur.

Etki Diyagramı ağ topolojisi verilerinin toplanması

Bu aşamada alan uzmanlarının bilgi ve tecrübesinden ve karar verici bilgilerinden yararlanılmıştır. Çalışan yokluğuna bağlı çizelge bozulmalarının incelenmesi problemi için oluşturulacak ED yapısında şans, karar ve değer düğümlerini oluşturacak etmenlerin ve bunların birbiri ile ilişkisinin belirlenmesi için öncelikle muhtemel olabilecek seçenekler alan uzmanlarının görüşü alınarak oluşturulmuştur.

Burada kendisine dair özelliklerin belirlenmesi ve bunlara bağlı verilerin elde edilmesi gereken şekilsel seviye elemanları karar değişkenleri, şans değişkenleri, koşullara bağlı birleşik olasılık dağılımı çarpımları (düğüm bilgileri), birleşik kullanım (değer) fonksiyonu çarpımları (ark bilgileri) ve bilgi kısıtları (arklar) olarak sıralanabilir (Bielza ve Shenoy, 1999; Horvitz ve diğerleri, 1988). Bir sonraki aşamada bunları gösteren yönlü çevrimsiz bir graf çizilerek incelenen problem için ED oluşturulacaktır.

Çalışanların daha önceden kendilerine bildirilmiş olan iş çizelgelerine uymamalarına sebep olabilecek durumlar, alan uzmanlarının görüşüne sunulmak üzere, karar verici tarafından işe geç kalma, zaruri izinler nedeni ile işe gelememe ya da planlanmamış izinler nedeni ile işe gelememe olarak üç ana başlık altında toplanmıştır. İşe geç kalma durumuna yol açan nedenler trafik sorunları, haftalıklar ya da kaza ve/veya bozulmalar sonucu araç problemi ya da sağlık sorunları olarak sıralanmıştır. Zaruri izinler nedeni ile işe gelememe durumuna yol açan nedenler hastalık, kaza, operasyon geçirme ya da yakınların vefatı olarak sıralanırken, planlanmamış izinler nedeni ile işe gelememe durumuna yol açan nedenler ise hava koşulları, grevler, lokavtlar ve firmanın uyguladığı yaz/kış dönemi uygulamaları olarak sırlanmıştır.

Daha sonra alan uzmanları tarafından incelenen bu durumlar, şirket politikaları göz önünde bulundurularak yeniden düzenlenmiş, çalışanların işe geç kalma ya da gelememe durumları için neden olarak kabul edilen elemanlar sıralanmış ve gruplanmıştır. Bu kapsamda, gerçekleştirilecek ED uygulaması için ele alınan problemin değer düğümünü oluşturacak "Çalışan Yokluğu" elemanının "Planlı Yokluklar" ve "Plansız Yokluklar" olmak üzere iki ana durumdan etkilendiği belirtilmiştir.

Planlı yokluk durumunun yaşanması halinde söz konusu elemanın raporlu ya da izinli olması gerektiği, firma tarafından çalışanların raporlarının geçerli sayıldığı ya da önceden çizelgelenmemiş ani izinlerin kabul edildiği durumların ise "Çalışanın Yakınının Ölümü" (birinci derece akrabalar), "Çalışanın Yakınının Tam Teşekküllü Hastane Onaylı Rapor ile Kesinleştirilmiş Hafif Hastalıkları" (birinci derece akrabalar), "Çalışanın Yakınının Tam Teşekküllü Hastane Onaylı Acil Cerrahi Operasyonları" (birinci derece akrabalar), "Çalışanın Kişisel Tam Teşekküllü Hastane Onaylı Rapor ile Kesinleştirilmiş Hafif Hastalıkları" ya da "Çalışanın Kişisel Tam Teşekküllü Hastane Onaylı Acil Cerrahi Operasyonları" olarak belirtilmiştir.

Burada hafif hastalık tanımının içine şiddetli grip, şiddetli soğuk algınlığı, bronşit gibi üst solunum yolları rahatsızlıkları; bulantı, kusma, spazm, zehirlenme gibi çeşitli sindirim sistemi rahatsızlıkları; ishal, nefrit, sarılık, böbrek taşı gibi çeşitli boşaltım sistemi rahatsızlıkları; geçirilen kazalara bağlı olarak yaşanan düşme, çarpma, kesik, yanık olayları sonucunda ortaya çıkabilecek iskelet ve/veya yumuşak doku rahatsızlıkları girmektedir. Geçirilebilecek acil operasyonlar tanımının içine apandisit, kalp ve damar hastalıkları, nörolojik problemler, mide kanaması, beyin kanaması gibi rahatsızlıklar girmektedir. Bunların dışındaki durumlar ile ilgili raporların kabulüne İnsan Kaynakları Biriminin danışmanlık aldığı tam teşekküllü hastaneler tarafından gözden geçirildikten sonra karar verilmektedir.

Plansız yokluk durumu yaşanması halinde, firma tarafından söz konusu çalışanın kabul edilebilecek mazeretlerinin "İşe Ulaşma Aracının (Sadece Servis Aracı Kabul Ediliyor) Arızalanması", "Beklenmeyen Hava Koşullarının Yaşanması" ve "Trafik Kazasına Karışma" durumlarının olduğu belirtilmiştir.

Plansız yokluk durumu yaşanmasında halinde işe ulaşma aracı olarak toplu taşıma, taksi ya da özel araç kullanan çalışanların, trafik ya da araca bağlı olarak yaşadıkları problemler kabul edilecek mazeretler içinde görülmemektedir. Bununla birlikte, beklenmeyen hava koşullarının sis, fırtına, tipi gibi hava olaylarından kaynaklanabileceği, ayrıca bu olayların Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyeti İstanbul Valiliği ve havaalanı işletmesi ile kule tarafından verilen bilgiler ile teyit edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Trafik kazasına karışma durumunda ise, çalışanın sağlık ya da araç durumunda yaşanacak problemlerin değil, kaza sonrasında doğabilecek anlaşmazlıklar ya da yetkililerin beklenmesi gibi yasal zorunluluklar nedeni ile çalışanın işe geç kalması durumu göz önüne alınmaktadır.

Elde edilen bu bilgiler ışığında ED şekilsel seviye verileri toplanmış, bu veriler ile ele alınan probleme dair ED graf yapısı aşağıda anlatıldığı gibi oluşturulmuştur.

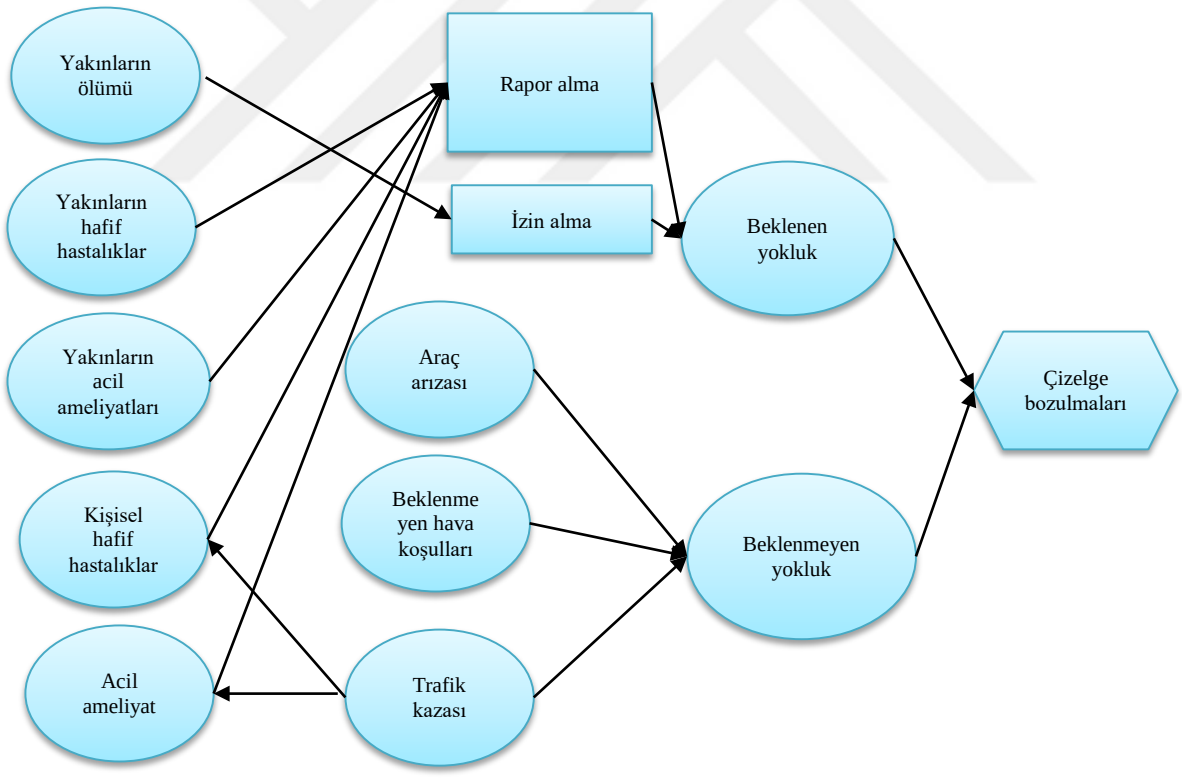
Etki Diyagramı şekilsel seviyede graf yapısının oluşturulması

Bu aşamada daha önce yapılmış olan literatür araştırmalarından ve ED şekilsel seviyesi bulgularından yola çıkılarak, ele alınan problem için oluşturulacak ED graf yapısının üzerinde çalışılmıştır. Sonuç olarak birinci seviye, ikinci seviye ve üçüncü seviye şans düğümleri, karar düğümleri ve değer düğümünün neler olacağı belirlenmiş, bunları içeren temel bir graf yapısı oluşturulmuştur.

Problemin sonucunu etkileyen durum ve bunlara bağlı etmenlerin ED elemanları sınıflandırması Çizelge 5.11'de, oluşturulan temel graf ise Şekil 5.13'te görülmektedir.

Çizelge 5.11. ED elemanlarının sınıflandırılması

Şans Düğümleri	1. Seviye	Yakınların ölümü Yakınların hafif hastalıkları Yakınların acil ameliyatı Kişisel hafif hastalıklar Acil ameliyat
	2. Seviye	Araç arızası Beklenmeyen hava koşulları Trafik kazası
	3. Seviye	Beklenen (planlı) yokluk Beklenmeyen (plansız) yokluk
Karar Düğümleri		Rapor isteme İzin isteme
Değer Düğümü		Çizelge bozulmaları



Şekil 5.13. ED uygulaması için oluşturulan temel graf

Etki Diyagramı fonksiyonel seviyede problemin nitel yapısının oluşturulması

Problemin nitel yapısının belirlenmesi adımında, her düğüm için koşullu dağılımların ve bunların sayısal değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Burada kullanılan veriler firma yetkililerinden alınamadığından, karar verici tarafından belirlenerek oluşturulacak olan ED'lerde şans ve değer düğümlerine girilmiştir. Belirlenen veriler, söz konusu ED elemanlarının gerçek hayattaki gerçekleşme yüzdelerinden ve alan uzmanlarınca belirtilen yaklaşık sıklıklarından yola çıkılarak belirlenmiştir. Yapılacak uygulama çalışmasında ED hesaplamalarının tümü için bu şans düğümü verileri aynı alınacaktır, çünkü bu veriler çalışanların atanacağı 38 ekip için geçerli olan ortalama değerlerden hareketle belirlenmiştir. Ortalama değerler ile tüm çalışanlar için aynı verilerin kullanılmasının nedeni, her çalışan için ayrı ayrı yapılacak olan incelemelerde ortak bir ED graf yapısı kurmak ve bu yapının tüm çalışanlar için aynı şekilde çalışmasını sağlamak, dolayısıyla değer düğümü sonuçlarının şans düğümü girdi verilerine göre değişmediğini temin etmektir.

Kullanılan şans düğümü verileri Çizelge 5.12'de görülmektedir. Burada "var" ile gösterilen hücreler, söz konusu elemanın gerçekleşmesini, "yok" ile gösterilen hücreler ise söz konusunun elemanın gerçekleşmemesini temsil etmektedir.

Çizelge 5.12. Her düğüm için dağılım değerlerinin belirlenmesi

Şans Düğümü	Var	Yok
Yakınların ölümü	0,306	0,694
Yakınların hafif hastalıkları	0,076	0,924
Yakınların acil ameliyatı	0,108	0,892
Kişisel hafif hastalıklar	0,428	0,572
Acil ameliyat	0,09	0,91
Araç arızası	0,215	0,785
Beklenmeyen hava koşulları	0,179	0,821
Trafik kazası	0,385	0,615

Oluşturulan ağ yapısından da görülmektedir ki, bazı şans düğümlerinin ebeveyn düğümleri bulunmaktadır. Bu durumda bu düğümler için koşullu olasılık dağılımları bu ham veriler kullanılarak P (Kişisel hafif hastalıklar | Trafik kazası), P (Acil ameliyat | Trafik kazası), P (Beklenen yokluk | Raporlu olma, İzinli olma) ve P (Beklenmeyen yokluk | Araç arızası, Beklenmeyen hava koşulları, Trafik kazası) şeklinde hesaplanmalıdır. Uygulamada kullanılan GeNIe 2.0 paket programı bu hesaplamaları tek tuşla otomatik olarak

gerçekleştirmektedir. Program tarafından hesaplanan koşullu olasılık değerleri Çizelge 5.13-Çizelge 5.16'da görülmektedir. Yapılan bu hesaplamalar sonrasında ED uygulaması için yapılması gereken tüm temel adımlar tamamlanmış, ele alınan problemin incelenmesi için geliştirilecek ED'nin nicel ve nitel yapısı oluşturulmuştur.

Çizelge 5.13. Acil ameliyat şans düğümü koşullu olasılık hesaplamalı verileri

		Trafik kazası	
		Var	Yok
Acil ameliyat	Var	0,687	0,090
	Yok	0,313	0,910

Çizelge 5.14. Kişisel hafif hastalıklar şans düğümü koşullu olasılık hesaplamalı verileri

		Trafik kazası	
		Var	Yok
Kişisel hafif hastalıklar	Var	0,879	0,428
	Yok	0,121	0,572

Çizelge 5.15. Beklenen yokluk şans düğümü koşullu olasılık hesaplamalı verileri

		Rapor/İzin Alma	
		Var	Yok
Beklenen yokluk	Var	0,600	0,100
	Yok	0,400	0,900

Çizelge 5.16. Beklenmeyen yokluk şans düğümü koşullu olasılık hesaplamalı verileri

		Raporlu/İzinli olma															
		Var								Yok							
		Beklenmeyen hava koşulları								Beklenmeyen hava koşulları							
		Var				Yok				Var				Yok			
		Araç arızası				Araç arızası				Araç arızası				Araç arızası			
		Var		Yok		Var		Yok		Var		Yok		Var		Yok	
		Trafik kazası		Trafik kazası		Trafik kazası		Trafik kazası		Trafik kazası		Trafik kazası		Trafik kazası		Trafik kazası	
		Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok
Beklenmeyen yokluk	Var	0,900	0,700	0,800	0,600	0,650	0,050	0,150	0,030	0,800	0,486	0,600	0,200	0,700	0,300	0,286	0,080
	Yok	0,100	0,300	0,200	0,400	0,350	0,950	0,850	0,970	0,200	0,514	0,400	0,800	0,300	0,700	0,714	0,920

ED hesaplamalarının yapılması

Mevcut literatür incelendiğinde, ED'lerin oluşturulması; genellikle karar vericilerce problemin analiz edilmesi, problem öyküsünün oluşturulması, daha sonra buna göre probleme dair geliştirilen basit ağaç yapılarının, şans düğümleri ve bunlara dair olasılık dağılımları ile karar düğümlerinin ve sonuçlarının belirlenmesi sonrasında, probleme dair ED yapısının elde edilmesi adımları ile gerçekleştirilmektedir. ED'lerin değerlendirilmesinde ise, genellikle klasik yöntem ile, Bayes Teoremi ilkelerince, geriye doğru şans düğümlerinin silindiği ve gerekirse ark yönlerinin değiştirildiği indirgeme tekniği ile karar fonksiyonu değeri hesaplanmaktadır. Bunun yanı sıra Bölüm 3'te de belirtildiği gibi bazı çalışmalarda ED yapısının bir BA olarak ele alınması ile şebeke çözümlerinin kullanıldığı, geriye doğru teknik yerine ileriye doğru hesaplama tekniği geliştirildiği ve uygulandığı, büyük boyutlu problemler için ise paket program yazılımları ile karar fonksiyon değerlerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen uygulama çalışmasında kurulacak ED'nin çözülmesi için bir paket program yazılımının kullanılmasının tercih edildiği Bkn. Bölüm 3'te nedenleri ve ayrıntıları ile açıklanmıştır. Bu tercih kısaca, ele alınacak problem boyutunun, problemdeki değişken ve dolayısıyla senaryo sayısının, ayrıca incelenecek durum miktarının çok olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu alt adımda, gerçekleştirilecek ED uygulaması için, önceki alt adımlarda elde edilen nicel ve nitel ağ yapısı bilgilerine göre istenen sonuçları yansıtabilecek farklı ED yapıları kurulmuş, bu ED'ler değer düğümleri çıktıları temelinde ele alınan problemin incelenmesine uygunlukları temelinde değerlendirilmiştir.

Probleme ilişkin ED'nin nicel ve nitel yapısının incelenmesinden edinilen bilgiler ışığında, yukarıda açıklandığı şekilde, altı farklı ED kurulmuştur. Bu farklı ED'lerin hepsi temelde aynı senaryoyu canlandırsa da değer düğümü çıktısında elde edilen veriler ışığında problemi ne derece doğru yansıtabildikleri karşılaştırılabilmiş, bu karşılaştırma sonucunda ED uygulaması için hangi ED'nin kullanılacağı belirlenmiştir.

Oluşturulan altı farklı ED yapısı içerisinden yalnızca "EtkiDiyagramı_4", "EtkiDiyagramı_5" ve "EtkiDiyagramı_6" isimli ED'lerin değer düğümü çıktı verilerinin

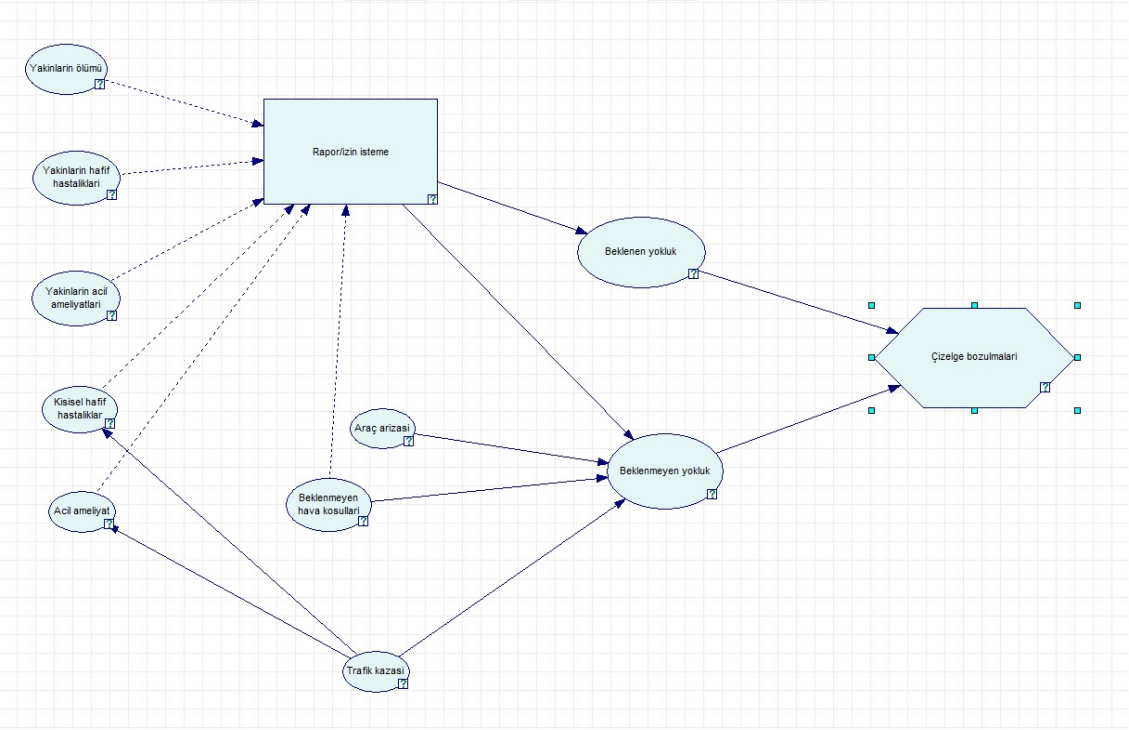
problemin yapısını yansıtabilecek olduğu görülmüş, daha sonra bu ED'ler arasında değer düğümü verileri açısından yapılan karşılaştırma (Çizelge 5.17) sonucunda, kurulan hangi ED yapısının en güvenilir sonuçları verdiği belirlenmiş, ve ileri ekip çizelgeleme faaliyetleri kapsamında gerçekleştirilecek matematiksel işlemler için bu ED yapısının kullanılması kararlaştırılmıştır.

Çizelge 5.17. "EtkiDiyagramı_4", "EtkiDiyagramı_5" ve "EtkiDiyagramı_6" değer düğümü çıktı verilerinin karşılaştırılması

	EtkiDiyagramı_4	EtkiDiyagramı_5	EtkiDiyagramı_6
Beklenmeyen yoklukta raporlu/izinli olma	-	0,27200	-
Beklenmeyen yoklukta raporlu/izinli olmama	-	0,18100	-
Beklenen yoklukta raporlu/izinli olma	-	0,36600	-
Beklenen yoklukta raporlu/izinli olmama	-	0,18100	-
KHH, AM, BHK varken raporlu/izinli olma	0,30887	-	0,24671
KHH, AM, BHK varken raporlu/izinli olmama	0,18100	-	0,19378
KHH, AM var, BHK yokken raporlu/izinli olma	0,33290	-	0,27864
KHH, AM var, BHK yokken raporlu/izinli olmama	0,18100	-	0,19619
KHH var, AM yok, BHK varken raporlu/izinli olma	0,33042	-	0,25348
KHH var, AM yok, BHK varken raporlu/izinli olmama	0,18100	-	0,19594
KHH var, AM, BHK yokken raporlu/izinli olma	0,34689	-	0,28620
KHH var, AM, BHK yokken raporlu/izinli olmama	0,18100	-	0,19759
KHH yok, AM, BHK varken raporlu/izinli olma	0,32339	-	0,25127
KHH yok, AM, BHK varken raporlu/izinli olmama	0,18100	-	0,19523
KHH yok, AM var, BHK yokken raporlu/izinli olma	0,34232	-	0,28373
KHH yok, AM var, BHK yokken raporlu/izinli olmama	0,18100	-	0,19713
KHH, AM yok, BHK varken raporlu/izinli olma	0,33985	-	0,25645
KHH, AM yok, BHK varken raporlu/izinli olmama	0,18100	-	0,19688
KHH, AM, BHK yokken raporlu/izinli olma	0,35301	-	0,28951
KHH, AM, BHK yokken raporlu/izinli olmama	0,18100	-	0,19820

Çizelgede kullanılmış olan "KHH", "AM" ve "BHK" kısaltmaları sırası ile "kişisel hafif hastalık", "acil ameliyat" ve "belirsiz hava koşulları" elemanlarını temsil etmektedir. Bu tablodaki verileri elde etmek amacı ile oluşturulan tüm ED'lerde tek bir çalışan için oluşturulan aynı girdi verileri kullanılmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde "EtkiDiyagramı_5" ED'sinin değer düğümü çıktılarının, bizim girdi verilerimiz olduğu, sonuçlar hesaplanırken şans düğümleri ile belirtilen yokluk nedenlerinin dikkate alınmadığı, ayrıca değer düğümü sonuç tablosunda girdi verileri ile şans düğümü elemanlarının ilişkisinin istenilen şekilde temsil edilmediği görülmektedir. Bununla beraber "EtkiDiyagramı_4" ve "EtkiDiyagramı_6" ED'lerinin değer düğümü sonuç tablolarında

girdi verileri ile şans düğümü elemanlarının ilişkisi, istenen şekilde temsil edilmiştir. Ancak "EtkiDiyagramı_4" ED'sinde değer düğümü çıktı verileri her şart altında raporlu/izinli olmama durumu için aynı değeri (girdi verisi olarak ED'ye verilen 0.181 değerini) vermektedir. "EtkiDiyagramı_6" ED'si diğer ED'lerden farklı olarak şans düğümlerinin sonuca etkisini gösteren tüm çıktı değerlerinde kullanıcı tarafından verilen girdi verilerinden farklı sonuçlar vermiş, şans düğümlerinin girdi verilerinde yapılan değişikliklere (set evidience: true/false) tepki vermiş, gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonucunda değer düğümü çıktı verilerinde sonuç değişiklikleri meydana getirmiştir. Bu nedenle, hem değer düğümü çıktı verilerinin anlamlılığı hem de çıktı tablosunu oluşturan elemanların ED'nin incelediği problemi temsil etme düzeyi açısından, yapılacak olan uygulamada "EtkiDiyagramı_6" ED'sinin kullanılmasına karar verilmiştir. Üstünlüğü ispatlanan bu ED yapısının grafiksel gösterimi Şekil 5.14'te sunulmuştur.



Şekil 5.14. ED uygulaması için oluşturulan "EtkiDiyagramı_6"

Sonuç olarak bu alt adımın ilk bölümünde nicel ve nitel ağ yapısı bilgilerine göre altı ayrı ED kurulmuştur. Bu ED'lerden, değer düğümü çıktı verilerinde problemin analizi için ihtiyaç duyulan değerleri sağlayan üç ED belirlenmiştir. Belirlenen üç ED yapısı tek bir çalışana ait aynı girdi verileri için ayrı ayrı çözdürülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre "EtkiDiyagramı_6" ED uygulamaları için kullanılacak ED olarak belirlenmiştir.

Uygulamada kullanılacak ED'nin belirlenmesinden sonra, bu ED yapısı ile, her bir çalışan için gerçekleşmiş olan değer düğümü verileri temelinde, ED'yi tek tek çalıştırmak ve farklı girdi verileri ışığında her çalışan için matematiksel modellerde kullanılacak verileri elde etmek gerekmektedir.

Ekip çizelgeleme probleminin çözümünde tüm uçuşları kapsamak için haftalık 38 ekip atamasına ihtiyaç duyulacağı bilgisine ulaşılmıştır. İncelenen problemde her ekip, iki pilot (kaptan ve yardımcı pilot) ve dört kabin memurundan (bir kabin amiri ve üç host/hostes) meydana gelmektedir. Bu bağlamda, ele alınan gerçek hayat problemi kapsamında 76 pilot ve 152 kabin memuru çalışanın seçilmesine ve ekiplere uygun olarak atanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Gerçekleştirilecek ileri ekip çizelgeleme analizi çerçevesinde, çizelgelenecek hafta için SAW yer meydanında faaliyet gösterebilecek 200 kabin memurunun ve 100 pilotun olduğu varsayılmıştır. Bu çalışanların son 12 ayın ortalama verilerine göre planlı ve plansız yokluk göstermelerine dair veriler tablo boyutlarına bağlı olarak EK-4'te sunulmuştur.

EK-4'te yer alan veriler, her çalışanın 12 aylık performansı boyunca ortalama olarak haftalık yokluk durumlarının, söz konusu için gerçekleşen haftalık toplam ortalama yokluk değerine bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu çizelgede görülmekte olan ilk 200 çalışan verisi kabin memuru çalışanlara, 201-300 değerleri arasındaki veriler ise pilot çalışanlara aittir.

Bu verilerin tespitinden ve derlenmesinden sonra, EK-4'te sunulan her bir çalışana dair veri setinin, her çalışan için ayrı olarak aynı girdi verileri ile söz konusu çalışana özel olarak oluşturulmuş ED'nin değer düğümünde girdi verisi olarak kullanıldığı 300 ayrı ED kurulmuştur. Kurulan bu 300 ED ayrı ayrı çalıştırılarak, her birinin değer düğümünden elde edilen çıktı değerleri tablo boyutlarına bağlı olarak EK-5'te sunulmuştur.

Daha sonra, EK-5'te görülen veriler yardımı ile, çalışanların planlı ve plansız yokluklarına dair veriler hesaplanmıştır. Bu kapsamda planlı yoklukların kişisel hastalıklardan ya da çevresel nedenlerden, plansız yoklukların ise kişisel hastalıklar ve diğer nedenlerden oluştuğu bilgisi altında, EK-5'te yer alan değer düğümü çıktı verileri kullanılarak EK-6'da sunulan yokluk verileri her bir çalışan temelinde aritmetik ortalama yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, ED hesaplamaları bölümünde, ekip atama problemi çözüm sonuçlarını iyileştirmek ve insani faktörleri dikkate alan ekip çizelgeleri oluşturmak amacıyla uygulama çalışmasının bir sonraki aşamasında kurulacak olan matematiksel modellerde kullanılacak olan çalışan yokluğu verileri elde edilmiştir.

5.4.3. İnsani faktörler ışığında ileri ekip çizelgeleme incelemesi- Ekip oluşturma ve çalışan atama problemleri matematiksel modelleri

Uygulama çalışmasının bu kısmında, ekip çizelgeleme problemi çözümünde elde edilen uçuş rotalama çizelgesinin sonuçlarının ileri analizi için, öncelikle hangi mevcut çalışanların ekiplere atanacağı, daha sonra seçilen çalışanların söz konusu ekiplere nasıl atanacağı problemleri tek ve çok amaçlı matematiksel modellerle çözüme ulaştırılmıştır.

Bu matematiksel modeller kurulurken, literatürde mevcut bulunan diğer örneklerden farklı olarak, sonradan yaşanabilecek çizelge bozulmalarını en aza indirebilmek için, ED uygulaması sonucunda elde edilen insani faktör değerleri ile bazı analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, insani faktörlerin geleneksel kısıtların yanında göz önünde tutulmasının sağladığı faydalar, oluşturulan farklı modellerin koşum sonuçlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi ile ispatlanmıştır.

Uygulama çalışması kapsamında geliştirilen matematiksel modeller iki ana başlık altında sunulmuştur. Birinci ana başlık altında, hangi çalışanların ekip çizelgeleme problemi çözümünde elde edilen ekiplere atanacağının seçilmesini sağlayan küme kaplama modeller ve insani faktörlerin bu seçimdeki etkisini gösteren farklı model koşumları gerçekleştirilmiştir. Diğer ana başlık altında ise ileri tetkikler gerçekleştirmek amacıyla, seçilen çalışanların oluşturulacak ekiplere hangi sıra ile, yani nasıl atanmasının en iyi sonucu vereceğine dair analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, önceden belirlenmiş olan 38 ekip için seçilecek toplam 228 çalışanın, kurulacak her bir ekibe belirlenen toplam yokluk düzeyi temelinde atanması için, öncelikle tek amaçlı, daha sonra çok amaçlı modeller kurulmuştur. Bu ana başlık altında bulunan matematiksel model analizleri kapsamında da insani faktörlerin etkisini gösterecek farklı model koşumları gerçekleştirilmiştir.

5.4.4. Matematiksel modellerde kullanılacak verilerin belirlenmesi

İncelenen probleme dair, problemde kullanılacak sağ taraf değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlarda yer alan teknolojik matris katsayılarına dair parametre değerleri ve karar değişkenlerine dair verilerin nasıl ve hangi kaynaklardan elde edildiği bu alt bölümde açıklanmaktadır.

Karar değişkenleri

Ele alınan problem incelendiğinde, çalışanların atanacağı uçucu ekiplerin iki bileşenden oluştuğu görülmüştür; (i) kabin ekibi, (ii) pilot ekibi. Kabin ekibi, bir sorumlu kabin amiri ve üç kabin görevlisi çalışandan, pilot ekibi ise bir kaptan bir yardımcı pilottan oluşmaktadır. Dolayısıyla, problemde ele alınacak olan 38 ekip ihtiyacını karşılamak için toplam 152 kabin ekibi çalışanı ve 76 pilot ekibi çalışanına ihtiyaç duyulmaktadır. İncelenen problem kapsamında, havayolu firmasının SAW yer meydanında görevli ve bu çizelgeleme faaliyeti periyodunca atanabilecek toplam 200 kabin ekibi çalışanı ve 100 pilot ekici çalışanı bulunmaktadır. Matematiksel model verilerinde de insani faktörlere dair ED sonuçlarının hesaplanmasındaki gibi, ilk etapta kurulacak küme kaplama modellerinde ele alınan 300 çalışana dair veriler için, 1-200 arasındaki karar değişkenleri ve bunlara ilişkin veriler kabin ekibi çalışanlarına, 201-300 arasındaki karar değişkenleri ve bunlara ilişkin veriler ise pilot ekibi çalışanlarına aittir.

Parametreler

Oluşturulan matematiksel modellerde kullanılan bütçe (maliyet), kıdem (fayda), insani faktörleri temsilen kişisel hastalık nedeniyle planlı yokluk (p_i), çevresel nedenlerle planlı yokluk (q_i), kişisel hastalık nedeniyle plansız yokluk (r_i) ve diğer nedenlerle plansız yokluk (s_i) parametrelerinin her bir çalışan için aldıkları değerler tablo boyutuna bağlı olarak EK-7'de sunulmaktadır.

Sağ taraf değerleri

Birinci aşamada oluşturulan matematiksel modellerde kullanılmış olan bütçe (maliyet) kısıtlarına dair sağ taraf değişkenleri, firmanın ihtiyaç duyduğu ortalama kıdem yılını

sağlayan çalışanların ortalama ücretleri ve ihtiyaç duyulan çalışan sayısına, bunun yanı sıra çizelgeleme döneminin ait olduğu harcama yılı için yapılmış olan bütçe hedeflerine bağlı olarak belirlenmiştir. Belirlenen bütçe sağ taraf değerlerine göre, incelenen harcama yılı için kabin ekibi çalışanlarına ayrılan ham (çıplak) ödemelerin toplamda 900 000 Lirayı geçmemesi istenmektedir. Burada bahsi geçen ham ödemeler, çalışanların aşılmış UGS ödemeleri, aşılmış US ödemeleri, konaklama ve günlük harcırah ödemeleri, yatı meydanı ulaşım ödemeleri gibi ek ödemeler, ya da gecikme ve/veya yokluk cezaları gibi ücret indirimleri haricinde kalan, çizelge döneminde çizelgelenmiş görevler için hak kazandıkları ücretler ile birlikte yıllık verilecek dört adet ikramiyenin ödemesinin toplamını temsil etmektedir. Pilot ekibi çalışanları için ise, belirlenen bütçe sağ taraf değerlerine göre, incelenen harcama yılı için ayrılan ham (çıplak) ödemelerin toplamda 2 200 000 Lirayı geçmemesi istenmektedir.

Birinci aşamada oluşturulan matematiksel modellerde kullanılmış olan kıdem (fayda) kısıtlarına dair sağ taraf değişkenleri, çalışanların işlerine dair edinmiş oldukları tecrübeler ve hizmet esnasında bulundukları yaşa bağlı fiziksel yeterlilik ve uygunlukları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu kapsamda, seçilecek çalışanların her birinin kabin ekibi için ortalama üç, pilot ekibi için ortalama dört yıl kıdemi sağlamış olmaları istenmektedir. Bununla birlikte, ekiplere atanması belirlenen kabin ekibi çalışanlarının yaklaşık %50'sinin yeni personel (firmada 1-2 yıllık kıdeme sahip personel) olması, yaklaşık %30'unun ise uzman personel (firmada 6 yıl ve üzerinde kıdeme sahip personel) olması istenmektedir. Ekiplere atanacak pilot ekibi çalışanlarının ise %20'sinden azının yeni personel (firmada 1-2 yıllık kıdeme sahip personel) olması, yaklaşık %30'unun ise uzman personel firmada 6 yıl ve üzerinde kıdeme sahip personel) olması istenmektedir. Belirtilen yüzde değerleri, çalışanların sahip oldukları profesyonellik (kıdem) niteliğine bağlı olarak almaları gerekecek ücret ve piyasa şartları ve firma politikaları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Kabin ekibi çalışanlarının çoğunluğunun daha genç olması hem maliyet hem de müşteri memnuniyeti açısından fayda sağlarken, daha profesyonel hizmet verilmesinin sağlanması ve ortaya çıkabilecek kriz yönetimi ve kritik kararlar alma durumlarında fayda sağlayabilmek amacıyla sorumlu kabin amirlerinin uzman personel içinden seçilmesi istenmiştir. Bu yüzde verilerine uyularak, gerçekleştirilecek kabin ekibi atamalarındaki sorumlu kabin amiri ve kabin görevlisi çalışanların aynı anda birbirinden ayrılarak seçilmesi ve atanması da aynı kısıt içinde sağlanabilecektir. Benzer şekilde, pilotlar ekibi çalışanları için uzmanlık arttıkça ücretin de arttığı göz önünde bulundurularak, seçilecek çalışanların tecrübelerinden mümkün

olan en üst seviyede yararlanılmaya çalışılırken, maliyetin de en aza indirgenmeye çalışılması için uygun olan yüzdeler belirlenmiştir.

İkinci aşamada oluşturulan matematiksel modellerde kullanılan sağ taraf değişkenleri, birinci aşama sonucunda seçilen çalışanlar için hesaplanan yokluk, maliyet ve fayda kriterleri temelinde ortalama verilere bağlı olarak hesaplanmıştır. Sağ taraf değerlerinin hesaplanmasında çalışan temelinde değil, çalışanların oluşturduğu ekiplerin ortalama değerleri temelinde hareket edilmesinin nedeni, firmanın her bir ekip için ayrı bir yokluk, maliyet ve fayda değerini beklemiyor oluşu, tam tersi tüm ekipler için sağlanması ya da aşılmaması gereken düzeyler belirlemesidir.

Bu aşamada oluşturulan matematiksel modellere eklenen yokluk kriterleri temelinde kullanılan sağ taraf değerleri sırası ile, kişisel hastalık nedenine bağlı olarak gerçekleşen planlı yokluk durumu (P) için 1.8, çevresel nedenli planlı yokluk durumu (Q) için 1.75, kişisel hastalık nedenine bağlı olarak gerçekleşen plansız yokluk durumu (R) için 1.35, diğer nedenlere bağlı olarak gerçekleşen plansız yokluk durumu (S) için 1.40 alınmıştır. Yine bu aşamada kullanılan toplam yokluk değerleri ise sırası ile planlı yokluk durumu (Y_1) için 3,5, plansız yokluk durumu (Y_2) için 2,7 alınmıştır.

İkinci aşamada oluşturulan matematiksel modellerde kullanılan bütçe (maliyet) ve kıdem (fayda) kısıtlarına dair sağ taraf değişkenleri, bir önceki aşama sonucunda en iyi sonuç veren yoklukları dikkate alan matematiksel model ile elde edilen sonuçların ortalamalarına yakın birkaç veri içerisinden denemeler yapılarak belirlenmiştir. Denemeler kapsamında kurulan aynı model, altı farklı sağ taraf değişkeni seti ile çalıştırılmış, bu modellerin içinde en yüksek değerlere sahip olup feasible sonuç veren modelin sağ taraf değerleri ikinci aşamada kullanılmak için seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kabin ekibi için ayrılan ödemelerin ekip başına 30 000 Lirayı (B_{cc}) ve pilot ekibi için ayrılan ödemelerin ise ekip başına 60 000 Lirayı (B_p) geçmemesi, bunun yanı sıra ekiplere atanacak çalışanlardan sağlanması beklenen faydalar temelinde, kabin ekibi için ekip başına ortalama sekiz yıl (K_{cc}), pilot ekibi için ekip başına ortalama altı yıl (K_p) kıdemin sağlanmış olması istenmektedir.

5.4.5. Çalışanlara bağlı toplam yokluk değerleri temelinde ED sonuçlarının çalışan seçimi çizelgelerine etkisinin matematiksel modeller yardımı ile incelenmesi

Bu alt adımda gerçekleştirilen matematiksel model hesaplamaları, birinci aşamada oluşturulmuş olan matematiksel modeller olarak anılmaktadır. Bu aşamada, ekip çizelgeleme problemi sonuçlarına göre belirlenmiş olan 38 ekip ihtiyacının karşılanması adına ileri analizler gerçekleştirilecek, bu ekiplerin oluşturulması için hangi çalışanların seçilmesinin gerektiği ve bu seçimde geleneksel kısıtların yanı sıra insani faktörlerin etkisinin de göz önüne alınmasının çözüm üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu bağlamda, verileri edinilen 300 çalışanın ekip ihtiyaçları temelinde ekiplere atanması, tüm ekiplerin dolayısıyla uçuş görevlerinin kapsanması amacıyla oluşturulan 0-1 küme kaplama matematiksel modelleri ile sağlanmıştır.

Bu aşamada oluşturulan ilk küme kaplama modeli, belirli sayıda çalışan varken, bunların içinden 38 ekibi kapsama ihtiyacı için hangilerinin seçileceğine dair, ek kısıtsız geleneksel küme kaplama modelidir. Bu model çalışmada "KümeKaplamaModeli_1.1" olarak anılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin kapalı ve açık formda gösterimleri sırası ile aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Min} \quad z = \sum_{i=1}^{300} x_i \tag{5.172}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{200} x_i = 152 \tag{5.173}$$

$$\sum_{i=201}^{300} x_i = 76 \tag{5.174}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{i. çalışan seçilmiş ise} \\ 0, \quad \text{d. d.} \end{cases} \tag{5.175}$$

$$\text{Min} \quad z = x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_{300} \tag{5.176}$$

Kısıtlar

$$x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_{200} = 152 \tag{5.177}$$

$$x_{201} + x_{202} + x_{203} + \cdots + x_{300} = 76 \quad (5.178)$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{i. çalışan seçilmiş ise} \\ 0, \text{ d. d.} \end{cases} \quad (5.179)$$

Bu küme kaplama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK-8'de bulunmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.172 ile Eş. 5.176 oluşturulan küme kaplama modelinin tüm çalışanlar içinden kısıtları sağlayan en az çalışanın seçilmesini getiren amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.173 ile Eş. 5.177 tüm uçuşların kapsanmasını sağlayacak kabin ekibi çalışanları ihtiyaç kısıtlarını, Eş. 5.174 ile Eş. 5.178 ise tüm uçuşların kapsanmasını sağlayacak pilot ekibi çalışanları ihtiyaç kısıtlarını temsil etmektedir. Eş. 5.175 ve Eş. 5.179 ise karar değişkenin 0-1 tam sayı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekip için ya seçilecek ya da seçilmeyecektir.

KümeKaplamaModeli_1.1 matematiksel modelinin çözümü göstermektedir ki, geleneksel küme kaplama modeline herhangi bir ek kısıt eklenmediğinden, matematiksel model kısıtlarını sağlayacak şekilde, kabin ekibi için ilk 152 çalışanı, pilot ekibi için ise ilk 76 çalışanı seçecek sonuç vermiştir.

Bu aşamada oluşturulacak ikinci küme kaplama modelinde, belirli sayıda çalışan varken, bunların içinden 38 ekibi kapsama ihtiyacı için hangilerinin seçileceğine maliyet ve fayda kısıtları eklenerek çözüm yapılmıştır. Bu model çalışmada "KümeKaplamaModeli_1.2" olarak anılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin kapalı ve açık formda gösterimleri sırası ile aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Min} \quad z = \sum_{i=1}^{300} x_i \quad (5.180)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{200} x_i = 152 \quad (5.181)$$

$$\sum_{i=201}^{300} x_i = 76 \quad (5.182)$$

$$\sum_{i=1}^{200} c_i x_i \leq 900000 \quad (5.183)$$

$$\sum_{i=201}^{300} c_i x_i \leq 2200000 \quad (5.184)$$

$$\sum_{i=1}^{200} k_i x_i \geq 456 \quad (5.185)$$

$$\sum_{i=201}^{300} k_i x_i \geq 304 \quad (5.186)$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{i. çalışan seçilmiş ise} \\ 0, \text{ d. d.} \end{cases} \quad (5.187)$$

$$\text{Min} \quad z = x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_{300} \quad (5.188)$$

Kısıtlar

$$x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_{200} = 152 \quad (5.189)$$

$$x_{201} + x_{202} + x_{203} + \cdots + x_{300} = 76 \quad (5.190)$$

$$4454x_1 + 6933x_2 + 6933x_3 + \cdots + 6133x_{200} \leq 900000 \quad (5.191)$$

$$13274x_{201} + 28000x_{202} + 13274x_{203} + \cdots + 13724x_{300} \leq 2200000 \quad (5.192)$$

$$1x_1 + 6x_2 + 7x_3 + \cdots + 3x_{200} \geq 456 \quad (5.193)$$

$$1x_{201} + 7x_{202} + 2x_{203} + \cdots + x_{300} \geq 304 \quad (5.194)$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{i. çalışan seçilmiş ise} \\ 0, \text{ d. d.} \end{cases} \quad (5.195)$$

Bu küme kaplama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK.9'da sunulmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.180 ve Eş. 5.188 oluşturulan küme kaplama modelinin tüm çalışanlar içinden kısıtları sağlayan en az çalışanın seçilmesini getiren amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.181 ve Eş. 5.189 tüm uçuşların kapsanmasını sağlayacak kabin ekibi çalışanları ihtiyaç kısıtlarını, Eş. 5.182 ve Eş. 5.190 ise tüm uçuşların kapsanmasını sağlayacak pilot ekibi çalışanları ihtiyaç kısıtlarını temsil etmektedir. Eş. 5.183 ve Eş. 5.191 ile Eş. 5.184 ve Eş. 5.192 sırası ile kabin ekibi çalışanları ve pilot ekibi çalışanları için ayrılan bütçe kısıtlarını, benzer olarak Eş. 5.185 ve Eş. 5.193 ile Eş. 5.186 ve Eş. 5.194 ise sırası ile kabin ekibi çalışanlarının ve pilot ekibi çalışanlarının sahi olmaları istenen kıdem yılı

kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.188 ve Eş. 5.195 ise karar değişkenin 0-1 tam sayılı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekip için ya seçilecek ya da seçilmeyecektir.

KümeKaplamaModeli_1.2 matematiksel modelinin çözümüne göre ekiplere atanması için maliyet ve fayda kriterleri altında 1, 2, 5 – 9, 12, 14, 16, 17, 19 – 25, 27 – 32, 35, 36, 38, 39, 41 – 49, 51 – 57, 59 - 65, 67 – 70, 73, 74, 76, 77, 79 – 81, 83 – 85, 87 – 94, 96, 97, 99, 100, 102 – 105, 107, 109 – 116, 118 – 124, 126, 127, 129 – 131, 133, 134, 136, 137, 140, 141, 143 – 147, 150 – 156, 158, 160 – 168, 171, 173 – 180, 182, 185 -191, 194 – 196, 198, 199 numaralı kabin ekibi çalışanları seçilmiştir. Bunun yanında 201-203, 205-207, 209, 211 – 215, 218 – 224, 226 – 228, 230, 232 – 239, 241 – 248, 250, 254 – 260, 263 – 265, 267 – 271, 273 – 277, 279 – 281, 283, 284, 287 – 293 ve 296 – 300 numaralı pilot ekibi çalışanları ekiplere atanmak için seçilmiştir.

Bu aşamada oluşturulan üçüncü ve dördüncü küme kaplama modelleri, insani faktörlerin dikkate alınmasının problemin çözümüne nasıl etki ettiğinin araştırılabilmesi amacı ile geliştirilmiştir. Oluşturulan üçüncü küme kaplama modeli, belirli sayıda çalışan varken, bunların içinden 38 ekibi kapsama ihtiyacı için problem kısıtları altında en az sayıda çalışanın seçilmesine dair, insani faktörlerin yani yokluk verilerinin en küçüklenmesinin amaçlandığı küme kaplama modeli olarak açıklanabilir. Bu model çalışmada "KümeKaplamaModeli_2.1" olarak anılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin kapalı ve açık formda gösterimleri sırası ile aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Min} \quad z = \sum_{i=1}^{300} p_i x_i + \sum_{i=1}^{300} q_i x_i + \sum_{i=1}^{300} r_i x_i + \sum_{i=1}^{300} s_i x_i \tag{5.196}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{200} x_i = 152 \tag{5.197}$$

$$\sum_{i=201}^{300} x_i = 76 \tag{5.198}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{ i. çalışan seçilmiş ise} \\ 0, \text{ d. d.} \end{cases} \tag{5.199}$$

$$\text{Min} \quad z = 0.245x_1 + \ldots + 0.188x_{300} + 0.264x_1 + \ldots + 0.233x_{300} + 0.247x_1 + \ldots + 0.327x_{300} + 0.247x_1 + \ldots + 0.324x_{300} \tag{5.200}$$

Kısıtlar

$$x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_{200} = 152 \tag{5.201}$$

$$x_{201} + x_{202} + x_{203} + \cdots + x_{300} = 76 \tag{5.202}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{i. çalışan seçilmiş ise} \\ 0, \quad \text{d.d.} \end{cases} \tag{5.203}$$

Bu küme kaplama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK-10'da sunulmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.196 ve Eş. 5.200, oluşturulan küme kaplama modelinin tüm çalışanlar içinden kısıtları sağlayan en az çalışanın yokluk değerleri en azlanarak seçilmesini getiren amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.197 ve Eş. 5.201 tüm uçuşların kapsanmasını sağlayacak kabin ekibi çalışanları ihtiyaç kısıtlarını, Eş. 5.198 ve Eş. 5.202 ise tüm uçuşların kapsanmasını sağlayacak pilot ekibi çalışanları ihtiyaç kısıtlarını temsil etmektedir. Eş. 5.199 ve Eş. 5.203 ise karar değişkenin 0-1 tam sayılı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekip için ya seçilecek ya da seçilmeyecektir.

KümeKaplamaModeli_2.1 matematiksel modelinin çözümüne göre ekiplere atanması için 1 – 4, 6 – 9, 11, 13 – 17, 19, 21, 22, 26, 27, 29, 30, 32 – 35, 37, 39, 41, 42, 44 – 46, 48 – 55, 57 – 62, 64 – 69, 71, 72, 74, 76 – 80, 83 – 91, 93 – 101, 103 – 106, 108 – 113, 116 – 118, 120, 122, 124, 125, 127, 128, 130 – 137, 139, 141, 142, 144, 146 – 148, 150 – 152, 154, 155, 157 – 159, 161 – 163, 165, 166, 168 – 175, 177, 178, 180, 182, 183, 185, 186, 188 – 191, 193 – 200 numaralı kabin ekibi çalışanları seçilmiştir. Bunun yanında 201, 203, 205, 206, 208 – 211, 213 – 218, 220, 221, 223 – 225, 227 – 229, 232, 234, 236, 237, 239 – 242, 244 – 248, 251 – 259, 262 – 265, 267 – 279, 281 – 287, 289, 290, 292, 293, 295, 296, 298 ve 300 numaralı pilot ekibi çalışanları ekiplere atanmak için seçilmiştir.

38 ekibe çalışan atama ihtiyacının ele alındığı bu aşamada oluşturulan dördüncü ve son küme kaplama modeli, belirli sayıda çalışan varken, bunların içinden, maliyet ve fayda kısıtları problem kısıtları altında, en az sayıda çalışanın seçilmesine dair, insani faktörlerin yani yokluk verilerinin en küçüklenmesinin amaçlandığı küme kaplama modelidir. Bu model

çalışmada "KümeKaplamaModeli_2.2" olarak anılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin kapalı ve açık formda gösterimleri sırası ile aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Min} \quad z = \sum_{i=1}^{300} p_i x_i + \sum_{i=1}^{300} q_i x_i + \sum_{i=1}^{300} r_i x_i + \sum_{i=1}^{300} s_i x_i \tag{5.204}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{200} x_i = 152 \tag{5.205}$$

$$\sum_{i=201}^{300} x_i = 76 \tag{5.206}$$

$$\sum_{i=1}^{200} c_i x_i \leq 900000 \tag{5.207}$$

$$\sum_{i=201}^{300} c_i x_i \leq 2200000 \tag{5.208}$$

$$\sum_{i=1}^{200} k_i x_i \geq 456 \tag{5.209}$$

$$\sum_{i=201}^{300} k_i x_i \geq 304 \tag{5.210}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{i. çalışan seçilmiş ise} \\ 0, \quad \text{d. d.} \end{cases} \tag{5.211}$$

$$\text{Min} \quad z = 0.245x_1 + \ldots + 0.188x_{300} + 0.264x_1 + \ldots + 0.233x_{300} + 0.247x_1 + \ldots + 0.327x_{300} + 0.247x_1 + \ldots + 0.324x_{300} \tag{5.212}$$

Kısıtlar

$$x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_{200} = 152 \tag{5.213}$$

$$x_{201} + x_{202} + x_{203} + \cdots + x_{300} = 76 \tag{5.214}$$

$$4454x_1 + 6933x_2 + 6933x_3 + \cdots + 6133x_{200} \leq 900000 \tag{5.215}$$

$$13274x_{201} + 28000x_{202} + 13274x_{203} + \cdots + 13724x_{300} \leq 2200000 \tag{5.216}$$

$$1x_1 + 6x_2 + 7x_3 + \cdots + 3x_{200} \geq 456 \tag{5.217}$$

$$1x_{201} + 7x_{202} + 2x_{203} + \cdots + x_{300} \geq 304 \tag{5.218}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{i. çalışan seçilmiş ise} \\ 0, \quad \text{d. d.} \end{cases} \tag{5.219}$$

Bu küme kaplama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK.11'de sunulmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.204 ve Eş. 5.212 oluşturulan küme kaplama modelinin tüm çalışanlar içinden kısıtları sağlayan en az çalışanın seçilmesini getiren amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.205 ve Eş. 5.213 tüm uçuşların kapsanmasını sağlayacak kabin ekibi çalışanları ihtiyaç kısıtlarını, Eş. 5.206 ve Eş. 5.214 ise tüm uçuşların kapsanmasını sağlayacak pilot ekibi çalışanları ihtiyaç kısıtlarını temsil etmektedir. Eş. 5.207 ve Eş. 5.215 ile Eş. 5.208 ve Eş. 5.216, sırası ile kabin ekibi çalışanları ve pilot ekibi çalışanları için ayrılan bütçe kısıtlarını, benzer olarak Eş. 5.209 ve Eş. 5.217 ile Eş. 5.210 ve Eş. 5.218 ise sırası ile kabin ekibi çalışanlarının ve pilot ekibi çalışanlarının sahi olmaları istenen kıdem yılı kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.211 ve Eş. 5.219 ise karar değişkenin 0-1 tam sayılı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekip için ya seçilecek ya da seçilmeyecektir.

KümeKaplamaModeli_2.2 matematiksel modelinin çözümüne göre ekiplere atanması için 1, 3, 4, 6 – 9, 11, 14 – 17, 19, 21, 22, 24, 26, 27, 29, 30, 32 – 35, 37, 41, 42, 45, 46, 48 – 52, 54, 57 – 62, 64 – 69, 71, 72, 74, 76- 80, 83 – 90, 92 – 101, 103 – 106, 108 – 114, 116 – 118, 120, 122, 124, 125, 127 – 137, 139, 141 – 144, 146 – 148, 150 – 152, 154, 155, 157 – 163, 165 – 172, 145, 175, 177 – 180, 182, 183, 185, 186, 188 – 191, 193 – 200 numaralı kabin ekibi çalışanları seçilmiştir. Bunun yanında 201, 203, 205, 206, 208 – 211, 213 – 218, 220, 221, 223 – 225, 227 – 229, 232, 234, 236, 237, 239 – 242, 244 – 248, 251 – 259, 262 – 265, 267 – 279, 281 – 287, 289, 290, 292, 293, 295, 296, 298 ve 300 numaralı pilot ekibi çalışanları ekiplere atanmak için seçilmiştir.

Oluşturulan küme kaplama modellerinin karşılaştırmalı sonuç analizi

Bu aşamada oluşturulan tüm küme kaplama modellerinin sonuçları, ekiplere atanmak için seçilen çalışanlar temelinde yokluk, maliyet ve fayda verileri ışığında, elde edilen sonuçların toplam ve ortalama değerlerini kullanarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu analiz için oluşturulan karşılaştırma tablosu Çizelge 5.18'de görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, gerek insani faktörleri temsil eden yokluk değerlerinin en küçüklenmesi, gerekse maliyet yani bütçe kullanımının en küçüklenmesi en iyi sonucun "KümeKaplamaModeli_2.2" matematiksel modelinin çözümünde sağlandığı, kıdem yani çalışanlardan sağlanacak faydanın en büyüklenmesi kriterleri temelinde en iyi sonucun ise "KümeKaplamaModeli_1.1" matematiksel modelinin çözümünde sağlandığı görülmektedir. Modelde bulunan maliyet kısıdı ile fayda kısıdının birbiri ile çelişen kısıtlar olduğu bilinirken, bu sonucun elde edilmesi normaldir. Sonuç olarak "KümeKaplamaModeli_2.2" matematiksel modeli genel olarak daha fazla kısıtta en iyi sonucu verdiğinden, bunun yanında maliyet en azlanırken çalışan yokluklarının da en azlanabildiği bir çözüm sunduğundan bu matematiksel modelin sunduğu çalışan seçiminin kabul edileceği söylenebilir.

Uygulama çalışmasının bundan sonraki adımlarında, 38 ekibe atanmaları için seçilmiş olan çalışanların bu ekiplere hangi düzen ile atanacakları araştırılacaktır. Bu araştırmada, bu aşamada en iyi sonucu veren matematiksel model olarak belirlenen "KümeKaplamaModeli_2.2" matematiksel modelinin sonuçları göz önünde bulundurulacaktır.

Çizelge 5.18. Çalışanların seçilmesine dair oluşturulan küme kaplama modellerinin karşılaştırmalı sonuç analizi

		AF Yönü	Ek Kısıt Denklemleri Olmadan						Maliyet ve Fayda Kısıtları Altında					
			Küme Kaplama Modeli			İnsani Faktörler ile Küme Kaplama Modeli			Küme Kaplama Modeli			İnsani Faktörler ile Küme Kaplama Modeli		
			Kabin Ekibi	Pilot Ekibi	Toplam	Kabin Ekibi	Pilot Ekibi	Toplam	Kabin Ekibi	Pilot Ekibi	Toplam	Kabin Ekibi	Pilot Ekibi	Toplam
Toplam Yokluk	KH Planlı Yokluk	enk	37,7	18,8	56,5	38,9	19,1	58,0	37,6	18,8	56,4	38,8	19,1	57,9
	Ç Planlı Yokluk	enk	37,6	18,8	56,3	39,4	19,7	59,2	37,7	18,8	56,5	39,3	18,7	58,0
	KH Plansız Yokluk	enk	39,3	19,7	59,0	31,7	16,1	47,8	39,1	19,4	58,5	32,2	16,1	48,3
	D Plansız Yokluk	enk	39,3	19,7	59,0	31,7	16,1	47,8	39,1	19,4	58,5	32,2	16,1	48,3
Toplam Ücret		enk	915925	1552038	2467963	918004	1475878	2393882	882735	1538222	2420957	899609	1475878	2375487
Toplam Kıdem		enb	672	351	1023	669	321	990	609	335	944	620	321	941
Ortalama Yokluk	KH Planlı Yokluk	enk	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
	Ç Planlı Yokluk	enk	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3
	KH Plansız Yokluk	enk	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
	D Plansız Yokluk	enk	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Ortalama Ücret		enk	6025,8	20421,6	10824,4	6039,5	19419,4	10499,5	5807,5	20239,8	10618,2	5918,5	19419,4	10418,8
Ortalama Kıdem		enb	4,4	4,6	4,5	4,4	4,2	4,3	4,0	4,4	4,1	4,1	4,2	4,1

5.4.6. Ekipler temelinde izin verilen yokluk düzeyleri temelinde ekipleri oluşturacak çalışan düzenin ED sonuçlarına göre matematiksel modeller yardımı ile belirlenmesi

Bu alt adımda gerçekleştirilen matematiksel model hesaplamaları, ikinci aşamada oluşturulmuş olan matematiksel modeller olarak anılmaktadır. Bu aşamada, ekip çizelgeleme problemi sonuçlarına göre belirlenmiş olan 38 ekip ihtiyacının karşılanması adına ileri analizler gerçekleştirilecek, bu ekiplerin oluşturulması için hangi çalışanların seçilmesinin gerektiği ve bu seçimde geleneksel kısıtların yanı sıra insani faktörlerin etkisinin de göz önüne alınmasının çözüm üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu bağlamda, önceki aşamada ekiplere atanmak için seçilen 228 çalışanın ekip ihtiyaçları temelinde ekiplere hangi düzende atanacağı, maliyet, fayda ve yokluk kısıtlarını da göz önüne alan birbirinden farklı tek amaçlı atama modelleri ile incelenmiş, daha sonra bu problem bir çok amaçlı matematiksel modele dönüştürülerek çözülmüştür. Gerçekleştirilen tüm matematiksel model koşumlarının sonuçları tek amaçlı modeller ve tek amaçlı ile çok amaçlı modeller temelinde karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Tek amaçlı matematiksel model hesaplamaları

Bu aşamada oluşturulan ilk atama modeli, belirli sayıda çalışan varken, birinci aşamada seçilen çalışanların ekiplere nasıl yerleştirileceğini gösteren ek kısıtsız atama modelidir. Bu model çalışmada "AtamaModeli_1" olarak anılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin kapalı formda gösterimi aşağıda sunulmuştur.

Min $z = \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} p_i x_i j + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} q_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} r_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} s_i x_{ij}$ (5.220)

Kısıtlar

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1, \qquad i=1$ (5.221)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij}$ = 1, i=152 (5.372)

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij}$ = 1, i=153 (5.373)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij}$ = 1, i=228 (5.448)

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij}$ = 4, j=1 (5.449)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij}$ = 4, j=38 (5.486)

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij}$ = 2, j=1 (5.487)

.

.

.

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij}$ = 2, j=38 (5.524)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i.\text{ çalışan } j.\text{ ekibe atanmış ise} \\ 0, \text{ d. d.} \end{cases} \quad (5.525)$$

Bu atama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK-12'de sunulmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.221 oluşturulan atama modelinin çalışanların toplam yokluk

düzeylerine göre ekipler temelinde en az yokluğu sağlayacak şekilde ekiplere atanmasını getiren amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.221 – Eş. 5.372 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her kabin ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.373 – Eş. 5.448 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her pilot ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.449 – Eş. 5.486 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak dört kabin çalışanın atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.487 – Eş. 5.524 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak iki pilot çalışanın atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.525 ise karar değişkenin 0-1 tam sayılı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekibe ya atanmış olmalıdır ya da atanmamış olmalıdır.

AtamaModeli_1 matematiksel modelinin çözümüne göre çalışanların hangi düzende ekiplere atanması gerektiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar tablo boyutlarına bağlı olarak EK-13'te sunulmuştur.

Oluşturulan ikinci atama modeli, birinci aşamada seçilen çalışanların ekiplere nasıl yerleştirileceğini gösteren ekip temelinde toplam yokluk ek kontrol kısıtları olan atama modelidir. Bu model çalışmada "AtamaModeli_2.1" olarak anılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin kapalı formda gösterimi aşağıda sunulmuştur.

Min $z = \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} p_i x_i j + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} q_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} r_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} s_i x_{ij}$ (5.526)

Kısıtlar

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1, \qquad i=1$ (5.527)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ $i=152$ (5.579)

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ $i=153$ (5.580)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ $i=228$ (5.655)

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij} = 4,$ $j=1$ (5.656)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij} = 4,$ $j=38$ (5.693)

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij} = 2,$ $j=1$ (5.694)

.

.

.

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij} = 2,$ $j=38$ (5.731)

$\sum_{i=1}^{228} p_i x_{ij} \leq P,$ $j=1$ (5.732)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} p_i x_{ij} \leq P,$ $j=38$ (5.769)

$\sum_{i=1}^{228} q_i x_{ij} \leq Q,$ $j=1$ (5.770)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} q_i x_{ij} \leq Q,$ j=38 (5.807)

$\sum_{i=1}^{228} r_i x_{ij} \leq R,$ j=1 (5.808)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} r_i x_{ij} \leq R,$ j=38 (5.845)

$\sum_{i=1}^{228} s_i x_{ij} \leq S,$ j=1 (5.846)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} s_i x_{ij} \leq S,$ j=38 (5.883)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i.\text{ çalışan } j.\text{ ekibe atanmış ise} \\ 0, \text{ d. d.} \end{cases} \quad (5.884)$$

Bu atama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK-14'te sunulmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.526 oluşturulan atama modelinin çalışanların toplam yokluk düzeylerine göre ekipler temelinde en az yokluğu sağlayacak şekilde ekiplere atanmasını getiren amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.527 – Eş. 5.579 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her kabin ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.580 – Eş. 5.655 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her pilot ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.656 – Eş. 5.693 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam

olarak dört kabin çalışanın atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.694 – Eş. 5.731 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak iki pilot çalışanın atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.732 – Eş. 5.769, Eş. 5.770 – Eş. 5.807, Eş. 5.808 – Eş. 5.845, ve Eş. 5.846 – Eş. 5.883 arasındaki eşitlikleri ise sırası ile toplam kişisel hastalık nedenine bağlı olarak gerçekleşen planlı yokluk durumu için, çevresel nedenli planlı yokluk durumu için, kişisel hastalık nedenine bağlı olarak gerçekleşen plansız yokluk durumu için ve diğer nedenlere bağlı olarak gerçekleşen plansız yokluk durumu için yazılmış olan ekip temelinde toplam yokluk kısıtlarıdır. Eş. 5.884 ise karar değişkenin 0-1 tam sayılı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekibe ya atanmış olmalıdır ya da atanmamış olmalıdır.

AtamaModeli_2.1 matematiksel modelinin çözümüne göre çalışanların hangi düzende ekiplere atanması gerektiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar tablo boyutuna bağlı olarak EK-15'te sunulmaktadır.

Oluşturulan üçüncü atama modeli, birinci aşamada seçilen çalışanların ekiplere nasıl yerleştirileceğini gösteren ekip temelinde toplam planlı ve plansız yokluk ek kontrol kısıtları olan atama modelidir. İkinci atama modelinin yanı sıra bu atama modelinin oluşturularak sonuçlarının incelenmesinin nedeni, ekip temelinde aşılmaması istenen toplam planlı yokluk ve toplam plansız yokluk düzeylerinin verilmesi halinde, problemin bu veriler ile nasıl çözülebileceğinin araştırılmak istenmesi ve atama modelinin matematiksel yapısından kaynaklanan kısıt fazlalığının azaltılmaya çalışılmasıdır. Bu model çalışmada "AtamaModeli_2.2" olarak anılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin kapalı formda gösterimi aşağıda sunulmuştur.

Min z = $\sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} p_i x_i j + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} q_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} r_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} s_i x_{ij}$ (5.885)

Kısıtlar

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1, \qquad i=1$ (5.886)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ $i=152$ (5.1038)

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ $i=153$ (5.1039)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ $i=228$ (5.1114)

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij} = 4,$ $j=1$ (5.1115)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij} = 4,$ $j=38$ (5.1152)

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij} = 2,$ $j=1$ (5.1153)

.

.

.

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij} = 2,$ $j=38$ (5.1190)

$\sum_{i=1}^{228} p_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{228} q_i x_{ij} \leq Y_1,$ $j=1$ (5.1191)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} p_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{228} q_i x_{ij} \leq Y_1, \qquad j=38$ (5.1228)

$\sum_{i=1}^{228} r_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{228} s_i x_{ij} \leq Y_2, \qquad j=1$ (5.1229)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} r_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{228} s_i x_{ij} \leq Y_2, \qquad j=38$ (5.1266)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i.\text{çalışan } j.\text{ekibe atanmış ise} \\ 0, \quad \text{d.d.} \end{cases}$$ (5.1267)

Bu atama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK-16'da sunulmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.885, oluşturulan atama modelinin çalışanların toplam yokluk düzeylerine göre ekipler temelinde en az yokluğu sağlayacak şekilde ekiplere atanmasını getiren amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.886 – Eş. 5.1038 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her kabin ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.1039 – Eş. 5.1114 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her pilot ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.1115 – Eş. 5.1152 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak dört kabin çalışanın atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.1153 – Eş. 5.1190 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak iki pilot çalışanın atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.1191 – Eş. 5.1228 ve Eş. 5.1229 – Eş. 5.1266 arasındaki eşitlikleri ise sırası ile ekipler temelinde izin verilen toplam planlı yokluk durumu için ve toplam plansız yokluk durumu için yazılmış olan ekip temelinde toplam yokluk kısıtlarıdır. Eş. 5.1267 karar değişkenin 0-1 tam sayılı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekibe ya atanmış olmalıdır ya da atanmamış olmalıdır.

AtamaModeli_2.2 matematiksel modelinin çözümüne göre çalışanların hangi düzende ekiplere atanması gerektiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar tablo boyutlarına bağlı olarak EK-17'de sunulmaktadır.

Oluşturulan dördüncü ve son tek amaçlı atama modeli, birinci aşamada seçilen çalışanların ekiplere nasıl yerleştirileceğini gösteren ekip temelinde toplam yokluk, maliyet ve fayda ek kontrol kısıtları olan atama modelidir. Bu model çalışmada "AtamaModeli_3" olarak anılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin kapalı formda gösterimi aşağıda sunulmuştur.

Min z = $\sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} p_i x_i j + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} q_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} r_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{300}\sum_{j=1}^{38} s_i x_{ij}$ (5.1268)

Kısıtlar

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij}$ = 1, *i*=1 (5.1269)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij}$ = 1, *i*=152 (5.1420)

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij}$ = 1, *i*=153 (5.1421)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij}$ = 1, *i*=228 (5.1496)

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij}$ = 4, *j*=1 (5.1497)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij}$ = 4, *j*=38 (5.1534)

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij} = 2,$ $j=1$ (5.1535)

.

.

.

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij} = 2,$ $j=38$ (5.1572)

$\sum_{i=1}^{228} p_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{228} q_i x_{ij} \leq Y_1,$ $j=1$ (5.1573)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} p_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{228} q_i x_{ij} \leq Y_1,$ $j=38$ (5.1610)

$\sum_{i=1}^{228} r_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{228} s_i x_{ij} \leq Y_2,$ $j=1$ (5.1611)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} r_i x_{ij} + \sum_{i=1}^{228} s_i x_{ij} \leq Y_2,$ $j=38$ (5.1648)

$\sum_{i=1}^{152} c_i x_{ij} \leq B_{cc},$ $j=1$ (5.1649)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{152} c_i x_{ij} \leq B_{cc},$ $j=38$ (5.1686)

$\sum_{i=153}^{228} c_i x_{ij} \leq B_p,$ $j=1$ (5.1687)

.

.

.

$\sum_{i=153}^{228} c_i x_{ij} \leq B_p$, j=38 (5.1724)

$\sum_{i=1}^{152} k_i x_{ij} \leq K_{cc}$, j=1 (5.1725)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{152} k_i x_{ij} \leq K_{cc}$, j=38 (5.1762)

$\sum_{i=153}^{228} k_i x_{ij} \leq K_p$, j=1 (5.1763)

.

.

.

$\sum_{i=153}^{228} k_i x_{ij} \leq K_p$, j=38 (5.1800)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i.\text{ çalışan } j.\text{ ekibe atanmış ise} \\ 0, \text{ d. d.} \end{cases} \quad (5.1801)$$

Bu atama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK.18'de sunulmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.1268 oluşturulan atama modelinin çalışanların toplam yokluk düzeylerine göre ekipler temelinde en az yokluğu sağlayacak şekilde ekiplere atanmasını getiren amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.1269 – Eş. 5.1420 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her kabin ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.1421 – Eş. 5.1496 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her pilot ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.1497 – Eş. 5.1534 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak dört kabin çalışanın atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.1535 – Eş. 5.1872 arasındaki

eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak iki pilot çalışanın atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.1573 – Eş. 5.1610 ve Eş. 5.1611 – Eş. 5.1648 arasındaki eşitlikleri ise sırası ile ekipler temelinde izin verilen toplam planlı yokluk durumu için ve toplam plansız yokluk durumu için yazılmış olan ekip temelinde toplam yokluk kısıtlarıdır. Eş. 5.1649 – Eş. 5.1686 ve Eş. 5.1687 – Eş. 5.1724 arasındaki eşitlikler, sırası ile kabin ekibi çalışanları ve pilot ekibi çalışanları için, ekipler temelinde aşılmaması istenen toplam maliyet kriterlerini göstermektedir. Eş. 5.1725 – Eş. 5.1762 ve Eş. 5.1763 – Eş. 5.1800 arasındaki eşitlikler, sırası ile kabin ekibi çalışanları ve pilot ekibi çalışanları için, ekipler temelinde sağlanması istenen toplam en az fayda kriterlerini göstermektedir. Eş. 5.1801 karar değişkenin 0-1 tam sayılı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekibe ya atanmış olmalıdır ya da atanmamış olmalıdır.

AtamaModeli_3 matematiksel modelinin çözümüne göre çalışanların hangi düzende ekiplere atanması gerektiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar tablo boyutlarına bağlı olarak EK-19'da sunulmaktadır.

Tek amaçlı matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması

Uygulama çalışmasının ikinci aşamasının ilk bölümünde, ilk aşamada ekiplere atanmak için seçilen çalışanların ekiplere nasıl yerleştirileceğinin belirlenmesi amacı ile, her biri farklı kısıt kümelerine sahip olan dört ayrı atama modeli geliştirilmiş ve bu modeller sonuca ulaştırılmıştır. Bu aşamanın ilk bölümünde yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.19'da görülmektedir.

Analizler sonucunda 38 ayrı ekip için her matematiksel model çözümünde farklı ekiplerin oluştuğu görülmektedir. Bu bağlamda, karşılaştırma analizi için ele alınması gereken çok fazla veri olduğundan, bu analizin manuel olarak sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi zor olacaktır. Bu nedenle, tüm matematiksel modeller temelinde elde edilen sonuçların ortalama değerlerini gösteren yeni bir karşılaştırma tablosu hazırlanmıştır (Çizelge 5.19).

Çizelge 5.19. Tek amaçlı model sonuçlarının karşılaştırması

Ekipler	Atama Modeli 1						Atama Modeli 2.1						Atama Modeli 2.2						Atama Modeli 3					
			Planlı Yokluk		Plansız Yokluk				Planlı Yokluk		Plansız Yokluk				Planlı Yokluk		Plansız Yokluk				Planlı Yokluk		Plansız Yokluk	
	Ücret	Kıdem	KH	Ç	KH	D	Ücret	Kıdem	KH	Ç	KH	D	Ücret	Kıdem	KH	Ç	KH	D	Ücret	Kıdem	KH	Ç	KH	D
1	54177	27	1,496	1,519	1,403	1,401	73253	35	1,621	1,479	1,264	1,264	52374	13	1,520	1,593	1,314	1,314	66977	29	1,575	1,490	1,344	1,343
2	66853	22	1,586	1,539	1,146	1,145	54780	31	1,490	1,522	1,323	1,318	66177	28	1,418	1,613	1,201	1,194	68577	26	1,517	1,500	1,314	1,312
3	49501	12	1,560	1,584	1,267	1,268	67653	27	1,552	1,627	1,218	1,219	80532	31	1,389	1,619	1,344	1,338	60186	20	1,542	1,555	1,233	1,231
4	57056	33	1,525	1,483	1,361	1,359	69332	35	1,577	1,489	1,313	1,312	85732	40	1,469	1,534	1,321	1,317	69377	25	1,569	1,468	1,340	1,340
5	49501	14	1,521	1,578	1,204	1,201	71332	31	1,635	1,468	1,282	1,283	57332	29	1,456	1,592	1,202	1,196	68177	28	1,603	1,481	1,148	1,145
6	54380	28	1,552	1,507	1,245	1,242	52380	23	1,534	1,539	1,343	1,343	53377	21	1,469	1,608	1,342	1,340	65777	22	1,577	1,587	1,227	1,228
7	66256	25	1,590	1,481	1,232	1,231	62898	20	1,530	1,482	1,349	1,348	55653	27	1,520	1,539	1,287	1,285	62977	16	1,494	1,597	1,313	1,312
8	52577	19	1,582	1,578	1,195	1,196	68640	25	1,507	1,572	1,284	1,284	68177	27	1,477	1,485	1,247	1,239	66898	21	1,504	1,512	1,348	1,346
9	61707	16	1,561	1,638	1,059	1,057	69653	26	1,583	1,555	1,314	1,317	68577	31	1,472	1,576	1,345	1,343	53974	21	1,481	1,581	1,335	1,333
10	59189	25	1,548	1,543	1,238	1,237	81732	31	1,462	1,567	1,348	1,345	59989	28	1,538	1,495	1,283	1,280	66098	26	1,532	1,557	1,338	1,338
11	62186	32	1,505	1,555	1,160	1,154	68577	27	1,500	1,617	1,211	1,210	51101	18	1,516	1,594	1,154	1,151	53456	22	1,524	1,514	1,254	1,250
12	51580	18	1,510	1,553	1,363	1,362	64295	21	1,511	1,625	1,181	1,179	78053	25	1,492	1,562	1,304	1,302	52577	20	1,532	1,527	1,325	1,324
13	70532	36	1,475	1,537	1,375	1,372	51101	18	1,556	1,591	1,266	1,268	72932	33	1,521	1,553	1,343	1,344	67653	27	1,534	1,584	1,321	1,322
14	80853	36	1,479	1,601	1,198	1,194	66853	25	1,501	1,558	1,331	1,328	52780	23	1,603	1,521	1,248	1,250	57456	34	1,564	1,584	1,207	1,207
15	69056	31	1,543	1,546	1,181	1,177	68577	25	1,519	1,598	1,208	1,207	51901	19	1,585	1,452	1,256	1,253	66977	27	1,517	1,509	1,319	1,317
16	50019	17	1,587	1,577	1,146	1,147	56256	31	1,480	1,543	1,330	1,326	70932	37	1,592	1,610	1,179	1,181	55777	33	1,459	1,584	1,323	1,321
17	64098	23	1,572	1,568	1,176	1,175	84932	31	1,509	1,607	1,288	1,288	47822	13	1,561	1,564	1,201	1,201	65589	30	1,635	1,522	1,241	1,244
18	66656	20	1,428	1,465	1,613	1,611	64586	24	1,498	1,550	1,306	1,302	83386	44	1,527	1,555	1,273	1,272	54053	18	1,533	1,525	1,347	1,347
19	73519	23	1,389	1,519	1,600	1,596	49422	16	1,533	1,571	1,262	1,262	63777	21	1,572	1,532	1,264	1,264	62710	23	1,467	1,540	1,336	1,332
20	55174	24	1,577	1,548	1,280	1,282	71332	39	1,472	1,545	1,221	1,216	53180	24	1,603	1,532	1,259	1,261	64577	23	1,580	1,510	1,271	1,272

Çizelge 5.19. (devam) Tek amaçlı model sonuçlarının karşılaştırması

21	50301	18	1,590	1,630	1,049	1,048	52374	15	1,485	1,503	1,266	1,260	81332	32	1,530	1,562	1,346	1,346	61786	27	1,537	1,547	1,137	1,132
22	69786	20	1,568	1,500	1,279	1,279	56256	29	1,454	1,579	1,328	1,325	50301	14	1,607	1,500	1,230	1,231	66389	33	1,575	1,556	1,179	1,177
23	63865	32	1,415	1,518	1,416	1,410	64898	26	1,488	1,541	1,326	1,322	67865	33	1,478	1,556	1,261	1,256	57707	17	1,431	1,618	1,303	1,299
24	66898	21	1,591	1,571	1,130	1,130	55856	32	1,539	1,542	1,210	1,208	48701	13	1,473	1,606	1,258	1,256	68532	31	1,511	1,573	1,323	1,323
25	82132	38	1,566	1,648	1,118	1,118	52977	21	1,569	1,581	1,200	1,200	75065	28	1,534	1,537	1,345	1,345	67732	26	1,487	1,560	1,296	1,293
26	59386	20	1,487	1,477	1,433	1,431	65519	24	1,600	1,490	1,208	1,207	61707	18	1,568	1,570	1,242	1,244	52977	21	1,505	1,602	1,130	1,125
27	56853	28	1,379	1,539	1,618	1,615	51698	19	1,502	1,632	1,220	1,219	59386	17	1,525	1,589	1,266	1,265	69456	23	1,585	1,652	1,127	1,130
28	46143	8	1,500	1,545	1,361	1,360	68798	30	1,585	1,481	1,299	1,299	51495	15	1,639	1,526	1,260	1,263	61589	31	1,569	1,535	1,213	1,213
29	87332	46	1,491	1,553	1,314	1,312	62507	20	1,560	1,571	1,191	1,190	51698	17	1,506	1,623	1,123	1,120	56453	27	1,513	1,571	1,310	1,311
30	57031	17	1,506	1,560	1,199	1,196	70586	21	1,503	1,571	1,327	1,326	54177	24	1,489	1,556	1,288	1,284	64577	21	1,415	1,573	1,344	1,338
31	66577	26	1,436	1,569	1,468	1,465	49822	17	1,396	1,609	1,315	1,308	69456	37	1,575	1,473	1,308	1,308	56310	16	1,515	1,548	1,316	1,314
32	64986	23	1,555	1,657	1,060	1,059	68532	26	1,496	1,546	1,264	1,260	68053	23	1,528	1,526	1,336	1,336	67456	30	1,579	1,569	1,139	1,139
33	70132	32	1,592	1,599	1,025	1,023	49501	14	1,533	1,563	1,271	1,271	71253	29	1,533	1,492	1,299	1,296	61386	28	1,448	1,550	1,344	1,339
34	54053	18	1,481	1,511	1,468	1,467	54177	23	1,472	1,523	1,306	1,302	66265	29	1,440	1,524	1,349	1,343	65777	27	1,491	1,541	1,264	1,260
35	70532	30	1,575	1,570	1,223	1,224	51101	17	1,547	1,482	1,303	1,301	48622	14	1,531	1,614	1,293	1,295	62898	21	1,510	1,543	1,348	1,347
36	52780	24	1,549	1,534	1,205	1,203	63589	24	1,527	1,604	1,228	1,227	64640	22	1,638	1,506	1,242	1,244	54853	19	1,501	1,533	1,310	1,307
37	90132	39	1,571	1,536	1,250	1,250	65456	24	1,590	1,569	1,149	1,150	60586	25	1,455	1,608	1,281	1,278	64577	21	1,517	1,652	1,172	1,171
38	49422	18	1,488	1,550	1,336	1,334	54256	18	1,501	1,563	1,263	1,260	51101	19	1,568	1,556	1,222	1,221	65189	31	1,491	1,604	1,174	1,171

Çizelge 5.20. Tek amaçlı model sonuçlarının ortalama değerlerinin karşılaştırması

Atama Modeli 1						Atama Modeli 2.1						Atama Modeli 2.2						Atama Modeli 3					
	Kıdem	Planlı Yokluk		Plansız Yokluk			Kıdem	Planlı Yokluk		Plansız Yokluk			Kıdem	Planlı Yokluk		Plansız Yokluk			Kıdem	Planlı Yokluk		Plansız Yokluk	
Ücret		KH	Ç	KH	D	Ücret		KH	Ç	KH	D	Ücret		KH	Ç	KH	D	Ücret		KH	Ç	KH	D
62452,9	24,7	1,524	1,552	1,273	1,272	62512,8	24,8	1,524	1,554	1,271	1,270	62512,8	24,8	1,524	1,554	1,271	1,270	62512,8	24,8	1,524	1,554	1,271	1,270
1,405477						1,404848						1,404848						1,404848					

Çizelge 5.20'de görülmektedir ki, insani faktörlerin sadece amaç fonksiyonunda değil, ek kontrol kısıtları olarak matematiksel modelin kısıtlayıcılarında da göz önüne alınması, ortalama maliyet kriterinde çok küçük bir yükselişe neden olmuş görünse de ortalama fayda ve yokluklar kriterleri için daha iyi sonuçlar elde edilmesin sağlamıştır. Dolayısıyla insani faktörlerin ED uygulaması sonuçları kullanılarak çalışan yoklukları temelinde çizelgelemede kullanılıyor olması ile, birinci aşamada gerçekleştirilen çalışanların ekiplere seçilmesi probleminde de olduğu gibi, seçilen çalışanların ekiplere yerleştirilmesi probleminde de fayda sağlanmıştır.

Çizelge 5.20'de yer alan sonuçlar incelendiğinde, insani faktörlerin ek kontrol kısıtları olarak matematiksel modele eklendiği AtamaModeli_2.1, AtamaModeli_2.2 ve AtamaModeli_3 sonuçlarının ekipler temelinde birbirlerinden farklı olduğu, ancak ortalama değerler açısından bakıldığında tüm kriterler için aynı sonuçları verdikleri görülmektedir. Sonuçlar daha derin incelendiğinde, AtamaModeli_2.1 ve AtamaModeli_2.2 modelleri, çalışanların atandığı ekipler temelinde farklı sonuçlar verseler de, maliyet, fayda ve yokluk kriterleri temelinde tamamen aynı ve AtamaModeli_1 modelinden daha iyi sonuç vermişlerdir. AtamaModeli_2.2 modelinin kısıt sayısı daha az olsa da, kaynak kullanımı ve çözüm için gerçekleştirilen iterasyon sayısı AtamaModeli_2.1 modelinden daha fazla olduğu görülmektedir (Bkn. EK-14 ve EK-16). Bu durum, yokluk kısıtları planlı ve plansız yokluk çatısı altında birleştirilirken sağ taraf değerlerinin azaltılması, yanı çözüm uzayının küçültülmesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, AtamaModeli_2.2 modeli aynı problemi aynı veriler ile daha dar bir çözüm uzayında daha az kısıt ile çözebilmektedir, yani bu modelin sağlamlığı daha yüksektir. Bu nedenlerden dolayı, AtamaModeli_3 model uygulaması için AtamaModeli_2.2 modelinin iskeletinin kullanılması seçilmiştir. Sonuç olarak, AtamaModeli_2.2 ve AtamaModeli_3 matematiksel modellerinin çözümlerinde oluşturulan ekipler birbirinden farklı olsalar da modellerin sonuçlarının sahip olduğu ortalama değerlerin aynı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, toplam yokluk kontrol ek kısıtlarını modelde bulunduran AtamaModeli_2.1 ve AtamaModeli_2.2 matematiksel atama modelleri ile bu ek kısıtlara ilave olarak maliyet ve fayda ek kısıtlarını modelde bulunduran AtamaModeli_3 matematiksel atama modelinin, amaç fonksiyonu ve elde edilen ekipler temelindeki maliyet, fayda ve yokluk değerlerinde bir fark görülmemektedir. Ancak bu üç modelin verdiği atama sonuçları birbirinden tamamen farklıdır. Bu durumda en iyi atamanın hangisi olacağını belirlemek ve maliyet ve

fayda kriterleri ile yokluk kriterlerini amaç fonksiyonunda temsil edebilmek için (birbirleri ile aynı yönde olmadıkların aynı anda amaç fonksiyonunda temsil edilememektelerdi) devam eden alt bölümde bu problem bir çok amaçlı matematiksel programlama modeli ile ele alınacaktır.

Çok amaçlı matematiksel model hesaplamaları

Bu alt bölümün ikinci kısmını oluşturan bu kısımda, çalışanların ekiplere nasıl yerleştirilmesi gerektiği probleminin cevabı bir önceki kısımda oluşturulan atama modelleri çerçevesinde sonuca etkisi incelenen üç ayrı kriteri amaç olarak barındıran bir çok amaçlı matematiksel programlama modeli ile aranacaktır.

Oluşturulan çok amaçlı atama modeli, birinci aşamada seçilen çalışanların ekiplere nasıl yerleştirileceğini gösteren, ekipler temelinde toplam planlı yokluk, toplam plansız yokluk, maliyet ve fayda ek kontrol kısıtlarını amaç olarak ele alan ve klasik atama modeli kısıtlarına sahip olan bir modelidir. Bu model çalışmada "ÇokAmaçlıAtamaModeli" olarak anılacaktır.

Oluşturulan çok amaçlı model, ağırlıklı hedef programlama modeli olarak geliştirilmiş ve çözülmüştür. Burada ele alınan problem kapsamında dört amaç bulunmaktadır; (i) planlı yoklukların en azlanması, (ii) plansız yoklukların en azlanması, (iii) maliyetlerin en azlanması ve (iv) faydanın en çoklanması. Karar verici yokluk kriteri ile maliyet ve fayda kriterlerinin eşit öneme sahip olduğunu düşünmektedir. Bu nedenle yokluk amaçlarının sağlanmasının ağırlığı 0,50 iken, maliyet ve fayda amaçlarının sağlanmasının ağırlıkları 0,25 (w3) ve 0,25 (w4) tir. Bu durumda, planlı yokluk ve plansız yokluk amaçlarının sağlanmasının ağırlıkları da sırası ile 0,25 (w1) ve 0,25 (w2) olacaktır. Çok amaçlı matematiksel modelin oluşturulması ve çözümünde önceliklendirilmiş hedef programlama yönteminin kullanılmıyor olmasının nedeni de yine aynı noktadır, yokluk çeşitlerinin birbirine göre herhangi bir önceliği bulunmadığından, hepsinin aynı anda aynı oranda engellenmesi ya da en azlanması istendiğinden, ağırlıklandırma yöntemi seçilmiştir. Matematiksel modelin üçüncü ve dördüncü amaçları birbirleri ile çelişen amaçlardır. Birinci ve ikinci amaçlar ise birbirleri ile ilişkili iken, üçüncü ve dördüncü amaçlardan tamamen bağımsız verileri temsil etmektedirler. Matematiksel modelin amaç fonksiyonunda yer alan değerler, yani her bir amacı temsil edecek kısıtlarda kullanılacak teknolojik matris katsayılarına dair veriler EK- görülen değerlerin normalize edilmiş versiyonudur, bu sayede

amaçların her birinin aynı skala değerinde olması sağlanarak, maliyet ve fayda amaçlarının birbiri ile aynı dilde ifade edilmiş birimsizleştirilen veriler ile temsil edilmesi ve veriler arasındaki birim uyumsuzluğunun sonuçlara etki etmesinin engellenmesi hedeflenmiştir. Bu veriler ve daha önceden belirlenmiş olan parametreler ile sağ taraf değerleri ile oluşturulan matematiksel modelin kapalı formda gösterimi aşağıda sunulmuştur.

Min $z = w_1 \sum_{m=1}^{38} s_m^- + w_2 \sum_{n=1}^{38} s_n^- + w_3 \sum_{t=1}^{38} s_t^- + w_4 \sum_{e=1}^{38} s_e^+$ (5.1802)

Kısıtlar

G1: $\sum_{i=1}^{228}[p_i + q_i]\, x_{ij} + s_m^+ - s_m^- = Y_1$, j=1, m=1 (5.1803)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228}[p_i + q_i]\, x_{ij} + s_m^+ - s_m^- = Y_1$, j=38, m=38 (5.1840)

G2: $\sum_{i=1}^{228}[r_i + s_i]\, x_{ij} + s_n^+ - s_n^- = Y_2$, j=1, n=1 (5.1841)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228}[r_i + s_i]\, x_{ij} + s_n^+ - s_n^- = Y_2$, j=38, n=38 (5.1878)

G3: $\sum_{i=1}^{228} c_i\, x_{ij} + s_t^+ - s_t^- = B_{cc} + B_p$, j=1, t=1 (5.1879)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} c_i\, x_{ij} + s_t^+ - s_t^- = B_{cc} + B_p$, j=38, t=38 (5.1916)

G4: $\sum_{i=1}^{228} k_i\, x_{ij} + s_e^+ - s_e^- = K_{cc} + K_p$, j=1, e=1 (5.1917)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{228} k_i \; x_{ij} + \; s_e^+ - \; s_e^- = K_{cc} + K_p,$ j=38, e=38 (5.1954)

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ i=1 (5.1955)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ i=152 (5.1992)

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ i=153 (5.1993)

.

.

.

$\sum_{j=1}^{38} x_{ij} = 1,$ i=228 (5.2030)

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij} = 4,$ j=1 (5.2031)

.

.

.

$\sum_{i=1}^{152} x_{ij} = 4,$ j=38 (5.2068)

$\sum_{i=153}^{228} x_{ij} = 2,$ j=1 (5.2069)

.

.

.

$$\sum_{i=153}^{228} x_{ij} = 2, \qquad j=38 \tag{5.2106}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i.\text{çalışan } j.\text{ekibe atanmış ise} \\ 0, \text{ d. d.} \end{cases} \tag{5.2107}$$

Bu çok amaçlı atama modelinin GAMS 2.0.24.12 optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK-20'de sunulmaktadır. Yukarıdaki modelde Eş. 5.1802 matematiksel modelin hedeflerinden ağırlıklandırılmış sapmaların en küçüklendiği amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eş. 5.1803 – Eş. 5.1840 arasındaki eşitlikler matematiksel modelin ilk hedefini, yani planlı yoklukların en azlanmasını sağlamaktadır. Eş. 5.1841 – Eş. 5.1878 arasındaki eşitlikler matematiksel modelin ikinci hedefini, yani plansız yoklukların en azlanmasını sağlamaktadır. Eş. 5.1879 – Eş. 5.1916 arasındaki eşitlikler matematiksel modelin üçüncü hedefini, yani çalışan maliyetlerinin en azlanmasını sağlamaktadır. Eş. 5.1917 – Eş. 5.1954 arasındaki eşitlikler ise matematiksel modelin dördüncü ve son hedefini, yani çalışanlardan en yüksek faydanın sağlanmasını sağlamaktadır. Buradan sonraki kısıtlar çok amaçlı matematiksel programlama modelinin sistem kısıtlarını oluşturan klasik atama model kısıtlarıdır. Bu kısıtları da açıklayacak olursak. Eş. 5.1955 – Eş. 5.1992 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her kabin ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.1993 – Eş. 5.2030 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için çalışanların ekiplere atanması (her pilot ekibi çalışanının yalnız bir ekibe kesin olarak atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.2031 – Eş. 5.2068 arasındaki eşitlikler kabin ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak dört kabin çalışanın atanmış olması) kısıdını, Eş. 5.2069 – Eş. 5.2106 arasındaki eşitlikler ise pilot ekibi çalışanları için ekiplere çalışanların atanması (her ekibe tam olarak iki pilot çalışanın atanmış olması) kısıdını temsil etmektedir. Eş. 5.2107 ise karar değişkenin 0-1 tam sayılı olma şartını temsil eder, yani bir çalışan bir ekibe ya atanmış olmalıdır ya da atanmamış olmalıdır.

ÇokAmaçlıAtamaModeli matematiksel modelinin çözümüne göre çalışanların hangi düzende ekiplere atanması gerektiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar tablo boyutlarına bağlı olarak EK-21'de sunulmaktadır.

5.4.7. Tek ve çok amaçlı model sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi

Tek amaçlı model sonuçları karşılaştırmasına göre en iyi sonuçları vermiş olan AtamaModeli_2.1, AtamaModeli_2.2 ve AtamaModeli_3 tek amaçlı atama modelleri ile ve ÇokAmaçlıAtamaModeli atama modelinden elde edilen sonuç verilerinin ortalamaları karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.21'de sunulmuştur. AtamaModeli_1 koşumundan elde edilen sonuçlar, diğer tek amaçlı matematiksel modellerin sağladığı sonuçlara göre daha az tatmin edici olduğundan, bu alt bölümde gerçekleştirilen değerlendirmelerde bahsi geçen modele dair elde edilmiş sonuçlar göz önünde bulundurulmamıştır.

Çizelge 5.21. Tek ve çok amaçlı model sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi

Ortalama Değerler		Atama Modeli 2.1	Atama Modeli 2.2	Atama Modeli 3	Çok Amaçlı Model
Maliyet		62512,816	62512,816	62512,816	62255,263
Fayda		24,763	24,763	24,763	25,158
Planlı Yokluk	KH Planlı Yokluk	1,524	1,524	1,540	1,524
	Ç Planlı Yokluk	1,554	1,554	1,570	1,554
Plansız Yokluk	KH Plansız Yokluk	1,271	1,271	1,271	1,271
	D Plansız Yokluk	1,270	1,270	1,269	1,270

Karşılaştırma sonucunda, bir önceki kısımda en iyi sonuçları verdiği gözlenen tek amaçlı atama modellerinin ortalama sonuçları ile çok amaçlı atama modelinin ortalama sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Çizelge 5.21'de de görüldüğü gibi, çok amaçlı atama modeli maliyet, fayda ve plansız yokluk türleri açısından en iyi sonuçları sağlarken, tek amaçlı atama modelleri ise sadece planlı yokluk değerleri göz önüne alındığında daha iyi sonuç vermiştir. Bu durumda, ÇokAmaçlıAtamaModeli atama modelinin sonuçlarının diğer matematiksel modellerin sağladığı sonuçlara göre daha üstün olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, çizelgede yer alan tüm modellerin sunduğu çalışanların ekiplere yerleştirilmesi sonuçları birbirinden farklıdır. Bu durum ise gerçekleştirilen ileri ekip çizelgeleme faaliyetleri sonucunda, yalnızca maliyet ya da fayda kriterlerine göre değil, planlı ve plansız yokluk durumlarının yaratacağı olası problemleri de hesaba katarak oluşturulabilecek en iyi çalışan düzenlerini içeren ekiplerin oluşturulduğunu göstermektedir. Ayrıca gerçekleştirilen ileri analiz olmaksızın, tek amaçlı modeller ışığında alınacak bir çalışan düzeni oluşturma kararının yanlış olacağı ve firmaya ek maliyetler ile yanlış çalışan

düzeni seçimi gibi sorunlar getireceği görülmektedir. Gerçekleştirilen ileri ekip çizelgeleme faaliyetleri yürütülmeden oluşturulacak ekiplerin sahip olacağı çalışan düzenlerinin her şartta elde edilen optimal çizelgede bulunan düzenlerin sağlayacağından daha az faydalı olacağı da bu sayede ıspatlanmıştır.

Tek ve çok amaçlı model sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi açısından yapılan bu çıkarımların yanı sıra, bir diğer analiz açısından planlı yokluk, plansız yokluk, maliyet ve fayda kriterleri açısından her bir matematiksel modelin sunduğu ekip temelindeki değerlerin kaçının eşik değerine göre değerinin istenene uyduğu gözlemlenebilir. Örneğin, maliyet kriteri için en iyi sonuçları veren matematiksel modelin ÇokAmaçlıAtamaModeli olduğu model sonuçlarından hareketle görülebilmektedir. Şöyle ki, bu model sonuçlarına göre maliyet kriterinde elde edilen ortalama değer 62 255,263 Liradır ve bu değer tüm modeller içerisinde en düşük olanıdır. Ancak buna ek olarak, problemin kısıt denklemleri setine göre bu değerlerin verilen eşik değerinin mümkün olduğunca altında olması istenmektedir. Bu durumda, karşılaştırılan tüm modellerin, sağlanan ortalama değere göre belirlenen 60 000 Lira eşiğinin altında değere sahip kaç ekip oluşturduğu kontrol edilecek olursa, en fazla ekip sayısının da ÇokAmaçlıAtamaModeli atama modelinin sonuçlarında bulunduğu görülmektedir. Bu tip karşılaştırmalar diğer kriterler açısından da gerçeklştirilecek olursa, üstün sonuçların ÇokAmaçlıAtamaModeli atama modeli tarafından sağlandığı görülecektir.

Sonuç olarak, oluşturulan tüm modeller bu yöntem ile karşılaştırıldığında eşik değerlerine en uygun sonuç veren modelin ÇokAmaçlıAtamaModeli olduğu, dolayısıyla oluşturulan ekiplerin çalışan listeleri için bu çözümün kabul edilmesinin uygun olacağı görülmüştür.

6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında havayolu taşımacılığı sektörü için gerçek hayattan büyük boyutlu bir ekip çizelgeleme probleminin ele alınması, NP-Zor yapıdaki bu problemin matematiksel programlama yöntemleri kullanılarak nasıl optimal şekilde çözülebileceğinin gösterilmesi, mevcut literatüre gerçekleştirilen bu katkının yanı sıra, elde edilen rotalara çalışan personelin ne şekilde atanması gerektiğinin ve bu atamalar sonunda oluşturulacak uçucu ekip çizelgelerinin çalışan bilgilerinin elde edilmesinde insani faktörlerin nasıl dikkate alınabileceğinin açıklanması hedeflenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde ekip çizelgeleme probleminin yapısı kısaca tanıtılmış, tez kapsamında ele alınacak problemin özellikleri ve çalışmada geliştirilmesi hedeflenen çözüm yöntemi adım adım aktarılmıştır. Yine bu bölümde önerilen yöntemin literatüre sağlaması beklenen kazançlar ve mevcut uygulamalardan farkları açıklanmış, daha sonra tez çalışmasının nasıl devam edeceği bölümler temelinde sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde çizelgeleme ve ekip çizelgeleme problemleri ayrıntıları ile incelenerek sunulmuştur. Bu kapsamda bölümde ilk olarak problemlere dair temel bilgilere yer verilmiş, daha sonra ekip çizelgeleme probleminin özel çözüm yöntemleri ve havayolları taşımacılığında ekip çizelgeleme problemine dair bilgiler sunulmuştur. Bölüm sonunda ise ekip çizelgeleme yöntemine dair gerçekleştirilen geniş literatür araştırması çalışması metin, tablo ve şekiller yardımı ile sunulmaktadır.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan yöntemler ayrıntıları ile incelenmiş ve bunlara dair açıklamalar sunulmuştur. Bu bölümde ilk olarak tam sayılı programlama (TSP) yöntemi ve buna dair bilgiler yer alırken, daha sonra TSP problemlerinin NP-Zor yapısı ayrıntılarla açıklanmış ve TSP problemlerinin çözümü için literatürde sıklıkla kullanılan çözüm yöntemleri açıklanmıştır. Bölüm kapsamında daha sonra Etki diyagramı (ED) yöntemi ele alınmıştır. Bu bağlamda ise ED tekniği ve teknikle ilgili kavramlar ayrıntıları ile açıklanmış, ED tekniğinin karar problemlerinde nasıl çözüm yöntemi olarak uygulandığı gösterilmiş, literatürde mevcut bulunan ED tipleri ve ED tekniğinin diğer grafiksel çıkarım yöntemlerinden farkları açıklanmıştır. Daha sonra ise ED çözücüsü olarak literatürde kullanılan paket programlar ve bu çalışmada kullanılacak olan

GeNIe ED çözücüsü açıklanmış ve ED tekniğine dair gerçekleştirilen literatür araştırması metin ve tablolar yardımı ile ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çalışmasının dördüncü bölümünde, tez çalışması kapsamında önerilen yöntem bir akış şeması ve bu şemanın ayrıntılarla açıklanması ile adım adım sunulmuştur. Önerilen yöntemin mevcut literatüre katkısı ve literatürde mevcut bulunan benzer çalışmalardan farkları ve üstünlüklerine ilişkin bilgilere de bu bölümde yer verilmiştir.

Çalışmasının beşinci bölümünde tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen gerçek hayat uygulaması yer almakta, sırası ile ekip çizelgeleme problemi geliştirilen karar destek sisteminin (KDS) kullanımı ile çözüme ulaştırılmakta ve ileri ekip çizelgeleme faaliyetleri ED tekniğinin kullanımı ile insani faktörleri göz önünde tutarak gerçekleştirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmaları ve mevcut yayınların kapsamlı ve derin incelemelerinden sonra, ele alınan problem tipine dair literatürde hali hazırda bulunan çalışmaların neredeyse tamamında sadece ekip çizelgeleme probleminin ilk ayağı olan ekip eşleme problemi ele alınmış olduğu görülmüştür. Ayrıca mevcut çalışmalarda bu NP-Zor yapıdaki problemi çözmek için matematiksel modellerin yeterli kalmadığı kanıtlanmış olduğu, bu nedenle çözüm algoritmaları olarak çeşitli sezgisel modellerin uygulandığı ve problemin sezgisel yöntemler ile sonuca ulaştırılmaya çalışıldığı görülmüştür. Literatürde mevcut bulunan matematiksel modeller aracılığı ile çözüme gitmeye çalışılmış çoğu çalışmada ise sütun geliştirme algoritması ve benzeri gibi problem verilerinin düzenlenmesini, tüm verilerin aynı anda ve doğru olarak matematiksel modele aktarılmasını zorlaştıran ve bu nedenle gerçek boyutlu problemlerin ele alınmasında gerek model boyutu gerekse veri doğruluğu açısından uygulanması ve optimal sonuç alınması güç yöntemlerin, bu tip handikaplardan kaçınmak adına gerçek hayat problemlerinin ancak ufak parçalarını oluşturabilecek daha küçük boyutlu problemlere uygulandığı görülmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmalardan farklı olarak, bu tez çalışmasında ekip çizelgeleme problemi bir bütün olarak ele alınmış, problemin ikinci adımı olan uçuş rotalama problemi de bu kapsamda sonuca ulaştırılmıştır. Bunun yanı sıra, bu çalışmada NP-zor yapıda olduğundan sezgisel yöntemlerin kabul edilebilir ve optimale yakın ancak optimal olmayan çözümlerinin kabul edildiği benzer çalışmalardan farklı olarak, en temel ve kolay matematiksel model yöntemlerinin kullanılması geliştirilen KDS yardımı ile mümkün kılınmış hem ekip eşleme hem de uçuş rotalama problemleri optimal sonuçlarına hızlı ve

etkin şekilde ulaştırılabilmiştir. Bu ve benzeri çalışmalara ek olarak, mevcut literatürün çoğunluğunu temsil eden ve ekiplere dair rotaların oluşturulması ile ekip atama probleminin çözüldüğünü varsayan uygulamalardan farklı olarak, bu çalışmada ekip atama problemi iki aşama halinde, tek ve çok amaçlı matematiksel modelleme yöntemleri ile ele alınmış, bu esnada insani faktörlerin etkisi de göz önünde tutulmuştur.

Özetle, bu doktora tezi çalışması kapsamında gerçek hayat verilerinin kullanıldığı bir ekip çizelgeleme problemi, tüm boyutları ile ele alınmış, bulunan çizelgelerin hangi çalışanlarla nasıl doldurulmasının uygun olacağı ileri tetkik olarak incelenmiş ve sonuca ulaştırılmış, ayrıca insani faktörlere bağlı etmenlerin neden olabileceği çizelge bozulmaları, ED yöntemi kullanılarak mümkün mertebede elimine edilmiştir.

Yapılan uygulama çalışması sonuçları temelinde incelendiğinde, KDS ve ekip çizelgeleme matematiksel programlama modellerinin geliştirilmesi adımlarını içeren çalışmanın ilk bölümünde mevcut literatüre sağlanan katkıların ilki geliştirilen KDS kullanımlı saf matematiksel çözüm yöntemidir. NP-zor yapıda, matematiksel programlama yöntemlerinin yalın kullanımı ile optimal bir mümkün çözüme ulaşılması genellikle mümkün olmayan, bu nedenle bazı “böl ve çöz” algoritmaları, sütun geliştirme algoritmaları, dal ve sınır algoritmaları gibi yine matematiksel ancak karmaşık ek işlemler gerektirerek problemin çözüm süresini ve gerekli kapasiteyi arttıran, bu sebeplerle kimi zaman yine de optimal çözüme götüremeyen, ya da meta sezgisel yöntemlerin kullanımıyla optimal olmayıp optimal çözüme yakın etkin çözüm bulmayı mümkün kılan yöntemlerle çözülmeye çalışılmış olan ekip çizelgeleme problemi, literatürde bulunan en geniş ve zor uygulama alanı olan havayolu taşımacılığı için, geliştirilen yaklaşım ile küme kaplama modelleri kullanılarak matematiksel programlama yöntemlerinin yalın kullanımı ile optimal çözüme ulaştırılmıştır. Bu sayede, meta sezgisel yöntemlerin kullanımına gerek kalmadan optimal çözüm sağlanırken, karmaşık ek işlemler ve algoritmalar kullanılmadan, hızlı ve güvenilir sonuçlar, bilinen en yalın ve anlaşılabilir şekilde ifade edilen problemin çözümü ile elde edilmiştir.

Öne sürülen yaklaşımda, ekip çizelgeleme problemi iki ayrı kısımda ele alınmış ve dolayısıyla üç ayrı ana matematiksel model sonuca ulaştırılmıştır. Birden çok matematiksel modelin verilerinin toplanması, bu modellerin oluşturulması ve çözülmesi gibi dezavantajlar getirdiği görülen bu yaklaşımın bahsedilen eksiklerinin giderilmesi için bir KDS

geliştirilmiş, bu sayede ele alınan NP-zor yapıdaki problemin verileri kolaylıkla ele alınırken, matematiksel modeller KDS tarafından oluşturularak çözüme ulaştırılmış, elde edilen sonuç verileri yine KDS tarafından düzenlenerek kullanıcıya sunulmuştur.

Yine çalışma kapsamında sunulan çözüm yönteminin bir parçası olarak geliştirilen KDS'nin kullanıcılara sağladığı göze çarpan bir avantaj daha vardır. KDS kullanımı olmaksızın, büyük boyutlu NP-zor yapıdaki problemlere dair verilerin derlenmesi, matematiksel modellerin değişken sayılarının oldukça fazla olması, yazılacak her kısıt için hesaplanan tüm uçuş eşlemelerinin ve rotaların tek tek incelenmesi, bunların ise göz ile manuel olarak gerçekleştirilmesi oldukça uzun zaman alacak ve hatasız olarak tek seferde yapılması neredeyse imkânsız olan bir süreçtir. Bunların yanında, yapılacak bu işlemlerin her bir matematiksel model için tekrarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, geliştirilen KDS'nin kullanımı ile, emek ve zamandan oldukça fazla oranda tasarruf sağlanırken, manuel hesaplamalarda karşılaşılabilecek hatalar da ortaya çıkmadan elimine edilebilmiştir.

Çalışmanın ED tekniğinin kullanımı ile insani faktörlerin dikkate alınması ile çalışan seçimi ve ileri ekip atama ile ekip çizelgeleme problemlerini ikinci bölümünde literatüre sağlanan katkıların ilki geliştirilen matematiksel modeller ile, oluşturulan ekiplere çalışan atamaları gerçekleştirilirken insani faktörlerin göz önünde tutulması sağlanmış, bu sırada sağlanan faydanın oluşturulan pek çok farklı matematiksel modelin ve bunların çözümlerinin karşılaştırmalı olarak gösterilmesi ve analiz edilmesi olarak açıklanabilir. Buna ek olarak çalışan yokluğuna bağlı çizelge bozulmaları ve çalışan maliyetini en azlayan, çalışanların tecrübelerinden en yüksek faydayı sağlamayı mümkün kılan tek ve çok amaçlı modellerin çözülmesi ile hem çalışanların hem firmanın görünmeyen maliyet ve cezalardan etkilenme riskleri en aza indirilmiştir.

Literatürde daha önce bu şekilde ele alınmamış olan insani yokluklara bağlı çizelge bozulmaları durumu hem tüm ekip çizelgelerinin oluşturulması hem de çalışanların seçilerek bu ekiplere atanması çerçevesinde çözülen problemde ED hesaplamaları ile ele alınmıştır.

Sunulan bütünleşik çözüm yöntemi bu çalışmada havayolu firmaları için ekip çizelgeleme probleminin optimal sonuca ulaştırılmasında ve yine aynı alan verileri için insani faktörlere bağlı olası çizelge bozulmalarını en azlayacak ileri ekip çizelgeleme faaliyetlerinin yürütülmesinde kullanılmıştır. Öne sürülen yaklaşımın güvenilir ve etkin bir çözüm sunduğu

uygulama çalışması kapsamında gerçekleştirilen problem çözümü sonuçlarının karşılaştırmalı analizi ile ispatlanmıştır. Bu çalışma konusuna dair ileride gerçekleştirilecebilecek çalışmalarda dikkate alınabilecek konular olarak bu çalışmada dikkate alınan insani faktörlerin yanında ekip uyumu ve ekibi oluşturan çalışanların arasındaki olumlu ve/veya olumsuz görüşler ile bunların çalışma motivasyonuna etkisi sıralanabilir. Ayrıca bu ve benzer tipte insani faktör etkileri, bu tez çalışmasında olduğu gibi tam sayılı matematiksel modellerin yanı sıra stokastik ya da bulanık sayılarla ifade edilen değerlendirmeleri ele alabilen bulanık matematiksel modeller yardımı ile de incelenecerek, elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak araştırmaların dikkatine sunulabilir.

KAYNAKLAR

Agustin, A., Juan, A. ve Pardo, E. G. (2017). A variable neighborhood search approach for the crew pairing problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 58, 87-94.

Ahlmann-Ohlsen, K. S., Jensen, F. V., Nielsen, T. D., Pedersen, O. ve Vomlelova, M. (2009). A comparison of two approaches for solving unconstrained influence diagrams. *International Journal of Approximate Reasoning*, 50 (1), 153–173.

Ahn, J. H. ve Ezawa, K. J. (1997). Decision support for real time telemarketing operations through Bayesian network learning. *Decision Support Systems*, 21 (1), 17-27.

Ahuja, R.K., Magnanti, T.L. ve Orlin, J.B. (1993). *Network Flows, Theory, Algorithms and Applications*. New Jersey: Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 4-85.

Ang, B. W., Huang, J. P. ve Poh, K. L. (1999). Break-even price of distributed generation under uncertainty. *Energy*, 24 (7), 579-589.

Arıkan, F. (1996). *Bulanık hedef programlamanın çok amaçlı proje şebekesi problemine uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Armacost, R. L.ve Pet-Edwards, J. (1999). Integartive risk and uncertainty analysis for complex public sectpr operational systems. *Scoi-Economic Planning Sciences*, 33, 105-130.

Attah-Okine N.D. ve Kim Raddis W.M. (1998). Uncertainties of asphalt layer thickness determination in flexible pavements – influence diagram approach. *Civil Engineering and Environment Systems*, 15 (2), 107-124.

Aven, T., Sklet, S. ve Vinnem, J. E. (2006). Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORA-Release) Part I. method description. *Journal of Hazardous Materials*, 137 (2), 681-691.

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

Badreddine, A., Romdhane, T. B. ve Amor, N. B. (2009). *A multiobjective risk management approach to implement an integrated management system: quality, security, environment*. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 4728-4733.

Bai, L. ve Qian, W. (2010). *An influence diagrams structure learning method based on genetic algorithm.* 2nd International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 337-340.

Baker, K. R. (1994). *Elements of Sequecing and Scheduling*. New Hampshire Hanover: Dartmouth College, Amos Tuck School of Business Administration. 1-10.

Bakır M.A. ve Altunkaynak B. (2003). *Tamsayılı programlama: Teori, Modeller ve Algoritmalar*. Türkiye, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 147-418.

Barnhart, C. ve Laporte, G. (2007). *Handbooks in operations research and management science: Transportation*. North Holland, 14, 1-784.

Bastı, M. (2012). The P-median Facility Location Problem and Solution Approaches. *Online Academic Journal of Information Technology*, 3(7), 47-75.

Bayes, R. T. (1958). *An essay toward solving a problem in the doctrine of chances.* Philos Trans R Soc London: 53, 370-418, (Yeniden basım: *Biometrika*, 45, 293-315).

Beasley, J. E. (1990). A Lagrangean heuristic for set-covering problems. *Naval Research Logistics*, 37 (1), 151-164.

Beasley, J.E. ve Chu, P.C. (1994). *A genetic algorithm for the set covering problem*, Çalışma Kağıdı, The Management School Imperial College, London SW7 2AZ, England.

Bernoulli, J. (1713). *Ars conjectandi*, Basel. (Yeniden Basım*:* Bruxelles: Culture et Civilisation, 1968).

Bianco, L., Bielli, M., Mingozzi, A., Ricciardelli, S. ve Spadoni, M. (1992). A heuristic procedure for the crew rostering problem, *European Journal of Operational Research*, 58(2), 272-283.

Bielza C. ve Shenoy P. P. (1999). A Comparison Of Graphical Techniques For Asymmetric Decision Problems, *Management Science*, 45 (11), 1552-1569.

Bielza, C., Gomez M. ve Shenoy P. P. (2011). A review of representation issues and modeling challenges with influence diagrams, *Omega*, 39 (3), 227-241.

Bielza, C., Gomez, M., Rios-Insua, S. ve Fernandez del Pozo, J. A. (2000). Structural, elicitation and computational issues faced when solving complex decision making problems with influence diagrams. *Computers & Operations Research*, 27 (7-8), 725-740.

Brynielsson, J. (2007). Using AI and games for decision support in command and control, *Decision Support Systems*, 43 (4), 1454-1463.

Bumin Özyörük, B. (1992). *Çok ürünlü üretim sistemlerinde hedef programlama yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Cai, Z., Sun S., Si, S. ve Wang. N. (2012). *Integrated Importance based maintenance decision making*, IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 1-7.

Cai, Z., Sun S. Si, S. ve Yannou, B. (2009). *An Influence Diagram For Maintenance Strategy Decision Making*, IEEE International Workshop on Intelligent Systems and Applications, 1-5.

Canbolat, Y. B., Chelst, K. ve Garg, N. (2007). Combining decision tree and MAUT for selecting a country for a gloabl manufacturing facility. *Omega*, 35 (3), 312-325.

Cano, A., Gomez, M. ve Moral, S. (2006). A Forward- Backward Monte Carlo Method for Solving Influence Diagram, *International Journal of Approximate Reasoning*, 42 (1-2), 119- 135.

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

Carriger, J. F. ve Barron, M. G. (2011). Minimizing risks from spilled oil to ecosystem services using influence diagrams: the deepwater horizon spill response. *Environmental Science & Technology*, 45 (18), 7631-7639.

Ceria, S., Nobili, P. ve Sassano, A. (1998). A Lagrangian-based heuristic for large-scale set covering problems. *Mathematical Programming*, 81 (2), 215-228.

Chang, C. T. (2007). Multi-choice goal programming. *Omega*, 35 (4), 389 – 396.

Chang, Y. H. J. ve Mosleh, A. (2007). Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents. *Reliability Enfgineering and System Safety*, 92 (8), 1014-1040.

Charnes A. ve Cooper W. W. (1961). *Management models and industrial applications of linear programming*. New York: Wiley.

Charnes, A., Cooper, W.W. ve Ferguson, R. O. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science*, 1(8) 138–151.

Charnes, J. M. ve Shenoy, P. P. (2004). Multistage Monte Carlo method for solving influence diagrams using local computation. *Management Science*, 50(3), 405-418.

Chen, C.-Y. (2008). *Application of integer programming for solving crew scheduling problem in taipei rapid transit corporation.* IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2548-2553.

Chen, S., Shen, Y., Su, X. ve Chen, H. (2013). A Crew Scheduling with Chinese Meal Break Rules. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 13 (2), 90-95.

Chen, X. ve Zhou, E. (2010). *Simulation Method of Solving Hybird Influence Diagrams in Decision Making.* Winter Simulation Conference, 383-392.

Chew, K., L. (1991). Cyclic Schedule for Apron Services. *The Journal of the Operational Research Society*, 42(12),1061-1069.

Chickering, D. M. ve Paek, T. (2007). Personalizing influence diagrams: applying online learning strategeies to dialogue management. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 17 (1-2), 71-91.

Cobb, B. R. (2009). Efficiency of influence diagram models with continuous decision variables. *Decision Support Systems*, 48 (1), 257-266.

Cobb, B. R. ve Shenoy, P. P. (2008). Decision making with hybrid influence diagrams using mixtures of truncated exponentials, *European Journal of Operational Research*, 186 (1), 261-275.

Cooper, G. F. (1987). *Probabilistic inference using belief networks is NP-hard.* Tıbbi Bilgisayar Bilim Grubu – Bilgi Sistemleri Laboratuvarı Çalışma Notu, Stanford University, Stanford, California.

Cornalba, C., Bellazzi, R. G. Ve Bellazzi, R. (2008). Building a normative decision support system for clinical and operational risk management in hemodialysis. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 12(5), 678-686.

Cox, P., Niewöhner, J., Pidgeon, N. ve Gerrard, S. (2003). The use of metal models in chemical risk protection: developing a generic workplace methodology. *Risk Analysis*, 23(2), 311-324.

Çankaya G. (2008). *Havayolu Ekip Çizelgeleme Problemi İçin Bir Sütun Oluşturma Yaklaşımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Çankaya, G. ve Arıkan, M. (2009). Sütun Oluşturma Yaklaşımı İle Bir Havayolu Ekip Çizelgeleme Uygulamasi, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4(1), 43-50.

Çetin, E. İ. (2011). Genetik Algoritmaların Kullanımıyla Küme Bölme Modelinin Çözülmesi: Ekip Eşleştirme Uygulaması. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(5), 89-96.

Çetin, E. İ., Kuruüzüm, A. ve Irmak, S. (2008). Ekip Çizelgeleme Probleminin Küme Bölme Modeli ile Çözümü. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4(3), 47-54.

Çetin, M. (2007). *Gezgin Satıcı Örnek Problemlerinin Optimum Sonuçlarının Grid Aracılığı İle Hesaplanması*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.

Çoruhlu, A. (2007). *Sınav Personel Çizelgeleme Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Darby-Dowman, K. ve Mitra, G. (1985). An extension of set partitioning with application to scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 21(2), 200-205.

de Campos, L. M., Fernandez-Luna, J. ve Huete, J. F. (2005). *Improving the context –based influence diagram model for structured document retrieval: removing topological restrictions and adding new evaluation methods*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 215-229.

de Moivre, A. (2000). Doctrine of chances or a method of calculating the probabilities of events in play. *Treatise of Annuities, American Mathematical Society*, 1667-1754.

Deboys, J. (2004). Decision pathways in patent searching and analysis. *World Patent Information*, 26 (1), 83-90.

Dekkers, A. ve Aarts, E. (1991). Global optimization and simulated annealing. *Mathematical Programming*, 50 (1-3), 367-393.

Demirer, R. ve Shenoy, P. P. (2006). Sequential valuation networks for asymmetric decision problems. *European Journal of Operational Research*, 169, 286-309.

Deniş, F. Ö. (2012). *Tersine Lojistik ve Denizli İlinde Ömrünü Tamamlamış Lastik Geri Kazanımı için Tersine Lojistik Ağ Modelinin Tamsayılı Programlamayla Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Denizli.

Deveci, M. ve Çetin Demirel, N. (2018). Evolutionary algorithms for solving the airline crew pairing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 389-406.

Dias, T.G., De Sousa, J.P. ve Cunha, J.F.(324). Genetic algorithms for the bus driver scheduling problem: A case study. *Journal of the Operational Research Society*, 53(3), 324-335.

Díaz-Ramírez, J., Huertas J. I. ve Trigos, F. (2014). Aircraft maintenance, routing, and crew scheduling planning for airlines with a single fleet and a single maintenance and crew base. *Computers & Industrial Engineering*, 75 (1), 68-78.

Doshi, P., Chandrasekaran, M. ve Zeng, Y. (2010). *Epsilon-subjective equivalence of models for interactive dynamic influence diagrams*. International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, 165-172.

Dy, S. M., Rubin, H. R. ve Lehmann, H. P. (2005). Why do patients and families request transfers to tertiary care? A qualitative study. *Social Science & Medicine*, 61 (8), 1846-1853.

Eleye-Datubo, A. G., Wall, A., Saajedi, A. ve Wang, J. (2006). Enabling a powerful marine and offshore decision support solution through Bayesian network technique, *Risk Analysis*, 26(3), 695-721.

Er, F. ve Lezki, Ş. (2012). The usage of influence diagram for decision making in textiles, *Asian Social Science*, 8(11), 163-169.

Eren, T. (2004). *Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri için çözüm yaklaşımları*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Ezawa, K. J. (1998). Evidence propagation and value of evidence on influence diagrams, *Operations Research*, 46(1), 73-83.

Fahle, T., Junker, U., Karisch, S., E., Kohl, N., Sellmann, M. ve Vaaben, B. (2002). Constraint programming based column generation for crew assignment. *Journal of Heuristics*, 8 (1), 59–81.

Fasiuoli, E. ve Zaffalon, M. (1998). A note about redundancy in influence diagrams, *International Journal of Approximate Reasoning*, 19 (3-4), 351-365.

Flores, C. D., Seixas, L. J., Gluz, J. C. ve Vicari, R. M. (2005). *A model of pedagogical negotiation*. Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA 2005)-Progress in Artificial Intelligence, 488-499.

French, S. (1982). *Sequencing and scheduling: An introduction to the mathematics of the job-shop*, West Sussex: Ellis Horwood Limited.

Fukuoka, H. (2002), reliability evaluation method fort he railway system: a model for complicated dependency. *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute*, 4, 192-196.

Garcia, L. ve Sabbadin, R. (2008). Complexity results and algorithms for possibilistic influence diagrams. *Artificial Intelligence*, 172 (8-9), 1018–1044.

Garcia-Sanchez, D. ve Druzdzel, M. J. (2007). *An efficient exhaustive anytime sampling algorithm for influence diagrams*: *Advances in probabilistic graphical models, studies in fuzziness and soft computing*. Berlin: Springer, 214, 255–273.

Garey, M.R. ve Johnson, D.S. (1979). *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness*. San Francisco: W.H. Freeman and Company.

GeNIe 2.0, copyright 1998-2012, Decision Systems Laboratory, University of Pittsburg, version 2.0.4535.0, built on 01.06.2012.

Giachetti, R. E., Damodaran, P., Mestry, S. ve Prada, C. (2013). Optimization-based decision support system for crew scheduling in the cruise industry. *Computers & Industrial Engineering*, 64(1), 500-510.

Gomez, M. ve Bielza, C (2004). Node Delection Sequences İn İnfluence Diagrams Using Genetic Algorithms. *Statistics and Computing*, 14 (3), 181-198.

Gomez, M. ve Fernandez del Pozo, J. A. (2007). A graphcial decision theoretic model for neonatal jaundice, *Medical Decision Making*, 27 (3), 250-265.

Gopalakrishnan, B. ve Johnson, E. L. (2005). Airline Crew Scheduling: State-of-The-Art, *Annals of Operations Research*, 140 (1), 305-337.

Gopalan, R. ve Talluri, K.T. (1998). Mathematical Models In Airline Schedule Planning: A Survey. *Annals of Operations Research*, 76, 155-185.

Gözüpek, D. ve Genç, G. (2009). Hücresel Ağlarda Kanal Planlama Problemine Tabu Araması Yaklaşımı, *Akademik Bilişim 2009, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa*, 11-13.

Grover, F. Ve Laguna, M. (1997). *Tabu Search*. USA: Kluwer Academic Publishers.

Guezguez, W., Amor, N. B. ve Mellouli, K. (2009). Qualitative possibilistic influence diagrams based on qualitative possibilistic utilities. *European Journal of Operational Research*, 195 (1), 223–238.

Gustafsson, P., Höök, D., Franke, U. ve Johnson, P. (2009). *Modeling the IT impact on organizational structure*. 13th IEEE international conference on Enterprise Distributed Object Computing Conference, 14-23.

Güler, A. (2008). *Tamsayılı Programlama Problemleri için Garanti Değerli Algoritmalar*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, İzmir.

Güneş, D. E. (1999), *Workforce Scheduling*, Yayımlanmış Seminer Notu, Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Hall, J., Twyman, C. ve Kay, A. (2005). Influence diagrams for representing uncertainty in climate related propositions, *Cliamate Change*, 69 (2-3), 345-365.

Hanafi, R. Ve Kozan, E. (2014). A hybrid constructive heuristic and simulated annealing for railway crew scheduling, *Computers & Industrial Engineering*, 70 ,11-19.

Hegde, G.G. ve Tadikamalla, P.R. (1990), Interactive workforce management on a PC: An industry-university partnership, *European Journal of Operational Research,* 48(2), 275-280.

Heger, A.S. ve White J.E. (1997). Using Influence Diagrams For Data Worth Analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, 55 (3), 195-202.

Held, M. ve Karp, R. M. (1962). A dynamic programming approach to sequencing problems *SIAM Journal on Applied Mathmeatics*, 10(1), 196-210.

Higgins, A. (1998). Scheduling of railway track-maintenance activities and crews. *Journal of the Operational Research Society*, 49 (10), 1026-1033.

Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press.

Hong, J.-D., Jeya Chandra, M. ve Cavalier, T.M.(1989). The assignment of minimum crews among bases in an airlift operation, *European Journal of Operational Research*, 38(2), 208-212.

Horkoff, J., Barone, D., Jiang, L. Yu, E., Amyot, D., Borgida, A. Ve Mylopoulos, J (2012). Srategic business modeling: representation and reasoning, *Software and Systems Model*ing, 13(3), 1-27.

Horvitz, E.J, Breese J. S. ve Hennion M. (1988). Decision Theory in Expert Systems and Artificial Intelligence. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2 (3), 247–302.

Howard, M., Vidgen, R., Powell, P.ve Powell, J. (2007). Exploring the use of QPID: Acollaborative study of B2B in the automotive industry. *Omega*, 35 (4), 451–464.

Howard, R. A. (1990). *From influence to revelent to knowledge: Influence Diagrams, Belief Nets and Desition Analysis*, New York: John Wiley and Sons, 3-24.

Howard, R.A. ve Matheson, J. E. (1981). *Readings on the principles and applications of decision analysis*. Menlo Park California: Strategic Decision Group, 719 – 762.

Hui, L.ve Yan-ling, X. (2009). *The traffic flow study based on fuzzy influence diagram theory*. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 845-848.

Ignall, E. J. ve Walker, W. E. (1977). An analysis of the deployment of ambulances in Washington, D.C.. *Journal of Urban analysis*, 4(1), 59-92.

Isa, J. Reitermanova, Z. ve Sykora, O. (2009). *On the Complexity of General Solution DAGs*. International Conference on Machine Learning and Applications, 673-678.

İnternet: SHGM Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.Rev.05). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. 2018-03-29. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.shgm.gov.tr%2Fdoc5%2Fsht6a50-5.pdf&date=2018-03-29. Son Erişim Tarihi: 29.03.2018.

İnternet: THY çalışanları neden grevde? Eski kabin amiri anlatıyor. 2018-03-29. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.bbc.com%2Fturkce%2Fhaberler%2F2013%2F05%2F130514_thy_grevi&date=2018-03-29. Son Erişim Tarihi: 29.03.2018.

Jacobs, L.W. ve Brusco, M. J. (1993). *A simulated annealing-based heuristic for the set-covering problem*. USA: Operations Management and Information System Department, Northern Illinois University.

Jameson, A., Grossmann-Hutter, B., March, L., Rummer, R., Bıhnenberger, T. ve Wittig, F. (2001), When actions have consequences: empirically based decision making for intelligent user interfaces. *Knowledge Based Systems*, 14 (1-2), 75-92.

Jeantet, G. ve Spanjaard, O. (2011). Computing rank dependent utility in graphical models for sequential decision problems, *Artificial Intelligence*, 175 (7-8), 1366-1389.

Jeet, K., Dhir, R., Mago, V. K. ve Minhas, R. S. (2010). MASO: *A tool for aiding the management of schedule overrun*. Advance Computing Conference, 416-421.

Jensen F. V. ve Nielsen T. D. (2011). Probabilistic decision graphs for optimization under uncertainty. *4OR*, 9(1), 1-28.

Jensen, F. V., Nielsen, T. D. ve Shenoy, P. P. (2006). Sequential influence diagrams: a unified asymmetry framework. *International Journal of Approximate Reasoning*, 42 (1-2), 101-118.

Jeong, I. J., Leon, V. J. ve Villalobos, J. R. (2007). Integrated decision support system for diagnosis, maintanance planning, and scheduling of manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 45 (2), 267-285.

Jerzy, A., F., Manyem, P. ve White, K. (2002). How airlines and airports recover from schedule perturbations: A survey. *Annals of Operations Research*, 108 (1-4), 315–333.

Jian, L., Bo, L., Le, T. ve Huayi, Y. (2011). *Approximate solution for interactive dynamic influence diagrams based on belief-behavior graphs.* IEEE 3rd International Workshop on Intelligent Systems and Applications, 1-4.

Johnson, P., Lagerström, R., Narman, P.ve Marten, S. (2007). Enterprise architecture analysis with extended influence diagrams. *Information Systems Frontier*, 9(2), 163-180.

Jonassen, D. H. ve Ionas I. G. (2008) Designing Effective Supports For Causal Reasoning, *Educational Technology Research and Development*, 56(3), 287-308.

Jütte, S. ve Thonemann, U. W. (2012). Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 219(2), 214-223.

Kabanza, F., Bisson, G., Charneau, A. ve Jang, T. S. (2006). Implementing tutoring strategies into a patient simulator for clinical reasoning learning. *Artificial Intelligence in Medicine*, 38 (1), 79-96.

Kao, H. Y. (2008). Diagnostic reasoning and medical decision-making with fuzzy influence diagrams. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 90 (1), 9-16.

Karaoğlan, İ. ve Altıparmak, F. (2005). Konkav Maliyetli Ulaştırma Problemi İçin Genetik Algoritma Tabanlı Sezgisel Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 443-454.

Kim, J. K., Lee, K. C. ve Lee, J. K. (2002). Hybrid of neural network and decision knowledge approach to generating influence diagrams. *Expert Systems with Applications*, 23(3), 237-244.

Kim, J. K., Park, K. S. (1997). Modeling a class of decision problems using artificial neural networks. *Expert systems with Applications*, 12 (2), 195-208.

Kim, J. K., Park, K. S (1997). Neural network-based decison class analysis for building topological level influence diagram. *International Journal of Human-Computer Studies*, 47 (4), 513-530.

King, R. B. (1980). Chemical applications of group theory and topology. *Theoretica Chimica Acta*, 56 (4), 269-296.

King, R. B. (1983). Chemical applications of topology and group theory: Topological Aspects of Chaotic Reactions. *Theoretica Chimica Acta*, 63 (4), 323-338.

Kocabaş, V. ve Dragicevic, S. (2007). Enhancing a GI change: Bayesian networks, influence diagrams and causality. *Transactions in GIS*, 11(5), 681-702.

Koller, D. ve Milch, B. (2003). Multi-agent influence diagrams for representing and solving games. *Games and Economic Behavior*, 45 (1), 181–221.

König, J. ve Nordström, L. (2009). *Assessing impact of ICT system quality on operation of active distribution grids*. IEEE Bucharest Power Technology Conference, 1-8.

Kratica, J., Cangalovi, M. ve Kovaçeviç-Vujçiç, V. (2009). Computing minimal doubly resolving sets of graphs. *Computers & Operations Research*, 36 (7), 2149–2159.

Lacave, C., Luque, M., Diez, F. J. (2007). Explanation of Bayesian networks and influence diagrams in Elvira. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 37(4), 952-965.

Lauritzen, S. L. ve Nilson, D. (2011). Representing and solving decision problems with limited information. *Management Science*, 47 (9), 1235-1251.

Lavoie, S., Minoux, M. ve Odier, E.(1988). A new approach for crew pairing problems by column generation with an application to air transportation. *European Journal of Operational Research*, 35(1), 45-58.

Lawler, E. L. (1964). On scheduling problems with deferral costs. *Management Science*, 11 (2), 280-288.

Lawler, E. L. ve Moore, J. M. (1969). A functional equation and its application to resource allocation and sequencing problems. *Management Science*, 16 (1), 77-84.

Lee, A. H. I., Kang, H. Y. ve Chang, C. T. (2009). Fuzzy multiple goal programming applied to TFT-LCD supplier selection by downstream manufacturers. *Expert Systems with Applications*, 36 (3), 6318–6325.

Lee, J. K. ve Kim, J. (2002). A case based reasoning approach for building a decision model, *Expert systems*, 19(3), 123-135.

Lee, R. C. ve Craighead, P. (2006). Implications of cancer staging uncertainties in radiation therapy decisions. *Medical Decision Making*, 26 (3), 226-238.

Lezaun, M., Pérez, G. ve De La Maza, E.S.(2006). Crew rostering problem in a public transport company. *Journal of the Operational Research Society*, 57(10), 1173-1179.

Lezki, Ş. ve Er, F. (2010). Tatil yeri kararının verilmesinde karar ağacı ve etki diyagramının uygulanması. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 21(2), 233-242.

Li, W., Liu, W. ve Xia, Y. (2010). *On local computations of influence diagrams*. 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science, 1-4.

Li, W., Liu, W. ve Xia, Y. (2010). *Optimal decomposition of Limited Memory Influence Diagrams*. 2nd International Workshop on Database Technology and Applications, 1-4.

Liu, J., Bai, Y. ve Yu, Y. (2006). *Risk analysis for oil and gas exploration project*. International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation.

Liu, K.F.R. ve Chen, J. S. (2011). *Prediction and assessment of student learning outcomes in calculus: A decision support of integrating data mining and Bayesian belief networks*. 3rd International Conference on Computer Research and Development (ICCRD), 299-303.

Liu, S., S. ve Wang, C., J. (2011). Two-stage profit optimization model for linear scheduling problems considering cash flow. *Construction Management and Economics*, 27(11), 1023-1037.

Lohatepanont, M. ve Barnhart, C. (2004). Airline Schedule Planning: Integrated Models and Algorithms for Schedule Design and Fleet Assignment. *Transportation Science*, 38(1), 19-32.

Lopez-Diaz, M. ve Rodriguez-Muniz L. J. (2007). Influence diagrams with süper value nodes involving imprecise information. *European Journal Of Operational Research*, 179 (1), 203-219.

Lourenço, H.R., Paixão, J.P. ve Portugal, R. (2001). Multiobjective metaheuristics for the bus-driver scheduling problem. *Transportation Science*, 35(3), 331-343.

Love, P. E. D., Mandal, P. ve Li, H. (1999). Determining the causal structure of rework influences in construction. *Construction Management and Economics*, 17 (4), 505-517.

Luo, J., Li, B. ve Zeng, Y., (2011). *Double compression of models for interactive dynamic influence diagrams*. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 188-192.

Luo, J. ve Tian, L. (2011). *Approximate solution of interactive dynamic influence diagram.* Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, 218-222.

Luo, J., Yin, H., Li, B. ve Wu, C. (2011). *Path Planning for Automated Guided Vehicles System via Interactive Dynamic Influence Diagrams with Communication*, 9th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), 755-759.

Ma, F. ve Liu, W. (2011). *An incremental formation method of influence diagram structure*. 4th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 50-53.

Madsen, A.L. ve Jensen, F. (2005). Solving linear-quadratic conditional Gaussian influence diagrams. *International Journal of Approximate Reasoning*, 38 (3), 263–282.

Magni, P., Quaglini S., Marchetti M. ve Barosi G. (2000). Deciding When To Intervene: A Markov Decision Process Approach. *International Journal of Medical Informatics*, 60 (3), 237-253.

Masruroh, N. A. ve Poh, K. L. (2007). *A Bayesian network approach to job shop rescheduling*. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 1098-1102.

Maua, D. D., de Campos, C. P. ve Zaffalon, M. (2012). Solving Limited Memory Influence Diagrams. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 44, 97-140.

Maya Duque, P. A., Dolinskaya, I. S. ve Sörensen, K. (2016). Network repair crew scheduling and routing for emergency relief distribution problem. *European Journal of Operational Research*, 248(1), 272-285.

Mesquita, M., Moz, M., Paias, A., Paixão, J., Pato, M. ve Respício, A. (2011). A new model for the integrated vehicle-crew-rostering problem and a computational study on rosters. *Journal of Scheduling*, 14 (4), 319-334.

Mesquita, M. ve Paias, A. (2008). Set partitioning/covering-based approaches for the integrated vehicle and crew scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 35 (5), 1562-1575.

Milano M. (2003). *Constraint and Integer Programming: Toward a unified Methodology*. Kluwer Academic Publisher, 27.

Minich, R. (2011). *Issues in the Development of Location Privacy Theory*. 44th Hawaii International Conference on System Sciences, 1-10.

Moizer, J., Tracey, P. (2010). Strategy making in social enterprise: the role of resource allocation and its effects on organizational sustainability. *Systems Research and Behavioral Science*, 27 (3), 252-266.

Morgan, K., (2005). Development of a preliminary framework for informing the risk analysis and risk management of nanoparticles. *Risk Analysis*, 25(6), 1621-1635.

Moudani, W., E. ve Mora-Camino, F. (2000). *A Fuzzy Solution Approach For The Roster Planning Problem*. Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 346-351.

Muter, İ., Birbil, İ., Bülbül, K., Şahin, G., Yenigün, H., Taş, D. ve Tüzün, D. (2013). Solving a robust airline crew pairing problem with column generation. *Computers & Operations Research*, 40(3), 815-830.

Nanda, R. ve Browne, J. (1992). *Introduction to Employee Scheduling*. Van Nostrand Reilond, 180-275.

Narman, P., Johnson, P. ve Nordström, L. (2007). *Enterprise architecture: a framework supporting system quality analysis*. 11th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, 130.

Ndilikilikesha, P. C. (1994). Potential influence diagrams. *International Journal of Approximate Reasoning*, 10 (3), 251-285.

Neufeld, E. (1990). Choosing reference classes and building provisional models. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 2 (1-4), 277-290.

Nielsen, S. H., Nielsen, T. D. ve Jensen, F. V. (2007). Multi currency influence diagrams: Advances in Probabilistic Graphical Models. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 214, 275-294.

Nishiyama, T. ve Hibiya, S. (2011). Development of agent system based on decision model for creating an ambient space. *AI & Society*, 26 (3), 247-259.

Ohnsted, S. M. (1983). *On representing and solving decision problems*. Doktora Tezi, Department of Engineering – Economic Systems, Stanford University.

Operasyonel Risk Çalışma Grubu (2006). Operasyonel risk ileri ölçüm yaklaşımları kullanılarak ekonomik sermaye hesaplanması: İleri ölçüm yaklaşımları-ekonomik sermaye ilişkisi. *Bankacılar Dergisi*, 58, 98-112.

Owen, D.L. (1978). The use of influence diagrams in structuring complex decision problems, içinde "Readings on the principles and applications of decision analysis". Menlo Park, California: Strategic Decisions Group, Bölüm 38, 763 – 771.

Özder, U. (2009). *KOBİlerde otomasyona geçiş sürecinde tamsayılı doğrusal programlama yöntemini kullanarak karar verme.* Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Erzurum.

Öztop, H., Eliiyi, U., Türsel Eliiyi D. ve Kandiller, L. (2017). A bus crew scheduling problem with eligibility constraints and time limitations. *Transportation Research Procedia*, 22, 222-231.

Öztürk, A. ve Duman, S. (2009). Genetik algoritma kullanılarak güç sistemlerinde optimal çalışma şartlarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Mimarlık Fakultesi Dergisi*, 24(3), 539-548.

Pang, B., Huang, L. H., Huo, L. M. ve Zhang, L. N. (2011). *A study on optimal switching decision of distribution network based on influence diagrams.* International Conference on Electrical and Control Engineering, 4328-4331.

Pascual, R., Godoy, D., Louit, D. M. (2011). Throughput centered prioritization of machines in transfer lines. *Reliability Engineering and System Safety*, 96 (10), 1396-1401.

Patır, S. (2009). Tam sayılı programlama ve Malatya MAKSAN transformatör işletmesine bir uygulama. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1),193-206.

Pearl, J (1966). Fusion, propagation and struct in belief networks. *Artificial Intelligence*, 29, 241-288.

Peng, Q. (2009). *Service time estimation for container vessel using fuzzy influence diagrams.* International Forum on Computer Science-Technology and Applications, 103-105.

Pinedo, M. (2002). *Scheduling: Theory, Algortihms, and Systems*. New Jersey: Prentice Hall, 559-617.

Pinski, G. (1977). Influence and interrelationship of chemical journals. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 17(2), 67-74.

Poole, D. (1997) The independent choice logic for modelling multiple agents under uncertainty. *Artificial Intelligence*, 94 (1-2), 7-56.

Poropudas, J. ve Virtanen, K. (2009). *Influence diagrams in analysis of discrete event simulation data*. Winter Simulation Conferenece, 696-708.

Powell, J. H. ve Liddell, W. G. (2004). Agreeing access policy in a general medical practice: a case study using QPID. *System Dynamics Review*, 20(1), 49-73.

Prenchaiswadi, W. ve Jongsawat, N. (2011). *Developing an influence diagram using a structural modeling, inference and learning engine*. 9th International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 94-98.

Quintana, R. ve Leung, M. T. (2012). A case study of Bayesian belief networks in industrial work process design based on utility expectation and operational performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 61(7), 765-777.

Rasmussen, M. S., Justesen, T., Dohn, A. ve Larsen, J. (2012). The Home Care Crew Scheduling Problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 598-610.

Sachon, M. ve Pate-Cornell, E. (2000). Delays and safety in airline maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 67 (3), 301-309.

Sağır, M. (2013). *Tamsayılı Programlama*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları, 22-41.

Schacter R.D., Heckerman D. E. (1987). Thinking backward for knowledge acquisition. *AI Magazine*, 8 (3), 55-63.

Shachter, R. D. (1986). Evaluating influence diagrams. *Operations Research*, 34 (6), 871-882.

Shachter, R. D. (1988). Probabilistic inference and influence diagrams. *Operations Research*, 36 (4), 589-605.

Shenoy, P. P. (2000). Valuation network representation and solution of asymmetric decision problems. *European Journal of Operational Research*, 121 (3), 579-608.

Sherali, H.D., Bish, E.K. ve Zhu, X.(2005). Polyhedral analysis and algorithms for a demand-driven refleeting model for aircraft assignment. *Transportation Science*, 39(3), 349-366.

Shi, L. ve Lin, X. (2010). *The Representation and Solution of a New Graphical Game Model*, International Conference on Computer Application and System Modeling, 423-426.

Smith, B.C. ve Johnson, E.L.(2006) Robust airline fleet assignment: Imposing station purity using station decomposition. *Transportation Science*, 40(4), 497-516.

Smith, B.M.(1988) Impacs - A bus crew scheduling system using integer programming. *Mathematical Programming*, 42 (1-3), 181-187.

Smith, B.M. ve Wren, A.(1988). A bus crew scheduling system using a set covering formulation. *Transportation Research Part A: General*, 22(2), 97-108.

Smith, C. L. ve Borgonovo, E. (2007). Decision making during nuclear power plant incidents: a new approach to the evaluation of precursor events. *Risk Analysis*, 27(4), 1027-1042.

Smith, J. Q. ve Papamichail, K. N. (1999). Fast Bayes and the dynamic junction forest. *Artificial Intelligence*, 107 (1), 99-124.

Sommestad, T., Ekstedt, M. ve Jonhson, P. (2008). *Combining defense graphs and enterprise architecture models for security asnalysis*. 12th International IEEE Enterprise Distributed Object Computing Conference, 349-355.

Sommestad, T., Ekstedt ve M., Jonhson, P. (2009). *Cyber security risks assessment with Bayesian defense graphs and architectural models*. 42nd Hawaii International Conference on System Sciences, 1-10.

Søndberg-Jeppesen, N. ve Jensen, F. V. (2010). A PGM framework for recursive modeling of players in simple sequential Bayesian games. *International Journal of Approximate Reasoning*, 51 (5), 587–599.

Steinzen, I., Becker, M. ve Suhl, L.(2007) *A hybrid evolutionary algorithm for the vehicle and crew scheduling problem in public transit*. IEEE Congress on Evolutionary Computation, 3784-3789.

Suyabatmaz, A. Ç. ve Şahin, G. (2015). Railway crew capacity planning problem with connectivity of schedules. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 84, 88-100.

Süre, E. (2015). *Ders programı çizelgeleme problemine 0-1 tamsayılı programlama uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, 48-54, Trabzon.

Şahin, R. (2008). Dinamik tesis düzenleme problemi için bir tavlama benzetimi sezgiseli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakultesi Dergisi*, 23(4) 863-870.

Şenöz, Ç. (2005). *Sivil havacılık sektöründeki küçük işletmeler için filo atama ve tayfa eşleştirme modellerinin birleştirilerek uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Tabari, N., M., Pirmoradian, M. ve Hassanpour, S., B. (2008). *Implicit enumeration based 0-1 integer programming for generation maintenance scheduling*. 8th International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering, 151-154.

Tabernier, L., Dowdall, R., Gillet, S. (2010). *Use of influence diagram techniques to understand the influences and assess the environmental impact of ATM*. 29th Digital Avionics Systems Conference, 1-15.

Taha, H. A. (2000). *Tamsayılı Doğrusal Programlama, Yöneylem Araştırması* (6. Basım). Türkiye: Literatür Yayıncılık, 361-402.

Tamine-Lechani, L., Boughanem, M. ve Zemirli, N. (2007). *Exploiting multi evidence from multiple user's interests to personalizing information retrieval*. 2nd International Conference on Digital Information Management, 7-12.

Teke, S. (1998). *Hedef programlama ve bulanık hedef programlama tekniklerinin karşılaştırılması – Üretim planlama problemine bir uygulama.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2-30.

Tookey, A. Whalley, J. ve Howick, S. (2006). Broadband diffusion in remote and rural Scotland. *Telecommunications Policy*, 30 (8-9), 481-495.

Tütek H.H. ve Gümüşoğlu Ş. (1994). *Sayısal Yöntemler, Yönetsel Yaklaşım*. Beta Basım, İstanbul.

Ulusam Seçkiner, S. (2005). *İşyükü Dengelemeli Tur Çizelgeleme Problemi İçin Kesin ve Sezgisel Çözüm Yakalşımları*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Vaidyanathan, B., Jha, K., C. ve Ahuja, R., K. (2007). Multicommodity network flow approach to the railroad crew-scheduling problem. *IBM Journal of Research amd Development,* 51(3), 325-344.

van Gerven, M. A. J., Diez, F. J., Taal, B. G. ve Lucas, P. J. F. (2007). Selecting treatment strategies with dynamic limited-memory influence diagrams. *Artificial Intelligence in Medicine*, 40 (3), 171-186.

Vance, P.H., Barnhart, C., Johnson, E.L., Nemhauser, G.L.(1997) Airline crew scheduling: A new formulation and decomposition algorithm. *Operations Research*, 45(2), 188-200.

Vargas, N., Plazaola, L. ve Ekstedt, M. (2008). *A consolidated strategic business and IT alingment representation: A framework aggregated from literature*. 41st Hawaii International Conference on System Sciences, 1-10.

Varis, O., Klove, B. ve Kettunen, J. (1993). Evaluation of a real time monitoring system for river quality a trade off between risk attitudes costs and uncertainty. *Environmental Monitoring and Assessment*, 28 (3), 201-213.

Varis, O. ve Kuikkai S. (1999). Learning Bayesian decision analysis by doing: lessons from environmental and natural resources management. *Ecological Modelling*, 119 (2-3), 177-195.

Varol, İ. (2001). *0-1 Tamsayılı hedef programlama tabanlı asistan doktor çizelgeleme modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Vasquez, A. P., Regens, J. L. ve Gunter, J. T. (2006). Applying mental models to qualitative risk assessment at the tar creek superfund site. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 12 (5), 947-962.

Vatn, J. (1997). Maintenance optimisation from a decision theoretical point of view. *Reliability Engineering and System Safety*, 58, 119-126.

Von Neumann, J. ve Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press.

Wang, Y., Liu, J. ve Miao, J.-R.(2009), Modeling and solving the crew scheduling problem of passenger dedicated line. *Tiedao Xuebao/Journal of the China Railway Society*, 31(1), 15-19.

Wang, H., Zhang, H. X., Xu, C. F. (2013). Risk evaluation on project option based on probabilistic influence diagram. *Journal of Shenyang University of Technology*.

Watson, M., Sanderson, P., Russell, W. J. (2004). Tailoring reveals information requirements: the case of anaesthesia alarms. *Computers*, 16 (2), 271-293.

Watthayu, W. (2008). *Representing and solving influence diagram in multicriteria decision making: a loopy belief propagation method.* Internatioanl Symposiumon Computer Science and its Applications, 118-125.

Willems, A., Janssen, M., Verstegen, C. ve Bedford, T. (2005). Expert quantification of uncertainties in a risk analysis for an infrastructure Project. *Journal of Risk Research*, 8(1), 3-17.

Wu, F., Sun, P. R. ve Chang, C. C. (2011). Apply influence diagrams for utility analysis of paying the weight reducing expenses: a case study in Taiwan. *Journal of Medical Systems*, 35(1), 105-111.

Xu, J. M., Zhao, S., Liu, Z. P. ve Chai, B. F. (2006). *Using term relationships in a structured document retrieval model based on influence diagrams*. Advances in Machine Learning and Cybernetics, Lecture Notes in Computer Science book series, Springer, 3930, 711-720.

Xu, M. ve Golay, M. W. (2006). Data-guided model combination by decomposition and aggregation. *Machine Learning*, 63 (1), 43-67.

Yan, S. ve Lin, C. I. (1997). Optimization of airline crew pairings. *Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering*, 9, 303-313.

Yan, S. ve Tu, Y., P. (2002). Case Study: A network model for airline cabin crew scheduling. *European Journal of Operational Research*, 140 (3), 531–540.

Yang, S., Si-feng, L., Zhi-geng, F. ve Ming-li, H. (2011). *Modeling and Simulation of Stranded Passengers' Transferring Decision-Making on the Basis of Herd Behavior*. IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, 795-802.

Yen, C. C. (2008). Using integer programming to solve the crew scheduling problem in the Taipei rapid transit Corporation. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 5(4), 331-341.

Yuan, R., Liu, B. ve Zhou, H. (2011). *Explanation of risk influences diagrams.* International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 576-579.

Yunes, T.H., Moura, A.V. ve de Souza, C.C.(2005). Hybrid column generation approaches for urban transit crew management problems. *Transportation Science*, 39(2), 273-288.

Zarikas, V. (2007). Modeling decisions under uncertainty in adaptive user interfaces. *Information Society*, 6(1), 87-101.

Zeng, Y., Chen, Y. ve Doshi, P. (2011). *Approximating model equivalence in interactive dynamic influence diagrams using top K policy, paths*. International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, 208-211.

Zeng, Y. ve Doshi, P. (2012). Exploiting Model Equivalences for Solving Interactive Dynamic Influence Diagrams. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 43, 211-255.

Zeng, Y. ve Xiang, Y. (2010). *Time-critical decision making in interactive dynamic influence diagram.* International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, 149-156.

Zeng, Y. ve Poh, K.L. (2009). Multi-agent graphical decision models in medicine. *Applied Artificial Intelligence: An International Journal*, 23 (1), 103-122.

Zhi, Z. ve Xue-Jin, F. (2010). *Application study on fuzzy influence diagram in highway tunnel construction safety risk assessment.* International Conference on Management Science&Engineering, 272-279.

Zhou L., Liu W. ve Xu Y. (2009). *Inferring rival's private information in game circumstance*. Fifth International Conference on Natural Computation, 179-183.

Zhou, L., Lü, K. ve Liu, W. (2012). Game theory-based influence diagrams. *Expert Systems*, 30(4), 341-351.

EKLER

EK-1. Hesaplanan tüm olası ekip eşlemeleri

Olası Uçuş Eşleme No	Gün	SN	BS	Gün	SN	US	UGS
1	1	1				175	300
2	1	1	70	1	5	295	550
3	1	1	265	1	8	275	700
4	1	1	125	1	13	385	670
5	1	1	55	1	18	435	650
6	1	1	325	1	20	325	810
7	1	1	40	1	24	410	610
8	1	1	160	1	30	430	750
9	1	2				175	300
10	1	3				180	635
11	1	4				120	310
12	1	4	230	1	8	220	675
13	1	4	90	1	13	330	645
14	1	4	290	1	20	270	785
15	1	4	125	1	30	375	725
16	1	5				120	270
17	1	5	180	1	2	295	660
18	1	5	380	2	7	240	825
19	1	5	300	1	9	260	745
20	1	5	270	1	11	345	800
21	1	5	300	2	14	330	815
22	1	5	120	1	17	335	640
23	1	5	75	1	20	270	530
24	1	5	190	1	23	260	635
25	1	5	195	1	26	285	665
26	1	5	195	1	28	325	705
27	1	6				120	345
28	1	7				120	265
29	1	8				100	225
30	1	8	30	1	2	275	465
31	1	8	230	2	7	220	630
32	1	8	120	1	11	325	605
33	1	8	150	2	14	310	620
34	1	8	40	1	23	240	440
35	1	8	45	1	26	265	470
36	1	8	45	1	28	305	510
37	1	9				140	265
38	1	10				225	350
39	1	10	210	1	2	400	770
40	1	10	120	1	6	345	725

41	1	10	45	1	8	325	530
42	1	10	150	1	17	440	750
43	1	10	105	1	20	375	640
44	1	10	220	1	23	365	745
45	1	10	225	1	26	390	775
46	1	10	225	1	28	430	815
47	1	11				225	350
48	1	12				200	690
49	1	13				210	335
50	1	13	60	1	2	385	605
51	1	13	260	2	7	330	770
52	1	13	180	1	9	350	690
53	1	13	150	1	11	435	745
54	1	13	70	1	23	350	580
55	1	13	75	1	26	375	610
56	1	13	75	1	28	415	650
57	1	14				210	335
58	1	15				190	315
59	1	15	285	1	2	365	810
60	1	15	195	1	6	310	765
61	1	15	120	1	8	290	570
62	1	15	225	1	17	405	790
63	1	15	180	1	20	340	680
64	1	15	295	1	23	330	785
65	1	15	300	1	26	355	815
66	1	16				190	710
67	1	17				215	340
68	1	18				260	385
69	1	18	80	1	2	435	675
70	1	18	280	2	7	380	840
71	1	18	200	1	9	400	760
72	1	18	170	1	11	485	815
73	1	18	200	2	14	470	830
74	1	18	90	1	23	400	650
75	1	18	95	1	26	425	680
76	1	18	95	1	28	465	720
77	1	19				150	275
78	1	19	325	1	2	325	810
79	1	19	235	1	6	270	765
80	1	19	160	1	8	250	570
81	1	19	265	1	17	365	790
82	1	19	335	1	23	290	785
83	1	19	340	1	26	315	815
84	1	19	55	1	30	405	620

85	1	20				150	275
86	1	20	120	2	7	270	570
87	1	20	40	1	9	290	490
88	1	20	40	2	14	360	560
89	1	21				150	685
90	1	22				140	265
91	1	22	365	1	2	315	840
92	1	22	275	1	6	260	795
93	1	22	200	1	8	240	600
94	1	22	60	1	13	350	570
95	1	22	305	1	17	355	820
96	1	22	260	1	20	290	710
97	1	22	95	1	30	395	650
98	1	23				140	265
99	1	24				235	360
100	1	24	120	1	2	410	690
101	1	24	30	1	6	355	645
102	1	24	240	1	9	375	775
103	1	24	210	1	11	460	830
104	1	24	60	1	17	450	670
105	1	24	130	1	23	375	665
106	1	24	135	1	26	400	695
107	1	24	135	1	28	440	735
108	1	25				165	290
109	1	25	255	1	6	285	800
110	1	25	180	1	8	265	605
111	1	25	40	1	13	375	575
112	1	25	285	1	17	380	825
113	1	25	240	1	20	315	715
114	1	25	355	1	23	305	820
115	1	25	75	1	30	420	655
116	1	26				165	290
117	1	27				205	330
118	1	27	60	1	5	325	570
119	1	27	255	1	8	305	720
120	1	27	115	1	13	415	690
121	1	27	45	1	18	465	670
122	1	27	315	1	20	355	830
123	1	27	30	1	24	440	630
124	1	27	150	1	30	460	770
125	1	28				205	330
126	1	29				205	710
127	1	30				255	380
128	1	30	180	2	7	375	735

129	1	30	100	1	9	395	655
130	1	30	70	1	11	480	710
131	1	30	100	2	14	465	725

EK-2. Ekip eşleme problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

S O L V E S U M M A R Y

MODEL ucus_esleme OBJECTIVE z
TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX FROM LINE 49

**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS 1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE 30.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.004 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000

GAMS/Cplex Sep 3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1
Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Proven optimal solution.

MIP Solution: 30.000000 (0 iterations, 0 nodes)
Final Solve: 30.000000 (0 iterations)

Best integer solution possible: 30.000000
Absolute gap: 0.000000
Relative gap: 0.000000

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU obj . . . 1.000

---- EQU eq1

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

9 1.000 1.000 1.000 .
10 1.000 1.000 1.000 .
27 1.000 1.000 1.000 .
28 1.000 1.000 1.000 .
37 1.000 1.000 1.000 .
47 1.000 1.000 1.000 .
48 1.000 1.000 1.000 .
57 1.000 1.000 1.000 .
66 1.000 1.000 1.000 .

67 1.000 1.000 1.000 .
89 1.000 1.000 1.000 .
98 1.000 1.000 1.000 .
116 1.000 1.000 1.000 .
125 1.000 1.000 1.000 .
126 1.000 1.000 1.000 .

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU eq2 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq3 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq4 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq5 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq6 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq7 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq8 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq9 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq10 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq11 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq12 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq13 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq14 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq15 1.000 1.000 1.000 .
---- EQU eq16 1.000 1.000 1.000 .

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- VAR z -INF 30.000 +INF .

---- VAR x

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

1 . . 1.000 1.000
2 . . 1.000 1.000
3 . . 1.000 1.000
4 . 1.000 1.000 1.000
5 . . 1.000 1.000
6 . . 1.000 1.000
7 . . 1.000 1.000
8 . . 1.000 1.000
9 . 1.000 1.000 1.000
10 . 1.000 1.000 1.000
11 . . 1.000 1.000
12 . 1.000 1.000 1.000
13 . . 1.000 1.000
14 . . 1.000 1.000
15 . . 1.000 1.000
16 . . 1.000 1.000
17 . . 1.000 1.000

18	.	.	1.000	1.000
19	.	.	1.000	1.000
20	.	1.000	1.000	1.000
21	.	.	1.000	1.000
22	.	.	1.000	1.000
23	.	.	1.000	1.000
24	.	.	1.000	1.000
25	.	.	1.000	1.000
26	.	.	1.000	1.000
27	.	1.000	1.000	1.000
28	.	1.000	1.000	1.000
29	.	.	1.000	1.000
30	.	.	1.000	1.000
31	.	.	1.000	1.000
32	.	.	1.000	1.000
33	.	.	1.000	1.000
34	.	.	1.000	1.000
35	.	.	1.000	1.000
36	.	1.000	1.000	1.000
37	.	1.000	1.000	1.000
38	.	.	1.000	1.000
39	.	.	1.000	1.000
40	.	.	1.000	1.000
41	.	.	1.000	1.000
42	.	.	1.000	1.000
43	.	.	1.000	1.000
44	.	1.000	1.000	1.000
45	.	.	1.000	1.000
46	.	.	1.000	1.000
47	.	1.000	1.000	1.000
48	.	1.000	1.000	1.000
49	.	1.000	1.000	1.000
50	.	.	1.000	1.000
51	.	.	1.000	1.000
52	.	.	1.000	1.000
53	.	.	1.000	1.000
54	.	.	1.000	1.000
55	.	.	1.000	1.000
56	.	.	1.000	1.000
57	.	1.000	1.000	1.000
58	.	.	1.000	1.000
59	.	.	1.000	1.000
60	.	.	1.000	1.000
61	.	.	1.000	1.000
62	.	.	1.000	1.000
63	.	.	1.000	1.000
64	.	1.000	1.000	1.000
65	.	.	1.000	1.000
66	.	1.000	1.000	1.000
67	.	1.000	1.000	1.000

68	.	.	1.000	1.000
69	.	.	1.000	1.000
70	.	.	1.000	1.000
71	.	.	1.000	1.000
72	.	1.000	1.000	1.000
73	.	.	1.000	1.000
74	.	.	1.000	1.000
75	.	.	1.000	1.000
76	.	.	1.000	1.000
77	.	.	1.000	1.000
78	.	.	1.000	1.000
79	.	1.000	1.000	1.000
80	.	.	1.000	1.000
81	.	.	1.000	1.000
82	.	.	1.000	1.000
83	.	.	1.000	1.000
84	.	.	1.000	1.000
85	.	.	1.000	1.000
86	.	.	1.000	1.000
87	.	1.000	1.000	1.000
88	.	.	1.000	1.000
89	.	1.000	1.000	1.000
90	.	.	1.000	1.000
91	.	.	1.000	1.000
92	.	.	1.000	1.000
93	.	.	1.000	1.000
94	.	.	1.000	1.000
95	.	1.000	1.000	1.000
96	.	.	1.000	1.000
97	.	.	1.000	1.000
98	.	1.000	1.000	1.000
99	.	.	1.000	1.000
100	.	.	1.000	1.000
101	.	.	1.000	1.000
102	.	.	1.000	1.000
103	.	1.000	1.000	1.000
104	.	.	1.000	1.000
105	.	.	1.000	1.000
106	.	.	1.000	1.000
107	.	.	1.000	1.000
108	.	.	1.000	1.000
109	.	.	1.000	1.000
110	.	.	1.000	1.000
111	.	.	1.000	1.000
112	.	1.000	1.000	1.000
113	.	.	1.000	1.000
114	.	.	1.000	1.000
115	.	.	1.000	1.000
116	.	1.000	1.000	1.000
117	.	.	1.000	1.000

```
118     .       .       1.000     1.000
119     .       .       1.000     1.000
120     .     1.000     1.000     1.000
121     .       .       1.000     1.000
122     .       .       1.000     1.000
123     .       .       1.000     1.000
124     .       .       1.000     1.000
125     .     1.000     1.000     1.000
126     .     1.000     1.000     1.000
127     .       .       1.000     1.000
128     .     1.000     1.000     1.000
129     .       .       1.000     1.000
130     .       .       1.000     1.000
131     .       .       1.000     1.000


**** REPORT SUMMARY :        0     NONOPT
                             0 INFEASIBLE
                             0  UNBOUNDED


EXECUTION TIME       =        0.000 SECONDS    0.8 Mb      WIN212-136


USER: Mehmet Atak                                S031201:1059AR-WIN
     GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering            DC4484


**** FILE SUMMARY

INPUT      C:\Users\burcuyilmaz\Desktop\uygulama\GAMS kodları\ucuseslemecozum_13
           1.gms
OUTPUT     C:\Windows\gamsdir\ucuseslemecozum_131.lst
```

EK-3. Uçuş rotalama problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

GAMS Rev 136 MS Windows 05/29/10 13:36:38 Page 5
G e n e r a l A l g e b r a i c M o d e l i n g S y s t e m
Solution Report SOLVE ekip_atama Using MIP From line 26725

S O L V E S U M M A R Y

MODEL ekip_atama OBJECTIVE z
TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX FROM LINE 26725

**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS 1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE 38.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.725 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 1175 10000

GAMS/Cplex Sep 3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1
Cplex 8.1.0, GAMS Link 23

Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Proven optimal solution.

MIP Solution: 38.000000 (1175 iterations, 0 nodes)
Final Solve: 38.000000 (0 iterations)

Best integer solution possible: 38.000000
Absolute gap: 0.000000
Relative gap: 0.000000

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU obj . . . 1.000
---- EQU eq1 1.000 1.000 +INF .
---- EQU eq2 1.000 1.000 +INF .
---- EQU eq3 1.000 1.000 +INF .
---- EQU eq4 1.000 1.000 +INF .
---- EQU eq5 1.000 1.000 +INF .
---- EQU eq6 1.000 1.000 +INF .
---- EQU eq7 1.000 1.000 +INF .
---- EQU eq8 1.000 1.000 +INF .
---- EQU eq9 1.000 1.000 +INF .

---- EQU eq10	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq11	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq12	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq13	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq14	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq15	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq16	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq17	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq18	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq19	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq20	1.000	2.000	+INF	.
---- EQU eq21	1.000	2.000	+INF	.
---- EQU eq22	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq23	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq24	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq25	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq26	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq27	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq28	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq29	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq30	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq31	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq32	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq33	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq34	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq35	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq36	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq37	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq38	1.000	4.000	+INF	.
---- EQU eq39	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq40	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq41	1.000	3.000	+INF	.
---- EQU eq42	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq43	1.000	2.000	+INF	.
---- EQU eq44	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq45	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq46	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq47	1.000	9.000	+INF	.
---- EQU eq48	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq49	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq50	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq51	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq52	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq53	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq54	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq55	1.000	6.000	+INF	.
---- EQU eq56	1.000	3.000	+INF	.
---- EQU eq57	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq58	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq59	1.000	1.000	+INF	.

---- EQU eq60	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq61	1.000	4.000	+INF	.
---- EQU eq62	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq63	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq64	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq65	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq66	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq67	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq68	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq69	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq70	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq71	1.000	2.000	+INF	.
---- EQU eq72	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq73	1.000	6.000	+INF	.
---- EQU eq74	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq75	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq76	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq77	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq78	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq79	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq80	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq81	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq82	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq83	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq84	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq85	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq86	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq87	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq88	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq89	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq90	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq91	1.000	4.000	+INF	.
---- EQU eq92	1.000	4.000	+INF	.
---- EQU eq93	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq94	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq95	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq96	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq97	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq98	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq99	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq100	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq101	1.000	2.000	+INF	.
---- EQU eq102	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq103	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq104	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq105	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq106	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq107	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq108	1.000	1.000	+INF	.
---- EQU eq109	1.000	3.000	+INF	.

```
---- EQU eq110        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq111        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq112        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq113        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq114        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq115        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq116        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq117        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq118        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq119        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq120        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq121        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq122        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq123        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq124        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq125        1.000    1.000    +INF      .
---- EQU eq126        1.000    1.000    +INF      .

                  LOWER    LEVEL    UPPER   MARGINAL

---- VAR z           -INF    38.000    +INF      .

---- VAR x


**** REPORT SUMMARY :      0     NONOPT
                        0 INFEASIBLE
                        0  UNBOUNDED
```

GAMS Rev 136 MS Windows 05/29/10 13:36:38 Page 6
G e n e r a l A l g e b r a i c M o d e l i n g S y s t e m
E x e c u t i o n

---- 26726 VARIABLE x.L

220 1.000, 1400 1.000, 1549 1.000, 1662 1.000, 1738 1.000
1838 1.000, 1917 1.000, 2117 1.000, 2298 1.000, 3337 1.000
4127 1.000, 4578 1.000, 4589 1.000, 4851 1.000, 5569 1.000
5575 1.000, 5934 1.000, 5960 1.000, 6002 1.000, 6104 1.000
7329 1.000, 7525 1.000, 8343 1.000, 8909 1.000, 9768 1.000
11353 1.000, 11491 1.000, 11777 1.000, 12769 1.000, 12776 1.000
12786 1.000, 13342 1.000, 13390 1.000, 13432 1.000, 13491 1.000
13556 1.000, 13572 1.000, 13837 1.000

EXECUTION TIME = 0.047 SECONDS 6.3 Mb WIN212-136

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\Users\mmf\Desktop\Untitled_5.gms
OUTPUT C:\Windows\gamsdir\Untitled_5.lst

EK-4. 300 çalışan için beklenen ve beklenmeyen yokluk durumları

Beklenmeyen Yokluk		Var		Yok	
Rapor/izin alma		Var	Yok	Var	Yok
Her çalışana ait geçmiş verilerden alınan değerler	1	0,38	0,25	0,13	0,25
	2	0,20	0,20	0,20	0,40
	3	0,40	0,20	0,20	0,20
	4	0,16	0,02	0,33	0,49
	5	0,02	0,24	0,24	0,49
	6	0,02	0,33	0,49	0,16
	7	0,20	0,20	0,40	0,20
	8	0,63	0,03	0,31	0,03
	9	0,63	0,03	0,03	0,31
	10	0,31	0,03	0,03	0,63
	11	0,03	0,32	0,32	0,32
	12	0,24	0,24	0,02	0,49
	13	0,24	0,49	0,02	0,24
	14	0,03	0,31	0,63	0,03
	15	0,32	0,32	0,03	0,32
	16	0,20	0,02	0,59	0,20
	17	0,25	0,25	0,25	0,25
	18	0,03	0,03	0,31	0,63
	19	0,45	0,05	0,05	0,45
	20	0,20	0,20	0,02	0,59
	21	0,49	0,02	0,24	0,24
	22	0,32	0,32	0,03	0,32
	23	0,01	0,28	0,28	0,42
	24	0,20	0,39	0,02	0,39
	25	0,03	0,31	0,03	0,63
	26	0,02	0,24	0,71	0,02
	27	0,24	0,24	0,49	0,02
	28	0,08	0,08	0,08	0,77
	29	0,33	0,17	0,17	0,33
	30	0,20	0,40	0,20	0,20
	31	0,33	0,16	0,02	0,49
	32	0,17	0,17	0,33	0,33
	33	0,20	0,20	0,59	0,02
	34	0,03	0,03	0,63	0,31
	35	0,20	0,20	0,20	0,40
	36	0,03	0,31	0,03	0,63
	37	0,49	0,02	0,24	0,24
	38	0,03	0,63	0,03	0,31
	39	0,33	0,02	0,16	0,49
	40	0,31	0,03	0,03	0,63

	41	0,08	0,77	0,08	0,08
	42	0,25	0,25	0,25	0,25
	43	0,02	0,48	0,02	0,48
	44	0,20	0,20	0,20	0,40
	45	0,24	0,71	0,02	0,02
	46	0,39	0,39	0,20	0,02
	47	0,20	0,02	0,20	0,59
	48	0,33	0,02	0,16	0,49
	49	0,20	0,20	0,40	0,20
	50	0,20	0,40	0,20	0,20
	51	0,32	0,32	0,32	0,03
	52	0,03	0,91	0,03	0,03
	53	0,14	0,14	0,29	0,43
	54	0,33	0,33	0,17	0,17
	55	0,20	0,20	0,20	0,40
	56	0,05	0,45	0,05	0,45
	57	0,08	0,08	0,77	0,08
	58	0,49	0,33	0,16	0,02
	59	0,39	0,20	0,39	0,02
	60	0,17	0,50	0,17	0,17
	61	0,03	0,63	0,31	0,03
	62	0,25	0,25	0,25	0,25
	63	0,02	0,20	0,20	0,59
	64	0,20	0,02	0,39	0,39
	65	0,32	0,32	0,32	0,03
	66	0,20	0,20	0,40	0,20
	67	0,49	0,02	0,24	0,24
	68	0,49	0,33	0,16	0,02
	69	0,24	0,24	0,49	0,02
	70	0,20	0,02	0,20	0,59
	71	0,63	0,03	0,03	0,31
	72	0,24	0,02	0,71	0,02
	73	0,02	0,24	0,24	0,49
	74	0,17	0,33	0,33	0,17
	75	0,02	0,20	0,20	0,59
	76	0,87	0,04	0,04	0,04
	77	0,25	0,25	0,25	0,25
	78	0,04	0,04	0,87	0,04
	79	0,29	0,29	0,14	0,29
	80	0,31	0,63	0,03	0,03
	81	0,20	0,02	0,20	0,59
	82	0,03	0,03	0,31	0,63
	83	0,49	0,02	0,24	0,24
	84	0,03	0,03	0,91	0,03
	85	0,24	0,02	0,49	0,24

	86	0,32	0,32	0,03	0,32
	87	0,45	0,05	0,45	0,05
	88	0,33	0,33	0,17	0,17
	89	0,24	0,02	0,49	0,24
	90	0,49	0,24	0,24	0,02
	91	0,24	0,02	0,24	0,49
	92	0,33	0,16	0,02	0,49
	93	0,32	0,32	0,03	0,32
	94	0,32	0,32	0,03	0,32
	95	0,20	0,59	0,20	0,02
	96	0,49	0,02	0,24	0,24
	97	0,03	0,63	0,31	0,03
	98	0,32	0,32	0,03	0,32
	99	0,63	0,03	0,03	0,31
	100	0,02	0,71	0,24	0,02
	101	0,49	0,24	0,24	0,02
	102	0,02	0,71	0,02	0,24
	103	0,24	0,02	0,49	0,24
	104	0,02	0,24	0,49	0,24
	105	0,20	0,02	0,59	0,20
	106	0,25	0,25	0,25	0,25
	107	0,03	0,03	0,31	0,63
	108	0,63	0,03	0,03	0,31
	109	0,49	0,02	0,24	0,24
	110	0,04	0,87	0,04	0,04
	111	0,45	0,05	0,45	0,05
	112	0,03	0,03	0,91	0,03
	113	0,49	0,24	0,02	0,24
	114	0,20	0,02	0,20	0,59
	115	0,03	0,63	0,03	0,31
	116	0,71	0,02	0,24	0,02
	117	0,02	0,24	0,49	0,24
	118	0,49	0,24	0,02	0,24
	119	0,02	0,24	0,02	0,71
	120	0,20	0,59	0,02	0,20
	121	0,03	0,63	0,03	0,31
	122	0,20	0,20	0,40	0,20
	123	0,05	0,45	0,05	0,45
	124	0,02	0,24	0,49	0,24
	125	0,24	0,49	0,24	0,02
	126	0,02	0,71	0,02	0,24
	127	0,20	0,02	0,59	0,20
	128	0,71	0,24	0,02	0,02
	129	0,02	0,24	0,24	0,49
	130	0,63	0,31	0,03	0,03

131	0,71	0,02	0,24	0,02	
132	0,32	0,32	0,03	0,32	
133	0,39	0,20	0,39	0,02	
134	0,17	0,50	0,17	0,17	
135	0,03	0,63	0,31	0,03	
136	0,04	0,87	0,04	0,04	
137	0,63	0,03	0,03	0,31	
138	0,31	0,03	0,03	0,63	
139	0,03	0,32	0,32	0,32	
140	0,24	0,24	0,02	0,49	
141	0,05	0,45	0,45	0,05	
142	0,20	0,20	0,40	0,20	
143	0,31	0,03	0,03	0,63	
144	0,24	0,49	0,24	0,02	
145	0,03	0,31	0,03	0,63	
146	0,05	0,45	0,45	0,05	
147	0,49	0,24	0,02	0,24	
148	0,17	0,33	0,33	0,17	
149	0,02	0,24	0,24	0,49	
150	0,08	0,08	0,77	0,08	
151	0,45	0,05	0,05	0,45	
152	0,49	0,24	0,02	0,24	
153	0,08	0,08	0,08	0,77	
154	0,63	0,03	0,31	0,03	
155	0,24	0,02	0,24	0,49	
156	0,03	0,03	0,31	0,63	
157	0,25	0,25	0,25	0,25	
158	0,05	0,45	0,45	0,05	
159	0,20	0,20	0,40	0,20	
160	0,31	0,03	0,03	0,63	
161	0,24	0,49	0,24	0,02	
162	0,08	0,77	0,08	0,08	
163	0,49	0,02	0,24	0,24	
164	0,24	0,02	0,02	0,71	
165	0,91	0,03	0,03	0,03	
166	0,25	0,25	0,25	0,25	
167	0,02	0,39	0,20	0,39	
168	0,02	0,24	0,49	0,24	
169	0,05	0,45	0,45	0,05	
170	0,45	0,05	0,45	0,05	
171	0,04	0,87	0,04	0,04	
172	0,63	0,03	0,03	0,31	
173	0,08	0,77	0,08	0,08	
174	0,31	0,03	0,63	0,03	
175	0,63	0,03	0,03	0,31	

	176	0,05	0,45	0,05	0,45	
	177	0,45	0,05	0,45	0,05	
	178	0,25	0,25	0,25	0,25	
	179	0,05	0,45	0,05	0,45	
	180	0,32	0,32	0,03	0,32	
	181	0,05	0,45	0,05	0,45	
	182	0,03	0,31	0,63	0,03	
	183	0,24	0,49	0,24	0,02	
	184	0,08	0,08	0,08	0,77	
	185	0,24	0,02	0,71	0,02	
	186	0,63	0,31	0,03	0,03	
	187	0,03	0,31	0,03	0,63	
	188	0,45	0,05	0,45	0,05	
	189	0,24	0,02	0,71	0,02	
	190	0,63	0,31	0,03	0,03	
	191	0,04	0,87	0,04	0,04	
	192	0,31	0,03	0,03	0,63	
	193	0,08	0,08	0,77	0,08	
	194	0,25	0,25	0,25	0,25	
	195	0,03	0,32	0,32	0,32	
	196	0,08	0,08	0,77	0,08	
	197	0,91	0,03	0,03	0,03	
	198	0,05	0,45	0,45	0,05	
	199	0,02	0,24	0,71	0,02	
	200	0,45	0,05	0,45	0,05	
	201	0,49	0,02	0,24	0,24	
	202	0,03	0,31	0,03	0,63	
	203	0,03	0,63	0,31	0,03	
	204	0,03	0,31	0,03	0,63	
	205	0,71	0,02	0,24	0,02	
	206	0,02	0,24	0,71	0,02	
	207	0,03	0,63	0,03	0,31	
	208	0,32	0,32	0,03	0,32	
	209	0,24	0,02	0,71	0,02	
	210	0,71	0,02	0,02	0,24	
	211	0,03	0,32	0,32	0,32	
	212	0,24	0,24	0,02	0,49	
	213	0,24	0,49	0,02	0,24	
	214	0,03	0,31	0,63	0,03	
	215	0,03	0,31	0,63	0,03	
	216	0,08	0,08	0,77	0,08	
	217	0,77	0,08	0,08	0,08	
	218	0,03	0,32	0,32	0,32	
	219	0,03	0,31	0,03	0,63	
	220	0,08	0,77	0,08	0,08	

	221	0,24	0,02	0,71	0,02
	222	0,08	0,08	0,08	0,77
	223	0,45	0,45	0,05	0,05
	224	0,02	0,49	0,24	0,24
	225	0,20	0,20	0,59	0,02
	226	0,08	0,08	0,08	0,77
	227	0,32	0,32	0,32	0,03
	228	0,31	0,63	0,03	0,03
	229	0,32	0,32	0,32	0,03
	230	0,08	0,08	0,08	0,77
	231	0,08	0,08	0,08	0,77
	232	0,63	0,03	0,03	0,31
	233	0,02	0,24	0,24	0,49
	234	0,59	0,20	0,02	0,20
	235	0,03	0,63	0,03	0,31
	236	0,32	0,32	0,03	0,32
	237	0,04	0,04	0,87	0,04
	238	0,08	0,08	0,08	0,77
	239	0,24	0,71	0,02	0,02
	240	0,25	0,25	0,25	0,25
	241	0,24	0,02	0,49	0,24
	242	0,63	0,31	0,03	0,03
	243	0,08	0,08	0,08	0,77
	244	0,49	0,02	0,24	0,24
	245	0,04	0,87	0,04	0,04
	246	0,32	0,03	0,32	0,32
	247	0,08	0,77	0,08	0,08
	248	0,45	0,05	0,05	0,45
	249	0,05	0,05	0,45	0,45
	250	0,03	0,03	0,31	0,63
	251	0,45	0,05	0,45	0,05
	252	0,32	0,32	0,03	0,32
	253	0,04	0,87	0,04	0,04
	254	0,49	0,24	0,24	0,02
	255	0,32	0,32	0,03	0,32
	256	0,45	0,05	0,45	0,05
	257	0,31	0,03	0,63	0,03
	258	0,45	0,05	0,05	0,45
	259	0,05	0,45	0,45	0,05
	260	0,03	0,31	0,03	0,63
	261	0,02	0,02	0,24	0,71
	262	0,45	0,45	0,05	0,05
	263	0,32	0,03	0,32	0,32
	264	0,03	0,31	0,63	0,03
	265	0,25	0,25	0,25	0,25

	266	0,31	0,03	0,03	0,63
	267	0,31	0,03	0,63	0,03
	268	0,05	0,45	0,45	0,05
	269	0,45	0,05	0,05	0,45
	270	0,08	0,77	0,08	0,08
	271	0,03	0,32	0,32	0,32
	272	0,24	0,49	0,24	0,02
	273	0,77	0,08	0,08	0,08
	274	0,03	0,31	0,63	0,03
	275	0,32	0,03	0,32	0,32
	276	0,05	0,45	0,45	0,05
	277	0,77	0,08	0,08	0,08
	278	0,02	0,49	0,24	0,24
	279	0,25	0,25	0,25	0,25
	280	0,31	0,03	0,03	0,63
	281	0,03	0,63	0,31	0,03
	282	0,45	0,05	0,05	0,45
	283	0,08	0,08	0,77	0,08
	284	0,32	0,03	0,32	0,32
	285	0,45	0,05	0,05	0,45
	286	0,02	0,24	0,71	0,02
	287	0,87	0,04	0,04	0,04
	288	0,05	0,05	0,45	0,45
	289	0,45	0,05	0,05	0,45
	290	0,03	0,63	0,31	0,03
	291	0,31	0,03	0,03	0,63
	292	0,32	0,03	0,32	0,32
	293	0,32	0,32	0,32	0,03
	294	0,08	0,08	0,08	0,77
	295	0,31	0,63	0,03	0,03
	296	0,63	0,03	0,03	0,31
	297	0,05	0,05	0,45	0,45
	298	0,04	0,87	0,04	0,04
	299	0,31	0,03	0,03	0,63
	300	0,03	0,91	0,03	0,03

EK-5. 300 çalışan için oluşturulan ED'lerin değer düğümü sonuçları

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
KHH		Var								Yok							
AA		Var				Yok				Var				Yok			
BHK		Var		Yok		Var		Yok		Var		Yok		Var		Yok	
R/İ olma		Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok
Değer düğümü değerleri (beklenen değerler)	1	0,298	0,253	0,214	0,247	0,280	0,247	0,193	0,243	0,286	0,249	0,200	0,244	0,273	0,245	0,185	0,241
	2	0,216	0,271	0,261	0,317	0,225	0,312	0,272	0,343	0,222	0,298	0,268	0,335	0,230	0,330	0,276	0,355
	3	0,296	0,212	0,228	0,207	0,282	0,208	0,212	0,204	0,287	0,209	0,218	0,205	0,276	0,206	0,205	0,203
	4	0,161	0,207	0,325	0,319	0,196	0,307	0,364	0,385	0,185	0,275	0,352	0,363	0,211	0,352	0,381	0,413
	5	0,154	0,315	0,285	0,378	0,182	0,372	0,316	0,415	0,172	0,353	0,306	0,403	0,194	0,396	0,330	0,431
	6	0,186	0,257	0,307	0,230	0,212	0,233	0,336	0,215	0,203	0,241	0,327	0,220	0,223	0,222	0,349	0,208
	7	0,224	0,208	0,292	0,213	0,238	0,212	0,308	0,216	0,233	0,211	0,302	0,215	0,244	0,214	0,315	0,217
	8	0,352	0,077	0,243	0,069	0,329	0,070	0,218	0,065	0,337	0,073	0,226	0,066	0,319	0,067	0,206	0,062
	9	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	10	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	11	0,180	0,302	0,279	0,310	0,201	0,309	0,302	0,314	0,194	0,307	0,295	0,313	0,210	0,312	0,312	0,316
	12	0,234	0,320	0,216	0,372	0,230	0,366	0,211	0,402	0,231	0,351	0,213	0,392	0,228	0,387	0,209	0,415
	13	0,294	0,368	0,163	0,305	0,266	0,311	0,132	0,268	0,276	0,330	0,142	0,280	0,254	0,287	0,118	0,252
	14	0,191	0,207	0,331	0,158	0,221	0,163	0,365	0,129	0,211	0,177	0,354	0,138	0,234	0,143	0,379	0,117
	15	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	16	0,188	0,117	0,362	0,168	0,225	0,163	0,403	0,198	0,213	0,148	0,389	0,188	0,241	0,183	0,421	0,211
	17	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	18	0,110	0,253	0,341	0,398	0,159	0,383	0,396	0,483	0,143	0,341	0,378	0,455	0,181	0,440	0,420	0,520
	19	0,274	0,216	0,229	0,297	0,265	0,289	0,218	0,345	0,268	0,265	0,222	0,329	0,260	0,321	0,214	0,366
	20	0,209	0,331	0,237	0,416	0,215	0,407	0,243	0,465	0,213	0,382	0,241	0,449	0,218	0,440	0,246	0,487

	21	0,275	0,133	0,250	0,178	0,270	0,173	0,245	0,204	0,272	0,160	0,246	0,196	0,268	0,191	0,242	0,216
	22	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	23	0,161	0,313	0,284	0,352	0,187	0,348	0,314	0,375	0,179	0,337	0,304	0,367	0,199	0,363	0,326	0,385
	24	0,255	0,364	0,194	0,359	0,242	0,360	0,179	0,357	0,246	0,361	0,184	0,358	0,236	0,358	0,173	0,355
	25	0,167	0,395	0,240	0,469	0,183	0,461	0,257	0,511	0,178	0,439	0,251	0,497	0,189	0,490	0,264	0,530
	26	0,172	0,167	0,357	0,134	0,211	0,138	0,401	0,115	0,199	0,147	0,386	0,121	0,229	0,125	0,420	0,107
	27	0,252	0,172	0,287	0,128	0,260	0,132	0,296	0,102	0,257	0,145	0,293	0,111	0,263	0,115	0,299	0,091
	28	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	29	0,260	0,236	0,242	0,269	0,256	0,266	0,237	0,288	0,257	0,256	0,239	0,282	0,254	0,278	0,235	0,296
	30	0,264	0,309	0,219	0,263	0,255	0,268	0,208	0,237	0,258	0,282	0,212	0,245	0,250	0,250	0,204	0,225
	31	0,251	0,281	0,221	0,349	0,245	0,342	0,214	0,389	0,247	0,322	0,216	0,376	0,242	0,369	0,210	0,406
	32	0,202	0,233	0,292	0,274	0,221	0,269	0,314	0,297	0,214	0,257	0,307	0,290	0,229	0,286	0,323	0,308
	33	0,232	0,152	0,324	0,120	0,251	0,124	0,345	0,102	0,245	0,133	0,338	0,108	0,260	0,111	0,355	0,094
	34	0,123	0,152	0,390	0,232	0,180	0,224	0,454	0,279	0,161	0,201	0,433	0,263	0,205	0,255	0,481	0,299
	35	0,216	0,271	0,261	0,317	0,225	0,312	0,272	0,343	0,222	0,298	0,268	0,335	0,230	0,330	0,276	0,355
	36	0,167	0,395	0,240	0,469	0,183	0,461	0,257	0,511	0,178	0,439	0,251	0,497	0,189	0,490	0,264	0,530
	37	0,290	0,135	0,255	0,179	0,282	0,175	0,246	0,205	0,285	0,162	0,249	0,196	0,279	0,192	0,243	0,216
	38	0,245	0,457	0,172	0,383	0,229	0,391	0,155	0,341	0,234	0,413	0,161	0,355	0,223	0,362	0,148	0,322
	39	0,223	0,210	0,272	0,314	0,233	0,303	0,283	0,374	0,230	0,273	0,279	0,355	0,238	0,344	0,288	0,401
	40	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	41	0,302	0,457	0,145	0,299	0,268	0,315	0,108	0,206	0,279	0,361	0,120	0,236	0,254	0,253	0,092	0,166
	42	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	43	0,204	0,434	0,204	0,434	0,204	0,434	0,204	0,434	0,204	0,434	0,204	0,434	0,204	0,434	0,204	0,434
	44	0,216	0,271	0,261	0,317	0,225	0,312	0,272	0,343	0,222	0,298	0,268	0,335	0,230	0,330	0,276	0,355
	45	0,348	0,411	0,117	0,246	0,299	0,263	0,062	0,151	0,315	0,311	0,080	0,182	0,277	0,199	0,038	0,109
	46	0,338	0,252	0,190	0,162	0,307	0,171	0,155	0,110	0,317	0,198	0,166	0,127	0,293	0,136	0,140	0,087
	47	0,173	0,239	0,302	0,370	0,200	0,357	0,333	0,447	0,191	0,318	0,323	0,422	0,212	0,408	0,346	0,480
	48	0,223	0,210	0,272	0,314	0,233	0,303	0,283	0,374	0,230	0,273	0,279	0,355	0,238	0,344	0,288	0,401

	49	0,224	0,208	0,292	0,213	0,238	0,212	0,308	0,216	0,233	0,211	0,302	0,215	0,244	0,214	0,315	0,217
	50	0,264	0,309	0,219	0,263	0,255	0,268	0,208	0,237	0,258	0,282	0,212	0,245	0,250	0,250	0,204	0,225
	51	0,297	0,218	0,231	0,151	0,283	0,158	0,216	0,112	0,288	0,177	0,221	0,125	0,277	0,132	0,209	0,095
	52	0,313	0,511	0,113	0,309	0,270	0,330	0,066	0,191	0,284	0,389	0,082	0,229	0,252	0,250	0,045	0,139
	53	0,181	0,248	0,297	0,319	0,205	0,312	0,325	0,360	0,197	0,291	0,316	0,346	0,216	0,339	0,337	0,378
	54	0,298	0,267	0,208	0,226	0,279	0,231	0,186	0,203	0,286	0,243	0,193	0,210	0,271	0,214	0,177	0,192
	55	0,216	0,271	0,261	0,317	0,225	0,312	0,272	0,343	0,222	0,298	0,268	0,335	0,230	0,330	0,276	0,355
	56	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410
	57	0,162	0,107	0,396	0,125	0,211	0,123	0,451	0,135	0,195	0,118	0,433	0,132	0,233	0,130	0,476	0,139
	58	0,363	0,224	0,180	0,144	0,324	0,152	0,137	0,097	0,336	0,175	0,151	0,113	0,307	0,121	0,118	0,077
	59	0,300	0,155	0,259	0,114	0,291	0,118	0,249	0,090	0,294	0,130	0,253	0,098	0,287	0,102	0,245	0,079
	60	0,276	0,350	0,201	0,275	0,260	0,282	0,184	0,230	0,265	0,305	0,189	0,245	0,253	0,253	0,176	0,211
	61	0,256	0,369	0,215	0,238	0,247	0,252	0,205	0,162	0,250	0,290	0,209	0,187	0,243	0,200	0,201	0,129
	62	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	63	0,144	0,327	0,293	0,421	0,176	0,411	0,329	0,476	0,165	0,384	0,317	0,458	0,190	0,448	0,344	0,500
	64	0,180	0,176	0,328	0,266	0,211	0,257	0,363	0,318	0,201	0,230	0,352	0,301	0,225	0,292	0,378	0,341
	65	0,297	0,218	0,231	0,151	0,283	0,158	0,216	0,112	0,288	0,177	0,221	0,125	0,277	0,132	0,209	0,095
	66	0,224	0,208	0,292	0,213	0,238	0,212	0,308	0,216	0,233	0,211	0,302	0,215	0,244	0,214	0,315	0,217
	67	0,290	0,135	0,255	0,179	0,282	0,175	0,246	0,205	0,285	0,162	0,249	0,196	0,279	0,192	0,243	0,216
	68	0,363	0,224	0,180	0,144	0,324	0,152	0,137	0,097	0,336	0,175	0,151	0,113	0,307	0,121	0,118	0,077
	69	0,252	0,172	0,287	0,128	0,260	0,132	0,296	0,102	0,257	0,145	0,293	0,111	0,263	0,115	0,299	0,091
	70	0,173	0,239	0,302	0,370	0,200	0,357	0,333	0,447	0,191	0,318	0,323	0,422	0,212	0,408	0,346	0,480
	71	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	72	0,208	0,060	0,367	0,072	0,241	0,071	0,405	0,079	0,230	0,068	0,393	0,077	0,256	0,076	0,422	0,083
	73	0,154	0,315	0,285	0,378	0,182	0,372	0,316	0,415	0,172	0,353	0,306	0,403	0,194	0,396	0,330	0,431
	74	0,240	0,264	0,258	0,231	0,244	0,234	0,263	0,212	0,243	0,244	0,261	0,218	0,246	0,222	0,265	0,204
	75	0,144	0,327	0,293	0,421	0,176	0,411	0,329	0,476	0,165	0,384	0,317	0,458	0,190	0,448	0,344	0,500
	76	0,440	0,090	0,158	0,069	0,380	0,071	0,091	0,057	0,400	0,078	0,113	0,061	0,354	0,063	0,062	0,051

	77	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	78	0,138	0,073	0,420	0,094	0,198	0,092	0,487	0,106	0,178	0,085	0,465	0,102	0,224	0,100	0,516	0,112
	79	0,272	0,284	0,221	0,280	0,261	0,281	0,209	0,278	0,265	0,282	0,213	0,279	0,257	0,279	0,204	0,277
	80	0,358	0,375	0,127	0,230	0,309	0,245	0,072	0,145	0,325	0,287	0,090	0,173	0,287	0,188	0,048	0,108
	81	0,173	0,239	0,302	0,370	0,200	0,357	0,333	0,447	0,191	0,318	0,323	0,422	0,212	0,408	0,346	0,480
	82	0,110	0,253	0,341	0,398	0,159	0,383	0,396	0,483	0,143	0,341	0,378	0,455	0,181	0,440	0,420	0,520
	83	0,290	0,135	0,255	0,179	0,282	0,175	0,246	0,205	0,285	0,162	0,249	0,196	0,279	0,192	0,243	0,216
	84	0,134	0,065	0,433	0,087	0,197	0,085	0,504	0,100	0,177	0,078	0,481	0,096	0,225	0,094	0,535	0,106
	85	0,199	0,129	0,334	0,186	0,227	0,181	0,366	0,220	0,218	0,164	0,355	0,209	0,240	0,203	0,380	0,234
	86	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	87	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090
	88	0,298	0,267	0,208	0,226	0,279	0,231	0,186	0,203	0,286	0,243	0,193	0,210	0,271	0,214	0,177	0,192
	89	0,199	0,129	0,334	0,186	0,227	0,181	0,366	0,220	0,218	0,164	0,355	0,209	0,240	0,203	0,380	0,234
	90	0,343	0,178	0,208	0,121	0,315	0,126	0,176	0,087	0,324	0,143	0,187	0,098	0,302	0,104	0,162	0,073
	91	0,189	0,208	0,295	0,316	0,212	0,305	0,321	0,379	0,204	0,273	0,312	0,358	0,222	0,347	0,332	0,407
	92	0,251	0,281	0,221	0,349	0,245	0,342	0,214	0,389	0,247	0,322	0,216	0,376	0,242	0,369	0,210	0,406
	93	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	94	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	95	0,311	0,350	0,182	0,219	0,284	0,232	0,151	0,142	0,293	0,271	0,161	0,167	0,272	0,181	0,138	0,109
	96	0,290	0,135	0,255	0,179	0,282	0,175	0,246	0,205	0,285	0,162	0,249	0,196	0,279	0,192	0,243	0,216
	97	0,256	0,369	0,215	0,238	0,247	0,252	0,205	0,162	0,250	0,290	0,209	0,187	0,243	0,200	0,201	0,129
	98	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	99	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	100	0,268	0,406	0,186	0,253	0,250	0,269	0,167	0,164	0,256	0,314	0,173	0,193	0,243	0,209	0,158	0,125
	101	0,343	0,178	0,208	0,121	0,315	0,126	0,176	0,087	0,324	0,143	0,187	0,098	0,302	0,104	0,162	0,073
	102	0,259	0,475	0,153	0,367	0,236	0,378	0,127	0,304	0,244	0,410	0,136	0,325	0,226	0,336	0,116	0,276
	103	0,199	0,129	0,334	0,186	0,227	0,181	0,366	0,220	0,218	0,164	0,355	0,209	0,240	0,203	0,380	0,234
	104	0,164	0,236	0,323	0,248	0,197	0,247	0,361	0,255	0,186	0,244	0,349	0,253	0,212	0,252	0,378	0,259

	105	0,188	0,117	0,362	0,168	0,225	0,163	0,403	0,198	0,213	0,148	0,389	0,188	0,241	0,183	0,421	0,211
	106	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	107	0,110	0,253	0,341	0,398	0,159	0,383	0,396	0,483	0,143	0,341	0,378	0,455	0,181	0,440	0,420	0,520
	108	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	109	0,290	0,135	0,255	0,179	0,282	0,175	0,246	0,205	0,285	0,162	0,249	0,196	0,279	0,192	0,243	0,216
	110	0,307	0,494	0,119	0,303	0,267	0,323	0,074	0,192	0,280	0,379	0,089	0,228	0,249	0,248	0,055	0,143
	111	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090
	112	0,134	0,065	0,433	0,087	0,197	0,085	0,504	0,100	0,177	0,078	0,481	0,096	0,225	0,094	0,535	0,106
	113	0,334	0,247	0,175	0,235	0,301	0,236	0,137	0,228	0,312	0,239	0,149	0,230	0,286	0,231	0,120	0,224
	114	0,173	0,239	0,302	0,370	0,200	0,357	0,333	0,447	0,191	0,318	0,323	0,422	0,212	0,408	0,346	0,480
	115	0,245	0,457	0,172	0,383	0,229	0,391	0,155	0,341	0,234	0,413	0,161	0,355	0,223	0,362	0,148	0,322
	116	0,378	0,071	0,219	0,059	0,345	0,060	0,181	0,052	0,356	0,063	0,193	0,054	0,330	0,055	0,164	0,048
	117	0,164	0,236	0,323	0,248	0,197	0,247	0,361	0,255	0,186	0,244	0,349	0,253	0,212	0,252	0,378	0,259
	118	0,334	0,247	0,175	0,235	0,301	0,236	0,137	0,228	0,312	0,239	0,149	0,230	0,286	0,231	0,120	0,224
	119	0,145	0,384	0,251	0,492	0,168	0,481	0,277	0,555	0,160	0,449	0,268	0,534	0,178	0,523	0,288	0,583
	120	0,304	0,406	0,155	0,312	0,272	0,322	0,119	0,257	0,283	0,349	0,131	0,275	0,258	0,285	0,104	0,233
	121	0,245	0,457	0,172	0,383	0,229	0,391	0,155	0,341	0,234	0,413	0,161	0,355	0,223	0,362	0,148	0,322
	122	0,224	0,208	0,292	0,213	0,238	0,212	0,308	0,216	0,233	0,211	0,302	0,215	0,244	0,214	0,315	0,217
	123	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410
	124	0,164	0,236	0,323	0,248	0,197	0,247	0,361	0,255	0,186	0,244	0,349	0,253	0,212	0,252	0,378	0,259
	125	0,303	0,299	0,197	0,191	0,280	0,202	0,171	0,128	0,288	0,234	0,180	0,149	0,270	0,160	0,160	0,100
	126	0,259	0,475	0,153	0,367	0,236	0,378	0,127	0,304	0,244	0,410	0,136	0,325	0,226	0,336	0,116	0,276
	127	0,188	0,117	0,362	0,168	0,225	0,163	0,403	0,198	0,213	0,148	0,389	0,188	0,241	0,183	0,421	0,211
	128	0,423	0,182	0,139	0,114	0,363	0,121	0,072	0,074	0,382	0,141	0,094	0,087	0,336	0,094	0,042	0,057
	129	0,154	0,315	0,285	0,378	0,182	0,372	0,316	0,415	0,172	0,353	0,306	0,403	0,194	0,396	0,330	0,431
	130	0,409	0,220	0,142	0,140	0,352	0,148	0,078	0,093	0,371	0,171	0,099	0,109	0,327	0,117	0,051	0,073
	131	0,378	0,071	0,219	0,059	0,345	0,060	0,181	0,052	0,356	0,063	0,193	0,054	0,330	0,055	0,164	0,048
	132	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295

	133	0,300	0,155	0,259	0,114	0,291	0,118	0,249	0,090	0,294	0,130	0,253	0,098	0,287	0,102	0,245	0,079
	134	0,276	0,350	0,201	0,275	0,260	0,282	0,184	0,230	0,265	0,305	0,189	0,245	0,253	0,253	0,176	0,211
	135	0,256	0,369	0,215	0,238	0,247	0,252	0,205	0,162	0,250	0,290	0,209	0,187	0,243	0,200	0,201	0,129
	136	0,307	0,494	0,119	0,303	0,267	0,323	0,074	0,192	0,280	0,379	0,089	0,228	0,249	0,248	0,055	0,143
	137	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	138	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	139	0,180	0,302	0,279	0,310	0,201	0,309	0,302	0,314	0,194	0,307	0,295	0,313	0,210	0,312	0,312	0,316
	140	0,234	0,320	0,216	0,372	0,230	0,366	0,211	0,402	0,231	0,351	0,213	0,392	0,228	0,387	0,209	0,415
	141	0,226	0,284	0,271	0,203	0,235	0,211	0,282	0,155	0,232	0,235	0,278	0,171	0,240	0,179	0,286	0,134
	142	0,224	0,208	0,292	0,213	0,238	0,212	0,308	0,216	0,233	0,211	0,302	0,215	0,244	0,214	0,315	0,217
	143	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	144	0,303	0,299	0,197	0,191	0,280	0,202	0,171	0,128	0,288	0,234	0,180	0,149	0,270	0,160	0,160	0,100
	145	0,167	0,395	0,240	0,469	0,183	0,461	0,257	0,511	0,178	0,439	0,251	0,497	0,189	0,490	0,264	0,530
	146	0,226	0,284	0,271	0,203	0,235	0,211	0,282	0,155	0,232	0,235	0,278	0,171	0,240	0,179	0,286	0,134
	147	0,334	0,247	0,175	0,235	0,301	0,236	0,137	0,228	0,312	0,239	0,149	0,230	0,286	0,231	0,120	0,224
	148	0,162	0,107	0,396	0,125	0,211	0,123	0,451	0,135	0,195	0,118	0,433	0,132	0,233	0,130	0,476	0,139
	149	0,154	0,315	0,285	0,378	0,182	0,372	0,316	0,415	0,172	0,353	0,306	0,403	0,194	0,396	0,330	0,431
	150	0,162	0,107	0,396	0,125	0,211	0,123	0,451	0,135	0,195	0,118	0,433	0,132	0,233	0,130	0,476	0,139
	151	0,274	0,216	0,229	0,297	0,265	0,289	0,218	0,345	0,268	0,265	0,222	0,329	0,260	0,321	0,214	0,366
	152	0,334	0,247	0,175	0,235	0,301	0,236	0,137	0,228	0,312	0,239	0,149	0,230	0,286	0,231	0,120	0,224
	153	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	154	0,352	0,077	0,243	0,069	0,329	0,070	0,218	0,065	0,337	0,073	0,226	0,066	0,319	0,067	0,206	0,062
	155	0,189	0,208	0,295	0,316	0,212	0,305	0,321	0,379	0,204	0,273	0,312	0,358	0,222	0,347	0,332	0,407
	156	0,110	0,253	0,341	0,398	0,159	0,383	0,396	0,483	0,143	0,341	0,378	0,455	0,181	0,440	0,420	0,520
	157	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	158	0,226	0,284	0,271	0,203	0,235	0,211	0,282	0,155	0,232	0,235	0,278	0,171	0,240	0,179	0,286	0,134
	159	0,224	0,208	0,292	0,213	0,238	0,212	0,308	0,216	0,233	0,211	0,302	0,215	0,244	0,214	0,315	0,217
	160	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499

	161	0,303	0,299	0,197	0,191	0,280	0,202	0,171	0,128	0,288	0,234	0,180	0,149	0,270	0,160	0,160	0,100
	162	0,302	0,457	0,145	0,299	0,268	0,315	0,108	0,206	0,279	0,361	0,120	0,236	0,254	0,253	0,092	0,166
	163	0,290	0,135	0,255	0,179	0,282	0,175	0,246	0,205	0,285	0,162	0,249	0,196	0,279	0,192	0,243	0,216
	164	0,180	0,277	0,262	0,430	0,198	0,414	0,281	0,519	0,192	0,369	0,275	0,490	0,205	0,474	0,290	0,558
	165	0,454	0,083	0,155	0,061	0,391	0,063	0,084	0,048	0,411	0,070	0,107	0,052	0,363	0,054	0,053	0,042
	166	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	167	0,189	0,360	0,250	0,365	0,202	0,364	0,265	0,367	0,198	0,363	0,260	0,366	0,208	0,366	0,271	0,369
	168	0,164	0,236	0,323	0,248	0,197	0,247	0,361	0,255	0,186	0,244	0,349	0,253	0,212	0,252	0,378	0,259
	169	0,226	0,284	0,271	0,203	0,235	0,211	0,282	0,155	0,232	0,235	0,278	0,171	0,240	0,179	0,286	0,134
	170	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090
	171	0,307	0,494	0,119	0,303	0,267	0,323	0,074	0,192	0,280	0,379	0,089	0,228	0,249	0,248	0,055	0,143
	172	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	173	0,302	0,457	0,145	0,299	0,268	0,315	0,108	0,206	0,279	0,361	0,120	0,236	0,254	0,253	0,092	0,166
	174	0,236	0,071	0,345	0,079	0,259	0,078	0,370	0,083	0,251	0,075	0,362	0,082	0,269	0,081	0,382	0,086
	175	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	176	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410
	177	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090
	178	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	179	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410
	180	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	181	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410	0,210	0,410
	182	0,191	0,207	0,331	0,158	0,221	0,163	0,365	0,129	0,211	0,177	0,354	0,138	0,234	0,143	0,379	0,117
	183	0,303	0,299	0,197	0,191	0,280	0,202	0,171	0,128	0,288	0,234	0,180	0,149	0,270	0,160	0,160	0,100
	184	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	185	0,208	0,060	0,367	0,072	0,241	0,071	0,405	0,079	0,230	0,068	0,393	0,077	0,256	0,076	0,422	0,083
	186	0,409	0,220	0,142	0,140	0,352	0,148	0,078	0,093	0,371	0,171	0,099	0,109	0,327	0,117	0,051	0,073
	187	0,167	0,395	0,240	0,469	0,183	0,461	0,257	0,511	0,178	0,439	0,251	0,497	0,189	0,490	0,264	0,530
	188	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090

	189	0,208	0,060	0,367	0,072	0,241	0,071	0,405	0,079	0,230	0,068	0,393	0,077	0,256	0,076	0,422	0,083
	190	0,409	0,220	0,142	0,140	0,352	0,148	0,078	0,093	0,371	0,171	0,099	0,109	0,327	0,117	0,051	0,073
	191	0,307	0,494	0,119	0,303	0,267	0,323	0,074	0,192	0,280	0,379	0,089	0,228	0,249	0,248	0,055	0,143
	192	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	193	0,162	0,107	0,396	0,125	0,211	0,123	0,451	0,135	0,195	0,118	0,433	0,132	0,233	0,130	0,476	0,139
	194	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	195	0,180	0,302	0,279	0,310	0,201	0,309	0,302	0,314	0,194	0,307	0,295	0,313	0,210	0,312	0,312	0,316
	196	0,162	0,107	0,396	0,125	0,211	0,123	0,451	0,135	0,195	0,118	0,433	0,132	0,233	0,130	0,476	0,139
	197	0,454	0,083	0,155	0,061	0,391	0,063	0,084	0,048	0,411	0,070	0,107	0,052	0,363	0,054	0,053	0,042
	198	0,226	0,284	0,271	0,203	0,235	0,211	0,282	0,155	0,232	0,235	0,278	0,171	0,240	0,179	0,286	0,134
	199	0,172	0,167	0,357	0,134	0,211	0,138	0,401	0,115	0,199	0,147	0,386	0,121	0,229	0,125	0,420	0,107
	200	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090
	201	0,290	0,135	0,255	0,179	0,282	0,175	0,246	0,205	0,285	0,162	0,249	0,196	0,279	0,192	0,243	0,216
	202	0,167	0,395	0,240	0,469	0,183	0,461	0,257	0,511	0,178	0,439	0,251	0,497	0,189	0,490	0,264	0,530
	203	0,256	0,369	0,215	0,238	0,247	0,252	0,205	0,162	0,250	0,290	0,209	0,187	0,243	0,200	0,201	0,129
	204	0,167	0,395	0,240	0,469	0,183	0,461	0,257	0,511	0,178	0,439	0,251	0,497	0,189	0,490	0,264	0,530
	205	0,378	0,071	0,219	0,059	0,345	0,060	0,181	0,052	0,356	0,063	0,193	0,054	0,330	0,055	0,164	0,048
	206	0,172	0,167	0,357	0,134	0,211	0,138	0,401	0,115	0,199	0,147	0,386	0,121	0,229	0,125	0,420	0,107
	207	0,245	0,457	0,172	0,383	0,229	0,391	0,155	0,341	0,234	0,413	0,161	0,355	0,223	0,362	0,148	0,322
	208	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	209	0,208	0,060	0,367	0,072	0,241	0,071	0,405	0,079	0,230	0,068	0,393	0,077	0,256	0,076	0,422	0,083
	210	0,370	0,140	0,185	0,173	0,331	0,169	0,141	0,192	0,343	0,160	0,156	0,186	0,313	0,182	0,122	0,200
	211	0,180	0,302	0,279	0,310	0,201	0,309	0,302	0,314	0,194	0,307	0,295	0,313	0,210	0,312	0,312	0,316
	212	0,234	0,320	0,216	0,372	0,230	0,366	0,211	0,402	0,231	0,351	0,213	0,392	0,228	0,387	0,209	0,415
	213	0,294	0,368	0,163	0,305	0,266	0,311	0,132	0,268	0,276	0,330	0,142	0,280	0,254	0,287	0,118	0,252
	214	0,191	0,207	0,331	0,158	0,221	0,163	0,365	0,129	0,211	0,177	0,354	0,138	0,234	0,143	0,379	0,117
	215	0,191	0,207	0,331	0,158	0,221	0,163	0,365	0,129	0,211	0,177	0,354	0,138	0,234	0,143	0,379	0,117
	216	0,162	0,107	0,396	0,125	0,211	0,123	0,451	0,135	0,195	0,118	0,433	0,132	0,233	0,130	0,476	0,139

	217	0,412	0,122	0,178	0,104	0,363	0,106	0,123	0,094	0,379	0,111	0,141	0,097	0,341	0,099	0,098	0,090
	218	0,180	0,302	0,279	0,310	0,201	0,309	0,302	0,314	0,194	0,307	0,295	0,313	0,210	0,312	0,312	0,316
	219	0,167	0,395	0,240	0,469	0,183	0,461	0,257	0,511	0,178	0,439	0,251	0,497	0,189	0,490	0,264	0,530
	220	0,302	0,457	0,145	0,299	0,268	0,315	0,108	0,206	0,279	0,361	0,120	0,236	0,254	0,253	0,092	0,166
	221	0,208	0,060	0,367	0,072	0,241	0,071	0,405	0,079	0,230	0,068	0,393	0,077	0,256	0,076	0,422	0,083
	222	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	223	0,371	0,293	0,145	0,191	0,323	0,201	0,091	0,131	0,339	0,231	0,109	0,151	0,302	0,161	0,068	0,105
	224	0,214	0,363	0,232	0,311	0,218	0,317	0,237	0,281	0,217	0,332	0,235	0,291	0,220	0,296	0,239	0,268
	225	0,232	0,152	0,324	0,120	0,251	0,124	0,345	0,102	0,245	0,133	0,338	0,108	0,260	0,111	0,355	0,094
	226	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	227	0,297	0,218	0,231	0,151	0,283	0,158	0,216	0,112	0,288	0,177	0,221	0,125	0,277	0,132	0,209	0,095
	228	0,358	0,375	0,127	0,230	0,309	0,245	0,072	0,145	0,325	0,287	0,090	0,173	0,287	0,188	0,048	0,108
	229	0,362	0,376	0,128	0,230	0,313	0,245	0,073	0,146	0,329	0,288	0,091	0,173	0,291	0,188	0,048	0,109
	230	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	231	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	232	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	233	0,154	0,315	0,285	0,378	0,182	0,372	0,316	0,415	0,172	0,353	0,306	0,403	0,194	0,396	0,330	0,431
	234	0,367	0,217	0,173	0,202	0,326	0,204	0,127	0,194	0,339	0,208	0,142	0,196	0,308	0,198	0,107	0,190
	235	0,245	0,457	0,172	0,383	0,229	0,391	0,155	0,341	0,234	0,413	0,161	0,355	0,223	0,362	0,148	0,322
	236	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	237	0,138	0,073	0,420	0,094	0,198	0,092	0,487	0,106	0,178	0,085	0,465	0,102	0,224	0,100	0,516	0,112
	238	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	239	0,348	0,411	0,117	0,246	0,299	0,263	0,062	0,151	0,315	0,311	0,080	0,182	0,277	0,199	0,038	0,109
	240	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	241	0,199	0,129	0,334	0,186	0,227	0,181	0,366	0,220	0,218	0,164	0,355	0,209	0,240	0,203	0,380	0,234
	242	0,409	0,220	0,142	0,140	0,352	0,148	0,078	0,093	0,371	0,171	0,099	0,109	0,327	0,117	0,051	0,073
	243	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	244	0,290	0,135	0,255	0,179	0,282	0,175	0,246	0,205	0,285	0,162	0,249	0,196	0,279	0,192	0,243	0,216

	245	0,307	0,494	0,119	0,303	0,267	0,323	0,074	0,192	0,280	0,379	0,089	0,228	0,249	0,248	0,055	0,143
	246	0,227	0,161	0,293	0,228	0,241	0,221	0,308	0,267	0,236	0,202	0,303	0,254	0,247	0,247	0,315	0,284
	247	0,302	0,457	0,145	0,299	0,268	0,315	0,108	0,206	0,279	0,361	0,120	0,236	0,254	0,253	0,092	0,166
	248	0,274	0,216	0,229	0,297	0,265	0,289	0,218	0,345	0,268	0,265	0,222	0,329	0,260	0,321	0,214	0,366
	249	0,129	0,207	0,355	0,309	0,177	0,299	0,409	0,369	0,161	0,269	0,391	0,349	0,198	0,339	0,432	0,395
	250	0,110	0,253	0,341	0,398	0,159	0,383	0,396	0,483	0,143	0,341	0,378	0,455	0,181	0,440	0,420	0,520
	251	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090
	252	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	253	0,307	0,494	0,119	0,303	0,267	0,323	0,074	0,192	0,280	0,379	0,089	0,228	0,249	0,248	0,055	0,143
	254	0,343	0,178	0,208	0,121	0,315	0,126	0,176	0,087	0,324	0,143	0,187	0,098	0,302	0,104	0,162	0,073
	255	0,286	0,309	0,187	0,301	0,265	0,302	0,164	0,297	0,272	0,304	0,171	0,298	0,256	0,299	0,154	0,295
	256	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090	0,290	0,090
	257	0,236	0,071	0,345	0,079	0,259	0,078	0,370	0,083	0,251	0,075	0,362	0,082	0,269	0,081	0,382	0,086
	258	0,274	0,216	0,229	0,297	0,265	0,289	0,218	0,345	0,268	0,265	0,222	0,329	0,260	0,321	0,214	0,366
	259	0,226	0,284	0,271	0,203	0,235	0,211	0,282	0,155	0,232	0,235	0,278	0,171	0,240	0,179	0,286	0,134
	260	0,167	0,395	0,240	0,469	0,183	0,461	0,257	0,511	0,178	0,439	0,251	0,497	0,189	0,490	0,264	0,530
	261	0,100	0,272	0,331	0,437	0,149	0,420	0,386	0,532	0,133	0,372	0,368	0,501	0,171	0,484	0,410	0,574
	262	0,371	0,293	0,145	0,191	0,323	0,201	0,091	0,131	0,339	0,231	0,109	0,151	0,302	0,161	0,068	0,105
	263	0,227	0,161	0,293	0,228	0,241	0,221	0,308	0,267	0,236	0,202	0,303	0,254	0,247	0,247	0,315	0,284
	264	0,191	0,207	0,331	0,158	0,221	0,163	0,365	0,129	0,211	0,177	0,354	0,138	0,234	0,143	0,379	0,117
	265	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	266	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	267	0,236	0,071	0,345	0,079	0,259	0,078	0,370	0,083	0,251	0,075	0,362	0,082	0,269	0,081	0,382	0,086
	268	0,226	0,284	0,271	0,203	0,235	0,211	0,282	0,155	0,232	0,235	0,278	0,171	0,240	0,179	0,286	0,134
	269	0,274	0,216	0,229	0,297	0,265	0,289	0,218	0,345	0,268	0,265	0,222	0,329	0,260	0,321	0,214	0,366
	270	0,302	0,457	0,145	0,299	0,268	0,315	0,108	0,206	0,279	0,361	0,120	0,236	0,254	0,253	0,092	0,166
	271	0,180	0,302	0,279	0,310	0,201	0,309	0,302	0,314	0,194	0,307	0,295	0,313	0,210	0,312	0,312	0,316
	272	0,303	0,299	0,197	0,191	0,280	0,202	0,171	0,128	0,288	0,234	0,180	0,149	0,270	0,160	0,160	0,100

	273	0,412	0,122	0,178	0,104	0,363	0,106	0,123	0,094	0,379	0,111	0,141	0,097	0,341	0,099	0,098	0,090
	274	0,191	0,207	0,331	0,158	0,221	0,163	0,365	0,129	0,211	0,177	0,354	0,138	0,234	0,143	0,379	0,117
	275	0,227	0,161	0,293	0,228	0,241	0,221	0,308	0,267	0,236	0,202	0,303	0,254	0,247	0,247	0,315	0,284
	276	0,226	0,284	0,271	0,203	0,235	0,211	0,282	0,155	0,232	0,235	0,278	0,171	0,240	0,179	0,286	0,134
	277	0,412	0,122	0,178	0,104	0,363	0,106	0,123	0,094	0,379	0,111	0,141	0,097	0,341	0,099	0,098	0,090
	278	0,214	0,363	0,232	0,311	0,218	0,317	0,237	0,281	0,217	0,332	0,235	0,291	0,220	0,296	0,239	0,268
	279	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	280	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	281	0,256	0,369	0,215	0,238	0,247	0,252	0,205	0,162	0,250	0,290	0,209	0,187	0,243	0,200	0,201	0,129
	282	0,274	0,216	0,229	0,297	0,265	0,289	0,218	0,345	0,268	0,265	0,222	0,329	0,260	0,321	0,214	0,366
	283	0,162	0,107	0,396	0,125	0,211	0,123	0,451	0,135	0,195	0,118	0,433	0,132	0,233	0,130	0,476	0,139
	284	0,227	0,161	0,293	0,228	0,241	0,221	0,308	0,267	0,236	0,202	0,303	0,254	0,247	0,247	0,315	0,284
	285	0,274	0,216	0,229	0,297	0,265	0,289	0,218	0,345	0,268	0,265	0,222	0,329	0,260	0,321	0,214	0,366
	286	0,172	0,167	0,357	0,134	0,211	0,138	0,401	0,115	0,199	0,147	0,386	0,121	0,229	0,125	0,420	0,107
	287	0,440	0,090	0,158	0,069	0,380	0,071	0,091	0,057	0,400	0,078	0,113	0,061	0,354	0,063	0,062	0,051
	288	0,129	0,207	0,355	0,309	0,177	0,299	0,409	0,369	0,161	0,269	0,391	0,349	0,198	0,339	0,432	0,395
	289	0,274	0,216	0,229	0,297	0,265	0,289	0,218	0,345	0,268	0,265	0,222	0,329	0,260	0,321	0,214	0,366
	290	0,256	0,369	0,215	0,238	0,247	0,252	0,205	0,162	0,250	0,290	0,209	0,187	0,243	0,200	0,201	0,129
	291	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	292	0,227	0,161	0,293	0,228	0,241	0,221	0,308	0,267	0,236	0,202	0,303	0,254	0,247	0,247	0,315	0,284
	293	0,297	0,218	0,231	0,151	0,283	0,158	0,216	0,112	0,288	0,177	0,221	0,125	0,277	0,132	0,209	0,095
	294	0,134	0,324	0,291	0,482	0,168	0,466	0,328	0,575	0,157	0,420	0,316	0,545	0,182	0,528	0,344	0,615
	295	0,358	0,375	0,127	0,230	0,309	0,245	0,072	0,145	0,325	0,287	0,090	0,173	0,287	0,188	0,048	0,108
	296	0,341	0,165	0,201	0,214	0,311	0,209	0,167	0,243	0,321	0,195	0,178	0,234	0,298	0,229	0,153	0,255
	297	0,129	0,207	0,355	0,309	0,177	0,299	0,409	0,369	0,161	0,269	0,391	0,349	0,198	0,339	0,432	0,395
	298	0,307	0,494	0,119	0,303	0,267	0,323	0,074	0,192	0,280	0,379	0,089	0,228	0,249	0,248	0,055	0,143
	299	0,212	0,259	0,253	0,390	0,221	0,376	0,263	0,466	0,218	0,338	0,259	0,441	0,225	0,428	0,267	0,499
	300	0,313	0,511	0,113	0,309	0,270	0,330	0,066	0,191	0,284	0,389	0,082	0,229	0,252	0,250	0,045	0,139

EK-6. 300 çalışan için yokluk verileri

Çalışanlar	Planlı Yokluk		Plansız Yokluk	
	Kişisel Hastalık nedeniyle planlı yokluk	Çevresel nedenlerle planlı yokluk	Kişisel Hastalık nedeni ile plansız yokluk	Diğer nedenlerle plansız yokluk
1	0,245	0,264	0,247	0,247
2	0,244	0,234	0,313	0,313
3	0,254	0,269	0,207	0,207
4	0,264	0,227	0,309	0,311
5	0,236	0,206	0,373	0,373
6	0,262	0,235	0,233	0,232
7	0,266	0,251	0,213	0,213
8	0,284	0,309	0,070	0,070
9	0,253	0,285	0,210	0,211
10	0,238	0,228	0,378	0,380
11	0,242	0,220	0,309	0,309
12	0,222	0,226	0,367	0,368
13	0,212	0,242	0,310	0,310
14	0,279	0,247	0,162	0,161
15	0,224	0,246	0,302	0,302
16	0,297	0,258	0,164	0,164
17	0,250	0,250	0,250	0,250
18	0,255	0,203	0,385	0,387
19	0,246	0,256	0,290	0,291
20	0,226	0,220	0,408	0,409
21	0,260	0,265	0,174	0,175
22	0,224	0,246	0,302	0,302
23	0,238	0,210	0,349	0,349
24	0,216	0,230	0,360	0,360
25	0,213	0,196	0,462	0,463
26	0,288	0,246	0,137	0,137
27	0,274	0,266	0,132	0,131
28	0,232	0,197	0,468	0,471
29	0,248	0,252	0,266	0,266
30	0,236	0,246	0,267	0,267
31	0,232	0,239	0,343	0,344
32	0,258	0,238	0,270	0,271
33	0,289	0,269	0,123	0,123
34	0,290	0,230	0,225	0,226
35	0,244	0,234	0,313	0,313
36	0,213	0,196	0,462	0,463
37	0,268	0,276	0,175	0,176
38	0,199	0,216	0,390	0,389
39	0,253	0,242	0,305	0,306
40	0,238	0,228	0,378	0,380

41	0,204	0,239	0,313	0,310
42	0,250	0,250	0,250	0,250
43	0,204	0,204	0,434	0,434
44	0,244	0,234	0,313	0,313
45	0,203	0,255	0,261	0,259
46	0,246	0,279	0,170	0,169
47	0,254	0,225	0,359	0,361
48	0,253	0,242	0,305	0,306
49	0,266	0,251	0,213	0,213
50	0,236	0,246	0,267	0,267
51	0,256	0,271	0,157	0,156
52	0,188	0,233	0,327	0,324
53	0,254	0,227	0,313	0,314
54	0,242	0,262	0,230	0,229
55	0,244	0,234	0,313	0,313
56	0,210	0,210	0,410	0,410
57	0,308	0,255	0,123	0,123
58	0,249	0,290	0,151	0,150
59	0,274	0,284	0,118	0,117
60	0,229	0,246	0,281	0,280
61	0,230	0,240	0,250	0,248
62	0,250	0,250	0,250	0,250
63	0,237	0,204	0,413	0,414
64	0,272	0,239	0,258	0,259
65	0,256	0,271	0,157	0,156
66	0,266	0,251	0,213	0,213
67	0,268	0,276	0,175	0,176
68	0,249	0,290	0,151	0,150
69	0,274	0,266	0,132	0,131
70	0,254	0,225	0,359	0,361
71	0,253	0,285	0,210	0,211
72	0,307	0,271	0,071	0,072
73	0,236	0,206	0,373	0,373
74	0,252	0,248	0,234	0,234
75	0,237	0,204	0,413	0,414
76	0,264	0,327	0,071	0,071
77	0,250	0,250	0,250	0,250
78	0,314	0,251	0,092	0,092
79	0,240	0,252	0,281	0,281
80	0,213	0,265	0,243	0,241
81	0,254	0,225	0,359	0,361
82	0,255	0,203	0,385	0,387
83	0,268	0,276	0,175	0,176
84	0,321	0,254	0,085	0,085
85	0,283	0,253	0,181	0,182
86	0,224	0,246	0,302	0,302

87	0,290	0,290	0,090	0,090
88	0,242	0,262	0,230	0,229
89	0,283	0,253	0,181	0,182
90	0,259	0,289	0,126	0,125
91	0,256	0,232	0,307	0,308
92	0,232	0,239	0,343	0,344
93	0,224	0,246	0,302	0,302
94	0,224	0,246	0,302	0,302
95	0,230	0,259	0,230	0,228
96	0,268	0,276	0,175	0,176
97	0,230	0,240	0,250	0,248
98	0,224	0,246	0,302	0,302
99	0,253	0,285	0,210	0,211
100	0,217	0,235	0,266	0,264
101	0,259	0,289	0,126	0,125
102	0,192	0,216	0,376	0,375
103	0,283	0,253	0,181	0,182
104	0,263	0,227	0,247	0,248
105	0,297	0,258	0,164	0,164
106	0,250	0,250	0,250	0,250
107	0,255	0,203	0,385	0,387
108	0,253	0,285	0,210	0,211
109	0,268	0,276	0,175	0,176
110	0,189	0,231	0,320	0,317
111	0,290	0,290	0,090	0,090
112	0,321	0,254	0,085	0,085
113	0,235	0,271	0,236	0,235
114	0,254	0,225	0,359	0,361
115	0,199	0,216	0,390	0,389
116	0,279	0,315	0,060	0,059
117	0,263	0,227	0,247	0,248
118	0,235	0,271	0,236	0,235
119	0,212	0,188	0,483	0,484
120	0,211	0,244	0,320	0,319
121	0,199	0,216	0,390	0,389
122	0,266	0,251	0,213	0,213
123	0,210	0,210	0,410	0,410
124	0,263	0,227	0,247	0,248
125	0,236	0,260	0,200	0,199
126	0,192	0,216	0,376	0,375
127	0,297	0,258	0,164	0,164
128	0,245	0,309	0,120	0,119
129	0,236	0,206	0,373	0,373
130	0,242	0,302	0,147	0,146
131	0,279	0,315	0,060	0,059
132	0,224	0,246	0,302	0,302

133	0,274	0,284	0,118	0,117
134	0,229	0,246	0,281	0,280
135	0,230	0,240	0,250	0,248
136	0,189	0,231	0,320	0,317
137	0,253	0,285	0,210	0,211
138	0,238	0,228	0,378	0,380
139	0,242	0,220	0,309	0,309
140	0,222	0,226	0,367	0,368
141	0,254	0,244	0,210	0,209
142	0,266	0,251	0,213	0,213
143	0,238	0,228	0,378	0,380
144	0,236	0,260	0,200	0,199
145	0,213	0,196	0,462	0,463
146	0,254	0,244	0,210	0,209
147	0,235	0,271	0,236	0,235
148	0,308	0,255	0,123	0,123
149	0,236	0,206	0,373	0,373
150	0,308	0,255	0,123	0,123
151	0,246	0,256	0,290	0,291
152	0,235	0,271	0,236	0,235
153	0,232	0,197	0,468	0,471
154	0,284	0,309	0,070	0,070
155	0,256	0,232	0,307	0,308
156	0,255	0,203	0,385	0,387
157	0,250	0,250	0,250	0,250
158	0,254	0,244	0,210	0,209
159	0,266	0,251	0,213	0,213
160	0,238	0,228	0,378	0,380
161	0,236	0,260	0,200	0,199
162	0,204	0,239	0,313	0,310
163	0,268	0,276	0,175	0,176
164	0,231	0,213	0,417	0,419
165	0,267	0,334	0,063	0,063
166	0,250	0,250	0,250	0,250
167	0,228	0,214	0,364	0,364
168	0,263	0,227	0,247	0,248
169	0,254	0,244	0,210	0,209
170	0,290	0,290	0,090	0,090
171	0,189	0,231	0,320	0,317
172	0,253	0,285	0,210	0,211
173	0,204	0,239	0,313	0,310
174	0,304	0,279	0,078	0,078
175	0,253	0,285	0,210	0,211
176	0,210	0,210	0,410	0,410
177	0,290	0,290	0,090	0,090
178	0,250	0,250	0,250	0,250

179	0,210	0,210	0,410	0,410
180	0,224	0,246	0,302	0,302
181	0,210	0,210	0,410	0,410
182	0,279	0,247	0,162	0,161
183	0,236	0,260	0,200	0,199
184	0,232	0,197	0,468	0,471
185	0,307	0,271	0,071	0,072
186	0,242	0,302	0,147	0,146
187	0,213	0,196	0,462	0,463
188	0,290	0,290	0,090	0,090
189	0,307	0,271	0,071	0,072
190	0,242	0,302	0,147	0,146
191	0,189	0,231	0,320	0,317
192	0,238	0,228	0,378	0,380
193	0,308	0,255	0,123	0,123
194	0,250	0,250	0,250	0,250
195	0,242	0,220	0,309	0,309
196	0,308	0,255	0,123	0,123
197	0,267	0,334	0,063	0,063
198	0,254	0,244	0,210	0,209
199	0,288	0,246	0,137	0,137
200	0,290	0,290	0,090	0,090
201	0,268	0,276	0,175	0,176
202	0,213	0,196	0,462	0,463
203	0,230	0,240	0,250	0,248
204	0,213	0,196	0,462	0,463
205	0,279	0,315	0,060	0,059
206	0,288	0,246	0,137	0,137
207	0,199	0,216	0,390	0,389
208	0,224	0,246	0,302	0,302
209	0,307	0,271	0,071	0,072
210	0,254	0,296	0,170	0,170
211	0,242	0,220	0,309	0,309
212	0,222	0,226	0,367	0,368
213	0,212	0,242	0,310	0,310
214	0,279	0,247	0,162	0,161
215	0,279	0,247	0,162	0,161
216	0,308	0,255	0,123	0,123
217	0,266	0,319	0,106	0,106
218	0,242	0,220	0,309	0,309
219	0,213	0,196	0,462	0,463
220	0,204	0,239	0,313	0,310
221	0,307	0,271	0,071	0,072
222	0,232	0,197	0,468	0,471
223	0,230	0,281	0,200	0,198
224	0,226	0,222	0,316	0,315

225	0,289	0,269	0,123	0,123
226	0,232	0,197	0,468	0,471
227	0,256	0,271	0,157	0,156
228	0,213	0,265	0,243	0,241
229	0,216	0,269	0,243	0,241
230	0,232	0,197	0,468	0,471
231	0,232	0,197	0,468	0,471
232	0,253	0,285	0,210	0,211
233	0,236	0,206	0,373	0,373
234	0,246	0,289	0,203	0,203
235	0,199	0,216	0,390	0,389
236	0,224	0,246	0,302	0,302
237	0,314	0,251	0,092	0,092
238	0,232	0,197	0,468	0,471
239	0,203	0,255	0,261	0,259
240	0,250	0,250	0,250	0,250
241	0,283	0,253	0,181	0,182
242	0,242	0,302	0,147	0,146
243	0,232	0,197	0,468	0,471
244	0,268	0,276	0,175	0,176
245	0,189	0,231	0,320	0,317
246	0,268	0,253	0,222	0,223
247	0,204	0,239	0,313	0,310
248	0,246	0,256	0,290	0,291
249	0,270	0,219	0,300	0,302
250	0,255	0,203	0,385	0,387
251	0,290	0,290	0,090	0,090
252	0,224	0,246	0,302	0,302
253	0,189	0,231	0,320	0,317
254	0,259	0,289	0,126	0,125
255	0,224	0,246	0,302	0,302
256	0,290	0,290	0,090	0,090
257	0,304	0,279	0,078	0,078
258	0,246	0,256	0,290	0,291
259	0,254	0,244	0,210	0,209
260	0,213	0,196	0,462	0,463
261	0,245	0,193	0,422	0,424
262	0,230	0,281	0,200	0,198
263	0,268	0,253	0,222	0,223
264	0,279	0,247	0,162	0,161
265	0,250	0,250	0,250	0,250
266	0,238	0,228	0,378	0,380
267	0,304	0,279	0,078	0,078
268	0,254	0,244	0,210	0,209
269	0,246	0,256	0,290	0,291
270	0,204	0,239	0,313	0,310

271	0,242	0,220	0,309	0,309
272	0,236	0,260	0,200	0,199
273	0,266	0,319	0,106	0,106
274	0,279	0,247	0,162	0,161
275	0,268	0,253	0,222	0,223
276	0,254	0,244	0,210	0,209
277	0,266	0,319	0,106	0,106
278	0,226	0,222	0,316	0,315
279	0,250	0,250	0,250	0,250
280	0,238	0,228	0,378	0,380
281	0,230	0,240	0,250	0,248
282	0,246	0,256	0,290	0,291
283	0,308	0,255	0,123	0,123
284	0,268	0,253	0,222	0,223
285	0,246	0,256	0,290	0,291
286	0,288	0,246	0,137	0,137
287	0,264	0,327	0,071	0,071
288	0,270	0,219	0,300	0,302
289	0,246	0,256	0,290	0,291
290	0,230	0,240	0,250	0,248
291	0,238	0,228	0,378	0,380
292	0,268	0,253	0,222	0,223
293	0,256	0,271	0,157	0,156
294	0,232	0,197	0,468	0,471
295	0,213	0,265	0,243	0,241
296	0,253	0,285	0,210	0,211
297	0,270	0,219	0,300	0,302
298	0,189	0,231	0,320	0,317
299	0,238	0,228	0,378	0,380
300	0,188	0,233	0,327	0,324

EK-7. Matematiksel modellerde kullanılan parametre değerleri

Çalışanlar	Maliyetler	Fayda	Planlı Yokluk		Plansız Yokluk	
			p(i)	q(i)	r(i)	s(i)
1	4454	1	0,245	0,264	0,247	0,247
2	6933	6	0,244	0,234	0,313	0,313
3	6933	7	0,254	0,269	0,207	0,207
4	6133	3	0,264	0,227	0,309	0,311
5	7333	9	0,236	0,206	0,373	0,373
6	6133	5	0,262	0,235	0,233	0,232
7	7333	10	0,266	0,251	0,213	0,213
8	5333	2	0,284	0,309	0,070	0,070
9	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
10	6933	7	0,238	0,228	0,378	0,380
11	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
12	5333	2	0,222	0,226	0,367	0,368
13	7333	10	0,212	0,242	0,310	0,310
14	6133	5	0,279	0,247	0,162	0,161
15	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
16	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
17	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
18	6133	3	0,255	0,203	0,385	0,387
19	5333	2	0,246	0,256	0,290	0,291
20	6133	5	0,226	0,220	0,408	0,409
21	6933	6	0,260	0,265	0,174	0,175
22	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
23	6133	4	0,238	0,210	0,349	0,349
24	5333	2	0,216	0,230	0,360	0,360
25	4454	1	0,213	0,196	0,462	0,463
26	6133	3	0,288	0,246	0,137	0,137
27	7333	10	0,274	0,266	0,132	0,131
28	4454	1	0,232	0,197	0,468	0,471
29	6933	6	0,248	0,252	0,266	0,266
30	5333	2	0,236	0,246	0,267	0,267
31	6133	4	0,232	0,239	0,343	0,344
32	6933	6	0,258	0,238	0,270	0,271
33	6133	3	0,289	0,269	0,123	0,123
34	6933	7	0,290	0,230	0,225	0,226
35	5333	2	0,244	0,234	0,313	0,313
36	4454	1	0,213	0,196	0,462	0,463
37	6933	7	0,268	0,276	0,175	0,176
38	6133	5	0,199	0,216	0,390	0,389
39	7333	9	0,253	0,242	0,305	0,306
40	6133	3	0,238	0,228	0,378	0,380
41	4454	1	0,204	0,239	0,313	0,310
42	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250

43	6133	4	0,204	0,204	0,434	0,434
44	6933	6	0,244	0,234	0,313	0,313
45	6933	6	0,203	0,255	0,261	0,259
46	6933	8	0,246	0,279	0,170	0,169
47	5333	2	0,254	0,225	0,359	0,361
48	6133	4	0,253	0,242	0,305	0,306
49	4454	1	0,266	0,251	0,213	0,213
50	6133	3	0,236	0,246	0,267	0,267
51	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
52	6133	5	0,188	0,233	0,327	0,324
53	6933	8	0,254	0,227	0,313	0,314
54	5333	2	0,242	0,262	0,230	0,229
55	6933	6	0,244	0,234	0,313	0,313
56	4454	1	0,210	0,210	0,410	0,410
57	6133	4	0,308	0,255	0,123	0,123
58	6133	3	0,249	0,290	0,151	0,150
59	4454	1	0,274	0,284	0,118	0,117
60	6133	4	0,229	0,246	0,281	0,280
61	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
62	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
63	6133	5	0,237	0,204	0,413	0,414
64	5333	2	0,272	0,239	0,258	0,259
65	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
66	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
67	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
68	6133	4	0,249	0,290	0,151	0,150
69	6133	4	0,274	0,266	0,132	0,131
70	5333	2	0,254	0,225	0,359	0,361
71	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
72	7333	10	0,307	0,271	0,071	0,072
73	6933	6	0,236	0,206	0,373	0,373
74	5333	2	0,252	0,248	0,234	0,234
75	6133	3	0,237	0,204	0,413	0,414
76	4454	1	0,264	0,327	0,071	0,071
77	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
78	6133	3	0,314	0,251	0,092	0,092
79	4454	1	0,240	0,252	0,281	0,281
80	6133	4	0,213	0,265	0,243	0,241
81	5333	2	0,254	0,225	0,359	0,361
82	6933	7	0,255	0,203	0,385	0,387
83	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
84	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
85	5333	2	0,283	0,253	0,181	0,182
86	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
87	4454	1	0,290	0,290	0,090	0,090
88	7333	9	0,242	0,262	0,230	0,229

89	6133	5	0,283	0,253	0,181	0,182
90	7333	10	0,259	0,289	0,126	0,125
91	6933	6	0,256	0,232	0,307	0,308
92	5333	2	0,232	0,239	0,343	0,344
93	6133	4	0,224	0,246	0,302	0,302
94	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
95	6933	7	0,230	0,259	0,230	0,228
96	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
97	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
98	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
99	5333	2	0,253	0,285	0,210	0,211
100	6933	6	0,217	0,235	0,266	0,264
101	6133	3	0,259	0,289	0,126	0,125
102	6133	4	0,192	0,216	0,376	0,375
103	4454	1	0,283	0,253	0,181	0,182
104	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
105	4454	1	0,297	0,258	0,164	0,164
106	6933	7	0,250	0,250	0,250	0,250
107	6133	4	0,255	0,203	0,385	0,387
108	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
109	6133	5	0,268	0,276	0,175	0,176
110	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
111	6933	8	0,290	0,290	0,090	0,090
112	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
113	5333	2	0,235	0,271	0,236	0,235
114	4454	1	0,254	0,225	0,359	0,361
115	5333	2	0,199	0,216	0,390	0,389
116	4454	1	0,279	0,315	0,060	0,059
117	7333	10	0,263	0,227	0,247	0,248
118	4454	1	0,235	0,271	0,236	0,235
119	6933	6	0,212	0,188	0,483	0,484
120	5333	2	0,211	0,244	0,320	0,319
121	7333	9	0,199	0,216	0,390	0,389
122	6133	5	0,266	0,251	0,213	0,213
123	4454	1	0,210	0,210	0,410	0,410
124	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
125	6133	3	0,236	0,260	0,200	0,199
126	7333	10	0,192	0,216	0,376	0,375
127	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
128	6133	3	0,245	0,309	0,120	0,119
129	4454	1	0,236	0,206	0,373	0,373
130	6133	5	0,242	0,302	0,147	0,146
131	6933	8	0,279	0,315	0,060	0,059
132	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
133	6133	4	0,274	0,284	0,118	0,117
134	6933	6	0,229	0,246	0,281	0,280

135	6933	7	0,230	0,240	0,250	0,248
136	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
137	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
138	6933	7	0,238	0,228	0,378	0,380
139	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
140	5333	2	0,222	0,226	0,367	0,368
141	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
142	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
143	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
144	7333	9	0,236	0,260	0,200	0,199
145	5333	2	0,213	0,196	0,462	0,463
146	4454	1	0,254	0,244	0,210	0,209
147	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
148	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
149	7333	10	0,236	0,206	0,373	0,373
150	4454	1	0,308	0,255	0,123	0,123
151	6133	4	0,246	0,256	0,290	0,291
152	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
153	5333	2	0,232	0,197	0,468	0,471
154	4454	1	0,284	0,309	0,070	0,070
155	6133	4	0,256	0,232	0,307	0,308
156	6133	5	0,255	0,203	0,385	0,387
157	6133	3	0,250	0,250	0,250	0,250
158	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
159	6133	3	0,266	0,251	0,213	0,213
160	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
161	6133	4	0,236	0,260	0,200	0,199
162	5333	2	0,204	0,239	0,313	0,310
163	6133	4	0,268	0,276	0,175	0,176
164	4454	1	0,231	0,213	0,417	0,419
165	6133	5	0,267	0,334	0,063	0,063
166	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
167	5333	2	0,228	0,214	0,364	0,364
168	7333	9	0,263	0,227	0,247	0,248
169	6133	3	0,254	0,244	0,210	0,209
170	6933	7	0,290	0,290	0,090	0,090
171	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
172	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
173	7333	9	0,204	0,239	0,313	0,310
174	4454	1	0,304	0,279	0,078	0,078
175	6933	6	0,253	0,285	0,210	0,211
176	6133	5	0,210	0,210	0,410	0,410
177	6133	4	0,290	0,290	0,090	0,090
178	6133	5	0,250	0,250	0,250	0,250
179	4454	1	0,210	0,210	0,410	0,410
180	5333	2	0,224	0,246	0,302	0,302

181	6133	3	0,210	0,210	0,410	0,410
182	6933	6	0,279	0,247	0,162	0,161
183	6933	7	0,236	0,260	0,200	0,199
184	6133	3	0,232	0,197	0,468	0,471
185	5333	2	0,307	0,271	0,071	0,072
186	4454	1	0,242	0,302	0,147	0,146
187	6133	5	0,213	0,196	0,462	0,463
188	5333	2	0,290	0,290	0,090	0,090
189	6133	4	0,307	0,271	0,071	0,072
190	7333	9	0,242	0,302	0,147	0,146
191	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
192	6933	7	0,238	0,228	0,378	0,380
193	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
194	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
195	5333	2	0,242	0,220	0,309	0,309
196	6133	5	0,308	0,255	0,123	0,123
197	6133	3	0,267	0,334	0,063	0,063
198	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
199	4454	1	0,288	0,246	0,137	0,137
200	6133	3	0,290	0,290	0,090	0,090
201	13724	1	0,268	0,276	0,175	0,176
202	28000	7	0,213	0,196	0,462	0,463
203	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
204	16000	4	0,213	0,196	0,462	0,463
205	16000	3	0,279	0,315	0,060	0,059
206	13724	1	0,288	0,246	0,137	0,137
207	13724	2	0,199	0,216	0,390	0,389
208	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
209	32000	10	0,307	0,271	0,071	0,072
210	25333	6	0,254	0,296	0,170	0,170
211	13724	1	0,242	0,220	0,309	0,309
212	21333	5	0,222	0,226	0,367	0,368
213	28000	7	0,212	0,242	0,310	0,310
214	30000	9	0,279	0,247	0,162	0,161
215	13724	2	0,279	0,247	0,162	0,161
216	16000	4	0,308	0,255	0,123	0,123
217	25333	6	0,266	0,319	0,106	0,106
218	32000	10	0,242	0,220	0,309	0,309
219	28000	7	0,213	0,196	0,462	0,463
220	16000	3	0,204	0,239	0,313	0,310
221	13724	2	0,307	0,271	0,071	0,072
222	13724	1	0,232	0,197	0,468	0,471
223	28000	7	0,230	0,281	0,200	0,198
224	13724	1	0,226	0,222	0,316	0,315
225	16000	3	0,289	0,269	0,123	0,123
226	13724	2	0,232	0,197	0,468	0,471

227	13724	1	0,256	0,271	0,157	0,156
228	28000	8	0,213	0,265	0,243	0,241
229	16000	4	0,216	0,269	0,243	0,241
230	21333	5	0,232	0,197	0,468	0,471
231	25333	6	0,232	0,197	0,468	0,471
232	28000	7	0,253	0,285	0,210	0,211
233	30000	9	0,236	0,206	0,373	0,373
234	28000	8	0,246	0,289	0,203	0,203
235	21333	5	0,199	0,216	0,390	0,389
236	16000	3	0,224	0,246	0,302	0,302
237	13724	2	0,314	0,251	0,092	0,092
238	32000	10	0,232	0,197	0,468	0,471
239	13724	2	0,203	0,255	0,261	0,259
240	16000	4	0,250	0,250	0,250	0,250
241	21333	5	0,283	0,253	0,181	0,182
242	13724	2	0,242	0,302	0,147	0,146
243	28000	8	0,232	0,197	0,468	0,471
244	30000	9	0,268	0,276	0,175	0,176
245	28000	7	0,189	0,231	0,320	0,317
246	21333	5	0,268	0,253	0,222	0,223
247	13724	2	0,204	0,239	0,313	0,310
248	13724	1	0,246	0,256	0,290	0,291
249	25333	6	0,270	0,219	0,300	0,302
250	13724	1	0,255	0,203	0,385	0,387
251	16000	4	0,290	0,290	0,090	0,090
252	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
253	25333	6	0,189	0,231	0,320	0,317
254	13724	2	0,259	0,289	0,126	0,125
255	28000	8	0,224	0,246	0,302	0,302
256	21333	5	0,290	0,290	0,090	0,090
257	13724	2	0,304	0,279	0,078	0,078
258	30000	9	0,246	0,256	0,290	0,291
259	13724	1	0,254	0,244	0,210	0,209
260	21333	5	0,213	0,196	0,462	0,463
261	16000	4	0,245	0,193	0,422	0,424
262	16000	3	0,230	0,281	0,200	0,198
263	13724	2	0,268	0,253	0,222	0,223
264	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
265	28000	7	0,250	0,250	0,250	0,250
266	25333	6	0,238	0,228	0,378	0,380
267	21333	5	0,304	0,279	0,078	0,078
268	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
269	32000	10	0,246	0,256	0,290	0,291
270	13724	1	0,204	0,239	0,313	0,310
271	28000	7	0,242	0,220	0,309	0,309
272	16000	4	0,236	0,260	0,200	0,199

273	28000	8	0,266	0,319	0,106	0,106
274	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
275	32000	10	0,268	0,253	0,222	0,223
276	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
277	30000	9	0,266	0,319	0,106	0,106
278	16000	4	0,226	0,222	0,316	0,315
279	13724	1	0,250	0,250	0,250	0,250
280	25333	6	0,238	0,228	0,378	0,380
281	21333	5	0,230	0,240	0,250	0,248
282	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
283	13724	2	0,308	0,255	0,123	0,123
284	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
285	25333	6	0,246	0,256	0,290	0,291
286	16000	4	0,288	0,246	0,137	0,137
287	13724	1	0,264	0,327	0,071	0,071
288	30000	9	0,270	0,219	0,300	0,302
289	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
290	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
291	28000	8	0,238	0,228	0,378	0,380
292	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
293	28000	8	0,256	0,271	0,157	0,156
294	25333	6	0,232	0,197	0,468	0,471
295	16000	4	0,213	0,265	0,243	0,241
296	16000	3	0,253	0,285	0,210	0,211
297	13724	1	0,270	0,219	0,300	0,302
298	21333	5	0,189	0,231	0,320	0,317
299	13724	2	0,238	0,228	0,378	0,380
300	13724	1	0,188	0,233	0,327	0,324

EK-8. KümeKaplamaModeli_1.1 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
MODEL   tik5_1_11_I        OBJECTIVE  z

 TYPE    MIP               DIRECTION  MINIMIZE
    SOLVER  CPLEX             FROM LINE  18

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE             228.0000


 RESOURCE USAGE, LIMIT          0.015      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT         0         10000


GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1


Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.


Proven optimal solution.

MIP Solution:          228.000000    (0 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           228.000000    (0 iterations)

Best integer solution possible:        228.000000

Absolute gap:           0.000000
Relative gap:           0.000000


                  LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- EQU obj           .         .         .       1.000
---- EQU eq1         152.000   152.000   152.000     .
---- EQU eq2          76.000    76.000    76.000     .

                  LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- VAR z            -INF     228.000     +INF       .

---- VAR x


**** REPORT SUMMARY :        0     NONOPT
                          0 INFEASIBLE
                          0  UNBOUNDED
```

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 0.8 Mb WIN212-136

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_2.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_2.lst

EK-9. KümeKaplamaModeli_1.2 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
   MODEL   tik5_1_11_II       OBJECTIVE  z

TYPE    MIP              DIRECTION  MINIMIZE
   SOLVER  CPLEX            FROM LINE  636

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE            228.0000


 RESOURCE USAGE, LIMIT         0.140      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT        14         10000


GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1


Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.


Proven optimal solution.

MIP Solution:         228.000000    (14 iterations, 0 nodes)
Final Solve:          228.000000    (0 iterations)

Best integer solution possible:        228.000000

Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000


                  LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- EQU obj           .         .         .       1.000
---- EQU eq1         152.000   152.000   152.000     .
---- EQU eq2          76.000    76.000    76.000     .
---- EQU eq3           -INF  8.8273E+5 9.0000E+5     .
---- EQU eq4           -INF  1.5382E+6 2.2000E+6     .
---- EQU eq5         456.000   609.000     +INF      .
---- EQU eq6         304.000   335.000     +INF      .


                  LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- VAR z             -INF    228.000     +INF      .

---- VAR x
```

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.016 SECONDS 0.8 Mb WIN212-136

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_3.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_3.lst

EK-10. KümeKaplamaModeli_2.1 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
MODEL   tik5_1_12_Iid      OBJECTIVE  z

   TYPE    MIP             DIRECTION  MINIMIZE
   SOLVER  CPLEX           FROM LINE  1227

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE            212.7370


 RESOURCE USAGE, LIMIT         0.015      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT        0         10000


GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1


Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.


Proven optimal solution.

MIP Solution:         212.737000    (0 iterations, 0 nodes)
Final Solve:          212.737000    (0 iterations)

Best integer solution possible:       212.737000

Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000


                   LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- EQU obj           .         .         .        1.000
---- EQU eq1         152.000   152.000   152.000      .
---- EQU eq2          76.000    76.000    76.000      .


                LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL


---- VAR z             -INF     212.737     +INF       .

---- VAR x
```

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 0.8 Mb WIN212-136

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_4.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_4.lst

EK-11. KümeKaplamaModeli_2.2 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
MODEL   tik5_1_12_IIid      OBJECTIVE  z
   TYPE    MIP              DIRECTION  MINIMIZE
   SOLVER  CPLEX            FROM LINE  1841

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      8 INTEGER SOLUTION
**** OBJECTIVE VALUE             213.5370

 RESOURCE USAGE, LIMIT         0.046      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT        10         10000


GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1


Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Solution satisfies tolerances.


MIP Solution:          213.537000    (10 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           213.537000    (0 iterations)

Best integer solution possible:        213.511645

Absolute gap:           0.025355
Relative gap:           0.000119


                  LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- EQU obj           .         .         .        1.000
---- EQU eq1         152.000   152.000   152.000      .
---- EQU eq2          76.000    76.000    76.000      .
---- EQU eq3          -INF  8.9961E+5 9.0000E+5      .
---- EQU eq4          -INF  1.4759E+6 2.2000E+6      .
---- EQU eq5         456.000   620.000     +INF       .
---- EQU eq6         304.000   321.000     +INF       .


                  LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- VAR z            -INF    213.537     +INF       .

---- VAR x
```

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 0.8 Mb WIN212-136

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_5.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_5.lst

EK-12. AtamaModeli_1 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
MODEL   tik5_2_1_1        OBJECTIVE  z

TYPE    MIP               DIRECTION  MINIMIZE
   SOLVER  CPLEX             FROM LINE  1549

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE            213.5370


 RESOURCE USAGE, LIMIT         0.171      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT       839         10000


GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1


Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.


Proven optimal solution.

MIP Solution:          213.537000    (839 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           213.537000    (0 iterations)

Best integer solution possible:        213.537000

Absolute gap:           0.000000
Relative gap:           0.000000


                  LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- VAR z            -INF    213.537     +INF       .

---- VAR x


**** REPORT SUMMARY :       0     NONOPT
                            0 INFEASIBLE
                            0  UNBOUNDED


EXECUTION TIME       =        0.031 SECONDS    1.3 Mb      WIN212-136
```

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_6.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_6.lst

EK-13. AtamaModeli_1 problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları

		Ekipte Bulunan Personele Dair							
		Karar değişkeni değeri	Çalışan No	Ücret	Kıdem	KH Planlı Yokluk	Ç Planlı Yokluk	KH Plansız Yokluk	D Plansız Yokluk
Ekipler	1	16	24	5333	2	0,216	0,230	0,360	0,360
		31	49	4454	1	0,266	0,251	0,213	0,213
		33	51	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
		49	72	7333	10	0,307	0,271	0,071	0,072
		204	270	13724	1	0,204	0,239	0,313	0,310
		215	282	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
		Toplam Maliyet		54177					
		Toplam Fayda		27					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,496					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,519					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,403					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,401					
	2	12	17	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		14	21	6933	6	0,260	0,265	0,174	0,175
		53	78	6133	3	0,314	0,251	0,092	0,092
		117	158	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
		175	232	28000	7	0,253	0,285	0,210	0,211
		210	276	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
		Toplam Maliyet		66853					
		Toplam Fayda		22					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,586					

	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,539					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,146					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,145					
3	13	19	5333	2	0,246	0,256	0,290	0,291
	32	50	6133	3	0,236	0,246	0,267	0,267
	84	114	4454	1	0,254	0,225	0,359	0,361
	149	197	6133	3	0,267	0,334	0,063	0,063
	194	257	13724	2	0,304	0,279	0,078	0,078
	196	259	13724	1	0,254	0,244	0,210	0,209
	Toplam Maliyet		49501					
	Toplam Fayda		12					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,560					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,584					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,267					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,268					
4	11	16	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
	59	86	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
	116	157	6133	3	0,250	0,250	0,250	0,250
	126	168	7333	9	0,263	0,227	0,247	0,248
	179	239	13724	2	0,203	0,255	0,261	0,259
	219	286	16000	4	0,288	0,246	0,137	0,137
	Toplam Maliyet		57056					
	Toplam Fayda		33					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,525					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,483					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,361					

	Toplam D Plansız Yokluk		1,359					
5	10	15	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
	36	57	6133	4	0,308	0,255	0,123	0,123
	141	188	5333	2	0,290	0,290	0,090	0,090
	144	191	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
	182	242	13724	2	0,242	0,302	0,147	0,146
	198	263	13724	2	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		49501					
	Toplam Fayda		14					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,521					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,578					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,204					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,201					
6	72	100	6933	6	0,217	0,235	0,266	0,264
	82	112	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
	113	152	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
	148	196	6133	5	0,308	0,255	0,123	0,123
	186	247	13724	2	0,204	0,239	0,313	0,310
	217	284	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		54380					
	Toplam Fayda		28					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,552					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,507					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,245					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,242					
7	8	11	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
	9	14	6133	5	0,279	0,247	0,162	0,161

		97	132	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
		139	185	5333	2	0,307	0,271	0,071	0,072
		156	206	13724	1	0,288	0,246	0,137	0,137
		200	265	28000	7	0,250	0,250	0,250	0,250
		Toplam Maliyet		66256					
		Toplam Fayda		25					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,590					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,481					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,232					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,231					
	8	6	8	5333	2	0,284	0,309	0,070	0,070
		7	9	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
		21	32	6933	6	0,258	0,238	0,270	0,271
		62	89	6133	5	0,283	0,253	0,181	0,182
		157	208	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
		199	264	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
		Toplam Maliyet		52577					
		Toplam Fayda		19					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,582					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,578					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,195					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,196					
	9	51	76	4454	1	0,264	0,327	0,071	0,071
		54	79	4454	1	0,240	0,252	0,281	0,281
		58	85	5333	2	0,283	0,253	0,181	0,182
		127	169	6133	3	0,254	0,244	0,210	0,209
		165	217	25333	6	0,266	0,319	0,106	0,106

	202	268	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	Toplam Maliyet		61707					
	Toplam Fayda		16					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,561					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,638					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,059					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,057					
10	5	7	7333	10	0,266	0,251	0,213	0,213
	35	54	5333	2	0,242	0,262	0,230	0,229
	50	74	5333	2	0,252	0,248	0,234	0,234
	133	177	6133	4	0,290	0,290	0,090	0,090
	154	203	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
	185	246	21333	5	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		59189					
	Toplam Fayda		25					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,548					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,543					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,238					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,237					
11	4	6	6133	5	0,262	0,235	0,233	0,232
	43	65	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
	60	87	4454	1	0,290	0,290	0,090	0,090
	67	95	6933	7	0,230	0,259	0,230	0,228
	206	272	16000	4	0,236	0,260	0,200	0,199
	214	281	21333	5	0,230	0,240	0,250	0,248
	Toplam Maliyet		62186					
	Toplam Fayda		32					

		Toplam KH Planlı Yokluk		1,505				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,555				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,160				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,154				
	12	3	4	6133	3	0,264	0,227	0,309	0,311
		71	99	5333	2	0,253	0,285	0,210	0,211
		121	162	5333	2	0,204	0,239	0,313	0,310
		143	190	7333	9	0,242	0,302	0,147	0,146
		208	274	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
		223	292	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
		Toplam Maliyet		51580				
		Toplam Fayda		18				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,510				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,553				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,363				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,362				
	13	18	27	7333	10	0,274	0,266	0,132	0,131
		48	71	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		55	80	6133	4	0,213	0,265	0,243	0,241
		92	127	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
		161	213	28000	7	0,212	0,242	0,310	0,310
		212	278	16000	4	0,226	0,222	0,316	0,315
		Toplam Maliyet		70532				
		Toplam Fayda		36				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,475				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,537				

	Toplam KH Plansız Yokluk		1,375					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,372					
14	2	3	6933	7	0,254	0,269	0,207	0,207
	17	26	6133	3	0,288	0,246	0,137	0,137
	63	90	7333	10	0,259	0,289	0,126	0,125
	66	94	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
	184	245	28000	7	0,189	0,231	0,320	0,317
	207	273	28000	8	0,266	0,319	0,106	0,106
	Toplam Maliyet		80853					
	Toplam Fayda		36					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,479					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,601					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,198					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,194					
15	88	120	5333	2	0,211	0,244	0,320	0,319
	124	166	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
	138	183	6933	7	0,236	0,260	0,200	0,199
	145	193	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
	162	214	30000	9	0,279	0,247	0,162	0,161
	191	254	13724	2	0,259	0,289	0,126	0,125
	Toplam Maliyet		69056					
	Toplam Fayda		31					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,543					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,546					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,181					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,177					

		52	77	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		85	116	4454	1	0,279	0,315	0,060	0,059
		94	129	4454	1	0,236	0,206	0,373	0,373
		114	154	4454	1	0,284	0,309	0,070	0,070
		178	237	13724	2	0,314	0,251	0,092	0,092
		189	252	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
	16	Toplam Maliyet		50019					
		Toplam Fayda		17					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,587					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,577					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,146					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,147					
		30	48	6133	4	0,253	0,242	0,305	0,306
		38	59	4454	1	0,274	0,284	0,118	0,117
		69	97	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
		111	150	4454	1	0,308	0,255	0,123	0,123
		205	271	28000	7	0,242	0,220	0,309	0,309
		220	287	13724	1	0,264	0,327	0,071	0,071
	17	Toplam Maliyet		64098					
		Toplam Fayda		23					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,572					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,568					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,176					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,175					
		24	35	5333	2	0,244	0,234	0,313	0,313
	18	73	101	6133	3	0,259	0,289	0,126	0,125
		103	139	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309

		125	167	5333	2	0,228	0,214	0,364	0,364
		183	244	30000	9	0,268	0,276	0,175	0,176
		228	300	13724	1	0,188	0,233	0,327	0,324
		Toplam Maliyet		66656					
		Toplam Fayda		20					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,428					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,465					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,613					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,611					
	19	1	1	4454	1	0,245	0,264	0,247	0,247
		78	108	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		101	136	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
		118	159	6133	3	0,266	0,251	0,213	0,213
		190	253	25333	6	0,189	0,231	0,320	0,317
		218	285	25333	6	0,246	0,256	0,290	0,291
		Toplam Maliyet		73519					
		Toplam Fayda		23					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,389					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,519					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,600					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,596					
	20	57	84	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
		61	88	7333	9	0,242	0,262	0,230	0,229
		68	96	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		135	179	4454	1	0,210	0,210	0,410	0,410
		188	251	16000	4	0,290	0,290	0,090	0,090
		221	289	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291

	Toplam Maliyet		55174					
	Toplam Fayda		24					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,577					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,548					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,280					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,282					
21	46	68	6133	4	0,249	0,290	0,151	0,150
	89	122	6133	5	0,266	0,251	0,213	0,213
	108	146	4454	1	0,254	0,244	0,210	0,209
	123	165	6133	5	0,267	0,334	0,063	0,063
	187	248	13724	1	0,246	0,256	0,290	0,291
	216	283	13724	2	0,308	0,255	0,123	0,123
	Toplam Maliyet		50301					
	Toplam Fayda		18					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,590					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,630					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,049					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,048					
22	42	64	5333	2	0,272	0,239	0,258	0,259
	74	103	4454	1	0,283	0,253	0,181	0,182
	104	141	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	147	195	5333	2	0,242	0,220	0,309	0,309
	173	228	28000	8	0,213	0,265	0,243	0,241
	201	267	21333	5	0,304	0,279	0,078	0,078
	Toplam Maliyet		69786					
	Toplam Fayda		20					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,568					

	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,500					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,279					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,279					
23	39	60	6133	4	0,229	0,246	0,281	0,280
	80	110	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
	105	142	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
	107	144	7333	9	0,236	0,260	0,200	0,199
	167	220	16000	3	0,204	0,239	0,313	0,310
	193	256	21333	5	0,290	0,290	0,090	0,090
	Toplam Maliyet		63865					
	Toplam Fayda		32					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,415					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,518					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,416					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,410					
24	83	113	5333	2	0,235	0,271	0,236	0,235
	99	134	6933	6	0,229	0,246	0,281	0,280
	131	174	4454	1	0,304	0,279	0,078	0,078
	151	199	4454	1	0,288	0,246	0,137	0,137
	153	201	13724	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	209	275	32000	10	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		66898					
	Toplam Fayda		21					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,591					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,571					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,130					

		Toplam D Plansız Yokluk		1,130					
	25	23	34	6933	7	0,290	0,230	0,225	0,226
		96	131	6933	8	0,279	0,315	0,060	0,059
		98	133	6133	4	0,274	0,284	0,118	0,117
		130	172	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		176	234	28000	8	0,246	0,289	0,203	0,203
		192	255	28000	8	0,224	0,246	0,302	0,302
		Toplam Maliyet		82132					
		Toplam Fayda		38					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,566					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,648					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,118					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,118					
	26	75	104	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
		87	118	4454	1	0,235	0,271	0,236	0,235
		115	155	6133	4	0,256	0,232	0,307	0,308
		120	161	6133	4	0,236	0,260	0,200	0,199
		164	216	16000	4	0,308	0,255	0,123	0,123
		227	298	21333	5	0,189	0,231	0,320	0,317
		Toplam Maliyet		59386					
		Toplam Fayda		20					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,487					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,477					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,433					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,431					
	27	34	52	6133	5	0,188	0,233	0,327	0,324
		40	61	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248

		106	143	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
		132	175	6933	6	0,253	0,285	0,210	0,211
		174	229	16000	4	0,216	0,269	0,243	0,241
		226	296	16000	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		Toplam Maliyet		56853					
		Toplam Fayda		28					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,379					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,539					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,618					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,615					
	28	20	30	5333	2	0,236	0,246	0,267	0,267
		119	160	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
		140	186	4454	1	0,242	0,302	0,147	0,146
		146	194	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		163	215	13724	2	0,279	0,247	0,162	0,161
		172	227	13724	1	0,256	0,271	0,157	0,156
		Toplam Maliyet		46143					
		Toplam Fayda		8					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,500					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,545					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,361					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,360					
	29	27	42	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		86	117	7333	10	0,263	0,227	0,247	0,248
		93	128	6133	3	0,245	0,309	0,120	0,119
		100	135	6933	7	0,230	0,240	0,250	0,248
		203	269	32000	10	0,246	0,256	0,290	0,291

	224	293	28000	8	0,256	0,271	0,157	0,156
	Toplam Maliyet		87332					
	Toplam Fayda		46					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,491					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,553					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,314					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,312					
30	28	45	6933	6	0,203	0,255	0,261	0,259
	102	137	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
	129	171	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
	152	200	6133	3	0,290	0,290	0,090	0,090
	156	206	13724	1	0,288	0,246	0,137	0,137
	181	241	21333	5	0,283	0,253	0,181	0,182
	Toplam Maliyet		57031					
	Toplam Fayda		17					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,506					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,560					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,199					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,196					
31	26	41	4454	1	0,204	0,239	0,313	0,310
	41	62	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
	64	92	5333	2	0,232	0,239	0,343	0,344
	95	130	6133	5	0,242	0,302	0,147	0,146
	160	211	13724	1	0,242	0,220	0,309	0,309
	211	277	30000	9	0,266	0,319	0,106	0,106
	Toplam Maliyet		66577					
	Toplam Fayda		26					

		Toplam KH Planlı Yokluk		1,436				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,569				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,468				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,465				
	32	22	33	6133	3	0,289	0,269	0,123	0,123
		45	67	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		70	98	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		128	170	6933	7	0,290	0,290	0,090	0,090
		159	210	25333	6	0,254	0,296	0,170	0,170
		197	262	16000	3	0,230	0,281	0,200	0,198
		Toplam Maliyet		64986				
		Toplam Fayda		23				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,555				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,657				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,060				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,059				
	33	25	37	6933	7	0,268	0,276	0,175	0,176
		44	66	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
		110	148	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
		142	189	6133	4	0,307	0,271	0,071	0,072
		169	223	28000	7	0,230	0,281	0,200	0,198
		225	295	16000	4	0,213	0,265	0,243	0,241
		Toplam Maliyet		70132				
		Toplam Fayda		32				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,592				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,599				

	Toplam KH Plansız Yokluk		1,025					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,023					
34	76	105	4454	1	0,297	0,258	0,164	0,164
	91	125	6133	3	0,236	0,260	0,200	0,199
	134	178	6133	5	0,250	0,250	0,250	0,250
	136	180	5333	2	0,224	0,246	0,302	0,302
	177	236	16000	3	0,224	0,246	0,302	0,302
	180	240	16000	4	0,250	0,250	0,250	0,250
	Toplam Maliyet		54053					
	Toplam Fayda		18					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,481					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,511					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,468					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,467					
35	77	106	6933	7	0,250	0,250	0,250	0,250
	79	109	6133	5	0,268	0,276	0,175	0,176
	122	163	6133	4	0,268	0,276	0,175	0,176
	150	198	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	171	225	16000	3	0,289	0,269	0,123	0,123
	195	258	30000	9	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		70532					
	Toplam Fayda		30					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,575					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,570					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,223					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,224					

		29	46	6933	8	0,246	0,279	0,170	0,169
		47	69	6133	4	0,274	0,266	0,132	0,131
		81	111	6933	8	0,290	0,290	0,090	0,090
		90	124	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
		170	224	13724	1	0,226	0,222	0,316	0,315
		213	279	13724	1	0,250	0,250	0,250	0,250
	36	Toplam Maliyet		52780					
		Toplam Fayda		24					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,549					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,534					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,205					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,203					
		19	29	6933	6	0,248	0,252	0,266	0,266
		37	58	6133	3	0,249	0,290	0,151	0,150
		112	151	6133	4	0,246	0,256	0,290	0,291
		137	182	6933	6	0,279	0,247	0,162	0,161
		158	209	32000	10	0,307	0,271	0,071	0,072
		166	218	32000	10	0,242	0,220	0,309	0,309
	37	Toplam Maliyet		90132					
		Toplam Fayda		39					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,571					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,536					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,250					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,250					
		15	22	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
	38	56	83	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		65	93	6133	4	0,224	0,246	0,302	0,302

		109	147	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
		168	221	13724	2	0,307	0,271	0,071	0,072
		222	290	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
		Toplam Maliyet		49422					
		Toplam Fayda		18					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,488					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,550					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,336					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,334					

EK-14. AtamaModeli_2.1 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
MODEL   tik5_2_1_1        OBJECTIVE  z

 TYPE    MIP              DIRECTION  MINIMIZE
   SOLVER  CPLEX            FROM LINE  1854

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE            213.5370

 RESOURCE USAGE, LIMIT         1.875      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT      1254         10000


GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1


Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.


Proven optimal solution.


MIP Solution:         213.537000    (1254 iterations, 30 nodes)
Final Solve:          213.537000    (0 iterations)

Best integer solution possible:        213.537000

Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000


LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- VAR z            -INF    213.537     +INF       .

---- VAR x



**** REPORT SUMMARY :       0     NONOPT
                         0 INFEASIBLE
                         0  UNBOUNDED


EXECUTION TIME       =        0.031 SECONDS    1.3 Mb      WIN212-136
```

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_7.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_7.lst

EK-15. AtamaModeli_2.1 problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları

		Ekipte Bulunan Personele Dair							
		Karar değişkeni değeri	Çalışan No	Ücret	Kıdem	KH Planlı Yokluk	Ç Planlı Yokluk	KH Plansız Yokluk	D Plansız Yokluk
Ekipler	1	82	112	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
		92	127	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
		99	134	6933	6	0,229	0,246	0,281	0,280
		111	150	4454	1	0,308	0,255	0,123	0,123
		166	218	32000	10	0,242	0,220	0,309	0,309
		189	252	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
		Toplam Maliyet		73253					
		Toplam Fayda		35					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,621					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,479					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,264					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,264					
	2	18	27	7333	10	0,274	0,266	0,132	0,131
		21	32	6933	6	0,258	0,238	0,270	0,271
		22	33	6133	3	0,289	0,269	0,123	0,123
		109	147	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
		186	247	13724	2	0,204	0,239	0,313	0,310
		222	290	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
		Toplam Maliyet		54780					
		Toplam Fayda		31					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,490					

		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,522					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,323					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,318					
	3	29	46	6933	8	0,246	0,279	0,170	0,169
		36	57	6133	4	0,308	0,255	0,123	0,123
		37	58	6133	3	0,249	0,290	0,151	0,150
		119	160	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
		207	273	28000	8	0,266	0,319	0,106	0,106
		215	282	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
		Toplam Maliyet		67653					
		Toplam Fayda		27					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,552					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,627					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,218					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,219					
	4	5	7	7333	10	0,266	0,251	0,213	0,213
		24	35	5333	2	0,244	0,234	0,313	0,313
		40	61	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
		42	64	5333	2	0,272	0,239	0,258	0,259
		164	216	16000	4	0,308	0,255	0,123	0,123
		224	293	28000	8	0,256	0,271	0,157	0,156
		Toplam Maliyet		69332					
		Toplam Fayda		35					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,577					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,489					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,313					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,312					
	5	8	11	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309

		11	16	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
		30	48	6133	4	0,253	0,242	0,305	0,306
		53	78	6133	3	0,314	0,251	0,092	0,092
		162	214	30000	9	0,279	0,247	0,162	0,161
		180	240	16000	4	0,250	0,250	0,250	0,250
		Toplam Maliyet		71332					
		Toplam Fayda		31					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,635					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,468					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,282					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,283					
	6	13	19	5333	2	0,246	0,256	0,290	0,291
		16	24	5333	2	0,216	0,230	0,360	0,360
		44	66	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
		86	117	7333	10	0,263	0,227	0,247	0,248
		208	274	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
		220	287	13724	1	0,264	0,327	0,071	0,071
		Toplam Maliyet		52380					
		Toplam Fayda		23					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,534					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,539					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,343					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,343					
	7	9	14	6133	5	0,279	0,247	0,162	0,161
		68	96	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		94	129	4454	1	0,236	0,206	0,373	0,373
		120	161	6133	4	0,236	0,260	0,200	0,199
		156	206	13724	1	0,288	0,246	0,137	0,137

	192	255	28000	8	0,224	0,246	0,302	0,302
	Toplam Maliyet		62898					
	Toplam Fayda		20					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,530					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,482					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,349					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,348					
8	56	83	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	60	87	4454	1	0,290	0,290	0,090	0,090
	79	109	6133	5	0,268	0,276	0,175	0,176
	97	132	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
	185	246	21333	5	0,268	0,253	0,222	0,223
	190	253	25333	6	0,189	0,231	0,320	0,317
	Toplam Maliyet		68640					
	Toplam Fayda		25					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,507					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,572					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,284					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,284					
9	3	4	6133	3	0,264	0,227	0,309	0,311
	73	101	6133	3	0,259	0,289	0,126	0,125
	76	105	4454	1	0,297	0,258	0,164	0,164
	77	106	6933	7	0,250	0,250	0,250	0,250
	183	244	30000	9	0,268	0,276	0,175	0,176
	221	289	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		69653					
	Toplam Fayda		26					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,583					

	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,555					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,314					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,317					
10	64	92	5333	2	0,232	0,239	0,343	0,344
	96	131	6933	8	0,279	0,315	0,060	0,059
	127	169	6133	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	147	195	5333	2	0,242	0,220	0,309	0,309
	184	245	28000	7	0,189	0,231	0,320	0,317
	211	277	30000	9	0,266	0,319	0,106	0,106
	Toplam Maliyet		81732					
	Toplam Fayda		31					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,462					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,567					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,348					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,345					
11	55	80	6133	4	0,213	0,265	0,243	0,241
	90	124	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
	113	152	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
	114	154	4454	1	0,284	0,309	0,070	0,070
	191	254	13724	2	0,259	0,289	0,126	0,125
	203	269	32000	10	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		68577					
	Toplam Fayda		27					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,500					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,617					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,211					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,210					
12	2	3	6933	7	0,254	0,269	0,207	0,207

		26	41	4454	1	0,204	0,239	0,313	0,310
		51	76	4454	1	0,264	0,327	0,071	0,071
		146	194	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		188	251	16000	4	0,290	0,290	0,090	0,090
		200	265	28000	7	0,250	0,250	0,250	0,250
		Toplam Maliyet		64295					
		Toplam Fayda		21					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,511					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,625					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,181					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,179					
	13	48	71	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		66	94	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
		78	108	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		124	166	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		168	221	13724	2	0,307	0,271	0,071	0,072
		217	284	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
		Toplam Maliyet		51101					
		Toplam Fayda		18					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,556					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,591					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,266					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,268					
	14	7	9	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
		17	26	6133	3	0,288	0,246	0,137	0,137
		27	42	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		88	120	5333	2	0,211	0,244	0,320	0,319
		176	234	28000	8	0,246	0,289	0,203	0,203

	202	268	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	Toplam Maliyet		66853					
	Toplam Fayda		25					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,501					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,558					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,331					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,328					
15	25	37	6933	7	0,268	0,276	0,175	0,176
	35	54	5333	2	0,242	0,262	0,230	0,229
	98	133	6133	4	0,274	0,284	0,118	0,117
	140	186	4454	1	0,242	0,302	0,147	0,146
	170	224	13724	1	0,226	0,222	0,316	0,315
	209	275	32000	10	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		68577					
	Toplam Fayda		25					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,519					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,598					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,208					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,207					
16	39	60	6133	4	0,229	0,246	0,281	0,280
	43	65	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
	52	77	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
	152	200	6133	3	0,290	0,290	0,090	0,090
	154	203	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
	157	208	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
	Toplam Maliyet		56256					
	Toplam Fayda		31					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,480					

		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,543					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,330					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,326					
	17	10	15	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		20	30	5333	2	0,236	0,246	0,267	0,267
		71	99	5333	2	0,253	0,285	0,210	0,211
		95	130	6133	5	0,242	0,302	0,147	0,146
		158	209	32000	10	0,307	0,271	0,071	0,072
		195	258	30000	9	0,246	0,256	0,290	0,291
		Toplam Maliyet		84932					
		Toplam Fayda		31					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,509					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,607					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,288					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,288					
	18	31	49	4454	1	0,266	0,251	0,213	0,213
		69	97	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
		121	162	5333	2	0,204	0,239	0,313	0,310
		145	193	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
		165	217	25333	6	0,266	0,319	0,106	0,106
		177	236	16000	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		Toplam Maliyet		64586					
		Toplam Fayda		24					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,498					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,550					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,306					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,302					
	19	12	17	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250

		81	111	6933	8	0,290	0,290	0,090	0,090
		133	177	6133	4	0,290	0,290	0,090	0,090
		144	191	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
		187	248	13724	1	0,246	0,256	0,290	0,291
		223	292	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
		Toplam Maliyet		49422					
		Toplam Fayda		16					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,533					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,571					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,262					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,262					
	20	14	21	6933	6	0,260	0,265	0,174	0,175
		49	72	7333	10	0,307	0,271	0,071	0,072
		80	110	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
		105	142	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
		173	228	28000	8	0,213	0,265	0,243	0,241
		206	272	16000	4	0,236	0,260	0,200	0,199
		Toplam Maliyet		71332					
		Toplam Fayda		39					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,472					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,545					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,221					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,216					
	21	50	74	5333	2	0,252	0,248	0,234	0,234
		101	136	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
		108	146	4454	1	0,254	0,244	0,210	0,209
		151	199	4454	1	0,288	0,246	0,137	0,137
		171	225	16000	3	0,289	0,269	0,123	0,123

		225	295	16000	4	0,213	0,265	0,243	0,241
		Toplam Maliyet		52374					
		Toplam Fayda		15					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,485					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,503					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,266					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,260					
	22	100	135	6933	7	0,230	0,240	0,250	0,248
		107	144	7333	9	0,236	0,260	0,200	0,199
		130	172	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		134	178	6133	5	0,250	0,250	0,250	0,250
		153	201	13724	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		174	229	16000	4	0,216	0,269	0,243	0,241
		Toplam Maliyet		56256					
		Toplam Fayda		29					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,454					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,579					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,328					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,325					
	23	38	59	4454	1	0,274	0,284	0,118	0,117
		67	95	6933	7	0,230	0,259	0,230	0,228
		102	137	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
		126	168	7333	9	0,263	0,227	0,247	0,248
		161	213	28000	7	0,212	0,242	0,310	0,310
		196	259	13724	1	0,254	0,244	0,210	0,209
		Toplam Maliyet		64898					
		Toplam Fayda		26					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,488					

		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,541					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,326					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,322					
	24	33	51	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
		63	90	7333	10	0,259	0,289	0,126	0,125
		89	122	6133	5	0,266	0,251	0,213	0,213
		141	188	5333	2	0,290	0,290	0,090	0,090
		160	211	13724	1	0,242	0,220	0,309	0,309
		212	278	16000	4	0,226	0,222	0,316	0,315
		Toplam Maliyet		55856					
		Toplam Fayda		32					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,539					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,542					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,210					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,208					
	25	47	69	6133	4	0,274	0,266	0,132	0,131
		106	143	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
		143	190	7333	9	0,242	0,302	0,147	0,146
		150	198	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
		216	283	13724	2	0,308	0,255	0,123	0,123
		226	296	16000	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		Toplam Maliyet		52977					
		Toplam Fayda		21					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,569					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,581					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,200					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,200					
	26	58	85	5333	2	0,283	0,253	0,181	0,182

		62	89	6133	5	0,283	0,253	0,181	0,182
		74	103	4454	1	0,283	0,253	0,181	0,182
		137	182	6933	6	0,279	0,247	0,162	0,161
		181	241	21333	5	0,283	0,253	0,181	0,182
		227	298	21333	5	0,189	0,231	0,320	0,317
		Toplam Maliyet		65519					
		Toplam Fayda		24					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,600					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,490					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,208					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,207					
	27	41	62	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		54	79	4454	1	0,240	0,252	0,281	0,281
		123	165	6133	5	0,267	0,334	0,063	0,063
		135	179	4454	1	0,210	0,210	0,410	0,410
		155	205	16000	3	0,279	0,315	0,060	0,059
		172	227	13724	1	0,256	0,271	0,157	0,156
		Toplam Maliyet		51698					
		Toplam Fayda		19					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,502					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,632					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,220					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,219					
	28	23	34	6933	7	0,290	0,230	0,225	0,226
		59	86	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
		103	139	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
		110	148	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
		193	256	21333	5	0,290	0,290	0,090	0,090

	214	281	21333	5	0,230	0,240	0,250	0,248
	Toplam Maliyet		68798					
	Toplam Fayda		30					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,585					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,481					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,299					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,299					
29	84	114	4454	1	0,254	0,225	0,359	0,361
	131	174	4454	1	0,304	0,279	0,078	0,078
	138	183	6933	7	0,236	0,260	0,200	0,199
	139	185	5333	2	0,307	0,271	0,071	0,072
	159	210	25333	6	0,254	0,296	0,170	0,170
	167	220	16000	3	0,204	0,239	0,313	0,310
	Toplam Maliyet		62507					
	Toplam Fayda		20					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,560					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,571					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,191					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,190					
30	1	1	4454	1	0,245	0,264	0,247	0,247
	104	141	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	112	151	6133	4	0,246	0,256	0,290	0,291
	136	180	5333	2	0,224	0,246	0,302	0,302
	169	223	28000	7	0,230	0,281	0,200	0,198
	201	267	21333	5	0,304	0,279	0,078	0,078
	Toplam Maliyet		70586					
	Toplam Fayda		21					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,503					

	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,571					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,327					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,326					
31	46	68	6133	4	0,249	0,290	0,151	0,150
	61	88	7333	9	0,242	0,262	0,230	0,229
	85	116	4454	1	0,279	0,315	0,060	0,059
	87	118	4454	1	0,235	0,271	0,236	0,235
	204	270	13724	1	0,204	0,239	0,313	0,310
	228	300	13724	1	0,188	0,233	0,327	0,324
	Toplam Maliyet		49822					
	Toplam Fayda		17					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,396					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,609					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,315					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,308					
32	28	45	6933	6	0,203	0,255	0,261	0,259
	65	93	6133	4	0,224	0,246	0,302	0,302
	117	158	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	142	189	6133	4	0,307	0,271	0,071	0,072
	175	232	28000	7	0,253	0,285	0,210	0,211
	210	276	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	Toplam Maliyet		68532					
	Toplam Fayda		26					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,496					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,546					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,264					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,260					
33	45	67	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176

		91	125	6133	3	0,236	0,260	0,200	0,199
		115	155	6133	4	0,256	0,232	0,307	0,308
		125	167	5333	2	0,228	0,214	0,364	0,364
		182	242	13724	2	0,242	0,302	0,147	0,146
		194	257	13724	2	0,304	0,279	0,078	0,078
		Toplam Maliyet		49501					
		Toplam Fayda		14					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,533					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,563					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,271					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,271					
	34	15	22	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
		72	100	6933	6	0,217	0,235	0,266	0,264
		116	157	6133	3	0,250	0,250	0,250	0,250
		128	170	6933	7	0,290	0,290	0,090	0,090
		179	239	13724	2	0,203	0,255	0,261	0,259
		219	286	16000	4	0,288	0,246	0,137	0,137
		Toplam Maliyet		54177					
		Toplam Fayda		23					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,472					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,523					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,306					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,302					
	35	57	84	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
		70	98	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		118	159	6133	3	0,266	0,251	0,213	0,213
		129	171	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
		163	215	13724	2	0,279	0,247	0,162	0,161

		198	263	13724	2	0,268	0,253	0,222	0,223
		Toplam Maliyet		51101					
		Toplam Fayda		17					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,547					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,482					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,303					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,301					
	36	34	52	6133	5	0,188	0,233	0,327	0,324
		122	163	6133	4	0,268	0,276	0,175	0,176
		148	196	6133	5	0,308	0,255	0,123	0,123
		149	197	6133	3	0,267	0,334	0,063	0,063
		213	279	13724	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		218	285	25333	6	0,246	0,256	0,290	0,291
		Toplam Maliyet		63589					
		Toplam Fayda		24					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,527					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,604					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,228					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,227					
	37	4	6	6133	5	0,262	0,235	0,233	0,232
		6	8	5333	2	0,284	0,309	0,070	0,070
		83	113	5333	2	0,235	0,271	0,236	0,235
		132	175	6933	6	0,253	0,285	0,210	0,211
		178	237	13724	2	0,314	0,251	0,092	0,092
		205	271	28000	7	0,242	0,220	0,309	0,309
		Toplam Maliyet		65456					
		Toplam Fayda		24					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,590					

		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,569				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,149				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,150				
	38	19	29	6933	6	0,248	0,252	0,266	0,266
		32	50	6133	3	0,236	0,246	0,267	0,267
		75	104	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
		93	128	6133	3	0,245	0,309	0,120	0,119
		197	262	16000	3	0,230	0,281	0,200	0,198
		199	264	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
		Toplam Maliyet		54256				
		Toplam Fayda		18				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,501				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,563				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,263				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,260				

EK-16. AtamaModeli_2.2 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
   MODEL   tik5_2_1_1         OBJECTIVE  z

TYPE    MIP               DIRECTION  MINIMIZE
   SOLVER  CPLEX             FROM LINE  1703

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE             213.5370


 RESOURCE USAGE, LIMIT         4.296      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT      5177         10000


GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1


Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.


Proven optimal solution.

MIP Solution:         213.537000    (5177 iterations, 119 nodes)
Final Solve:          213.537000    (0 iterations)

Best integer solution possible:        213.537000

Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000


LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- VAR z            -INF    213.537     +INF       .

---- VAR x



**** REPORT SUMMARY :       0     NONOPT
                         0 INFEASIBLE
                         0  UNBOUNDED


EXECUTION TIME       =        0.031 SECONDS    1.3 Mb      WIN212-136

USER: Mehmet Atak                            S031201:1059AR-WIN
```

GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_8.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_8.lst

EK-17. AtamaModeli_2.2. problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları

		Ekipte Bulunan Personele Dair							
		Karar değişkeni değeri	Çalışan No	Ücret	Kıdem	KH Planlı Yokluk	Ç Planlı Yokluk	KH Plansız Yokluk	D Plansız Yokluk
Ekipler	1	6	8	5333	2	0,284	0,309	0,070	0,070
		26	41	4454	1	0,204	0,239	0,313	0,310
		32	50	6133	3	0,236	0,246	0,267	0,267
		76	105	4454	1	0,297	0,258	0,164	0,164
		221	289	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
		226	296	16000	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		Toplam Maliyet		52374					
		Toplam Fayda		13					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,520					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,593					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,314					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,314					
	2	14	21	6933	6	0,260	0,265	0,174	0,175
		95	130	6133	5	0,242	0,302	0,147	0,146
		100	135	6933	7	0,230	0,240	0,250	0,248
		140	186	4454	1	0,242	0,302	0,147	0,146
		224	293	28000	8	0,256	0,271	0,157	0,156
		228	300	13724	1	0,188	0,233	0,327	0,324
		Toplam Maliyet		66177					
		Toplam Fayda		28					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,418					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,613					

		Toplam KH Plansız Yokluk		1,201				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,194				
	3	93	128	6133	3	0,245	0,309	0,120	0,119
		113	152	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
		116	157	6133	3	0,250	0,250	0,250	0,250
		121	162	5333	2	0,204	0,239	0,313	0,310
		184	245	28000	7	0,189	0,231	0,320	0,317
		207	273	28000	8	0,266	0,319	0,106	0,106
		Toplam Maliyet		80532				
		Toplam Fayda		31				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,389				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,619				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,344				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,338				
	4	29	46	6933	8	0,246	0,279	0,170	0,169
		107	144	7333	9	0,236	0,260	0,200	0,199
		147	195	5333	2	0,242	0,220	0,309	0,309
		152	200	6133	3	0,290	0,290	0,090	0,090
		166	218	32000	10	0,242	0,220	0,309	0,309
		173	228	28000	8	0,213	0,265	0,243	0,241
		Toplam Maliyet		85732				
		Toplam Fayda		40				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,469				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,534				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,321				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,317				
	5	34	52	6133	5	0,188	0,233	0,327	0,324
		96	131	6933	8	0,279	0,315	0,060	0,059
		120	161	6133	4	0,236	0,260	0,200	0,199

		134	178	6133	5	0,250	0,250	0,250	0,250
		171	225	16000	3	0,289	0,269	0,123	0,123
		225	295	16000	4	0,213	0,265	0,243	0,241
		Toplam Maliyet		57332					
		Toplam Fayda		29					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,456					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,592					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,202					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,196					
	6	106	143	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
		115	155	6133	4	0,256	0,232	0,307	0,308
		128	170	6933	7	0,290	0,290	0,090	0,090
		149	197	6133	3	0,267	0,334	0,063	0,063
		174	229	16000	4	0,216	0,269	0,243	0,241
		179	239	13724	2	0,203	0,255	0,261	0,259
		Toplam Maliyet		53377					
		Toplam Fayda		21					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,469					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,608					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,342					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,340					
	7	24	35	5333	2	0,244	0,234	0,313	0,313
		38	59	4454	1	0,274	0,284	0,118	0,117
		52	77	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		81	111	6933	8	0,290	0,290	0,090	0,090
		206	272	16000	4	0,236	0,260	0,200	0,199
		212	278	16000	4	0,226	0,222	0,316	0,315
		Toplam Maliyet		55653					
		Toplam Fayda		27					

		Toplam KH Planlı Yokluk		1,520					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,539					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,287					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,285					
	8	17	26	6133	3	0,288	0,246	0,137	0,137
		28	45	6933	6	0,203	0,255	0,261	0,259
		67	95	6933	7	0,230	0,259	0,230	0,228
		144	191	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
		156	206	13724	1	0,288	0,246	0,137	0,137
		162	214	30000	9	0,279	0,247	0,162	0,161
		Toplam Maliyet		68177					
		Toplam Fayda		27					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,477					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,485					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,247					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,239					
	9	48	71	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		61	88	7333	9	0,242	0,262	0,230	0,229
		92	127	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
		129	171	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
		170	224	13724	1	0,226	0,222	0,316	0,315
		211	277	30000	9	0,266	0,319	0,106	0,106
		Toplam Maliyet		68577					
		Toplam Fayda		31					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,472					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,576					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,345					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,343					
	10	27	42	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250

		35	54	5333	2	0,242	0,262	0,230	0,229
		69	97	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
		104	141	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
		163	215	13724	2	0,279	0,247	0,162	0,161
		181	241	21333	5	0,283	0,253	0,181	0,182
		Toplam Maliyet		59989					
		Toplam Fayda		28					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,538					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,495					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,283					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,280					
	11	37	58	6133	3	0,249	0,290	0,151	0,150
		46	68	6133	4	0,249	0,290	0,151	0,150
		59	86	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
		66	94	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
		172	227	13724	1	0,256	0,271	0,157	0,156
		178	237	13724	2	0,314	0,251	0,092	0,092
		Toplam Maliyet		51101					
		Toplam Fayda		18					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,516					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,594					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,154					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,151					
	12	39	60	6133	4	0,229	0,246	0,281	0,280
		60	87	4454	1	0,290	0,290	0,090	0,090
		90	124	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
		122	163	6133	4	0,268	0,276	0,175	0,176
		161	213	28000	7	0,212	0,242	0,310	0,310
		169	223	28000	7	0,230	0,281	0,200	0,198

	Toplam Maliyet		78053					
	Toplam Fayda		25					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,492					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,562					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,304					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,302					
13	16	24	5333	2	0,216	0,230	0,360	0,360
	30	48	6133	4	0,253	0,242	0,305	0,306
	63	90	7333	10	0,259	0,289	0,126	0,125
	73	101	6133	3	0,259	0,289	0,126	0,125
	203	269	32000	10	0,246	0,256	0,290	0,291
	219	286	16000	4	0,288	0,246	0,137	0,137
	Toplam Maliyet		72932					
	Toplam Fayda		33					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,521					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,553					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,343					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,344					
14	23	34	6933	7	0,290	0,230	0,225	0,226
	25	37	6933	7	0,268	0,276	0,175	0,176
	42	64	5333	2	0,272	0,239	0,258	0,259
	98	133	6133	4	0,274	0,284	0,118	0,117
	154	203	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
	223	292	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		52780					
	Toplam Fayda		23					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,603					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,521					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,248					

	Toplam D Plansız Yokluk		1,250					
15	3	4	6133	3	0,264	0,227	0,309	0,311
	57	84	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
	137	182	6933	6	0,279	0,247	0,162	0,161
	151	199	4454	1	0,288	0,246	0,137	0,137
	204	270	13724	1	0,204	0,239	0,313	0,310
	222	290	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
	Toplam Maliyet		51901					
	Toplam Fayda		19					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,585					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,452					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,256					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,253					
16	2	3	6933	7	0,254	0,269	0,207	0,207
	11	16	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
	109	147	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
	142	189	6133	4	0,307	0,271	0,071	0,072
	175	232	28000	7	0,253	0,285	0,210	0,211
	215	282	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		70932					
	Toplam Fayda		37					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,592					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,610					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,179					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,181					
17	62	89	6133	5	0,283	0,253	0,181	0,182
	68	96	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	117	158	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	135	179	4454	1	0,210	0,210	0,410	0,410

	182	242	13724	2	0,242	0,302	0,147	0,146
	194	257	13724	2	0,304	0,279	0,078	0,078
	Toplam Maliyet		47822					
	Toplam Fayda		13					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,561					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,564					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,201					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,201					
18	18	27	7333	10	0,274	0,266	0,132	0,131
	40	61	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
	41	62	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
	146	194	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
	159	210	25333	6	0,254	0,296	0,170	0,170
	209	275	32000	10	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		83386					
	Toplam Fayda		44					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,527					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,555					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,273					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,272					
19	21	32	6933	6	0,258	0,238	0,270	0,271
	88	120	5333	2	0,211	0,244	0,320	0,319
	131	174	4454	1	0,304	0,279	0,078	0,078
	139	185	5333	2	0,307	0,271	0,071	0,072
	192	255	28000	8	0,224	0,246	0,302	0,302
	198	263	13724	2	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		63777					
	Toplam Fayda		21					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,572					

	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,532					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,264					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,264					
20	10	15	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
	49	72	7333	10	0,307	0,271	0,071	0,072
	112	151	6133	4	0,246	0,256	0,290	0,291
	148	196	6133	5	0,308	0,255	0,123	0,123
	213	279	13724	1	0,250	0,250	0,250	0,250
	217	284	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		53180					
	Toplam Fayda		24					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,603					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,532					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,259					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,261					
21	22	33	6133	3	0,289	0,269	0,123	0,123
	103	139	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
	124	166	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
	130	172	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
	176	234	28000	8	0,246	0,289	0,203	0,203
	200	265	28000	7	0,250	0,250	0,250	0,250
	Toplam Maliyet		81332					
	Toplam Fayda		32					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,530					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,562					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,346					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,346					
22	13	19	5333	2	0,246	0,256	0,290	0,291
	70	98	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302

	74	103	4454	1	0,283	0,253	0,181	0,182
	82	112	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
	196	259	13724	1	0,254	0,244	0,210	0,209
	199	264	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
	Toplam Maliyet		50301					
	Toplam Fayda		14					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,607					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,500					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,230					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,231					
23	5	7	7333	10	0,266	0,251	0,213	0,213
	44	66	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
	80	110	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
	91	125	6133	3	0,236	0,260	0,200	0,199
	165	217	25333	6	0,266	0,319	0,106	0,106
	202	268	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	Toplam Maliyet		67865					
	Toplam Fayda		33					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,478					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,556					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,261					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,256					
24	9	14	6133	5	0,279	0,247	0,162	0,161
	45	67	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	83	113	5333	2	0,235	0,271	0,236	0,235
	136	180	5333	2	0,224	0,246	0,302	0,302
	186	247	13724	2	0,204	0,239	0,313	0,310
	220	287	13724	1	0,264	0,327	0,071	0,071
	Toplam Maliyet		48701					

	Toplam Fayda		13					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,473					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,606					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,258					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,256					
25	19	29	6933	6	0,248	0,252	0,266	0,266
	20	30	5333	2	0,236	0,246	0,267	0,267
	58	85	5333	2	0,283	0,253	0,181	0,182
	133	177	6133	4	0,290	0,290	0,090	0,090
	195	258	30000	9	0,246	0,256	0,290	0,291
	214	281	21333	5	0,230	0,240	0,250	0,248
	Toplam Maliyet		75065					
	Toplam Fayda		28					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,534					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,537					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,345					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,345					
26	75	104	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
	85	116	4454	1	0,279	0,315	0,060	0,059
	89	122	6133	5	0,266	0,251	0,213	0,213
	94	129	4454	1	0,236	0,206	0,373	0,373
	155	205	16000	3	0,279	0,315	0,060	0,059
	218	285	25333	6	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		61707					
	Toplam Fayda		18					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,568					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,570					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,242					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,244					

	27	31	49	4454	1	0,266	0,251	0,213	0,213
		64	92	5333	2	0,232	0,239	0,343	0,344
		78	108	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		127	169	6133	3	0,254	0,244	0,210	0,209
		193	256	21333	5	0,290	0,290	0,090	0,090
		197	262	16000	3	0,230	0,281	0,200	0,198
		Toplam Maliyet		59386					
		Toplam Fayda		17					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,525					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,589					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,266					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,265					
	28	7	9	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
		36	57	6133	4	0,308	0,255	0,123	0,123
		111	150	4454	1	0,308	0,255	0,123	0,123
		119	160	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
		157	208	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
		164	216	16000	4	0,308	0,255	0,123	0,123
		Toplam Maliyet		51495					
		Toplam Fayda		15					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,639					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,526					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,260					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,263					
	29	51	76	4454	1	0,264	0,327	0,071	0,071
		72	100	6933	6	0,217	0,235	0,266	0,264
		87	118	4454	1	0,235	0,271	0,236	0,235
		145	193	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
		189	252	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302

	191	254	13724	2	0,259	0,289	0,126	0,125
	Toplam Maliyet		51698					
	Toplam Fayda		17					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,506					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,623					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,123					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,120					
30	55	80	6133	4	0,213	0,265	0,243	0,241
	97	132	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
	102	137	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
	138	183	6933	7	0,236	0,260	0,200	0,199
	210	276	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	216	283	13724	2	0,308	0,255	0,123	0,123
	Toplam Maliyet		54177					
	Toplam Fayda		24					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,489					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,556					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,288					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,284					
31	47	69	6133	4	0,274	0,266	0,132	0,131
	86	117	7333	10	0,263	0,227	0,247	0,248
	126	168	7333	9	0,263	0,227	0,247	0,248
	132	175	6933	6	0,253	0,285	0,210	0,211
	205	271	28000	7	0,242	0,220	0,309	0,309
	208	274	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
	Toplam Maliyet		69456					
	Toplam Fayda		37					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,575					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,473					

	Toplam KH Plansız Yokluk		1,308					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,308					
32	8	11	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
	12	17	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
	65	93	6133	4	0,224	0,246	0,302	0,302
	150	198	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	183	244	30000	9	0,268	0,276	0,175	0,176
	188	251	16000	4	0,290	0,290	0,090	0,090
	Toplam Maliyet		68053					
	Toplam Fayda		23					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,528					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,526					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,336					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,336					
33	15	22	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
	43	65	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
	53	78	6133	3	0,314	0,251	0,092	0,092
	125	167	5333	2	0,228	0,214	0,364	0,364
	158	209	32000	10	0,307	0,271	0,071	0,072
	167	220	16000	3	0,204	0,239	0,313	0,310
	Toplam Maliyet		71253					
	Toplam Fayda		29					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,533					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,492					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,299					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,296					
34	33	51	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
	101	136	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
	118	159	6133	3	0,266	0,251	0,213	0,213

	141	188	5333	2	0,290	0,290	0,090	0,090
	180	240	16000	4	0,250	0,250	0,250	0,250
	190	253	25333	6	0,189	0,231	0,320	0,317
	Toplam Maliyet		66265					
	Toplam Fayda		29					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,440					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,524					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,349					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,343					
35	54	79	4454	1	0,240	0,252	0,281	0,281
	56	83	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	79	109	6133	5	0,268	0,276	0,175	0,176
	123	165	6133	5	0,267	0,334	0,063	0,063
	160	211	13724	1	0,242	0,220	0,309	0,309
	187	248	13724	1	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		48622					
	Toplam Fayda		14					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,531					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,614					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,293					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,295					
36	77	106	6933	7	0,250	0,250	0,250	0,250
	84	114	4454	1	0,254	0,225	0,359	0,361
	108	146	4454	1	0,254	0,244	0,210	0,209
	110	148	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
	185	246	21333	5	0,268	0,253	0,222	0,223
	201	267	21333	5	0,304	0,279	0,078	0,078
	Toplam Maliyet		64640					
	Toplam Fayda		22					

		Toplam KH Planlı Yokluk		1,638				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,506				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,242				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,244				
	37	4	6	6133	5	0,262	0,235	0,233	0,232
		71	99	5333	2	0,253	0,285	0,210	0,211
		114	154	4454	1	0,284	0,309	0,070	0,070
		143	190	7333	9	0,242	0,302	0,147	0,146
		177	236	16000	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		227	298	21333	5	0,189	0,231	0,320	0,317
		Toplam Maliyet		60586				
		Toplam Fayda		25				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,455				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,608				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,281				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,278				
	38	1	1	4454	1	0,245	0,264	0,247	0,247
		50	74	5333	2	0,252	0,248	0,234	0,234
		99	134	6933	6	0,229	0,246	0,281	0,280
		105	142	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
		153	201	13724	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		168	221	13724	2	0,307	0,271	0,071	0,072
		Toplam Maliyet		51101				
		Toplam Fayda		19				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,568				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,556				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,222				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,221				

EK-18. AtamaModeli_3 problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
MODEL   tik5_2_1_3        OBJECTIVE  z

TYPE    MIP               DIRECTION  MINIMIZE
   SOLVER  CPLEX             FROM LINE  2467

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE            213.5370


 RESOURCE USAGE, LIMIT         5.828      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT      5193         10000


GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1


Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.


Proven optimal solution.

MIP Solution:         213.537000    (5193 iterations, 100 nodes)
Final Solve:          213.537000    (0 iterations)

Best integer solution possible:        213.537000

Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000


LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

---- VAR z            -INF    213.537     +INF       .

---- VAR x



**** REPORT SUMMARY :       0     NONOPT
                         0 INFEASIBLE
                         0  UNBOUNDED


EXECUTION TIME       =        0.032 SECONDS    1.3 Mb      WIN212-136
```

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_9.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_9.lst

EK-19. AtamaModeli_3 problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları

		Ekipte Bulunan Personele Dair							
		Karar değişkeni değeri	Çalışan No	Ücret	Kıdem	KH Planlı Yokluk	Ç Planlı Yokluk	KH Plansız Yokluk	D Plansız Yokluk
Ekipler	1	25	37	6933	7	0,268	0,276	0,175	0,176
		57	84	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
		84	114	4454	1	0,254	0,225	0,359	0,361
		137	182	6933	6	0,279	0,247	0,162	0,161
		186	247	13724	2	0,204	0,239	0,313	0,310
		200	265	28000	7	0,250	0,250	0,250	0,250
		Toplam Maliyet		66977					
		Toplam Fayda		29					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,575					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,490					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,344					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,343					
	2	27	42	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		80	110	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
		150	198	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
		151	199	4454	1	0,288	0,246	0,137	0,137
		153	201	13724	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		209	275	32000	10	0,268	0,253	0,222	0,223
		Toplam Maliyet		68577					
		Toplam Fayda		26					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,517					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,500					

	Toplam KH Plansız Yokluk		1,314					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,312					
3	53	78	6133	3	0,314	0,251	0,092	0,092
	54	79	4454	1	0,240	0,252	0,281	0,281
	99	134	6933	6	0,229	0,246	0,281	0,280
	136	180	5333	2	0,224	0,246	0,302	0,302
	197	262	16000	3	0,230	0,281	0,200	0,198
	201	267	21333	5	0,304	0,279	0,078	0,078
	Toplam Maliyet		60186					
	Toplam Fayda		20					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,542					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,555					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,233					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,231					
4	7	9	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
	17	26	6133	3	0,288	0,246	0,137	0,137
	44	66	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
	103	139	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
	166	218	32000	10	0,242	0,220	0,309	0,309
	208	274	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
	Toplam Maliyet		69377					
	Toplam Fayda		25					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,569					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,468					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,340					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,340					
5	31	49	4454	1	0,266	0,251	0,213	0,213
	72	100	6933	6	0,217	0,235	0,266	0,264

		82	112	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
		89	122	6133	5	0,266	0,251	0,213	0,213
		162	214	30000	9	0,279	0,247	0,162	0,161
		196	259	13724	1	0,254	0,244	0,210	0,209
		Toplam Maliyet		68177					
		Toplam Fayda		28					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,603					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,481					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,148					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,145					
	6	58	85	5333	2	0,283	0,253	0,181	0,182
		128	170	6933	7	0,290	0,290	0,090	0,090
		146	194	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		147	195	5333	2	0,242	0,220	0,309	0,309
		187	248	13724	1	0,246	0,256	0,290	0,291
		211	277	30000	9	0,266	0,319	0,106	0,106
		Toplam Maliyet		65777					
		Toplam Fayda		22					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,577					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,587					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,227					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,228					
	7	20	30	5333	2	0,236	0,246	0,267	0,267
		32	50	6133	3	0,236	0,246	0,267	0,267
		64	92	5333	2	0,232	0,239	0,343	0,344
		76	105	4454	1	0,297	0,258	0,164	0,164
		169	223	28000	7	0,230	0,281	0,200	0,198
		220	287	13724	1	0,264	0,327	0,071	0,071

	Toplam Maliyet		62977					
	Toplam Fayda		16					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,494					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,597					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,313					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,312					
8	4	6	6133	5	0,262	0,235	0,233	0,232
	26	41	4454	1	0,204	0,239	0,313	0,310
	68	96	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	91	125	6133	3	0,236	0,260	0,200	0,199
	156	206	13724	1	0,288	0,246	0,137	0,137
	203	269	32000	10	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		66898					
	Toplam Fayda		21					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,504					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,512					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,348					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,346					
9	66	94	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
	98	133	6133	4	0,274	0,284	0,118	0,117
	102	137	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
	105	142	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
	180	240	16000	4	0,250	0,250	0,250	0,250
	225	295	16000	4	0,213	0,265	0,243	0,241
	Toplam Maliyet		53974					
	Toplam Fayda		21					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,481					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,581					

	Toplam KH Plansız Yokluk		1,335					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,333					
10	39	60	6133	4	0,229	0,246	0,281	0,280
	43	65	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
	106	143	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
	114	154	4454	1	0,284	0,309	0,070	0,070
	195	258	30000	9	0,246	0,256	0,290	0,291
	199	264	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
	Toplam Maliyet		66098					
	Toplam Fayda		26					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,532					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,557					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,338					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,338					
11	9	14	6133	5	0,279	0,247	0,162	0,161
	13	19	5333	2	0,246	0,256	0,290	0,291
	67	95	6933	7	0,230	0,259	0,230	0,228
	117	158	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	163	215	13724	2	0,279	0,247	0,162	0,161
	206	272	16000	4	0,236	0,260	0,200	0,199
	Toplam Maliyet		53456					
	Toplam Fayda		22					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,524					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,514					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,254					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,250					
12	48	71	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
	52	77	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250

		135	179	4454	1	0,210	0,210	0,410	0,410
		139	185	5333	2	0,307	0,271	0,071	0,072
		164	216	16000	4	0,308	0,255	0,123	0,123
		179	239	13724	2	0,203	0,255	0,261	0,259
		Toplam Maliyet		52577					
		Toplam Fayda		20					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,532					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,527					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,325					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,324					
	13	60	87	4454	1	0,290	0,290	0,090	0,090
		112	151	6133	4	0,246	0,256	0,290	0,291
		124	166	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		133	177	6133	4	0,290	0,290	0,090	0,090
		161	213	28000	7	0,212	0,242	0,310	0,310
		221	289	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
		Toplam Maliyet		67653					
		Toplam Fayda		27					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,534					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,584					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,321					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,322					
	14	3	4	6133	3	0,264	0,227	0,309	0,311
		40	61	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
		63	90	7333	10	0,259	0,289	0,126	0,125
		132	175	6933	6	0,253	0,285	0,210	0,211
		188	251	16000	4	0,290	0,290	0,090	0,090
		198	263	13724	2	0,268	0,253	0,222	0,223

	Toplam Maliyet		57456					
	Toplam Fayda		34					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,564					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,584					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,207					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,207					
15	30	48	6133	4	0,253	0,242	0,305	0,306
	90	124	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
	107	144	7333	9	0,236	0,260	0,200	0,199
	144	191	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
	168	221	13724	2	0,307	0,271	0,071	0,072
	183	244	30000	9	0,268	0,276	0,175	0,176
	Toplam Maliyet		66977					
	Toplam Fayda		27					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,517					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,509					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,319					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,317					
16	2	3	6933	7	0,254	0,269	0,207	0,207
	15	22	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
	33	51	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
	61	88	7333	9	0,242	0,262	0,230	0,229
	157	208	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
	191	254	13724	2	0,259	0,289	0,126	0,125
	Toplam Maliyet		55777					
	Toplam Fayda		33					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,459					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,584					

	Toplam KH Plansız Yokluk		1,323					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,321					
17	5	7	7333	10	0,266	0,251	0,213	0,213
	21	32	6933	6	0,258	0,238	0,270	0,271
	22	33	6133	3	0,289	0,269	0,123	0,123
	36	57	6133	4	0,308	0,255	0,123	0,123
	217	284	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
	218	285	25333	6	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		65589					
	Toplam Fayda		30					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,635					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,522					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,241					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,244					
18	73	101	6133	3	0,259	0,289	0,126	0,125
	94	129	4454	1	0,236	0,206	0,373	0,373
	125	167	5333	2	0,228	0,214	0,364	0,364
	148	196	6133	5	0,308	0,255	0,123	0,123
	155	205	16000	3	0,279	0,315	0,060	0,059
	189	252	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
	Toplam Maliyet		54053					
	Toplam Fayda		18					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,533					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,525					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,347					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,347					
19	8	11	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
	11	16	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164

		46	68	6133	4	0,249	0,290	0,151	0,150
		87	118	4454	1	0,235	0,271	0,236	0,235
		172	227	13724	1	0,256	0,271	0,157	0,156
		190	253	25333	6	0,189	0,231	0,320	0,317
		Toplam Maliyet		62710					
		Toplam Fayda		23					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,467					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,540					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,336					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,332					
	20	42	64	5333	2	0,272	0,239	0,258	0,259
		74	103	4454	1	0,283	0,253	0,181	0,182
		110	148	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
		113	152	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
		170	224	13724	1	0,226	0,222	0,316	0,315
		224	293	28000	8	0,256	0,271	0,157	0,156
		Toplam Maliyet		64577					
		Toplam Fayda		23					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,580					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,510					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,271					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,272					
	21	77	106	6933	7	0,250	0,250	0,250	0,250
		100	135	6933	7	0,230	0,240	0,250	0,248
		129	171	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
		152	200	6133	3	0,290	0,290	0,090	0,090
		193	256	21333	5	0,290	0,290	0,090	0,090
		219	286	16000	4	0,288	0,246	0,137	0,137

	Toplam Maliyet		61786					
	Toplam Fayda		27					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,537					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,547					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,137					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,132					
22	18	27	7333	10	0,274	0,266	0,132	0,131
	19	29	6933	6	0,248	0,252	0,266	0,266
	23	34	6933	7	0,290	0,230	0,225	0,226
	145	193	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
	165	217	25333	6	0,266	0,319	0,106	0,106
	228	300	13724	1	0,188	0,233	0,327	0,324
	Toplam Maliyet		66389					
	Toplam Fayda		33					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,575					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,556					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,179					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,177					
23	51	76	4454	1	0,264	0,327	0,071	0,071
	85	116	4454	1	0,279	0,315	0,060	0,059
	121	162	5333	2	0,204	0,239	0,313	0,310
	134	178	6133	5	0,250	0,250	0,250	0,250
	215	282	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
	227	298	21333	5	0,189	0,231	0,320	0,317
	Toplam Maliyet		57707					
	Toplam Fayda		17					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,431					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,618					

	Toplam KH Plansız Yokluk		1,303					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,299					
24	35	54	5333	2	0,242	0,262	0,230	0,229
	81	111	6933	8	0,290	0,290	0,090	0,090
	83	113	5333	2	0,235	0,271	0,236	0,235
	92	127	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
	177	236	16000	3	0,224	0,246	0,302	0,302
	192	255	28000	8	0,224	0,246	0,302	0,302
	Toplam Maliyet		68532					
	Toplam Fayda		31					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,511					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,573					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,323					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,323					
25	34	52	6133	5	0,188	0,233	0,327	0,324
	50	74	5333	2	0,252	0,248	0,234	0,234
	115	155	6133	4	0,256	0,232	0,307	0,308
	120	161	6133	4	0,236	0,260	0,200	0,199
	171	225	16000	3	0,289	0,269	0,123	0,123
	207	273	28000	8	0,266	0,319	0,106	0,106
	Toplam Maliyet		67732					
	Toplam Fayda		26					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,487					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,560					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,296					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,293					
26	69	97	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
	75	104	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248

		93	128	6133	3	0,245	0,309	0,120	0,119
		111	150	4454	1	0,308	0,255	0,123	0,123
		174	229	16000	4	0,216	0,269	0,243	0,241
		182	242	13724	2	0,242	0,302	0,147	0,146
		Toplam Maliyet		52977					
		Toplam Fayda		21					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,505					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,602					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,130					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,125					
	27	71	99	5333	2	0,253	0,285	0,210	0,211
		78	108	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		122	163	6133	4	0,268	0,276	0,175	0,176
		130	172	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		158	209	32000	10	0,307	0,271	0,071	0,072
		213	279	13724	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		Toplam Maliyet		69456					
		Toplam Fayda		23					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,585					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,652					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,127					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,130					
	28	14	21	6933	6	0,260	0,265	0,174	0,175
		29	46	6933	8	0,246	0,279	0,170	0,169
		126	168	7333	9	0,263	0,227	0,247	0,248
		141	188	5333	2	0,290	0,290	0,090	0,090
		160	211	13724	1	0,242	0,220	0,309	0,309
		185	246	21333	5	0,268	0,253	0,222	0,223

	Toplam Maliyet		61589					
	Toplam Fayda		31					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,569					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,535					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,213					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,213					
29	56	83	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	59	86	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
	109	147	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
	142	189	6133	4	0,307	0,271	0,071	0,072
	212	278	16000	4	0,226	0,222	0,316	0,315
	226	296	16000	3	0,253	0,285	0,210	0,211
	Toplam Maliyet		56453					
	Toplam Fayda		27					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,513					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,571					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,310					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,311					
30	55	80	6133	4	0,213	0,265	0,243	0,241
	116	157	6133	3	0,250	0,250	0,250	0,250
	118	159	6133	3	0,266	0,251	0,213	0,213
	140	186	4454	1	0,242	0,302	0,147	0,146
	154	203	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
	173	228	28000	8	0,213	0,265	0,243	0,241
	Toplam Maliyet		64577					
	Toplam Fayda		21					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,415					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,573					

		Toplam KH Plansız Yokluk		1,344					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,338					
	31	6	8	5333	2	0,284	0,309	0,070	0,070
		12	17	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		62	89	6133	5	0,283	0,253	0,181	0,182
		88	120	5333	2	0,211	0,244	0,320	0,319
		181	241	21333	5	0,283	0,253	0,181	0,182
		204	270	13724	1	0,204	0,239	0,313	0,310
		Toplam Maliyet		56310					
		Toplam Fayda		16					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,515					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,548					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,316					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,314					
	32	10	15	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		49	72	7333	10	0,307	0,271	0,071	0,072
		70	98	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		123	165	6133	5	0,267	0,334	0,063	0,063
		178	237	13724	2	0,314	0,251	0,092	0,092
		205	271	28000	7	0,242	0,220	0,309	0,309
		Toplam Maliyet		67456					
		Toplam Fayda		30					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,579					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,569					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,139					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,139					
	33	41	62	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		45	67	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176

		104	141	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
		143	190	7333	9	0,242	0,302	0,147	0,146
		167	220	16000	3	0,204	0,239	0,313	0,310
		214	281	21333	5	0,230	0,240	0,250	0,248
		Toplam Maliyet		61386					
		Toplam Fayda		28					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,448					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,550					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,344					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,339					
	34	38	59	4454	1	0,274	0,284	0,118	0,117
		86	117	7333	10	0,263	0,227	0,247	0,248
		95	130	6133	5	0,242	0,302	0,147	0,146
		127	169	6133	3	0,254	0,244	0,210	0,209
		184	245	28000	7	0,189	0,231	0,320	0,317
		223	292	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
		Toplam Maliyet		65777					
		Toplam Fayda		27					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,491					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,541					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,264					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,260					
	35	47	69	6133	4	0,274	0,266	0,132	0,131
		79	109	6133	5	0,268	0,276	0,175	0,176
		108	146	4454	1	0,254	0,244	0,210	0,209
		119	160	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
		176	234	28000	8	0,246	0,289	0,203	0,203
		222	290	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248

	Toplam Maliyet		62898					
	Toplam Fayda		21					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,510					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,543					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,348					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,347					
36	16	24	5333	2	0,216	0,230	0,360	0,360
	37	58	6133	3	0,249	0,290	0,151	0,150
	97	132	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
	131	174	4454	1	0,304	0,279	0,078	0,078
	202	268	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	210	276	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	Toplam Maliyet		54853					
	Toplam Fayda		19					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,501					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,533					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,310					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,307					
37	1	1	4454	1	0,245	0,264	0,247	0,247
	24	35	5333	2	0,244	0,234	0,313	0,313
	28	45	6933	6	0,203	0,255	0,261	0,259
	149	197	6133	3	0,267	0,334	0,063	0,063
	175	232	28000	7	0,253	0,285	0,210	0,211
	194	257	13724	2	0,304	0,279	0,078	0,078
	Toplam Maliyet		64577					
	Toplam Fayda		21					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,517					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,652					

		Toplam KH Plansız Yokluk		1,172				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,171				
	38	65	93	6133	4	0,224	0,246	0,302	0,302
		96	131	6933	8	0,279	0,315	0,060	0,059
		101	136	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
		138	183	6933	7	0,236	0,260	0,200	0,199
		159	210	25333	6	0,254	0,296	0,170	0,170
		216	283	13724	2	0,308	0,255	0,123	0,123
		Toplam Maliyet		65189				
		Toplam Fayda		31				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,491				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,604				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,174				

EK-20. ÇokAmaçlıAtamaModeli problemi GAMS optimizasyon programı çözüm özeti

```
MODEL   tik5_2_2_b        OBJECTIVE  z
TYPE    MIP               DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER  CPLEX             FROM LINE  2326

**** SOLVER STATUS     1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE               0.0000

 RESOURCE USAGE, LIMIT         13.401      1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT        0    2000000000

IBM ILOG CPLEX   24.1.3 r41464 Released Jul 26, 2013 WEI x86_64/MS Windows
--- GAMS/Cplex licensed for continuous and discrete problems.
Cplex 12.5.1.0

MIP status(101): integer optimal solution
Cplex Time: 7.78sec (det. 27.02 ticks)

Fixing integer variables, and solving final LP...
Fixed MIP status(1): optimal

Cplex Time: 0.39sec (det. 5.35 ticks)


Proven optimal solution.

MIP Solution:          0.000000    (0 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           0.000000    (0 iterations)

Best possible:         0.000000
Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000


LOWER     LEVEL     UPPER     MARGINAL

---- VAR z             -INF       .        +INF       .

---- VAR x

---- VAR a

---- VAR a1

---- VAR b
```

---- VAR b1

---- VAR d

---- VAR d1

---- VAR f

---- VAR f1

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.031 SECONDS 1.3 Mb WIN212-136

USER: Mehmet Atak S031201:1059AR-WIN
GAZI UNIVERSTY, Dept. of Industrial Engineering DC4484

**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_10.gms
OUTPUT C:\WINDOWS\gamsdir\Untitled_10.lst

EK-21. ÇokAmaçlıAtamaModeli problemi 38 ekip ve çalışanları için optimal çözüm sonuçları

		Ekipte Bulunan Personele Dair							
		Karar değişkeni değeri	Çalışan No	Ücret	Kıdem	KH Planlı Yokluk	Ç Planlı Yokluk	KH Plansız Yokluk	D Plansız Yokluk
Ekipler	1	3	4	6133	3	0,264	0,227	0,309	0,311
		35	54	5333	2	0,242	0,262	0,230	0,229
		105	142	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
		129	171	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
		171	225	16000	3	0,289	0,269	0,123	0,123
		187	248	13724	1	0,246	0,256	0,290	0,291
		Toplam Maliyet		52577					
		Toplam Fayda		17					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,496					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,496					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,485					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,484					
	2	12	17	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		112	151	6133	4	0,246	0,256	0,290	0,291
		126	168	7333	9	0,263	0,227	0,247	0,248
		132	175	6933	6	0,253	0,285	0,210	0,211
		167	220	16000	3	0,204	0,239	0,313	0,310
		169	223	28000	7	0,230	0,281	0,200	0,198
		Toplam Maliyet		68853					
		Toplam Fayda		30					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,446					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,538					

		Toplam KH Plansız Yokluk		1,510					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,508					
	3	49	72	7333	10	0,307	0,271	0,071	0,072
		139	185	5333	2	0,307	0,271	0,071	0,072
		145	193	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
		151	199	4454	1	0,288	0,246	0,137	0,137
		158	209	32000	10	0,307	0,271	0,071	0,072
		216	283	13724	2	0,308	0,255	0,123	0,123
		Toplam Maliyet		68977					
		Toplam Fayda		28					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,826					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,571					
		Toplam KH Plansız Yokluk		0,598					
		Toplam D Plansız Yokluk		0,598					
	4	50	74	5333	2	0,252	0,248	0,234	0,234
		70	98	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		88	120	5333	2	0,211	0,244	0,320	0,319
		117	158	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
		180	240	16000	4	0,250	0,250	0,250	0,250
		227	298	21333	5	0,189	0,231	0,320	0,317
		Toplam Maliyet		59465					
		Toplam Fayda		18					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,379					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,463					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,635					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,630					
	5	38	59	4454	1	0,274	0,284	0,118	0,117
		48	71	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211

		94	129	4454	1	0,236	0,206	0,373	0,373
		102	137	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
		186	247	13724	2	0,204	0,239	0,313	0,310
		196	259	13724	1	0,254	0,244	0,210	0,209
		Toplam Maliyet		46943					
		Toplam Fayda		9					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,475					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,543					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,433					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,431					
	6	46	68	6133	4	0,249	0,290	0,151	0,150
		65	93	6133	4	0,224	0,246	0,302	0,302
		69	97	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
		76	105	4454	1	0,297	0,258	0,164	0,164
		195	258	30000	9	0,246	0,256	0,290	0,291
		197	262	16000	3	0,230	0,281	0,200	0,198
		Toplam Maliyet		70053					
		Toplam Fayda		30					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,475					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,570					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,356					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,354					
	7	11	16	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
		84	114	4454	1	0,254	0,225	0,359	0,361
		92	127	6933	8	0,297	0,258	0,164	0,164
		144	191	4454	1	0,189	0,231	0,320	0,317
		168	221	13724	2	0,307	0,271	0,071	0,072
		212	278	16000	4	0,226	0,222	0,316	0,315

	Toplam Maliyet		52498					
	Toplam Fayda		24					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,569					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,464					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,394					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,394					
8	97	132	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
	98	133	6133	4	0,274	0,284	0,118	0,117
	111	150	4454	1	0,308	0,255	0,123	0,123
	135	179	4454	1	0,210	0,210	0,410	0,410
	155	205	16000	3	0,279	0,315	0,060	0,059
	200	265	28000	7	0,250	0,250	0,250	0,250
	Toplam Maliyet		65974					
	Toplam Fayda		23					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,545					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,560					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,262					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,262					
9	15	22	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
	57	84	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
	96	131	6933	8	0,279	0,315	0,060	0,059
	115	155	6133	4	0,256	0,232	0,307	0,308
	166	218	32000	10	0,242	0,220	0,309	0,309
	214	281	21333	5	0,230	0,240	0,250	0,248
	Toplam Maliyet		77786					
	Toplam Fayda		34					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,551					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,505					

	Toplam KH Plansız Yokluk		1,312					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,312					
10	1	1	4454	1	0,245	0,264	0,247	0,247
	91	125	6133	3	0,236	0,260	0,200	0,199
	124	166	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
	141	188	5333	2	0,290	0,290	0,090	0,090
	185	246	21333	5	0,268	0,253	0,222	0,223
	203	269	32000	10	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		76186					
	Toplam Fayda		29					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,536					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,574					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,300					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,301					
11	29	46	6933	8	0,246	0,279	0,170	0,169
	47	69	6133	4	0,274	0,266	0,132	0,131
	55	80	6133	4	0,213	0,265	0,243	0,241
	142	189	6133	4	0,307	0,271	0,071	0,072
	170	224	13724	1	0,226	0,222	0,316	0,315
	222	290	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
	Toplam Maliyet		52780					
	Toplam Fayda		23					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,496					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,543					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,181					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,176					
12	2	3	6933	7	0,254	0,269	0,207	0,207
	31	49	4454	1	0,266	0,251	0,213	0,213

		106	143	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
		146	194	4454	1	0,250	0,250	0,250	0,250
		162	214	30000	9	0,279	0,247	0,162	0,161
		183	244	30000	9	0,268	0,276	0,175	0,176
		Toplam Maliyet		80295					
		Toplam Fayda		28					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,554					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,521					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,385					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,387					
	13	51	76	4454	1	0,264	0,327	0,071	0,071
		53	78	6133	3	0,314	0,251	0,092	0,092
		116	157	6133	3	0,250	0,250	0,250	0,250
		138	183	6933	7	0,236	0,260	0,200	0,199
		190	253	25333	6	0,189	0,231	0,320	0,317
		194	257	13724	2	0,304	0,279	0,078	0,078
		Toplam Maliyet		62710					
		Toplam Fayda		22					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,557					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,599					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,011					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,007					
	14	23	34	6933	7	0,290	0,230	0,225	0,226
		52	77	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
		99	134	6933	6	0,229	0,246	0,281	0,280
		127	169	6133	3	0,254	0,244	0,210	0,209
		176	234	28000	8	0,246	0,289	0,203	0,203
		177	236	16000	3	0,224	0,246	0,302	0,302

	Toplam Maliyet		70932					
	Toplam Fayda		35					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,493					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,505					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,471					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,470					
15	56	83	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	74	103	4454	1	0,283	0,253	0,181	0,182
	78	108	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
	136	180	5333	2	0,224	0,246	0,302	0,302
	161	213	28000	7	0,212	0,242	0,310	0,310
	215	282	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		59920					
	Toplam Fayda		16					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,219					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,282					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,294					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,296					
16	5	7	7333	10	0,266	0,251	0,213	0,213
	22	33	6133	3	0,289	0,269	0,123	0,123
	79	109	6133	5	0,268	0,276	0,175	0,176
	118	159	6133	3	0,266	0,251	0,213	0,213
	160	211	13724	1	0,242	0,220	0,309	0,309
	210	276	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209
	Toplam Maliyet		55456					
	Toplam Fayda		25					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,585					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,510					

		Toplam KH Plansız Yokluk		1,242				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,242				
	17	34	52	6133	5	0,188	0,233	0,327	0,324
		63	90	7333	10	0,259	0,289	0,126	0,125
		113	152	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
		149	197	6133	3	0,267	0,334	0,063	0,063
		154	203	13724	2	0,230	0,240	0,250	0,248
		184	245	28000	7	0,189	0,231	0,320	0,317
		Toplam Maliyet		68256				
		Toplam Fayda		35				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,368				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,598				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,320				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,312				
	18	44	66	6933	7	0,266	0,251	0,213	0,213
		90	124	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248
		93	128	6133	3	0,245	0,309	0,120	0,119
		114	154	4454	1	0,284	0,309	0,070	0,070
		204	270	13724	1	0,204	0,239	0,313	0,310
		228	300	13724	1	0,188	0,233	0,327	0,324
		Toplam Maliyet		50301				
		Toplam Fayda		15				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,451				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,568				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,289				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,284				
	19	54	79	4454	1	0,240	0,252	0,281	0,281
		83	113	5333	2	0,235	0,271	0,236	0,235

	100	135	6933	7	0,230	0,240	0,250	0,248
	147	195	5333	2	0,242	0,220	0,309	0,309
	157	208	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
	218	285	25333	6	0,246	0,256	0,290	0,291
	Toplam Maliyet		63386					
	Toplam Fayda		22					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,417					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,484					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,667					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,666					
20	16	24	5333	2	0,216	0,230	0,360	0,360
	28	45	6933	6	0,203	0,255	0,261	0,259
	101	136	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
	104	141	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	164	216	16000	4	0,308	0,255	0,123	0,123
	223	292	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		48123					
	Toplam Fayda		17					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,222					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,239					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,136					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,131					
21	42	64	5333	2	0,272	0,239	0,258	0,259
	77	106	6933	7	0,250	0,250	0,250	0,250
	108	146	4454	1	0,254	0,244	0,210	0,209
	125	167	5333	2	0,228	0,214	0,364	0,364
	219	286	16000	4	0,288	0,246	0,137	0,137
	221	289	16000	3	0,246	0,256	0,290	0,291

	Toplam Maliyet		54053					
	Toplam Fayda		19					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,537					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,449					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,510					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,511					
22	30	48	6133	4	0,253	0,242	0,305	0,306
	43	65	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
	58	85	5333	2	0,283	0,253	0,181	0,182
	62	89	6133	5	0,283	0,253	0,181	0,182
	175	232	28000	7	0,253	0,285	0,210	0,211
	206	272	16000	4	0,236	0,260	0,200	0,199
	Toplam Maliyet		68932					
	Toplam Fayda		32					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,566					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,564					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,235					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,236					
23	7	9	4454	1	0,253	0,285	0,210	0,211
	71	99	5333	2	0,253	0,285	0,210	0,211
	110	148	6133	3	0,308	0,255	0,123	0,123
	131	174	4454	1	0,304	0,279	0,078	0,078
	163	215	13724	2	0,279	0,247	0,162	0,161
	181	241	21333	5	0,283	0,253	0,181	0,182
	Toplam Maliyet		55431					
	Toplam Fayda		14					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,680					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,604					

	Toplam KH Plansız Yokluk		0,965					
	Toplam D Plansız Yokluk		0,966					
24	13	19	5333	2	0,246	0,256	0,290	0,291
	67	95	6933	7	0,230	0,259	0,230	0,228
	119	160	4454	1	0,238	0,228	0,378	0,380
	152	200	6133	3	0,290	0,290	0,090	0,090
	198	263	13724	2	0,268	0,253	0,222	0,223
	207	273	28000	8	0,266	0,319	0,106	0,106
	Toplam Maliyet		64577					
	Toplam Fayda		23					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,538					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,606					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,317					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,318					
25	39	60	6133	4	0,229	0,246	0,281	0,280
	41	62	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
	109	147	6933	8	0,235	0,271	0,236	0,235
	143	190	7333	9	0,242	0,302	0,147	0,146
	173	228	28000	8	0,213	0,265	0,243	0,241
	191	254	13724	2	0,259	0,289	0,126	0,125
	Toplam Maliyet		69056					
	Toplam Fayda		39					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,428					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,623					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,282					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,277					
26	21	32	6933	6	0,258	0,238	0,270	0,271
	75	104	5333	2	0,263	0,227	0,247	0,248

		80	110	6133	4	0,189	0,231	0,320	0,317
		82	112	6933	6	0,321	0,254	0,085	0,085
		201	267	21333	5	0,304	0,279	0,078	0,078
		205	271	28000	7	0,242	0,220	0,309	0,309
		Toplam Maliyet		74665					
		Toplam Fayda		30					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,577					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,449					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,309					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,308					
	27	18	27	7333	10	0,274	0,266	0,132	0,131
		61	88	7333	9	0,242	0,262	0,230	0,229
		107	144	7333	9	0,236	0,260	0,200	0,199
		128	170	6933	7	0,290	0,290	0,090	0,090
		178	237	13724	2	0,314	0,251	0,092	0,092
		192	255	28000	8	0,224	0,246	0,302	0,302
		Toplam Maliyet		70656					
		Toplam Fayda		45					
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,581					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,576					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,046					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,044					
	28	8	11	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
		87	118	4454	1	0,235	0,271	0,236	0,235
		122	163	6133	4	0,268	0,276	0,175	0,176
		140	186	4454	1	0,242	0,302	0,147	0,146
		189	252	16000	4	0,224	0,246	0,302	0,302
		202	268	16000	3	0,254	0,244	0,210	0,209

	Toplam Maliyet		53174					
	Toplam Fayda		16					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,464					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,558					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,378					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,377					
29	24	35	5333	2	0,244	0,234	0,313	0,313
	27	42	6933	8	0,250	0,250	0,250	0,250
	64	92	5333	2	0,232	0,239	0,343	0,344
	123	165	6133	5	0,267	0,334	0,063	0,063
	213	279	13724	1	0,250	0,250	0,250	0,250
	220	287	13724	1	0,264	0,327	0,071	0,071
	Toplam Maliyet		51180					
	Toplam Fayda		19					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,507					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,634					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,290					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,291					
30	9	14	6133	5	0,279	0,247	0,162	0,161
	14	21	6933	6	0,260	0,265	0,174	0,175
	89	122	6133	5	0,266	0,251	0,213	0,213
	133	177	6133	4	0,290	0,290	0,090	0,090
	156	206	13724	1	0,288	0,246	0,137	0,137
	182	242	13724	2	0,242	0,302	0,147	0,146
	Toplam Maliyet		52780					
	Toplam Fayda		23					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,624					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,601					

		Toplam KH Plansız Yokluk		0,923				
		Toplam D Plansız Yokluk		0,921				
	31	37	58	6133	3	0,249	0,290	0,151	0,150
		73	101	6133	3	0,259	0,289	0,126	0,125
		130	172	6133	3	0,253	0,285	0,210	0,211
		137	182	6933	6	0,279	0,247	0,162	0,161
		153	201	13724	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		224	293	28000	8	0,256	0,271	0,157	0,156
		Toplam Maliyet		67056				
		Toplam Fayda		24				
		Toplam KH Planlı Yokluk		1,563				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		1,657				
		Toplam KH Plansız Yokluk		0,980				
		Toplam D Plansız Yokluk		0,978				
	32	4	6	6133	5	0,262	0,235	0,233	0,232
		36	57	6133	4	0,308	0,255	0,123	0,123
		120	161	6133	4	0,236	0,260	0,200	0,199
		148	196	6133	5	0,308	0,255	0,123	0,123
		165	217	25333	6	0,266	0,319	0,106	0,106
		172	227	13724	1	0,256	0,271	0,157	0,156
		Toplam Maliyet		172398,1792				
		Toplam Fayda		34				
		Toplam KH Planlı Yokluk		2,160				
		Toplam Ç Planlı Yokluk		2,142				
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,274				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,271				
	33	10	15	6133	3	0,224	0,246	0,302	0,302
		19	29	6933	6	0,248	0,252	0,266	0,266

	26	41	4454	1	0,204	0,239	0,313	0,310
	68	96	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
	225	295	16000	4	0,213	0,265	0,243	0,241
	226	296	16000	3	0,253	0,285	0,210	0,211
	Toplam Maliyet		53974					
	Toplam Fayda		18					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,411					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,564					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,508					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,506					
34	6	8	5333	2	0,284	0,309	0,070	0,070
	17	26	6133	3	0,288	0,246	0,137	0,137
	85	116	4454	1	0,279	0,315	0,060	0,059
	86	117	7333	10	0,263	0,227	0,247	0,248
	159	210	25333	6	0,254	0,296	0,170	0,170
	209	275	32000	10	0,268	0,253	0,222	0,223
	Toplam Maliyet		80586					
	Toplam Fayda		32					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,636					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,646					
	Toplam KH Plansız Yokluk		0,906					
	Toplam D Plansız Yokluk		0,907					
35	25	37	6933	7	0,268	0,276	0,175	0,176
	60	87	4454	1	0,290	0,290	0,090	0,090
	121	162	5333	2	0,204	0,239	0,313	0,310
	134	178	6133	5	0,250	0,250	0,250	0,250
	199	264	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161
	208	274	13724	1	0,279	0,247	0,162	0,161

	Toplam Maliyet		50301					
	Toplam Fayda		17					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,569					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,549					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,152					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,149					
36	33	51	7333	10	0,256	0,271	0,157	0,156
	66	94	4454	1	0,224	0,246	0,302	0,302
	95	130	6133	5	0,242	0,302	0,147	0,146
	150	198	5333	2	0,254	0,244	0,210	0,209
	174	229	16000	4	0,216	0,269	0,243	0,241
	179	239	13724	2	0,203	0,255	0,261	0,259
	Toplam Maliyet		52977					
	Toplam Fayda		24					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,395					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,587					
	Toplam KH Plansız Yokluk		1,319					
	Toplam D Plansız Yokluk		1,312					
37	20	30	5333	2	0,236	0,246	0,267	0,267
	32	50	6133	3	0,236	0,246	0,267	0,267
	40	61	7333	9	0,230	0,240	0,250	0,248
	59	86	6933	7	0,224	0,246	0,302	0,302
	188	251	16000	4	0,290	0,290	0,090	0,090
	193	256	21333	5	0,290	0,290	0,090	0,090
	Toplam Maliyet		63065					
	Toplam Fayda		30					
	Toplam KH Planlı Yokluk		1,506					
	Toplam Ç Planlı Yokluk		1,558					

		Toplam KH Plansız Yokluk		1,266				
		Toplam D Plansız Yokluk		1,263				
	38	45	67	4454	1	0,268	0,276	0,175	0,176
		72	100	6933	6	0,217	0,235	0,266	0,264
		81	111	6933	8	0,290	0,290	0,090	0,090
		103	139	6133	3	0,242	0,220	0,309	0,309
		211	277	30000	9	**0,266**	0,319	0,106	0,106
		217	284	13724	1	0,268	0,253	0,222	0,223
		Toplam Maliyet		168610,5941					
		Toplam Fayda		37					
		Toplam KH Planlı Yokluk		2,130					
		Toplam Ç Planlı Yokluk		2,172					
		Toplam KH Plansız Yokluk		1,349					
		Toplam D Plansız Yokluk		1,348					

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : YILMAZ KAYA, Burcu
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 17.07.1985, Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 582 38 03
Faks : 0 (312) 202 37 10
e-mail : burcuyilmaz@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /Endüstri Mühendisliği	2018
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Endüstri Mühendisliği	2010
Lisans	İstanbul Ticaret Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği (Burslu)	2007
Lise	Cumhuriyet Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2009). *Ekipman Seçimi Probleminde Bulanık PROMETHEE Yönteminin Kullanılması*. 9. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 533-538.

Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2010). *Hata Ağacı Analizi Risk Belirleme Süreci İçin Alternatif Bir Hesaplama Yöntemi*. 30.Ulusal Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, 88.

Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2010). Ekipman Seçimi Probleminde PROMETHEE ve Bulanık PROMETHEE yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (4), 811-827.

Yılmaz, B. ve Kılıç, E. (2010) *Ürün Tasarımı Sürecindeki Belirsizlikler İçin Yeni Bir Yaklaşım: F-PROMETHEE ve KFY Yöntemlerinin Bütünleştirilmesi*. 10. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 734-744.

Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2011). A Combined Approach For Equipment Selection: F-PROMETHEE Method and Zero–One Goal Programming. *Expert Systems With Applications*, 38 (9), 11641–11650.

Yılmaz, B., Dağdeviren, M. ve Akçayol, M. A. (2011). *Hızlı Tüketim Malları Depo Yeri Seçimi Problemi İçin Genetik Algoritma İle Bir Çözüm*. 11. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 485-494.

Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2011). *Tedarik Zinciri Yönetiminde Depo Yeri Seçimi Probleminin Çözümü İçin Tabu Arama Algoritması*. 31. Ulusal Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, 148.

Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2011). *PROMETHEE İçin Decision Lab Yazılımı ve Örnek Bir Problem Üzerinde Uygulanması*. Endüstri Mühendisliği Yazılımları ve Uygulamaları Kongresi, 95-105.

Yılmaz, B., Dağdeviren, M. ve Kurt, M. (2011). *İş Ölçümünde Standart Veri Sistemlerinin Kullanılmasına Yönelik Bir Endüstri Uygulaması*. 17. Ulusal Ergonomi Kongresi, 533-540.

Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2012). *İş Yükü Temelli Personel Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi.* 32.Ulusal Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, 52.

Kılıç Delice, E., **Yılmaz, B.** ve Dağdeviren, M. (2012). *Kullanılabilirlik Çalışmaları İçin Bütünleşik Bir Yöntem: Gri Teori ve PROMETHEE*. 18. Ulusal Ergonomi Kongresi, 59.

Yılmaz Kaya, B., Kaya, G. ve Dağdeviren, M. (2013). *A Decision Support System for Timetabling in Education: A Web Based Exam Scheduling Application*. 26th European Conference on Operational Research (EURO-INFORMS), 379-380.

Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2013). *A Fuzzy Model for the Selection of Job Safety Equipment on the Base of Universal Design Principles*. The 3rd International Fuzzy Systems Symposium, 147-152.

Yılmaz Kaya, B., Kaya, G. ve Dağdeviren, M. (2013). *A Sample Application of Web Based Examination System for Distance and Formal Education*. 4th World Conference on Learning, Teaching and Educational Leadership, 7.

Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2014). *Investigation of the effect of humanitarian factors for crew rostering problem.* Joint International Symposium on 44th International Conference on Computers & Industrial Engineering and 9th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems, 1409-1418.

Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2014). *Bir Üretim Hattında İş Sağlığı ve Güvenliği Riskleri İçin Çok Kriterli Analiz*. 20. Ulusal Ergonomi Kongresi, 50.

Yılmaz Kaya, B., Kaya, G. ve Dağdeviren, M. (2014). A Sample Application of Web Based Examination System for Distance and Formal Education. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 141, 1357 – 1362.

Yılmaz Kaya, B., Adem, A. ve Dağdeviren, M. (2015). *Alternatif Makine Çizelgelerinin Ergonomik Değerlendirilmesi İçin Bir Model Önerisi*. 21. Ulusal Ergonomi Kongresi, 43.

Adem, A., **Yılmaz Kaya, B**. ve Dağdeviren, M. (2015). *Çalışma Ortamı Kalitesinin Ergonomik Faktörler Temelinde Kano Model ile İncelenmesi*. 21. Ulusal Ergonomi Kongresi, 21.

Kılıç Delice, E., **Yılmaz Kaya, B.** ve Dağdeviren, M. (2015). *Determining Service Attributes of Airline Transportation Industry with Fuzzy QFD Method: An Application in Turkey*. The 4th International Fuzzy Systems Symposium, 132-138.

Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2016). Selecting Occupational Safety Equipment by MCDM Approach Considering Universal Design Principles. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries,* 26 (2), 224-242.

Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2016). *Havacılık İşletmeciliğinde Operasyon Optimizasyonu ve Bir Uygulama*. The 3rd International Aviation Management Conference, 178-191.

Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2017). *An Economy Class Service Systems Analysis Based on Fuzzy Methodologies*. The 5th International Fuzzy Systems Symposium, 38.

Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2017). *A Fuzzy Marketing Strategy Benchmarking Analysis in Service Sector*. The 5th International Fuzzy Systems Symposium, 101.

Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2017). *A Human Resources Management Application for Hospitality Management in Turkey*. International Conference on Toursim, Travel, Leisure and Hospitality, 17.



GAZİ GELECEKTİR..