

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Emre İPEKÇİ ÇETİN

UÇUŞ EKİP PLANLAMADA GENETİK ALGORİTMALAR YÖNTEMİNİN
KULLANILMASI

Danışman

Prof. Dr. Ayşe KURUÜZÜM






İşletme Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Antalya, 2008

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

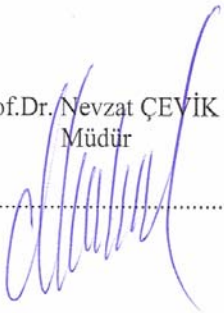
Emre İPEKÇİ ÇETİN'in bu çalışması, jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalı Programı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İbrahim GÜNGÖR 
Üye (Danışmanı) : Prof. Dr. Ayşe KURUÖZÜM 
Üye : Doç. Dr. Can Deniz KÖKSAL 
Üye : Yrd. Doç. Dr. Gül GÖKAY 
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ferit UĞUR 

Onay : Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

14.03.2008

Prof. Dr. Nevzat ÇEVİK
Müdür



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
TEŞEKKÜR	X
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM GENETİK ALGORİTMALAR

1.1. Evrimsel Algorİtmalar ve Avantajları	4
1.1.1. Evrimsel Programlama	7
1.1.2. Evrimsel Stratejiler	7
1.1.3. Genetik Programlama	8
1.2. Genetik Algorİtmalar	8
1.2.1. Genetik Gösterim	12
1.2.2. Uygunluk Fonksiyonu ve Değerlendirme	13
1.2.3. Genetik Operatörler	13
1.2.3.1. Üreme (reproduction) ve Seçim	14
1.2.3.1.1. Rulet Tekerleği Seçimi	14
1.2.3.1.2. Uygunluk Sıralaması (Fitness Ranking)	15
1.2.3.1.3. Turnuva Seçimi	15
1.2.3.1.4. Stokastik Universal Örnekleme	16
1.2.3.2. Çaprazlama	16
1.2.3.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama	17
1.2.3.2.2. İki Noktalı Çaprazlama	18
1.2.3.2.3. N Noktalı Çaprazlama	18
1.2.3.3. Mutasyon	19

1.2.4. Genetik Algoritma Çözüm Örnekleri	20
1.2.4.1. Genetik Algoritmanın Elde Çözülmesine Örnek	20
1.2.4.2. Genetik Algoritmanın Uygulanmasına Bir Örnek	23
1.2.4.2.1. Gösterim	24
1.2.4.2.2. Başlangıç Popülasyonu	25
1.2.4.2.3. Değerlendirme	25
1.2.4.2.4. Yeni Popülasyonun Oluşturulması	26
1.2.4.2.4.1. Yeniden Üretim	26
1.2.4.2.4.2. Seçim ve Çaprazlama	27
1.2.4.2.4.3. Mutasyon	28
1.2.5. Genetik Algoritmaların İşletme Alanındaki Uygulamaları	31

İKİNCİ BÖLÜM

HAVAYOLU EKİP ÇİZELGELEME (PLANLAMA)

2.1. Personel Çizelgeleme ve Personel Atama	37
2.2. Çizelgeleme ve Atamanın Uygulama Alanları ve Çözüm Yöntemleri	37
2.3. İşgücü Maliyetlerinin Minimizasyonu	38
2.4. Havayolu Çizelge Planlaması	39
2.4.1. Ekip Çizelgeleme (ekip planlama)	41
2.4.1.1. Ekip Eşleştirme (crew pairing) Problemi	44
2.4.1.2. Ekip Atama (crew rostering) Problemi	44
2.4.2. Havayolu Ekip Çizelgelemede Kullanılan Çözüm Yaklaşımları	48
2.4.2.1. Matematiksel Programlama	49
2.4.2.1.1. Dal-Sınır Algoritması	49
2.4.2.1.2. Sütun Türetme	50
2.4.2.1.3. Dal - Kesme Algoritması	50
2.4.2.1.4. Dal - Fiyat Algoritması	51
2.4.2.2. Yapısal Sezgiseller	51

2.4.2.3. Meta Sezgiseller ve İleri Uygulamalar	51
2.4.2.3.1. Genetik Algoritmalar	53
2.4.2.3.2. Tabu Arama	53
2.4.2.3.3. Sınır Ağları	53
2.4.2.3.4. Tavlama benzetimi	54
2.4.2.4. Ağ (network) Modelleri	54
2.5. Ekip Çizelgeleme Problemine İlişkin Uygulamalar	55
2.5.1. Havayolu Ekip Çizelgeleme Probleminde Genetik Algoritma Uygulamaları	59

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UÇUŞ EKİP PLANLAMADA GENETİK ALGORİTMALAR YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

3.1. Havayolu Ekip Eşleştirme Problemi Uygulaması	65
3.1.1. Veri Toplama ve Düzenleme	66
3.1.2. Olası Eşleştirmeler Tablosunun Hazırlanması	70
3.1.3. Küme Bölme Modelinin Oluşturulması	81
3.1.3.1. Küme Bölmeleme Modeline Bakış	81
3.1.3.2. Eşleştirme Probleminin Küme Bölmeleme Modeli İle Gösterimi ..	83
3.1.4. Havayolu Ekip Eşleştirme Probleminin Küme Bölme Modelinin Tamsayı Programlama ile Çözümü	89
3.1.4.1. Tamsayı Programlama ile Çözüm Sonuçları	96
3.1.5. Havayolu Ekip Eşleştirme Probleminin Genetik Algoritmalarla Çözümü	96
3.1.5.1. Seçim Yönteminde Yapılan Değişikliklerin Sonuçlara Etkisi	101
3.1.5.2. Çaprazlama Yöntemi ve Çaprazlama Oranında Yapılan Değişikliklerin Sonuçlara Etkisi	102
3.1.5.3. Popülasyon Büyüklüğünde Yapılan Değişikliklerin Sonuçlara Etkisi	102

3.1.5.4. Genetik Algoritmalarındaki Farklı Parametrelerle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	104
3.1.5.4.1. Seçim Yöntemi, Çaprazlama Oranı ve Popülasyon Büyüklüğünün Optimal Değerden % Sapma Üzerine Etkisi	106
3.1.5.4.2. Seçim Yöntemi, Çaprazlama Yöntemi ve Popülasyon Büyüklüğünün Optimal Değerden % Sapma Üzerine Etkisi	110
3.1.5.4.3. Çaprazlama Oranı, Çaprazlama Yöntemi ve Popülasyon Büyüklüğünün Optimal Değerden % Sapma Üzerine Etkisi	115
3.1.6. Havayolu Ekip Eşleştirme Problemi Üzerinde Tamsayı Programlama İle Genetik Algoritmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması	119
3.2. Havayolu Uçuş Ekibi Atama Problemi	121
3.2.1. Veri Düzenleme	122
3.2.2. Olası Atamaların Hesaplanması	122
3.2.2.1. Dinlenme Süresi Kısıtları	122
3.2.2.2. Azami Süre Kısıtları	123
3.2.2.3. Boş Süre Kısıtları	123
3.2.3. Küme Bölme Modelinin Oluşturulması, Genetik Algoritmalar ve Tamsayı Programlamayla Çözüm Denemeleri	124
3.2.4. Havayolu Şirketinin Ekip Planlama Uzmanının Çözümü	128
3.2.5. Çözümlerin Değerlendirilmesi	131
SONUÇ	134
KAYNAKÇA	138
EKLER	148
ÖZGEÇMİŞ	167

Şekiller Listesi

	Sayfa
Şekil 1.1. Yapay zeka teknikleri	5
Şekil 1.2. Basit evrimsel döngü	5
Şekil 1.3. Genetik algoritmaların genel akış şeması	11
Şekil 1.4. Rulet tekerleği gösterimi	15
Şekil 1.5. Tek noktalı çaprazlama örneği	17
Şekil 1.6. İki noktalı çaprazlama örneği	18
Şekil 1.7. N noktalı çaprazlama örneği	18
Şekil 1.8. Bireylerin rulet tekerleğinde kaplayacakları alanın gösterimi	21
Şekil 1.9. Goldstein ve Price fonksiyonu	24
Şekil 1.10. Başlangıç popülasyonunda amaç fonksiyonunun kontür plotu	31
Şekil 1.11. 20. jenerasyondan sonra popülasyonun amaç fonksiyonunun kontür plotu	31
Şekil 1.12. 50. jenerasyondan sonra popülasyonun amaç fonksiyonunun kontür plotu	31
Şekil 2.1. Havayolu çizelge planlaması	39
Şekil 2.2. Havayolu ekip planlamanın çizelgeleme içindeki yeri	42
Şekil 2.3. Ekip planlama aşamaları	45
Şekil 2.4. Havayolu ekip atama probleminin gösterimi	46
Şekil 2.5. Ekip çizelgeleme probleminin çözüm yaklaşımlarına genel bakış	49
Şekil 3.1. Havayolu ekip eşleştirme probleminin uygulama aşamaları akış diyagramı	65
Şekil 3.2. Havayolu şirketinin İzmir merkezli uçuşları	66
Şekil 3.3. Havayolu şirketinin Antalya merkezli uçuşları	67
Şekil 3.4. Bireylerin kromozomlarının ikili gösterimi	97
Şekil 3.5. Popülasyon büyüklüğü 100 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	106
Şekil 3.6. Popülasyon büyüklüğü 200 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	107
Şekil 3.7. Popülasyon büyüklüğü 300 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	107
Şekil 3.8. Popülasyon büyüklüğü 400 iken seçim yöntemi ve çaprazlama	

oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	108
Şekil 3.9. Popülasyon büyüklüğü 600 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	109
Şekil 3.10. Popülasyon büyüklüğü 100 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	110
Şekil 3.11. Popülasyon büyüklüğü 200 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	111
Şekil 3.12. Popülasyon büyüklüğü 300 iken seçim yöntemi ve çaprazlama Yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	112
Şekil 3.13. Popülasyon büyüklüğü 400 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	113
Şekil 3.14. Popülasyon büyüklüğü 600 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	114
Şekil 3.15. Popülasyon büyüklüğü 100 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	115
Şekil 3.16. Popülasyon büyüklüğü 200 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	116
Şekil 3.17. Popülasyon büyüklüğü 300 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	117
Şekil 3.18. Popülasyon büyüklüğü 400 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	118
Şekil 3.19. Popülasyon büyüklüğü 600 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim	119
Şekil 3.20. Havayolu ekip atama probleminin genel akış şeması	121

Tablolar Listesi

	Sayfa
Tablo 1.1. Genetik algoritmaların çalışma prensibi	20
Tablo 1.2. Genetik algoritmaların elde çözülmesine örnek	21
Tablo 1.3. Genetik algoritmaların işletme alanındaki kullanımına ilişkin Örnekler	32
Tablo 3.1. Uçuş bilgilerinden elde edilen uçuş çiftleri	67
Tablo 3.2. Azami uçuş görev süreleri	71
Tablo 3.3. Olası eşleşmeler tablosu	73
Tablo 3.4. Oluşan optimal eşleşmeler	92
Tablo 3.5. Küme bölme modelinin genetik algoritmalar ile çözüm sonuçları	98
Tablo 3.6. Uygunluk değeri frekansları tablosu	101
Tablo 3.7. Optimal sonuca ulaşılan parametreler, durma kriterleri ve durma sebebi	103
Tablo 3.8. İlk 110 ve ikinci 110 değişken için elde edilen Cochran Q istatistiği sonuçları	104
Tablo 3.9. Konular arası etkileşim testi	105
Tablo 3.10. Tez çalışmasından elde edilen eşleştirmeye bağlı olarak yapılan ekip atamaları	126
Tablo 3.11. Ekip planlama uzmanının uçuş eşleştirmesine bağlı olarak ortaya çıkan 15 ekiplik atama tablosu	129
Tablo 3.12. Antalya uçuşlarına yapılan atamalar	132

ÖZET

Havayolu taşımacılığında uçuş ekibi maliyetlerinin ekonomik olarak önemli bir paya sahip olması uzun yıllardan beri şirketlerle yöneylem araştırmacılarını ve matematik topluluklarını aynı amaç etrafında bir araya getirmektedir. Üretilen matematiksel modeller ve yazılan bilgisayar programlarındaki temel hedef ekip üyelerinin maliyetini minimize edecek çözümler üretmektir. Özellikle büyük havayolu şirketlerinde yapılan çok ufak iyileştirmelerin bile önemli büyüklükte tasarruflar sağladığı görülmüştür. Problemin karmaşıklığı ve büyüklüğü nedeniyle uygulamaların zamanla kendini sezgisel tekniklerle elde edilen çözümlere bıraktıkları görülmüştür. Bu noktadan hareketle bu çalışmada, havayolu uçuş ekibi planlama problemine uygulamada en çok kullanılan sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritmalarla çözüm arayışında bulunulmuştur.

Ekip planlamanın iki aşamasını oluşturan ve genellikle ayrı olarak ele alınan ekip eşleştirme ve ekip atama problemleri bu çalışmada bütünlük bir yapıda ele alınmıştır. Çalışmada küme bölme modeli formunda ifade edilen ekip eşleştirme probleminin öncelikle tamsayılı programlama ile daha sonra genetik algoritmalarla çözümü MATLAB bilgisayar programından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritmalarla çözüm, seçim yönteminde, çaprazlama yönteminde ve popülasyon büyüklüğünde yapılan değişikliklerle test edilmiştir. Genetik algoritma yönteminin farklı parametrelerinin kullanıldığı 120 deneme yapılarak küme bölme modeli üzerinde genetik algoritmaların performansı değerlendirilmiştir. Son olarak ekip eşleştirme problemi üzerinde tamsayılı programlama ve genetik algoritma yönteminin kullanılmasıyla elde edilen sonuçların karşılaştırması yapılmıştır. Genetik algoritmaların optimum yada optimuma yakın sonuçlar vermesinin yanında karar vericiye farklı alternatif çözümler sunarak bunlardan birini tercih etme esnekliği sağladığı görülmüştür.

Uygulamanın ikinci kısmını oluşturan ve ekip eşleştirme sonuçlarının girdi olarak kullanıldığı ekip atama problemi yine küme bölme modeline dönüştürülmüş, genetik algoritmalar ve tamsayılı programlama yöntemleriyle çözümleri aranmıştır. Değişken sayısındaki büyüklük problemi karışık ve çözümü zor bir hale getirmiştir. Xpress-MP programı yardımıyla elde edilen sonuçlarla uygulamanın yapıldığı havayolu şirketinin ekip planlama uzmanının gerçekleştirdiği atamalar karşılaştırılmıştır. Tezden elde edilen atama planıyla maliyetler açısından tasarruflar sağlayabileceği görülmüştür.

ABSTRACT

Airline crew costs, becoming a major economical element, has been taking attention of both operation researchers and mathematic community and bringing them together with companies to work in cooperation for long years. The proposed mathematical models and computer programs have the aim of cost minimization of crew members. Especially for the large-scale airline companies, any small improvement provides important savings. Because of the complexity of the problem and its large scale, the usage of heuristic solving methods become widespread. Starting from this point, genetic algorithms, one of the mostly used heuristic method, is used in airline crew scheduling problem.

Crew pairing and crew assignment problems, which constitute the two phases of airline crew scheduling and are generally considered separate, are taken as a whole in this study. The airline crew pairing problem expressed in a set partitioning model is first solved by integer programming and then it's solved by genetic algorithms (GA) with MATLAB. The GA solution is tested by different reproduction methods, crossover and population sizes. 120 trials are made with these parameters and its performance is evaluated on the set partitioning model. Lastly, the integer programming and GA solutions of the crew pairing problem are compared. It's seen that GA gives not only an optimal or near-optimal solution, but also provides a choice flexibility to the decision maker by suggesting alternative solutions.

In the second part of the application, the results of the crew pairing solutions are used as inputs for the crew assignment, again it's converted to the set partitioning model and solutions are searched with GA and integer programming. The largeness of the variable number makes the problem complicated and hard to solve. The solutions found by using Xpress-MP are compared with the crew assignment of the firm's planning expert, where the study is executed. The solutions of the study propose that cost advantage can be obtained by using the assignment plan developed in this study.

TEŞEKKÜR

Hazırlamış olduğum doktora tezi çalışmam süresince sadece akademik anlamda değil hayatın içinde de her zaman yanımda olduğunu hissettiren sevgili hocam Prof.Dr. Ayşe Kuruüzüm'e değerli fikirleriyle bana daima ışık tuttuğu için çok teşekkür ederim. Çalışma ofisini benimle paylaşarak gösterdiği samimiyet, bunaldığım zamanlarda beni rahatlatmak için sarfettiği çabalar, çalışıp yorulduktan sonra yapılan sohbetler, içilen Türk kahvelerinin lezzeti... Her şey çok güzel ve özeldi, çok teşekkürler.

Gerçek dostlar, iyi günlerde davet edilince sizi ziyaret eder, kötü günlerinizde davet edilmeden gelirlermiş. İhtiyaç duyduğum anlarda yardımlarını benden esirgemeyen, kendi tezini yazdığı günlerde değerli zamanını ayırarak benim için uykusuz geceler geçiren sevgili dostum Sezgin Irmak'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Sayın Prof.Dr. İbrahim Güngör'e ve sevgili hocam Doç.Dr. Can Deniz Köksal'a, çalışmamın tamamlanması süresince değerli fikirleriyle beni yönlendirdikleri için, ayrıca Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne sağladıkları katkılar için çok teşekkür ederim.

Yalçın İşler, Erdal Metin, Ersoy ve Mine Subaşı; destekleriniz için çok teşekkürler. Ayrıca tez dönemim boyunca iş yükümü paylaşan çalışma arkadaşlarım ve eğitimime katkıda bulunan tüm hocalarım sizlere teşekkür borçluyum.

Kimi zaman hayatla alay ettik kimi zaman çok ciddiye aldık. Kimselerle paylaşamadıklarımızı kapalı kapılar ardında fısıltılarla anlattık birbirimize, en unutulmaz kahkahaları attık gözlerimizden yaşlar süzülürken... Erenciğim, bu süre zarfında ve daima dostum olduğun için çok teşekkürler.

Ve tez dönemim içinde dünyaya gelen güzel oğlum... Uykusuz geceler gün ışığında gülen gözlerini ve güzel yüzünü görünce kendini unutturdu. Sayende hayatım ve yaşama amacım farklı bir yön aldı. Tezimin hızlanmasında ve hayata yeni bir bakış açısıyla bakmamı sağlamada katkın büyük. İyi ki aramıza katıldın minik kuzum Ozanım.

Koray'cığım canım... Sen hem verdiğin fikirler hem hissettiğim desteğinle her zaman arkamdaydın. Varlığın bana g¼c katıyor. Sadece iyi bir eş olmaktan öte, bana kimi zaman iyi bir dost, kimi zaman bir kılavuz olmanı seviyorum. Hayat mücadelemi seninle veriyor olmak benim için çok anlamlı. İyiki varsın ve yanımdasın. Çok teşekkürler...

Canım annem ve babacığım, bu süre zarfında Ozan'a neredeyse benden daha iyi baktığınız ve gözümü arkada bıraktırmadığınız için çok teşekkürler. Her zaman sevgi dolu bir ailede, aile bağlarının değerini bilerek geçirdiğim günler ve tüm destekleriniz için hem size hemde sevgili ablam Merih Baltacı ve sevgili ağabeyim Ufuk İpekçi'ye bu vesileyle çok teşekkür ederim...

Emre İPEKÇİ ÇETİN

2008, Antalya

GİRİŞ

Doğal evrim prensiplerini temel alan araştırma yöntemlerinin kullanıldığı uygulamalar ve bu konudaki gelişmeler günümüz araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Doğal olayların işleyiş ve davranış biçimlerinden esinlenerek geliştirilen ilgi çekici yöntemlerden birisi de evrimsel algoritmaların bir alt dalı olan genetik algoritmalarıdır. Daha çok fen bilimleri ve mühendislik alanında uygulaması görülen genetik algoritmaların işletme alanındaki uygulamaları incelendiğinde üretimden finansa, pazarlamadan çizelgelemeye kadar pek çok uygulaması olduğu görülmüştür. Bu çalışmada çizelgeleme problemleri arasında önemli bir yeri olan havayolu ekip planlama probleminin genetik algoritmalarla çözümü üzerinde durulmaktadır.

Ülkemizde faaliyet gösteren havayolu şirketlerinde bu tarz çalışmaların eksikliği tez çalışmasında bu konunun seçilmesinde etkili olmuştur. Havayolları için çizelgelemede uygun çözümlerin bulunması oldukça önemlidir. Fakat problemlerdeki birçok stokastik girdiden ötürü optimal çözüme ulaşılması maalesef oldukça zordur. Birçok havayolu şirketi ekip çizelgesinin oluşmasında olası girdileri basit manuel ya da sezgisel tekniklerle ele alarak maliyetlerini minimize etmeye çalışmaktadır. Akaryakıt maliyetlerinden sonra ekip maliyetlerinin havayolu şirketlerinde büyük bir kalem oluşturması bu problemi uzun yıllardır üzerinde çözüm üretilmeye çalışılan bir problem haline getirmiştir. Matematiksel modellerle üretilen çözümlerin tükendiği yerde sezgisel yöntemlere başvurulduğu ve bilinen sezgiseller içinde genetik algoritma yönteminin önemli bir yeri olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada yurtiçi ve yurtdışı uçuşlarıyla ülkemizde faaliyet gösteren özel bir havayolu şirketinin gerçek verileri kullanılarak, uçuş ekip planlama problemi için genetik algoritmaların kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Literatürde sıklıkla ayrı ayrı ele alınan ekip eşleştirme ve ekip atama problemleri bu çalışmada bir arada ele alınmaktadır. İlk aşamada havayolu şirketinin İzmir ve Antalya temelli uçuşları dikkate alınarak minimum maliyetli ekip eşleştirme problemi üzerinde durulmuştur. Küme bölme modeli kullanılarak elde edilen optimal sonuç ekip atama probleminin girdisi olarak kullanılmıştır. Elde edilen eşleştirmelere ekiplerin ataması gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde uygulama kısmında kullanılan genetik algoritmalar yöntemine odaklanılmaktadır. Genetik algoritma yönteminin çalışma prensibi ve genetik algoritma operatörleri içinde seçim, çaprazlama ve mutasyon konularına ayrıntılarıyla değinilmektedir. Konunun daha iyi anlaşılması için bu kavramları içeren konuyla ilgili iki örnek detaylarıyla incelenmektedir. Yöntemin, işletme alanındaki uygulamalarını görmek ve sonrasındaki çalışmalara bir ışık tutması amacıyla 1995-2007 yıllarını kapsayan bir yazın taraması yapılarak incelenen çalışmalara ilişkin bilgiler yöntemin kullanım alanı ve amacıyla ilgili bilgi verecek şekilde özetlenmiştir. Genetik algoritmaların işletme alanında başarılı kullanımlarının olduğu görülmüştür.

Havayolu ekip planlama probleminin ayrıntılarıyla ele alındığı ikinci bölümde öncelikle havayolu çizelgelemesi probleminin yapısı ve konuyla ilgili kavramlar ele alınmıştır. Ekip planlama probleminin alt bileşenleri olan ekip eşleştirme ve ekip atama problemleri ayrıntılarıyla incelenmiştir. Havayolu ekip çizelgeleme probleminde kullanılan ve dört başlık altında toplanan matematiksel programlama, metasezgiseller, yapısal sezgiseller ve ağ modelleri gibi çözüm yaklaşımları kısa bir şekilde incelenmiştir. Son olarak 1988-2008 yıllarını kapsayan bir yazın taraması yapılarak konuyla ilgili çalışmalardan ve ekip çizelgelemede genetik algoritmaların kullanımını içeren çalışmalardan bahsedilmiştir. Yazın taramasında ekip planlama probleminin genellikle küme bölme ya da küme örtüleme modeli olarak ele alındığı görülmüştür. Küme bölme modelinin, uçuş ekibi çizelgelemesinde birçok havayolu şirketi tarafından kullanılan önemli bir kombinatoriyel optimizasyon problemi olduğu ortaya çıkmıştır.

Tez çalışmasının uygulama kısmını oluşturan üçüncü bölümün ilk aşamasında ekip eşleştirme problemi üzerinde durulmaktadır. Problemin küme bölme modeli formuna dönüştürülmesi aşamaları bir akış şemasıyla ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Problemin öncelikle tamsayılı programlama ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra genetik algoritmalar yöntemiyle çözüm üzerinde durulmaktadır. Bunun için genetik algoritmaların farklı parametrelerinin kullanıldığı kombinasyonlarla MATLAB'ın Genetic Algorithm and Direct Search modülü kullanılarak 120 adet deneme gerçekleştirilmiş ve bu parametrelerin uygunluk değeri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ekip eşleştirme probleminin ele alındığı kısımda tamsayılı programlamadan ve genetik algoritmalarından elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu tür çalışmalarda genetik algoritmaların bir karar destek modeli olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Uygulamanın ikinci aşamasında öncelikle ekip atama problemi küme bölme modeli formuna dönüştürülmeye çalışılmıştır. Atama kısıtları dikkate alınarak her bir ekip üyesi için olası atamalar hesaplanmış ancak değişken sayısının büyük olması problemin çözümünde güçlük yaratmıştır. Eşleştirmelere ekiplerin atanması Xpress-MP programı kullanılarak tamsayılı programlama ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra şirketin ekip planlama uzmanının oluşturduğu planla karşılaştırılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

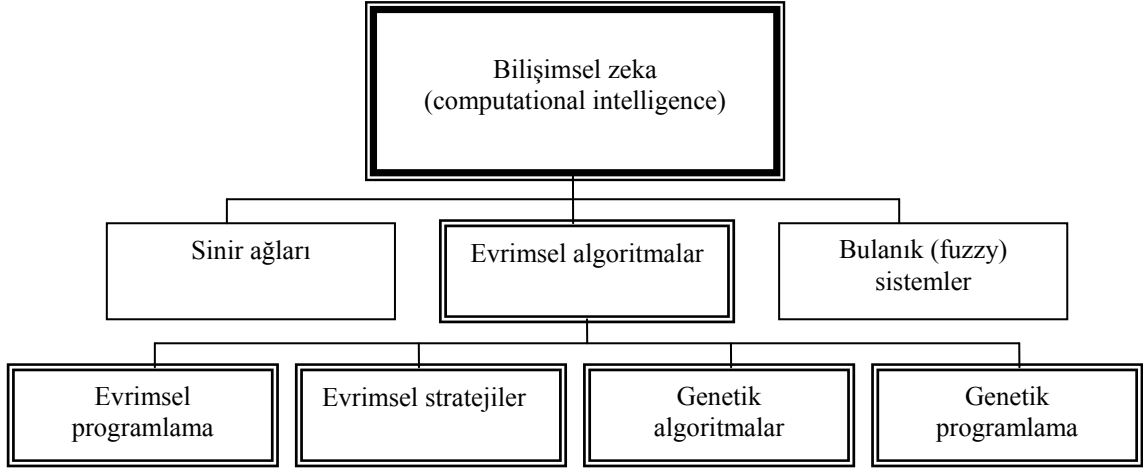
GENETİK ALGORİTMALAR

1.1. Evrimsel Algoritmalar ve Avantajları

Evrimsel algoritmalar, biyolojik evrim süreçlerini matematiksel modellerle simüle eden problemlere çözüm arayan stokastik temelli optimizasyon yöntemleridir (Hernandez, 2005). Evrimsel algoritmaların temelleri 1950 ve 1960'lı yıllarda bilgisayar bilimcileri tarafından evrimsel süreçlerin mühendislik problemlerinin optimizasyonunda uygulanabilir olduğu fikriyle ortaya çıkmıştır (Dianati vd., 2002). Doğal evrim prensiplerini temel alan araştırma yöntemlerinin kullanıldığı uygulamalar ve bu konudaki gelişimler günümüz araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır (Hussain, 1998).

Evrimsel algoritmaların alt dalları olarak çeşitli yazarların çeşitli sınıflandırmaları vardır. Reeves (2002) evrimsel algoritmaları, evrimsel stratejiler, evrimsel programlama, genetik algoritmalar, genetik programlama, sınıflayıcı sistemler (classifier systems) ve yapay yaşam (artificial life) olmak üzere altı başlık altında incelerken, Abraham vd. (2006) evrimsel algoritmaları evrimsel programlama, evrimsel stratejiler, genetik algoritmalar ve genetik programlama olmak üzere dört başlık altında incelemektedir. Genetik algoritmalar ve genetik programlamanın aynı ana başlık altına toplanıp evrimsel stratejiler ve evrimsel programlama ile birlikte ele alınarak üç başlık altında incelendiği çalışmalar da mevcuttur (Dianati vd., 2002; Spears vd., 1993). Bu alt yaklaşımlar arasındaki farklılıklar; gösterim şemaları, genetik operatörler ve kullanılan seçim mekanizması tiplerinden kaynaklanmaktadır (Hussain, 1998; Spears vd., 1993). Bu yöntemlerin tümünün ortak özelliği ise seçim, mutasyon ve yeniden üretme süreçleri aracılığıyla bireysel yapılarının değerlendirildiği simülasyonları temel almasıdır (Abraham vd., 2006).

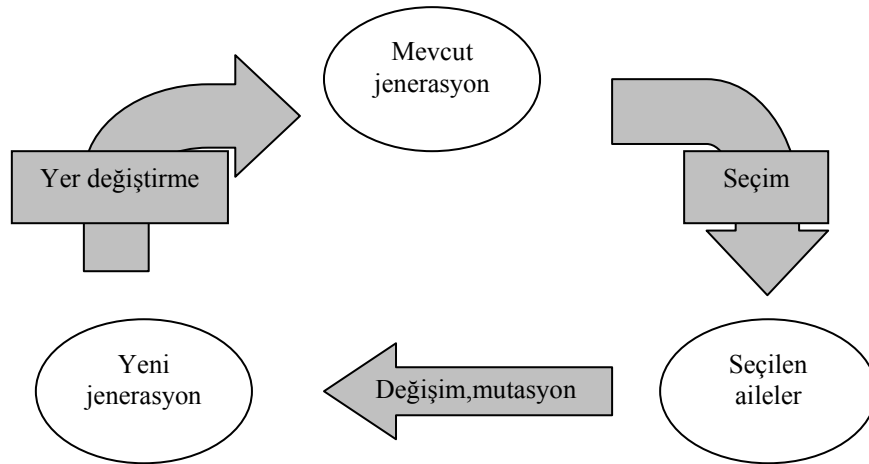
Evrimsel algoritmalar, 1858'de Darwin tarafından ortaya atılan doğal evrimi temel alan stokastik arama yöntemleri ailesi olarak düşünülebilir. Dianati vd. (2002) tarafından oluşturulan Şekil 1.1'de, evrimsel algoritmaların "bilişimsel zeka" içindeki yeri görülmektedir.



Şekil 1.1. Yapay zeka teknikleri

Bu tezde Abraham vd. (2006)'nin dörtlü ayrımı temel alınarak; 1966 yılında Fogel vd. tarafından geliştirilen Evrimsel Programlama, 1973'te Rechenberg tarafından geliştirilen Evrimsel Stratejiler ve 1992-1994 yıllarında Koza tarafından geliştirilen Genetik Programlama yöntemleri kısa bir şekilde incelenmektedir. Uygulamada Genetik Algoritma yönteminden faydalanılacağı için bu bölümün ana kısmının 1975 yılında Holland tarafından geliştirilen Genetik Algoritmalar yönteminden oluşması uygun görülmüştür.

Dianati vd. (2002), basit bir evrimsel döngüyü Şekil 1.2'deki gösterimle özetlemişlerdir.



Şekil 1.2. Basit evrimsel döngü

Geleneksel arama yöntemleri, probleme bir çözüm adayı önerir ve onu değiştirerek daha iyi çözümler elde etmeye çalışır. Evrimsel algoritmalar ise bir çözüm adayları popülasyonu oluşturur ve bu popülasyon zamanla evrimleşir. Bir adayın çözüme ne kadar yakın olduğu, uygulamaya bağlı bir fonksiyondur. Bir çözüm adayı bir parametreler topluluğunu, bir kuralı, bir kurallar grubunu veya ağaç yapısında bir bilgisayar programını temsil edebilir. Hepsinde de, algoritma her adayın ne kadar güçlü olduğunu hesaplar ve buna göre bir sonraki neslin ebeveynleri olacak ya da yok olacak bireyleri belirler. Daha sonra, makul bir yeni nesil oluşturmak için ebeveynlere genetik arama işlemcilerini (yeniden üreme, çaprazlama ve mutasyon) uygular. Bu döngü her defasında daha güçlü bireyler oluşturularak tekrarlanır (<http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/evrim.pdf>).

Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında evrimsel algoritmaların en önemli avantajlarından bir tanesi problemle ilgili çok az bilgiye ihtiyaç duymaları ve bu nedenle bir çok problemde uygulanabilir olmalarıdır (Streichert, 2002). Evrimsel algoritmaların basitliğinin yanı sıra diğer avantajlarından bazıları aşağıda listelenmiştir (Abraham, 2005; Abraham vd., 2006).

- Evrimsel algoritmalar kolaylıkla karşılaştırılabilmesi için problem hakkında öncelikli bilgilerin birleştiği genel bir çerçeve oluşturur.
- Evrimsel algoritmalar geleneksel optimizasyon yöntemlerinin birçoğu ile birlikte kullanılabilir. Evrimsel algoritmaların alt dalları birçok işletme, temel bilimler ve mühendislik problemlerinde tek başına kullanılabilirdiği gibi yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi birçok yöntemle birlikte veya karma sistemler olarak kullanılabilmektedir (Weicker ve Weicker, 2003; Back vd., 2000).
- Her bir sonucun değerlendirilmesi paralel olarak sürdürülebilir, yalnız seçim bazı birbirini izleyen süreçlere ihtiyaç duyar. Paralellik tavlama benzetimi ve tabu arama gibi global optimizasyon yöntemlerinin çoğunda mümkün değildir.
- Geleneksel optimizasyon yöntemleri dinamik değişimlere dayanıklı (robust) değildir. Çözüme ulaşmak için sıklıkla yeniden başlangıçlara ihtiyaç duymaktadırlar. Evrimsel algoritmalar değişen durumlarda çözüme kolaylıkla uyarlanabilir.
- Evrimsel algoritmaların en önemli avantajı insan uzmanlığına daha az ihtiyaç duymasıdır.

1.1.1. Evrimsel Programlama

En sık kullanılan evrimsel algoritmalarından birisi olan Evrimsel Programlama, 1966 yılında Fogel vd. tarafından geliştirilmiştir. Evrimsel programlamanın matematiksel modeli ebeveynler ve çocuklar arasındaki biyolojik bağlantılar üzerinde durmaktadır. Evrimsel Programlama (EP) optimizasyon problemlerinin çözümünde mutasyon ve seçim olmak üzere iki temel operatörü kullanmaktadır (Hernandez, 2005).

Evrimsel programlamanın optimizasyon süreci aşağıdaki adımları temel alır:

1. Adım: İlk popülasyonun seçilmesi (rassal olarak uygun çözümler): popülasyondaki çözüm sayısı optimizasyonun hızı ile oldukça ilişkilidir fakat ne kadar çözümün gerekli ne kadarının gereksiz olduğuna açıkça cevap verilememektedir.
2. Adım: Evrimsel programlamada mevcut çözümlerden yeni çözümlere ulaşmada mutasyon operatörü anahtar rol oynamaktadır. Yeni bireyler mutasyonla oluşturulmaktadır. Her yeni birey uygunluğu hesaplanarak değerlendirilir. Genellikle stokastik turnuva seçim yöntemi ile yeni çözümlerden hangilerinin gelecek jenerasyonlara aktarılacağı test edilir. Evrimsel programlamada belirtilmesi gereken nokta genetik operatör olarak çaprazlamanın kullanılmamasıdır (Abraham vd., 2006; Liu vd., 2001).

1.1. 2. Evrimsel Stratejiler

Evrimsel stratejilerin teorik temelleri Rechenberg ve Schwefel tarafından ortaya çıkarılmıştır. Rechenberg ve Schwefel'in öncelikli hedefi optimizasyondur. Kombinatoriyel optimizasyon evrim stratejilerinin problemlere uygulanmasına bakıldığında, yerel optimuma oldukça etkin bir şekilde ulaştıkları görülmektedir (Affenzeller, 2002).

Evrimsel stratejiler doğal yaşamda bulunan uyarlamacı (adaptive) seçim prensiplerini temel almaktadır. Her bir jenerasyon (evrimsel strateji algoritmasının iterasyonu) bireyler popülasyonunu (potansiyel çözümler) alır ve yeni bireyler (evlatlar) üretmek için genetik materyalleri (problem parametreleri) modifiye eder. Aileler ve çocuklar değerlendirilirler fakat sadece yüksek değerli bireyler (en iyi çözümler) çoklu jenerasyonlarda mücadele ederler. Bunun anlamı, evrimsel stratejilerin araştırma uzayının bazı bölümlerinde eşanlı olarak gözden geçirilmesidir. Evrimsel stratejiler çeşitli tiplerdeki optimizasyon problemlerinin çözümünde başarıyla kullanılmaktadır (Michalewicz, 1994).

1.1.3. Genetik Programlama

Popülerliği artan evrimsel algoritma yöntemlerinden bir diğeri de genetik programlamadır. Standart genetik programlamada, fonksiyonların ve değerlerin gösteriminde değişken hacimli ağaç (variable-sized tree) kullanılır. Ağaçtaki her bir yaprak uygunluk değerleri kümesinden bir etikettir. Genetik programlamada yeniden üretim operatörlerinin ağaç gösteriminde gösterilmesi dışında genetik algoritmalar ve genetik programlama oldukça benzerdir (Hussain, 1998).

Genetik programlama süreci şu şekilde özetlenebilir (Abraham vd., 2006):

- Problemin fonksiyonlarının ve terminallerinin rassal kompozisyonlarından başlangıç popülasyonu oluşturulur.
- Popülasyonun her bir bireyi için uygunluk değerleri hesaplanır.
- Bazı seçim stratejileri ve yeniden üretim operatörleri ile yeni bireyler oluşturur.
- Süreç istenilen sonuca varınca ya da sonlandırma kriterleri sağlanıncaya kadar devam eder.

1.2. Genetik Algoritmalar

Son yıllarda, mühendislik konularının bilgisayar aracılığıyla modellenmesi, benzetilmesi (simülasyon), en iyilenmesi (optimizasyon) ve gelecek davranışlarının tahmini için doğal olayların işleyiş ve davranış biçimlerinden esinlenerek ilgi çekici yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında canlıların genetik davranış biçimleri, genetik algoritmaların ortaya çıkmasında önemli bir rol oynamıştır (Şen, 2004:7).

Genetik algoritmalar, tam olarak bir rasgele arama tekniğidir. İlk defa Michigan Üniversitesi'nde John Holland ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Holland, araştırmalarını, arama ve optimumu bulma için, doğal seçme ve genetik evrimden yola çıkarak yapmıştır. İşlem boyunca, biyolojik sistemde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlayıp daha uygun hale gelmesi örnek alınarak, optimumu bulma ve makine öğrenme problemlerinde, bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir (Goldberg, 1989).

Genetik algoritmalar yöntemi, evrim teorisi esaslarına göre çalışarak verilen bir sorun için en iyi çözüm ve çözümleri arayarak bulmaya yaramaktadır. Bu arayışı, karar değişkeni uzayındaki birçok başlangıç noktasından başlayarak, paralel işlemler dizisi ile en iyi yöne

doğru topluca gelişerek yapmaktadır (Şen, 2004:32). Çoğu pratik optimizasyon problemlerinde karışık değişkenler (sürekli ve kesikli) ve araştırma alanında süreksizlikler söz konusudur. Bu durumlarda standart doğrusal olmayan programlama teknikleri kullanıldığında hesaplamalar açısından maliyetli ve etkin olmayan durumlarla karşılaşmaktadır. Genetik algoritmalar bu durumlar için iyi bir çözüm oluşturmaktadır (Bingul vd., 2000).

Genetik algoritmalar (GA), normal optimizasyon ve araştırma süreçlerinden dört açıdan ayrılmaktadır. Bahsedilen bu dört farklılığın bir arada bulunması, genetik algoritmaların sonuca ulaşma üstünlüğüne olumlu yönde katkıda bulunmaktadır (Kahvecioğlu, 2004; Osman vd., 2004; Bingul vd., 2000; Chakroborty vd., 1995; Goldberg, 1989):

1. *GA, parametrelerin kendisi ile değil onun kodları (temsilcileri) ile çalışır. Bu nedenle GA'lar, kesikli ve tamsayı programlama problemlerinin çözümlerinde uygulanabilir.*

Genetik algoritmalar, sonlu bir alfabe üzerinden sonlu uzunlukta diziler kodlamak için, optimizasyon probleminin doğal parametre setini kullanır. Örneğin, herhangi bir fonksiyon maksimize edilmek istendiğinde, diğer optimizasyon metotları parametresini küçük küçük değiştirerek amaç fonksiyon değerinin en yüksek olduğu yeri bulmaya çalışırlar. Genetik algoritmalarla optimizasyon işleminin yürütülmesinde ise ilk adım, parametresinin sonlu uzunlukta dizi olarak değişik şekillerde kodlanması ve kodlanan parametre ile çalışılarak optimizasyonun sağlanmasıdır. Parametrelerin kodlanması sonucunda, diğer metotları sınırlayan birtakım özelliklerde de büyük ölçüde serbestlik sağlanmış olur (süreklilik, türevin varlığı, vb.).

2. *GA bir noktalar popülasyonu (aday çözümler kümesi) ile araştırma yapmaktadır, tek nokta üzerine değil. Bu şekilde yerel optimum tuzağına düşme olasılığı daha zayıftır.*

Optimizasyon problemlerinin çoğunda, tanım aralığı içindeki tek bir noktadan hareketle bazı geçiş kurallarına göre bir sonraki inceleme noktası bulunur. Bu, noktadan noktaya yönelme metodu, çok sayıda tepe noktası bulunan araştırma uzayı için risklidir. Çünkü, bölgesel tepe değerine yaklaşma hatası oluşabilir. Genetik algoritmalarda, çok sayıda noktalardan oluşan bir veri tabanı ile (dizilerin popülasyonu) çalışıldığından aynı anda pek çok tepe noktasına atlanabilir. Böylece noktadan noktaya geçme metodundaki yanlış tepe noktasının bulunması olasılığı azalır ve bölgesel optimuma yakınsama riski ortadan

kalkarak global optimuma ulaşma olasılığı artar. Sonuç olarak, genetik algoritma dizilerden oluşan bir popülasyon ile başlar ve bu dizilerden daha başarılı popülasyonlar üretir.

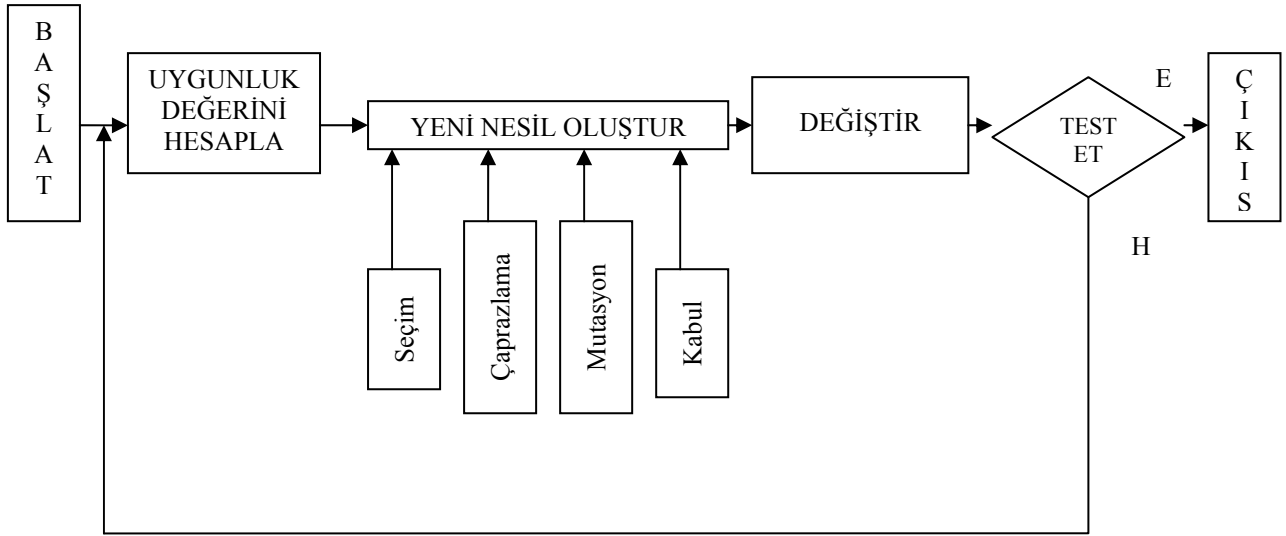
3. GA türevlerini veya diğer ikincil bilgilerini değil sadece amaç fonksiyonu bilgisini kullanır.

Çoğu araştırma tekniğinin, doğru bir şekilde çalışması için yardımcı bazı bilgilere ihtiyaçları vardır. Örneğin, gradient tekniklerinde, tepe değerine doğru yükselmenin olup olmadığını anlamak için, nümerik ya da analitik olarak hesaplanan türev bilgisi gereklidir. Bunun aksine, genetik algoritmalarda hiçbir yardımcı bilgiye ihtiyaç yoktur. Verimli bir araştırma yapmak için gerekli olan, her bir dizinin değerlendirileceği bir amaç fonksiyonudur. Optimizasyon sırasında problemle ilgili özel birtakım bilgilerin kullanılmaması, genetik algoritmaların performansını yükseltmede son derece etkilidir.

4. Genetik algoritmalar kesin bilinen kuralları değil olasılığa dayalı kuralları kullanır.

Genetik algoritmalar araştırmaya yön vermek için, birçok optimizasyon tekniğinin aksine, olasılığa dayalı geçiş kuralları kullanır. Bunun sonucunda araştırmanın, araştırma uzayının hangi bölgesine doğru yöneleceğine karar vermek için rasgele seçim tekniği kullanılır. Böylece etkin bir şekilde elde olan bilgilere dayanarak yeni kombinasyonlar oluşturur ve uygunluk değeri daha iyi yeni jenerasyonlar geliştirir.

Genetik algoritmalar oldukça genel prensiplerle Şekil 1.3'de görülen genel akış şemasındaki gibi çalışmaktadır (Bolat, 2004).



Şekil 1.3. Genetik algoritmaların genel akış şeması

Öncelikle ele alınan problem için rasgele n kromozomlu bir popülasyon oluşturulur. Daha sonra popülasyondaki her bir kromozom için $f(x)$ uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Yeni bir popülasyon oluşuncaya kadar seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi adımlar tekrar edilir. Yeni popülasyon kabul edildikten sonra, oluşturulan yeni popülasyon eskileriyle yer değiştirilir. Hedeflenen uygunluk değerine ulaşıldığında program durdurulur ve popülasyondaki en iyi çözüm alınır (Bolat vd., 2004).

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

Basit bir genetik algoritma üç bölümü kapsamaktadır; genetik gösterim, uygunluk fonksiyonu ve genetik operatörler.

1.2.1. Genetik Gösterim

Genetik gösterim mevcut problem için parametrelerin kombinasyonunu gösterir. Farklı genetik gösterimler problemlerin farklı çözümlerini ifade eder. Genetik algoritmalar, evrimin doğal sürecini taklit ettiğinden beri, genetik algoritmaların genetik gösterimi varlıkların davranışını idare etmede genetik kodu taklit etmektedir. Doğal dünyada, varlığın genetik kodu çevreye uyumluluğu gösterir. Yapay bir sistemde, genetik gösterim parametrelerin kombinasyonu ile ilgilidir. Böylece genetik gösterim parametrelerin optimal dizilimini yansıtmalıdır. GA'yı diğer arama yöntemlerinden ayıran en önemli özellik parametrelerin kendisi yerine parametreleri temsil eden dizilerin kullanılmasıdır. Bu nedenle ilk adım, problem için arama uzayını en iyi temsil eden uygun bir kodlama yapısının seçimidir. Literatürde en yaygın kullanılan kodlama her dizinin 0 ve 1 değerlerinden oluşarak gösterildiği ikili düzende kodlamadır (Dengiz ve Altıparmak, 1998). Problemin cinsine göre gerçek sayılarla, tam sayılarla, sembollerle veya matrislerle kodlama yapılabilir (Wu vd., 2006). Kodlama doğrudan probleme bağlıdır.

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

$$\min f(x_1, x_2) = (x_1 - 5)^2 + (x_2 - 2)^2, \quad -3 \leq x_1 \leq 3, \quad -8 \leq x_2 \leq 8$$

Araştırmadaki parametreler x_1 ve x_2 olarak tanımlanmıştır. Bu parametreler evrimsel algoritmaların fenotipleri olarak adlandırılırlar. Genetik algoritmalarda fenotipler (parametreler) kodlama prosedürleri kullanılarak genotiplere (kromozom) dönüştürülmede kullanılırlar. x_1 ve x_2 'nin aralığı bilindiğinden her bir değişken uygun ikili diziler şeklinde gösterilir. İkili kodlamanın kullanıldığı bu gösterim parametrik uzayı kullanılan değişken tiplerinden bağımsız yapar. Genotip (kromozom) bazı yollardan çözümle ilgili bilgi içerecek şekilde olmalıdır. Bu durum kodlama (encoding) olarak bilinmektedir. Genetik algoritmalar genellikle aşağıdaki gibi ikili dizi kodlaması kullanılırlar. Kromozom dizilerindeki her bir bit çözümün bazı karakteristiklerini gösterir (Wu vd., 2006).

Kromozom A: 110110111110100110110

Kromozom B: 110111101010100011110

Gezgin satıcı problemi veya iş sıralama problemi gibi sıralama problemlerinde permütasyon kodlaması kullanılabilir. Permütasyon kodlamasında tüm kromozomlar sayıların bir düzen içerisinde gösterildiği sayı dizileri şeklindedir. 9 şehirli bir gezgin satıcı probleminde kullanılan permütasyon kodlaması aşağıda görülebilir.

Kromozom A: 4 5 3 2 6 1 7 8 9

Kromozom B: 8 5 6 7 2 3 1 4 9

Kromozom satıcının uğrayacağı şehirlerin sırasını göstermektedir. Önemli olan dizilerin çaprazlama ve mutasyondan sonra gerçek dizilimlerine ulaşmasıdır. Değişken noktalı (floating-point) gösterim nümerik optimizasyon için oldukça kullanışlıdır (örneğin: sınır ağlarının ağırlıklarının şifrenmesi için). Son zamanlardaki uygulamalarda oldukça karmaşık kromozomlar ortaya çıkmıştır. Örneğin, kromozomlar sembollerin ağacı şeklinde ya da diziler ve ağaçların kombinasyonu şeklinde olabilmektedir (Abraham vd., 2006).

1.2.2. Uygunluk Fonksiyonu ve Değerlendirme

Bir popülasyonda bulunan bireylerin ne kadar iyi olduğu "uygunluk fonksiyonu" ile değerlendirilir. Bu nedenle öncelikle dizilerin uygunluk değerleri hesaplanır. GA' da probleme özgü çalışan tek kısım uygunluk fonksiyonudur. Uygunluk fonksiyonu, dizileri problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözer ve bu parametreleri kullanarak dizilerin uygunluğunu bulur. Genetik algoritmalarından beklenen performans, uygunluk (amaç) fonksiyonlarının hassas olarak belirlenmesi ile alakalıdır. İyi bir dizi, en büyükleme problemi için yüksek, en küçükleme problemi için düşük uygunluk değerine sahip olmalıdır (Tunalıoğlu ve Öcalan, 2007; Güden vd., 2005).

1.2.3. Genetik Operatörler

Genetik algoritmalar, doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralını rassal bilgi değişimi ile birleştirerek bir arama algoritması oluştururlar. Her nesilde bir önceki neslin en iyileri kullanılarak yeni bireyler elde edilmeye çalışılır. Bunun için "iyi"nin ne olduğunu belirleyen uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden

üreme (reproduction), çaprazlama (crossover) ve mutasyon (değişim, mutation) gibi operatörleri kullanır. Genetik algoritmalar bir grup çözümle uğraştığından çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini elenebilmektedir (Stockton vd. 2004; Erdiller ve Orbak, 2003; Goldberg, 1989).

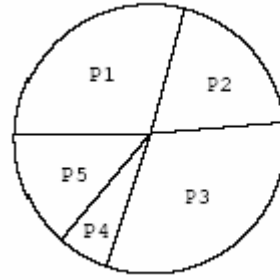
1.2.3.1. Üreme (reproduction) ve Seçim

Üreme, her bir dizinin amaç fonksiyon değerine göre gelecek jenerasyona kopyalanmasını sağlayan bir işlemdir. Fonksiyonu maksimize edilmek istenen uygunluk, yararlılık ya da iyiliğin bir ölçüsü olarak düşünülebilir. Uygunluk değerlerine göre dizilerin kopyalanması, yüksek değere sahip olan dizilerin gelecek jenerasyona bir ya da daha fazla ürün olarak katkıda bulunma olasılığının da yüksek olmasıdır. Bu işlem doğal seçimin yapay bir versiyonudur. Darwin'e göre de, varlıklar arasında en iyilerin yaşama şansı her zaman daha yüksektir (Kahvecioğlu, 2004). Her çözümün kalitesi uygunluk fonksiyonu ile ölçülür uygunluk fonksiyonu geleneksel optimizasyon yöntemlerinde amaç fonksiyonu veya maliyet fonksiyonuna denk gelir (Dowsland, 1996).

1.2.3.1.1. Rulet Tekerleği Seçimi

Sıklıkla kullanılan ve orantısal bir seçim süreci olan ilk örnek Rulet Tekerleği olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde bireyler bir rulet tekerleğine yerleştiriliyormuş gibi düşünülür. Bireylerin uygunluk fonksiyonlarına göre rulet tekerleğinde kaplayacakları hacim belirlenir, uygunluk fonksiyonu yüksek olanların rulet tekerleğinde daha fazla hacimler kaplaması beklenir. Şekil 1.4'te problemin popülasyonunda 5 birey bulunduğu haliyle basit yolu göstermektedir. P_1 bireyinin uygunluk değeri f_1 , P_2 'nin f_2 vb.dir. Ruletin üstünde iğneyi dikkatle tutarak rulet döndürüldüğünde P_3 bireyinin gelme olasılığının daha fazla P_4 bireyinin en düşük olasılığa sahip olduğu görülmektedir. Böylelikle rulet tekerleği çevrildiğinde uygunluk fonksiyonu yüksek olan bireylerin seçilme şansı yükselmiş olur (Bjarnadóttir, 2004; Kahraman ve Özdağlar, 2004).

$$\begin{aligned}
f_1 &= 0.28 \\
f_2 &= 0.18 \\
f_3 &= 0.33 \\
f_4 &= 0.06 \\
f_5 &= 0.15
\end{aligned}$$



Şekil 1.4. Rulet tekerleği gösterimi

Rulet tekerleği yönteminin sakıncası uygunluk değerlerini doğrudan kullanmasıdır. Çözümün çok küçük uygunluk değeri diğerleriyle karşılaştırıldığında seçiminin çok düşük bir olasılıkla sonuçlanması gibi problemlere sebep olabilmektedir (Bjarnadóttir, 2004).

1.2.3.1.2. Uygunluk Sıralaması (Fitness Ranking)

İkinci yöntem iyileştirici sonuçlar veren sıralama yöntemidir. Sıralamada, bireyler uygunluklarının artan sıralamalarına bağlı olarak sınıflandırılır. Sıraya bağlı olarak fonksiyon bireyin seçiminde kullanılır. Seçim aşağıda gösterilen olasılıklara dayanmaktadır; $p(k) = \frac{2k}{M(M+1)}$, k sabiti sıradaki k. bireyi ve M popülasyon büyüklüğünü göstermektedir. En iyi bireyin seçilmesi için ($k=M$) olasılığı $\frac{2}{M+1}$ ve en kötü bireyin ($k=1$) seçilme olasılığı $\frac{2}{M(M+1)}$ 'dir. Olasılıklar uygunluk değeri yerine popülasyon büyüklüğünün oranlarına bağlıdır (Bjarnadóttir, 2004).

Sıralama yönteminin avantajı rulet tekerleği yöntemine göre daha kontrol edilebilir olmasıdır. Buna rağmen bazı sakıncaları da vardır. Bu yöntem farklı çözümlerin göreceli değerlendirmelerini ihmal etmekte ve tüm olaylar problemin büyüklüğü göz ardı edilerek benzer tarzda davranmaktadır (Bjarnadóttir, 2004).

1.2.3.1.3. Turnuva Seçimi

Turnuva seçimi, seçim ve sıralama yöntemlerinin bir kombinasyonudur. Topluluktaki bireyler arasından rastgele belirli miktarda bireyler seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan birey tutulur geriye kalanlar atılır. Kötü birey bir daha yeniden üretim için seçilmeyeceği gibi iyi birey de popülasyondan bir daha ayrılmaz. Yeni topluluk

bireyleri belli sayıdaki bireyler arasında yapılan yarışma sonucu oluşturulur (Bjarnadóttir, 2004; Kahraman ve Özdağlar, 2004).

1.2.3.1.4. Stokastik Üniversal Örnekleme

Bu yöntem, rulet çemberi yöntemine benzemektedir. Farkı, çemberin dış kısmının da eşit parçalara bölünmesidir. Parçaların sayısı yığının genişliğine eşittir. Seçim aşamasında çember bir kere döndürülür. Bir dizinin kopya sayısı, çemberin dış kısmındaki parça sayısı ile belirlenir. Bu durumda, bir dizinin çemberdeki ağırlıklandırılmış aralığına düşen parça sayısı o dizinin kopya sayısını vermektedir (Altıparmak, 1996).

Literatürde yeniden üretim mekanizmaları ile birlikte elitist stratejisininde sık sık kullanıldığı görülmektedir. Topluluktaki uygunluk fonksiyonu en iyi olan bireyin çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerle kaybolabilme ihtimali vardır. Bunun önlenmesi için topluluktaki uygunluk fonksiyonu en iyi olan birey hiçbir işleme tabi tutulmadan bir sonraki jenerasyona aktarılır. Böylece bir sonraki jenerasyondaki en iyi bireyin bir önceki jenerasyondaki en iyi bireyden kötü olma ihtimali ortadan kaldırılmış olur. Buna “*elitizm*” denir (Kahraman ve Özdağlar, 2004).

Üreme işleminden sonra her jenerasyonda, mevcut popülasyon dışında, aynı uzay içinde farklı noktalara ulaşmak ya da araştırma uzayının diğer noktalarını da incelemek için yeniden düzenleyici genetik işlemler (çaprazlama ve mutasyon) uygulanarak yeni popülasyon içinde bazı değişimler ortaya çıkarılır.

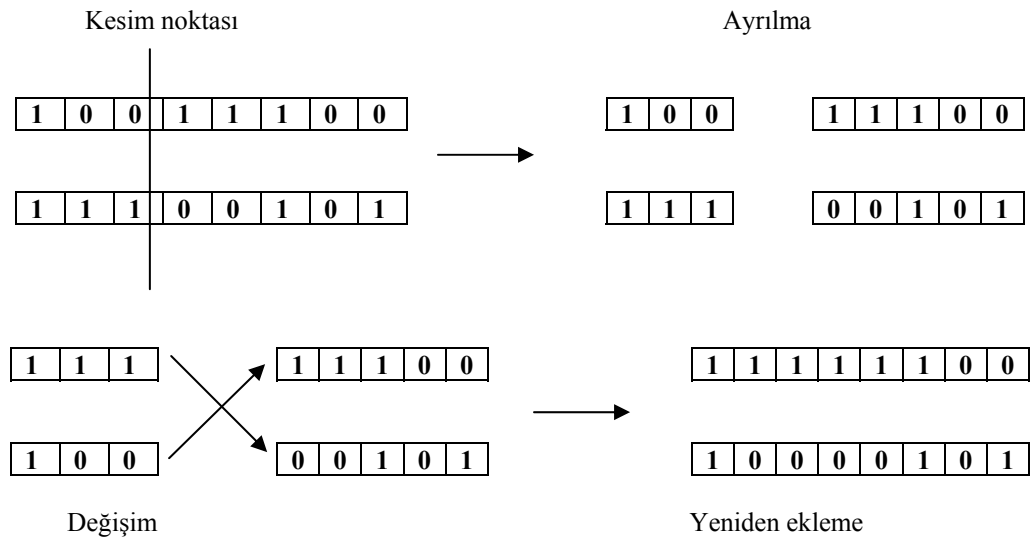
1.2.3.2. Çaprazlama (Crossover)

Çaprazlama, farklı çözümler arasında bilgi değişimini sağlayarak arama uzayının benzer ancak araştırılmamış bölgelerine ulaşmayı sağlayan bir arama operatörüdür (Dengiz ve Altıparmak, 1998). Çaprazlama işlemi, bilgilerin iki dizi arasındaki değişimi ile ilgilidir. Çaprazlama işleminde, yeni üretilmiş iki dizi eşleştirme havuzundan seçilerek rastgele olarak belirlenmiş çaprazlama noktasına göre diziler arasında bilgi değişimi gerçekleştirilir. Bu işlem ile tercih edilmiş iyi dizilerden daha iyi özellikleri olan diziler elde edilebilir (Orbak ve Erdiller, 2003).

Çaprazlama işlemi farklı şekillerde gerçekleştirilebilir. Tek noktalı, iki noktalı, N noktalı ve homojen çaprazlama en sık kullanılan çaprazlama yöntemleridir (Glibovets ve Medvid, 2003).

1.2.3.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama

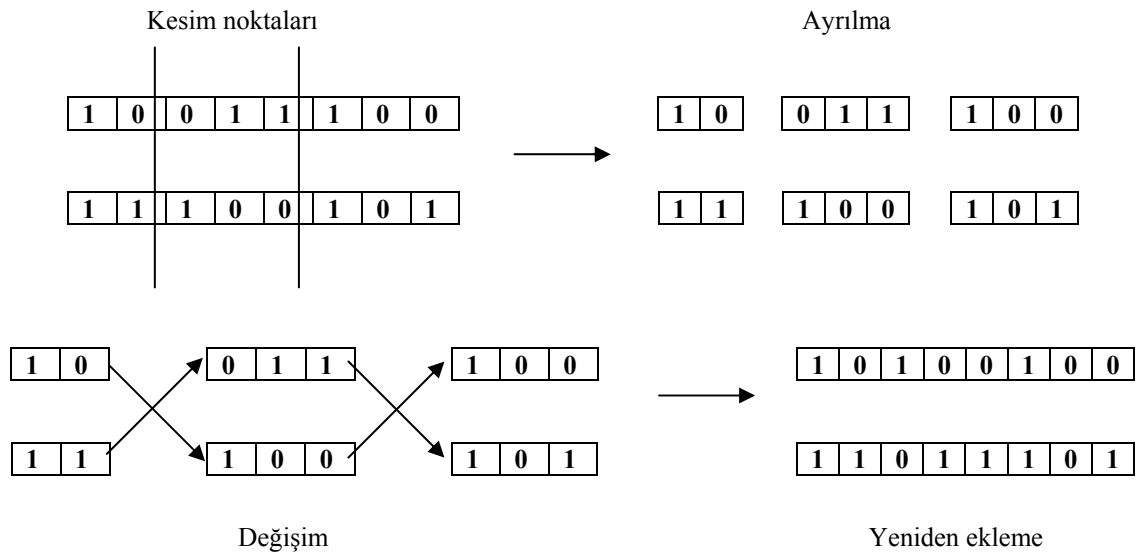
Çaprazlama işlemini gerçekleştirmek için ilk olarak üreme işlemi ile oluşturulmuş ve eşleşme havuzunda toplanmış olan diziler rastgele eşleştirilir. Daha sonra seçilen dizilerin bitleri rassal olarak seçilmiş çaprazlama noktasından itibaren karşılıklı olarak değiştirilir. Çaprazlama işleminin uygulanacağı dizinin " l " uzunluğunda olduğu kabul edilirse çaprazlama noktası dizi boyunca 1 ile $(l-1)$ arasında rastgele seçilir. Seçilen bu nokta " k " ile ifade edilirse iki yeni dizi " $k+l$ " ve " l " noktaları arasındaki bütün bitlerin karşılıklı değişmesi ile oluşmaktadır. Bu tek noktalı çaprazlama için örnektir (Şekil 1.5). Daha kısa bir ifadeyle, seçilen iki birey rastgele bir noktadan kesilerek iki bireyin sağ tarafta kalan genleri yer değiştirilir (Kahraman ve Özdağlar, 2004; Kahvecioğlu, 2004).



Şekil 1.5. Tek noktalı çaprazlama örneği

1.2.3.2.2. İki Noktalı Çaprazlama

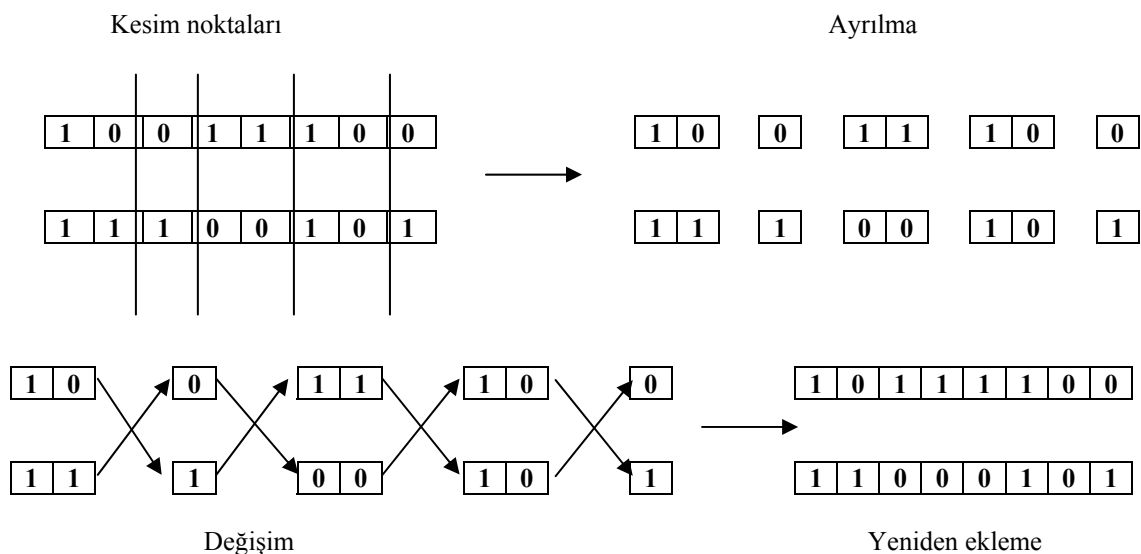
İki noktalı çaprazlama tek noktalı çaprazlamaya çok benzer. İki noktalı çaprazlamada rassal olarak belirlenen iki çaprazlama noktası arasında kalan bölge iki birey arasında değiştirilir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. İki noktalı çaprazlama örneği

1.2.3.2.3. N Noktalı Çaprazlama (Uniform çaprazlama)

N noktalı çaprazlama tek noktalı ve iki noktalı çaprazlamanın genelleştirilmiş halidir. Bölgeler N tane noktada bölünür ve yer değiştirirler (Şekil 1.7). Homojen çaprazlamada ise her bir genin ikinci aile ile yerini değiştirmek için %50 şansı vardır.



Şekil 1.7. N noktalı çaprazlama örneği

1.2.3.3. Mutasyon (Değişim, mutation)

Araştırma uzayının diğer noktalarını da incelemek için uygulanan işlemlerden bir diğeri mutasyondur. Mutasyon, üreme ve çaprazlama işlemlerinin tamamlayıcı bir işlemidir. Mutasyon operatörü, küçük bir olasılıkla bir dizi içindeki bir veya birkaç değeri rastgele değiştirerek yığında yeni dizilerin (yani, arama uzayında yeni çözüm noktalarının) elde edilmesini sağlar (Dengiz ve Altıparmak, 1998). Mutasyon işlemi basit olarak bit değerlerini tersine çevirmektir (ikili sayı sistemine göre kodlanmış dizilerde seçilen karakterin değeri 1 ise 0, 0 ise 1 olur). Rastgele seçilmiş bir noktadaki değer değişikliği ile en iyiye ulaşma olasılığı artırılmış olur. Örneğin $10|0|110000$ dizisinin 3.bitinin değişmeye uğraması sonucunda $10|1|110000$ dizisi ortaya çıkar (Orbak ve Erdiller, 2003).

Çaprazlama operatörü farklı diziler arasında bilgi değişimini sağlayarak yeni çözümleri elde ederken, mutasyon operatörü mevcut dizilerin bir kısmında rastgele değişimi sağlayarak çözüm uzayında yeni noktaların elde edilmesini sağlamaktadır (Dengiz ve Altıparmak, 1998).

Yukarıda açıklanan üç işlem her bir jenerasyon boyunca yürütülür. Algoritma, jenerasyonlarda elde edilen optimal değerler arasındaki fark sıfırlandığında ya da belli bir değere yakınsadığında sonlandırılır. Ayrıca bir genetik algoritma, programın başında belirlenen bir jenerasyon sayısı kadar da tekrarlanıp bitirilebilir (Kahvecioğlu, 2004).

Genetik algoritmaların iki temel parametresi vardır; çaprazlama olasılığı ve mutasyon olasılığı. Çaprazlama olasılığı, çaprazlamanın hangi sıklıkla gerçekleşeceğini belirler. Eğer çaprazlama yapılmaz ise yeni birey ata bireylerin aynısı olarak kopyalanır. Çaprazlama gerçekleşirse yeni birey ata bireylerin parçalarından oluşur. Bu oranın çok yüksek olması popülasyon içinde yeni dizilerin daha hızlı oluşmasını sağlar. Dolayısıyla yüksek performanslı diziler de hızlı bir şekilde atılabilir. Diğer taraftan, çaprazlama oranı çok düşük olursa değişime uğrayacak dizi sayısı az olacağından araştırma durgunlaşıp yavaşlayabilir. Yüksek başarılı dizilerin, popülasyon içinden hızlı bir şekilde atılmaması için çaprazlama oranının uygun bir değerde seçilmesi gerekir. Mutasyon olasılığı ise bireylerin hangi sıklıkla mutasyona uğrayacağını belirler. Bu oran tüm algoritma boyunca sabit alınabileceği gibi jenerasyonlara göre farklı değerlerde de seçilebilir. Mutasyon gerçekleşmezse birey çaprazlamadan sonra herhangi bir değişime uğramaksızın alınır. Bu

işlem genetik algoritmanın yerel uç noktaya düşmesini engellemek için yapılır. Ancak çok sık gerçekleşmez. Araştırmanın tamamen rasgele olmasından kaçınmak için mutasyon oranının çok yüksek seçilmemesi gerekir. Aksi halde genetik algoritma rastgele aramaya dönüşecektir (Kahvecioğlu, 2004; Temiz ve Erol, 2003).

Birçok alanda uygulama imkanı ve uygulamaları olan genetik algoritmaların çalışma prensibi Tablo 1.1’de verilmektedir (Erdiller ve Orbak, 2003; Emel ve Taşkın, 2002).

Tablo 1.1. Genetik algoritmaların çalışma prensibi

<i>Adım 1:</i>	Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur (çözüm grubu, biyolojideki benzerliği nedeniyle, popülasyon; çözümlerin kodları, dizi (string) olarak adlandırılır).
<i>Adım 2:</i>	Her bir dizi için uygunluk değeri hesaplanır. Her dizinin ne kadar iyi olduğu uygunluk fonksiyonu yardımıyla bulunur.
<i>Adım 3:</i>	Bu diziler eşlenerek, üreme, çaprazlama ve değişim operatörleri uygulanır. Bu sayede yeni bir popülasyon oluşturulur.
<i>Adım 4:</i>	Yeni dizilere yer açmak için eski diziler ortadan kaldırılır.
<i>Adım 5:</i>	Tüm dizilerin uygunlukları tekrar hesaplanır.
<i>Adım 6:</i>	Eğer nesil sayısına ulaşılmamışsa 3. adıma gidilir.
<i>Adım 7:</i>	O ana kadar bulunmuş en iyi dizi sonuçtur.

1.2.4. Genetik Algoritma Çözüm Örnekleri

Aşağıdaki örneklerde bir maksimizasyon ve bir minimizasyon probleminin genetik algoritmalarla çözümü gösterilmektedir. İlk örnekte basit bir problemin çözümünde izlenen adımların bilgisayar yardımı olmadan çözümü üzerinde durulurken, ikinci örnekte daha karışık yapıda ve kısıta sahip olan bir problemin genetik algoritma ile çözümü adım adım gösterilmektedir.

1.2.4.1. Genetik Algoritmanın Elde Çözülmesine Örnek

$f(x) = x^2$ fonksiyonu 0 ve 31 aralığında maksimize edilmek istensin. Öncelikle kodlama işlemi yapılmalıdır. Bunun için 5 bit uzunluğunda 0 ve 1’lerden oluşan ikili kodlama kullanılacaktır. Örneğin 2 tabanında 10011 sayısının 10 tabanında hangi sayıya eşit olduğunu öğrenmek için;

$1.2^0+1.2^1+0.2^2+0.2^3+1.2^4=19$ işlemi yapılarak 19 sonucuna varıldığı görülür.

Popülasyonun birey sayısı $n=4$ olarak seçildiğinde popülasyonu oluşturan dört birey, her biri 5 bit uzunluğunda birer kromozomla temsil edildiği için toplam 20 kere yazı tura atılmak suretiyle belirlenebilir. Elde edilen birey kromozomları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 1.2. Genetik algoritmanın elde çözülmesine örnek

Dizi no.	Aday popülasyon	x değeri	$f(x)=x^2$	$\frac{f_i}{\sum f}$	$\frac{f_i}{f}$	Rulet tekerleğinden hesaplamalar
1	0 1 1 0 1	13	169	0.14	0.58	1
2	1 1 0 0 0	24	576	0.49	1.97	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0.06	0.22	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0.31	1.23	1
<i>Toplam</i>			1170	1	4.00	4.0
<i>Ortalama</i>			293	0.25	1.00	1.0
<i>Max.</i>			576	0.49	1.97	2.0

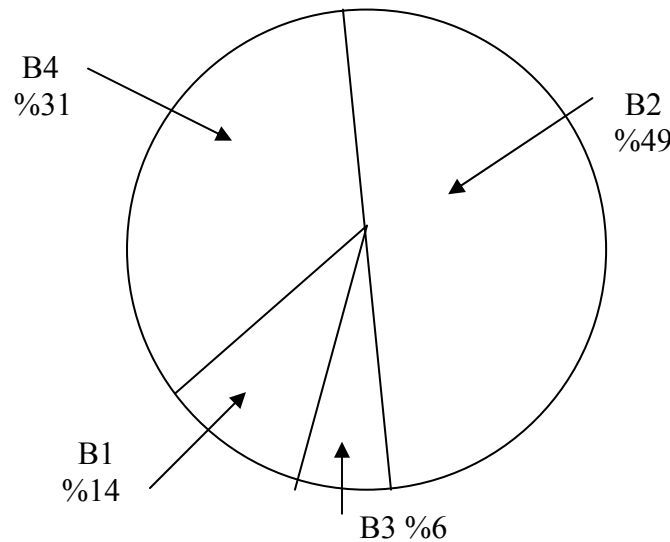
Yukarıda belirlenen bireyler için $f(x)=x^2$, bireylerin uygunluk değerlerini verir. Dört bireyin toplam uygunluk değerleri “ $169+576+64+361=1170$ ” dir. Dolayısıyla her bir bireyin rulet tekerleğinde kaplayacağı alan şu şekilde hesaplanır.

Birey 1: $169/1170=0.14$: %14

Birey 3: $64/1170=0.06$: %6

Birey 2: $576/1170=0.49$: %49

Birey 4: $361/1170=0.31$: %31



Şekil 1.8. Bireylerin rulet tekerleğinde kaplayacakları alanın gösterimi

Bu değerler, rulet tekerleğinin her evrilişinde hangi olasılıkla hangi bireyin seçileceğini belirtir, yani 0.14 olasılıkla 1 numaralı birey seçilecektir. Rulet tekerleği ve bireylerin tekerlek üzerindeki dağılımları Şekil 1.8’de gösterilmiştir

Popülasyondaki birey sayısının sabit kaldığı varsayıldığında, rulet tekerleği 4 kere çevrilerek çiftleşme havuzu oluşturulacaktır. Rulet tekerleği döndürülmüş ve şu sonuçlar elde edilmiştir.

Birey 1 : 1 kere	Birey 3 : 0 kere
Birey 2 : 2 kere	Birey 4 : 1 kere

Bunun sonucunda elde edilen çiftleşme havuzu aşağıdaki gibi oluşur;

Aday 1 : 01101 (Birey 1)	Aday 3 : 11000 (Birey 2)
Aday 2 : 11000 (Birey 2)	Aday 4 : 10011 (Birey 4)

Çiftleşme havuzu belirlendikten sonra iki aşamalı çaprazlama uygulanır. İlk aşamada adaylar çiftleşmek üzere rasgele olarak eşlenirler. Her ikili grup için bir kere zar atılarak aprazlaşmanın oluşacağı nokta belirlenir. Rasgele eşleştirme yapılış ve bunun sonucunda (aday 1, aday 2) ve (aday 3, aday 4) ikili grupları oluşmuştur. aprazlaşma noktaları da zar atılarak 1. grup için $k=4$ ve 2. grup için $k=2$ olarak belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra çaprazlaşma gerçekleştirilmiş ve şu sonuçlar oluşmuştur; (aprazlaşma noktaları “/” ile belirtilmiştir.)

Çiftleşme grubu 1: ($k=4$)

Aday 1 : 0110/1	oluşan Birey 1 : 01100
Aday 2 : 1100/0	oluşan Birey 2 : 11001

Çiftleşme grubu 2 : ($k=2$)

Aday 3 : 11/000	oluşan Birey 3 : 11011
Aday 4 : 10/011	oluşan Birey 4 : 10000

Son aşama olan mutasyon bitler düzeyinde uygulanır. Bu örnekten her bir bit için (toplam 20 bit var) mutasyon olma olasılığı 0.01 olarak seçilmiştir. Dolayısıyla her bir bit için ağırlıklı yazı/tura (mutasyon olasılığına göre) atılarak hangi bitlerin mutasyona

uğrayacağı belirlenir. Bu işlem yapılmış ve sonuçta oluşan birey 1'in 1 numaralı bitinde ve birey 4'ün 3 numaralı bitinde mutasyon olacağı ortaya çıkmıştır.

Oluşan birey 1: 01100	Mutasyon sonucu oluşan Birey 1: 11100
Oluşan birey 4: 10000	Mutasyon sonucu oluşan Birey 4: 10100

Bu adımın tamamlanmasıyla bir sonraki kuşağı oluşturacak popülasyonun bireyleri belirlenmiş olur. Yeni popülasyon şu şekildedir;

- Birey 1 : 11100, $x=26$, $x^2=676$
- Birey 2 : 11001, $x=25$, $x^2=625$
- Birey 3 : 11011, $x=27$, $x^2=729$
- Birey 4 : 10100, $x=18$, $x^2=324$

Üç temel operatörden oluşan genetik algoritma her aşamada yeni oluşan kuşağa uygulanarak bir sonraki kuşak elde edilecektir. Yukarıdaki örnekte tek bir iterasyon yapılmış ve başlangıç popülasyonundan bir sonraki kuşak oluşturulmuştur ancak genetik algoritmanın çalışmasının tam olarak gözlenebilmesi için tek bir iterasyon yeterli değildir. Yukarıdaki işlemlerde her şey çok fazla rasgele gibi görünse de, uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilme ve çiftleşme olasılıkları yüksek olduğu için kuşaklar ilerledikçe popülasyonu oluşturan bireylerin uygunluk değerlerinin ortalamasının da arttığı gözlenecektir (Eiben ve Smith, 2003: 38-39).

1.2.4.2. Genetik Algoritmanın Uygulanmasına Bir Örnek

Aşağıda kısıtlı bir optimizasyon problemi ile ilgili sayısal bir örnek (goldstein ve price fonksiyonu) üzerinde genetik algoritmanın uygulanması detaylarıyla anlatılmaktadır (Dong, 1999);

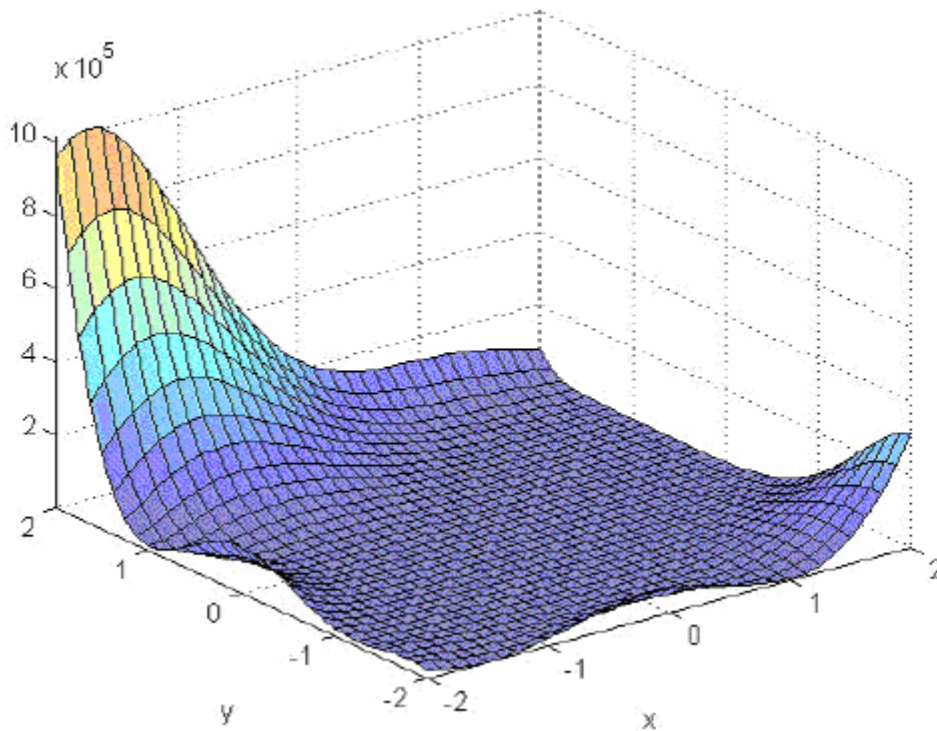
Minimize edilmek istenen fonksiyon

$$z = [1 + (x + y + 1)^2 * (19 - 14x + 3x^2 - 14y + 6xy + 3y^2)] * [30 + (2x - 3y)^2 * (18 - 32x + 12x^2 + 48y - 36xy + 27y^2)]$$

ve kısıtlar $2.0 \geq x \geq -2.0$;

$2.0 \geq y \geq -2.0$ şeklindedir.

Amaç fonksiyonunun 3 boyutlu grafiği Şekil 1.9'da görülmektedir.



Şekil 1.9. Goldstein ve Price fonksiyonu

1.2.4.2.1. Gösterim

Öncelikle karar değişkenlerinin ikili sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Burada değişkenlerin gösterimi için 16 bit kullanılmıştır. İkili sistemden değişkenleri gerçek sayılara çevirmek için x ve y değişkenleri aşağıdaki şekilde dönüştürülebilir:

$$x = -2.0 + x' \times 4.0 / (2^{16} - 1)$$

$$y = -2.0 + y' \times 4.0 / (2^{16} - 1)$$

Burada x' ve y' , x ve y karar değişkenleri için alt dizilimin ondalık değerini göstermektedir.

Örneğin kromozomun toplam uzunluğu 32 bit olduğunda

1110011011001100 0110101110000010

x ve y 'nin değeri aşağıdaki gibi olur:

	İkili sayı dizgesi	Ondalık sayı
x	1110011011001100	59076
y	0110101110000010	27522
	$x = -2.0 + 59076 \times 4 / (2^{16} - 1) = 1.606$	
	$y = -2.0 + 27522 \times 4 / (2^{16} - 1) = -0.320$	

1.2.4.2.2. Başlangıç Popülasyonu

Her bir jenerasyonda popülasyon büyüklüğü 20 olduğunda, başlangıç popülasyonu rassal olarak aşağıdaki gibi oluşturulabilir;

V ₁ =[1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0]=	[1.606256, -0.320165]
V ₂ =[1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1]=	[1.003037, 0.942733]
V ₃ =[1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0 0]=	[1.019699, 0.829633]
V ₄ =[0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0]=	[-0.860273, 0.461707]
V ₅ =[0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 0]=	[-1.195422, -0.538430]
V ₆ =[0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0]=	[-0.891096, -1.881346]
V ₇ =[0 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 1 0]=	[-0.373144, 0.101228]
V ₈ =[0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0]=	[-1.654841, 0.749065]
V ₉ =[1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1]=	[0.873030, 0.691386]
V ₁₀ =[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1]=	[-1.994202, 1.210925]
V ₁₁ =[1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0]=	[0.401038, -1.768307]
V ₁₂ =[0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0]=	[-1.124437, 1.917174]
V ₁₃ =[0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1]=	[-0.128267, 1.928466]
V ₁₄ =[0 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0]=	[-1.642634, -1.453239]
V ₁₅ =[1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0]=	[0.205356, 1.618097]
V ₁₆ =[1 0 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0]=	[0.319799, -1.472160]
V ₁₇ =[1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0]=	[1.785885, 0.613443]
V ₁₈ =[1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1]=	[1.406241, -0.558145]
V ₁₉ =[0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1]=	[-1.895872, -1.563409]
V ₂₀ =[1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0]=	[1.457633, -0.948836]

1.2.4.2.3. Değerlendirme

Jenerasyonun oluşturulmasından sonraki ilk adım popülasyonun her bir üyesi için uygunluk değerinin hesaplanmasıdır. Kromozomların uygunluk değerinin hesaplanması 3 aşamalı bir süreçten oluşur;

1. Kromozomların ikilik sistemdeki değerlerinin gerçek değerlerine dönüştürülmesi,
2. Amaç fonksiyonunun hesaplanması,
3. Amaç fonksiyonu değerinin uygunluk değerine dönüştürülmesi. Bu örnekte uygunluk değerinin pozitif olması için her bir kromozomun uygunluk değeri amaç fonksiyonunun maksimum değerinden amaç fonksiyonu değerleri çıkarılarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki kromozomların amaç fonksiyonu değerleri F ve uygunluk değerleri Eval aşağıdaki gibidir.

$F(V_1) = F(1.606256, -0.320165)=2907.700814;$	$Eval(V_1) = F_{max}-F(V_1) = 700242.428$
$F(V_2) = F(1.003037, 0.942733)=1470.604014;$	$Eval(V_2) = F_{max}-F(V_2) = 701679.525$
$F(V_3) = F(1.019699, 0.829633)=998.466596;$	$Eval(V_3) = F_{max}-F(V_3) = 702151.663$
$F(V_4) = F(-0.860273, 0.461707)=9680.870631;$	$Eval(V_4) = F_{max}-F(V_4) = 693469.258$
$F(V_5) = F(-1.195422, -0.538430)=1439.880786;$	$Eval(V_5) = F_{max}-F(V_5) = 701710.248$
$F(V_6) = F(-0.891096, -1.881346)=11273.574224;$	$Eval(V_6) = F_{max}-F(V_6) = 691876.555$
$F(V_7) = F(-0.373144, 0.101228)=951.091206;$	$Eval(V_7) = F_{max}-F(V_7) = 702199.038$
$F(V_8) = F(-1.654841, 0.749065)=8068.650332;$	$Eval(V_8) = F_{max}-F(V_8) = 695081.479$
$F(V_9) = F(0.873030, 0.691386)=982.663173;$	$Eval(V_9) = F_{max}-F(V_9) = 702167.466$
$F(V_{10}) = F(-1.994202, 1.210925)=45585.613158;$	$Eval(V_{10}) = F_{max}-F(V_{10}) = 657564.516$
$F(V_{11}) = F(0.401038, -1.768307)=8488.275825;$	$Eval(V_{11}) = F_{max}-F(V_{11}) = 694661.853$
$F(V_{12}) = F(-1.124437, 1.917174)=703150.129106;$	$Eval(V_{12}) = F_{max}-F(V_{12}) = 0.000$
$F(V_{13}) = F(-0.128267, 1.928466)=234882.112971;$	$Eval(V_{13}) = F_{max}-F(V_{13}) = 468268.016$
$F(V_{14}) = F(-1.642634, -1.453239)=14013.064752;$	$Eval(V_{14}) = F_{max}-F(V_{14}) = 689137.064$
$F(V_{15}) = F(0.205356, 1.618097)=84257.482260;$	$Eval(V_{15}) = F_{max}-F(V_{15}) = 618892.647$
$F(V_{16}) = F(0.319799, -1.472160)=730.102530;$	$Eval(V_{16}) = F_{max}-F(V_{16}) = 702420.027$
$F(V_{17}) = F(1.785885, 0.613443)=890.983919;$	$Eval(V_{17}) = F_{max}-F(V_{17}) = 702259.145$
$F(V_{18}) = F(1.406241, -0.558145)=5332.051371;$	$Eval(V_{18}) = F_{max}-F(V_{18}) = 697818.078$
$F(V_{19}) = F(-1.895872, -1.563409)=21833.496910;$	$Eval(V_{19}) = F_{max}-F(V_{19}) = 681316.632$
$F(V_{20}) = F(1.457633, -0.948836)=26032.543455;$	$Eval(V_{20}) = F_{max}-F(V_{20}) = 677117.586$

İlk jenerasyonda en iyi kromozomun V_{16} ve en düşüğünün V_{12} olduğu görülmektedir.

1.2.4.2.4. Yeni Popülasyonun Oluşturulması

Değerlendirmeden sonra, mevcut jenerasyondan yeni bir popülasyon oluşturmak için 3 operatör (yeniden üretim, çaprazlama ve mutasyon) kullanılmıştır.

1.2.4.2.4.1. Yeniden Üretim

En iyi ve ikinci en iyi uygunluğa sahip iki kromozom (dizi) yeni jenerasyonun oluşturulması için alınmıştır. Örneğin ilk popülasyonda V_{16} ve V_{17} alınarak ikinci popülasyonda kullanılmıştır.

1.2.4.2.4.2. Seçim ve Çaprazlama

Çaprazlama için hangi kromozomların kullanılacağına karar vermek için kümülatif olasılık kullanılmıştır. Kümülatif olasılık aşağıdaki adımlar kullanılarak hesaplanmıştır.

1. Popülasyon için toplam uygunluğu hesapla:

$$F_{\text{toplama}} = \sum_{i=1}^{\text{populasyonbüyüklüğü}} Eval(V_i)$$

2. Her bir kromozom için P_i olasılığını hesapla:

$$P_i = Eval(V_i) / F_{\text{toplama}}$$

3. Her bir kromozom için Q_i kümülatif olasılığını hesapla:

$$Q_i = \sum_{k=0}^i P_k$$

Örneğin, her bir kromozoma ait P_i ve Q_i değerleri aşağıdaki gibi olsun:

$P_1=0.054$	$Q_1=0.054;$	$P_2=0.054$	$Q_2=0.109;$
$P_3=0.055$	$Q_3=0.163;$	$P_4=0.054$	$Q_4=0.217;$
$P_5=0.054$	$Q_5=0.272;$	$P_6=0.054$	$Q_6=0.325;$
$P_7=0.055$	$Q_7=0.380;$	$P_8=0.054$	$Q_8=0.434;$
$P_9=0.055$	$Q_9=0.488;$	$P_{10}=0.014$	$Q_{10}=0.539;$
$P_{11}=0.054$	$Q_{11}=0.593;$	$P_{12}=0.000$	$Q_{12}=0.593;$
$P_{13}=0.036$	$Q_{13}=0.630;$	$P_{14}=0.054$	$Q_{14}=0.683;$
$P_{15}=0.048$	$Q_{15}=0.731;$	$P_{16}=0.055$	$Q_{16}=0.786;$
$P_{17}=0.055$	$Q_{17}=0.840;$	$P_{18}=0.054$	$Q_{18}=0.895;$
$P_{19}=0.053$	$Q_{19}=0.947;$	$P_{20}=0.053$	$Q_{20}=1.000$

Örnekte tek noktali çaprazlama kullanılmıştır, rassal olarak tek bir nokta seçilerek iki ebeveynin sağ tarafındaki değerler birbirleriyle yer değiştirmiştir.

- [0,1] aralığında rassal bir r sayısı alınır ;
- Eğer $Q_{i-1} < r \leq Q_i$ ise i . kromozom V_i bir ebeveyn olarak seçilir.
- Adım 1 ve adım 2'yi uygulayarak ikinci ebeveyn belirlenir.
- [0,1] aralığında rassal bir r sayısı alınır. Eğer r , çaprazlama olasılığından küçükse (*burada çaprazlama olasılığı 1 olarak alınmıştır*), çaprazlama yapılır, çaprazlama yapılacak olan noktanın (genin) belirlenmesi için $r \times (\text{uzunluk}-1)$ 'e en yakın ya da eşit tamsayı değeri alınır (bu problem için uzunluk 32'dir).
- Bütün çaprazlamalar 1.adımdan 4. adıma kadar tüm adımlar 9 defa uygulanarak tamamlanır. Böylece yeniden üretim için alınan 2 kromozoma ilave olarak 18 yeni birey (offspring) alınarak 20'lik popülasyon sayısına ulaşılır.

Yukarıdaki kromozomlarda ilk çaprazlama, çaprazlamaya noktası 9 olarak alındığında aşağıdaki gibi olur;

ebeveyn1	0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0
ebeveyn2	1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1
yeni popülasyon1	0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1
yeni popülasyon 2	1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0

Seçim ve çaprazlamadan sonra yukarıdaki kromozomların popülasyonu aşağıdaki gibi olur:

```

1 0 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0
1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0
0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1
1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0
1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0
1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0
1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0
1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1
1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1
1 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0
1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1
1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1
1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0
1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1
1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0
0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0
1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 0
0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 0

```

1.2.4.2.4.3. Mutasyon

Çaprazlamadan sonra mutasyon uygulanır. Mutasyon, mutasyon oranına göre bir veya birden fazla gende değişiklik yapar (bu örnekte mutasyon oranı 0.01 olarak alınmıştır).

1. Rassal bir r_k ($k=1, \dots, 640$) sayısı alınır (burada, tüm popülasyondaki bit sayısı $20 \times 32 = 640$ 'dır).
2. Eğer r_i 1 ise bütün popülasyondaki i .bit 1 ise 0, 0 ise 1 olarak değiştirilir.
3. Kromozomlar mutasyondan sonra yeniden üretilir.

Yukarıdaki popülasyona mutasyon uygulanmasından sonra oluşan popülasyon aşağıdaki halini alır:

```

10010100011101110010000111001000
11110010010010111010011101000000
01001100111111110101110001010111
11011001111100011001110110001100
11100110110011000110101110000010
11100110100011000110101110000010
11011100010010111010011101000010
11110011010010010100001101000110
00000010101010100101110000000111
11011001111111110001101111110001
10110010010000111010011101000010
11110111110111111010110000111111
11000001010000101011010100111111
10110111110111111010111000011000
10011001111111100101110001000111
11011001101010100000111011010100
00010100011101110010000111001000
10010110110111110010001011111110
00110011011111100101110110001010
00110011011111100101110110001010

```

Genetik algoritmanın 1.jenerasyonu tamamlandıktan sonra yeni popülasyon oluşmuş olur. Bu prosedür istenildiği sürece devam edilebilir. Bu örnekte, 50 jenerasyon uygulanarak denemeler sonlandırılmıştır her bir jenerasyondaki en iyi amaç fonksiyonu değerleri aşağıda listelenmiştir:

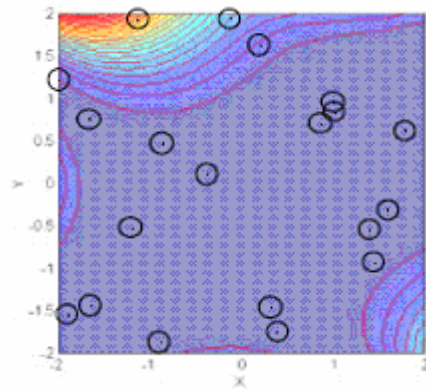
```

Jenerasyon 1: f(0.319799, -1.472160)=730.102530
Jenerasyon 2: f(0.406165, -0.558145)=162.226980
Jenerasyon 3: f(-0.397681, -0.453223)=57.549628
Jenerasyon 4: f(-0.397681, -0.453223)=57.549628
Jenerasyon 5: f(-0.390661, -0.557168)=38.178596
Jenerasyon 6: f(-0.390661, -0.557168)=38.178596
Jenerasyon 7: f(-0.390661, -0.557168)=38.178596
Jenerasyon 8: f(-0.390661, -0.557168)=38.178596
Jenerasyon 9: f(-0.225620, -0.886580)=24.916053
Jenerasyon 10: f(-0.225620, -0.886580)=24.916053
Jenerasyon 11: f(-0.225620, -0.886580)=24.916053
Jenerasyon 12: f(-0.225620, -0.886580)=24.916053
Jenerasyon 13: f(-0.225620, -0.886519)=24.913849

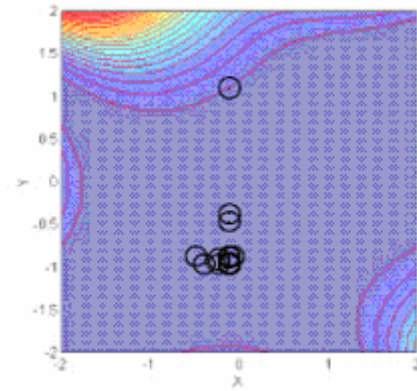
```

Jenerasyon 14: $f(-0.218784, -0.886580)=23.439072$
Jenerasyon 15: $f(-0.204318, -0.964401)=21.311702$
Jenerasyon 16: $f(-0.100618, -0.886702)=10.690835$
Jenerasyon 17: $f(-0.100618, -0.980026)=6.364413$
Jenerasyon 18: $f(-0.100618, -0.980026)=6.364413$
Jenerasyon 19: $f(-0.100618, -0.980026)=6.364413$
Jenerasyon 20: $f(-0.100618, -0.980026)=6.364413$
Jenerasyon 21: $f(-0.046418, -0.980026)=3.866719$
Jenerasyon 22: $f(-0.046418, -0.980026)=3.866719$
Jenerasyon 23: $f(-0.046418, -0.980087)=3.865357$
Jenerasyon 24: $f(-0.046418, -0.980453)=3.857242$
Jenerasyon 25: $f(-0.038117, -0.977584)=3.716293$
Jenerasyon 26: $f(-0.038605, -0.980453)=3.663052$
Jenerasyon 27: $f(-0.046418, -0.994125)=3.619268$
Jenerasyon 28: $f(-0.015167, -0.978378)=3.314212$
Jenerasyon 29: $f(-0.015167, -0.978378)=3.314212$
Jenerasyon 30: $f(-0.015167, -0.978378)=3.314212$
Jenerasyon 31: $f(-0.015167, -0.978378)=3.314212$
Jenerasyon 32: $f(-0.015167, -0.980453)=3.273351$
Jenerasyon 33: $f(-0.015167, -0.980453)=3.273351$
Jenerasyon 34: $f(-0.015167, -0.996078)=3.076353$
Jenerasyon 35: $f(-0.014679, -0.996078)=3.072320$
Jenerasyon 36: $f(-0.014679, -0.996078)=3.072320$
Jenerasyon 37: $f(-0.015167, -0.999985)=3.057946$
Jenerasyon 38: $f(-0.015167, -0.999985)=3.057946$
Jenerasyon 39: $f(-0.006867, -0.996078)=3.024020$
Jenerasyon 40: $f(-0.006867, -0.996078)=3.024020$
Jenerasyon 41: $f(-0.006867, -0.996078)=3.024020$
Jenerasyon 42: $f(-0.006867, -0.999985)=3.011883$
Jenerasyon 43: $f(-0.006867, -0.999985)=3.011883$
Jenerasyon 44: $f(-0.006867, -0.999985)=3.011883$
Jenerasyon 45: $f(-0.006867, -0.999985)=3.011883$
Jenerasyon 46: $f(-0.006867, -0.999985)=3.011883$
Jenerasyon 47: $f(-0.006867, -0.999985)=3.011883$
Jenerasyon 48: $f(-0.005158, -0.999924)=3.006779$
Jenerasyon 49: $f(-0.005158, -0.999924)=3.006779$
Jenerasyon 50: $f(-0.005158, -0.999924)=3.006779$

Şekil.1.10, Şekil 1.11 ve Şekil 1.12’de Goldstein ve Price fonksiyonunun başlangıç popülasyonundaki amaç fonksiyonunun, 20. jenerasyondan sonraki amaç fonksiyonunun ve 50. jenerasyondan sonra popülasyonun amaç fonksiyonunun bireylerinin dairelerle gösterildiği işaretlemeler görülmektedir.

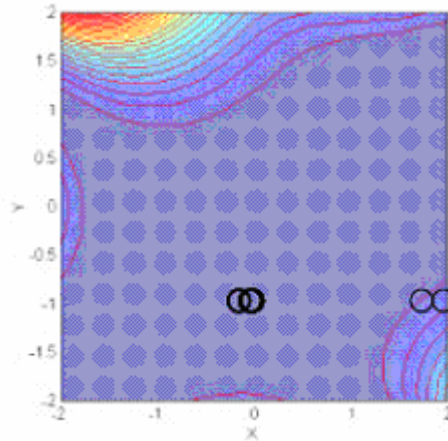


Şekil 1.10.



Şekil 1.11.

Şekil 1.10. ve Şekil 1.11. Başlangıç ve 20. jenerasyondan sonra popülasyonun amaç fonksiyonunun kontür plotları



Şekil 1.12. 50. jenerasyondan sonra popülasyonun amaç fonksiyonunun kontür plotu

1.3. Genetik Algoritmaların İşletme Alanındaki Uygulamaları

Genetik Algoritmaların İşletme alanında kullanımına ilişkin örneklerden bazıları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Genetik algoritmaların, üretimden pazarlamaya, finanstan çizelgelemeye kadar birçok alanda uygulamalarının olduğu görülmektedir. Tabloda çalışmaların yazarları, yayın yılı, yöntemin kullanım alanı ve amacı veya konusu olmak üzere 4’lü bir ayırım yapılmıştır.

Tablo 1.2 Genetik Algoritmaların İşletme Alanındaki Kullanımına İlişkin Örnekler

Yazar (lar)	Yayın yılı	Kullanım alanı	Yayının amacı veya konusu
Wu vd.	2007	Üretim	Hücreyel imalatta bütünleşik hücre bilgisi ve grup yerleştirme probleminin çözümünde genetik algoritma yaklaşımıyla çözüm geliştirilmesi ve genetik algoritmanın performansında çaprazlama oranı, mutasyon oranı, popülasyon büyüklüğü ve maksimum jenerasyon sayısı gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır.
Ahn vd.	2006	Pazarlama	Çalışmada tüketicilerin satın alma davranışı gösterme ya da göstermeme durumlarının sınıflandırılmasında vaka bazlı düşünme ile genetik algoritma kullanarak eş zamanlı optimizasyon önerilmiştir.
Küçük ve Keskinürk	2006	Üretim	Çalışmada, montaj hattı dengelemede genetik algoritma operatörlerinin etkinliği araştırılmış ve karşılaştırmalı sonuçlara yer verilmiştir.
Saraç ve Özçelik	2006	Üretim	Hücre oluşturma problemi, hücreyel üretimin önemli, kritik ve zor bir adımdır. Çalışmada, alternatif rotaların varolması durumunda, hücre oluşturma problemini çözmek amacıyla bir genetik algoritma geliştirilmiştir.
Wu vd.	2006	Üretim	Çalışmada, hücreyel imalatta eş zamanlı tasarımda genetik algoritmaların kullanımı gösterilmiştir. Genetik algoritma temelli bir sezgisel geliştirilerek hücreyel imalatın önemli tasarım özellikleri ve hücre bilgisi ile grup yerleştirme kararlarının eşanlı verilmesi incelenmiştir.
Azimi	2005	Çizelgeleme	Sınav programının yapılması ile ilgili olarak yapılan çalışmada tabu arama, tavlama benzetimi, genetik algoritma ve karınca koloni sistemleri yöntemleriyle ve bunların hibrit algoritmalarıyla uygulamalar yapılmıştır.
Er vd.	2005	Finans	Çalışmada, genetik algoritmaların finans alanındaki uygulamalarıyla ilgili bir yazın taraması yapılmıştır. Genetik algoritmaların işletme finansı ile finansal piyasa sistemleri ve finansal ekonomi ile ilgili uygulamalarına değinilmiştir.
Gonçalvez vd.	2005	Çizelgeleme	Çalışmada iş atölye çizelgeleme (job shop scheduling) probleminin çözümünde hibrit genetik algoritmayla çözüm gösterilmektedir. Bu yöntem literatürdeki farklı yaklaşımlarla karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın etkinliği desteklenmiştir.
Osman vd.	2005	Kaynak tahsisi	Çalışmada çok amaçlı kaynak tahsisi problemlerinin çözümünde genetik algoritmaların kullanılabilirliği ihtimali gösterilmektedir. Çok amaçlı kaynak tahsisi problemlerinin simülasyon sonuçlarıyla genetik algoritmaların buna benzer problemler için yeni bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir.

Tablo 1.2'nin devamı

Yazar (lar)	Yayın yılı	Kullanım alanı	Yayının amacı veya konusu
Xu ve Liang	2005	Üretim	Montaj hattı tasarımı ve ürün modülü seçiminin bütünleşik planlamasında genetik algoritmaların kullanımı üzerinde durulmuştur. Genetik algoritmaların parametrelerinin etkileri ANOVA analizi ile test edilmiştir.
Aickelin ve Dowsland	2004	Çizelgeleme	İşgücü çizelgeleme problemi için hastanedeki hemşirelerin çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Yazarlar daha önce tabu arama ile ilgili çalışmalarından daha başarılı ve esnek sonuçlara ulaştıklarını belirtmişlerdir.
Hsiao ve Liu	2004	Pazarlama- Üretim	Çalışmada ürün tasarımında yapay zeka temelli sistematik bir yaklaşım ele alınmıştır. Ürün tasarımının sentezi, değerlendirilmesi ve optimizasyonunda bulanık teori, yapay sinir ağları ve genetik algoritmaların morfolojik olarak kullanımı incelenmiştir.
Kılıç vd.	2004	Çizelgeleme	Yapılan çalışmada risk altında proje çizelgeleme problemi için bir karışık tam sayılı programlama modeli ve genetik algoritmalar üzerine kurulu sezgisel çözüm yaklaşımları sunulmuştur.
Kim ve Street	2004	Pazarlama	Pazarlama yöneticilerine genetik algoritmaların kılavuzluk ettiği yapay sinir ağları ile veri madenciliği yaklaşımı örnekler üzerinde gösterilmiştir.
Kuo vd.	2004	Pazarlama	Genetik algoritmaların aramada iyi olması sebebiyle verileri benzerliklerine göre sınıflandırabileceği düşünülerek, pazar bölümlendirmede genetik algoritma temelli kümeleme yöntemi üzerinde durulmuştur.
Martens	2004	İşyeri düzenleme	Moda endüstrisinde yerleşim (layout) problemini çözmek için genetik algoritmalarından faydalanılmıştır. Bu tür problemlerde genellikle tam sayılı programlama kullanılsa da genetik algoritmalar ile optimal ya da optime yakın çözümlere ulaşılabileceği gösterilmiştir.
Mattfeld ve Bierwirth	2004	Çizelgeleme	İş atölye (job shop) çizelgeleme problemleri piyasaya sürme ve ödeme zamanındaki gecikmeler açısından ele alınmıştır. Bu tür problemler için genel sezgiseller yerine genetik algoritmalar doğrudan uygulanmıştır.

Tablo 1.2'nin devamı

Yazar (lar)	Yayın yılı	Kullanım alanı	Yayının amacı veya konusu
Oh ve Wu	2004	Çizelgeleme	Çoklu işlemcili sistemlerde gerçek zamanlı iş çizelgeleme için yeni bir yöntemin tanıtımı ve değerlendirilmesi yapılmaktadır. Amaç işlemci ihtiyacı sayısının ve işlerde toplam gecikmelerin minimize edilmesidir. Minimizasyonda çok amaçlı genetik algoritmalar kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar geçmişte kullanılan yöntemler içinde yazarların geliştirdiği algoritmanın çok daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.
Stockton vd.	2004	Üretim	Elektrik teli hatlarının yükseltilmesi çalışmasında minnadiation ve genetik algoritma yaklaşımları ayrı ayrı ele alınmış ve maliyetlerin minimize edilmesinde genetik algoritmaların yaklaşık %12 daha düşük maliyet bulduğu görülmüştür. Ayrıca toplu (aggragate) planlamada, malzeme ihtiyaç planlamada, imalat dizaynı ve planlama kararlarında genetik algoritma çözüm prosedürleri uygulamaları ele alınmıştır.
Bhattacharyya	2003	Pazarlama	Çalışmada genetik algoritma ve genetik programlama gibi evrimsel hesaplama tekniklerinin veri madenciliği ve daha spesifik olarak veritabanı pazarlama problemlerinde kullanımı incelenmiştir.
Chaudhry vd.	2003	Üretim	P-medyan (p-median) olarak bilinen tesis yeri seçimi problemine genetik algoritmaların kullanımıyla çözüm aranmıştır. Karşılaştırmalı sonuçlar genetik algoritmaların mevcut yöntemlere göre performansının iyi olduğunu göstermiştir.
Glibovets ve Medvid	2003	Çizelgeleme	Çalışmada genetik algoritmaların genel tanımlamalarını verildikten sonra bir üniversitede gerçek ihtiyaçlar noktasından hareket ederek optimal çizelgeleme probleminin başarılması gösterilmiştir. Daha sonra genetik algoritmanın gerçekleştirilmesindeki temel adımlar incelenmiş ve genetik algoritmanın kalitesi analiz edilmiştir.
Gruca ve Klemz	2003	Pazarlama	Optimal ürün konumlandırma ile ilgili olarak yapılan çalışmada GA temelli GA arama adlı bir prosedür geliştirilmiştir. GA arama yönteminin çok iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur.
Lee vd.	2003	Kaynak tahsisi	Kaynak tahsisi problemlerinde genetik algoritmaların kullanımı ele alınmıştır. Simülasyon sonuçları çeşitli genetik algoritmalar içinde sezgisel genetik algoritmanın en iyi performansı verdiğini göstermiştir.

Tablo 1.2'nin devamı

Yazar (lar)	Yayın yılı	Kullanım alanı	Yayının amacı veya konusu
Steiner ve Hruschka	2003	Pazarlama	Ürün tasarımı ve fiyatlandırmada genetik algoritmaların kullanımı üzerinde durulmuştur. Kâra katkı yaratmada ürün yelpazesi geliştirmek için genetik algoritmaların kullanılabilir olduğu gösterilmeye çalışılmış ve pazar payı ile ilgili pek çok konuda genetik algoritmaların kullanılabilir olduğuyla ilgili önerilerde bulunulmuştur.
Türkay ve Artaç	2003	Dağıtım	Çalışmada, dağıtım şebekesinin optimum tasarımını yapan yeni bir genetik algoritma geliştirilmiştir.
Dias vd.	2002	Çizelgeleme	Otobüs sürücülerinin çizelgelenmesi probleminde genetik algoritmaların kullanımı ele alınmıştır. Genetik algoritmaların bir karar destek sistemi olarak entegre edilerek kullanımının interaktif olarak mümkün olduğu gösterilmiştir.
Fırlalı ve Engin	2002	Çizelgeleme	Çalışmada, çok makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Genetik algoritmanın optimum veya optimuma yakın çözüme ulaşma performansını etkileyen; başlangıç popülasyonu; üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile çaprazlama ve mutasyon oranları gibi parametrelerin uygun değerlerinin belirlenmesine çalışılmıştır.
Latemendia	2002	Finans	Var olan teknik analizlere dayalı stratejilerin üzerine genetik algoritmaların uygulamasının var olan yöntemlere göre fark yaratıp yaratmayacağını araştırılmış ve bazı küçük farklar bulunmuştur.
Özcan ve Alkan	2002	Çizelgeleme	Genetik algoritmalar yoluyla üniversitelerde otomatik ders programı çizelgeleme problemi çözülmüştür.
Dempster ve Jones	2001	Finans	Teknik göstergelere dayalı bir sistematik ve kendini uyarlayan işlem sistematigi geliştirilmesi ve bu sistematik ile sürekli bir kazanç sağlanabilirliği test edilmiştir.
Bhattacharyya	1999	Pazarlama	Doğrudan pazarlama performansının modellenmesinde genetik algoritmaların kullanılması konusu ele alınmıştır.
Fyfe vd.	1999	Finans	Teknik analiz metotları ile aşırı getiri imkanı mevcut mudur sorusuna genetik algoritmalarla cevap aranmıştır.
Backhouse vd.	1997	Üretim	Tekstil süreci yolunun optimizasyonu genetik algoritmalar ve deneysel dizayn tekniği gibi iki farklı yaklaşım yoluyla ele alınmıştır. Her bir yaklaşımın optimuma ulaşmadaki verimliliği ve proses süresince elde edilen bilgiler gösterilmiştir.

Tablo 1.2'nin devamı

Yazar (lar)	Yayın yılı	Kullanım alanı	Yayının amacı veya konusu
Neely vd.	1997	Finans	Yabancı döviz kurları üzerinde genetik algoritmaların kullanımı ile teknik işlem kurallarının bulunması ve aşırı getiri imkanının araştırarak bunların standart istatistiksel yöntemlerle karşılaştırılması yapılmıştır.
Balakrishnan ve Jacob	1996	Üretim	Çalışmada ürün tasarımı probleminde genetik algoritmaların kullanımı ve performansının değerlendirilmesi ele alınmıştır. Çalışma genetik algoritmaların ürün tasarım problemlerinde nasıl uygulanabileceği, genetik algoritmalarla dinamik programlama uygulamalarının karşılaştırılması, parametrelerin seçiminde genetik algoritmaların duyarlılığı gibi konulara odaklanmıştır.
Chakroborty vd.	1995	Ulaşım	Kentsel taşıma ağının çizelgelenmesinde klasik yöntemler yerine genetik algoritmalar ile çözüm ele alınmıştır. Genetik algoritmaların bu çalışmadaki başarısı ve verimliliğinin taşımacılık sisteminde benzer optimizasyon problemleri için de bir çözüm aracı olabileceği gösterilmiştir.
Hurley vd.	1995	Pazarlama	Pazarlama optimizasyonunun çözümünde genetik algoritmaları kullanarak pazarlama problemlerinde genetik algoritma uygulamalarının nasıl olabileceği gösterilmiştir. Pazarlama alanında fazla bilinmeyen bu yöntem hakkında bilgi vermeye çalışarak genetik algoritmaların kullanılabilir sonuçları olduğu gösterilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

HAVAYOLU EKİP PLANLAMA

2.1. Personel Çizelgeleme ve Personel Atama

Personel çizelgeleme ve personel atama, işletmelerin mal ve hizmetlerini sağlayabilmek için çalışan personelinin çalışma zamanlaması sürecidir. Bu sürecin ilk aşaması talep edilen hizmeti sağlayacak şekilde belirli özellikteki çalışan sayısının belirlenmesini içerir. Çok kısıtlı ve kompleks problemlerde iyi çözümü bulmak ayrıca, maliyetleri minimize eden, çalışanların tercihlerini göz önüne alan, nöbetleri çalışanlara eşit olarak dağıtabilen ve tüm çalışanlarla ilgili artan kısıtları memnun edebilecek optimal çözümleri belirlemek oldukça zordur (Ernst vd., 2004).

Birçok işletme doğru zamanda doğru çalışanın işe alınması ve yüksek iş tatminine ulaşması için doğru ücretlerinin belirlenmesinde karar destek sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Genellikle farklı endüstrilerin ve işletmelerin özelliklerinden dolayı personel çizelgeleme için özel matematiksel modeller ve algoritmalar geliştirilmektedir (Ernst vd., 2004).

Çizelgeleme problemi personelin çalışma günlerini, yasal gereklilikler ve personel/yönetim anlaşmalarıyla emredilen ve çalışan organizasyonun yedi günlük çalışma haftası boyunca hizmetin devamını sağlayacak atamalarla ilgilidir. Çizelgeleme problemi, bir personel çizelgesinde her personelin çalıştığı ya da çalışmadığı günleri gösterir ve günlük personel ihtiyacını karşılayacak gerekli işgücü miktarını sağlar. Amaç, uygun sayıda personeli minimum işgücü maliyeti ile yerleştirmektir (Sarucan, 1999).

2.2. Çizelgeleme ile Atamanın Uygulama Alanları ve Çözüm Yöntemleri

Personel çizelgeleme ve atama yöntemleri birçok alana uygulanmıştır. Bunlardan bazıları ulaştırma sistemleri (havayolu ve demiryolu gibi), sağlık sistemleri, acil sistemler (polis, ambulans ve itfaiye hizmetleri gibi), arama merkezleri ve oteller, restoranlar ve perakende gibi hizmet organizasyonlarıdır. Literatürdeki uygulamaların çoğu ulaşım

sistemlerinde ekip çizelgeleme ve atama, sağlık sisteminde hemşire çizelgeleme ve çeşitli hizmet sistemlerinde tur çizelgeleme şeklinde olmaktadır (Ernst vd., 2004).

Çalışan çizelgeleme ve atama problemi havayolu, demiryolu ve karayollarında “ekip çizelgeleme” veya “ekip atama” olarak adlandırılır. Bunların çözüm yöntemleri olarak talep modelleme (demand modelling), yapay zeka yaklaşımları, kısıtlı programlama, meta sezgiseller ve matematiksel programlama gibi yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir (Ernst vd., 2004).

2.3. İşgücü Maliyetlerinin Minimizasyonu

Mal veya hizmet üretiminde kullanılan işgücü girdisi önemli bir maliyet unsuru olduğundan, bu maliyetlerin minimizasyonu ile, toplam üretim maliyetinde önemli ölçüde tasarruf yapılabilmekte ve işletmenin kârı önemli ölçüde arttırılabilmektedir (Güngör, 2005:1).

İşgücü maliyetlerinin minimizasyonu ile ilgili çalışmalar iki başlık altında toplanabilir. Bunlar; insangücü planlaması ile ilgili çalışmalar ile optimum vardiya planlaması ve tur planlaması ile ilgili çalışmalardır. İnsangücü planlaması ile ilgili çalışmalarda, işyerlerinde bir hafta veya bir aylık süre içindeki günlerin belli bölümlerinde ihtiyaç duyulan minimum insangücü miktarlarının nasıl belirleneceği araştırılmaktadır. Optimum vardiya planlaması ve tur planlaması ile ilgili çalışmalar belirlenen insangücü gereksinimlerini yerine getirmek için bu işçilere bir dönem boyunca (genellikle 1 hafta) uygulanacak çalışma çizelgesinin nasıl belirleneceğini araştırmaktadır. Genellikle deneme yanılma yoluyla yapılan problemlerde (ve bazen çok basit olan problemlerde) optimum çözümü bulmak oldukça zor olmaktadır. Bulunan ve uygulanan çözüm planlarının optimum plandan uzak olması işgücü maliyetlerinde fazlalıklar ortaya çıkarmaktadır (Güngör, 2005:1-2).

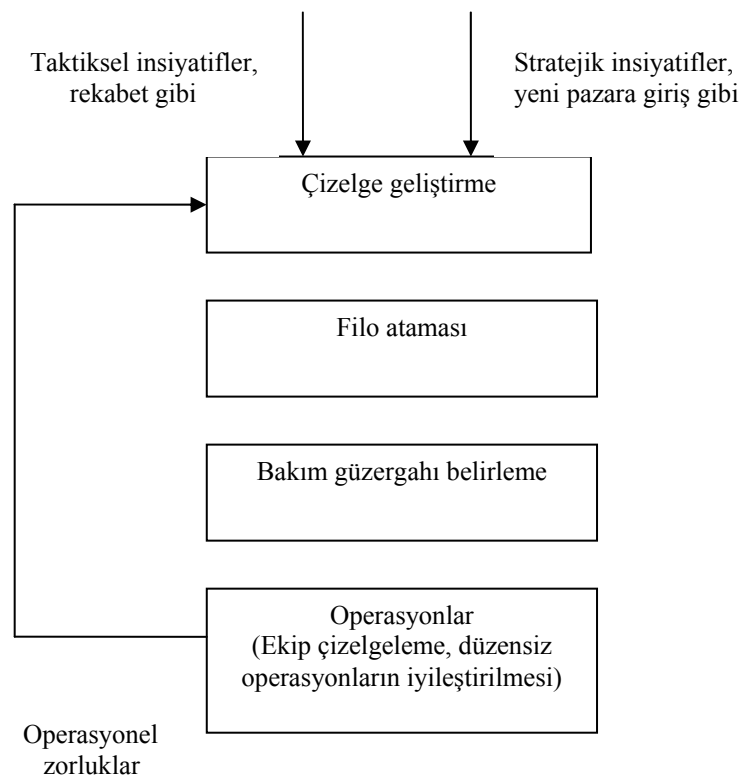
Hizmet endüstrilerinde personel çizelgeleme probleminin bazı ayırt edici özellikleri vardır. İlk özellik, talebin kısa vadede çok fazla dalgalanma ve haftanın 7 günü meydana gelme eğiliminde olmasıdır. İkinci bir özellik; insan performansının, hizmetinin stoklanamamasıdır. Üçüncü bir özellik ise müşteri memnuniyetinin önemli olmasıdır. Personeli azaltmak, hizmet kalitesini kötüleştirdiğinden ve uzun bekleme hatları oluşturduğundan müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Bunun sonucunda hem

maliyet hem de rekabet gücünde gelişebilecek düşüöşlere katlanılması gerekmektedir (Sarucan,1999).

2.4. Havayolu Çizelge Planlaması

Havayollarında uçakların ve ekiplerin planlanması ve çizelgelenmesi karışık ve zor olduğu için ayrı planlama adımlarına bölünmektedir. Bir adımdan elde edilen sonuçlar diğer bir adımın verilerini oluşturmaktadır. Genellikle her bir adım farklı bir departman tarafından yapılarak bütünsel olarak işbirliği içinde bulunmaktadır. Adımlardan birinde yapılan bir düzeltme ya da değişiklik diğer adımları da etkilemektedir (Şenöz, 2005).

Dawid vd. (2001) ile Barnhart vd. (2002), havayolu çizelgeleme planlamasını, tüm operasyonları gözönüne alan çizelgenin yapılması amacıyla tüm planlama kararlarını içerecek şekilde dört aşamada tanımlamışlardır. Bu aşamalar; uçuş çizelgesi tasarımı, uçuş ataması, uçak bakım güzergahı (aircraft maintenance routing) ve ekip planlamadır. Şekil 2.1' de bu planlama aşamaları kararların verildiği sırayla görölmektedir.



Şekil 2.1. Havayolu çizelge planlaması

Havayolu çizelge planlamasının başlangıç noktası havayolunun basılmış uçuş çizelgesidir. Uçuş planlaması havayolu çizelgeleme planlamasının ilk adımını oluşturur. Bu aşamada belirlenen periyotta hangi uçuşların uçulacağına karar verilir. Amaç pazarlama departmanının taleplerinin göz önüne alındığı, hangi şehirlere ne zaman uçulacağını gösteren planın yapılmasıdır (Gobalakrishnan ve Johnson, 2005; Şenöz, 2005; Lohatepanont ve Barnhart, 2004; Barnhart vd., 2002). Bu çizelgede uçuşların kalkış yeri, varış yeri ve zamanları gibi bilgiler yer almaktadır (Hoffman ve Padberg, 1993).

Havayolu çizelgesi bir ay için tahmin edilen trafik, taktiksel ve stratejik insiyatifler, dönemsel talep çeşitlilikleri temel alınarak gerçekleştirilir (Gopalan ve Talluri, 1998). Uçuş çizelgeleme dizaynında amaç, ekip gücü ve uçuş kompozisyonlarını dikkate alarak kaynak maksimizasyonu için uçuş ayakları kümesini oluşturmaktır (Dawid vd., 2001). Çizelge belirlendikten sonra kaynakların etkin olarak nasıl kullanılacağına karar verilir.

Filo ataması, bir önceki adımda belirlenmiş olan plana uygun uçak tipinin atanmasıdır. Örneğin çizelgedeki yer alan bir uçuş ayağına uygun uçak tipi atanırken az talepli bir uçuş ayağına büyük bir uçak atanırsa maliyetler artar, diğer yandan büyük talepli bir uçuş ayağına küçük uçak tipi atanırsa yolcuların tümü taşınamaz ve gelir kaybına neden olunur. Burada potansiyel müşteri sayısı ile uçağın koltuk sayısı arasındaki farkı minimize edecek atamanın yapılması gerekmektedir (Gobalakrishnan ve Johnson, 2005; Şenöz, 2005; Lohatepanont ve Barnhart, 2004; Gopalan ve Talluri, 1998).

Bir sonraki adım bakım güzergahının (maintenance routing) belirlenmesidir. Bakım güzergahı problemi uçağın istenen kısa süreli bakımının yapılmasını sağlayacak güzergahın bulunmasıdır. Bu aşamada hangi havaalanında bakım için ne kadar zaman ayrılacağı hesaplanmaktadır (Barnhart vd., 2002; Pauley vd., 1998).

Bu planlama aşamalarının ardından operasyon departmanları çizelge üzerinde çalışırlar. Bu tez kapsamında ele alınacak olan ekip çizelgeleme problemi de operasyon departmanının görevleri arasındadır. Uçuş operasyonları departmanı plana mümkün olduğunca uyulmasından sorumludur. Kötü hava koşulları veya ekipmanda bir arıza plandan sapmaya sebep olursa planın nasıl normale döneceğine yine bu departman karar verir (Gopalan ve Talluri, 1998).

2.4.1. Ekip Çizelgeleme (Ekip Planlama)

Ekip çizelgeleme ya da ekip planlama problemi, görevler kümesine personel gruplarının atanması problemi olarak tanımlanabilir. Bu problem havayolu, demiryolu, karayolu gibi birçok ulaştırma grubu için oldukça önemlidir. Ekip çizelgelemeyle ilgili uygulamaların her biri kendine özgü özellikler ve araştırma özelliklerine sahiptir. Bütün bu problemler için ortak bileşenler minimum işgücü, güvenlik kuralları ve personel anlaşmalarıdır (Barnhart vd., 2002).

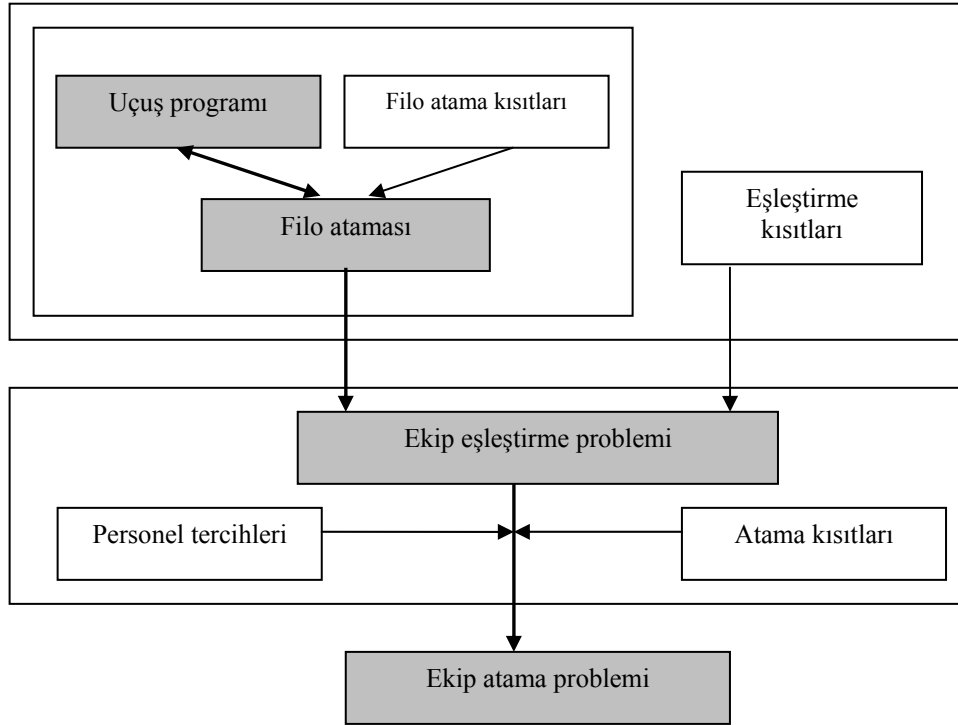
Akaryakıt maliyetlerinden sonra ekip maliyetleri havayolu şirketlerinin en büyük doğrudan operasyon maliyetlerinden birisidir ve havayolu taşımacılığında toplam havayolu operasyon maliyetlerinin %15-20'sini oluşturmaktadır. Ekip üyelerinin havayolu kaynaklarının büyük bir kısmını kullanması ve maliyetleri açısından bu üyelerin etkin bir şekilde en iyilenmesi önemli bir sorun olarak ele alınmaktadır. Havayolu şirketleri ekip elemanlarının yönetimine ekonomik ilişkisinden dolayı oldukça özen göstermekte ve dikkat etmektedir. Uzun yıllardır ekip planlaması ve çizelgelemesi ile ilgili havayolu şirketleri ile yöneylem araştırması ve matematik toplulukları tarafından birçok çalışma yapılmaktadır (Guo vd., 2006; Sohoni vd., 2006; Kohl ve Karish, 2004; Butchers vd, 2001; Moudani vd., 2001; Gamache vd., 1999; Andersson vd., 1998; Ryan, 1992).

Havayolu ekip çizelgeleme problemi yapısı, büyüklüğü ve toplu anlaşmalarla hükümetin belirlediği kurallara uyulması açısından oldukça zor ve karmaşıktır (Gamache vd., 1999; Stojkovic vd, 1998). Bu problem birçok defa çeşitli ve farklı yöntemler kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır (Arabeyre vd, 1969). Uzun yıllardan beri Amerikan havayolu şirketleri başta olmak üzere ekiplerin uçuşlara atanmasında matematiksel modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Amaç, hükümetin ve personelin çalışma kurallarının belirlediği kısıtları tatmin edecek şekilde ekip maliyetlerinin minimize edilmesidir (Vance vd., 1997; Hoffman ve Padberg, 1993).

Stojkovic vd. (1998), ekip çizelgeleme probleminin planlama ve operasyon aşamalarından oluştuğunu, planlama aşamasında eşleştirme ve uçuş personelinin atama probleminin bulunduğunu söylemektedir. Karmaşıklığına bağlı olarak havayolu şirketlerinin çoğu çizelgelemeyi, ekip eşleştirme ve ekip atama olmak üzere iki aşamada ele almaktadır (Guo vd., 2006; Kohl ve Karisch, 2004; Kerati vd., 2002; Yan ve Chang, 2002; Stojkovic vd., 1998). Operasyon aşamasında ise, uçuş çizelgesi zamanındaki değişiklikler,

uçuşların iptali veya yeni uçuşlar ile ilgili değişiklikler, uçak tipindeki değişikliklerle ilgilenilir.

Şekil 2.2’de bir havayolu ekip planlamanın çizelgeleme yapısı içinde yeri görülmektedir (Kerati vd., 2002; Moudani vd., 2001).



Şekil 2.2. Havayolu ekip planlamanın çizelgeleme içindeki yeri

Havayolu ekip planlama probleminin çözümünde, ilk aşama uçuşların eşleştirilmesi aşamasıdır. Burada minimum maliyetli eşleştirmelerin bulunarak tüm uçuşların kapsanması problemi üzerinde durulmaktadır. Eşleştirmeden kasıt aynı hava üssünde başlayıp biten ve yasal kuralları dikkate alan uçuşlar dizisidir. İkinci aşamada, ekip üyelerinin aylık uçuş çizelgelerinin oluşturulduğu ekip atama problemi yer almaktadır. Eşlenen uçuşlara ekipler atanmakta ve boş zamanları belirlenmektedir (Gamache vd., 1999). Böylece her bir ekip üyesinin çalışma güzergahı (line of work) düzenlenmiş olur.

İleriki konulara değinmeden önce bu bölümde veya ileride karşılaşılabilecek bazı kavramlarla ilgili tanımlamalar aşağıda yapılmaktadır (Şenöz, 2005).

Uçuş ayağı: Uçuş planındaki uçuşun başlangıç şehri, varış şehri, kalkış ve varış zamanıyla karakterize edilmesidir. Bir ekip elemanının hizmet ettiği hiç ara vermeden gidilen uçuştur (Park ve Ryu, 2006). Her uçuş bir veya birden fazla uçuş ayağı içerebilir.

Eşleştirme: Günlük bir görev olarak ekibin atanabileceği uçuş ayakları kombinasyonudur (Park ve Ryu, 2006). Aynı tayfa üssünde başlayan ve biten bir tayfa üyesi için uçuş ayakları dizisidir.

Rota: Belli bir zamanda başlayıp belli bir başlangıçla varış şehri arasında giden bir veya birden fazla uçuş ayağını kapsayan uçuş sırasdır.

Uçuş planı: Hangi şehirlere hangi zamanlarda uçulması gerektiğini belirten çizelgelemedir. Havayolu bu planı oluştururken, uçuş işlemleri, havaalanı kısıtları, yolcu talepleri ve rekabet edilen firmaların davranışları gibi pek çok içsel ve dışsal faktörden etkilenmektedir.

Hazırlanma süresi: Bir uçağın yere inmesiyle sıradaki uçuşun havalanması arasında uçak için gereken en az süredir. Bu süre temel bakımı, uçağın diğer yolculuğu için hazırlanması, uçak pistinden çıkarılması için gereken süreleri kapsamaktadır. Hazırlanma süresi, uçak ve havaalanı tipine göre değişiklik gösterebilse de genellikle 30-40 dk arasında değişmektedir.

Tayfa (ekip): Aynı uçuşta görevli olan pilot, yardımcı pilot, kabin amiri, hostes gibi uçuş görevlileridir.

Görev süresi: Bir görev boyunca ilk uçuş ayağının ayrılmasından bir saat önce başlayıp, görevdeki son uçuş ayağının yere varmasından yarım saat sonra biten süredir.

2.4.1.1. Ekip Eşleştirme (Crew Pairing) Problemi

Ekip planlama süreci günlük ekip eşleştirme optimizasyon problemiyle başlar. Daha sonra haftalık ve aylık eşleştirmeler tamamlanır. Eşleştirme bir ekip üyesi için aynı ekip üssünde başlayan ve biten uçuş ayakları dizisini ifade eder. Her ay için tüm uçuş ayaklarının kapsandığı eşleştirmeler bulunduktan sonra ekip üyelerinin uçuşlara atanma süreci tamamlanır (Ulucan ve Eryiğit, 2004; Chu vd., 1997).

Ekip eşleştirme problemi verilen tüm uçuşları kapsayacak şekilde minimum maliyetli eşleştirmelerin yapılmasını içerir. Eşleştirmeler tüm yasal kriterleri karşılayarak kurallara, anlaşmalara uygun olarak kaliteli çözümler üretecek şekilde yapılmalıdır. Ekip eşleştirme probleminde temel sorun ve düşünülmesi gerekli ana kısıtlar; pilot, kabin görevlileri ve diğer ekip üyeleri ile ilişkili olan uluslararası ve yerel yasal düzenlemeler, sivil havacılık kuralları, iş akdi kuralları, havayolu şirketinin kendi iç düzenlemeleri ve politikaları gibi hususlardır. Bu yasal düzenlemeler, her bir pilotun veya ekip üyelerinin bir görev periyodunun uzunluğunun ne kadar olacağını, dinlenme aralıklarının ve süresinin minimum ne kadar olacağını belirler (Ulucan ve Eryiğit, 2004; Barnhart ve Sheno, 1998; Stojkovic vd., 1998; Day ve Ryan, 1997).

Ekip eşleştirme problemleri şirketler ya da ülkeler açısından kurallar ve maliyetlere bağlı olarak farklılık gösterse de ana özellikleri benzerdir. Eşleştirmenin tersine ekip atama farklı pek çok yaklaşımla ele alınabilir. Amaç yaşam kalitesi kriterini dikkate alarak maliyetlerin minimizasyonudur. Havayollarında farklı atama prensipleri kullanıldığı gibi, bunları kombine eden esnek sistemler de uygulanmaktadır (Kohl ve Karisch, 2004).

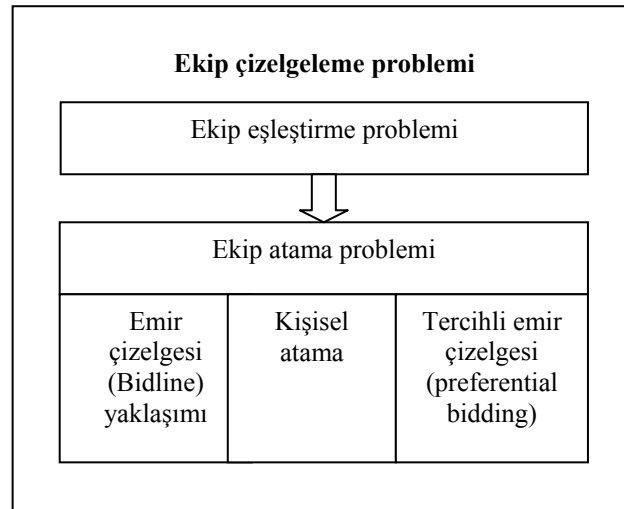
2.4.1.2. Ekip Atama (Crew Rostering) Problemi

Ekip atama veya listeleme olarak ifade edilen aşamada amaç, iş kurallarını ve gerekleri gibi bütün işi (eşleştirmeler) kapsamaktır (Ulucan ve Eryiğit, 2004). Ekip çizelgeleme (crew scheduling) havayolu operasyonları için oldukça önemlidir. Ekip çizelgelemenin kalitesi sadece maliyetler açısından değil uçuşun güvenliği açısından da önemlidir.

Bir kişisel aylık çizelge, çalışanın standart bir aydaki faaliyetlerdir. Bu faaliyetler eşleştirmeler, dinlenme süresi, yıllık tatiller, bağlantı faaliyetleri (bir önceki ayın sonunda

başlayıp mevcut ayda bitmesi beklenen faaliyet), aylık çizelge yapılmadan önceki personel isteklerini vb. kapsar. Aylık atama çizelgesi yapılırken her bir ekip üyesinin nitelikleri ve önceki dönemdeki atamaları her bir personelin dinlenmesi gereken zaman aralıkları maksimum uçabileceği uçuş saati gibi kısıtlar dikkate alınmalıdır (Stojkovic vd., 1998). Ekip eşleştirme ile karşılaştırıldığında akademik literatürde ekip atama problemine daha az önem verildiği ve gösterilen modellerin daha basitleştirilmiş olduğu görülmektedir. Ekip atamada maliyetlerin minimizasyonunun yanı sıra ekip üyeleri için yaşam kalitesi de önem kazanmaktadır. Amaç; etkin maliyet ve ekip memnuniyetinin birlikte iyileştirilmesidir (Kohl ve Karisch, 2004; Barnhart vd., 2002; Stojkovic vd., 1998).

Ekip üyelerinin aylık çizelgelerin oluşturulmasında üç seçenek vardır. Bunlar; emir çizelgesi (bidline), kişisel atama ve tercihli emir listesi (preferential bidding)'dir. Bu seçeneklerin gösterildiği ekip planlama problemi ile ilgili şekil aşağıdaki gibidir (Thiel, 2005).

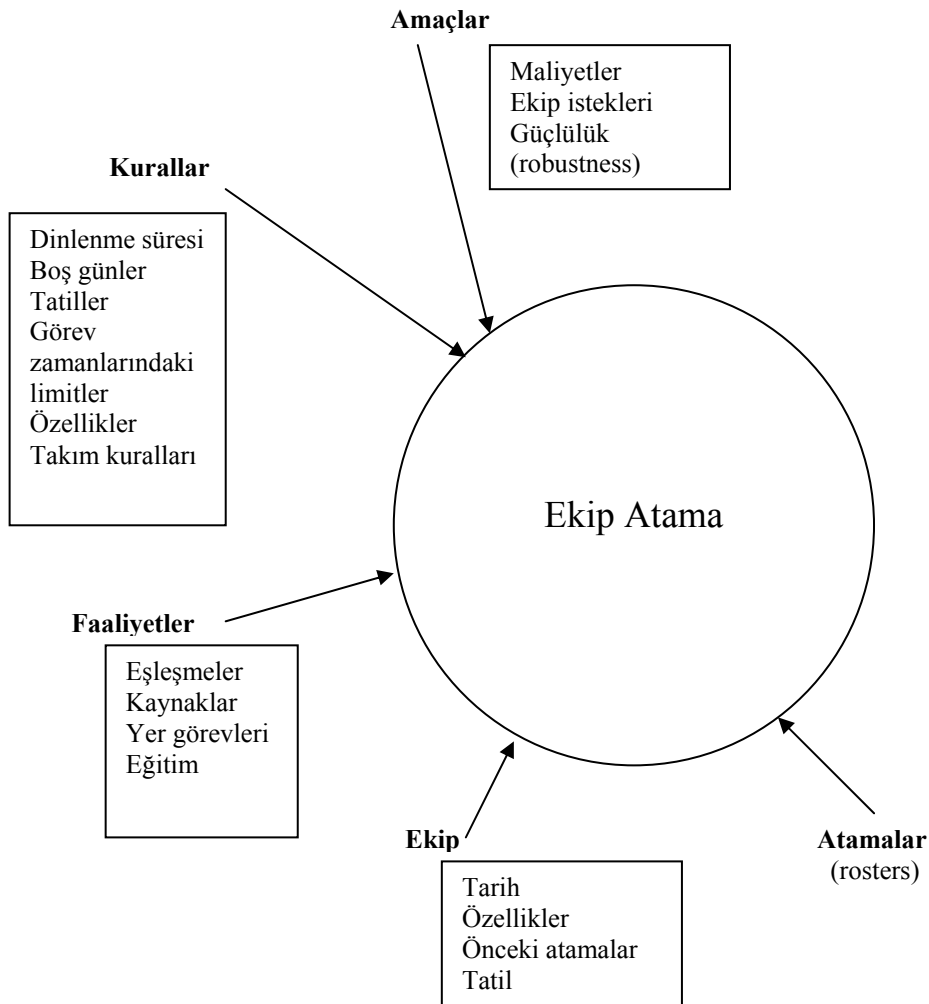


Şekil 2.3. Ekip planlama aşamaları

Emir çizelgesi (bidline) yaklaşımında, öncelikle ekip üyesi göz önünde bulundurulmadan tüm eşleşmeleri kapsayan yapı oluşturulur. Sonra her bir ekip üyesi kendine uygun çizelgeyi seçer. Personelin kıdemi göz önüne alınarak atama yapılır. Kişisel atamada, ekip üyelerinin çizelgelerinin oluşturulmasında personelin önceden atanmış atamaları ve nitelikleri dikkate alınarak her bir personel için kişisel çizelgelenmeler oluşturulur. Örneğin, eğer ekip üyesi bir önceki dönemde zorlu gece uçuşlarında uçmuşsa bir sonraki dönemde ona basit uçuşlar verilir. Avrupa, Avustralya ve Yeni Zelanda'da bu yöntem sıklıkla kullanılmakta ve adil ve eşit dağılım olarak bilinmektedir. Tercihli emir

çizelgesinde, çizelgenin yapılması sürecinde ekip üyeleri ne zaman izinli olmak istedikleri veya hangi çalışma arkadaşlarıyla birlikte uçmak istedikleri gibi kendi tercihlerini belirtirler. Personelin kıdemine göre çizelgesini değiştirme şansı vardır. Bu yaklaşımın amacı personel memnuniyetini arttırmaktır fakat karmaşıklığından ötürü çoğu havayolu şirketi tarafından tercih edilmemektedir (Şenöz, 2005; Thiel, 2005; Kohl ve Karish, 2004).

Kohl ve Karisch (2004), ekip atamayı grafiksel olarak Şekil 2.4'deki gibi göstermişlerdir. Ekip atama problemi için girdiler genellikle ekip bilgisini, atama için faaliyetleri, kuralları, düzenlemeleri ve atamanın yapılabilmesi için amaçları kapsar.



Şekil 2.4. Havayolu ekip atama probleminin gösterimi

Kişiselleşmiş atamalar yapıldığında her bir ekip üyesinin personel kayıtları, nitelikleri, önceki atanmış faaliyetleri ve tatil günleri belirlenir. Personel nitelikleri ekip üyelerinin donanım bilgisini içerir. Uygulamada, ekip üyeleri 2 kısımda incelenebilir. Birincisi, kokpit ekip üyeleri ikincisi, kabin ekip üyeleridir. Kokpit ve kabin ekip üyelerinin

çizelgelenmesinde kokpit üyelerinin kullanabildikleri uçak tipine göre atanması gibi bazı unsurlara dikkat edilmesi gereklidir. Benzer şekilde kabin ekibi atamasında da uluslararası uçuşlarda uçulan ülkenin yabancı dilini bilme gibi bir özellik aranıyor olabilir. Bu durumda ekip üyelerinin atanması problemi bazı farklılıklar gösterebilir (Barnhart vd., 2002). Ayrıca havayolu ekipleri iki kategoriye ayrılırlar; normal (regular) ekipler ve yedek (reserve) ekipler. Normal ekipler havayolunun ihtiyacını karşılayacak şekilde ve iş çizelgelerini maksimum örtüşmeyle optimalleyecek şekilde kullanılırlar. Normal günlük uçuşlarda uçuşlar atanmamış kalabilir. Kapsanmayan veya atama yapılmamış bu uçuşlarda yedek ekipler kullanılır (Sohoni vd., 2006). Önceki atamalarda, eğitim, ofis görevleri veya tıbbi tetkikler göz önüne alınır (Kohl ve Karisch, 2004).

Faaliyetler kümesi kaynaklar (havaalanı ve evde nöbet görevi), yer (ground) görevleri, tıbbi tetkikler ve eğitim faaliyetlerini (örneğin simülasyon eğitimi ve uçuş sertifikasyonu ile ilgili kurslar) kapsar (Kohl ve Karisch, 2004).

Kurallar ve düzenlemeler atamaların yasal olma durumlarını sağlar. Bunlardan bazıları kanunlar ve hükümete bağlı mercilere (örneğin USA'da Federal Havacılık Yönetimi, Türkiye'de Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü), bazıları havayolunun kendisine ve diğerleri şirketle işçi sendikaları arasındaki anlaşmalarına bağlıdır (Kohl ve Karisch, 2004).

Ekip atama problemlerinde karşılaşılabilecek amaçlar gerçek maliyetlerle ilgili amaçlar, çözümün güçlülüğüne bağlı amaçlar, bireysel tercihlerle ilgili amaçlar gibi bölümlendirilebilir. Gerçek maliyetlerle ilgili amaçların içine ekip üyelerine ödenen ücretler alınmaktadır. Kimi havayolu şirketleri ekip üyelerine sabit ücret öderken kimileri uçuş başına ücret ödemektedir. Ya da uçuşlarda ekip üyelerinin bir merkezden başka bir merkeze taşınmaları sırasında veya uzun süreli ve konaklamalı uçuşlarda çeşitli maliyetlerle karşılaşılabilmektedir. Ekip üyelerinin planlanması sürecinde üyelerin tercih ve isteklerini belirtmeleri doğrultusunda buna göre plan yapılması gerekebilir. Örneğin bir ekip üyesi sabah görevlerini tercih edebilir (Kohl ve Karisch, 2004).

Sonuç olarak, gerek normal personel atama problemlerinde gerekse havayolu ekip atama problemlerinde dağıtım işlemi yapılırken;

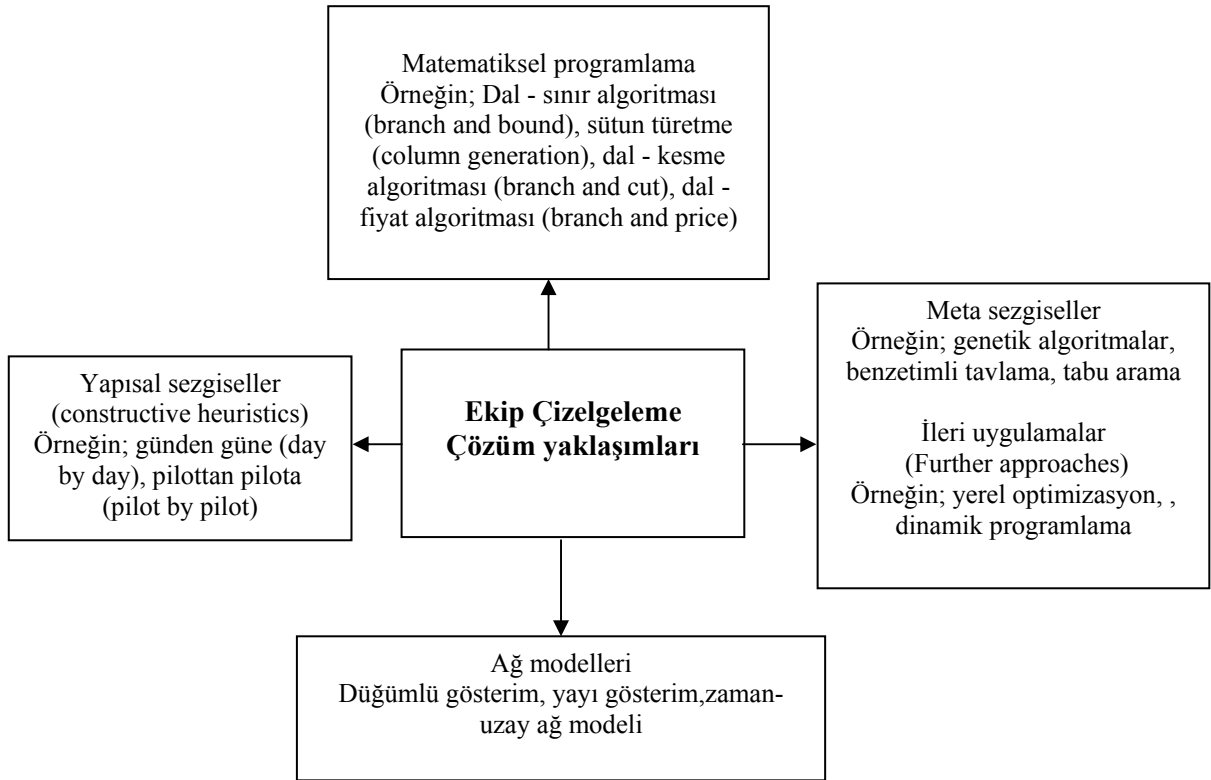
- İş kanunlarının emredici hükümleri,
- Yapılacak işin özelliği,
- Fazla mesai ücretinin maliyet yükü,
- Personelin tam zamanlı veya kısmi zamanlı çalışıyor olması,
- Tam zamanlı çalışan personelin haftada en az çalışma süresi,
- Tam zamanlı çalışan personelin haftalık çalışma sürelerinin eşit (veya eşite yakın) olması
- Personelin özel istekleri,
- İşyeri yönetiminin özel istekleri gibi unsurlar dikkate alınmaktadır (Güngör, 2005: 16).

2.4.2. Havayolu Ekip Çizelgelemede Kullanılan Çözüm Yaklaşımları

Barnhart vd. (2002), ekip çizelgeleme problemlerinin üç zorluğundan bahsetmektedirler. Birincisi, kurallar ve anlaşmalara bağlı olarak uygun görevlerin belirlenmesindeki güçlülük. İkincisi, bu tür problemlerin aşırı sayıda (kimi zaman bu sayılar milyonun üstünde olabilir) değişkene sahip olmasından ötürü çözümünde karşılaşılan güçlükler. Üçüncüsü tüm değişkenlerin tam sayı değerli olmasıdır.

Bilgisayarların performansının artmasıyla birlikte ekip planlama problemlerinin çözümü için çeşitli optimizasyon yaklaşımları denenmiştir. Örnek olarak; matematiksel programlama yöntemleri (büyük ölçekli lineer programlama ve tamsayılı programlama), yapay zeka yöntemleri (mantıksal programlama, benzetimli tavlama, yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritmalar), sezgisel yaklaşımlar ve bunların kombinasyonları verilebilir (Moudani vd., 2001).

Thiel (2005), ekip çizelgeleme probleminin ilgili yazında sıklıkla kullanılan çözüm yaklaşımlarını Şekil 2.5'deki gibi göstermiştir.



Şekil 2.5. Ekip çizelgeleme probleminin çözüm yaklaşımlarına genel bakış

2.4.2.1. Matematiksel Programlama

Ekip çizelgeleme ile ilgili araştırmaların çoğu bu problemi küme bölme ya da küme örtüleme problemi olarak ele almışlardır (Yan ve Chang, 2002; Stojkovic vd., 1998; Chu vd., 1997; Vance vd., 1997; Rubin, 1973). Bu problemlerin çözümünde kullanılan genel modeller; tamsayılı programlama, 0-1 tamsayılı programlama, karışık tamsayılı programlama ve lineer programlamadır.

Büyük matematiksel programların çözümünde kullanıldığı bilinen çözüm yaklaşımları; dal- sınır, sütun türetme, dal- kesme ile dal- fiyat algoritmasıdır.

2.4.2.1.1. Dal-Sınır Algoritması

Dal-sınır algoritması tamsayılı doğrusal programlama modellerini çözmek için geliştirilmiş bir algoritmadır (Ulucan, 2004:216). Dal-sınır algoritmasında sistematik bir şekilde optimum çözüm elde edilir. Örneğin bir minimizasyon probleminde ilk basamak amaç fonksiyonuna bir üst sınır koymaktır. Bu sınırın altında bir amaç fonksiyonu değeri

bulmak mümkün olmalıdır. İkinci basamakta çözüm setinin alt kümelerine ayrılması yapılır. Her alt küme için bir alt sınır veya minimum amaç fonksiyonu değeri tespit edilir. Çözümde kolaylık sağlamak için, bu alt sınırların mümkün çözüm olmalarına dikkat edilmez. Üst sınırdan daha büyük bir alt sınırı olan alt küme hemen elimine edilir, çünkü çözüm bu alt kümede yer almaz. Alt kümenin alt sınırlarını belirlerken birden fazla mümkün çözüm ortaya çıkabilir. Üst sınır, mümkün çözümle ilgili en küçük amaç fonksiyonu değerine göre ayarlanır. Bu ayarlama ile daha fazla alt kümeler elde edilmiş olunur. Kalan alt kümeler tekrar alt sınır tespit edilir. En küçük alt sınır üst sınıra eşit olana dek işleme devam edilir (Altaylı, 1996:309).

2.4.2.1.2. Sütun Türetme (Column generation)

Büyük ölçekli tamsayılı ve lineer programlama problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisidir. Sütun türetme yaklaşımı, gerçekte tekrarlanan bir prosedürdür. Bu prosedürün her bir adımında problemin lineer gevşetmesi küçük sayıda değişkenle çözüme gitmektedir. LP problemin dual çözümüne bağlı olarak, programdaki değişkenlere karşılık gelen yeni elverişli sütunlar sadece ve sadece mevcut çözüme anlamlı geliştirme şansı sağlayacak biçimde bu sütunlara karşılık gelen azaltılmış maliyetlerin negatif olması ile oluşur. Bu yeni sütunların oluşumu veri yapısının tüm kombinasyonlarının açıkça gösterilmesi, yeni elverişli kombinasyonların yaratılması ve hızlı bir şekilde tanımlanmasını kolaylaştırmak için zaman ve işlemci hafızası gerektirir (Papoutsis vd., 2003).

2.4.2.1.3. Dal - Kesme Algoritması

Dal-kesme algoritmaları birçok tamsayılı programlama probleminin çözümünde başarıyla uygulanan bir tekniktir ve optimalliği garanti etmektedir. Dal-kesme algoritması, dal-sınır algoritması ile kesme düzlemi yönteminin kombinasyonunu içermektedir. 1000 satır ve 1.05 milyon değişkenden oluşan ekip eşleştirme probleminin çözümünde Hoffman ve Padberg (1993) geliştirdikleri dal-kesme çözücüsü ile optimal çözüme ulaşmışlardır (Gopalakrishnan ve Johnson, 2005).

2.4.2.1.4. Dal - Fiyat Algoritması

Dal ve fiyat algoritması, LP gevşetme modelinde etkin olarak ele alınması gereken birçok sütunun çoğunun her halükarda sıfır değeri alacağı dolayısıyla çözüme dahil edilmemesi ile ilgilidir. Dual LP için bir ayırma problemi olan fiyatlandırma alt problemi temel çözüme girmesi beklenen sütunların varlığının araştırılması için yeniden optimize edilir. Eğer böyle bir sütunun varlığı söz konusu olursa LP tekrar optimize edilir tersi durumda mevcut çözüm optimaldir. Eğer LP çözümü tamsayı değilse dallandırma (branching) oluşur. Dal-fiyat algoritması, LP ile dal-sınır algoritmalarının bir kombinasyonundan oluşan bir çözüm tekniğidir. Dal ve sınırın kullanılabildiği her yerde dal ve fiyatta sütun türetme için uygulanabilir (Gopalakrishnan ve Johnson, 2005; Thiel, 2005; Barnhart vd., 1998)

2.4.2.2. Yapısal Sezgiseller (Heuristikler)

Optimuma ulaşmanın ender olduğu düşünüldüğünde, basit ama hızlı (fast) sezgisel algoritmalar uygun çözüm elde etmek açısından önemlidirler. Yapısal sezgiseller önce problemi küçük alt problemlere ayırmakta ve verilen stratejileri temel alarak çözümler üretmektedirler. Örneğin ekip atama probleminde, günden güne yöntemi çizelgenin ilk günden son güne kadar sıralı bir şekilde yapılmasında ya da pilottan pilota yöntemi, pilotların görev çizelgelerinin oluşturulmasında kademelerini göz önüne alacak şekilde uygulanabilir. Çalışmalarda ekip atama probleminde yüksek öncelikli görevlere yüksek kademeli uçuş ekip görevlilerinin atanması gibi yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir (Thiel, 2005).

2.4.2.3. Meta Sezgiseller ve İleri Uygulamalar

Sıklıkla kullanılan meta sezgiseller arasında genetik algoritmalar, benzetimli tavlama ve tabu arama sayılabilir. Ekip çizelgeleme problemi, bilinen en zor kombinatoryel problemlerden birisidir ve havayolu endüstrisi için çok önemlidir. (Guo vd., 2006; Özdemir ve Mohan, 2001). Sonlu ya da sayılabilir sonsuz sayıda alternatif çözüme sahip birçok problem, kombinatoryel en iyileme problemi olarak ifade edilebilir. Çizelgeleme ve yerleşim problemleri kombinatoryel en iyileme problemlerine verilebilecek tipik örneklerdir. Kombinatoryel optimizasyon problemlerini çözmek için mümkün algoritmalar tam (exact) ve yaklaşık (approximate) algoritmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tam

algoritmalar problemin yapısına bağı olarak NP-zor problemlerin sonlu büyüklükteki örnekleri için optimum çözümü bulabilirler. Eğer optimum çözümler pratik olarak verimli bir şekilde çözülemiyorsa yapılması gereken optimaliteyi verimlilik çerçevesinde düşünüp dönüştürebilmektedir. Yani makul bir zamanda iyi bir sonuç alma, makul olmayan ve bir hayli zaman alabilen bir sürede alınacak optimum sonuca tercih edilebilir. Bu nedenle NP-zor problemlerin çözümü için tam algoritmalar yerine yaklaşık algoritmalar olan sezgisel algoritmalar daha elverişli kabul edilmektedir. Makul bir zamanda, çözümü zor olan kombinatoriyel optimizasyon problemlerini çözebilmek için son yıllarda sezgisel yaklaşımlar yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Yiğit ve Türkbey, 2006).

Sezgisel tekniklerle NP-zor problemler çözülmeye çalışıldığında karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi keskin, anlaşılması zor yerel optimumlardan kurtulamama dolayısıyla genel optimuma ulaşamamadır. Çözülmeye çalışılan problem, aşılması zor yerel minimumlara sahipse; ne kadar farklı başlangıç çözümleriyle probleme yaklaşırsa yaklaşılsın, önerilen tekniğin yerel minimumlardan kurtulması çok zor olacaktır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için önerilen tekniği kısıtlayıcı şartların gevşetilmesi gerekmektedir. Bu da önerilecek tekniğin çözüm uzayındaki farklı bölgeleri çok iyi şekilde araştırabilmesi ve mevcut çözümü güçlü bir şekilde manüple edebilmesiyle olacaktır. Kombinatoriyel problemlerin çözümüne yönelik geliştirilen yöre aramaya dayalı algoritmalar; bir çözümden diğerine geçerken, eğer mevcut çözümün maliyeti en iyi çözümün maliyetinden anlamlı bir şekilde fazla ise anlamlı ilerlemeler gösterebilmektedirler. Bu da, kombinatoriyel problemleri çözmek için geliştirilen yerel aramaya dayalı sezgisel tekniklerin yerel minimumları rahatlıkla bulduğu, fakat genel çözüme her zaman ulaşamamalarının nedenidir. Ayrıca, sezgisel algoritmalar tasarlanırken, açıklanmaya ihtiyaç duyan ve ön bilgilere sahip olunmayan kesin çözümün bilinmediği çözüm uzayının yapısı hakkındaki şüphe ve açmazlar kaldırılmalıdır (Yiğit ve Türkbey, 2001).

Çözüm uzayının çok büyük olduğu gerçek hayat problemleri için en iyi çözümün bulunması geliştirilen özel algoritmalarla bile uzun zaman almaktadır. Bu nedenle, bu tür problemler için en iyiye yakın çözüm veren sezgisel tekniklerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Sezgisel teknikler makul zamanda iyi bir çözüme ulaşmak için problemdeki bilgiyi kullanırlar ancak, klasik eniyileme tekniklerinin aksine bu yaklaşımlar global en iyiyi bulmayı garanti etmezler. Sezgisel teknikler çözüm kurucu ve çözüm iyileştirici olmak üzere 2 ayrı sınıfta incelenirler. Çözüm kurucular çeşitli kuralları kullanarak problem için

bir çözüm elde ederken çözüm iyileştiriciler, elde edilen bir başlangıç çözümünü bitirme koşulu sağlanıncaya kadar adım adım iyileştirmeye çalışırlar. Son yıllarda geliştirilen çözüm iyileştirici sezgisel teknikler arasında yaygın kullanılanları; genetik algoritmalar, tabu arama, sinir ağları ve tavlama benzetimidir (Dengiz ve Altıparmak, 1998).

2.4.2.3.1. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar evrim teorisi esasına göre çalışarak verilen bir sorun için en iyi çözüm ya da çözümleri arayarak bulmaya yarayan bir yöntemdir (Şen, 2005). Tez çalışmasının birinci bölümünde genetik algoritmalarla ilgili ayrıntılı bilgi verildiği için bu bölümde fazla üzerinde durulmamaktadır.

2.4.2.3.2. Tabu Arama

Tabu arama yönteminin işleyişinde ilk olarak, bir başlangıç çözümü seçilir. Sonra, bu çözümün komşuları (aday çözümler) bir komşuluk yapısıyla belirlenir. Komşu çözümler bir amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. Tabu olmayan en iyi komşu ya da aspirasyon ölçütünü sağlayan komşu, sonraki arama için yeni başlangıç çözümü olarak seçilir, yani çözüm uzayında bir noktadan diğerine taşınılır. Yapılan taşma tabu listesine eklenir. Daha sonra, taşınılan çözüm şimdiye kadar bulunan en iyi çözümle karşılaştırılır; eğer bu çözüm en iyi çözümden daha iyi ise bu yeni en iyi çözüm olarak saklanır. Bu işlem bir durdurma ölçütü karşılanıncaya kadar tekrarlanır (Geyik ve Cedimoğlu; 2001).

2.4.2.3.3. Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Başka bir deyişle, yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır. Genel olarak, model seçimi ve sınıflandırması, işlev tahmini, en uygun değeri bulma ve veri sınıflandırma gibi işlerde başarılıdır (Elmas, 2003: 23-24).

2.4.2.3.4. Tavlama Benzetimi

Tavlama benzetimi, kombinatoriyel optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasılıklı bir arama yöntemidir. İsmi, katıların fiziksel tavlama süreci ile olan benzerliğinden ileri gelmektedir. Tavlama benzetimi algoritması için probleme özgü kararlar, problemin çözüm kümesinin, bir çözümden diğerine geçerken hareket mekanizmasının, en iyilenecek amaç fonksiyonunun ve bir başlangıç çözümünün belirlenmesini kapsamaktadır (Seçkiner ve Dereli, 2006).

2.4.2.4. Ağ (Network) Modelleri

Ağ temelli modellerde düğüm ve yay olmak üzere iki önemli kavram söz konusudur. Ağ içindeki her düğüm, belli bir zamanda belirli olan bir havaalanında meydana gelen bir olayı, ağda yer alan her bir yay ise farklı iki düğüm olayı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Ağ modellerinde sıkça kullanılan yay ve düğüm sınıflandırmaları ile ilgili bilgiler aşağıda kısaca anlatılmaktadır (Eryiğit, 2005).

Uçuş yayı, belirli iki veya daha fazla havaalanı arasındaki ayrılma düğümü ile varış düğümlerini birbirine bağlayan tüm olası uçuşlar olarak tanımlanmaktadır. Yerde kalma yayı, aynı havaalanında farklı zaman noktalarındaki iki düğümü birbirine bağlamaktadır. Geceleme yayı, belirli saatler arasında uçuş yapılmamasından kaynaklanan zorunlu konaklama durumu ile ilgilidir. Belirli bir havaalanında geceleme için kalan yay sayısının toplamından oluşur. Geçiş yeri yayı, herhangi bir uçuş ayağında karışıklık olması durumunda problemi çözmek için o havaalanına yolcu taşımadan aktarılan uçuş yayını ifade eder. Gecikme yayı, işletmenin uyguladığı ya da uygulayacağı gecikme stratejisinin ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Hızlandırma yayı, herhangi bir uçuş yayında varılması planlanan zamandan daha erken varılabilesini sağlamak amacıyla uçak hızının artırılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bakım yayı ise bakım periyodunda olan uçakları ifade etmektedir.

Varış düğümü, uçuş yayının sonlandığı havaalanındaki belirli bir zaman noktasını ifade etmektedir. Ayrılma düğümü, bir uçuş yayının başlangıç noktası olarak tanımlanabilir. Kaynak düğümü, belirli bir havaalanında istendiğinde kullanılabilecek uçak sayısını verir. Alıcı düğümü, günün ortasında oluşursa olay düğümü olarak alınabilir. Bir havaalanında verilen bir zamandaki uçak eksikliği anlamına gelir. Tüm operasyonlardan sonra operasyonun başladığı sabahki sayıda uçak olmalıdır.

2.5. Ekip Çizelgeleme Problemine İlişkin Uygulamalar

Havayolu ekiplerinin çizelgelenmesi ve ekiplerin uçuşlara atanması birçok havayolu şirketinin aylık olarak yaptığı önemli ve zor planlama fonksiyonlarıdır (Dawid vd., 2001). Uçuş ekibi görevlendirme ve çizelgeleme problemleri konusunda çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. 1960'lı yıllarda başlayan çalışmalar günümüzde halen devam etmektedir. Yapılan çalışmalar iki ana başlık altında toplanabilir; ekip eşleştirme ile ilgili çalışmalar ve ekip atama ile ilgili çalışmalar. Aşağıdaki bölümde son yirmi yılda ekip çizelgeleme ile ilgili yapılan çalışmalardan kısa bir şekilde bahsedilmektedir.

Lavoie vd. (1988) ile Crainic ve Rousseau (1987), ekip planlama problemini küme örtüleme problemi olarak ele alarak çözümünde sütun türetme yaklaşımını kullanmışlardır.

Gershkoff (1989), uçuş ekibi çizelgelemesini ayrıntılarıyla anlattığı çalışmasında uygulamanın yapıldığı American Airlines'ın tamsayılı lineer programlama yöntemini kullanarak yılda 18 milyon dolarlık tasarruf sağladığını belirtmiştir.

Anbil vd. (1992) ekip planlama problemini küme bölme problemi olarak ele almış ve büyük ölçekli problemlerin çözümü için sütunların üretilmesinde etkili olan SPRINT yaklaşımını geliştirmişlerdir.

İşletmelerin çoğu için personel çizelgelemesi ve atanması önemli bir problem olarak ele alınmaktadır. Ryan 1992 yılında yaptığı çalışmasında havayolu ekip çizelgeleme problemi üzerinde küme bölme modeliyle çözüm üzerinde durmuştur. Büyük değişken sayılarının olduğu problemlerin çözümü için öncelikle LP gevşetme için simpleks algoritmasından daha sonra tamsayılı çözümler için dal ve sınır tekniğinden faydalanmıştır.

Graves vd.'nin 1993 yılında yaptıkları çalışmada United Airlines'ın kullandığı sistem üzerinde durulmuştur. Bu sistem başlangıç uygun çözümlerin bulunmasında küme bölme formülasyonlarının varyasyonlarını kullanmaktadır. Başlangıç uygun çözüm bulunduktan sonra yerel optimizasyon, potansiyel iyileştirmeleri bulmada kullanılmaktadır.

Hoffman ve Padberg (1993), büyük ölçekli küme bölme problemlerini çözümünde dal ve kesme algoritmasını kullanarak maksimum 300000 eşleştirmeli problemler için optimal tamsayılı çözümler bulmuşlardır. Sonuçlarını 68 tane büyük ölçekli gerçek ekip çizelgeleme problemi için göstermişlerdir.

Chu vd. (1997) ekip eşleştirme problemini küme bölme problemi olarak formüle etmiş ve en iyi eşleştirmelerin gösterilmesinde GRAPH temelli dallanmış sezgiseli (branching heuristic) geliştirmişlerdir. Sonuçlardan elde edilen hesaplamalardan bu yöntemle ekip maliyetlerinde iyileştirme sağlanabileceğini göstermişlerdir.

Day ve Ryan (1997), yaptıkları çalışmada yerel havayolu uçuş hizmetlerine uçuş ekibi üyelerinin atanması problemini ele almışlardır. Problem tanımlanarak optimizasyon temelli bir çözüm yöntemi üzerinde durulmuştur. Atama problemi, izinlerin ayarlanması ve çeşitli uçuş görevlerinin belirlenmesini içerir. Yazarlar, Yeni Zelanda Havayolu kabin ekibi atama problemini sütun türetme ile çözmüşlerdir.

Vance vd. (1997), ekip eşleştirme problemini iki ayrı karar süreci şeklinde ele almışlardır. İlk aşamada uçuşları kapsayacak görev periyotları seçilmiş, ikinci aşamada bu görev periyotları kullanılarak eşleştirmeler yapılmıştır. Modelin çözümü için bir ayrıştırma algoritması geliştirmişler ve test problemlerinin bilgisayar çözümlerini göstermişlerdir.

Andersson vd. (1998), çalışmalarında ekip eşleştirme problemi üzerine odaklanmışlardır. Çalışmalarını iki aşamada ele almışlardır. İlk aşamada ekip eşleştirme probleminin genel çerçevesini çizmiş ve yayınlanan önceki çalışmalarda kullanılan optimizasyon yöntemlerini incelemişlerdir. İkinci aşamada birçok Avrupa havayolu şirketince uygulamada olan Carmen eşleştirme sistemini ele almışlardır. Avrupa'da ekip eşleştirme optimizasyonunda karar destek sistemi olarak Carmen sisteminin tercih edilmesindeki özel özellikleri belirlemeye çalışmışlardır.

Stojkovic vd. (1998), ekip planlama problemini küme bölme problemi olarak ele almış ve dal-sınır araştırma ağacı içine sokulmuş sütun türetme yöntemini geliştirmişlerdir. Çözüm süresi ve amaçlar açısından iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Problemin büyüklüğüne bağlı olarak çözüm süresinin nasıl değişeceğini anlamak için farklı senaryolar üretilip karşılaştırmalar yapılmıştır.

Caprara vd'nin çalışmasında (1998), ekip listeleme problemi için Lagranj alt sınır temelli model önerisinde bulunulmuştur. İtalyan demiryolu şirketinin verileri kullanılmıştır. Alt sınır hesaplamasından ele edilen bilgi problem için yaklaşık bir sonucun bulunmasında etkili bir algoritma oluşturmada kullanılmıştır.

Dillon ve Kontogiornis (1999), USAir havayolu şirketinin ekip planlamasında yedek ekip üyelerinin çizelgelenmesi optimizasyonu üzerinde durmuşlardır. Yedeklerin çizelgelenmesi için bir otomasyon sistemi yapılandırmışlardır. Böylece beklemede olan yedek ekip üyelerinin yaşam kalitesini arttırmayı hedeflemişlerdir. Çalışmada küme örtüleme modelinden faydalanılmıştır.

Gamache vd.'nin (1999) çalışmasında havayolu taşımacılığında ekip atama probleminin üzerinde durulmuştur. Bu problem ekip üyelerinin ekip eşleşmeleri, boş günleri ve diğer faaliyetleri göz önüne alınarak çizelgelenmesini kapsar. Genelleştirilmiş küme bölme yöntemi ve sütun türetme yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada Air France verileri kullanılmış ve şirkette kullanılan mevcut yöntemle karşılaştırma yapılmıştır. Toplamda % 6.2'lik iyileştirme sağlanmıştır.

Küme bölme problemi olarak ifade edilen ekip çizelgeleme probleminde küme bölme matrisi ekipler tarafından karşılanacak uygun görevleri göstermektedir. Mignozzi vd. (1999), küme bölme matrisini kullanmadan ekip çizelgeleme probleminin alt sınırlarını küme bölmenin lineer gevşetmesinin dualine sezgisel çözümleriyle hesaplamışlardır. Küme bölmede değişkenlerin azaltılmasında dual çözüm kullanılmış ve dal sınır algoritması ile çözüme gidilmiştir.

Butchers vd. (2001), çalışmalarında 1986-1999 yılları arasındaki Yeni Zelanda havayollarının çalışanları ile Aucland Üniversitesinin işbirliğinden bahsetmişlerdir. Yeni Zelanda havayollarının ulusal ve uluslararası operasyonlarının ekip çizelgeleme süreci için sekiz tane uygulamaya özel optimizasyon temelli bilgisayar sistemi geliştirilmiş ve ekip üyelerinin tercihlerini de göz önüne alacak şekilde bu sistemlerle her yıl 15.655.000 NZ\$'lık tasarruf sağlandığını belirtmişlerdir.

Dawid vd. (2001), çalışmalarında European Havayollarının gerçek verilerini kullanarak ekip atama problemini ele almışlardır. European rostering yaklaşımı 10000 değişken ve yüzlerce kısıtı içeren kompleks bir tamsayılı programlama problemi içermektedir ve çok büyük ölçeklidir. Çalışmalarında SWIFTROSTER adında yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Böylece bir çok stratejiyi birleştirerek probleme özel bilgileri kullanan büyük problemleri oldukça kısa sürede çözüme ulaştırmaktadırlar. Orta büyüklükte European havayolunun gerçek verileri kullanılarak ekip çizelgelemede etkili çözümlere ulaşılabileceği bu çalışmayla gösterilmektedir.

Ekip çizelgeleme probleminde klasik olarak küme bölme yöntemi kullanılarak genellikle maliyetlerin minimizasyonu üzerine odaklanılırken, Klabjan vd. (2001) çalışmalarında, ek olarak haftalık bir dönemde tekrarlı uçuş programlarının maksimizasyonu amacını eklemişlerdir. Yeni bir algoritma geliştirerek ekip çizelgeleme probleminin çözümünü göstermişlerdir.

Moudani vd. (2001), ekip üyelerinin memnuniyetini arttıracak ekip atama problemi üzerine iki amaçlı yeni bir matematiksel formülasyon önermişlerdir. Ana amaç ekip operasyon maliyetlerinin azalması, ikincil amaç ekip üyelerinin memnuniyetini arttırmak olarak alınmıştır. Sezgisel yaklaşımı genetik algoritmalarla birleştirerek maliyetleri düşürecek çözümler aramışlardır. Çalışma orta büyüklükte bir havayolu şirketinin ekip atama problemi üzerinde değerlendirilmiştir.

Özdemir ve Mohan (2001), havayolu ekip çizelgeleme problemini uçuş grafiği temelli (flight graph based) genetik algoritma ile çözmüşlerdir. Bunun için 28 tane farklı problem üzerinde yöntemlerinin diğer yöntemlerle karşılaştırmasını yapmışlardır. Problemlerin 17'sinde daha başarılı sonuçlara ulaşmışlardır.

Stojkovic ve Soumis (2001), çalışmalarında günlük pilot çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin çözümünde Dantzig-Wolfe ayrıştırması ile dal ve sınır algoritmasının kombinasyonu kullanılmıştır. Ana problemde uçuşların kapsama kısıtları ile uçuş önceliklerinin kısıtı karşılaştırılmaktadır. Alt problemlerde zaman kısıtlı kısa yol problemi lineer zaman maliyetiyle dinamik programlama ile çözülmektedir. Optimizasyon yaklaşımı birçok veri seti üzerinde denenmiş ve kısa sürede başarılı çözümlere ulaşıldığı belirtilmiştir.

Chang (2002), ekip çizelgelemede sadece sürecin performansını değil düzenli olmayan operasyonlardaki esnekliği de tartıştığı çalışmada genetik algoritmalarla uygulama yapmıştır. Çalışmada Tayvan'da yerel bir havayolu şirketinin verilerinden faydalanılmıştır.

Yan ve Chang'ın (2002), ekip (kokpit) çizelgelemeyle ilgili araştırmalarında bir model geliştirilmiş ve iki çizelgeleme şebekesi oluşturulmuştur. Model küme bölme problemi olarak formüle edilmiştir. Taiwan Havayollarının verileri kullanılmıştır. Problemin çözümünde sütun türetme yaklaşımı kullanılmıştır.

Kohl ve Karisch (2004), ekip atama problemini ayrıntılı olarak ele aldıkları çalışmalarıta öncelikle ekip atama probleminin yapısı ve havayollarında kullanılan matematiksel modelleri incelemiştir. Daha sonra British Airways, KLM, Iberia, Alitalia ve Scandinavian havayolu gibi şirketlerde kullanılmakta olan Carmen atama sistemini anlatmışlardır.

Sohoni vd. (2006), yedek ekip iyileştirmede yeni bir optimizasyon stratejisi geliştirmiş ve günlük operasyonel yedek ihtiyaçlarına bağlı olarak aylık yedek ekip çalışma çizelgesi geliştirmişlerdir.

Guo vd. (2006), bütünleşik ekip çizelgeleme problemini ele almışlardır. Orta büyüklükteki bir Avrupa havayolu şirketinin gerçek verilerini kullanarak ekip maliyetlerinin anlamlı bir şekilde düşürülebileceğini vurgulamışlardır.

2.5.1. Havayolu Ekip Çizelgeleme Probleminde Genetik Algoritma Uygulamaları

Tez çalışmasında ekip planlama probleminin genetik algoritma yöntemiyle çözümü üzerinde durulacağı için bu kısımda ilgili yazında genetik algoritma yöntemini kullanan bazı çalışmalar incelenmektedir. Çalışmaların büyük bir kısmında OR Library'den elektronik olarak erişim sağlanabilen veri setlerinin kullanıldığı görülmüştür.

Chu ve Beasley 1995 yılında yaptıkları çalışmalarında, ekip çizelgeleme probleminde küme bölme modelinin genetik algoritma temelli sezgiselle çözümü üzerinde durmuşlardır. Küme bölme modeli için kararlı durum (steady state) genetik algoritması geliştirerek bazı genetik algoritma operatörleri (uygunluk, ebeveyn seçimi, popülasyon gibi) üzerinde çalışmışlardır. Havayolu endüstrisinin veri setleri üzerinde algoritmalarının performansını

değerlendirmişler ve yüksek kaliteli çözümlere ulaşmada genetik algoritmaların uygulanabilirliğine değinmişlerdir.

Chu ve Beasley, 1993'te Hoffman ve Padberg'in dal ve kesme yaklaşımıyla çözümünü gösterdikleri veri seti üzerinde çalışmışlardır. 55 adet test problemi elektronik olarak OR Library'den alınmıştır. Problemler için her 10 denemedeki en iyi sonucu alacak şekilde 10 defa 10'ar deneme yapmışlardır. Bu denemelerde genetik algoritmaların en az bir uygun çözüm bulduğu ve 55 problemin 43'nde en az bir denemede optimal çözümü bulabildiklerini belirtmişlerdir.

Çalışmada ayrıca 34 problem için her denemede GA'nın optimal çözümü bulabildiği gösterilmiştir. Büyük yoğunluğa sahip problemlerde genetik algoritmaların uygun çözüm bulmada zorlandığı görülmüştür. Problemlerin CPLEX karışık tamsayılı çözümleyici ile bulunan sonuçlarında 3 problem için hafıza yetersizliğinden ötürü çözüme gidilemediği görülmüştür. GA'nın özellikle büyük ölçekli problemlerde ya da LP gevşetme ile optimal tamsayılı çözüm değerleri arasındaki aralık büyük olduğunda daha etkin olduğu söylenmiştir. Genetik algoritmaların parametrelerinde yapılacak değişikliklerin farklı sonuçlar vereceği problemlerin yapısının büyüklük itibariyle farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Problemlerde GA'nın optimal ve optimale yakın sonuçlar verdiği sonucu ortaya çıkarılmıştır. Yazarlar genetik algoritmaların kombinatoriyel optimizasyon problemlerinde uygulanabilir akıllı olasılıklı arama yöntemi olduğunu belirterek küme bölme probleminin yüksek kısıtlı bir problem oluşundan ve uygun çözümlerin sezgisel olarak yapılandırılmasının güçlüğünden bahsetmişlerdir. Genetik algoritmaların iterasyon sayısının artırılmasıyla uygun çözümlere ulaşılabileceğini belirtmişlerdir.

1996 yılında Beasley ve Chu, genetik algoritmaların küme örtüleme problemi üzerindeki performansını incelemişlerdir. Çalışmalarında 11 test problemi kümesini ve farklı büyüklüklerde toplamda 65 problemi ele almışlardır. Test problemleri daha önceki çalışmalarındaki gibi elektronik olarak OR Library'den alınmıştır. Yazarlar yaptıkları çalışmada ikili dizi kullanımında genetik operatörler uygulandığında uygun olmayan çözümlerin oluşabileceğini bunları uygun hale getirmek için ceza fonksiyonundan ya da sezgisel operatörler tasarlanabileceğini belirtmişlerdir. Kromozomların oluşturulmasında ikili olmayan gösterimin kullanılması durumunda küme örtüleme problemindeki her bir bitin bir satırı temsil edeceği görülmüştür. Beasley ve Chu yaptıkları bu çalışmada GA

temelli sezgisellerinin optimal sonucun bulunmasında büyük problemlere nazaran küçük problemlerde daha etkili olduğunu söylemişlerdir.

Levine 1996 yılındaki çalışmasında havayolu ekip çizelgeleme problemleri üzerine hibrit genetik algoritmaların geliştirilmesi ve uygulanması üzerinde durmuştur. Bunun için Hoffman ve Padberg'in kullandığı 40 problem OR libraryden alınarak yarısında optimal çözümün 9 tanesinde ise iyi çözümlerin bulunduğu belirtilmiştir. Çalışmada ikili turnuva seçimi yöntemi kullanılmıştır. Çaprazlama olarak çift noktalı çaprazlama yöntemi bir rassal sayı seçilerek çaprazlama oranından küçükse kullanılmış aksi takdirde mutasyon yapılmıştır. Çalışmada dal-sınır ve dal-kesme algoritmalarıyla karşılaştırma yapılarak bu yöntemlerin hibrit algoritmadan daha başarılı sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

Chu ve Beasley 1998 yılında yaptıkları çalışmada öncelikle GA' nın yüksek kısıtlı problemler üzerindeki etkisini görmeyi hedeflemişlerdir. Levine'nin genetik algoritmalarla dal-sınır ve dal-kesme algoritmalarını karşılaştırdığı çalışmada diğer yöntemlere göre GA'nın çok başarılı sonuçlar vermemesinden ve bazı problemler için uygun olmayan çözümler bulmasından yola çıkarak bunun genetik algoritmalarındaki ceza fonksiyonun bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. GA'nın uygun bir yaklaşımla küme bölme problemleri üzerinde etkili bir sezgisel olabileceğine inandıkları için bu çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada da Chu ve Beasley, Hoffman ve Padberg'in dal kesme algoritması ile test ettiği problemlerden faydalanmış Hoffman ve Padberg'in elde ettiği optimal çözümler üzerinden hareket etmişlerdir. 55 problem için 10'ar deneme yapılmıştır. LP gevşetme ile tamsayı çözüm arasındaki aralık büyük olduğunda GA' nın daha avantajlı olabileceğini belirtmişlerdir. Büyük problemlerde dahil olmak üzere optimal ya da optimale yakın sonuçlara ulaşılabilceğini göstermişlerdir.

Kornilakis ve Stamatopoulos (2002), ekip eşleştirme optimizasyonun genetik algoritmalarla çözümünü incelemiştir. Çalışmalarında ekip eşleştirme problemini iki aşamada ele alarak bir çözüm önermişlerdir. İlk aşamada, yasal eşleşmeler belirlenerek her bir eşleşmenin maliyeti hesaplanmakta, ikinci aşamada seçilen eşleşmeler için küme örtüleme problemi ile çözüme gidilmektedir. İkinci aşama Beasley ve Chu'nun çalışmasının uzantısı olarak düşünülmüştür. Ekip eşleştirme probleminin zorluğunun büyük ölçekli bir arama uzayına sahip olduğu ve uçuş ayaklarının artmasıyla birlikte problemin üstel olarak büyümesi olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada her bir kromozom eşleştirme sayısının uzunluğuna eşit olacak şekilde ve 0-1 kodlama kullanılarak oluşturulmuştur. Gen 0 değerini

aldığında belirtilen eşleşmenin çözümde olmadığı 1 değerini aldığı ise çözümde olduğu anlaşılmaktadır. Yazarlar genetik operatörlerden elde edilen çözüm uygun çözüm vermediğinde yeni kromozoma bir düzeltme algoritması uygulayarak uygun çözüme ulaşmaya çalışmışlardır. Çalışmada üniform çaprazlama kullanılmıştır. Yöntem Olimpik havayollarının verileri üzerinde denenmiştir. Kornilakis ve Statmatopoulos elde ettikleri sonuçları aynı verilerle daha önce yaptıkları PARACHUTE projesinden elde ettikleri sonuçlarla karşılaştırmışlardır. PARACHUTE projesinin kısıtlı programlama ile paralel işleme (processing) birleşiminden oluştuğunu belirterek GA'larla çözümün toplam maliyet açısından % 16.5 iyileştirme sağladığını ve eşleşme sayısı açısından daha iyi sonuçlara ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Kerati vd (2002), ekip planlama aşamasını ekip eşleştirme ve ekip atama kısmından oluşan bir bütün olarak ele alarak genetik algoritmalarla çözüm üzerinde durmuşlardır. Kombinatoriyel optimizasyon problemi olarak ifade edilen ekip planlama probleminin genetik algoritmalar yöntemiyle çözümünde çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin kullanılmasıyla elde edilebilecek uygun olmayan çözümleri uygun çözümler verecek hale getirmek için çoklu kromozom yapısı kullanmışlardır. Ekip atama aşamasında birincil (primary chromosome) kromozom ikili olmayan (non-binary) dizi şeklinde kullanılmıştır. Ekip eşleştirme aşamasında ikincil kromozom (secondary chromosome) ve örüntü (pattern) kromozom olmak üzere iki çeşit kromozom yapısı kullanılmıştır. İkincil kromozomda hem ikili (binary) hem ikili olmayan (non-binary) kodlama kullanılmıştır. İkili kodlama her bir eşleştirmede uçuş ayaklarının tamamlanmasını, ikili olmayan kodlama kısmı ise uçuş akyalarının başlangıç ve bitişini gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Örüntü kromozomda ikili kodlama kullanılmıştır. Örüntü kromozom ekibin kendi görevine başlayabileceği ve bitirebileceği uygun uçuş ayağı gösterilecek şekilde kodlanmıştır. Seçim yöntemi olarak rulet tekerleği yönteminin kullanıldığı çalışmada 75 ekip üyesi 275 eşleştirme ve yaklaşık 4000 saatlik uçuş süresi ele alınmıştır.

Adachi ve Kobayashi (2004), yaptıkları çalışmada uçuş ekibi atama problemini çok amaçlı bir problem olarak ifade ederek uçuş ekibi atanmasında benzetme yöntemi ile genetik algoritmaları kullanmış ve çözüm yöntemlerini tartışmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak uçuş görev süresini eşitlemek, toplam görev süresini eşitlemek ve istenilen tatil zamanlarının uygun olması alınmıştır. Genetik algoritmalarla çözümde çaprazlama yöntemi olarak çift noktalı çaprazlama kullanılmış mutasyon operatörü kullanılmamıştır. Yazarlar benzer çalışmalarda çok amaçlı çözümün kullanılabilirliğini vurgulamışlardır.

Park ve Ryu (2006), çalışmalarında ekip eşleştirme probleminin genetik algoritmalarla çözümü üzerinde durmuşlardır. Çalışmada eşleştirme optimizasyon problemi küme örtüleme problemi yerine maksimal (maximal) örtüleme problemi olarak ele alınmıştır. Genetik algoritmalarla çözümde yeni bir çaprazlama ve mutasyon operatörü kullanmışlardır. Gerçek yaşam verilerinden elde edilen sonuçlarla benzetimli tavlama ve tabu arama gibi diğer yerel arama yöntemlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak genetik algoritmaların daha iyi performans gösterdiğini ortaya çıkarmışlardır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UÇUŞ EKİP PLANLAMADA GENETİK ALGORİTMALAR YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

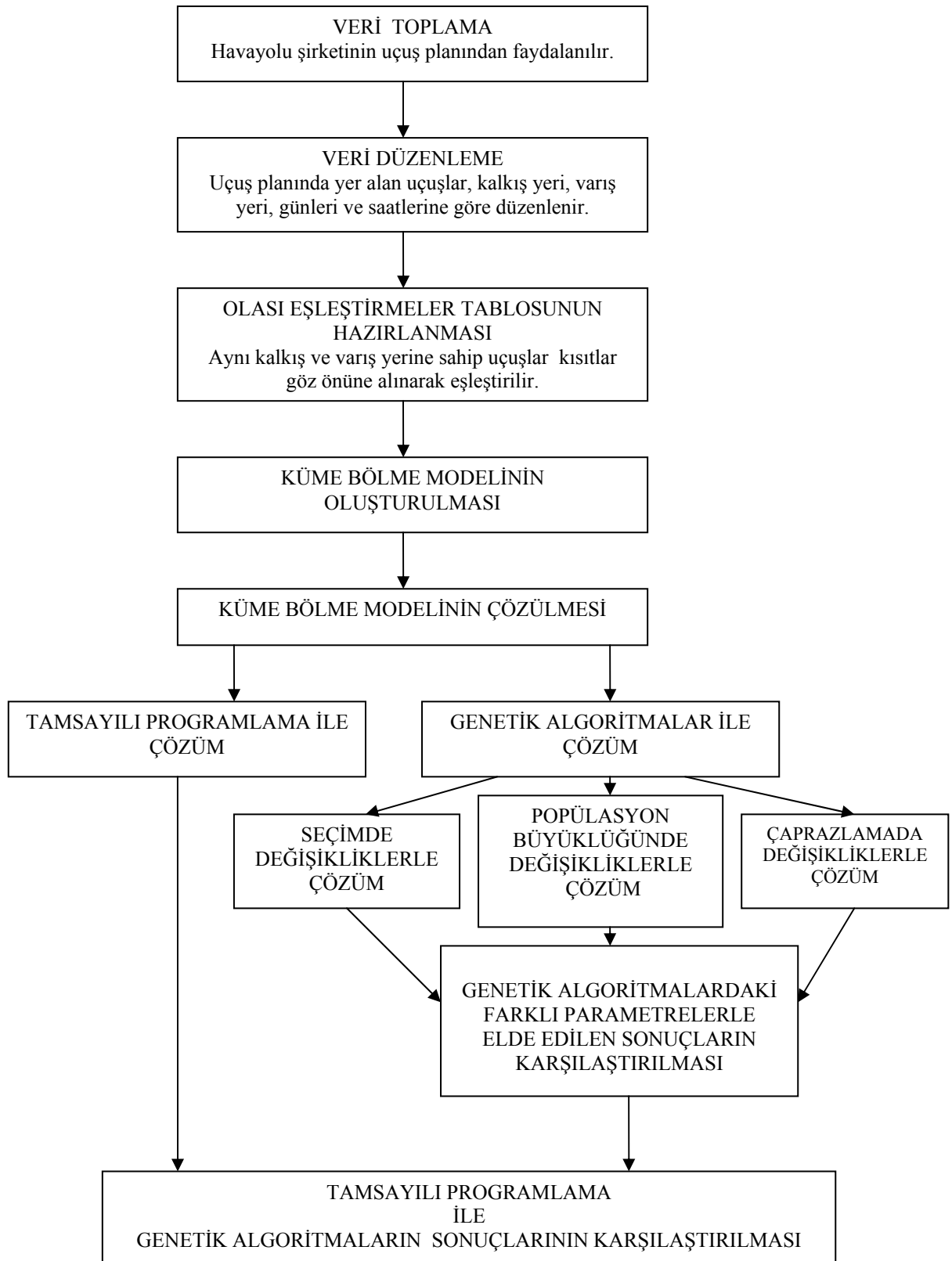
Ekip planlama (crew scheduling) problemi ilgili yazında çözümü zor kombinatoryel bir optimizasyon problemi olarak ele alınmakta ve maliyetleri açısından havayolu endüstrisinde önemli bir yer oluşturmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde ekip planlamanın iki aşamasını oluşturan ekip eşleştirme ve ekip atama problemlerinin çözümü üzerinde durulmaktadır. Çözümlerin araştırılmasında bir yöntem olarak genetik algoritmaların performansı incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla özel bir havayolu şirketinin 2007 yaz dönemi uçuş verilerinden faydalanılmıştır. Çalışmada şirketin ekip planlama uzmanı ile fikir alışverişinde bulunularak maliyetlerin azaltılmasını sağlayacak çözümler bulunmaya çalışılmıştır.

Uygulama bölümü iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda ekip eşleştirme problemi ele alınmaktadır. Literatürde ekip eşleştirme probleminin genellikle küme örtüleme ya da küme bölme problemi olarak çözüldüğü görülmektedir. Küme bölme problemi, önemli bir kombinatoryel optimizasyon problemidir ve birçok havayolu tarafından uçuş ekibi çizelgelemede matematiksel bir model olarak kullanılmaktadır. Ekip eşleştirme probleminde her bir sütun eşleştirme ve her bir satır uçuş bölümlerini ifade edecek şekilde küme bölme problemi olarak gösterilmekte ve her bir uçuşun sadece bir eşleştirme içinde kapsanması beklenmektedir (Chu vd., 1997; Chu ve Beasley, 1998). Uygulama aşamasının ilk kısmında küme bölme modeli olarak ele alınan ekip eşleştirme probleminin genetik algoritmalar ve tamsayı programlama ile çözümü gösterilmekte ve karşılaştırmaları yapılmaktadır.

Uygulamanın ikinci kısmında ekip atama problemi ele alınmaktadır. İlk kısımdaki çözümlerden elde edilen eşleşmelere ekiplerin atanmasını sağlayacak çözümler üretilmeye çalışılmaktadır.

3.1. Havayolu Ekip Eşleştirme Problemi Uygulaması

Havayolu ekip eşleştirme probleminin uygulanması sürecinde izlenen adımlar Şekil 3.1.'deki akış şemasında özetlenmekte ve ilerleyen bölümde ayrıntılarıyla açıklanmaktadır.

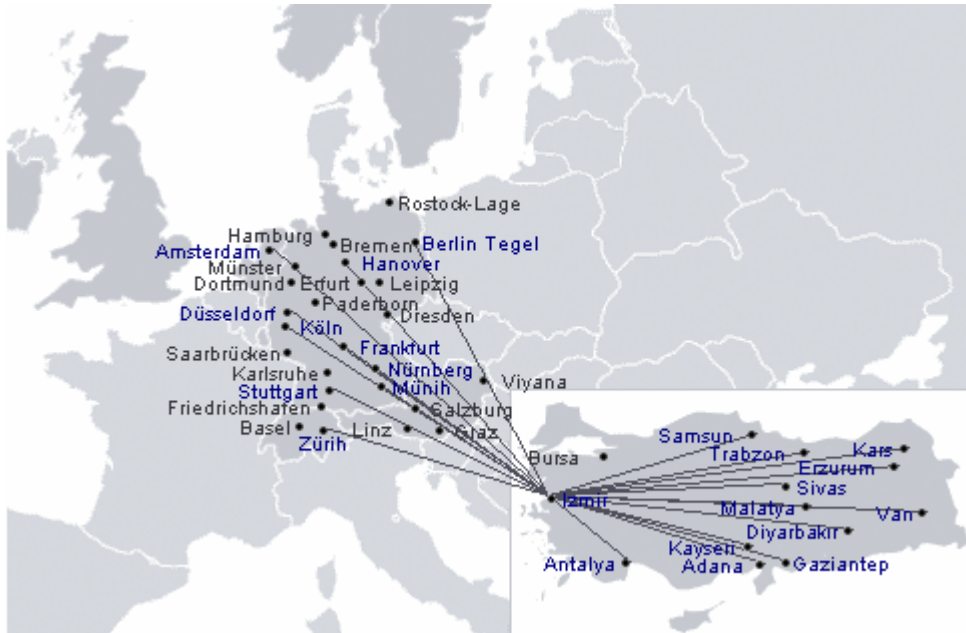


Şekil 3.1. Havayolu ekip eşleştirme probleminin uygulama aşamaları akış diyagramı

3.1.1. Veri Toplama ve Düzenleme

Ekip eşleştirme probleminin bu aşamasında özel bir havayolu şirketinin 2007 yılı yaz dönemine ait uçuş bilgilerinden faydalanılmıştır. Bunun için şirketin hazırlamış olduğu uçuş planı (Ek-1) dikkate alınmıştır. Uçuş planında uçuşların; uçuş numarası, kalkış yeri, kalkış zamanı, varış yeri, varış zamanı, uçuş ayağının uçulduğu haftanın günleri gibi bilgiler yer almaktadır. Uçuş ayağı, bir ekip elemanının hizmet ettiği hiç ara vermeden gidilen uçuştur (Park ve Ryu, 2006). Her uçuş bir veya birden fazla uçuş ayağı içerebilir. Tablo 3.1’de, Ek-1’den elde edilen bilgilerle hazırlanan uçuşların, kalkış günü, kalkış yeri, varış yeri ve saatleriyle ilgili bilgiler görülmektedir. Bu tabloda gösterilen uçuşlar bir haftalık dönemi kapsamaktadır. Yaz dönemi boyunca şirketin uçuşları tarifeli olarak sürdürülmektedir.

Ekip planının oluşturulmasında havayolu şirketinin İzmir ve Antalya merkezli yurtiçi ve yurtdışı uçuşları göz önüne alınmıştır. Havayolu şirketinin uçuş noktaları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3.’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Havayolu şirketinin İzmir merkezli uçuşları



Şekil 3.3. Havayolu şirketinin Antalya merkezli uçuşları

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. Bu uçuş çiftlerinden 89 tanesi İzmir, 44 tanesi Antalya merkezlidir.

Tablo 3.1. Uçuş bilgilerinden elde edilen uçuş çiftleri

	Kalkış günü	Kalkış yeri	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Kalkış Günü	Kalkış yeri	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati
1	1	ADB*	GZT	6:45	8:25	1	GZT	ADB	8:55	10:45
2	1	ADB	TZX	7:00	8:55	1	TZX	ADB	9:25	11:30
3	1	ADB	ERZ	7:30	9:30	1	ERZ	ADB	10:00	12:15
4	1	ADB	AYT	8:15	9:15	1	AYT	ADB	9:45	10:45
5	1	ADB	FRA	11:50	14:10	1	FRA	ADB	15:20	19:25
6	1	ADB	DIY	12:15	14:05	1	DIY	ADB	14:35	16:40
7	1	ADB	VAN	12:45	14:55	1	VAN	ADB	15:25	17:40
8	1	ADB	ASR	17:10	18:45	1	ASR	ADB	19:15	20:55
9	1	ADB	AYT	18:25	19:25	1	AYT	ADB	19:55	20:55
10	1	ADB	STR	19:00	21:10	1	STR	ADB	22:00	2:00
11	1	ADB	ADA	20:10	21:35	1	ADA	ADB	22:10	23:45
12	1	ADB	CGN	21:40	0:10	2	CGN	ADB	1:10	5:20
13	1	ADB	HAJ	21:40	0:10	2	HAJ	ADB	1:20	5:30
14	2	ADB	TZX	7:00	8:55	2	TZX	ADB	9:25	11:30
15	2	ADB	ERZ	7:30	9:30	2	ERZ	ADB	10:00	12:15
16	2	ADB	MLX	7:50	9:30	2	MLX	ADB	10:00	11:45
17	2	ADB	AYT	8:15	9:15	2	AYT	ADB	9:45	10:45
18	2	ADB	FRA	11:50	14:10	2	FRA	ADB	15:20	19:25
19	2	ADB	DIY	12:15	14:05	2	DIY	ADB	14:35	16:40
20	2	ADB	DUS	12:30	15:00	2	DUS	ADB	16:00	20:15
21	2	ADB	VAN	12:45	14:55	2	VAN	ADB	15:25	17:40
22	2	ADB	STN	15:30	17:25	3	STN	ADB	18:20	0:05
23	2	ADB	AYT	18:25	19:25	2	AYT	ADB	19:55	20:55
24	2	ADB	BSL	19:00	21:15	3	BSL	ADB	22:15	2:10
25	2	ADB	ADA	20:10	21:35	2	ADA	ADB	22:10	23:45

Tablo 3.1'in devamı (Uçuş bilgilerinden elde edilen uçuş çiftleri)

	Kalkış günü	Kalkış yeri	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Kalkış Günü	Kalkış yeri	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati
26	2	ADB	SXF	21:10	23:20	3	SXF	ADB	0:20	4:10
27	2	ADB	CGN	21:40	0:10	3	CGN	ADB	1:10	5:20
28	3	ADB	GZT	6:45	8:25	3	GZT	ADB	8:55	10:45
29	3	ADB	ADA	7:00	8:25	3	ADA	ADB	8:55	10:30
30	3	ADB	ZRH	7:15	9:25	3	ZRH	ADB	10:20	14:15
31	3	ADB	VAN	7:30	9:40	3	VAN	ADB	15:25	17:40
32	3	ADB	FRA	11:50	14:10	3	FRA	ADB	15:20	19:25
33	3	ADB	DIY	12:15	14:05	3	DIY	ADB	14:35	16:40
34	3	ADB	TZX	15:10	17:05	3	TZX	ADB	17:35	19:40
35	3	ADB	STR	19:00	21:10	3	STR	ADB	22:00	2:00
36	3	ADB	ADA	20:10	21:35	4	ADA	ADB	22:10	23:45
37	3	ADB	CGN	21:40	0:10	3	CGN	ADB	1:10	5:20
38	3	ADB	HAJ	21:40	0:10	4	HAJ	ADB	1:20	5:30
39	3	ADB	AYT	18:25	19:25	4	AYT	ADB	19:55	20:55
40	4	ADB	GZT	6:45	8:25	4	GZT	ADB	8:55	10:45
41	4	ADB	VAN	6:45	8:55	4	VAN	ADB	14:25	16:40
42	4	ADB	ADA	7:00	8:25	4	ADA	ADB	11:55	13:30
43	4	ADB	AYT	8:15	9:15	4	AYT	ADB	9:45	10:45
44	4	ADB	FRA	11:50	14:10	4	FRA	ADB	15:20	19:25
45	4	ADB	VAS	14:00	15:40	4	VAS	ADB	16:10	17:55
46	4	ADB	ASR	17:10	18:45	4	ASR	ADB	19:15	20:55
47	4	ADB	AYT	18:25	19:25	4	AYT	ADB	19:55	20:55
48	4	ADB	AMS	18:40	21:20	5	AMS	ADB	22:10	2:45
49	4	ADB	DIY	20:10	22:00	5	DIY	ADB	22:30	0:35
50	4	ADB	CGN	21:40	0:10	5	CGN	ADB	1:10	5:20
51	4	ADB	NUE	21:40	23:40	5	NUE	ADB	0:30	4:10
52	5	ADB	GZT	6:45	8:25	5	GZT	ADB	8:55	10:45
53	5	ADB	ADA	7:00	8:25	5	ADA	ADB	8:55	10:30
54	5	ADB	TZX	7:00	8:55	5	TZX	ADB	9:25	11:30
55	5	ADB	ERZ	7:30	9:30	5	ERZ	ADB	10:00	12:15
56	5	ADB	FRA	11:50	14:10	5	FRA	ADB	15:20	19:25
57	5	ADB	DUS	12:30	15:00	5	DUS	ADB	16:00	20:15
58	5	ADB	VAN	12:45	14:55	5	VAN	ADB	15:25	17:40
59	5	ADB	AYT	18:25	19:25	5	AYT	ADB	19:55	20:55
60	5	ADB	STR	19:00	21:10	6	STR	ADB	22:00	2:00
61	5	ADB	ADA	20:10	21:35	5	ADA	ADB	22:10	23:45
62	5	ADB	CGN	21:40	0:10	6	CGN	ADB	1:10	5:20
63	5	ADB	HAJ	21:40	0:10	6	HAJ	ADB	1:20	5:30
64	6	ADB	ZRH	7:15	9:25	6	ZRH	ADB	10:20	14:15
65	6	ADB	ERZ	7:30	9:30	6	ERZ	ADB	10:00	12:15
66	6	ADB	MLX	7:50	9:30	6	MLX	ADB	10:00	11:45
67	6	ADB	AYT	8:15	9:15	6	AYT	ADB	9:45	10:45
68	6	ADB	FRA	11:50	14:10	6	FRA	ADB	15:20	19:25
69	6	ADB	DIY	12:15	14:05	6	DIY	ADB	14:35	16:40
70	6	ADB	VAN	12:45	14:55	6	VAN	ADB	15:25	17:40
71	6	ADB	TZX	15:10	17:05	6	TZX	ADB	17:35	19:40
72	6	ADB	STN	15:30	17:25	7	STN	ADB	18:20	0:05
73	6	ADB	AYT	18:25	19:25	6	AYT	ADB	19:55	20:55
74	6	ADB	BSL	19:00	21:15	7	BSL	ADB	22:15	2:10
75	6	ADB	ADA	20:10	21:35	6	ADA	ADB	22:10	23:45
76	6	ADB	SXF	21:10	23:20	7	SXF	ADB	0:20	4:10
77	7	ADB	GZT	6:45	8:25	7	GZT	ADB	8:55	10:45
78	7	ADB	ADA	7:00	8:25	7	ADA	ADB	11:55	13:30
79	7	ADB	TZX	7:00	8:55	7	TZX	ADB	9:25	11:30

Tablo 3.1'in devamı (Uçuş bilgilerinden elde edilen uçuş çiftleri)

	Kalkış günü	Kalkış yeri	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Kalkış Günü	Kalkış yeri	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati
80	7	ADB	AYT	8:15	9:15	7	AYT	ADB	9:45	10:45
81	7	ADB	FRA	11:50	14:10	7	FRA	ADB	15:20	19:25
82	7	ADB	DIY	12:15	14:05	7	DIY	ADB	14:35	16:40
83	7	ADB	VAS	14:00	15:40	7	VAS	ADB	16:10	17:55
84	7	ADB	ASR	17:10	18:45	7	ASR	ADB	19:15	20:55
85	7	ADB	AYT	18:25	19:25	7	AYT	ADB	19:55	20:55
86	7	ADB	AMS	18:40	21:20	8	AMS	ADB	22:10	2:45
87	7	ADB	ERZ	20:15	22:15	8	ERZ	ADB	22:45	1:00
88	7	ADB	NUE	21:40	23:40	8	NUE	ADB	0:30	4:10
89	7	ADB	CGN	21:40	0:10	8	CGN	ADB	1:10	5:20
90	1	AYT	VAN	7:00	8:55	1	VAN	AYT	9:25	11:30
91	1	AYT	STN	7:05	9:25	1	STN	AYT	10:25	16:25
92	1	AYT	DIY	12:00	13:25	1	DIY	AYT	14:05	15:50
93	1	AYT	FRA	15:15	18:05	1	FRA	AYT	19:05	22:20
94	2	AYT	LUX	5:30	8:20	2	LUX	AYT	9:10	13:45
95	2	AYT	BSL	6:05	8:40	2	BSL	AYT	9:40	13:50
96	2	AYT	BSL	6:15	9:00	2	BSL	AYT	10:10	14:25
97	2	AYT	TXL	6:25	8:50	2	TXL	AYT	9:50	14:00
98	2	AYT	HAJ	6:50	9:30	2	HAJ	AYT	10:30	14:55
99	2	AYT	ERZ	7:00	8:45	2	ERZ	AYT	9:15	11:05
100	2	AYT	FDH	12:10	14:30	2	FDH	AYT	15:30	19:30
101	2	AYT	MUC	14:55	17:20	2	MUC	AYT	18:25	22:25
102	2	AYT	FRA	15:15	18:05	2	FRA	AYT	19:05	22:20
103	2	AYT	VIE	16:15	18:05	2	VIE	AYT	19:05	22:40
104	3	AYT	FRA	15:15	18:05	3	FRA	AYT	19:05	22:20
105	3	AYT	ZRH	15:15	17:50	3	ZRH	AYT	18:50	23:05
106	4	AYT	STN	7:05	9:25	4	STN	AYT	10:25	16:25
107	4	AYT	MUC	14:55	17:20	4	MUC	AYT	18:25	22:25
108	4	AYT	FRA	15:15	18:05	4	FRA	AYT	19:05	22:20
109	5	AYT	FKB	6:00	8:45	5	FKB	AYT	9:45	13:55
110	5	AYT	DTM	6:10	9:05	5	DTM	AYT	10:05	14:30
111	5	AYT	HAM	6:10	9:00	5	HAM	AYT	10:00	14:25
112	5	AYT	BSL	6:15	9:00	5	BSL	AYT	10:10	14:25
113	5	AYT	TZX	7:25	9:05	5	TZX	AYT	9:35	11:25
114	5	AYT	SZG	7:35	9:35	5	SZG	AYT	10:25	14:10
115	5	AYT	DIY	12:00	13:25	5	DIY	AYT	14:05	15:50
116	5	AYT	MUC	14:55	17:20	5	MUC	AYT	18:25	22:25
117	5	AYT	FRA	15:15	18:05	5	FRA	AYT	19:05	22:20
118	5	AYT	ZRH	15:15	17:50	5	ZRH	AYT	18:50	23:05
119	5	AYT	DUS	15:30	18:20	5	DUS	AYT	19:20	23:55
120	5	AYT	VIE	16:15	18:05	5	VIE	AYT	19:05	22:40
121	6	AYT	ERZ	7:00	8:45	6	ERZ	AYT	9:15	11:05
122	6	AYT	FRA	15:15	18:05	6	FRA	AYT	19:05	22:20
123	6	AYT	ZRH	15:15	17:50	6	ZRH	AYT	18:50	23:05
124	7	AYT	BSL	6:15	9:00	7	BSL	AYT	10:10	14:25
125	7	AYT	LEJ	7:00	9:25	7	LEJ	AYT	10:15	14:25
126	7	AYT	TZX	7:25	9:05	7	TZX	AYT	9:35	11:25
127	7	AYT	DIY	12:00	13:25	7	DIY	AYT	14:05	15:50
128	7	AYT	MUC	14:55	17:20	7	MUC	AYT	18:25	22:25
129	7	AYT	FRA	15:15	18:05	7	FRA	AYT	19:05	22:20
130	7	AYT	ZRH	15:15	17:50	7	ZRH	AYT	18:50	23:05
131	7	AYT	CGN	15:55	18:45	8	CGN	AYT	19:45	0:10
132	7	AYT	BRE	16:10	19:00	8	BRE	AYT	20:00	0:25
133	7	AYT	VIE	16:15	18:05	7	VIE	AYT	19:05	22:40

(*ADA: Adana, ADB: İzmir, AMS: Amsterdam, ASR: Kayseri, AYT: Antalya, BSL: Basel Mulhaouse, BRE: Bremen, CGN: Cologne/Bonn, DIY: Diyarbakır, DTM: Dortmund, DUS: Dusseldorf, ERZ: Erzurum, FDH: Friedrichshafen, FKB: Karlsruhe, FRA: Frankfurt, GZT: Gaziantep, HAJ: Hannover, LEJ: Leipzig/Halle, LUX: Luxembourg, MLX: Malatya, MUC: Munich, NUE: Nuernberg, STN: Londra Stansed, STR: Stuttgart, SXF: Berlin Schönefeld, SZG: Salzburg, TXL: Berlin Tegel, TZX: Trabzon, VAS: Sivas, VAN: Van, VIE: Vienna, ZRH: Zurich.)

3.1.2. Olası Eşleştirmeler Tablosunun Hazırlanması

Veriler düzenlendikten sonraki aşama küme bölme modelinin girdisini oluşturacak olası eşleştirmelerin hesaplanmasıdır.

Eşleştirme probleminde temel sorun ve düşünülmesi gerekli ana kısıtlar; pilot, kabin görevlileri ve diğer ekip üyeleri ile ilişkili olan uluslararası ve yerel yasal düzenlemeler, havayolu şirketinin kendi iç düzenlemeleri gibi hususlardır. Bu yasal düzenlemeler, her bir pilotun veya ekip üyelerinin bir görev periyodunun uzunluğunun ne kadar olacağını, dinlenme aralıklarının ve süresinin minimum ne kadar olacağını belirler. Eşleştirme aynı ekip üssünde başlayan ve biten bir ekip üyesi için uçuş ayakları dizisini ifade eder (Ulucan ve Eryiğit, 2004).

Problemde İzmir ve Antalya merkezli uçuşlar baz olarak alındığı için ilk kalkış yerinin ve son varış yerinin aynı şehir olmasına dikkat edilmelidir. Eşleştirme yapılırken ikinci uçuşun kalkış saatinin ilk uçuş varış saatinden sonra olması gerektiği gözden kaçırılmamalıdır. Şirketin ekip planlama uzmanları iki uçuş arasında en az 30 dakikalık bir sürenin olmasının önemli olduğu belirtmişlerdir. Ayrıca sivil havacılık genel müdürlüğü tarafından hazırlanan Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'nda belirtilen azami uçuş görev süresi sınırlamalarına da dikkat edilmesi gerekmektedir.

Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'nda Uçuş Süresi ile Uçuş Görev Süresi tanımlamaları aşağıdaki şekilde yapılmıştır (SHT-6A.50 Rev. 04);

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.

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.

Oluşturulan her bir uçuş görevi, uçuşun programlandığı zamandan bir saat önce ve bir uçuş veya seri uçuşun sona ermesi ile motor kapatma zamanından 30 dakika sonra son bulur. Uçuş görev süresinin uzunluğu, görev başlangıcının gündüz veya gece olmasına göre değişmektedir (İnan, 1991). UGS hesaplanırken, ilk uçuş bacağından 1 saat önce mesaiye başlama süresi, iki şehir arası uçuş süresi, bir şehre varış ve şehirden ayrılış arası yerde geçen zaman ve iş periyoduna son uçuş bacağından sonra 30 dakika mesai kapama süresi eklenir.

Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'na göre Uçuş görev süresi sınırlamalarını gösteren tablo aşağıda verilmiştir. Aşağıdaki tablo periyotlara göre azami uçuş görev süresinin üst sınırlarını göstermektedir. Saatler kalkış meydanının mahalli kış saatidir. Yaz saati uygulaması ile beraber “mahalli kış saati = mahalli yaz saati - 1 saat” formülü kullanılarak gerekli ayarlamalar yapılmaktadır.

Tablo 3.2. Azami uçuş görev süreleri

GÖREV BAŞLANGIÇ SAATİ (Mahalli kış saati)	1-4 İNİŞ	5 İNİŞ
05.00 – 14.00	14 SAAT	13 SAAT
14.01 – 17.00	13 SAAT	12 SAAT
17.01 – 04.59	12 SAAT	11 SAAT

Tüm bu kısıtlar altında, olası eşleştirmeler tablosunu oluştururken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Eşleştirme aynı hava üssünde başlayıp bitmelidir.
2. İki uçuş ayağı arasındaki bekleme süresi en az 30 dakika olmalıdır.
3. Görev başlangıç saati yaz dönemi için 06.00-15:00 arasındaysa 4 inişe kadar 14 saat, 5 iniş için 13 saatlik azami uçuş görev süresi vardır.
4. Görev başlangıç saati yaz dönemi için 15:01-18:00 arasındaysa 4 inişe kadar 13 saat, 5 iniş için 12 saatlik azami uçuş görev süresi vardır.
5. Görev başlangıç saati yaz dönemi için 18:01-05:59 arasındaysa 4 inişe kadar 12 saat, 5 iniş için 11 saatlik azami uçuş görev süresi vardır.

Bu kısıtlar dikkate alınarak mevcut uçuşlara ait olası tüm eşleştirmeler Visual Basic'le programlama yapılarak bulunmuş sonuçları Excel'e yazdırılmıştır. 220 adet olası eşleştirme hesaplanmış ve bu olasılıklar düzenlenerek Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Bundan sonraki aşama bu tablodan faydalanılarak küme bölme modelinin oluşturulmasıdır.

Tablo 3.3. Olası eşleşmeler tablosu

Eşleşme no	Gün	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Bekleme süresi	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
1	1	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	1										3:30	5:30
2	1	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	1	1:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	6	7:25	11:25
3	1	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	1	2:00	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	7	7:55	12:25
4	1	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	2										4:00	6:00
5	1	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	2	0:45	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	6	7:55	11:10
6	1	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	2	1:15	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	7	8:25	12:10
7	1	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	3										4:15	6:15
8	1	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	3	0:30	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	7	8:40	11:40
9	1	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	4										2:00	4:00
10	1	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	4	1:05	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	5	8:25	12:40
11	1	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	4	1:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	6	5:55	9:55
12	1	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	4	2:00	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	7	6:25	10:55
13	1	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	5										6:25	9:05
14	1	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	5	0:45	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	11	9:25	13:25
15	1	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	6										3:55	5:55
16	1	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	6	0:30	ADB	17:10	18:45	ASR	19:15	20:55	ADB	8	7:10	10:10
17	1	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	6	1:45	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	9	5:55	10:10
18	1	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	6	3:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	11	6:55	13:00
19	1	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	7										4:25	6:25
20	1	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	7	0:45	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	9	6:25	9:40
21	1	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	7	2:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	11	7:25	12:30
22	1	ADB	17:10	18:45	ASR	19:15	20:55	ADB	8										3:15	5:15
23	1	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	9										2:00	4:00
24	1	ADB	19:00	21:10	STR	22:00	2:00	ADB	10										6:10	8:30
25	1	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	11										3:00	5:05
26	1	ADB	21:40	0:10	CGN	1:10	5:20	ADB	12										6:40	9:10
27	1	ADB	21:40	0:10	HAJ	1:20	5:30	ADB	13										6:40	9:20
28	2	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	14										4:00	6:00

Tablo 3.3'ün devamı (Olası eşleşmeler tablosu)

Eşleşme no	Gün	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Bekleme süresi	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
29	2	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	14	0:45	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	19	7:55	11:10
30	2	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	14	1:15	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	21	8:25	12:10
31	2	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	15										4:15	6:15
32	2	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	15	0:30	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	21	8:40	11:40
33	2	ADB	7:50	9:30	MLX	10:00	11:45	ADB	16										3:25	5:25
34	2	ADB	7:50	9:30	MLX	10:00	11:45	ADB	16	0:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	19	7:20	10:20
35	2	ADB	7:50	9:30	MLX	10:00	11:45	ADB	16	0:45	ADB	12:30	15:00	DUS	16:00	20:15	ADB	20	10:10	13:55
36	2	ADB	7:50	9:30	MLX	10:00	11:45	ADB	16	1:00	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	21	7:50	11:20
37	2	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	17										2:00	4:00
38	2	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	17	1:05	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	18	8:25	12:40
39	2	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	17	1:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	19	5:55	9:55
40	2	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	17	1:45	ADB	12:30	15:00	DUS	16:00	20:15	ADB	20	8:45	13:30
41	2	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	17	2:00	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	21	6:25	10:55
42	2	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	18										6:25	9:05
43	2	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	18	0:45	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	25	9:25	13:25
44	2	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	19										3:55	5:55
45	2	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	19	1:45	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	23	5:55	10:10
46	2	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	19	3:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	25	6:55	13:00
47	2	ADB	12:30	15:00	DUS	16:00	20:15	ADB	20										6:45	9:15
48	2	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	21										4:25	6:25
49	2	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	21	0:45	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	23	6:25	9:40
50	2	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	21	2:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	25	7:25	12:30
51	2	ADB	15:30	17:25	STN	18:20	0:05	ADB	22										7:40	10:05
52	2	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	23										2:00	4:00
53	2	ADB	19:00	21:15	BSL	22:15	2:10	ADB	24										6:10	8:40
54	2	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	25										3:00	5:05
55	2	ADB	21:10	23:20	SXF	0:20	4:10	ADB	26										6:00	8:30

Tablo 3.3'ün devamı (Olası eşleşmeler tablosu)

Eşleşme no	Gün	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Bekleme süresi	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
56	2	ADB	21:40	0:10	CGN	1:10	5:20	ADB	27										6:40	9:10
57	3	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	28										3:30	5:30
58	3	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	28	1:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	33	7:25	11:25
59	3	ADB	7:00	8:25	ADA	8:55	10:30	ADB	29										3:00	5:00
60	3	ADB	7:00	8:25	ADA	8:55	10:30	ADB	29	1:20	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	32	9:25	13:55
61	3	ADB	7:00	8:25	ADA	8:55	10:30	ADB	29	1:45	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	33	6:55	11:10
62	3	ADB	7:15	9:25	ZRH	10:20	14:15	ADB	30										6:05	8:30
63	3	ADB	7:15	9:25	ZRH	10:20	14:15	ADB	30	0:55	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	34	10:05	13:55
64	3	ADB	7:30	9:40	VAN	15:25	17:40	ADB	31										4:25	11:40
65	3	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	32										6:25	9:05
66	3	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	32	0:45	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	37	9:25	13:25
67	3	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	33										3:55	5:55
68	3	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	33	1:45	ADB	18:25		AYT		20:55		35	5:55	10:10
69	3	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	33	3:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	37	6:55	13:00
70	3	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	34										4:00	6:00
71	3	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	34	0:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	37	7:00	10:05
72	3	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	35										2:00	4:00
73	3	ADB	19:00	21:10	STR	22:00	2:00	ADB	36										6:10	8:30
74	3	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	37										3:00	5:05
75	3	ADB	21:40	0:10	CGN	1:10	5:20	ADB	38										6:40	9:10
76	3	ADB	21:40	0:10	HAI	1:20	5:30	ADB	39										6:40	9:20
77	4	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	40										3:30	5:30
78	4	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	40	3:15	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	45	6:55	12:40
79	4	ADB	6:45	8:55	VAN	14:25	16:40	ADB	41										4:25	11:25
80	4	ADB	7:00	8:25	ADA	11:55	13:30	ADB	42										3:00	8:00
81	4	ADB	7:00	8:25	ADA	11:55	13:30	ADB	42	0:30	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	45	6:25	12:25
82	4	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	43										2:00	4:00
83	4	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	43	1:05	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	44	8:25	12:40

Tablo 3.3'ün devamı (Olası eşleşmeler tablosu)

Eşleşme no	Gün	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Bekleme süresi	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
84	4	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	43	3:15	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	45	5:25	11:10
85	4	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	44										6:25	9:05
86	4	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	45										3:25	5:25
87	4	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	45	0:30	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	47	5:25	8:25
88	4	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	45	2:15	ADB	20:10	22:00	DIY	22:30	0:35	ADB	49	7:20	12:05
89	4	ADB	17:10	18:45	ASR	19:15	20:55	ADB	46										3:15	5:15
90	4	ADB	17:10	18:45	ASR	19:15	20:55	ADB	46	0:45	ADB	21:40	23:40	NUE	0:30	4:10	ADB	51	8:55	12:30
91	4	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	47										2:00	4:00
92	4	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	47	0:45	ADB	21:40	23:40	NUE	0:30	4:10	ADB	51	7:40	11:15
93	4	ADB	18:40	21:20	AMS	22:10	2:45	ADB	48										7:15	9:35
94	4	ADB	20:10	22:00	DIY	22:30	0:35	ADB	49										3:55	5:55
95	4	ADB	21:40	0:10	CGN	1:10	5:20	ADB	50										6:40	9:10
96	4	ADB	21:40	23:40	NUE	0:30	4:10	ADB	51										5:40	8:00
97	5	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	52										3:30	5:30
98	5	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	52	2:00	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	58	7:55	12:25
99	5	ADB	7:00	8:25	ADA	8:55	10:30	ADB	53										3:00	5:00
100	5	ADB	7:00	8:25	ADA	8:55	10:30	ADB	53	1:20	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	56	9:25	13:55
101	5	ADB	7:00	8:25	ADA	8:55	10:30	ADB	53	2:15	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	58	7:25	12:10
102	5	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	54										4:00	6:00
103	5	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	54	1:15	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	58	8:25	12:10
104	5	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	55										4:15	6:15
105	5	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	55	0:30	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	58	8:40	11:40
106	5	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	56										6:25	9:05
107	5	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	56	0:45	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	61	9:25	13:25
108	5	ADB	12:30	15:00	DUS	16:00	20:15	ADB	57										6:45	9:15
109	5	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	58										4:25	6:25
110	5	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	58	0:45	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	59	6:25	9:40
111	5	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	58	2:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	61	7:25	12:30

Tablo 3.3'ün devamı (Olası eşleşmeler tablosu)

Eşleşme no	Gün	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Bekleme süresi	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
112	5	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	59										2:00	4:00
113	5	ADB	19:00	21:10	STR	22:00	2:00	ADB	60										6:10	8:30
114	5	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	61										3:00	5:05
115	5	ADB	21:40	0:10	CGN	1:10	5:20	ADB	62										6:40	9:10
116	5	ADB	21:40	0:10	HAI	1:20	5:30	ADB	63										6:40	9:20
117	6	ADB	7:15	9:25	ZRH	10:20	14:15	ADB	64										6:05	8:30
118	6	ADB	7:15	9:25	ZRH	10:20	14:15	ADB	64	0:55	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	71	10:05	13:55
119	6	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	65										4:15	6:15
120	6	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	65	0:30	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	70	8:40	11:40
121	6	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB	65	2:55	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	71	8:15	13:40
122	6	ADB	7:50	9:30	MLX	10:00	11:45	ADB	66										3:25	5:25
123	6	ADB	7:50	9:30	MLX	10:00	11:45	ADB	66	0:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	69	7:20	10:20
124	6	ADB	7:50	9:30	MLX	10:00	11:45	ADB	66	1:00	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	70	7:50	11:20
125	6	ADB	7:50	9:30	MLX	10:00	11:45	ADB	66	3:25	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	71	7:25	13:20
126	6	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	67										2:00	4:00
127	6	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	67	1:05	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	68	8:25	12:40
128	6	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	67	1:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	69	5:55	9:55
129	6	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	67	2:00	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	70	6:25	10:55
130	6	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	67	4:25	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	71	6:00	12:55
131	6	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	68										6:25	9:05
132	6	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	68	0:45	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	75	9:25	13:25
133	6	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	69										3:55	5:55
134	6	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	69	1:45	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	73	5:55	10:10
135	6	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	69	3:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	75	6:55	13:00
136	6	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	70										4:25	6:25
137	6	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	70	0:45	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	73	6:25	9:40
138	6	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB	70	2:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	75	7:25	12:30
139	6	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	71										4:00	6:00

Tablo 3.3'ün devamı (Olası eşleşmeler tablosu)

Eşleşme no	Gün	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Bekleme süresi	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
140	6	ADB	15:10	17:05	TZX	17:35	19:40	ADB	71	0:30	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	75	7:00	10:05
141	6	ADB	15:30	17:25	STN	18:20	0:05	ADB	72										7:40	10:05
142	6	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	73										2:00	4:00
143	6	ADB	19:00	21:15	BSL	22:15	2:10	ADB	74										6:10	8:40
144	6	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB	75										3:00	5:05
145	6	ADB	21:10	23:20	SXF	0:20	4:10	ADB	76										6:00	8:30
146	7	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	77										3:30	5:30
147	7	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	77	1:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	82	7:25	11:25
148	7	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB	77	3:15	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	83	6:55	12:40
149	7	ADB	7:00	8:25	ADA	11:55	13:30	ADB	78										3:00	8:00
150	7	ADB	7:00	8:25	ADA	11:55	13:30	ADB	78	0:30	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	83	6:25	12:25
151	7	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	79										4:00	6:00
152	7	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	79	0:45	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	82	7:55	11:10
153	7	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB	79	2:30	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	83	7:25	12:25
154	7	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	80										2:00	4:00
155	7	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	80	1:05	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	81	8:25	12:40
156	7	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	80	1:30	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	82	5:55	9:55
157	7	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB	80	3:15	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	83	5:25	11:10
158	7	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB	81										6:25	9:05
159	7	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	82										3:55	5:55
160	7	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	82	0:30	ADB	17:10	18:45	ASR	19:15	20:55	ADB	84	7:10	10:10
161	7	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB	82	1:45	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	85	5:55	10:10
162	7	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	83										3:25	5:25
163	7	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	83	0:30	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	85	5:25	8:25
164	7	ADB	14:00	15:40	VAS	16:10	17:55	ADB	83	2:20	ADB	20:15	22:15	ERZ	22:45	1:00	ADB	87	7:40	12:30
165	7	ADB	17:10	18:45	ASR	19:15	20:55	ADB	84										3:15	5:15
166	7	ADB	17:10	18:45	ASR	19:15	20:55	ADB	84	0:45	ADB	21:40	23:40	NUE	0:30	4:10	ADB	88	8:55	12:30
167	7	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	85										2:00	4:00

Tablo 3.3'ün devamı (Olası eşleşmeler tablosu)

Eşleşme no	Gün	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Bekleme süresi	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
168	7	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB	85	0:45	ADB	21:40	23:40	NUE	0:30	4:10	ADB	88	7:40	11:15
169	7	ADB	18:40	21:20	AMS	22:10	2:45	ADB	86										7:15	9:35
170	7	ADB	20:15	22:15	ERZ	22:45	1:00	ADB	87										4:15	6:15
171	7	ADB	21:40	23:40	NUE	0:30	4:10	ADB	88										5:40	8:00
172	7	ADB	21:40	0:10	CGN	1:10	5:20	ADB	89										6:40	9:10
173	1	AYT	7:00	8:55	VAN	9:25	11:30	AYT	90										4:00	6:00
174	1	AYT	7:00	8:55	VAN	9:25	11:30	AYT	90	0:30	AYT	12:00	13:25	DIY	14:05	15:50	AYT	92	7:10	10:20
175	1	AYT	7:05	9:25	STN	10:25	16:25	AYT	91										8:20	10:50
176	1	AYT	12:00	13:25	DIY	14:05	15:50	AYT	92										3:10	3:50
177	1	AYT	15:15	18:05	FRA	19:05	22:20	AYT	93										6:05	8:35
178	2	AYT	5:30	8:20	LUX	9:10	13:45	AYT	94										7:25	9:45
179	2	AYT	6:05	8:40	BSL	9:40	13:50	AYT	95										6:45	9:15
180	2	AYT	6:15	9:00	BSL	10:10	14:25	AYT	96										7:00	9:40
181	2	AYT	6:25	8:50	TXL	9:50	14:00	AYT	97										6:35	9:05
182	2	AYT	6:50	9:30	HAI	10:30	14:55	AYT	98										7:05	9:35
183	2	AYT	7:00	8:45	ERZ	9:15	11:05	AYT	99										3:35	4:05
184	2	AYT	7:00	8:45	ERZ	9:15	11:05	AYT	99	1:05	AYT	12:10	14:30	FDH	15:30	19:30	AYT	100	9:55	14:00
185	2	AYT	12:10	14:30	FDH	15:30	19:30	AYT	100										6:20	8:50
186	2	AYT	14:55	17:20	MUC	18:25	22:25	AYT	101										6:25	9:00
187	2	AYT	15:15	18:05	FRA	19:05	22:20	AYT	102										6:05	8:35
188	2	AYT	16:15	18:05	VIE	19:05	22:40	AYT	103										5:25	7:55
189	3	AYT	15:15	18:05	FRA	19:05	22:20	AYT	104										6:05	8:35
190	3	AYT	15:15	17:50	ZRH	18:50	23:05	AYT	105										6:50	9:20
191	4	AYT	7:05	9:25	STN	10:25	16:25	AYT	106										8:20	10:50
192	4	AYT	14:55	17:20	MUC	18:25	22:25	AYT	107										6:25	9:00
193	4	AYT	15:15	18:05	FRA	19:05	22:20	AYT	108										6:05	8:35
194	5	AYT	6:00	8:45	FKB	9:45	13:55	AYT	109										6:55	9:25
195	5	AYT	6:10	9:05	DTM	10:05	14:30	AYT	110										7:20	9:50

Tablo 3.3'ün devamı (Olası Eşleşmeler Tablosu)

Eşleşme no	Gün	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Bekleme süresi	Kalkış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Varış Kalkış	Kalkış saati	Varış saati	Varış yeri	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
196	5	AYT	6:10	9:00	HAM	10:00	14:25	AYT	111										7:15	9:45
197	5	AYT	6:15	9:00	BSL	10:10	14:25	AYT	112										7:00	9:40
198	5	AYT	7:25	9:05	TZX	9:35	11:25	AYT	113										3:30	4:00
199	5	AYT	7:25	9:05	TZX	9:35	11:25	AYT	113	0:35	AYT	12:00	13:25	DIY	14:05	15:50	AYT	115	6:40	9:55
200	5	AYT	7:35	9:35	SZG	10:25	14:10	AYT	114										5:45	8:05
201	5	AYT	12:00	13:25	DIY	14:05	15:50	AYT	115										3:10	5:20
202	5	AYT	14:55	17:20	MUC	18:25	22:25	AYT	116										6:25	9:00
203	5	AYT	15:15	18:05	FRA	19:05	22:20	AYT	117										6:05	8:35
204	5	AYT	15:15	17:50	ZRH	18:50	23:05	AYT	118										6:50	9:20
205	5	AYT	15:30	18:20	DUS	19:20	23:55	AYT	119										7:25	9:55
206	5	AYT	16:15	18:05	VIE	19:05	22:40	AYT	120										5:25	7:55
207	6	AYT	7:00	8:45	ERZ	9:15	11:05	AYT	121										3:35	5:35
208	6	AYT	15:15	18:05	FRA	19:05	22:20	AYT	122										6:05	8:35
209	6	AYT	15:15	17:50	ZRH	18:50	23:05	AYT	123										6:50	9:20
210	7	AYT	6:15	9:00	BSL	10:10	14:25	AYT	124										7:00	9:40
211	7	AYT	7:00	9:25	LEJ	10:15	14:25	AYT	125										6:35	8:55
212	7	AYT	7:25	9:05	TZX	9:35	11:25	AYT	126										3:30	4:00
213	7	AYT	7:25	9:05	TZX	9:35	11:25	AYT	126	0:35	AYT	12:00	13:25	DIY	14:05	15:50	AYT	127	6:40	9:55
214	7	AYT	12:00	13:25	DIY	14:05	15:50	AYT	127										3:10	5:20
215	7	AYT	14:55	17:20	MUC	18:25	22:25	AYT	128										6:25	9:00
216	7	AYT	15:15	18:05	FRA	19:05	22:20	AYT	129										6:05	8:35
217	7	AYT	15:15	17:50	ZRH	18:50	23:05	AYT	130										6:50	9:20
218	7	AYT	15:55	18:45	CGN	19:45	0:10	AYT	131										7:15	9:45
219	7	AYT	16:10	19:00	BRE	20:00	0:25	AYT	132										7:15	9:45
220	7	AYT	16:15	18:05	VIE	19:05	22:40	AYT	133										5:25	7:55

3.1.3. Küme Bölme Modelinin Oluşturulması

Küme bölme modelinin oluşturulmasına başlamadan önce aşağıdaki bölümde küme bölme probleminin yapısı ve özelliği hakkında kısa bir bilgi verilmektedir.

3.1.3.1. Küme Bölme Modeline Bakış

Kesikli optimizasyon problemlerinin büyük bir sınıfını tamsayılı programlama problemleri oluşturmaktadır. 0-1 tamsayılı programlama problemlerinin bir sınıfını da küme örtüleme (set covering) ve küme bölme (set partitioning) problemleri oluşturmaktadır. Bu problemler kombinatoriyel problemlerin en bilinenlerindedir ve çizelgelemede, yerleşimde, rotalamada ve diğer bir çok alanda önemli uygulamalara sahiptirler (El-Darzi ve Mitra, 1992; Lorena ve Lopes, 1997).

Küme bölme problemlerinin bilinen en iyi uygulaması ekip çizelgelemedir. Bu formülasyonda her bir satır ($i=1, \dots, m$) uçulması gereken bir uçuş ayağını (flight leg), sütunlar ($j=1, \dots, n$) ise ekipler için uygun rotasyonları gösterir (Chu ve Beasley, 1995). Amaç, toplam eşleme maliyetini minimize etmektir ve kısıtlar tüm uçuşların sadece bir kez kapsandığını garanti etmektedir. Küme bölme modeli girdi olarak uygun eşleşmeler kümesine ihtiyaç duymaktadır. Teoride bu küme tüm uygun eşleşmeleri içermelidir. Küme bölme modelinde büyük bir uygun eşleşmeler kısıtı altında, minimum maliyetli eşleşmeler kümesi aranır. Küme bölme problemi aşağıdaki şekilde formüle edilir (Chu ve Beasley, 1995).

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1 \quad i=1,2,\dots,m \\ & x_j = 0 \text{ veya } x_j = 1 \quad j=1,2,\dots,n \end{aligned}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i. uçuş bacağı, j. eşleşme tarafından kapsanıyorsa,} \\ 0, & \text{kapsanmıyorsa} \end{cases}$$

c_j = j. eşleşmenin maliyetini

n = üretilen eşleşme sayısını

m = kapsanacak uçuş ayağı sayısını göstermektedir.

$m \times n$ boyutunda olan $A = (a_{ij})$ matrisi 0 ve 1 değerlerinden oluşan bir matristir. i 'inci eleman j 'inci altküme içinde yer alıyorsa $a_{ij}=1$, diğer durumlarda $a_{ij}=0$ değerini alır. C , $1 \times n$ boyutunda olup pozitif katsayılardan oluşan bir vektördür. Bu katsayılar, küme bölme probleminin uygulanacağı ana küme içinden önceden belirlenen olası bütün alt kümelerin (n tane) oluşum maliyetleridir. X , x_j değişkenlerinden oluşan $n \times 1$ boyutunda bir vektördür. J 'inci alt küme optimum çözüm içinde yer alacak alt kümelerden biri ise $x_j=1$, diğer durumlarda $x_j=0$ değerini alır (Güngör ve Eroğlu, 1997):

Literatürde genellikle ikisi bir arada ele alınan küme bölme problemi ve küme örtüleme problemini birbirinden ayıran en önemli özellik; küme bölme probleminde kısıtların $A \cdot x = e$, küme örtüleme probleminde ise $A \cdot x \geq e$ şeklinde olmasıdır. Bu farklı kısıtlayıcı denklemlerden dolayı, küme bölme probleminin herhangi bir uygun çözümünde yer alan M_j alt kümelerinin bileşimleri S ana kümesini ve kesişimleri boş kümeyi vermek zorunda iken, küme örtüleme probleminde sadece bileşimlerin S ana kümesini vermesi zorunluluğu vardır. Bu durum, küme örtüleme probleminin optimum çözümünün bulunmasını, küme bölme probleminin optimum çözümünün bulunması işlemlerine göre çok daha kolay hale gelmesine yol açmaktadır (Güngör ve Eroğlu, 1997).

Bu 0-1 tamsayılı modelin kurulabilmesi için aşağıdaki adımlar izlenir (Güngör ve Eroğlu, 1997):

- i.* Küme bölme probleminin uygulanacağı S ana kümesinin bütün elemanları (m tane) belirlenir ve numaralandırılır.
- ii.* Ele alınan sorunun yapısına göre, optimum çözümde yer alma olasılığı olan bütün M_j alt kümeleri (n tane) eleman numaralarıyla belirlenir. Böylelikle bir alt kümeler seti oluşturulur.
- iii.* m tane satır, n tane sütundan oluşan ve $m \times n$ tane hücresi olan küme bölme (örtüleme) tablosu oluşturulur. M_j alt kümesinde i 'inci eleman yer alıyorsa, tablonun i 'inci satır j 'inci sütunda bulunan gözün değeri 1 yani $a_{ij}=1$, diğer durumlarda $a_{ij}=0$ değeri yazılır.
- iv.* M_j alt kümelerinin oluşum maliyetleri hesaplanır. Bu maliyet katsayılarından oluşan $1 \times n$ boyutundaki vektör amaç fonksiyonunun katsayılarını oluşturur.
- v.* Uygun bir çözümde her bir elemanın en az bir alt kümede yer alması zorunluluğu olduğu için eşitsizliklerinin hepsinin sağ tarafına 1 yazılır. Bu şekilde elde edilen ve bütün elemanları 1 olan $m \times 1$ boyutundaki vektör modeldeki e vektörünü oluşturur. Küme örtüleme probleminin herhangi bir uygun çözümüyle F 'nin bir alt kümesi elde edilir ki bu alt kümede yer alan M_j alt kümelerinin bileşimleri S ana kümesini vermek zorundadır. Bu

problemin çözümünde her uçuş bacağı tam olarak bir eşleşme tarafından kapsanır (Ayan, 1991).

3.1.3.2. Eşleştirme Probleminin Küme Bölme Modeli ile Gösterimi

Toplam 133 uçuş çiftine ait tüm olası eşleştirmeler dikkate alındığında 220 değişken ve 133 kısıttan oluşan bir küme bölme modeli elde edilmiştir. Modelde her bir kısıt her bir uçuşun kapsandığı olası eşleştirmeleri göstermektedir. Örneğin 1. kısıt, 1. uçuşun (yani 1. gün ADB-GZT-ADB 06:45-10:45 uçuşunun) olası eşleştirmeler tablosundaki 1. 2. ve 3. olasılıkta mevcut olduğunu göstermektedir.

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1 \quad (1. \text{ gün ADB-GZT-ADB 06:45-10:45 uçuşunu kapsayan olası eşleştirmeler})$$

$$x_4 + x_5 + x_6 = 1 \quad (1. \text{ gün ADB-TZX-ADB 07:00-11:30 uçuşunu kapsayan olası eşleştirmeler})$$

$$x_7 + x_8 = 1$$

$$x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} = 1$$

$$x_{10} + x_{13} + x_{14} = 1$$

$$x_2 + x_5 + x_{11} + x_{15} + x_{16} + x_{17} = 1$$

$$x_3 + x_6 + x_8 + x_{12} + x_{19} + x_{20} + x_{21} = 1$$

$$x_{16} + x_{22} = 1$$

$$x_{17} + x_{20} + x_{23} = 1$$

$$x_{24} = 1$$

$$x_{14} + x_{18} + x_{21} + x_{25} = 1$$

$$x_{26} = 1$$

$$x_{27} = 1$$

$$x_{28} + x_{29} + x_{30} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} = 1$$

$$x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} = 1$$

$$x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{40} + x_{41} = 1$$

$$x_{38} + x_{42} + x_{43} = 1$$

$$x_{29} + x_{34} + x_{39} + x_{44} + x_{45} + x_{46} = 1$$

$$x_{35} + x_{40} + x_{47} = 1$$

$$x_{30} + x_{32} + x_{36} + x_{41} + x_{48} + x_{49} + x_{50} = 1$$

$$x_{51} = 1$$

$$x_{45} + x_{49} + x_{52} = 1$$

$$x_{53} = 1$$

$$\begin{aligned}
& \mathbf{x}_{43} + \mathbf{x}_{46} + \mathbf{x}_{50} + \mathbf{x}_{54} = 1 \\
& \mathbf{x}_{55} = 1 \\
& \mathbf{x}_{56} = 1 \\
& \mathbf{x}_{57} + \mathbf{x}_{58} = 1 \\
& \mathbf{x}_{59} + \mathbf{x}_{60} + \mathbf{x}_{61} = 1 \\
& \mathbf{x}_{62} + \mathbf{x}_{63} = 1 \\
& \mathbf{x}_{64} = 1 \\
& \mathbf{x}_{60} + \mathbf{x}_{65} + \mathbf{x}_{66} = 1 \\
& \mathbf{x}_{58} + \mathbf{x}_{61} + \mathbf{x}_{67} + \mathbf{x}_{68} + \mathbf{x}_{69} = 1 \\
& \mathbf{x}_{63} + \mathbf{x}_{70} + \mathbf{x}_{71} = 1 \\
& \mathbf{x}_{68} + \mathbf{x}_{72} = 1 \\
& \mathbf{x}_{73} = 1 \\
& \mathbf{x}_{66} + \mathbf{x}_{69} + \mathbf{x}_{71} + \mathbf{x}_{74} = 1 \\
& \mathbf{x}_{74} + \mathbf{x}_{75} = 1 \\
& \mathbf{x}_{75} = 1 \\
& \mathbf{x}_{76} = 1 \\
& \mathbf{x}_{77} + \mathbf{x}_{78} = 1 \\
& \mathbf{x}_{79} = 1 \\
& \mathbf{x}_{80} + \mathbf{x}_{81} = 1 \\
& \mathbf{x}_{82} + \mathbf{x}_{83} + \mathbf{x}_{84} = 1 \\
& \mathbf{x}_{83} + \mathbf{x}_{85} = 1 \\
& \mathbf{x}_{78} + \mathbf{x}_{81} + \mathbf{x}_{84} + \mathbf{x}_{86} + \mathbf{x}_{87} + \mathbf{x}_{88} = 1 \\
& \mathbf{x}_{89} + \mathbf{x}_{90} = 1 \\
& \mathbf{x}_{87} + \mathbf{x}_{91} + \mathbf{x}_{92} = 1 \\
& \mathbf{x}_{93} = 1 \\
& \mathbf{x}_{88} + \mathbf{x}_{94} = 1 \\
& \mathbf{x}_{95} = 1 \\
& \mathbf{x}_{90} + \mathbf{x}_{92} + \mathbf{x}_{96} = 1 \\
& \mathbf{x}_{97} + \mathbf{x}_{98} = 1 \\
& \mathbf{x}_{99} + \mathbf{x}_{100} + \mathbf{x}_{101} = 1 \\
& \mathbf{x}_{102} + \mathbf{x}_{103} = 1 \\
& \mathbf{x}_{104} + \mathbf{x}_{105} = 1 \\
& \mathbf{x}_{100} + \mathbf{x}_{106} + \mathbf{x}_{107} = 1 \\
& \mathbf{x}_{108} = 1 \\
& \mathbf{x}_{98} + \mathbf{x}_{101} + \mathbf{x}_{103} + \mathbf{x}_{105} + \mathbf{x}_{109} + \mathbf{x}_{110} + \mathbf{x}_{111} = 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \mathcal{X}_{110} + \mathcal{X}_{112} = 1 \\
& \mathcal{X}_{113} = 1 \\
& \mathcal{X}_{107} + \mathcal{X}_{111} + \mathcal{X}_{114} = 1 \\
& \mathcal{X}_{115} = 1 \\
& \mathcal{X}_{116} = 1 \\
& \mathcal{X}_{117} + \mathcal{X}_{118} = 1 \\
& \mathcal{X}_{119} + \mathcal{X}_{120} + \mathcal{X}_{121} = 1 \\
& \mathcal{X}_{122} + \mathcal{X}_{123} + \mathcal{X}_{124} + \mathcal{X}_{125} = 1 \\
& \mathcal{X}_{126} + \mathcal{X}_{127} + \mathcal{X}_{128} + \mathcal{X}_{129} + \mathcal{X}_{130} = 1 \\
& \mathcal{X}_{127} + \mathcal{X}_{131} + \mathcal{X}_{132} = 1 \\
& \mathcal{X}_{123} + \mathcal{X}_{128} + \mathcal{X}_{133} + \mathcal{X}_{134} + \mathcal{X}_{135} = 1 \\
& \mathcal{X}_{113} + \mathcal{X}_{117} + \mathcal{X}_{121} + \mathcal{X}_{126} + \mathcal{X}_{135} + \mathcal{X}_{136} = 1 \\
& \mathcal{X}_{120} + \mathcal{X}_{124} + \mathcal{X}_{129} + \mathcal{X}_{136} + \mathcal{X}_{137} + \mathcal{X}_{138} = 1 \\
& \mathcal{X}_{118} + \mathcal{X}_{121} + \mathcal{X}_{125} + \mathcal{X}_{130} + \mathcal{X}_{139} + \mathcal{X}_{140} = 1 \\
& \mathcal{X}_{141} = 1 \\
& \mathcal{X}_{134} + \mathcal{X}_{137} + \mathcal{X}_{142} = 1 \\
& \mathcal{X}_{143} = 1 \\
& \mathcal{X}_{132} + \mathcal{X}_{135} + \mathcal{X}_{138} + \mathcal{X}_{140} + \mathcal{X}_{144} = 1 \\
& \mathcal{X}_{145} = 1 \\
& \mathcal{X}_{146} + \mathcal{X}_{147} + \mathcal{X}_{148} = 1 \\
& \mathcal{X}_{149} + \mathcal{X}_{150} = 1 \\
& \mathcal{X}_{151} + \mathcal{X}_{152} + \mathcal{X}_{153} = 1 \\
& \mathcal{X}_{154} + \mathcal{X}_{155} + \mathcal{X}_{156} + \mathcal{X}_{157} = 1 \\
& \mathcal{X}_{155} + \mathcal{X}_{158} = 1 \\
& \mathcal{X}_{147} + \mathcal{X}_{152} + \mathcal{X}_{156} + \mathcal{X}_{159} + \mathcal{X}_{160} + \mathcal{X}_{161} = 1 \\
& \mathcal{X}_{148} + \mathcal{X}_{150} + \mathcal{X}_{153} + \mathcal{X}_{157} + \mathcal{X}_{162} + \mathcal{X}_{163} + \mathcal{X}_{164} = 1 \\
& \mathcal{X}_{160} + \mathcal{X}_{165} + \mathcal{X}_{166} = 1 \\
& \mathcal{X}_{161} + \mathcal{X}_{163} + \mathcal{X}_{167} + \mathcal{X}_{168} = 1 \\
& \mathcal{X}_{169} = 1 \\
& \mathcal{X}_{164} + \mathcal{X}_{170} = 1 \\
& \mathcal{X}_{166} + \mathcal{X}_{168} + \mathcal{X}_{171} = 1 \\
& \mathcal{X}_{172} = 1 \\
& \mathcal{X}_{173} + \mathcal{X}_{174} = 1 \\
& \mathcal{X}_{175} = 1 \\
& \mathcal{X}_{174} + \mathcal{X}_{176} = 1
\end{aligned}$$

$$\mathcal{X}_{177} = 1$$

$$\mathcal{X}_{178} = 1$$

$$\mathcal{X}_{179} = 1$$

$$\mathcal{X}_{180} = 1$$

$$\mathcal{X}_{181} = 1$$

$$\mathcal{X}_{182} = 1$$

$$\mathcal{X}_{183} + \mathcal{X}_{184} = 1$$

$$\mathcal{X}_{184} + \mathcal{X}_{185} = 1$$

$$\mathcal{X}_{186} = 1$$

$$\mathcal{X}_{187} = 1$$

$$\mathcal{X}_{188} = 1$$

$$\mathcal{X}_{189} = 1$$

$$\mathcal{X}_{190} = 1$$

$$\mathcal{X}_{191} = 1$$

$$\mathcal{X}_{192} = 1$$

$$\mathcal{X}_{193} = 1$$

$$\mathcal{X}_{194} = 1$$

$$\mathcal{X}_{195} = 1$$

$$\mathcal{X}_{196} = 1$$

$$\mathcal{X}_{197} = 1$$

$$\mathcal{X}_{198} + \mathcal{X}_{199} = 1$$

$$\mathcal{X}_{200} = 1$$

$$\mathcal{X}_{199} + \mathcal{X}_{201} = 1$$

$$\mathcal{X}_{202} = 1$$

$$\mathcal{X}_{203} = 1$$

$$\mathcal{X}_{204} = 1$$

$$\mathcal{X}_{205} = 1$$

$$\mathcal{X}_{206} = 1$$

$$\mathcal{X}_{207} = 1$$

$$\mathcal{X}_{208} = 1$$

$$\mathcal{X}_{209} = 1$$

$$\mathcal{X}_{210} = 1$$

$$\mathcal{X}_{211} = 1$$

$$\mathcal{X}_{212} + \mathcal{X}_{213} = 1$$

$$\mathcal{X}_{213} + \mathcal{X}_{214} = 1$$

$$x_{215} = 1$$

$$x_{216} = 1$$

$$x_{217} = 1$$

$$x_{218} = 1$$

$$x_{219} = 1$$

$$x_{220} = 1$$

Kısıtların oluşturulmasından sonra sıra amaç fonksiyonunun oluşturulmasına gelmektedir. Bunun için 3 farklı senaryo ele alınmıştır.

1. senaryoda, uçuş görev süreleri dikkate alınmıştır. Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'na göre kesintili uçuş görev süresi, her bir uçucu ekip üyesi için en fazla 14 saattir. Her bir eşleşme için maksimum uçuş görev süresi 14 saat olabileceğine göre mümkün olduğunda 14 saate yakın eşleşmelerin seçilmesini sağlayacak bir amaç fonksiyonunun oluşturulması düşünülmüştür. Bunun için Tablo 3.3.'teki uçuş görev süreleri işlemler açısından kolaylık sağlaması için önce sayı formatına çevrilmiş daha sonra 14'ten çıkarılmıştır. Örneğin birinci eşleşme olasılığı için toplam UGS= 5:30 saat idi. Bu saat birimi sayıya çevrilirse 5.50 değerini alır $14-5.50=8.5$ 'tur. Dolayısıyla X_1 'in katsayısı 8.5 olarak hesaplanmış olur. Başka bir örnek olarak 2. olasılık alındığında bu eşleşmenin uçuş görev süresi 11.25 idi. Dakika kısmı sayı olarak $100*25/60$ formülüyle hesaplanırsa değer 11.42'ye denk gelir. Böylece X_2 'nin katsayısı $14-11.42=2.58$ şeklinde bulunur. Tüm eşleşmeler için bu değerler hesaplanarak azami uçuş görev süresinin altında olma durumunu minimize edecek sürelerin toplamı alınarak aşağıdaki amaç fonksiyonu oluşturulmuştur.

$$8.5X_1+2.58X_2+1.58X_3+8X_4+2.83X_5+1.83X_6+7.75X_7+2.33X_8+10X_9+1.33X_{10}+4.08X_{11}+3.08X_{12}+4.91X_{13}+0.58X_{14}+8.08X_{15}+3.83X_{16}+3.83X_{17}+1X_{18}+7.58X_{19}+4.33X_{20}+1.5X_{21}+8.75X_{22}+10X_{23}+5.5X_{24}+8.92X_{25}+4.84X_{26}+4.67X_{27}+8X_{28}+2.83X_{29}+1.83X_{30}+7.75X_{31}+2.33X_{32}+8.58X_{33}+3.66X_{34}+0.08X_{35}+2.66X_{36}+10X_{37}+1.33X_{38}+4.08X_{39}+0.5X_{40}+3.08X_{41}+4.91X_{42}+0.58X_{43}+8.08X_{44}+3.83X_{45}+1X_{46}+4.75X_{47}+7.58X_{48}+4.33X_{49}+1.5X_{50}+3.92X_{51}+10X_{52}+5.33X_{53}+8.92X_{54}+5.5X_{55}+4.84X_{56}+8.5X_{57}+2.58X_{58}+9X_{59}+0.08X_{60}+2.83X_{61}+7.5X_{62}+0.08X_{63}+2.33X_{64}+4.91X_{65}+0.58X_{66}+8.08X_{67}+3.83X_{68}+1X_{69}+8X_{70}+3.92X_{71}+10X_{72}+5.5X_{73}+8.92X_{74}+4.84X_{75}+4.67X_{76}+8.5X_{77}+1.33X_{78}+2.58X_{79}+6X_{80}+1.58X_{81}+10X_{82}+1.33X_{83}+2.83X_{84}+4.91X_{85}+8.58X_{86}+5.58X_{87}+1.92X_{88}+8.75X_{89}+1.5X_{90}+10X_{91}+2.75X_{92}+4.42X_{93}+8.09X_{94}+4.84X_{95}+$$

$$\begin{aligned}
&6X_{96}+8.5X_{97}+1.58X_{98}+9X_{99}+0.08X_{100}+1.83X_{101}+8X_{102}+1.83X_{103}+7.75X_{104}+2.33X_{105}+4.91 \\
&X_{106}+0.58X_{107}+4.75X_{108}+7.58X_{109}+4.33X_{110}+1.5X_{111}+10X_{112}+5.5X_{113}+8.92X_{114}+4.84X_{115} \\
&+4.67X_{116}+5.5X_{117}+0.08X_{118}+7.75X_{119}+2.33X_{120}+0.33X_{121}+8.58X_{122}+3.66X_{123}+2.66X_{124}+ \\
&0.66X_{125}+10X_{126}+1.33X_{127}+4.08X_{128}+3.08X_{129}+1.08X_{130}+4.91X_{131}+0.58X_{132}+8.08X_{133}+3. \\
&83X_{134}+1X_{135}+7.58X_{136}+4.33X_{137}+1.5X_{138}+8X_{139}+3.92X_{140}+3.92X_{141}+10X_{142}+5.33X_{143}+8. \\
&92X_{144}+5.5X_{145}+8.5X_{146}+2.58X_{147}+1.33X_{148}+6X_{149}+1.58X_{150}+8X_{151}+2.83X_{152}+1.58X_{153}+1 \\
&0X_{154}+1.33X_{155}+4.08X_{156}+2.83X_{157}+4.91X_{158}+8.08X_{159}+3.83X_{160}+3.83X_{161}+8.58X_{162}+5.5 \\
&8X_{163}+1.5X_{164}+8.75X_{165}+1.5X_{166}+10X_{167}+2.75X_{168}+4.42X_{169}+7.75X_{170}+6X_{171}+4.84X_{172}+8 \\
&X_{173}+3.67X_{174}+3.16X_{175}+8.67X_{176}+5.42X_{177}+4.25X_{178}+4.75X_{179}+4.33X_{180}+4.92X_{181}+4.41 \\
&X_{182}+8.42X_{183}+0X_{184}+5.17X_{185}+5X_{186}+5.42X_{187}+6.08X_{188}+5.42X_{189}+4.67X_{190}+3.16X_{191}+5 \\
&X_{192}+5.42X_{193}+4.58X_{194}+4.17X_{195}+4.25X_{196}+4.33X_{197}+8.5X_{198}+4.09X_{199}+5.91X_{200} \\
&+8.67X_{201}+5X_{202}+ 5.42X_{203}+ 4.67X_{204}+4.08X_{205}+6.08X_{206}+ 8.42X_{207}+5.42X_{208}+4.67X_{209}+ \\
&4.33X_{210}+5.08X_{211}+8.5X_{212}+4.09X_{213}+8.67X_{214}+ 5X_{215} +5.42X_{216}+ 4.67X_{217} +4.25X_{218} \\
&+4.25X_{219} +6.08X_{220}
\end{aligned}$$

2.senaryoda, iki eşleme arasındaki bekleme süreleri dikkate alınmıştır. Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'nda iki uçuş arasında 4 saatten daha az bekleme var ise uçucu ekibin uygun tesiste, 4 saat veya daha fazla bekleme var ise uygun konaklama tesisinde dinlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu nedenle modelde uçuşlar arasındaki bekleme süresi 4'den az olan eşlemeler için amaç fonksiyonu katsayısı 1, 4'den fazla olanlar için 2 katsayısı verilmiştir. Sadece 130 numaralı eşleştirmede 4 saati geçen bir bekleme süresinin olduğu görülmüştür. Böylece amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşmuştur.

$$\begin{aligned}
Z_{min} &= X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} \\
&+ X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} \\
&+ X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} \\
&+ X_{55} + X_{56} + X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{60} + X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{70} + X_{71} + X_{72} \\
&+ X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} + X_{78} + X_{79} + X_{80} + X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + X_{87} + X_{88} + X_{89} + X_{90} \\
&+ X_{91} + X_{92} + X_{93} + X_{94} + X_{95} + X_{96} + X_{97} + X_{98} + X_{99} + X_{100} + X_{101} + X_{102} + X_{103} + X_{104} + X_{105} + X_{106} + X_{107} \\
&+ X_{108} + X_{109} + X_{110} + X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{120} + X_{121} + X_{122} + X_{123} \\
&+ X_{124} + X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} + X_{129} + 2 * X_{130} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{135} + X_{136} + X_{137} + X_{138} \\
&+ X_{139} + X_{140} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{145} + X_{146} + X_{147} + X_{148} + X_{149} + X_{150} + X_{151} + X_{152} + X_{153} + X_{154} \\
&+ X_{155} + X_{156} + X_{157} + X_{158} + X_{159} + X_{160} + X_{161} + X_{162} + X_{163} + X_{164} + X_{165} + X_{166} + X_{167} + X_{168} + X_{169} + \\
&X_{170} + X_{171} + X_{172} + X_{173} + X_{174} + X_{175} + X_{176} + X_{177} + X_{178} + X_{179} + X_{180} + X_{181} + X_{182} + X_{183} + X_{184} + X_{185} +
\end{aligned}$$

$$X_{186}+X_{187}+X_{188}+X_{189}+X_{190}+X_{191}+X_{192}+ X_{193}+X_{194}+X_{195}+X_{196}+X_{197}+X_{198}+X_{199} +X_{200}+X_{201} \\ +X_{202}+ X_{203}+ X_{204}+X_{205}+X_{206}+ X_{207}+X_{208}+X_{209}+ X_{210}+X_{211}+X_{212}+X_{213}+X_{214}+ X_{215} +X_{216}+ \\ X_{217}+X_{218}+X_{219}+X_{220}$$

3.senaryoda ise toplam eşleşme sayısının minimize edilmesine çalışılmaktadır. Bunun için amaç fonksiyonu katsayılarının1 olarak alınması yeterli olacaktır.

$$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+X_8+X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}+X_{17}+X_{18} +X_{19}+X_{20} + \\ X_{21}+X_{22}+X_{23}+X_{24}+X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28}+X_{29}+X_{30}+X_{31}+X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35}+X_{36}+X_{37}+X_{38}+ \\ X_{39}+X_{40}+X_{41}+X_{42}+X_{43}+X_{44}+X_{45}+X_{46}+X_{47}+X_{48}+X_{49}+X_{50}+X_{51}+X_{52}+X_{53}+X_{54}+X_{55}+X_{56}+X_{57} \\ +X_{58}+X_{59}+X_{60}+X_{61}+X_{62}+X_{63}+X_{64}+X_{65}+X_{66}+X_{67}+X_{68}+X_{69}+X_{70}+X_{71}+X_{72}+X_{73}+X_{74}+ X_{75}+ \\ X_{76}+X_{77}+X_{78}+X_{79}+X_{80}+X_{81}+X_{82}+X_{83}+X_{84}+X_{85}+X_{86}+X_{87}+X_{88}+X_{89}+X_{90}+X_{91}+X_{92}+ \\ X_{93}+X_{94}+X_{95}+X_{96}+X_{97}+X_{98}+X_{99}+X_{100}+X_{101}+X_{102}+X_{103}+X_{104}+X_{105}+X_{106}+X_{107}+X_{108}+X_{109}+ \\ X_{110}+X_{111}+X_{112}+X_{113}+X_{114}+X_{115}+X_{116}+X_{117}+X_{118}+X_{119}+X_{120}+X_{121}+X_{122}+X_{123}+X_{124}+X_{125}+ \\ X_{126}+X_{127}+X_{128}+X_{129}+X_{130}+X_{131}+X_{132}+X_{133}+X_{134}+X_{135}+X_{136}+X_{137}+X_{138} \\ +X_{139}+X_{140}+X_{141}+X_{142}+X_{143}+X_{144}+X_{145}+X_{146}+X_{147}+X_{148}+X_{149}+X_{150}+X_{151}+X_{152}+X_{153}+X_{154} \\ +X_{155}+X_{156}+X_{157}+X_{158}+X_{159}+X_{160}+X_{161}+X_{162}+X_{163}+X_{164}+X_{165}+X_{166}+X_{167}+X_{168}+X_{169}+ \\ X_{170}+X_{171}+X_{172}+X_{173}+X_{174}+X_{175}+X_{176}+X_{177}+X_{178}+X_{179}+X_{180}+X_{181}+X_{182}+X_{183}+X_{184}+X_{185}+ \\ X_{186}+X_{187}+X_{188}+X_{189}+X_{190}+X_{191}+X_{192}+ X_{193}+X_{194}+X_{195}+X_{196}+X_{197}+X_{198}+X_{199} +X_{200}+X_{201} \\ +X_{202}+ X_{203}+ X_{204}+X_{205}+X_{206}+ X_{207}+X_{208}+X_{209}+ X_{210}+X_{211}+X_{212}+X_{213}+X_{214}+ X_{215} +X_{216}+ \\ X_{217}+X_{218}+X_{219}+X_{220}$$

3.1.4. Hava yolu Ekip Eşleştirme Probleminin Küme Bölme Modelinin Tamsayı Programlama ile Çözümü

Oluşturulan minimizasyon modelleri MATLAB bilgisayar programının “Optimization Toolbox” modülü yardımıyla tamsayı programlama yöntemine göre çözüldüğünde 1. senaryo için amaç fonksiyonu 491.34 değerini almış ve aşağıdaki 106 eşleşme elde edilmiştir.

$X_1 = 0$	$X_{41} = 0$	$X_{81} = 0$	$X_{121} = 0$	$X_{161} = 1$	$X_{201} = 0$
$X_2 = 0$	$X_{42} = 0$	$X_{82} = 0$	$X_{122} = 0$	$X_{162} = 0$	$X_{202} = 1$
$X_3 = 1$	$X_{43} = 0$	$X_{83} = 1$	$X_{123} = 0$	$X_{163} = 0$	$X_{203} = 1$
$X_4 = 1$	$X_{44} = 0$	$X_{84} = 0$	$X_{124} = 0$	$X_{164} = 0$	$X_{204} = 1$
$X_5 = 0$	$X_{45} = 0$	$X_{85} = 0$	$X_{125} = 1$	$X_{165} = 0$	$X_{205} = 1$
$X_6 = 0$	$X_{46} = 1$	$X_{86} = 0$	$X_{126} = 0$	$X_{166} = 1$	$X_{206} = 1$
$X_7 = 1$	$X_{47} = 0$	$X_{87} = 0$	$X_{127} = 1$	$X_{167} = 0$	$X_{207} = 1$

$X_8 = 0$	$X_{48} = 0$	$X_{88} = 0$	$X_{128} = 0$	$X_{168} = 0$	$X_{208} = 1$
$X_9 = 0$	$X_{49} = 0$	$X_{89} = 0$	$X_{129} = 0$	$X_{169} = 1$	$X_{209} = 1$
$X_{10} = 1$	$X_{50} = 0$	$X_{90} = 1$	$X_{130} = 0$	$X_{170} = 1$	$X_{210} = 1$
$X_{11} = 0$	$X_{51} = 1$	$X_{91} = 1$	$X_{131} = 0$	$X_{171} = 0$	$X_{211} = 1$
$X_{12} = 0$	$X_{52} = 1$	$X_{92} = 0$	$X_{132} = 0$	$X_{172} = 1$	$X_{212} = 0$
$X_{13} = 0$	$X_{53} = 1$	$X_{93} = 1$	$X_{133} = 0$	$X_{173} = 0$	$X_{213} = 1$
$X_{14} = 0$	$X_{54} = 0$	$X_{94} = 1$	$X_{134} = 0$	$X_{174} = 1$	$X_{214} = 0$
$X_{15} = 0$	$X_{55} = 1$	$X_{95} = 1$	$X_{135} = 1$	$X_{175} = 1$	$X_{215} = 1$
$X_{16} = 0$	$X_{56} = 1$	$X_{96} = 0$	$X_{136} = 0$	$X_{176} = 0$	$X_{216} = 1$
$X_{17} = 0$	$X_{57} = 1$	$X_{97} = 1$	$X_{137} = 1$	$X_{177} = 1$	$X_{217} = 1$
$X_{18} = 1$	$X_{58} = 0$	$X_{98} = 0$	$X_{138} = 0$	$X_{178} = 1$	$X_{218} = 1$
$X_{19} = 0$	$X_{59} = 0$	$X_{99} = 0$	$X_{139} = 0$	$X_{179} = 1$	$X_{219} = 1$
$X_{20} = 0$	$X_{60} = 1$	$X_{100} = 1$	$X_{140} = 0$	$X_{180} = 1$	$X_{220} = 1$
$X_{21} = 0$	$X_{61} = 0$	$X_{101} = 0$	$X_{141} = 1$	$X_{181} = 1$	
$X_{22} = 1$	$X_{62} = 0$	$X_{102} = 1$	$X_{142} = 0$	$X_{182} = 1$	
$X_{23} = 1$	$X_{63} = 1$	$X_{103} = 0$	$X_{143} = 1$	$X_{183} = 0$	
$X_{24} = 1$	$X_{64} = 1$	$X_{104} = 1$	$X_{144} = 0$	$X_{184} = 1$	
$X_{25} = 0$	$X_{65} = 0$	$X_{105} = 0$	$X_{145} = 1$	$X_{185} = 0$	
$X_{26} = 1$	$X_{66} = 0$	$X_{106} = 0$	$X_{146} = 0$	$X_{186} = 1$	
$X_{27} = 1$	$X_{67} = 0$	$X_{107} = 0$	$X_{147} = 0$	$X_{187} = 1$	
$X_{28} = 0$	$X_{68} = 0$	$X_{108} = 1$	$X_{148} = 1$	$X_{188} = 1$	
$X_{29} = 0$	$X_{69} = 1$	$X_{109} = 0$	$X_{149} = 1$	$X_{189} = 1$	
$X_{30} = 1$	$X_{70} = 0$	$X_{110} = 0$	$X_{150} = 0$	$X_{190} = 1$	
$X_{31} = 1$	$X_{71} = 0$	$X_{111} = 1$	$X_{151} = 1$	$X_{191} = 1$	
$X_{32} = 0$	$X_{72} = 1$	$X_{112} = 1$	$X_{152} = 0$	$X_{192} = 1$	
$X_{33} = 0$	$X_{73} = 1$	$X_{113} = 1$	$X_{153} = 0$	$X_{193} = 1$	
$X_{34} = 0$	$X_{74} = 0$	$X_{114} = 0$	$X_{154} = 0$	$X_{194} = 1$	
$X_{35} = 1$	$X_{75} = 1$	$X_{115} = 1$	$X_{155} = 1$	$X_{195} = 1$	
$X_{36} = 0$	$X_{76} = 1$	$X_{116} = 1$	$X_{156} = 0$	$X_{196} = 1$	
$X_{37} = 0$	$X_{77} = 0$	$X_{117} = 1$	$X_{157} = 0$	$X_{197} = 1$	
$X_{38} = 1$	$X_{78} = 1$	$X_{118} = 0$	$X_{158} = 0$	$X_{198} = 0$	
$X_{39} = 0$	$X_{79} = 1$	$X_{119} = 1$	$X_{159} = 0$	$X_{199} = 1$	
$X_{40} = 0$	$X_{80} = 1$	$X_{120} = 0$	$X_{160} = 0$	$X_{200} = 1$	

2. ve 3. senaryo için amaç fonksiyonu 106 değerini almış 106'şar eşleşme elde edilmiştir. Eşleşmelerin aynı 106 değişkenden oluştuğu görülmüştür. Modeldeki değişkenlerin aldığı değerler aşağıda görülmektedir.

$X_1 = 1$	$X_{41} = 0$	$X_{81} = 0$	$X_{121} = 0$	$X_{161} = 1$	$X_{201} = 0$
$X_2 = 0$	$X_{42} = 0$	$X_{82} = 0$	$X_{122} = 1$	$X_{162} = 0$	$X_{202} = 1$
$X_3 = 0$	$X_{43} = 1$	$X_{83} = 1$	$X_{123} = 0$	$X_{163} = 0$	$X_{203} = 1$
$X_4 = 1$	$X_{44} = 0$	$X_{84} = 0$	$X_{124} = 0$	$X_{164} = 0$	$X_{204} = 1$
$X_5 = 0$	$X_{45} = 1$	$X_{85} = 1$	$X_{125} = 0$	$X_{165} = 0$	$X_{205} = 1$
$X_6 = 0$	$X_{46} = 0$	$X_{86} = 0$	$X_{126} = 1$	$X_{166} = 1$	$X_{206} = 1$
$X_7 = 0$	$X_{47} = 0$	$X_{87} = 1$	$X_{127} = 0$	$X_{167} = 0$	$X_{207} = 1$
$X_8 = 1$	$X_{48} = 0$	$X_{88} = 0$	$X_{128} = 0$	$X_{168} = 0$	$X_{208} = 1$
$X_9 = 1$	$X_{49} = 0$	$X_{89} = 1$	$X_{129} = 0$	$X_{169} = 1$	$X_{209} = 1$
$X_{10} = 0$	$X_{50} = 0$	$X_{90} = 1$	$X_{130} = 0$	$X_{170} = 1$	$X_{210} = 1$
$X_{11} = 0$	$X_{51} = 1$	$X_{91} = 0$	$X_{131} = 0$	$X_{171} = 0$	$X_{211} = 1$

$X_{12} = 0$	$X_{52} = 0$	$X_{92} = 0$	$X_{132} = 1$	$X_{172} = 1$	$X_{212} = 0$
$X_{13} = 0$	$X_{53} = 1$	$X_{93} = 1$	$X_{133} = 0$	$X_{173} = 0$	$X_{213} = 1$
$X_{14} = 1$	$X_{54} = 0$	$X_{94} = 1$	$X_{134} = 1$	$X_{174} = 1$	$X_{214} = 0$
$X_{15} = 0$	$X_{55} = 1$	$X_{95} = 1$	$X_{135} = 0$	$X_{175} = 1$	$X_{215} = 1$
$X_{16} = 0$	$X_{56} = 1$	$X_{96} = 0$	$X_{136} = 0$	$X_{176} = 0$	$X_{216} = 1$
$X_{17} = 1$	$X_{57} = 0$	$X_{97} = 0$	$X_{137} = 0$	$X_{177} = 1$	$X_{217} = 1$
$X_{18} = 0$	$X_{58} = 1$	$X_{98} = 1$	$X_{138} = 0$	$X_{178} = 1$	$X_{218} = 1$
$X_{19} = 0$	$X_{59} = 1$	$X_{99} = 1$	$X_{139} = 0$	$X_{179} = 1$	$X_{219} = 1$
$X_{20} = 0$	$X_{60} = 0$	$X_{100} = 0$	$X_{140} = 0$	$X_{180} = 1$	$X_{220} = 1$
$X_{21} = 0$	$X_{61} = 0$	$X_{101} = 0$	$X_{141} = 1$	$X_{181} = 1$	
$X_{22} = 1$	$X_{62} = 0$	$X_{102} = 1$	$X_{142} = 0$	$X_{182} = 1$	
$X_{23} = 0$	$X_{63} = 1$	$X_{103} = 0$	$X_{143} = 1$	$X_{183} = 0$	
$X_{24} = 1$	$X_{64} = 1$	$X_{104} = 1$	$X_{144} = 0$	$X_{184} = 1$	
$X_{25} = 0$	$X_{65} = 0$	$X_{105} = 0$	$X_{145} = 1$	$X_{185} = 0$	
$X_{26} = 1$	$X_{66} = 1$	$X_{106} = 0$	$X_{146} = 0$	$X_{186} = 1$	
$X_{27} = 1$	$X_{67} = 0$	$X_{107} = 1$	$X_{147} = 0$	$X_{187} = 1$	
$X_{28} = 1$	$X_{68} = 0$	$X_{108} = 1$	$X_{148} = 1$	$X_{188} = 1$	
$X_{29} = 0$	$X_{69} = 0$	$X_{109} = 0$	$X_{149} = 1$	$X_{189} = 1$	
$X_{30} = 0$	$X_{70} = 0$	$X_{110} = 0$	$X_{150} = 0$	$X_{190} = 1$	
$X_{31} = 0$	$X_{71} = 0$	$X_{111} = 0$	$X_{151} = 1$	$X_{191} = 1$	
$X_{32} = 1$	$X_{72} = 1$	$X_{112} = 1$	$X_{152} = 0$	$X_{192} = 1$	
$X_{33} = 0$	$X_{73} = 1$	$X_{113} = 1$	$X_{153} = 0$	$X_{193} = 1$	
$X_{34} = 0$	$X_{74} = 0$	$X_{114} = 0$	$X_{154} = 0$	$X_{194} = 1$	
$X_{35} = 1$	$X_{75} = 1$	$X_{115} = 1$	$X_{155} = 1$	$X_{195} = 1$	
$X_{36} = 0$	$X_{76} = 1$	$X_{116} = 1$	$X_{156} = 0$	$X_{196} = 1$	
$X_{37} = 1$	$X_{77} = 1$	$X_{117} = 0$	$X_{157} = 0$	$X_{197} = 1$	
$X_{38} = 0$	$X_{78} = 0$	$X_{118} = 1$	$X_{158} = 0$	$X_{198} = 0$	
$X_{39} = 0$	$X_{79} = 1$	$X_{119} = 0$	$X_{159} = 0$	$X_{199} = 1$	
$X_{40} = 0$	$X_{80} = 1$	$X_{120} = 1$	$X_{160} = 0$	$X_{200} = 1$	

2. ve 3. senaryodan elde edilen sonuçlara göre oluşan eşleşmeler Tablo 3.4'te görülmektedir.

Tablo 3.4. Oluşan optimal eşleşmeler

NO	X _i	Gün		Kalkış yeri	Varış Kalkış	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Uçuş no	Kalkış yeri	Varış Kalkış	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
1	1	1	GZT06	ADB	GZT	ADB	6:45	10:45	1							3:30	5:30
2	4	1	TZX07	ADB	TZX	ADB	7:00	11:30	2							4:00	6:00
3	8	1	ERZ/VAN07	ADB	ERZ	ADB	7:30	12:15	3	ADB	VAN	ADB	12:45	17:40	7	8:40	11:40
4	9	1	AYT08	ADB	AYT	ADB	8:15	10:45	4							2:00	4:00
5	14	1	FRA/ADA11	ADB	FRA	ADB	11:50	19:25	5	ADB	ADA	ADB	20:10	23:45	11	9:25	13:25
6	17	1	DIY/AYT12	ADB	DIY	ADB	12:15	16:40	6	ADB	AYT	ADB	18:25	20:55	9	5:55	10:10
7	22	1	ASR17	ADB	ASR	ADB	17:10	20:55	8							3:15	5:15
8	24	1	STR19	ADB	STR	ADB	19:00	2:00	10							6:10	8:30
9	26	1	CGN21	ADB	CGN	ADB	21:40	5:20	12							6:40	9:10
10	27	1	HAJ21	ADB	HAJ	ADB	21:40	5:30	13							6:40	9:20
11	28	2	TZX07	ADB	TZX	ADB	7:00	11:30	14							4:00	6:00
12	32	2	ERZ/VAN07	ADB	ERZ	ADB	7:30	12:15	15	ADB	VAN	ADB	12:45	17:40	21	8:40	11:40
13	35	2	MLX/DUS07	ADB	MLX	ADB	7:50	11:45	16	ADB	DUS	ADB	12:30	20:15	20	10:10	13:55
14	37	2	AYT08	ADB	AYT	ADB	8:15	10:45	17							2:00	4:00
15	43	2	FRA/ADA11	ADB	FRA	ADB	11:50	19:25	18	ADB	ADA	ADB	20:10	23:45	25	9:25	13:25
16	45	2	DIY/AYT12	ADB	DIY	ADB	12:15	16:40	19	ADB	AYT	ADB	18:25	20:55	23	5:55	10:10
17	51	2	STN15	ADB	STN	ADB	15:30	0:04	22							7:39	10:04
18	53	2	BSL19	ADB	BSL	ADB	19:00	2:10	24							6:10	8:40
19	55	2	SXF21	ADB	SXF	ADB	21:10	4:10	26							6:00	8:30
20	56	2	CGN21	ADB	CGN	ADB	21:40	5:20	27							6:40	9:10
21	58	3	GZT/DIY06	ADB	GZT	ADB	6:45	10:45	28	ADB	DIY	ADB	12:15	16:40	33	7:25	11:25
22	59	3	ADA07	ADB	ADA	ADB	7:00	10:30	29							3:00	5:00
23	63	3	ZRH/TZX07	ADB	ZRH	ADB	7:15	14:15	30	ADB	TZX	ADB	15:10	19:40	34	10:05	13:55
24	64	3	VAN07	ADB	VAN	ADB	7:30	17:40	31							4:25	11:40
25	66	3	FRA/ADA11	ADB	FRA	ADB	11:50	19:25	32	ADB	ADA	ADB	20:10	23:45	37	9:25	13:25
26	72	3	AYT18	ADB	AYT	ADB	18:25	20:55	35							2:00	4:00
27	73	3	STR19	ADB	STR	ADB	19:00	2:00	36							6:10	8:30
28	75	3	CGN21	ADB	CGN	ADB	21:40	5:20	38							6:40	9:10

Tablo 3.4'ün devamı (Oluşan optimal eşleşmeler)

NO	X _i	Gün		Kalkış yeri	Varış Kalkış	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Uçuş no	Kalkış yeri	Varış Kalkış	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
29	76	3	HAJ21	ADB	HAJ	ADB	21:40	5:30	39							6:40	9:20
30	77	4	GZT06	ADB	GZT	ADB	6:45	10:45	40							3:30	5:30
31	79	4	VAN06	ADB	VAN	ADB	6:45	16:40	41							4:25	11:25
32	80	4	ADA07	ADB	ADA	ADB	7:00	13:30	42							3:00	8:00
33	83	4	AYT/FRA08	ADB	AYT	ADB	8:15	10:45	43	ADB	FRA	ADB	11:50	19:25	44	8:25	12:40
34	87	4	VAS/AYT14	ADB	VAS	ADB	14:00	17:55	45	ADB	AYT	ADB	18:25	20:55	47	5:25	8:25
35	90	4	ASR/NUE17	ADB	ASR	ADB	17:10	20:55	46	ADB	NUE	ADB	21:40	4:10	51	8:55	12:30
36	93	4	AMS18	ADB	AMS	ADB	18:40	2:45	48							7:15	9:35
37	94	4	DIY20	ADB	DIY	ADB	20:10	0:35	49							3:55	5:55
38	95	4	CGN21	ADB	CGN	ADB	21:40	5:20	50							6:40	9:10
39	98	5	GZT/VAN06	ADB	GZT	ADB	6:45	10:45	52	ADB	VAN	ADB	12:45	17:40	58	7:55	12:25
40	99	5	ADA07	ADB	ADA	ADB	7:00	10:30	53							3:00	5:00
41	102	5	TZX07	ADB	TZX	ADB	7:00	11:30	54							4:00	6:00
42	104	5	ERZ07	ADB	ERZ	ADB	7:30	12:15	55							4:15	6:15
43	107	5	FRA/ADA11	ADB	FRA	ADB	11:50	19:25	56	ADB	ADA	ADB	20:10	23:45	61	9:25	13:25
44	108	5	DUS12	ADB	DUS	ADB	12:30	20:15	57							6:45	9:15
45	112	5	AYT18	ADB	AYT	ADB	18:25	20:55	59							2:00	4:00
46	113	5	STR19	ADB	STR	ADB	19:00	2:00	60							6:10	8:30
47	115	5	CGN21	ADB	CGN	ADB	21:40	5:20	62							6:40	9:10
48	116	5	HAJ21	ADB	HAJ	ADB	21:40	5:30	63							6:40	9:20
49	118	6	ZRH/TZX07	ADB	ZRH	ADB	7:15	14:15	64	ADB	TZX	ADB	15:10	19:40	71	10:05	13:55
50	120	6	ERZ/VAN07	ADB	ERZ	ADB	7:30	12:15	65	ADB	VAN	ADB	12:45	17:40	70	8:40	11:40
51	122	6	MLX07	ADB	MLX	ADB	7:50	11:45	66							3:25	5:25
52	126	6	AYT08	ADB	AYT	ADB	8:15	10:45	67							2:00	4:00
53	132	6	FRA/ADA11	ADB	FRA	ADB	11:50	19:25	68	ADB	ADA	ADB	20:10	23:45	75	9:25	13:25
54	134	6	DIY/AYT12	ADB	DIY	ADB	12:15	16:40	69	ADB	AYT	ADB	18:25	20:55	73	5:55	10:10
55	141	6	STN15	ADB	STN	ADB	15:30	0:05	72							7:40	10:05
56	143	6	BSL19	ADB	BSL	ADB	19:00	2:10	74							6:10	8:40
57	145	6	SXF21	ADB	SXF	ADB	21:10	4:10	76							6:00	8:30

Tablo 3.4'ün devamı (Oluşan optimal eşleşmeler)

NO	X _i	Gün		Kalkış yeri	Varış Kalkış	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Uçuş no	Kalkış yeri	Varış Kalkış	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
58	148	7	GZT/VAS06	ADB	GZT	ADB	6:45	10:45	77	ADB	VAS	ADB	14:00	17:55	83	6:55	12:40
59	149	7	ADA07	ADB	ADA	ADB	7:00	13:30	78							3:00	8:00
60	151	7	TZX07	ADB	TZX	ADB	7:00	11:30	79							4:00	6:00
61	155	7	AYT/FRA08	ADB	AYT	ADB	8:15	10:45	80	ADB	FRA	ADB	11:50	19:25	81	8:25	12:40
62	161	7	DIY/AYT12	ADB	DIY	ADB	12:15	16:40	82	ADB	AYT	ADB	18:25	20:55	85	5:55	10:10
63	166	7	ASR/NUE17	ADB	ASR	ADB	17:10	20:55	84	ADB	NUE	ADB	21:40	4:10	88	8:55	12:30
64	169	7	AMS18	ADB	AMS	ADB	18:40	2:45	86							7:15	9:35
65	170	7	ERZ20	ADB	ERZ	ADB	20:15	1:00	87							4:15	6:15
66	172	7	CGN21	ADB	CGN	ADB	21:40	5:20	89							6:40	9:10
67	174	1	VAN/DIY07	AYT	VAN	AYT	7:00	11:30	90	AYT	DIY	AYT	12:00	15:50	92	7:10	10:20
68	175	1	STN07	AYT	STN	AYT	7:05	16:25	91							8:20	10:50
69	177	1	FRA15	AYT	FRA	AYT	15:15	22:20	93							6:05	8:35
70	178	2	LUX05	AYT	LUX	AYT	5:30	13:45	94							7:25	9:45
71	179	2	BSL06	AYT	BSL	AYT	6:05	13:50	95							6:45	9:15
72	180	2	BSL06	AYT	BSL	AYT	6:15	14:25	96							7:00	9:40
73	181	2	TXL06	AYT	TXL	AYT	6:25	14:00	97							6:35	9:05
74	182	2	HAJ06	AYT	HAJ	AYT	6:50	14:55	98							7:05	9:35
75	184	2	ERZ/FDH07	AYT	ERZ	AYT	7:00	11:05	99	AYT	FDH	AYT	12:10	19:30	100	9:55	14:00
76	186	2	MUC/AYT14	AYT	MUC	AYT	14:55	22:25	101							6:25	9:00
77	187	2	FRA15	AYT	FRA	AYT	15:15	22:20	102							6:05	8:35
78	188	2	VIE16	AYT	VIE	AYT	16:15	22:40	103							5:25	7:55
79	189	3	FRA15	AYT	FRA	AYT	15:15	22:20	104							6:05	8:35
80	190	3	ZRH15	AYT	ZRH	AYT	15:15	23:05	105							6:50	9:20
81	191	4	STN07	AYT	STN	AYT	7:05	16:25	106							8:20	10:50
82	192	4	MUC14	AYT	MUC	AYT	14:55	22:25	107							6:25	9:00
83	193	4	FRA15	AYT	FRA	AYT	15:15	22:20	108							6:05	8:35
84	194	5	FKB06	AYT	FKB	AYT	6:00	13:55	109							6:55	9:25
85	195	5	DTM06	AYT	DTM	AYT	6:10	14:30	110							7:20	9:50
86	196	5	HAM06	AYT	HAM	AYT	6:10	14:25	111							7:15	9:45

Tablo 3.4'ün devamı (Oluşan optimal eşleşmeler)

NO	X _i	Gün		Kalkış yeri	Varış Kalkış	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Uçuş no	Kalkış yeri	Varış Kalkış	Varış yeri	Kalkış saati	Varış saati	Uçuş no	Uçuş süresi	Uçuş Görev Süresi
87	197	5	BSL06	AYT	BSL	AYT	6:15	14:25	112							7:00	9:40
88	199	5	TZX/DIY07	AYT	TZX	AYT	7:25	11:25	113	AYT	DIY	AYT	12:00	15:50	115	6:40	9:55
89	200	5	SZG07	AYT	SZG	AYT	7:35	14:10	114							5:45	8:05
90	202	5	MUC14	AYT	MUC	AYT	14:55	22:25	116							6:25	9:00
91	203	5	FRA15	AYT	FRA	AYT	15:15	22:20	117							6:05	8:35
92	204	5	ZRH15	AYT	ZRH	AYT	15:15	23:05	118							6:50	9:20
93	205	5	DUS15	AYT	DUS	AYT	15:30	23:55	119							7:25	9:55
94	206	5	VIE16	AYT	VIE	AYT	16:15	22:40	120							5:25	7:55
95	207	6	ERZ07	AYT	ERZ	AYT	7:00	11:05	121							3:35	5:35
96	208	6	FRA15	AYT	FRA	AYT	15:15	22:20	122							6:05	8:35
97	209	6	ZRH15	AYT	ZRH	AYT	15:15	23:05	123							6:50	9:20
98	210	7	BSL06	AYT	BSL	AYT	6:15	14:25	124							7:00	9:40
99	211	7	LEJ07	AYT	LEJ	AYT	7:00	14:25	125							6:35	8:55
100	213	7	TZX/DIY07	AYT	TZX	AYT	7:25	11:25	126	AYT	DIY	AYT	12:00	15:50	127	6:40	9:55
101	215	7	MUC14	AYT	MUC	AYT	14:55	22:25	128							6:25	9:00
102	216	7	FRA15	AYT	FRA	AYT	15:15	22:20	129							6:05	8:35
103	217	7	ZRH15	AYT	ZRH	AYT	15:15	23:05	130							6:50	9:20
104	218	7	CGN15	AYT	CGN	AYT	15:55	0:10	131							7:15	9:45
105	219	7	BRE16	AYT	BRE	AYT	16:10	0:25	132							7:15	9:45
106	220	7	VIE16	AYT	VIE	AYT	16:15	22:40	133							5:25	7:55

3.1.4.1. Tamsayı Programlama ile Çözüm Sonuçları

Ekip eşleştirme probleminin küme bölme modeli ile çözümünde ilk olarak tamsayı programlama ile çözüme gidilmiştir. Bunun için MATLAB programından faydalanılmıştır. Matris formunda ifade edilen kısıt sistemi, sağ taraf değerleri ve amaç fonksiyonu MATLAB Optimization Toolbox modülünün kullanılmasıyla kısa sürede çözüm vermiştir.

Ekip eşleştirme probleminin çözümü için amaç fonksiyonun değiştiği 3 farklı senaryo oluşturulmuş, oluşan eşleşmelerin sayısında bir fark olmadığı görülmüştür. Toplam 220 olası eşleştirmeden optimal sonucu veren en az 106 eşleşmeyle tüm kısıtların sağlanabileceği ve kapsanmayan uçuş kalmayacağı görülmüştür. Tablo 3.4.'te 2.ve 3. senaryodan elde edilen 106 adet eşleşmeden ilk 66 tanesinin İzmir, diğer 40 tanesinin Antalya merkezli olduğu görülmektedir.

Aynı eşleştirme problemi şirketin ekip planlama departmanında çalışan bir uzman tarafından yapıldığında 75 tanesi İzmir ve 41 tanesi Antalya merkezli olmak üzere 116 eşleştirmelik bir çözüm elde edilmiştir. Tez çalışmasında oluşturulan modelin tamsayı çözümünün şirketin eşleştirme planına göre % 9.5'lik bir iyileştirme sağlayabileceği anlaşılmaktadır. Hoffman ve Padberg (1993), özellikle büyük havayolu şirketlerinde uçuş personeli maliyetinin yıllık 1.3 milyar dolar ile önemli bir maliyet kalemi oluşturduğunu, bu maliyetlerde ufak bir iyileştirme ile şirketin hatırı sayılır büyüklükte bir tasarruf sağlayacağını söylemişlerdir. Bu nedenle, havayolu şirketleri bu ve benzer modellerle maliyetlerini minimize etmek için çözüm aramaya devam etmektedirler.

3.1.5. Havayolu Ekip Eşleştirme Probleminin Genetik Algoritmalarla Çözümü

Bu bölümde, küme bölme modeli olarak ifade edilen ekip eşleştirme probleminin Genetik Algoritmalar yöntemiyle çözümü üzerinde durulmaktadır.

Ekip eşleştirme problemine ait uygunluk fonksiyonu, tüm uçuşların sadece birer kez kapsanacağı şekilde oluşturulan kısıtlar sistemini göz önüne alarak eşleşme sayısının minimize edilmesidir ve aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

$$\text{Min } f(x) = \sum_{i=1}^{220} x_i$$

Problemdede kromozom yapısı olarak her bir sütunun (olası eşleştirmenin) bir bit olarak gösterildiği ikili (binary) kodlama kullanılmaktadır. Bu durumda dizinin uzunluğu ile sütun sayısı birbirine eşit olmalıdır. Problem 220 sütundan oluştuğundan kromozom yapısı olarak 220 bitlik ikili (binary) dizi gösterimi kullanılmıştır. i. bitin 1 değerini alması i. sütunun çözümde olduğunu, 0 değerini alması ise çözümde olmadığını göstermektedir. Birey kromozomların küme bölme problemi için ikili dizi şeklinde gösterimi Şekil 3.4’de görülmektedir. Her dizi olası eşleşme sayısı uzunluğuna eşittir (Küme bölme modelinin genetik algoritmalarla çözümünün anlatıldığı küçük ölçekli bir örnek Ek-2’de verilmiştir).

1	2	3	4	5	6	...	n-1	n
1	0	1	0	0	1	...	1	0

Şekil 3.4. Bireylerin kromozomlarının ikili gösterimi

Problemin genetik algoritmalarla çözümünde MATLAB bilgisayar programının “Genetik Algorithm and Direct Search” araç kutusundan faydalanılmıştır. Çözümler farklı özelliklere sahip 2 bilgisayarda programın çalıştırılmasıyla araştırılmıştır (Matlab kodları için Bkz Ek-3). Bilgisayarlardan birisi AMD Sempron Processor, 2800 +, 1.60 Ghz, 224 MBRAM özelliğine sahiptir. Bu bilgisayar genellikle hafta içi yapılan denemelerde kullanılmıştır. Diğeri hafta sonları ve mesai saatleri dışında evden çalışma yapabilmek için Intel (R) Core (TM) 2 CPU, T 5500, 1.66 Ghz 980 Mhz, 504 MB RAM özelliğine sahip bilgisayardır. Çalışmaların %86.7’si ilk bilgisayarda %13.3’ü bahsedilen ikinci bilgisayarda denenmiştir.

Genetik algoritmalar, bir optimizasyon sorununa en uygun çözümü en kısa zamanda bulabilmek için evrim teorisinden esinlenerek ortaya konulmuş bir yöntemdir. GA’ların temelinde rastgele örnekleme bulunur ve bu nedenle GA’lar belirsiz (deterministik olmayan) yöntemlerdir. Genetik algoritmaların işleyişinde belli bir belirginlik olmamasının doğal sonucu olarak aynı sorun için aynı GA modeli değişik defalar kullanılınca birbirinden farklı sonuçlar verebilir. Verilen bir soruna geçerli olabilecek çok fazla sayıda çözüm üretir. Bunların arasında en iyisinin seçilmesi araştırmacının inisiyatifine kalmıştır (Şen, 2004: 63-64).

Küme bölme modelinin çözümünde MATLAB programı çalıştırılırken farklı seçeneklerle denemeler yapılmış ve genetik algoritmaların parametrelerindeki değişimlerin uygunluk değeri üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Bunun için farklı kombinasyonlarla toplam 120 adet deneme yapılmıştır. Genetik algoritmalarla modelin çözümü incelenirken seçim yöntemi, çaprazlama yöntemi ve popülasyon büyüklüğünde değişiklikler ve farklı kombinasyonlar denenmiştir. Mutasyonda değişiklik yapılamamıştır, çünkü MATLAB bilgisayar programı kısıtlı problemlerin Genetik algoritma ile çözümünde Adaptive Feasible adında tek bir mutasyon çeşidi kullanmaktadır.

Modelin genetik algoritma ile çözümünde denenen kombinasyonlar ile elde edilen uygunluk değerleri ve optimal değerden sapmalar Tablo 3.5’de özetlenmektedir. Tamsayı programlamada elde edilen sonucun optimal olduğunun bilinmesi optimal değerden sapmayı hesaplanabilir kılmıştır. Optimalden sapmalar; $\sigma = \frac{S_t - S_o}{S_o} \times 100$ formülü ile hesaplanmıştır. Burada S_t , t.denemeden elde edilen uygunluk değerini, S_o ise optimal uygunluk değerini ifade etmektedir (Chu ve Beasley, 1995).

Tablo 3.5. Küme bölme modelinin genetik algoritmalar ile çözüm sonuçları

Deneme	Seçim	Çaprazlama	Çap.Oranı	Pop.Büy	Süre(sn)	Uyg.Değ	Opt.sap.
1	S*	D	0.8	600	26070	112	%5.6
2	S	D	0.8	600	27758	112	%5.6
3	S	D	0.8	600	26328	112	%5.6
4	S	D	0.8	600	27313	112	%5.6
5	S	D	0.8	600	8275 ^a	109	%2.8
6	S	D	0.8	100	1613 ^a	111	%4.7
7	S	D	0.8	100	1318 ^a	114	%7.5
8	S	D	0.8	100	1632 ^a	113	%6.6
9	S	D	0.8	100	3548 ^a	113	%6.6
10	S	D	0.8	100	2116	113	%6.6
11	S	D	0.8	100	2291	113	%6.6
12	S	D	0.8	100	2114	113	%6.6
13	S	D	0.8	100	2245	113	%6.6
14	S	D	0.8	100	2000	113	%6.6
15	S	D	0.8	100	1636 ^a	113	%6.6
16	S	D	0.8	100	3505 ^a	113	%6.6
17	R	D	0.8	100	8865 ^a	112	%5.6
18	R	D	0.8	100	3356 ^a	116	%9.4
19	R	D	0.8	400	24219 ^a	109	%2.8
20	S	D	0.8	100	17673	114	%7.5
21	S	D	0.8	100	19239	114	%7.5
22	S	D	0.8	100	18108	114	%7.5
23	S	D	0.8	100	1868	119	%12.3
24	S	D	0.8	100	2000	119	%12.3
25	S	D	0.8	200	16269	109	%2.8

Tablo 3.5'in devamı

Deneme	Seçim	Çaprazlama	Çap.Oranı	Pop.Büy	Süre(sn)	Uyg.Değ	Opt.sap.
26	S	D	0.8	200	17426	109	%2.8
27	S	D	0.8	300	33606	108	%1.9
28	S	D	0.8	100	2255	113	%6.6
29	S	D	0.8	100	2138	113	%6.6
30	R	D	0.8	100	2486	119	%12.3
31	R	D	0.8	200	6053	116	%9.4
32	S	D	0.8	100	3993	118	%11.3
33	R	D	0.8	100	7334	119	%12.3
34	R	D	0.8	200	18272	110	%3.8
35	R	D	0.8	200	19341	114	%7.5
36	R	D	0.8	600	149899	109	%2.8
37	T	D	0.8	600	269714	106	0
38	R	TN	0.8	200	18806	114	%7.5
39	R	ÇN	0.8	200	18773	113	%6.6
40	S	TN	0.8	200	24158	111	%4.7
41	R	TN	0.8	100	9622	112	%5.6
42	R	ÇN	0.8	100	3775	113	%6.6
43	S	ÇN	0.8	100	7412	113	%6.6
44	S	TN	0.8	300	20274	108	%1.9
45	R	ÇN	0.8	300	28512	108	%1.9
46	R	TN	0.8	300	26679	112	%5.6
47	R	ÇN	0.5	600	34642	108	%1.9
48	T	ÇN	0.5	600	45231	108	%1.9
49	R	ÇN	0.5	600	86126	106	0
50	T	TN	0.5	600	124588	107	%0.9
51	R	TN	0.5	600	34814	106	0
52	R	TN	0.5	300	38900	106	0
53	T	ÇN	0.5	300	37651	107	%0.9
54	R	TN	0.5	600	46388	107	%0.9
55	T	TN	0.8	100	7815	116	%9.4
56	T	ÇN	0.8	200	18330	112	%5.6
57	T	ÇN	0.8	100	9611	117	%10.4
58	T	TN	0.8	200	18459	110	%3.8
59	T	D	0.8	600	89744 ^a	108	%1.9
60	T	TN	0.8	200	16053	113	%6.6
61	T	ÇN	0.8	200	19274	114	%7.5
62	T	ÇN	0.8	400	35902	110	%3.8
63	T	D	0.8	400	37888	108	%1.9
64	S	ÇN	0.8	400	41149	109	%2.8
65	R	ÇN	0.5	400	34110	108	%1.9
66	T	ÇN	0.5	400	34171	108	%1.9
67	S	ÇN	0.5	200	18316	107	%0.9
68	T	ÇN	0.5	200	27213	115	%8.5
69	T	ÇN	0.5	200	26409	113	%6.6
70	R	ÇN	0.5	200	26388	107	%0.9
71	T	TN	0.5	200	27639	110	%3.8
72	S	ÇN	0.5	400	40090	106	0
73	T	TN	0.5	400	40184	109	%2.8
74	T	TN	0.5	400	49644	108	%1.9
75	R	TN	0.5	400	56241	107	%0.9
76	S	TN	0.5	400	51280	106	0
77	S	TN	0.5	200	26015	107	%0.9
78	S	ÇN	0.5	200	28902	106	0

Tablo 3.5'in devamı

Deneme	Seçim	Çaprazlama	Çap.Oranı	Pop.Büy	Süre(sn)	Uyg.Değ	Opt.sap.
79	T	TN	0.5	200	28091	109	%2.8
80	R	TN	0.5	200	27897	107	%0.9
81	R	TN	0.5	200	19277	109	%2.8
82	R	ÇN	0.5	600	46347	107	%0.9
83	T	TN	0.5	400	56695	108	%1.9
84	T	ÇN	0.5	400	54301	107	%0.9
85	T	D	0.5	400	26938	109	%2.8
86	R	ÇN	0.5	400	39151	107	%0.9
87	R	ÇN	0.5	300	44594	107	%0.9
88	R	TN	0.5	300	40252	107	%0.9
89	R	ÇN	0.5	300	22219	108	%1.9
90	R	TN	0.5	300	38312	108	%1.9
91	T	TN	0.5	300	40862	106	0
92	T	TN	0.5	300	56931	108	%1.9
93	T	TN	0.5	300	54477	109	%2.8
94	R	TN	0.5	300	26170	107	%0.9
95	T	TN	0.5	300	37719	108	%1.9
96	T	ÇN	0.5	300	37282	109	%2.8
97	R	TN	0.5	400	66687	106	0
98	S	TN	0.5	400	59906	107	%0.9
99	S	TN	0.5	400	60235	108	%1.9
100	S	D	0.8	600	8124^a	106	0
101	R	TN	0.5	200	33247	106	0
102	T	TN	0.5	200	32830	106	0
103	T	ÇN	0.5	300	75262	107	%0.9
104	T	TN	0.8	300	39927	111	%4.7
105	T	ÇN	0.8	300	44395	115	%8.5
106	S	TN	0.5	300	102036	108	%1.9
107	S	ÇN	0.5	300	70176	107	%0.9
108	T	ÇN	0.5	300	84242	106	0
109	R	TN	0.5	400	39873	107	%0.9
110	R	ÇN	0.5	400	91394	106	0
111	R	ÇN	0.5	400	64388	108	%1.9
112	T	TN	0.5	400	29470	106	0
113	R	TN	0.5	400	30943	109	%2.8
114	R	ÇN	0.5	400	49084	106	0
115	R	TN	0.5	400	50497	109	%2.8
116	R	ÇN	0.5	600	78107	108	%1.9
117	R	TN	0.5	600	23881 ^a	108	%1.9
118	R	ÇN	0.5	600	23962 ^a	107	%0.9
119	R	TN	0.5	600	20932 ^a	108	%1.9
120	R	ÇN	0.5	600	24187 ^a	107	%0.9

* R: Rulet tekerleği seçim yöntemi, T: Turnuva seçim yöntemi, S:Stokastik üniform seçim yöntemi,
 ÇN:Çift noktalı çaprazlama, TN: Tek noktalı çaprazlama, D:Dağınık çaprazlama
 (^a ikinci bilgisayarla yapılan denemeler)

Tablo 3.6. Uygunluk değeri frekansları tablosu

Uygunluk değeri			
	Frekans	Yüzde değeri	Kümülatif yüzde
106	16	13.3	13.3
107	20	16.7	30.0
108	21	17.5	47.5
109	14	11.7	59.2
110	4	3.3	62.5
111	3	2.5	65.0
112	9	7.5	72.5
113	15	12.5	85.0
114	7	5.8	90.8
115	2	1.7	92.5
116	3	2.5	95.0
117	1	.8	95.8
118	1	.8	96.7
119	4	3.3	100.0
Toplam	120	100.0	

Yapılan 120 denemeden elde edilen uygunluk değerleri incelendiğinde % 13.3 oranında 106 değerine yani optimal sonuca ulaşıldığı görülmüştür. Toplam içinde % 59.2'lik kısmın uygunluk değeri 109 ve altında olan ve optimal sonuçtan maksimum %2.8'lik sapma yaratan değerlerden oluştuğu görülmektedir.

3.1.5.1. Seçim Yönteminde Yapılan Değişikliklerin Sonuçlara Etkisi

MATLAB ile genetik algoritmaların çözümü incelenirken 3 farklı seçim yöntemi denenmiştir. Bunlar rulet tekerleği yöntemi, turnuva yöntemi ve stokastik üniform yöntemidir. Literatürde en sık kullanılan seçim yöntemleri ilk ikisidir. Bu yöntemlerden rulet tekerleği ve turnuva yöntemi 1. bölümde anlatılmıştı. Hiçbir değişiklik yapılmazsa MATLAB otomatik olarak stokastik üniform seçim yöntemini kullanmaktadır. Bu nedenle bu yöntem de araştırmaya dahil edilmiştir. Stokastik üniform yönteminde ebeveynler bir doğru üzerinde ölçekleriyle orantılı olarak bir paya sahip olurlar. Sonra, algoritmaya göre doğru üzerinde belirlenmiş bir boyutta adım adım ilerlenir. Her adımda varılan ebeveyn seçilir. İlk nokta için üniform rassal sayı ile adım büyüklüğünden küçük bir değer belirlenir.

Yapılan 120 denemenin % 33.3'nde stokastik üniform, %33.3'nde rulet tekerleği ve yine % 33.3'nde turnuva seçim yöntemi kullanılmıştır.

Seçim yöntemi ile bulunan uygunluk değerleri arasındaki çapraz tablolarla inceleme yapıldığında optimal sonuç olan 106 değerine % 43.7 oranında rulet tekerleği yöntemi, %31.3 oranında turnuva seçimi yöntemi ile ve % 25 oranında stokastik üniform yöntemiyle ulaşıldığı görülmüştür.

3.1.5.2. Çaprazlama Yöntemi ve Çaprazlama Oranında Yapılan Değişikliklerin Sonuçlara Etkisi

Çaprazlama ile ilgili üç farklı yöntemle denemeler yapılmıştır. Bunlar tek noktalı çaprazlama, çift noktalı çaprazlama ve dağınık (scattered) çaprazlamadır. İlk 2 yöntem birinci bölümde ayrıntılı olarak incelenmişti. Bunlara ek olarak MATLAB herhangi bir ayar yapılmazsa çaprazlama yöntemi olarak dağınık çaprazlamayı kullandığı için bu yöntem de denemelere dahil edilmiştir. Dağınık çaprazlama yöntemi rassal bir ikili vektör oluşturur. Vektörde 1 olan genler için 1. bireyden, 0 olan değerler için 2. bireyden genler alınarak birleştirilir ve yeni bireyler oluşturulur. Örneğin, P1: [a b c d e f g h] ve P2: [1 2 3 4 5 6 7 8] olsun. Oluşturulan rastsal vektör [1 1 0 0 1 0 0 0] ise; yeni birey [a b 3 4 e 6 7 8] şeklinde olacaktır.

Yapılan 120 denemenin 40'nda dağınık, 40'nda tek noktalı çaprazlama ve 40'nda çift noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Çaprazlama yöntemi ile bulunan uygunluk değerleri arasındaki ilişki çapraz tablolarla incelendiğinde optimal sonuç olan 106 değerine %50 oranında tek noktalı çaprazlama, %37.5 oranında çift noktalı çaprazlama ve %12.5 oranında dağınık çaprazlama ile ulaşıldığı görülmüştür.

Çaprazlama yönteminin yanı sıra çaprazlama oranında da 0.5 ve 0.8 değerleri alınarak çözümlerdeki değişimler incelenmiştir. Denemelerin % 50'sinde çaprazlama oranı 0.5 ve %50'sinde çaprazlama oranı 0.8 olarak alınmıştır. Çaprazlama oranlarında yapılan değişiklikler ile bulunan uygunluk değerleri arasındaki ilişki çapraz tablolarla incelendiğinde optimal sonuç olan 106 değerine %87.5 0.5'lik çaprazlama oranıyla ve %12.5 0.8'lik çaprazlama oranıyla ulaşıldığı görülmüştür.

3.1.5.3. Popülasyon Büyüklüğünde Yapılan Değişikliklerin Sonuçlara Etkisi

Denemeler yapılırken popülasyon büyüklükleri 100 (%28), 200 (%24), 300 (%24), 400 (%24) ve 600 (%20) olarak alınmıştır. Popülasyon büyüklüğü her bir jenerasyonda kaç tane birey olacağını gösterir. Büyük popülasyon büyüklüğünde genetik algoritma çözüm uzayını daha geniş bir şekilde aramakta ancak büyük popülasyon büyüklüğü algoritmanın yavaş çalışmasına da sebebiyet verebilmektedir (Mathworks, 2005, 6-6).

Popülasyon büyüklüğü ile bulunan uygunluk değerleri arasındaki ilişki çapraz tablolarla incelendiğinde optimal sonuç olan 106 değerine %37.4 oranında 400, %25 oranında 300, %18.8 oranında 200 ve % 18.8 oranında 600'lük popülasyon büyüklükleriyle ulaşıldığı popülasyon büyüklüğü 100 olduğunda optimal sonuca ulaşılamadığı görülmüştür.

Bunlardan başka genetik algoritmalarla çözümde en iyi 4 bireyin çözümde kalmasını sağlayacak şekilde elitist stratejide dikkate alınmıştır.

MATLAB'ın "Genetic Algorithm and Direct Search" modülü yardımıyla çözülen küme bölme modelinde, optimal çözüme ulaşılan deneme numaraları ve kullanılan parametreler ile bilgisayar programı çalıştırıldığında programın sonlanma sebepleri Tablo 3.7'de gösterilmiştir. Çalışmada problemin durma kriterleri olarak jenerasyon limiti, tekrar etme limiti ve tekrar süresi limiti alınmıştır. Problem bunlardan birine ulaştığında sonlanmaktadır. Örneğin jenerasyon limiti sebebiyle sonlanmada, problemin belirtilen jenerasyon sayısı kadar devam ettiği ve belirtilen limite ulaştığında sonlandığı anlaşılmaktadır. Tekrar etme limitinde, bulunan uygunluk değeri üst üste tekrar etme limitinde belirtildiği sayı kadar devam ettiğinde program sonlanıyor demektir. Süre tekrarı limiti ise uygunluk değeri belirtilen süre limiti boyunca aynı değeri veriyorsa programın sonlandığı anlamına gelmektedir. Çalışmadaki tüm denemelerde tekrar etme süresi limiti 60000 sn olarak alınmıştır (durma kriterleriyle ilgili şekiller Ek-4'de verilmiştir).

Tablo 3.7. Optimal sonuca ulaşılan parametreler, durma kriterleri ve durma sebebi

Deneme No	Problemin parametreleri				Süre (Sn)	Durma kriterleri		Durma sebebi
	Seçim Yönt.	Çap. Yönt.	Çap. Oranı	Pop. Büy.		Jen. Limiti	Tekrar Etme limiti	
37	T	D	0.8	600	269714	500	500	Süre
49	R	ÇN	0.5	600	86126	500	500	Süre
51	R	TN	0.5	600	34814	300	150	Tekrar
52	R	TN	0.5	300	38900	300	250	Jen.lim.
72	S	ÇN	0.5	400	40090	400	200	Tekrar
76	S	TN	0.5	400	51280	400	200	Jen.lim.
78	S	ÇN	0.5	200	28902	400	200	Jen.lim.
91	T	TN	0.5	300	40862	400	200	Jen.lim.
97	R	TN	0.5	400	66687	400	250	Jen.lim.
100	S	D	0.8	600	8124 ^a	250	100	Tekrar
101	R	TN	0.5	200	33247	400	250	Jen.lim.
102	T	TN	0.5	200	32830	400	250	Jen.lim.
108	R	ÇN	0.5	300	84242	500	500	Süre
110	T	ÇN	0.5	400	91394	500	500	Jen.Lim.
112	R	TN	0.5	400	29470	300	150	Jen.Lim.
114	T	ÇN	0.5	400	40084	300	250	Jen.Lim.

Genetik algoritmalarından elde edilen optimal çözümlerin birbirinden farklı alternatifler verip vermediğini görmek için SPSS programında Cochran Q testinden faydalanılmıştır. Cochran Q testi iki ya da daha fazla bağımlı setin frekanslarının birbirlerinden önemli bir farklılık gösterip göstermediğini test etmek için geliştirilmiştir. R sıra ve C sütunda yer alan var-yok, 0-1, evet-hayır gibi ikili değer içeren cevapların işlemlere göre farklılığını test etmek için Q testinden faydalanılır. K-bağımlı grup verilerine Cochran Q testi uygulamak için her birimin skorları 0-1 biçiminde ikili olmalı ya da 0-1 biçimine dönüştürülmelidir (Özdamar, 2004: 515). SPSS’te Cochran Q ile test edilebilecek değişken sayısı 166 ile kısıtlı olduğu için 220 değişkenlik problem 110’ar değişkenlik iki problem gibi düşünülerek test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar her bir optimal çözümde elde edilen değişkenler arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde bir farklılık olduğunu ($p=0.000$) göstermektedir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8. İlk 110 ve ikinci 110 değişken için elde edilen Cochran Q istatistiği sonuçları.

Test Statistics		Test Statistics	
N	16	N	16
Cochran's Q	883.262 ^a	Cochran's Q	1327.680 ^a
df	109	df	109
Asymp. Sig.	.000	Asymp. Sig.	.000

a. 1 is treated as a success.

a. 0 is treated as a success.

Bulunan 16 optimal çözüm incelendiğinde sadece 37 ve 108. denemede aynı X değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Tamsayı programlamayla çözümden farklı olarak 15 adet alternatif çözüme ulaşılmıştır. Bu durum planlamayı yapan kişiye farklı uçuş alternatifleri sunarak bir esneklik sağlamaktadır.

3.1.5.4. Genetik Algoritmalarındaki Farklı Parametrelerle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Çalışmada seçim yöntemi, çaprazlama yöntemi çaprazlama oranı ve popülasyon büyüklüğünün uygunluk değeri ile ilişkisini araştırırken SPSS’te çok yönlü ANOVA analizinden faydalanılmıştır. Bağımlı değişken uygunluk değerinden % sapma değeri olarak alınırken bağımsız değişkenler seçim yöntemi, çaprazlama yöntemi, çaprazlama oranı ve popülasyon büyüklüğü olarak alınmıştır. Böylece bağımlı değişken üzerinde

bağımsız değişkenlerin ayrı ayrı etkilerinin yanı sıra birbirleri ile olan etkileşimi de hesaba katılmış olmaktadır (Kalaycı, 2005:164).

Seçim yöntemi, çaprazlama yöntemi, çaprazlama oranı ve popülasyon büyüklüğünün uygunluk değerinden % sapma üzerindeki ve kendi aralarındaki etkileşimleri çok yönlü ANOVA analizi ile test edilmiş ve sonuçlar Tablo 3.9’da verilmiştir. Optimal değerden % sapma bağımlı değişken olarak alındığında, seçim yöntemi ($p=0.010$), çaprazlama oranı ($p=0.000$) ve popülasyon büyüklüğünün ($p=0.000$) uygunluk değerinden sapma üzerinde 0.05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu görülmüştür. Çoklu etkileşimlerin optimal değerden % sapma üzerine etkisi incelendiğinde, seçim yöntemi-popülasyon büyüklüğü etkileşiminin ($p=0.084$), seçim yöntemi-çaprazlama oranı-popülasyon büyüklüğü etkileşiminin ($p=0.098$) ve seçim yöntemi-çaprazlama oranı-çaprazlama yöntemi-popülasyon büyüklüğü etkileşiminin ($p=0.077$) optimal değerden % sapma üzerinde 0.10 anlamlılık düzeyinde etkisi olduğu görülmektedir. R^2 değeri, seçilen değişkenlerin uygunluk değerini %85.9 oranında açıkladığını göstermektedir.

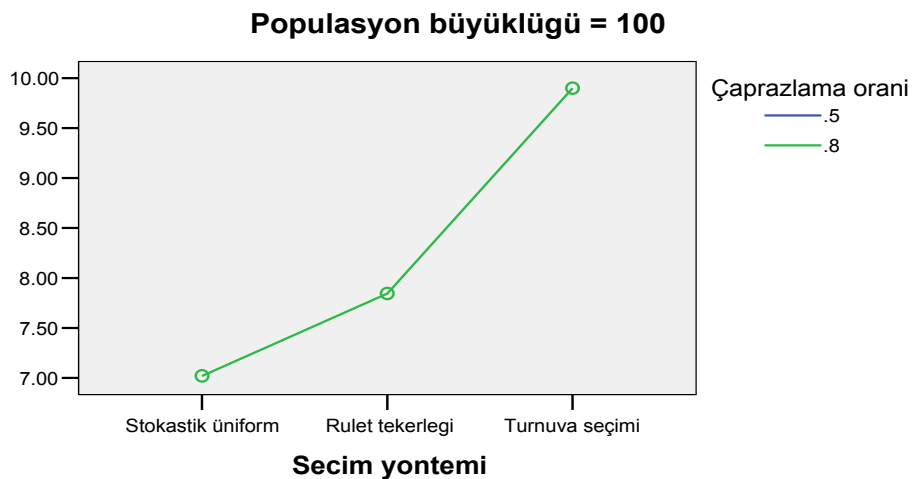
Tablo 3.9. Konular arası etkileşim testi

	F	Sig.
Düzeltilmiş model	8.989	.000
Sabit terim	287.431	.000
Seçim yöntemi	4.964	.010
Çaprazlama oranı	25.139	.000
Çaprazlama yöntemi	.310	.735
Popülasyon büyüklüğü	11.927	.000
Seçim * Çaprazlama oranı	1.063	.351
Seçim * Çaprazlama yöntemi	1.446	.228
Çaprazlama oranı * Çaprazlama yöntemi	.389	.535
Seçim * Çaprazlama oranı * Çaprazlama yöntemi	1.183	.280
Seçim yöntemi * Popülasyon büyüklüğü	1.837	.084
Çaprazlama oranı * Popülasyon büyüklüğü	.699	.500
Seçim * Çaprazlama oranı * Popülasyon büyüklüğü	2.178	.098
Çaprazlama yöntemi * Popülasyon büyüklüğü	1.388	.224
Seçim * Çaprazlama yöntemi * Popülasyon büyüklüğü	1.048	.402
Çaprazlama oranı * Çaprazlama yöntemi * Popülasyon büyüklüğü	.274	.602
Seçim * Çaprazlama oranı * Çaprazlama yöntemi * Popülasyon büyüklüğü	3.227	.077

$R^2= 0.859$

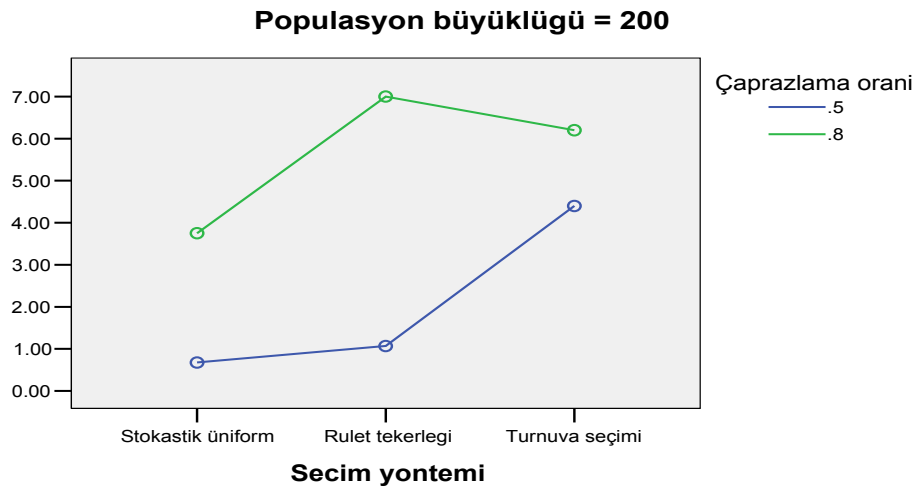
3.1.5.4.1. Seçim Yöntemi, Çaprazlama Oranı ve Popülasyon Büyüklüğünün Optimal Değerden Yüzde (%) Sapma Üzerine Etkisi

Seçim yöntemi, çaprazlama oranı ve popülasyon büyüklüğünün optimalden % sapma değerine etkisi çok yönlü ANOVA analizi sonucu elde edilen grafikler üzerinde incelenirken popülasyon büyüklüklerinin her bir değeri için ayrı birer grafik elde edilerek değişimlere bakılmıştır.



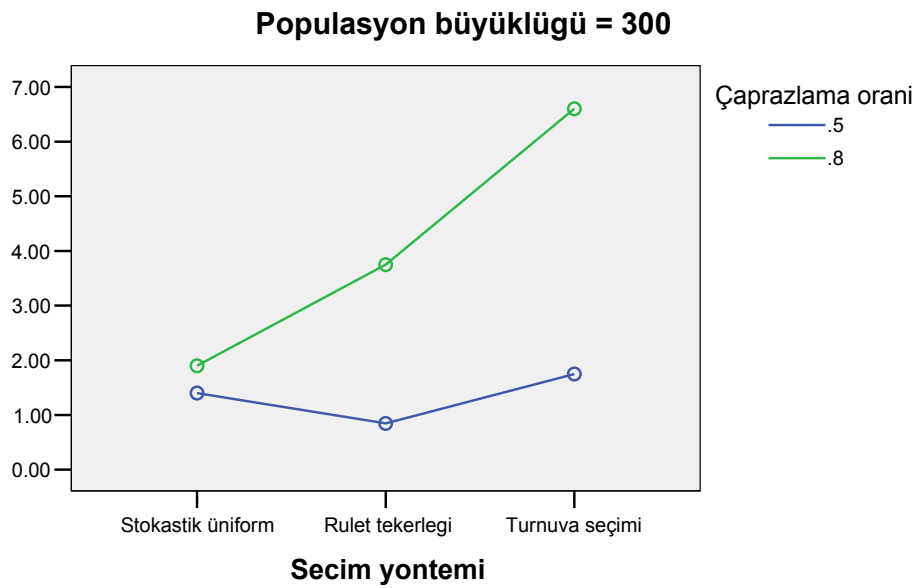
Şekil 3.5. Popülasyon büyüklüğü 100 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Şekil 3.5’de, popülasyon büyüklüğü 100 iken çaprazlama oranı 0.5 olan hiçbir denemenin olmadığı, stokastik üniform seçim yönteminin optimalden en az sapmayı verdiği görülmektedir.



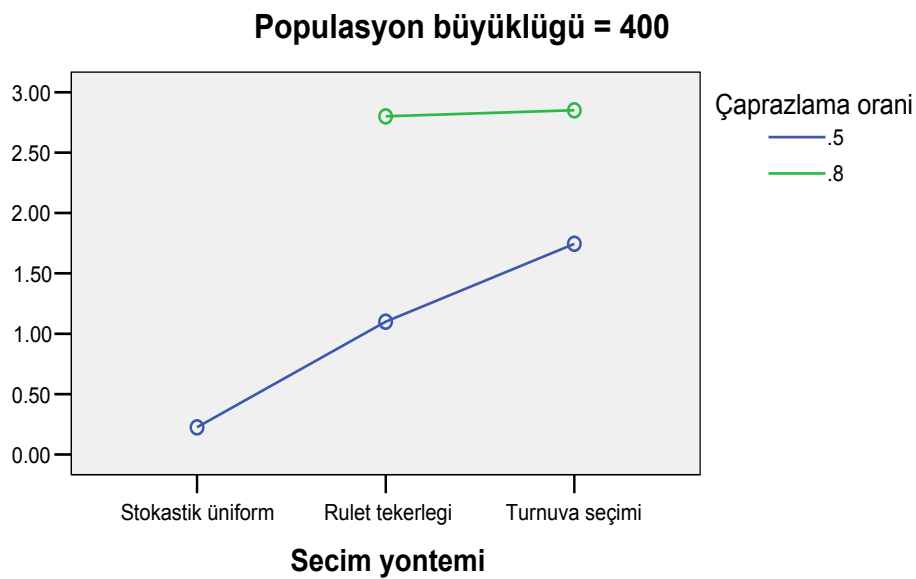
Şekil 3.6. Popülasyon büyüklüğü 200 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Şekil 3.6’da, popülasyon büyüklüğü 200 iken çaprazlama oranı 0.5 ve stokastik üniform seçim yönteminin optimalden en az % sapma değerleri verdiği görülmektedir. Çaprazlama oranı 0.8 olduğunda optimalden % sapma değerleri artmaktadır.



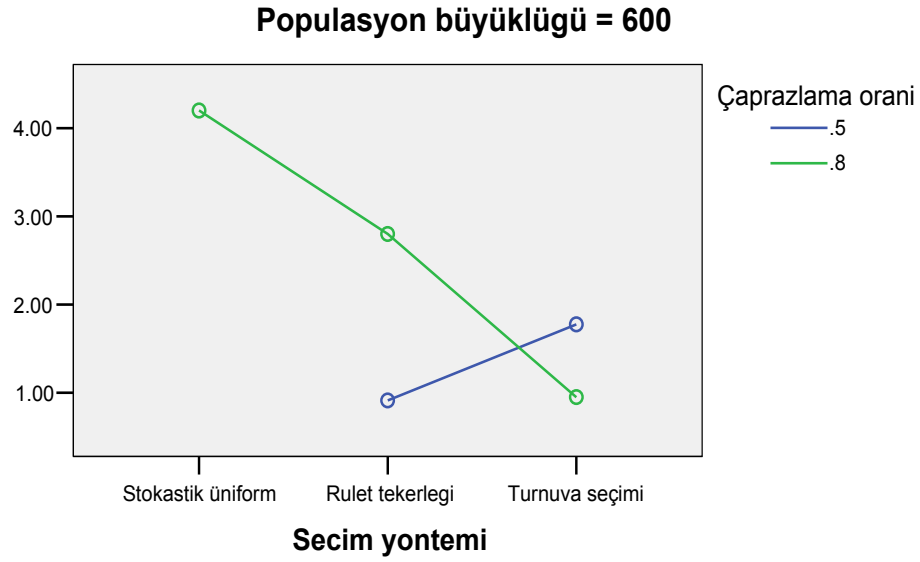
Şekil 3.7. Popülasyon büyüklüğü 300 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Şekil 3.7’de, popülasyon büyüklüğü 300 iken çaprazlama oranı 0.5 ve rulet tekerleği seçim yönteminin optimalden en az % sapmayı verdiği görülmektedir. Çaprazlama oranı 0.8 olduğunda optimalden en az % sapma değerleri stokastik üniform seçim yöntemi kullanıldığında elde edilmektedir.



Şekil 3.8. Popülasyon büyüklüğü 400 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

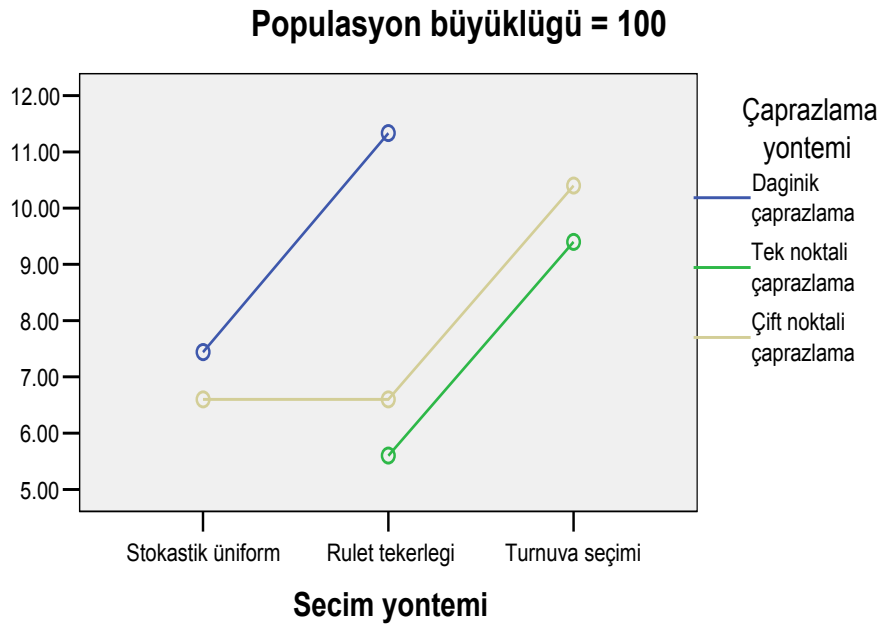
Şekil 3.8’de popülasyon büyüklüğü 400 iken çaprazlama oranı 0.5 ve stokastik üniform seçim yönteminin optimalden en az % sapma değerini verdiği görülmektedir. Çaprazlama oranı 0.8 olduğunda optimalden % sapma artmaktadır.



Şekil 3.9. Popülasyon büyüklüğü 600 iken seçim yöntemi ve çaprazlama oranına göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

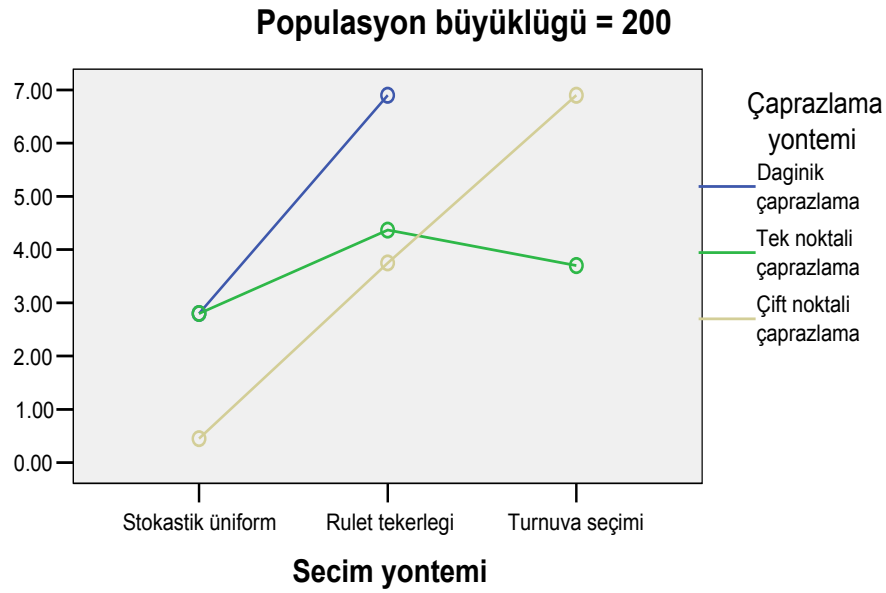
Popülasyon büyüklüğü 600 olduğunda çaprazlama oranı 0.5 ve rulet tekerleği seçim yöntemi ile çaprazlama oranı 0.8 ve turnuva seçim yönteminde optimalden en az % sapma değerlerine ulaşıldığı görülmektedir.

3.1.5.4.2. Seçim Yöntemi, Çaprazlama Yöntemi ve Popülasyon Büyüklüğünün Optimal Değerden Yüzde (%) Sapma Üzerine Etkisi



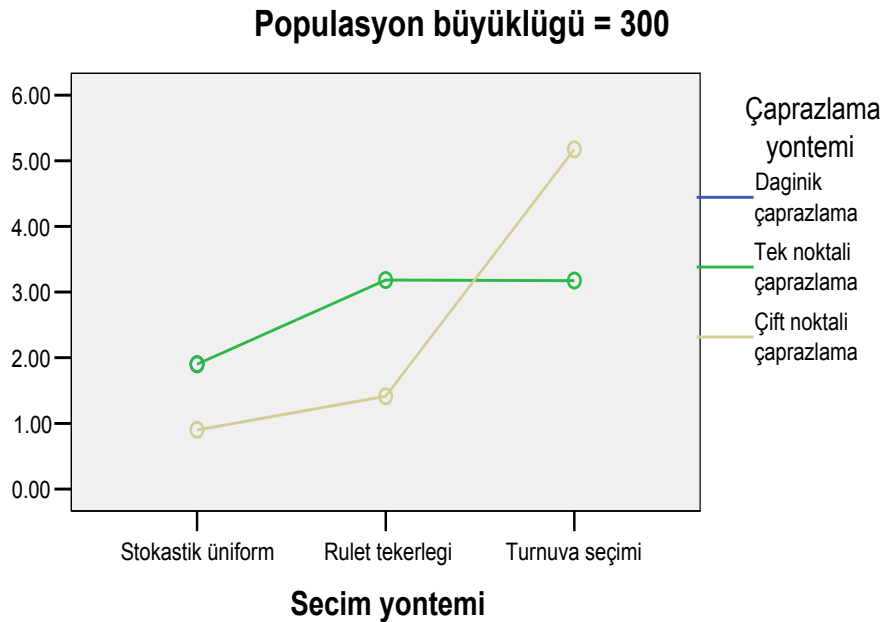
Şekil 3.10. Popülasyon büyüklüğü 100 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Popülasyon büyüklüğü 100 iken optimalden % sapma değerlerinin tek noktali çaprazlama ve rulet tekerleği yöntemiyle yapılan denemelerde daha iyi sonuçlar verdiği, çift noktali çaprazlamada stokastik üniform ve rulet tekerleği yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiği, dağınık çaprazlamada ise stokastik üniform seçim yönteminin daha başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca popülasyon büyüklüğü 100 iken şekilden görüldüğü gibi seçim ve çaprazlama yöntemi kombinasyonlarının optimalden % sapma değerinin 5'ten büyük olduğu görülmektedir.



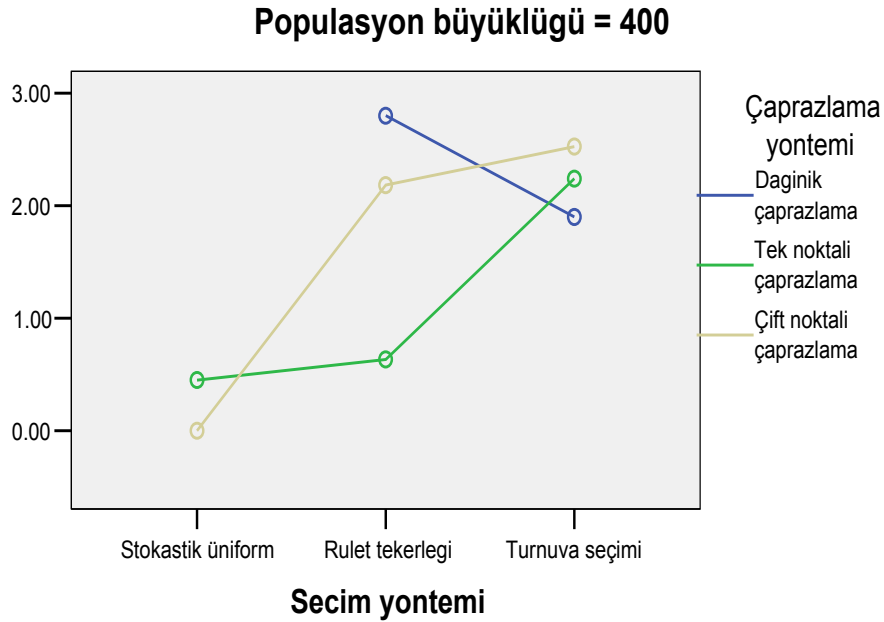
Şekil 3.11. Popülasyon büyüklüğü 200 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Popülasyon büyüklüğü 200 iken optimalden % sapma değerinin çift noktali çaprazlama ve stokastik üniform seçim yöntemiyle yapılan denemelerde 1'den az optimale oldukça yakın sonuçlar verdiği, tek noktali ve dağınik çaprazlamada yine stokastik üniform yönteminin iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



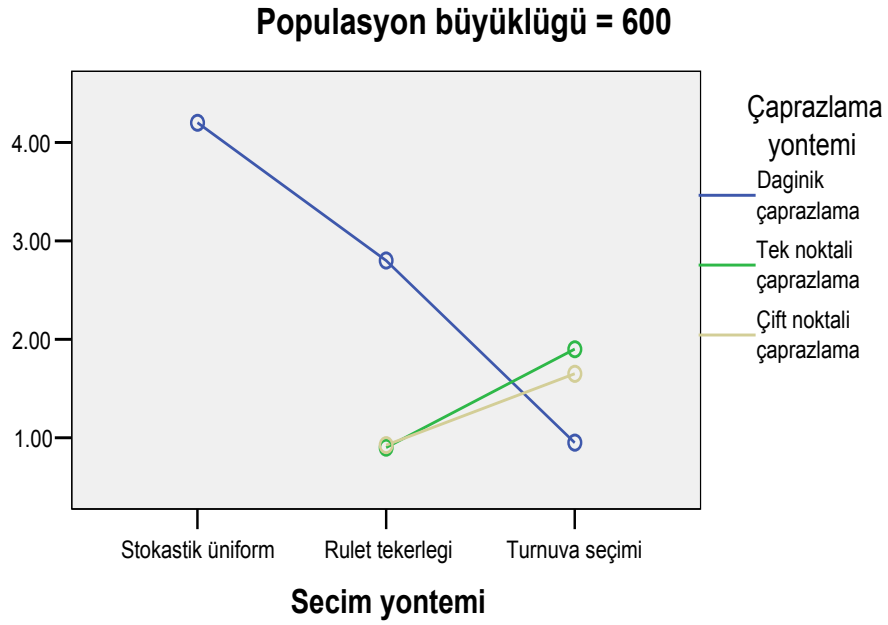
Şekil 3.12. Popülasyon büyüklüğü 300 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Şekil 3.12’de, popülasyon büyüklüğü 300 iken optimumdan % sapmanın çift noktali çaprazlama ve stokastik üniform seçim yöntemiyle yapılan denemelerde daha iyi sonuçlar verdiği, tek noktali çaprazlamada yine stokastik üniform seçim yönteminin diğer seçim yöntemlerine göre daha optimale yakın sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Popülasyon büyüklüğü 300 iken dağınik çaprazlama ile deneme yapılmadığı görülmektedir.



Şekil 3.13. Popülasyon büyüklüğü 400 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

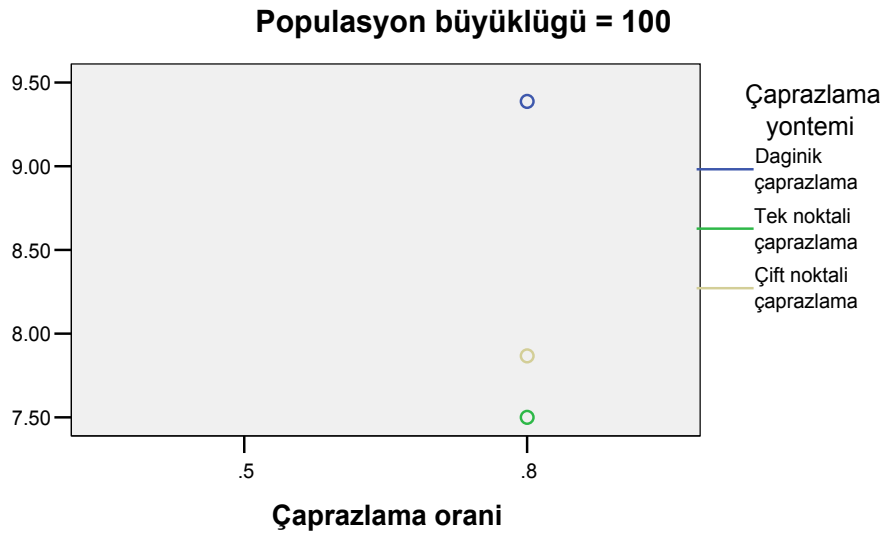
Popülasyon büyüklüğü 400 iken optimalden % sapma değerlerinin çift noktali çaprazlama ve stokastik üniform seçim yöntemiyle yapılan denemelerde oldukça iyi sonuçlar verdiği hatta %0'lık sapma değerine ulaştığı, tek noktali çaprazlamada yine stokastik üniform seçim yönteminin diğer seçim yöntemlerine göre daha optimale yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 3.14. Popülasyon büyüklüğü 600 iken seçim yöntemi ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

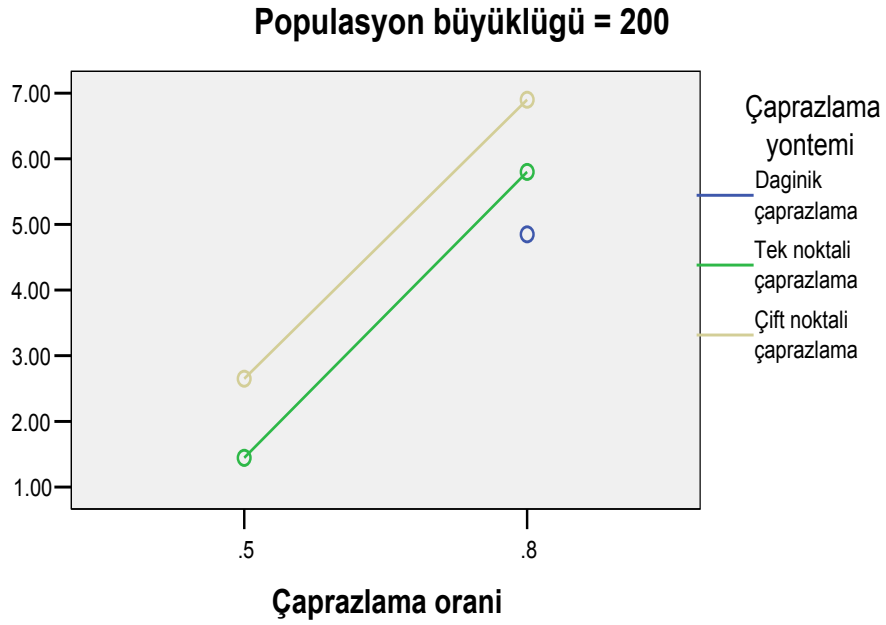
Popülasyon büyüklüğü 600 olduğunda optimalden % sapmanın en az tek noktali ve çift noktali çaprazlamada rulet tekerleği seçim yöntemiyle, dağınık çaprazlamada turnuva seçim yöntemiyle olduğu görülmektedir.

3.1.5.4.3. Çaprazlama Oranı, Çaprazlama Yöntemi ve Popülasyon Büyüklüğünün Optimal Değerden Yüzde (%) Sapma Üzerine Etkisi



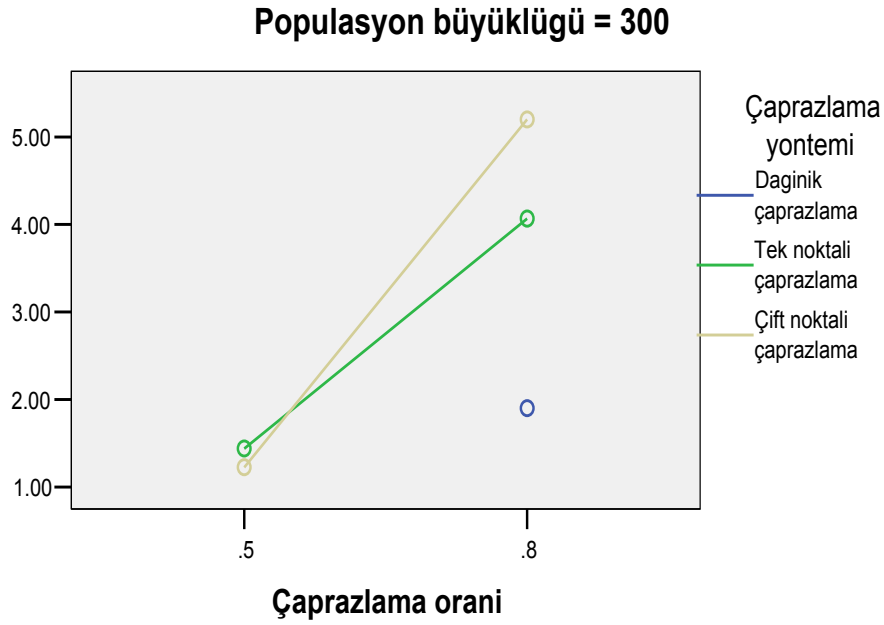
Şekil 3.15. Popülasyon büyüklüğü 100 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Popülasyon büyüklüğü 100 olan denemelerde çaprazlama oranı olarak hiç 0.5 değerinin alınmadığı çaprazlama oranı 0.8 olduğunda en iyi sonucun tek noktali çaprazlama yönteminde çıktığı görülmüştür.



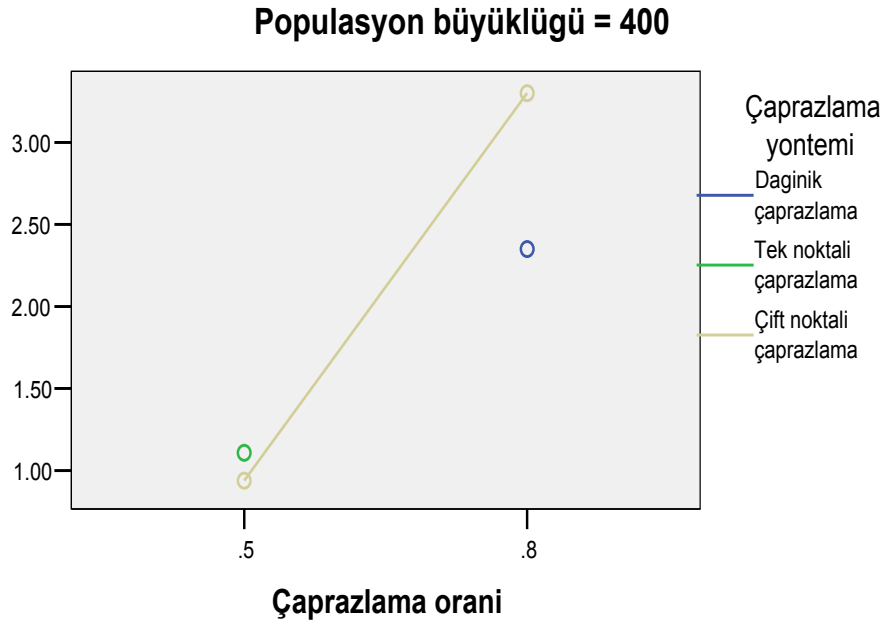
Şekil 3.16. Popülasyon büyüklüğü 200 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Şekil 3.16’da popülasyon büyüklüğü 200 iken 0.5’lik çaprazlama oranında tek noktali çaprazlamanın optimalden en az % sapma değerlerini verdiği 0.8’lik çaprazlama oranında optimalden uzaklaşıldığı görülmektedir.



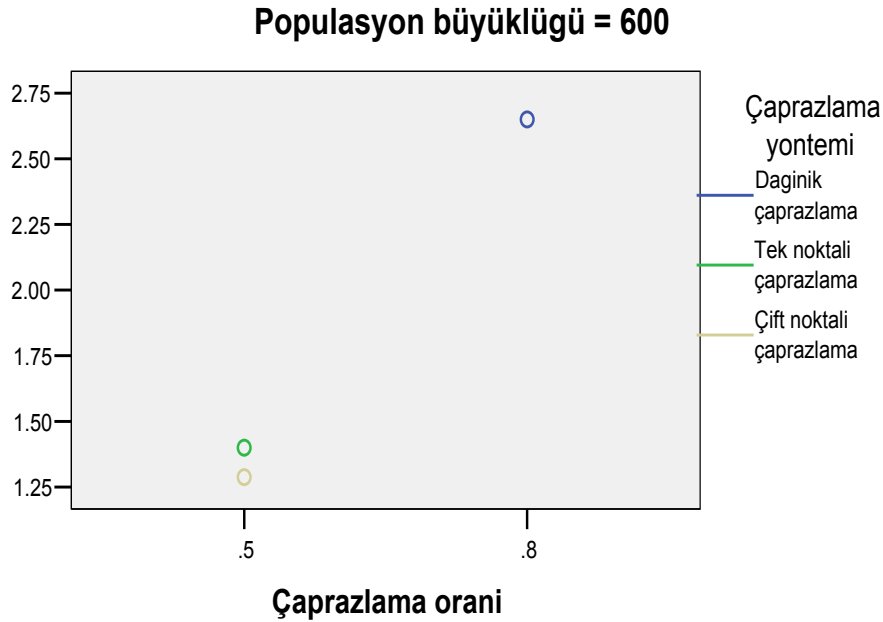
Şekil 3.17. Popülasyon büyüklüğü 300 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Popülasyon büyüklüğü 300 iken 0.5'lik çaprazlama oranında tek noktali çaprazlama, çift noktali çaprazlamadan daha iyi ve birbirine oldukça yakın olarak optimalden en az % sapma değerlerini verirken, 0.8'lik çaprazlama oranında özellikle çift noktali çaprazlama ile yapılan denemelerin tek noktali çaprazlamaya nazaran optimalden uzaklaştığı görülmektedir.



Şekil 3.18. Popülasyon büyüklüğü 400 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Popülasyon büyüklüğü 400 iken 0.5'lik çaprazlama oranında çift noktali çaprazlamanın optimalden en az % sapmayı verdiği görülmektedir.



Şekil 3.19. Popülasyon büyüklüğü 600 iken çaprazlama oranı ve çaprazlama yöntemine göre optimalden yüzde (%) sapma değerindeki değişim

Şekil 3.19’de, popülasyon büyüklüğü 600 olduğunda 0.5’lik çaprazlama oranı ve çift noktali çaprazlama ile yine 0.5’lik çaprazlama oranı ve tek noktali çaprazlama yönteminin optimalden en az % sapma değerini verdiği görülmektedir.

3.1.6. Havayolu Ekip Eşleştirme Problemi Üzerinde Tamsayı Programlama İle Genetik Algoritmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması

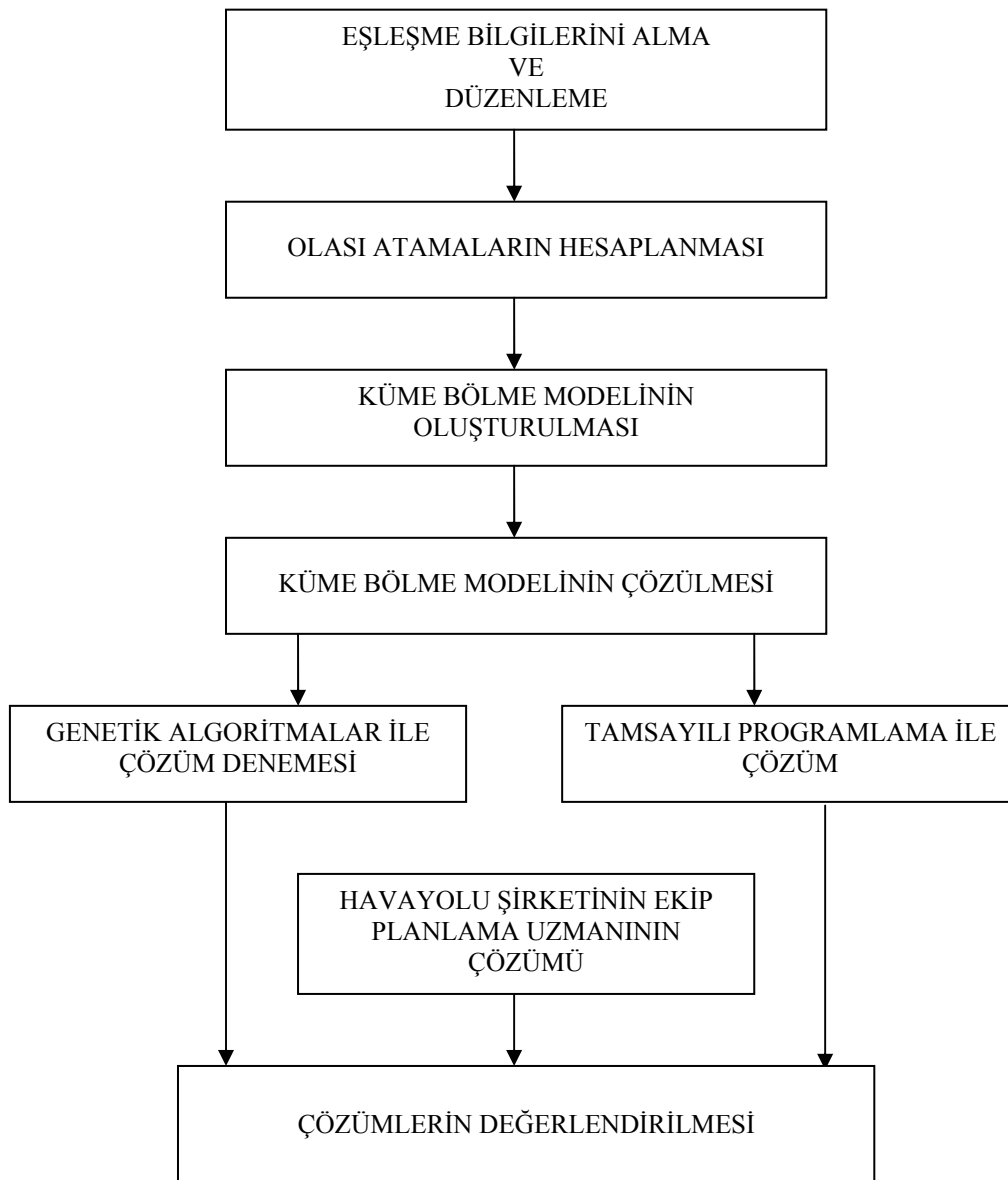
Tez kapsamında ele alınan uygulama aşamasının ilk kısmında özel bir havayolu şirketinin 2007 yılı yaz dönemi uçuş planı kapsamında yer alan uçuşları için günlük uçuşların eşleştirilmesi problemi bir haftalık periyot için gerçekleştirilmiştir. Bunun için problem önce küme bölme modeli olarak ele alınmış daha sonra tamsayı programlama ile optimal sonuca ulaşılmıştır. Tamsayı programlama ile çözüme ulaşmada MATLAB programından faydalanılmıştır. Modelin tamsayı çözümünde 3 farklı amaç fonksiyonuyla çözüm aranmış ve minimum eşleştirme sayısı 106 olarak hesaplanmıştır.

Küme bölme modelinin çözümünde genetik algoritmaların performansını ölçmek amacıyla minimum eşleşme sayısının sağlanmasını amaçlayan 3. senaryodaki problem ele alınarak MATLAB bilgisayar programının Genetic Algorithm and Direct Search modülü ile test edilmiştir. Genetik algoritmaların farklı parametreleri ile 120 tane deneme yapılmıştır. Denemelerin %13.3'ünde optimal çözüme ulaşıldığı diğer çözümlerde de optimale yakın sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bulunan 16 optimal çözüm incelendiğinde sadece 37. ve 108. denemede aynı X değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Problemin tamsayı programlama ile çözümden farklı olarak 15 adet alternatif çözüme ulaşılmıştır. Genetik algoritmaların karar vericiye farklı seçenekler sunma özelliği sağladığı ve bu yönüyle araştırmacılar tarafından tercih edilebileceği ortaya çıkmıştır. Bu özelliği sebebiyle genetik algoritmaların özellikle ekip eşleştirme problemi gibi alternatif çözümlerin önemli olduğu problemler üzerinde uygulanabilir olduğu söylenebilir.

MATLAB'da tamsayı programlama ve genetik algoritmalarla çözüm, çözüm süresi açısından karşılaştırıldığında, genetik algoritmalarla çözümün çok uzun sürdüğü tamsayı programlamayla çok kısa sürede çözüme ulaşıldığı görülmüştür. Tek bir çözümlerle optimal ya da optimale yakın bir sonuca ulaşıp ulaşılamadığı anlaşılamayacağından genetik algoritmaların çok sayıda çözüm denemesi gerektirmesi bu yöntem için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak özellikle çok büyük problemler için bilinen yöntemlerle optimal çözüme ulaşmanın mümkün olmadığı durumlarda genetik algoritmayla en azından optimale yakın bir çözüme yaklaşma ihtimalinin bulunması ise yöntemin bir avantajı olarak görülmektedir.

3.2. Havayolu Uçuş Ekibi Atama Problemi

Ekip planlama sürecinin ekip atama aşamasında, oluşturulan eşleşmeleri gerçekleştirecek uçucu ekibin ataması yapılmaktadır. Bu bölümde ele alınan havayolu ekip atama problemi çözümünün akış şeması Şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.20. Havayolu ekip atama probleminin uygulama aşamaları akış diyagramı

3.2.1. Veri Düzenleme

Uygulama aşamasının ikinci kısmını oluşturan ekip atama probleminin çözülebilmesi için girdi olarak uygulamanın ilk kısmında elde edilen eşleştirmelere ihtiyacı vardır. Buradan alınan veriler düzenlenerek atama probleminin küme bölme modelinde kullanılacak olası atamaların belirlenmesinde kullanılır. Bu aşamada tamsayı programlama ile çözülen 66'sı İzmir ve 40'ı Antalya merkezli 106 adet eşleştirmenin bulunduğu optimal çözüm başlangıç verisi olarak alınmıştır. Ekip atama probleminde kullanılacak bu eşleştirmeler Tablo 3.4'de görülmektedir.

3.2.2. Olası Atamaların Hesaplanması

Veriler düzenlendikten sonraki aşama küme bölme modelinin girdisini oluşturacak olası atamaların hesaplanmasıdır. Uçuş ekibi ataması problemi Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'nda belirtilen ve havayolu şirketleri tarafından uyulması gereken kısıtlar açısından ekip eşleştirme problemine kıyasla daha büyük ve karmaşık bir problemdir. Ekip üyesinin atanmasında dinlenme süresi, azami uçuş süresi ve asgari boş süre olmak üzere üç farklı kısıt vardır.

3.2.2.1. Dinlenme Süresi Kısıtları

Uçucu ekiplerin dinlenmesi için iki görev arasının bir dinlenme süresi ile bölünmesi gereklidir. Dinlenme süresinin uzunluğu görevin süresine bağlıdır, görev süresi uzadıkça verilmesi gereken dinlenme süresi de uzar. Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'nda belirtilen dinlenme süreleri kısıtı aşağıdaki gibidir.

1. Bir ekip üyesinin uçuş görev süresi 14 saati geçemez.
2. Bir ekip üyesinin bir önceki uçuş görev süresi 6 saate kadar ise en az 8 saat, 11 saate kadar ise en az 10 saat, 11 saatten daha fazla ise en az 12 saat ve 12-14 saat arası ise en az 14 saat dinlenmesi gerekmektedir.

3.2.2.2. Azami Süre Kısıtları

Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'na göre bir ekip üyesinin haftalık en fazla 56 saat uçuş görev süresi (UGS) ve 36 saat uçuş süresi (US) olabilir. Bu azami süreler aylık 210 saat UGS 110 saat US, üç aylık 500 saat UGS 300 saat US, yıllık 1800 saat UGS 1000 saat US şeklinde seyredebilir.

3.2.2.3. Boş Süre Kısıtları

Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'na göre ekiplere dinlenme süreleri dışında haftalık 1 gün, aylık 7 gün (2+2+1+1+1), üç aylık 21 gün ve yıllık 98 gün asgari boş süre verilmelidir. Konaklama meydanlarındaki konaklama süresinin boş süre olarak kabul edilmeyeceği belirtilmektedir.

Bu tez çalışmasında ekip planlama problemi bir haftalık periyodu kapsayacak şekilde çözülmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle bir haftalık kısıtlar göz önüne alınmıştır. Çalışmada İzmir merkezli uçuşlarda İzmir'deki ve Antalya merkezli uçuşlarda Antalya'daki ekiplerin kullanılacağı düşünülerek problem şehir bazında iki kısma ayrılmıştır. Önce İzmir merkezli uçuşlara çözüm aranmıştır. Çözüm denemelerinden çıkacak sonuca göre Antalya içinde çözüm üretilmesi düşünülmüştür.

Tüm kısıtlar bir arada ele alınarak İzmir merkezli uçuşlar için olası atamaların kombinasyonları Visual Basic'te yazılan bir program yardımıyla ACCESS veri tabanına yazdırılmıştır. Böylece bir ekip için bir haftalık periyotta atama yapılabilecek tüm rotasyonların oluşturulması sağlanmıştır. Haftanın bir gününün boş süre kısıtı olarak ele alınması için program her bir gün için sanki hiç atama yapılmamış gibi düşünülüp ayrı ayrı çalıştırılmış sonra bu veriler bir araya getirilmiştir. Tüm olasılıklar göz önüne alındığında İzmir merkezli uçuşlar için 709587 tane olası rotasyon elde edilmiştir.

3.2.3. Küme Bölme Modelinin Oluşturulması, Genetik Algoritmalar ve Tamsayılı Programlamayla Çözüm Denemeleri

Elde edilen 709587 rotasyondan 1. eşleştirmeyi kapsayanlar modelin birinci kısıtını, 2. eşleştirmeyi kapsayanlar modelin ikinci kısıtını vb. oluşturacak şekilde küme bölme modeli formuna dönüştürülmüştür. Amaç fonksiyonu oluşturulurken ekip atama sayısını minimize edecek şekilde her bir rotasyonun katsayısı 1 olarak alınmıştır. Toplam 66 satır ve 709587 değişkenden oluşan modelin MATLAB’da tamsayılı programlama ve genetik algoritmalar ile çözümüne değişken sayısının çok fazla olması nedeniyle ulaşılamamıştır.

Değişken sayısını azaltarak çözümü mümkün kılabilmek için, oluşturulan kombinasyonlar arasında uçuş görev süresi 45’in üzerinde olan olasılıklar dikkate alınarak 216970 değişkenden oluşan yeni bir veri seti oluşturulmuş ve tekrar küme bölme modeli formuna dönüştürülerek çözümü denendiğinde MATLAB değişken sayısından kaynaklanan hata mesajını vermiştir. Daha sonra problemin çözülmesi için, tamsayılı programlamada daha büyük veri setlerinin kullanımına izin veren Xpress-MP programından faydalanılarak toplam 12 atamayla tüm olası rotasyonların kapsanabileceği görülmüştür.

Son olarak, ilgili yazındaki bazı çalışmalarda rastlanılan, problemin alt problemlerine ayrılarak çözülmesi denenmiştir. Uygulamanın ilk kısmından elde edilen 66 adet İzmir eşleştirmesi 33’er eşleştirmeden oluşan iki alt probleme ayrılmıştır. Alt problemler olarak ayırma işlemi yapılırken günlük uçuşlar ikiye ayrılarak yarısı ilk probleme yarısı ikinci probleme dahil edilmiştir (örneğin 1. günkü 10 eşleşmeden ilk 5’i birinci alt problemde ikini beş eşleşme ikinci alt problemde, bir sonraki gün ilk 5 eşleşme ikinci alt problemde diğer 5 eşleşme birinci alt problemde yer almıştır vb.). Böylece iki alt problemdeki öğleden önceki uçuşlarının sayısı ile öğleden sonraki uçuşların sayısı eşitlenmeye çalışılmıştır.

Oluşan alt problemlerden biri için 33 adet eşleştirmeye ait tüm olası atamalar dikkate alındığında 20173 adet değişken ve 33 kısıttan oluşan, diğer alt problem için 7523 değişken ve 33 kısıttan oluşan iki yeni küme bölme modeli elde edilmiştir. Modelde her bir kısıt her bir eşleştirmenin kapsandığı olası atamaları göstermektedir.

Oluşturulan 20173 değişkenlik ilk minimizasyon modeli MATLAB bilgisayar programında tamsayı programlama ve genetik algoritma yöntemine göre çözülmeye çalışılmış ancak değişken sayısının fazla olmasından ötürü hata vermiştir. Aynı problemin tam sayılı çözümleri Xpress-MP programından faydalanılarak bulunmuş ve 8 atamayla tüm rotasyonların kapsanabildiği görülmüştür

7523 değişkenlik ikinci alt problem için MATLAB'ın tam sayılı çözümünde yine aynı hata mesajıyla karşılaşmıştır. Daha sonra problemin MATLAB'da genetik algoritma yöntemiyle çözümü denenmiştir. Bunun için rulet tekerleği seçimi, tek noktalı çaprazlama ve 0.5 çaprazlama olasılığı olarak popülasyon büyüklüğünün 100 olarak alındığı 100 jenerasyonluk bir denemeye tabi tutulmuştur. Bu parametrelerle çözüme ulaşması beklenen problem Intel Core 2 Duo CPU, E6550 2.33 Ghz 2 GB RAM özelliğindeki bir bilgisayarda 4 gün süreyle hiç durmadan çalışmış fakat bulunan çözümün uygun çözüm olmadığı görülmüştür. Popülasyon büyüklüğü 200'e çıkartıldığında çözümün 7 gün, 300'e çıkartıldığında 8 gün sürdüğü görülmüş ve yine uygun çözümlere ulaşılamamıştır. Popülasyon büyüklüğünde ve jenerasyon sayısında yapılacak artışlar uygun çözüm bulmayı olanaklı kılacak bile olsa programın çok uzun süre çalışması gerektiği görülmüştür. Sonuçlar havayolu şirketin ekip planlama müdürü ile tartışıldığında, bu kadar uzun sürecek bir programın kendileri için kullanışlı olmadığı, planlama ile ilgili anlık bir değişiklik olması durumunda programı tekrar başlatıp yine bu kadar uzun bir süre beklentilerinin imkansız olduğu görüşü kendileri tarafından belirtilmiştir.

Aynı problemin tam sayılı çözümü yine Xpress-MP programından faydalanılarak bulunmuş ve ikinci alt problem için 9 atamayla tüm rotasyonların kapsanabileceği sonucunu vermiştir. Sonuç olarak, problemin alt problemlere bölünerek çözülmesinde toplam 17 atamayla tüm eşleşmelerin kapsanabileceği ancak bu durumda problemin tek bir problem olarak ele alınmasına göre daha fazla sayıda ekibe ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Tek bir problem olarak ele alındığında, tez kapsamında oluşan 106 eşleştirmeden İzmir merkezli olan 66 eşleştirme için Xpress-MP programından faydalanılarak minimum 12 ekiple atamanın gerçekleştirebileceği görülmüştü. Elde edilen eşleşmelere bağlı olarak yapılan ekip atamaları Tablo 3.10'da gösterilmektedir.

Tablo 3.10. Tez çalışmasından elde edilen eşleştirmeye bağlı olarak yapılan ekip atamaları

		Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Haftalık çalışma süresi
1. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	OFF	TZX/07 4:00 6:00	GZT/DIY06 7:25 11:25	ADA07 3:00 8:00	ERZ07 4:15 6:15	ZRH/TZX07 10:05 13:55	DIY/AYT12 5:55 10:10	34:40 55:45
2. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	OFF	ERZ/VAN07 8:40 11:40	VAN07 4:25 11:40	GZT06 3:30 5:30	TZX07 4:00 6:00	MLX07 3:25 5:25	GZT/VAS06 6:55 12:40	30:55 52:55
3. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	FRA/ADA11 9:25 13:25	OFF	ADA07 3:00 5:00	DIY20 3:55 5:55	AYT18 2:00 4:00	STN15 7:40 10:05	AMS18 7:15 9:35	33:15 48:00
4. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	TZX/07 4:00 6:00	MLX/DUS07 10:10 13:55	OFF	CGN21 6:40 9:10	CGN21 6:40 9:10	BSL19 6:10 8:40	*	33:40 46:55
5. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	AYT08 2:00 4:00	AYT08 2:00 4:00	OFF	AYT/FRA08 8:25 12:40	DUS12 6:45 9:15	AYT08 2:00 4:00	ASR/NUE17 8:55 12:30	30:05 46:25
6. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	ASR17 3:15 5:15	FRA/ADA11 9:25 13:25	OFF	ASR/NUE17 8:55 12:30	HAJ21 6:40 9:20	*	TZX07 4:00 6:00	32:15 46:30
7. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	GZT06 3:30 5:30	DIY/AYT12 5:55 10:10	FRA/ADA11 9:25 13:25	OFF	STR19 6:10 8:30	SXF21 6:00 8:30	ERZ20 4:15 6:15	35:15 52:20
8. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	HAJ21 6:40 9:20	*	ZRH/TZX07 10:05 13:55	OFF	FRA/ADA11 9:25 13:25	*	AYT/FRA08 8:25 12:40	34:35 49:20
9. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	CGN21 6:40 9:10	SXF21 6:00 8:30	STR19 6:10 8:30	VAS/AYT14 5:25 8:25	*	ERZ/VAN07 8:40 11:40	ADA07 3:00 8:00	35:55 54:15

Tablo 3.10'un devamı (Tez çalışmasından elde edilen eşleştirmeye bağlı olarak yapılan ekip atamaları)

		Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Haftalık çalışma süresi
10. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	STR19 6:10 8:30	STN15 7:40 10:05	CGN21 6:40 9:10	AMS18 7:15 9:35	*	OFF	CGN21 6:40 9:10	34:25 46:30
11. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	ERZ/VAN07 8:40 11:40	BSL19 6:10 8:40	HAJ21 6:40 9:20	*	GZT/VAN06 7:55 12:25	DIY/AYT12 5:55 10:10	OFF	35:20 52:15
12. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	DIY/AYT12 5:55 10:10	CGN21 6:40 9:10	AYT18 2:00 4:00	VAN06 4:25 11:25	ADA07 3:00 5:00	FRA/ADA11 9:25 13:25	OFF	31:25 53:10

3.2.4. Havayolu Şirketinin Ekip Planlama Uzmanının Çözümü

Ekip eşleştirme sayısındaki azalmanın atama üzerindeki etkisini görmek için havayolu ekip planlama uzmanından uygulamanın ilk kısmında oluşturdukları 116 eşleştirme için havayolu şirketinde kullandıkları kendi yöntemlerine göre bir atama yapılması istenmiştir. Şirketin ekip planlama uzmanı 116 eşleştirmeden İzmir merkezli olan 75 adet eşleştirmeye 15 adet ekiple atama yapmıştır. Ekiplerin, hangi günlerde hangi uçuşlarda görevli oldukları, boş günleri ve haftalık toplam uçuş süreleri ile uçuş görev süreleri Tablo 3.11’de görülmektedir.

Tablo 3.11. Ekip planlama uzmanının uçuş eşleştirmesine bağlı olarak ortaya çıkan 15 ekiplik atama tablosu

		Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Haftalık çalışma süresi
1. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	OFF	TZX/DIY07 7:55 11:10	GZT06 3:30 5:30	GZT06 3:30 5:30	ERZ07 4:15 6:15	ZRH07 6:05 8:30	TZX07 4:00 6:00	29:15 42:55
2. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	TZX07 4:00 6:00	MLX07 3:25 5:25	ADA07 3:00 5:00	VAN06 4:25 11:25	TZX07 4:00 6:00	OFF	ERZ07 4:15 6:15	23:05 40:05
3. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	OFF	AYT/FRA08 8:25 12:40	AYT18 2:00 4:00	ASR17 3:15 5:15	STR19 6:10 8:30	*	GZT06 3:30 5:30	23:20 35:55
4. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	AYT/FRA08 8:25 12:40	OFF	DIY12 3:55 5:55	AYT18 2:00 4:00	ADA20 3:00 5:05	*	AYT/FRA08 8:25 12:40	25:45 40:20
5. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	DIY12 3:55 5:55	DUS12 6:45 9:15	ADA20 3:00 5:00	AMS18 7:15 9:35	*	ERZ07 4:15 6:15	OFF	25:10 36:00
6. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	VAN/AYT12 6:25 9:40	BSL19 6:10 8:40	STR19 6:10 8:30	*	OFF	MLX/DIY07 7:20 10:20	AMS18 7:15 9:35	33:20 46:45
7. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	ASR17 3:15 5:15	STN15 7:40 10:05	TZX15 4:00 6:00	OFF	GZT06 3:30 5:30	AYT/FRA08 8:25 12:40	DIY/ASR12 7:10 10:10	34:00 49:40
8. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	STR19 6:10 8:30	ADA20 3:00 5:05	CGN21 6:40 9:10	*	FRA11 6:25 9:05	TZX15 4:00 6:00	OFF	26:15 37:50
9. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	ADA20 3:00 5:05	SXF21 6:00 8:30	HAJ21 6:40 9:20	*	DUS12 6:45 9:15	VAN/AYT12 6:25 9:40	OFF	28:50 41:50

Tablo 3.11'in devamı (Ekip planlama uzmanının uçuş eşleştirmesine bağlı olarak ortaya çıkan 15 ekiplik atama tablosu)

		Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Haftalık çalışma süresi
10. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	CGN21 6:40 9:10	CGN21 6:40 9:10	*	CGN21 6:40 9:10	HAJ21 6:40 9:20	*	OFF	26:40 36:50
11. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	HAJ21 6:40 9:20	*	ZRH07 6:05 8:30	ADA/VAS07 6:25 12:25	*	OFF	ADA07 3:00 5:00	22:10 35:15
12. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	OFF	ERZ07 4:15 6:15	VAN07 4:25 11:40	*	VAN/AYT12 6:25 9:40	STN15 7:40 10:05	*	22:45 37:40
13. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	OFF	AYT18 2:00 4:00	FRA11 6:25 9:05	NUE21 5:40 8:00	CGN21 6:40 9:10	SXF21 6:00 8:30	NUE21 5:40 8:00	32:25 46:45
14. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	GZT06 3:30 5:30	VAN12 4:25 6:25	OFF	DIY20 3:55 5:55	*	ADA20 3:00 5:05	CGN21 6:40 9:10	21:30 32:05
15. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	ERZ07 4:15 6:15	*	OFF	AYT/FRA08 8:25 12:40	ADA07 3:00 5:00	BSL19 6:10 8:40	VAS/AYT14 5:25 8:25	27:15 41:00

Antalya merkezli uçuşlar için atama gerçekleştirildiğinde ekip planlama uzmanının 41 bizim 40 eşleştirmelik çözümümüz için 11 ekiplik aynı sayıda atamayla çözüme gidilmiştir. Eşleştirme sayısı arasındaki fark az olduğu için ekip atamada ekip sayısı bazında bir farklılık oluşmamıştır. Tek farklılık Salı günü Erzurum ve FDH uçuşların ekip planlama uzmanının eşleştirmesinde ayrı bizim eşleştirmemizde beraber ele alınmasıdır. Ekip planlama uzmanının yaptığı atamada Salı günü FDH uçuşunu 7. ekip yerine 6. ekibin gerçekleştirmesiyle bizim eşleştirme planımıza göre atama yapılması tamamlanmıştır. Antalya merkezli uçuşlar için ekip atamaları Tablo 3.12'de görülmektedir.

3.2.5. Çözümlerin Değerlendirilmesi

Atama problemi havayolu şirketinin ekip planlama uzmanı tarafından gerçekleştirildiğinde, bir haftalık periyot için şirketin ekip planlama uzmanının yaptığı İzmir ve Antalya merkezli toplam 116 eşleşmeye 26 ekiple atama gerçekleştirildiği, tez çalışmasında elde edilen 106 eşleşmeye ise 23 ekibin atanmasının yeterli olduğu görülmüştür. Her ekipte 1 pilot, 1 pilot yardımcısı, 1 kabin amiri, 1 kıdemli hostes 2 de normal hostes olduğu düşünüldüğünde haftalık bir planda 3 ekibin yani 18 ekip üyesinin maliyetinden tasarruf edilebileceği söylenebilir. Havayolu şirketinin bu ekip üyelerini bünyesinde tutmaya devam etmek istemesi durumunda ekip üyesi başına düşen uçuş süresinde düşüş olacak bu da ekip üyelerinin yaşam kalitesini ve memnuniyetini arttırmakla sonuçlanabileceği düşünülmektedir.

Tablo 3.12. Antalya uçuşlarına yapılan ekip atamaları

		Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Haftalık çalışma süresi
1. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi		LUX05 7:25 9:45	ZRH15 6:50 9:20		FKB06 6:55 9:25		BSL06 7:00 9:40	28:10 38:10
2. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi		BSL06 6:45 9:15			DTM06 7:20 9:50		LEJ07 6:35 9:30	20:40 28:35
3. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi		BSL06 7:00 9:40			HAM06 7:15 9:45		TZX/DIY07 6:40 9:55	20:55 29:20
4. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi		TXL06 6:35 9:05			BSL06 7:00 9:40		MUC14 6:25 9:00	20:00 27:45
5. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi		HAJ16 7:05 9:35			TZXDİY07 6:40 9:55		FRA15 6:05 8:35	19:50 28:05
6. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi		ERZ07 3:35 4:05			SZG07 5:45 8:05	ERZ07 3:35 5:35	ZRH15 6:50 9:20	19:45 27:05
7. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi		FDH12 6:20 8:50		STN07 8:20 10:50	MUC14 6:25 9:00		CGN15 7:15 9:45	28:20 38:25
8. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi		MUC14 6:25 9:30		MUC14 6:25 9:00	FRA15 6:05 8:35		BRE16 7:15 9:45	26:10 36:50
9. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati Uçuş süresi Uçuş görev süresi	FRA15 6:05 8:35	FRA15 6:05 8:35		FRA15 6:05 8:35	ZRH15 6:50 9:20		VIE16 5:25 7:55	30:30 43:00

Tablo 3.12'nin devamı (Antalya uçuşlarına yapılan ekip atamaları)

		Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Haftalık çalışma süresi
10. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati	VANDIY07	VIE16			DUS15	FRA15		26:05
	Uçuş süresi	7:10	5:25			7:25	6:05		36:45
11. EKİP	Uçuş yeri/ baş.saati	STN07		FRA15		VIE16	ZRH15		26:40
	Uçuş süresi	8:20		6:05		5:25	6:50		36:40
	Uçuş görev süresi	10:20	7:55			9:55	8:35		
	Uçuş görev süresi	10:50		8:35		7:55	9:20		

SONUÇ

Havayolu şirketlerinde akaryakıt maliyetlerinden sonraki en önemli maliyet kalemini uçuş ekibi maliyetleri oluşturmaktadır. Özellikle büyük havayolu şirketlerinin ufak bir iyileştirme ile bile önemli büyüklükte tasarruflar sağladığı görülmektedir. Bu özelliği itibarıyla havayolu şirketleri havayolu ekip planlama problemine oldukça özen göstermektedir. Bu yönüyle ekip planlama problemi yöneylem araştırmacıları ve matematik topluluklarının dikkatini çekmekte ve bu yönde çözümler üretebilmek için matematiksel modeller yardımıyla uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Havayolu ekip çizelgelenmesinde matematiksel model olarak dal-sınır, dal-kesme, dal-fiyat algoritmasının ve sütun türetme yaklaşımının sıklıkla kullanıldığı bunun yanında problemin çözümünde ağ modellerinin de tercih edildiği görülmüştür. Problemin çözümü için birçok matematiksel programlama tekniğinin yanında son yıllarda başta Genetik Algoritmalar olmak üzere benzetimli tavlama, tabu arama ve sinir ağları gibi sezgisellerle de çözüm arayışında bulunulduğu görülmektedir.

Bu çalışmada uçuş ekibi planlanmasında genetik algoritmalarla çözüm arayışı üzerinde durulmuş tam sayılı programlama ile karşılaştırması yapılmıştır. Havayolu ekip planlama problemi için özel bir havayolu şirketinin 2007 yaz dönemi uçuş verilerinden faydalanılmıştır. Öncelikle yurtiçi ve yurtdışı toplam 266 uçuş 89'u İzmir ve 44'ü Antalya merkezli olmak üzere toplam 133 uçuş çiftine dönüştürülmüştür. Ekip planlama probleminin iki aşamasını oluşturan ve genellikle ayrı problemler olarak ele alınan ekip eşleştirme ve ekip atama problemleri bu çalışmada bütünleşik bir yapıda ele alınmıştır.

Tezin uygulama kısmında öncelikle ekip eşleştirme problemine değinilmiştir. Literatürde bu problemin sıklıkla küme bölme yada küme örtüleme modeli olarak ifade edildiği görülmüştür. Bu nedenle problemin küme bölme modeli olarak ifade edilmesi için olası tüm eşleştirmeler, sağlanması gereken kısıtlar göz önüne alınarak Visual Basic programıyla hesaplanmış ve 220 adet olası eşleştirme oluşturulmuştur. Küme bölme modelinin çözümüyle her bir uçuşun bir kez kapsadığı minimum maliyetli eşleştirmelerin bulunması hedeflenilmiştir. Amaç fonksiyonunun oluşturulmasında uçuş görev süresinin minimize edildiği, iki uçuş arasındaki bekleme süresinin minimize edildiği ve sadece eşleştirme sayısının minimize edildiği üç farklı senaryo oluşturulmuştur. 220 değişken ve 133 kısıttan oluşan küme bölme modeli MATLAB'ın optimization toolbox modülü yardımıyla tam sayılı programlama yöntemine göre çözümlenerek her bir senaryoda 106

eşleştirmeye çözüme gidildiği görülmüştür. Aynı uçuşlar ele alındığında şirketin ekip planlama uzmanı tarafından 116 eşleştirmelik bir çözüm geliştirilmiştir. Tez çalışmasındaki çözümün şirketin çözümüne göre eşleştirme sayısı açısından % 9.5'lik bir iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Tamsayılı çözümlemenin ardından sezgisel bir yöntem olan genetik algoritmalarla çözüm denemelerine başlanmıştır. Bunun için ekip eşleme sayısının minimize edildiği 220 değişken ve 133 kısıttan oluşan küme bölme modeli alınarak genetik algoritmalarla çözüm denenmiştir. Genetik algoritmaların rassal bir temelinin olması ve başlangıç popülasyonuna göre her bir çözümünde farklı sonuç vermesi nedeniyle MATLAB Genetic Algorithm And Direct Search modülü kullanılarak program 120 defa koşturulmuştur. Genetik algoritmalarla modelin çözümü seçim yöntemi, çaprazlama yöntemi, çaprazlama oranı ve popülasyon büyüklüğünde yapılan değişiklikler ve kombinasyonlarla incelenmiştir. Genetik algoritmaların bir küme bölme modeli üzerinde kendi içindeki performansı değerlendirilerek literatürde bahsedildiği gibi optimum yada optimuma yakın sonuçlar verip vermeyeceği böylece test edilmiştir. Çözümler eşleşme sayısının 106 ile 119 arasında değiştiği uygunluk değerlerinin bulunmasıyla sonuçlanmıştır.

Yapılan denemelerin %13.3'nde tamsayılı programlama çözümünden elde edilen optimal çözüm değerine ulaşılmıştır. Optimal sonuç olan 106 değerine % 43.8 oranında rulet tekerleği yöntemi, % 50 oranında tek noktalı çaprazlama, % 87.5 0.5 çaprazlama oranıyla ulaşıldığı görülmüştür. Popülasyon büyüklüğü 400 olarak alındığında da % 37.5 oranında optimal çözüme ulaşıldığı görülmüştür. Popülasyon büyüklüğü arttırıldıkça çözüme ulaşma süresinin de arttığı tespit edilmiştir.

Optimal çözümlerden elde edilen değişken kombinasyonlarının birbirinden farklı olup olmadığını anlamak için non-parametrik testlerden biri olan ve 0-1 gibi ikili değişkenler üzerinde çalışan Cochran Q testinden faydalanılmıştır. Sonuçlar elde edilen 16 tane optimal çözümün birbirinden farklı olduğunu göstermiş ve incelendiğinde genetik algoritmaların 15 adet alternatif çözümle ekip planlamacıya bunlardan birini seçme esnekliği sağladığı görülmüştür.

Genetik algoritmalarla yapılan çözümlerde her bir çözümün optimal değerden sapması $\sigma = \frac{S_t - S_o}{S_o} \times 100$ formülüyle hesaplanmıştır. Parametreler arasında yer alan popülasyon

büyüklüğü, seçim yöntemi, çaprazlama yöntemi ve çaprazlama oranının optimal sonuçtan sapma değeri üzerindeki etkisi çok yönlü ANOVA analizi ile test edilmiştir. Optimalden yüzde sapma değeri bağımlı değişken olarak alındığında, seçim yöntemi, çaprazlama oranı ve popülasyon büyüklüğünün optimalden yüzde sapma üzerinde 0.05 anlamlılık seviyesinde, seçim yöntemi-popülasyon büyüklüğü etkileşiminin, seçim yöntemi-çaprazlama oranı-popülasyon büyüklüğü etkileşiminin ve seçim yöntemi-çaprazlama oranı-çaprazlama yöntemi-popülasyon büyüklüğü etkileşiminin optimalden yüzde sapma üzerinde 0.10 anlamlılık düzeyinde etkisi olduğu görülmüştür. Hesaplanan R^2 değeri, seçilen değişkenlerin uygunluk değerini % 85.9 oranında açıkladığını göstermiştir.

Uygulama kısmının ikinci aşamasını oluşturan ekip atama problemine gelindiğinde bazı sınırlılıklarla karşılaşmıştır. İlk olarak İzmir merkezli uçuşlar için Visual Basic programından faydalanılarak ekip atama kurallarına göre bir haftalık 709587 olası ekip rotası kombinasyonu elde edilmiş ancak çözüme ulaşamamıştır. Bu rotasyonlar arasından sadece uçuş görev süresi 45'in üstünde olanların dahil edildiği 216970 değişkenden oluşan ikinci model denemesinde ise Xpress-MP programıyla 12 atamayla tüm eşleştirmelerin kapsanabileceği görülmüştür. Daha sonra problem uygulamasına literatürde de rastlanılan iki alt probleme ayrılmıştır. İlk alt problem 20173 değişken ve 33 satırdan oluşmuştur. Bu problem içinde MATLAB'da çözüm gerçekleştirilememiş Xpress-MP programı 8 atamayla tüm eşleştirmelerin kapsanabildiği sonucunu vermiştir. 7523 değişken ve 33 satırdan oluşan ikinci alt problem için tamsayı programlama ile MATLAB'da çözüme ulaşamazken yine Xpress-MP programıyla çözüm gerçekleştirilerek minimum 9 atamayla eşleştirmelerin kapsanabileceği sonucuna varılmıştır. İkinci alt problemin genetik algoritmalarla MATLAB'da çözümü gerçekleştirilemiştir. Ancak, rulet tekerleği seçim yöntemi, tek noktalı çaprazlama yöntemi ve 0.5 çaprazlama oranıyla çözülmesi beklenen problem popülasyon büyüklüğü 100 olarak alındığında 4 günde, 200 olarak alındığında 7 günde, 300 olarak alındığında 8 günde çözüme ulaşabilmiştir. Çözümler incelendiğine uygun bir çözüme ulaşamadığı görülmüştür. Popülasyon büyüklüğü arttırılmaya çalışılsa bile çözüm süresinin çok uzayacağı anlaşılmıştır.

Ekip eşleştirme sayısındaki azalmanın atama üzerindeki etkisini görmek için havayolu ekip planlama uzmanından uygulamanın ilk kısmında oluşturdukları 116 eşleştirme için havayolu şirketinde kullandıkları kendi yöntemlerine göre bir atama yapılması istenmiştir. Böylece uygulamanın ilk aşamasında ekip planlama uzmanının elde ettiği 116 eşleştirmeden İzmir merkezli 75 eşleştirmeye 15 ekip ataması yapılmıştır. Oysa tez çalışmasında elde edilen 106 eşleştirmeden İzmir merkezli olan 66 eşleştirmeye 12 ekip atanmasının yeterli olduğu görülmüştür. Antalya merkezli eşleştirmeler için ise 11 ekibin atanmasının uygun olduğu görülmüştür. Tez çalışmasından elde edilen ekip eşleştirme planıyla toplamda 3 ekibin yani 18 ekip üyesinin maliyeti kadar tasarruf edilebileceği görülmüştür. Diğer yandan şirketin elindeki ekip sayısını azaltmak istememesi durumunda aynı eşleşme planıyla ekip üyelerinin haftalık uçuş süreleri ve uçuş görev sürelerinde azalmalar meydana geleceğinden uçuş ekibi personelinin refahının ve memnuniyetinin artırılmasının mümkün olabileceği söylenebilir.

Sonuç olarak, ekip planlamanın en önemli kısmını oluşturan ekip eşleştirme problemi, ekip atama problemine göre daha az karmaşıklığa sahip olduğundan genetik algoritmaların kullanımına daha uygun olduğu söylenebilir. Genetik algoritmaların, ekip eşleştirme probleminde gerek alternatif çözümleri sunması gerek şirketin mevcut planlamasına göre %9.5'lük bir iyileştirme sağlayarak faydalı olduğu bir gerçektir. Ancak, havayolu şirketinin gelişmiş bir bilgisayar programcılığı ve yüksek performanslı bilgisayarlar kullanmasına ihtiyacı olacaktır.

Çalışmanın tamamlanmasının yanı sıra bazı sınırlılıklarının olduğu da belirtilmelidir. Ekip planlama probleminin çözümünde sadece 1 haftalık periyodun alınmasının çalışmanın sınırlılıklarından birini oluşturduğu söylenebilir. Periyot uzadıkça problemde büyüyeceği ve çözümün güçleşeceği aşikardır. Atamaların yapılmasında personel tercihleri gözardı edilmiştir. Personelin tercihleri ve anlık değişimler göz önüne alındığında problem daha da karmaşık bir hale dönüşecektir. Literatürde de bu nedenle ekip atama kısmında genellikle sınırlı sayıda personelin çalıştığı durumlar ve sınırlı sayıda personel talebi göz önüne alınmıştır. Bu durumda tek amaçlı çözümler yerine çok amaçlı çözümlerin denenmesi gündeme gelebilir. Ayrıca ele alınan problemin en önemli sınırlaması, araştırma ortamımızda yüksek performanslı bilgisayarların ve paket programların bulunmaması olmuştur.

KAYNAKÇA

- Abraham A., Nedjah N. ve Mourelle L., “Evolutionary Computation: from Genetic Algorithms to Genetic Programming”, Studies in Fuzziness and Soft Computing, Der. Nedjah N., et al., Springer Verlag, Germany, 2006.
- Abraham A., “Evolutionary Computation”, Handbook for Measurement Systems Design, Der. Sydenham P. ve Thorn R., 920-931, John Wiley and Sons Ltd., London, 2005.
- Adachi N. ve Kobayashi S., “Crew Roster Scheduling by The Extended Cooperative Genetic Algorithm”, Electronics and Communications in Japan, 3(87), (2004), 896-904.
- Affenzeller M., “A Generic Evolutionary Computation Approach Based Upon Genetic Algorithms and Evolution Strategy”, Journal of Systems Science, 28(2), (2002), 59-72.
- Ahn H., Kim K. ve Han I., “Hybrid Genetic Algorithms and Case-Based Reasoning Systems for Customer Classification”, Expert Systems, 23(3), (2006), 127-144.
- Aickelin U. ve Dowsland K.A., “An Indirect Genetic Algorithm for a Nurse-Scheduling Problem”, Computers and Operations Research, 31, (2004), 761-778.
- Altaylı B., Yönetim Kararlarında Kantitatif Yöntemler Yöneylem Araştırması, Uytes, Ankara, 1996.
- Altıparmak F., “Genetik Algoritma ile Haberleşme Şebekelerinin Topolojik Optimizasyonu”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, 1996.
- Anbil R., Tanga R. ve Johnson E.L.,” A Global Approach to Crew Pairing Optimization”, IBM System Journal, 31(1), (1992), 71-78.
- Andersson E., Housos E., Kohl N. ve Wedelin D., “Crew Pairing Optimization”, Operations Research in the Airline Industry Der. Yu G., Kluwer Academic Publishing, 1998.
- Arabeyre J.P., Fearnley J., Steiger F.C. ve Teather W., “The Airline Crew Scheduling Problem: A Survey”, Transportation Sciences, 3(2), (1969), 140-163.
- Ayan E., “Ekip Planlama”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 1991.
- Azimi Z.N., “Hybrid Heuristics for Examination Timetabling Problem”, Applied Mathematics and Computation, 163(2), (2005), 705-733.
- Back T., Fogel D.B. ve Michalewicz T., Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2000.

- Backhouse P.G., Fotheringham, A.F. ve Allan G., “A Comparison of A Genetic Algorithm with an Experimental Design Technique in The Optimization of a Production Process”, *The Journal of Operational Research Society*, 48(3), (1997), 247-254.
- Balakrishnan P.V. ve Jacob V.S., “Genetic Algorithms for Product Design”, *Management Science*, 42(8), (1996), 1105-1117.
- Barnhart C., Cohn A.M., Johnson E.L., Klabjan D., Nemhauser G.L. ve Vance P.H., “Airline Crew Scheduling”, *Handbook of Transportation Science*, Der. Hall R.W, Kluwer Academic Publishers, USA, 2002.
- Barnhart C., Johnson E.L., Nemhauser G.L., Savelsbergh M.W.P. ve Vance P.H., “Branch-and-Price: Column Generation for Solving Huge Integer Programs”, *Operations Research*, 46(3), (1998), 316-329.
- Barnhart C. ve Shenoï R.G., “An Approximate Model and Solution Approach for The Long-Haul Crew Pairing Problem”, *Transportation Science*, 32(3), (1998), 221-231.
- Beasley J.E. ve Chu P.C., “A Genetic Algorithm for the Set Covering Problem”, *European Journal of Operational research*, 94, (1996), 392-404.
- Bhattacharyya S., “Direct Marketing Performance Modeling Using Genetic Algorithms”, *INFORMS Journal on Computing*, 11(3), (1999), 248-257.
- Bhattacharyya S., “Evolutionary Computation for Database Marketing”, *Journal of Database Marketing*, 10(4), (2003), 343-352.
- Bingul, Z., Sekmen, A.S., Palaniappan, S. ve Sabattp, S., “Genetic Algorithms Applied to Real Time Multiobjective Optimization Problems”, *Proceedings of the 2000 IEEE Southeast Conference*, (2000), 95-103.
- Bjarnadóttir Á.S., “Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms Informatics and Mathematical Modeling”, *Technical University of Denmark, Yayınlanmamış Doktora Tezi*, 2004.
- Bolat, B., Erol K.O. ve Imrak, C.E., “Genetic Algorithms in Engineering Applications and the Function of Operators”, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4, (2004), 264-271.
- Butchers E.R., Day P.R., Goldie A.P., Miller S., Meyer J.A., Ryan D.M., Scott A.C. ve Wallace C.A., “Optimized Crew Scheduling at Air New Zealand”, *Interfaces*, 31(1), (2001), 30-56.
- Caprara A., Toth P., Vigo D. ve Fischetti M., “Modeling and Solving Crew rostering Problem”, *Operations Research*, 46 (6), (1998), 820-830.

- Chakroborty P., Deb K. ve Subrahmanyam P.S., "Optimal Scheduling of Turban Transit Systems Using Genetic Algorithms", *Journal of Transportation Engineering*, 121(6), (1995), 544-553.
- Chang S.C. "A New Aircrew-Scheduling Model for Short-Haul Routes", *Journal of Air Transport Management*, 8(4), (2002), 249-260.
- Chaudhry S.C., He S.C. ve Chaydhry P.E., "Solving A Class of Facility Location Problems Using Genetic Algorithms", *Expert Systems*, 20(2), (2003), 86-91.
- Chu H.D., Gelman E. ve Johnson E.L., "Solving Large Scale Crew Scheduling Problems", *European Journal of Operational Research*, 97, (1997), 260-268.
- Chu P.C. ve Beasley A., "A Genetic Algorithm for The Set Partitioning Problem", Technical Report, Imperial College, The Management School, London, England, 1995. <http://citeseer.ist.psu.edu/chu95genetic.html> (erişim tarihi 13.11.2006)
- Chu P.C. ve Beasley J.E., "Constraint Handling in Genetic Algorithms: The Set Partitioning Problem", *Journal of Heuristics*, 11, (1998), 323-357.
- Crainic T.G. ve Rousseau J.M., "The Column Generation Principle and The Airline Crew Scheduling Problem", *INFOR*, 25, (1987), 136-151.
- Dawid H., König J. ve Strauss C., "An Enhanced Rostering Model For Airline Crews", *Computers & Operations Research*, 28, (2001), 671-688.
- Day P.R. ve Ryan D.M., "Flight Attendant Rostering for Short-Haul Airline Operations", *Operations Research*, 45(5), (1997), 649-661.
- Dempster, M.A.H. ve Jones, C.M. "A Real-time Adaptive Trading System Using Genetic Programming", *Quantitative Finance*, 1, (2001), 397-413.
- Dengiz B. ve Altıparmak F., "Genetik Algoritmalara Genel Bir Giriş", *Endüstri Mühendisliği*, 9 (3), (1998), 3-14.
- Dianati M. Song I. ve Treiber M., "An Introduction to Genetic Algorithms and Evolution Strategies", Technical Report, University of Waterloo, 2002, www.swen.uwaterloo.ca/~mdianati/articles/gaes.pdf (30.11.2005)
- Dias T.G., Sousa J.P. ve Cunha J.F., "Genetic Algorithms for The Bus Driver Scheduling Problem: A Case Study", *Journal of the Operational Research Society*, 53, (2002), 324-335.
- Dillon J.E. ve Kontogiorgis S., "US Airways Optimizes The Scheduling of Reserve Flight Crews", *Interfaces*, 29(5), (1999), 123-131.
- Dong Z., "Genetic Algorithm Applications", (1999), www.me.uvic.ca/~zdong/courses/mech620/GA.App.PDF (24.04.2007).

- Dowland K.A., “Genetic Algorithms- a Tool for OR?”, *Journal of the Operational Research Society*, 47, (1996), 550-561.
- Eiben A.E. ve Smith J.E., *Introduction To Evolutionary Computing*, Springer-Verlag, Germany, 2003.
- El-Darzi E. ve Mitra G., “Solution Of Set Covering and Set Partitioning Problems Using Assignment Relaxations”, *Journal of The Operational Research Society*, 43(5), (1992), 483-493.
- Elmas Ç., *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitimi Uygulama)*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2003.
- Emel G.G. ve Taşkın Ç., “Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları”, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), (2002), 129-152.
- Er H., Çetin K. ve İpekçi Çetin E., “Finansta Evrimsel Algoritmik Yaklaşımlar: Genetik Algoritma Uygulamaları”, *Akdeniz İİBF Dergisi*, 10, (2005), 73-94.
- Erdiller A. ve Orbak A.Y., “Atölye Tipi Çizelgeleme ve Operasyon Sıralama Problemine Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım”, *III.Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 2003, 133-140.
- Ernst A.T., Jiang H., Krishnamoorthy M. ve Sier D., “Staff Scheduling and Rostering: A Review of Applications”, *Methods and Models*, 153, (2004), 3-27.
- Eryiğit M., “Hava Taşımacılığında Filo Atama Problemlerini Çözmeye Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Geliştirme”, *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2005.
- Fırlıklı A. ve Engin O., *Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma İle Çözüm Performansının Artırılmasında Deney Tasarımı Uygulaması*, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 3, (2002), http://www.mmo.org.tr/endustrimuhendisligi/2002_3/ (21.11.2007).
- Fogel D., “Phenotypes, Genotypes, and Operators in Evolutionary Computation”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, Perth, Australia, IEEE Press, 1995, 193-198.
- Fyfe, C., Marney, J.P. ve Tarbert, H.F.E. “Technical Analysis Versus Market Efficiency – A Genetic Programming Approach”, *Applied Financial Economics*, 9, (1999), 183-191.
- Gamache M., Soumis F., Marquis G. ve Desrosiers J., “A Column Generation Approach For Large-Scale Air Crew Rostering Problems”, *Operations Research*, 47(2), (1999), 247-263.
- Gershkoff, I., “Optimizing Flight Crew Schedules”, *Interfaces*, 19(4), (1998), 29-43.

- Geyik F. ve Cedimoğlu İ.H., “Komşuluk Arama Yöntemleriyle Atölye Tipi Çizelgeleme İçin Kullanılan Komşuluk Yapıları”, YA/EM XXII. Ulusal Kongresi, 2001.
- Glibovets N.N. ve Medvid S.A., “Genetic Algorithms Used To Solve Scheduling Problems”, *Cybernetics and System Analysis*, Vol.39, No.1, (2003), 81-90.
- Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1989.
- Gonçavez J.F., Mendes J.J.M. ve Resende M.G.C., “A Hybrid Genetic Algorithm for The Job Shop Scheduling Problem”, *European Journal of Operational Research*, 167, (2005), 77-95.
- Gopalakrishnan B. ve Johnson E.L., “Airline Crew Scheduling: State of The Art”, *Annals of Operations Research*, 140, (2005), 305-337.
- Gopalan R. ve Talluri K.T. “Mathematical Models In Airline Schedule Planning: A Survey”, *Annals of Operations Research*, 76, (1998), 155-185.
- Graves G.W., McBride R.D., Gershkoff I., Anderson D. ve Mahidhara D., “Flight Crew Scheduling”, *Management Science*, 39, (1993), 736-745.
- Gruca T.S. ve Klemz B.R., “Optimal New Product Positioning: A Genetic Algorithm Approach”, *European Journal of Operational Research* 146, (2003), 621–633.
- Guo Y., Mellouli T., Suhl L. ve Thiel M.P., “A Partially Integrated Airline Crew Scheduling Approach With Time-Dependent Crew Capacities and Multiple Home Bases”, *European Journal of Operational Research*, 171, (2006), 1169-1181.
- Güden H., Vakvak B., Özkan B.E., Altıparmak F. ve Dengiz B., “Genel Amaçlı Arama Algoritmaları İle Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 16 (1), (2005), 2-15.
- Güngör İ., *İşgücü Maliyetlerinin Minimizasyonu, Vardiya Planlaması, Modeller, Algoritmalar ve Uygulamalar*, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2005.
- Güngör İ. ve Eroğlu A. “Küme Örtüleme Problemi ve Bir Uygulama”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2 (Güz), (1997), 377-386.
- Hernández E.J.C., “Applications Of The Evolutionary Programming Optimization Technique In Power Systems Planning and Operation”, *A Thesis of Master of Science University Of Puerto Rico Mayagüez Campus*, 2005.
- Hoffman K.L. ve Padberg M., “Solving Airline Crew Scheduling Problems By Branch and Cut”, *Management Science*, 39(6), (1993), 657-682.
- Hsiao S.W. ve Liu E., “A Neurofuzzy-Evolutionary Approach For Product Design”, *Integrated Computer-Aided Engineering*, 11, (2004), 323–338.

- <http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/evrim.pdf> (14.05.2006)
- Hurley S., Moutinho L. ve Stephens N.M., “Solving Marketing Optimization Problems Using Genetic Algorithms”, *European Journal of Marketing*, 29(4), (1995), 39-56.
- Hussain T.S., “An Introduction to Evolutionary Computation Tutorial Presentation, 1998 CITO Researcher Retreat, Hamilton, Ontario, May 12-14 1998.
- Kahraman A. M. ve Özdağlar D., “Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 6(3), (2004), 1-18.
- Kahvecioğlu, A., “Onarılabilir Elemanlara Önleyici Bakımın Etkisi ve Optimizasyon”, *Mühendis ve Makina*, 531, (2004), http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2004/nisan/makale_optimizasyon.htm (erişim tarihi 21.10.2006).
- Kerati S., Moudani W.E., Coligny M.D. ve Mora-Camino F., “A Heuristic Genetic Algorithm Approach For The Airline Crew Scheduling Problem”, *Workshop on Multiple Objective Metaheuristics*, Posterli sunum, Paris, 2002.
- Kılıç M., Ulusoy G. ve Şerifoğlu F.S., “Risk Altında Proje Çizelgelemeye İki Amaçlı Genetik Algoritma Yaklaşımı”, *Yöneylem Araştırması Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi*, 2004.
- Kim Y.S. ve Street W.N., “An Intelligent System For Customer Targeting: A Data Mining Approach”, *Decision Support Systems*, 37, (2004), 215-228.
- Klabjan D., Johnson E.L., Nemhauser G.L., Gelman E. ve Ramaswamy S., “Airline Crew Scheduling with Regularity”, *Transportation Science*, 35(4), (2001), 359-374.
- Kohl N. ve Karisch S.E., “Airline Crew Rostering: Problem Types, Modeling, and Optimization”, *Annals of Operations Research*, 127, (2004), 223-257.
- Kornilakis H. ve Stamatopoulos P., “Crew Pairing Optimization with Genetic Algorithms”, *Proceedings of the second Hellenic conference on AI: Methods and Applications of Artificial Intelligence*, 109-120; *Lecture Notes in Computer Science*, Vol 2308, Springer-Verlag, London, UK, 2002.
- Kuo R.J, Chang K. ve Chien S.Y., “Integration of Self-Organizing Feature Maps And Genetic-Algorithm-Based Clustering Method For Market Segmentation”, *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 14(1), (2004), 43-60.
- Küçük B. ve Keskindürk T., “Montaj Hattı Dengelemede Genetik Algoritma Operatörlerinin Etkinliklerinin Araştırılması”, *YA/EM 2006 – Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği – XXVI. Ulusal Kongresi*, (2006), 390-393.

- Latemendia, L.N., "Trading Systems Designed By Genetic Algorithms", *Managerial Finance*, 28(8), (2002), 87-100.
- Lavoie S., Minoux M. ve Odier E., "A New Approach For Crew Pairing Problems By Column Generation with An Application to Air Transportation", *European Journal of Operations Research*, 35(1), (1988), 45-58.
- Lee Z.J., Su S.F., Lee C.Y. ve Hung Y.S. "A Heuristic Genetic Algorithm For Solving Resource Allocation Problems", *Knowledge and Information Systems*, 5, (2003), 503-511.
- Levine D., "Application of a Hybrid Genetic Algorithm to Airline Crew Scheduling", *Computers & Operations research*, 23(6), (1996), 547-558.
- Liu Y., Yao X., Zhao Q. ve Higuchi T., "Scaling Up Fast Evolutionary Programming with Cooperative Co-evolution", *Proceedings of IEEE, Congress on Evolutionary Computation*, 2001, 1101–1108.
- Lohatepanont M. ve Barnhart C., "Airline Schedule Planning: Integrated Models and Algorithms for Schedule Design and Fleet Assignment", *Transportation Science*, 38(1), (2004), 19-32.
- Lorena L. ve Lopes S., "Genetic Algorithms Applied to Computationally Difficult Set Covering Problems", *The Journal of the Operational Research Society*, 48(4), (1997), 440-445.
- Martens J., "Two Genetic Algorithms to Solve a Layout Problem in The Fashion Industry", *European Journal of Operational Research*, 154, (2004), 304-322.
- Mattfeld D.C. ve Bierwirth C., "An Efficient Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling With Tardiness Objectives", *European Journal of Operational Research*, 155(3), (2004), 616-630.
- MathWorks, *Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox User's Guide*, 2004.
- Medina J.R. ve Yepes V., "Optimization of Touristic Distribution Networks Using Genetic Algorithms", *SORT*, 27(1), (2003), 95-112.
- Michalewicz Z., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, 2nd ed., Springer Verlag, 1994.
- Mignozzi A., Boschetti M.A., Ricciardelli S. ve Bianco L., "A Set Partitioning Approach To The Crew Scheduling Problem", *Operations Research*, 47(6), (1999), 873-888.
- Moudani El. W., Cosenza C.A.N. ve Mora-Camino F., "An intelligent approach for solving the airline crew rostering problem", *Computer Systems and Applications, ACS/IEEE International Conference*, 2001, 73-79.

- Neely, C., Weller, P. ve Dittmar, R. "Is Technical Analysis in The Foreign Exchange Market Profitable? A Genetic Programming Approach", *Journal of Financial and Quantative Analysis*, 32(4), (1997), 405-426.
- Oh J. ve Wu C., "Genetic Algorithm Based Real-Time Task Scheduling with Multiple Goals", *The Journal of Systems and Software*, 71, (2004), 245-258.
- Orbak A.Y. ve Erdiller A., "Genetik Algoritmaların Çizelgeleme Problemlerinde Kullanımı", *III.Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 2003, 141-147.
- Osman M.S., Abo-Sinna M.A. ve Mousa A.A., "An Effective Genetic Algorithm Approach to Multiobjective Resource Allocation Problems (MORAPs)", *Applied Mathematics and Computation*, 163(2), (2005), 755-768.
- Özcan E. ve Alkan A., "Çok Nüfuslu Karalı Hal Genetik Algoritması Kullanarak Otomatik Çizelgeleme", *TBD 19. Bilişim Kurultayı*, 2002, 149-155.
- Özdamar K., *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi*, Kaan Kitabevi, Eskişehir, 2004.
- Özdemir H.T. ve Mohan C.K., "Flight Graph Based Genetic Algorithm For Crew Scheduling in Airlines", *Information Sciences*, 133, (2001), 165-173.
- Papoutsis K., Valouxis C. ve Housos E., A "Column Generation Approach For The Timetabling Problem of Greek High Schools", *The Journal of Operational Society*, 54(3), (2003), 230-238.
- Park T. ve Ryu K.R., "Crew Pairing Optimization by A Genetic Algorithm with Unexpressed Genes", *Journal Of Intelligent Manufacturing*, 17(4), (2006), 375-383.
- Pauley G.S., Ormerod R.J., Woolsey R.E.D. ve Talluri K.T., "The Four-Day Aircraft Maintenance Routing Problem", *Transportation Science*, 32(1), (1998), 43-53.
- Reeves C., *Genetic Algorithms- Principles and Perspectives: A Guide to GA Theory*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- Rubin J., "A Technique for the Solution of Massive Set Covering Problems, with Application to Airline Crew Scheduling", *Transportation Science*, 7, (1973), 34-48.
- Ryan D.M., "The Solution of Massive Generalized Set Partitioning Problems in Aircrew Rostering", *Journal of Operational research society*, 43 (5), (1992), 459-467.
- Saraç T. ve Özçelik F., "Alternatif Rotaların Varlığında Üretim Hücrelerinin Genetik Algoritma Kullanılarak oluşturulması", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 17(4), (2006), 22-36.

- Sarucan A. “Bir Raylı Ulaşım Sisteminde Personel Çizelgeleme Problemine Bütünleşik Yaklaşım”, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 1999.
- Seçkiner S.U. ve Dereli T. “Değişken İşgücü Talepli İş Rotasyonu Çizelgeleme Problemine Tavlama Benzetimi Yaklaşımı”, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXVI. Ulusal Kongresi, 2006, 462-466.
- Sohoni M.G., Johnson E.L. ve Bailey T.G. “Operational Airline Reserve Crew Planning”, *Journal of Scheduling.*, 9, (2006), 203-221.
- Spears W.M., DeJong K.A., Back T., Fogel D. ve Garis H., “An Overview of Evolutionary Computation”, In *Proceedings of European Conference of Machine Learning, Austria, 1993*, 442-459.
- Steiner W. ve Hrucshka H., “Genetic Algorithms For Product Design: How Well Do They Really Work?”, *International Journal of Market Research*, 45(2), (2003), 229-240.
- Stockton, D.J., Quinn, L. ve Khalil, R.A., “Use of Genetic Algorithms in Operations Management Part 1: Applications”, *ImechE*, 218, (2004), 315-327.
- Stojkovic M. ve Soumis F., “An Optimization Model For The Simultaneous Operational Flight and Pilot Scheduling Problem”, *Management Science*, 47(9), (2001), 1290-1305.
- Stojkovic M., Soumis F. ve Desrosiers J. “The Operational Airline Crew Scheduling Problem”, *Transportation Science*, 32(3), (1998), 232-245.
- Streichert F. *Introduction to Evolutionary Algorithms*, Frankfurt MathFinance Workshop, 2002.
- Şen Z., *Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2004.
- Şenöz Ç. “Sivil Havacılık Sektöründeki Küçük İşletmeler İçin Filo Atama Ve Tayfa Eşleştirme Modellerinin Birleştirilerek Uygulanması”, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- Temiz İ. ve Erol S., “Çok Amaçlı Çizelgeleme İçin Bir Genetik Algoritma”, *III.Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 2003, 148-154.
- Thiel M.P., *Team-oriented Airline Crew Scheduling and Rostering: Problem Description, Solution Approaches and Decision Support*, Paderborn University, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Paderborn, 2005.
- Tunalıoğlu N. ve Öcalan T., “Üç Boyutlu Karayolu Güzergah Optimizasyonunda Karar Destek Sistemi Olarak Genetik Algoritmaların Kullanımı”, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultay, Ankara, 2007.

- Türkay B. ve Artaç T., “Dağıtım Şebekesinin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı”, Elektrik- Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 10.Ulusal Kongresi, 2003, 95-98.
- Ulucan A., Yöneylem Araştırması, Siyasal Kitabevi, Ankara, 2004.
- Ulucan A. ve Eryiğit M., “Hava Taşımacılığı Planlamasında Yöneylem Araştırması Modellerinin Kullanımı”, Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 59(4), (2004), 227-248.
- Vance P.H., Barnhart C., Johnson E.L. ve Nemhauser G.L., “Airline Crew Scheduling: A New Formulation and Decomposition Algorithm”, Operations Research, 45(2), (1997), 188-200.
- Weicker K. ve Weicker N., “Basic Principles for Understanding Evolutionary Algorithms”, Fundamenta Informaticae, 55, (2003), 387-403.
- Wu X., Chu C-H., Wang Y. ve Yan W., “Concurrent Design of Cellular Manufacturing Systems: A Genetic Algorithm Approach”, International Journal of Production Research, 44(6), (2006), 1217–1241.
- Wu X., Chu C-H., Wang Y. ve Yan W., “A Genetic Algorithm For Cellular Manufacturing Design and Layout”, European Journal of Operational Research, 181, (2007), 156–167.
- Xu X. ve Liang M., “Integrated Planning For Product Module Selection and Assembly Line Design/Reconfiguration”, International Journal of Production Research, 44(11), (2005), 2091–2117.
- Yan S. ve Chang J.C. “Airline Cockpit Crew Scheduling”, European Journal of Operational Research, 136, (2002), 501-511.
- Yiğit V. ve Türkbey O. “Evrimsel Yaklaşım ve Tavlama Benzetimi Algoritmasıyla Birlikte Kullanılabilirliği”, Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXVI. Ulusal Kongresi, 2006, 302-305.

Ek-1. Havayolu şirketinin 2007 yaz dönemi uçuş planı

	Uçuş No Flug Nr./Fit. Nr.	Günler Tag / Days*	Kalkış Abflug/Dep.	Varış Ankunft/Arr	Uçuş No Flug Nr./Fit. Nr.
von/from Adana'dan (ADA)					
nach / to Antalya (AYT)	XQ 9211	4,7	08:55	09:55	TK 8871
nach / to Izmir (ADB)	XQ 965	3,5	08:55	10:30	TK 8804
	XQ 965	4,7	11:55	13:30	TK 8804
	XQ 967	1,2,3,5,6	22:10	23:45	TK 8821
von/from Amsterdam'dan (AMS)					
nach / to Izmir (ADB)	XQ 945	4,7	22:10	02:35	TK 8852
von/from Antalya'dan (AYT)					
nach / to Adana (ADA)	XQ 9210	4,7	10:25	11:25	TK 8872
nach / to Basel / Mulhouse (BSL)	XQ 110	2,5,7	06:15	09:00	TK 8897
	XQ 252	2	06:05	08:40	
nach / to Berlin Tegel (TXL)	XQ 230	2	06:25	08:50	
nach / to Bodrum (BJV)	XQ 940	4	04:40	05:25	
nach / to Bremen (BRE)	XQ 718	7	16:10	19:00	
nach / to Cologne / Bonn / CGN)	XQ 444	1	04:20	07:10	
	XQ 212	2	15:00	17:50	
	XQ 310	3	06:00	08:50	
	XQ 712	7	15:55	18:45	
nach / to Dalaman	XQ 910	1	01:55	02:40	
nach / to Diyarbakir	XQ 9220	1,5,7	12:00	13:25	TK 8820
nach / to Dortmund (DTM)	XQ 512	5	06:10	09:05	
nach / to Düsseldorf	XQ 534	5	15:30	18:20	
nach / to Ercan (ECN)	XQ 996	2,6	12:00	12:50	TK 8866
nach / to Erzurum (ERZ)	XQ 9212	2,6	07:00	08:45	TK 8878
nach / to Frankfurt (FRA)	XQ 140	1,2,3,4,5,6,7	15:15	18:05	TK 8884
nach / to Friedrichshafen (FDH)	XQ 228	2	12:10	14:30	
nach / to Geneva (GVA)	XQ 334	3	15:05	17:50	
nach / to Hannover (HAJ)	XQ 232	2	06:50	09:30	
nach / to Hamburg (HAM)	XQ 540	5	06:10	09:00	
nach / to Izmir (ADB)	XQ 991	1,2,4,6,7	09:45	10:45	TK 8802
	XQ963	1,2,3,4,5,6,7	19:55	20:55	TK 8818
nach / to Karlsruhe (FKB)	XQ 520	5	06:00	08:45	
nach / to Leipzig / Halle (LEJ)	XQ 748	7	07:00	09:25	
nach / to London Stansted (STN)	XQ 160	1,4	07:05	09:25	TK 8881
nach / to Luxembourg (LUX)	XQ 272	2	05:30	08:20	
nach / to Munich (MUC)	XQ 130	2,4,5,7	14:55	17:20	TK 8891
nach / to Nürnberg (NUE)	XQ 678	6	06:10	08:30	
nach / to Salzburg (SZG)	XQ 590	5	07:35	09:35	
nach / to Trabzon (TZX)	XQ 9218	5,7	07:25	09:05	TK 8886
nach / to Van (VAN)	XQ 9214	1	07:00	08:55	TK 8880
	XQ 9222	3	13:00	14:55	TK 8880
	XQ 9214	4	12:00	13:55	TK 8880
nach / to Vienna (VIE)	XQ 190	2,5,7	16:15	18:05	TK 8887
nach / to Zürich (ZRH)	XQ 120	3,5,6,7	15:15	17:50	TK 8893
von/from Basel'den (BSL)					
nach / to Antalya (AYT)	XQ 111	2,5,7	10:10	14:25	TK 8898
	XQ 253		2	09:40	13:50
nach / to Izmir (ADB)	XQ 949		2,6	22:15	02:10 + 1
von/from Berlin - Schönefeld'den (SXF)					
nach / to Bodrum (BJV)	XQ433	4	13:20	17:20	
nach / to Dalaman (DLM)	XQ 139	1	20:05	00:05	
nach / to Izmir (ADB)	XQ 923	3,7	00:20	04:10	TK 8832
von/from Berlin Tegel'den (TXL)					
nach / to Antalya (AYT)	QX 231	2	09:50	14:00	
von/from Bodrum'dan (BJV)					
nach / to Antalya (AYT)	XQ 941	5	00:45	01:35	
nach / to Berlin Schönefeld (SXF)	XQ 432	4	10:10	12:20	

Ek-1'in devamı

nach / to	Cologne / Bonn / CGN)	XQ 456	4	20:15	22:50	
nach / to	Düsseldorf (DUS)	XQ 410	4	06:45	09:10	
nach / to	Frankfurt (FRA)	XQ 420	4	16:20	18:40	
nach / to	Hamburg (HAM)	XQ 430	4	16:25	18:55	
nach / to	Hannover (HAJ)	XQ 462	4	07:20	09:45	
nach / to	Leipzig / Halle (LEJ)	XQ 436	4	12:25	14:30	
nach / to	Munich (MUC)	XQ 480	4	07:05	09:00	
nach / to	Stuttgart (STR)	XQ 458	4	18:10	20:15	
von/from Bremen'den (BRE)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 719	7	20:00	00:25	
von/from von Cologne / Bonn'dan (CGN)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 213	2	08:05	10:30	
		XQ 311	3	05:45	10:10	
		XQ 445	4	23:50	04:15 + 1	
		XQ 713	7	19:45	00:10 + 1	
nach / to	Bodrum (BJV)	XQ 457	4	07:05	11:20	
nach / to	Dalaman (DLM)	XQ 135	1	08:10	12:30	
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 983	1,2,3,4,5,6,7	01:10	05:20	TK 8836
von/from Dalaman'dan (DLM)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 911	2	00:50	01:35	
nach / to	Berlin Schönefeld (SXF)	XQ 138	1	16:55	19:15	
nach / to	Cologne / Bonn / CGN)	XQ 134	1	22:25	01:05	
nach / to	Leipzig / Halle (LEJ)	XQ 118	1	13:30	15:45	
von/from Diyarbakır'dan (DIY)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 9221	1,5,7	14:05	15:50	TK 8819
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 987	1,2,3,6,7	14:35	16:40	TK 8806
		XQ 987	4	22:30	00:35 +1	
von/from Dortmund'dan (DTM)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 513	5	10:05	14:30	
von/from Düsseldorf'dan(DUS)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 535	5	19:20	23:55	
nach / to	Bodrum (BJV)	XQ 411	4	10:25	14:50	
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 959	2,5	16:00	20:15	TK 8830
von/from Ercan'dan (ECN)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 997	3,7	02:55	03:50	TK 8865
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 955	2,6	13:20	14:45	TK 8785
von/from Erzurum'dan (ERZ)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 9213	2,6	09:15	11:05	TK 8877
nach / to	Izmir (ADB)		1,2,5,6	10:00	12:15	TK 8810
			7	22:45	01:00 + 1	TK 8793
von/from Frankfurt'dan (FRA)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 141	1,2,3,4,5,6,7	19:05	22:20	TK 8890
nach / to	Bodrum (BJV)	XQ 421	4	19:40	23:50	
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 971	1,2,3,4,5,6,7	15:20	19:25	TK 8834
von/from Friedrichshafen'den (FDH)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 229	2	15:30	19:30	
von/from Gaziantep'den (GZT)						
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 929	1,3,4,5,7	08:55	10:45	TK 8816
von/from Geneva'dan (GVA)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 335	3	14:55	19:20	

Ek-1'in devamıvon/from **Hamburg'dan (HAM)**

nach / to Antalya (AYT)	XQ 541	5	10:00	14:25	
nach / to Bodrum (BJV)	XQ 431	4	19:55	00:10 + 1	

von/from **Hannover'den (HAJ)**

nach / to Antalya (AYT)	XQ 233	2	10:30	14:55	
nach / to Bodrum (BJV)	XQ 468	4	10:40	14:55	
nach / to Izmir (ADB)	XQ 975	2,4,6	01:20	05:30	TK 8840

von/from **Izmir'den (ADB)**

nach / to Adana (ADA)	XQ 964	3,4,5,7	07:00	08:25	TK 8803
	XQ986	1,2,3,5,6	20:10	21:35	TK 8822
nach / to Amsterdam (AMS)	XQ 944	4,7	18:40	21:20	TK 8851
nach / to Antalya (AYT)	XQ 990	1,2,4,6,7	08:15	09:15	TK 8801
	XQ 952	1,2,3,4,5,6,7	18:25	19:25	TK 8817
nach / to Basel Mulhouse (BSL)	XQ 948	2,6	19:00	21:15	TK 8899
nach / to Berlin Schönefeld (SXF)	XQ 922	2,6	21:10	23:20	TK 8831
nach / to Cologne / Bonn / CGN)	XQ 982	1,2,3,4,5,6,7	21:40	00:10 + 1	TK 8835
nach / to Diyarbakir (DIY)	XQ 986	1,2,3,6,7	12:15	14:05	TK 8805
	XQ 986	4	20:10	22:00	TK 8805
nach / to Düsseldorf (DUS)	XQ 958	2,5	12:30	15:00	TK 8829
nach / to Ercan (DUS)	XQ 954	3,7	00:45	02:10	TK 8784
nach / to Erzurum (ERZ)	XQ 994	1,2,5,6	07:30	09:30	TK 8809
	XQ 9118	7	20:15	22:15	TK 8792
nach / to Frankfurt (FRA)	XQ 970	1,2,3,4,5,6,7	11:50	14:10	TK 8833
nach / to Gaziantep (GZT)	XQ 928	1,3,4,5,7	06:45	08:25	TK 8815
nach / to Hannover (HAJ)	XQ 974	1,3,5	21:40	00:10 + 1	TK 8839
nach / to Kayseri	XQ 9116	1,4,7	17:10	18:45	TK 8813
nach / to London Stansted (STN)	XQ 950	2,6	15:30	17:25	TK 8797
nach / to Malatya (MLX)	XQ9110	2,6	07:50	09:30	TK 8788
nach / to Munich (MUC)	XQ 976	1,4,5,7	11:30	13:30	TK 8843
nach / to Nuernberg (NUE)	XQ 938	4,7	21:40	23:40	TK 8847
nach / to Sivas (VAS)	XQ 9112	4,7	14:00	15:40	TK 8786
nach / to Stuttgart (STR)	XQ 972	1,3,5	19:00	21:10	TK 8841
nach / to Trabzon (TZX)	XQ 988	1,2,5,7	07:00	08:55	TK 8811
	XQ 988	3,6	15:10	17:05	TK 8811
nach / to Van (VAN)	XQ 984	1,2,5,6	12:45	14:55	TK 8807
	XQ 984	3	07:30	09:40	TK 8807
	XQ 984	4	06:45	08:55	TK 8807
nach / to Zürich (ZRH)	XQ 960	3,6	07:15	09:25	TK 8837

von/from **Karlsruhe'den (FKB)**

nach / to Antalya (AYT)	XQ 521	5	09:45	13:55	
---------------------------	--------	---	-------	-------	--

von/from **Kayseri'den (ASR)**

nach / to Izmir (ADB)	XQ 9117	1,4,7	19:15	20:55	TK 8814
-------------------------	---------	-------	-------	-------	---------

von/from **Leipzig'den**

nach / to Antalya (AYT)	XQ 749	7	10:15	14:25	
nach / to Bodrum (BJV)	XQ 437	4	15:35	19:35	
nach / to Dalaman (DLM)	XQ 119	1	16:50	20:55	

von/from **London Stansted'den**

nach / to Antalya (AYT)	XQ 161	1,4	10:25	16:25	TK 8882
nach / to Izmir (ADB)	XQ 951	2,6	18:20	00:05 + 1	TK 8898

von/from **Luxembourg'den**

nach / to Antalya	XQ 273	2	09:10	13:45	
-------------------	--------	---	-------	-------	--

von/from **Malatya'dan (MLX)**

nach / to Izmir (ADB)	XQ 9111	2,6	10:00	11:45	TK 8789
-------------------------	---------	-----	-------	-------	---------

von/from **Muinch'den (MUC)**

Ek-1'in devamı

nach / to	Antalya (AYT)	XQ 131	2,4,5,7	18:25	22:25	TK 8892
nach / to	Bodrum (BJV)	XQ 461	4	10:10	13:55	
nach / to	Dalaman (DLM)	XQ 977	1,4,5,7	14:25	18:05	TK 8844
von/from Nuernberg`den (NUE)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 679	5	09:30	13:35	
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 939	1,5	00:30	04:10	TK 8848
von/from Saarbrücken`den (SCN)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ717	7	10:05	14:30	
von/from Salzburg`dan (SZG)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 591	5	10:25	14:10	
von/from Sivas`dan (VAS)						
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 9113	4,7	16:10	17:55	TK 6787
von/from Stuttgart`dan (STR)						
nach / to	Bodrum (BJV)	XQ 459	4	21:15	01:05 + 1	
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 973	1,3,5	22:00	02:00 + 1	TK 8842
von/from Trabzon`dan (TZX)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 9219	5,7	09:35	11:25	TK 8885
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 989	1,2,5,7	09:25	11:30	TK 8812
		XQ 989	3,6	17:35	19:40	TK 8812
von/from Van`dan (VAN)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ9223	3	10:25	12:30	TK 8879
		XQ9215	1,4	09:25	11:30	TK 8879
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 985	1,2,3,5,6	15:25	17:40	TK 8808
		XQ 985	4	14:25	16:40	TK 8808
von/from Vienna`dan (VIE)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 191	2,5,7	19:05	22:40	TK 8888
von/from Zürich`den (ZRH)						
nach / to	Antalya (AYT)	XQ 121	3,5,6,7	18:50	23:05	TK 8894
nach / to	Izmir (ADB)	XQ 961	3,6	10:20	14:15	TK 8838

Ek-2. Küme Bölme Modelinin Genetik Algoritmalarla Çözümünü İçin Örnek

Küme bölme modelinin genetik algoritmalar ile çözümünü anlaşılır kılmak için tüm çözüm aşamaları küçük ölçekli bir problem üzerinde anlatılmaktadır. Problemden sadece birinci günkü İzmir temelli uçuşlar ele alınarak bir örnek problem oluşturulmuştur. Tablo 3.3’de birinci günkü İzmir temelli uçuşlardan 27 tane olası eşleştirmenin olduğu görülmektedir. Tablo 3.3’teki olası eşleştirmelerden oluşan küme bölme modeli toplam 133 kısıttan oluşmaktaydı bunlardan 13 tanesi ilk günkü İzmir uçuşları ile ilgilidir. Bu uçuşlara ait uygunluk fonksiyonu, tüm uçuşları sadece birer kez kapsayacak şekilde eşleşme sayısının minimize edilmesidir ve aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

$$\text{Min } f(x) = \sum_{i=1}^{27} x_i$$

Problemden her bir sütunun (olası eşleştirmenin) bir bit olarak gösterildiği ikili kodlama kullanılmaktadır. Bu durumda dizinin uzunluğu ile sütun sayısı birbirine eşit olmalıdır. Problem 27 sütundan oluştuğuna göre kromozom yapısı olarak 27 bitlik ikili (binary) dizi gösterimi kullanılmalıdır. i . bitin 1 değerini alması i . sütunun çözümde olduğunu, 0 değerini alması ise çözümde olmadığını göstermektedir. Birey kromozomların küme bölme problemi için ikili gösterimi aşağıdaki şekilde görülmektedir. Her dizi olası eşleşme sayısı uzunluğuna eşittir. Bireylerin kromozomlarının ikili gösterimi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

1	2	3	4	5	6	...	n-1	n
1	0	1	0	0	1	...	1	0

Her bir jenerasyonda popülasyonun büyüklüğünün 4 olarak seçildiği varsayalım. Popülasyonu oluşturan dört birey, her biri 27 bit uzunluğunda birer kromozomla temsil edilmektedir. Başlangıç popülasyonu rassal olarak aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

V1= 100101011000001000000111111

V2= 010001101000100000000111111

V3= 100100101000101000100111111

V4= 100100100100000010001101011

Elde edilen birey kromozomları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Dizi no.	Aday popülasyon	$f(x) = \sum_{i=1}^{27} x_i$	$\frac{f_i}{\sum f}$	Rulet tekerleğinden hesaplamalar
1	100101011000001000000111111	12	0.26	1
2	010001101000100000000111111	11	0.24	0
3	100100101000101000100111111	13	0.28	2
4	100100100100000010001101011	10	0.22	1
<i>Toplam</i>		46	1	

Yukarıda belirlenen bireyler için $\text{Min } f(x) = \sum_{i=1}^{27} x_i$, bireylerin uygunluk değerlerini verir.

Dört bireyin toplam uygunluk değerleri “12+11+13+10=46” dır. Dolayısıyla her bir bireyin rulet tekerleğinde kaplayacağı alan şu şekilde hesaplanır.

$$\text{Birey 1: } 12/46 = 0.26: \%26$$

$$\text{Birey 3: } 13/46 = 0.28: \%28$$

$$\text{Birey 2: } 11/46 = 0.24: \%24$$

$$\text{Birey 4: } 10/46 = 0.22: \%22$$

Bu değerler, rulet tekerleğinin her çevrilisinde hangi olasılıkla hangi bireyin seçileceğini belirtir (% 26 olasılıkla 1 numaralı birey seçilecektir gibi).

Popülasyondaki birey sayısının sabit kaldığı varsayıldığında, rulet tekerleği 4 kere çevrilerek çiftleşme havuzu oluşturulacaktır. Rulet tekerleği döndürüldüğünde şu sonuçlar elde edilmiş olsun.

Birey 1 : 1 kere

Birey 2 : 0 kere

Birey 3 : 2 kere

Birey 4 : 1 kere

Bunun sonucunda elde edilen çiftleşme havuzu aşağıdaki gibi oluşur;

Aday 1 : 100101011000001000000111111 (Birey 1)

Aday 2 : 100100101000101000100111111 (Birey 3)

Aday 3 : 100100101000101000100111111 (Birey 3)

Aday 4 : 100100100100000010001101011 (Birey 4)

Çiftleşme havuzu belirlendikten sonra. İlk aşamada adaylar çiftleşmek üzere rasgele olarak eşlenirler. Her ikili grup için bir kere zar atılarak çaprazlaşmanın oluşacağı nokta belirlenir. Rasgele eşleştirme yapılmış ve bunun sonucunda (aday 1, aday 2) ve (aday 3, aday 4) ikili grupları oluşmuştur. Çaprazlaşma noktaları da 1. grup için $k=6$ ve 2. grup için $k=11$ olarak belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra çaprazlaşma gerçekleştirilmiş ve şu sonuçlar oluşmuştur; (çaprazlaşma noktaları “/” ile belirtilmiştir.)

Çiftleşme grubu 1: ($k=6$)

Aday 1 : 100101/011000001000000111111

Aday 2 : 100100/101000101000100111111

oluşan Birey 1 : 100101101000101000100111111

oluşan Birey 2 : 100100011000001000000111111

Çiftleşme grubu 2 : ($k=11$)

Aday 3 : 10010010100/01010001001111111

Aday 4 : 10010010010/0000010001101011

oluşan Birey 3 : 100100101000000010001101011

oluşan Birey 4 : 100100100100101000100111111

Son aşama olan mutasyon bitler düzeyinde uygulanır. Birey 1'in 6, Birey 2'nin 13, Birey 3'ün 13 ve Birey 4'ün 10 numaralı bitinde mutasyon olacağı ortaya çıkmıştır.

	<u>f(x)</u>
Mutasyon sonucu oluşan Birey 1: 100100101000101000100111111	13
Mutasyon sonucu oluşan Birey 2: 100100011000101000000111111	12
Mutasyon sonucu oluşan Birey 3: 100100101000100010001101011	11
Mutasyon sonucu oluşan Birey 4: 100100100000101000100111111	12

Genetik algoritmanın operatörleri her aşamada yeni oluşan kuşağa uygulanarak bir sonraki kuşak elde edilmektedir. Yukarıdaki örnekte tek bir iterasyon yapılmış ve başlangıç popülasyonundan bir sonraki kuşak oluşturulmuştur ancak genetik algoritmanın çalışmasının tam olarak gözlenebilmesi için tek bir iterasyon yeterli değildir. İşlemler rassal olmakla beraber, uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilme ve çiftleşme olasılıkları yüksek olduğu için kuşaklar ilerledikçe popülasyonu oluşturan bireylerin uygunluk değerlerinin ortalamasının da arttığı gözlenecektir.

Ek-3. MATLAB’da Genetik Algoritma Yöntemi İçin Çözüm Kodları

Amaç fonksiyonunun tanımlandığı m.file

```
function scores=fitBinarypairing(x)

x = (x>=0.5);

xVar = str2num(dec2bin(x));

if any(xVar) > 0

    scores=sum(abs(xVar));

else
    scores = (length(xVar) + 1); % En yuksek hata degeri bu olsun :)
end
```

Kısıtların tanımlandığı m.file

```
function [c, ceq] = constraintBinarypairing(x)
% The ga function assumes the constraint function will take one input x,
% where x has as many elements as the number of variables in the problem.
% The constraint function computes the values of all the inequality and
% equality constraints and returns two vectors, c and ceq, respectively
xVar = abs(str2num(dec2bin(x)));
c = [];
ceq = [...
    (xVar(1)+xVar(2)+xVar(3)-1);...
    (xVar(4)+xVar(5)+xVar(6)-1);...
    (xVar(7)+xVar(8)-1);...
    (xVar(9)+xVar(10)+xVar(11)+xVar(12)-1);...
    (xVar(13)+xVar(14)+xVar(10)-1);...
    (xVar(15)+xVar(16)+xVar(17)+xVar(18)+xVar(2)+xVar(5)+xVar(11)-1);...
    (xVar(19)+xVar(20)+xVar(21)+xVar(3)+xVar(6)+xVar(8)+xVar(12)-1);...
    (xVar(22)+xVar(16)-1);...
    (xVar(23)+xVar(17)+xVar(20)-1);...
    (xVar(24)-1);...
    (xVar(25)+xVar(14)+xVar(18)+xVar(21)-1);...
    (xVar(26)-1);...
    (xVar(27)-1);...
    (xVar(28)+xVar(29)+xVar(30)-1);...
    (xVar(31)+xVar(32)-1);...
    (xVar(33)+xVar(34)+xVar(35)+xVar(36)-1);...
    (xVar(37)+xVar(38)+xVar(39)+xVar(40)+xVar(41)-1);...
    (xVar(42)+xVar(43)+xVar(38)-1);...
    (xVar(44)+xVar(45)+xVar(46)+xVar(29)+xVar(34)+xVar(39)-1);...
    (xVar(47)+xVar(35)+xVar(40)-1);...
    (xVar(48)+xVar(49)+xVar(50)+xVar(30)+xVar(32)+xVar(36)+xVar(41)-1);...
    (xVar(51)-1);...
    (xVar(52)+xVar(45)+xVar(49)-1);...
    (xVar(53)-1);...
    (xVar(54)+xVar(43)+xVar(46)+xVar(50)-1);...
    (xVar(55)-1);...
    (xVar(56)-1);...
    (xVar(57)+xVar(58)-1);...
    (xVar(59)+xVar(60)+xVar(61)-1);...
    (xVar(62)+xVar(63)-1);...]
```


Ek-3'ün devamı

```

(xVar (64) -1); ...
(xVar (65) +xVar (66) +xVar (60) -1); ...
(xVar (67) +xVar (68) +xVar (69) +xVar (58) +xVar (61) -1); ...
(xVar (70) +xVar (71) +xVar (63) -1); ...
(xVar (72) +xVar (68) -1); ...
(xVar (73) -1); ...
(xVar (74) +xVar (66) +xVar (69) +xVar (71) -1); ...
(xVar (75) -1); ...
(xVar (76) -1); ...
(xVar (77) +xVar (78) -1); ...
(xVar (79) -1); ...
(xVar (80) +xVar (81) -1); ...
(xVar (82) +xVar (83) +xVar (84) -1); ...
(xVar (85) +xVar (83) -1); ...
(xVar (86) +xVar (87) +xVar (88) +xVar (78) +xVar (81) +xVar (84) -1); ...
(xVar (89) +xVar (90) -1); ...
(xVar (91) +xVar (92) +xVar (87) -1); ...
(xVar (93) -1); ...
(xVar (94) +xVar (88) -1); ...
(xVar (95) -1); ...
(xVar (96) +xVar (90) +xVar (92) -1); ...
(xVar (97) +xVar (98) -1); ...
(xVar (99) +xVar (100) +xVar (101) -1); ...
(xVar (102) +xVar (103) -1); ...
(xVar (104) +xVar (105) -1); ...
(xVar (106) +xVar (107) +xVar (100) -1); ...
(xVar (108) -1); ...
(xVar (109) +xVar (110) +xVar (111) +xVar (98) +xVar (101) +xVar (103) +xVar (105) -
1); ...
(xVar (112) +xVar (110) -1); ...
(xVar (113) -1); ...
(xVar (114) +xVar (107) +xVar (111) -1); ...
(xVar (115) -1); ...
(xVar (116) -1); ...
(xVar (117) +xVar (118) -1); ...
(xVar (119) +xVar (120) + xVar (121) -1); ...
(xVar (122) +xVar (123) +xVar (124) +xVar (125) -1); ...
(xVar (126) +xVar (127) +xVar (128) +xVar (129) +xVar (130) -1); ...
(xVar (131) +xVar (132) +xVar (127) -1); ...
(xVar (133) +xVar (134) +xVar (135) +xVar (123) +xVar (128) -1); ...
(xVar (136) +xVar (137) +xVar (138) +xVar (120) +xVar (124) +xVar (129) -1); ...
(xVar (139) +xVar (140) +xVar (118) +xVar (121) +xVar (125) +xVar (130) -1); ...
(xVar (141) -1); ...
(xVar (142) +xVar (134) +xVar (137) -1); ...
(xVar (143) -1); ...
(xVar (144) +xVar (132) +xVar (135) +xVar (138) +xVar (140) -1); ...
(xVar (145) -1); ...
(xVar (146) +xVar (147) +xVar (148) -1); ...
(xVar (149) +xVar (150) -1); ...
(xVar (151) +xVar (152) +xVar (153) -1); ...
(xVar (154) +xVar (155) +xVar (156) +xVar (157) -1); ...
(xVar (158) +xVar (155) -1); ...
(xVar (159) +xVar (160) +xVar (161) +xVar (147) +xVar (152) +xVar (156) -1); ...
(xVar (162) +xVar (163) +xVar (164) +xVar (148) +xVar (150) +xVar (153) +xVar (157) -
1); ...
(xVar (165) +xVar (166) +xVar (160) -1); ...
(xVar (167) +xVar (168) +xVar (161) +xVar (163) -1); ...
(xVar (169) -1); ...
(xVar (170) +xVar (164) -1); ...
(xVar (171) +xVar (166) +xVar (168) -1); ...
(xVar (172) -1); ...

```

Ek-3'ün devamı

```
(xVar(173)+xVar(174)-1);...
(xVar(175)-1);...
(xVar(176)+xVar(174)-1);...
(xVar(177)-1);...
(xVar(178)-1);...
(xVar(179)-1);...
(xVar(180)-1);...
(xVar(181)-1);...
(xVar(182)-1);...
(xVar(183)+xVar(184)-1);...
(xVar(185)+xVar(184)-1);...
(xVar(186)-1);...
(xVar(187)-1);...
(xVar(188)-1);...
(xVar(189)-1);...
(xVar(190)-1);...
(xVar(191)-1);...
(xVar(192)-1);...
(xVar(193)-1);...
(xVar(194)-1);...
(xVar(195)-1);...
(xVar(196)-1);...
(xVar(197)-1);...
(xVar(198)+xVar(199)-1);...
(xVar(200)-1);...
(xVar(201)+xVar(199)-1); ...
(xVar(202)-1);...
(xVar(203)-1);...
(xVar(204)-1);...
(xVar(205)-1);...
(xVar(206)-1);...
(xVar(207)-1);...
(xVar(208)-1);...
(xVar(209)-1);...
(xVar(210)-1);...
(xVar(211)-1);...
(xVar(212)+xVar(213)-1);...
(xVar(214)+xVar(213)-1);...
(xVar(215)-1);...
(xVar(216)-1);...
(xVar(217)-1);...
(xVar(218)-1);...
(xVar(219)-1);...
(xVar(220)-1)];
```

GA Çözümü Ve Parametrelerin Kodlandığı M.File

```
clc
clear all
close all

%% NUMBER_OF_VARIABLES tane binary degisken olsun: x
% Bu degiskenleri 1-bitlik sayi olarak gosterelim
NUMBER_OF_VARIABLES = 220;

%% Options of GA
options = gaoptimset('PopulationType', 'bitstring', ...
```

Ek-3'ün devamı

```

'MutationFcn',@mutationadaptfeasible, ...
'SelectionFcn',@selectiontournament, ...
'CrossoverFcn',@crossoversinglepoint, ...
'FitnessLimit', 0, ...
'TolFun', 0, ...
'TolCon', 0);

% Population options
options = gaoptimset(options, 'PopulationSize', 600, ... % toplam birey
sayısı = 600
'Crossoverfraction', 0.5, ... %çaprazlama oranı
'EliteCount', 4); % her jenerasyondaki en başarılı 4 birey aynen
korunacak

% Plot options
options = gaoptimset(options, 'PlotFcns', {@gaplotbestf, ... % the best
function value
                                @gaplotstopping}); % the
stopping criteria

% Display options
options = gaoptimset(options, 'Display', 'iter'); % Her iterasyonda
sonucu yazsın

% Modifying the stopping criteria
options = gaoptimset(options, 'Generations', 300, ... % en fazla kaç defa
denenecek
                                'FitnessLimit', 0, ... % hedef nedir
                                'StallGenLimit', 150, ... % kaç defa değişiklik olmazsa
duracak
                                'StallTimeLimit', 60000); % kaç saniye değişiklik
olmazsa duracak

% Minimumunu aradığımız fonksiyon fitBinarypairing fonksiyonu icinde
tanımlandı :)
ObjectiveFunction = @fitBinarypairing;
nvars = NUMBER_OF_VARIABLES; % Number of variables
LB = zeros(1, nvars); % Lower bound
UB = ones(1, nvars); % Upper bound

% Constraining options:
ConstraintFunction = @constraintBinarypairing;

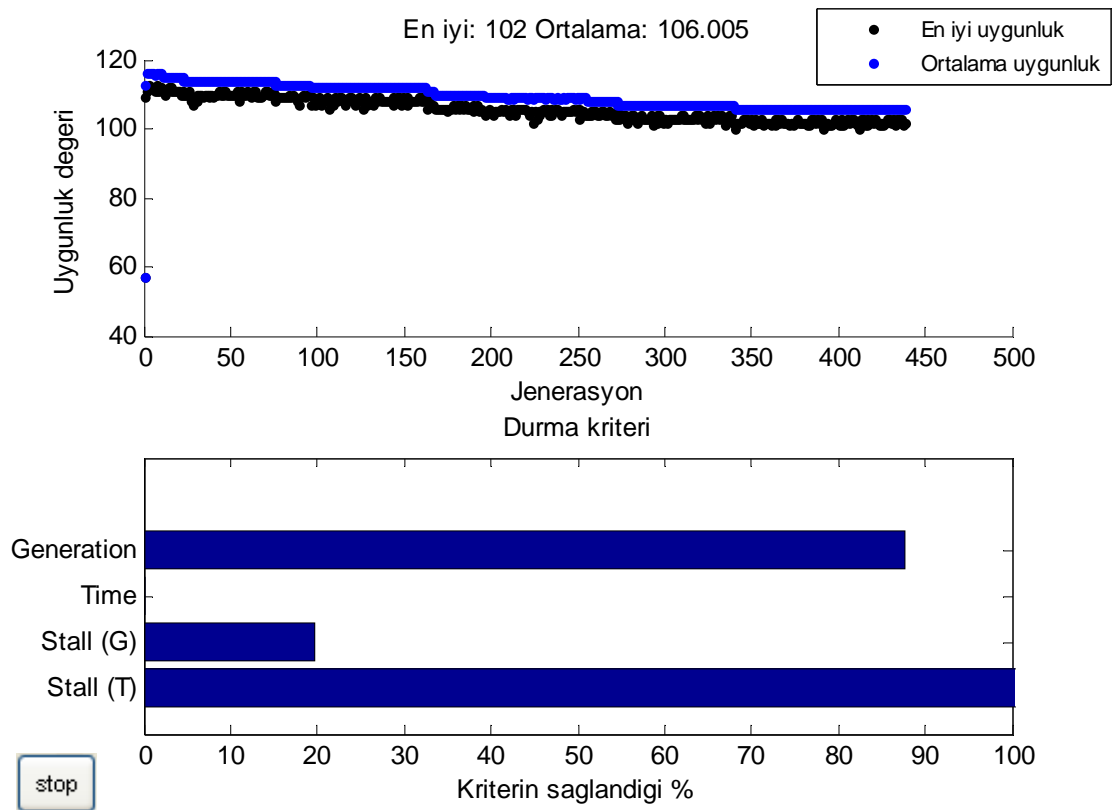
tic
%% GA burada calisiyor:
[x,fval,reason,output] =
ga(ObjectiveFunction,nvars,[],[],[],[],LB,UB,ConstraintFunction,options)
%#ok<NOPTS>
toc
%% GA'nin calismasi bitince bize rapor versin :)

xVar = str2num(dec2bin(x));
fprintf('Secilen degerler:\n');
for iTemp=1:NUMBER_OF_VARIABLES
    fprintf('x%u = %d\n', iTemp, xVar(iTemp));
end

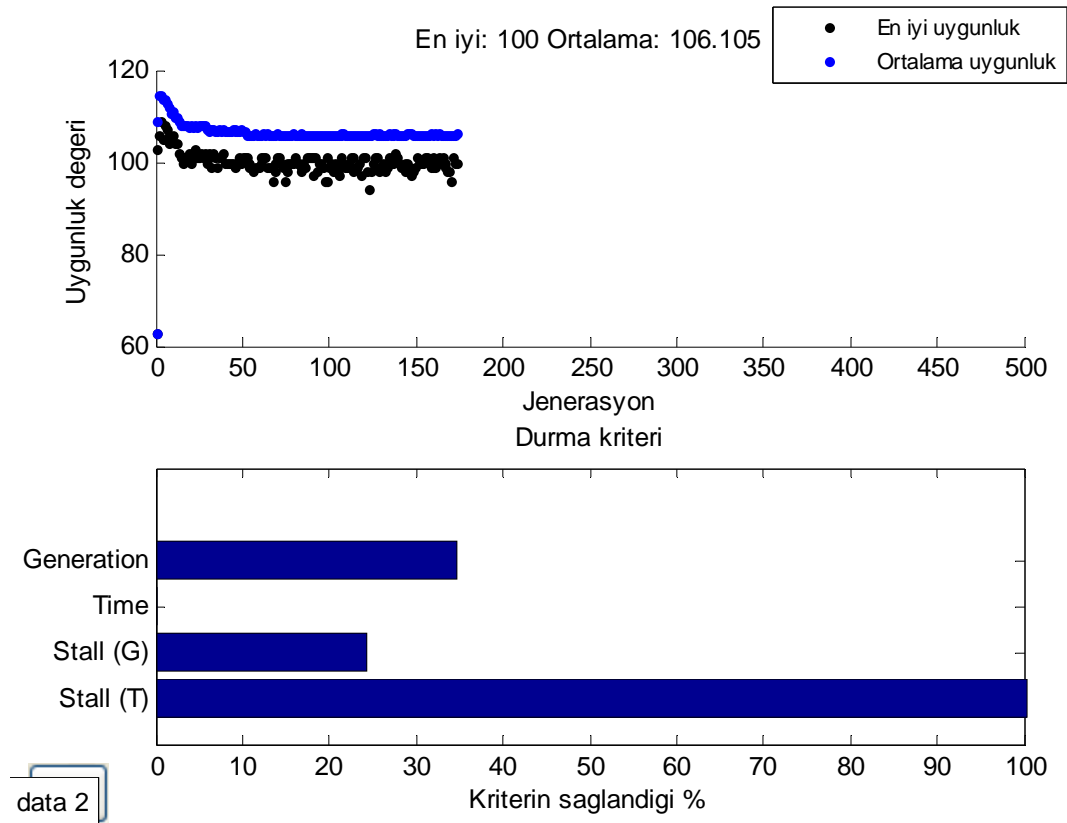
```

Ek - 4. Durma Kriterleri İle İlgili Grafikler

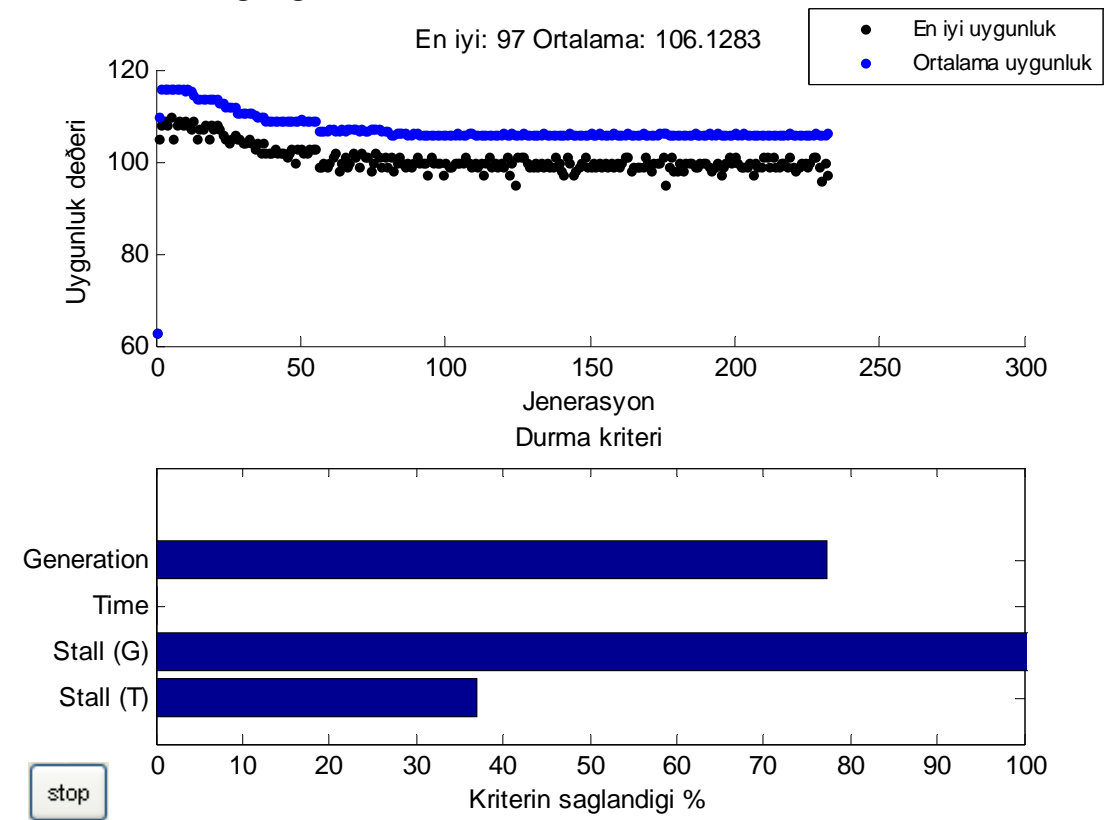
Aşağıdaki şekillerde optimal sonuca ulaşılan denemelerde genetik algoritmaların nasıl bir seyir izlediği grafikler üzerinde görülmektedir (100.denemenin grafiği kayıt sırasında yapılan bir hatadan dolayı eke konulamamıştır).



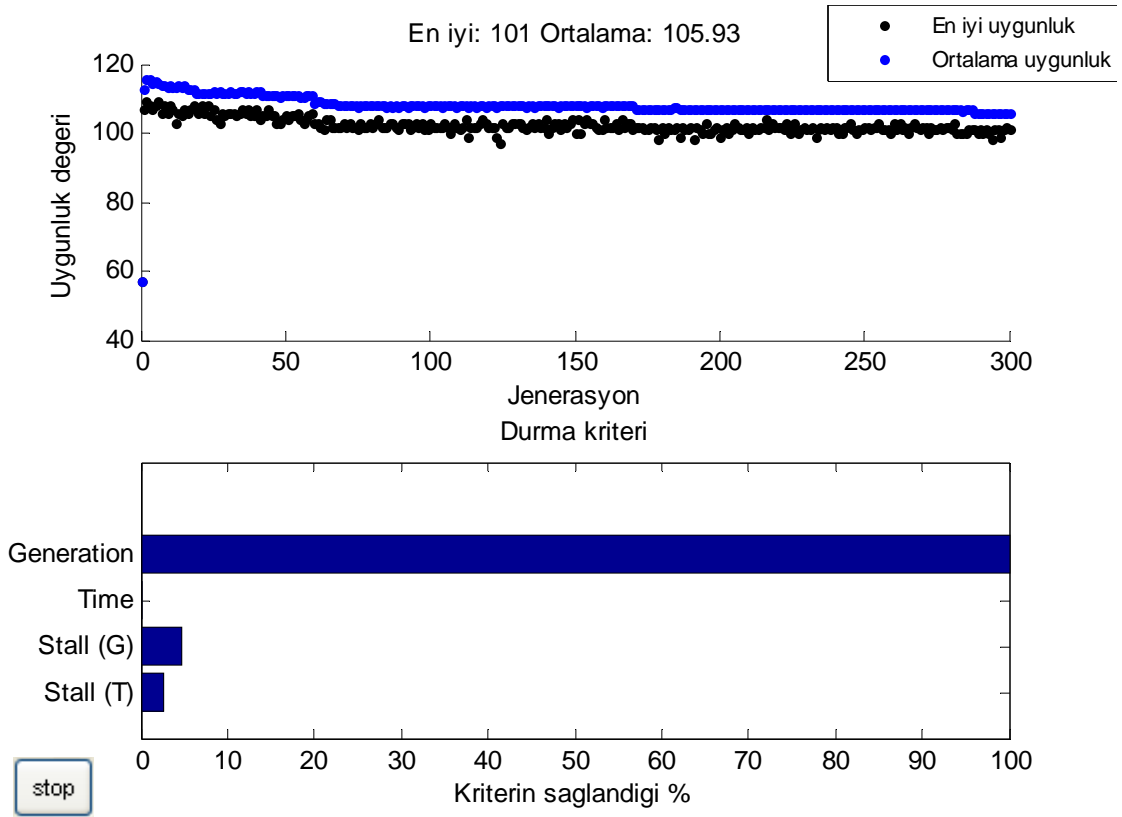
37 nolu denemenin grafiği



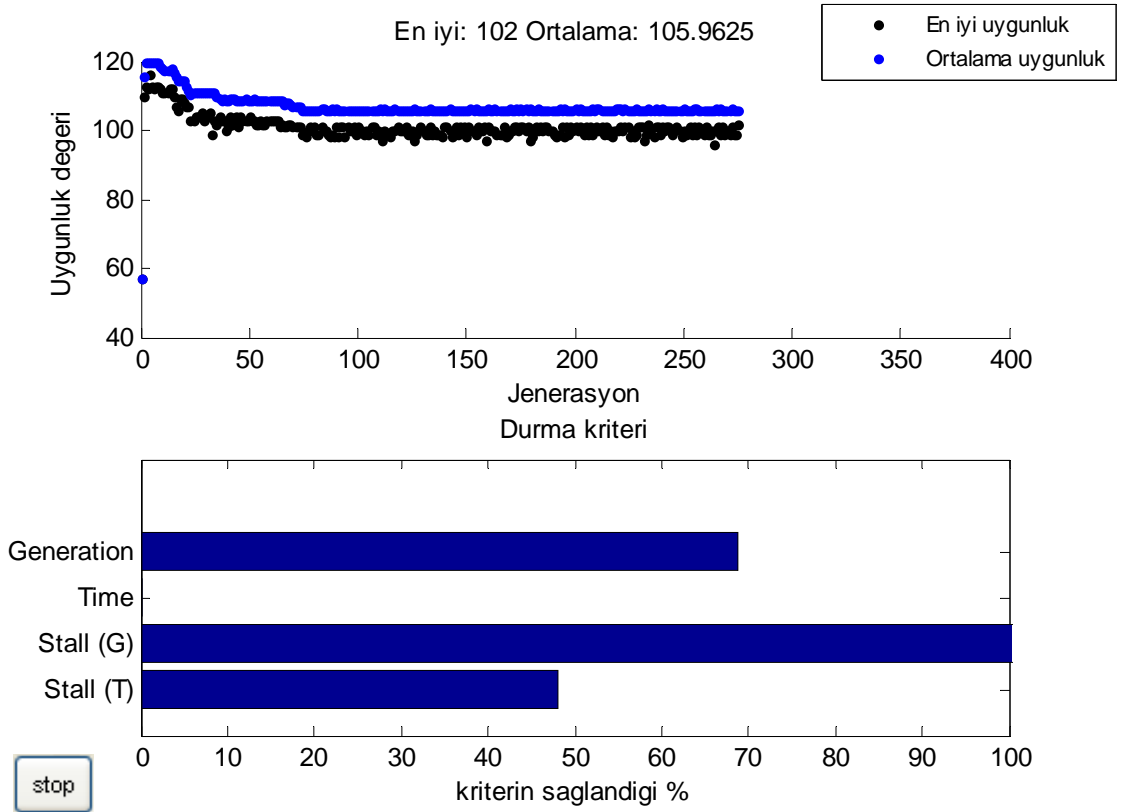
49 Nolu denemenin grafiği



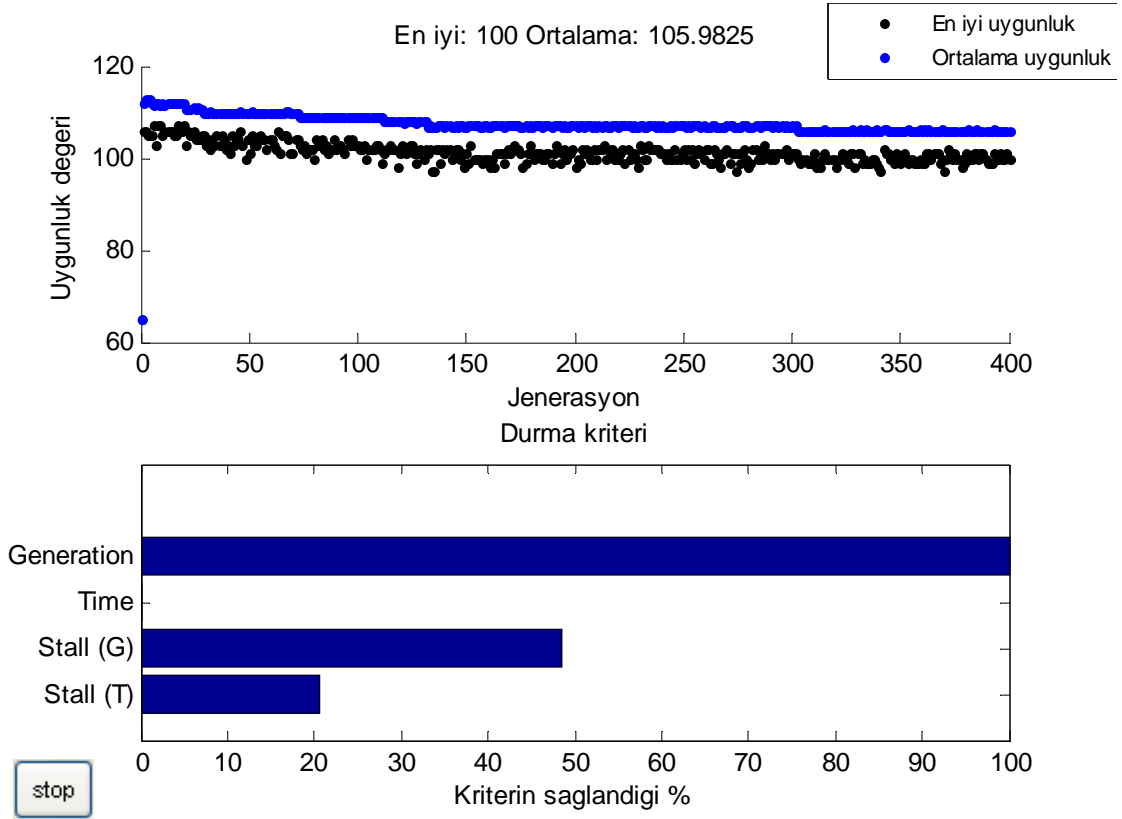
51 Nolu denemenin grafiği



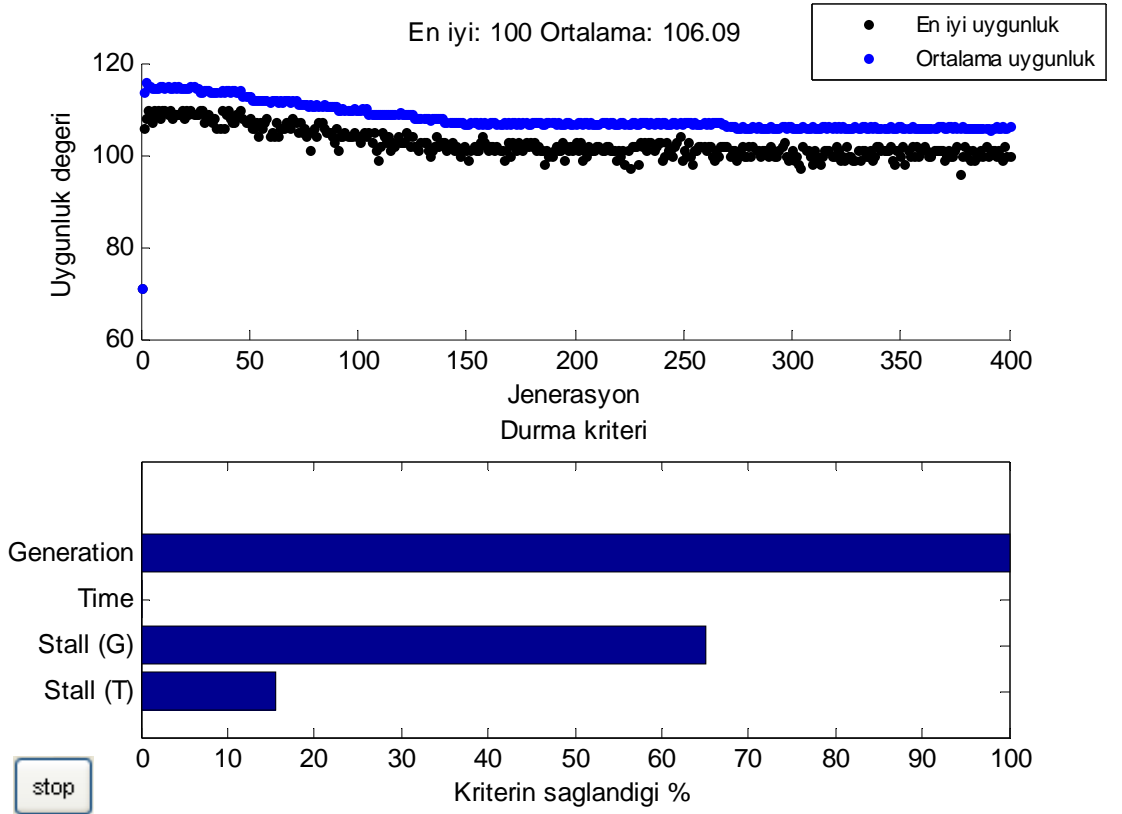
52 Nolu denemenin grafiği



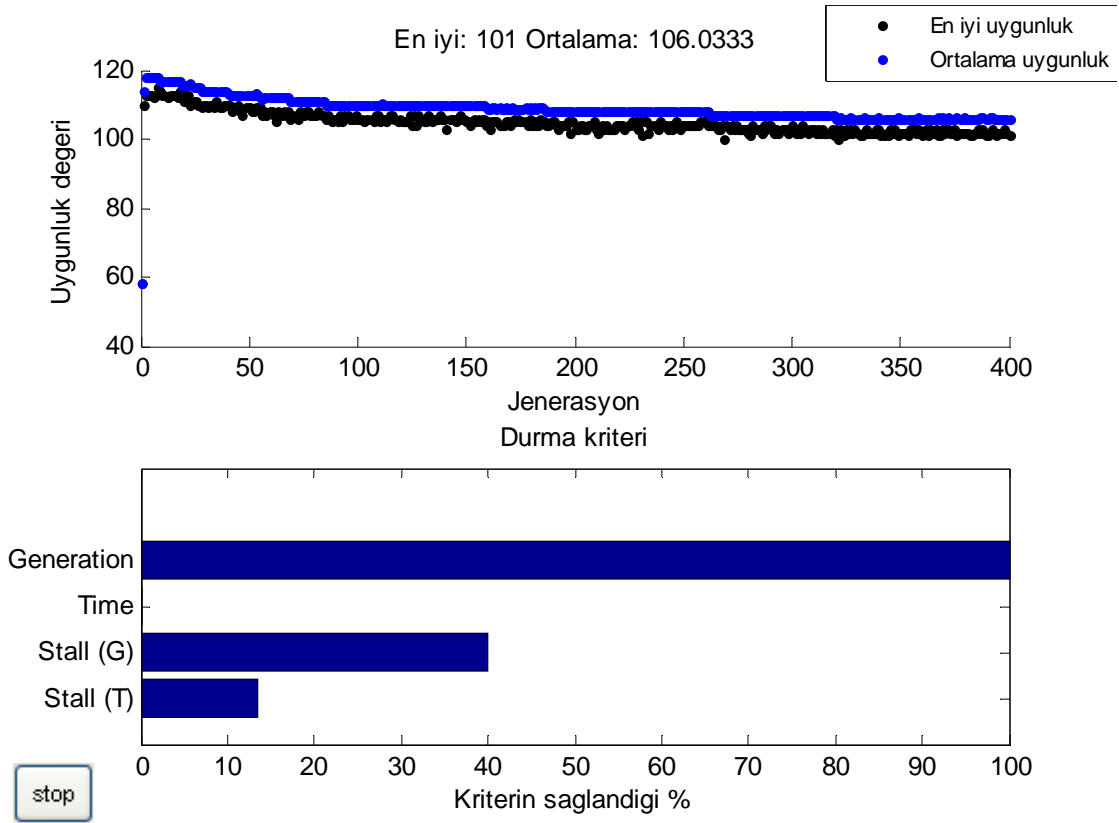
72 Nolu denemenin grafiği



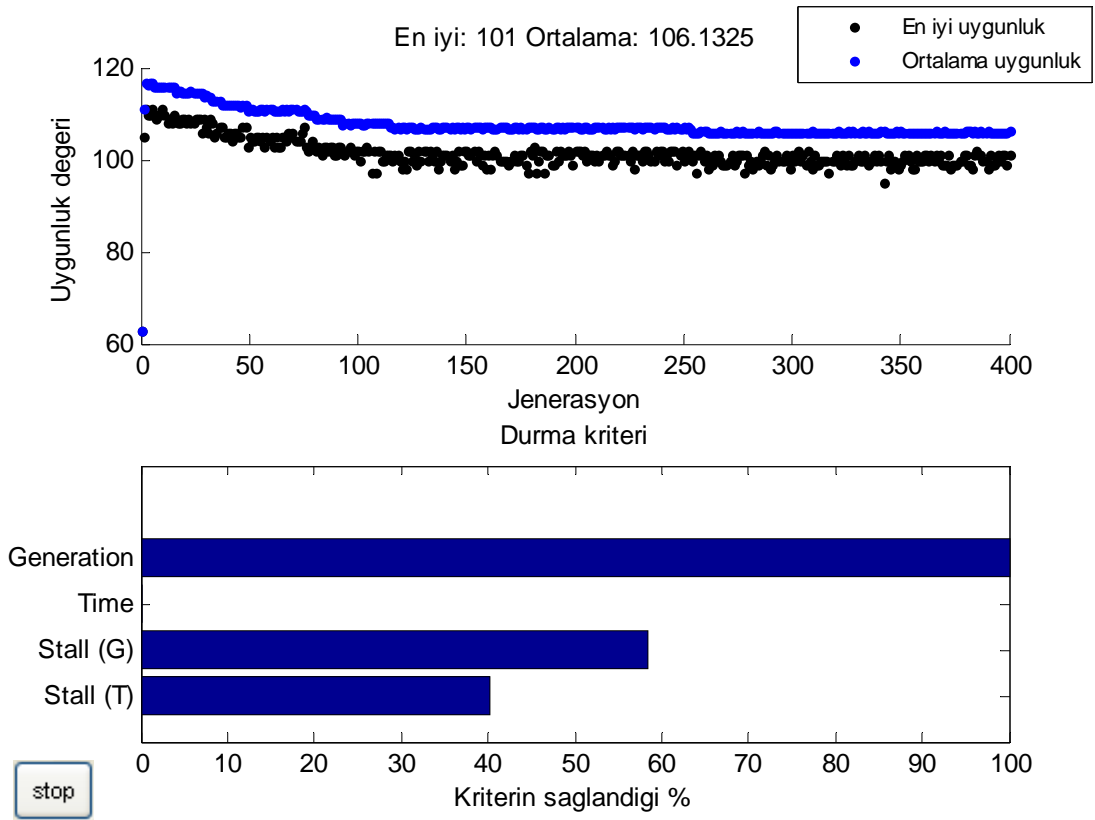
76 Nolu denemenin grafiği



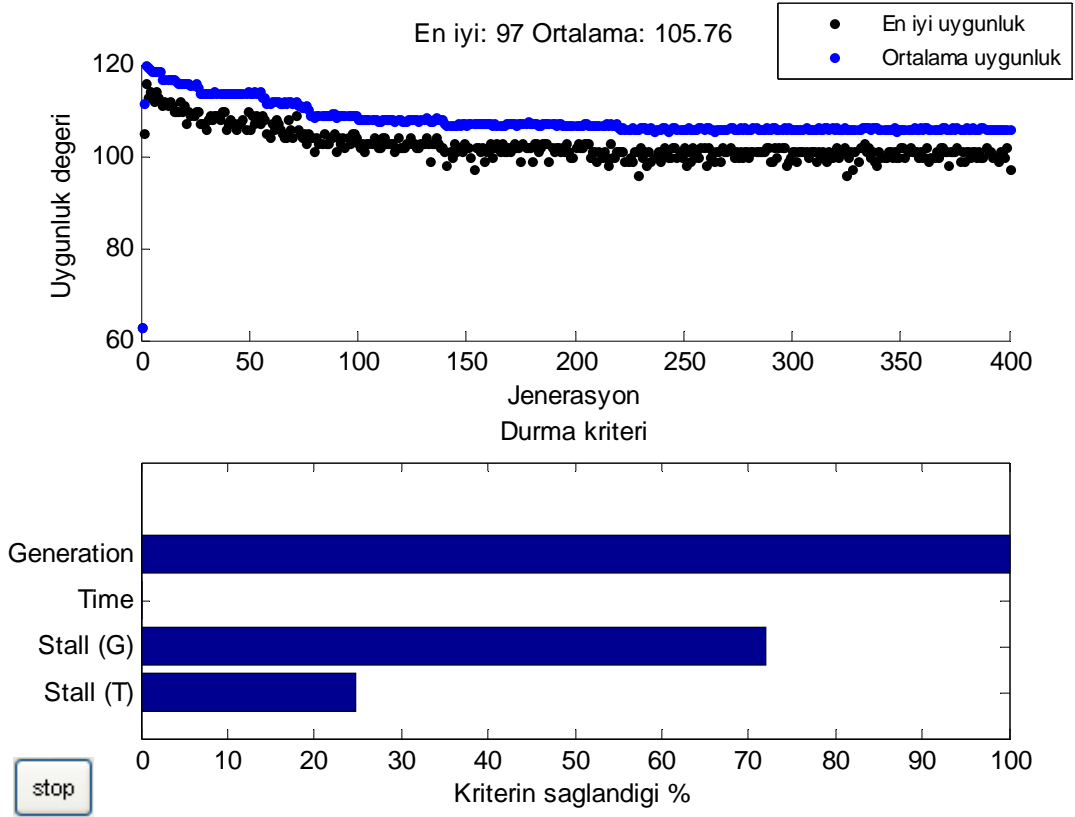
78 Nolu denemenin grafiği



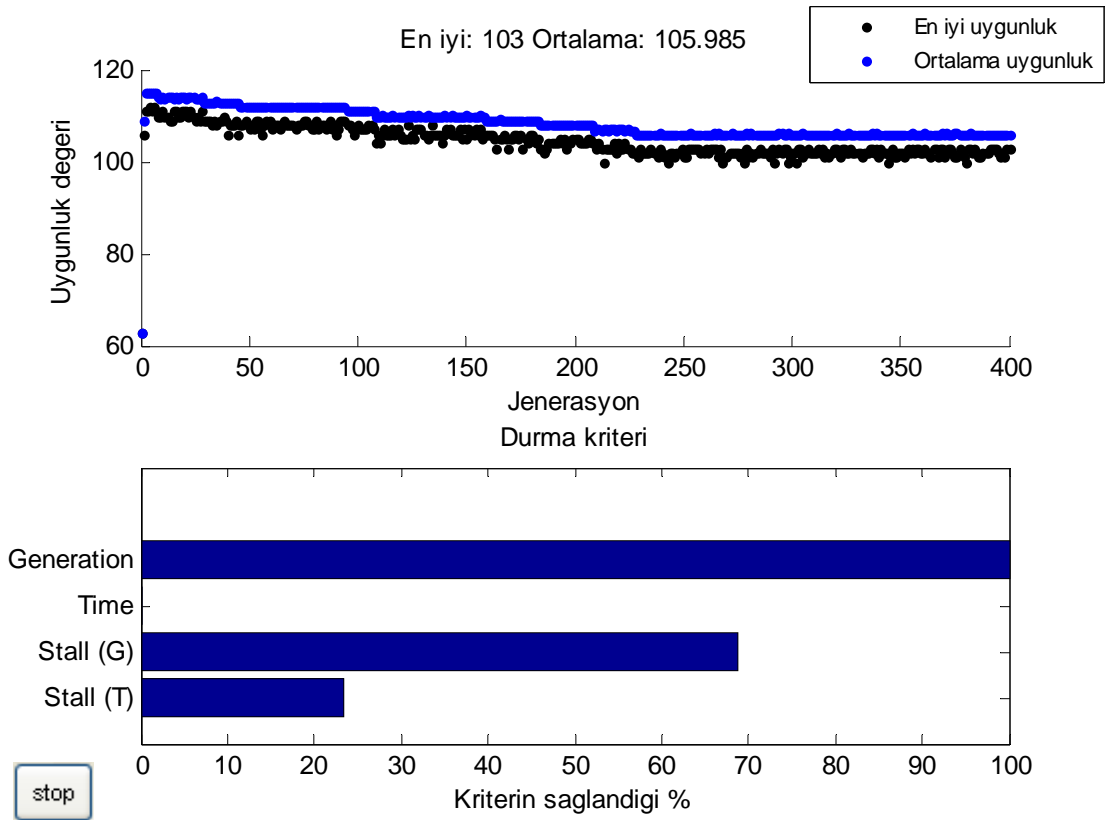
91 Nolu denemenin grafiği



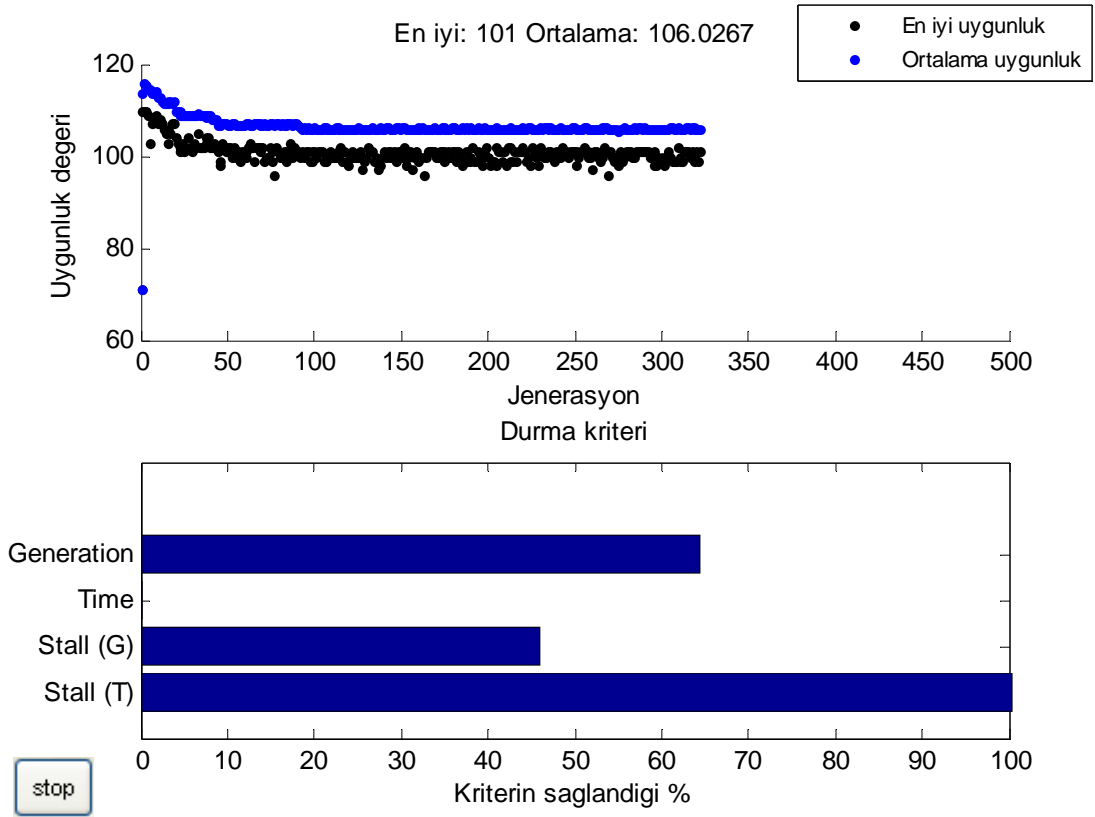
97 Nolu denemenin grafiği



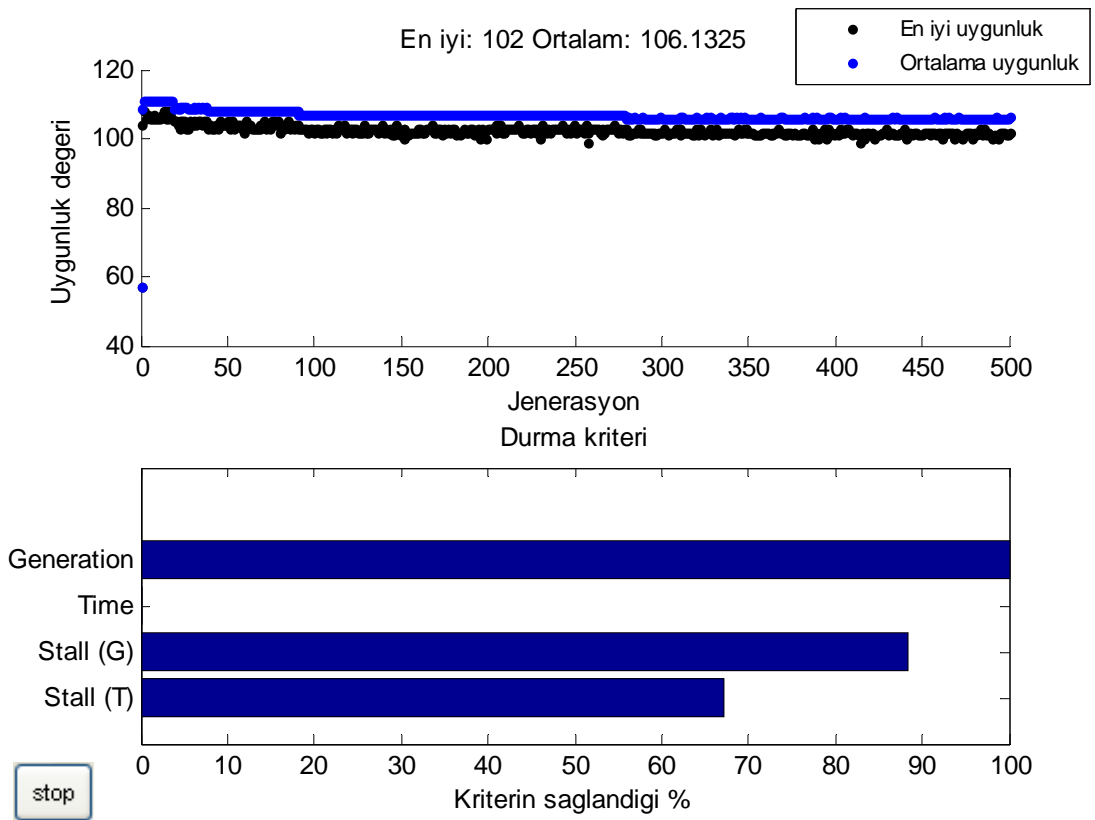
101 Nolu denemenin grafiği



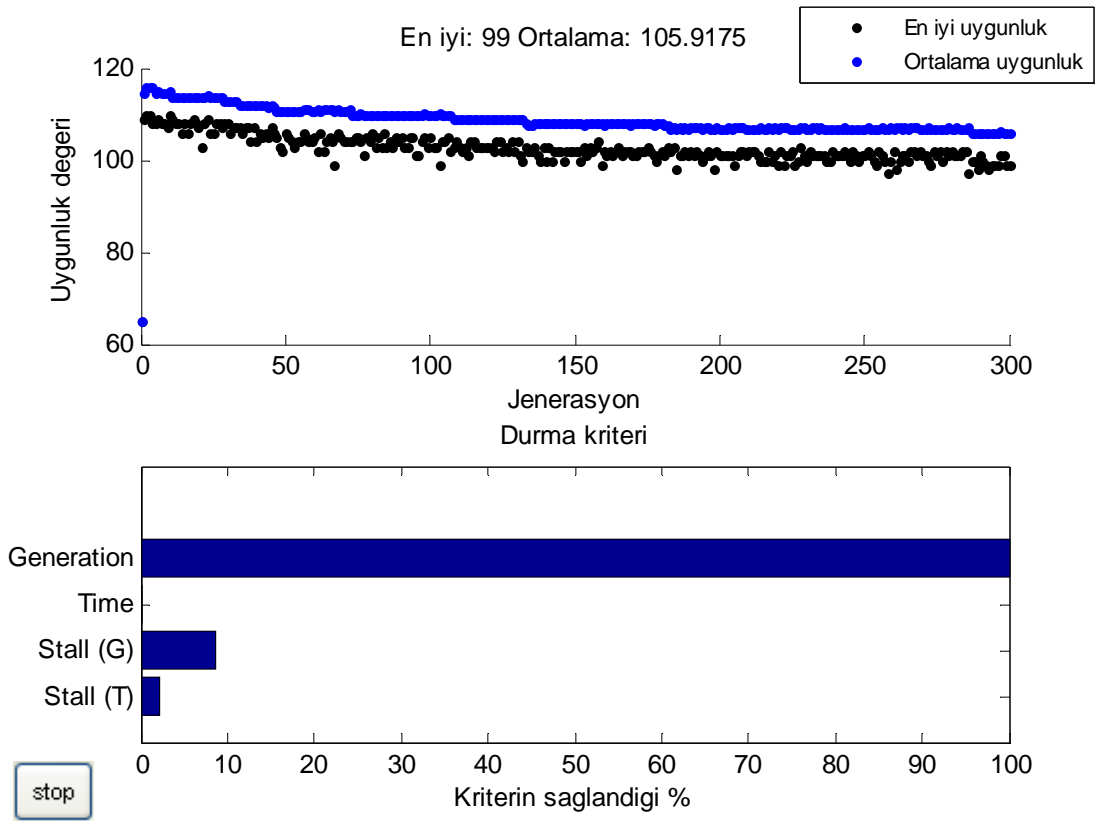
102 Nolu denemenin grafiği



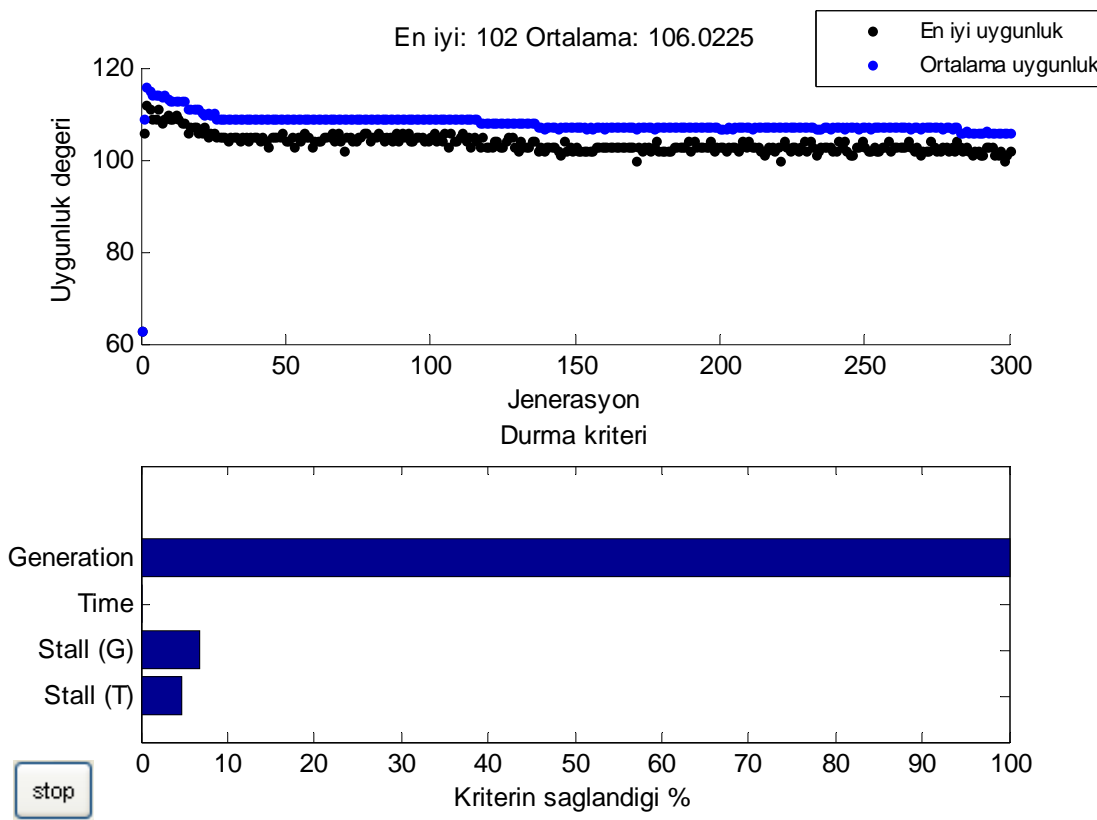
108 Nolu denemenin grafiği



110 Nolu denemenin grafiği



112 Nolu denemenin grafiği



114 Nolu denemenin grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Emre İPEKÇİ ÇETİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 24.05.1977- Lübeck
Medeni Durumu : Evli

Eğitim Durumu

Lisans : Akdeniz Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi,
 Matematik Bölümü, Antalya
Yüksek Lisans : Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
 İşletme A.B.D., Antalya

Akademik Çalışmalar

İPEKÇİ ÇETİN, E., KURUÜZÜM A. ve ÇETİN M.K., (2007), Erken Çocukluk Gelişimini Destekleme Projesinin Hedef Programlama Yaklaşımı İle Değerlendirilmesi, Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri, 7(1), 481-515.

İPEKÇİ ÇETİN, E., (2006), İç Turizmde Müşterilerin 5 Yıldızlı Otel ve Tatil Köyü Şikayetleri, II. Eğirdir Turizm Sempozyumu, Eğirdir-Isparta.

ER, H., ÇETİN, M.K. ve **İPEKÇİ ÇETİN, E., (2005) Finansta Evrimsel Algoritmik Yaklaşımlar: Genetik Algoritma Uygulamaları, Akdeniz Üniversitesi İİBF Dergisi, 5(10), 73-94.**

ER H., ÇETİN M.K., **İPEKÇİ ÇETİN E., ve SEKRETER M.S., (2005), Ussing EDDIE to search for profitable Investment Opportunities in İstanbul Stock Exchange (ISE), 9th International Research/Expert Conference (Trends in the Development of Machinery and Associated Technology) TMT 2005, 26-30 September 2005, Antalya/ TURKEY.**

İPEKÇİ ÇETİN E. ve ÇETİN M.K., (2005), Decision Making Styles of Young Turkish Consumer: A Multi-Country Comparison, 14th World Business Congress, 10-14 July 2005, Granada/ SPAIN.

SEKRETER M.S., AKYÜZ G. ve **İPEKÇİ ÇETİN E.**, (2004), Şirketlerin Derecelendirilmesine İlişkin Bir Model Önerisi: Gıda Sektörüne Yönelik Bir Uygulama, Akdeniz üniversitesi İİBF Dergisi, 4(8), 139-155.

İPEKÇİ ÇETİN E., (2003), Çok Değişkenli Analizlerin Pazarlama ile İlgili Araştırmalarda Kullanımı: 1995-2002 Arası Yazın Taraması, Akdeniz Üniversitesi İİBF Dergisi, 3(5), 32-47.

Diğer Çalışma ve Faaliyetleri

Batı Akdeniz Teknokenti Fizibilite Raporu, 2003 (Ortak çalışma)

Katıldığı Seminerler

Avrupa Modülü Projesi: II. Dönem Avrupa Birliği Temel Eğitim Programı, 2003

İş Deneyimi

1998- 2000 Pamfilya Turizm

2000- 2008 Araştırma Görevlisi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Sayısal Yöntemler A.B.D.

İletişim Bilgileri

Adres : Akdeniz Üniversitesi, İİBF İşletme Bölümü, Kampüs- ANTALYA

E-posta : ecetin@akdeniz.edu.tr

Telefon : 0 242 310 64 01