

Jet Eğitim Uçaklarının Fabrika Seviyesi Bakımında Proje Çizelgeleme

Adem Akçay

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2017

Project Scheduling For The Depot Level Maintenance Of Training Jet Aircraft

Adem Akçay

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Industrial Engineering Department

January 2017

Jet Eğitim Uçaklarının Fabrika Seviyesi Bakımında Proje Çizelgeleme

Adem Akçay

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yöneylem Araştırması Bilim Dalı  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

Ocak 2017

## ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Adem Akçay'ın Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığı "Jet Eğitim Uçaklarının Fabrika Seviyesi Bakımında Proje Çizelgeleme" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

### **Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Hasan Durucasu

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Tuğba Saraç

**Üye** :

**Üye** :

**Üye** :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Hürriyet Erşahan  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum “**Jet Eğitim Uçaklarının Fabrika Seviyesi Bakımında Proje Çizelgeleme**” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 25/01/2017

Adem Akçay

## ÖZET

Proje yönetimi sanayileşen toplum ile önem kazanmış ve günümüzde yönetim alanının yüksek öneme sahip konuları arasında yer almaktadır. Proje yönetiminde dünya lideri çok sayıda kurum ve kuruluşun, projelerin planlanması ve yönetiminde öngörülemeyen değişiklikler nedeniyle büyük maliyetlere katlanmak zorunda kaldıklarını yayınladıkları raporlardan öğreniyoruz. İmalat, savunma sanayi, ulaşım ve haberleşme, inşaat, yazılım, bankacılık ve finans sektörlerinde proje yönetimi yoğun olarak kullanılmaktadır. Proje yönetiminin en önemli parçalarından biri proje çizelgelemedir. Proje çizelgelemenin değişkenlerinden olan kaynakların ve kaynaklardan kullanım oranlarının değişkenliği projenin yönetimini zorlaştırmaktadır. Zaman-maliyet-kaynak üçlüsünün gerçekçi öngörülebilmesi ve verimli şekilde yönetilmesi ancak proje planlama, çizelgeleme ve kontrol yöntemlerinin gelişimini sürekli takip etmekle ve proje yönetim tekniklerinin etkin kullanılmasıyla mümkün olabilir. Bu çalışmanın amacı proje yönetiminde kullanılan programların sezgisel yöntemler ile desteklendiğinde daha etkin çizelgelemeler yapılabileceğini uygulamalı olarak göstermektir. Literatürde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri olarak adlandırılan konu üzerine literatür araştırmaları yapılmıştır. Çizelgeleme problemlerinin NP-Zor (Polinom olmayan) problemler olması nedeniyle, analitik yaklaşımların yeterli uygun çözümü vermemesi ve çözüm süreçlerinin çok uzaması nedenleriyle yerine daha çok sezgisel algoritmaların kullanıldığı görülmüştür. KKPC problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan sezgisel algoritmalar tanımlanmıştır. Çalışmanın son kısmında ise jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakımlarının KKPC problemi olarak tanımlanması ve sezgisel algoritmalar ile optimizasyonu sonucunda elde edilen kazanımların proje tamamlanma sürecine olan katkıları belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Proje Yönetimi, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri, Sezgisel ve Tabu Arama Algoritması

## SUMMARY

Project management has gained importance with the industrialized society and today it is among the high priority subjects of management field. We know from the reports that many world leaders in project management publish the fact that they have to endure large costs due to unpredictable changes in the planning and management of projects. Project management is used extensively in manufacturing, defense industry, transportation and communication, construction, software, banking and finance sectors. One of the most important pieces of project management is project scheduling. Variability of resources and sources of use from project schedule variables makes management of the project difficult. Realistic forecasting and efficient management of the time-cost-resource triple can be possible only through continuous monitoring of the development of project planning, scheduling and control methods and effective use of project management techniques. The aim of this study is to demonstrate practically that the programs used in project management can make more efficient scheduling when supported by heuristic methods. The literature has been investigated in the literature on what is termed resource constrained project scheduling problems. It has been seen that scheduling problems are NP-Hard (non-polynomial) problems, analytic approaches do not provide adequate solutions, and rather heuristic algorithms are used instead because of the prolonged solution processes. Heuristic algorithms widely used in the solution of the RCPS problems are defined. In the last part of the study, the fact that depot level maintenance of training jet aircraft is defined as a RCPS problem and the contributions of the gains obtained as a result of the heuristic algorithms and optimization are mentioned.

**Key Words:** Project Management, Resource Constraint Project Scheduling Problems, Heuristic and Tabu Search Algorithm

## TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sűresince bana araőtırma olanađı sađlayan ve her konuda bilgi ve birikimleriyle bana yol gűsteren danıőman hocam Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĐLU'na ve tezimin her aőamasında yardım ve desteklerini benden esirgemeyen sevgili eőim Melek AKÇAY'a teőekkűrlerimi sunarım.

Adem AKÇAY



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> . . . . .	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> . . . . .	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> . . . . .	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> . . . . .	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> . . . . .	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> . . . . .	<b>xii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> . . . . .	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2. PROJE YÖNETİMİ VE ÇİZELGELEME</b> . . . . .	<b>2</b>
2.1. Proje ve Proje Yönetimi Kavramı . . . . .	2
2.2. Proje Planlama Yapısı ve Amaç . . . . .	3
2.2.1. Deterministik yapı . . . . .	3
2.2.2. Stokastik yapı . . . . .	3
2.2.3. Bulanık yapı . . . . .	4
2.3. Proje Yönetiminde Temel Kavramlar . . . . .	4
2.3.1. Faaliyet . . . . .	4
2.3.2. Kaynak . . . . .	4
2.3.3. Kapasite . . . . .	5
2.4. Proje Faaliyetlerinin Serim ve Düğümler Üzerinde Gösterimi . . . . .	6
2.5. Öncüllük İlişkileri . . . . .	7
2.6. Proje Çizelgeleme . . . . .	7
2.7. Çizelgeleme Problemlerinin Genel Yapısı . . . . .	8
2.7.1. Amaçlar . . . . .	9
2.7.2. Karar değişkenleri . . . . .	9
2.7.3. Kısıtlar . . . . .	10
2.8. Proje Çizelgelemede Çözüm Teknikleri . . . . .	10
2.8.1. Kritik yol metodu (KYM) . . . . .	11
2.8.2. Zaman-maliyet dengeleme (ZMD) . . . . .	11
2.8.3. Kaynak dengeleme (KD) . . . . .	12

2.8.4.	Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme yöntemleri (KKPÇ)	12
2.8.5.	Proje çizelgeleme problemlerinin sembolik gösterimi	12
2.8.6.	Tek modlu kaynak kullanımlı projelerde proje süresinin en küçüklenmesi probleminin matematiksel programlama gösterimi	16
2.9.	Proje Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	17
2.9.1.	TM-KKPÇ modelinin özellikleri	20
2.9.2.	ÇM-KKPÇ modelinin özellikleri	21
2.9.3.	Tek proje (TP) ve çoklu proje (ÇP) modelleri	21
2.9.4.	Tek kaynak (TK) ve çok kaynak (ÇK) modelleri	23
2.9.5.	Sabit veya değişken kaynak kısıtlı KKPÇ modeli	24
2.10.	KKPÇ Modellerinin Ortak Özellikleri	24
<b>3.</b>	<b>LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b>	<b>26</b>
3.1.	KKPÇ ile İlgili Yapılan İlk Çalışmalar	26
3.2.	Meta-Sezgisel Yöntemlerin Kullanıldığı Çalışmalar	28
3.3.	Proje Yönetim Yazılım Paketleri Konusunda Yapılan Çalışmalar	32
3.4.	Bulanık Faaliyet Süreli KKPÇP Konusunda Yapılan Çalışmalar	33
3.5.	Uçak Bakım Planlamalarının Çizelgelenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar	35
<b>4.</b>	<b>MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>38</b>
4.1.	Problemin Seçim Nedenleri	38
4.1.1.	Proje planlama ve uygulama sürecindeki değişkenlikler	39
4.1.2.	Karar verme ihtiyacı ve süreci	39
4.2.	Analiz İçin Kullanılan Program	40
4.2.1.	Programın özellikleri	41
4.3.	Problem Verilerinin Hazırlık Süreci	47
<b>5.</b>	<b>BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>51</b>
<b>6.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>59</b>
	<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b>	<b>62</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Problemin ağ diyagramı gösterimi . . . . .	15
2.2 Problemin en küçük toplam sürecinin gösterimi . . . . .	15
2.3 KKPC problemlerinin sınıflandırması . . . . .	19
4.1 RESCON ekran görünümü . . . . .	42
4.2 RESCON için örnek KKPCP veri formatı . . . . .	43
4.3 RESCON için örnek ağ diyagramı gösterimi . . . . .	44
4.4 RESCON için örnek problemin çözümünde kullanılan algoritmaların performans grafiği . . . . .	47
4.5 AKÇAY programının ekran görüntüsü . . . . .	48
5.1 Excel’de ham veri görünümü . . . . .	51
5.2 Excel’de makro çalıştırma sonrası veri görünümü . . . . .	52
5.3 Problemin ağ karmaşıklığı, kaynak faktörü ve kaynak gücü . . . . .	53
5.4 Analiz sonucu performans Tablosu . . . . .	54
5.5 TA yöntemi ile analiz sonucu problemin ağ diyagramı gösterimi . . . . .	55
5.6 TA Yöntemi ile Analiz Sonucu Problemin Aviyonik İhtisasta Doluluk ve Kritik Yol Gösterimi . . . . .	56
5.7 TA yöntemi ile analiz sonucu problemin gövde ihtisasında doluluk ve kritik Yol Gösterimi . . . . .	56
5.8 TA yöntemi ile analiz sonucu problemin mekanik İhtisasında Doluluk ve Kritik Yol Gösterimi . . . . .	57
5.9 TA yöntemi ile analiz sonucu problemin Yapısal ihtisasında doluluk ve kritik yol Gösterimi . . . . .	57
6.1 Karar destek sistemi Şeması . . . . .	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Problem Formülasyonu İçin Proje Bilgisi . . . . .	14
4.1 RESCON'a veri yükleme formatı . . . . .	42

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simge veya Kısaltma</b>	<b>Tanım</b>	<b>Sayfa Numarası</b>
AI	Yapay Zeka	29
AOA	Faaliyetlerin Serimlerle Gösterimi	6
AON	Faaliyetlerin Düğümlerle Gösterimi	6, 16, 34, 36, 41
B-KKPÇP	Bulanık Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	34, 35
CPM	Kritik Yol Yöntemi	33
EFT	En Erken Bitirme Zamanı	46
EST	En Erken Başlama Zamanı	45
F/C-ÇM-KKPÇP	Bulanık/Kesin Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	34, 35
FCPM	Bulanık Kritik Yol Yöntemi	4, 34, 36
FF	Bitiş-Bitiş	7
FPERT	Bulanık Proje Değerlendirme İnceleme Teknikleri	4
FS	Bitiş-Başlangıç	7
GA	Genetik Algoritma	28, 31
HGA	Hibrid Genetik Algoritma	29
KD	Kaynak Dengeleme	11, 12
KKPÇ	Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme	1, 11, 12, 22–24, 26–29, 33, 41
KKPÇP	Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	xi, 5, 13, 18, 19, 26, 28–33, 35, 36, 40, 41, 43, 50, 53, 58–61
KYM	Kritik Yol Metodu	4, 10–12, 23
LFT	En Geç Bitirme Zamanı	23, 45, 46
LPT	En Kısa İşlem Süresi	46

<b>Simge veya Kısaltma</b>	<b>Tanım</b>	<b>Sayfa Numarası</b>
LST	En Geç Başlama Zamanı	23, 26, 45
MinSlack	En Kısa Boşluk Öncelik Kuralı	23, 26, 27, 34, 35, 45, 49, 57
NBD	Net Bugünkü Değer	13
NC	Ağ Karmaşıklığı	53
NP	Polinom Olmayan	34, 35, 50, 58
PERT	Proje Değerlendirme İnceleme Teknikleri	4, 33
PSPLIB	Proje Çizelgeleme Problemleri Kütüphanesi	32, 41, 49
RF	Kaynak Faktörü	53
ROT	Resource Over Time	34
RS	Kaynak Gücü	53
RSM	Kaynak Çizelgeleme Metodu	27
SF	Başlangıç-Bitiş	7
SS	Başlangıç-Başlangıç	7
TA	Tabu Arama	29–32, 34, 35, 44, 52, 58, 59
TK	Tek Kaynak	23, 24
TM-KKPC	Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme	11, 17, 20
TM-KKPCP	Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	13, 20
TM-CP KKPCP	Tek Modlu Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	38, 46, 51, 59
TP	Tek Proje	21, 22, 24
TraFNs	Trapezoidal Bulanık Sayılar	34
ZMD	Zaman-Maliyet Dengeleme	10–12
ÇK	Çok Kaynak	23, 24
ÇM-KKPC	Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme	11, 17, 21
ÇM-KKPCP	Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	29, 32
ÇM-CP KKPC	Çok Modlu Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme	22

<b>Simge veya Kısaltma</b>	<b>Tanım</b>	<b>Sayfa Numarası</b>
ÇP	Çoklu Proje	22, 24

# 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Bu çalışmada Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme (KKPÇ) üzerinde çalışılmıştır. Proje çizelgeleme problemleri içinde ileri konular arasında yer alan bu problem ele alınırken günlük hayatta projeli üretim yapan kurumların kullanabileceği bir karar destek sisteminin oluşturulması amaçlanmıştır.

Proje yönetimi yaklaşımlarının başarılı olarak uygulanması için; var olan zaman ve maliyet belirsizliklerinin uygun şekilde yönetilmesi ve projenin hedeflenen sürede ve maliyetle tamamlanması gereklidir. Projeler planlama sürecinde ne kadar iyi planlanırsa planlansın süreç içinde değişimlere uğrarlar. Proje yönetiminde dünya lideri olan birçok kurum-kuruluş ve özel teşebbüs tarafından onaylanan raporlara göre; projelerin % 30'u hiçbir zaman bitirilememektedir. Başlanan projelerin % 51'i, bütçelenenden % 189 daha fazlaya mal olurken; planlananın ise sadece % 74'ü kadar verim sağlamaktadır (Atli, 2011). Dolayısıyla bu ve benzeri nedenlerle; proje yönetimini kolaylaştıran metot, araç ve tekniklere, planlama ve bütçelemede kaynak israfına son vermeye yönelik kesin çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmamızda bu değişimleri sürekli olarak kayıt altına alan bir proje takip sistemine entegre olmuş meta-sezgisel yöntemlerle optimizasyon yaparak karar vericiye oluşan değişikliğin projenin tümünde nasıl bir sonuç doğurduğu hakkında bilgi sunan karar destek sisteminin oluşturulması ile bunun gerçek hayatta literatürde yapılmış diğer çalışmalara göre farklı değişkenleri ile dikkat çeken, jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakımını yapan kuruluştaki kullanılması sonucu oluşacak olumlu sonuçları anlatılacaktır.



## 2. PROJE YÖNETİMİ VE ÇİZELGELEME

Bu bölümde proje yönetiminin temel kavramları olan proje, proje yönetimi, faaliyet, kaynak, kapasite ile birlikte proje yönetiminin alt unsurları olan projenin amacı, proje planlama yapıları, proje faaliyetlerinin serim ve düğümlere üzerinde gösterimi, faaliyetler arasındaki öncüllük ilişkileri, proje çizelgeleme kavramı, çizelgeleme problemlerinin genel yapısı, proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan çözüm teknikleri, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme yöntemleri, sınıflandırmaları ve ortak özellikleri bütünlük içerisinde anlatılacaktır.

### 2.1 Proje ve Proje Yönetimi Kavramı

Proje, belli bir amaç için özel olarak hazırlanmış, karmaşık yapılı, sayılı ve sıralı faaliyetler kümesidir. Bir proje; tekrarlanmayan, belirli kaynaklarla, belirli bir zaman aralığı içinde tamamlanması gereken özel faaliyetler topluluğu olarak da tanımlanabilir (Barutçugil, 1998). Bu tanım ışığında projelerin ortak özellikleri şöyle sıralanabilir.

1. Projeler birbirini izleyen veya birlikte yürütülen faaliyetlerden oluşur.
2. Projeyi oluşturan faaliyetler arasında karmaşık bir ilişki vardır. Bu ilişki, başlangıç–bitiş olarak adlandırılabilir karmaşık bir akış oluşturur.
3. Proje bir sonuç yaratma sürecidir.
4. Her projenin belirli bir başlangıç, bitiş ve bu ikisi arasında geçen bir yaşam süreci vardır.
5. Yaşam sürecinin her aşamasında projenin niteliklerinde önemli değişiklikler olur.
6. Tüm projeler sonludur ve belli bir amaç veya amaçlar bütünü için geliştirilir. Proje süreci amacın veya amaçlar bütününe ortaya çıkışı ile başlar, gerçekleşip uygulamaya geçmesi ile sona erer.
7. Tüm projeler özeldir. Her proje bulunduğu şartlar, gereksinimler, amaçlar ve zorluklar altında sadece bir kere gerçekleşir. Seri üretim ve kütle üretimi, birer proje özelliği taşımazlar. Buna karşın özel imalat, atölye tipi üretim, tekil sipariş üretim gibi üretim çeşitleri birer proje niteliği taşırlar (Atli, 2012).
8. Tüm projeler birer işler kümesidir. Her proje analiz safhasında tanımlanmış faaliyetlerin birer bileşkesidir.

9. Projeler önemli risk ve belirsizlikler taşırlar. Bu belirsizlikler proje sürecinde değişiklik gösterebilir.

Bu ortak özellikler, projelerin dikkatli ve özel yaklaşımlarla yönetilmesi gerektiğini ve başlangıçtan bitişe kadar bütünleşik bir planlama ve denetleme sistemini zorunlu kıldığını göstermektedir. Proje yöneticisi; projenin yürütülmesi sırasında ortaya çıkacak tüm sorunlara, risk ve belirsizliklere karşı hedeflenenin gerçekleştirilmesini sağlamak için çalışan kişidir. Buna göre proje yönetimi, belirlenen bir amaca ulaşmak üzere bir araya getirilen maddi ve insani kaynakların faaliyetlerini planlama, yürütme, düzenleme ve denetleme fonksiyonlarının toplamıdır.

## 2.2 Proje Planlama Yapısı ve Amaç

Proje planlamada amaç ekonomiklik olduğuna göre, proje süresinin, maliyetinin ve kaynak kapasite kullanımının en küçük kılınması ve emniyet unsurlarının en yüksek düzeyde tutulması ön planda olmalıdır. Ancak, bu temel parametrelerin dördünü birden en küçükleyen bir çözümün bulunması çok zordur, hatta bazen de imkansızdır. Çünkü bunlardan birini en küçük kılan bir çözüm diğer üçünü arttırma eğilimi göstermektedir. Proje planlama üç temel yapıda ele alınacaktır.

- Deterministik Yapı
- Stokastik Yapı
- Bulanık Yapı

### 2.2.1 Deterministik yapı

Deterministik yapı, daha önceki projelerden veya tecrübelerden faydalanarak benzer bir proje için ayrıntılı ve kesin bir planlamayı gerektiren yapı biçimidir. Tekil sipariş üretimi ve tesis bakımı bu tür bir yapıya örnek olarak gösterilebilir (Atli, 2012).

### 2.2.2 Stokastik yapı

Stokastik yapıda, proje elemanları, süreleri ve kaynak gereksinimleri belirsizlik taşır. Geçmiş tecrübelerden edinilen bilgiler ile oluşturulmuş verileri bulunmayan ve genellikle ilk kez yapılan projeler ve araştırma çalışmaları bu tür bir yapı gösterirler. Stokastik yaklaşımda çeşitli olasılık yöntemleri kullanılarak proje süresi ve bundan sapmanın hesaplanması ihtiyacı vardır.

### 2.2.3 Bulanık yapı

Proje çizelgeleme yapısı temel olarak deterministik ve stokastik yapı olarak iki ana başlık altında ifade edilebilir. Bu sebeple literatürde proje çizelgeleme problemlerinin yapısı iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Kritik Yol Metodu (KYM) yöntemi deterministik yapıyı, Proje Değerlendirme İnceleme Teknikleri (PERT) ise belirsizlik ortamında istatistikî olarak olasılık teoremini temsil eder. Ancak günümüzde, proje çizelgeleme yapısının bu iki ana başlık altında sınıflandırılması yeterli olmadığı bu nedenle üç ana başlıkta sınıflandırılması gerektiğini değerlendirilmektedir. Bu nedenle proje çizelgelemenin belirsizlik yapısına bulanıklık yapı ifadesi ile Bulanık Kritik Yol Yöntemi (FCPM) ve Bulanık Proje Değerlendirme İnceleme Teknikleri (FPERT) yöntemleri ile belirsizlikler şeklinde ifade edilmesinin daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Her dört teknik ile bir projenin başlama ve bitişi ile ilgili bilgiler hesaplanabilir.

## 2.3 Proje Yönetiminde Temel Kavramlar

Proje analizi, bir projeyi meydana getiren faaliyetlerin bir akış yapısı içinde belirlenip tanımlanması için yapılan bir çalışmadır. Bu çalışma sonunda; bir faaliyetler listesi ve tahmini başlangıç zamanı türünden bir zaman listesi oluşur. Bu listeye daha yakından bakıldığında, bir projenin temel yapı taşlarının faaliyet, kaynak ve bu kaynağın kapasitesi olduğu ve bu kavramların açıklanması gerektiği anlaşılmaktadır (Atli, 2012).

### 2.3.1 Faaliyet

Faaliyet (etkinlik), kaynak ihtiyacı yaratan ve belirlenmiş başlangıç ve bitiş noktaları arasında bir zaman aralığını kapsayan proje yapı taşıdır. Tanımından da anlaşılacağı üzere, faaliyet, kaynak kullanımı ile gerçekleşen bir üretim faaliyetidir. Literatürde kavramsal olarak faaliyet (activity), iş (job), görev (Task), vb çok farklı terimler kullanılmıştır (Atli, 2012). Bu çalışma kapsamında ise, "faaliyet" teriminin kullanılması tercih edilmiştir.

### 2.3.2 Kaynak

Proje yönetiminde kaynak kısıtları açısından bakıldığında üç farklı yapı ortaya çıkmaktadır. Kaynaklar, kullanım ve tüketim özelliklerine göre üç ana grupta ele alınabilir: Faaliyetler tarafından kullanılan kaynaklar yenilenebilir (renewable), yenilenemeyen (non-renewable) kaynaklar ve kısmen yenilenebilir ya da çift yönden kısıtlı (doubly constrained) kaynaklar olarak sıralanır. Eğer kaynaklar sadece periyot tabanlı kısıtlanmışsa yenilenebilir kaynak adı verilir. Her yenilenebilir kaynak bütün periyotlarda mevcuttur. Diğer bir deyişle kaynakların varlığı proje uzunluğundan etkilenmemektedir (Atli, 2012).

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP)'nin çözümünde kaynakların kullanım özelliklerine göre türlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Yenilenebilen Kaynaklar
- Yenilenemeyen Kaynaklar
- Kısmen Yenilenebilir veya Çift Yönden Kısıtlı Kaynaklar

Kısmi yenilenebilir kaynaklar (partially renewable resources) ise bazı kaynakların projenin amacına uygun olarak farklı kısıtlara tabi olması ve bu farklılıkların projede ifade edilerek daha gerçekçi problem tanımlamalarının yapılabilmesini sağlar. Örneğin farklı çalışma saatlerine tabi işçilik grupları, kontrata tabi hizmet alımları gibi farklı çalışma düzenlerini probleme dahil etmek mümkün olmaktadır. Bu şekilde, daha gerçekçi problem tanımlarına olanak tanınmaktadır.

Kaynakların bölünebilir ve bölünemez olmasına göre de aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

- Bölünebilen yani ayrık(discrete) kaynaklar
- Bölünemeyen kaynaklar yani sürekli(continuous) kaynaklar

Adet olarak ifade edilebilen kaynak türlerine bölünebilen yani ayrık(discrete) kaynaklar denir. Örneğin beş adet iş makinesi gibi. Doğal kaynaklar ise bölünemeyen kaynaklar olarak ifade edilir ve sürekli (continuous) kaynaklar denir. Örneğin elektrik, güneş ve rüzgar enerjileri bölünemeyen kaynaklara örnek verilebilir. Bu çalışmada kaynak olarak yenilenebilir ve bölünebilen kaynak olan işgücü adam\*saat cinsinden kullanılacaktır.

### **2.3.3 Kapasite**

Kaynakların, bir zaman birimi içerisinde yerine getirdiği iş miktarıdır. Kapasite işletme standartları veya normal çalışma koşulları, kaynağın özelliklerine göre belirlenir ve uygun ölçü birimleri ile ifade edilir. Kapasitenin ölçüm biriminin kullanılan tüm kaynakları kapsayıcı şekilde ortak ölçüte göre belirlenmiş olması gerekmektedir. Bir proje değişken kapasite boyutlarından oluşabilir, örneğin işgücü kapasitesi fazla mesai ile artırılabilir.

## 2.4 Proje Faaliyetlerinin Serim ve Dügümler Üzerinde Gösterimi

Proje şebekeleri, bir kümenin elemanları arasında kurulan ve matematiksel ifadelerle belirtilebilen karmaşık ilişkilerin ”dügümler” ve ”serimler” ile elde edilen grafiksel görüntüsüdür. Bu grafiklerde yön gösteren bağlantı, ”serim” adını alır. Serim ve düğümlerden oluşan diyagram ise, ”yönlendirilmiş diyagram”dır (Taha, 1987). Bağıntılar ve faaliyetler proje akışını belirttikleri için şebekede oklarla, olaylar ise durum değışikliklerini göstermesi sebebiyle düğümlerle yer alırlar. İşlem veya olay kendinden öncekinin bitmesi ile başlar ve kendinden sonra gelen ile biter. Bu sebeple başlangıçtan bitişe proje akışını gösterir bir ağ yapısı vardır. Genel bir proje şebekesindeki özellikler şunlardır:

- Faaliyet, bağıntı ve olayların açık ve net bir şekilde gösterilmesi ve her faaliyete ait olayların ayrı ayrı düğümler halinde belirtilmesi şebeke mantığı içerisinde proje kontrolünü kolaylaştırıcı bir rol oynar.
- Şebeke genel bir akış modeli niteliği taşımaktadır. literatürde çok çeşitli ağ yapılarının ve hesaplamalarının bulunduğu bilinmektedir. Ancak bu konular üzerinde durulmayacaktır.

KKPÇ problemi bir şebeke (network) üzerinde tanımlanır. Bir şebeke, düğümler (nodes) kümesi  $V$ , serimler (arcs) kümesi  $A$  ve düğümler ile serimleri ilişkilendiren ilişkiler kümesi  $\Phi$  ile tanımlanır. Literatürde şebekelerin iki tanımlama seçeneğı mevcuttur.

1. Faaliyetler, serimler kümesinin, olaylar ise düğümler kümesinin elemanları olarak tanımlanır. İlişkiler kümesi, hangi faaliyetin hangi olaylar arasında yer aldığı bilgisini içerir. Bu tanımlama seçeneğine, Faaliyetlerin Serimlerle Gösterimi (AOA) diyoruz. AOA’da serimin oluşturulmasında yapay faaliyet tanımına gerek duyulabilmektedir. Proje çizelgeleme problemlerinin serim üzerinde tanımlanmasında ilk kullanılan gösterim şekli AOA’dır (Atlı ve Kahraman, 2013).
2. Faaliyetlerin düğümler üzerinde gösterildiğı tanımlama şeklidir. Serimler öncüllük ilişkilerini gösterir. Bu tanımlama seçeneğine, Faaliyetlerin Dügümlerle Gösterimi (AON) diyoruz. AON, yapay faaliyet tanımına gerek olmadığı için daha basit bir gösterimdir. İki gösterimde de dikkat edilmesi gereken husus, proje seriminin sadece bir başlangıç ve sadece bir bitiş düğümü olması gereğidir. Aksi durumda, yapay bir başlangıç ve/veya bitiş düğümü tanımlanır (Atlı ve Kahraman, 2013).

Projenin modellenmesinde faaliyetlerin tanımlanma ayrıntısı önemli bir yere sahiptir. Projenin iş kapsamı kendi içinde bir bütün oluşturan faaliyetlere bölüştürülür. Faaliyetler, belirli bir süre içinde ve belirli kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilir. Faaliyetler, bir maliyet merkezi olarak tanımlanabilir. Faaliyet adedi projenin yönetiminde amaçlanan ayrıntı düzeyi tarafından belirlenir. Faaliyet sayısı artırıldıkça, toplanacak, depolanacak ve işlenecek veri miktarı da artacak; ayrıca takip edilecek ve raporlanacak faaliyet sayısı da artmış olacaktır. Diğer bir deyişle, faaliyet sayısının artması, proje yönetimi iş yükünü de önemli ölçüde artırmaktadır. Faaliyet bazında, kapsam daha geniş tanımlanarak faaliyet adedi düşük tutulabilir (Atli, 2012).

## 2.5 Öncüllük İlişkileri

Çizelgeleme, sıralamadan farklı olarak faaliyetlerin hangi sırada gerçekleştirileceği bilgisi dışında bu faaliyetlerin ne zaman başlayıp ne zaman biteceği bilgisini de içerir. Çizelgelenen faaliyetlerinin kullandığı kaynaklar kısıtlı olabildiği gibi faaliyetler arasında öncüllük ilişkileri de olabilir. Öncüllük ilişkileri teknolojik bir gereksinimi yansıttığı gibi, tamamen yönetsel bir kararın sonucu da olabilirler. Öncüllük ilişkileri, zaman bazında faaliyetler arasındaki başlangıç – bitiş ilişkilerini belirler. Bir faaliyet, öncül faaliyetlerinin hepsi bitmeden başlayamaz. Fakat uygulamada farklı durumlar da söz konusu olabilmektedir. Örneğin, eşzamanlı (concurrent) tasarım faaliyetlerinde proje süresini kısaltmak için bazı faaliyetlerin paralel yürütülmesi istenir. Bir faaliyet sonucu elde edilen bozulabilir bir malzemeyi kullanacak olan başka bir faaliyetin, malzeme hazır olduktan sonra belirli bir süre içinde başlaması istenebilir. Bu değişik durumları modelleyebilmek için genelleştirilmiş öncüllük ilişkileri (generalized precedence relations) tanımlanmıştır. Bunlar; Başlangıç-Bitiş (SF), Başlangıç-Başlangıç (SS), Bitiş-Bitiş (FF) ve Bitiş-Başlangıç (FS) tipi öncüllük ilişkileridir. Bütün bu öncüllük ilişkileri için geçerli olmak üzere, en az bekleme süresi (minimal time lag) ve en çok bekleme süresi (maximal time lag) tanımlanmıştır. Örneğin, bir faaliyetin başlaması için diğer bir faaliyetin en azından belirli bir süre önce başlamış olması isteniyorsa, bu bir SS ilişkisidir ve en az bekleme süresi ile modellenir. Bir faaliyetin başlaması için diğer faaliyetin başlamasından sonra belirli bir süreden fazla geçmemiş olması gerekiyorsa, bu bir SS ilişkisidir ve en çok bekleme süresi ile modellenir (Gunduz Ulusoy, 2000).

## 2.6 Proje Çizelgeleme

Proje planlama sürecinin en önemli yapılarından biri de proje ana çizelgesidir. Bu çizelge, projede öncüllük ilişkileri ile birbirine bağlı bütün faaliyetlerin zamana göre dağılımıdır. Proje çizelgesi proje sürecinin tüm zaman değişkenlerini belirler ve

yöneticilere, proje yöneticisine proje amacına uygun olarak gerçekleştirilecek faaliyetlerin doğru yönde kullanılmasını, eşgüdümü sağlamada yardımcı olur.

Çizelgeleme, kısıtlı kaynakların belirli bir zaman dilimi içerisinde öncelik sıralaması belirlenmiş görevlere atanması ile oluşturulur. Oluşturulan çizelge en az bir amacı en iyileme hedefine sahip olmalıdır. Kaynaklar projenin işlevine ve daha önce bahsedildiği şekilde sınıflandırmalara uygun olarak çok çeşitli türden olabilir. Örneğin kaynaklar atölyedeki makineler, işgücü, bir havaalanındaki kalkış pistleri, bir inşaat şantiyesindeki personel ya da bir bilgisayar sistemindeki işleme birimleri olabilir. Faaliyetler veya görevler ise bir üretim sürecindeki işlemler, uçak bakım faaliyetleri, bir gemi projesindeki aşamalar, bankacılık sistemindeki para hareketleri, bir bilgisayar programındaki komutlar vb olabilir. Her bir görev farklı öncelik düzeyine, en erken olası başlangıç zamanı ve bitirme zamanına sahip olabilir.

## 2.7 Çizelgeleme Problemlerinin Genel Yapısı

Proje çizelgeleme; akış yapısı belirlenerek şebekesi oluşturulan bir projenin sınırlı miktar ve kapasiteye sahip kaynaklar kullanılarak, amaç fonksiyonunu en iyileyen sonucun elde edilmesini sağlayacak şekilde her faaliyetin başlama zamanının, faaliyete ataması yapılan kaynak türlerinin, kaynak atama miktarları ile kaynakların kapasite zorlamalarındaki çalışma hız ve sürelerinin belirlenmesi sonucu çözüme ulaşma çalışmalarının bir bütünüdür.

Proje çizelgeleme en genel yapısı itibarıyla, faaliyetlerin ne zaman başlayacağını hangi sıralama ile yapılacağını, kaynak kullanımlarının hangi miktarda olacağını ve yeterli olup olmadığının tespiti ile birlikte kaynakların proje amaçlarına uygun optimal kullanımını amaçlayan çok aşamalı bir "karar verme" problemidir.

Yöneylem araştırmasında da çeşitli şekillerde tanımları yapılan karar problemlerinin yapısı şu üç temel eleman üzerine kurulmuştur (Atli, 2012).

1. Amaçlar
2. Karar değişkenleri
3. Kısıtlar

### 2.7.1 Amaçlar

Amaç; projelerin çok çeşitli amaçları olabilir. Genellikle proje maliyetini en küçüklemek olmakla birlikte projenin en kısa sürede bitirilmesi, belirgin bir tarihte tamamlanması şeklinde sıralayabiliriz. Proje yöneticisi bu amaçlar arasında öncelik sıralaması yapmalı ve amaçları en iyileyen çözümü bulacak yöntemler geliştirmelidir.

Bu çalışmada proje maliyetinin en küçüklemesi, projenin planlamaya en uygun şekilde yerine getirilmesi ve kaynakların en etkin şekilde kullanılması amaçları optimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu amaçları etkileyen faktörler incelendiğinde; faaliyet süresi, öncüllük ilişkileri, proje süresi ve kaynaklara kapasite yükleme (atama) şeklinde sıralanabilir.

Bir karar verme probleminde, çözüm seçeneklerinin hangi karar değişkenlerine göre ve hangi ölçütler ile değerlendirileceği, bir amaç fonksiyonunun oluşmasına ve bunun matematiksel bir terimle fonksiyonel olarak ifade edilmesine bağlıdır.

Uygulamalarda projeler genellikle, kaynak kullanımı sonucu kaynak tüketim maliyetleri, proje genel giderleri (idari vb.) ve projenin planlamadan sapması sonucu oluşan kayıp maliyetlerin toplamını en küçükleyecek bir amaçla yürütülmektedirler. Buradan yola çıkarak proje çizelgelemenin amacı "en küçük toplam proje maliyetini elde etmek" şeklinde özetlenebilir. Ancak bu durumun her zaman böyle olduğu söylenemez. Zira projenin maliyet en küçüklemesinden daha öncelikli hedefleri de olabilir.

Örneğin ikinci dünya savaşında harp sanayinin gelişmesi sürecinde ilk öncelikli amaç rakibin silahından üstün bir silah aracının maliyeti ne olursa olsun en hızlı şekilde projelendirilerek üretilmesi gerekmekteydi. Sonuç olarak yukarıda ifade edilen maliyet kavramını her zaman parasal olarak yorumlamamak ve maliyet kavramını projenin amaçlarının belirlediğini unutmamak gerekir.

### 2.7.2 Karar değişkenleri

Tanım olarak, çözüm esnasında beliren kesin değerleriyle problemin bir çözümünü belirleyen tüm değişkenlerdir. Proje planlamada her faaliyetin başlama zamanı, öncüllük ilişkileri ve sürelerinin tespiti, problemin bir karar değişkenini oluşturur. Çözüm esnasında bu karar değişkenlerinden birinin değerinin değiştirilmesi, çözümün farklı şekilde oluşmasına yol açar. Faaliyet süresi, kaynak tahsis miktarı ve kaynağın kapasitesine bağlı olarak bir değişim gösterir (Atli, 2012).

Karar değişkenleri şöyle sıralanabilir;



1. Her faaliyetin 'en erken başlama yada en geç bitirme zamanı'
2. Bir faaliyette uygulanan farklı yöntemler var ise uygulanacak yöntemin seçimi
3. Bir yöntem seçiminden sonra kaynak tahsis miktarının belirlenmesi
4. Faaliyetler arasındaki öncüllük ilişkileri sonucu faaliyete atanacak kaynak miktarı
5. Kaynak kapasitesi ile tahsis edilen kaynak miktarının uygunluğu da bir karar değişkenidir.

### 2.7.3 Kısıtlar

Projede çözüm uzayının boyutunu belirleyen ve tanım olarak karar değişkenlerinin alabileceği değerleri sınırlayarak yalnız olurlu çözüm seçeneklerinin belirlenmesini sağlayan sınır değerlere kısıt denir. Proje çizelgeleme problemlerinin başlıca üç kısıtı şunlardır;

1. Öncelik kısıtları
2. Kaynak Kısıtları
3. Zaman Kısıtları

## 2.8 Proje Çizelgelemede Çözüm Teknikleri

Bu tip bir problemin çözümü için çeşitli çözüm teknikleri ve yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu tip yaklaşımlar;

- Kaynak kısıtları göz ardı edilerek,
- Teknoloji seçeneğinin ve kaynak tahsis miktarının önceden belirlenmiş ve sabit olduğu kabul edilerek,
- Kaynak yüklenmesinden doğan maliyetler ihmal edilerek oluşturulmaya çalışılmaktadır (Atli, 2012).

Bu yaklaşımlar dört ana grupta toplanır:

1. Kritik Yol Metodu (KYM)
2. Zaman-Maliyet Dengeleme (ZMD) Yöntemi

3. Kaynak Dengeleme (KD) Yöntemi

4. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme (KKPÇ) Yöntemi

a) Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme (TM-KKPÇ) Yöntemi

b) Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme (ÇM-KKPÇ) Yöntemi (Atli, 2012).

### 2.8.1 Kritik yol metodu (KYM)

KYM modelleri şu temeller üzerine kurulur:

- Kaynak tahsisi ve kaynak kısıtları dikkate alınmaz.
- Faaliyet süreleri ve öncüllük ilişkileri proje hazırlık safhasında belirlenmiştir.

Bu esasa göre proje, faaliyetlerin öncüllük kısıtları dikkate alınarak her bir faaliyetin başlama zamanlarının tespiti şeklinde bir çözüm sistemine tabi tutulur. Amaç proje toplam sürecinin en küçüklemesidir. KYM modelinin başarıya ulaşabilmesi kaynakların bol olmasına bağlıdır. Çünkü KYM modeli kaynak kısıtını dikkate almadan hesaplama yaptığı için kısıtlı kaynaklar ile yapılan çözümlerde tam anlamıyla gerçekçi sonuç verdiğini söyleyemeyiz.

Yukarıdaki olumsuzluklara rağmen KYM'nin proje yönetiminde ilk uygulanan sayısal yöntem olması, proje yöneticisine kaynak kullanımının ihmal edildiği durumda oluşacak sonuç hakkında fikir vermesi nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Bu çalışmada KYM modeli tez konusu olan jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesinde, kaynakların bol kullanıldığı durumda MS Project 2010 ve RESCON programının yaptığı hesaplamaları karşılaştırmak ve aynı sonucu verip vermediğinin gözlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

### 2.8.2 Zaman-maliyet dengeleme (ZMD)

ZMD modelinde; faaliyet süresi-kaynak tahsisi ilişkilerinin ve buna bağlı olarak en kısa ve en uzun faaliyet süreleri arasındaki indirekt faaliyet maliyeti değişiminin proje analizi aşamasında belirlendiği varsayımıyla en düşük toplam maliyeti veren proje planlaması yapılır (Barutçugil, 1998). Ancak ZMD güncelliğini kaybetmiştir. Bunun nedenleri şunlardır:

1. Kaynak kısıtları ve kapasite yüklemesi, proje programının oluşturulması esnasında ihmal edildiğinden maliyet artışları göz önüne alınarak faaliyet ve proje süresinin

kısıtlanmasının kapasite yüklemesini nasıl etkileyeceği ve kaynak darboğazlarına yol açıp açmayacağı belirlenemez. Bu da ZMD yaklaşımına ters düşmektedir. Çünkü programlama öncesinde faaliyet sürelerinin kapasite zorlamaları da dikkate alınarak kısıtlanabileceği tahmin edilmekte ve daha sonra kapasite yüklemeleri kontrol edilememektedir (Atli, 2012).

2. Faaliyet süresi ve maliyet ilişkisi pratikte oldukça güç bir biçimde belirlenmekte ve bunun için de gerçeklerden uzaklaştırıcı, basitleştirici varsayımlar yapılmaktadır (Atli, 2012).

### **2.8.3 Kaynak dengeleme (KD)**

KD'de faaliyet süreleri sabit kabul edilir, kaynak kısıtları gözlemlenmez ve proje süresi boyunca kapasite yüklemesinde oluşan değişimlerin maliyetlerini en küçükmek amaçlanır. KD'nin ideal program modeli, proje süresi boyunca kaynak kapasitesinin hiç değişmemesinin sağlanmasıdır. Ancak faaliyetler arasındaki öncelik kısıtları ile faaliyetlerin farklı kaynak tüketimi ihtiyacı buna engel teşkil etmektedir.

KD probleminde en büyük eleştiriyi "kaynaklar arasındaki denge ölçütleri" almaktadır. Faaliyetlere kaynakların kapasite ölçüsünde yüklenmesi sonucu oluşan maliyetlerin en küçükmelerini amaçlayan proje çizelgesinin, amaç fonksiyonunda hangi ölçüt kullanılarak oluşturulabileceği henüz açık değildir. Kaynaklar arasındaki farklı denge ölçütleri ile elde edilen çözümler farklı olabilmektedir. KD ile yalnız kapasite yüklemesine bağlı maliyetler etkilendiğinden, KD, ZMD veya KYM ile elde edilen proje programları kapasite yüklemesinin dengelenmesi aşamasında tatmin edici sonuç vermemektedir.

### **2.8.4 Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme yöntemleri (KKPÇ)**

KYM, ZMD ve KD; kaynakların kapasite kısıtlarına bağlı olduğunun ihmal edilmesi, kapasite darboğazlarının oluşumunun dengelemeyle de önlenememesi gibi sebeplerle kesin çözüm elde etmede yetersiz kalmıştır. Bu nedenle kaynak kısıtlarını açık bir biçimde problem formülüne dahil eden bir model ihtiyacı doğmuştur. "Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Modelleri" bu ihtiyacın karşılanması amacıyla ortaya çıkmıştır. KKPÇ yaklaşımına ait temel kavramlar aşağıdaki kısımda açıklanacaktır.

### **2.8.5 Proje çizelgeleme problemlerinin sembolik gösterimi**

Makina çizelgeleme ve kuyruk problemlerinin sembolik gösteriminden esinlenilerek proje çizelgeleme problemlerinin de sembolik gösterimi için iki öneri geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi (Herroelen vd., 1999), diğeri ise (Brucker vd., 1999) tarafından

önerilmiştir. Bu iki öneriden sadece Herroelen vd.'nin önerisi üzerinde kısaca durulacak ve örnekler verilecektir. Sembolik gösterim üç alandan oluşmaktadır:

- a alanı; kaynak karakteristiklerini
- b alanı; faaliyet karakteristiklerini
- c alanı; performans ölçütlerini göstermektedir.

Aşağıda bazı örnekler sunulmuştur. İlk iki örnekte kaynak kısıtı olmadığından birinci alan yer almamıştır.

- $cpm, C_j/npv$ = Kaynak kısıtsız bir ortamda NBD'nin en çoklanması problemi.
- $min, C_j/npv$ = Kaynak kısıtsız ve en az bekleme süresi olan bir ortamda NBD'nin en çoklanması problemi.
- $m,1/cpm, c_j/npv$ = Yenilenebilir kaynak kısıtlı bir ortamda NBD'nin en çoklanması problemi.
- $m,1/cpm/C_{max}$ = Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (TM-KKPÇP),
- $m.1/gpr/C_{max}$ = Genelleştirilmiş öncüllük ilişkileri altında KKPÇP.

İki gösterim de halen genel kabul görmemiştir ancak Herroelen vd.'nin gösterim önerisi daha yaygın kullanılmaktadır. Uygulama ile eksiklikler görülecek ve bu gösterimler ve belki başka önerilecek gösterimler geliştirilecektir. Böyle bir gösterime ihtiyaç olduğu kesindir. Umalım ki zaman içinde araştırmacılar tek bir gösterim üzerinde fikir birliğine varırlar (Gunduz Ulusoy, 2000).

Diğer bir matematiksel gösterim aşağıda ifade edilmiştir (Özleyen, 2011).

$$f_i \leq f_j - d_j, \text{ her } (i, j) \in A \quad (2.1)$$

$$f_1 = 0 \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in s_t} r_i k \leq a_k k = 1, \dots, m \text{ ve } t = 1, \dots, f_n \quad (2.3)$$

Yukarıda ifade edilen formülde ( $f_1$ ) başlangıç ve bitiş aktiviteleri olarak değerlendirilmiştir.  $f_i$  değişkeni faaliyetlerin bitiş zamanlarını temsil ederken  $d_i$  faaliyetlerin sürelerini,  $a_k$  ise  $k^{th}$  faaliyetin yeterliliğini (atamaya uygunluğunu),  $r_{ik}$  ise  $i$  aktivitesinin  $k$ 'inci kaynağa olan talep miktarını,  $S_t$   $t$ 'inci zamanda işlem gören aktivite grubunu,  $m$  ise projedeki kaynak sayısını, son olarak  $j$  zincirdeki son faaliyeti ifade etmektedir.

Basit bir proje çizelgeleme problemini görselleştirmek adına 10 faaliyetten ve 2 yenilenebilen kaynaktan oluşan problem aşağıdaki tablodaki gibi ifade edilebilmektedir (Özleyen, 2011).

Çizelge 2.1 Problem Formülasyonu İçin Proje Bilgisi

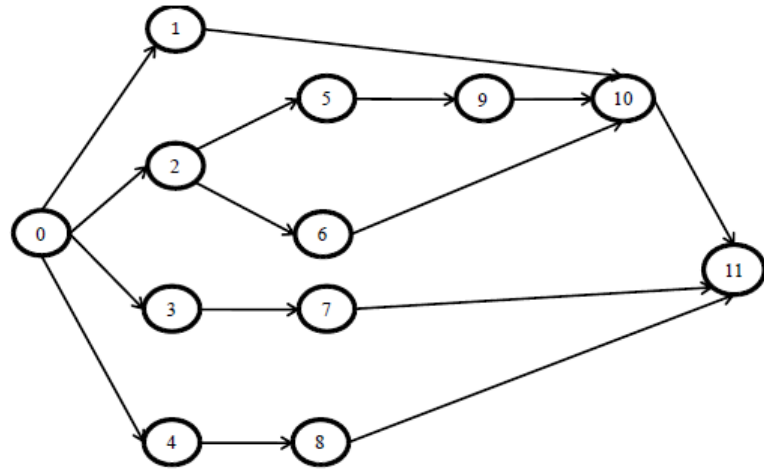
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$	$A_{11}$
Süre	0	6	1	1	2	3	5	6	3	2	4	0
1.Kaynağın Kullanımı	0	2	1	3	2	1	2	3	1	1	1	0
2.Kaynağın Kullanımı	0	1	0	1	0	1	1	0	2	2	1	0

- $A_0$  ve  $A_{11}$  faaliyetleri sırasıyla başlangıç ve bitiş faaliyetleridir.

Bu projede her faaliyetin süresi ve hangi kaynaktan ne kadar kullandığı bilgisi Çizelge 2.1'de bulunan faaliyet kaynak kullanım matrisinde ifade edilmiştir. Ayrıca birinci kaynağın kapasitesi yedi birim, ikinci kaynağın kapasitesi ise dört ve faaliyetler arasındaki öncüllük ilişkileri Şekil 2.1'de belirtildiği gibidir (Özleyen, 2011).

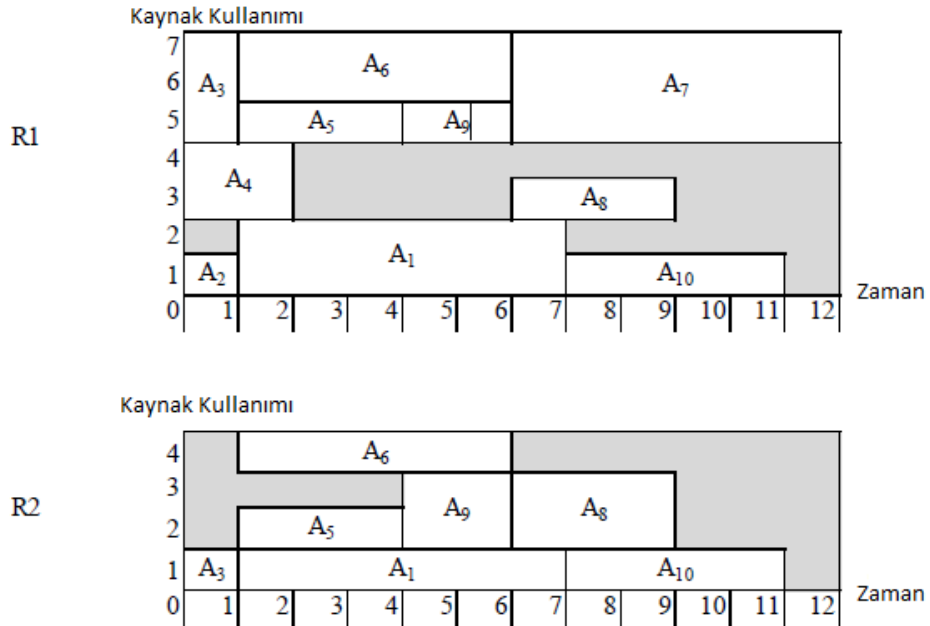
Yukarıda örneği verilen çizelgeleme probleminde olduğu gibi bir çizelgeleme probleminin ilk adımları, faaliyetlerin, faaliyetlerde kullanılacak kaynak miktarlarının ve öncüllük ilişkilerinin belirlenerek faaliyet kaynak kullanım matrisi ve öncüllük ilişkileri bilgisini içeren ağ diyagramının hazırlanmasıdır. Bu işlem tüm proje çizelgeleme problemleri için ortak yapılması gereken faaliyettir.

Sonuç olarak Çizelge 2.2 ve Şekil 2.1 bir projenin temel iki bileşenini oluşturur. Bu bileşenler olmadan bir proje çizelgeleme probleminin varlığından söz edilemez.



Şekil 2.1 Problemin ağ diyagramı gösterimi

Problemin kaynak kısıtları ve öncüllük ilişkileri dikkate alınarak çözülmesi sonucunda Şekil 2.2’de görüldüğü gibi her kaynağın ayrı ayrı kaynak kullanım durumlarını ve en küçük toplam proje sürecini ifade eden şekilsel gösterim elde edilir.



Şekil 2.2 Problemin en küçük toplam sürecinin gösterimi

Ayrıca Şekil 2.2’de gösterildiği gibi kaynakların hangi oranda kullanıldığı ve hangi safhalarda boş kaldığı da gözlemlenebilmektedir. Bu gösterimi proje yönetimi yazılımlarının büyük bir çoğunluğunda var olan ve aranan bir özelliktir. Bu grafiksel gösterim matematiksel olarak da hesaplanarak kaynakların gerçek dolulukları hesaplanabilmektedir.

Bu gösterim ayrıca proje yöneticisine faaliyetlerin kritik yolunu görsel olarak gösterebilmesi açısından önemlidir.

## 2.8.6 Tek modlu kaynak kullanımlı projelerde proje süresinin en küçüklenmesi probleminin matematiksel programlama gösterimi

Bu bölümde incelenecek problem, tek bir projenin yukarıda yapılan varsayımlar çerçevesinde tamamlanma süresinin en küçüklenmesi problemidir. Kaynak kullanımı tek modludur. KKPCP’nin bu en basit halinin matematiksel programlama gösterimi aşağıda verilmiştir. Bu gösterimde proje seriminin oluşturulması için AON kullanılmıştır (Gunduz Ulusoy, 2000).

$$\min Z = \sum_{t=EF T_j}^{LFT_j} tX_{jt}, \quad (2.4)$$

$$\sum_{t=EF T_j}^{LFT_j} tX_{jt} = 1, \quad j = 1, \dots, J, \quad (2.5)$$

$$\sum_{t=EF T_i}^{LFT_i} tX_{it} \leq \sum_{t=EF T_j}^{LFT_j} t - d_j X_{jt}, \quad j = 2, \dots, J, \quad i \in P_j \quad (2.6)$$

$$\sum_{j=1}^J k_{jr} \sum_{\tau=t}^{t+d_j-1} X_{jt} \leq K_r, \quad r \in R, \quad t = 1, \dots, T \quad (2.7)$$

$$X_{jt} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j \text{ faaliyeti } t \text{ dönemi sonunda bitiyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.8)$$

Kullanılan sembollerin tanımları aşağıda verilmiştir:

- $t$  = zaman indisi ( $t=1, \dots, T$ ),
- $j$  = faaliyet indisi ( $j=1, \dots, J$ ),
- $R$  = yenilenebilir kaynaklar kümesi,
- $d_j$  =  $j$  faaliyetinin süresi,

- $P_j = j$  faaliyetinin öncüllerinin kümesi,
- $EFT_j = j$  faaliyetinin en erken bitiş zamanı,
- $LFT_j = j$  faaliyetinin en geç bitiş zamanı,
- $k_{jr} = j$  faaliyetinin  $r$  kaynağından birim zaman kullanım miktarı,
- $K_r = r$  yenilenebilir kaynağının birim zaman kullanım üst sınırı.

2.4 formülünde amaç işlevi faaliyetin bitiş zamanını, diğer bir deyişle, proje süresini en küçükmektir. 2.5 kısıt kümesi her faaliyetin mutlaka çizelgelenmesini sağlar. Kısıt kümesi 2.6 ise,  $j$  faaliyeti ile bu faaliyetin öncülü olan  $i$  faaliyeti arasındaki öncüllük ilişkisinin yerine getirilmesi gereğini ifade eder. Birim zaman başına kaynak kısıtı ise kısıt kümesi 2.7 ile gösterilmiştir. 2.8 ise 0,1 değişkeni  $x_{jt}$ 'nin tanımıdır. Değişken adedini azaltabilmek amacı ile  $x_{jt}$  değişkeni  $EFT_j, LFT_j$  zaman aralığında tanımlanmıştır. Bu zaman aralıklarının, en iyi çözümü dışlamadan en dar şekilde tanımlı değişken adedinin düşük tutulmasına katkıda bulunacaktır (Gunduz Ulusoy, 2000).

## 2.9 Proje Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

KKPÇ modelleri genel olarak iki ana grupta incelenebilir;

1. Kaynak tahsisi ve faaliyet Sürelerinin sabit olduğu varsayımına dayanan modeller; TM-KKPÇ
2. Kaynak tahsisi ve faaliyet Sürelerinin değişken olduğu varsayımına dayanan modeller; ÇM-KKPÇ

KKPÇ modelleri genel olarak iki ana gruba ayrılmakla birlikte literatürde farklı problem yapılarıyla karşılaşmak mümkündür (Atli, 2011). Bunlar;

- Klasik KKPÇ Problemleri
- Minimal ve Maksimal Zaman Kaydırmalı KKPÇ Problemleri
- Çok Modlu KKPÇ Problemleri
- Minimal ve Maksimal Zaman Kaydırmalı Çok Modlu KKPÇ Problemleri
- Minimal ve Maksimal Zaman Kaydırmalı Kaynak Yatırım Problemleri



KKPÇ modelinin birçok varyasyonu üzerinde yapılan testler ve incelemeler sonunda problem çeşitlerinin farklı yönlerden sınıflandırılmaya tabi tutulduğu görülmektedir. Örneğin projeler,

- İşletim moduna göre: Tek Modlu, Çok Modlu,
- Kaynak tüketim moduna göre: Yenilenebilir, Yenilenemez, Tek Yönden veya Çift Yönden kısıtlı,
- Kaynağın kesikli olup olmaması durumuna göre,
- Amaç Fonksiyonuna Göre: Süre En Küçüklemesi, Maliyet En Küçüklemesi veya Net Şimdiki Değer En Küçüklemesi gibi türlere ayrılabilir.

İşletim moduna göre; KKPÇ modelleri tek modlu ve çok modlu iki gruba ayrılabilir. Tek modlu sınıflandırmada bir faaliyetin icra edilebilmesi için tek bir işlem süresinin bulunduğu çok modlu sınıflandırmada ise birden fazla işlem süresinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Çok modlu sınıflandırmaya örnek olarak bir faaliyetin farklı iki teknolojiye sahip iki makinede farklı işlem süreleri ile tamamlanabilmesi yada tecrübeli bir işçinin tecrübesiz bir işçiye göre aynı işlemi farklı sürelerde yapabilmesi verilebilir.

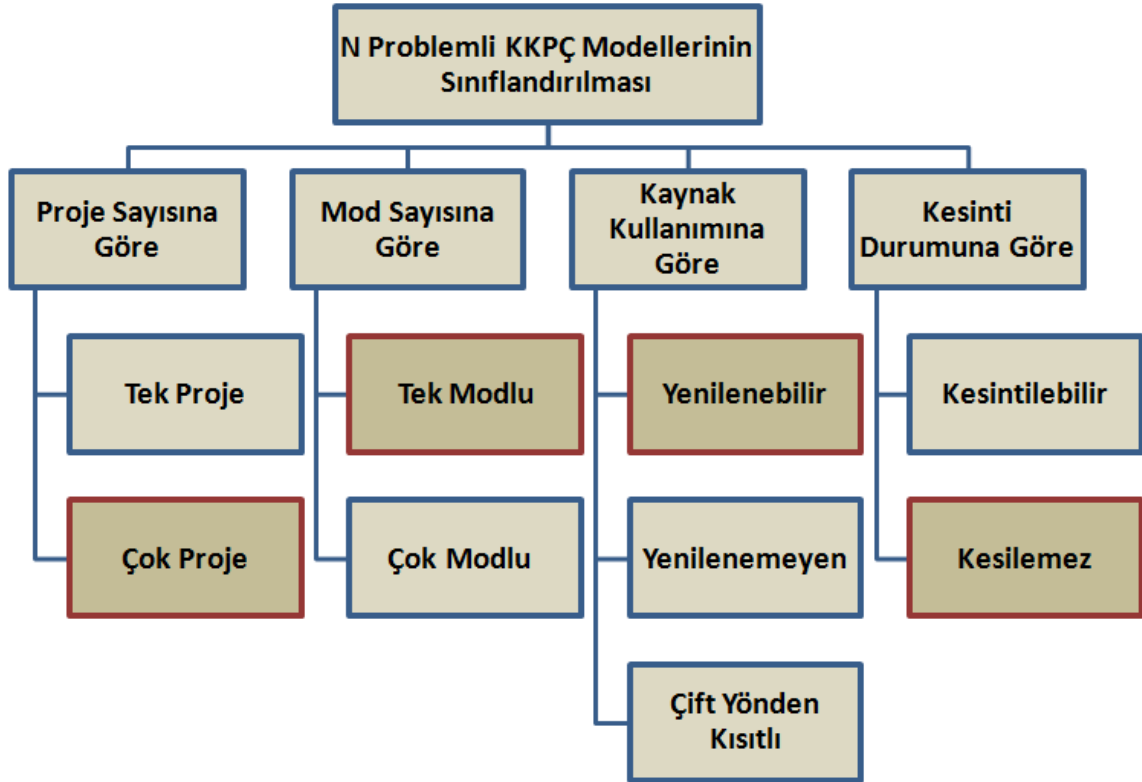
Kaynak tüketimine göre, KKPÇP'nin kaynakları sınırlıdır. Ancak problemdeki kaynak özelliklerine göre dönemsel itibariyle yenilebilir veya tüm proje boyunca miktarı sınırlı kalabilir. Kaynakların tüm proje boyunca sınırlı kalması durumuna çift yönden sınırlı kaynaklar olarak ifade edilmektedir.

KKPÇP'de faaliyetlerin kesikli olup olmamasına yani diğer bir ifade ile faaliyetlerin bölünebilir veya bölünmez oluşuna göre gruplandırma yapılabilmektedir. Faaliyetlerin bölünemez olduğu durumda, faaliyet başlatıldığında yarıda kesilmesine müsaade edilmez. Bölünebilir faaliyetlerin olduğu durumda bunun tam aksine faaliyetlerin bölünmesine izin verilebilir.

Daha önce de ifade edildiği gibi bu çalışma kapsamında bölünebilir kaynaklar kullanılmıştır. Ancak faaliyetlerin bölünmesine izin verilmemiştir. Bir iş başladığında bitirilmelidir. Özellikle teknoloji ve emniyet seviyesi yüksek olan uçak bakım faaliyetlerinin emniyeti açısından faaliyetin bölünmesine izin verilmesine müsaade edilmemektedir.

Ayrıca KKPC modellerinin çeşitli versiyonlarında değişik amaç fonksiyonlarına göre de ayrı bir gruplandırma yapılabildiği görülmektedir. Özellikle literatür araştırmalarında amaç fonksiyonun yapısı araştırmacıyı gereksiz meşgul etmemesi ve kendi problemine uygun çalışmalarını inceleyebilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçlar yapılan araştırmalarda da görüldüğü üzere genellikle, proje tamamlanma süresinin en küçüklemesi, proje toplam maliyetinin en küçüklemesi ve proje net şimdiki değerinin en küçüklemesi olarak da sınıflandırılabilir.

Yukarıda ifade edilen tüm sınıflandırmaları içine alan sınıflandırma tablosu Şekil 2.3’de gösterilmiştir (Atli, 2012). Üzerinde çalışılan problemin belirtilen sınıflandırma gruplarından hangi gruba girdiğini bilmek problemin çözüm yöntemlerinin seçiminde ilk adımı oluşturması açısından önemlidir.



Şekil 2.3 KKPC problemlerinin sınıflandırması

Tez çalışmasına konu olan Jet Eğitim Uçaklarının Fabrika Seviyesi Bakımlarının Çizelgelenmesi KKPCP Şekil 2.3’de ifade edilen sınıflandırma kapsamında proje sayısına göre çok sayıda uçak projesi üzerinde aynı anda işlem yapıldığı için çok proje, mod sayısına göre aynı faaliyetler için farklı işlem süreleri bulunmamasından dolayı tek modlu, kaynak

kullanımına göre işgücü kaynağının proje süreci içerisinde temin edilebilir olmasından dolayı yenilenebilir, kesinti durumuna göre ise kesilemez olarak sınıflandırmaya tabi tutulabilir. Burada ifade edilen kesinti durumu faaliyetlerin başladıktan sonra kesilebildiği araya başka bir faaliyetin girip giremediğini ifade etmektedir. Uçak bakım yapılan bir çok kuruluştaki olduğu gibi faaliyetin emniyeti açısından teknik olarak bir sakınca olmamasına rağmen faaliyetlerin bölünmesine izin verilmemektedir. Faaliyet başladıktan sonra ara verilmeden bitirilmelidir.

### 2.9.1 TM-KKPC modelinin özellikleri

Faaliyet sürelerinin değişken olmayıp sabit olduğu varsayılan problemlerdir. Örneğin bir CNC tezgahında işlenen bir parçanın işlem süresinin sabit bir değer olduğu ve bunun diğer tezgahlarda işlenebilecek aynı sürenin geçerli olduğu durumu ifade eder. Faaliyet süreleri bu şekilde belirlenmiş bir projede bundan sonraki aşama öncüllük ilişkileri dikkate alınarak faaliyet başlama zamanlarının tespitidir. Faaliyet süresinin sabit kalmasıyla birlikte, teknoloji seçeneği, kaynak tahsis miktarı ve endirek faaliyet maliyetinin de belirlenmiş olduğu kabul edilir.

KKPC modelinin amacı problemden probleme değişkenlik gösterebilmekle birlikte genel ifade ile, proje süresine bağlı maliyetleri en küçüklemek veya proje süresini en küçüklemektir. TM-KKPC problemi üzerinde en yoğun çalışmalar yapılmış olduğu, literatürdeki tanımıyla da kaynak kısıtlı proje çizelgelemenin "klasik problemi" olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında TM-KKPCP ele alınmıştır. Jet eğitim uçaklarının bakım paketlerinde yer alan faaliyetlerin sürelerinin standart olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte planlamalar yapılırken geçmiş tecrübe ve istatistiklerden yararlanılarak elde edilmiş standart zamanlar mevcut olmasına rağmen uçaklar ilk geldiğinde yapılan keşif kontrol işlemleri sırasında oluşan bulgular ile uçağa uygulanacak paket büyük oranda netlik kazanır. Uçağın söküm işlemleri devam ettikçe ilave bakım ihtiyaçları ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenlerle aslında planlama safhasında yapılan kabuller süreç içerisinde çok detaylı takip edilerek oluşan gerçek süreçler kayıt altına alınmaktadır.

Bu çalışmada daha önce de ifade edildiği gibi, proje yöneticisine ve karar vericiye değişkenlikler sonucunda oluşan yeni durumun oluşturduğu toplam maliyet ve tüm uçak bakım planlamalarında oluşturduğu sapmanın analiz edilerek alınması gereken önlemler hakkında bilgi sağlaması, özetle karar destek sistemi oluşturması amaçlanmıştır.

## 2.9.2 ÇM-KKPC modelinin özellikleri

ÇM-KKPC modelindeki en belirgin özellik faaliyet sürelerinin sabit olmamasıdır. Bir atölyede farklı tezgahlarda farklı sürelerde işlenebilen parçaların aynı işlem için farklı sürelerinin olması veya bir işlemin tecrübeli ve tecrübesiz işçiler tarafından yapılması durumunda işlem sürelerinin farklı olması ÇM-KKPC problemlerine örnek verilebilir. Bu nedenle, bir faaliyetin süresi, kaynak tahsisinin belirlenmesi ve faaliyet başlama zamanının tespitiyle eş zamanlı olarak saptanır.

Faaliyet sürelerinin farklı olması doğal olarak tahsis edilecek kaynağın da farklı miktarlarda olması durumunu doğurmaktadır. Bu durum problemi daha karmaşık bir yapıya getirmektedir. Proje amacı ise, yalnız proje süresine bağlı maliyetlerin (ya da proje süresinin) veya hem proje süresine hem de faaliyet sürelerine bağlı maliyetlerin toplamını en küçükmektir. Karmaşıklığın artması ile oluşturulabilecek model sayısında da bir artış olacaktır.

Artan karmaşıklığı şöyle de ifade edebiliriz. Hazırlanan çözüm metodu projeyi çizelgelerken mevcut kısıtların yanında faaliyetlerin farklı sürelerde yapılabilmesinden dolayı öncelikle aynı süreye sahip faaliyetler arasından hangi faaliyetin daha önce çizelgelenmesi gerektiğini belirlemelidir. Bu durumda çözücünün mevcut öncelik kurallarına ilave olarak farklı öncelik kuralları ilave etmesi gerekmektedir.

## 2.9.3 Tek proje (TP) ve çoklu proje (ÇP) modelleri

KKPC modelinde Tek Proje (TP) dikkate alınması halinde şu ek varsayımlar söz konusudur (Atli, 2012):

- Bir işletmede aynı anda sadece bir proje yürütülür ve biri bitmeden diğerine başlanamaz,
- Bir işletmede aynı anda birden fazla proje yürütülürken, projeler arası kaynak kullanımı yapılmaz (kaynaklar önceden ayrılmıştır).

Örnek olarak, bir firmanın elindeki tüm kaynakları sadece tek bir projede kullanması sonucu başka bir projeye ayıracak kaynağı yoksa veya gemi inşaatı yapan bir tersanede sadece aynı anda bir gemi üzerinde çalışmak mümkün ise tek proje durumu söz konusu olabilir.

Teknolojik zorunluluk veya bilgi güvenliği nedenleri ile de tek proje durumları söz konusu olabilir. Örneğin yaşlanmış gemilerin hurdaya ayrıldığı sökümler yapılan bir tersanede aynı anda tek bir gemi üzerinde çalışmak teknolojik olarak zorunluluktur.

Uluslar arası güvenlik yazılımları yapan bir yazılım firmasının güvenlik gereği sadece tek proje üzerinde çalışması diğer bir örnek olarak verilebilir.

Uygulamada çoğunlukla çoklu proje modelleri görülmektedir. Çünkü firmalar ellerinde bulunan kaynakları çok çeşitli projelerde ortak kullanarak boşta kalmayı önleyerek kaynak kullanım verimliliklerini arttırmakta ve proje maliyetlerini düşürmektedirler. Bu durum kaynakların esnek ve etkin kullanımını kolaylaştırdığı için tercih edilmektedir.

Her proje kendi içinde bir alt projeden oluşmaktadır. Bu yüzden temelde TP ile Çoklu Proje (ÇP) arasında bir fark olduğu söylenemez. Projenin planlanması esnasında TP veya ÇP varsayımları, karar değişkenlerini ve kısıtları etkilememektedir. Ancak amaç için aynı şey söylenemez. ÇP durumunda, tüm proje amaçlarının aynı olduğu düşünülürse (en düşük proje maliyeti gibi), işletmede proje süresi boyunca oluşan değişiklikler gelen yeni işlerinde aynı amaç ile örtüştüğü durumlarda, işletmede proje sürecinin çok iyi takip edilmesi ve değişkenliklerin proje amacından oluşturduğu sapmaların doğurduğu maliyetlerin hızlı bir şekilde hesaplanarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi gerekmektedir. ÇP modelinde işletmede kapasite kullanımının en yüksek düzeyde olması istenmektedir.

Çok Modlu Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme (ÇM-ÇP KKPC) uygulamadaki gerçek durumu yansıtmaması bakımından, KKPC'de önemli bir araştırma alanıdır. Örneğin, farklı uçak tiplerinde çok sayıda uçağın bakımlarını yapan bir uçak bakım fabrikasında, bu faaliyetlerin zamanında yapılabilmesi için ortak ve kısıtlı kaynaklarını kullandığından, tipik olarak bu proje çizelgeleme modeline uygun bir görünüm sergiler.

Aynı şekilde, bir beyaz eşya firmasının aynı anda birden fazla ürün geliştirme projesinde, ortak ve kısıtlı kaynaklarının kullanıldığı ortamın planlanması da kaynak kısıtlı birden çok projenin çizelgelenmesini zorunlu kılar.

Kaynak kısıtlı birden çok projenin çizelgelenmesi için iki temel yaklaşım vardır (Atli, 2012):

- Her projenin kendi başına ele alınması (diğer bir deyişle, her projenin kendi başlangıç ve bitiş düğümünün olması);

- Tüm projelerin bir proje halinde bütünleştirilmesi (diğer bir deyişle, tüm projeler için bir başlangıç ve bir bitiş düğümü olması).

Çizelgeleme için amaç işlevi, iki tür modelleme için de temelde aynıdır: Kaynakların kısıtlı olması sonucu oluşan gecikmenin; yani kaynak kısıtlı çizelgeleme ile elde edilen proje süresi ile kaynak kısıtsız (KYM) proje süresi arasındaki farkın bir işlevidir. Her projenin kendi başına ele alınması durumunda, gecikme her bir proje için ayrı hesaplanır ve proje sayısına bölünerek ortalaması alınır (MPD-Mean Project Delay (Atli, 2012)).

Tüm projelerin tek bir proje halinde birleştirildiği durumda ise, tek proje boyutunda gecikme hesaplanır ve tek proje boyutundaki KYM, proje süresine bölünerek oransal bir değer olarak kullanılır (MDI-Multiproject Duration Increase). Tüm projelerin tek bir proje halinde bütünleştirilmesi durumu için tek proje çizelgelemede, sürenin en küçüklenmesinde başarılı olunmuş ve En Geç Bitirme Zamanı (LFT), En Geç Başlama Zamanı (LST), En Kısa Boşluk Öncelik Kuralı (MinSlack) gibi sezgisel kurallar kullanılmıştır. Her projenin kendi başına ele alındığı modelleme durumu, tek proje için geliştirilmiş sezgisel kuralların, bu duruma uygulamasına göre, daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir (I. Kurtuluş ve Davis, 1982).

Bu çalışmada da tüm projelerin bir proje halinde bütünleştirildiği yani tüm uçak bakımlarının tek bir başlangıç ve bitiş düğümünün olduğu kabul edilmiştir.

#### **2.9.4 Tek kaynak (TK) ve çok kaynak (ÇK) modelleri**

KKPÇ'de kullanılan kaynak türü sayısı modelin yapısını değiştirmez. Ancak ÇK modelinde değişken ve kısıtların sayısının artmasına ve dolayısıyla çözüm uzayının katlanarak artmasına neden olur. Bu durumun problemin olurlu çözümlerinin bulunmasını zorlaştıracığı ve çözüm süresini uzatacağı aşikardır. KKPÇ modelini, TK veya ÇK ayırımına uygun tasarlarırken,

- Projenin özelliklerine,
- Kaynakların kısıtlılık özelliklerine dikkat etmek gerekir.

Özelleşmiş proseslerde üretim yapan birimlerde bir faaliyetin gerçekleştirilmesinde tek kaynak türü kullanılabilir. Sadece çatı izolasyonu yapan bir firmanın müşterilerinden gelen projeler için tek bir eğitimli işçi grubunun olduğu ve sadece çatı izolasyonu yaptıkları durum tek kaynak türüne örnek verilebilir.

Ancak daha geniş kapsamlı işletmelerde projelerin yürütülmesi esnasında faaliyetler, alanında eğitim almış sorumlu uzmanlar tarafından yapılır. Örneğin bu çalışmamızda olduğu gibi çok çeşitli uçakların bakımlarını yapan bir kuruluştaki çok çeşitli ihtisaslarda alanında uzmanlaşmış ihtisas grupları mevcuttur. Günümüzde tek kaynak yapısı ile çalışan işletme az bulunmasına karşın işletmelerin büyük bir çoğunluğu çok kaynak modeline uymaktadır.

### 2.9.5 Sabit veya değişken kaynak kısıtlı KKPC modeli

Bir projede kullanılabilir kaynak miktarının belirlenmesi sonucu oluşan kaynak kısıtları sabit veya değişken olabilir. Bu durum KKPC modelinin yapısını etkilemez. Ancak kurulan modeldeki kısıtların sayısı değişir. Gerçek hayat problemlerinde firmalar kaynaklarını çeşitlendirebilmekte ve zaman içerisinde kaynaklarında değişkenlikler yaşayabilmektedirler. Bu nedenle gerçekçi bir modelin oluşumu için kaynak miktarında kısa ve orta vadede değişimlerin olabileceği hesaplamalara dahil edilmelidir.

Bu çalışma kapsamında kaynak kısıtının sabit olduğu varsayılarak projenin ilk planlaması yapılmaktadır. Proje sürecinde planlamadan sapmalar ve proje önceliklerinin değişmesi sonucunda proje yöneticisine hangi kaynak grubundan hangi kapasite ile çalışması gerektiği hakkında fikir vermesi amaçlanmıştır. Proje yöneticisi kaynak kapasitelerinde yaptığı değişikliğin sonuçlarını aynı anda görerek proje amacını eniyileyen değişikliği yapabilmesi için destek olunmaktadır.

## 2.10 KKPC Modellerinin Ortak Özellikleri

1. Tek Kaynak (TK) ve Çok Kaynak (ÇK) Modelleri; TK model yapısı, bir projede bulunan tüm faaliyetlerin sadece tek bir kaynak türünden çeşitli miktarlarda kullanılması ile projenin tamamlanabildiği durumdur. Günümüz gerçek problemlerinde bu durumun görüldüğü çok nadirdir. İstisnai durumlar ve ihmaller hariç tek bir kaynak türü ile faaliyetlerin yerine getirilmesi pek mümkün değildir. ÇK model yapısı, projedeki faaliyetlerin farklı kaynaklardan farklı miktarlarda kullanılması ile projenin tamamlandığı durumdur.
2. Tek Proje (TP) ve Çoklu Proje (ÇP) Modelleri; ÇP model yapısı, bir kuruluştaki ortak kaynakları kullanan birden fazla projenin aynı anda yürütüldüğü durumda söz konusudur. TP model yapısı ise, kuruluşun elinde bulunan tüm kaynakların bir tek projeye ayrıldığı durumda söz konusudur.
3. Proje sürecinde toplam kullanılabilir kaynak miktarı sabit veya değişken olabilir.

4. Faaliyetin bölünebilirliğine göre, aralıklarla veya aralık verilmeden sürekli olarak tamamlanabilir.
5. Faaliyete tahsis edilen kaynak miktarının sabit veya değişken olmasına göre, kaynak miktarı sabit kalabilir veya belirli aralıklar içinde değişebilir.



### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Proje yönetimi, proje çizelgeleme ve Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme (KKPÇ) üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. KKPÇ'nin modellenmesi ve çözümlenmesine ilişkin çalışmalar günümüzde yoğun olarak üzerinde çalışılan konular arasındadır. Genel olarak problemin çok geniş olurlu çözümleri arasından en iyisinin seçilmesi esasına dayanan yaklaşımlar KKPÇ problemlerine uygulanarak, minimum sürede en iyi ve en iyiye yakın çözümler bulunmaya çalışılmaktadır. Oluşturulan yaklaşımların performansı ortak problemlerin çözülmesi sonucu çözüme ulaşma süresi ile ölçülmektedir. KKPÇ'nin optimizasyon yöntemleriyle çözümünün zor olması ve herhangi bir sezgisel yaklaşımın henüz kabul görmemesi nedeniyle problem üzerindeki araştırmalar sürmektedir. KKPÇ, genellikle öncelik ve kaynak kısıtlarını dikkate alarak, projenin maliyeti ve tamamlanma zamanını en küçükmeye çalışır. 1970'lerin sonlarından itibaren proje çizelgeleme hakkında yapılan birçok çalışma, KKPÇ için çözüm teknikleri geliştirmek üzerine yoğunlaşmıştır ve çok sayıda en iyi ve sezgisel çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu bölümde genel ifadesiyle KKPÇ problemleri için en iyi sonucu vermeye çalışan ve sezgisel yaklaşımlar sunan çalışmalardan bazıları özetlenmiştir.

Çalışmalar konu bütünlükleri açısından alt bölümlere ayrılmış ve kendi içinde gelişimin de incelenebilmesi amacıyla kronolojik sıralama dikkate alınarak düzenlenmiştir.

#### 3.1 KKPÇ ile İlgili Yapılan İlk Çalışmalar

Bu bölümde KKPÇ konusunun temellerinin iyi anlaşılabilmesi için KKPÇ konusunda yapılan çalışmaların ortaya çıkışı ve tarihsel gelişimleri incelenmiştir.

Patterson, 1984, en fazla 30 işleme sahip 34 gerçek proje ve 13 kaynak türünden oluşan bir sistemde, belirli bir zaman aralığı içinde projelere rastsal başlama zamanları verildiği varsayımıyla, öncelik kurallarının çeşitli amaç fonksiyonlarına bağlı olarak etkinliklerini incelemiştir. Toplam proje süresinin en küçüklenmesi amacıyla yapılan çizelgelemede "en kısa işlem süresi" kuralını, 110 proje üzerinde, değişik kurallar ile sağlanan çözümleri kesin çözümlerle karşılaştırarak, MinSlack kuralının çoğunlukla daha iyi sonuç verdiğini, ayrıca MinSlack ile LST kurallarının" aslında birbirlerinden farklı olmadıklarını kanıtlamışlardır.

KKPÇ problemi hakkında literatürdeki en kapsamlı çalışmalardan birisi Özdamar ve Gündüz Ulusoy, 1995, tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yazarlar önemli çalışmalarını inceleyerek sınıflandırmışlardır. Ayrıca çalışmada elde ettiği sonuçları çok sayıda örnek problem kullanarak test etmişlerdir. Yazarların çalışmalarına göre; araştırmacıların çoğunluğu, zaman esaslı amaçları çözmeye yönelmişken, maliyet esaslı amaçları çözmeye çalışan araştırmacıların sayısı oldukça düşük olmuştur. Yazarlar, bunun sebebini çoğunlukla maliyet esaslı amaçların çözümünde karşılaşılan problemlere dayandırmışlardır. Bu sebeple bu konuda maliyet veya kar esaslı modellerin temel alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kolisch, 1996b, bu makalede klasik kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için paralel ve seri planlama yöntemi düşünülmektedir. Her bir yöntemle üretilen program sınıfı üzerine teorik sonuçlar sunulmaktadır. Ayrıca, her iki yöntem için tek geçişli çizelgeleme ve örnekleme arasındaki ilişkiyi araştırmak için ayrıntılı bir hesaplama çalışması yapılmıştır. Öncelik kurallarının performans sıralamasının, tek geçişli çizelgeleme ve örnekleme için farklı olmadığı, örnekleme tek geçişli çizelgeleme performansını önemli ölçüde geliştirdiği ve paralel yöntemin genel olarak üstün kabul edilemediği gösterilmiştir.

Kolisch, 1996a, bu makalede KKPÇ problemleri için etkin öncelik kuralı araştırması yapılmıştır. Kaynak kısıtlı malı proje çizelgeleme problemlerini çözmek için ticari sistemler klasik öncelik kurallarını uygularlar. Bu çalışmada klasik öncelik kurallarından iyi bilinen Kaynak Çizelgeleme Metodu (RSM) öncelik kuralı gözden geçirilerek bu kuralın ayrıntılı bir analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda kaynakların sınırlı kapasitesini doğru bir şekilde yansıtmadığını ortaya koymaktadır. Bundan dolayı, gelişmiş bir RSM önceliği kuralı türetilir ve iyi bilinen önceliği temel alan MinSlack sırasıyla bir öncelik ve kaynak temelli boşluk öncelik kuralına genişleten iki yeni öncelik kuralı geliştirilmiştir. Kapsamlı bir deneysel soruşturma temelinde, klasik ve yeni kuralların performansına yeni bir bakış açısı sunulmuştur. Ayrıca, yeni kurallardan birinin klasik kurallardan önemli ölçüde daha iyi olduğunu ve bu nedenle proje çizelgeleme sistemlerinde kullanılmasının gerektiğini göstermiştir.

Kolisch ve Sprecher, 1997, bu makalede tek ve çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri için çözüm prosedürlerinin değerlendirilmesi için bir dizi kıyas örneği sunulmaktadır. Örnekler, standart proje üretici ProGen tarafından sistematik olarak oluşturulmuştur. Bunlar ProGen'in giriş parametreleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıntılı karakterizasyonu ve şimdiye kadar bilinen en iyi çözümleri içeren tüm karşılaştırma kümesi, bir kamuya açık ftp sitesinde mevcuttur. Dolayısıyla, araştırmacılar, algoritmalarının değerlendirilmesi için ihtiyaç duydukları kıyaslama setlerini indirebilirler. Buna ek olarak, yeni sonuçlar elde edilmesi ile kullanıcılar sonuçlarını bu ortam aracılığı ile paylaşabileceklerdir. Sonuçta sahadaki ilerlemelere bağlı olarak, örnek kütüphane sürekli

olarak büyütülecek ve yeni sonuçlar erişilebilir hale gelecektir. KKPCP üzerinde çalışan her kullanıcının oluşturduğu yeni algoritmanın performansını test edebileceği bir kaynak olması nedeniyle önemlidir.

Kolisch ve Hartmann, 1999, bu el kitabında proje çizelgeleme problemlerinin gelişmeler ışığında sezgisel algoritmalar aracılığı ile proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için sınıflandırmaya ve bilgisayar analizlerine yer verilmiştir. Tez çalışması sürecinde konunun kavranılması amacıyla yoğun şekilde kullanılan kaynak konuya yeni başlayanlar için ellerinin altında bulunması gereken bir kaynak olduğu düşünülmektedir. KKPCP problemlerinin tüm çeşitlerini basitten zora doğru ve anlaşılır şekilde matematiksel modellerini açıklamaktadır.

KKPCP konusunda yapılan ilk çalışmaların çoğunlukla kaynak atama sırasında kullanılan öncüllük kuralların geliştirilmesi bunların performanslarının ölçülmesi üzerine yapılan çalışmalar olduğu sonucuna varılmıştır.

## 3.2 Meta-Sezgisel Yöntemlerin Kullanıldığı Çalışmalar

Bu bölümde de bahsedileceği gibi meta-sezgisel yöntemler kullanılarak proje çizelgeleme problemlerinin optimizasyonunu amaçlayan çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar tez sürecinde hangi tip optimizasyonun tezin konusu olan "jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakımlarının çizelgelenmesi" probleminde hızlı ve etkin sonuçlar doğurabileceğinin araştırılması amacıyla incelenmiştir.

Özdemir, 2006, bu tez çalışmasında kaynak kısıtlı sistemlerde proje çizelgelemesi problemlerinin çözümünü ele almaktadır. Amaç, proje bitim tarihini minimuma indirebilmektir. Bu amaçla ilk önce KKPCP problemlerinde kullanılan modeller anlatılmıştır. Ardından bu tarz problemlerin çözümünde kullanılan çeşitli sezgisel metotlar ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Daha sonra sezgisel metotlar arasındaki Genetik Algoritma (GA) stratejisi incelenmiş ve bu stratejiye uygun algoritmalar geliştirilip birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar permütasyon temelli ve öncelik değerini temel alan GA'lardır. Son olarak, GA'larda kullanılan operatörler ve metotların güçlü ve zayıf yönleri belirlenip ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Sonuçlar permütasyon temelli genetik algoritmanın daha üstün geldiğini ve bu tür problemleri çözmeye etkin olduğunu göstermiştir.

Paksoy ve Uzun, 2008, bu makalede kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma yaklaşımı ile çözümü ele alınmıştır. Başlangıçta genetik algoritmanın

temel kavramlarına yer verilerek, proje çizelgeleme şemaları ve çizelgelemede göz önünde bulundurulması gereken unsurlar özetlenmiştir. Daha sonra, Delphi 6.0 da geliştirilen genetik algoritmanın, otuz faaliyetli ve dört kaynak kullanan standart test problemlerindeki sonuçlarına yer verilmiştir. Geliştirilen algoritmanın, iterasyon sayısı, çaprazlama oranı ve öncelik kuralları açısından davranışları test edilmeye çalışılmıştır. Son olarak, çizelgeleme problemlerinin faaliyet sayıları, basit ya da karmaşık olma özelliklerinin algoritma üzerinde etkileri araştırılmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda, geliştirilen genetik algoritma ile elde edilen çözümlerin, genel olarak optimum değere yakın çözümler olduğu görülmektedir.

Pan vd., 2008, bu makalede KKPC problemlerini çözmek için daha etkili bir alternatif araştırmaya odaklanılmıştır. Ayrıca bu araştırmada, geleneksel Tabu Arama (TA) algoritması ve diğer Yapay Zeka (AI) temelli sezgisel yaklaşımları kullanmak yerine, başlangıç çözümü bulma yöntemini değiştirerek bir TA modeli geliştirmiştir. Model, geleneksel TA tabanlı arama tekniklerine ve Yapay Zeka (AI) tabanlı yaklaşımlara kıyasla KKPC'ni çözmek için proje süresinin azaltılmasında daha iyi sonuçlar sağlayabildiği gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile uygulayıcıya gerçek dünyadaki proje yönetimi uygulamalarında yardımcı olması için mevcut ticari yazılım sistemleriyle bağlantılı iyi bir kullanıcı arabirimi sağlamaktadır.

Lova vd., 2009, bu makalede Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (ÇM-KKPC) 'ne yönelik bir Hibrid Genetik Algoritma (HGA) geliştirilmiştir. Çalışmanın başlıca faydalarını, mod atama prosedürünün, uygunluk fonksiyonunun ve çok verimli bir iyileştirme yönteminin kullanılması olara ifade etmiştir. Geliştirilen genetik algoritmanın performansı, bir dizi standart örnek üzerinde elde edilen kapsamlı hesaplama sonuçları ve mevcut en iyi algoritmalara karşı kıyaslama yapılarak gösterilmiştir.

Balkaya, 2011, bu tez çalışmasında Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPC) çözümüne yönelik olarak; meta-sezgisel yöntemlerden yararlanılmıştır. Tezde çizelgeleme, planlama ve proje gibi problemin temelini oluşturan kavramlara değinilmiş, daha sonra problemin çözümüne yönelik olarak önerilmiş çözüm yöntemleri irdelenmiştir. Çözüm yöntemleri incelendiğinde meta-sezgisel yöntemlerin, problemin mahiyetine en iyi uyumu sağladığı ve bu nedenle en iyi çözüm sonuçlarının bu yöntemlerle elde edilebileceği gösterilmiştir. Genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, karınca kolonisi, tabu arama gibi birçok farklı sezgisel yöntemin, probleme yönelik en iyi sonuçları verdiği yapılan bir çok farklı çalışmada görüldüğü vurgulanmıştır.

Atli, 2011, bu makalede kaynak kısıtlı, deterministik faaliyet süreli proje çizelgeleme problemlerine iyi çözümler üretmek amacıyla yüksek seviyeli sezgisel bir yöntem olan TA algoritması önerilmektedir. Hesaplamalar ile TA ve OPL-CPLEX

algoritmasının uygulama sonuçları daha önceki araştırmalar ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Mevcut sezgisel algoritmalara göre TA'nın stnlgn belirleyen hesaplama sonuçları sunulmuştur. Uygulama zamanı nedeniyle, OPL-CPLEX algoritmasının orta lekli KKPÇP için geçerli bir çözüm yöntemi olduğu gösterilmiştir. Deterministik problemler için teorik ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir kıyaslama yapılmıştır.

Zamani, 2013, "mücadeleci mıknatıs tabanlı genetik algoritma kullanılarak proje çizelgeleme problemlerinin optimizasyonu" adlı çalışmasında alıcı ve verici genotiplerinin problem verisinin oluşturulmasında daha etkin kullanılması ve çift noktadan çaprazlama operatörü kullanılarak da bireylerin iyi özelliklerinin daha üst bireylere hızlı şekilde geçirilmesini amaçlayan bir çalışmadır. Genetik algoritma da bu alanların önde gelen meta-sezgiseli olmuştur. Tez sürecinde bu alanda yapılmış çok sayıda çalışma incelenmiştir.

Kksayacıgil ve Gündüz Ulusoy, 2014, bu tez çalışmasında çok amaçlı kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi üzerinde durulmuştur. zm yöntemi olarak, teknik yazında Bastırılmamış Sınıflandırılmalı Genetik Algoritma II (NSGA-II) olarak bilinen algoritma tercih edilmiştir. Çeşitli aprazlama yöntemleri ve ebeveyn seçim yöntemleri kullanılarak, genetik algoritma parametrelerinin hassas ayarları ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır. Bu deneyde, teknik yazında Yanıt Yüzeyi Yöntemi olarak bilinen istatistiksel bir yaklaşım kullanılmıştır. zm kalitesini geliştirmek için, geriye-ileriye (forward-backward) yöntemi hem işlem sonrası aşamada, hem de algoritma devam ederken yeni nüfus üretilmesinde kullanılmıştır. Ek olarak, çeşitli iraksama yöntemleri önerilmiştir ve bunlardan entropi temelli olanı ayrıntılı bir şekilde çalışılmıştır. Algoritmanın performansı ve çözüm süreleri kaydedilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, yeni bir çoklu proje sınıama dataları üretme yöntemi önerilmiş, sınıama dataları üretilmiş ve bunlar ile algoritmanın performansı sınıanmıştır. Sonuçlar, geriye-ileriye yönteminin çözüm kalitesini artırmada etkili olduğunu göstermiştir.

Kellenbrink ve Helber, 2015, esnek proje yapısına sahip kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde planlanması gereken faaliyetler tamamen önceden bilinmemektedir. Bu tür projelerin planlanması, belirli faaliyetlerin icra edilip edilmeyeceğine karar vermeyi içerir. Bu karar aynı zamanda uygulanan faaliyetler arasındaki öncelik kısıtlamalarını da etkiler. Bununla birlikte, KKPÇP için kurulan model formülasyonları ve çözüm yaklaşımları, proje yapısının önceden sağlandığını varsaymaktadır. Bu yazıda, geleneksel KKPÇP, bu esnek proje yapısı üzerinde son derece genel bir model-içsel karar kullanılarak genişletilmiştir. Bu genişletme havaalanlarında uçak dönüş sürecinin rneği kullanılarak gösterilmiştir. Yazar bu tür bir çizelgeleme problemini çözmek için genetik bir algoritma sunup geniş bir sayısal çalışmada değerlendirmiştir.

Pawiński ve Sapiecha, 2016, bu makalede kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin bir uzantısını çözmeye, gelişimsel genetik programlamadaki akıllı üst denetçilerin evrimsel gelişimi sonucu etkili bir araç olduğu gösterilmiştir. Uzanti, kaynakların yalnızca kısmen mevcut olduğunu varsayar. Aynı zamanda, yenilenebilir kaynakların proje maliyetini etkilediğini varsaymaktadır. Maliyet mümkün olduğunca düşük olmalı ve projenin takviminde tamamlanması gerekmektedir. Bu yazılım firmaları ve inşaat işletmeleri açısından oldukça anlaşılır şekilde ifade edilmiştir. Hesaplama deneyleri sonucunda, üst denetçilerin sorunun çözümlerini diğer genetik yaklaşımlardan çok daha hızlı buldukları gösterilmiştir. Üst denetçinin özel bir özelliği, kaynakları görevlere tahsis etmek için çeşitli stratejilere sahip olmasıdır. Üst denetçi, tüm proje için en iyi çizelgelemenin oluşturulabilmesi amacıyla prosedür geliştirmektedir ve bunun için sahip olduğu stratejileri kullanır. Evrim sürecinin analizi yapıldı ve deneysel sonuçlar ayrıntılı arama yöntemi ile elde edilen en iyi sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

King Abdul-Aziz vd., 2016, bu makalede, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi genetik algoritma ile alınarak çözülmüştür. Bu algoritma, sorunu yazılım geliştirmede bir bütün olarak çözer, sınırlı kaynakla projenin ekip üyelerine planlanması gerekir. Ana hedef, projeyi hedeflenen zaman içerisinde tamamlamak için kaynağı planlamak ve optimize etmektir. Kısıtlı kaynaklar ile proje çizelgeleme problemlerinde algoritmayı çözmek karmaşıklığı katlanarak artmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada geleneksel yöntemlerin kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için uygun olmadığı ifade edilmektedir. Genetik Algoritma birden çok kaynak kısıtlamaları proje çizelgeleme ihtiyaçlarını çözmek için kullanılmıştır. Bu tipik NP zor problemi, genetik algoritma kullanılarak matematiksel model aracılığıyla çözüm geliştirmiştir. Yazar örnek yazılım geliştirme projeleri kullanarak çalışmasının etkinliğini test ederek kullanılan yöntem sonucu proje toplam sürecini azalttığını göstermiştir.

Meta-sezgisel yöntemler kullanılarak çözümlenmeye çalışılan KKPÇP'nin çok sayıda meta-sezgiselin çalışıldığı ancak bunlar arasında TA ve GA üzerine yapılan çalışmaların çoğunlukta olduğu görülmüştür. GA'nın çok sayıda versiyonunun denendiği her problem türü için en iyi veren algoritmanın farklı olabildiği sonuç olarak tüm problem türleri için her zaman en iyi sonucu veren GA'nın henüz bulunmadığı söylenebilir. Bu alanda yapılmış TA çalışmalarında ise çok başarılı sonuçlar elde edildiği, kesin çözüm veren algoritmaların çözüme ulaşamadığı problemlerin TA ile başarılı çözümlere ulaşıldığı ve yapısı itibarıyla her durumda bir çözüm problemi çözümsüz bırakmayarak çözüm sunması nedeniyle tercih nedeni olduğunu söyleyebiliriz.

Bu tez çalışması kapsamında meta-sezgisel yöntemler açısından yapılan incelemeler sonucunda tutarlı sonuçları ile dikkat çeken TA algoritması ile çözüm üretilmesinin, proje yöneticisine kıyaslamalı çözümlerde fikir vermesi nedenleriyle tercih edilmiştir.

### 3.3 Proje Yönetim Yazılım Paketleri Konusunda Yapılan Çalışmalar

Tez çalışmasına konu olan Jet Eğitim Uçaklarının Fabrika Seviyesi Bakımlarının yapıldığı kuruluştaki projenin etkin takibinin etkinliği yüksek bir proje yönetim yazılımı ile yapılması zorunluluktur. Bu nedenle kullanılan yazılımın literatürde KKPÇP'nin çözümünde yapılan etkinlik araştırmaları ile etkinlik seviyeleri hakkında bilgi edinilebilmesi açısından inceleme yapılmıştır.

Hekimoğlu, 2007, tez çalışmasında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri için proje yönetim yazılım paketlerinin kaynak atama kabiliyetlerinin karşılaştırılması incelenmiştir. Kaynak atamada kullandığı iki öncelik kuralı ile Primavera V.4.1'in ve MS Project 2003'ün performans değerlendirmesi, referans kabul edilen test problemleri bazında karşılaştırmalı olarak sonuçları sunulmuştur. Yazılımların kaynak atama kabiliyetleri bulunan en iyi değerden sapma miktarına bağlı olarak kaynak atama kabiliyetleri ölçülmüştür. Proje Çizelgeleme Problemleri Kütüphanesi (PSPLIB)'den alınan kısıtlı kaynaklarla proje çizelgeleme problemleri, ProGen tarafından faktörel tasarım altında üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara istatistiksel testler uygulayarak parametrelerin etkinliği araştırılmıştır.

Messelis ve De Causmaecker, 2014, bu makalede Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (ÇM-KKPÇP) için otomatik bir algoritma seçim aracının inşası incelenmiştir. Açıklanan araştırma, ampirik sertlik modelleri üzerine kuruludur. Bu modeller, sorunlu örnek özelliklerini bir algoritmanın performansı üzerine haritalamaktadır. Bu tür modelleri kullanarak, bir dizi algoritma performansı tahmin edilebilir. Bu tahminlere dayanarak, mevcut bilgi işlem kaynakları dikkate alındığında en iyi performans göstermesi beklenen algoritmayı otomatik olarak seçebilir. Buradaki temel düşünce, farklı algoritmaları bileşenlerin herhangi birinden daha iyi performans sergileyen bir süper algoritmada birleştirmektir. Bu strateji, çoklu yürütme modlarıyla klasik proje çizelgeleme problemine uygundur. Bir grup belirsiz örnek üzerinde değerlendirildiğinde, son teknoloji algoritmaların performansını önemli ölçüde artırabildiği görülmüştür. Bir sürü örneğin ard arda çözülmesi gerekli olduğu durumlarda bu doğru algoritmanın seçilerek kullanılmış olması sonucun etkinliğini arttırmaktadır. Birçok gelişmiş algoritma, karşılıklı kıyaslama örneklerinin çoğunluğunda çok iyi performans gösterirken, daha küçük örnekler üzerinde

daha kötü performans sergileyebilmektedir. Bir algoritmanın performansı, bir dizi örnek üzerinde çok farklı olabilir, oysa başka bir algoritma performans açısından hiçbir fark görmemektedir. Sonuç olarak belirli bir problem örneği üzerinde çalışıldığında çalışılan problem için en etkin algoritmanın ne olduğunun bilinmesi problemin çözüm kalitesini doğrudan etkileyecektir.

Saraçoğlu, 2015, bu tez çalışmasında proje yönetimi bilgi düzeyine, yazılımın kullanım tipine, kullanımın genişliğine göre etkileri belirleyerek Türk Gemi İnşa sektörü için bir yazılım bütünü seçilmiştir. Türk Tersanelerinde artan sayıda proje sonucunda gemi inşa proje analizlerine dayanarak işlerin organize edilmesi ve yönetilmesi gereği doğmuştur. Proje planlama ve kontrolü için Kritik Yol Yöntemi (CPM), PERT, GERT, WBS, GPWBS, LOB gibi metotlar geliştirilmiş, daha iyi izleme için "EV" geliştirilmiş, daha iyi organize edebilmek için iş paketleri ve görev matrisleri geliştirilmiştir. Günümüzde global rekabette teknoloji önemli bir özelliktir. Kullanıcı dostu, kolay uygulanabilir, düşük maliyetli yazılımlar ve bunların altındaki etkin sistemler ve proje yönetimi bilgi alanlarının doğru uygulanması ile Türk Tersaneleri büyümelerini devam ettirebilecekleri bir noktaya gelebileceklerdir. Bu çalışma üzerinde çalıştığımız jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi faaliyetlerinin çizelgelenmesi KKPCÇ problemine kaynakların kullanımı açısından benzerlik göstermesi açısından önemlidir.

Yapılan incelemeler sonucunda KKPCÇ'nin her türü için etkinliği kanıtlanmış bir çözüm metodunun bulunmaması, her yöntemin farklı sonuçlar verebilmesi nedeniyle proje yönetim yazılım paketlerinin bu durumdan etkilendiği, daha iyi ve hızlı çizelgelemeler yapabilmeleri için geliştirilmeleri gerektiği sonucuna varılmıştır.

### **3.4 Bulanık Faaliyet Süreli KKPCÇP Konusunda Yapılan Çalışmalar**

Bu tez çalışmasının konusu olan Jet Eğitim Uçaklarının Fabrika Seviyesi Bakımlarının Çizelgelenmesi KKPCÇP'nin faaliyet sürelerinin değişken olmadığı, ancak planlanan faaliyetlerin sürekli değişkenlik gösterebildiği, ilave faaliyetlerin gelebildiği bilinmektedir. Literatürdeki bulanıklık kavramının yukarıda belirtilen planlama belirsizlikleri kapsamında yapılan bir çalışma olup olmadığının ve problemimizdeki planlama belirsizliğinin bulanık mantık kavramı çerçevesinde ifade edilip edilemeyeceğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Atli ve Kahraman, 2012b, bu makalede belirsizlik durumunda proje çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problem çözümünde kullanılacak bir matematiksel model



tasarlanmış ve Bulanık Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (B-KKPÇP)'ine sezgisel ve meta-sezgisel planlama yöntemleri kullanarak yeni bir yaklaşım çerçevesi önerilmektedir. Yaklaşımın uygulanması çok basit olduğu ve bulanık etkinlik sürelerinin üyelik işlevlerinin açık biçimde bilmeyi gerektirmediği ifade edilmiştir. İlk olarak iki tipik etkinlik öncelik kuralı olan En Kısa Boşluk Öncelik Kuralı (MinSlack) ve Resource Over Time (ROT) tanımlanmıştır. B-KKPÇP probleminde ve TA yönteminin ilk çözümünde kullanılırlar. Çalışmanın hedefi, B-KKPÇP sorunlarının proje tamamlanma süresini en aza indirmede meta-sezgisel yöntemin performansını kontrol etmektir. Çalışmada, aktivite süreleri ve AON gösterimi için Trapezoidal Bulanık Sayılar (TraFNs) kullanılmaktadır. TraFNs açısından en erken, son ve gevşek süreler gibi çeşitli proje özellikleri hesaplanmaktadır. Hesaplamalı deney, önerilen TA'nin performansının, literatürdeki ışık hüzmeleri arama algoritmalarından daha iyi olduğu gösterilmektedir.

Atlı ve Kahraman, 2013, bu makalede bulanık proje çizelgeleme problemlerinin faaliyet sürelerinin bulanık sayılardan oluştuğu bir proje şebekesinde kritik yol analizine yönelik olarak bulanık aritmetik yaklaşım ile doğrusal programlama yöntemi kıyaslanmıştır. Bu fikir bulanık sayıları sıralama (ranking method) ve doğrusal programlama formülasyonunu temel almaktadır. Sunulan yaklaşımlar bir örnek üzerinde tartışılmış problemin olası tüm yollarının kıyaslanarak aynı sonuçlar verdiği ve en kritik yol bulunmuştur. Önerilen yaklaşımın bulanık faaliyet sürelerinin üyelik fonksiyonlarının kesin (açık olarak) bir biçimde bilinmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Önerilen yöntemle, mevcut problem daha etkin ve hızlı sonuçlar üretilebilmektedir.

Atlı ve Kahraman, 2013, bu makalede bulanık ortamda proje çizelgeleme problemini çözmek için bir kaynak tahsis modeli kullanılmaktadır. Bulanık Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (B-KKPÇP)'ini geliştirmek için kanguru algoritmalarının ve bulanık küme teorisinden faydalanılmıştır. B-KKPÇP'ine sezgisel bir yaklaşımın çerçevesini sunmak amacıyla da bir matematiksel model önerilmektedir. Çalışmanın amacı kaynak sınırlamaları ile proje planlama zamanını en aza indirmek ve bulanık ortamda kritik yol analizleri ile nasıl bir plan oluşturulacağını göstermektir. Çalışma süreleri için yamuk şeklinde bulanık sayıları ve Bulanık Kritik Yol Yöntemi (FCPM) Faaliyetlerin Düzgümlerle Gösterimi (AON) gösterimi kullanılmıştır. MinSlack ve Kanguru algoritmasının hesaplama sonuçları uygulamalı olarak gösterilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Atlı ve Kahraman, 2014, bu makalede faaliyet sürelerinin hem bulanık hem de kesin olabildiği Bulanık/Kesin Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (F/C-ÇM-KKPÇP) üzerinde çalışılmıştır. Çalışmanın amaç fonksiyonu, projenin tamamlanma süresinin en aza indirgenmesidir. MinSlack öncelik kurallarına dayalı sezgisel yöntemler, bu problemin başlangıç çözümü olarak kabul edilmiştir. Bu Polinom Olmayan

(NP)-Zor problemini çözmek için kabul görmüş bir meta-sezgisel algoritma olan TA önerilmiştir. F/C-ÇM-KKPÇP'ini çözmek için iki sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bunlar bir etkinlik ve bir mod seçim kuralı kombinasyonunu içeren MinSlack ve TA algoritmalarıdır. En iyi faaliyet ve mod-öncelik kural kombinasyonu ile eski algoritma ile elde edilen çözümler, ikinci algoritma ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması için bir temel veri olarak kullanılmaktadır. Çalışmanın sonunda yapılan hesaplamaların karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur.

Literatürdeki B-KKPÇP kapsamında yapılan çalışmaların tamamının faaliyet sürelerinin değişkenliğini ifade ettiği, planlama belirsizliklerini ifade eden bir çalışmanın olmadığı bu nedenlerle problemimizde kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

### **3.5 Uçak Bakım Planlamalarının Çizelgelenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar**

Literatürde uçak bakım planlamalarının KKPÇP konusu kapsamında yapılan çalışmalar konu bütünlüğü kapsamında incelenmiştir.

Sriram ve Haghani, 2003, bu makalede uçak bakımı yapan bir kuruluştaki sezgisel yöntemler kullanılarak en iyi bakım çizelgelemesinin yapılması amaçlanmaktadır. Bakım planlaması bir havayolu şirketinin faaliyetleri sırasında faaliyetlerine etkin şekilde devam edebilmek için yapmak zorunda olduğu en önemli operasyonlardandır ve ne kadar iyi yapılırsa o derecede yüksek maliyet kazancı potansiyeline sahiptir. Bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesi anlaşılması kolay fakat çözülmesi zor bir sorundur. Uçak bakım-çizelgeleme problemi Federal Havacılık İdaresi tarafından hangi uçağın hangi segmentte uçuşması gerektiğini ve her bir uçağın uçuş saatine bağlı farklı seviyelerdeki zorunlu bakımlarının ne zaman ve nerede yapılması gerektiğini belirlemektir. Amaç, uçakların uçuşta geçen zamanının en etkin şekilde kullanılması ve uçuşa yeniden atanması sürecinde oluşan bakım masraflarını ve uçağın yerde kalış süresini en aza indirmektir. Bu makalede bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesi probleminin çözümü amacıyla sezgisel yöntem ile eksiksiz bir formülasyon sağlanmaktadır. Sezgisel yöntemin kabul edilebilir zamanlama ile iyi çözümler ürettiği görülmüştür. Bu model, orta ölçekli havayolu şirketleri tarafından bakım maliyetlerini optimize etmek için kullanılabilir. Bu çalışma özellikle uygulamasını yaptığımız uçak bakımlarının yapıldığı sektörde yapılmış olması, sezgisel yöntemler kullanılarak bakım çizelgeleme optimizasyonunun yapılmış olması açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Papakostas vd., 2010, bu makale bir havayolu işletmesinin havalimanında, dönüş esnasında (During Turn-Around Time-TAT) hattın bakım faaliyetlerinin kısa vadeli planlama metodolojisini açıklamaktadır. Önerilen metodoloji, yüksek filo kullanımını ve düşük bakım maliyetini hedefleyen, uçakların sevkiyatını etkileyen bakım faaliyetlerinin ertelenmesine yönelik karar vermeyi desteklemektedir. Sağlık değerlendirmesine ve operatörün filo seviyesindeki operasyonel ve ekonomik kısıtlamalara ilişkin ilave bilgilere dayanarak, çok kriterli bir mekanizma ile üretilen bakım planı seçeneklerini değerlendirir. Değerlendirme sonucunda tüm ertelenmiş bakım görevlerinin uygun havaalanı kaynaklarına tahsis edilmesi alternatifini sunar. Seçilen karar verme kriterleri, maliyet, kalan faydalı ömür, operasyonel risk ve uçuş gecikmesidir. Yaklaşımın doğruluğunu açıklamak ve test etmek amacıyla için bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

Atli ve Kahraman, 2012a, Bu makalede Uçak bakım planlaması yapan bir kuruluşta bakım faaliyetlerinin etkin şekilde çizelgelenmesi üzerinde çalışılmıştır. Uçak bakım-çizelgeleme problemi hangi uçağın hangi segmentte uçuşması gerektiğini ve her bir uçağın ne zaman ve nerede hangi bakım seviyelerine girmesi gerektiğinin belirlenmesidir. Bu çalışmanın amacı uçak bakım planlama zamanını en aza indirmek ve bulanık ortamda kritik yol analizleri ile nasıl plan oluşturulacağını gösterilmesidir. Faaliyet süreleri için yamuk şeklinde bulanık sayıları ve Bulanık Kritik Yol Yöntemi (FCPM) AON gösterimi kullanılmıştır. Problem Uçak Gaz Türbini Motoru Onarım / Revizyonu örneği üzerinde uygulamalı olarak gösterilmiştir.

Van den Bergh vd., 2013, bu makalede farklı eğitimler alarak alanında uzmanlaşmış personellerin faaliyetlere etkin olarak çizelgelenmesini, literatürdeki tanımıyla kaynağın atamasının etkin yapılmasını sağlamaya yönelik üç aşamalı bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma uçak bakımı yapan bir kuruluşta yapılmış olması açısından tez sürecinde ilham kaynağı olmuştur. Personel çizelgeleme problemleri, personel tercihleri, ihtisas kısıtlamaları, yasal kısıtlamalar ve diğer birçok kısıtlamanın üstesinden gelmek zorundadır. Bu çalışmada kaynaklara atanacak personel ihtisaslarını seçmek için kullanılabilir üç aşamalı bir metodoloji sunulmaktadır. İlk aşamada, matematiksel bir programlama modeliyle birden fazla personel ihtisası üretilmiştir. İkinci aşamada, ihtisasların bir dizi hizmet kriterine ilişkin performansı, ayrı olay simülasyonu yoluyla değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada, veri zarflama analizi kullanılarak bir sıralama yapılmıştır. Geliştirilen metodoloji, hat seviyesi uçak bakımı yapan bir kuruluştaki personel çizelgeleme probleminde test edilmiştir.

Literatürde Uçak bakım planlamalarının KKPÇP konusunda ele alınmış çalışmaların genellikle sivil havacılıkta uçağın yerde kalmasını en küçükleyen, uçuş segmentlerinin belirlenmesi bakım paketlerinin seçimi üzerine yapılmış olduğu görülmüştür. Bu tez

kapsamında çözümlü yapılan problemimizin konu bütünlüğü açısından kısmen faydalı olabilecek çalışmaların olduğu değerlendirilmiştir.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmamda jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakımlarının yapıldığı işletmede literatürdeki ifadesi ile "Tek Modlu Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (TM-ÇP KKPÇP)" yapısına uyan uçak bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesinde proje süresinin en küçüklenmesi amaç fonksiyonu ile optimizasyonu çalışması sezgisel ve meta-sezgisel yöntem kullanılarak yapılmıştır.

Bu bölümde daha önceki bölümlerde teorik bilgileri ve literatürdeki benzer çalışmalar ile ilgili bilgileri verilen konulardan nasıl yararlandığı, problemin seçim nedenleri, proje çizelgeleme problem yapısı içerisindeki değişkenler, proje yöneticisinin karar verme ihtiyacını oluşturan konular ve süreci nasıl yönettiği, problemin çözümünde faydalanılan sezgisel ve meta-sezgisel optimizasyon tekniklerini içinde bulunduran programın özellikleri, problemin hazırlık safhasından bulguların oluşturulmasına kadar geçen süreçte izlenen yol ve yöntem detayları ile anlatılmıştır.

### 4.1 Problemin Seçim Nedenleri

Çalışmamıza jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakım faaliyetlerinin yapıldığı kurumdaki planlama safhasında oluşturulan başlangıç proje çizelgelemenin gerçekte projenin uygulama sürecinde oluşan değişken durumlar nedeniyle planlamadan şaşıldığı, yüksek maliyetlere katlanılmak zorunda kalındığı, sonuç olarak proje yönetimini zorlaştırdığı görülmektedir. Bu safhada proje yöneticisine değişken durumları yönetmede karar vermeyi kolaylaştırıcı sistemlerin olması durumunda proje yönetiminin çok daha yüksek etkinlikle ve düşük maliyet ile yapılabileceğinin farkına varılmıştır.

Literatürde uçak bakım işlemlerinin proje çizelgeleme problemleri konusu altında yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle sivil havacılık sektöründe, hat seviyesinde uçuş saati ve zamana bağlı bakımların yapıldığı ve bakım içeriklerinin planlamaya alındıktan sonra değişmediği, problemlerin genel amacının hangi bakımın hangi safhada, hangi uçuş profilinde ve nerede uygulanmasının, amaç fonksiyonu olan maksimum uçuş saatini sağlamaya yönelik çalışmalar olduğu görülmektedir.

Jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakımlarının yapıldığı kuruluştaki bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesi problemi, literatürde yapılan çalışmalara göre değişken yapısı

ve amaç fonksiyonu açısından farklılık göstermesi nedeni ile özgün bir çalışma olduğu değerlendirilmektedir.

Çalışmamıza konu olan çizelgeleme probleminin projenin planlama ve uygulama sürecinde oluşan değişkenlikleri aşağıdaki bölümlerde anlatmaya çalışılacaktır.

#### **4.1.1 Proje planlama ve uygulama sürecindeki değişkenlikler**

Jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakımını yapan kuruluştaki genel anlamda hazır olan iş paketi üzerinden planlamalar yapılmış olsa da uçağın söküm işlemleri yapıldıkça süreç içerisinde iş paketinin içeriği değişmekte ve netlik kazanmaktadır.

Ayrıca uçağın uzun süre yerde kalmasından dolayı bu süreçte uçağın ana üreticisinden veya uçağın teknik yönetiminden sorumlu birim tarafından tüm uçaklara uygulanmak üzere yayınlanan kontrol ve bakım paketlerinin uygulanması da iş paketine ilave olan ve her zaman olabilecek faaliyetlerdir.

Proje yöneticisinin bu değişkenliklerin tamamını tahmin edebilmesi mümkün olmamakla birlikte, yalnız geçmiş tecrübelerle dayanarak uygulama sürecinde değişken durumlar ile karşılaşıldığında proje yöneticisine çizelgeye uygun hareket etmesini kolaylaştıracak ve esneklik sağlayacak fazla mesai kaynağını, yıl başında yapılan planlama safhasında bütçelemektedir. Ancak bu değişkenlerin hangi ihtisasta nasıl bir değişkenliğe sebep olduğu veya olacağını, kaynağın etkin yönetilebilmesi için hangi safhalarda ne oranda kullanılması gerektiği çözülmesi gereken önemli bir sorundur.

Tüm bunlara ilave olarak müşteriden gelen talep doğrultusunda ve önceliği belirgin olan işlerin mevcut işleri nasıl etkileyeceği sorusu proje yöneticisinin önündeki önemli sorunlardan biridir. Proje yöneticisinin çizelgelenmiş işlerinin arasında aynı kaynakları farklı miktarlarda kullanacak farklı bir işin, ne zaman nasıl planlanacağı ve planlamanın etkinliğini nasıl etkileyeceği konusunda karar vermede yardımcı araçlara yüksek oranda ihtiyacı vardır. Çünkü gelen ilave işlemlerin hangi süreçte mevcut işleri en az etkileyecek şekilde planlamaya dahil edilebilmesi için bir dizi alternatifler üzerinde çalışabilmesi, bunu çok hızlı yaparak oluşacak maliyetleri ortaya çıkarması gerekmektedir.

#### **4.1.2 Karar verme ihtiyacı ve süreci**

Proje yöneticisinin yukarıdaki bölümde ifade edilen değişken durumlar sonucunda çok hızlı ve doğru karar vermesi elzem bir durumdur. Çünkü proje bu süreçte yürümeye

ve kaynaklar planlama doğrultusunda tüketilmeye devam etmektedir. Kaybedilen her gün alınacak önlemlerin gecikmesine ve önlemlerin etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır.

Asıl karar verici olan müşteriye de yeni gelişen durumda alınması gereken tedbirleri maliyetleri ile birlikte ortaya koyması gerekmektedir.

Proje yöneticisinin tüm bu değişkenleri yönetebilmesi için proje sürecinde, tüm değişkenleri kayıt altına alabilecek, görselliği ve raporlama kabiliyeti yüksek bir proje yönetim programı kullanması bir zorunluluktur. MS Project 2010 bu ihtiyaçları karşılayabilmektedir.

Ancak proje yöneticisinin gelen ilave işler ile birlikte planladığı tüm işlerin optimum kaynak kullanımı sağlayacak şekilde en kısa proje zamanlaması yapabilecek bir analize de ihtiyacı bulunmakta ve bu safhada MS Project 2010 bu ihtiyacı tam olarak karşılayamamaktadır. Çünkü problemin faaliyet sayısı, kaynak sayısı, öncüllük ilişkilerinin karmaşıklığı, faaliyet sürelerinde oluşan değişkenlikler ile kaynak kapasitesindeki değişkenliklerin tümünün MS Project 2010 programında alternatifleriyle birlikte analiz edebilmesi mümkün görünmemektedir.

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde etkinliği kanıtlanmış sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler ile her süreçte kolayca yapılabilecek analiz çalışması değişen durumlar hakkında proje sürecinin gerçekte hangi oranda nasıl etkilendiği hakkında proje yöneticisine bilgi sağlayacaktır. Buna ek olarak kaynaklarında uzun vadede planlamalarını optimize etmek, ilave kaynak kullanım durumları konusunda müşteriye bilgilendirmek, kısacası alternatif çözümler sunabilmek açısından böyle bir analizin her safhada çok hızlı bir şekilde yapılabiliyor olması proje yöneticisinin büyük oranda karar vermesini kolaylaştıracaktır.

## **4.2 Analiz İçin Kullanılan Program**

Proje yöneticisinin daha önceki bölümde ifade edilen zorlukları aşması ve karar vermesini kolaylaştırıcı alternatifli analizleri yapabilmesi amacıyla kullanımı kolay ve KKPÇP çözümünde kabul görmüş sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlerin içinde bulunduğu aynı anda analizin yapılabildiği bir paket program araştırması yapılmıştır.

Bu süreçte yapılan araştırmalar sonucunda RESCON paket programı bulunarak incelenmiştir.

### 4.2.1 Programın özellikleri

RESCON Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP)'nin iyi anlaşılabilmesi ve üniversite öğrencilerinin öğrenimleri sürecinde faydalanabilmeleri amacıyla günümüzde Belçika'nın en büyük üniversitesi olan LEUVEN üniversitesi tarafından 2014 yılında hazırlanmış bir optimizasyon programdır. Visual C++6.0 programlama dilinde hazırlanmış programın geliştirmeye açık olması içerisinde kesin çözüm üreten yöntemlerin yanında sezgisel ve meta-sezgisel analizleri, deterministik ve bulanık faaliyet süreli olarak analiz yapabilmesi açılarından tercih edilme nedenidir. Ayrıca geliştirilecek yeni bir algoritmanın da program üzerinden çalıştırılabilmesinin mümkün olması tercih edilmesi açısından önemli bir faktör oluşturmaktadır. Çünkü proje yöneticisinin ihtiyaç duyacağı ilave analizler sonucu programı geliştirmesinin mümkün kılınması istenmiştir.

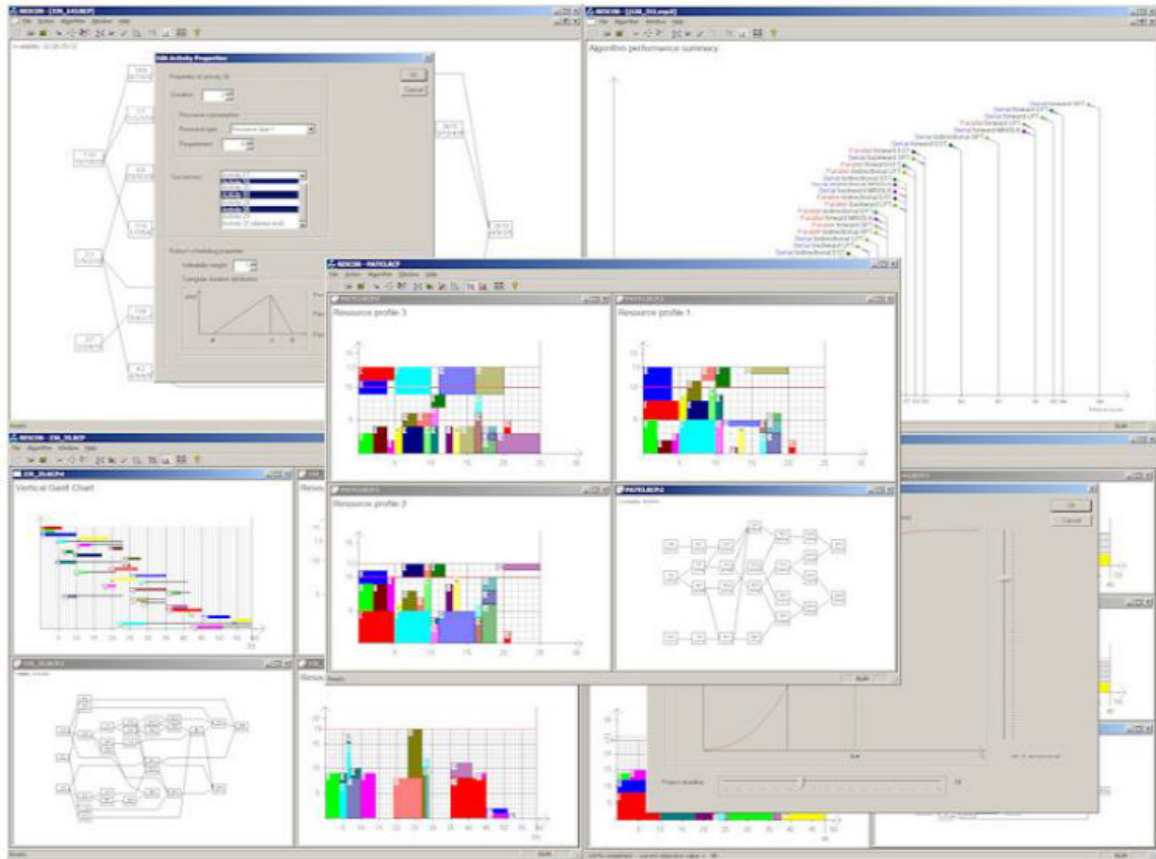
RESCON programının tercih edilme nedenleri olarak sıralayabileceğimiz önemli özelliklerini;

- AON gösterimi sunması,
- Kesin ve Sezgisel çizelgeleme sonuçlarını verebiliyor olması,
- Çok kaynak kullanımına olanak sağlaması,
- Gant Diyagramı şeklinde raporlama yapabilmesi,
- Algoritmalar ile oluşan sonuçların karşılaştırmalı analizlerinin yapılabilir olması,
- Proje adımlarının ve ne-neden kıyaslamalarının yapılabilmesi,
- Program DLL kodlarının özel amaçlı çizelgeler yapabilmek için sunuluyor olması,
- Etkin çizelgeleme desteği sağlıyor olması olarak sıralayabiliriz (Deblaere vd., 2011).

Programın çıktılarının ekran görünümü Şekil 4.1'de gösterilmiştir (Kumar vd., 2011).

Programa analiz etmesi için verilerin ".rcp" uzantılı dosyada hazırlanarak yüklenmesi gerekmektedir. ".rcp" dosya uzantısı "resource constrained project" kelimelerinin baş harflerinden türetilmiş ve günümüzde KKPÇ problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerin performanslarının kıyaslamalı olarak test edilebilmesi için oluşturulmuş ve internet ortamında erişime açık olarak sergilenen PSPLIB'de kullanılan veri formatı ile aynı olması açısından da önemlidir.





Şekil 4.1 RESCON ekran görünümü

”.rcp” dosya formatında hazırlanmış verilerin program tarafından okunarak ağ diyagramının çizilebilmesi ve sonrasında istenilen analizlerin yapılabilmesi için veri formatının Çizelge 4.1’de belirtildiği ve açıklandığı şekilde hazırlanması gerekmektedir (Kumar vd., 2011).

Çizelge 4.1 RESCON’a veri yükleme formatı

N	R						
$R_1$	$R_2$	$R_3$					
$D_1$	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$SN_1$	$S_{11}$	$S_{12}$	$S_{13}$
$D_2$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$SN_2$	$S_{21}$	$S_{22}$	$S_{23}$
$D_3$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{33}$	$SN_3$	$S_{31}$	$S_{32}$	$S_{33}$
$D_4$	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$SN_4$	$S_{41}$	$S_{42}$	$S_{43}$

Çizelge 4.1’de ifade edilen sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir.

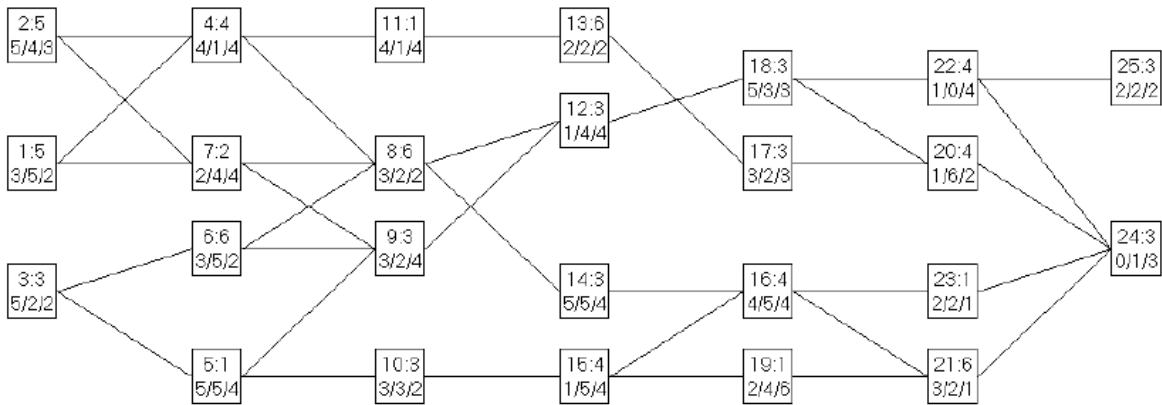
- $N$  : Ağ diyagramı üzerindeki faaliyet sayısı,
- $R$  : Proje çizelgelenebilmesi için kullanılan farklı kaynak türü sayısı
- $R_j$  : Her bir kaynaktan ilgili faaliyetin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan miktar  $j$ ,  $j = 1$  den  $R$ 'ye kadar.
- $D_i$  : Faaliyetin süresi  $I$ ,  $I = 1$ 'den toplam faaliyet sayısına kadar
- $R_{ij}$  :  $j$ 'inci kaynaktan  $i$  faaliyetinin gerçekleşmesi için kullandığı miktarı ifade eder
- $SN_i$  :  $i$ 'inci faaliyetten sonra gelen ardıl faaliyet sayısını ifade eder,
- $S_{ij}$  :  $i$ 'inci faaliyetten sonra gelecek faaliyetleri ifade eder,  $j = 1$ 'den tüm sonra gelebilecek faaliyet sayıları (Kumar vd., 2011).

Yukarıdaki bilgiler ışığında hazırlanmış örnek bir problem için veri formatı gösterimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir (Kumar vd., 2011).

27	3						
6	6	6					
0	0	0	0	3	2	3	4
5	3	5	2	2	5	8	
5	5	4	3	2	5	8	
3	5	2	2	2	6	7	
4	4	1	4	2	9	12	
1	5	5	4	2	10	11	
6	3	5	2	2	9	10	
2	2	4	4	2	9	10	
6	3	2	2	2	13	15	
3	3	2	4	1	13		
3	3	3	2	1	16		
1	4	1	4	1	14		
3	1	4	4	1	19		
6	2	2	2	1	18		
3	5	5	4	1	17		
4	1	5	4	2	17	20	
4	4	5	4	2	22	24	
3	3	2	3	1	21		
3	5	3	3	2	21	23	
1	2	4	6	1	22		
4	1	6	2	1	25		
6	3	2	1	1	25		
4	1	0	4	2	25	26	
1	2	2	1	1	25		
3	0	1	3	1	27		
3	2	2	2	1	27		
0	0	0	0	0			

Şekil 4.2 RESCON için örnek KKPÇP veri formatı

Şekil 4.2'de verilen örnek veri formatının RESCON'a yüklenmesi sonrası oluşan ağ diyagramı Şekil 4.3'de gösterilmiştir (Kumar vd., 2011).



Şekil 4.3 RESCON için örnek ağ diyagramı gösterimi

RESCON programı ile aşağıda ifade edilen sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlerde analiz yapılabilmektedir.

1. Tabu Arama (TA): Tabu arama algoritmaları, geleneksel matematik tekniklerinin yetersiz olduğu yerlerde, planlama, zamanlama ve diğer optimizasyon sorunları gibi birçok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. TA ilk olarak Glover tarafından 1975 yılında Yapay zeka sistemlerine dayalı olarak geliştirildi. Her arama yinelemesi probleme olası yeni bir çözüm anlamına gelir. Birkaç iterasyondan sonra, bir probleme optimal veya en yakın optimal çözümü umut verici olarak gösteren algoritma bulunabilir. TA , sezgisel optimizasyon teknikleri sınıfına aittir ve sorunun nasıl çözüleceğini bilen geniş çözüm uzayı sunulduğunda çok yararlıdır. TA kullanırken çözüm uzayında sömürü ve keşif arasındaki dengeyi korumak önemli faktörlerden biridir (Atli ve Kahraman, 2014).
2. Demeulemeester-Herroelen: Demeulemeester ve Herroelen (1992), proje toplam süresini en aza indirmek amacıyla çoklu kaynak kısıtlı tek modlu proje çizelgeleme probleminin çözümüne dal-sınır yönteminde örtük bir numaralandırma prosedürünü tanıtmıştır. Prosedür, Bell ve Park (1990) tarafından kullanılan genişlik-ilk aramanın aksine derinlik-ilk arama tipi aramaya dayalı bir arama sürecine bağlıdır. Çözüm ağacındaki düğümler, kaynak ve önceliğe uygun kısmi zamanlamaları temsil eder. Hakim budama kuralları, hem sola kayma hakimiyeti kuralı hem de kesim hakimiyeti kurallarını kullanılır ve bu, geriye doğru izleme yaparken daha fazla düğüm noktası bulmamıza yardımcı olur. Çözüm ağacındaki kaynak çakışmaları, ilerleyen veya uygun kümede bulunan geciken alternatiflerle işlenir (Hekimoğlu, 2007).

3. En Geç Başlama Zamanı (LST): Bu öncelik kuralında herhangi iki faaliyetin başlama süreleri kıyaslanarak bunlar arasından en geç olanına öncelik verilen kuraldır. Bu kural da amaç, LST' leri erken olan faaliyetleri belirlemek ve böylece kritik faaliyetlerin ertelenmesinden doğacak proje gecikme sürelerini elimine etmektir (Paksoy ve Uzun, 2008).

$$P_j = LFT_j - d_{jm} \quad (4.1)$$

Burada;

- $P_j$  : j faaliyetinin öncelik değeri
- $LST_j$ : En geç başlama süresidir.

4. En Kısa Boşluk Öncelik Kuralı (MinSlack): Toplam Boşluk, bir etkinliğin proje bitiş saatini etkilemeden genişletilmesi veya geciktirilmesi için mevcut olan fazla zamandır. Minimum toplam gevşeklik yöntemi, bir kaynak çakışması meydana geldiğinde toplam bolluk değeri daha düşük olan bir faaliyete öncelik verir.

$$P_j = LFT_j - EST_j - d_{jm} \quad (4.2)$$

Burada;

- $P_j$ :j faaliyetinin öncelik değeri,
- $LFT_j$ : En geç bitirme zamanı,
- $EST_j$ : En erken başlama zamanı,
- $d_{jm}$ : j faaliyetinin m modundaki faaliyet süresidir.

MS Project 2000 programı, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde sadece MinSlack öncelik kuralını kullanmaktadır (Paksoy ve Uzun, 2008).

5. En Erken Başlama Zamanı (EST):Bu kural da amaç, EST' leri erken olan faaliyetleri belirlemek ve böylece kritik faaliyetlerin ertelenmesinden doğacak proje gecikme sürelerini elimine etmektir (Paksoy ve Uzun, 2008).

$$P_j = EST_j \quad (4.3)$$

Burada;

- $P_j$  : j faaliyetinin öncelik değeri
- $EST_j$ : En erken başlama süresi

6. En Geç Bitirme Zamanı (LFT) Herhangi iki faaliyetin çakışması durumunda faaliyetlerin tamamlanma zamanları arasında kıyaslama yaparak bunlar arasında en

geç olanı önce çizelgeleyen öncelik kuralıdır. LFT kuralının amacı, proje bitirme zamanının artma riskini azaltacak, küçük LFT'lere sahip faaliyetleri çizelgelemektir (Paksoy ve Uzun, 2008).

$$P_j = LFT_j \quad (4.4)$$

Burada;

- $P_j$  :j faaliyetinin öncelik değeri
- $LFT_j$ : En geç bitirme zamanıdır.

7. En Kısa İşlem Süresi (LPT):Herhangi iki faaliyetin çakışması durumunda faaliyetlerin işlem süreleri arasında kıyaslama yaparak küçük olana öncelik veren kuraldır. LPT kuralının amacı, proje bitirme zamanının artma riskini azaltacak, küçük LFT'lere sahip faaliyetleri çizelgelemektir (Paksoy ve Uzun, 2008).

$$P_j = LFT_j \quad (4.5)$$

Burada;

- $P_j$  :j faaliyetinin öncelik değeri
- $FT_j$ : En geç bitirme zamanı

8. En Erken Bitirme Zamanı (EFT): Herhangi iki faaliyetin çakışması durumunda tamamlanma zamanları arasında kıyaslama yaparak bunlar arasından en erken olanını ilk olarak çizelgeleyen öncelik kuralıdır. Bu kural da amaç, EFT'leri erken olan faaliyetleri belirlemektir (Paksoy ve Uzun, 2008).

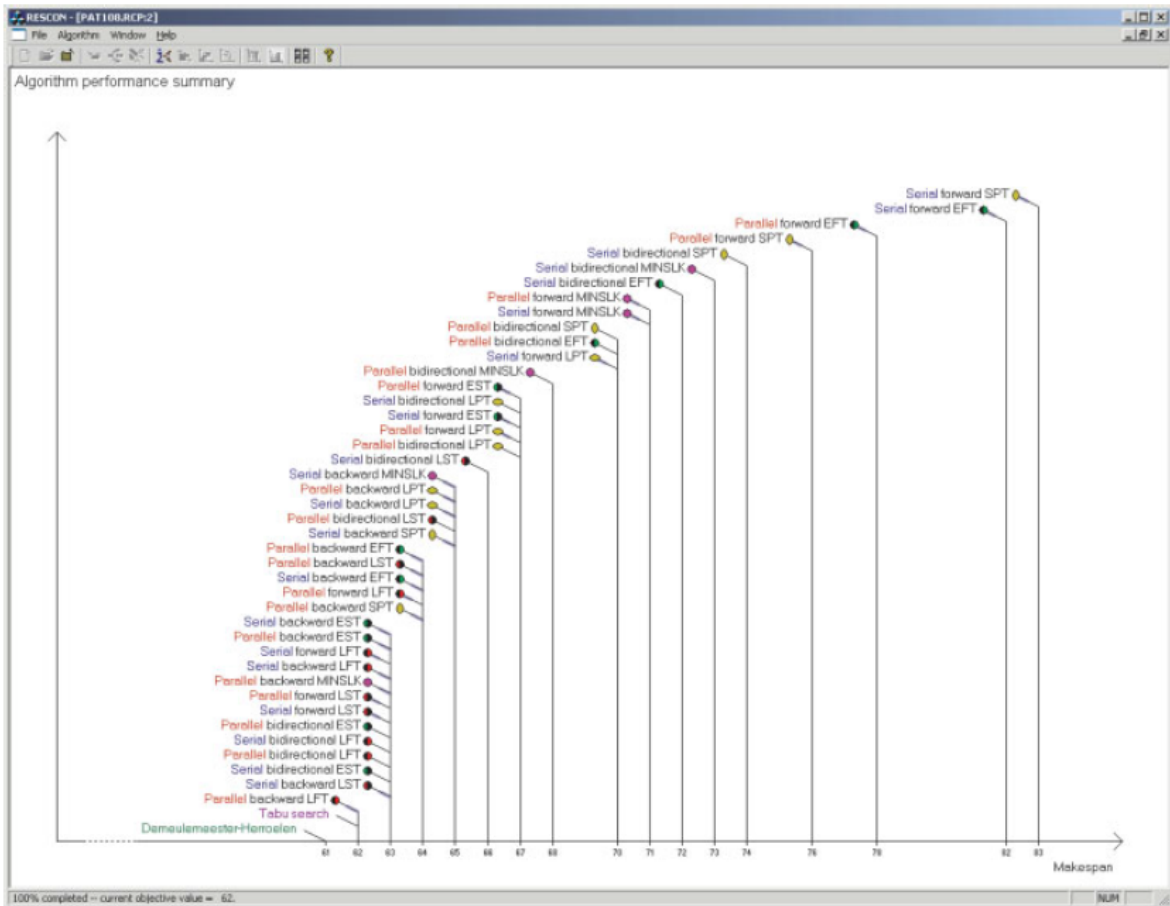
$$P_j = EST_j + d_{jm} \quad (4.6)$$

Burada;

- $EST_j$ : En erken başlama zamanı
- $d_{jm}$  : j faaliyetinin m modundaki faaliyet süresidir.

Literatürde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde, hangi kuralın veya hangi optimizasyon yönteminin daha iyi olduğu konusunda kesin bir yaklaşıma rastlanmamaktadır. Bu nedenle literatürde TM-ÇP KKPÇP problem yapısına uygun olan problemimizin çözümünde yukarıda belirtilen yöntemlerin çözüme ulaşabilen tüm sonuçlarını proje yöneticisinin görmesi ve değerlendirme yapabilmesi karar verme sürecini olumlu etkileyeceği değerlendirilmiştir.

RESCON programında tüm algoritmaların çalıştırılması sonucu oluşturulan performans grafiği görüntüsü Şekil4.4'de sunulmaktadır (Deblaere vd., 2011).



Şekil 4.4 RESCON için örnek problemin çözümünde kullanılan algoritmaların performans grafiği

### 4.3 Problem Verilerinin Hazırlık Süreci

Çalışma yapılırken bir jet eğitim uçağının fabrika seviyesi bakımı kapsamında tüm faaliyetleri incelenmiş;

- Faaliyet süreleri (gün)
- Faaliyetler arasındaki öncüllük ilişkileri
- Faaliyetlerin tamamlanması için her bir ihtisasta yapılması gereken atama miktarları(adam\*saat)
- Hangar dok kapasiteleri
- İhtisat grupları ile kapasite bilgileri detaylı olarak hazırlanmıştır.

Elde edilen veriler ile MS Project 2010 programında öncelikle bir uçak için proje planlaması yapılmıştır. Proje planlaması yapılırken müşteri ihtiyaçları ve kapasite doğrultusunda aynı anda üzerinde çalışma yapılabilecek maksimum uçak miktarı belirlenmiştir. Belirlenen uçak sayısından hareketle aynı anda üzerinde işlem yapılacak tüm uçakların proje planları bir plan üzerinde öncüllük ilişkileriyle birbirine bağlanarak tüm işlerin içerisinde yer aldığı master plan oluşturulmuştur.

Oluşturulan master planda aynı anda üzerinde çalışılan tüm uçaklar fabrikaya geliş gidiş tarihleri ve kritik safhaları ile ayrıntılı olarak yer almaktadır. Ancak uçak bakım yapan kurum ve kuruluşların tümünde görülen plandan şaşmalar sürekli yaşanmaktadır. Bu genel anlamda bakım yapan kurum ve kuruluşların ortak sorunudur. Çünkü özellikle bakımlar planlı uygulanacak bir paket de olsa uzun süre çalışan bir makede, uzun süre kapalı kalmış aksamaların açıldığında kaşınıza neyin çıkacağını kestirmek çok da mümkün olmamaktadır. Özellikle uçak sistemlerinde ihtiyaç olmadıkça söküm takım işleminin yapılması istenen bir durum değildir. Çünkü çok ince toleranslar ile çalışan bir mekanizmanın her söküm takımı çok ince ayar gerektirdiği gibi deformasyon nedeniyle toleransların da genişlemesine neden olabilmektedir.

Proje yöneticisi tarafından, master plandaki verilerin sezgisel yöntemler ile istendiğinde analizinin yapılabilmesi için verilerin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla verilerin analiz programı olarak kullanılan RESCON yazılımının Çizelge (4.1)'de belirtilen yazım formatına çevrilebilmesi için arayüz program hazırlanmıştır. Arayüz program Visual Basic programlama dilinde hazırlanmıştır. Hazırlanan programın ekran görüntüsü Şekil 4.5'de gösterilmiştir. MS Project üzerinde hazırlanmış verilerin, sezgisel yöntemle analiz edilecek herhangi bir programda kullanılacak hale hızlı bir şekilde veri kaybı olmadan getirilebilmesi, problemin asıl zor olan kısmını oluşturmaktadır.

K/N	S/N	ZAMAN	KAYNAK	DU	DI	DR	LB	SAFHA ADI	BAĞLANTI YUKARI	BAĞLANTI AŞI
28	480		DU[328%];	328				OKSİJEN SİSTEM TESTİ	26	29
29	1440		DU[150%];DI[200%];DR[50%];	150	200	50		PLT. MAH. VE MOT. YUV. HAZ. (GÖV./MEKANİK)	28	31.34
30	960		LB[130%];				130	PLT. MAH. VE MOT. YUV. HAZ. (AVİ)	27	31.34
31	1440		LB[70%];DI[172%];DR[190%];		172	190	70	YIKAMAYA HAZIRLIK	29.30	32
32	960		DR[200%];			200		ONARIM SON KONTROL-ÇIKIŞ YIKAMA	31	33
33	3360		DI[12%];DR[400%];		12	400		BOYA	32	35
34	480		DU[200%];	200				PILOT MAHALLI FOD KONTROLÜ	29.30	36
35	960		DR[75%];DI[680%];LB[120%];		680	75	120	MOTOR MONTAJI	33	38.37
36	480		DU[300%];	300				KANOPİ VE SANDALYE MONTAJI	34	38.37

Şekil 4.5 AKÇAY programının ekran görüntüsü

Visual Basic programlama dilinde hazırlanmış program aynı zamanda program havuzunda bulunan çok sayıda MS Project 2010'da hazırlanmış proje dosyasına bağlanıp üzerinde değişiklik yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Buradaki amaç üretim programını takip eden bir teknisyenin istediği anda havuzda bulunan project'e bağlanıp üzerinde değişiklik yapabilmesine sonuç olarak etkin bir proje takip sisteminin kullanılmasını sağlamaktır.

Üretim takibi açısından MS Project 2010 programının seçilmiş olmasının nedenleri;

- Programın en gelişmiş proje yönetim programlarından biri olması,
- Görselliğinin ve raporlama özelliklerinin yüksek olması,
- Kısa bir eğitim alan üretim programcısının üzerinde işlem yapabilecek kadar anlaşılır ve kullanımının kolay olması,
- Diğer MS Office programları ile çok rahat çalışıyor olması,
- Uluslararası yaygınlığının olması olarak sıralayabiliriz.

Ancak MS Project 2010 programı daha önce literatürde yapılan Paksoy ve Uzun, 2008 çalışmasında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde sadece MinSlack öncelik kuralını kullandığı, Hekimoğlu, 2007 çalışmasında ise MS Project 2000 ve 2003 versiyonları arasında kaynak dengeleme performansı açısından herhangi bir değişiklik olmadığını ifade etmekle birlikte hangi sezgisel öncelik kuralının kullanıldığının tam olarak bilinmediği ifade edilmektedir.

MS Project 2010 programının yaptığımız araştırmalar sonucunda hangi yöntemi kullanarak kaynak dengeleme işlemini yaptığı sonucuna varamamakla birlikte problemimiz üzerinde aynı özelliklerde yapılan karşılıklı denemelerde bulunan sonuçların MinSlack öncelik kuralına uygun sonuçlar bulduğu görülmüştür. Ayrıca Hekimoğlu, 2007 çalışmasında MS Project 2003'ün PSPLIB'de bulunan örnekler üzerinde yapılan karşılıklı deneyler sonucunda 30 faaliyetli projelerin çizelgelenmesinde iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Yukarıdaki değerlendirmeler ve literatürde yapılan çalışmalar sonucunda özellikle çok çeşitli kaynağın çok faaliyetli ve karmaşık öncüllük ilişkileri içeren kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde MS Project programının sezgisel yöntemler kadar iyi bir optimizasyon yapamadığı değerlendirilmiştir. Bu nedenle proje yöneticisinin proje takibi yönüyle projeyi iyi ve kabul görmüş bir program üzerinden takip ederken, belirli aralıklarla



KKPÇP için optimizasyon yeteneğinin daha iyi olduğu bilinen sezgisel yöntemler ile kolaylıkla analiz edilebiliyor olması, proje yönetiminin çok daha yüksek etkinlikle yürütülebilmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

Özellikle problemimize konu olan jet eğitim uçaklarının bulunduğu kuruluşta;

- Sınırlı kaynaklar ile özel eğitimden geçmiş ihtisaslarda çalışan işgücünün istihdamının zor ve maliyetli olduğu,
- Herhangi bir ihtisasta meslek lisesi çıkışı sonrası yeterli ehliyet seviyesine ulaşarak işgücüne destek olabilmesi ihtisaslarn kritiklik seviyesine göre 1 ile 5 yıl arasında değişiklik gösterdiği dikkate alındığında proje yönetiminin etkin yapılması çok önem kazanmaktadır.

Özellikle işgücü doluluk oranlarının yani kaynaklara yapılacak atamaların, istihdam edilecek işgücünün doğru tespit edilmesi maliyetleri önemli derecede etkilediği unutulmamalıdır.

”AKÇAY” adını verdiğimiz program MS Project üzerindeki verilerin özellikle kullanılan işgücünün ihtisaslara ayrılması aşamasında çok önemli görevi yerine getirmektedir. MS Project programında kaynaklar tek bir hücrede bir bütün olarak ve % ile ifade edildiği için böyle bir verinin sezgisel optimizasyonda kullanılması mümkün değildir. Bu verinin ancak kaynak gruplarına ayrıştırıldıktan sonra kullanılması mümkündür. ”AKÇAY” programı ile alınan veriler MS Excel programına ilave edilen bir tuş ile hemen aktarılabilir. MS Excel programına aktarılan veriler hazırlanan Makro aracılığıyla bir hamlede sezgisel optimizasyonda kullanılacak hale getirilmektedir. Proje yöneticisi son aşamada elde ettiği veriyi istenen dosya formatında kayıt altına alarak optimizasyon yapacağı programda veriyi analiz etmektedir.

Bu çalışmada üzerinde çalışılan örnekte, aynı anda işlem yapılan 24 uçak üzerinde toplam 1008 operasyonda işlem yapılmaktadır. Yapısal, gövde, aviyonik ve mekanik ihtisaslarn olmak üzere 4 adet ihtisasa yani kaynak türü bulunmaktadır. 1008 operasyonun büyük bir bölümü paralel ve aynı kaynağı kullandığından problemimiz NP-Zor problemler grubundadır.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez çalışmasına konu olan jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakım faaliyetlerinin literatürdeki tanımıyla TM-ÇP KKPÇP grubu içerisinde yer alan çizelgeleme optimizasyonu çalışmasının aşamaları ve elde edilen bulgular tüm detayları ile anlatılacaktır.

Bir önceki bölümde veri hazırlama sürecinde kullanılan materyal ve yöntem detaylı olarak anlatılmıştır. Bu bölümde elde edilmiş verilerin analizinin yapıldığı ve sonuçta elde ettiğimiz bulguların proje yöneticisine sağladığı faydaların neler olduğu anlatılmaya çalışılmıştır.

MS Project 2010 üzerinde hazırlanmış olan master proje planı için proje yöneticisi "AKÇAY" programını çalıştırarak projenin programa yüklenmesi işlemini yapmaktadır. Bu işlem birkaç dakika sürmektedir. Zira 1008 faaliyetten 4 farklı kaynaktan öncüllük ilişkileri ile birbirine bağlı bir proje çizelgesinin kaynaklarının gruplandırılarak aktarılma işlemi biraz zaman almaktadır.

Sonraki aşamada "AKÇAY" programı üzerine alınan veri MS Excel 2007 programına aktarılmaktadır. Aktarılma sonucu verinin ham görünümü Şekil 5.1'de gösterildiği gibidir. Verinin bu haliyle analiz programında kullanılması mümkün olmadığından uygun formata dönüştürülme öncesi düzenleme yapılması gerekmektedir. Bu düzenleme işlemi MS Excel 2007 programı üzerinde daha önceden hazırlanmış Makro ile hızlı bir şekilde yapılmaktadır.

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
S/N	ZAMAN	KAYNAK	DU	DI	DR	LB	SAFHA ADI	BAĞLANTI YUKARI	BAĞLANTI AŞAĞI	PLANLI BAŞLAT
1	38880 ;						T-38 FSB-1			02.05
2	480 DU[400%];		400				FSB+MOD. GELİŞ+BARASCOPE KONTROLÜ		3	02.05
3	480 DI[200%];			200			YAKIT BOŞALTIMASI+SİMETRİ KONTROLÜ		2,4;5	03.05
4	1440 DI[1.100%];LB[287%];DU[310%];DR[25%];		310	1100	25	287	ARKA GÖVDE VE MOTORLARIN SÖKÜMÜ+YAKIT KEŞİF+KANOPİ SANDALYE SÖKÜMÜ		3	04.05
5	960 DI[800%];DR[625%];			800	625		YIKAMAYA HAZIRLIK SÖKÜMLERİ		3	06.05
6	960 DR[300%];				300		YIKAMA		5	7
7	480 DI[200%];DU;		100	200			SOĞUK KEŞFE HAZIRLIK		6	8
8	2400 DI[400%];DU;DR[475%];LB;		100	400	475	100	SOĞUK KEŞİF		7	9
9	960 DI[400%];DU[200%];DR[50%];		200	400	50		X-RAY KONTROL ÖNCESİ SÖKÜM		8 10;43;44	20.05
10	1920 DI[200%];		200				X-RAY KONTROLÜ		9 11;12	24.05
11	1920 DI[200%];DU[10%];DR[50%];		10	200	50		ANA ATELYE SÖKÜMÜ		10	13
12	1440 LB[400%];					400	AVİYONİK ATELYE SÖKÜMÜ		10	13
										30.05

Şekil 5.1 Excel'de ham veri görünümü

Çalıştırılan makro sonrası oluşturulan verinin görüntüsü Şekil 5.2'de gösterildiği gibidir. Veri bu hali ile ".rcp" dosyası formatına dönüştürülmeye hazırdır. Ancak MS Excel 2007'deki verinin direk ".rcp" formatına dönüştürülmesi mümkün olmadığı için dosya öncelikle ".txt" metin belgesi formatına dönüştürülmekte ardından uzantısı değiştirilerek

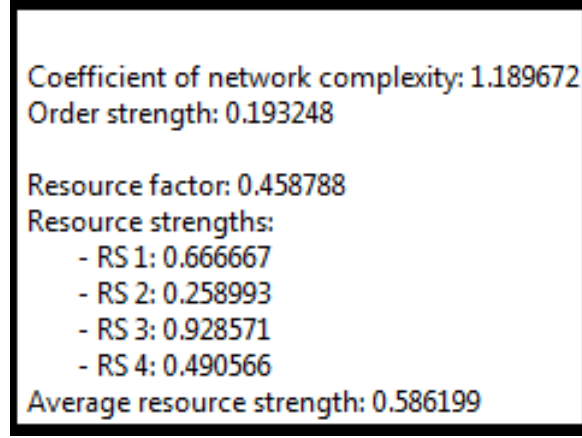
”.rcp” formatına dönüştürülmektedir. Tüm bu işlemler sadece birkaç dakika içerisinde yapılabilmekte, bu sayede MS Project 2010’da hazırlanan ve takip edilen bir proje ”.rcp” formatına dönüştürülerek analiz edilebilir hale gelmektedir.

1009	4						
104	160	128	80				
0	0	0	0	0	0		
1	32	0	0	0	1	3	
1	0	16	0	0	1	4	
2	25	88	2	23	1	5	
2	0	64	50	0	1	6	
2	0	0	24	0	1	7	
1	8	16	0	0	1	8	
5	8	32	38	8	1	9	
2	16	32	4	0	2	10	43
4	16	0	0	0	1	11	
4	1	16	4	0	2	12	13
3	0	0	0	32	1	13	
2	0	0	24	0	1	14	
3	32	0	0	0	1	15	
13	8	16	32	0	2	16	17
8	0	0	0	4	1	17	
2	0	8	0	8	1	18	
6	4	28	2	0	2	19	20
3	0	0	0	40	1	20	
2	0	27	0	0	2	21	22
1	0	0	0	54	1	22	
1	0	32	0	0	1	23	
2	0	28	0	0	1	24	

Şekil 5.2 Excel’de makro çalıştırma sonrası veri görünümü

Son sayfada ise ”.rcp” uzantılı dosya RESCON programında çalıştırılarak programın öncelikle ağ diyagramının görüntüsü izlenebilmektedir. Ardından istenilen analiz aracı seçilerek proje çizelgesinin analizi yapılabilmektedir. Bu çalışmada projemizde etkili sonuç verdiği düşünülen TA algoritması kullanılmıştır.

Literatürde KKPCP'nin zorluk seviyesini, kaynakların kısıtlılık seviyesini ve doluluklarını ifade matematiksel ifadeler mevcuttur. Bu ifadelerin problemimiz için hesaplama sonuçları Şekil 5.3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.3 Problemin ağ karmaşıklığı, kaynak faktörü ve kaynak gücü

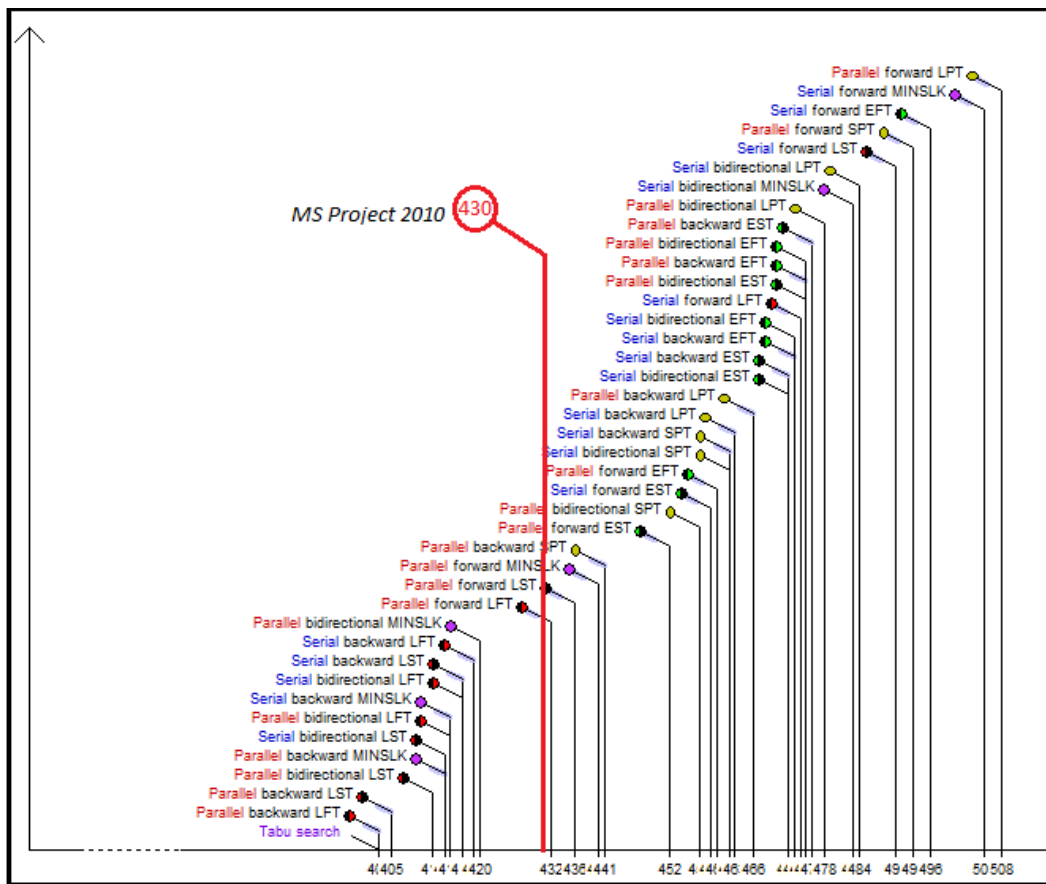
Şekil 5.3'de ifade edilen hesaplama sonuçlarının tanımlamaları ve problemimiz için ne anlam ifade ettikleri aşağıda özetlenmiştir.

- Kaynak Gücü (RS); faaliyetler için gereken kaynak miktarının, kullanılabilir kaynak ile ilişkisini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Kaynakların bol ya da kıt olma durumunu belirlemede kullanılan RS; bir kaynağın kullanılabilir üst sınırının, bu kaynağın ortalama kullanım miktarına bölünmesi ile elde edilmektedir (Atlı ve Kahraman, 2013. RS'nin sıfıra (0) çok yakın olması, kaynağın kapasite açısından yetersiz kalacağını göstermektedir.
- Kaynak Faktörü (RF); projedeki her bir kaynak için faaliyet başına düşen ortalama kullanım oranını ifade etmektedir. Eğer herhangi bir kaynak için RF'nin bir (1) olması o kaynağın tüm faaliyetlerde kullanıldığını ifade etmektedir.
- Ağ Karmaşıklığı (NC); projedeki serim sayısının düğüm sayısına oranlanması ile elde edilen bir değerdir. Ağ karmaşıklığı arttıkça problemin zorluk seviyesi artmaktadır.

Yüksek kaynak faktörü ve/ya da düşük kaynak gücü; çizelgelenen problemin “zor” problem olduğunu gösterirken, düşük kaynak faktörü ve/ya da yüksek kaynak gücü; çizelgelenen problemin “zor olmayan” bir problem olduğunu göstermektedir (Kolisch, 1996a). Bu çalışma kapsamında kullanılan problemimiz; ağ büyüklüğü, kaynak faktörü ve

kaynak gücü açılarından karmaşık ve zor olduğu Şekil 5.3’de ifade edilen hesaplamalar ile de kanıtlanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre projenin toplam süreci 403 gün olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.4’de çalışılan tüm algoritmaların performans verileri gösterilmektedir. MS Project 2010 programında projenin kaynaklara göre dengeleme sonucunda ise toplam proje sürecinin 430 gün olarak hesaplandığı görülmüştür.



Şekil 5.4 Analiz sonucu performans Tablosu

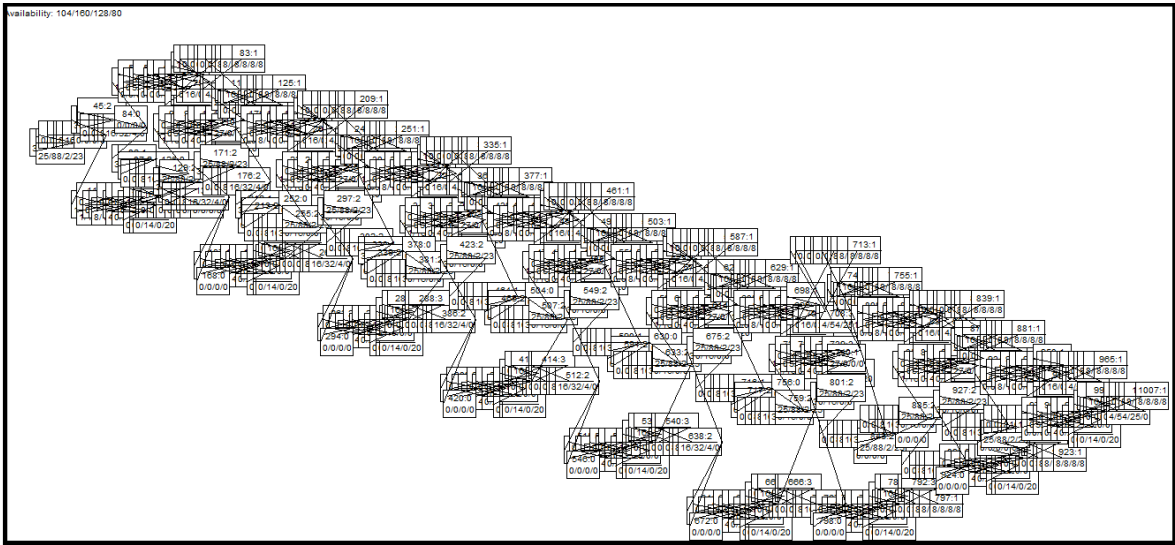
Analiz sonucunda elde edilen 27 işgünü farkın çalışan personel sayısına göre 12960 adam\*saat olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan 12960 adam\*saat işgücü miktarının parasal değeri oranında maliyet tasarrufu yapıldığı söylenebilir. Proje sürecinde ise %6 oranında azalma kazanç olarak ifade edilebilir. Ayrıca bu elde edilen kazançlar herhangi bir maliyete katlanılmadan direk kuruluşun ve dolayısı ile devlet bütçesine sağlayacağı katkı olması açısından yüksek öneme sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Proje yöneticisinin değişken durumlar ile karşılaştığında yapacağı analizler ile proje yönetimini etkin kılacağı ve yukarıda bahsedilen kazanç miktarını daha fazla yukarı çekeceği değerlendirilmektedir. Bu kazanç direk ölçülemese de ilk yapılan analizdeki kazanç bunun garantisini vermektedir.

RESCON ile yapılan analizin üç dakika gibi kısa bir sürede yapılmasına rağmen, MS project 2010'da projenin kısıtlı kaynaklara göre dengeleme işleminin 35 dakika gibi çok daha uzun sürdüğü gözlenmiştir.

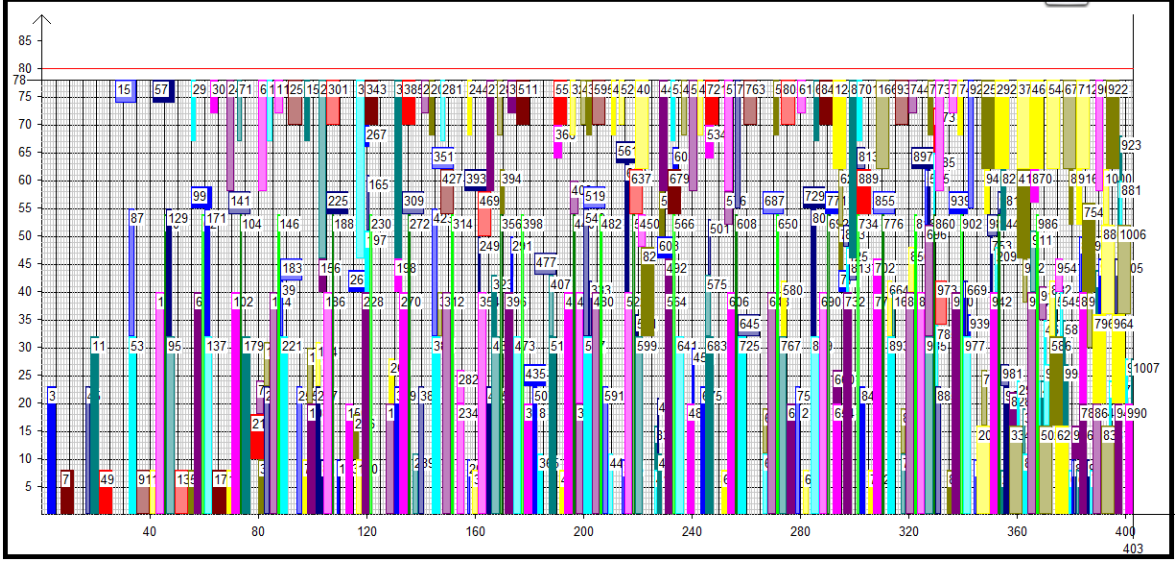
Yapılan analizin proje yöneticisine karar almada alternatifli çözümleri sunacağını değerlendirdiğimiz çıktıları aşağıda maddeler halinde ve devamında görsel olarak sunulmuştur.

- Problemin ağ diyagramı yapısı Şekil 5.5'de,

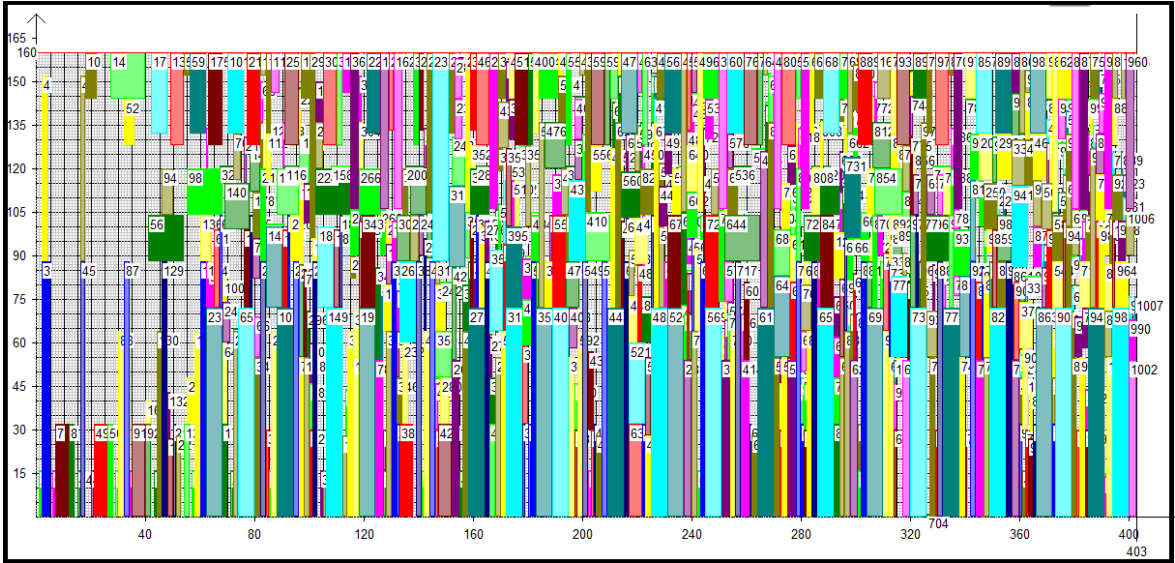


Şekil 5.5 TA yöntemi ile analiz sonucu problemin ağ diyagramı gösterimi

- Avionik ihtisasında kaynağın kapasiteye bağlı doluluk grafiği Şekil 5.6,
- Gövde ihtisasında kaynağın kapasiteye bağlı doluluk grafiği Şekil 5.7,
- Mekanik ihtisasında kaynağın kapasiteye bağlı doluluk grafiği Şekil 5.8,
- Mekanik ihtisasında kaynağın kapasiteye bağlı doluluk grafiği Şekil 5.9,



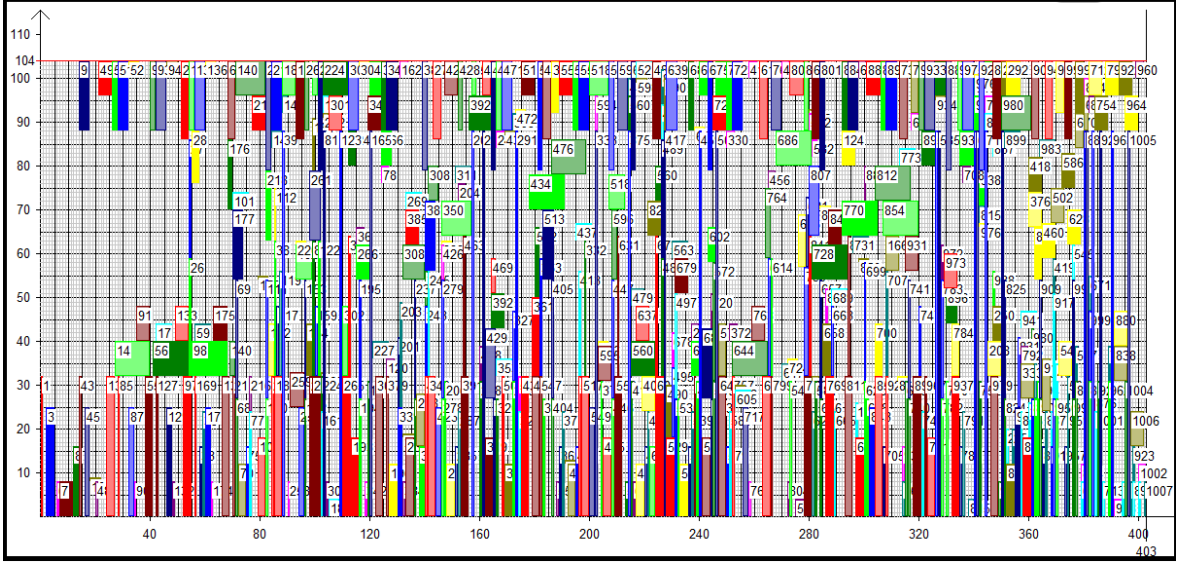
Şekil 5.6 TA Yöntemi ile Analiz Sonucu Problemin Aviyonik İhtisasta Doluluk ve Kritik Yol Gösterimi



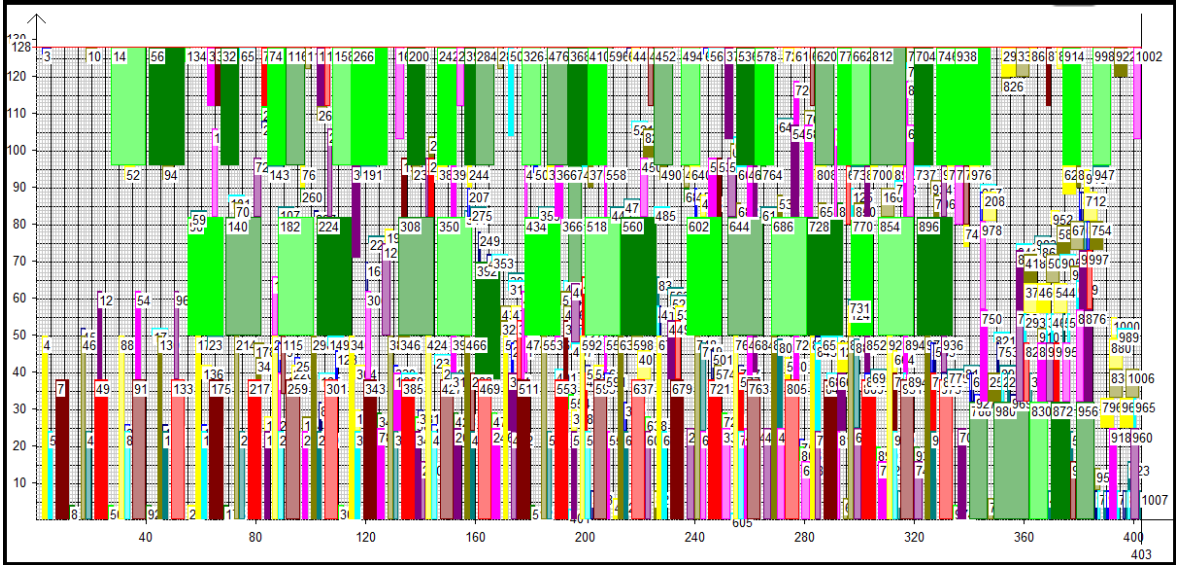
Şekil 5.7 TA yöntemi ile analiz sonucu problemin gövde ihtisasında doluluk ve kritik Yol Gösterimi

- Kaynakların ne kadar etkin kullanıldığıının ve problemin zorluk değerinin bir ölçüsü olan kaynak gücü, kaynak faktörü ve kaynak doluluklarının matematiksel ifadelerinin bulunduğu tablo Şekil 5.3'de gösterildiği gibidir.





Şekil 5.8 TA yöntemi ile analiz sonucu problemin mekanik İhtisasında Doluluk ve Kritik Yol Gösterimi



Şekil 5.9 TA yöntemi ile analiz sonucu problemin Yapısal ihtisasında doluluk ve kritik yol Gösterimi

MS project ile bulunan 430 günlük toplam proje süreci sonucunun paralel ileriye doğru MinSlack değerine yakın olması MS project'in literatürde ifade edildiği gibi MinSlack öncelik kuralına dayalı işlem yaptığı (Paksoy ve Uzun, 2008) ifadesini teyit eder



niteliktedir. Ancak tam olarak nasıl bir yöntem kullandığı hakkında bir kanıya varmak da mümkün değildir.

TA ile yapılan analizin sonucunda MS Project 2010'daki kaynak dengeleme sonucu ile karşılaştırıldığında hem işlem zamanı hem de proje toplam süresinin belirgin seviyede iyi olması literatürde Hekimoğlu, 2007'de ifade edildiği gibi proje yönetim yazılımlarının büyük faaliyet sayılı ve NP-Zor sınıfına giren KKPCP'nin çözümünde zorlanarak optimal sonucu vermede yetersiz kaldığını destekler niteliktedir.

Proje yöneticisinin MS Project 2010 programı ile projeyi hazırlık ve yürütme sürecinde takip ederek başlangıçta ve oluşacak her durum değişiminde programdan alacağı veriler ile yapacağı analizlerde optimal çözümde olan değişimi karşılaştırabileceği değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmalar proje yöneticisine oluşan değişkenliklerin projenin kullandığı kaynakları nasıl etkilediği ve projenin toplam sürecinin çıktıları hakkında bilgi edinebileceğini göstermektedir.

Proje yöneticisinin elde ettiği karşılaştırmalı sonuçlar ile değişkenlikleri kontrol altına almak için alacağı önlemler hakkında karar vermede proje yöneticisine yüksek oranda destek sağlayacağı bulguları elde edilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

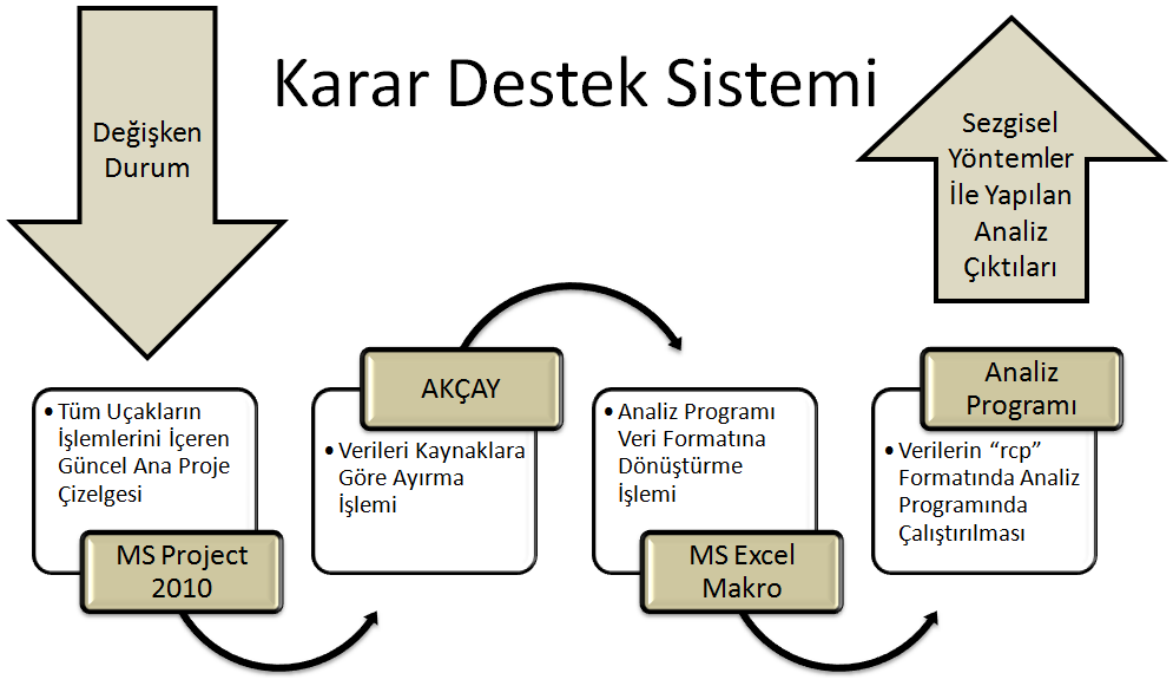
Bu bölümde tez çalışmasının konusu olan jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakım faaliyetleri yapılan kuruluştaki literatürdeki tanımıyla TM-ÇP KKPCP yapısına uyan çizelgeleme probleminin sezgisel ve meta-sezgisel yöntem ile çözümü sonucunda bulunan sonuçları detayları ile sunulacak ve proje yöneticisine sağlayacağı karar destek sürecinin neler olduğu tartışılacaktır.

Jet eğitim uçaklarının fabrika seviyesi bakımlarının yapıldığı kuruluştaki yapılan proje çizelgeleme probleminde öncelikle problemin temel verileri olan faaliyetler, öncüllük ilişkileri, kaynaklar belirlenmiştir. Belirlenen bu temel veriler ışığında problemin KKPCP içerisinde hangi gruba girdiği araştırılmış ve TM-ÇP KKPCP grubuna girdiği saptanmıştır. Problemin literatür araştırmaları sonucu iyi çözüm verdiği bilinen sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler araştırılmıştır. Buradaki temel amaç proje yöneticisine MS Project 2010 programının sunduğu çözüme alternatif ve daha iyi çözümler üretilip üretilmeyeceğinin araştırılmasıdır.

Yapılan araştırmalar sonucunda TA ve diğer bazı sezgisel yöntemlerin daha iyi sonuçlar verebileceği tespit edilmiştir. Proje yöneticisinin MS Project 2010 programında kullandığı verileri TA ve diğer sezgisel yöntemler ile analiz edebilmesi için veri formatının değiştirilmesi gerektiği görülmüş ve bunun için arayüz oluşturacak veritabanı programı geliştirilmiştir.

MS Project 2010 programındaki verilerin hızlı bir şekilde arayüz program ile analiz edilebilir hale getirilmesi sonrası TA ve diğer sezgisel yöntemleri içerisinde bulunduran ve geliştirmeye açık RESCON programında analizler yapılmış ve bir önceki bölümde ifade edilen bulgulara ulaşılmıştır.

Elde edilen bulgularda MS Project ile yapılan analizden çok daha iyi sonuç veren ve alternatifleri olan sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bu sonuç çalışmanın başında amaçlanan, proje yöneticisine projenin her durum değişikliğinde gerçekçi ve alternatifleri içeren Şekil 6.1'de mimarisi ifade edilen bir karar destek sisteminin kurulması ile örtüşmektedir.



Şekil 6.1 Karar destek sistemi Şeması

Problemde faaliyet sürelerinin değişkenlik göstermediği ancak projelerin;

- Planlama sonrasında faaliyet içeriklerinin proje sürecinde değiştiği,
- Değişikliğin önceden bilinmesinin mümkün olmadığı,
- Kuruluşun proje bütçesini en az bir yıl öncesinde netleştirmiş olması gereği,
- Kaynak esnekliğinin proje değişkenliğine paralel olarak aynı oranda sağlanamaması,
- İşgücü kaynağının uzmanlaşmış belirli bir eğitimden geçmiş personel olması zorunluluğu,
- Proje yöneticisinin uzun vadeli planlamalar yapmak zorunda olduğu düşünüldüğünde çalışma bu yönleri ile literatürdeki KKPÇP'ne göre farklılık gösterdiği değerlendirilmektedir.

Literatürde yapılan benzer çalışmaların proje yöneticisine karar destek mekanizması sağlayacak şekilde, proje yönetim yazılımları ile sezgisel ve meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerini bir arada kullanan, bunu gerçek bir problem üzerinde uygulayan çalışmanın bulunmaması nedenleri ile özgün olduğu sonucuna varılmıştır.

Etkin bir analiz sonucunda bir önceki bölümde ifade edilen toplam proje sürecinde % 6 oranında kısaltma, işgücünde ise 12960 adam\*saat tasarruf sağlanmıştır. Bu tasarrufun herhangi bir maliyete katlanmadan direk kuruluş ve devlet bütçesinde fayda sağlayacak olması açısından önemlidir. Ayrıca proje yöneticisinin değişken durumlar karşısında elindeki kaynakları çok daha etkin kullanacağı düşünüldüğünde katkının katlanarak artacağı sonucuna varılmıştır. Kuruluşun yaptığı diğer faaliyetlerde de bu çalışmayı örnek alarak yaygınlaştırması sonucunda fayda en üst seviyeye ulaşabilecektir.

Proje yöneticisinin projelerini, üstün özellikleri daha önceki bölümlerde ifade edilen MS Project 2010 programı üzerinden takip etmesinin tek olumsuz yanı olan analiz yetersizliğinin bu çalışma ile giderildiği değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak proje yönetim yazılımlarının KKPCP'nin çözümünde etkin sonuçları kanıtlanmış sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler ile desteklendiğinde, proje yöneticisine daha etkin, alternatifleri olan çözümler sunacağı böylelikle proje yönetiminin bir karar destek sistemi ile bütünleşerek daha etkin yönetilebileceği ve büyük maliyet tasarrufları sağlanabileceği bu çalışma ile uygulamalı olarak da ortaya koyulmuştur.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Atlı, Ömer ve Cengiz Kahraman (2013). “Bulanık Kritik Yol Analizi”. İn: *Sigma : Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 31.2, pp. 128–140. URL: <http://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php?pdf=0014487&lng=0> (Retrieved 11/26/2016).
- Atli, Omer (2011). “Tabu Search and an Exact Algorithm for the Solutions of Resource-Constrained Project Scheduling Problems”. İn: *International Journal of Computational Intelligence Systems* 4.2, pp. 255–267. ISSN: 1875-6891. DOI: 10 . 1080 / 18756891 . 2011 . 9727781. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/18756891.2011.9727781> (Retrieved 11/22/2016).
- (2012). “Bulanık çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için matematiksel bir model”. Doktora Tezi. İstanbul: Hava Harp Okulu Komutanlığı. 281 pp. URL: <http://ulusaltezmerkezi.com/bulanik-cok-modlu-kaynak-kisitli-proje-cizelgeleme-problemlerinin-cozumu-icin-matematiksel-bir/238/> (Retrieved 11/22/2016).
- Atli, Omer ve Cengiz Kahraman (2012a). “Aircraft Maintenance Planning Using Fuzzy Critical Path Analysis”. İn: *International Journal of Computational Intelligence Systems* 5.3, pp. 553–567. ISSN: 1875-6891. DOI: 10 . 1080 / 18756891 . 2012 . 696920. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/18756891.2012.696920> (Retrieved 11/22/2016).
- (2012b). “Fuzzy resource-constrained project scheduling using taboo search algorithm”. İn: *International Journal of Intelligent Systems* 27.10, pp. 873–907. ISSN: 1098-111X. DOI: 10 . 1002 / int . 21552. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/int.21552/abstract> (Retrieved 11/22/2016).

Atli, Omer ve Cengiz Kahraman (2013). “Minslack and Kangaroo Algorithms for Fuzzy Project Scheduling”. İn: *ResearchGate* 20.1, pp. 189–219. ISSN: 1542-3980. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264975425\\_Minslack\\_and\\_Kangaroo\\_Algorithms\\_for\\_Fuzzy\\_Project\\_Scheduling](https://www.researchgate.net/publication/264975425_Minslack_and_Kangaroo_Algorithms_for_Fuzzy_Project_Scheduling) (Retrieved 11/26/2016).

— (2014). “Resource-constrained project scheduling problem with multiple execution modes and fuzzy/crisp activity durations”. İn: *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 26.4, pp. 2001–2020. ISSN: 1064-1246. DOI: 10 . 3233 / IFS - 130878. URL: <http://content.iospress.com/articles/journal-of-intelligent-and-fuzzy-systems/ifs878> (Retrieved 11/22/2016).

Balkaya, Ali Haydar (2011). “Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma yaklaşımıyla optimizasyonu”. Thesis. DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü. URL: <http://dspace.deu.edu.tr/xmlui/handle/12345/10612> (Retrieved 11/22/2016).

Barutçugil, İsmet (1998). *Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri*. Bursa: Beta Yayınevi.

Brucker, Peter, Andreas Drexl, Rolf Möhring, Klaus Neumann ve Erwin Pesch (1999). “Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods”. İn: *European Journal of Operational Research* 112.1, pp. 3–41. ISSN: 0377-2217. DOI: 10 . 1016 / S0377 - 2217(98 ) 00204 - 5. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221798002045> (Retrieved 12/13/2016).

Deblaere, Filip, Erik Demeulemeester ve Willy Herroelen (2011). “RESCON: Educational project scheduling software”. İn: *ResearchGate* 19.2, pp. 327–336. ISSN: 1099-0542. DOI: 10.1002/cae.20314. URL: [https://www.researchgate.net/publication/227728239\\_RESCON\\_Educational\\_project\\_scheduling\\_software](https://www.researchgate.net/publication/227728239_RESCON_Educational_project_scheduling_software) (Retrieved 12/09/2016).

Hekimoğlu, Özge (2007). “Comparison of the resource allocation capabilities of project management software packages in resource constrained project scheduling problems”. phdthesis. MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY. URL:

<http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12608203/index.pdf> (Retrieved 11/27/2016).

Herroelen, Willy, Erik Demeulemeester ve Bert De Reyck (1999). “A Classification Scheme for Project Scheduling”. İn: pp. 1–26. DOI: 10.1007/978-1-4615-5533-9\_1. URL: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-5533-9\\_1](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-5533-9_1) (Retrieved 12/15/2016).

I. Kurtuluş ve E.W. Davis (1982). “Multi-Project Scheduling: Categorization of Heuristic Rules Performance”. İn: 28 2, pp. 161–172.

Kellenbrink, Carolin ve Stefan Helber (2015). “Scheduling resource-constrained projects with a flexible project structure”. İn: *European Journal of Operational Research* 246.2, pp. 379–391. ISSN: 03772217. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.05.003. URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221715003732> (Retrieved 11/27/2016).

King Abdul-Aziz, Sultan A. Alhumrani ve Rizwan J. Qureshi (2016). “Novel Approach to Solve Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)”. İn: *International Journal of Modern Education and Computer Science* 8.9, pp. 60–68. ISSN: 20750161, 2075017X. DOI: 10.5815/ijmecs.2016.09.08. URL: <http://www.mecs-press.org/ijmecs/ijmecs-v8-n9/v8n9-8.html> (Retrieved 11/27/2016).

Kolisch, Rainer (1996a). “Efficient priority rules for the resource-constrained project scheduling problem”. İn: *Journal of Operations Management* 14.3, pp. 179–192. ISSN: 0272-6963. DOI: 10.1016/0272-6963(95)00032-1. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0272696395000321> (Retrieved 11/22/2016).

— (1996b). “Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation”. İn: *European Journal of Operational Research* 90.2, pp. 320–333. ISSN: 0377-2217. DOI: 10.1016/0377-2217(95)00357-6. URL: <http://>

[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221795003576](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221795003576) (Retrieved 11/22/2016).

Kolisch, Rainer ve Sönke Hartmann (1999). “Heuristic Algorithms for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem: Classification and Computational Analysis”. In: *Project Scheduling*. Ed. Jan Węglarz. International Series in Operations Research & Management Science 14. DOI: 10.1007/978-1-4615-5533-9\_7. Springer US, pp. 147–178. ISBN: 978-1-4613-7529-6 978-1-4615-5533-9. URL: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-5533-9\\_7](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-5533-9_7) (Retrieved 11/27/2016).

Kolisch, Rainer ve Arno Sprecher (1997). “PSPLIB - A project scheduling problem library”. In: *European Journal of Operational Research* 96.1, pp. 205–216. ISSN: 0377-2217. DOI: 10.1016/S0377-2217(96)00170-1. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221796001701> (Retrieved 11/22/2016).

Kumar, Amit, Ayanangshu Das ve Naveen Tiwari (2011). *Project Management Heuristics for solving RCPSP*. Scribd. URL: <https://tr.scribd.com/document/88470141/Project-Management-Heuristics-for-solving-RCPSP> (Retrieved 12/10/2016).

Küçüksayacıgil, Fikri ve Gündüz Ulusoy (2014). “A genetic algorithm application for multi-objective multi-project resource constrained project scheduling problem”. In: URL: <http://research.sabanciuniv.edu/24084/> (Retrieved 11/27/2016).

Lova, Antonio, Pilar Tormos, Mariamar Cervantes ve Federico Barber (2009). “An efficient hybrid genetic algorithm for scheduling projects with resource constraints and multiple execution modes”. In: *International Journal of Production Economics* 117.2, pp. 302–316. ISSN: 09255273. DOI: 10.1016/j.ijpe.2008.11.002. URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527308003654> (Retrieved 11/27/2016).



Messelis, Tommy ve Patrick De Causmaecker (2014). “An automatic algorithm selection approach for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem”. İn: *European Journal of Operational Research* 233.3, pp. 511–528. ISSN: 03772217. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.08.021. URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221713006863> (Retrieved 11/27/2016).

Özdamar, Linet ve Gündüz Ulusoy (1995). “A survey on the resource-constrained project scheduling problem”. İn: *IIE Transactions* 27.5, pp. 574–586. ISSN: 0740-817X. DOI: 10.1080/07408179508936773. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/07408179508936773> (Retrieved 12/14/2016).

Özdemir, Gökhan (2006). “Kısıtlı kaynaklarla proje çizelgelemesi problemlerinde kullanılan genetik algoritma metodları ve bunların karşılaştırılması - Ulusal Tez ve Araştırma Merkezi - Akademik Tezler ve Araştırmalar”. Yüksek Lisans. Ankara: Ankara Üniversitesi. 122 pp. URL: <http://ulusaltezmerkezi.com/kisitli-kaynaklarla-proje-cizelgelemesi-problemlerinde-kullanilan-genetik-algoritma-metodlari-ve-bunlari-karsilastirilmasi/> (Retrieved 11/26/2016).

Özleyen, Erdem (2011). “A GENETIC ALGORITHM FOR THE RESOURCE CONSTRAINED PROJECT SCHEDULING PROBLEM”. Master Thesis. MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY. 108 pp. URL: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12613795/index.pdf>.

Paksoy, Semin ve Arzu Uzun (2008). “Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme”. İn: *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 17.2, pp. 345–362. URL: <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/cusosbil/article/download/5000001287/5000001978> (Retrieved 11/22/2016).

Pan, Nai-Hsin, Po-Wen Hsaio ve Kuei-Yen Chen (2008). “A study of project scheduling optimization using Tabu Search algorithm”. İn: *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 21.7, pp. 1101–1112. ISSN: 09521976. DOI: 10.1016/j.engappai.2007.11.006. URL: <http://www.elsevier.com/locate/engappai>

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0952197607001480>  
(Retrieved 11/27/2016).

Papakostas, N., P. Papachatzakis, V. Xanthakis, D. Mourtzis ve G. Chryssolouris (2010). “An approach to operational aircraft maintenance planning”. In: *Decision Support Systems* 48.4, pp. 604–612. ISSN: 01679236. DOI: 10.1016/j.dss.2009.11.010. URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167923609002395> (Retrieved 11/27/2016).

Patterson, James H. (1984). “A Comparison of Exact Approaches for Solving the Multiple Constrained Resource, Project Scheduling Problem”. In: *Management Science* 30.7, pp. 854–867. ISSN: 0025-1909. DOI: 10.1287/mnsc.30.7.854. URL: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.30.7.854> (Retrieved 12/14/2016).

Pawiński, Grzegorz ve Krzysztof Sapiecha (2016). “Speeding up global optimization with the help of intelligent supervisors”. In: *Applied Intelligence*. ISSN: 0924-669X, 1573-7497. DOI: 10.1007/s10489-016-0791-1. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10489-016-0791-1> (Retrieved 11/27/2016).

Saraçoğlu, Burak Ömer (2015). “Bilgisayar Destekli Proje Yönetimi”. Thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü. URL: <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/5801> (Retrieved 11/22/2016).

Sriram, Chellappan ve Ali Haghani (2003). “An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 37.1, pp. 29–48. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856402000046> (Retrieved 11/27/2016).

Taha, Hamdy A. (1987). *Operations Research An Introduction. , Inc, Sixth Edition, USA*. Sixth Edition. USA: Prentice-Hall International, Inc.

Ulusoy, Gunduz (2000). "Proje planlamada kaynak kısıtlı çizelgeleme". İn: URL: [http://www.academia.edu/17348163/Proje\\_planlamada\\_kaynak\\_k%C4%B1s%C4%B1t%C4%B1\\_%C3%A7izelgeleme](http://www.academia.edu/17348163/Proje_planlamada_kaynak_k%C4%B1s%C4%B1t%C4%B1_%C3%A7izelgeleme) (Retrieved 11/26/2016).

Van den Bergh, Jorne, Philippe De Bruecker, Jeroen Beliën, Liesje De Boeck ve Erik Demeulemeester (2013). "A three-stage approach for aircraft line maintenance personnel rostering using MIP, discrete event simulation and DEA". İn: *Expert Systems with Applications* 40.7, pp. 2659–2668. ISSN: 09574174. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.11.009. URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417412012195> (Retrieved 11/27/2016).

Zamani, Reza (2013). "A competitive magnet-based genetic algorithm for solving the resource-constrained project scheduling problem". İn: *European Journal of Operational Research* 229.2, pp. 552–559. ISSN: 03772217. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.03.005. URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221713002130> (Retrieved 11/27/2016).