



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**PROJE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ SÜRECİNDE TEMEL  
AMAÇLARIN DİNAMİK SİMÜLASYON TABANLI  
OPTİMİZASYONU**

**Endüstri Yüksek Mühendisi Yusuf Sait TÜRKAN  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Endüstri Mühendisliği Programı**

**Danışman  
Prof. Dr. Ekrem MANİSALI**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**PROJE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ SÜRECİNDE TEMEL  
AMAÇLARIN DİNAMİK SİMÜLASYON TABANLI  
OPTİMİZASYONU**

**Endüstri Yüksek Mühendisi Yusuf Sait TÜRKAN  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Endüstri Mühendisliği Programı**

**Danışman  
Prof. Dr. Ekrem MANİSALI**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 15/09/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliğı programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof.Dr. Ekrem MANİSALI (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Fakültesi

Doç.Dr. Şakir ESNAF  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik

Prof.Dr. Cengiz KAHRAMAN  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
İşletme Fakültesi

Prof.Dr. Necmettin AKTEN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof.Dr. Ercan ÖZTEMEL  
Marmara Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarımda bana yol gösteren, desteğini her zaman hissettiğim, sevgisi ve sabrı ile bana güç veren çok değerli hocam Prof. Dr. Ekrem MANİSALI'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen, beni ve arkadaşlarımı sürekli motive eden, bölüm başkanımız Doç.Dr. Şakir ESNAF'a, görüş ve tecrübelerinden yararlandığım bölümümüzün değerli hocaları Yrd. Doç. Dr. Alp BARAY ve Yrd. Doç. Dr. Numan ÇELEBİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Endüstri Mühendisliği Anabilim dalındaki çalışma arkadaşlarım, Tarık KÜÇÜKDENİZ, Hacer YUMURTACI, Ersin NAMLI, Emre BULUT, Sinem BÜYÜKSAATÇI'ye ve bir süre önce bölümümüzden ayrılan Mahmut Fahrettin ÇELİKKOL ve Müjdat TİRYAKI'ye dostlukları ve destekleri nedeni ile teşekkür ederim. Ayrıca tez sürecinde, pek çok konuda yardım için kapısını çaldığım, bazı geceler geç saatlere kadar uyutmadığım değerli arkadaşım Deniz KARASU'ya da teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak hayatımın her safhasında olduğu gibi bugün de hep yanımda olan, ellerinden gelen hiç bir yardımı esirgemeyen anneme, babama ve tezimin özellikle son altı ayındaki zor dönemi benimle beraber paylaşan sevgili eşime teşekkür ederim.

**Eylül, 2008**

**Yusuf Sait TÜRKAN**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ .....	v
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ .....	vii
ÖZET .....	viii
SUMMARY .....	ix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME YAKLAŞIMLARI .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEMEDE SİMÜLASYON .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. ÖNERİLEN YAKLAŞIM .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. ÇALIŞMAYI OLUŞTURAN BÖLÜMLER.....</b>	<b>6</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. PLANLAMA VE ÇİZELGELEME AMAÇLARI .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME METOTLARI .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. SİMÜLASYON TABANLI PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME ..</b>	<b>10</b>
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. PROJE ÇİZELGELEME .....</b>	<b>13</b>
3.1.1. Proje Çizelgeleme Elemanları .....	14
3.1.1.1. Faaliyetler .....	14
3.1.1.2. Mantıksal Öncelik İlişkileri .....	15
3.1.1.3. Kaynaklar .....	17

3.1.2. Proje Planlama ve Kontrol Teknikleri .....	18
3.1.2.1. Proje Planlama ve Kontrol Tekniklerinin Tarihsel Gelişimi .....	18
3.1.2.2. Proje Planlama ve Kontrol Diyagramları .....	20
3.1.2.3. Şebeke Gösterimleri .....	22
3.1.3. Proje Çizelgeleme Amaçları .....	24
3.1.4. Proje Çizelgeleme Problemi Gösterimi .....	25
3.1.4.1. Proje Çizelgeleme Probleminde $\alpha$ Değişkeni ile Kaynak Özelliklerinin Gösterimi.....	26
3.1.4.2. Proje Çizelgeleme Probleminde $\beta$ Değişkeni ile Faaliyet Özelliklerinin Gösterimi.....	27
3.1.4.3. Proje Çizelgeleme Probleminde $\gamma$ Değişkeni İle Performans Ölçütlerinin Gösterimi.....	31
<b>3.2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ.....</b>	<b>32</b>
3.2.1. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Tanımı ve Sınıflandırılması .....	32
3.2.2. Genel Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Matematiksel Gösterimi .....	37
3.2.3. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Çözüm Yöntemleri.....	40
3.2.3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri .....	40
3.2.3.2. Sezgisel Yöntemler .....	42
<b>3.3. SİMÜLASYON VE MODELLEME YAKLAŞIMI.....</b>	<b>46</b>
3.3.1. Simülasyon Kullanımının Uygun Olduğu ve Olmadığı Problemler .....	47
3.3.2. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları .....	48
3.3.3. Simülasyon ve Modelleme Adımları.....	50
3.3.4. Simülasyon Modellerinin Kurulması .....	52
3.3.5. Doğrulama.....	52
3.3.6. Geçerlilik Analizi .....	53
3.3.7. Kesikli Simülasyon .....	56
3.3.8. Modelleme Yapıları.....	58
3.3.8.1. Süreç Etkileşimi Yaklaşımı.....	58
3.3.8.2. Olay Çizelgeleme .....	60
3.3.8.3. Aktivite Tarama Yaklaşımı.....	62
3.3.8.4. Üç Fazlı Yaklaşım.....	62
3.3.9. Simülasyon Modelinde Zaman İlerletme .....	64
<b>3.4. SİMÜLASYON TABANLI PROJE ÇİZELGELEME MODELİ.....</b>	<b>66</b>
3.4.1. Problemin Gösterimi ve Tanımı .....	69
3.4.2. Model Yapısı ve Parametreleri.....	72
3.4.3. Simülasyon Modeline Entegre Edilen Sezgisel Algoritma .....	77
3.4.4. Simülasyon Modelinin Test Edilmesi .....	80
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>83</b>

<b>4.1. BİRİNCİ GRUP TEST PROJE ÖRNEKLERİ.....</b>	<b>84</b>
4.1.1. Birinci Proje Örneği .....	85
4.1.1.1. Proje Bilgileri .....	85
4.1.1.2. Proje Çizelgeleme Çözümü .....	86
4.1.2. İkinci Proje Örneği .....	90
4.1.2.1. Proje Bilgileri .....	90
4.1.2.2. Proje Çizelgeleme Çözümü .....	91
4.1.3. Üçüncü Proje Örneği .....	94
4.1.3.1. Proje Bilgileri .....	94
4.1.3.2. Proje Çizelgeleme Çözümü .....	96
4.1.3.3. Proje Senaryoları ve Senaryoların Analizi .....	98
4.1.4. Dördüncü Proje Örneği .....	101
4.1.4.1. Proje Bilgileri .....	101
4.1.4.2. Proje Çizelgeleme Çözümü .....	107
<b>4.2. İKİNCİ GRUP TEST PROJE ÖRNEKLERİ .....</b>	<b>108</b>
4.2.1. Proje Bilgileri .....	108
4.2.2. Proje Çizelgeleme Çözümleri.....	110
4.2.3. T Testi İle Çizelgeleme Çözümlerinin Karşılaştırılması .....	114
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>116</b>
<b>5.1. ÇALIŞMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>117</b>
<b>5.2. GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMA ÖNERİLERİ.....</b>	<b>121</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>123</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>129</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>154</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	: Gantt şeması .....	20
Şekil 3.2	: Beta dağılımı .....	21
Şekil 3.3	: Faaliyetlerin oklarda gösterildiği şebeke .....	23
Şekil 3.4	: Faaliyetlerin düğümlerde gösterildiği şebeke .....	23
Şekil 3.5	: Kaynak kısıtlı çizelgeleme problem türleri .....	37
Şekil 3.6	: Simülasyon ve modelleme adımları .....	51
Şekil 3.7	: Bir modelin tekrarlı kalibrasyon süreci .....	53
Şekil 3.8	: Servis sistemi içerisinde nesnenin akışını gösteren süreç .....	58
Şekil 3.9	: Süreç artırımı modelleme yapısı .....	59
Şekil 3.10	: Olay artırımı modelleme yapısı .....	61
Şekil 3.11	: Üç fazlı modelleme yaklaşımı .....	63
Şekil 3.12	: Sabit artışlar ile benzetim saatinin iletilmesi .....	64
Şekil 3.13	: Sabit zaman artırımı modelleme yapısı akış şeması.....	65
Şekil 3.14	: Tek kuyruklu servis sisteminde faal. tab. modelleme yaklaşımı .....	72
Şekil 3.15	: Tek kuyruklu bir servis sisteminin faal. tab. simülasyon modeli.....	74
Şekil 3.16	: Proje planlama ve çizelgeleme simülasyon modeli .....	76
Şekil 4.1	: Birinci proje örneği Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli en iyi çizelge çözümü.....	88
Şekil 4.2	: Birinci proje örneği MS Project 2007 en iyi çizelge çözümü .....	88
Şekil 4.3	: Birinci proje örneği çizelge çözümleri dağılımı.....	89
Şekil 4.4	: İkinci proje örneği belirsiz sürelerin göz ardı edildiği çizelge çözümleri dağılımı.....	92
Şekil 4.5	: İkinci proje örneği çizelge çözümleri dağılımı.....	93
Şekil 4.6	: Üçüncü proje örneği çizelge çözümleri dağılımı .....	97
Şekil 4.7	: Üçüncü proje örneği, “En İyi Durum” senaryosu proje süresi dağılımları.....	100
Şekil 4.8	: Üçüncü proje örneği, “En Kötü Durum” senaryosu proje süresi dağılımları.....	100
Şekil 4.9	:Dördüncü proje örneği çizelge çözümleri dağılımı.....	108
Şekil 4.10	:İkinci grup test projeleri çizelgeleme çözümleri karşılaştırılması.....	113



## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 3.1</b>	: Faaliyet mod örnekleri .....	<b>15</b>
<b>Tablo 3.2</b>	: Faaliyetlerin öncelik ilişkileri gösterimi .....	<b>16</b>
<b>Tablo 3.3</b>	: Bir projeye ait faaliyetler ve öncelik ilişkileri.....	<b>22</b>
<b>Tablo 3.4</b>	: Sembol tanımları .....	<b>39</b>
<b>Tablo 3.5</b>	: Kesikli simülasyonda kullanılan kavramlara ait örnekler .....	<b>57</b>
<b>Tablo 4.1</b>	: Birinci proje örneğine ait bilgiler .....	<b>86</b>
<b>Tablo 4.2</b>	: Birinci örnek proje çizelge çözümleri .....	<b>88</b>
<b>Tablo 4.3</b>	: İkinci proje örneğine ait bilgiler.....	<b>90</b>
<b>Tablo 4.4</b>	: İkinci örnek proje belirsiz sürelerin göz ardı edildiği çizelge çözümleri .....	<b>92</b>
<b>Tablo 4.5</b>	: İkinci örnek proje çizelge çözümleri.....	<b>93</b>
<b>Tablo 4.6</b>	: İkinci örnek proje tamamlanma süresi olasılıkları .....	<b>93</b>
<b>Tablo 4.7</b>	: Üçüncü proje örneğine ait bilgiler.....	<b>95</b>
<b>Tablo 4.8</b>	: Üçüncü örnek proje çizelge çözümleri.....	<b>96</b>
<b>Tablo 4.9</b>	: Üçüncü örnek proje tamamlanma süresi olasılıkları .....	<b>97</b>
<b>Tablo 4.10</b>	: Üçüncü örnek proje test senaryoları.....	<b>98</b>
<b>Tablo 4.11</b>	: Üçüncü örnek proje çözümleri ile birinci senaryo çözümlerinin karşılaştırılması .....	<b>99</b>
<b>Tablo 4.12</b>	: Üçüncü proje tamamlanma olasılıkları ile birinci senaryo sonrasında proje tamamlanma olasılıklarının karşılaştırılması .....	<b>99</b>
<b>Tablo 4.13</b>	: En iyi ve en kötü durum senaryolarındaki en iyi çizelge çözümlerine ait kaynak kullanım oranları .....	<b>101</b>
<b>Tablo 4.14</b>	: Dördüncü örnek proje faaliyetleri ve öncelik ilişkileri .....	<b>103</b>
<b>Tablo 4.15</b>	: Dördüncü örnek proje süre ve kaynak bilgileri.....	<b>105</b>
<b>Tablo 4.16</b>	: Dördüncü örnek projeye ait kaynak kısıtları .....	<b>106</b>
<b>Tablo 4.17</b>	: Dördüncü örnek proje çizelge çözümleri .....	<b>107</b>
<b>Tablo 4.18</b>	: Dördüncü örnek proje tamamlanma süresi olasılıkları .....	<b>108</b>
<b>Tablo 4.19</b>	: İkinci grup test projeleri genel özellikleri .....	<b>109</b>
<b>Tablo 4.20</b>	: İkinci grup test proje çözümlerinin karşılaştırılması.....	<b>111</b>
<b>Tablo 4.21</b>	: $\alpha = \%5$ anlamlılık düzeyinde t testi değerleri.....	<b>115</b>
<b>Tablo 4.22</b>	: $\alpha = \%1$ anlamlılık düzeyinde t testi değerleri .....	<b>115</b>

## SEMBOL LİSTESİ

$a$	: proje faaliyetinin iyimser süresi
$b$	: proje faaliyetinin kötümser süresi
$m$	: proje faaliyetinin olası süresi
$t$	: proje faaliyetinin hesaplanan süresi
$\alpha$	: proje çizelgeleme problemi kaynak kullanım özellikleri gösterimi
$\beta$	: proje çizelgeleme problemi faaliyet özellikleri gösterimi
$\gamma$	: proje çizelgeleme problemi performans ölçütleri gösterimi
$\gamma = C_{\max}$	: proje süresinin en küçüklenmesi
$\gamma = \bar{F}$	: alt projelerin ortalama gerçekleşme sürelerinin en küçüklenmesi
$\gamma = T_{\max}$	: proje gecikmesinin en küçüklenmesi
$\gamma = n_T$	: geciken faaliyet sayısının küçüklenmesi
$T$	: proje süresi, zaman indisi
$J$	: faaliyetler kümesi
$E$	: öncelik ilişkileri kısıtları kümesi
$G$	: öncelik ilişkileri kısıtları grafiği
$S$	: çizelge
$K^p$	: yenilenebilir kaynaklar kümesi
$R_k^p$	: $k$ kaynağının tüm zaman aralıklarında bulunma miktarı
$EF_j$	: $j$ faaliyetinin en erken tamamlanma zamanı
$LF_j$	: $j$ faaliyetinin en geç tamamlanma zamanı
$ES_j$	: $j$ faaliyetinin en erken başlama zamanı
$LS_j$	: $j$ faaliyetinin en geç başlama zamanı
$NS$	: çizelgelenebilecek faaliyet sayısı
$NC$	: çizelgeleme yapılabilecek kombinasyonlar
$MDTOC$	: bir kombinasyondaki toplam gecikme
$IPD$	: çizelgelenen kombinasyon neticesinde proje süresindeki artış

## ÖZET

### PROJE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ SÜRECİNDE TEMEL AMAÇLARIN DİNAMİK SİMÜLASYON TABANLI OPTİMİZASYONU

Proje planlama ve çizelgeleme, proje yönetimi içerisindeki en karmaşık konulardan biridir. Projelerin, kaynak kısıtları ve proje elemanlarının stokastik yapıları dikkate alınarak modellenmesi oldukça zordur. Geleneksel proje yönetimi metotları, projenin gerçeğe yakın modellenmesi konusunda yetersiz kalırken, matematiksel ve sezgisel çizelgeleme metotları pek çok varsayım yardımıyla problemi tanımlayabilmektedir. Fazla varsayım kullanılması modellemeyi kolaylaştırmakta fakat problemi sahte bir problem haline getirmektedir.

Proje çizelgelemede, problemin gerçeğe uygun modellenmesinin yanında, en iyi ya da en iyiye yakın çözümlerin elde edilebilmesi de diğer bir önemli problemidir. Diğer taraftan proje çizelgeleme problemlerinin birçoğunun, çok sayıda alternatif çözüme sahip olması, bu problemleri çözümü çok zor (NP-hard) problemler yapmıştır. Matematiksel çizelgeleme metotları birçok proje çizelgeleme probleminde uygun bir çözüm elde edemezken, sezgisel yöntemler daha çok özel problemlerde çözüm üretebilmekte, gerçek proje çizelgeleme problemlerinde etkili olamamaktadır.

Bu çalışmada proje planlama ve çizelgeleme konusunda simülasyon tabanlı bir model önerilmiştir. Modelimizde, projelerdeki kaynak kısıtlarının yanında, belirsiz faaliyet süreleri ile değişken kaynak bulunabilirlikleri de problemde tanımlanabilmektedir. Simülasyon modeli içerisine yerleştirilen sezgisel algoritma yardımıyla, farklı proje çizelgeleme problemleri için en iyi ya da en iyiye yakın çizelge çözümleri üretilebilmektedir. Simülasyon tabanlı çizelgeleme modeli, üretilen alternatif çözümlerin değerlendirilmesi ve farklı proje senaryolarının gözden geçirilmesine de izin vermektedir. Model ayrıca, proje süresi, faaliyetler ve kaynak kullanımı konusunda farklı raporlar da üretebilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Proje Planlama ve Çizelgeleme, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme, Kaynak Atama, Kesikli Olay Simülasyonu, Simülasyon Tabanlı Optimizasyon

## **SUMMARY**

### **DYNAMIC SIMULATION-BASED OPTIMIZATION OF PROJECT PRINCIPLE GOALS THROUGH REALIZATION**

Project planning and scheduling is one of the most complicated subject in project management. Modeling projects in due consideration of resource constraints and stochastic structure of project elements is quite difficult. Traditional project management techniques may fail in terms of modeling the project close to reality, while mathematical and heuristic scheduling methods can define the problem by means of numerous assumptions. Using more assumptions simplifies modeling, yet transforms the problem into a fictive one.

Besides realistic modeling of the problem, developing an optimal or near optimal solution is another important problem in project scheduling. On the other hand, because of many project scheduling problems have too many alternative solutions, these problems become NP-hard. For many project scheduling problems, the mathematical scheduling methods fail to obtain a feasible solution, while heuristic methods can provide a solution more in special problems and prove less than effective in different real-life project scheduling problems.

In this study a simulation based scheduling model is proposed for project planning and scheduling. In our model, other than resource constraints of the project, the uncertain activity durations and uncertain resource availabilities can be defined into the problem. With the help of heuristic algorithm incorporated into the simulation model, optimal or near optimal scheduling solutions can be developed for different project scheduling problems. The simulation based project scheduling model permits assessment of alternative solutions created and review of different project scenarios. The model also able to create different reports on project duration, activities and resource utilization.

**Key Words:** Project Planning and Scheduling, Resource Constraint Project Scheduling, Resource Allocation, Discrete Event Simulation, Simulation Based Optimization

## 1. GİRİŞ

Proje yönetimi içerisinde en fazla çalışılan alanların başında, proje planlama ve çizelgeleme gelmektedir. Mühendislik ve yönetim disiplinlerindeki konuların son yüz yıldaki gelişimi dikkate alınır, proje planlama konusundaki ilerleme ve yeniliklerin yeterli olmadığı görülmektedir. Bunun sebepleri incelendiğinde iki konu dikkati çekmektedir. Bunlardan birincisi, proje yönetiminin uzun yıllar dar bir uygulama alanı içerisine sıkıştırılmasıdır. Fakat bu durum, özellikle son on yılda değişmeye başlamıştır. Günümüz yoğun rekabet şartlarında işletmelerin hemen hepsi birçok faaliyetini, proje kapsamında ele almakta, çalışmalarında proje yönetimi yöntem ve tekniklerini kullanmaktadır. Bu kapsamda, Toplam Kalite Yönetimi, Ar-Ge, Proje Mühendisliği gibi pek çok işletme biriminin faaliyetleri, proje kapsamında değerlendirilmektedir. Proje planlamanın bu yüz yılda istenilen gelişimi sağlayamamasının diğer bir nedeni ise, bu konudaki problemlerin birçoğunun çözümü çok zor NP-hard (Non-Polynomial - hard in the strong sense) problemler olmasıdır. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi ile Zaman-Maliyet Ödünleşim Problemi bu problemlere örnektir. Her ne kadar uzun yıllar proje planlama metod ve tekniklerinde çok önemli gelişmeler sağlanamasa da, son yıllarda işletmelerin proje yönetimi uygulamalarına daha fazla önem vermesi, proje yönetiminin uygulanma alanlarının genişlemesi, donanım ve yazılım teknolojisindeki ilerlemeler, proje planlama yöntemlerinde farklı yaklaşımların ortaya koyulabilmesi adına umut verici gelişmeler olarak değerlendirilmektedir.

### 1.1. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME

Planlama ve çizelgeleme pek çok değişkenin dikkate alındığı karmaşık bir konudur. Buna göre proje planlama, projenin yönetimi aşamalarından ilkidir. Planlama kapsamında proje faaliyetleri, faaliyetlerin süreleri, faaliyetler için tahsis edilecek kaynak, kaynak kısıtları, faaliyetlerin mantıksal öncelik ilişkileri ve projeyi oluşturan proje elemanlarına ait tanımlamalar gerçekleştirilir. Çizelgelemede ise proje amaç ya da amaçlarını karşılamak adına proje faaliyetlerinin sıralanması yapılmaktadır. Bu sıralamada, planlamada ortaya konulan proje tanımlamaları ve kısıtlarına uyulmak

zorundadır. Planlama ve çizelgeleme bir biriyle iç içe geçmiş süreçlerdir. Planlama yapılırken çizelge de oluşturulmakta, planlama kapsamında yapılan değişiklikler neticesinde çizelge değiştirilebilmekte ya da çizelgelemede yaşanan bir problem nedeniyle planlamada yapılan tanımlamalar değiştirilebilmektedir.

Çizelgeleme, projeyi oluşturan faaliyetlere ait sürelerin, faaliyetlerin öncelik ilişkilerinin, kullanılan kaynak tip ve miktarlarının, belirli dönem aralıkları için tanımlanan kaynak kısıtlarının, kaynak tüketim şekillerinin ve diğer kısıtların problemin yapısını değiştirdiği, bu nedenle pek çok farklı problem türünün söz konusu olduğu bir problemdir. Aslında sadece bir değişkenin stokastik ya da deterministik olarak tanımlanması bile, çizelgeleme için tamamen farklı iki durum oluşturmaktadır. Proje planlama ve çizelgelemedeki bu kompleks yapı, araştırmacıları, problemleri sınıflandırıp, farklı problem türleri için varsayımlar yapmaya itmiştir. Bu şekilde onlarca farklı özel problem oluşturulmuş ve çalışmalar özelleştirilmiş problemler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Proje planlama teknikleri ve proje çizelgeleme problemleri konusunda literatürde çok farklı çalışmalar bulunmaktadır. Buna göre kaynak ve faaliyetlerin deterministik ya da stokastik olması, faaliyetlerin çok modlu ya da tek modlu olması, proje amacının süre ya da kar odaklı olması, vb. farklılıklar, özel planlama ve çizelgeleme problemlerinin türetilmesine neden olmuştur. Bunun sonucunda da farklı problem türleri için farklı metodolojiler geliştirilmiştir.

## **1.2. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME YAKLAŞIMLARI**

1950'li yıllara kadar Gantt şeması, proje planlamada en önemli teknik olarak kullanılmıştır. Daha sonraları, Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method – CPM) ile Program Değerlendirme ve Kontrol Tekniği (Program Evaluation and Review Technique - PERT) proje planlama ve çizelgeleme için vazgeçilmez yöntemler olmuşlardır. Bu yöntemler proje faaliyetlerinin sıralanmasında, faaliyetlerin mantıksal öncelik ilişkileri ve sürelerini dikkate almakta, kaynak kısıtlarını ise göz ardı etmektedir. Günümüzde de proje mühendislerince aktif olarak kullanılan bu metodların, planlama ve çizelgeleme konusunda ihtiyaçlara tam olarak cevap verdiği söylenemez.

Kaynakların dikkate alınması ile oluşan kaynak kısıtlı çizelgeleme problemlerine ait yöntemler, projelere ait pek çok varsayım üzerine bina edilmektedir. Bu nedenle kaynak kısıtlarının dikkate alındığı KKPÇP yöntemleri gerçek projelerin planlanma ve çizelgeleme faaliyetlerinde aktif olarak kullanılamamaktadır. Bu yöntemler üzerinde akademik çalışmalar devam etmekte ve elde edilen başarıların projelere ait planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinde kullanılabilmesi amaçlanmaktadır. KKPÇP'leri çözüm yöntemleri, kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yaklaşımlardır. Buna göre matematiksel yaklaşımlar olarak da ifade edilen kesin çözüm yöntemleri, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde çok sayıda faaliyetin olmadığı basit problemlerde kullanılabilir. Matematiksel yöntemlerden tamsayılı programlama, dal sınır yöntemi ve dinamik programlama sıkça kullanılan metotlardır. Problemler karmaşık bir yapı aldıkça sezgisel yaklaşımlardan daha çok yararlanılmaktadır. Bunun birkaç nedeni bulunmaktadır. Bu nedenlerden ilki karmaşık sistemlerdeki matematiksel modelleri oluşturmanın zorluğudur. Diğer bir neden ise problemin karmaşıklığı arttıkça kesin çözüm yöntemlerinin bir son çözüm değeri üretmemesidir. Ayrıca, her bir proje için ayrı bir model kurmanın gerekliliği de unutulmamalıdır. Bu sebeple bu problemlerde sezgisel yöntemlerin daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Problemlerin çözümünde, basit sezgiseller ya da meta sezgiseller kullanılabilir. Kaynak kısıtlı çizelgeleme ve atama problemlerinde genetik algoritma, karınca koloni yöntemi gibi farklı algoritmalara sahip meta sezgisel yöntemler, karmaşık çizelgeleme problemlerinde çoğu zaman en iyi sonuca ulaşılmasa da en iyiye yakın bir değer elde edilebilmektedir. Bu algoritmaların, her birinin kendine özel kural ve değerlendirme sistemleri bulunmaktadır. Elde edilen çözümün başarısı algoritmaya göre değişebildiği gibi problemin yapısına göre de değişebilmektedir. Meta sezgisel yöntemlerin genel olarak, her faaliyeti ayrı ayrı ve teker teker ele alması neticesinde, paralel faaliyetlerde kaynak atamalarında başarı düzeyi düşebilmektedir. Ayrıca genetik algoritma gibi birçok meta sezgisel yöntem uzun bir işlem süresine ihtiyaç duymaktadır. Bunun dışında stokastik özellik taşıyan problemler için sezgisel algoritmaların şekillendirilmesinin ve problemin modellenmesinin de oldukça güç olduğu bilinmektedir. Bu nedenle sezgisel yöntemler proje çizelgeleme problemlerinde gerçek proje problemleri yerine, çok sayıda varsayımdan oluşan yapay problemleri değerlendirebilmektedir.

Matematiksel modeller ve sezgisel yöntemlerden farklı olarak, kısıtlar teorisinden türetilmiş olan algoritma ve metotlara dayanan Kritik Zincir Proje Yönetimi metodolojisi de son yıllarda dikkat çeken çalışmalardandır. Yu ve arkadaşlarının, Yu ve diğ., 2003). çalışması bu konuda yapılan çalışmalardan biridir. Bu yaklaşım ile diğer yöntemlerden farklı olarak projedeki darboğazlar incelenmekte ve yapılan çeşitli varsayımlar ile bazı proje kısıtları değiştirilmekte, proje problemi yeniden oluşturularak planlama yapılmaktadır.

### **1.3. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEMEDE SİMÜLASYON**

Simülasyon, karmaşık sistemlerin modellenmesi ile sistem içerisinde farklı yaklaşımların değerlendirilmesini gerçekleştiren bir metodolojidir. Simülasyon ile gerçek hayatta karşılaşılan problemler, en az varsayımla, gerçeğe yakın olarak modellenebilmektedir. Modelleme aşamasında gerçek sistemlerdeki stokastik durumlar modelde tanımlanabilmektedir. Bununla birlikte klasik simülasyon yaklaşımları ile optimal ya da optimale yakın bir çözüm elde edilemez. Bunun nedeni simülasyonun optimizasyon aracı değil, problemi tanımlama aracı olmasıdır. Simülasyon kullanarak kaynak atama ve çizelgeleme probleminde kesin bir çözüm üretilmez. Çözüm elde edebilmek için simülasyonda sistem parametreleri değiştirilerek farklı testler gerçekleştirilmeli ve bu testler neticesinde elde edilen değerlerin amaç fonksiyonuna göre değerlendirilmesi yapılmalıdır. Proje çizelgeleme problemlerinde ise çok fazla sayıda çözüm alternatifi bulunmaktadır. Bu alternatif çözümlerin değerlendirilmesi çok fazla zaman alacaktır. Öyle ki kaynak kısıtlı çizelgeleme gibi alternatif çözümlerin tahmin edilemeyeceği kadar çok olduğu problemlerde, farklı alternatif atamalarla en iyi çözümü bulmak yüzlerce yıllık bir uğraşı gerektirebilir. Bu nedenle klasik simülasyon, proje çizelgeleme problemlerinde sadece alternatif çizelge sayısının çok az olduğu küçük problemlerde kullanılabilir.

### **1.4. ÖNERİLEN YAKLAŞIM**

Proje planlama ve çizelgeleme yöntemlerinden, Gantt şeması, CPM ve PERT gibi klasik yöntemler kaynak kısıtlarını dikkate alamamaktadır. Ayrıca CPM’de stokastik yapı tamamen göz ardı edilirken, PERT sadece süreleri stokastik olarak ele alabilmekte,



kaynak bulunabilirliklerinin stokastik yapısını değerlendirememektedir. Kaynak kısıtlarının dikkate alındığı KKPÇP çözüm yöntemlerinde ise gerçek hayattaki problemlere, pek çok kabul ve varsayım yapıldıktan sonra çözüm aranmaktadır. Bu sebeple bu yöntemlerdeki modellerin gerçek problemleri temsil ettiği söylenemez. Problemlerin karmaşıklaşması ve stokastik yapının da probleme dahil edilmesi durumunda bu metotlardan yararlanılamamaktadır.

Bu çalışma ile proje çizelgelme problemleri için, proje problemini temsil kabiliyeti yüksek, farklı çözümleri izleme ve analiz etme yeteneğine sahip, proje süresinin en küçüklenmeye çalışıldığı simülasyon tabanlı bir proje planlama ve çizelgeleme yaklaşımı ortaya konulmuştur. Çalışmada farklı proje problemlerinin kaynak kısıtlı çizelgelemesini gerçekleştirecek bir simülasyon modeli oluşturulmuş, bu model içerisine yerleştirilen sezgisel algoritma ile çözüm uzayı daraltılarak alternatif iyi çizelge çözümlerinin üretilmesi sağlanmıştır. Simülasyon tabanlı çizelgeleme ile kaynak kısıtlı atama ve çizelgeleme problemleri daha kolay ve gerçeğe daha yakın tanımlanabilmektedir. Ayrıca simülasyon yardımıyla, proje şartlarının değişmesi ile farklı alternatiflerin değerlendirilebilmesi, çalışmaya farklı bir yön kazandırmıştır. Bu şekilde projedeki belirsizliklerin analiz edilmesi ve farklı senaryoların test edilmesi gerçekleştirilebilmektedir.

Çalışmada simülasyon tabanlı çizelgeleme modelinin başarısı, farklı proje çizelgeleme problemleri üzerinde test edilmiştir. Buna göre, farklı kaynak sayıları ve kısıtlarının bulunduğu, faaliyet sürelerinin bazılarının deterministik, bir kısmının ise stokastik olduğu, kaynak bulunabilirliklerinin değişken olduğu, faaliyetlerin birden fazla şekilde gerçekleştirilebilme durumunun söz konusu olduğu (çok modlu durum) çizelgeleme problemleri ele alınmış, alternatif çizelgeleme çözümleri üretilmiştir. Çözümler üzerinde farklı analizler gerçekleştirilmiş, proje tamamlanma süresi ve olasılıkları ile ilgili raporlar çıkartılmıştır. Ayrıca bazı proje örneklerinde, farklı senaryolar üretilerek, faaliyet süreleri ve kaynak kısıtlarında yapılabilecek değişikliklerin, projeler üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bunun dışında, deterministik özelliğe sahip projeler için, Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli ile MS Project 2007 yazılımı çizelgeleme çözümleri karşılaştırılmış, model içerisindeki sezgisel algoritmanın başarısı analiz edilmiştir.

## 1.5. ÇALIŞMAYI OLUŞTURAN BÖLÜMLER

“Proje Gerçekleştirilmesi Sürecinde Temel Amaçların Dinamik Simülasyon Tabanlı Optimizasyonu” tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Buna göre “Giriş” bölümünden sonra “Genel Kısımlar” bölümünde, konu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar anlatılmıştır. Üçüncü bölüm olan “Malzeme ve Yöntem”, dört farklı konudan oluşmaktadır. Bu bölümde ilk olarak proje çizelgeleme konusu ile ilgili bilgiler verilmiştir. Daha sonra sırasıyla, kaynak kısıtlı çizelgeleme problemi ile simülasyon ve modelleme konularına yer verilmiştir. Malzeme ve Yöntem bölümünde son olarak, geliştirilen, “Simülasyon Tabanlı Proje Çizelgeleme Modeli” incelenmiştir. “Bulgular” tezin dördüncü bölümüdür. Tez çalışmasında ortaya konan çizelgeleme modeline ait uygulama ve test sonuçlarının yer aldığı bu bölüm içerisinde, test problemlerine ait bilgiler, çizelgeleme sonuçları, risk raporları ve proje senaryolarına ait örnekler ile çizelgeleme kabiliyetinin MS Project 2007 ile karşılaştırıldığı istatistiksel analiz bulunmaktadır. “Tartışma ve Sonuç” tez çalışmasının son bölümüdür. Bu bölümünde simülasyon tabanlı çizelgeleme modeli tartışılmış, ortaya konulan amaçların, hangi düzeyde gerçekleştirilebildiği sorgulanmıştır. Bölüm sonunda, gelecekte yapılabilecek farklı çalışmalara ait öneriler paylaşılmıştır.

## **2. GENEL KISIMLAR**

Son yıllarda proje yönetiminin 1950'lerdeki popülaritesini yeniden kazandığı görülmektedir. Ray ve Rinzler (1993), proje yönetimine olan ilginin artmasını, iş yapma biçimindeki paradigma değişimi ile açıklamaktadır. Bu kapsamda günümüzde pek çok işletmede, çalışma anlayışının değiştiği görülmektedir. Artık işletmeler operasyonel işler yapan çalışanların oluşturduğu birimleri bile ekip olarak ifade etmekte ve bu ekiplerden standart işleri dışında, iyileştirme projeleri üretmelerini beklemektedir. İşletmelerin proje yönetimine daha fazla eğilmesi neticesinde, proje yönetimi konusunda yayınlanan çalışmaların, düzenlenen seminer ve eğitimlerin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte oluşan bu yüksek talep, proje yönetimi konusunda beklentileri de artırmıştır.

### **2.1. PLANLAMA VE ÇİZELGELEME AMAÇLARI**

Proje yönetimini süreçleri genel bir yaklaşımla üç aşamada toplanabilir. Buna göre proje yönetiminde birinci aşama planlama aşamasıdır. Planlama evresinde projeyi oluşturan her bir faaliyet tek tek tanımlanır. Faaliyet süreleri ve mantıksal öncelik ilişkileri belirlenir. Bu ilişkiler bir serim ya da çizelge üzerinde gösterilir. Yine bu aşamada faaliyetler için gerekli olan kaynak ihtiyacı ve diğer finansal hesaplamalar çıkartılır.

İkinci aşama çizelgeleme aşamasıdır. Bu aşamada genel olarak faaliyetlerin öncelik ilişkileri, süreleri ve kaynak miktarları dikkate alınarak atanması (başlangıç ve bitiş süreleri tanımlanacak şekilde sıralanması) gerçekleştirilir. Bu aşamada her bir faaliyetin en erken, en geç başlama ve bitiş zamanları ile bollukları hesaplanır. Çizelgeme aşamasında proje süresini ve toplam maliyeti en küçükmek, kaynak kullanım oranını arttırmak gibi farklı amaçlar gözetilebilmektedir.

Üçüncü ve son aşama ise kontrol aşamasıdır. Bu aşamada, daha önceden oluşturulmuş çizelge ile fiili proje durumu karşılaştırılır. Projede çizelgeden farklı bir durum söz

konusu olduğunda, çizelge revize edilebildiği gibi projede ek kaynak tahsisi ya da faaliyetlerin bekletilmesi gibi farklı stratejiler ile projenin gidişatı çizelgeye uygun duruma getirilebilir.

Günümüzde yüksek rekabet şartları, projelerin minimum kaynak ve maliyet ile en kısa sürede gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Planlama ve çizelgeleme aşamasında en yaygın amaç proje süresinin en küçüklenmesidir. Son yıllarda süre ve maliyet minimizasyonu dışında, kaynak kullanım oranlarının önemi de vurgulanmaya başlanmıştır. Pek çok işletmenin benimsediği yalın üretim felsefesine göre kaynakların boş beklemesi, büyük bir israf olarak kabul edildiği için günümüzde planlama ve çizelgelemede kaynak kullanım oranlarının en büyüklenmesine büyük önem verilmektedir. Ayrıca tam zamanında üretim felsefesinin etkisi ile bazı projelerde en önemli amaç, proje süresinin en küçüklenmesi yerine, projenin erken bitirme ve geç kalma süreleri toplamının en küçüklenmesi olarak da tanımlanabilmektedir.

## **2.2. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME METOTLARI**

Proje planlama ve çizelgeleme konularında Gantt Şeması uzun yıllar en önemli araç olmuştur. Fakat Gantt ile proje faaliyetleri arasındaki ilişkiler tam olarak ifade edilememiştir. 1950'lerden sonra geliştirilen CPM ve PERT şebeke diyagramlarıyla, faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri daha net ortaya konulabilmiştir. Bununla birlikte şebeke diyagramları da çok sayıda eleştiri almıştır. Peer (1974), Laufer ve Tucker (1987) CPM'in kısıtlı kaynak ortamında, kaynak kullanımlarını göz ardı etmesini önemli bir eksiklik olarak belirtmişlerdir. Diğer taraftan, CPM deterministik yapısı nedeniyle projelerin stokastik ve dinamik yapısını dikkate alamamaktadır (Haplin ve Riggs, 1992). PERT'in projelerdeki stokastik davranışları, sadece beta dağılımını dikkate alarak kısıtlaması da eleştirilen konulardandır. Bunlar dışında özellikle tekrarlı faaliyetler içeren, inşaat projeleri gibi çok tekrarlı faaliyete sahip projelerin CPM ile gösterilmesi, çok karmaşık ve büyük bir şebekenin oluşturulmasını gerektirmektedir (Senior, 1995; Harris, 1998). Bu durumda hem planlama aşaması zorlaşmakta, hem de yapılan plan ve çizelge okunamamaktadır. Ayrıca oluşturulan çizelgelerin kaynakları ve pek çok diğer kısıtı dikkate alamaması nedeni ile ilk planların revize edilerek sürekli yenilenmesine ihtiyaç vardır.

CPM ve PERT'in planlama ve çizelgelemedeki eksiklikleri neticesinde kaynak kısıtlı çizelgeleme problemleri üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yöneylem araştırması alanında proje yönetimine olan ilgi, proje planlama ve takibi başlığı altında odaklanmış ve genellikle proje çizelgeleme üzerinde durulmuştur. Proje çizelgeleme alanında, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme konusu oldukça yoğun olarak işlenmiştir (Ulusoy, 2002). Literatürde kaynak kısıtlı çizelgeleme problemleri çözümünde iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Buna göre çözüm yöntemi olarak, kesin sonuç veren matematiksel modeller ile optimum çözümü bulamasa da iyi çözümler üretebilen sezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Badiru (1991), Padilla ve Robert (1991) kaynak kısıtlı çizelgelemede matematiksel modeller kullanmışlardır. Çalışmalarda kesin çözüm yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanları, lineer programlama, tam sayılı programlama ve dal sınır yöntemi olarak ifade edilmektedir. Bu yöntemler ile elde edilen sonuçlar probleme ait en iyi çözüm değerleridir. Fakat kesin çözüm yöntemlerinin uygulama alanları çok sınırlıdır. Klein (2000), genel olarak kesin çözümleri yöntemleri kullanmanın, hesaplama zamanı açısından uygun olmayacağını ifade etmiştir. Matematiksel modeller çoğu zaman gerçek hayattaki küçük projelerin bile çözümünü üretmekte yetersiz kalmaktadır. Matematiksel modellerin eleştirilen diğer bir tarafı, modelleme zorluğudur. Özellikle tekrarlı faaliyetlerin olduğu büyük projelerin matematiksel modellerini oluşturmak neredeyse imkansızdır.

Sezgisel yöntemler ikiye ayrılmaktadırlar. Birinci grupta, öncelik kurallarına dayalı çözüm üreten sezgisel yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlarda en kısa işlem süresi (*shortest processing time* - SPT), en kısa boşluk süresi (*minimum slack* - MSLK), en çok sayıda toplam ardıl (*most total successor* - MTS) gibi sezgisel kurallar tanımlanarak, atanacak faaliyetlere karar verilir.

Öncelik kurallarına dayalı çözüm üreten sezgisel yöntemler, üretilen çözüm sayısına göre farklılık göstermektedirler. Buna göre tek çözüm üreten ve çok çözüm üreten şeklinde bir ayrıma gidilmektedir. Tek çözüm üreten sezgisellerde kurallar katıdır. Çok çözüm üreten sezgisel yöntemlerde önceden belirlenmiş sayıda çizelgeleme türetilerek

aralarından en iyisi seçilir. Bir çözüm elde etmenin, çözüm süresinin azlığı, algoritmayı çok kere uygulamayı hesap süresi bakımından olurlu hale getirmiştir. Meta-sezgisel yöntemlerin genelde kombinatoryal eniyilemede özelde ise proje ve makine çizelgelemede giderek daha yaygın bir kullanımı görülmektedir (Ulusoy 2002).

Literatürde, KKPÇP’de sezgisel yaklaşım kullanan pek çok çalışma vardır. Tsa ve Douglas (1998), De Reyck ve Herroelen (1999) farklı kaynak kısıtlı çizelgeleme problemlerine sezgisel algoritmalar yardımı ile çözüm üretmeye çalışmışlardır. Bununla birlikte literatürde kaynak kısıtlı çizelgeleme problemlerinin büyük bölümünde meta sezgisel yaklaşımlar ile yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Proje çizelgeleme probleminde en yaygın kullanılan meta sezgisel yaklaşımlar, genetik algoritmalar, tavlama benzetimi yöntemi (simulated annealing method) ve tabu tanımlayarak arama yöntemidir (tabu search). Sezgisel algoritmaların, matematiksel modellere göre daha çok tercih edilme nedeni, çözüm üretebilme kabiliyetleridir. Bununla birlikte sezgisel yöntemlerle çalışmak matematiksel modeller kurmaktan çok daha kolaydır.

Sezgisel algoritmaların eleştirilen yönlerinin başında stokastik modellemenin sezgisellerde kolay tesis edilememesi gelmektedir. Ayrıca pek çok sezgisel yöntem, problemin gerçek yapısını modelleyemediği için çok sayıda varsayım kullanmaktadır. Bu nedenle, gerçek problemlerin çizelgeleme çözümünün sezgiseller ile elde edilmesi çok zordur. Sezgisel yöntemlerin en fazla eleştiri alan konularından birisi ise ihtiyaç duyulan sürelerdir. Buna göre karmaşık proje çizelgeleme problemlerinde, çok fazla kural çalıştığı için, pek çok meta sezgisel (örneğin genetik algoritmalar) uzun bir işlem süresine ihtiyaç duymaktadır.

### **2.3. SİMÜLASYON TABANLI PROJE PLANAMA VE ÇİZELGELEME**

Proje çizelgeleme ve planlama problemlerinde literatürdeki yöntemler incelendiğinde simülasyonun ya da diğer bir ifadeyle kesikli olay benzetiminin bir alternatif olabileceği iddia edilmiştir (Carr, 1979). Senior ve Halpin, simülasyon ve CPM birleşimi ile CPM’in eksikliklerinin giderileceğini ifade etmişlerdir (Senior, 1995), (Senior ve Halpin, 1998), Benzer bir öneri, Lu ve Abourizk (2000) tarafından da yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda simülasyon ile farklı duyarlılık analizlerinin yapılmasının,

özellikle kaynak kullanım oranlarının izlenebilmesinin önemi vurgulanmıştır. Ayrıca simülasyon ile projelerdeki stokastik yapıların gerçeğe uygun modellenebilmesi ile gerçek problemler için en etkili çözüm olabileceği savunulmuştur. Diğer taraftan simülasyonun çizelgeleme problemlerinde uygulanabilmesi için pek çok engel mevcuttur. Özellikle modelleme aşamasındaki zorluklar önerilen farklı çalışmalara engel olmuştur (Senior, 1995).

Proje planlama ve çizelgelemede simülasyon kullanımının oluşturduğu problemlerden birincisi projelerin büyük ve karmaşık bir modellemeye ihtiyaç duymasıdır. Büyük projeler için, model kurucular her faaliyeti ve olayı dikkate almak durumunda kalmışlardır. Özellikle bilgisayarların günümüzdeki kadar hızlı olmadığı 1980'lerde simülasyon ile orta ölçekli bir projenin modellenmesi dahi imkansız olarak kabul edilmiştir. Simülasyon kullanımını kısıtlayan ikinci durum ise mantıksal ilişkilerden kaynaklanmaktadır. Bu ilişkilerin simülasyonda ifade edilmesi kolay değildir. Simülasyon içerisinde, CPM'de olduğu gibi ileri geri hesaplamalar yaparak bollukları hesaplamak, kaynak kısıtlarının dikkate alındığı farklı atama kombinasyonlarını değerlendirmek ve faaliyetleri çizelgelemek çok zor bir faaliyettir. Simülasyonun atama özelliği olmaması ve çözüm üretememesi de klasik simülasyon yöntemleri ile çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmayacağını düşündürmüştür.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde proje çizelgeleme problemlerinde, problemin mevcut yapısına yakın bir modellemenin yapıldığı, varsayımların en aza indirildiği, çözüm alternatiflerinin karşılaştırılabildiği bir yöntem ihtiyacı olduğu görülmektedir. Simülasyon problemin doğru şekilde tanımlanabilmesi için iyi bir yaklaşım olmasına rağmen, bir çözüm aracı değildir. Bu sebeple yapılan çalışmada faaliyet tabanlı simülasyon modeline, geliştirilen bir sezgisel yöntem entegre edilmiş, bu şekilde çizelgeleme alternatiflerinin üretilmesi sağlanmıştır. Faaliyet tabanlı simülasyon ile projede olayların gerçekleşmesi ile birlikte güncelleme aktif duruma gelmekte ve tüm hesaplamalar yenilenmektedir (toplam bolluklar, kritik yol vb.). Ayrıca her atama için, sezgisel kurallar devreye girerek alternatif çözümler kaydedilmektedir. Elde edilen çözümlerde duyarlılık analizleri yapılabilmekte, ayrıca tüm alternatif çözümlere ait istatistiksel raporlar alınabilmektedir. Bu şekilde proje çizelgeleme problemlerinin daha gerçekçi modellenmesi, stokastik yapıların dikkate alınması,

alternatif çözümlerin değerlendirilebilmesi ile var olan çözüm metodolojilerine alternatif bir yaklaşım ortaya konulmuştur.



### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

Proje çizelgeleme problemi, proje yönetimi konuları içerisinde, üzerinde en fazla çalışılan problemlerden birisidir. Çalışmada “Simülasyon Tabanlı Proje Çizelgeleme” ile proje çizelgeleme için farklı bir yaklaşım sunulmuştur. Bu bölümde, ortaya konan yaklaşımdan önce, çalışmanın altyapısı ile ilgili temel konular incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle proje çizelgeleme, kaynak kısıtlı çizelgeleme ve simülasyon konuları anlatılmış, son bölüm ise geliştirilen yaklaşıma ayrılmıştır. Buna göre ilk olarak bölüm 3.1’de, “Proje Çizelgeleme” başlığı altında sırasıyla, proje çizelgeleme elemanları, şebeke diyagramları, proje çizelgeleme amaçları anlatılmış, proje çizelgeleme problemi gösterimi verilmiştir. Bölüm 3.2’de “Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi” açıklanmıştır. Bu bölüm alt başlıklarında ise problemin tanımı ve sınıflandırılması, gösterimi ile literatürdeki çözüm yöntemlerine yer verilmiştir. Bölüm 3.3’te “Simülasyon ve Modelleme” konusu incelenmiştir. Son olarak, bölüm 3.4’te geliştirilen yaklaşım, “Simülasyon Tabanlı Proje Çizelgeleme Modeli” anlatılmıştır.

#### **3.1. PROJE ÇİZELGELEME**

Proje çizelgelemeye geçmeden önce kısaca proje ve proje yönetimi kavramlarının açıklanmasında fayda vardır. Turner’a (1993) göre proje; “Niteliksel ve niceliksel amaçlar ile tanımlanmış, zaman ve maliyet kısıtları olan, fayda sağlayıcı, özel ve kapsamlı işleri gerçekleştirebilmek adına, insan, malzeme ve finansal kaynakların organizasyonundan oluşan bir çalışmadır”. Projeler, çeşitli kısıtları göz önünde bulundurarak, özel bir ürün veya hizmet üretmek için gerçekleştirilen işler bütünüdür. Projeler pek çok faaliyetten oluşan kompleks bir yapıya sahiptir. Ayrıca bir çalışmanın proje olarak kabul edilebilmesi için, çalışmadaki faaliyetlerin tekrarlı rutin işler olmaması gerekmektedir.

Proje yönetimi, “Projelerin, sistematik yöntemler ile planlandığı ve yürütüldüğü bir yönetim disiplini” şeklinde tanımlanabilir. Milli Prodüktivite Merkezi (2005), proje

yönetimini; “Projelerin, zaman, performans ve kaynak kriterleri ile kısıtları uyarınca önceden belirlenmiş hedefe ulaşmak için sürdürülen planlama, organizasyon, yönetim, kaynakların tahsisi ve kullanımı, uygulama, izleme, kontrol ve değerlendirme faaliyetlerinin bir bütünü” olarak tanımlamıştır.

Proje yönetiminde en karmaşık problemlerden birisi çizelgelemedir. Çizelgeleme, pek çok faaliyeti içeren bir işe ait faaliyetlerin, atanmasına yönelik bir karar sürecidir. Pinedo (1995) çizelgelemeyi, ilerleyen süre içerisinde, kısıtlı kaynakların işlere atanması, şeklinde ifade etmektedir. Literatürde üzerinde çalışılan başlıca iki çizelgeleme problemi bulunmaktadır. Bunlar iş çizelgeleme (job scheduling) ve proje çizelgeleme (project scheduling) problemleridir. Park, Choi ve Kim (2003), çizelgeleme problemlerinin spesifik üretim faaliyetlerine göre son derece farklılık göstermekle birlikte, problemlerin bir çoğunun çözümünün çok zor, NP-hard (Non-Polynomial - hard in the strong sence) olduğunu ifade etmişlerdir. Öyle ki günümüz bilgisayarları ile bazı çizelgeleme problemlerinin matematiksel yöntemler ile çözümü için yüzlerce yıl gerekebilir. Bu uzun süreler çizelgeleme problemlerinde matematiksel modellerin çoğu zaman yetersiz kaldığını göstermektedir.

Proje planlama ve çizelgelemenin tam olarak kavranabilmesi için bu bölümde öncelikle proje çizelgeleme elemanları ele alınmıştır. Daha sonra yaygın olarak kullanılan planlama ve kontrol teknikleri ile proje faaliyetlerinin şebekeler üzerindeki gösterimleri anlatılmıştır. Proje çizelgeleme konusu içerisinde, üçüncü başlık altında, proje çizelgeleme amaçları incelenmiştir. Son olarak proje çizelgeleme probleminin gösterimine yer verilmiştir.

### **3.1.1. Proje Çizelgeleme Elemanları**

Bir projeyi oluşturan pek çok proje bulursa da, proje temel öğelerini; faaliyetler (activities), faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri (precedence relations) ile kaynaklar (resources) oluşturmaktadır. Bu bölümde proje çizelgeleme kapsamında projeyi oluşturan bu öğeler incelenmiştir.

#### **3.1.1.1. Faaliyetler**

Projelerin yapı taşları faaliyetlerdir. Literatürde faaliyetler, aktivite, iş ve operasyon (activity-job-operation) gibi farklı isimler alabilmektedir. Projenin tamamlanabilmesi

için, tanımlanan tüm faaliyetlerin bitirilmesi gerekmektedir. Bir faaliyetin süresi, diğer faaliyetler ile olan öncelik ilişkileri, faaliyet için tahsis edilen kaynaklar, maliyetler vb. bilgiler, faaliyetlerin tanımlanması için kullanılmaktadır.

Her bir faaliyetin tamamlanma süresi, kaynakların nasıl ve ne miktarda kullanıldığına bağlıdır. Bir faaliyet için tanımlanmış farklı kaynak kullanım durumları ile buna bağlı oluşan süre, “mod” (mode) olarak ifade edilmektedir. Her mod, bir faaliyeti gerçekleştirebilmek için kullanılan kaynak ve buna bağlı süreyi belirtmektedir (Sung ve Lim, 1997). Aşağıdaki tabloda bir faaliyet için farklı mod örnekleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Faaliyet mod örnekleri

Faaliyet	Kullanılan Kaynak	Süre	Mod
Veri Analizi	1 Veri Girici - 1 Analist	4 Gün	Mod1
Veri Analizi	2 Veri Girici - 1 Analist	3 Gün	Mod2
Veri Analizi	2 Veri Girici - 1 Uzman	2 Gün	Mod3

Kaynakların kesikli olduğu durumlarda, her bir süre kaynak çifti bir mod olarak tanımlanmaktadır. Bir ya da daha fazla faaliyetin birden çok moda sahip olduğu çizelgeleme problemleri, çok modlu problemlerdir (multi-mode problem). Bir projenin tüm faaliyetleri için sadece bir seçenek (bir mod) varsa, bu durumda çizelgeleme problemi tek modlu (single-mode problem) olarak ifade edilmektedir.

### 3.1.1.2. Mantıksal Öncelik İlişkileri

Projeleri oluşturan faaliyetlerde mantıksal öncelik ilişkileri bulunmaktadır. Tesis içi yerleşim projesinde alternatif yerleşim şekillerine ait taşıma maliyetlerinin hesaplanması işinden önce, alternatif yerleşim şekillerinin oluşturulma zorunluluğu, öncelik ilişkisi örneği olarak verilebilir. Buradaki ilişki, bir faaliyetin başlayabilmesi için, diğer bir faaliyetin tamamlanmış olmasıdır. Bu öncelik ilişkisinden başka, faaliyetler arasında farklı ilişkiler de söz konusu olabilmektedir. Proje çizelgeleme problemlerinde, değişik durumları modelleyebilmek adına “Genelleştirilmiş Öncelik İlişkileri” (Generalized Precedence Relations - GPRs) tanımlanmıştır. Buna göre tanımlanan öncelik ilişkileri şunlardır.

- Başlangıç-Bitiş (Start to Finish - SF): Bir faaliyetin tamamlanabilmesi için diğer faaliyetin başlatılmış olması gerekliliğidir.
- Başlangıç-Başlangıç (Start to Start - SS): Bir faaliyetin başlatılabilmesi için diğer faaliyetin başlamış olması zorunluluğudur.
- Bitiş-Başlangıç (Finish to Start - FS): Bir faaliyetin başlatılabilmesi için diğerinin tamamlanması gerekliliğidir.
- Bitiş-Bitiş (Finish to Finish - FF): Bir faaliyetin tamamlanabilmesi için diğer faaliyetin bitmiş olması ilişkisidir.

Yukarıda verilen öncelik ilişkilerinin dışında bekleme süreleri (lag time) de faaliyetlerin başlangıç ve bitişini etkilemektedir. Bekleme süresi, faaliyetlerin mantıksal ilişkileri arasındaki zorunlu beklemedir. Bu süre, net bekleme süresi şeklinde tanımlanabileceği gibi en az bekleme süresi (minimal time lag) veya en çok bekleme süresi (maximal time lag) olarak da tanımlanabilmektedir.

Projelerde yaygın olarak faaliyetler arasında Bitiş-Başlangıç (FS) ilişkisi kullanılmaktadır. Bazı projelerde Bitiş-Başlangıç ilişkisinin yanında Başlangıç-Başlangıç (SS) mantıksal ilişkisine de rastlanırken, Bitiş-Bitiş (FF) ve Başlangıç-Bitiş (SF) ilişkisi çok özel durumlarda söz konusu olabilmektedir. Bu sebeple çoğu proje tanımında, faaliyetler arasındaki ilişki hep aynı şekilde gösterilmiş fakat bu ilişki ifade edilmemişse, bu ilişkinin FS ilişkisi olduğu kabul edilmektedir.

Bir projedeki faaliyet “*u*” faaliyeti “*v*”den önce geliyorsa bu durum, “ $u < v$ ” şeklinde gösterilmektedir (Elmaghraby, 1995). Aşağıda, Tablo 3.2’de, faaliyetler arasındaki mantıksal ilişki gösterimlerine örnekler verilmiştir. Tabloda, bir “*x*” faaliyetinin tamamlanması “ $f(x)$ ”, aynı faaliyetin başlaması ise “ $s(x)$ ” şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Faaliyetlerin öncelik ilişkileri gösterimi

Gösterim	Öncelik İlişkisi ve Açıklaması
$f(b) \geq s(a) + 2$	SF ilişkisi; b faaliyeti, a nın başlama zamanından 2 birim zaman sonra bitebilir.
$s(b) \geq s(a) + 4$	SS ilişkisi; b faaliyeti, a nın başlama zamanından 4 birim zaman sonra başlayabilir.

---

$s(b) \geq f(a) + 3$  FS ilişkisi; b faaliyeti, a'nın tamamlanma zamanının 3 birim zaman sonrası başlayabilir.

$f(b) \geq f(a) + 7$  FF ilişkisi; b faaliyeti, a'nın bitme zamanının 7 birim zaman sonrası bitebilir.

---

### 3.1.1.3. Kaynaklar

Kaynaklar projelerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli ihtiyaçlardır. Bir projede insan, makine, ekipman, malzeme ve para kaynak olarak ifade edilebilmektedir. Gerçek hayatta kaynaklar her zaman kısıtlıdır. Fakat kaynak temininin sürekli ve çok kolay olduğu ya da kaynak kısıtının göz ardı edildiği durumlarda, kaynak sınırsız kabul edilebilmektedir. Kaynakların sınırlı olduğu çizelgeleme problemleri daha önceden de ifade edildiği gibi literatürde “Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi” (Resource Constraint Project Scheduling Problem) şeklinde ifade edilmektedir.

Literatürde kaynakların farklı şekillerde sınıflandırıldığı görülmektedir. Buna göre en genel sınıflandırma, kaynakların bölünebilirliği ile ilgilidir. Bu sınıflandırmaya göre, iki iş makinesi, 3 operatör gibi bölünebilen kaynaklar kesikli (discrete), su ve elektrik gibi bölünemeyen kaynaklar ise sürekli (continuous) kaynak olarak ifade edilmektedir. Proje çizelgeleme problem tiplerinin farklılaşmasına neden olan sınıflandırma ise kaynakların zaman bazlı kullanım ve tüketimi neticesinde oluşturulmuş sınıflandırmadır. Buna göre kaynaklar; yenilenebilir (renewable), yenilenemez (nonrenewable), çift yönden kısıtlı (doubly constrained) ve kısmi yenilenebilir (partially renewable) kaynaklar olmak üzere dörde ayrılmaktadır (Kolisch ve Padman, 2001). Aşağıda bu kaynak tiplerinin açıklaması ve örnekleri verilmiştir.

- Yenilenebilir (Renewable) Kaynaklar: Sadece bir zaman aralığında kısıtı bulunan, bir faaliyette kullanıldıktan sonra faaliyetin sona ermesi ile tekrar kullanıma hazır duruma gelen, kaynaklardır. Yenilenebilir kaynakların belirli bir zaman içerisinde kullanılacak bir üst limiti vardır (günde 3 tane gibi). Bu kaynaklar zaman içinde tüketilmez ve sayılarında bir eksilme olmaz. Yenilenebilir kaynaklar için verilebilecek en güzel örnek, işgücü, makine ve ekipmanlardır.
- Yenilenemez (Nonrenewable) Kaynaklar: Proje içerisinde bir zaman dilimi içinde herhangi bir kısıtı olmayan, diğer taraftan tüm proje süresi içinde bir

kısıta sahip olan, kullanımları ile tüketilen ve miktarı azalan kaynaklardır. Bir projede kullanılan sarf malzemeler ya da bir projenin bütçesi yenilenemez kaynaklara örnek olarak verilebilir.

- Çift Yönden Kısıtlı (Doubly Constrained) Kaynaklar: Hem proje süresi içerisindeki toplam tüketimlerinde, hem de bir zaman dilimi içindeki kullanımlarında, bir kısıta sahip kaynaklardır. Para çift yönden kısıtlı bir kaynaktır. Burada para bütçe gibi, tüm proje süresi içinde bir harcama limitine sahiptir. Fakat bütçeden farklı olarak, belirli zaman aralıkları içinde de (gün-hafta) bir harcama kısıtına sahip olduğu için çift yönden kısıtlı bir kaynak olarak tanımlanabilmektedir.
- Kısmi Yenilebilir (Partially Renewable) Kaynaklar: Belirli zaman dilimlerinde, farklı kaynak kullanım kısıtları olan, bu şekilde hem yenilebilir hem de yenilenemez kaynaklardaki davranışı sergileyen kaynaklardır. Kısmi yenilebilir kaynaklara örnek olarak, haftalık çalışma saatleri belirlenmiş vardiyalı çalışan işgücü gösterilebilir.

### **3.1.2. Proje Planlama ve Kontrol Teknikleri**

Proje yönetiminde daha önceden bahsedilmiş proje yönetimi aşamalarında planlama ve kontrol teknikleri kullanılmaktadır. 19. yüzyılın ortalarında geliştirilen bu tekniklerin günümüzde de yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Proje faaliyetlerinin çizelgelenmesinde, literatürde “serim” olarak da isimlendirilen şebeke diyagramları (networks) kullanılmaktadır. Bu diyagramlar oluşturulurken her bir faaliyete bir süre verilmekte ve faaliyetler öncelik ilişkileri dikkate alınarak sıralanmaktadır. Çok sayıda faaliyetten oluşan projelerde, şebeke diyagramları ile çizelgeleme ve kontrol aşamaları daha kolay gerçekleştirilebilmektedir.

Bu bölümde öncelikle proje planlama ve kontrol yöntemlerinin kısa tarihsel gelişiminden bahsedilecektir. Daha sonra yaygın olarak kullanılan teknikler anlatılacaktır. Son olarak, faaliyetlerin şebekelerdeki genel gösterimleri ve bu gösterimlerin farklılıkları ele alınacaktır.

#### **3.1.2.1. Proje Planlama ve Kontrol Tekniklerinin Tarihsel Gelişimi**

Bilinen en eski proje yönetimi uygulamaları, M.Ö. 10.000 yıllarına dayanan piramitlerdir. Fakat bu yapıların nasıl inşa edildiğine dair bugün bazı tahminler olsa da

bu projelerin nasıl planlandığına ve nasıl kontrol edildiğine dair yeterli bilgi yoktur (Tekir, 2005). Proje yönetimi ve proje planlama ve kontrol tekniklerinin bugünkü anlamda ilk uygulamalarının, İkinci Dünya Savaşı yıllarında başladığı görülmektedir. Savaş yıllarının beraberinde getirdiği kısıtlayıcı ve zorlayıcı etkiler, özellikle de zaman faktörünün baskısı, Amerika Birleşik Devletleri'nde bazı ulusal ve askeri projelerin gerçekleştirilmesinde, o zamana kadar denenmemiş çalışmaların yapılması ihtiyacını doğurmuştur. Bu kapsamda o dönemdeki organizasyon, planlama, izleme ve kontrol yöntemleri ile çözümü mümkün olmayan karmaşık işlem ve süreçlerin bir arada yönetimi için farklı arayışlar içine girilmiş ve proje yönetimine ait ilk adımlar atılmıştır.

1941 yılında başlatılan “Manhattan Engineering Project” adlı proje ile ilk atom bombasının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu proje sürecinde faaliyetlerin sırası ve tamamlanma zamanları ile ilgili farklı ve çok sayıda kısıt olduğu görülmüştür. Projede, üniversitelerden, sanayi kesiminden, silahlı kuvvetlerden birçok bilim adamına, uzman, mühendislere, askerler ve hükümet yetkililerine ait çalışmaların, projenin nihai hedefi doğrultusunda planlanarak organize edilmesi ve tüm çalışmaların entegrasyonunun sağlanmasının bir zorunluluk olduğu görülmüştür. İlk proje planlama ve kontrol teknikleri, bu ve bunu izleyen bazı askeri amaçlı projelerde ve uzay-havacılık projelerinde kullanılmıştır. Bu süreçte önemli kilometre taşlarından biri de İkinci Dünya Savaşı sonrası ABD’de başlatılan askeri amaçlı “Polaris” programı ile NASA’nın “Apollo” projesi olmuştur. Bu çalışmalar sırasında sistemli olarak kullanılan bazı proje yönetimi teknikleri, verimli sonuçlar üretince, yaygın olarak kabul görmüş ve geliştirilmiştir.

Proje yönetimi tekniklerinin tarihsel gelişimi içerisinde ilk olarak kullanılmaya başlayan tekniklerden birisi Gantt Şemalarıdır. Gantt Şeması, bir proje planlama ve kontrol tekniği olmasına rağmen bir şebeke diyagramı değildir (nonnetwork techniques). Gantt Şemalarının ardından 1950’lerde şebeke diyagramları geliştirilmiştir. Kritik Yol Analizi (Critical Path Method - CPM) ve Program Değerlendirme ve Kontrol Teknikleri (Program Evaluation and Review Technique - PERT) şebeke diyagramları içerisinde en bilinen tekniklerdir. Günümüzde proje yönetiminde yaygın olarak şebeke diyagramları kullanılmakta fakat bu diyagramlar planlama aşamasında tek başlarına ihtiyacı karşılayamamaktadır.

### 3.1.2.2. Proje Planlama ve Kontrol Diyagramları

Proje çizelgeleme problemine geçilmeden önce temel proje planlama ve kontrol diyagramlarının anlaşılması gerekmektedir. Bu sebeple bu bölümde günümüz proje yönetimi içerisinde en fazla kullanılan planlama ve kontrol diyagramları kısaca açıklanmıştır.

**Gantt Şeması (Gantt Chart):** Gantt Şeması proje planlama ve kontrolünde kullanılmak üzere geliştirilen ilk tekniklerdendir. Henry L. Gantt tarafından geliştirilen şema, yatay ekseni boyunca aktivitelerdeki planlanan ve gerçekleşen ilerlemeyi gösterir. Faaliyetler, süreleri ve birbirlerini izleme sıraları göz önüne alınarak zaman ekseni üzerinde çubuklar ile gösterilmektedir. Gantt Şeması, basit bir şekilde proje faaliyetlerinin genel durumunu gösteren, okunması ve değerlendirilmesi kolay bir şemadır. Bu nedenle günümüzde de yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Ancak belirtildiği üzere Gantt Şeması faaliyetler arasındaki ilişkileri detaylı olarak ortaya koyamamaktadır. Bu sebeple kapsamlı ve karmaşık projelerde, Gantt kullanılarak faaliyetler arasındaki ilişkilerin planlanması ve proje kontrolünün sağlıklı şekilde yapılabilmesi oldukça güçtür. Bununla birlikte, zaman ekseni kolay değerlendirme yapılabildiği için günümüzdeki proje yönetimi yazılımları, Gantt Şemasını daha kullanışlı bir duruma getirmişlerdir. Bu sayede Gantt Şemasındaki faaliyetler, faaliyetler arası ilişkiler, faaliyetlerin kullandığı kaynaklar vb. bilgilerin görülmesi sağlanmıştır. Aşağıda Şekil 3.1 de bir Gantt Şeması örneği verilmiştir.

ID	Faaliyetler	Başlangıç	Bitiş	Süre	Tem 2008							1		
					23	24	25	26	27	28	29		30	31
1	Ürün Rotalarının Çıkartılması	23.07.2008	24.07.2008	2d	■									
2	Taşıma Maliyetlerinin Hesaplanması	25.07.2008	28.07.2008	2d		■	■	■	■					
3	Toplam Taşıma Maliyetinin Hesaplanması	29.07.2008	29.07.2008	1d							■			
4	Alternatif Yerleşimlerin Belirlenmesi	23.07.2008	28.07.2008	4d	■	■	■	■	■					
5	Alternatif Yerleşimler İçin Toplam Taşıma Maliyetinin Çıkartılması	30.07.2008	31.07.2008	1d								■		
6	Alternatiflerin Değerlendirilmesi	31.07.2008	01.08.2008	1d									■	

Şekil 3.1 Gantt Şeması

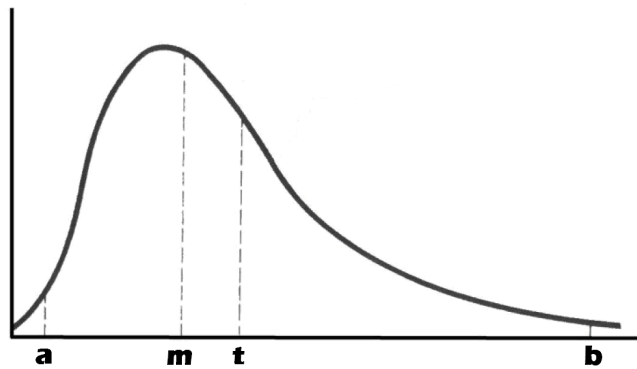
**Kritik Yol Analizi (Critical Path Method - CPM):** Kritik Yol Analizi tekniği (Kelley ve Walker, 1959) daha sonra açıklanacak olan PERT tekniği (Malcolm ve diğ., 1959) ile aşağı yukarı aynı zamanlarda, fakat birbirinden bağımsız olarak geliştirilmiştir.



1950'lerin sonlarında geliştirilen tekniğin geliştirilme amacı, kimya fabrikalarında bakım için yapılan durmaların programlanmasıdır.

Teknik, bir projeye ait tüm faaliyetlerin, süreler ve faaliyetler arasındaki ilişkiler dikkate alınarak bir proje şebekesi üzerinde gösterilmesi ve şebeke üzerinde çeşitli hesaplamalar yapılmasına dayanmaktadır. Yapılacak işler, bir şebeke halinde düzenlenir; her faaliyet için bir süre tahmini yapılır ve basit bazı aritmetik işlemler ile projenin her aşamasının tarihleri belirlenir. Şebeke üzerinde en uzun yolu oluşturan faaliyetler dizisi, kritik yol olarak adlandırılır. Kritik yol üzerinde bulunan faaliyetlerin bolluğu bulunmamaktadır. Bu sebeple kritik yol, proje tamamlanma süresini göstermektedir. Şebeke diyagramlarına ait gösterimler bir sonraki başlık altında verilmiştir.

**Program Değerlendirme ve Kontrol Tekniği (Program Evaluation and Review Technique - PERT):** 1950'lerin sonlarında Booz, Allen, Hamilton ve Lockheed şirketlerinde çalışan bilim adamları tarafından A.B.D. Deniz Kuvvetleri'nin Polaris Füze Programında uygulanmak üzere geliştirilmiş bir tekniktir. CPM de olduğu gibi PERT de şebeke diyagramlarını kullanmaktadır. İki yöntem arasındaki temel fark, PERT tekniğinde faaliyet sürelerinin iyimser, kötümser ve olası tahminleri ile belirlenebilecek rastgele değişkenler olarak ele alınması, buna karşılık CPM tekniğinde süre bilgilerinin sadece deterministik değerlerden oluşmasıdır. PERT metodu, süreleri tam bilinmeyen faaliyetlerin programda göz önüne alınmasını sağladığından, yöntemin kapsamı, kritik yol yöntemine göre daha geniştir. CPM, PERT metodunun özel bir durumu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 3.2 Beta dağılımı

PERT tekniğinin, faaliyetlerin beklenen sürelerinin hesaplanması konusunda getirdiği yaklaşım, daha gerçekçi sonuçlar üretebilmektedir. PERT projede yer alan faaliyetlerle ilgili süreleri yukarıda gösterilen beta dağılımına uygun olarak  $t = (a + 4m + b) / 6$  formülü ile hesaplamaktadır. Burada “ $t$ ” faaliyetin hesaplanan süresini göstermektedir. Formülde gösterilen “ $a$ ” faaliyetin iyimser süresini (olası en kısa süre), “ $b$ ” faaliyetin kötümser süresini (olası en uzun süre), “ $m$ ” ise faaliyetin gerçekleşme olasılığı en yüksek olan süresini temsil etmektedir.

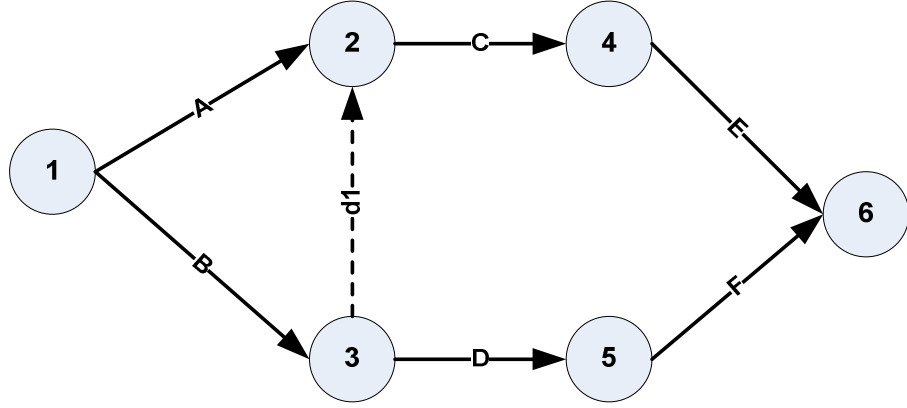
### 3.1.2.3. Şebeke Gösterimleri

Proje şebekelerinde (şebeke diyagramlarında), faaliyetlerin oklarda gösterildiği (activity on arc - AoA) ve faaliyetlerin düğümlerde gösterildiği, (activity on node - AoN), faaliyet tabanlı ve olay tabanlı iki farklı gösterim mevcuttur (Kolisch ve Padman, 2001). Bu gösterimler faaliyetlerin şebeke üzerindeki tanımlanmalarına göre farklılık göstermektedir. Buna göre faaliyetlerin oklarda gösterildiği “AoA” gösteriminde, her bir ok bir faaliyeti temsil eder. Okların çıktığı ve girdiği düğümler ise olayları temsil etmektedir. Faaliyetlerin düğümlerde gösterildiği “AoN” gösteriminde ise faaliyetler düğümlerde tanımlanmıştır. Oklar ise sadece öncelik ilişkilerini temsil etmektedir.

Bu temel iki gösterimin daha iyi anlaşılabilmesi için Tablo 3.3’te verilen bir projenin şebeke gösterimleri Şekil 3.3 ve 3.4 de gösterilmiştir.

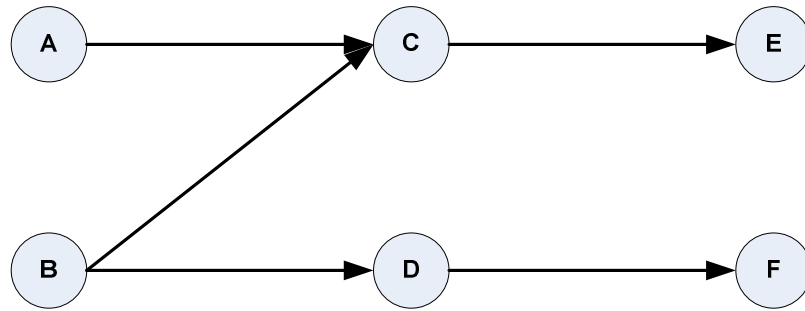
Tablo 3.3 Bir proje ait faaliyetler ve öncelik ilişkileri

Faaliyet	Hemen Önceki Faaliyet
A	-
B	-
C	A,B
D	B
E	C
F	D



Şekil 3.3 Faaliyetlerin oklarda gösterildiği şebeke

Yukarıda verilen Şekil 3.3'teki şebeke diyagramında faaliyetler oklar ile gösterilmektedir. Şebekeye dikkatli bakıldığında mevcut altı faaliyetin dışında “d1” adıyla gösterilen yedinci bir faaliyet daha görülmektedir. Faaliyetlerin oklarda gösterildiği şebekelerde, öncelik ilişkilerinin karmaşaya sebebiyet verebileceği durumlarda kukla ya da diğer bir ifadeyle yapay faaliyet (dummy activity) kullanılmaktadır. Bu örnekte “d1”, süresi, kaynağı ve maliyeti olmayan, sadece öncelik ilişkisini tanımlamak için kullanılan bir kukla faaliyettir. Yukarıdaki örnekte rakamlarla ifade edilmiş düğümler, olayları temsil etmektedir. Buna göre 5 numaralı düğüm D faaliyetinin bitişi ve F faaliyetinin başlama olayını göstermektedir.



Şekil 3.4 Faaliyetlerin düğümlerde gösterildiği şebeke

Şekil 3.4'teki AoN gösteriminde, faaliyetler düğümlerde gösterilmekte, oklar sadece öncelik ilişkilerinin ortaya konulması için kullanılmaktadır. Yukarıdaki her iki gösterim incelendiğinde faaliyetlerin düğümlerde gösterildiği şebekenin çok daha sade ve kolay

bir çizim olduğu görülmektedir. Buna rağmen faaliyetlerin oklarda gösterildiği şebekeler proje yöneticilerince daha fazla tercih edilmektedir. Bunun iki temel nedeni bulunmaktadır. Bu nedenlerden ilki proje plan ve takibinin AoA gösterimde daha hızlı ve kolay yapılabilir olmasıdır. AoA gösterimde hem faaliyetler, hem de olaylar söz konusudur. Bir düğüm çift yönlü anlam taşır. Düğüme giren faaliyetler, faaliyetlerin tamamlanmasını, düğümden çıkanlar ise diğer faaliyetlerin başlamasını anlatmaktadır. Bu nedende bir faaliyetin bitmesi ile başlayabilecek diğer tüm faaliyetler, şebekeye hızlı bir bakış ile değerlendirilebilmektedir. AoA gösterimin diğer tercih nedeni, faaliyetler arasında karmaşık ilişkilerin olması durumunda, yapılacak değerlendirmedeki kolaylıktır. Faaliyetlerin başlaması ve tamamlanması, düğümler ile temsil edildiği için, karmaşık ilişkiler tek bir düğüm üzerinde gösterilebilirken, AoN gösteriminde çok fazla faaliyet ve ilişkinin okunması için tek tek tüm faaliyetlerden çıkan okların takibi gereklidir. Faaliyetlerin oklarla gösterildiği şebekelerin daha avantajlı görülmesi ve daha yaygın olması, AoA gösteriminin insan beyninin zaman eksenli çözümleme davranışına daha uygun olmasından kaynaklanmaktadır.

### 3.1.3. Proje Çizelgeleme Amaçları

Proje çizelgeleme, çok farklı amaçlar dikkate alınarak gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte çoğu proje yöneticisi için çizelgeleme amacı, proje süresinin en küçüklenmesidir. Kaynak kısıtlarının göz ardı edildiği ilk proje çizelgelerde, proje süresinin ( $C_{max}$ ) en kısa değeri bulunmaya çalışılmıştır (Malcolm, vd. 1959; Kelley, 1961). Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminde de en yaygın olarak kullanılan amaç işlevi, proje süresinin en küçüklenmesidir (Özdamar ve Ulusoy, 1995). Bununla birlikte proje çizelgelemede farklı amaç ya da amaçlar söz konusu olabilmektedir. Her projenin kendine özel bir durumu vardır ve bu durum çizelgelemedeki amacın ortaya konulmasına yardımcı olur. Örneğin projenin gecikmesi durumunda, yüklü ceza maliyetine katlanmak zorunda kalacak bir proje yöneticisi, çizelgeleme amacını proje süresinin en küçüklenmesi olarak belirlerken, projenin tam istenilen tarihte tesliminin söz konusu olduğu başka bir projenin yöneticisi, erken bitirme ve gecikme toplamının en küçüklenmesini amaç fonksiyonunda gösterebilir.

Proje tipi ve üstlenicinin durumu çizelgeleme amaçlarını farklılaştırabilmektedir. Fakat tüm amaçlar genel olarak süre, maliyet ve kalite ile ilgili üç temel proje unsuru

gözetilerek ortaya konulur. Bu unsurlara göre proje çizelgelemede en yaygın kullanılan amaçlar şunlardır;

- **Proje Süresinin En küçüklenmesi:** Proje süresinin en küçüklenmesi çizelgeleme problemlerindeki en yaygın amaçtır. Bununla birlikte proje gecikmesinin en küçüklenmesi, sürenin en küçüklenmesinin farklı bir koludur. Bir diğer süre en küçüklenme amacı, tam zamanlı üretim anlayışına yönelik olarak, projenin erken tamamlanması ve gecikmesine ait sürelerin toplamının en küçüklenmesidir (Vanhouche vd., 2000).
- **Maliyetin En küçüklenmesi - Karın En büyüklenmesi:** Proje çizelgelemede sık kullanılan amaçlardan biri toplam maliyetin en küçüklenmesi ve toplam karın en büyüklenmesidir (Herroelen vd., 1997). Bu amaç işlevi olan problemlerde, proje süresinin, toplam kullanılan kaynakların, kaynak kullanım oranlarının maliyetleri dikkate alınmakta ve hesaplamalar çoğu zaman net bugünkü değer (NBD) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.
- **Kalitenin En iyilenmesi:** Proje kalitesinin beklenen düzeyin altında olmaması bir proje yöneticisi için son derece önemlidir. Bu nedenle projelerde kalitenin en iyilenmesi de çizelgeleme amacı olabilmektedir. Burada önemli olan niteliksel ifadelerin kantitatif olarak ifade edilebilmesidir. Bu nedenle proje amacı oluşturulurken işveren ve proje yürütücüsü kalite amacını kantitatif değerler ile ortaya koyabilmelidir. Bu kapsamda yapılan çalışmalara İçmeli-Tukel ve Rom'un (1997) yaptıkları, kaynak kısıtlı çizelgeleme problemlerinde kalite amacının yer aldığı çalışma örnek olarak verilebilir.

#### 3.1.4. Proje Çizelgeleme Problemi Gösterimi

Literatürde iş çizelgeleme probleminin gösterimi konusunda farklı pek çok çalışma bulunsa da proje çizelgeleme problemlerinin gösterimi için bu durum aynı değildir. Proje çizelgeleme problemlerinin gösterimine yönelik ilk öneriyi, Brucker ve arkadaşları (1999) geliştirmişlerdir. Aynı yıl içerisinde Herroelen ve arkadaşları (1999) da bu konudaki çalışmalarını yayınlamışlardır. Daha sonra Herroelen ve arkadaşları (2001), proje çizelgeleme gösterimi konusunda ilk olarak yapılan çalışmaları tamamlayıcı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma ile ortaya konan proje yönetimi çizelgeleme problemi gösterimi aşağıda verilmiştir.

### 3.1.4.1. Proje Çizelgeleme Probleminde $\alpha$ Değişkeni ile Kaynak Özelliklerinin Gösterimi

Bir proje çizelgeleme probleminin kaynak kullanımı ile ilgili özellikleri bir “ $\alpha$ ” kümesi ile belirtilmektedir. Bu  $\alpha$  kümesinin,  $\alpha_1, \alpha_2$  ve  $\alpha_3$  olmak üzere üç elemanı bulunmaktadır. Buna göre birinci alfa değişkeninin üç durumu söz konusudur. Bunlardan ilki olan; “ $\circ$ ” sembolü “boş sembol” şeklinde ifade edilmektedir. Bu sembol özel problem türleri için dikkate alınmama durumunu ifade etmektedir.

Buna göre;

$\alpha_1 \in \{\circ, 1, m\}$  Birinci alfa değişkeni problemdeki kaynak tiplerinin sayısını göstermektedir.

$\alpha_1 = \circ$  Problemden kaynak tipinin bulunmaması durumudur.

$\alpha_1 = 1$  Bir kaynak tipinin var olmasıdır.

$\alpha_1 = m$  Problemden  $m$  adet kaynak tipinin bulunduğunu gösterir.

$\alpha_2 \in \{\circ, 1, T, 1T, \cup\}$  İkinci alfa değişkeni problemdeki kaynak türlerini ifade etmektedir.

$\alpha_2 = \circ$  Herhangi bir kaynak tipinin bulunmamasını göstermektedir.

$\alpha_2 = 1$  Yenilenebilir kaynakların bulunduğunu göstermektedir.

$\alpha_2 = T$  Yenilenemez kaynakların var olduğu gösterilmektedir.

$\alpha_2 = 1T$  Yenilenebilir ve yenilenemez kaynakların bulunduğu ifade edilmektedir.

$\alpha_2 = \cup$  Kısmi yenilenebilir kaynakların bulunduğunu göstermektedir.

$\alpha_3 \in \{\circ, \cup a, \tilde{a}, \cup \tilde{a}\}$  Üçüncü alfa değişkeni proje çizelgeleme problemindeki kaynakların bulunabilirlik özelliklerini göstermektedir.

$\alpha_3 = \circ$	Yenilenebilir ve kısmi yenilenebilir kaynakların sabit bir miktarı olduğunu göstermektedir.
$\alpha_3 = \upsilon a$	Yenilenebilir ve kısmi yenilenebilir kaynakların değişken miktarlarda bulunabileceğini ifade edilmektedir.
$\alpha_3 = \tilde{a}$	Proje ilerlemesi içinde yapısı değişmeyen stokastik kaynak bulunabilirliği durumudur.
$\alpha_3 = \upsilon \tilde{a}$	Zaman içinde sürekli değişen yapıda olan stokastik kaynak bulunabilirliği ifade edilmektedir.

### **3.1.4.2. Proje Çizelgeleme Probleminde $\beta$ Değişkeni İle Faaliyet Özelliklerinin Gösterimi**

Proje çizelgeleme problemi gösteriminde ikinci değişken “ $\beta$ ” problemin faaliyet özelliklerini belirtmektedir.  $\beta$  değişken kümesinin toplam dokuz elemanı bulunmaktadır.

Buna göre;

$\beta_1 \in \{\circ, pmnt, pmnt - rep\}$  Birinci beta değişkeni faaliyetlerin ara verilebilir olup olmadığını (preemption) göstermektedir.

$\beta_1 = \circ$  Faaliyetlerin gerçekleşirken ara verilmesine izin verilmemesi durumudur.

$\beta_1 = pmnt$  Devam edilebilen ara vermeyi (preemt-resume) göstermektedir.

$\beta_1 = pmnt - rep$  Tekrarlı ara vermeyi (preemt-repeat) ifade etmektedir.

$\beta_2 \in \{\circ, cpm, min, gpr, prob\}$  İkinci beta değişkeni faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerine (precedence) ait kısıtları açıklamaktadır.

$\beta_2 = \circ$  Öncelik ilişkilerinin olmadığını (faaliyetlerin sırasız olduğunu) ifade eder.

- $\beta_2 = \text{cpm}$  Bitiş-Başlangıç ilişkisinin ifade etmektedir. Bekleme zamanı sıfırdır (CPM’de olduğu gibidir).
- $\beta_2 = \text{min}$  En az bekleme süresi ile tüm genelleştirilmiş öncelik ilişkilerinin (FF, FS, SS, SF) olduğunu göstermektedir.
- $\beta_2 = \text{gpr}$  En az bekleme süresi, en fazla bekleme süreleri ile tüm genelleştirilmiş öncelik ilişkilerinin (FF, FS, SS, SF) olduğunu göstermektedir.
- $\beta_2 = \text{prob}$  Şebekenin olasılıklı değerler alma durumunu göstermektedir (ilişkiler bazında).
- $\beta_3 \in \{\circ, p_j\}$  Üçüncü beta değişkeni faaliyet hazırlık zamanını (ready times) ifade etmektedir.
- $\beta_3 = \circ$  Tüm faaliyetlerin hazırlık sürelerinin sıfır olduğu durumdur.
- $\beta_3 = p_j$  Her faaliyetin hazırlık zamanının değişebildiği durumu ifade etmektedir.
- $\beta_4 \in \{\circ, \text{cont}, d_j = d, \tilde{d}_j\}$  Dördüncü beta değişkeni proje çizelgeleme problemindeki faaliyetlerin sürelerini açıklamaktadır.
- $\beta_4 = \circ$  Faaliyet sürelerinin isteğe bağlı tamsayılar olduğunu ifade eder.
- $\beta_4 = \text{cont}$  Faaliyet sürelerinin isteğe bağlı ondalıklı sayılar olduğunu ifade etmektedir.
- $\beta_4 = d_j = d$  Tüm faaliyetlerin “d” birim süresine sahip olduğunu ifade eder.
- $\beta_4 = \tilde{d}_j$  Faaliyet sürelerinin stokastik olduğunu gösterir.
- $\beta_5 \in \{\circ, \delta_j, \delta_n\}$  Beşinci beta değişkeni tamamlanma sürelerini tanımlamaktadır.
- $\beta_5 = \circ$  Probleme tamamlanma süresinin, tanımlanmadığı durumdur.



$\beta_5 = \delta_j$  Tamamlanma zamanının faaliyetlerce belirlendiği durumdur (Proje başlangıç süresi belirlidir. Faaliyetlerin gerçekleşmesi ile proje tamamlanma zamanı ortaya çıkar).

$\beta_5 = \delta_n$  Projenin son tamamlanma zamanının başlangıçta belirlendiği durumu göstermektedir.

$\beta_6 \in \{\circ, \text{vr}, \ddot{r}, \text{v}\ddot{r}, \text{disc}, \text{cont}, \text{int}\}$  Altıncı beta değişkeni proje çizelgeleme problemindeki faaliyetlerin kaynak ihtiyaçlarını göstermektedir.

$\beta_6 = \circ$  Sabit kesikli kaynak ihtiyacı durumunu ifade etmektedir.

$\beta_6 = \text{vr}$  Değişken kesikli kaynak ihtiyacı durumunu gösterir.

$\beta_6 = \ddot{r}$  Stokastik sürekli kaynak ihtiyacı durumunu ifade etmektedir.

$\beta_6 = \text{v}\ddot{r}$  Stokastik kesikli kaynak ihtiyacı durumunu gösterir.

Çizelgeleme probleminde, faaliyet sürelerinin kaynak kullanımları dikkate alınarak hesaplanmak zorunda olduğu durumlar için altıncı beta değişkeni kullanılmaktadır.

$\beta_6 = \text{int}$  Kaynak kullanım fonksiyonunun kesikli olduğu durumdur.

$\beta_6 = \text{cont}$  Kaynak kullanım fonksiyonunun sürekli olduğu durumdur.

$\beta_6 = \text{disc}$  Kaynak kullanım fonksiyonunun oransal ifade edildiğini göstermektedir.

Kaynak kullanımları neticesinde, faaliyetlerin süresini belirlemeye yönelik özel durumlar söz konusu olabilir. Bunun için oluşturulabilecek fonksiyonların gösterimi problem sahibine bırakılmıştır.

$\beta_7 \in \{\circ, \text{mu}, \text{id}\}$  Yedinci beta değişkeni proje çizelgeleme problemindeki faaliyetlerin mod tipleri ve sayılarını ifade etmektedir.

$\beta_7 = \circ$  Tüm faaliyetlerin tek modlu olduğu durumu ifade eder.

$\beta_7 = \text{mu}$  Daha önceden tanımlanmış çok modlu faaliyetlerin olduğu durumu göstermektedir.

$\beta_7 = \text{id}$  Her bir faaliyetin farklı mod kısıtlarının tanımlandığı durumdur.

$\beta_8 \in \{\circ, c_j, \tilde{c}_j, c_j^+, \text{per}, \text{sched}\}$  Sekizinci beta değişkeni faaliyetlerin finansal yapısını göstermektedir.

$\beta_8 = \circ$  Proje çizelgeleme probleminde nakit akışının tanımlanmadığı durumu göstermektedir.

$\beta_8 = c_j$  Faaliyetlerin birbiri ile ilişkili olduğu, isteğe göre oluşturulmuş bir nakit akışını ifade etmektedir.

$\beta_8 = \tilde{c}_j$  Nakit akışlarının stokastik olduğunu göstermektedir.

$\beta_8 = c_j^+$  Faaliyetlerin birbiri ile ilişkili nakit girişlerinin bulunması durumunu temsil etmektedir.

$\beta_8 = \text{per}$  Periyodik nakit akışlarının bulunduğu problemleri göstermektedir.

$\beta_8 = \text{sched}$  Nakit akışlarının zamanı ve miktarının belirlenmiş olduğu durumları göstermektedir.

$\beta_9 \in \{\circ, s_{jk}\}$  Dokuzuncu beta değişkeni faaliyet sıralamalarının zamanla değişim durumunu göstermektedir.

$\beta_9 = \circ$  Zaman ilerledikçe sıralamada değişikliğin söz konusu olmadığı durumdur.

$\beta_9 = p_j$  Zamana bağlı olarak faaliyetlerin sıralamasının değişebildiği durumları göstermektedir.

### 3.1.4.3. Proje Çizelgeleme Probleminde $\gamma$ Değişkeni İle Performans Ölçütlerinin Gösterimi

Proje çizelgeleme problemi gösteriminde son değişken, “ $\gamma$ ”, çizelgeleme probleminin performans ölçütü ile ilgili farklı durumların gösterimi için kullanılmaktadır.

$\gamma = \text{reg}$	Performans ölçütü erken tamamlanma ölçütüdür (regular).
$\gamma = \text{nonreg}$	Performans ölçütü her hangi bir gerçekleşme ölçütüdür (non-regular).

Çizelgeleme problemleri için çok farklı performans ölçütleri söz konusu olabilmektedir. Problem sahipleri, ifade edilen değişkenlere ait farklı amaçlar ortaya koyabileceği gibi, performans ölçütlerini amaç fonksiyonundaki matematiksel gösterimler ile de ifade edebilirler. Aşağıda performans ölçütlerine yönelik örnekler gösterilmiştir.

$\gamma = C_{\max}$	Proje süresinin en küçüklenmesi.
$\gamma = \bar{F}$	Alt projelerin ya da faaliyetlerin ortalama gerçekleşme sürelerinin en küçüklenmesi.
$\gamma = T_{\max}$	Proje gecikmesinin (tardiness) en küçüklenmesi.
$\gamma = \text{early/tardy}$	Projenin erken bitirme ve gecikme süreleri toplamının en küçüklenmesi.
$\gamma = n_T$	Geciken faaliyet sayısının en küçüklenmesi.
$\gamma = \sum \text{sq.dev.}$	Ortalama stok kullanımından sapmaların, kareleri toplamının en küçüklenmesi (standart sapma kareleri toplamının en küçüklenmesi).
$\gamma = \text{av}$	Proje tamamlanma süresi değişmeyecek şekilde tanımlanan kaynak miktarının en küçüklenmesi.
$\gamma = \text{rac}$	Kaynak maliyetinin en küçüklenmesi.
$\gamma = \text{curve}$	Zaman-Maliyet ödünleşim eğrisinin çıkartılması.
$\gamma = \text{npv}$	Net bugünkü değer en büyüklenmesi.
$\gamma = E[\cdot]$	Performans ölçütünün optimum değerinin belirlenmesi.
$\gamma = \text{ci}$	Bir faaliyet ya da yolun kritiklik indeksinin belirlenmesi.

$\gamma = mci$	Kritiklik indeksine göre en kritik yol ya da faaliyetlerin belirlenmesi.
$\gamma = multi$	Birden çok farklı amacın birleştirilmesi ya da toplanması.
$\gamma = multicrit$	Çok kriterli fonksiyonların kullanılması.

### 3.2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP - Resource Constraint Project Scheduling Problem) bir projedeki kısıtlı kaynakları ve faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerini dikkate alarak, projeyi oluşturan faaliyetlerin amaç işlevini en iyileyecek şekilde çizelgelenmesidir. Bu bölümde öncelikle KKPÇP ile ilgili tanımlamalara yer verilmiş, problemin farklı sınıfları açıklanmıştır. Daha sonra belirli varsayım ve kabuller ile KKPÇP'nin genel matematiksel gösterimi verilmiştir. Son olarak KKPÇP için literatürde yer alan çözüm yöntemleri kısaca açıklanmıştır.

#### 3.2.1. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin Tanımı ve Sınıflandırılması

CPM, PERT gibi şebeke diyagramlarına dayalı planlama ve çizelgeleme teknikleri için proje çizelgeleme problemi, sınırsız kaynak varsayımıyla, faaliyetlerin amacı en iyileyecek şekilde çizelgelenmesidir. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminde ise kaynak kullanımları, tıpkı gerçek hayatta olduğu gibi kısıtlara sahiptir. Ayrıca KKPÇP'de faaliyetlerin farklı şekillerde gerçekleştirilebilme durumu da (mod) söz konusu olabilmektedir. Mod, bir faaliyetin farklı şekillerde (farklı kaynak-süre alternatifleri) gerçekleştirilmesi durumudur. Bir faaliyetin sadece  $r$  kaynağı ile 3 günde yapılabilir olması bir modu temsil etmektedir. Fakat aynı faaliyet için ikinci farklı bir gerçekleştirilme durumu mevcut ise ( $2r$  kaynağı ile 1,5 günde) bu durumda çift modlu bir faaliyet söz konusudur. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi, farklı modlarda gerçekleşebilen, birbirleri ile ilişkili faaliyetlerin, belirli bir kaynak kısıtı ile proje amacını eniyileyecek şekilde, ne zaman ve nasıl (hangi modda) gerçekleştirilebileceğini araştırmaktadır. KKPÇP'de farklı amaçlar söz konusu olsa da en yaygın amaç proje süresinin en küçüklenmesidir (makespan minimization).

Boctor (1990) problemin genelleştirilmiş biçimini şu şekilde ifade etmiştir. Buna göre problemde;

- Gerçekleştirilecek faaliyetler,
- Faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde kullanılacak kaynaklar,
- Uyulması gereken kısıtlar,
- Performansı ölçmeye yönelik amaçlar,

yer almaktadır. Buna ek olarak genel KKPÇP gösteriminde, yukarıdaki faktörlerin belirli özellikleri bulunmaktadır. Buna göre;

- Bir faaliyet kendisine atanacak kaynak ya da kaynaklara bağlı olarak birden çok şekilde gerçekleştirilebilir.
- Öncelik ilişkilerine uyulmalıdır. Bu nedenle bir faaliyet ancak, kendinden önceki diğer bir faaliyet bittikten sonra başlayabilir.
- Daha önceden yapılmış tanımlamalara uygun olarak bir faaliyet kesilebilir, bölünebilir ya da bunun tersi olarak faaliyete ara verilmesine ve kesintiye izin verilmeme durumu söz konusu olabilir.
- Her faaliyet birden fazla farklı kaynağa ihtiyaç duyabilir.
- Bir faaliyetin kaynak gereksinimi, faaliyetin gerçekleştiği süre içerisinde değişiklik gösterebilir.
- Kaynaklar, yenilenebilir ya da yenilenemez kaynaklar olabilirler.
- Kaynak bulunabilirliği faaliyetin süresi içinde, ya da proje sürecinde değişken olabilir.
- Kaynaklar geçici kısıtlara sahip olabilirler.

Yukarıda yapılan kabullerin birçoğu aslında farklı durumları içermektedir. Örneğin kaynakların yenilebilir ya da yenilenemez olması, ya da kaynak bulunabilirliğinin proje içinde değişken olması-olmaması, farklı durumları göstermektedir. Buradan da anlaşılmaktadır ki KKPÇP çok sayıda farklı problem türüne sahiptir. Varsayımların kaldırılması ya da değişmesi ile oluşabilecek problemler farklı guruplarda toplanabilmektedir. Örneğin kaynak tiplerinin aynı, ya da farklı olması problemi önemli şekilde değiştirecektir. Aynı şekilde, kaynak tüketiminin stokastik ya da deterministik

olması da problemin modelleme yaklaşımlarının farklılaşmasını gerektirecektir. Bu nedenle, problemde hemen tüm değişkenlerin yapıları aynı olsa bile, kullanılan kaynak tiplerinde, faaliyetlerin gerçekleştirilme şekillerinde ya da özel kısıtlar ile ilgili küçük bir değişiklik, ortaya farklı problemlerin çıkmasına neden olmaktadır. Fakat KKÇP’de problem türü ve detayı ne olursa olsun önemli olan, kısıtlara uyacak ve problemdeki amacı eniyileyecek şekilde çizelgelemenin oluşturulmasıdır.

Yukarıda bahsedildiği gibi, KKÇP’lerinde problemi oluşturan faktörlerden birinin kabul şartlarının değişmesi durumunda, problemin yapısı ve matematiksel modeli değişebilmekte ve problem buna özel bir isim alabilmektedir. Kaynak kısıtlı çizelgeleme problem modellerinin farklılaşmasına neden olabilecek durumlar aşağıda incelenmiştir.

**Deterministik-Stokastik Yaklaşımlar ile KKÇP:** KKÇP yapısı, proje öğelerine ait değerlerin deterministik ya da stokastik olması ile tamamen değişebilmektedir. Bu sebeple KKÇP’lerinde en genel sınıflandırma deterministik-stokastik ayrımıdır. Literatürde KKÇP konusunda daha çok deterministik yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Aslında projeleri gerçeğe yakın modelleyebilmek için stokastik yaklaşımlar, daha gerçekçi çözümler olsa da, stokastik modellemenin oldukça karmaşık ve zor olması nedeniyle deterministik kabuller yapılmaktadır. Ayrıca stokastik modellerde problem karmaşıklığı arttırıldığında, çözüm elde etmek çok güçtür. Deterministik-Stokastik ayrımına neden olan konuların başında faaliyet süreleri, kaynak miktarları ile kaynak kullanım şekilleri gelmektedir.

**Mod Sayısı Yönüyle KKÇP:** Daha önceden ifade edildiği gibi, kesikli işlev durumunda, işlevin her bir maliyet-süre çiftine karşı gelen noktası bir mod olarak nitelendirilmektedir. Bir veya daha fazla sayıda faaliyeti birden fazla moda sahip proje çizelgeleme problemleri, çok modlu (*multi-mode*) problemler olarak nitelendirilirler. (Ulusoy, 2002). Çok modlu problemlerde, problem karmaşıklığı tek modlu problemlere göre daha fazla olmakla beraber temel çözüm yaklaşımı değişmemektedir.

**Kaynaklar Yönüyle KKÇP:** KKÇP, projelerde kullanılan kaynakların tiplerine göre de farklılıklar gösterebilmektedir. Daha önceden ifade edildiği gibi kaynakları

çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Zaman bazlı sınıflandırmada kaynaklar yenilenebilir (*renewable*), yenilenemez (*nonrenewable*), çift yönden kısıtlı (*doubly constrained*) ve kısmi yenilenebilir şeklinde sınıflandırılabilir. Yenilenebilir kaynakların, bir zaman birimi içindeki toplam kullanım miktarı kısıtlı olmakla birlikte, kullanım ile tüketilmezler. Belirli bir faaliyet çerçevesinde kullanıldıktan sonra faaliyet sona erince tekrar kullanıma hazır duruma gelirler. Aksine, yenilenemez kaynaklar kullanıldıklarında tüketilirler. Yenilenemez kaynakların proje süresi boyunca kullanılabilir toplam miktarı üzerinde bir kısıt vardır (Ulusoy 2002). Bir kaynağın hem bir zaman birimi içinde kullanım miktarı, hem de proje süresi boyunca toplam tüketimi üzerinde kısıt olması durumunda bu kaynak çift yönden kısıtlı kaynak olarak nitelendirilir. Bu sınıflandırmanın dışında kaynaklar daha önceden de ifade edildiği gibi kesikli ya da sürekli olarak da gruplanabilmektedir. Ayrıca bunlar dışında, projelerde kaynaklarla ilgili özel durumlar ve kısıtlar da söz konusu olabilmektedir. Örneğin tahsis edilmiş kaynaklar (*dedicated resource*), belirli bir zamanda sadece bir faaliyete atanmış kaynaklardır (Bianco vd, 1998). Bu ve benzer şekilde projelerde yer alan farklı kaynak sınıfları ve özel kaynak kısıtları, KKPCP çözüm modellerinde önemli değişikliklere sebep olmaktadır.

**Faaliyetlere ve İlişkilere Bağlı KKPCP:** KKPCP'lerinde faaliyetlerin uygulama şekilleri, problem modellerinde farklılıklara sebebiyet verebilmektedir. Bazı projelerde faaliyetlere ara verilip, sonra tekrar devam edilmesi durumu mevcutken, bazılarında ise faaliyetlerin ara verilmesine izin verilmediği görülmektedir. Bunun dışında projelerin bir bölümünde özel bazı faaliyetler, belirli bir maliyete katlanılarak yarım bırakılabilmektedir. Faaliyetlerin gerçekleşmesindeki farklı uygulamaların birçoğu ise daha çok mantıksal öncelik ilişkileriyle ilgilidir. Projelerin birçoğunda, faaliyetler arasındaki öncelik ilişkisi sadece FS ilişkisidir. Bununla birlikte bazı projelerde, az sayıda olsa da, öncelik ilişkilerinin bir kısmı SS, FF ya da SF olabilmektedir. KKPCP genel gösteriminde faaliyetler arasındaki öncelik ilişkisinde sadece FS ilişkisi olduğu kabulü yapılmıştır. Diğer ilişkilerin probleme dahil edilmesi, matematiksel modelleme açısından farklı ve zor bir durumdur. Ayrıca en az bekleme süresi, en çok bekleme süresi ve kesin bekleme sürelerini kullanarak faaliyetler arasındaki ilişkileri daha da detaylandırmak mümkündür. Bu da KKPCP matematiksel modellerinin

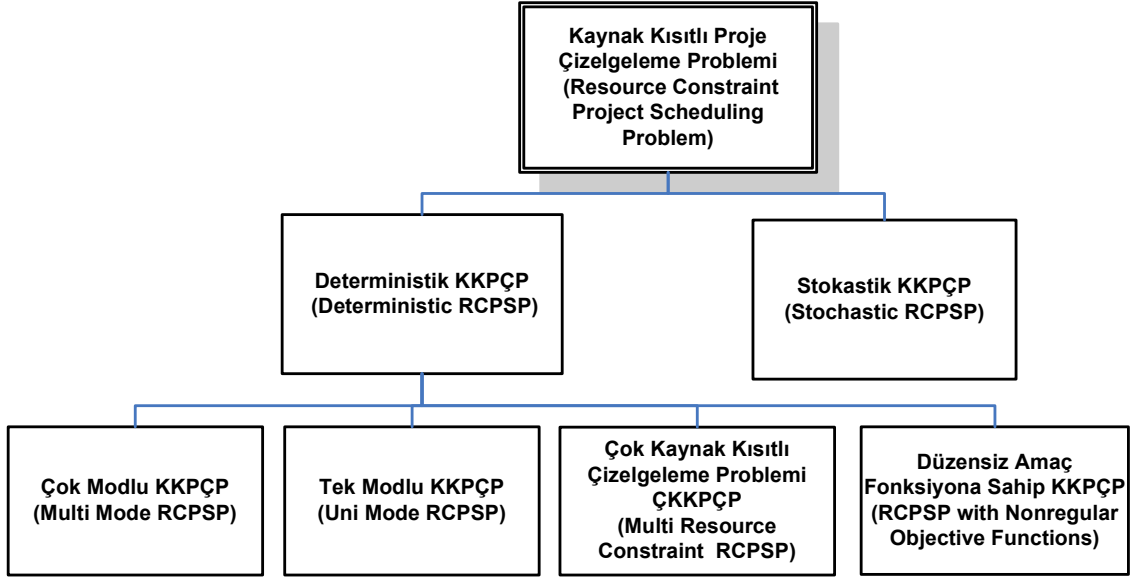
karmaşıklılaşması demektir. Bu nedenle KKPÇP modellerinde konunun başında verilen kabuller kullanılmaktadır.

**Kısıtlar ve Amaçlar Yönüyle KKPÇP:** Genel KKPÇP’inde kaynak ve öncelik kısıtları olmak üzere iki tip kısıt bulunmaktadır. Kaynaklar ve öncelik ilişkileri konusunda farklı uygulamaların problemi nasıl değiştirebileceği yukarıda tartışılmıştır. Kaynak ve öncelik ilişkileri kısıtları dışında, projelere özgü kısıtlar da bulunabilmektedir. Zorunlu olarak yapılan kaynak faaliyet eşleşmesi buna bir örnektir. Buna göre, bazı faaliyetlerde, çok sayıda özdeş kabul edilen kaynaklardan, ilgili faaliyet için belirli bir tanesinin kullanılması istenebilmektedir (dört vasıfsız işçiden sadece birisinin veri girişi yapabilmesi durumunda, veri girişi dışındaki faaliyetlerde tüm çalışanlar özdeş iken, veri girişi işinde sadece birinin çalışabilmesi durumu gibi). Bunun dışında özel kısıtlara, genelleştirilmiş öncelik ilişkileri dışında, daha kompleks ilişkilerin söz konusu olduğu kısıtlar örnek olarak verilebilir (bir faaliyetin 1/3’ü tamamlandığında diğer faaliyetin başlatılması gibi).

Kaynak kısıtlı çizelgeleme problemleri, amaçlar yönünden önemli farklılıklar gösterse de, problemlerde en yaygın amacın, proje tamamlanma süresinin en küçüklenmesi olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte maliyetin en küçüklenmesi, net bugünkü değer en büyüklenmesi, kaynak kullanım oranının en büyüklenmesi, toplam gecikme ve erken bitirme sürelerinin en küçüklenmesi gibi farklı amaçlar da söz konusu olabilmektedir. Ayrıca bir problemin, birden çok amacının olması durumunda, problem çok amaçlı bir amaç fonksiyonu dikkate alınarak modellenmektedir.

Yukarıda bahsedilen tüm farklı uygulamalar, çok sayıda KKPÇP’nin söz konusu olduğunu göstermektedir. Bu çok sayıda farklı problem türü, sınıflandırma gösterimlerinde farklılıklara neden olmaktadır. Literatürdeki farklı sınıflandırma gösterimlerinin incelenmesi ve alt sınıflandırma gruplarının kapsam dışında tutulması ile oluşturulan KKPÇP genel sınıflandırma gösterimi, aşağıda şekil 3.5’te verilmiştir.





Şekil 3.5 Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problem türleri

### 3.2.2. Genel Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Matematiksel Gösterimi

Bu bölümde faaliyetler arasındaki öncelik ilişkisinin sadece FS olduğu genel bir KKPÇP matematiksel modeli gösterilmiştir. İncelenen modelde faaliyetlere ara verilmesi durumu ile faaliyetler arasındaki ilişkilerde bekleme süresi durumu bulunmamaktadır. Problem gösterimi sadece tek modlu projeleri kapsamaktadır. Ayrıca çizelgeleme probleminde sadece yenilenebilir kaynaklar kullanıldığı kabul edilmiştir. Son olarak problemin amacı, proje tamamlanma süresinin en küçüklenmesidir.

Buna göre, “ $x_{jt}$ ” değişkeni,  $t$  zamanındaki  $j$  faaliyetini ifade etmektedir. Her  $j$  faaliyeti faaliyetler kümesinin, her  $t$  zamanı ise proje zamanı içerisindeki süre kümesinin elemanıdır.  $j \in J^+$  ve  $t \in T$

$$X_{jt} = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & j \text{ faaliyetinin, } t \text{ anında tamamlanması durumunda} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{array} \right\}$$

Amaç

$$\text{Min} \sum_{t=EF_{j+1}}^{LF_{j+1}} t * x_{j+1,t} \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{t=EF_j}^{LF_j} x_{jt} = 1 \quad j \in J^+ \quad (2)$$

$$\sum_{t=EF_h}^{LF_h} t * x_{ht} \leq \sum_{t=EF_j}^{LF_j} (t - p_j) * x_{jt} \quad j \in J^+, h \in P_j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J r_{jk} \sum_{b=t}^{t+p_j-1} x_{jb} \leq R_k^\rho \quad k \in K^\rho, t \in T \quad (4)$$

$$x_{jt} \in \{0,1\} \quad j \in J^+, t \in T \quad (5)$$

Matematiksel modelde (1). eşitlik amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Buna göre projenin son faaliyetinden sonra gelen aktivitenin (kukla faaliyet) tamamlanma süresinin en küçüklenmesi, dolayısıyla proje süresinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır.

Kısıtlar bölümünde ise (2). eşitlik her faaliyetin mutlaka çizelgelenmesini, (3). ve (4). eşitlikler ise sırasıyla öncelik ilişkileri ile kaynak kısıtlarının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Son olarak (5). eşitlik ile gösterilen kısıt ile  $x_{jt}$  değişkenin alabileceği değerler tanımlanmaktadır (Hartmann, 1999).

Matematiksel modelde yer alan sembollerin anlamları aşağıda verilen tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Sembol tanımları

<b>Gösterim</b>	<b>Sembol Tanımı</b>
$T, t$	Proje süresi, zaman indisi
$t = 1, \dots, T$	Zaman indisi
$[t - 1, t]$	t zamanına göre zaman aralığı
$J = \{1, \dots, J\}$	Faaliyetler kümesi, $j = 1, \dots, J$
$j = j+1$	En son kukla faaliyet (proje sonu)
$j = 0$	Başlangıç kukla faaliyeti (proje başlangıcı)
$J^+ = \{0, \dots, j+1\}$	Kukla faaliyetlerle birlikte tüm faaliyetler kümesi
$E$	Öncelik ilişkileri kısıtları kümesi
$G = (J^+, E)$	Öncelik ilişkileri kısıtları grafiği
$s_j$	$j$ faaliyetinin başlangıç zamanı
$f_j$	$j$ faaliyetinin bitiş zamanı
$S = (s_1, \dots, s_j)$	Çizelge kümesi
$p_j$	$j$ faaliyetinin süresi
$P_j$	$j$ faaliyetinden hemen önceki faaliyetler kümesi
$S_j$	$j$ faaliyetinden hemen sonraki faaliyetler kümesi
$\overline{S_j}$	$j$ faaliyetinden sonra gelen tüm faaliyetlerin kümesi
$K^p$	Yenilenebilir kaynaklar kümesi
$R_k^p$	$k$ kaynağının tüm zaman aralıklarında bulunma miktarı
$r_{j,k}$	Her zaman aralığı için, faaliyet $j$ 'nin, $k$ kaynağı kullanma miktarı
$EF_j$	$j$ faaliyetinin en erken tamamlanma zamanı
$LF_j$	$j$ faaliyetinin en geç tamamlanma zamanı

---

$ES_j$	$j$ faaliyetinin en erken başlama zamanı
$LS_j$	$j$ faaliyetinin en geç başlama zamanı

---

### 3.2.3. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Çözüm Yöntemleri

Literatürde yer alan KKPÇP çözüm yöntemleri, kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler olmak üzere iki grupta toplanmıştır. Çözüm yöntemleri içerisinde KKPÇP'nin optimal çözümü sadece kesin çözüm yöntemleri (matematiksel metotlar) ile bulunabilmektedir. Bununla birlikte, problem karmaşıklığı arttırıldığında kesin çözüm yöntemleri, çözüm üretmek için yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple proje çizelgeleme problem boyutları ve problem içerisindeki kısıtlar arttıkça, matematiksel modeller yerine, en iyi çözümü elde edemese de, iyi bir çözüme ulaşma kabiliyeti olan sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler daha çok tercih edilmektedir.

Bu bölümde öncelikle kesin çözüm yöntemleri ile ilgili literatürdeki çalışmalar anlatılmıştır. Daha sonra sezgisel yöntemlere yer verilmiştir. KKPÇP genel çözüm yöntemleri hakkında bilgi için Kolisch ve Hartmann (1999) ile Ulusoy'un (2002) yapmış oldukları çalışmalar incelenebilir.

#### 3.2.3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Kesin çözüm yöntemleri, optimal sonucun elde edildiği, matematiksel modellere dayalı yöntemlerdir. Kesin çözüm yöntemleri sezgisellerden farklı olarak, olası çözüm seçeneklerini taramadan, matematiksel modeller ile en uygun çözümün bulunmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla geliştirilen çok sayıda tam sayılı programlama, numaralama, dal-sınır ve bunların alt gruplarını oluşturan yöntemler bulunmaktadır.

Literatürde en yaygın proje çizelgeleme yöntemi CPM ve PERT'tir. Bu eski iki yöntem sınırsız kaynak kullanımı varsayımı ile faaliyetleri sıralayabilmekte fakat kaynak kısıtlarını dikkate alamamaktadır. Bu nedenle şebeke diyagramları, KKPÇP çözüm yöntemleri içinde gösterilmemektedir.

Kesin çözüm yöntemleri arasında, lineer programlama ve tamsayı programlama kullanılarak kaynak kısıtlı çizelgeleme problemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır

(Pritsker vd., 1969; Patterson ve Huber, 1974; Patterson ve Roth, 1976; Talbot ve Patterson, 1978). Lineer programlama ve tamsayılı programlama yöntemlerinin çizelgeleme problemlerinde kullanılabilmesi için problem üzerinde farklı sadeleştirmeler gerçekleştirilir. Bu nedenle spesifik problem türlerinde başarı sağlayan geleneksel lineer programlamadan farklı olarak hibrit yöntemler ile çizelgeleme problemlerinde daha az sadeleştirme (kabul) yapılarak, daha geniş problemlerde çözüm üretilmesine çalışılmaktadır.

Tamsayılı programlamadan sonra çalışılan kesin çözüm yöntemlerinin başında dal-sınır yöntemi gelmektedir. Dal-sınır yönteminde karar ağacı, ilk faaliyetin çizelgelenmesi aşamasından sonra, her faaliyete öncelik ilişkileri ve kaynak kısıtları dikkate alınarak olası dallar eklenmesi ile oluşturulmaktadır (Stinson ve diğ. 1978).

İş çizelgeleme probleminde, dal sınır yöntemi ilk olarak Schrage (1970) tarafından kullanılmıştır. Proje çizelgeleme probleminde ise Stinson ve arkadaşları (1978) dal-sınır yönteminin ilk uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra, Demeulemeester ve Herroelen (1992) tarafından probleme farklı bir yaklaşım ile dikey inişli bir dal-sınır yöntemi uygulaması önerisi getirilmiştir. Dal sınır yöntemi en fazla kullanılan kesin çözüm yöntemlerinden biri olmasına rağmen çok sayıda faaliyetin söz konusu olduğu problemlerde çözüm üretememektedir. Günümüzde dal-sınır yönteminde farklı sezgiseller kullanılarak karmaşık problemlerde de çözüm üretilmeye çalışılmaktadır.

Çok modlu proje çizelgeleme problemleri için Talbot (1982), faaliyet listesi üzerinde tanımladığı bir yöntem önermiştir. Daha sonraları, Patterson vd. (1989, 1990) bu yaklaşımı sayısal olarak incelemiş ve geliştirmişlerdir. İlk çözüm önerileri 15 faaliyete kadarki problemlere çözüm üretebilmiştir. Sprecher vd. (1997), Demeulemeester ve Herroelen (1992) tarafından tek modlu problemler için önerilen dal-sınır yöntemini, çok modlu problemlere uyarlamıştır. Benzer şekilde, Sprecher ve Drexl (1998) önerdikleri yeni baskınlık kurallarını kullanarak dal-sınır yöntemi ile en fazla 20 faaliyet içeren problemleri çözebilmişlerdir. Hartmann ve Drexl (1998), Stinson vd.'nin (1978) tek modlu problemler için önerdiği yöntemi çok modlu problemlerde kullanmışlardır. Sprecher (1994), Demeulemeester ve Herroelen (1992) ile Stinson ve arkadaşları ise (1978), dal-sınır yöntemlerinin ayrıntılı bir karşılaştırmasını yapmışlardır. Hartmann ve

Drexl, yaptıkları sayısal değerlendirmeler sonucu, Sprecher ve Drexl algoritmasının halen bu konudaki en etkin kesin çözüm yöntemi olduğunu rapor etmişlerdir. (Ulusoy 2002).

### **3.2.3.2. Sezgisel Yöntemler**

Matematiksel modellerin sadece az faaliyet ve kısıtı olan proje çizelgeleme problemlerinde kullanılmasına karşın, gerçek hayattaki projeler, pek çok faaliyet ve kısıttan oluşmaktadır. Gerçek problemlerde kesin çözüm yöntemlerinin en iyi sonuca ulaşması, günümüz bilgisayar işlemcileri ile yüz yıllar sürebilmektedir. Bu durum, araştırmacıları problemlerde en iyi çözüm olmasa da, “iyi” bir çözüme süratle ulaşan sezgisel yöntemler üzerinde çalışmaya yöneltmiştir. Ayrıca sezgisel yöntemler karmaşık problemlerde arama uzayını daraltarak, diğer çözüm yöntemlerinin daha dar bir çözüm alanı içerisinde çalışabilmesini sağlayabilmektedir.

Bu bölümde sezgisel yöntemler iki alt başlık altında toplanmıştır. Bu kapsamda sırasıyla öncelik kurallarına dayalı çözüm türeten sezgisel yöntemler ile meta-sezgisel yöntemler incelenmiştir. Sezgisel yöntemler konusunda daha ayrıntılı bilgi için Kolisch (1995), Kolisch ve Hartmann (1999), Hartmann ve Kolisch (2000) çalışmalarına başvurulabilir.

### **Öncelik Kurallarına Dayalı Çözüm Türeten Sezgisel Yöntemler**

Sezgisel yöntemler, tanımlanan farklı öncelik kuralları ile çözüm üreten yöntemlerdir. Genel olarak proje çizelgeleme problemlerinde kullanılan sezgisel kuralların birçoğu daha önce iş çizelgeleme probleminde kullanılan kurallardan oluşmaktadır. Çizelgeleme probleminin çözümünde, sezgisel kurallar ve çizelgenin oluşturulma yöntemine göre, elde edilen çözüm sadece bir tane olabileceği gibi çok sayıda çözüm de üretilebilmektedir. Bu nedenle sezgisel yöntemler, tek çözüm üreten yöntemler ve çok çözüm üreten yöntemler şeklinde sınıflandırılabilir.

Sezgisel algoritmalarda çok farklı kurallar kullanılabilir. Kurallar için herhangi bir ön şart ya da kısıt bulunmamaktadır. Bir proje yöneticisi proje çizelgeleme problemi için kendi sezgisel kurallarını geliştirebilir. Burada önemli olan tek şey, amaç fonksiyonuna göre sezgisel algoritmanın başarısıdır. Fakat aynı sezgisel kuralın başarısı problem tipleri ve büyüklüklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Literatürde sezgisel yöntemler ve algoritmalar konusunda çok sayıda çalışma ve öncelik kuralı

bulunmaktadır. Çalışmaların bir bölümü sezgisel kural ve algoritmaları karşılaştırmaya dönük araştırmalardır. Bu çalışmalarda, tanımlanan kuralların çözüm kabiliyetlerinin kıyaslanmaları yapılmaktadır. Literatürde yer alan sezgisel yöntemlerde, en sık kullanılan kurallardan bazıları şunlardır;

- En kısa işlem süresi (Shortest processing time - SPT).
- En kısa boşluk süresi (Minimum slack - MSLK).
- En çok sayıda toplam ardıl (Most total successor - MTS).
- En büyük kaynak talebi (Greatest resource demand - GRD).
- En geç bitirme zamanı (Latest finish time - LFT).
- En geç başlama zamanı (Latest start time - LST).
- Kaynak çizelgeleme metodu (Resource scheduling method - RSM).
- En büyük konumsal ağırlık (Greatest rank positional weight - GRPW).
- En kötü alternatif boşluk (Worst case slack - WCS)

Sezgisel öncelik kurallarının bir diğer sınıflandırması, çizelgeleme esnasında değeri sabit kalanlar (durağan – *static*) ve çizelgelemenin değişik aşamalarında değişik değerler alabilenler (devingen – *dynamic*) şeklindedir. Örneğin, SPT (En kısa işlem süresi) durağan bir kural iken, MSLK (En kısa boşluk süresi) devingen bir kuraldır. Diğer bir sınıflandırma da, salt faaliyet bilgisini kullanan öncelik kurallarının yerel; bunun dışında daha geniş bilgi kullananların ise global olarak sınıflandırılmasıdır. Buna göre, MIS yerel iken, GRPW global bir öncelik kuralıdır. (Ulusoy, 2002).

Projeye ait çizelgenin oluşturulmasında, paralel çizelgeleme ve seri çizelgeleme olmak üzere iki ayrı yöntem vardır. Bu yöntemlerden paralel çizelgelemede, her safhada, faaliyetlerin ataması gerçekleştirilerek kısmi çizelgeler oluşturulur. Bu süreçte, bitmiş faaliyetler kümesi, atanmış fakat henüz tamamlanmamış devam eden faaliyetler kümesi, kaynak kısıtlarını aşmayan ve öncülleri bitmiş faaliyetlerin oluşturduğu karar kümesi ve bunların dışında kalan faaliyetlerin oluşturduğu kalan faaliyetler kümesinden yararlanır. Devam eden faaliyetlerden birinin tamamlanması, algoritmayı tetikler. Öncelik kuralı ile karar kümesinden yeni atanacak faaliyet ya da faaliyetler seçilir ve atanır. Atanan faaliyetler bitmiş faaliyetler olarak kaydedilir. Buna göre ataması yapılacak faaliyetlerin tamamlanması neticesinde döngü sonlandırılır.

Seri çizelgeleme ise, öncülleri bitmiş faaliyetler kümesinde yer alan faaliyetlerin oluşturduğu karar kümesi ve bunların dışında kalan faaliyetlerin oluşturduğu atanmamış faaliyetler kümesi bulunmaktadır. Seri çizelgelemede her aşamada, faaliyetler öncelik kuralı kullanılarak seçilir. Bu faaliyet, öncelik ilişkisi şartlarının olduğu ve kaynak kısıtlarını aşmadığı en erken zamanda atanır. Algoritma atanacak faaliyet kalmayana kadar sürdürülür.

### **Meta Sezgisel Yöntemler**

Literatürde proje çizelgeleme problemlerinde kullanılan pek çok meta sezgisel yöntem bulunmaktadır. Meta sezgisel yöntemler, kesin çözüm yöntemlerine göre daha çok tercih edilmektedir. Bunun nedeni gerçek hayattaki problemlerin çok sayıda faaliyetten oluşan büyük projeler olması ve kesin çözüm yöntemlerinin bu problemlerde etkisiz kalmasıdır. Sezgisel yöntemler, sezgiye dayalı oldukları, kolay uygulanabildikleri, çözüm üretme süresindeki hızları yönüyle avantajlı olmalarına rağmen amaç fonksiyonunun optimal değerini elde etmedeki standardı yakalayamamaktadırlar (Brucker ve diğ., 1999). Diğer bir ifade ile farklı proje problemleri için çözümleme başarısı farklılık göstermektedir.

Meta sezgisel yöntemlerde farklı çözüm gösterimleri ve çizelgeleme yöntemleri mevcuttur. Rassal anahtar (random key) gösterimin her bir elemanı bir faaliyet ilişkin bir değere karşı gelir. Faaliyet listesi (activity list) gösterimi olarak nitelendirilen gösterimde, gösterimin her bir elemanı bir faaliyetin proje serimi üzerinde atanmış gösterim sayısına karşı gelir. Üçüncü gösterimde ise, gösterimin elemanlarını öncelik kuralları oluşturur: Bu gösterime öncelik kuralları (priority list) gösterimi denir. Bu gösterim daha önce atelye çizelgeleme problemlerinde kullanılmıştır (Dorndorf ve Pesch, 1995, Herrmann ve diğ., 1995) (Ulusoy 2002).

Bu bölümde bu yöntemlerden en fazla kullanılanları kısaca açıklanacaktır. Buna göre, genetik algoritma, tavlama benzetimi ile tabu tanımlayarak arama yöntemleri ile ilgili açıklama ve literatür çalışmaları aşağıda verilmiştir.



**Genetik algoritma:** Meta sezgisel yöntemler içerisinde en fazla uygulamaya sahip olan yöntem genetik algoritmalarıdır. Darwin'in evrim teorisinden esinlenen genetik algoritmalar, kombinatoriyal problemlerde çözüm arayan bir optimizasyon yöntemidir (Park ve diğ., 2003). Genetik algoritmalar paralel arama yapabilme özelliğine sahiptir. Böylece genetik algoritmalar ile tek bir çözüm yerine birden fazla çözüm aranabilmektedir. Genetik algoritmada temel yaklaşım daha iyi genlerin bir sonraki genlere aktarılmasıdır. Bu süreçte kromozomlarda kopyalama, mutasyon ve çaprazlama işlemleri yapılarak daha iyi kromozomların elde edilmesine çalışılır. Çizelgeleme problemlerinde genetik algoritma işleyişinde olası çizelgelenebilir faaliyetler kümesi oluşturulur. En iyi çözüm ile rastgele seçilen bir çözüm çaprazlanır. Böylece yeni çözümler üretilir. Elde edilen çözümlerden kötülerini ayıklanarak iyi çözümlerin arama sürecinde devam etmesi sağlanır.

Literatürde proje çizelgeleme problemlerinde genetik algoritmalarından sıklıkla yararlanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda yukarıda ifade edilen farklı çözüm gösterimleri (rassal anahtar, faaliyet listesi, öncelik kuralları) ile farklı çaprazlama yöntemleri sınanmıştır. Bu konudaki araştırmalardan, Lee ve Kim (1996), Hartmann (1998), Mori ve Tseng (1997) çalışmaları incelenebilir. Genetik algoritmalar ile yapılan bazı çalışmalarda ise yenilenemez kaynakların da yer aldığı problemler üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmalara Hartmann (1997) ve Özdamar (1999) örnek olarak verilebilir.

**Tavlama benzetimi:** Tavlama işlemi, fizikte metalin başlangıçta yüksek seviyede olan ısısının normal seviyeye düşürülmesidir. Tavlama benzetiminde metalin iç enerjisi, amaç fonksiyonunu ifade ederken, ısı kontrol parametresi ve sistemin zaman içindeki değişimlerden oluşan değerleri de çözümün komşularını temsil etmektedir. Benzetim tavlama sırasında çözüm, yerel minimuma düşünceye kadar ilerler.

İlk defa Kirkpatrick vd. (1983) tarafından sunulan tavlama benzetimi yöntemi, ilk karşılaşılan daha iyi çözümü kabul ederek en iyiyi arama stratejisinin temelinde bir değişik uygulama biçimidir. Her adımda daha iyi bir noktaya gitmeyi hedefleyen gradyan ile arama yönteminden farklı olarak tavlama benzetimi yöntemi süreç içinde

giderek azalan bir olasılıkla daha kötü bir çözüme gitmeye izin verir (Ulusoy 2002). Tavlama benzetiminde algoritma tüm komşu çözümlerin reddedilmesi durumunda, ısı değeri en düşük değere ulaştığında ya da tanımlanan en fazla iterasyon sayısına ulaşıldığında sonlanabilmektedir.

**Tabu tanımlayarak arama:** Tabu Arama algoritması, Glover (1989) tarafından kombinatoryal problemlerin çözümü için önerilmiş bir sezgisel yöntemdir. Tabu tanımlayarak arama mevcut çözümün çevresinde yerel en iyi çözümü arayan gradyan yönteminin bir uyarlamasıdır. Yöntemde yerel en iyi çözümün aranmasında daha önceden incelenmiş bir komşuya tekrar bakılmasını engellemek için incelenen komşular tabu listesi diye adlandırılan yasak listesinde bir süre bekletilir. Böylece algoritmanın, yerel minimumdan kurtulması sağlanır. Eğer incelenen bir komşunun amaç fonksiyonu değeri, tabu yıkma ölçütü olarak adlandırılan ölçütü sağlıyorsa, o komşu tabu listesinden çıkartılır ve yeni bir çözüm olarak seçilir. Ayrıca tabu listesine yeni elamanlar girdiğinde en uzun süreli elaman tabu listesinden çıkartılır. Böylece global en iyiye doğru farklı yönlerden hızlı bir şekilde ilerlemeye çalışılır.

### 3.3. SİMÜLASYON VE MODELLEME YAKLAŞIMI

Simülasyon, gerçek sistemin bir modelini kurma, sistemin davranışlarını anlama, hem de sisteme ilişkin çeşitli stratejileri değerlendirme amacıyla kurulan modelle deneyler yapma sürecidir (Shannon, 1975). Bu süreç, gerçek hayattaki sistemlerin ve operasyonların, taklit edilmesi ve bunun neticede oluşturulan modelde değişiklikler yaparak sistem davranışları ile ilgili bilgi toplamasıdır. Elle veya bilgisayarla simülasyon yaparken, sistemin yapay bir geçmişi oluşturulur. Oluşturulan yapay geçmiş, gerçek sistemin işleyiş özellikleri hakkında yorum yapmak için kullanılır.

Sistemin zamanla birlikte gelişen davranışı, simülasyon modeli geliştirilerek çalışılır. Modelleme yaparken sistemin işleyişi ile ilgili varsayımlar yapılır. Bu varsayımlar sistemin elemanları (objeleri) arasındaki sembolik, mantıksal ve matematiksel ilişkiler şeklinde ifade edilmektedir. Modelin kurulduktan ve geçerliliği test edildikten sonra, model üzerinde gerçek hayattaki sistem ile ilgili birçok soru test edilebilmektedir. Bu nedenle Lewis ve Orav (1989) simülasyonu, bilgisayar yardımı ile gerçekleştirilen

kontrollü bir istatistiksel deney olarak tanımlamaktadır. Sistemde olması mümkün değişiklikler, önce simülasyon modelinde denenir ve bu değişikliklerin sistem performansına etkileri araştırılır. Simülasyon henüz kurulmamış ama tasarım safhasında olan sistemlerin çalışmasında da kullanabilmektedir. Böylece simülasyon değişikliklerin sisteme etkisini analiz etmekte ve yeni sistemin değişik şartlarda performansını ölçerek, tasarım faaliyetlerine yön verilebilmektedir.

Bazı problemler için basit matematiksel modeller oluşturmak yeterli olabilmektedir. Matematiksel modeller diferansiyel denklemler, olasılık teorisi, ve diğer cebir metotları ve teknikleridir. Fakat basit analitik yöntemlerle çözülemeyen sistem ve problemlerde, sistemi taklit eden bilgisayar temelli nümerik simülasyon modelleri kullanılmaktadır. Simülasyondan gerçek sistem gözleniyormuş gibi veriler toplanmakta ve bu yolla üretilen veriler sistemin performansını tahmin etmede kullanılmaktadır.

### **3.3.1. Simülasyon Kullanımının Uygun Olduğu ve Olmadığı Problemler**

Endüstri ve akademik alanda günümüzdeki problemlerin eskiye oranla daha kompleks olması, daha ucuz maliyete sahip daha yüksek performanslı bilgisayarların gelişimi ve özel amaçlı simülasyon dillerinin eskiye oranla çok daha kapsamlı olması nedeniyle günümüzde simülasyon ve modellemeden çok daha fazla yararlanılmaktadır. Bu nedenle simülasyon, yöneylem araştırması ve sistem analizlerinde en fazla kullanılan araçlardan biri olmuştur. Naylor vd. (1966) simülasyonun kullanım amaçlarını şu şekilde sıralamıştır.

- Simülasyon kompleks bir sistem içerisindeki etkileşimler ile bir alt sistemin işleyişi üzerinde çalışmaya imkan tanıyabilmektedir.
- Bilgi, organizasyon ve çevresel değişiklikler, simülasyon ile modellenerek bu değişikliklerin modelin davranışına etkisi gözlenebilir.
- Simülasyon modeli tasarlanırken kazanılan bilgi, incelenen sistemi geliştirmek için öneriler yapma imkanı verir.
- Girdileri değiştirerek ve ilgili çıktıları gözlemleyerek hangi değişkenlerin daha önemli olduğu ve değişkenlerin nasıl etkileşim içinde olduğu hakkında önemli bilgiler elde edilebilir.
- Analitik çözüm metotlarını desteklemek için eğitsel olarak kullanılabilir.

- Yeni tasarım ve politikaları uygulamadan önce bunları test etmek için kullanılır. Böylece oluşabilecek durumlara hazırlıklı olunabilir.
- Analitik çözümleri doğrulamak için kullanılabilir.

Simülasyonun uygun olmadığı durumlar ise şu şekilde tanımlanmıştır;

- Analitik çözüm metodlarının etkin olarak kullanılabildiği problemlerde simülasyona ihtiyaç yoktur.
- Gerçek sistemde deney yapmanın çok kolay olduğu problemlerde simülasyona gerek olmayabilir.
- Maliyeti gelirinden fazla olarsa, simülasyon tercih edilmemelidir.
- Kaynaklar ve zaman yeterli değilse, simülasyon yapılmamalıdır.
- Simülasyon yapmak için veriye ihtiyaç vardır. Eğer veriler yeterli miktarda değilse ya da tutarsız ise simülasyon tavsiye edilmemektedir.
- Doğrulama (Verification) ve Geçerlilik Analizi (Validation) yapacak zaman ve personel yoksa ya da personelin bunları gerçekleştirebilme kabiliyeti az ise simülasyon uygun olmayabilir.
- Sistem davranışı tanımlanamayacak şekilde karmaşıkta (insan davranışları gibi) simülasyon çalışmasının o ölçüde zorlaşacağı kesindir. Bu problemlerde beklentiler dikkate alınarak simülasyon ve modelleme çalışmasına karar verilmelidir.

### 3.3.2. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları

Kompleks sistemlerin ve problemlerin simülasyon yaklaşımı ile değerlendirmesinin pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunla birlikte, literatürde simülasyon uygulamalarının dezavantajları da tartışılan konulardandır. Pegden vd. (1995) simülasyonun avantajlarını şu şekilde sıralamışlardır.

- Yeni politikalar, işletme prosedürleri, karar kuralları, bilgi akışı, organizasyonel prosedürler, vb çalışmalar, sistemin devam eden işleyişini aksatmadan incelenebilmektedir.
- Yeni donanım tasarımı, fiziksel yerleşim, taşıma ve kaynak kullanımı gibi faaliyetler başlamadan test edilebilir.

- Bir şeyin nasıl ve niye olduğu hakkında hipotezler test edilebilir.
- Simülasyon ile modellenen sistemin zamana göre davranışları izlenebilir. Simülasyon zamanı üzerinde değişiklikler yapılarak, zaman sıkıştırılarak ve genişletilerek sistem davranışı incelenebilmektedir.
- Sistemdeki değişkenlerin etkileşimi hakkında fikirler elde edilebilir.
- Değişkenlerin sistemin performansına etkisi ve önemleri hakkında bilgi elde edilebilir.
- Gerçekleştirilen işlerin, bilgi ve malzemelerin, süreç içerisinde nerelerde fazlaca beklediğini gösteren darboğaz analizleri yapılabilir.
- Simülasyon çalışması, bireylerin sistem hakkında ne düşündüklerinden ziyade sistemin gerçekte nasıl çalıştığının anlaşılmasına yardımcı olur.
- Simülasyonla değişik senaryolara (What-if analysis) cevap bulunabilir. Bu senaryolar özellikle yeni bir sistemin tasarımında faydalı olmaktadır.

Pegden ve arkadaşlarının (1995), simülasyon uygulamaları konusundaki yapmış oldukları eleştiriler ise şunlardır;

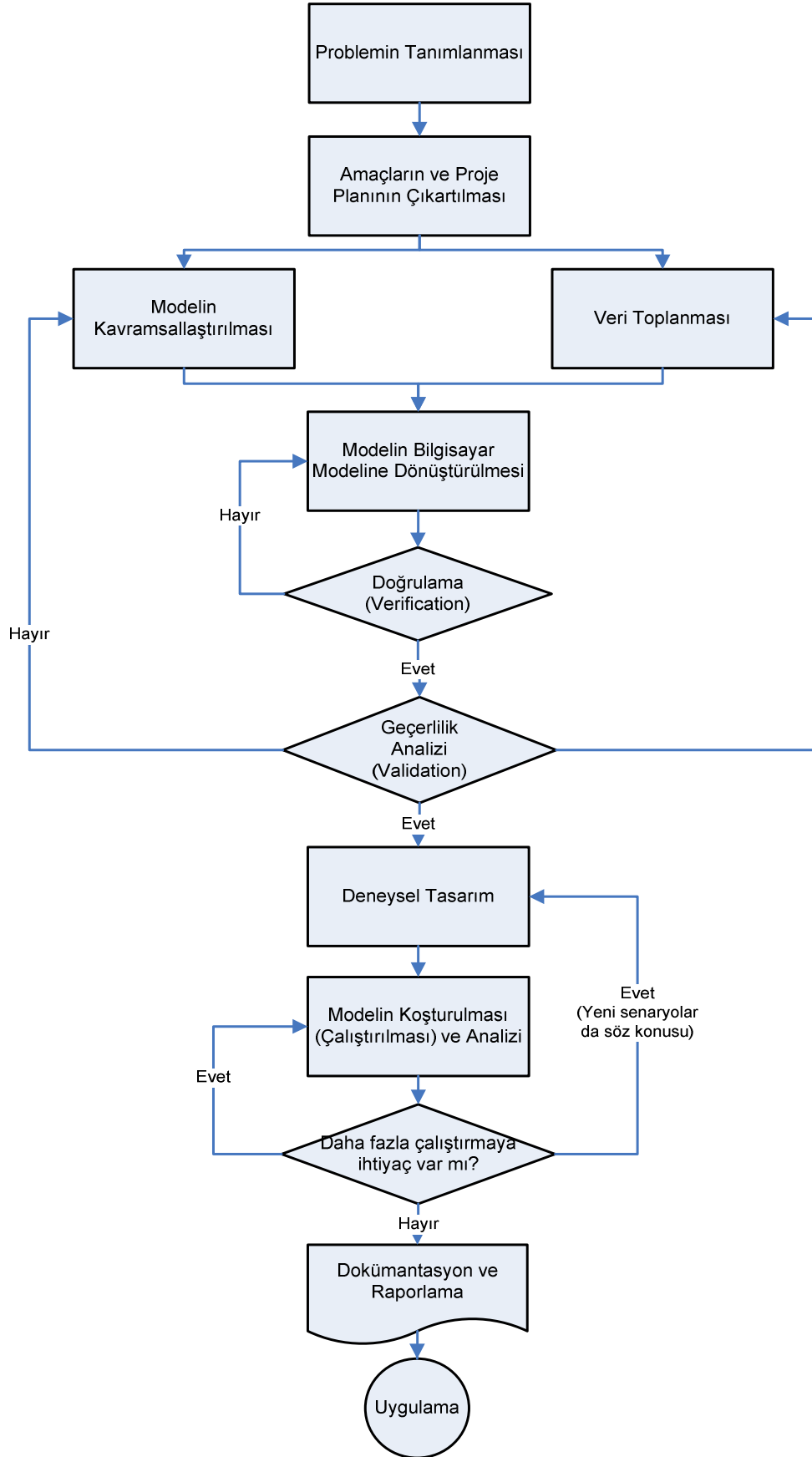
- Modelleme özel bir eğitim gerektirmektedir. Zamanla ve tecrübe ile öğrenilen bir sanattır. İki farklı bireyin geliştirdiği modellerin benzerliği olmasına rağmen her ikisinin tamamıyla aynı olması pek mümkün değildir.
- Simülasyon sonuçlarını yorumlamak zordur. Bir çok simülasyon çıktısı rassal değişkenler oldukları için (Rassal girdilere bağlı oldukları için) gözlemin sistemdeki etkileşimlerin mi, yoksa rassallığını bir sonucu olduğu kesin değildir.
- Simülasyon modellemesi ve analizi, zaman alıcı ve pahalı olabilmektedir. Modelleme yaparken kaynaklarda cimrilik etmek, analizin ve simülasyon modelinin, iş için yetersiz olmasına sebep olabilir.
- Kesin çözümün analitik yöntemler ile aranmasının mümkün ve belkide daha doğru olduğu bazı problemlerde simülasyon kullanılmaktadır. Özellikle kapalı devre kuyruk modelleri ile ilgili çalışmalar buna örnektir.

Yukarıda ifade edilen dezavantajlarda haklılık payı bulunmasına rağmen bu eleştirilerin tamamen kabul edilebilir olduğu söylenemez. Buna göre birinci eleştiride modelleme

yapan kişilerin model üzerinde farklılıklara neden olabileceği ileri sürülmektedir. Fakat simülasyon uygulamalarında önemli olan model görünüm farklılığı değil, model işleyiştir. Bir sistem farklı modellerle taklit edilebilir. Benzetimde kullanılan verilerin ve istatistiksel dağılımların aynı olası durumunda simülasyon işleyişinde önemli bir farklılık bulunmaması gerekmektedir. Bunun dışında simülasyon, günümüzde, düne göre çok daha hızlı gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca yazılım ve donanım teknolojisindeki gelişmeler ileride yapılacak modelleme ve simülasyon çalışmalarının gerçeğe çok daha yakın ve çok daha hızlı olacağını göstermektedir. Bu nedenle bugünkü eleştirilerin bir kısmının ileride ortadan kalkması beklenmektedir.

### **3.3.3. Simülasyon ve Modelleme Adımları**

Simülasyon ve modelleme faaliyetiyle ortaya konulan benzetimin gerçek sistemi başarılı bir şekilde temsil edebilmesi, simülasyon adımlarının doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Shannon (1975), Gordon (1978), Law ve Kelton (1991) simülasyon ve modelleme adımları konusunda birbirine yakın çalışmalar yapmışlardır. Hemen aşağıdaki şekilde bu adımlara benzer olarak Banks ve arkadaşlarının ortaya koyduğu (1996) simülasyon ve modelleme adımları gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Simülasyon ve modelleme adımları (Banks ve diğ., 1996)

### 3.3.4. Simülasyon Modellerinin Kurulması

Simülasyon modellerinin kurulması üç ana adımdan oluşmaktadır. Buna göre model kurmada ilk adım, gerçek sistemin ve sistem elemanları arasındaki etkileşimin gözlemlenmesi ve sistem davranışı ile ilgili verilerin toplanmasıdır. Fakat sistemi anlamada gözlem, tek başına çoğu zaman yetersizdir. Sistemi tanıyan insanların, sistem bilgisinden faydalanılmalıdır. Operatörler, teknisyenler, bakım ve tamir personeli, mühendisler ve yöneticiler sisteme ait özel durumlar konusunda bilgi sahibidirler. Bu sebeple model geliştirildikçe ve yeni sorular açığa çıktıkça, model geliştirici sistemi iyi bilen kişiler ile ortak çalışmalıdır.

Model kurmada ikinci adım, sistem ve parçaları hakkında varsayımlar dizisi ve girdi parametrelerinin değerleri ile ilgili hipotezlerin kurulmasıdır. Geçerlilik, kavramsal modelin gerçek sistemle karşılaştırılmasıdır.

Model kurmada üçüncü ve son adım ise kavramsal modelin bilgisayar modeline çevrilmesidir. Model kurma doğrusal (sıralı) bir süreç değildir. Aksine, model kurucu her bir aşamaya (modeli kurma, doğrulama ve modelin geçerlilik analizi) birçok defalar dönebilir.

### 3.3.5. Doğrulama

Doğrulama (verification), kavramsal modelin, oluşturulan bilgisayar programına doğru şekilde aktarılmasının değerlendirilmesidir. Bu kapsamda, bilgisayar programın uygun şekilde çalışıp çalışmadığı incelenmektedir. Girdi parametreleri ve modelin mantıksal yapısının, oluşturulan modelde doğru biçimde temsil edilip edilmediği analiz edilir.

Doğrulama faaliyetleri için genel kabul gören bazı öneriler şunlardır;

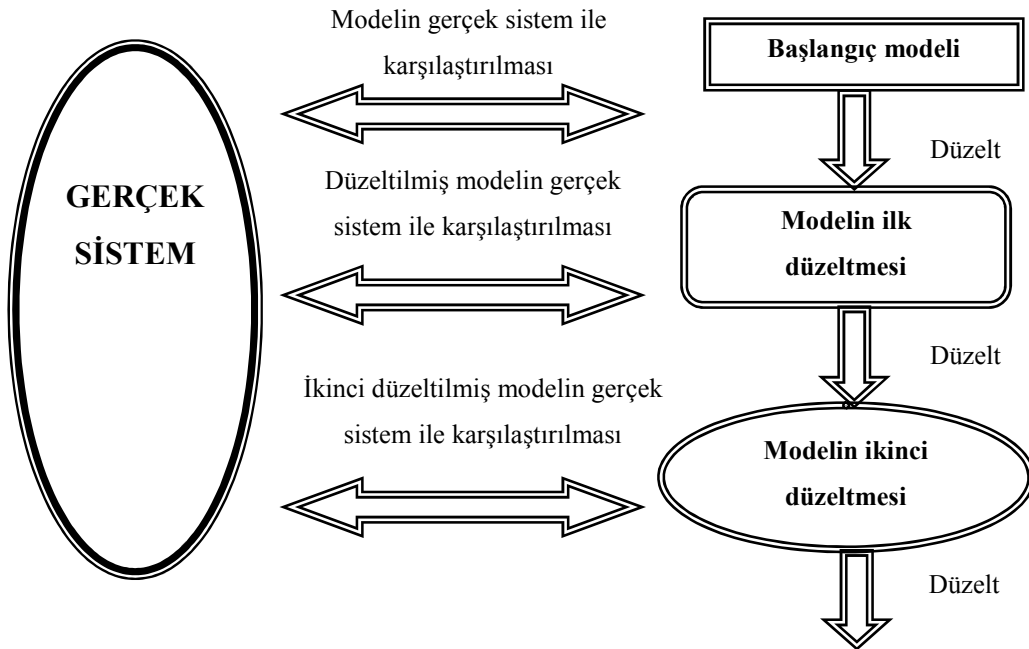
- Bilgisayar modelinin başka biri tarafından kontrol edilmesi,
- Bir olay olduğunda mantıksal olarak sistem tepkisini (sistemdeki değişiklikleri) gösteren akış şemasının çizilmesi,
- Değişik girdi senaryolarına göre, modelin çıktılarının mantıklı olup olmadığının kontrol edilmesi,



- Girdi parametrelerinin hata ile değişmediğinden emin olmak için, bu parametrelerin bilgisayar modeli tarafından simülasyon sonunda gösterilmesi,
- Bilgisayar modeline her bir değişkenin tanımı ve programın her bir parçasının amacının yazılması,
- Kurulan bilgisayar modelinin, çalıştığı anda adım adım izlenebilmesi için hata tesbit ve gösterici (debugger) fonksiyonlarına sahip olması,
- Doğrulama ve geçerlilik analizi yapılırken grafiksel arayüz kullanılması.

### 3.3.6. Geçerlilik Analizi

Geçerlilik Analizi (validation) benzetimi yapılan modelin, doğru olarak modellenmesi ile ilgilidir. Bir modelin gerçek sistemin tam bir temsili olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Geçerlilik analizi genellikle modelin “kalibre” edilmesiyle gerçekleştirilir. Kalibrasyon faaliyeti gerçek sistem ile oluşturulan modelin karşılaştırıldığı tekrarlı bir faaliyetdir. Her karşılaştırma neticesinde tespit edilen eksiklikler giderilir, modelde düzenlemeler yapılır. Kalibrasyon gerçek sistem ile simülasyon modeli arasındaki farklılıklar kabul edilebilir düzeye ulaştığında, sona erdirilmektedir. Şekil 3.7’de geçerlilik analizi kalibrasyon süreci gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Bir modelin tekrarlı kalibrasyon süreci

Model geliştirenler için en önemli ve zor işlerden birisi, simülasyon modelinin doğrulanması ve geçerlilik analizinin yapılmasıdır. Model geliştirme ve geçerliliğini test etme sürecinde, simülasyon modelini kullananların şüphelerini gidermek ve modelin güvenilirliğini artırmak, modeli geliştirenlerin görevidir. Geçerlilik analizi tekrarlı iki aşamadan oluşmaktadır. Buna göre birinci aşamada sistemi doğru temsil eden bir model kurulur. İkinci aşamada ise, modelin güvenilirliğinin kabul edilebilir bir seviyeye çekilmesine çalışılır. İkinci aşamadan sonra benzetim modeli ile sistem davranışları arasında bir fark olması durumunda, birinci aşamaya dönülerek bu farklılıkların azaltılmasına çalışılır.

Kavramsal modelin gerçek sistemle karşılaştırılması, değişik objektif ve sübjektif testlerle yapılmaktadır. Sübjektif testler sistemin genel veya bazı yönleri hakkında bilgisi olan insanları ve onların model ve çıktıları hakkındaki hükümlerini içerir. Objektif testler ise, sistemin davranışları ile ilgili, model tarafından üretilmiş verileri gerektirir. Bu veriler hazır olduğu zaman, sistem verileri ve model verileri üzerinde istatistiksel testler uygulanır. Gerçek sistemle kavramsal sistemin karşılaştırılması ve gerektiğinde kavramsal modelde ya da bilgisayar modelinde gerekli değişikliklerin yapılması, modelin yeterli olduğu kararı alınıncaya kadar devam eden bir süreçtir.

Naylor ve arkadaşları (Naylor ve diğ., 1966), geçerlilik analizine yardımcı olmak amacı ile geniş kabul gören üç adımlı bir yaklaşımı geliştirmiştir. Bu adımlar şunlardır;

- Görünüm geçerliliği olan model geliştirilmesi,
- Model varsayımlarının geçerlilik analizinin yapılması,
- Modelin girdi-çıkıtı dönüşümlerinin gerçek sistemin girdi-çıkıtı dönüşümleriyle karşılaştırılması.

### ***Görünüm Geçerliliği***

Modelleme yapan kişinin ilk amacı, modelin model kullanıcılarına ve gerçek sistem hakkında bilgisi olan kişilere mantıklı görünmesidir. Potansiyel kullanıcıların model tasarımından uygulamaya kadar her aşamaya kadar dahil edilmeleri gerekir. Bu, güvenilir verilerle gerçekçi modeller kurulması için gereklidir. Potansiyel kullanıcılar

ve sistemi bilen insanlar modelin çıktısını analiz ederek modeldeki eksiklikleri belirleyebilirler. Bu sebeple görünüm geçeliliği bu kişilerin yardımıyla gerçekleştirilir.

### ***Model Varsayımlarının Geçerlilik Analizi***

Model varsayımları “Yapısal Varsayımlar” ve “Veriler ile İlgili Varsayımlar” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yapısal varsayımlar sistemin nasıl işlediğini belirtir. Gerçeğin basitleştirilmesi ve soyutlamayı varsayar. Birden fazla servis elemanın olduğu bir banka şubesinde, yapısal varsayımlara; her bir memur için ayrı bir kuyruk olduğunu varsaymak, hizmet şeklinin FIFO (ilk gelen ilk çıkar) veya LIFO (son gelen ilk çıkar) olduğunu varsaymak örnek olarak verilebilir. Veri varsayımları ise modelde kullanılan verilere dayalı varsayımlardır. Bu kapsamda sistem veri davranışları çeşitli istatistiksel dağılımlara benzetilerek farklı varsayımlar gerçekleştirilmektedir. Modelde kullanılan varsayımlar farklı istatistiksel testler ile değerlendirilmelidir.

### ***Girdi-Çıktı Dönüşümlerinin Geçerlilik Testi***

Modelin en önemli testi, modelin girdi verilerinin, gerçek verilerle benzer olduğu durumlarda ve modelde uygulanan politikanın gerçek sistemde uygulanan politikayla aynı olduğu durumda, modelin sistemin gelecek davranışını önceden kestirebilmesidir. Geçerlilik analizinin bu aşamasında model, girdi-çıktı dönüşümü olarak değerlendirilir. Model girdi parametrelerinin değerlerini alır ve bunları performans ölçüsü olan çıktılara dönüştürür.

Modelin girdi-çıktı dönüşümlerinin geçerlilik analizi, geleceği tahmin etmek yerine geçmişe ait geçerlilik analizi için ayrılmış verilerle yapılır. Bir veri dizisi modeli geliştirmek ve ayarlamak (düzeltmek) için kullanılırken diğer dizi geçerlilik analizi için saklanır. Model genellikle bazı girdi koşullarında, sistemin tepkisini ölçmek için geliştirilir. Örnek olarak kuyruk sisteminde modelin çıktıları, servis elemanın doluluk oranı veya müşterilerin sistemde bekleme süreleri olabilirken girdi değişkenleri servis elemanı sayısı ve hizmet kuralı olabilmektedir.

Girdi-Çıktı dönüşümlerinin geçerlilik testlerinde, aynı girdiler ile geliştirilen model ve modellenen gerçek sistemin kayıtlı davranışları karşılaştırılır. Aradaki farklılıklar ve bu

farklılıklara neden olabilecek unsurlar farklı istatistiksel analiz ve testler ile değerlendirilir.

Geçerlilik analizi teknikleri ile ilgili aşağıda verilen adımları önerilmektedir.

- Sistemin davranışları, modelin yapısı, model girdileri ve model çıktıları hakkında bilgisi olan kişilere danışarak yüksek görünüm geçerliliği olan modeller geliştir.
- Basit istatistik testleri kullanarak girdi verilerini homojenlik, rassallık ve kabul edilen dağılıma uygunluk açısından test et.
- Turing testini uygula. Bilgili insanlara (mühendisler, yöneticiler) sahip ol ve modelin çıktısını sistemin çıktısıyla karşılaştır ve farklılıkları tespit et.
- İstatistiksel testler yoluyla modelin çıktısını sistemin çıktısıyla karşılaştır.
- Model geliştirdikten sonra yeni sistem verilerini topla ve 2. teknikten 4. tekniğe kadar olan teknikleri tekrarla.

### 3.3.7. Kesikli-Simülasyon

Kesikli simülasyon ya da diğer ifadeyle kesikli olay benzetimi, durum değişkenlerinin zaman içinde belirli noktalarda değiştiği sistemlerin modellenmesi ile ilgilendir. Zaman içinde kesikli noktalarda bir olay ortaya çıkar. Bu olay sistemin durumunu değiştirir. Kesikli olay simülasyonu sistemin zamana göre benzetimidir. Kesikli simülasyon uygulamalarında kullanılan, önemli bazı kavramlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

*Sistem:* Sistem bir grup nesnenin (elemanın) aralarında bağımlılık ve etkileşim olacak şekilde ve bazı amaçları yerine getirmek için oluşturduğu bir bütündür. Simülasyonda sürekli (continuous) ve kesikli (discrete) sistemlerden söz edilir. Sürekli sistemler, durum değişkenlerinin sürekli değerler aldığı sistemlerdir. Kesikli sistemler de ise durum değişkenleri kesikli değerler almaktadır.

*Çevre:* Sistemin dışında kalan, sistemin içinde bulunduğu ortam, sistemin çevresidir. Sistem çoğunlukla, dışındaki değişikliklerden etkilenmektedir. Sistemi etkileyen değişiklikler, sistemin çevresinde oluşmaktadır. Sistem ile çevre arasında, sınır denmektedir. Sistemi modellerken sınır kararının verilmesi gerekmektedir.

*Model:* Bir sistemin gösterimidir. Bu gösterim, bir sistemi tanımlamak için sistem durumunu, sistem nesnelere, olaylarını, faaliyetlerini kullanılan matematiksel ve mantıksal ilişkileri kapsar. Gerçek bir sistemi çözümlenmek amacıyla yapılan simgeler veya temsiller model olarak ifade edilmektedir. Matematiksel/Fiziksel, Statik (Monte Carlo Simülasyonu)/Dinamik, Deterministik/Stokastik, Kesikli/Sürekli şeklinde sınıflandırılabilir.

*Sistem Durumu:* Herhangi bir zamanda sistemi tanımlamak için gerekli olan bilgiyi kapsayan değişkenler setidir.

*Nesne:* Sistemin bir bileşenidir. Bir sistem içerisindeki müşteri, makine nesne olabilir.

*Özellik:* Verilen nesnenin özellikleridir (örn; bekleyen bir müşterinin önceliği, atölyede bir işin uğrayacağı makinelerin sırası).

*Olay (Event):* Sistemin durumunu değiştirebilecek ani oluşumlardır. Örnek vermek gerekirse, kuyruk modellerinde, bir müşterinin kuyruğa girmesi sistem durumunu değiştirmekte ve bir olay olarak tanımlanmaktadır. Aynı şekilde proje çizelgelemede probleminde, bir faaliyetin tamamlanması, sistem durumunu değiştirdiği için olay şeklinde ifade edilir.

*İç Olay (Endogenous Event):* Sistemin içinde olan olaylardır.

*Dış Olay (Exogenous Event):* Sistemin çevresinde olan olaylardır.

*Faaliyet (Activity):* Belirli bir zaman içinde tamamlanan iş veya işlemlere, faaliyet ya da aktivite denilmektedir. Faaliyetlerin zamanları değişken ise ilgili istatistiksel dağılımlarla tanımlanmalıdır.

Aşağıda bir banka sistemi simülasyonunda kullanılan önemli bazı kavramlara ait örnekler verilmiştir.

Tablo 3.5 Kesikli simülasyonda kullanılan kavramlara ait örnekler.

<i>Sistem</i>	<i>Varlık</i>	<i>Özellik</i>	<i>Aktivite</i>	<i>Olay</i>	<i>Durum değişkenler</i>
Banka	Müşteriler	Hesaptaki para	Para yatırma	Müşteri gelişi	Müşteri sayısı

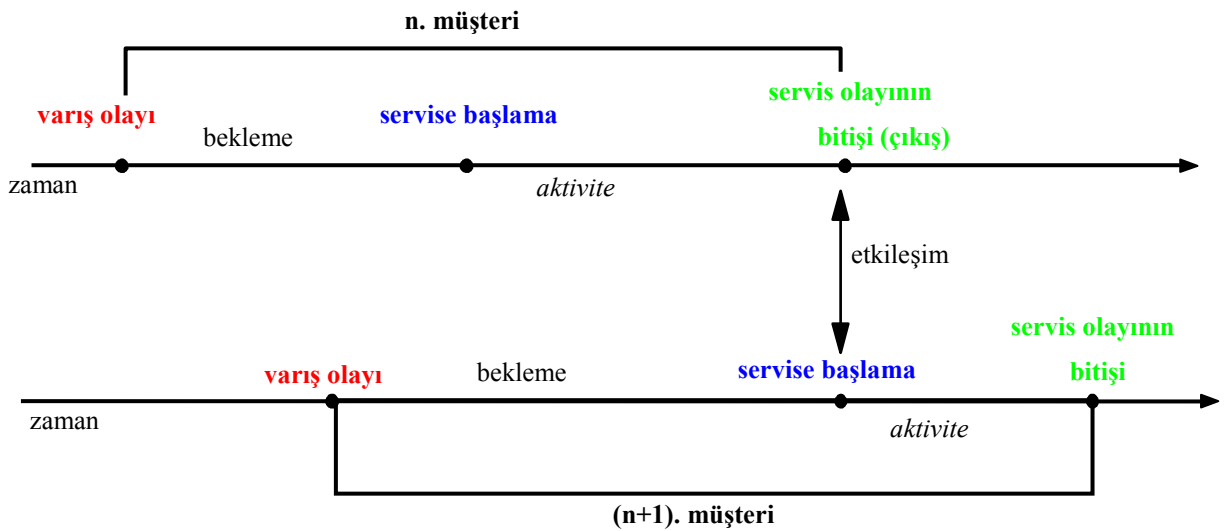
### 3.3.8. Modelleme Yapıları

Simülasyon ve modelleme çalışmalarında dört farklı yaklaşımdan biri kullanılmaktadır. Literatürde yer alan yaklaşımlar şunlardır;

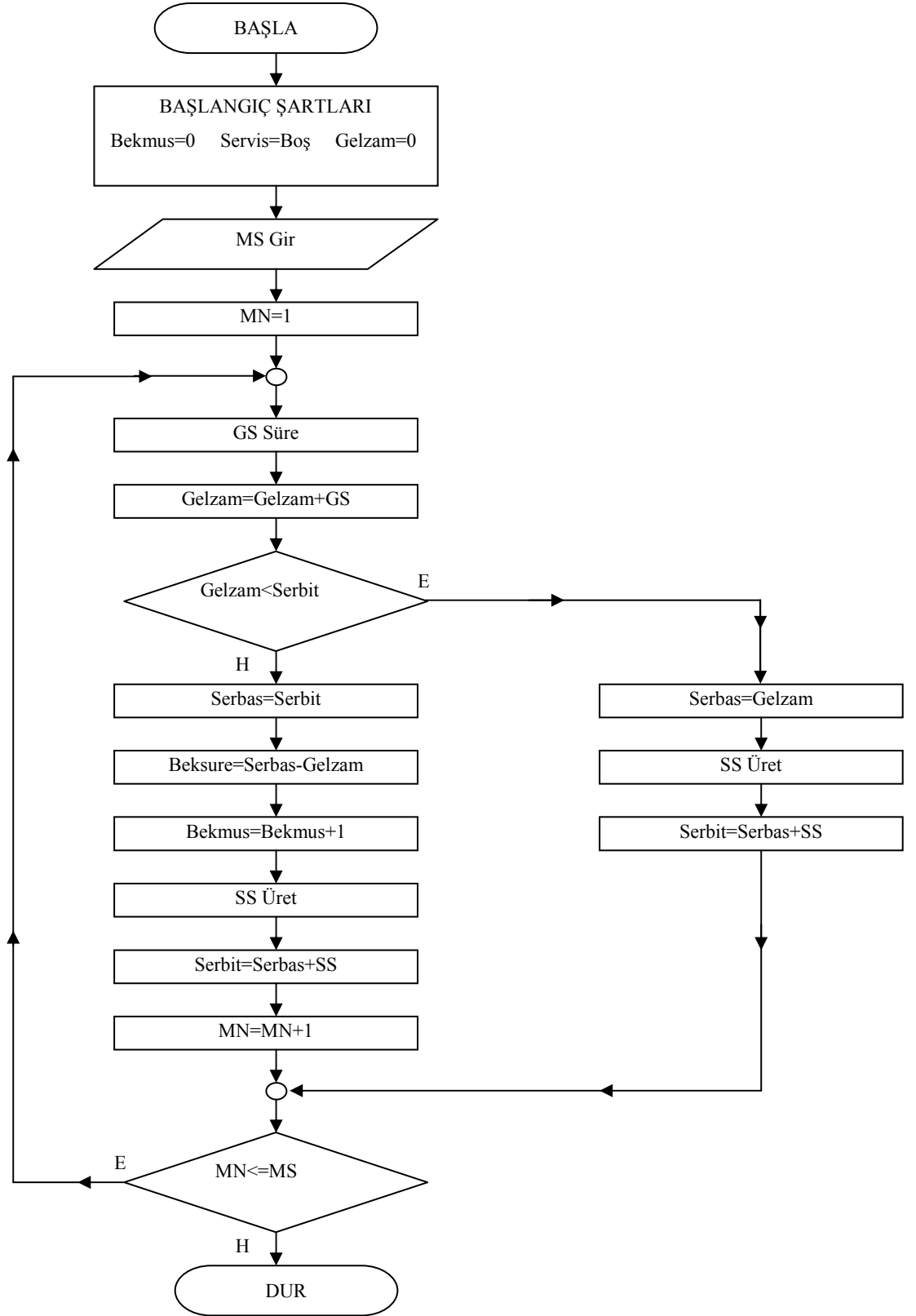
- Süreç Etkileşimi (Process Interaction)
- Olay Çizelgeleme (Event Scheduling)
- Aktivite Tarama (Activity Scanning )
- Üç fazlı Yaklaşım (Three Phase Approach )

#### 3.3.8.1. Süreç Etkileşimi Yaklaşımı

Süreç Etkileşim Yaklaşımı, sistem içindeki bir nesne ve bu nesnenin sistem içindeki akışı sırasında meydana gelen olay ve aktiviteler ile ilgilenen modelleme yaklaşımıdır. Süreç, nesnelerin simülasyon süresince sahip olduğu hayat devresidir. Bu nedenle süreç olayların, aktivitelerin ve beklemlerin zaman-sıralı toplamı olarak tanımlanır. Analizci, nesnelerin hayat devresini (sistem içindeki akışlarını), kaynak taleplerini, kuyrukta beklemleri dikkate alarak, bunları bir model üzerinde tanımlanmaktadır. Hayat devresi, değişik olay ve aktivitelerden oluşabilmektedir. Bir nesnenin bir servis sistemi içerisindeki akışını gösteren süreç Şekil 3.8’de, süreç artırımı modelleme yapısına ait örnek bir akış şeması ise şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Servis sistemi içerisinde nesnenin akışını gösteren süreç



Şekil 3.9 Süreç artırımlı modelleme yapısı

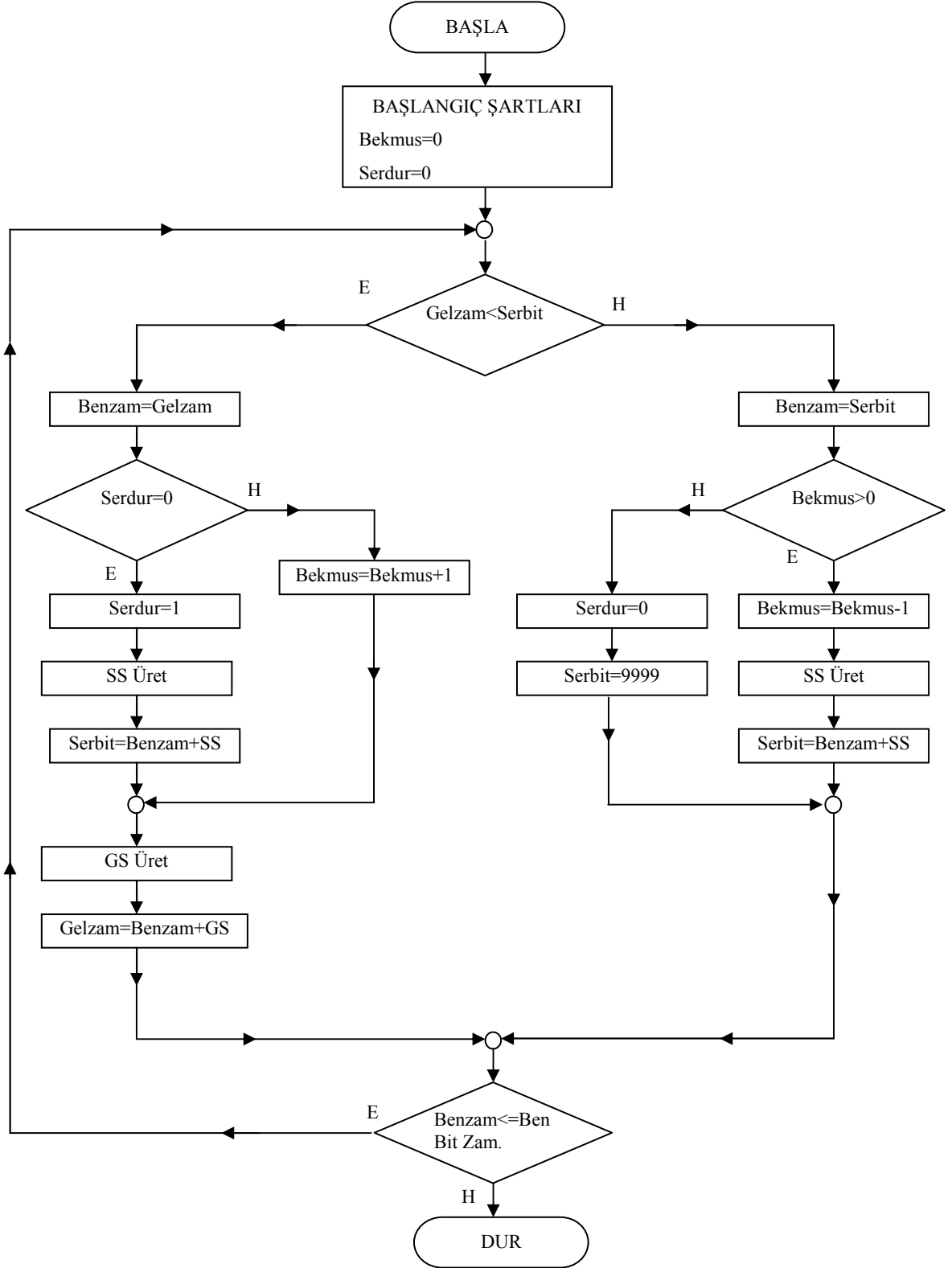
### ***3.3.8.2. Olay Çizelgeleme***

Olay çizelgeleme zaman artırma algoritmasından (The event scheduling time-advance algorithm) yararlanan, olay çizelgeleme yaklaşımda bir sistem, her olayın ortaya çıkmasında sistemin durum değişikliklerini tanımlayan “olay çizelgesinin” yazılması ile modellenir. Gelecekteki olaylar listesine (Future event list - FEL) göre, en yakın olan olaya, zaman ilerletilir. Bu olay ve bu zamanda olan diğer olaylar listeden çıkarılır.

Modelleme yaklaşımlarından en fazla kullanılan iki yaklaşım olan süreç etkileşim yaklaşımı ile olay çizelgeleme yaklaşımının bir birlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bir süreç programı, bir nesnenin sistem içindeki tüm akışını tanımladığı için, süreç etkileşimi yaklaşımı, olay çizelgelemeye göre daha doğal ve gerçekçi kabul edilmektedir. Ayrıca süreç etkileşimi yaklaşımının olay çizelgeleme yaklaşımına göre diğer bir avantajı, bir sistemin simülasyon programının daha kısa sürede gerçekleştirilebilir olmasıdır. Bunun yanında olay çizelgeleme yaklaşımı, süreç etkileşimli yaklaşıma göre daha esnektir.

Olay artırımı modelleme yapısı örneği şekil 3.10’da verilmiştir.





Şekil 3.10 Olay artırımı modelleme yapısı

### **3.3.8.3. Aktivite Tarama Yaklaşımı**

Aktivite tarama yaklaşımında modeldeki faaliyetler ve bir faaliyetin başlayıp başlamasına izin veren koşullar üzerinde vurgu yapılmaktadır. Bu yaklaşımda simülasyon saati sabit aralıklarda artırılmaktadır. Her bir simülasyon saatinin ilerletilmesinde bir faaliyetin başlama şartı kontrol edilir. Herhangi bir simülasyon zamanında, bir faaliyetin başlayıp başlamamasına karar vermek için kural bazlı bir yaklaşım kullanılır.

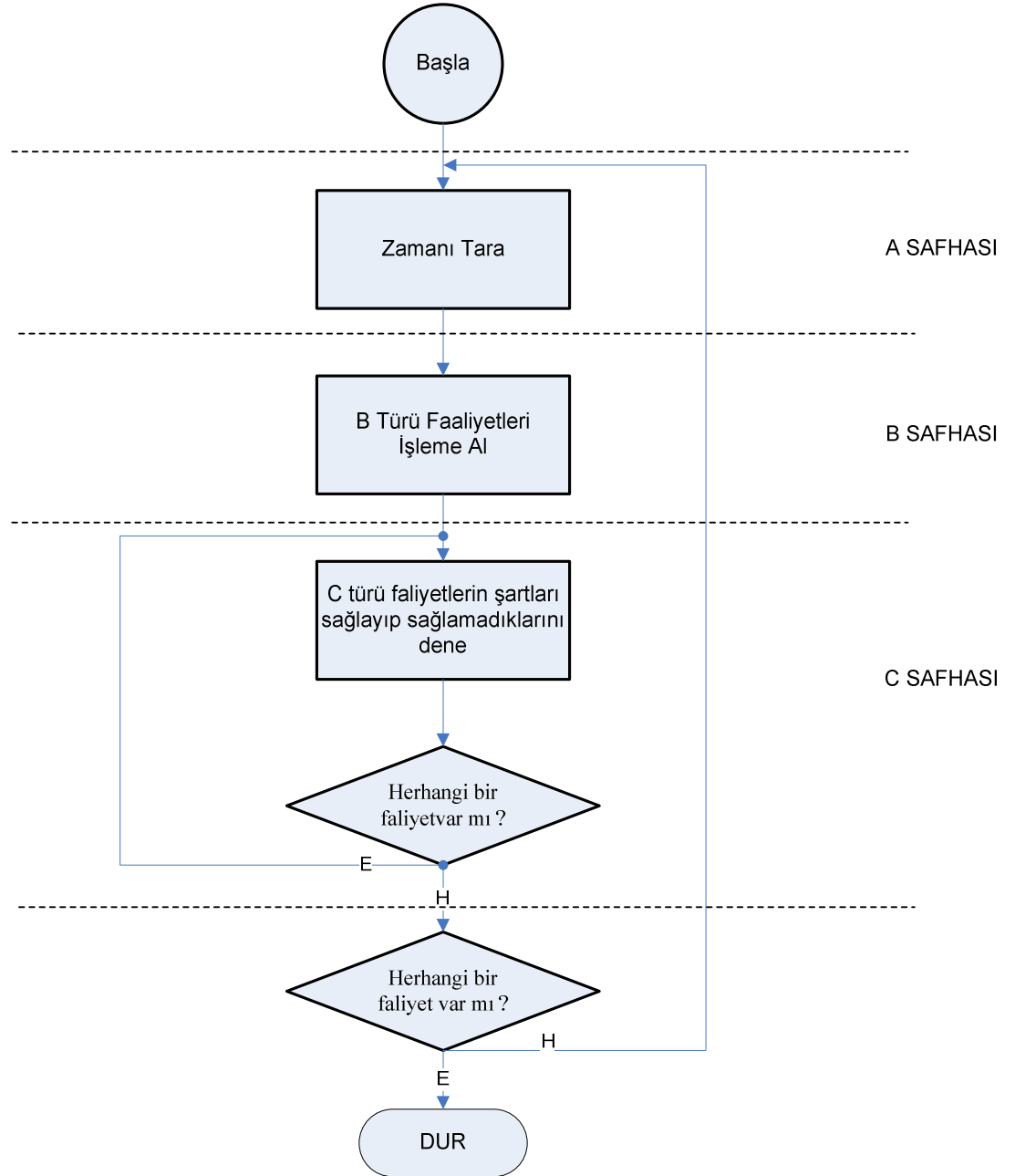
Faaliyetin başlayıp başlamayacağını belirlemede tekrarlı taramaların çok sık yapılması sebebi ile bilgisayar simülasyonu yavaş çalışmaktadır. Bu eksikliğinden dolayı aktivite tarama yaklaşımı revize edilerek üç aşamalı yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda ise belli bir kuralı ya da şartı olmayan faaliyetler, olay çizelgeleme yaklaşımındaki gibi çizelgelenir. Şartlı faaliyetler de şartların yerine getirilmesi için taranmaktadır.

### **3.3.8.4. Üç fazlı yaklaşım**

Üç fazlı yaklaşım, aktivite tarama ve olay çizelgeleme yaklaşımlarının birleştirilmesi ile oluşturulmuş bir yaklaşımdır. Bu sebeple durum bazlı ve zaman bazlı iki yaklaşımın bir karışımı olduğu söylenebilir.

Olaylar ve faaliyetler modellemenin iki temel yapı bloğudur. Olaylar sıfır süreli faaliyetler olarak etiketlenebilirler. Faaliyetler, B faaliyetleri ve C faaliyetleri olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Bazı faaliyetlerin başlama ve bitiş zamanları tahmin edilebilir. Bu sebeple bu tür faaliyetler belirli bir zamanda (randevuluymuş gibi) çizelgelenebilir. Bu faaliyetler B türü faaliyetlerdir. Genel olarak B türü faaliyetler çok yakında olacak faaliyetlerdir. Örneğin bir parçanın bir makinada operasyonun tamamlanması, B faaliyeti olarak modellenmektedir. C türü faaliyetler ise şartlı faaliyetler yada ortaklaşa yapılacak faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin gerçekleşebilmesi sadece simülasyon saatine bağlı değildir. Faaliyetin gerçekleşebilmesi için bazı şartların da olgunlaşması gereklidir. Bu durum simülasyon saatinin ilerletilmesinin yanında diğer ortak olan nesnelerin de hazır olmasını gerektirmektedir.

Aktivity tarama ve üç fazlı yaklaşım arasında üç önemli fark bulunmaktadır. Üç fazlı yaklaşım (Bkz. Şekil 11), değişken zaman artımlı stratejiyi kullanırken aktivite taramada ise sabit zaman artışı strateji mevcuttur.



Şekil 3.11 Üç fazlı modelleme yaklaşımı

Üç fazlı modelleme yaklaşımının A safhasında, simülasyon başladıktan sonra, hemen olacak olay listesinden, en yakında olacak olay çıkarılır. Simülasyon saati bu olayın olacağı zamana ilerletilir. Olay zamanıyla, simülasyon zamanı aynı olan olay, gelecek

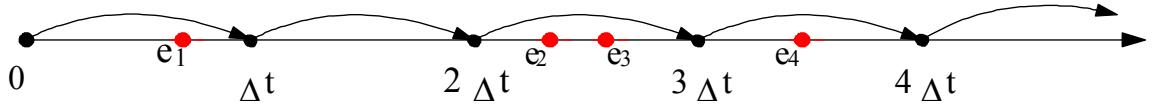
olay listesinden çıkarılır. Birinci safha tamamlanmış olur. İkinci aşamada B tipi tüm faaliyetler işlem görmeye başlar. Üçüncü aşamada, şartlar taranarak C türü faaliyetlerin şartları sağlayıp sağlamadığına bakılır. Şartları sağlanan C faaliyetleri işleme tabi tutulur. Tüm faaliyetler tamamlanana kadar tarama sürdürülür.

### 3.3.9. Simülasyon Modelinde Zaman İlerletme

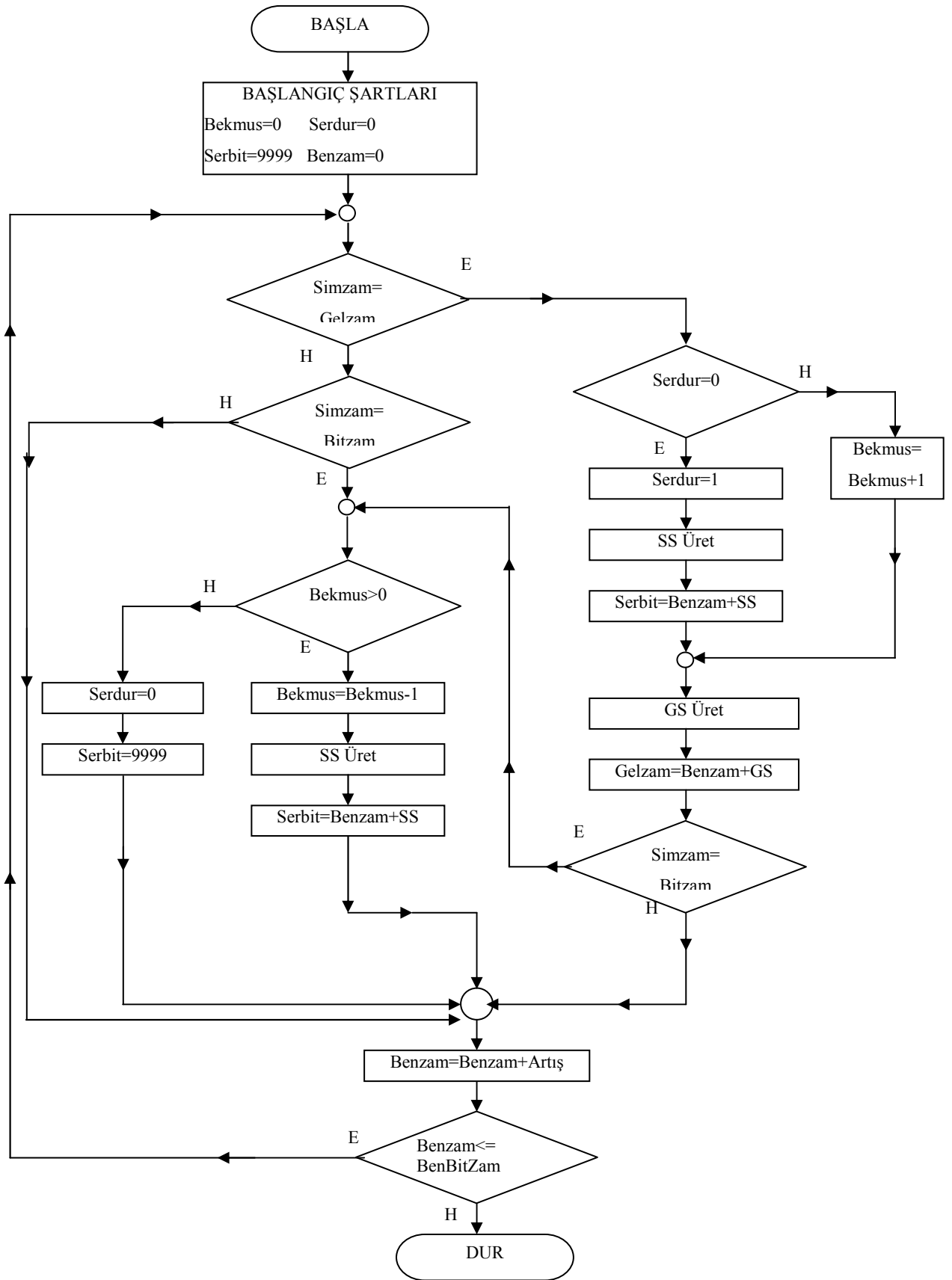
Simülasyon modelinin yapısı gereği, her adımda benzetim zamanının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, benzetim zamanının bir değerden diğer bir değere artmasını sağlayacak bir işlem yapılmalıdır. Benzetim zamanını veren değişken “benzetim saati” olarak adlandırılır. Modelde zaman birimi olarak, giriş parametrelerinde kullanılan birim alınır. Benzetim zamanı ile modelin bilgisayarda işletilmesi zamanı arasında bir ilişki yoktur.

Benzetim saatinin ilerletilmesinde, temel iki yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar “En Yakın Olay Zamanı” ve “Sabit Artışlar”dır. Buna göre en yakın olay zamanı ile saatin ilerletilmesi olayları gerçekleşmesine göre işleyen bir ilerlemedir. Her olay gerçekleşmesinde saat ilerletilir.

Sabit zaman artışları ile benzetim saatini ilerletme yaklaşımında ise, öncelikle zaman artım miktarı belirlenmektedir. Daha sonra zaman, belirlenen süre kadar arttırılır. Benzetim saatindeki her artış sonrası, ilerlemenin olduğu aralıkta herhangi bir olayın ortaya çıkıp çıkmadığı kontrol edilir. Bu aralıkta bir veya birden fazla olay ortaya çıkmış ise, bu olaylar aralığının sonunda olmuş gibi dikkate alınır ve sistemin durumu güncelleştirilir. Şekil 3.12 ve 3.13’te sırasıyla sabit artışlar ile benzetim saatinin ilerletilmesi ve sabit artırımlı modelleme yapısı akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Sabit artışlar ile benzetim saatinin ilerletilmesi



Şekil 3.13 Sabit zaman artırımlı modelleme yapısı akış şeması.

### 3.4 SİMÜLASYON TABANLI PROJE ÇİZELGELEME MODELİ

Geleneksel CPM tekniği, proje çizelgelemede en yaygın kullanılan tekniklerin başında gelmektedir. Esnek bir yapısının olmaması sebebiyle, CPM'in özellikle büyük projelerde yetersiz kaldığı bilinen bir gerçektir. CPM kaynak kısıtlarını dikkate alamamaktadır. Yalın proje felsefesinin en temel bileşeni olan kaynakların optimum biçimde kullanılması, CPM ile analiz edilememektedir. Bunların dışında, CPM'in deterministik ve statik temsil yapısı nedeni ile projelerdeki dinamik ve stokastik yapılar göz ardı edilmektedir. PERT tekniğinin stokastik yaklaşımda ise beta dağılımına endeksli hesaplamalar, gerçek durumu yansıtmada yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle PERT her ne kadar stokastik değerlendirmeye izin verse de, beta dağılımının stokastik değerlendirme kabiliyeti oldukça kısıtlıdır. Buna göre her proje faaliyetinin aynı dağılım özelliğine sahip olduğu varsayılmakta ve stokastik hesaplamalar faaliyetlere göre değişmemektedir. Bunun dışında PERT tekniği de aynı CPM'de olduğu gibi kaynakları dikkate almadan bir çizelgeme yaklaşımı sergilemektedir. Bu nedenle çizelge oluşturulduktan sonra, kaynak kısıtlarına göre proje yöneticisi tarafından yeniden bir planlama ve çizelgelemenin gerçekleştirilmesi zorunludur. Yapılan planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinde, çok fazla kombinasyon olması sebebi ile en iyi ya da iyiye çok yakın bir çizelgeleme yapabilmek ise oldukça güçtür. Kaldı ki bu aşamada, çoğu zaman kaynak kullanım oranları, risk faktörleri gibi dikkate alınabilecek diğer amaçlar (her ne kadar amaç proje süresini en aza indirmek olsa da) göz ardı edilmektedir.

Kaynak kısıtlı çizelgeleme konusunda daha önceki bölümlerde "Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi" detaylı olarak anlatılmıştır. Kaynak kısıtlı çizelgeleme probleminde, amaç, en iyi, ya da iyi bir çizelgenin oluşturulması olduğu için (amaç fonksiyonuna göre), projenin davranışlarının izlenmesi, duyarlılık analizlerinin yapılması gibi konular bu problem kapsamı içerisinde yer almamaktadır. KKPÇP'nin iki temel çözüm yaklaşımı bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan kesin çözüm yöntemleri, diğer bir ifadeyle matematiksel metotlardır. Kesin çözüm yöntemleri amaç fonksiyonuna göre en iyi çözümü elde etseler de bu modelleri kurmak oldukça zordur. Özellikle, problemdeki stokastik yapının dikkate alındığı matematiksel modeller kurmak çok güçtür. Kesin çözüm yöntemleri çok sayıda varsayımla, çok az faaliyetten oluşan problemlerde bir çözüme ulaşabilirken, gerçek hayattaki proje çizelgeleme problemlerinde bir çözüm üretememektedir. Sezgisel yöntemler ise, fazla sayıda faaliyet

ve kaynakdan oluşan problemlerde, en iyi olmasa da iyi bir çözüm elde etmektedirler. Özellikle genetik algoritmaların, çok sayıda proje faaliyetinin olduğu problemlerdeki başarısı kabul edilen bir gerçektir. Bununla birlikte sezgiseller ve meta sezgiseller, problemleri çok sayıda varsayım kullanarak modelleyebilmekte, bu nedenle çalışılan projeler gerçek projeleri temsil edemeyen yapay problemler olmaktadır. Risk ve stokastik yapıların dikkate alındığı sezgisel modellerin oluşturulması ise son derece güçtür. Ayrıca stokastik sezgisel algoritmaların çözüm üretebilme durumları, çok fazla varsayım ile çok dar proje problemlerinde söz konusudur. Bunun dışında, matematiksel ve sezgisel metotlar, sadece amaç fonksiyonuna göre bir çizelge üretmekte ve üretilen bu çizelgede farklı amaç ve proje performans göstergeleri izlenememektedir.

Simülasyon, proje planlama ve çizelgelemeye alternatif bir yaklaşımdır. Kesikli olay simülasyonunun, CPM gibi geleneksel yaklaşımlar karşısında önemli avantajları vardır. Her şeyden simülasyon, farklı potansiyel proje problemlerinin, farklı senaryoların, duyarlılık analizlerinin yapılmasına imkan tanımaktadır. Bundan başka simülasyon ile kaynak kullanımı, farklı kaynak kullanım kuralları, proje değişkenlerinin stokastik ve dinamik yapısı da göz önüne alınabilmektedir. Bunun yanında klasik simülasyon yaklaşımlarının da çeşitli dezavantajları bulunabilmektedir. Simülasyonda, modelleme aşaması yoğun bir gayret gerektirmekte ve nihayetinde sadece bir projenin simülasyon modeli oluşturulabilmektedir. Ayrıca simülasyon tabanlı çizelgeleme yaklaşımlarında, toplam bolluk bilgisinin eksikliğinden dolayı kritik yolu belirlemede zorlanılmaktadır. Bilindiği gibi toplam bolluk ya da izin verilen gecikme bir faaliyetin kritik olup olmamasında önemli bir faktördür.

Yaklaşımlardaki yetersizliklerin üstesinden gelebilmek için iki tekniğin birlikte kullanılması düşünülebilir. Ancak karmaşık projeler için yukarıda sayılan kimi güçlükler, yapılarında önemli değişiklikler yapılmadan tekniklerin birlikte kullanılması sırasında da yaşanmaktadır. Simülasyon modelinin hazırlanması için çok zaman harcanması, CPM'deki ileri ve geriye doğru hesaplama, çok çeşitli türden kaynak kullanımını gerektiren karmaşık projeler, bu zorluklardan bazılarıdır. Ayrıca simülasyon, KKPCP'lerinde kullanılan matematiksel ve sezgisel metotlar gibi bir çözüm metodolojisi değildir. Simülasyon ile sadece mevcut projenin izlenmesi

gerçekleştirilebilmektedir. Bu sebeple çizelgeleme yapılabilmesi için, simülasyona farklı bir çözüm metodolojisinin entegre edilmesi ihtiyacı vardır.

Bu çalışmada önerilen yaklaşım, proje çizelgelemede yukarıdaki ifade edilen eksiklikleri giderecek, proje planlama ve çizelgelemede daha gerçekçi modelleme kabiliyeti olan bir metodolojidir. Bu kapsamda bu çalışmayla; CPM ile kolayca yapılamayan, kaynak kısıtlarının çizelgeleme aşamasında dikkate alındığı, modellenmesi stokastik matematiksel metotlar ve sezgisellere göre daha kolay olan, projelerin dinamik ve stokastik yapılarının göz ardı edilmediği, çok sayıda faaliyetten oluşan karmaşık problemlerde çözüm üretebilen, duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebildiği bir planlama ve çizelgeleme yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen model için faaliyet tabanlı simülasyondan (activity based simulation) yararlanılmıştır. Simülasyon modelinin içerisinde hesaplama algoritmaları entegre edilmiştir. Bu algoritma ile proje üzerinde ileri ve geri hesaplamalar ile bolluk bilgileri çıkartılmaktadır. Ayrıca simülasyon modeli içerisinde, alternatif çizelgeleme kararları üreten, bir sezgisel algoritma, yerleştirilmiştir. Bu sezgisel algoritma Zhang ve Li'nin (Zhang ve Li, 2004) yapmış oldukları çalışmada kullanılan sezgisel algoritmanın yeniden ele alınarak modele uyarlanması ile oluşturulmuştur. Sezgisel algoritma ile çözüm uzayının daraltılarak, iyi çizelgelerin üretilmesi ve alternatif çözümlerin, proje yöneticisinin değerlendirilmesine sunulması amaçlanmıştır.

Faaliyet Tabanlı Simülasyon Modeli, gerçek projelerde karşılaşılan karmaşık etkileşimlerin ve dinamiklerin modellenebileceğini gösteren, CPM şebeke diyagramının avantajlarını kullanan, kolay tanımlanabilen, basit görünümü olan, içerisindeki sezgisel algortima ile farklı çizelgeleme alternatifleri sunabilen, alternatif çözümlerin değerlendirilebildiği bir proje planlama ve çizelgeleme yaklaşımıdır. Proje planlama ve çizelgeleme için ortaya konan model, "Proje Planlama ve Çizelgeleme Modeli" olarak ifade edilmiştir.

Çalışmada ortaya konulan simülasyon tabanlı proje çizelgeleme yöntemi, dört başlık altında anlatılmıştır. Buna göre öncelikle problemin gösterimi ve tanımı verilmiştir. Daha sonra model yapısı anlatılmış, model akış şeması gösterilmiştir. Üçüncü başlık



altında, simülasyon modeliyle entegre edilen sezgisel algoritma açıklanmıştır. Son olarak, modelin test edildiği üç farklı problem örneği verilmiştir.

### 3.4.1. Problemin Gösterimi ve Tanımı

Herroelen ve arkadaşlarının (2001), proje çizelgeleme problemi gösteriminde yararlandığı notasyon esas alınarak, çalışmada ele alınan problemin tanımı yapılmıştır. Buna göre gama, alfa ve beta değişkenleri için yapılan kabuller şunlardır;

#### Amaç

$$\gamma = C_{\max}$$

#### Kaynak Kısıtları

$$\alpha_1 \in \{^{\circ}, 1, m\}$$

$$\alpha_2 \in \{^{\circ}, 1, T, 1T, v\}$$

$$\alpha_3 \in \{^{\circ}, va, \tilde{a}, v\tilde{a}\}$$

#### Faaliyet ve Öncelik İlişkileri Kısıtları

$$\beta_1 \in \{^{\circ}, pmnt, pmnt-rep\}$$

$$\beta_2 \in \{^{\circ}, cpm, min, gpr, prob\}$$

$$\beta_3 \in \{^{\circ}, p_j\}$$

$$\beta_4 \in \{^{\circ}, cont, d_j = d, \tilde{d}_j\}$$

$$\beta_5 \in \{^{\circ}, \delta_j, \delta_n\}$$

$$\beta_6 \in \{^{\circ}, ur, \ddot{r}, u\ddot{r}, disc, cont, int\}$$

$$\beta_7 \in \{^{\circ}, mu, id\}$$

$$\beta_8 \in \{^{\circ}, c_j, \tilde{c}_j, c_j^+, per, sched\}$$

$$\beta_9 \in \{^{\circ}, s_{jk}\}$$

Yukarıda verilen gama, alfa ve beta değişkenleri sırasıyla performans göstergesi, kaynaklar ve faaliyetlere ait değişkenlerdir. Bu değişkenlerin açıklamaları ile problemde kabul edilen değişkenlerin durumları (problem varsayımları) şunlardır;

$\gamma = C_{\max}$	Proje çizelgeleme amacı proje süresinin enküçülenmesidir.
$\alpha_1 \in \{\circ, 1, m\}$	Birinci alfa değişkeni problemdeki kaynak tiplerinin sayısını göstermektedir.
$\alpha_1 = m$	Problemlerde m adet kaynak tipi bulunmaktadır.
$\alpha_2 \in \{\circ, 1, T, 1T, \cup\}$	İkinci alfa değişkeni problemdeki kaynak türlerini ifade etmektedir.
$\alpha_2 = 1$	Problemlerde yenilebilir kaynaklar yer alabilmektedir.
$\alpha_3 \in \{\circ, \cup a, \tilde{a}, \cup \tilde{a}\}$	Üçüncü alfa değişkeni proje çizelgeleme problemdeki kaynakların bulunabilirlik özelliklerini göstermektedir.
$\alpha_3 = \cup a$	Yenilenebilir kaynaklar değişken miktarlarda bulunabilmektedir.
$\beta_1 \in \{\circ, \text{pmnt}, \text{pmnt} - \text{rep}\}$	Birinci beta değişkeni faaliyetlerin ara verilebilir olup olmadığını (preemption) göstermektedir.
$\beta_1 = \circ$	Faaliyetler gerçekleşirken bölünemezler. Faaliyetlerin ara verilmesine izin verilmemektedir.
$\beta_2 \in \{\circ, \text{cpm}, \text{min}, \text{gpr}, \text{prob}\}$	İkinci beta değişkeni, faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerine (precedence) ait kısıtları açıklamaktadır.
$\beta_2 = \text{cpm}$	Faaliyetler arasında bitiş-başlangıç ilişkisi (FS) bulunmaktadır. Bekleme zamanı sıfırdır.
$\beta_3 \in \{\circ, p_j\}$	Üçüncü beta değişkeni faaliyet hazırlık zamanını (ready times) ifade etmektedir.

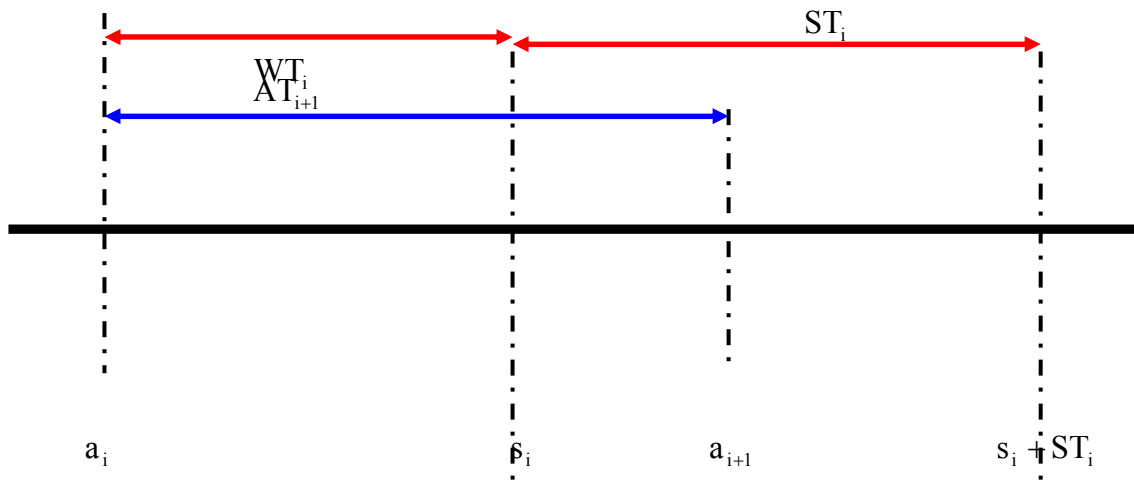
- $\beta_3 = \circ$  Faaliyetler için tanımlanmış hazırlık süreleri yoktur. Diğer bir ifadeyle faaliyetlerin hazırlık süreleri sıfırdır.
- $\beta_4 \in \{\circ, \text{cont}, d_j = d, \tilde{d}_j\}$  Dördüncü beta değişkeni proje çizelgeleme problemindeki faaliyetlerin sürelerinin yapılarını açıklamaktadır.
- $\beta_4 = \tilde{d}_j$  Faaliyet süreleri stokastiktir.
- $\beta_5 \in \{\circ, \delta_j, \delta_n\}$  Beşinci beta değişkeni tamamlanma sürelerini tanımlamaktadır.
- $\beta_5 = \circ$  Proje için tamamlanma süresi tanımlanmamıştır.
- $\beta_6 \in \{\circ, \text{ur}, \tilde{r}, \text{ur}, \text{disc}, \text{cont}, \text{int}\}$  Altıncı beta değişkeni proje çizelgeleme problemindeki faaliyetlerin kaynak ihtiyaçlarını göstermektedir.
- $\beta_6 = \circ$  Faaliyetlerin sabit kesikli kaynak ihtiyacı bulunmaktadır.
- $\beta_7 \in \{\circ, \text{mu}, \text{id}\}$  Yedinci beta değişkeni proje çizelgeleme problemindeki faaliyetlerin mod tipleri ve sayılarını ifade etmektedir.
- $\beta_7 = \circ$  Tüm faaliyetler tek modludur (Bununla birlikte simülasyon tabanlı çizelgeleme yaklaşımı ile çok modlu faaliyetler için alternatif durumlar test edilebilmektedir).
- $\beta_8 \in \{\circ, c_j, \tilde{c}_j, c_j^+, \text{per}, \text{sched}\}$  Sekizinci beta değişkeni faaliyetlerin finansal yapısını göstermektedir.
- $\beta_8 = \circ$  Proje çizelgeleme probleminde nakit akışı tanımlı değildir.
- $\beta_9 \in \{\circ, s_{jk}\}$  Dokuzuncu beta değişkeni faaliyetlerin sıralamalarının zamanla değişim durumunu göstermektedir.
- $\beta_9 = \circ$  Faaliyet sıraları zamana bağlı değişkenlik göstermez.

### 3.4.2. Model Yapısı ve Parametreleri

Çalışmada farklı projelerin modellenmesi, faaliyet tabanlı simülasyon modeli ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon modeline, proje süresini enküçükleme amacı doğrultusunda, alternatif iyi çizelgelerin gerçekleştirilebilmesini sağlayan sezgisel bir algoritma entegre edilmiştir. Modelleme aşamasında, faaliyet tabanlı simülasyon (activity based simulation) modelleme yaklaşımı kullanılmıştır.

Simülasyon ve modelleme uygulamalarında en yaygın yaklaşım olan, olay tabanlı modellemede, olaylar (bir faaliyetin bitmesi, başlaması, vb.) sistem durumunu değiştirmede tetikleyici unsur iken, faaliyet tabanlı modelleme yaklaşımında, çalışılan sistem, faaliyet ya da süreçlerden oluşan bir yapı şeklinde değerlendirilmektedir.

Proje çizelgelemede, olay tabanlı modelleme yaklaşımında faaliyetin başlangıç ve bitiş olaylarına odaklanılırken, faaliyet tabanlı modellemede, faaliyetin beklemesi, faaliyetin gerçekleştirilmesi süreçleri dikkate alınmaktadır. Faaliyet tabanlı modelleme yaklaşımında bir faaliyetin başlayabilmesi için ön koşulların tamamlanmış olması gerekmektedir. Bu ön koşullar faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri olabileceği gibi, sistemde tanımlanmış farklı şartlar da söz konusu olabilir. Özellikle çok fazla koşulun bulunduğu büyük sistemlerde, faaliyet tabanlı modelleme yaklaşımı diğer modelleme yaklaşımlarına göre daha kolay bir tasarım sunabilmektedir. Faaliyet tabanlı modelleme yaklaşımı, basit tek kuyruklu bir servis sisteminde şu şekilde açıklanabilir;



Şekil 3.14 Tek kuyruklu servis sisteminde faaliyet tabanlı modelleme yaklaşımı

$WT_i$ , i. müşterinin servis süresini,  $ST_i$ , i. müşterinin işlemden önceki bekleme süresini,  $TW_i$  ise i. müşterinin toplam bekleme süresini göstermektedir. Müşterilerden ilki olan i. müşterinin sisteme girişi  $a_i$ , servise başlaması  $s_i$ , servisi tamamlaması  $s_i + ST_i$  iken, ikinci müşteri olan (i+1)'in sisteme girişi  $a_{i+1}$  ile gösterilmiştir.  $AT_{i+1}$  gösterimi müşterilerin gelişler arasındaki süresini ifade etmektedir.

Faaliyet tabanlı modelleme yaklaşımında, yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı gibi bekleme, servis (işlem görme) süreçler (faaliyetler) olarak ele alınmaktadır. Modelleme bu faaliyetler üzerine bina edilmektedir.

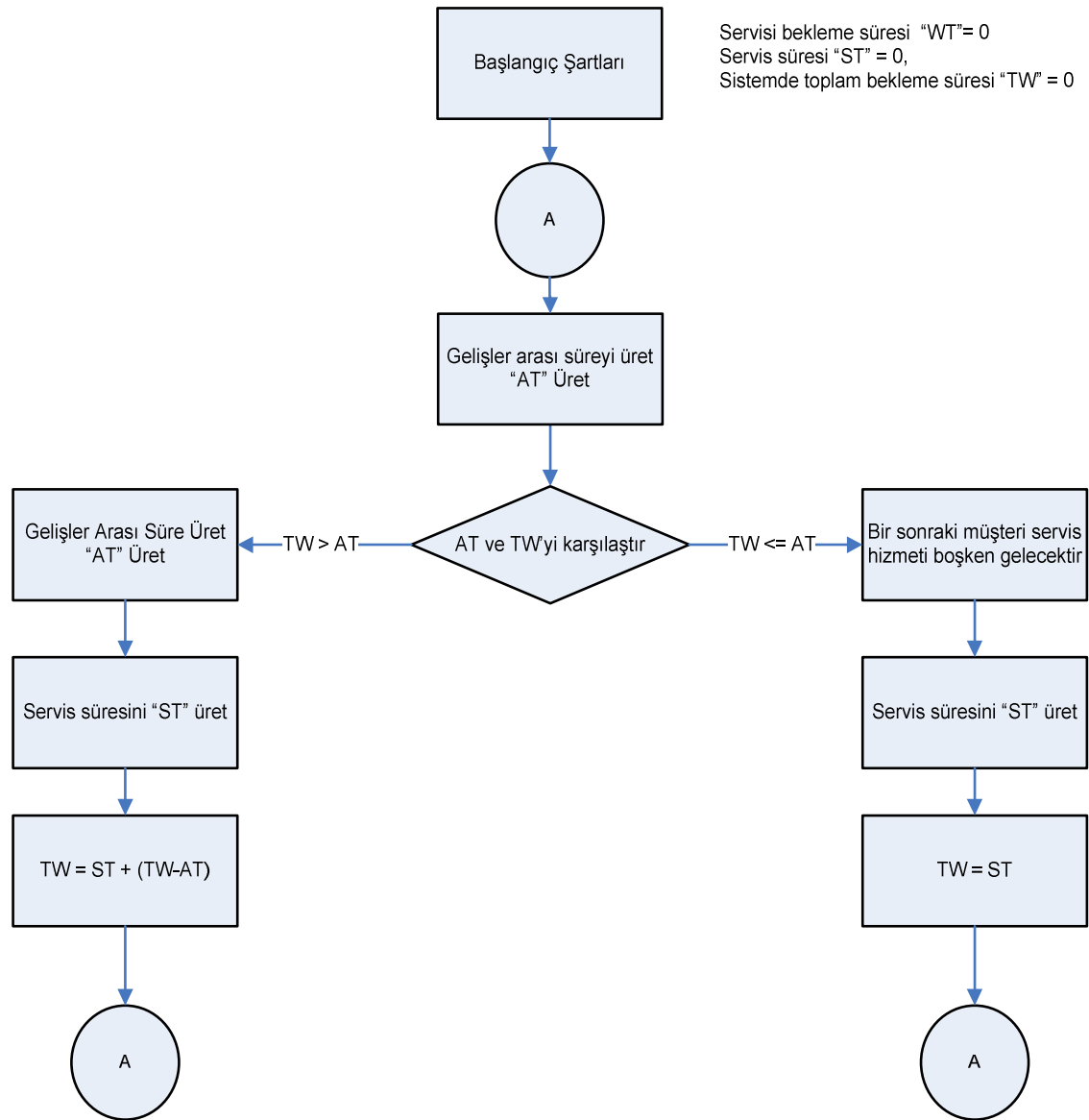
Sistemde müşterilerin gelişleri dikkate alındığında birinci müşteriden sonra gelen müşteri için üç farklı durum söz konusu olabilir.

- i. İkinci müşteri (i+1), birinci müşterinin (i) servisi henüz başlamadığı bir anda gelebilir.
- ii. İkinci müşteri (i+1), birinci müşterinin (i) servis aldığı bir anda gelebilir.
- iii. İkinci müşteri (i+1), birinci müşterinin (i) servisi tamamlamayıp, sistemden çıktığı bir anda gelebilir.

Bu üç durum için faaliyet tabanlı modelleme yaklaşımında ikinci müşterinin bekleme zamanı,  $WT_{i+1}$ , şu şekilde hesaplanır;

- i.  $WT_{i+1} = (WT_i - AT_{i+1}) + ST_i$   
 $WT_{i+1} = (WT_i + ST_i) - AT_{i+1}$   
 $WT_{i+1} = TW_i - AT_{i+1}$
- ii.  $WT_{i+1} = (WT_i + ST_i) - AT_{i+1}$   
 $WT_{i+1} = TW_i - AT_{i+1}$
- iii.  $WT_{i+1} = 0$

Yukarıda verilen tek kuyruklu servis sisteminin faaliyet tabanlı model hesaplarından da görülebileceği gibi, modelleme adımları faaliyetlere göre şekillendirilmektedir. Burada beklemler, işlem süreci gibi her bir varlığın sistemde geçirdiği süreler, bir faaliyet olarak değerlendirilmektedir. Tek kuyruklu bir servis sisteminin faaliyet tabanlı simülasyon modeli şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Tek kuyruklu bir servis sisteminin faaliyet tabanlı simülasyon modeli

Proje çizelgeleme modeli de yukarıda verilen tek kuyruklu bir servis sisteminin faaliyet tabanlı simülasyon modeline benzemektedir. Bununla birlikte simülasyon modelinde

gelişler arası süre bulunmamakta faaliyetlerin başlatılabilmesi için öncelik koşulları ve kaynak kısıtları dikkate alınmaktadır. Modelde her bir atamada faaliyetlerin toplam bollukları değişmektedir. Bunun için her aşamada ileri geri hesaplamalar ile faaliyetlerin en erken ve en geç başlangıç bitiş zamanları hesaplanmaktadır.

İleri hesaplama şu şekilde yapılmaktadır;

```

ES0 = 0; EF0 = 0;
FOR j=1 TO J+1 DO
  BEGIN
    ESj = max {EFi | i ∈ Pj};
    EFj = ESj + pj;
  END

```

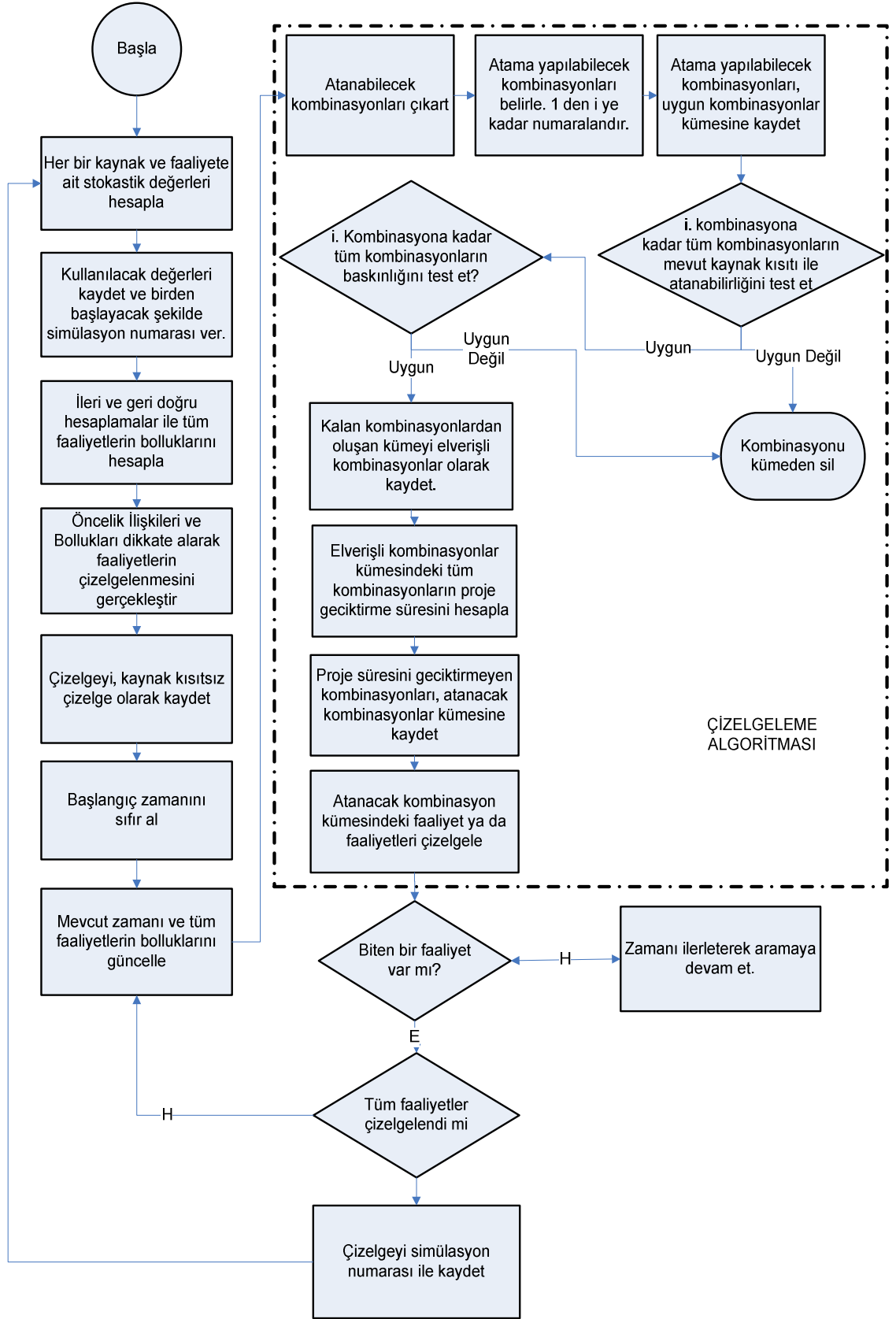
Geriye doğru hesaplama ise şöyledir;

```

EFJ+1 = T; LSJ+1 = T;
FOR j = J+1 DOWNTO 1 DO
  BEGIN
    LFj = min {LSi | i ∈ Sj};
    LSj = LFj - pj;
  END

```

Proje planlama ve çizelgeleme modelinde sistem parametrelerini daha önceden de ifade edildiği gibi, faaliyetler ve kaynaklar oluşturmaktadır. Buna göre bir faaliyetin başlatılabilir bir faaliyet olarak kabul edilmesi için iki şartın yerine getirilmiş olması aranmaktadır. Bu şartlardan ilki öncelik ilişkilerinin tamamlanmış olması, diğeri ise yeterli kaynağın bulunmasıdır. Buna göre modelde şartlarını sağlamış her faaliyet olası çizelgelenebilir bir faaliyettir. Simülasyon modeline entegre edilen çizelgeleme algoritması ile farklı kombinasyonların değerlendirilmesi ve olası iyi çözümlerin üretilmesi amaçlanmıştır. Aşağıda şekil 3.16'da proje planlama ve çizelgeleme model yapısının genel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.16 Proje planlama ve çizelgeleme simülasyon modeli



### 3.4.3. Simülasyon Modeline Entegre Edilen Sezgisel Algoritma

Faaliyet tabanlı simülasyon modelinde, her faaliyet tamamlandıktan sonra çizelgelenmesi yapılacak faaliyet ya da faaliyetler, modelde sezgisel algoritmanın devreye girmesi ile gerçekleştirilir. Bu şekilde sezgisel algoritma alternatif çözüm uzayını daraltmaktadır. Simülasyon yardımıyla, sezgisel kuralların izin verdiği şekilde çok sayıda alternatif çizelge oluşturulabilmekte ve her bir çizelge kaydedilmektedir. Modele entegre edilen sezgisel algoritmada, genel olarak öncelikle çizelgelenebilecek olası kombinasyonlar çıkartılmakta, daha sonra en uygun alternatiflerin atanması yapılmaktadır.

Algoritmanın adımları şunlardır;

#### Adım 1.

Başlangıç zamanını sıfır al.

#### Adım 2.

Kaynakları dikkate almadan, sadece mantıksal öncelik ilişkilerini dikkate alarak, atanması yapılmayan faaliyetleri en erken başlama zamanlarına göre çizelgele. En Erken Başlama (Early Start – ES), En Erken Tamamlanma (Early Finish – EF) zamanları ile En Geç Başlama (Late Start – LS) ve En Geç Tamamlanma (Late Finish – LF) zamanlarını kaydet.

#### Adım 3.

Faaliyetlerin toplam bolluklarını hesapla ve kaydet.

$$\text{ToplamBolluk} = LF_j - EF_j$$

$$\text{ToplamBolluk} = LS_j - ES_j$$

#### Adım 4.

**4.1.** Sıfır anında, ya da her hangi bir faaliyetin tamamlanma sonrasında çizelgelenebilecek faaliyet sayısını, “NS”yi (number of schedulable activities) bul (öncelik ilişkileri sağlanmış atama yapılabilecek aktiviteler).

**4.2.** Çizelgelenebilecek faaliyetleri inceleyerek, ataması yapılabilir toplam kaç farklı kombinasyon olduğunu, “NC”yi (number of combinations) hesapla. Bunun için sırasıyla 4.2. altındaki adımları uygula.

**4.2.1.** NS’yi NC ye eşitle.

**4.2.2.** Atanabilir kombinasyonların kaç tane olduğunu hesapla. İlgili her bir kombinasyonu numaralandır.

$$C(NS, NC) = NS! / (NS - NC)! * NC!$$

**4.2.3.** İlgili kombinasyonun/kombinasyonların mevcut kaynaklar ile gerçekleşebilme durumunu test et. Kaynak atanabiliyorsa kombinasyonu “uygun kombinasyonlar”, aksi durumda ise “uygun olmayan kombinasyonlar” kümesine kaydet.

**4.2.4.** NC= 1 ise döngüyü sonlandır. Adım 4.2.5’e geç. Aksi durumda, 4.2.2. deki NC’yi bir azaltarak 4.2.2- 4.2.4 döngüsünü çalıştır.

**4.2.5.** “Uygun kombinasyonlar” olarak kaydedilen kombinasyonların bir birine baskınlıklarının incele. Baskınlık yönüyle zayıf olan kombinasyonları feasible kümesinden sil.

### **Adım 5.**

“Uygun kombinasyonlar” kümesinde yer alan her bir kombinasyon için öncelikle en az gecikme zamanını (minimal delayed time one combination - MDToc ) belirle. Ataması sınanacak bir kombinasyonda, birden çok faaliyet varsa, en kısa süreli faaliyetin süresini (MDToc) kaydet.

$$MDT_{oc} = \min_{i \in OC} \{D_i\}$$

**Adım 6.**

Faaliyetin gecikmesi ile proje süresindeki uzamayı (increased in the project duration due to delaying activity i - IPDi) hesapla.

$$IPDi = \max\{0, MDToc - TF_i\}$$

(Burada MDToc ataması yapılacak kombinasyondaki, süresi en az olan faaliyet iken, TF bu atama neticesinde kaydırılacak diğer kombinasyondaki faaliyetlerden en az bolluğa sahip olan aktivitenin bolluk değeridir.)

**Adım 7.**

Adım 6 daki “IPDi” değerleri içerisinde en küçük değere sahip kombinasyon, ya da kombinasyonları, “Atanması yapılacak kombinasyonlar” kümesine kaydet.

**Adım 8.**

“Atanması yapılacak kombinasyonlar” kümesi içerisindeki kombinasyonlardan herhangi birini çizelgele ve atanan faaliyetleri “Çizelgelenmiş faaliyetler” olarak kaydet.

**Adım 9.**

Atanması gerçekleşmemiş faaliyet varsa, Adım 2’ye dön. Adım 2 den başlayarak adım 9.1’e kadar olan işlemleri yenile. Tüm faaliyetlerin atanması gerçekleşti ise adım 10’a geç.

**Adım 10.**

Oluşturulan çizelgeyi kaydet. Proje tamamlanma süresi, kaynak dağılımları ve kaynak kullanım oranlarını çıkar.

#### 3.4.4. Simülasyon Modelinin Test Edilmesi

Simülasyon tabanlı planlama ve çizelgeleme yaklaşımı ile projelerdeki kaynak kısıtlarının, süre ve faaliyetlere ait stokastik yapıların ve faaliyetlerin farklı gerçekleştirilebilme durumlarının göz ardı edilmediği, proje planlama ve çizelgelemede daha gerçekçi bir yaklaşım sunabilen, proje temsil kabiliyetinin yüksek olduğu bir yaklaşım amaçlanmıştır. Çalışmada ortaya konan ikinci amaç ise mevcut kısıtlar ve kabuller altında, proje süresini en azlayan alternatif iyi çizelgelerin oluşturulmasıdır. Son olarak çalışmadan beklenen diğer bir konu alternatif çizelgelerin farklı performans göstergelerine (kaynak kullanım oranları gibi) göre değerlendirilebilmesi ve duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebilmesidir.

Çalışmada ortaya konan yaklaşım, proje planlama ve çizelgeleme konusundaki diğer yaklaşımlardan kapsam ve modelleme yapısı yönüyle farklılık göstermektedir. CPM ve PERT gibi klasik çizelgeleme yaklaşımlarında, kaynak kısıtları dikkate alınamamaktadır. Bununla birlikte, CPM tamamen deterministik bir yaklaşımdır. PERT ile sadece, faaliyetlere ait sürelerin stokastik yapısı dikkate alınabilmektedir. Ayrıca şebeke diyagramlarında, faaliyetlerin alternatif gerçekleştirilebilme durumu (çok modlu yapı) da kolaylıkla değerlendirilememektedir.

Kaynak kısıtlarının dikkate alındığı KKPÇP'leri çözüm yöntemlerinden, matematiksel modeller, gerçek boyutlu problemlerde kullanılamamakta, sezgisel yaklaşımlar ise çok sayıda varsayım ile spesifik problemleri çözmeye çalışmaktadırlar. Ayrıca KKPÇP'lerinde literatürde yer alan yöntemlerin birçoğu projelerdeki stokastik yapıları dikkate alamamaktadır. Çok zor bir model yapısına sahip stokastik çözüm yöntemleri ise, çok sayıda varsayımlar ile çok küçük problemler için çözüm üretebilmektedir. Çalışmada ortaya konan simülasyon tabanlı planlama ve çizelgeleme yaklaşımı ile kaynak kısıtlarının olduğu, çok modlu faaliyetlerin bulunabildiği, stokastik faaliyet süreleri ve stokastik kaynak miktarlarının dikkate alınabildiği, alternatif iyi çizelgeler oluşturulabilen, duyarlılık analizleri ile farklı durumların incelenebildiği bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Bu nedenle önerilen yaklaşım, şebeke diyagramları ile KKPÇP çözüm metodolojilerine göre hem yapısal olarak hem de ele aldığı problem yönüyle farklıdır.

Model başarısının test edildiği bu bölümde, simülasyon tabanlı çizelgeleme yaklaşımının, proje planlama ve çizelgeleme konusundaki başarısı incelenmiştir. Bu kapsamda birinci ve ikinci grup test problemleri kullanılmıştır. Birinci grup örnekler dört projeden, ikinci grup örnekler ise toplam otuz projeden oluşmaktadır. Daha önceden de ifade edildiği gibi, ortaya konan çalışma, proje planlama ve çizelgeleme konusunda alternatif bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım ile proje planlama ve çizelgeleme konusu, literatürde yer alan yöntem ve planlama tekniklerinden farklı şekilde ele alınmaktadır. Problem tanımında kabul edilen varsayımlar farklı olduğu için yaklaşımın birebir meta sezgisel ya da matematiksel yöntemler ile karşılaştırılması mümkün değildir. Bu nedenle modelin test edilmesi sürecinde birinci grup test problemleri ile ortaya konan alternatif modelleme yaklaşımının yapılabilirliği ve raporlama yeteneği incelenmiş, ikinci grup test problemlerinde ise çizelge yeteneği MS Project 2007 ile karşılaştırılmıştır.

Buna göre yaklaşımın başarısının değerlendirilmesi ve yorumlanmasında, çalışma başlangıcında modelin amacı ve artıları olarak ortaya konulan şu üç konu incelenmiştir;

- Ortaya konulan model ile projelerdeki kaynak kısıtlarının, süre ve faaliyetlere ait stokastik yapıların ve faaliyetlerin farklı gerçekleştirilebilme durumlarının dikkate alındığı projelerin planlanması ve çizelgelenmesi,
- Oluşturulan alternatif çizelgelerde kaynak kullanımı ve sürelerle ait raporlamalar ile duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebilmesi,
- Mevcut kısıtlar ve kabuller altında, proje süresini en azlayan alternatif iyi çizelgelerin oluşturulabilmesi.

Yukarıda yaklaşımın başarısının değerlendirilebileceği üç konudan ilk ikisi, yapılabilirlik ile ilgilidir. Bu kapsamda, yaklaşım uygulama projelerinde sınanırken, bu maddeler ile ortaya konan amaçların gerçekleştirilebildiğinin gösterilmesi gerekmektedir. Yukarıdaki son madde olan alternatif iyi çizelgelerin oluşturulması konusunda ise, alternatif iyi çizelgelerin çerçevesi çizilmemiştir. Bu nedenle yaklaşımın çizelgeleme kabiliyeti ile ülkemizde en yaygın kullanıma sahip, MS Project 2007 yazılımı çizelgeleme sonuçları karşılaştırılmıştır. MS Project 2007 yazılımında çok modlu faaliyetler tanımlanamamakta, stokastik süreler de farklı dağılımlar ile

gösterilememektedir. Ayrıca kaynak miktarları, sadece deterministik değerler alabilmektedir. Bu nedenle çizelgeleme başarısını incelemede kullanılan 30 test problemi deterministik süre ve kaynak bilgileri içeren, tek modlu projelerdir. Yaklaşımın farklılığı, daha geniş, çok modlu, süre ve kaynak bilgilerinin stokastik olduğu bir projede ortaya çıkacağı için, son örnek olarak, kapsamlı bir depo yerleşim projesi incelenmiştir. Ele alınan proje örneklerine ait kabuller, problemlerdeki projelere ait tanım ve kısıtlar, elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmaları bulgular bölümünde yer almaktadır.

## 4. BULGULAR

Bulgular bölümünde, önerilen simülasyon tabanlı proje planlama ve çizelgeleme modelinin, örnek projelerdeki uygulama sonuçları verilmiştir. Uygulama örnekleriyle, simülasyon tabanlı planlama ve çizelgeleme metodolojisinin başlangıçta verilen üç amacı gerçekleştirebilme kabiliyeti sorgulanmıştır. Buna göre modelin gerçekleştirmesi beklenen üç temel amaç şunlardır;

- Ortaya konulan model ile projelerdeki kaynak kısıtlarının, faaliyet süreleri ve kaynak bulunabilirliklerine ait stokastik yapıların ve faaliyetlerin farklı gerçekleştirilebilme durumlarının (çok modlu yapıların) dikkate alınarak, projelerin planlanması ve çizelgelenmesi,
- Oluşturulan alternatif çizelgelerle, kaynak kullanımı ve sürelere ait raporlamalar ile duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebilmesi, proje belirsizliklerinin analiz edilebilmesi,
- Problemlere ait kısıtlar ve kabuller altında, model içerisindeki sezgisel algoritma ile, proje süresini en küçükleleyen alternatif iyi çizelgelerin oluşturulabilmesi.

Yukarıda verilen amaçların gerçekleştirilme durumunun sınanmasında toplam 34 proje örneği kullanılmıştır. Buna göre ilk olarak incelenen dört proje örneği, “Birinci Grup Test Proje Örnekleri” olarak ifade edilmiştir. Bu test projeleri ile modelin farklı yapıdaki projeler üzerinde ilk iki amacı gerçekleştirebilme kabiliyeti incelenmiştir. Diğer otuz proje ise “İkinci Grup Test Proje Örnekleri” olarak ifade edilmiş ve son amaç olan çizelgeleme yeteneğinin sınanması için kullanılmıştır.

Bulgular bölümünde, birinci başlık altında, birinci grup test projelerine ait bilgiler verilmiş, problemlerin çizelge çözümleri ile proje problemlerine ait raporlar sunulmuştur. Bu kapsamda karmaşıklık sırasına göre, öncelikle deterministik faaliyet süreleri ve kaynak bulunabilirliklerinin söz konusu olduğu bir proje incelenmiştir. Daha sonra faaliyet ve kaynak sayısının daha fazla olduğu, aynı zamanda faaliyet sürelerinin

bir kısmının belirsiz olduğu ikinci projenin kaynak kısıtlı çizelge çözümleri üretilmiş ve çözümler analiz edilmiştir. Üçüncü proje örneğinde yine bir önceki örnekten daha fazla faaliyet ve kaynak bulunmaktadır. Bu örnekte bazı faaliyetlere ait sürelerin belirsiz olmasının dışında, kaynak bulunabilirlikleri de değişebilmektedir. Üçüncü örnekte elde edilen çözümlerin sunulması dışında, iki farklı senaryo üzerinde çalışılarak, bu senaryoların gerçekleşmesi durumunda projenin nasıl etkilenebileceği incelenmiş, muhtemel proje çözümleri ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, birinci senaryo neticesinde proje tamamlanma süreleri, ikinci senaryo neticesinde ise proje tamamlanma süreleri ile birlikte kaynak kullanım oranlarındaki değişimler incelenmiştir. Birinci grup test problemlerinin sonucunda ise gerçek bir proje örneği ele alınmış, tüm belirsizlikler altında, çok sayıda kaynak kısıtlı çizelgeleme çözümü gerçekleştirilerek, proje probleminin farklı çizelge çözümleri üretilmiştir.

Bulgular bölümünün ikinci başlığı altında, ikinci grup test problemleri incelenmiştir. Bu kapsamda otuz örnek proje üzerinde çalışılmıştır. İncelenen projeler faaliyet sayılarına ve kullanılan kaynak çeşitliliğine göre gruplanmıştır. Çizelgeleme çözümleri araştırılan son beş proje örneği, çok sayıda kaynak kısıtlı çizelgeleme problemlerinin bulunduğu, PSPLIB'den (Project Scheduling Problem Library - Proje Çizelgeleme Problemleri Kütüphanesinden) alınmıştır (PSPLIB bilgisi için, Kolisch ve Sprecher, 1996). Bu bölüm sonunda Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli ile MS Project 2007 yazılımının örnek projeler için buldukları en kısa süreli (en iyi) çizelgeleme çözümleri verilmiş, tüm çözümler için kaynak kullanım oranları sunulmuştur. Son olarak, model çözümleri ile MS Project 2007 çözümleri karşılaştırılmış, aralarında anlamlı bir farklılık olup olmadığı, T testi ile analiz edilmiştir.

#### **4.1. BİRİNCİ GRUP TEST PROJE ÖRNEKLERİ**

Proje çizelgelemede, faaliyet sayısı, kaynak tipi sayısı, toplam öncül/ardıl faaliyet sayıları ve mod yapısı problemlerin zorluklarını artıran faktörlerdir. Bu faktörlerin sayıları ile birlikte faaliyet ve kaynaklara ait belirsizliklerin de artması neticesinde, proje problemlerinin karmaşıklığı da artmaktadır. Bu bölümde, simülasyon tabanlı çizelgeleme modeli ile çizelgelenen dört farklı yapıdaki (farklı karmaşıklığa sahip)



projenin çizelge çözümleri verilmiştir. İncelenen projeler, problemlerin karmaşıklık seviyelerine göre sıralanarak sunulmuştur.

Birinci grup test proje örneklerinde ele alınan ilk proje, sadece deterministik faaliyet süresi ve kaynak bulunabilirliklerinin söz konusu olduğu bir projedir. İkinci örnek proje ile stokastik süreli faaliyetlerin de olduğu bir proje incelenmiştir. Üçüncü proje, ikinci örnek projede olduğu gibi kesin süreli ve belirsiz süreli faaliyetlerden oluşmaktadır. Farklı olarak bu projede kaynak bulunabilirlikleri de stokastiktir. Dördüncü proje örneğinde ise bir “Depo Yerleşim Projesi” ele alınmıştır. Bu projede stokastik faaliyet süreleri ve kaynak bulunabilirlikleri bulunması dışında, bazı faaliyetler için çok modlu bir durum da söz konusudur.

#### **4.1.1. Birinci Proje Örneği**

##### **4.1.1.1. Proje Bilgileri**

Birinci proje, faaliyet süreleri ile kaynak bulunabilirlik miktarının kesin olduğu, on faaliyetten oluşan bir projedir. Projede tek tip yenilenebilir bir kaynak kullanılmaktadır. Kaynak kullanım miktarı günde en fazla 10 adettir.

Çizelgeleme için kabul edilen varsayımlar ise şunlardır;

- Amaç proje süresinin en küçüklenmesidir.
- Projenin tamamlanması için her faaliyet mutlaka bitirilmelidir.
- Faaliyetler tek modludur.
- Faaliyet süreleri deterministiktir.
- Kaynaklar kısıtlıdır.
- Kaynak bulunabilirliği deterministiktir.
- Faaliyetler arasında sadece FS öncelik ilişkisi vardır.
- Öncüllük ilişkileri zamanla değişmemektedir.
- Faaliyetler arasında bekleme süresi yoktur.
- Faaliyetlerin hazırlık süresi yoktur.
- Kaynaklar yenilebilir kaynaklardır.
- Tek tip kaynak kullanımı mevcuttur.
- Faaliyetlerin bölünmesine izin verilmez.

- Faaliyetlere ara verilip sonra devam edilmesi söz konusu değildir.

Proje faaliyetlerinin, süre, kullandıkları kaynak ve öncelik ilişkilerine ait bilgiler aşağıda, Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Birinci proje örneğine ait bilgiler

Faaliyet No	Süre Yapısı	Süresi (Gün)	Hemen Önceki Faaliyet	Kullanılan Kaynak R1 (günde en fazla 10 adet)
1	Deterministik	8	-	6R1
2	Deterministik	3	-	2R1
3	Deterministik	5	-	4R1
4	Deterministik	3	2	3R1
5	Deterministik	10	2	5R1
6	Deterministik	8	3	3R1
7	Deterministik	9	4	4R1
8	Deterministik	4	4	3R1
9	Deterministik	2	4	4R1
10	Deterministik	9	8	4R1

#### 4.1.1.2. Proje Çizelgeleme Çözümü

Birinci proje örneği tamamıyla deterministik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle projenin tamamlanma süresi ile ilgili olasılıklar söz konusu değildir. Birinci proje örneğinin deterministik yapısı sebebiyle, diğer birinci grup test problemlerinden farklı olarak, proje riski incelenmemiştir. Örnekte sadece Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeliyle elde edilen çizelgeleme çözümleri ile MS Project 2007 çizelgeleme çözümleri karşılaştırılmıştır.

Simülasyon tabanlı çizelgeleme modeli, bir proje için farklı sayılarda çalıştırılarak, değişik proje tamamlanma süreleri ve kaynak kullanım oranlarına sahip çizelgeler

üretilebilmektedir. Çizelgeleme aşamasında simülasyon, içerisindeki sezgisel algoritmadaki kurallar çerçevesinde atamalar yapmaktadır. Bununla birlikte, algoritmada, atanacak faaliyetlerin seçilmesinde bir noktaya kadar kural tanımlanmış, bir noktadan sonra atama seçeneğini serbest bırakılmıştır (algoritma adımları tezin üçüncü bölümünde verilmiştir). Bu şekilde, bazı durumlar için simülasyonun rastgele bir atama gerçekleştirerek farklı çözümlere de ulaşılması sağlanmıştır.

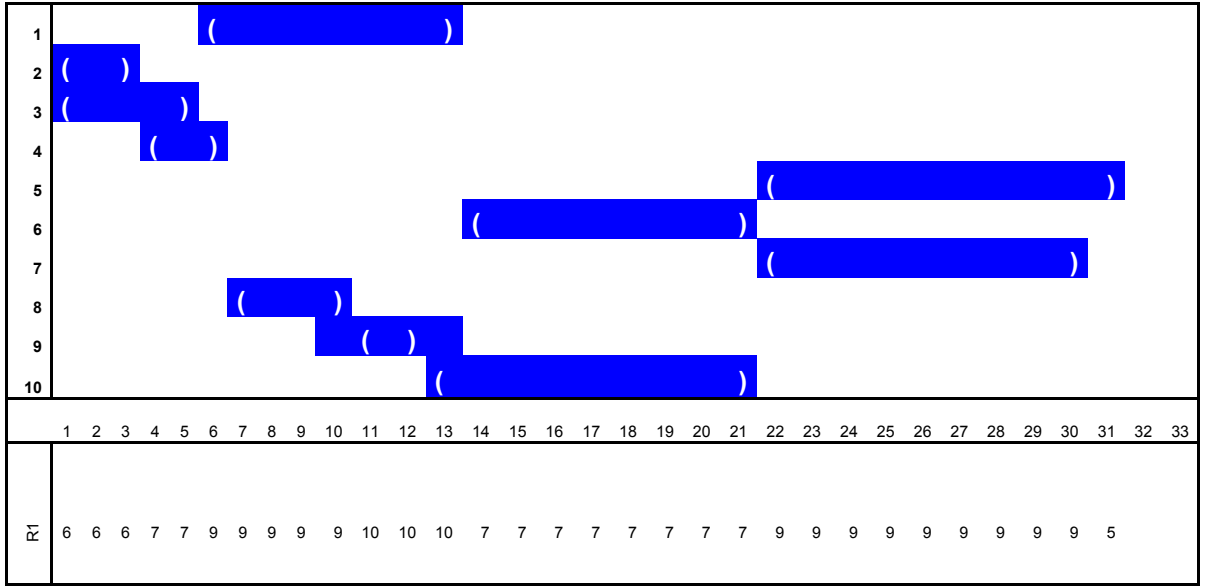
MS Project yazılımında, faaliyetlerin atanması, “ID” (faaliyet numarası), “Standart” (standart), “Priority Standart” (öncüllük ve standart) olmak üzere üç farklı atama seçeneğinden biri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Buna göre “ID” seçeneğinin seçilmesi durumunda, kaynak kısıtının aşıldığı zamanlarda ilk olarak ID numarası (faaliyet numarası) en büyük olan geciktirilmektedir. “Standart” seçeneğinde ise sırasıyla, öncelik ilişkileri, toplam bolluklar, başlangıç tarihleri ve kısıtlara göre atama yapılmaktadır. Buna göre, proje çizelgesinde kaynak kısıtının geçilmesi durumunda, öncelik ilişkileri incelendikten sonra toplam bolluğu en fazla olan faaliyet geciktirilmektedir. Bollukların aynı olması durumunda ise faaliyetlerin başlangıç tarihleri dikkate alınmakta (kaynak kısıtları dikkate alınmadan oluşturulan ilk çizelgeye göre), en geç başlama tarihine sahip faaliyet ya da faaliyetler geciktirilmektedir. “Priority Standart” seçeneğinin, standart seçeneğinden tek farklı, atamalarda, ilk olarak faaliyet öncelik puanına bakılmasıdır. Bir faaliyetin öncelik puanı isteğe göre verilebilen bir öncelik tercihi puanıdır (MS Project’de faaliyetlere 1-1000 arası bir öncelik puanı verilebilmektedir). Kaynak kısıtı sebebi ile iki faaliyetten yalnız birinin atanması kararında “Priority Standart” seçeneği, faaliyetlerden yüksek öncelik puanına sahip olanı atamakta, diğer faaliyeti geciktirmektedir. Faaliyetlerin aynı öncelik puanına sahip olması durumunda ise, bakılan sonraki karar kriterleri “Standart” tercihiyle aynıdır.

Birinci proje örneği için Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli 1000 kere çalıştırılmış ve farklı proje çizelge çözümleri elde edilmiştir. MS project yazılımında ise, “ID” “Standart” ve “Priority Standart” olmak üzere üç atama seçeneği için de projenin çizelgelenmesi gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.2’de elde edilen çizelge çözümlerine ait sonuçlar verilmiştir (“çizelge çözümü”, kaynak kısıtları dikkate alınarak gerçekleştirilen proje çizelgesinin tamamlanma süresini ifade etmektedir).

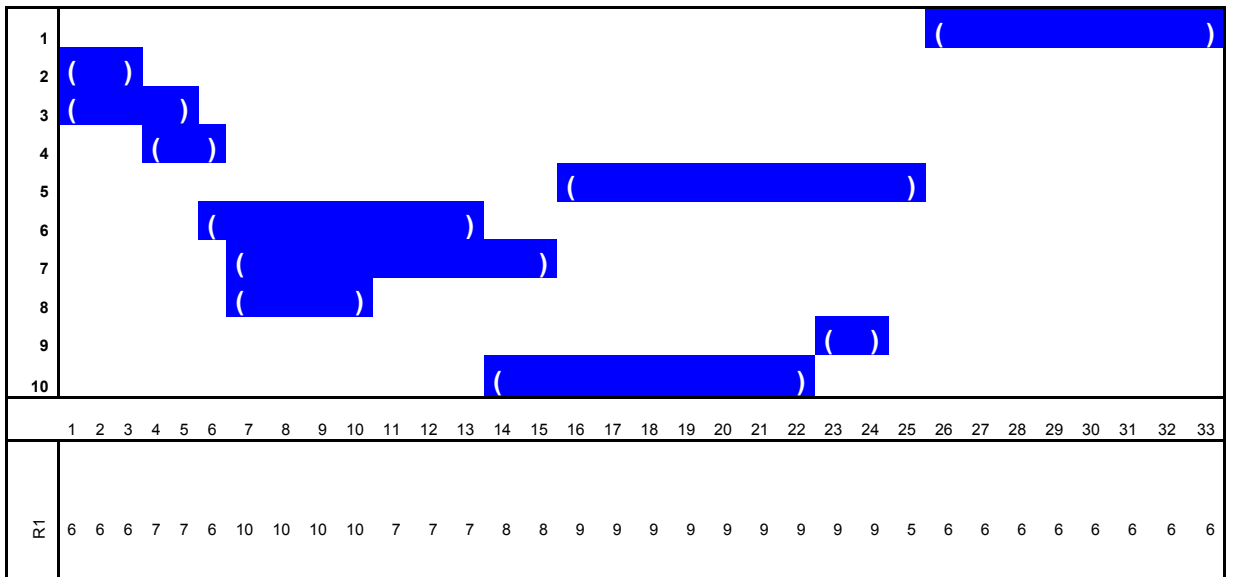
Tablo 4.2 Birinci örnek proje çizelge çözümleri

Simülasyon Çalıştırılma Sayısı	Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme En Kısa Süreli Çizelge Çözümü	MS Project 2007 En Kısa Süreli Çizelge Çözümü
1000	31	33

Örnek projeye ait Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme ile Ms Project 2007 çizelgeleme çözümlerine ait Gantt Şemaları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

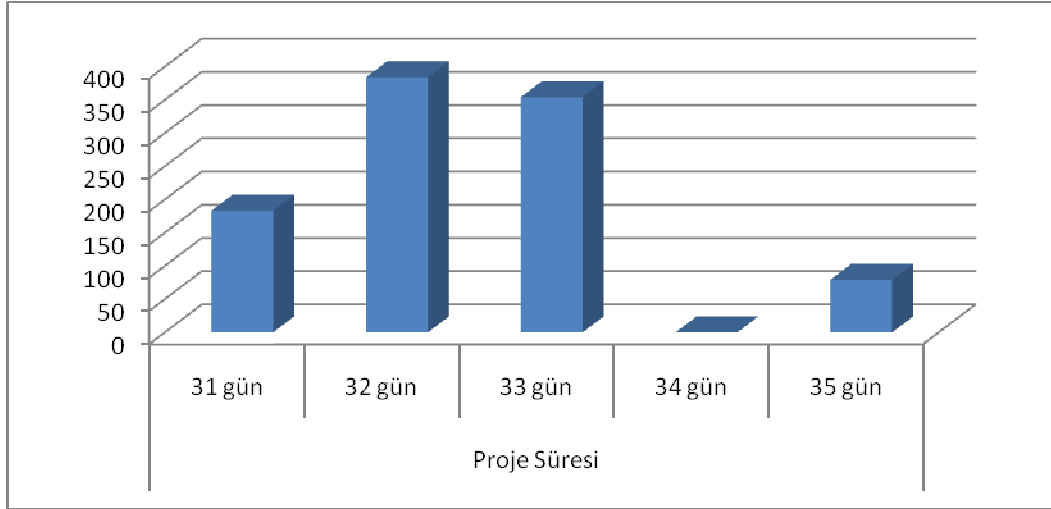


Şekil 4.1 Birinci proje örneği Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli en iyi çizelge çözümü



Şekil 4.2 Birinci proje örneği MS Project 2007 en iyi çizelge çözümü

Birinci örnek projede MS Project yazılımının çizelgeleme çözümlerine ait tamamlanma süreleri, ID, Standart, Priority Standart önceliklendirme yaklaşımlarının hepsinde de 33 gündür. Simülasyon tabanlı çizelgeleme yaklaşımında ise üretilen 1000 çizelge çözümüne ait süreler farklılık göstermektedir. Bu dağılım Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Birinci proje örneği çizelge çözümleri dağılımı

Birinci örnek proje, faaliyetlerin süreleri ve kaynak bulunabilirliği yönünden deterministik bir yapıya sahip olduğu için, simülasyon tabanlı çizelgeleme başarısı sadece kaynak kısıtlarını dikkate alan çizelgeleme çözümlerinin süresi ile orantılıdır. Dolayısıyla modelin elde ettiği en kısa süreli çizelge çözümünün, MS Project yazılımının en iyi çizelge çözümünden daha kısa süreli olması nedeniyle, bu örnek için modelin başarılı olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Fakat sadece bir örnek ile model başarısının anlamlı bir farklılığa sahip olduğu söylenemez. Bu nedenle otuz farklı proje örneğinin olduğu, ikinci grup test projeleri çözümlenerek, Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli ile MS Project yazılımı çizelge sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı ise T testi ile analiz edilmiştir. Daha önceden ifade edildiği gibi bu karşılaştırma bulgular bölümünün son başlığı altında incelenmiştir.

## 4.1.2. İkinci Proje Örneği

### 4.1.2.1. Proje Bilgileri

İkinci proje, faaliyet sürelerinin bazılarının kesin, bazılarının ise belirsiz olduğu, onbeş faaliyetten oluşan bir projedir. Projede iki tip yenilenebilir kaynak kullanılmaktadır. Birinci kaynağın günlük kullanım miktarı en fazla 10 iken ikinci kaynağın kullanım miktarı en fazla 12 adettir.

İkinci proje için yapılan çizelgelemedeki kabuller ise şunlardır;

- Amaç proje süresinin en küçüklenmesidir.
- Projenin tamamlanması için her faaliyet mutlaka bitirilmelidir.
- Faaliyetler tek modludur.
- Faaliyetlerin bir kısmının süreleri deterministik, bazılarının ise stokastiktir.
- Kaynaklar kısıtlıdır.
- Kaynak bulunabilirliği deterministiktir.
- Faaliyetler arasında sadece FS öncelik ilişkisi vardır.
- Öncüllük ilişkileri zamanla değişmemektedir.
- Faaliyetler arasında bekleme süresi yoktur.
- Faaliyetlerin hazırlık süresi yoktur.
- Kaynaklar yenilebilir kaynaklardır.
- Faaliyetlerin bölünmesine izin verilmez.
- Faaliyetlere ara verilip sonra devam edilmesi söz konusu değildir.

Projedeki süresi belirsiz olan faaliyetler uygun olasılık dağılımları ile gösterilmiştir. Projedeki faaliyetlerin, süre, kullandıkları kaynak ve öncelik ilişkilerine ait bilgiler aşağıdaki Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 İkinci proje örneğine ait bilgiler

Faaliyet No	Süre Yapısı	Süresi (Gün)	Hemen Önceki Faaliyet	Kullanılan Kaynak R1,R2 (günde en fazla 10,12 adet)
1	Deterministik	8	-	4R1,3R2

2	Stokastik (Normal Dağılım)	(9,1)	-	6R1,8R2
3	Deterministik	3	-	3R1,4R2
4	Deterministik	5	1,2	3R1
5	Deterministik	5	3	4R1
6	Stokastik (Düzgün Dağılım)	(8-12)	3	4R1,5R2
7	Deterministik	8	6	5R1,4R2
8	Deterministik	6	6	4R1,5R2
9	Deterministik	3	6	5R1,5R2
10	Deterministik	8	8	5R2
11	Deterministik	6	8	3R1,3R2
12	Deterministik	8	9	2R1,3R2
13	Stokastik (Düzgün Dağılım)	(8-10)	9	4R1,6R2
14	Deterministik	3	9	4R1,4R2
15	Deterministik	9	14	3R2

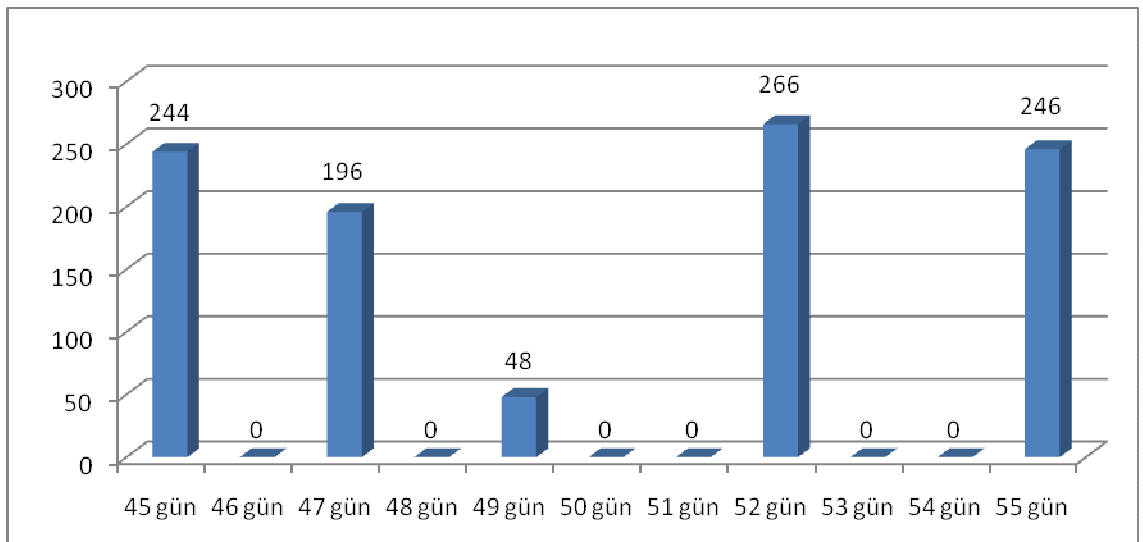
#### 4.1.2.2. Proje Çizelgeleme Çözümü

İkinci örnek projede bazı faaliyetlerin süre bilgileri belirsizdir. Bu nedenle bu faaliyetlere ait sürelerin farklılık göstermesi proje süresinin de değişmesine neden olabilmektedir. Simülasyon tabanlı çizelgeleme modelinde faaliyet sürelerindeki belirsizlikleri dikkate alarak kaynak kısıtlı çizelgeleme çözümleri üretmeden önce, projedeki değişken sürelerin kesin olması durumundaki çizelge çözümleri incelemiştir. Buna göre normal dağılıma göre ortalaması 9, standart sapması 1 olan ikinci faaliyetin süresi orta değeri olan 9 gün alınmıştır. Düzgün dağılımla değişkenliği ifade edilen 6. faaliyetin 8.,9.,10.,11. ve 12. günde tamamlanma olasılığı aynıdır. Bu faaliyette de yine orta değer olan 10 gün, faaliyetin kesin süresi kabul edilmiştir. 13. faaliyette ise süre 9 gün alınmıştır. Değişkenlikler gözardı edilerek çizelgeleme çözümleri üretildiğinde Tablo 4.4'teki verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.4 İkinci örnek proje belirsiz sürelerin göz ardı edildiği çizelge çözümleri

Simülasyon Çalıştırılma Sayısı	Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme En Kısa Süreli Çizelge Çözümü	MS Project 2007 En Kısa Süreli Çizelge Çözümü
1000	45	49

Modelin elde ettiği sonuçların dağılımı ise Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 İkinci proje örneği belirsiz sürelerin göz ardı edildiği çizelge çözümleri dağılımı

Tablo 4.4’de görüldüğü gibi faaliyet sürelerine ait belirsizliğin gözardı edilmesi neticesinde modelin ürettiği en iyi çözüm, MS Project proje yönetimi yazılımından daha kısa sürelidir. Bununla beraber üretilen 1000 adet çözüm neticesinde, sadece beş farklı proje süresinin olduğu görülmektedir.

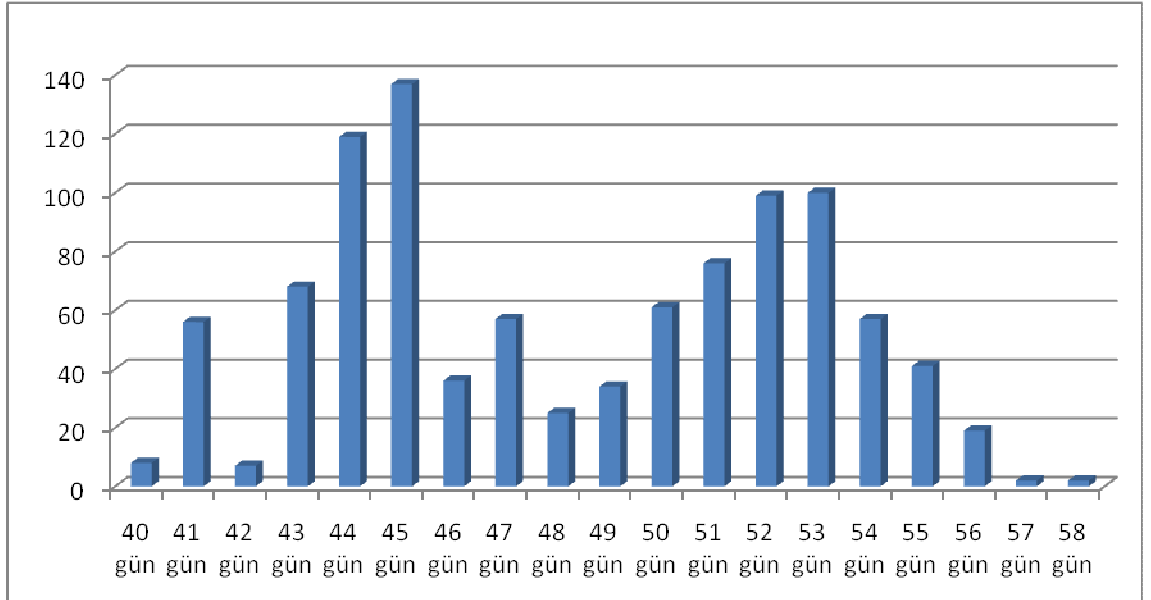
Belirsiz süreli faaliyetlerin, kesin süreli faaliyetler olarak varsayıp yukarıdaki değerlerin elde edilmesinden sonra, proje problemi gerçeğe yakın şekilde, yani belirsizlikleri de dikkate alınarak yeniden incelenmiştir. Belirsizlikler modele girilmiş, simülasyon 1000 kere koşturulmuş ve Tablo 4.5’deki sonuçlar elde edilmiştir.



Tablo 4.5 İkinci örnek proje çizelge çözümleri

Simülasyon Çalıştırılma Sayısı	En Kısa Süreli Çizelge Çözümü	En Uzun Süreli Çizelge Çözümü	En Sık Rastlanan Çizelge Süresi	Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Çözümleri Ortalama Süresi
1000	40	58	45	48,25

Belirsiz süreli faaliyetlerin modelde tanımlanması ile birlikte elde edilen çözümlerin de farklılaştığı görülmektedir. Çizelge sürelerinin dağılımları aşağıda Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 İkinci proje örneği çizelge çözümleri dağılımı

İkinci proje örneğinde, proje tamamlanma süreleri incelendiğinde elde edilen en kısa, en uzun ve en olası çözümlerin gerçekleşme olasılıkları ise Tablo 4.6’da gösterilmektedir.

Tablo 4.6 İkinci örnek proje tamamlanma süresi olasılıkları

	40. gün	41. gün	42. gün	43. gün	44. gün	45. gün	46. gün	47. gün	48. gün	49. gün
%	0,8	5,6	0,7	6,7	11,8	13,6	3,6	5,7	2,5	3,4

	50. gün	51. gün	52. gün	53. gün	54. gün	55. gün	56. gün	57. gün	58. gün	59. gün
%	6,1	7,6	9,8	10	5,7	4,1	1,9	0,2	0,2	0

Yukarıdaki çözümler incelendiğinde, faaliyet sürelerine ait belirsizliklerin problemde tanımlanması neticesinde, proje tamamlanma süresinin ve alternatif çizelgele sayısı çeşitliliğinin arttığı görülmektedir. Bu da proje yöneticilerinin, farklı senaryoları dikkate alarak daha doğru karar verebilmelerini sağlayacaktır.

### 4.1.3. Üçüncü Proje Örneği

#### 4.1.3.1. Proje Bilgileri

Birinci grup test projelerinde ele alınan üçüncü proje örneği, ikinci örneğe göre daha karmaşık bir proje örneğidir. Bu örnek projede, faaliyet sürelerinin bazıları kesin, bazıları ise belirsizdir. Proje yirmi faaliyetten oluşmaktadır. Faaliyetlerin bazılarında ait değişkenlikler normal ve düzgün dağılıma uygunluk göstermektedir. Altıncı proje faaliyeti, nadir gerçekleştirilen ve süresi ile ilgili çok fazla bilginin bulunmadığı bir faaliyet olduğu için, değişkenliği, üstel dağılım ile ifade edilmiştir. Üçüncü proje örneğinde kullanılan kaynaklar yenilenebilir kaynaklardır. Dört kaynaktan R1,R2 ve R4'ün günlük kullanım limitleri ise sırasıyla 5,5 ve 9 adettir. Üçüncü örnek projenin, faaliyet ve kaynak sayılarındaki sayısal fazlalığın dışında, ikinci örnekten en önemli farklılığı, bir kaynağın bulunabilirliğinin belirsiz olmasıdır. Projede yer alan R3 kaynağının günlük bulunabilirliği (kullanılabilen en üst limiti) değişkendir. R3 kaynağının günlük bulunabilme kısıtı ise 5 ve 7 arasında düzgün dağılmaktadır.

Bu örnek projede, kaynak kısıtlı çizelgeleme kabulleri ise şunlardır;

- Amaç proje süresinin en küçüklenmesidir.
- Projenin tamamlanması için her faaliyet mutlaka bitirilmelidir.
- Faaliyetler tek modludur.
- Faaliyetlerin bir kısmının süreleri deterministik, bazılarının ise stokastiktir.
- Kaynaklar kısıtlıdır.
- Bazı kaynakların bulunabilirliği deterministik bazılarının ise stokastiktir.
- Faaliyetler arasında sadece FS öncelik ilişkisi vardır.

- Öncüllük ilişkileri zamanla değişmemektedir.
- Faaliyetler arasında bekleme süresi yoktur.
- Faaliyetlerin hazırlık süresi yoktur.
- Kaynaklar yenilebilir kaynaklardır.
- Faaliyetlerin bölünmesine izin verilmez.
- Faaliyetlere ara verilip sonra devam edilmesi söz konusu değildir.

Proje faaliyetlerinin, süre ve öncelik ilişkileri ile faaliyetlerin kaynak ihtiyaçlarına ait bilgiler hemen aşağıdaki Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Üçüncü proje örneğine ait bilgiler

Faal. No	Süre Yapısı	Süresi (Gün)	Hemen Önceki Faal.	Kaynak R1 (5 adet)	Kaynak R2 (5 adet)	Kaynak R3 belirsiz 5-7 adet)	Kaynak R4 (9 adet)
1	Deterministik	3	-	2R1	1R2	2R3	3R4
2	Deterministik	4	-	2R1	1R2	-	3R4
3	Deterministik	5	-	3R1	3R2	2R3	5R4
4	Stokastik (Düzgün Dağılım)	5-9	2	1R1	3R2	4R3	4R4
5	Deterministik	7	2	2R1	1R2	-	3R4
6	Stokastik (Üstel Dağılım)	(3)	2	-	-	3R3	6R4
7	Deterministik	5	2,4	1R1	1R2	1R3	1R4
8	Deterministik	2	2,4	-	2R2	-	3R4
9	Deterministik	6	6	-	-	2R3	3R4
10	Stokastik (Normal Dağılım)	(7,1)	6	3R1	2R2	-	3R4
11	Deterministik	5	8	3R1	3R2	2R3	3R4
12	Deterministik	6	8	-	-	-	4R4
13	Deterministik	4	8	-	-	1R3	3R4
14	Deterministik	5	8	3R1	-	2R3	3R4

15	Deterministik	3	10,12	-	-	-	3R4
16	Deterministik	3	10,12	2R1	2R2	-	-
17	Stokastik (Düzgün Dağılım)	(6-8)	10,12	2R1	1R2	3R3	4R4
18	Deterministik	4	15,16,17	-	-	-	3R4
19	Deterministik	3	18	-	-	2R3	3R4
20	Deterministik	2	18	-	-	1R3	4R4

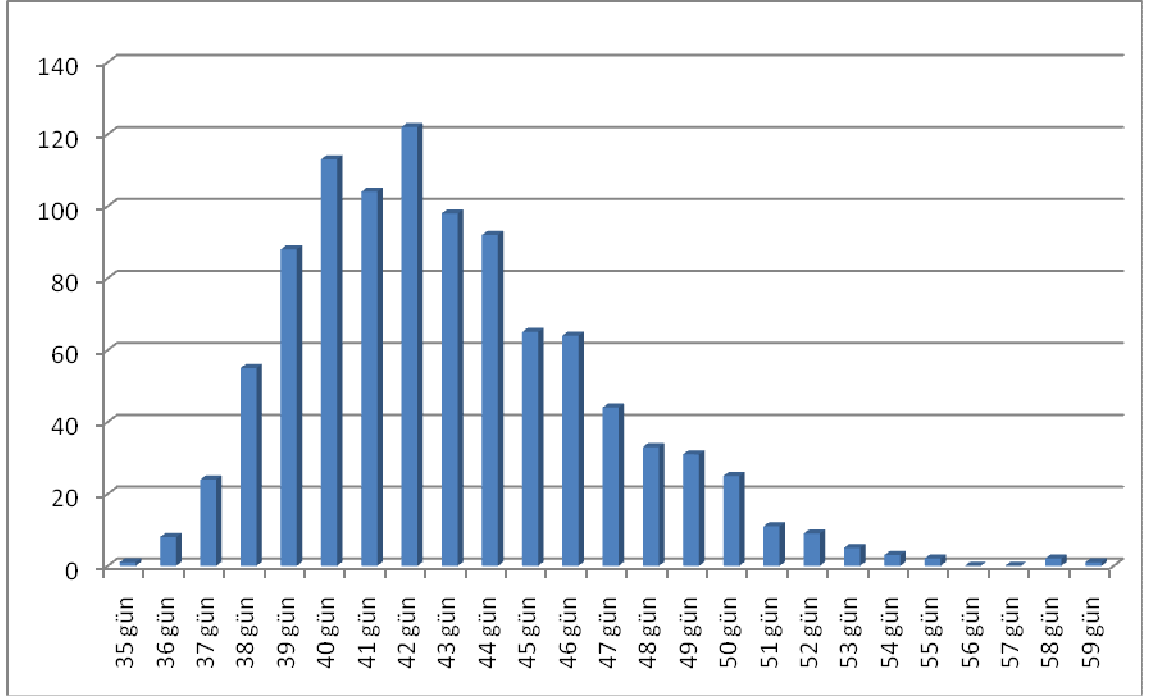
#### 4.1.3.2. Proje Çizelgeleme Çözümü

Üçüncü örnek proje için simülasyon tabanlı çizelgeleme modeli 1000 kere çalıştırılmış, faaliyet sürelerindeki ve R3 kaynağındaki belirsizliklerin proje üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre simülasyon neticesinde farklı proje çizelgeleri üretilmiştir. Simülasyon neticesinde elde edilen değerler aşağıda Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 Üçüncü örnek proje çizelge çözümleri

Simülasyon Çalıştırılma Sayısı	En Kısa Süreli Çizelge Çözümü	En Uzun Süreli Çizelge Çözümü	En Sık Rastlanan Çizelge Süresi	Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Çözümleri Ortalama Süresi
1000	35	59	42	42,95

Elde edilen çizelge sürelerinin dağılımları ise Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Üçüncü proje örneği çizelge çözümleri dağılımı

Üçüncü proje örneğinde proje tamamlanma süreleri incelendiğinde elde edilen en kısa, en uzun ve en olası çözümlerin gerçekleşme olasılıkları ise şunlardır.

Tablo 4.9 Üçüncü örnek proje tamamlanma süresi olasılıkları

	35. gün	36. gün	37. gün	38. gün	39. gün	40. gün	41. gün	42. gün	43. gün	44. gün	45. gün	46. gün	47. gün
%	0,1	0,8	2,4	5,5	8,7	11,3	10,4	12,2	9,8	9,3	6,5	6,4	4,4
	48. gün	49. gün	50. gün	51. gün	52. gün	53. gün	54. gün	55. gün	56. gün	57. gün	58. gün	59. gün	60. gün
%	3,3	3,1	2,5	1,1	0,9	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0,1	0

Simülasyon tabanlı proje çizelgeleme, kaynak kısıtlarıyla birlikte, projelerdeki faaliyet süreleri ve kaynak bulunabilirliklerine ait belirsizlikleri dikkate alabilmekte ve farklı problemleri herbiri için ayrı simülasyon modeline ihtiyaç duymadan

değerlendirebilmektedir. Bu özelliklerin dışında, model ile farklı senaryolar çalıştırılarak proje riski analiz edilebilmektedir. Bir sonraki başlıkta bu projeye ait iki farklı senaryo verilmiş ve senaryolar analiz edilmiştir.

#### **4.1.3.3. Proje Senaryoları ve Senaryoların Analizi**

Birinci grup test problemlerinde ikinci proje örneği incelenirken, faaliyet sürelerinin bazılarının belirsiz sürelere sahip olduğu halde, bu faaliyetlere ait sürelerin kesin süreler alınması, aslında bir proje senaryonun denenmesidir. Bir proje örneği için binlerce farklı senaryo üretilip, duyarlılık analizleri gerçekleştirilebilir. Üçüncü proje örneği için iki farklı senaryo üretilmiş ve modelde çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Analiz edilecek senaryolar aşağıda, Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Üçüncü örnek proje test senaryoları

Senaryo	Senaryo Açıklaması ve İncelenecek Proje Amacı
1	Kullanılan kaynaklardan R1'in günlük kullanım limitinin 6'ya çıkartılırken R2'nin üst kullanım limitinin 4'e düşürülmesinin proje süresi üzerindeki etkilerinin incelenmesi.
2	Belirsiz süreli faaliyetlerin hepsinin olası en kısa sürede tamamlanırken, R3 kaynağının bulunabilirliğinin en üst seviyede olması durumu ile belirsiz süreli faaliyetlerin en uzun sürede tamamlanırken, R3 kaynağı bulunabilirliğinin en düşük seviyede olması durumunda proje süresi ile kaynakların kapasite kullanım oranlarındaki değişimin karşılaştırılması.

#### **Birinci Proje Senaryosu**

Çalışmada öncelikle 1.senaryo incelenerek mevcut model üzerinde R1 ve R2 kaynaklarına ait kısıtlar değiştirilmiştir. Bununla birlikte projedeki diğer kaynaklar ve proje faaliyetlerine ait bilgiler aynı kalmıştır. Simülasyon yine 1000 kere çalıştırılarak farklı çizelge çözümleri elde edilmiştir. Elde edilen çözümlerin, mevcut proje ile karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 4.11'de, olasılık hesapları ise Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Üçüncü proje örnek çözümleri ile birinci senaryo çözümlerinin karşılaştırılması

3. Proje Örneği Simülasyon Sonuçları				1. Senaryo Simülasyon Sonuçları			
En Kısa Süreli Çizelge Çözümü	En Uzun Süreli Çizelge Çözümü	En Sık Rastlanan Çizelge Süresi	Çizelge Çözümleri Ortalama Süresi	En Kısa Süreli Çizelge Çözümü	En Uzun Süreli Çizelge Çözümü	En Sık Rastlanan Çizelge Süresi	Çizelge Çözümleri Ortalama Süresi
35	59	42	42,95	35	58	42%43	43,72

Tablo 4.12 Üçüncü proje tamamlanma olasılıkları ile birinci senaryo sonrasında proje tamamlanma olasılıklarının karşılaştırılması

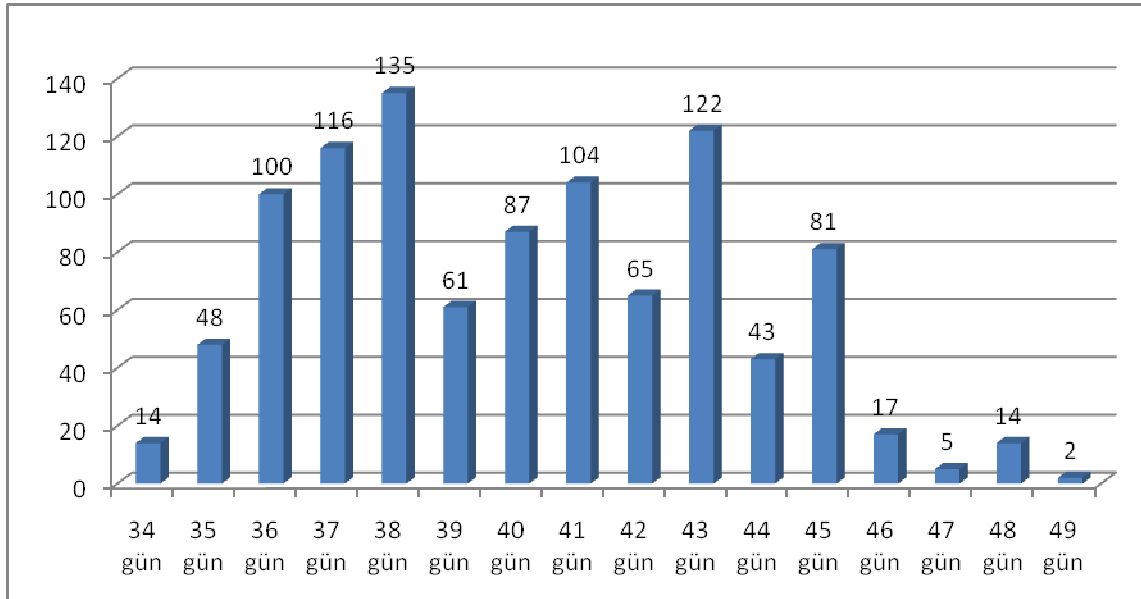
3. Proje Örneği Tamamlanma Süresi Olasılıkları		1. Senaryo Sonrasında Proje Örneği Tamamlanma Süresi Olasılıkları	
Projenin En Geç 40. Gün (40. Gün ve Öncesinde) Tamamlanma Olasılığı	Projenin En Geç 45. Gün (45. Gün ve Öncesinde) Tamamlanma Olasılığı	Projenin En Geç 40. Gün (40. Gün ve Öncesinde) Tamamlanma Olasılığı	Projenin En Geç 45. Gün (45. Gün ve Öncesinde) Tamamlanma Olasılığı
% 28,9	% 77	% 18,6	% 71.1

Yukarıdaki tablolardan da görüleceği gibi 1. senaryoda ifade edilen kaynak sayısındaki değişim, proje süresini artırıcı riskler taşımaktadır. Bununla birlikte R1 kaynağı, R2 kaynağına göre çok maliyetli bir kaynak ise bu durumda proje yöneticisi, bu riski almayı kabul edebilir. Doğal olarak bu kararı etkileyen çok sayıda faktör olacaktır. Burada simülasyon modeli, yapılacak değişimler ile proje tamamlanma sürelerinin analizi ile kaynak kullanımlarını ortaya koymakta, maliyet unsurlarını incelemektedir.

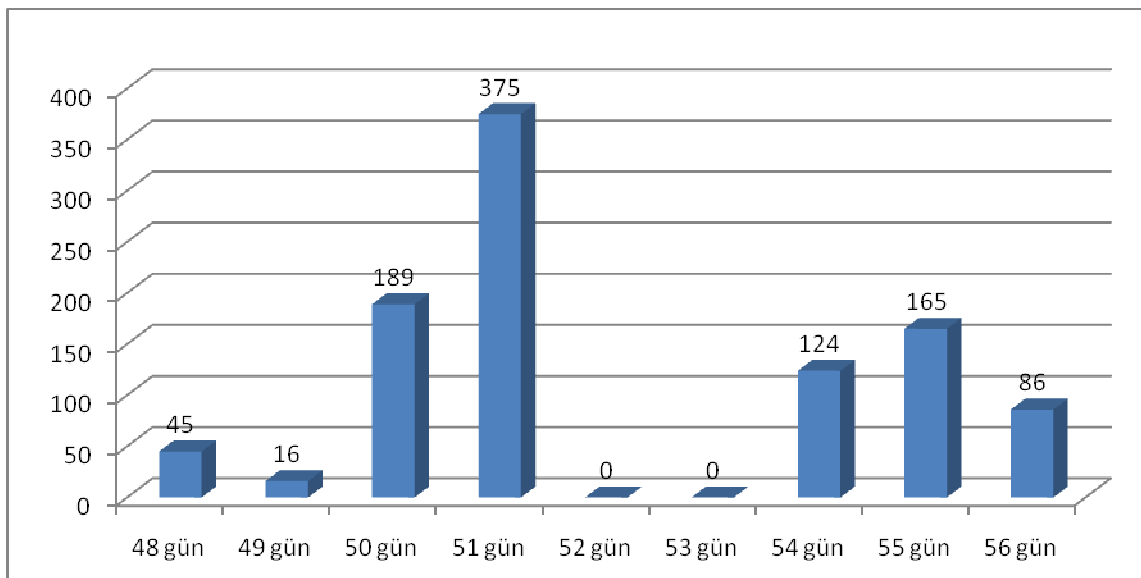
### ***İkinci Proje Senaryosu***

İkinci senaryo ile bir proje planında olabilecek en iyi durum ile en kötü durum arasındaki fark araştırılmaktadır. Buna göre ikinci senaryoda iki farklı problem simülasyon modelinde çalıştırılmıştır. “En İyi Durum” şeklinde isimlendirilen ilk durumda, değişken sürelerle sahip faaliyetlerin olası en kısa süreleri (dağılımları dikkate

alınarak verilen) dikkate alınmıştır. Ayrıca belirsiz kaynak bulunabilirliğinin söz konusu olduğu R3 kaynağında ise kaynak kısıtı, kaynak bulunabilirliğinin en üst limiti alınmıştır. “En Kötü Durum” şeklinde ifade edilen ikinci durumda ise belirsiz faaliyetlerin olası en uzun süresi, faaliyet süresi olarak alınmış, R3 kaynağının kaynak kısıtı ise olasılık dağılımdaki olası en az kaynak seviyesi olarak hesaplanmıştır. Simülasyon modeli “En İyi Durum” ve “En Kötü Durum” senaryoları için 1000 kez çalıştırılmış ve Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de elde edilen sonuçlara ait grafikler verilmiştir.



Şekil 4.7 Üçüncü proje örneği, “En İyi Durum” senaryosu proje süresi dağılımları



Şekil 4.8 Üçüncü proje örneği, “En Kötü Durum” senaryosu proje süresi dağılımları



Yukarıdaki grafiklerden görüleceği üzere, “En İyi Durum” senaryosu ile “En Kötü Durum” senaryosu arasında proje tamamlanma süreleri yönüyle önemli farklılıklar görülmektedir. En iyi durum senaryosuna göre projenin % 99,9 olasılık ile 49. gün sonunda tamamlanması beklenmektedir. En kötü durum senaryosunda ise projenin en geç 49. gün sonunda tamamlanabilme olasılığı sadece % 6,1’dir.

En iyi durum ve en kötü durum senaryolarının en kısa süreli çizelge çözümlerine ait (34 gün ve 48 gün) kaynak kullanım oranları ise Tablo 4.13’de gösterilmiştir.

Tablo 4.13 En iyi ve en kötü durum senaryolarındaki en iyi çizelge çözümlerine ait kaynak kullanım oranları

	En İyi Durum Senaryosu				En Kötü Durum Senaryosu			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
Kullanılan Kaynak Saati (saat)	952	736	848	2144	1064	880	1264	2864
Kullanım Oranı	% 70	% 54	% 45	% 88	% 55	% 46	% 66	% 83

Kaynak kullanım oranları incelediğinde, proje süresiyle doğru orantılı olarak R1, R2, ve R4 kaynaklarının kullanım oranları en iyi durum senaryosunda daha yüksektir. R3 kaynağının en iyi durum senaryosunda kullanım oranının daha düşük olma nedeni ise kaynak kısıtlarında yapılan değişimden kaynaklanmaktadır. Buna göre R3 kaynağının sayısını artırmak, proje süresini kısaltmakta ve diğer kaynakların kullanım oranlarını artırmakta fakat R3 kaynağının kullanım oranını düşürmektedir.

#### 4.1.4. Dördüncü Proje Örneği

##### 4.1.4.1. Proje Bilgileri

Dördüncü proje örneği gerçek bir proje uygulamasıdır. Bir depo yerleşim projesi olan bu örnek test projesi ile modelin başlangıçta ortaya konulan amaçlarının gerçekleştirilebilirliği detaylı olarak incelenmiştir. Proje için kabul edilen varsayımlar şunlardır;

- Amaç proje süresinin en küçüklenmesidir. Bunun yanında diğer performans kriterlerinin durumu da izlenebilir olmalıdır.
- Projenin tamamlanması için her faaliyet mutlaka bitirilmelidir.
- Faaliyetler iki ya da daha çok moda sahip olabilmektedir.
- Faaliyet süreleri gerçeği temsil edecek şekilde deterministik ya da stokastik olabilir.
- Kaynaklar kısıtlıdır.
- Kaynak bulunabilirliği gerçeği temsil edecek şekilde deterministik ya da stokastik olabilir.
- Faaliyetler arasında sadece FS öncelik ilişkisi vardır.
- Mantıksal öncelik ilişkileri zamanla değişmemektedir.
- Faaliyetler arasında bekleme süresi yoktur.
- Faaliyetlerin hazırlık süresi yoktur.
- Kaynaklar yenilebilir kaynaklardır.
- Birden çok kaynak kullanımı mevcuttur.
- Faaliyetlerin bölünmesine izin verilmez.
- Faaliyetlere ara verilip sonra devam edilmesi söz konusu değildir.

Yukarıda varsayım olarak ifade edilen maddeler gerçek projenin kabulleridir. Projeyi oluşturan faaliyetlerin bir kısmının süreleri kesin olmakla birlikte bazı faaliyetlere ait süreler belirsizdir. Bu nedenle projede belirsiz süreli faaliyetlerin süre bilgileri uygun dağılımlar ile ifade edilmiştir. Projede beş tip yenilenebilir farklı kaynak bulunmaktadır. Herbir kaynak için farklı kısıtlar mevcuttur. Bu kısıtların bir kısmı deterministik, bazıları ise stokastiktir.

Tablo 4.14'e, projenin faaliyetleri açıklanmış, faaliyetlerin birbirleri ile olan öncelik ilişkileri gösterilmiştir.

Tablo 4.14 Dördüncü örnek proje faaliyetleri ve öncelik ilişkileri

Faaliyet No	Faaliyetin Adı	Hemen Önceki Faaliyet
1	Depolanması yapılacak malzeme ve ürünler ile ilgili veri toplanması	-
2	Ürün-Malzeme aylık taleplerinin çıkartılması	1
3	Her ürün için ortalama aylık depo hareket sayılarının çıkartılması	1
4	Ürün-Malzeme minimum-ortalama-maksimum stok seviyesinin belirlenmesi	3
5	Ürün-Malzeme birim hacimlerinin çıkartılması	1
6	Her ürün/malzeme için taşıma, depolama yönteminin tanımlanması	1
7	Özel ürün depolama kısıtlarının çıkartılması	6
8	Ürün/Malzeme depolama ve çekme için ihtiyaç duyulabilecek hacmin belirlenmesi	7
9	Depolanacak her ürün için ihtiyaç duyulan ortalama alan ve hacmin belirlenmesi	8
10	Depo içi servis sistemlerinin, genel ihtiyaç alanlarının hesaplanması	-
11	Taşıma ve depolama sistemi içerisindeki ürün/malzeme önceliklerinin belirlenmesi	7
12	Ürün malzeme ilişki şemasının çıkartılması	7
13	Her ürün/malzeme için alternatif grupların oluşturulması	11,12
14	Ürün grupları için hacim hesaplarının çıkartılması	13
15	Depoda yer alacak destek birimlerin (depo dışındaki) alanlarının hesaplanması	-
16	Alternatif beş farklı ürün/malzeme yerleşim modelinin oluşturulması	10,14,15
17	Oluşturulan modeller için taşıma sistemi gereksinimlerinin belirlenmesi	16
18	Oluşturulan modeller için taşıma ve depolama sistemi alan ve hacim gereksinimlerinin (yollar, yükleme, boşaltma alanları, manevra alanları, ara stok alanları) çıkartılması	17
19	Tüm alternatif modeller için depo servis, destek ve yönetim birimlerinin yerleşim planında tanımlanması	18

20	Alternatif modeller için insan kaynaklarının belirlenmesi	17
21	Modellerin blok planının çıkartılması	19
22	Herbir modelin depolama ve taşıma kapasite hesaplarının yapılması	20,21
23	Herbir modelin aylık ortalama taşıma ve depolama maliyetlerinin çıkartılması	22
24	Herbir modelin kullanılan ve kullanılabilir hacimlerinin çıkartılması	20,21
25	Herbir model için işçi sağlığı ve güvenliği açısından risk bölgelerinin çıkartılması	20,21
26	Modellerin risk puanlarının belirlenmesi	25
27	Modellerin detay yerleşim planlarının çıkartılması	23,24,25
28	Tüm modellerin değerlendirilerek en uygun yerleşim modelinin seçilmesi	27
29	Seçilen yerleşim modelinin detaylandırılarak yerleşimin teknik çizimi ve raporunun hazırlanması	28
30	Depo yerleşim raporunun üst yönetime sunulması	29

Projeyi oluşturan faaliyetlerin büyük bölümünün süresi kesindir. Bununla birlikte bazı faaliyetlerin süreleri belirsizdir. Belirsiz olan faaliyetlerin olası süreleri sorgulanmış ve bunlar uygun olasılık dağılım modelleri ile tanımlanmıştır. Proje kaynakları projeyi yürüten çalışanlardan oluşmaktadır. Buna göre projede, proje mühendisleri, üretim mühendisleri, depo sorumluları, veri analistleri ve bir çizim&raporlama elemanı bulunmaktadır (işgücü kaynaklarına ait kısaltmalar; PM, ÜD, DS, VA, ÇE). Bu çalışanlardan proje sorumlularının toplam sayısı 6 kişi olmakla beraber bazı günler proje mühendisleri diğer projelerden çağrılabilmekte, acil toplantılar nedeni ile sayıları azalabilmektedir. Ayrıca yine bazı günler diğer projede çalışan proje mühendislerinin de bu ekibe destek verdiği bilinmektedir. Bunun dışında veri analistlerinin sayısı da değişebilmektedir. Buna göre veri analistleri için günlük çalışan sayısı 2,3 ya da 4 kişi olmaktadır. Veri analistlerinin, günlük 2,3 ya da 4 kişi çalışma olasılıklarının ise bir birine çok yakın olduğu bilinmektedir. Projede diğer çalışanların sayıları ise proje süresince sabittir. Kaynaklardaki değişim izlendiğinde proje mühendislerinin günlük bulunma sayısının, ortalaması 6 standart sapması 1 olan normal dağılıma, veri analistleri sayılarının ise 2 ve 4 arasında düzgün dağılıma uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 4.15’de proje faaliyetlerinin süre bilgileri, faaliyetlerin kullandıkları kaynaklar ve bunların miktarları verilmiştir. Bu tabloda, bir faaliyetin farklı kaynak kullanımı-süre ikili ilişkisi (alternatif gerçekleştirilme durumu) ayrı modlar ile gösterilmiştir. Tablo 4.16’da ise projedeki kaynaklara ait kısıtlar verilmiştir.

Tablo 4.15 Dördüncü örnek proje süre ve kaynak bilgileri

Faaliyet	Faaliyetin Süre Durumu	Faaliyet Süresi (Gün)	PM belirsiz (6,1)	ÜM (2)	DS (2)	VA belirsiz (2-4)	ÇE (1)
1	Deterministik	5	2	1	1	1	-
2	Deterministik	3	1	-	-	2	-
3	Stokastik (Düzensiz Dağılım)	(5-7)	3	-	1	2	-
4	Deterministik	5	2	1	1	2	-
5	Deterministik	8	2	1	2	2	1
5 (mod 2)	Deterministik	7*	3	2	2	2	1
6	Stokastik (Normal Dağılım)	(6,1)	2	2	1	-	-
7	Deterministik	3	3	1	1	1	-
8	Deterministik	3	3	2	2	2	-
9	Deterministik	4	2	1	2	2	1
10	Stokastik (Düzensiz Dağılım)	(4-6)	3	2	1	2	1
11	Deterministik	2	2	2	1	-	-
12	Deterministik	1	2	1	1	2	-
13	Deterministik	1	2	1	1	2	-
14	Stokastik (Üstel Dağılım)	3	2	-	1	2	1
15	Deterministik	2	1	1	-	-	1
16	Deterministik	3	3	1	1	1	-

17	Stokastik (Normal Dağılım)	(7,1)	3	1	1	2	-
18	Deterministik	2	3	1	-	2	1
18 (mod 2)	Deterministik	3*	2	2	-	1	1
19	Deterministik	1	2	1	-	-	1
20	Deterministik	1	2	-	-	-	-
21	Deterministik	2	2	1	-	-	1
22	Deterministik	1	2	-	-	-	-
23	Deterministik	1	2	-	-	-	-
24	Deterministik	1	2	-	1	-	1
25	Deterministik	1	1	1	-	-	-
26	Deterministik	1	1	-	-	-	-
27	Deterministik	2	2	1	-	-	1
28	Deterministik	2	3	1	1	2	-
29	Stokastik (Düzgün Dağılım)	(2-4)	2	1	1	-	1
29 (mod 2)	Stokastik (Düzgün Dağılım)	(1-3)*	3	2	1	-	1
30	Deterministik	1	3	1	1	1	1

Tablo 4.16 Dördüncü örnek projeye ait kaynak kısıtları

Kaynak Adı	Kaynak		
	Bulunabilirlik	Uygun Dağılım	Günlük Kaynak Kısıtı
	Yapısı		
Proje Mühendisi (PM)	Stokastik	Normal Dağılım	(6,1)
Üretim Mühendisi (ÜM)	Deterministik	2	2
Depo Sorumlusu (DS)	Deterministik	2	2
Veri Analisti (VA)	Stokastik	Düzgün Dağılım	(2-4)

Çizim&Raporlama Elemanı (ÇE)	Deterministik	2	1
------------------------------	---------------	---	---

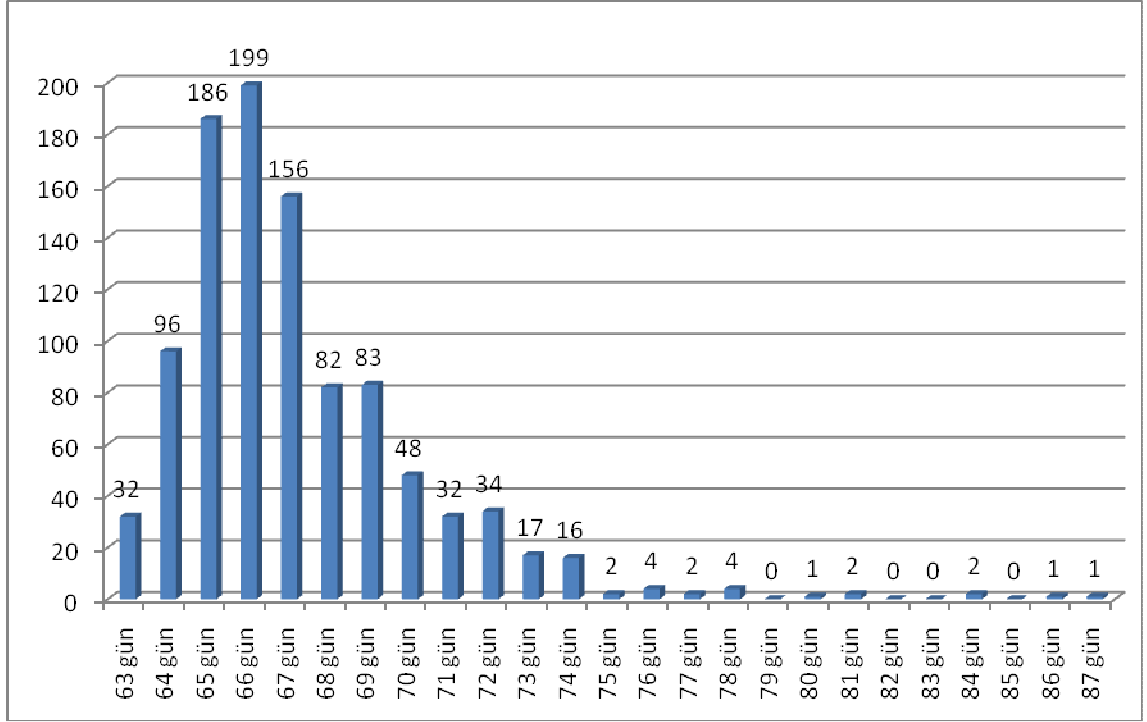
#### 4.1.4.2. Proje Çizelgeleme Çözümü

Bu örnek yardımıyla, gerçek bir proje örneği üzerinde model sınanmıştır. Proje faaliyetlerine ait süreler ile kaynak bulunabilirliklerindeki belirsizliklerin, ayrıca faaliyetlerin farklı modlarda gerçekleşebilme durumlarının dikkate alınması ile alternatif proje çizelge çözümleri üretilmiştir. Proje elemanlarına ait belirsizliklerin proje üzerindeki etkisi incelenmiştir. Her bir simülasyonda, belirsiz faaliyet ve kaynakların dağılımlarına uygun değerler üretilmiş, ayrıca simülasyon içerisindeki sezgisel algoritma çalıştırılarak iyi alternatif çizelgelerin üretilmesi sağlanmıştır. Simülasyon neticesinde proje tamamlanma süresinin 63 günden 82 güne kadar değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Elde edilen değerler aşağıda Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17 Dördüncü örnek proje çizelge çözümleri

Simülasyon Çalıştırılma Sayısı	En Kısa Süreli Çizelge Çözümü	En Uzun Süreli Çizelge Çözümü	En Sık Rastlanan Çizelge Süresi	Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Çözümleri Ortalama Süresi
1000	63	87	66	67,15

Elde edilen çizelge sürelerinin dağılımları ise Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Dördüncü proje örneği çizelge çözümleri dağılımı

Dördüncü proje örneğinde, proje tamamlanma süreleri incelendiğinde projenin en geç tamamlanma zamanına göre elde edilen bazı olasılıklar ise şunlardır.

Tablo 4.18 Dördüncü örnek proje tamamlanma süresi olasılıkları

Projenin En Geç 70. Gün (70. Gün ve Öncesinde) Tamamlanma Olasılığı	Projenin En Geç 80. Gün (80. Gün ve Öncesinde) Tamamlanma Olasılığı	Projenin %50 Olasılıkla Yaklaşık En Geç Tamamlanma Günü	Projenin %99 Olasılıkla Yaklaşık En Geç Tamamlanma Günü
% 88,2	% 99,4	67. Gün	77. Gün

## 4.2. İKİNCİ GRUP TEST PROJE ÖRNEKLERİ

### 4.2.1. Proje Bilgileri

İkinci grup test projeleri farklı karmaşıya sahip toplam 30 projeden oluşmaktadır. Simülasyon tabanlı çizelgeleme başarısının, MS Project 2007 çizelgeleme yeteneğiyle karşılaştırılmasında kullanılan tüm proje örnekleri, deterministik faaliyet sürelerine ve



kaynak bulunabilirliklerine sahiptir. Otuzar faaliyetten oluşan son beş proje örneği, Proje Çizelgeleme Problemleri Kütüphanesinden ( PSPLIB - Project Scheduling Problem Library) alınmıştır. PSPLIB farklı çizelgeleme problemlerinin yer aldığı, problem çözümlerinin, çözümlerini paylaştığı bir web alanıdır (129.187.106.231/psplib, bkz. Kolisch ve Sprecher, 1996). Örnek projeler karmaşıklık sırasına göre sıralanmış, faaliyet sayılarına göre bir gruplama yapılmıştır. Buna göre 6, 10, 12, 15 ve 30 adet faaliyetten oluşan projelere ait bilgiler Tablo 4,19’da verilmiştir.

Tablo 4.19 İkinci grup test projeleri genel özellikleri

Test Projesi	Projedeki Faaliyet Sayısı	Yenilenebilir Kaynak Sayısı	Kaynak Kısıtsız Proje Süresi (gün)
1	6	1	18
2	6	1	15
3	6	1	17
4	6	1	20
5	6	1	19
6	10	1	26
7	10	1	34
8	10	1	19
9	10	1	24
10	10	1	18
11	12	1	23
12	12	2	22
13	12	1	22
14	12	1	24
15	12	2	23
16	15	2	38

17	15	2	28
18	15	2	21
19	15	2	26
20	15	2	20
21	20	4	46
22	20	4	33
23	20	4	28
24	20	4	31
25	20	4	25
26	30	4	37
27	30	4	37
28	30	4	40
29	30	4	41
30	30	4	50

Yukarıda faaliyet ve kaynak sayısı bilgileri olan ikinci grup test projelerine ait faaliyetlerin süreleri, kaynak kullanım miktarları, kaynak kısıtları ve öncelik ilişkilerine ait bilgiler Ek-4’te verilmiştir.

#### **4.2.2. Proje Çizelgeleme Çözümleri**

Simülasyon tabanlı proje çizelgeleme modelinin çizelgeleme kabiliyetinin sınıandığı otuz projenin çizelgeleme çözümleri ile MS Project 2007 yazılımının gerçekleştirdiği çözümler karşılaştırılmıştır. Elde edilen çizelge çözümleri proje tamamlanma sürelerine ait sonuçlar ve bunların MS Project 2007 çözümleri ile karşılaştırılması Tablo 4.20’de gösterilmiştir.

Tablo 4.20 İkinci grup test proje çözümlerinin karşılaştırılması

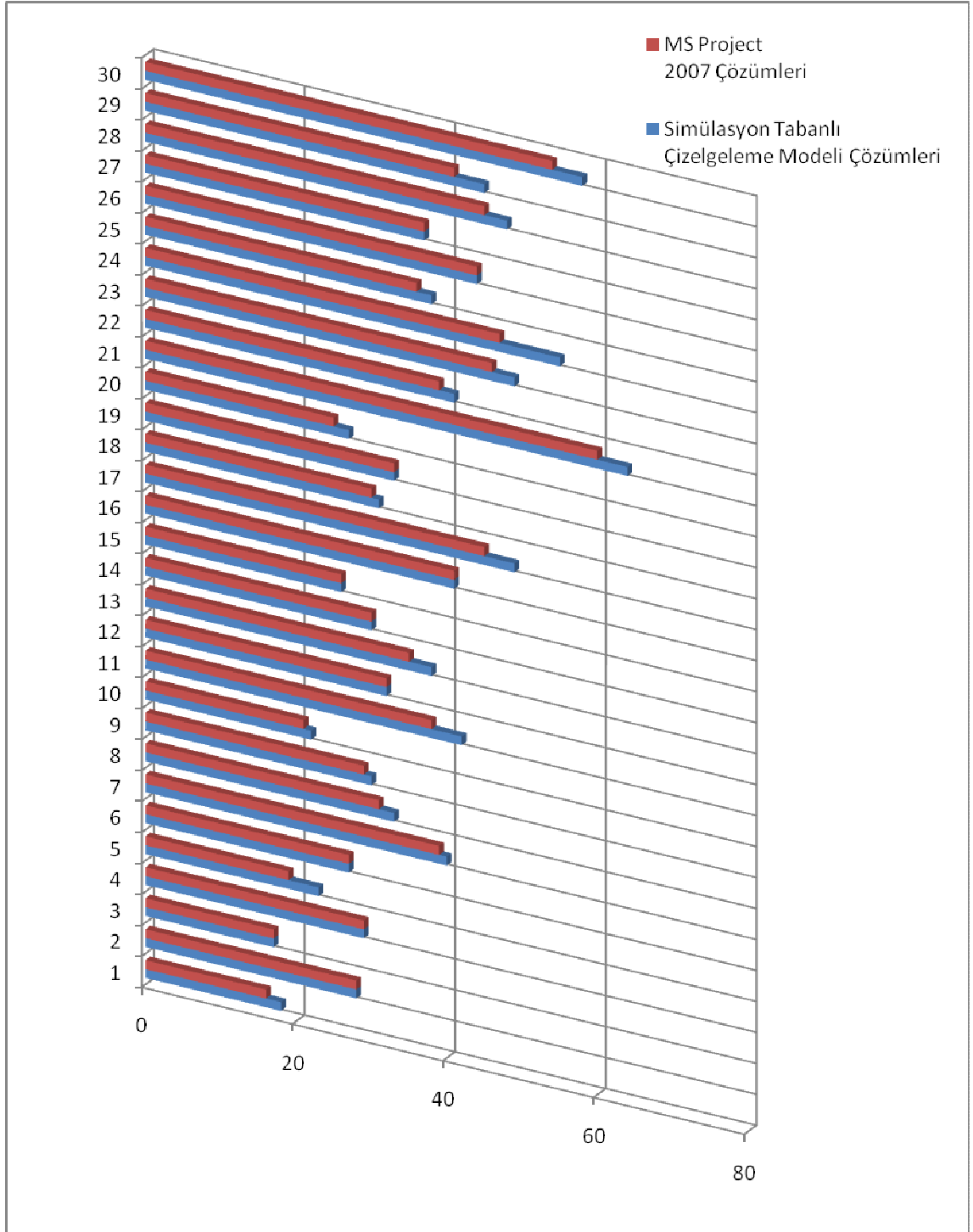
Test Projesi	Projedeki Faaliyet Sayısı	Yenilenebilir Kaynak Sayısı	Kaynak Kısıtsız Proje Süresi (gün)	MS Project 2007 En Kısa Süreli Çizelge Çözümü (gün)	Sim. Tabanlı Çizelgeleme En Kısa Süreli Çizelge Çözümü (gün)
1	6	1	18	18	16
2	6	1	15	28	28
3	6	1	17	17	17
4	6	1	20	29	29
5	6	1	19	23	19
6	10	1	26	27	27
7	10	1	34	40	39
8	10	1	19	33	31
9	10	1	24	30	29
10	10	1	18	22	21
11	12	1	23	42	38
12	12	2	22	32	32
13	12	1	22	38	35
14	12	1	24	30	30
15	12	2	23	26	26
16	15	2	38	41	41
17	15	2	28	49	45
18	15	2	21	31	30
19	15	2	26	33	33
20	15	2	20	27	25
21	20	4	46	64	60

---

22	20	4	33	41	39
23	20	4	28	49	46
24	20	4	31	55	47
25	20	4	25	38	36
26	30	4	37	44	44
27	30	4	37	37	37
28	30	4	40	48	45
29	30	4	41	45	41
30	30	4	50	58	54

---

Toplamda otuz problem için üretilen en kısa süreli çizelgelerdeki, proje tamamlanma süreleri Şekil 4.10'da görülebilmektedir.



Şekil 4.10 İkinci grup test projeleri çizelgeleme çözümleri karşılaştırılması

İncelenen 30 örneğin 18'inde Simülasyon Tabanlı Modelin daha iyi sonuç verdiği, kalan 12 örnekte ise MS Project yazılımı ile aynı tamamlanma süresine sahip çizelgeler ürettiği görülmektedir. Çözümler arasında anlamlı bir fark olup olmadığı bir sonraki bölümde incelenmiştir.

### 4.2.3. T Testi İle Çizelgeleme Çözümlerinin Karşılaştırılması

Çalışmada elde edilen tüm çizelgeleme sonuçları arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı T testi ile analiz edilmiştir. Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli ve MS Project 2007 yazılımı çizelgeleme sonuçlarının karşılaştırılmasında, hipotez testi olarak tek-yönlü eşlendirilmiş t-testi seçilmiştir. Eşlendirilmiş t-testinin kullanılmasının nedeni, test problemlerinin her birinin teker teker ele alınması, diğer bir ifadeyle ele alınan her test probleminin aynı olmasıdır. Tek yönlü T testi, karşılaştırılan yöntemlerden birinin diğerine göre daha iyi, ya da kötü olduğunu belirlemektedir. Kullanılan t istatistiği formülasyonu şöyledir (Devore, 2000).

$$s_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

$$\bar{s}_D = s_D / \sqrt{n} \quad (4.2)$$

$$t = \frac{\bar{d}}{\bar{s}_D} \quad (4.3)$$

Kullanılan işaret ve sembollerin anlamları ise şunlardır;

- $n$  : örnek sayısı,
- $\alpha$  : anlamlılık düzeyi,
- $d_i$  : i. örnekte karşılaştırılan iki yöntemden elde edilen değerlerin farkı,
- $\bar{d}$  : farkların ortalaması,
- $s_D$  : farkların standart sapması,
- $\bar{s}_D$  : farkların standart hatası,
- $t$  : test istatistiği ( $\infty$  hatası).

Buna göre,  $H_0$  hipotezi, Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli çözümlerinin MS Project 2007 yazılımına göre anlamlı bir farklılığa sahip olduğunu ifade etmektedir. Bu

hipotezin geçerliliğini sınamak için SPSS 15.0 yazılımında eşlendirilmiş t-testi analizi gerçekleştirilmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir.

$\alpha = \%5$  için test sonuçları, Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.21  $\alpha = \%5$  anlamlılık düzeyinde t testi değerleri

	Eşleştirilmiş Farklılıklar					t değeri	df	Sigma değeri
	Ortalamalar Arasındaki Fark	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	95% Güven Aralığında				
				Üst	Alt			
MS Project 2007 - Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli	1,833	1,949	0,356	1,106	2,561	5,152	29	0,000

$\alpha = \%1$  için ise, Tablo 4.22’de gösterilen değerler elde edilmiştir.

Tablo 4.22  $\alpha = \%1$  anlamlılık düzeyinde t testi değerleri

	Eşleştirilmiş Farklılıklar					t değeri	df	Sigma değeri
	Ortalamalar Arasındaki Fark	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	99% Güven Aralığında				
				Üst	Alt			
MS Project 2007 - Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli	1,833	1,949	0,356	0,852	2,814	5,152	29	0,000

T testi sonuçlarının yorumlanmasında iki değere dikkat edilmektedir. Buna göre güven aralığı içerisinde alt ve üst sınırlar arasında sıfır değerinin olmaması ile Sigma değerinin genel olarak 0,05’in altında bir değer alması durumunda, karşılaştırılması yapılan değişkenler arasında anlamlı bir farklılık olduğu söylenebilir. Aksi durumda örneklerin ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Yukarıdaki her iki test sonucunda da Sigma değerinin 0,05’in altında olduğu görülmektedir. Ayrıca güven aralıkları içindeki alt ve üst sınırlar arasında 0 değeri bulunmamaktadır. Bu nedenle Simülasyon Tabanlı Çizelgeleme Modeli çözümlerinin MS Project proje çözümlerine göre daha iyi olduğu görülmektedir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Proje planlama ve çizelgeleme konusunda ihtiyaçlara tam olarak cevap veren bir yaklaşımdan söz etmek mümkün değildir. Özellikle günümüzde karmaşık projelerde pek çok faaliyet, kaynak ve öncelik ilişkisi bulunmaktadır. Bununla birlikte bazı faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde birden çok alternatif mevcuttur. Gerçek hayatta projeleri oluşturan faaliyetlerin süresi, maliyeti ve faaliyet için kullanılan kaynaklar planlanan değerlerden farklılıklar gösterebilmektedir. Bu sebeple dinamik yapıya sahip projelerin, gerçeğe uygun, dinamik bir yapıda modellenmesine ihtiyaç olduğu açıktır. Bununla beraber bir projenin dinamik yapısı, klasik CPM, PERT gibi şebeke diyagramları ile temsil edilememekte, modellenememektedir. Şebekelerin modelleme konusundaki yetersizliklerinin yanında, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme yapamıyor olmaları da önemli bir eksikliktir. Kaynak kısıtlı çizelgeleme problemini çözebilen pek çok matematiksel ve sezgisel yöntem ise, projeleri birçok kabul ile ele almakta ve aslında üretilen çözümler, gerçek proje çizelgeleme çözümünü temsil etmeyen çözümler olmaktadır. Stokastik modelleme yaklaşımlarında ise, modelleme oldukça karmaşık ve zor bir uğraş gerektirmektedir. Bunun yanında stokastik modeller ile karmaşık projelerin planlama ve çizelgeleme faaliyetleri gerçekleştirilememektedir. Özellikle gerçek boyutlu projelerin planlanması ve çizelgelenmesinde, stokastik matematiksel modeller ya da sezgiseller yetersiz kalmaktadır.

Simülasyon gerçek hayattaki sistemlerin en iyi şekilde modellenmesi ve izlenmesi için en etkili yöntemlerden biridir. Fakat simülasyon bir çözüm aracı değildir. Bu nedenle, projelerin benzetimini gerçekleştirerek, en uygun çözüm, ya da iyiye yakın çözümler üretmek söz konusu olamaz. Simülasyon ile farklı alternatif çizelgeler çalıştırılıp, performans kriterleri izlenebilir. Simülasyon modeli, farklı alternatif senaryolar ile çalıştırılarak sistem davranışları gözlenebilir. Proje çizelgelemede, simülasyon neticesinde milyarlarca farklı çözümün değerlendirilmesi oldukça güçtür. Bu sebeple çalışmada simülasyon modeline, farklı iyi çizelge alternatifleri üretebilen, böylece çözüm uzayını sınırlayan bir sezgisel algortima entegre edilmiştir. Böylece alternatif iyi



izelgelerin sorgulanması ile en iyiye yakın çizelgelerin karşılaştırılması da sağlanmış olmaktadır.

Gerçek dünyada, her proje, kendine özgü kısıt ve amaçlara sahiptir. Bu nedenle simülasyon ile her bir proje için farklı bir model oluşturulması oldukça uzun ve maliyetli bir yaklaşım olacaktır. Bu nedenle önerilen proje planlama ve çizelgeleme yaklaşımında tüm projeleri modelleyebilecek bir yöntem ortaya konulmuştur. Bu Şekilde farklı projeler için çok sayıda alternatif iyi çizelgenin oluşturulması ve değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu nedenle çok spesifik proje özellikleri dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, kabul edilen varsayımlar, genel proje davranışlarını göz ardı etmeyecek Şekilde oluşturulmuştur. Simülasyon modeliyle faaliyet süreleri ve kaynakların bulunabilirlik kısıtına ait stokastik yapıların ve çok modlu faaliyet gerçekleştirilmesi durumunun dikkate alınması sağlanmıştır.

### **5.1. ÇALIşMANIN DEğERLENDİRİLMESİ**

Ortaya konan simülasyon tabanlı proje çizelgeleme yaklaşımı ile aşağıdaki hedeflerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

- Ortaya konulan model ile projelerdeki kaynak kısıtlarının, süre ve faaliyetlere ait stokastik yapıların ve faaliyetlerin farklı gerçekleştirilebilme durumlarının dikkate alınarak, projelerin planlanması ve izelgenmesi,
- Oluşturulan alternatif çizelgelerde kaynak kullanımı ve srelere ait raporlamalar ile duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebilmesi,
- Mevcut kısıtlar ve kabuller altında, proje süresini en azlayan alternatif iyi çizelgelerin oluşturulabilmesi.

Yukarıda verilen amaçlar, çalışmanın bulgular bölümünde yer alan proje örnekleri dikkate alınarak Şu Şekilde değerlendirilebilir;

Buna göre ilk amaç olan, simülasyon tabanlı proje planlama ve çizelgeleme modeli ile projelerin gerçeğe yakın Şekilde modellenenebildiği görülmektedir. Birinci grup test problemleri farklı özelliklere sahip olan projelerden oluşmaktadır. Simülasyon tabanlı

çizelgeleme modeli ile tüm bu farklılıklar modelde gösterilmiş ve çizelge çözümleri üretilmiştir. Bu örneklerde faaliyet sürelerine ait stokastik yapı, olasılık dağılımları yardımıyla hızlı ve gerçekçi şekilde tanımlanmıştır. Aynı şekilde kaynak bulunabilirliklerinin belirsiz olması durumu da olasılık dağılımları yardımıyla kolay bir şekilde problemde gösterilmiştir. Bulgular bölümünde birinci grup test projeleri üzerindeki çalışmalar göstermektedir ki, simülasyon, proje elemanlarına ait belirsizlikleri tanımlamada oldukça kolay ve güvenilir bir seçenek sunmaktadır.

Gerçek hayattaki projelerde, bazı kaynaklara ait kaynak kısıtlarının değişken olabildiği proje yöneticileri tarafından bilinen bir gerçektir. Özellikle bazı işgücü kaynaklarının yoğun çalışılan dönem ya da mevsimlerde, günlük olarak değiştiği, ya da eşzamanlı farklı projelerde de görev alan çalışanların, ilgili projede günlük bulunabilirlik kısıtının değişebildiği bilinmektedir. Bunun yanında birçok kaynak için bulunabilirlik kısıtı standarttır. Önerilen simülasyon tabanlı proje planlama ve çizelgeleme metodolojisinde kaynakların bulunabilirliği, deterministik ve stokastik olarak değerlendirilmiştir. Buna göre bulunabilirlik durumu sabit olan kaynaklar için günlük sabit bir kısıt tanımlanırken, bulunabilirlik durumu değişken olan kaynaklarda stokastik bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Burada değişkenlik, kaynak tipine ve özel koşullara göre farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple her bir kaynak tipinin bulunabilirlik durumunun, hangi istatistiksel olasılık dağılımı ile ifade edilebileceği belirlenmelidir. Bu kapsamda yapılan çalışmada, birinci grup test problemlerinde kaynakların bulunabilirlik durumunun genel olarak düzgün ve normal dağılıma uygun olduğu görülmüş ve kaynak kısıtı bu dağılımlar ile ifade edilmiştir. Projelerde kullanılan kaynakların farklı dağılımlara uygunluğu söz konusu ise (üstsel dağılım, poisson dağılımı vb.) simülasyon modelinde bunlara uygun olasılık dağılımları kullanılabilir.

Önerilen simülasyon tabanlı proje çizelgeleme modeli ile kaynaklarda oluşu gibi faaliyet sürelerinde de uygun olasılık dağılımlarından yararlanılmıştır. Bu kapsamda çalışmada, birinci grup test problemlerinden sonuncusunda, proje faaliyetleri teker teker ele alınarak, her bir proje faaliyetine ait süre yapısı belirlenmiştir. Çalışmada bazı proje faaliyetlerine ait sürelerin, değişkenlik gösterebildiği ve bunların stokastik yapıları dikkate alınarak modellenmesinin doğru olacağı düşünülmüştür. Ayrıca, kaynak bulunabilirlik yapılarında olduğu gibi, faaliyet sürelerinin değişkenliklerinin de farklılık

göstermesi sebebi ile çalışmada farklı istatistiksel olasılık dağılımları kullanılmıştır. Birinci grup test problemlerinde normal dağılım, üstel dağılım ve düzgün dağılım kullanılan olasılık dağılımlarındandır. Bununla birlikte belirsiz bir faaliyetlerin, faaliyet sürelerine kesin değerler verilerek farklı senaryolar ile proje davranışları izlenebilmekte, böylece proje gidişatı konusunda alternatif seçenekler de izlenebilmektedir.

Projelerin gerçeğe uygun modellenmesi konusunda, kaynak kısıtları ile kaynak ve süreler ait stokastik yapıların modele dahil edilmesinin dışında diğer önemli bir konu çok modlu modellenmenin gerçekleştirilebilmesidir. Projelerde kaynakların bulunabilirlikleri değişebildiği için, proje yöneticileri bazı faaliyetleri çok modlu tanımlamaktadırlar. Buna göre genellikle ilk tanımlanan durum, proje yöneticisinin istediği durumdur. İkinci tanımlanan durum, alternatif ikinci gerçekleştirilme durumu, üçüncü ise ilk iki durumun yapılamadığı zamanlarda başvurulacak olan gerçekleştirilme tanımıdır. Yapılan çalışmada birinci grup test problemlerinin en sonuncusu olan depo yerleşim projesinde çok modlu faaliyetler problemde tanımlanmıştır. Modelde çizelgeleme aşamasında algoritma öncelikle birinci modun yapılabilişliğini kontrol etmektedir. Eğer bu durum söz konusu değilse, sırasıyla diğer modların mevcut kaynaklar ile uygulanabilirliği araştırılmaktadır. Bu şekilde kaynak kullanım oranlarının arttırılabilmesi söz konusu olabilmektedir.

Yalın üretim felsefesinde kaynakların boş beklemesi büyük bir israf olarak kabul edilmektedir. Bu sebeple özellikle çok modlu projelerde kaynak kullanım oranları sorgulanarak alternatif çizelgelerin değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Ayrıca simülasyonun çok sayıda çalıştırılması ile en kısa süreli proje, en uzun süreli proje, ortalama proje süresi, faaliyetlerin ortalama gerçekleşme süreleri gibi pek çok farklı raporun çıkartılması ve projelerin değerlendirilmesi gerçekleştirilebilmektedir.

Çalışmada ortaya konulan ikinci amaç; oluşturulan alternatif çizelgelerde kaynak kullanımını ve süreler ait raporlamalar ile duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilebilmesidir. Bulgular bölümünde incelenen birinci grup test projelerine ait farklı raporlardan da görülebileceği gibi, proje riskini ortaya koyan raporlar son derece önemlidir. Bulgular bölümünde birinci grup test projeleri ile projelerin tamamlanma süreleri ve kaynak kullanım oranları ile ilgili raporlar sunulmuştur. Bir proje

yöneticisinin, belirsizlik altında böyle raporlar ile doğru kararlar üretebilmesi son derece önemlidir. Modelde proje raporlarının dışında, üretilen senaryolar ile de risk incelenebilmekte ve farklı senaryo raporları alınabilmektedir. Proje senaryolarında farklı proje elemanlarına ait bilgilerin değiştirilmesi ve bunların proje üzerindeki etkileri incelenebilmektedir. Buna göre bir projede, faaliyetlerin süreleri değiştirilebilmekte, belirsiz süreli faaliyetlere kesin değerler atanabilmekte, kaynak kullanım kısıtları kaldırılabilenmekte, değiştirilebilmektedir. Senaryolar gereği faaliyetlerin öncelik ilişkileri değiştirilebileceği gibi, farklı modlar da tanımlanabilmektedir. Bunun dışında belirsiz faaliyet süreleri ve değişken kaynak kullanımlarına ait istatistiki dağılımlar değiştirilebilmekte, sınırları daraltılıp genişletilebilmekte ve bunun neticesinde proje davranışları izlenebilmektedir. Yapılan çalışmada birinci grup test projelerinde ikinci örnekte belirsiz süreli faaliyetlere kesin değerler verilmiş ve çözümler tartışılmıştır. Üçüncü proje örneğinde ise iki farklı senaryo incelenmiştir. Buna göre birinci senaryoda iki kaynağa ait kısıtlar değiştirilmiştir. İkinci senaryoda ise en iyi ve en kötü durum senaryoları analiz edilmiştir. Bu analizler neticesinde elde edilen raporlar proje yöneticilerinin doğru kararlar vermesine büyük bir katkı sağlamaktadır.

Çalışmadan beklenen diğer bir amaç ise alternatif iyi çizelgelerin oluşturulabilmesidir. Daha önceden ifade edildiği gibi simülasyon modeli kaynak kısıtlarının, çok modlu yapının ve kaynak süre değişkenliklerinin modellenemediği projelerin çizelgelenmesidir. Bu nedenle çizelge kabiliyeti sınırlanırken, modelin başarısının karşılaştırılacağı yöntem, özel problemler için çözüm üreten sezgisel ve matematiksel modeller olamaz. Bu nedenle proje yönetiminde dünyadaki en yaygın kullanıma sahip olan MS Project 2007 yazılımı karşılaştırma seçeneği olarak sunulmuştur. 30 farklı proje için yapılan karşılaştırmada, 18 projede modelin daha kısa süreli çizelgeler ürettiği görülmüştür. 12 projede ise Simülasyon Modeli ve MS Project Yazılımı aynı sonuçları bulmuşlardır. Bu da modelin çizelgeleme kabiliyetinin yeterli ölçüde olduğunu ve bu konuda da istenilen amacın gerçekleştirildiğini göstermektedir.

## 5.2. GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMA ÖNERİLERİ

Çalışmada önerilen simülasyon tabanlı proje çizelgeleme ile alternatif bir proje planlama ve çizelge yaklaşımı önerilmiş, proje temsil kabiliyetinin yüksek olduğu bir model üzerinde çalışılmıştır. Bununla birlikte projelerin pek çok spesifik kısıt ve özel durumları bulunabilmektedir. Çalışmada bu özel durumların bir bölümü dikkate alınmamıştır. Buna göre faaliyetlerin bölünememesi, faaliyetlerin belirli bir maliyete katlanılarak yarım bırakılması, SS, SF, FF öncelik ilişkileri gibi durumlar modele dahil edilmemiştir. Bunların model dışında tutulmasının nedeni, model karmaşıksının artırılmasını engellemektir. Bu çalışmadan sonra faaliyet özel kısıtlarının ve özel öncelik ilişkilerinin de dikkate alınması ile var olan modelin geliştirilmesi için bir çalışma gerçekleştirilebilir. Kapsamlı bir yazılım ekibiyle gerçekleştirilebilecek bu çalışma ile simülasyon tabanlı planlamanın etkinliğinin daha detaylı olarak araştırılabilmesi mümkün olabilecektir. Bunun dışında modelde süreler ve kaynaklara ait değişkenlik farklı istatistiksel dağılımlar kullanılarak gösterilmiştir. Bundan sonra yapılabilecek çalışmalarda bu faaliyet süreleri, kaynak bulunabilirlikleri için bulanık mantık ya da yapay sinir ağlarından yararlanılabilir. Bu şekilde, geçmişe ait süre ile kaynak bulunabilirlik girdi verileri yardımı ile tahmini çıktı değerleri üretilebilir.

Simülasyon modeline entegre edilen sezgisel algoritma çözüm uzayını daraltarak çok fazla sayıda olan alternatif çözüm içinde, en iyi çözümü aramak yerine, en iyi çözümün bulunma ihtimalinin yüksek olduğu çözüm uzayı içerisinde arama yapmaktadır. Bu arama içerisinde, sezgisel kuralların atamayı serbest bıraktığı durumlarda simülasyon devreye girerek rastgele bir atama gerçekleştirmekte ve bir sonraki adımda tüm proje güncellenmektedir. Böylece simülasyonun her çalışmasında farklı bir iyi çizelge çözümü elde edilmektedir. Bundan sonra yapılabilecek çalışmalarda, modele entegre edilecek farklı sezgisel kuralların karşılaştırılması yapılabilir. Bunun dışında kurallarda yapılacak değişikliklerin çözüm üzerindeki etkileri analiz edilerek, hangi kuralların, iyi çözümlere ulaşmada daha etkili olduğu incelenebilir.

Günümüzde proje yönetiminde en popüler konular, proje çizelgeleme, kazanılmış değer yöntemi, zaman maliyet ödünleşim problemi ve proje risk yönetimidir. Tüm bu konular için farklı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Simülasyon tabanlı model, maliyet ve kalite

unsurlarını da içermesi ile proje çizelgelemede olduğu gibi zaman maliyet ödünleşim problemlerinde, risk yönetiminde ve kazanılmış değer çalışmalarında da kullanılabilir. Özellikle zaman maliyet ödünleşim problemleri de çözülmesi çok zor (NP-hard) problemler olduğu için, simülasyon tabanlı benzer bir model, bu çalışmalara farklı bir boyut kazandıracaktır.

## KAYNAKLAR

BADIRU, A.B., 1991, A simulation approach to PERT network analysis, *Simulation*, 57, 245–55.

BANKS, J., CARSON, J.S., NELSON, B.L., 1996, *Discrete-Event System Simulation*, second ed., Prentice-Hall, New Jersey, 0-13-218231-9.

BIANCO, L., DELL'OLMO, P., SPERANZA, M.G., 1998, Heuristics for Multimode Scheduling Problems with Dedicated Resources, *European Journal of Operational Research*, Vol. 107, 260-271

BOCTOR, F.F., 1990, Some Efficient Multi-Heuristic Procedures for Resource-Constrained Project Scheduling, *European Journal of Operational Research*, Vol. 49, 3-13

BRUCKER, P., DREXL, A., MHRING, R., NEUMANN, K., PESCH, E., 1999, Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods, *European Journal of Operational Research*, 112, 3-41.

CARR, R.I., 1979, Simulation of Construction Project Duration, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 105(4), 117–28.

DEMEULEMEESTER, E.L., HERROELEN, W.S., 1992, A branch and bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem, *Management Science*, 38, 1803-1818.

DEVORE, J. L., 2000, *Probability and Statistics for Engineering and The Sciences*, Duxbury Thomson Learning.

DE REYCK, B., HERROELEN, W., 1999, The multi-mode resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations. *European Journal of Operational Research*, 119, 538–56.

DORNORF, U., PESCH, E., 1995, Evolution based learning in a job shop scheduling environment, *Computers and Operations Research*, 2, 25-40.

ELMAGHRABY, S.E., 1995, A Guided Tour Through Some Recent Developments. *European Journal of Operational Research*, Vol: 82, 383-408.

GLOVER, F., 1989, Tabu search Part I-II, *ORSA Journal on Computing*, 1, 190-206.

GORDON, G., 1978, *Systems Simulation, The Art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

HAPLIN, D.W., RIGGS, L.S., 1992, *Planning and Analysis of Construction Operations*, Wiley, Newyork.

HARRIS, R.B., 1998, Scheduling Projects with Repeating Activities, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 124(4), 269–78.

HARTMANN, S., 1997, Project scheduling with multiple modes: A genetic algorithm, *Çalışma Raporu*, 435, Manuskripte aus den Institut für Betriebswirtschaftslehre der Universitaet Kiel, Almanyaa.

HARTMANN, S., 1998, A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling, *Naval Research Logistics*, 45, 733-750.

HARTMANN, S., DREXL, A. 1998, Project scheduling with multiple modes: A comparison of exact algorithms, *Networks*, 3, 283-297.

HARTMANN, S., 1999, *Project Scheduling Under Limited Resources: Models, Methods, and Applications*, Springer, Berlin, Germany.

HARTMANN, S., KOLISCH, R., 2000, Experimental evaluation of the state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 127,394-407.

HERRMANN, J.W., LEE, C.Y., HINCHMAN, J., 1995, Global job shop scheduling with a genetic algorithm, *Production and Operations Management*, 4, 30-45.

HERROELEN, W.S., P. VAN DOMMELEN, DEMEULEMEESTER, E.L., 1997, Project network models with discounted cash flows: A guided tour through recent developments, *European Journal of Operational Research*, 100, 97-121.

HERROELEN, W.S., DEMEULEMEESTER, E.L., DE REYCK, B., 1999, A classification scheme for project scheduling, 147-178.

HERROELEN, W.S., DEMEULEMEESTER, E.L., DE REYCK, B, 2001, A Note on the Paper ‘Resource-Constrained Project Scheduling: Notation, Classification, Models, and Methods’ by Brucker et. al., *European Journal of Operational Research*, Vol. 128, 679-688.

ICMELI-TUKEL, O., ROM, W.O., 1997, Ensuring quality in resource constrained project scheduling, *European Journal of Operational Research*, 103, 483-496.

KELLEY, J. E., WALKER, M.R., 1959, Critical Path Planning and Scheduling, *Eastern Joint Computing Conference*, Vol. 16, 160-172.



- KELLEY, J.E., 1961, Critical path planning and scheduling: Mathematical basis, *Operations Research*, 9, 296-320.
- KIRKPATRICK, S., GELATT, Jr., C.D., VECHHI, M.P., 1983, Optimization by simulated annealing, *Science*, 220, 671-680.
- KLEIN, R., 2000, Project Scheduling with time-varying resource constraints, *International Journal Production Research*, Vol 38 (16), 3937-3952, 2000.
- KOLISCH, R., 1995, Project Scheduling under Resource Constraints, *Physica-Verlag*, Heidelberg.
- KOLISCH, R., SPRECHER, A., 1996, PSPLIB-A project scheduling problem library, *European Journal of Operational Research*, Vol.96, No.1, pp. 205-216.
- KOLISCH, R.; PADMAN, R., 1997, An integrated survey of project scheduling, Manuskripte aus den Institut für Betriebswirtschaftslehre 463, Universitaet Kiel, Germany.
- KOLISCH, R., HARTMANN, S., 1999, Heuristic algorithms for the resource-constrained project scheduling problem, *Classification and computational analysis*.
- KOLISCH, R.; PADMAN, R., 2001, An Integrated Survey of Deterministic Project Scheduling. *Omega*, Vol: 29, 249-272.
- LAUFER, A., TUCKER, R. L., 1987, Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process, *Construction Management and Economics*, 5(3), 243-66
- LAW, A.M., KELTON, W.D., 1991, *Simulation Modelling and Analysis*, 2end ed., McGraw-Hill, Newyork.
- LEE, J.K., KIM, Y.D., 1996, Search heuristics for resource-constrained project scheduling, *Journal of the Operational Research Society*, 47, 678-689.
- LEWIS P.A.W., ORAV, E.J., 1989, Simulation Methodology for Statisticians, *Operations Analysts and Engineers*, Volume 1, Watsworth, Inc., California, 416 p.
- LU M. and ABOURIZK, S.M., 2000, Simpli. ed CPM/PERT Simulation Model, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 126(3), 219-26.
- MALCOLM, D.G., ROSEBOOM, J.H., CLARK, C.E., FAZAR, W., 1959, Applications of a technique for research and development program evaluation, *Operations Research*, 7, 646-669.
- MDM (Milli Produktivite Merkezi), 2005, Verimliliği Artırıcı Teknikler Dizisi, Proje Yönetimi, Sayı:15

MORI, M., TSENG, C.C., 1997, A genetic algorithm for multi-mode resource constrained Project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 100, 134-141.

NAYLOR, T.H. , BALINTFY, J.L., BURDICK, S., CHU, K., 1966, Computer Simulation Techniques, Wiley, Newyork.

ÖZDAMAR, L., ULUSOY, G., 1995, A survey on the resource-constrained project scheduling problem, *IIE Transactions*, 27, 574-586.

ÖZDAMAR, L., 1999, A genetic algorithm approach to a general category project scheduling problem, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 29, 1, pp.44-59.

PADILLA, E.M., ROBERT, I.C., 1991, Resource strategies for dynamic project management, *Journal of Construction Engineering and Management*, 111 (2), 279-93.

PARK, B.J., CHOI, H.R, KIM, H.S., 2003, A Hybrid Genetic Algorithm for the Job-Shop Scheduling Problems, *Computers and Industrial Engineering*, 32-574-6578

PATTERSON, J.H., HUBER, W.D., 1974, A horizon varying, zero-one approach to project scheduling, *Management Science*, 2, 990-998.

PATTERSON, J.H., ROTH, G.W., 1976, Scheduling a project under multiple resource constraints: a zero -one programming approach, *AIIE Transactions*, 8, 449-455.

PATTERSON, J.H., SLOWINSKI, R., TALBOT, F.B., WEGLARZ, J., 1989, An algorithm for a general class of precedence and resource constrained scheduling problem,. *AIIE Transactions*, 8, 449-455

PATTERSON, J.H., TALBOT, F.B., SLOWINSKI, R., WEGLARZ, J., 1990, Computational experience with a backtracking algorithm for solving a general class of precedence and resource constrained scheduling problems, *European Journal of Operational Research*, 49, 68-79.

PEGDEN , C.D., SHANNON, R.E., SADOWSKI, R.P., 1995, *Introduction to Simulation using SIMAN*, second ed., McGraw-Hill, Newyork.

PEER, S., 1974, Network analysis and construction planning and control, *Journal of Construction Division*, ASCE, 100(3), 203–10

PINEDO, M., 1995, *Scheduling Theory, Algorithms and Systems*, Prentice Hall, New Jersey, USA

PRITSKER, A.A.B., WATTERS, L.J., WOLFE, P.M. 1969, Multiproject scheduling with limited resources: a zero-one programming approach, *Management Science*, 16, 93-107.

RAY, M., RINZLER, A., 1993, *The New Paradigm in Business*, Tarcher/Perigee Books, New York.

SCHRAGE, L., 1970, Solving Resource Constrained Network Problems By Implicit Enumeration-Nonpreemptive Case, *Operations Research*, Vol.18, No.2, pp. 263-278.

SENIOR, L.S., 1995, Late-time computation for task chains using discrete event simulation, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 121(4), 397-403.

SENIOR, L.S. and HALPIN, D.W., 1998, Simplified simulation system for construction projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 124(1), 72-81.

SHANNON, R.E., 1975, *Systems Simulation*, 2nd ed., The Art and Science, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

SPRECHER, A., HARTMANN, S., DREXL, A., 1997, An exact algorithm for project scheduling with multiple modes, *OR Spektrum*, 1, 195-203.

SPRECHER, A., DREXL, A., 1998, Multi-mode resource-constrained project scheduling by a simple, general and powerful sequencing algorithm, *European Journal of Operational Research*, 107, 431-450.

SPRECHER, A., 1994, Resource-constrained Project Scheduling: Exact Methods for the Multi-mode Case, No. 409 in *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer Verlag, Berlin.

STINSON, J.P., DAVS, E.W., KHUMAWALA, B.M., 1978, Multiple resource-constrained scheduling using branch and bound, *AIIE Transactions*, 10, 252-259.

SUNG, C. S., LIM, S. K., 1997, A Scheduling Procedure for a General Class of Resource-Constrained Projects, *Computers Industrial Engineering*, Volume 32, No.1, 9-17.

TALBOT, F.B., PATTERSON, J.H., 1978, An efficient integer programming algorithm with network cuts for solving resource-constrained scheduling problems, *Management Science*, 24, 1163-1174.

TALBOT, F.B., 1982, Resource-constrained project scheduling with time-resource tradeoffs. The nonpreemptive case, *Management Science*, 28, 1197-1210.

TEKİR, GÖRKEM, 2005, *Proje Yönetimi: Kavramları Metodolojisi ve uygulamaları*, Çağlayan Kitabevi

TSAI, Y.W, and DOUGLES, D.G., 1998, Using tabu search to schedule activities of stochastic resource-constrained projects, *European Journal of Operational Research*, 111.129-41.

TURNER, J. R., 1993, *The Handbook of Project-based Management*, McGRAWHILL

Book Company Europe.

ULUSOY, G., 2002, Proje planlamada kaynak kısıtlı çizelgeleme, Yöneylem Araştırması, *ODTÜ Basım İşliği*, Ankara, 89-127.

VANHOUCHE, M., DEMEULEMEESTER, E., HERROELEN, W., 2000, An exact procedure for the resourceconstrained weighted earliness-tardiness project scheduling problem, *Annals of Operations Research*.

YU, CHIEN-CHIH, NOPPADON, NUNTASUKASAME, 2003, Buffer Management for Multi-Project Scheduling and Control in Critical Chain Project Management, National ChengChi University.

ZHANGH H., LI. H., 2004, Simulation Based Optimization for Dynamic Resource Allocation, *Automation in Construction*, 13, 409-240.

## EKLER

### EK 1- SİMÜLASYON TABANLI PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME MODELİ PROGRAM KODLARI

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.IO;
using Combinatorial;

namespace Yusuf
{
    class Activity
    {
        string name;
        List<Activity> preds;
        List<Activity> sucs;
        double duration;
        int loadedResource;
        bool isDummy;

        public Activity()
        {
            this.preds = new List<Activity>();
            this.sucs = new List<Activity>();
            this.duration = 0;
            this.isDummy = false;
        }

        public double Duration
        {
            get { return this.duration; }
            set
            {
                if (value <= 0)
                    this.isDummy = true;
                this.duration = value;
            }
        }

        public double TotalFloat
        {
```

```

    get { return this.LateFinish - this.EarlyFinish; }
}

public int LoadedResource
{
    get { return this.loadedResource; }
    set { this.loadedResource = value; }
}

public string Name
{
    get { return this.name; }
    set { this.name = value; }
}

public double EarlyStart
{
    get
    {
        if (this.preds.Count == 0) return 0;
        double min = 0;
        foreach (Activity a in this.preds)
            if (a.EarlyFinish > min)
                min = a.EarlyFinish;
        return min;
    }
}

public double EarlyFinish
{
    get
    {
        return this.EarlyStart + this.duration;
    }
}

public double LateStart
{
    get
    {
        return this.LateFinish - this.duration;
    }
}

public double LateFinish
{
    get
    {
        if (this.sucs.Count == 0)
            return this.EarlyStart;
        double max = double.MaxValue;
        foreach (Activity a in this.sucs)
            if (max > a.LateStart)
                max = a.LateStart;
        return max;
    }
}

public override string ToString()

```

```

{
    string str = "";
    str += this.name + ";";
    str += this.duration + ";";
    str += this.loadedResource + ";";
    str += this.EarlyStart.ToString() + ";";
    str += this.EarlyFinish.ToString() + ";";
    str += this.LateStart.ToString() + ";";
    str += this.LateFinish.ToString() + ";";
    str += this.TotalFloat.ToString() + ";";
    foreach (Activity a in this.preds)
        str += a.name + ",";
    str += ";";
    foreach (Activity a in this.sucs)
        str += a.name + ",";
    str += ";";
    str += this.SuccessorsCombinations.ToString();
    return str;
}

public List<Activity> Preceders
{
    get { return this.preds; }
}

public List<Activity> Successors
{
    get { return this.sucs; }
}

public ActivityCombinations SuccessorsCombinations
{
    get
    {
        return new ActivityCombinations(this.sucs);
    }
}
}

class ActivityCombinations
{
    List<Combinations> combinations;
    public ActivityCombinations(List<Activity> acts)
    {
        this.combinations = new List<Combinations>();
        Array act_array = acts.ToArray();
        for(int i=0;i<act_array.Length;i++)
            this.combinations.Add(new Combinations(act_array,
i+1));
    }

    public List<Array> Items
    {
        get
        {
            List<Array> result = new List<Array>();
            foreach (Combinations c in this.combinations)
                while (c.MoveNext())
                {

```

```

        Array a = (Array)c.Current;
        result.Add(a);
    }
    return result;
}

public Activity Solve()
{
    //find all feasible combinations
    List<Array> cobs = this.Items;
    int req_cap =0;
    //foreach (Array a in cobs)
    //{
    //    Activity aa = (Activity)a;
    //    req_cap += aa.LoadedResource;
    //}

    return null;
}

public override string ToString()
{
    string str = "";
    foreach(Combinations c in this.combinations)
        while (c.MoveNext())
        {
            str += "[";
            Array a = (Array)c.Current;
            foreach (Activity aa in a)
                str += aa.Name + ",";
            str += "]";
        }
    return str;
}
}

class Schedule
{
    List<Activity> activities;
    Activity start;
    Activity finish;
    int maxResource;

    public Schedule(int maxresource)
    {
        this.activities = new List<Activity>();
        this.maxResource = maxresource;
    }

    public void OptimizeByYusufs()
    {
        if (this.start == null || this.finish == null) return;
        Activity a = this.start.SuccessorsCombinations.Solve();
        forward(this.start);
    }
}

```



```

void forward(Activity a)
{
    //find all feasible combination
    List<Combinations> feasible_comb = new
List<Combinations>();
    //foreach(Combinations c in a.SuccessorsCombinations)
    //    while (c.MoveNext())
    //    {
    //        Array c_item = (Array)c.Current;
    //        int req_cap = 0;
    //        foreach (Activity aa in c_item)
    //            req_cap += aa.LoadedResource;
    //        if (req_cap <= this.maxResource)
    //            feasible_comb.Add(c);
    //    }

    //eliminate subset combination from feasible combinations
    foreach(Combinations c in feasible_comb)
        while (c.MoveNext())
        {
            Array c_item = (Array)c.Current;
        }

    if (a == this.finish)
        return;
    else
        foreach (Activity aa in getSuccessors(a))
            forward(aa);
}

Activity getStartAct()
{
    foreach (Activity a in this.activities)
        if (a.Preceders.Count == 0) return a;
    throw new SystemException("Start activity can not be
found.");
}

List<Activity> getSuccessors(Activity a)
{
    List<Activity> list = new List<Activity>();
    foreach (Activity aa in this.activities)
        if (aa.Preceders.Contains(a)) list.Add(aa);
    return list;
}

public void ReadInputFromText(string filename)
{
    StreamReader sr = new StreamReader(filename);
    List<string> lines = new List<string>();
    while (true)
    {
        string line = sr.ReadLine();
        if (line == null || line == "") break;
        lines.Add(line);
    }
    foreach (string line in lines)
    {
        Activity a = new Activity();

```

```

        a.Name = line.Substring(0, line.IndexOf(';'));
        this.activities.Add(a);
    }
    foreach (string line in lines)
    {
        string[] p = line.Split(';');
        string name = p[0];
        double duration = double.Parse(p[1]);
        string[] preds = p[2].Split(',');
        int resource = int.Parse(p[3]);
        Activity a = getReference(name);
        a.Duration = duration;
        a.LoadedResource = resource;
        foreach (string pred in preds)
        {
            Activity pred_a = getReference(pred);
            if (pred_a == null) continue;
            a.Preceders.Add(pred_a);
        }
    }

    foreach (Activity a in this.activities)
        foreach (Activity aa in getSuccessors(a))
            a.Successors.Add(aa);

    this.start = getStartAct();
    this.finish = getFinishAct();
}

Activity getFinishAct()
{
    Activity result = null;
    foreach (Activity a in this.activities)
    {
        List<Activity> aa = getSuccessors(a);
        if (aa.Count == 0)
            if (result == null)
                result = a;
            else
                throw new SystemException("The final
activity must be single.");
        }
        if (result == null)
            throw new SystemException("The final activity
can not be found");
        return result;
    }

    Activity getReference(string name)
    {
        foreach (Activity a in this.activities)
            if (a.Name == name) return a;
        return null;
    }
}

```

```
public List<Activity> Activities
{
    get { return this.activities; }
}

static void Main()
{
    Schedule schedule = new Schedule(5);
    schedule.ReadInputFromText(@"..\..\input.txt");
    schedule.OptimizeByYusufs();

    foreach (Activity a in schedule.Activities)
        Console.WriteLine(a.ToString());
}
}
```

## EK 2- SİMÜLASYON TABANLI PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME MODELİ PROBLEM GİRİŞİ EKLAN GÖRÜNTÜLERİ



Ana menü ekranı

faaliyet_id	faaliyet_adi	oncelik	kaynaklar	baslama_gunu	bitme_gunu	secenek	sure_
1	A	1	0	0	3	1	0
2	B	0	0	0	4	1	0
3	C	0	0	0	5	1	0
4	D	0	0	0	3	1	0
5	E	1	0	5	9	1	0

Faaliyet tanımlama ekranı

Öncelik İlişkisi

**Faaliyetler**

faaliyet_id	faaliyet_adi
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E
6	F
7	G
8	DENEME
*	

**Hemen Önceki Faaliyetler**

faaliyet_id	faaliyet_adi
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E
6	F
7	G
8	DENEME
*	

**Faaliyetler ve Hemen Önceki Faaliyetler**

Öncelik ilişkileri tanımlama ekranı

Kaynak Girişi

**Günlük Kaynak Girişi**

**\*İl Alanların Doldurulması Zorunludur !...**

Kaynak Adı :  \*

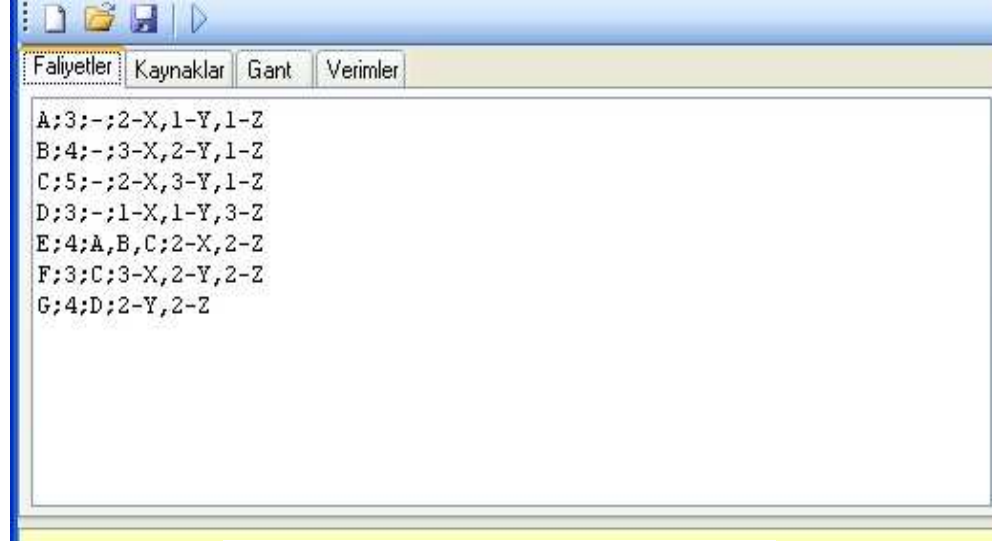
Kaynak Miktar Yapısı :

Miktar :  \*

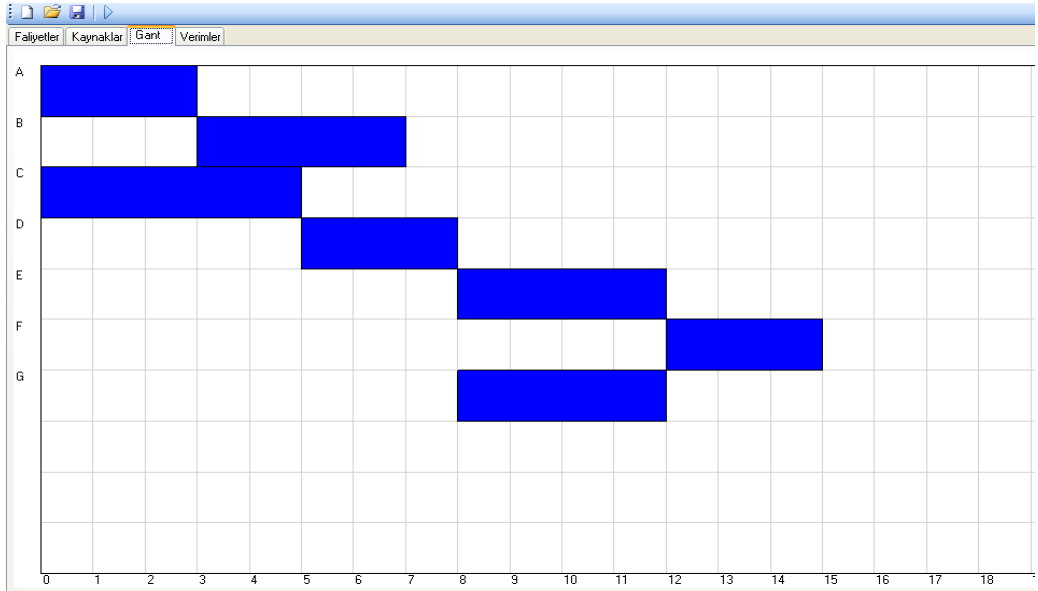
	kaynak_adi	miktar_yapisi	miktar	deger	dagilim_tipi	kaynak_id
▶	x	Deterministik	5			0
	b	Stokastik	3	1-2	Normal Dağılım	2
	ye	Deterministik	6			3
	bbb	Stokastik	3	1- 2	Normal Dağılım	4
*						

Kaynak girişi ekranı

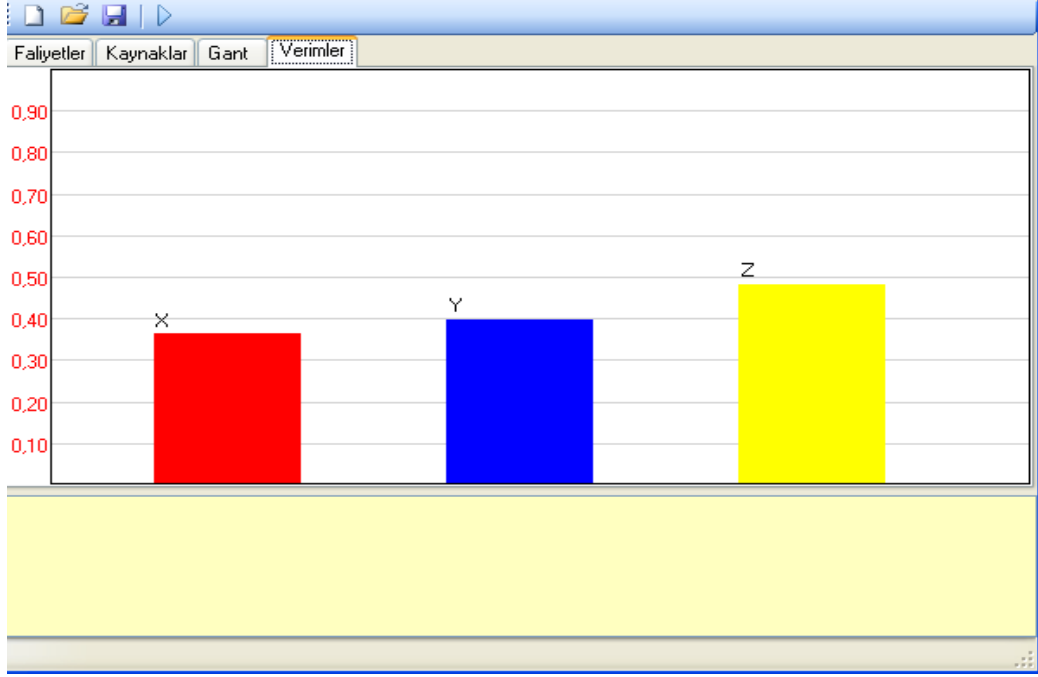
### EK 3- SİMÜLASYON TABANLI PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME MODELİ SİMÜLASYON MODÜLÜ EKLAN GÖRÜNTÜLERİ



Simülasyon ekranı



Çizelgeleme ekranı



Kaynak verimi ekranı

## EK 4- İKİNCİ GRUP TEST PROJE ÖRNEKLERİ

### ÖRNEK 1

Faaliyetler	Faaliyet Süresi	Hemen Önceki Faaliyet	Kaynak Kullanım Miktarları
1	5 days		R1[500%]
2	3 days		R1[400%]
3	6 days		R1[800%]
4	5 days	1;2	R1[600%]
5	5 days	2	R1[400%]
6	10 days	3	R1[400%]

### ÖRNEK 2

Faaliyetler	Faaliyet Süresi	Hemen Önceki Faaliyet	Kaynak Kullanım Miktarları
1	7 days		R1[700%]
2	6 days		R1[500%]
3	5 days		R1[400%]
4	7 days	1	R1[400%]
5	8 days	2;1	R1[600%]
6	7 days	2;1	R1[500%]

### ÖRNEK 3

Faaliyetler	Faaliyet Süresi	Hemen Önceki Faaliyet	Kaynak Kullanım Miktarları
1	7 days		R1[300%]
2	6 days		R1[200%]
3	6 days	2	R1[200%]
4	4 days	2	R1[300%]
5	4 days	3	R1[300%]
6	7 days	4	R1[300%]

### ÖRNEK 4

Faaliyetler	Faaliyet Süresi	Hemen Önceki Faaliyet	Kaynak Kullanım Miktarları
1	7 days		R1[600%]
2	5 days	1	R1[300%]
3	9 days	1	R1[500%]



4	5 days	1	R1[600%]
5	4 days	2	R1[300%]
6	8 days	4;2	R1[600%]

**ÖRNEK 5**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	7 days		R1[500%]
2	5 days		R1[400%]
3	8 days		R1[900%]
4	7 days	1;2	R1[600%]
5	4 days	2	R1[500%]
6	11 days	3	R1[400%]

**ÖRNEK 6**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	6 days		R1[500%]
2	4 days	1	R1[400%]
3	6 days	1	R1[700%]
4	6 days	2	R1[300%]
5	9 days	2	R1[400%]
6	10 days	2	R1[400%]
7	4 days	4	R1[500%]
8	3 days	4	R1[400%]
9	6 days	7	R1[600%]
10	5 days	8	R1[500%]

**ÖRNEK 7**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	10 days		R1[500%]
2	6 days		R1[400%]
3	9 days		R1[900%]
4	5 days	1;2	R1[700%]
5	6 days	2	R1[500%]
6	12 days	3	R1[600%]
7	8 days	4;5;6	R1[800%]
8	3 days	4;5;6	R1[200%]
9	5 days	4;5;6	R1[600%]
10	8 days	8;9	R1[400%]

**ÖRNEK 8**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	8 days		R1[600%]
2	3 days		R1[200%]
3	5 days		R1[400%]
4	3 days	2	R1[300%]
5	10 days	2	R1[500%]
6	8 days	3	R1[300%]
7	9 days	4	R1[400%]
8	4 days	4	R1[300%]
9	2 days	4	R1[400%]
10	9 days	8	R1[400%]

**ÖRNEK 9**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	5 days		R1[500%]
2	6 days		R1[600%]
3	8 days		R1[900%]
4	9 days	1	R1[600%]
5	6 days	1	R1[500%]
6	7 days	2	R1[600%]
7	8 days	2	R1[400%]
8	8 days	6	R1[1.200%]
9	2 days	6	R1[300%]
10	5 days	9	R1[400%]

**ÖRNEK 10**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	5 days		R1[200%]
2	6 days		R1[300%]
3	5 days		R1[400%]
4	5 days	2	R1[300%]
5	5 days	2	R1[300%]
6	6 days	1;2	R1[400%]
7	5 days	3;4	R1[200%]
8	2 days	3;4	R1[300%]
9	4 days	5;6	R1[400%]
10	6 days	5;6	R1[300%]

**ÖRNEK 11**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	7 days		R1[500%]
2	4 days		R1[300%]
3	5 days		R1[400%]
4	5 days	2	R1[300%]
5	8 days	2	R1[600%]
6	10 days	3	R1[700%]
7	6 days	5	R1[300%]
8	9 days	5	R1[400%]
9	7 days	5	R1[400%]
10	5 days	5	R1[400%]
11	8 days	6	R1[500%]
12	6 days	10	R1[300%]

**ÖRNEK 12**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	5 days		R1[400%];R2[300%]
2	6 days		R1[200%];R2[500%]
3	5 days		R1[300%];R2[300%]
4	5 days	1	R1;R2
5	5 days	1	R1[200%];R2[300%]
6	11 days	2;1	R1[200%];R2[300%]
7	8 days	3	R1[300%];R2[300%]
8	6 days	3	R1[200%];R2[400%]
9	4 days	4;5	R1[400%];R2[500%]
10	5 days	5;6	R1[200%];R2[300%]
11	3 days	7;8	R1[300%];R2
12	5 days	7;8	R1[300%];R2[300%]

**ÖRNEK 13**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	6 days		R1[600%]
2	3 days		R1[200%]
3	9 days		R1[400%]
4	3 days	2	R1[300%]
5	10 days	2	R1[500%]
6	8 days	3	R1[300%]
7	9 days	4	R1[400%]

8	4 days	4	R1[300%]
9	2 days	4	R1[400%]
10	9 days	8	R1[400%]
11	1 day	7	R1[300%]
12	3 days	6;10	R1

**ÖRNEK 14**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	7 days		R1[600%]
2	5 days		R1[400%]
3	9 days		R1[900%]
4	7 days	1;2	R1[800%]
5	4 days	2	R1[600%]
6	9 days	3	R1[400%]
7	5 days	5	R1[400%]
8	6 days	5	R1[400%]
9	3 days	5	R1[500%]
10	5 days	6;7	R1[600%]
11	3 days	6;7	R1[400%]
12	5 days	6;7	R1[600%]

**ÖRNEK 15**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	5 days		R1[300%];R2[200%]
2	7 days		R1[200%];R2[200%]
3	4 days		R1[400%];R2[300%]
4	4 days	2	R1[200%];R2
5	5 days	2	R1[400%];R2[200%]
6	7 days	1;2	R1[300%];R2[200%]
7	12 days	4;3	R1[500%];R2[200%]
8	2 days	4;3	R1[200%]
9	3 days	5;6	R2[200%]
10	7 days	5;6	R1[300%];R2[200%]
11	3 days	9	R1[300%];R2[300%]
12	2 days	9	R1

**ÖRNEK 16**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	6 days		R1[500%];R2[300%]

2	5 days		R1[400%];R2[300%]
3	8 days		R1[900%];R2[300%]
4	7 days	1;2	R1[600%];R2[300%]
5	3 days	2	R1[500%];R2[300%]
6	10 days	3	R1[400%];R2[400%]
7	4 days	4;6;5	R1[500%]
8	4 days	4;6;5	R2[300%]
9	2 days	4;6;5	R1[600%];R2[400%]
10	6 days	9	R1[400%]
11	4 days	9	R1[500%]
12	5 days	10	R1[500%]
13	12 days	10	R1[500%];R2[300%]
14	6 days	10	R1[700%];R2[400%]
15	6 days	12	R1[200%]

**ÖRNEK 17**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	8 days		R1[400%];R2[300%]
2	9 days		R1[600%];R2[800%]
3	3 days		R1[300%];R2[400%]
4	5 days	1;2	R1[300%]
5	5 days	3	R1[400%]
6	10 days	3	R1[400%];R2[500%]
7	8 days	6	R1[500%];R2[400%]
8	6 days	6	R1[400%];R2[500%]
9	3 days	6	R1[500%];R2[500%]
10	8 days	8	R2[500%]
11	6 days	8	R1[300%];R2[300%]
12	8 days	9	R1[200%];R2[300%]
13	9 days	9	R1[400%];R2[600%]
14	3 days	9	R1[400%];R2[400%]
15	9 days	14	R2[300%]

**ÖRNEK 18**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	4 days		R1[300%];R2[300%]
2	7 days		R1[600%];R2[300%]
3	5 days		R1[200%];R2[300%]
4	3 days	3	R1[200%];R2[200%]
5	2 days	3	R1[300%]
6	7 days	4;5	R1[300%];R2[200%]

7	9 days	5	R1[300%];R2[300%]
8	4 days	5	R1;R2[200%]
9	4 days	5	R1[300%]
10	6 days	5	R2[200%]
11	4 days	5	R1[300%];R2[200%]
12	4 days	9	R1[200%];R2[300%]
13	10 days	9	R1[200%];R2
14	2 days	9	R2[200%]
15	7 days	9	R2[200%];R1[300%]

**ÖRNEK 19**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	4 days		R1;R2
2	5 days		R1[200%];R2[200%]
3	4 days		R1[200%]
4	8 days		R1[300%];R2
5	1 day	1;2	R1
6	4 days	1;2	R1;R2
7	4 days	6	R1[200%];R2[200%]
8	6 days	6	R2[200%]
9	5 days	6	R1[200%];R2
10	3 days	6	R1[200%];R2[300%]
11	3 days	9;10	R1
12	3 days	9;10	R1;R2[200%]
13	9 days	11;12	R1[300%];R2[300%]
14	4 days	11;12	R1;R2
15	5 days	11;12	R1;R2

**ÖRNEK 20**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	3 days		R1[400%];R2[400%]
2	4 days	1	R1[400%];R2[200%]
3	2 days	1	R1[400%];R2[400%]
4	7 days	1	R1[400%];R2[500%]
5	2 days	1	R1[300%];R2[400%]
6	5 days	5	R1[200%];R2[200%]
7	3 days	5	R1;R2
8	4 days	5	R1[200%]
9	6 days	5	R1[400%];R2[300%]
10	2 days	7	R2
11	6 days	7	R1[300%];R2[300%]

12	9 days	8;9;10	R1[500%];R2[400%]
13	3 days	8;9;10	R1;R2[200%]
14	2 days	8;9;10	R1;R2
15	5 days	13;14	R1[200%];R2[200%]

**ÖRNEK 21**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	6 days		R2[400%];R3[300%];R4
2	2 days	1	R1[300%];R2[200%];R3;R4
3	4 days	1	R1;R2[400%];R4[200%]
4	5 days	1	R1[200%];R3[200%];R4
5	5 days	2	R3[200%];R4[200%]
6	7 days	2	R1[300%];R2[400%];R4
7	5 days	2	R1[300%];R2[300%];R3[200%]
8	6 days	6;7	R1[300%];R2[200%];R3[200%]
9	7 days	6;7	R2[400%];R4[200%]
10	4 days	8	R1[200%];R2[300%];R3
11	10 days	8	R1[200%];R2[200%];R4
12	12 days	10	R1[200%];R2[400%];R3[200%];R4[300%]
13	5 days	10	R1[200%];R3[200%]
14	3 days	10	R1[200%];R2[200%];R4[200%]
15	5 days	10	R2[300%];R3[300%]
16	8 days	10	R1[200%];R2[200%]
17	6 days	11;12;14	R1;R2[300%];R4[200%]
18	3 days	11;12;14	R2[300%];R3[200%];R4[200%]
19	3 days	17	R1[200%];R2[300%]
20	3 days	17	R1[300%];R4[200%]

**ÖRNEK 22**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	3 days		R1[200%];R2;R3[200%];R4[300%]
2	4 days		R1[200%];R2;R4[300%]
3	5 days		R1[300%];R2[300%];R3[200%];R4[500%]
4	7 days	2	R1;R2[300%];R3[400%];R4[400%]
5	7 days	2	R1[200%];R2;R4[300%]
6	3 days	2	R3[300%];R4[600%]
7	5 days	2;4	R1;R2;R3;R4
8	2 days	2;4	R2[200%];R4[300%]
9	6 days	6	R3[200%];R4[300%]
10	7 days	6	R1[300%];R2[200%];R4[300%]
11	5 days	8	R1[300%];R2[300%];R3[200%];R4[300%]

12	6 days	8	R4[400%]
13	4 days	8	R3;R4[300%]
14	5 days	8	R1[300%];R3[200%];R4[300%]
15	3 days	10;12	R4[300%]
16	3 days	10;12	R1[200%];R2[200%]
17	7 days	10;12	R1[200%];R2;R3[300%];R4[400%]
18	4 days	15;16;17	R4[300%]
19	3 days	18	R3[200%];R4[300%]
20	2 days	18	R3;R4[400%]

**ÖRNEK 23**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	6 days		R1[300%];R2[200%];R3[300%];R4
2	11 days		R1[300%];R2[200%];R3[200%];R4[200%]
3	2 days		R1[300%];R2;R3[200%];R4[200%]
4	4 days	1;2	R1[200%];R2;R3[200%];R4[200%]
5	5 days	3	R1[200%];R2;R3[300%]
6	8 days	3	R1[300%];R2[300%];R3[300%]
7	8 days	6	R1[200%];R2[300%];R3[200%]
8	3 days	6	R3[200%];R4[300%]
9	2 days	6	R3[200%];R4[300%]
10	6 days	8	R1[300%];R2[200%];R3[300%];R4[200%]
11	5 days	8	R3[200%];R4[300%]
12	9 days	8	R4[200%]
13	10 days	8	R1;R2[200%]
14	5 days	9	R1[200%];R2[200%];R3[200%]
15	7 days	9	R1[200%];R2[200%];R3[200%]
16	2 days	9	R1[200%];R2[200%]
17	3 days	10;13;16	R4[200%]
18	1 day	10;13;16	R4[200%]
19	4 days	18	R1[300%];R3[300%]
20	2 days	18	R1[300%];R2;R3[300%]

**ÖRNEK 24**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	7 days		R1[200%];R2[200%];R3[200%];R4[400%]
2	4 days		R1[200%];R2[200%];R3[400%];R4[400%]
3	3 days		R1;R2[300%];R3;R4[500%]
4	7 days		R1[200%];R2[200%];R3[400%];R4[400%]
5	5 days	3	R1[200%];R4[400%]
6	5 days	3	R1[300%];R2[300%];R4[300%]



7	3 days	2;5	R1[200%];R4[400%]
8	3 days	5;2	R2[300%];R3[300%]
9	5 days	7	R3[400%];R4[500%]
10	6 days	7	R1[300%];R2[200%];R3[300%];R4[600%]
11	5 days	7	R1[300%];R2[300%];R3[200%];R4[300%]
12	6 days	7	R2[200%];R4[500%]
13	6 days	10;11	R4[400%]
14	5 days	10;11	R1[300%];R2[200%];R3[300%]
15	5 days	12	R1[300%];R2[200%];R3;R4[400%]
16	5 days	12	R1[300%];R2[200%]
17	7 days	12	R1[200%];R2;R3[300%];R4[400%]
18	4 days	16;17	R1[200%];R2[200%];R3[200%];R4[400%]
19	3 days	18	R1;R2[200%];R3[300%];R4[400%]
20	1 day	18	R4[300%]

**ÖRNEK 25**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	5 days		R1[200%];R2[500%];R3[200%];R4
2	3 days		R1[200%];R2[300%]
3	8 days		R1[300%];R2[200%];R3;R4
4	2 days		R2[200%];R3
5	3 days	2	R2[200%]
6	4 days	5	R1[300%];R2[400%];R3
7	3 days	5	R1;R2[300%]
8	4 days	5	R1;R2[300%]
9	5 days	5	R1[200%];R2[300%];R3;R4
10	3 days	8;9	R1;R2[200%];R3;R4
11	5 days	8;9	R1[200%];R2[600%]
12	5 days	10	R1[200%];R2[300%];R3;R4
13	5 days	10	R1[200%];R2[300%]
14	10 days	10	R1[200%];R2[400%];R4
15	1 day	12;13	R2[200%]
16	1 day	12;13	R2[200%]
17	2 days	16	R1[300%];R2[300%]
18	2 days	17	R1[300%];R2[300%]
19	2 days	17	R1[300%];R2[300%]
20	3 days	17	R1[200%];R2[600%]

**ÖRNEK 26**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	7 days		R1[600%];R2[500%];R3[400%]

2	9 days		R1[500%];R2[400%];R3[600%];R4[500%]
3	1 day		R1[400%];R2[700%];R3;R4[400%]
4	1 day	2	R1[500%];R2[200%];R4[1.000%]
5	9 days	3	R1[800%];R2[800%];R3[400%];R4[500%]
6	8 days	5	R1[700%];R3[700%]
7	3 days	1	R1[700%];R2[700%];R3[800%];R4[500%]
8	1 day	2	R1;R3[600%];R4[400%]
9	10 days	1;4	R1[700%];R2[200%]
10	9 days	7	R1[600%];R2[800%];R3[800%];R4[600%]
11	10 days	7	R1[500%];R2[400%];R3[200%];R4[200%]
12	2 days	1	R1;R2[900%];R3;R4[1.000%]
13	1 day	8	R1[400%];R2[700%];R4[700%]
14	5 days	11	R1[300%];R3[400%]
15	3 days	3	R4[700%]
16	9 days	3;12	R1[900%];R2[900%];R3[500%];R4[1.000%]
17	8 days	4	R1[200%];R2[200%];R4[1.000%]
18	4 days	2	R2;R3[900%]
19	10 days	13;18	R1[900%];R3[800%];R4[500%]
20	5 days	11;16;19	R1[400%];R2[400%];R3[800%];R4[300%]
21	3 days	5	R2[400%]
22	4 days	18	R2[400%];R3[500%];R4[900%]
23	5 days	10;18	R1[700%];R2[700%];R3[600%];R4
24	7 days	15;23	R2[400%];R3[600%];R4[700%]
25	5 days	21;22	R1[1.000%];R2[300%];R3[900%];R4[900%]
26	2 days	8	R1;R3[800%];R4[900%]
27	2 days	6;20;25	R1[800%];R3[800%];R4[900%]
28	2 days	17;23	R1[500%];R4[400%]
29	6 days	9;14;24	R2[700%];R4[800%]
30	6 days	4;26;27	R1[700%];R2;R4[800%]

**ÖRNEK 27**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	2 days		R2[700%];R3[900%];R4[900%]
2	4 days		R1[600%];R4
3	2 days		R1[200%];R2[200%];R3[300%]
4	10 days	3	R1[900%];R2[600%];R3[800%];R4[200%]
5	5 days	1	R1[300%];R2[200%]
6	5 days	2	R3[1.000%];R4[200%]
7	7 days	1;6	R1[1.000%];R2[300%];R3[500%]
8	8 days	1	R1[900%];R3
9	6 days	5	R1[1.000%];R2[800%];R4[400%]
10	2 days	3	R1[400%];R2[700%];R3[300%]
11	6 days	6	R1[400%];R2[600%];R3[600%]

12	5 days	4	R1[400%];R2[700%];R3[400%]
13	3 days	5	R1[400%];R2[900%];R3[300%]
14	5 days	5	R1[600%];R2[500%];R3[300%];R4
15	1 day	7	R1[200%];R2[900%];R3;R4[600%]
16	6 days	14	R1[800%];R2[700%];R4[1.000%]
17	4 days	10	R2[200%];R3[500%];R4[700%]
18	6 days	16	R1[500%];R2;R3[800%];R4[900%]
19	3 days	8;14	R1[500%];R2[900%];R3[400%]
20	8 days	13;19	R1[200%];R2[400%]
21	3 days	9;15	R1[200%];R2[800%];R4[700%]
22	7 days	9;19	R1[900%];R2[600%];R3[600%];R4[200%]
23	6 days	16	R1[800%];R2[300%]
24	2 days	9;20	R1[300%];R2[700%];R3[400%];R4[400%]
25	7 days	7	R2;R3[800%];R4[500%]
26	1 day	17;21	R1[400%];R3
27	8 days	11;25;26	R1[500%];R2[1.000%];R3[800%]
28	6 days	2;18;19	R2;R3[400%];R4
29	4 days	6;22;24	R1[700%];R2[600%];R4[800%]
30	6 days	12;23;27	R1[400%];R2[800%];R3[1.000%];R4[500%]

**ÖRNEK 28**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	6 days		R2[700%];R4[1.000%]
2	4 days		R1[600%];R2[300%];R4[700%]
3	4 days		R2;R3[700%];R4
4	10 days	1	R1[1.000%];R2[700%];R3[600%]
5	1 day	1;3	R1[700%];R2;R3[700%];R4[700%]
6	4 days	4	R1[300%];R2[700%];R4[300%]
7	9 days	5	R2[700%];R4[1.000%]
8	3 days	7	R1;R2[1.000%];R3[200%];R4[900%]
9	1 day	2	R1[600%];R2[1.000%];R3
10	8 days	7	R1[500%];R2[200%];R3[1.000%];R4[1.000%]
11	8 days	2	R3[700%];R4[300%]
12	5 days	1	R1[900%];R2[400%];R3[500%];R4[500%]
13	3 days	7	R2[200%];R4[900%]
14	9 days	9;13	R1[500%];R2[500%];R4[1.000%]
15	6 days	8;10;14	R1[500%];R2[500%];R3[900%];R4[600%]
16	8 days	10	R1[200%];R2[1.000%];R4[300%]
17	2 days	2	R2[200%];R3[600%];R4
18	9 days	9	R2[1.000%];R3
19	1 day	18	R1[500%];R2[500%];R3[900%];R4[700%]
20	1 day	12	R1[900%];R2[700%];R3[500%];R4[1.000%]
21	2 days	4	R1[800%];R2[400%];R3[900%]

22	8 days	12	R1[500%];R2[1.000%];R3[400%]
23	1 day	8;11	R1[900%];R2[300%];R3[900%];R4[700%]
24	4 days	16;22;23	R1[600%];R4[200%]
25	1 day	5;21	R1[1.000%];R3[900%]
26	8 days	6;20;25	R1[1.000%];R2[400%];R3[700%];R4[1.000%]
27	8 days	3;19	R1[900%];R2[600%];R4[400%]
28	3 days	24;26;27	R1[700%];R2[900%];R4[300%]
29	6 days	15;17;26	R1[900%];R2[500%];R3[300%]
30	3 days	25	R1[900%];R3[300%]

**ÖRNEK 29**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	9 days		R1[300%];R3
2	8 days		R1[800%];R2[700%]
3	1 day		R1[200%];R2[200%];R3[500%];R4[200%]
4	6 days	1	R1[500%];R4[1.000%]
5	6 days	2	R1[700%];R2[200%];R3;R4[500%]
6	5 days	4	R1;R3[900%];R4[300%]
7	6 days	1	R1[300%];R2[600%];R3
8	8 days	3	R1;R4[900%]
9	1 day	3	R1[400%];R2[500%];R3[200%];R4
10	6 days	6	R1[900%];R2[700%];R4
11	8 days	2	R1[200%];R2[1.000%];R3[500%];R4[400%]
12	2 days	8	R2[700%];R3[900%];R4[200%]
13	5 days	2;9	R2[1.000%];R3[800%];R4[800%]
14	5 days	13	R1[600%];R2[800%];R3[700%];R4[700%]
15	5 days	1	R2[400%];R3[700%]
16	7 days	6	R1[500%];R2[900%];R3[500%];R4[400%]
17	9 days	9;15	R2[800%];R3[900%];R4[500%]
18	5 days	5;12	R1[300%];R3[600%];R4[200%]
19	6 days	9	R1[300%];R2[400%];R4[500%]
20	1 day	11	R1;R3[700%];R4[900%]
21	8 days	16;20	R2[900%];R3[600%];R4[700%]
22	2 days	10	R1[1.000%];R4[700%]
23	6 days	13	R1[300%];R2[200%];R3[400%];R4[900%]
24	9 days	3	R1[300%];R2[1.000%];R4[200%]
25	10 days	6;23	R1[400%];R2[700%];R4[1.000%]
26	2 days	5;14;17	R1[900%];R3[700%];R4[200%]
27	4 days	16;23;24	R1[400%];R2[1.000%];R3[700%];R4[500%]
28	6 days	19;21;25	R1[900%];R2[500%];R3[900%];R4[600%]
29	3 days	26;7;18	R3;R4[800%]
30	4 days	12;22;27	R2[1.000%];R4[800%]

**ÖRNEK 30**

<b>Faaliyetler</b>	<b>Faaliyet Süresi</b>	<b>Hemen Önceki Faaliyet</b>	<b>Kaynak Kullanım Miktarları</b>
1	2 days		R1[800%];R2[900%];R3[1.000%];R4[200%]
2	5 days		R1;R2[400%];R3[800%];R4[900%]
3	8 days		R2;R3[600%];R4[300%]
4	3 days	1	R1[600%];R2;R4[800%]
5	4 days	4	R1[200%];R2[300%];R3[500%];R4
6	1 day	2	R1[900%];R3[1.000%];R4[300%]
7	7 days	3	R1[600%];R3[200%];R4[500%]
8	2 days	4	R1[500%];R2[700%];R3[500%]
9	3 days	7	R1[600%];R3[900%];R4[900%]
10	3 days	2	R1[700%];R2[700%];R3[300%]
11	10 days	10	R1[600%];R2[600%];R3[900%]
12	7 days	7	R1[1.000%];R2[200%];R3[300%]
13	2 days	3	R1[300%];R2[500%];R4[600%]
14	8 days	12	R2[400%];R3[700%];R4[900%]
15	10 days	6	R2[400%];R4[800%]
16	9 days	6;13	R1[700%];R2[400%];R4[600%]
17	6 days	9	R1[800%];R2[800%]
18	6 days	5;9	R1[600%];R3[1.000%];R4[800%]
19	3 days	5;15;16	R1;R2[900%];R3[700%];R4[300%]
20	3 days	13;14	R1[300%];R3
21	10 days	11;12	R1[200%];R3[500%];R4[700%]
22	7 days	7	R1[800%];R3[600%];R4
23	10 days	20;21	R1[900%];R3[600%];R4[400%]
24	9 days	12;17	R3[200%];R4[700%]
25	9 days	13	R1[400%];R2[800%];R3[700%];R4[900%]
26	7 days	8;22	R1[1.000%];R3[500%]
27	8 days	20;24;25	R1[500%];R2[1.000%];R3[900%];R4
28	2 days	19;27	R2[300%];R4[800%]
29	7 days	5;23;26	R1;R2[700%];R4[600%]
30	5 days	10;18	R1[900%];R2;R3[400%];R4[200%]

## ÖZGEÇMİŞ

01.09.1978'de Nevşehir'in Ürgüp ilçesinde doğdu. 1996 yılında Samsun Anadolu Lisesinden mezun oldu. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde 2 yıl eğitim gördükten sonra, 1999 yılında meydana gelen marmara depremi sebebiyle Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'ne geçiş yaparak lisans öğrenimini 2001 yılında burada tamamladı. Daha sonra İstanbul Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans programını kazanan Yusuf Sait Türkan, aynı bölümde 2001 yılı sonunda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2004 yılında yüksek lisans programını bitirdi. Yusuf Sait Türkan halen Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.