

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK KAYNAK KISITLI BİLGİ
TEKNOLOJİSİ PROJELERİNİN ÇİZELGELENMESİ**

GÖKÇE ÇINAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. CEYDA ŞEN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK KAYNAK KISITLI BİLGİ
TEKNOLOJİSİ PROJELERİNİN ÇİZELGELENMESİ**

Gökçe ÇINAR tarafından hazırlanan tez çalışması 28.11.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Ceyda ŞEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Ceyda ŞEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Sırma YAVUZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bilgi Teknolojisi ve yan ürünleri günümüz dünyasının yapıtaşlarından biridir. Ev ve ofis gibi yaşam alanlarında olduğu kadar dış mekanlarda da önemli yer kaplayan yazılım ve donanım ürünlerinin gün geçtikçe daha hızlı şekilde üretilmesi, uygulanması, güncellenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında önerilen modelle projelerin uzamasına neden olan, insan hatası, beceri ve deneyim eksiklerinden kaynaklanan problemlerin en aza indirgenmesi, dolayısıyla bilgi teknolojisi projeleri gibi zamana ayak uydurması proje değeri açısından da önemli olan projelerin planlanan zaman sınırları dahilinde bitirilmesi sağlanacaktır.

Hayatımızın her alanına nüfuz eden bilgi teknolojisi projelerinde, zaman olgusunun geliştirilmesi günümüzde ve gelecekte alınan hizmetlerdeki aksamalara engel olacak, üreticilerin ürettikleri teknolojinin gelişim hızına ayak uydurmasını sağlayacaktır.

Çalışmam süresince önerileri ve katkılarıyla yanımda olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Ceyda Güngör Şen'e ve uygulamamı yapmam için bana yardımcı olan Sayın Selçuk Şen'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu süreçte desteklerini esirgemeyerek yanımda yer alan aileme, Sayın Emre Kumru'ya ve Sayın Tülin Şentürk'e teşekkürü borç bilirim.

Ağustos, 2011

Gökçe ÇINAR

İÇİNDEKİLER

	sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	
1.1 Literatür Özeti	18
1.1 Tezin Amacı	19
1.2 Hipotez	20
BÖLÜM 2	
PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİNE GENEL BAKIŞ	
2.1 Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi.....	24
2.2 Literatürdeki Çözüm Yöntemleri.....	26
2.2.1 Kesin Metotlar	28
2.2.2 Sezgisel Metotlar	30
2.2.2.1 Genetik Algoritmalar.....	30
2.2.2.1.1 Genetik Algoritmalarla ilgili Temel Kavramlar	31
2.2.2.1.2 Genetik Algoritmaların Yapısı	35
2.2.2.1.3 Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları ve Proje Çizelgeleme... 35	
2.2.2.2 Tabu Arama Algoritması	38
2.2.2.2.1 Tabu Arama Algoritmasıyla ilgili Temel Kavramlar.....	39
2.2.2.2.2 Tabu Arama Algoritması Yapısı	40
2.2.2.2.3 Tabu Arama Algoritmasının Kullanım Alanları ve Proje Çizelgeleme 41	
2.2.2.3 Benzetim Tavlama Algoritması.....	44
2.2.2.3.1 Benzetim Tavlama Algoritmasıyla ilgili Temel Kavramlar	44
2.2.2.3.2 Benzetim Tavlama Algoritmasının Yapısı	45
2.2.2.3.3 Benzetim Tavlama Algoritmasının Kullanım Alanları ve Proje Çizelgeleme	46
BÖLÜM 3	
BİLGİ TEKNOLOJİSİ PROJELERİNDE ÇİZELGELEME PROBLEMİ	
3.1 Dünya ve Türkiye’de Bilgi Teknolojisi Projelerinin Durumu	47
3.2 Bilgi Teknolojisi Projelerinde Proje Yönetimi ve Yaşam Döngüsü Modelleri....	52

3.3	Bilgi Teknolojisi Projelerinde Çizelgeleme Problemi.....	58
3.4	Bilgi Teknolojisi Projelerinde Çizelgeleme Problemine Yönelik Literatür Araştırması	61
BÖLÜM 4		
KAYNAK KISITLI BİLGİ TEKNOLOJİSİ PROJELERİNİN ÇİZELGELENMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ		
4.1	Önerilen modele genel bakış	67
4.2	Problemin tanımlanması aşaması	70
4.3	Çalışanların performans kriterlerinin ağırlıklandırılması aşaması	70
4.4	Etkin çalışan grubunun belirlenmesi aşaması	74
4.5	Sezgisel algoritmaların uygulanması aşaması	78
4.5.1	Genetik Algoritmalar	79
4.5.2	Tabu Araştırması	81
4.5.3	Benzetim Tavlamaş	85
4.6	Çözümlerin karşılaştırılması aşaması	87
4.7	Önerilen Modelin Geçerliliğinin Test Edilmesi.....	88
BÖLÜM 5		
ÖNERİLEN MODELİN UYGULANMASI VE UYGULAMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ		
5.1	Uygulama yapan ve uygulama yapılan firmanın tanıtımı	96
5.2	Önerilen modelin aşamalarının uygulanması	97
5.2.1	Problemin tanımlanması aşamasının uygulanması	97
5.2.2	Çalışanların performans kriterlerinin ağırlıklandırılması aşamasının uygulanması	102
5.2.3	Etkin çalışan grubunun belirlenmesi aşamasının uygulanması	103
5.2.4	Sezgisel algoritmaların uygulanması aşamasının uygulanması	107
5.2.4.1	Genetik Algoritmaların Uygulanması.....	108
5.2.4.2	Tabu Araştırması Algoritmasının Uygulanması.....	109
5.2.4.3	Benzetim Tavlamaş Algoritmasının Uygulanması.....	111
5.2.5	Çözümlerin karşılaştırılması aşamasının uygulanması.....	113
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		
KAYNAKLAR		118
ÖZGEÇMİŞ		129

SİMGE LİSTESİ

n	aktivite sayısı
d_j	j aktivitesinin süresi
K	kaynak tipi sayısı
R_k	Her bir zaman birimi için kaynak kullanılabilirliği
P	performansı değerlendirilen eleman
R	çıktıları içeren kriter setinin büyüklüğü
S	girdileri içeren kriter setinin büyüklüğü
y_{rj}	j. çalışan için r. çıktının değeri
x_{sj}	j. çalışan için s. girdinin değeri
y_{ri}^*	j. çalışan için r. çıktılarının en iyi değeri
x_{si}^*	j. çalışan için s. girdilerinin en iyi değeri
a_{ri}	r. çıktının hesaplanan ağırlığı
b_{si}	s. girdinin hesaplanan ağırlığı
w_s	s. girdinin ağırlıkça önemi
w_r	r. çıktının ağırlıkça önemini ifade etmektedir.

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
AOA	Activities on Arrows (Oklarda Aktivite Diyagramı)
AON	Activities on Nodes (Düğümelerde Aktivite Diyagramı)
BT	Bilgi teknolojisi
CMM	Capability Maturity Model (Olgunluk Yeteneği Modeli)
CPM	Critical Path Method (Kritik Yol Metodu)
ENIAC	Electronic Numerical Integrator and Computer (Elektronik Numara Entegreli Hesaplayıcı)
GERT	Graphical Evaluation and Review Technique (Grafik Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
PERT	Program Evaluation and Review Technique (Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği)
PMBOK	Project Management Body of Knowledge (Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Kılavuzu)
PRINCE2	PRojects IN Controlled Environments 2 (Kontrollü Çevrede Projeler 2)
PSP	Project Scheduling Problem (Proje Çizelgeleme Problemi)
RCPS	Resource-Constrained Project Scheduling Problem (Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 AOA öncelik kısıtı grafiği	24
Şekil 2.2 AON öncelik kısıtı grafiği	24
Şekil 2.3 Çizelgeleme Metotları.....	27
Şekil 2.4 Çaprazlama yöntemleri ve etkileri	33
Şekil 2.5 Mutasyon yöntemleri ve etkileri	34
Şekil 3.1 Kamu Bilgi ve İletişim Teknolojisi Yatırımları Yıllık Ödenek Toplamı	48
Şekil 3.2 Dikey Pazarlar Bazında Türkiye Bilgi Teknolojisi Hizmetleri Pazarı	49
Şekil 3.3 Ülke ve Bölgeler Bazında Dünya Bilgi Teknolojisi Pazarı	50
Şekil 3.4 Orta ve Doğu Avrupa Ülkeleri, Bölge Pazar Payları	50
Şekil 3.5 Orta Doğu ve Afrika Ülkeleri, Bölge Pazar Payları	51
Şekil 3.6 Proje çözüm tarihçesi (1994-2000).....	52
Şekil 3.7 Proje Yönetimi Yaklaşımları	53
Şekil 3.8 Basit bir şelale modeli yaşam döngüsü.....	54
Şekil 3.9 Ayrıntılı bir şelale modeli yaşam döngüsü	55
Şekil 3.10 Aşamalı yapı yaşam döngüsü	56
Şekil 3.11 Çoklu yapı modeli yaşam döngüsü	57
Şekil 3.12 Yazılım Mühendisliği Trendleri (1970’ler)	59
Şekil 4.1 Model adımları.....	69
Şekil 4.2 Zaman yönetimi	70
Şekil 4.3 Problemin tanımlanması.....	70
Şekil 4.4 Çalışanların performans kriterlerinin ağırlıklandırılması	72
Şekil 4.5 Etkin çalışan gruplarının belirlenmesi.....	78
Şekil 4.6 Genetik algoritmaların uygulanması.....	80
Şekil 4.7 Tabu arama algoritması	81
Şekil 4.8 Tabu arama algoritması adımları	83
Şekil 4.9 Tabu arama algoritması seçim işleminin adımları	84
Şekil 4.10 Benzetim tavlama.....	85
Şekil 4.11 Benzetim tavlama algoritması adımları.....	86
Şekil 4.12 Test problemi AON grafiği	89
Şekil 4.13 2. test problemi AON grafiği	92
Şekil 5.1 Tabu arama algoritması seçim işleminin adımları	110
Şekil 5.2 Benzetim tavlama algoritması adımları.....	112

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için kesin algoritmalar..... 29
Çizelge 2.2	Çalışmada kullanılan meta-sezgisellerin standart parametre listesi 30
Çizelge 2.3	Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için genetik algoritmalar 37
Çizelge 2.4	Tabu araştırması uygulamaları..... 41
Çizelge 2.5	Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için tabu arama algoritması . 43
Çizelge 2.6	Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için benzetim tavlama algoritması..... 46
Çizelge 3.1	Kamu bilgi ve iletişim teknolojileri yıllık yatırım ödenekleri 48
Çizelge 3.2	Dünya genelinde teknoloji segmentine göre son kullanıcı bilgi teknolojisi harcamaları..... 49
Çizelge 3.3	Projelerin, yaşam döngüsü yaklaşımlarını tamamlayıcı güçlü yönleri.... 58
Çizelge 3.4	Bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesinde Genetik Algoritmaların kullanımı..... 62
Çizelge 3.5	Beceri listesi 63
Çizelge 3.6	Çalışan özellikleri – beceri eşleşmeleri 64
Çizelge 3.7	Aktivite listesi – aktivite özellikleri..... 64
Çizelge 3.8	Bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesinde Tabu Arama Algoritmasının kullanımı..... 65
Çizelge 4.1	Karar alma metodlarının önerilen modelin aşamaları içindeki pozisyonları..... 68
Çizelge 4.2	Sezgisel algoritmaların uygulanması aşamasında kullanılacak metodlar 79
Çizelge 4.3	Test problemi aktivite-öncelik-özellik ilişkileri..... 88
Çizelge 4.4	Genetik algoritma kullanılarak deneme probleminden elde edilen sonuçlar..... 89
Çizelge 4.5	Tabu araştırması kullanılarak deneme probleminden elde edilen sonuçlar..... 90
Çizelge 4.6	Benzetim tavlama kullanılarak deneme probleminden elde edilen sonuçlar 90
Çizelge 4.7	Ek değerlendirme parametreleri 91
Çizelge 4.8	2. test problemi aktivite-öncelik-özellik ilişkileri 91
Çizelge 4.9	Genetik algoritma kullanılarak 2. deneme probleminden elde edilen sonuçlar..... 93
Çizelge 4.10	Tabu araştırması kullanılarak 2. deneme probleminden elde edilen sonuçlar..... 93
Çizelge 4.11	Benzetim tavlama kullanılarak 2. deneme probleminden elde edilen

	sonuçlar.....	94
Çizelge 4.12	Ek değerlendirme parametreleri	94
Çizelge 5.1	Aktivite ve öncelik ilişkisi bilgileri.....	99
Çizelge 5.2	Proje kriterleri ve ağırlıkları	103
Çizelge 5.3	Değerlendirme skalası.....	104
Çizelge 5.4	Niteliklerin bulanıklaştırılması ve durulaştırılması için K1 kaynağı örneği.....	105
Çizelge 5.5	Max-min algoritması girdi değerleri	106
Çizelge 5.6	Max-min algoritmasından elde edilen maksimum ve minimum performans değerleri	107
Çizelge 5.7	Genetik algoritma parametreleri.....	108
Çizelge 5.8	Benzetim tavlama algoritması için başlangıç parametreleri.....	111
Çizelge 5.9	Problem verileri koşturularak elde edilen sonuçların karşılaştırılması.	113
Çizelge 5.10	Ek değerlendirme parametreleri	115

**META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK KAYNAK KISITLI BİLGİ
TEKNOLOJİSİ PROJELERİNİN ÇİZELGELENMESİ**

Gökçe ÇINAR

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ceyda ŞEN

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi literatürde kendine geniş yer bulan ve gerçek yaşamda firmaların karşısına sıklıkla çıkan NP-zor sınıfı bir problemdir. Literatüre bakıldığında birçok çözüm yöntemine rastlanmakla birlikte bu çözüm yöntemlerinde insan faktörü ele alınmamakta ya da ayrıntılı olarak incelenmemektedir.

Projelerin yürütülmesi sırasında insan kaynağı etkisinin veya iş-kaynak uyumunun göz ardı edilmesi projelerin planlanan zaman kısıtlarını aşması ya da ek kaynak ihtiyacının ortaya çıkarak ek maliyetlere yol açmasına sebep olur.

Çalışmanın odaklandığı bilgi teknolojisi projeleri üzerinde yapılan araştırmalar, bu tip projelerin, sadece %17'sinin belirlenmiş kısıtlar içerisinde tamamlanabildiğini, buna karşın %50'sinde hedeflerin değiştirilip kalan %33'ünde ise proje iptali yoluna gidildiğini göstermektedir. İlk yatırım değerleri yüksek olan bu projelerin iptali veya belirlenen kısıtların aşılması ise firmalara büyük maliyetler getirmektedir.

Buradan hareketle, bu çalışmanın amacı, mevcut bir proje yapısı ve belirli kaynaklar için, doğru aktivite-kaynak eşlemesini belirleyerek, faaliyetlere uygun insan kaynağı atamaları yoluyla zaman kısıtlarını sağlayan ve sapma olasılığı azaltılmış, en iyi çizelgenin bulunmasıdır.

Bu amaçla, bilgi teknolojisi projelerine zaman kısıtı ve kaynakların yetenekleri açılarından yaklaşılmaktadır. İş-kaynak uyumu, kaynakların işlerin gerektirdiği yetenekler bazında değerlendirilmesi yoluyla sağlanırken, insan kaynağının etkileri, kaynaklar için yapılmış performans değerlendirmesinde maksimum performans

değerlerinden yola çıkılması yerine, minimum performanslarının da göz önünde bulundurulması yoluyla sağlanmaktadır. Minimum performansların hesaplanması noktasında max-min algoritması kullanılmaktadır. Bunu takiben, kaynak atamaları ve projedeki aktivitelerin çizelgelenmesi işlevleri, 3 farklı meta-sezgisel algoritma yardımıyla gerçekleştirilmekte ve bu algoritmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Proje çizelgeleme, Bilgi teknolojileri, Meta-sezgisel yöntemler, Max-min yaklaşımı, Genetik Algoritmalar, Tabu Arama Algoritması, Benzetim Tavlama

ABSTRACT

RESOURCE-CONSTRAINED INFORMATION TECHNOLOGIES PROJECT SCHEDULING USING META-HEURISTIC ALGORITHMS

Gökçe ÇINAR

Department of Industrial Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Ceyda ŞEN

Resource constrained project scheduling problem (RCPSP) is a NP-hard class problem which takes a wide place in literature and is common in real life project planning problems. There are a lot of different studies and methods to solve RCPSP but most of these researches are not deal with human aspect and rests of the researches are not detailed studies.

Human effects on activities and activity – people matching is important to robust schedules, if either is not to take into consideration, it causes project delays and extra cost because of required additional resources.

According to Information Technology centered researches, 17% of information technology projects have completed within certain constraints, on the other hand, half of all projects required changes of targets and remaining projects are canceled. Changing the specified constraints of these projects or canceling them brings major cost problems to companies because of the projects' large investment values.

Hence, the purpose of this study is finding optimum schedule which is satisfied time constraints and provide less deviation probability by determine right match of activity and resource for a given project structure and resources.

To satisfy this purpose, this study is approached to information technology projects by the point of view time constraints, performances and skills of the resources. While the activity-resources matching provided by evaluation of resources whether have the required skills or not, human effects provided by performance evaluation which consider not only maximum performances but also minimum performances. Proposed

method uses max-min algorithm to calculate minimum performances and also uses three different meta-heuristic algorithms to resource allocation and scheduling. Obtained results are presented by compared to each other to determine optimum project schedule.

Key words: Project scheduling, Information technologies, Meta-heuristic methods, Max-min approach

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1990'lı yılların başından itibaren bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişim ekonomik sahada gelişime, üretim süreçlerinde verimliliğe ve şirketler arası rekabet gücüne önemli katkılar sağlamış; bilgi, üretim ve tüketim süreçlerinin en kritik faktörü olarak ortaya çıkmıştır. Bilgi teknolojileri, etkin şekilde kullanıldıklarında tüm sektörlerde verimlilik artışı ve ekonomi genelinde de rekabet avantajı yaratmaktadır. Bu duruma, bilgi teknolojisi sektörünün ülkelerin ekonomik yaşamlarında giderek artan önemi, bilgiye dayalı sanayi sektörlerinin büyüme hızları ve bu sanayi sektörlerinin Dünya ticaretinden aldıkları payların sürekli artması da eklendiğinde bilgi teknolojileri sektörünün stratejik öneme sahip olduğu görülmektedir [1].

Birçok ülke bu teknolojilerden yararlanmak üzere stratejiler geliştirmekte ve hayata geçirmeye çalışmaktadır. Avrupa Birliği de 2000 yılında belirlediği Lizbon Stratejisi ile 2010 yılına kadar dünyanın en dinamik, rekabetçi ve bilgi tabanlı ekonomisi olma hedefini koymuş ve bu amaçla e-Avrupa Girişimini başlatmıştır. Bu girişimin ülkemizdeki devamı olarak, Türkiye e-Dönüşüm adı altında bilgi teknolojilerine geçiş projesini yürütmektedir [1].

Dünya devletlerinin bilgi teknolojilerine olan eğilimine karşın, bilgi teknolojisi projeleri başarısızlık oranının yüksek olduğu projeler olmayı sürdürmektedir. Yüksek riskli ve kaynak kısıtlı bu projelerin gerektirdiği yatırım miktarları da oldukça yüksektir.

Dünya üzerinde bilgi teknolojisi projelerine görülen yüksek eğilim ve bu projelerin gerektirdiği büyük yatırım miktarları düşünüldüğünde, bilgi teknolojisi projelerinin iptalinin veya belirlenen kısıtların aşılmasının firmaları karşı karşıya bırakacağı sonuçlar, ilgili projelerin dikkatle planlanmasının gerekliliğini göz önüne sermektedir.

Standish Group'un yıllık olarak hazırladığı Chaos raporuna göre, Amerika'daki bilgi teknolojisi projelerinin %17'si belirlenmiş kısıtlar içerisinde tamamlanabilmekte, %50'sinde hedefler değiştirilmekte ve kalan %33'ü iptal edilmektedir. Projelerin başarısızlığının altında yatan nedenler araştırıldığında, nedenlerin çoğunlukla yönetimle ilgili olduğu görülmektedir. Proje yönetiminin başarısı, ilgili bilgi teknolojisi projesinin başarı veya başarısızlığını yakından ilgilendirmektedir. White ve Fortune'un [2] araştırmasına göre, bir projenin başarıya ulaşabilmesi için kritik olan faktörler arasında, gerçekçi bir çizelgeleme, hedeflerin açıklığının ardından ikinci sırada yer almaktadır. Bunu takiben, üst yönetimin desteği, yeterli fon ve kaynaklar, son kullanıcının projeye katılım oranı, iletişimin etkinliği, etkin liderlik ve etkin proje takımı sıralanabilecek diğer faktörler arasındadır [2].

Yine aynı araştırmada bahsi geçtiği üzere, projenin başarıya ulaşması için sırayla en önemli 3 faktör nedir sorusuna cevap verenlerden 17'si çizelgelemeyi en önemli faktör olarak belirlerken, 27'si ikinci sıraya, 22'si ise üçüncü sıraya koymuştur. Bu cevaplar sonucunda çizelgeleme, "hedef ve amaçların açıklığı", "üst yönetimin desteği" ve "yeterli fon ve kaynaklar" şıklarının ardından dördüncü sırayı almıştır. Proje tamamlandıktan sonra, ilgili projenin başarısını değerlendirmek için kullanılan kriterler arasında ise "müşteri beklentilerinin karşılanması"nın ardından "çizelge içerisinde tamamlanma" ikinci sırayı almıştır [2].

Çizelgelemenin önemine karşın, çizelgeleme ile ilgili yapılan tahminlerin doğruluğu yeterli değildir. Gerçekleştirilen bilgi teknolojisi projelerinin çok büyük bir kısmında çizelgenin gerisinde kalınmakta ve proje bitiş gecikmektedir. Çizelgenin gerisinde kalınan projelerin proje sayısına oranla yüzdeleri çeşitli araştırmalar tarafından %65, %80 ve %84 gibi büyük oranlarda rapor edilmiştir [3].

Çizelgenin doğruluğu problemine ek olarak, literatürde kaynak yetersizliği ve proje süresince firmadan ve projeden kopmalar yaşanması da bilgi teknolojisi projelerinin başarısızlığına neden olan önemli faktörler arasında sayılmıştır [4 – 6]. Morgenshtern ve diğerleri [7], literatür araştırmalarının sonucunda tahmin doğruluğuna etki eden ana faktörlerden biri olarak belirledikleri projenin belirsizlik durumuna etki eden değişkenler arasına, proje takımının büyüklüğü ve takımın deneyimini de eklemişlerdir.

Linberg [8] ise, literatür taraması sonucunda, bilgi teknolojisi projelerinden olan, yazılım geliştirme projelerinin başarısı için gerekli başarı faktörlerini, etkin liderlik, ılımlı (yardımcı) organizasyonel iklim, teknolojik olarak gerçekçi istekler, gerçekçi bir çizelge ve çaba tahmini, uygun yazılım personeli ve kaynakları, çeşitli ve uyumlu bir takım olarak belirlemiştir.

Bilgi, zaman ve maliyet arasındaki ilişkiler, çıktılar, uygun kaynaklar, performans ve yönetimin kalitesi arasındaki ilişkileri yansıtır. Buna bağlı olarak üretkenliğin teknik faktörlerle (teknikler ve araçlar), kullanıcıların ve proje ekibinin performans değerleriyle ve bu iki faktörle beraber müsait kaynakların da yönetimiyle daha iyi belirlenebileceği öne sürülebilir [9].

1.1 Literatür Özeti

Çizelgeleme problemi, 1900'lü yıllardan beri araştırmacıların dikkatini çekmekte ve pratik önemi nedeniyle literatürde bu probleme yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır [21-26]. Günümüzde, 1918 yılında Henry L. Gantt'ın geliştirdiği Gantt şeması, 1950'lerden sonra geliştirilen CPM (Kritik yol metodu – Critical Path Method) ve PERT (Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği – Program Evaluation and Review Technique) teknikleri de dâhil olmak üzere gerek kesin algoritmalarla, gerekse sezgisel algoritmalarla yapılmış pek çok çalışmaya erişim sağlanabilmektedir.

Basit bir klasik proje çizelgeleme problemi (PSP, Project Scheduling Problem), aktivitelerde kullanılan kaynakların limitsiz olduğu varsayımıyla yola çıkar, buna göre aktivite süreleri kaynak yetersizliği nedeniyle uzamaz ya da aktivitelerin çizelgedeki başlangıç zamanları ertelenmez. Teze konu olan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi (RCPSP – Resource-Constrained Project Scheduling Problem) ise, proje çizelgeleme probleminin özelleştirilmiş bir halidir ve kısıtlı kaynakların ele alınabilmesi amacıyla geliştirilmiştir.

NP-hard problemleri sınıfında bulunduğu Blazewicz vd. [10] tarafından gösterilmiş kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü ile ilgili olarak yapılan pek çok çalışma, İçmeli vd. [11], Herroelen vd. [12], Brucker vd. [13], Hartmann ve Kolisch [14], Kolisch ve Padman [15] gibi araştırmacılar tarafından literatür taramalarında

toplanmıştır. Chang vd. [16] ilgili çözüm yollarını genel olarak iki ana sınıfa ayırmışlardır, bu sınıflar, “kesin metotlar” ve “sezgisel metotlar” olarak tanımlanmıştır.

Kesin metotlar sınıfı, geri izleme, dal-sınır algoritması, kritik yol metodu ve bu metodun çeşitleri ile dinamik programlama gibi pek çok yöntemden oluşur [16]. Sezgisel metotlar sınıfı ise öncelik kural temelli ve meta-sezgisel temelli pek çok yöntemi içerir [17].

Çizelgeleme problemlerine, bilgi teknolojisi projeleri özelinde bakıldığında, proje yönetimi noktasında biri Amerika’da diğeri ise İngiltere’de popüler olan 2 ana proje yönetimi metodolojisinin bulunduğu ve dünya çapında bilgi teknolojisi projelerinin, özellikle de yazılım geliştirme alanındaki projelerin yürütülmesi aşamasında ise yaşam döngülerinin sıklıkla kullanıldığı göze çarpmaktadır [18].

Projelerin çizelgelenmesi aşamasında bu tez çalışmasında konu edilen sezgisel algoritmaların kullanımına literatürde rastlanmaktadır. Genetik algoritmalarla bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesi noktasında 2006’dan bu yana çalışmalara rastlanırken Tabu Arama Algoritması ve Benzetim Tavlama algoritmalarıyla çizelgeleme çalışmalarına 2005 yılından bu yana rastlanmıştır [19 – 24].

1.1 Tezin Amacı

Bilgi teknolojisi projelerinin başarısızlık nedenleri ile ilgili yukarıda verilmiş literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak bu tez çalışmasında, bilgi teknolojisi projelerinin başarıya ulaşması için önemli bir etken olan proje çizelgelemesine yoğunlaşmış ve çizelgenin sapma olasılığını azaltmak amacıyla proje takımı mensuplarının yetenekleri aktivitelerle eşleştirilmiş, maksimum ve minimum performansları da göz önünde bulundurulmuştur.

Bu tez çalışmasında, bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesinde, çalışanların performanslarının atamalar noktasında göz önünde bulundurulduğu bir model önerisi ortaya konacaktır. Teze konu olan yaklaşım, çalışanların değerlendirilmesi için bulanık AHP ve geliştirilmiş bir maksimum-minimum yaklaşımı kullanmaktadır, ikinci aşamada ise yöntemin yürütülmesine uygun olan meta-sezgisel yaklaşımlardan bir kısmı, teker teker uygulanmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde çizelgeleme problemleri

üzerinden çizelgeleme teorisine değinilecek ve kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin tanımlanıp literatür taramasına yer verilecektir. Üçüncü bölümde bilgi teknolojisi projeleri hakkında bilgi verilip dünyada ve Türkiye’de ilgili sektörün ve uygulanan projelerin durumundan bahsedilecektir. Dördüncü bölümde bilgi teknolojisi projelerinde çizelgeleme problemine yönelik literatür taraması sunulacaktır. Beşinci bölümde önerilen modelin adımları anlatılacak ve takip eden bölümde bu modelin uygulaması yapılacaktır. Son olarak tez sonucu verilerek çalışma sonlandırılacaktır.

1.2 Hipotez

Proje çizelgesinin verimliliğinin arttırılması ve tahmin edilen çizelgenin gerçek çizelgeye uyum göstermesi amaçlarıyla, çizelge süresine etkisi bakımından önemli bir kaynak kısıtı olan çalışanların, doğru faaliyetlere atanması gerekmektedir. Projeler hata yapmaz, insanlar yapar. Bu alanda yapılan çalışmalar projelerin gecikmesine ya da iptaline yol açan problemlerin altında yatan nedenlerden biri olarak insanları işaret etmektedir [25].

Literatür taramalarında, insan kaynakları ve özelliklerinin aktivitelerle eşleştirildiği çizelgeleme çalışmalarına [19 – 21, 23] ve proje yönetim metotları içerisinde insan kaynaklarının etkilerini geniş olarak ele almış bir çalışmaya [26] rastlanmakla beraber, çizelgeleme problemi için insan kaynaklarının hem yeteneklerine göre aktivitelerle eşleştirildiği, hem de performans değerlendirmelerinin kaynak atamalarında göz önüne alınması yoluyla, gerçek aktivite süreleri ile çizelgede yer alan sürelerin arasındaki farkların minimizasyonu amacını güden çalışmaların eksikliği hissedilmektedir. Bu tez çalışmasında önerilen modelle, çizelgeleme problemlerinde, çalışanlar performanslarının hem maksimum hem minimumlarının göz önünde bulundurularak değerlendirilecek ve her aktivitenin, yetenekleri aktiviteyle uyum gösteren uygun durumdaki en iyi performansa sahip çalışan tarafından gerçekleştirilmesi sağlanacaktır. Bu sayede, önerilen model ile çalışanlardan kaynaklanan aktivite gecikmelerinin ve dolayısıyla olası çizelge değişikliklerinin minimuma indirildiği daha sağlam çizelgeler ortaya konacaktır.

Takip eden bölümde proje çizelgeleme problemi ve problemin çözümüyle ilgili literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde ayrıca, bu tez çalışmasında

önerilen modelde kullanılmak üzere seçilmiş sezgisel algoritmalar ve parametreleri hakkında genel bilgiye de yer verilmiştir.

PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİNE GENEL BAKIŞ

Çizelgeleme, proje yönetimi biliminin en önemli ve zaruri temellerinden biri olarak sayılmaktadır [27]. Problem, bir projenin aktivitelerini öncelik sırası ve/veya kaynak kısıtlarını dikkate alarak çizelgelemeyi içerir. Açıkça görülen pratik önemi nedeniyle 50'lerin sonlarına dek araştırma konusu olmuştur ve literatürde hatırı sayılır yer tutmaktadır [28].

Lancaster ve Özbayrak'a göre [29], proje çizelgeleme problemi fizibil öncelikleri bulmakla ilgilidir, en iyi çözüm, çeşitli sıralamaların değerlendirilmesiyle proje ağına akla yakın şekilde bağlanmıştır. En basit şekliyle, tek amaçlı proje çizelgeleme problemi genel sürecin minimizasyonu (minimum yapım süresi) ile kısıtlıdır, ancak çalışmalar genellikle daha karmaşık problemlere yönelir.

Proje çizelgeleme probleminin çözümü için sayısız planlama ve çizelgeleme tekniği geliştirilmiştir, bir kısım araştırmacılar bunlar arasında en yaygın olarak, Kritik Yol Metodu (CPM, Critical Path Method), Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT, Program Evaluation and Review Technique), Grafik Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (GERT, Graphical Evaluation and Review Technique) ve Gantt Şeması gibi yöntemlerin kullanıldığını raporlamıştır [30].

Bunları açıklamak gerekirse, bir projede mevcut işlerin şekilsel gösteriminde en basit yöntem 1918 yılında Henry L. Gantt tarafından geliştirilen Gantt şemasıdır. Henry Gantt, 1960'lara kadar proje çizelgeleme için kullanılan yöntem olan çubuk şemaların oluşturulması ve ilerlemeyi raporlaması için bir notasyon sistemi geliştirmiştir, bu

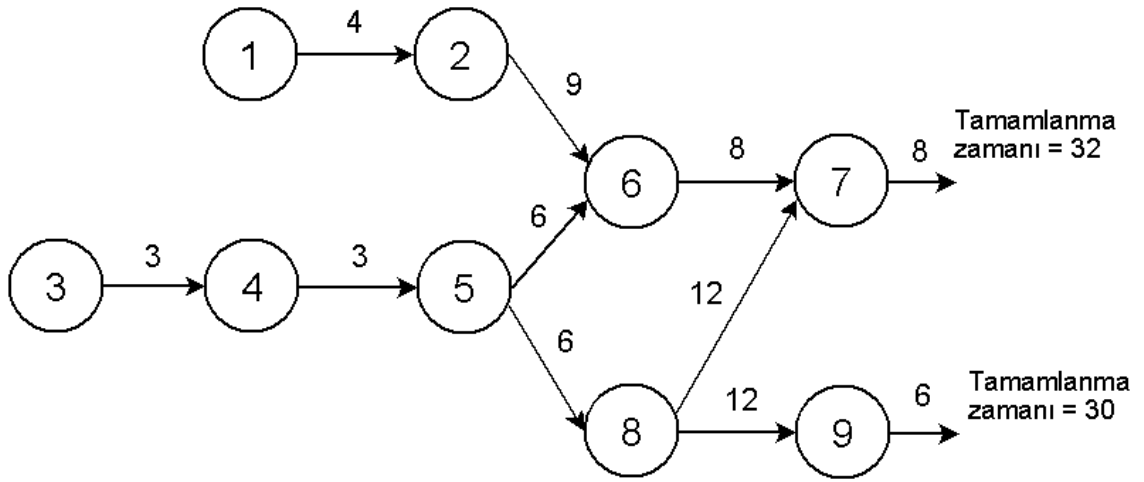
şemalar bu nedenle daha sonra Gantt Şemaları olarak adlandırılmıştır. Gantt şemasının en önemli özelliği projeyi faaliyet boş zamanları olarak ifade ederken her faaliyetin zaman grafiğini ve faaliyetler arası ilişkileri sergilemede kolaylık sağlayan esnekliğıdir [31].

PERT ve CPM ise büyük ölçekli, karmaşık projelerin planlanması, şekilsel gösterimi ve kontrolüne yardımcı olmak üzere 1950'lerden sonra geliştirilmişlerdir. PERT, "Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniğı" Amerikan Deniz Kuvvetleri'nin Polaris adlı silah sistemi projesi sırasında, CPM, "Kritik Yol Metodu" aynı tarihlerde Du Pont ve UNIVAC Division of Remington Rand firmaları tarafından, bitkilerin kimyasal bakımının kontrolünü kurmak amacıyla geliştirilmiştir [31].

PERT yönteminde proje aktivitelerinin işlem süreleri, dolayısıyla proje tamamlanma süresi olasılık içerirken, CPM yönteminde bu süreler sabittir ve önceden belirlenmiştir, dolayısıyla projenin tamamlanma süresi de hesaplanmış bir sabit sayıdır.

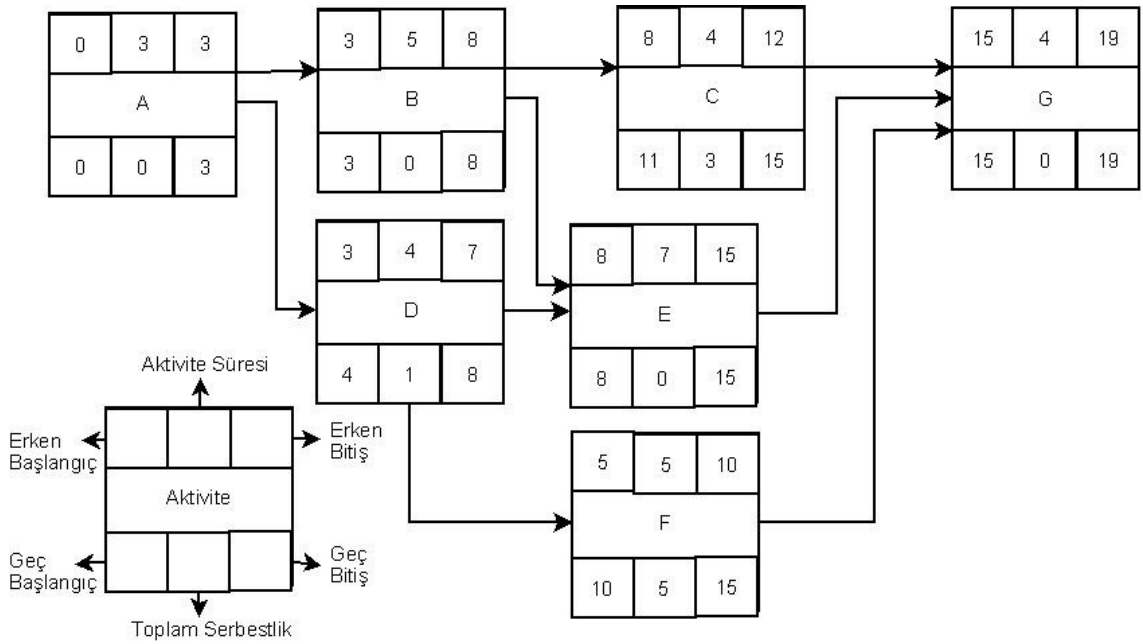
Bir projedeki aktivitelerin öncelik kısıtı miktarları projeyi sözel ya da matematiksel bir model olarak açıklamayı zorlaştırabilir, bu nedenle grafiksel gösterimler sıklıkla kullanılmaktadır [32].

Projelerin çizelgelenmesi için gerekli olan ve faaliyetler arası ilişkilerin belirtilebilmesi için kullanılan öncelik ilişkileri, proje içindeki aktivite çiftlerinin arasındaki zamanlama bilgilerini sağlar. Öncelik kısıtları genellikle, AOA (Activities on Arrows) ve AON (Activities on Nodes) diyagramları üzerinde gösterilirler, AOA, yani oklarda aktivite diyagramında her düğüm bir ağdaki bir olayı belirtir ve aktivite süreleri oklar üzerinde gösterilir (Şekil 2.1). Bu diyagram, genellikle kritik yol metodu ile birlikte kullanılır [32].



Şekil 2.1 AOA öncelik kısıtı grafiği [33]

Alternatifi olan AON ise, düğümde aktivite grafiğidir. Aktiviteler ve bunlarla ilgili bilgiler ağıdaki her bir düğüm üzerinde gösterilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 AON öncelik kısıtı grafiği [34]

2.1 Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi

Basit bir klasik proje çizelgeleme problemi (PSP, Project Scheduling Problem), aktivitelerde kullanılan kaynakların limitsiz olduğu varsayımıyla yola çıkar, buna göre aktivite süreleri kaynak yetersizliği nedeniyle uzamaz ya da aktivitelerin çizelgedeki başlangıç zamanları ertelenmez. Ancak, gerçek hayatta kaynaklar limitsiz değildir. Bu nedenle klasik proje çizelgeleme probleminin en uygun sonucu, farklı kaynak kısıtları

nedeniyle fizibil uzayın dışında kalabilir. PSP modelinin genişletilmiş bir sürümü olarak kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi (RCPP, Resource-Constrained Project Scheduling Problem), kısıtlı kaynakların ele alınabilmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Pinedo'ya [33] göre, çizelgeleme zamana bağlı olarak kısıtlı kaynakların görevlere atanmasıyla ilgilenir ve bir veya daha çok amacın optimizasyonunu hedefleyen bir karar alma sürecidir. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi ise projeyi oluşturan her bir aktiviteye atamak için, kaynak seviyeleri ve öncelik kısıtlarının ihlal edilmemesini sağlayacak başlangıç zamanlarını aramaktadır [34].

Genel olarak kaynak kısıtlı proje çizelgeleme takip eden şekilde tanımlanır. Bir proje, 1'den n 'e kadar numaralanmış ve projenin tamamlanabilmesi için her birinin tamamlanması gereken " n " adet aktiviteden oluşur. Bu n aktivite ile ilgili set $V = \{1, \dots, n\}$ olsun. 1 ve n ile gösterilen aktiviteler, sırasıyla projenin başlangıcını ve bitişini temsil eden süresiz aktivitelerdir. Buna göre, bir j aktivitesinin süresi d_j ile gösteriliyorsa, $d_1 = d_n = 0$ 'dır. K sayıda kaynak tipinden her birinin kullanılabilirliği her bir zaman birimi için R_k birimdir, ($k = 1, \dots, K$). Parametrelerin her biri tamsayı ve pozitiftir. Aktiviteler birbirleriyle öncelik ilişkileri ve kısıtlı kaynak kapasiteleri yönlerinden ilişkilidir. Başka bir deyişle, eğer i aktivitesi, bir j aktivitesinin öncülü ise j aktivitesi i aktivitesi tamamlanmadan başlatılamaz. Projenin yapısı V aktiviteler seti ve A öncelik ilişkilerini ifade eden bir set olmak üzere $G = (V, A)$ şeklinde ifade edilir. j aktivitesinin başarıyla tamamlanmış öncüllerinin seti $S_j(P_j)$ dir.

Kaynak kısıtlı projenin genel ifadesine göre, kaynak kısıtlı proje çizelgelemenin amacı, öncüllük ve kaynak kısıtlarının tatmin edildiği ve başlangıç zamanları $(s_1, s_2, \dots, s_n)$ olmak üzere, $T(S) = s_n$ çizelge süresinin minimize edildiği, S çizelgelerini bulmaktır.

Literatürde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır, takip eden bölümde, bu problem hakkında bir literatür taraması sunulacaktır.

2.2 Literatürdeki Çözüm Yöntemleri

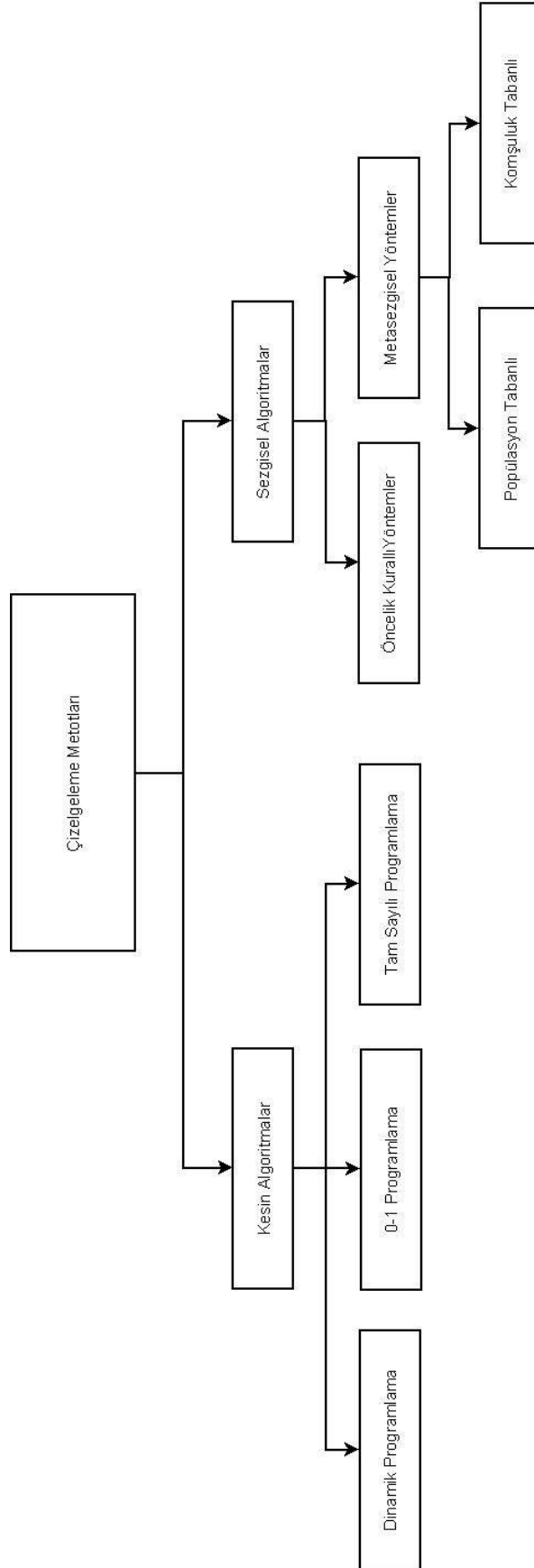
1910’larda Gantt Şeması yöntemi ve 1950’lerde CPM ve PERT yöntemlerinin keşfedilmesiyle beraber pek çok araştırmacı proje çizelgeleme problemleri üzerinde durmuştur. İnternet üzerinden makalelere ulaşmak için tercih edilen sitelerden biri olan Sciencedirect’te yapılan bir arama “proje çizelgeleme” anahtar kelimesine karşılık olarak 35,235 sonuç döndürürken “kaynak kısıtlı proje çizelgeleme” ve “kısıtlı kaynaklarla proje çizelgeleme” anahtar sözcüklerine karşılık olarak sırasıyla 5.248 ve 16.056 sonuç dönmektedir. Yine aynı site aracılığıyla ulaşılabilen ve “kısıtlı kaynaklarla proje çizelgeleme” üzerine en eski makale 1979 yılında yayınlanan bir makaledir.

NP-zor problemleri sınıfında bulunduğu Blazewicz vd. [10] tarafından gösterilmiş kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü ile ilgili olarak yapılan pek çok çalışma, Icmeli vd. [11], Herroelen vd. [12], Brucker vd. [13], Hartmann ve Kolisch [14], Kolisch ve Padman [15] gibi araştırmacılar tarafından literatür taramalarında toplanmıştır. Chang vd. [16] ilgili çözüm yollarını genel olarak iki ana sınıfa ayırmışlardır, bu sınıflar, “kesin metotlar” ve “sezgisel metotlar” olarak tanımlanmıştır.

Kesin metotlar sınıfı, geri izleme, dal-sınır algoritması, kritik yol metodu ve bu metodun çeşitleri ile dinamik programlama gibi pek çok yöntemden oluşur [16]. Fakat bu metotlar arasından problemin çözümü için literatürdeki en başarılı kesin algoritmalar Demeulemeester ve Herroelen [35], Brucker vd.[13], Mingozzi vd.[36], ve Sprecher [37] çalışmaları olarak görülmektedir [38-39].

Çolak v.d. [40], kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin literatürde geniş yer kapladığına dikkat çekerken, ilgili problemin çözümünde kullanılan çeşitli kesin algoritmaları da üç kategoride toplamıştır, bu kategoriler dinamik programlama, sıfır-bir programlama ve tam sayılı programlamadır.

Sezgisel metotlar sınıfı ise Chang vd. [16] tarafından kendi içinde alt sınıflara ayrılarak incelenmektedir. Chang vd. [16], sezgisel metotları stokastik ve deterministik olarak kategorileyen bir yaklaşımda karar kılmış ve örnek vermek gerekirse, bu çalışmada uygulanacak meta-sezgisel algoritmalarından genetik algoritmaları stokastik arama metotları sınıfında incelemiştir. Öte yandan sezgisel algoritmaların sınıflandırılmasında bir diğer yaklaşım, Kolisch ve Hartmann [17] tarafından sunulan, öncelik kural temelli



Şekil 2.3 Çizelgeleme Metotları

sınıf ve meta-sezgisel temelli yaklaşımlar sınıfı olmak üzere 2 sınıfa ayrılmasıdır. Kural temelli sınıfta görevler, tamamlanmamış görev setinden her aşamada sırayla seçilmekte ve bu görevlere ilgili başlangıç zamanları atanmaktadır. Meta-sezgisellerin bulunduğu sınıfta ise var olan bir başlangıç çözümü çeşitli işlemlerden geçirilir ve son çözüme ulaşılır. Buna göre, başlangıç çözümden yola çıkarak çözüme ulaşan genetik algoritmalar, tabu arama algoritması ve benzetim tavlama meta-sezgisel yaklaşımlar sınıfına girmektedir.

2.2.1 Kesin Metotlar

Literatürde, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin çözümü için pek çok kesin algoritma belirtilmiştir. Bu algoritmalar literatür taraması sırasında karşılaşılan çalışmaların bir kısmı Çizelge 2.1’de özet halinde görülebilir.

Çizelge 2.1’den de görülebileceği gibi, literatürde bu problem için kesin metotlardan bazıları dal-sınır algoritması, 0-1 programlama, dinamik programlama şeklinde sayılabilir.

Pritsker ve diğerleri [41], kaynak kısıtlı iş çizelgeleme problemin çözümü için 0-1 doğrusal programlama formülasyonu önermiş ve birden fazla projeyi çizelgelemek için kullanılacak tüm projeler için, toplam üretim zamanını, toplam tamamlanma zamanını veya toplam gecikme zamanını minimize edecek 3 farklı amaç fonksiyonunu göz önünde bulundurmıştır.

Reyck ve Herroelen [42], genelleştirilmiş öncelik ilişkili kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için bir dal-sınır algoritması sunmuş, projenin tamamlanma süresini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Algoritmanın arama ağacındaki düğümler, kendisinden önceki aşamada oluşmuş bir kaynak çatışmasını çözen ekstra öncelik ilişkileriyle genişletilmiş proje ağını temsil eder. Arama ağacının geniş parçalarını aramak için, öncelik ve kaynak bazlı alt sınırlar kadar üstünlük kurallarını da kullanmışlardır.

Çizelge 2.1 Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için kesin algoritmalar [43]

	Yıl	Yazar	Problem Tipi
Dinamik Programlama	1996	Carruthers ve Battersby	RCPSP
0-1 Programlama	1969	Pritsker ve diğerleri	RCPSP
	1974	Patterson ve Huber	RCPSP
	1976	Patterson ve Roth	RCPSP
Dal-Sınır Algoritması	1971	Davis ve Heidorn	RCPSP
	1978	Talbot ve Patterson	RCPSP
	1987	Christodes ve diğerleri	RCPSP
	1992	Demeulemeester ve Herroelen	RCPSP
	1996	Reyck ve Herroelen	RCPSP
	1997	Demeulemeester ve Herroelen	RCPSP
	1998	Brucker ve diğerleri	RCPSP
	1998	Mingozzi ve diğerleri	RCPSP
	2000	Dorndorf ve diğerleri	RCPSP

Demeulemeester ve Herroelen [44], daha önceki çalışmalarını güncelleyerek, 32-bit programlamanın avantajlarını kullanmış, adreslenebilir bilgisayar hafızası, arama stratejisi ve geliştirilmiş bir alt sınırın hesaplama zamanı üzerindeki etkileri üzerine çalışmışlardır.

Brucker ve diğerleri [45], öncelik ilişkileri verilmiş ve aktiviteleri ön ayırma olmadan icra edildikleri süre içinde belirli miktarda yenilenebilir kaynak gerektiren, kaynak kısıtlı bir proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlar, çözüm yöntemi olarak önerdikleri dal-sınır algoritmasında klasik acil seçimleri kullandıkları gibi simetrik üçlüler gibi yeni

türetilmiş durumları da kullanmışlardır. Alt sınırları, ön ayırmalara izin veren ve öncelik kısıtlarını kısmen rahatlatan bir doğrusal programlama modeliyle belirlemişlerdir.

Dorndorf ve diğerleri [46], zaman odaklı bir dal-sınır algoritması öne sürmüşler ve arama uzayını küçültmek için geçici kısıtlar ve kaynak kısıtlarından yararlanan, kaynak-yayma tekniği kullanmışlardır. Test problemleri üzerinde önerdikleri yöntemi kanıtlamışlardır.

2.2.2 Sezgisel Metotlar

RCPSp, lineer programlama ile çözülebilmekle beraber, içerdiği değişken sayısına bağlı olarak çözüm zamanındaki artış problem olmaktadır. Bu nedenle, karar vericiler sıklıkla, optime yakın, iyi sonuçlar üretebilen ve hızlı tekniklerle ilgilenmeye başlamıştır. Bu tekniklere sezgiseller adı verilir. Çizelgeleme teorisinde sezgiseller genellikle öncelik kurallarını işaret eder [33]. Ancak literatürde bu çalışmada da kullanılan genetik algoritmalar, tabu araştırması algoritması ve benzetim tavlama algoritması gibi sezgisellere de rastlanmaktadır.

Çizelge 2.2 Çalışmada kullanılan meta-sezgisellerin standart parametre listesi

Yöntem Adı	Parametreleri
Genetik Algoritmalar	Çaprazlama Olasılığı Mutasyon Olasılığı Popülasyon Büyüklüğü
Tabu Arama Algoritması	Tabu Listesi uzunluğu
Benzetim Tavlama	Tavlama oranı Başlangıç Sıcaklığı

2.2.2.1 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, biyolojik evrimin işleyiş biçimini taklit eden ve doğal seleksiyon mekanizmasına dayanan sayısal optimizasyon algoritmalarıdır [47]. İlk defa, 1975

yılında John Holland tarafından ortaya konulmuştur [48]. Ancak, pratikteki değerleri, Holland'ın tarafından değil, öğrencisi Goldberg tarafından gösterilmiştir. Goldberg, 1983 yılında gaz borusu hatlarının denetiminde genetik algoritmaları kullanarak [49] , 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı Ödülünü kazanmıştır [47, 50].

GA'ların avantajları;

- Sürekli ve ayırık parametreleri optimize etmesi
- Türevsel bilgiler gerektirmemesi
- Amaç fonksiyonunu geniş bir spektrumda araştırması
- Çok sayıda parametrelerle çalışma imkânı olması,
- Paralel PC'ler kullanılarak çalıştırılabilmesi
- Karmaşık amaç fonksiyonu parametrelerini, yerel minimum veya maksimumlara takılmadan optimize edebilmesi
- Sadece tek çözüm değil, birden fazla parametrenin optimum çözümlerini elde edebilmesi

olarak sıralanabilir [51].

2.2.2.1.1 Genetik Algoritmalarla ilgili Temel Kavramlar

GA'nın temel kavramları isimlerini, genetik algoritmaların dayandığı biyolojik evrim mekanizmasının öğelerinden alır ve GA parametreleriyle, evrim öğelerinin işlevleri birbirine benzerdir. Bu bölümde, Genetik Algoritmaları kavrayabilmek için gerekli olan temel kavramlar ve parametrelerden bahsedilmektedir.

Popülasyon: GA'nın ilgili iterasyonunda geçerli olan alternatifler kümesine verilen isimdir. Bu alternatifler kümesinin büyüklüğü, problemin çözümü için önemli parametrelerdendir. Popülasyon büyüklüğü ilgili genel bir kural bulunmamakla birlikte, bu değer çok küçük olması yerel optimuma riskini, çok büyük olması ise çözüme ulaşma zamanını arttırmaktadır. Problemin çözümü esnasında bu büyüklük değiştirilebildiği gibi sabit de tutulabilir [52].

Popülasyonun uygunluğu, belirli kurallar dâhilinde maksimize veya minimize edilir. Her yeni nesil, rastgele bilgi değişimi ile oluşturulan diziler içinde hayatta kalanların birleştirilmesi ile elde edilmektedir [51].

Goldberg, popülasyon büyüklüğü için, yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir hesaplama yöntemi sunmuştur.[53] İşçi ve Korukoğlu [54] ise, çok büyük popülasyon büyüklüğünün GA'nın çözüm hızını arttırmadığını söylemiş ve iyi bir popülasyon büyüklüğünün yaklaşık olarak 20-30 olması gerektiğini yazmıştır, bununla birlikte bazı problemlerde 50-100 arası popülasyon büyüklüğünün daha iyi sonuç verebileceğini de eklemiştir [54].

Kromozom: Aday çözümlerin, yani popülasyondaki bireylerin her birine kromozom adı verilir. Bir ya da daha fazla genin bir araya gelmesi ile oluşan ve problemin çözümü için gerekli tüm bilgiyi üzerinde taşıyan genetik yapılardır [50]. Bir iterasyondaki toplam kromozom sayısı popülasyon büyüklüğünü oluşturur.

Gen: Kromozomları oluşturan ve anlamlı bilgi taşıyan en küçük parçaya gen adı verilir [50]. Problemin çözümüne geçilmeden önce, optimize edilmesi gereken parametrelerin istenilen şekle dönüştürülmesi gerekir. Bu işleme kodlama (encoding) denir. Kodlama GA için önemli bir konudur, çünkü sistemden gözlemlenen bilgiye bakış açısı büyük ölçüde sınırlandırılabilir. Gen dizisi probleme özel bilgiyi depolar ve gen olarak adlandırılan bu öğeler, genellikle değişkenler dizisi olarak ifade edilir. Değişkenler ikili veya reel sayı şeklinde gösterilebilir ve aralığı probleme özel olarak tanımlanır [51].

Örneğin, kromozomun kodlama biçimi ikili (binary) ise, genler 0 ya da 1 değeri alırken, “permütasyon” kodlamanın kullanıldığı durumlarda farklı rakamlar alabilir.

1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Binary kodlama örneği

11	5	10	3	8	12	6	7	14	9	1	15	4	2	13
----	---	----	---	---	----	---	---	----	---	---	----	---	---	----

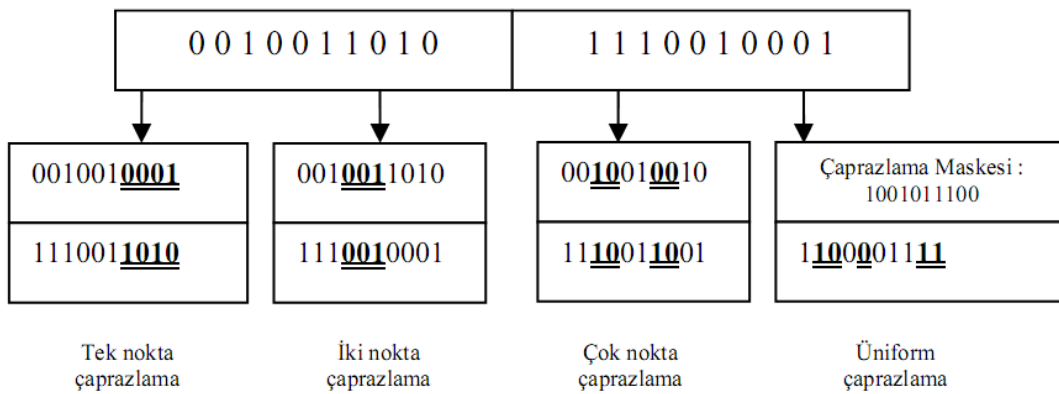
Permütasyon kodlama örneği

Çaprazlama: Çaprazlama, genetik algoritma uygulamalarında kullanılan en önemli operatördür [47]. İki kromozomun (çözümün) birbirleri arasında gen alışverişi yaparak iki yeni kromozom oluşturma işlemidir [50]. Bu operatörün işleme konulma olasılığına “çaprazlama olasılığı” adı verilmektedir. Çaprazlama olasılığı, popülasyon büyüklüğü gibi çözüme etkisi büyük olan parametrelerdendir. Bu değer artışı farklı çözümlerin

üretilmesini sağlamakta ancak aynı zamanda iyi çözümlerin bozulma olasılığını da arttırmaktadır [52].

Problemin yapısına göre seçilebilecek farklı çeşitleri bulunmaktadır [47]:

- **Tek noktalı çaprazlama:** Genetik algoritmanın kullandığı en basit çaprazlamadır. Rastgele seçilen bir kromozom çiftine, rastgele seçilen bir noktadan çaprazlama uygulanır. Ebeveynler bu çaprazlama noktasından ayrılarak kuyrukları yer değiştirilir. Bu şekilde iki yeni çocuk (çözüm) yaratılmış olur.
- **İki noktalı çaprazlama:** İki nokta çaprazlamada iki nokta arasında kalan alt dizilerin değiştirilmesiyle iki yeni birey elde edilir.
- **Çok nokta çaprazlama:** İki nokta çaprazlamanın gelişmiş bir halidir. Kromozomlar daha fazla parçalara ayrılır ve bir atlanarak elde edilen çiftler arasında değiştirilerek yeni bireyler elde edilir.
- **Üniform çaprazlama:** Rastgele oluşturulmuş bir çaprazlama maskesi temel alınarak, birinci ve ikinci kromozomda karşılık gelen genin kopyalanmasıyla yapılır. Çaprazlama maskesinde yer alan birler o genin birinci kromozomdan, sıfırlar ise o genin ikinci kromozomda kopyalanacağı anlamına gelmektedir.



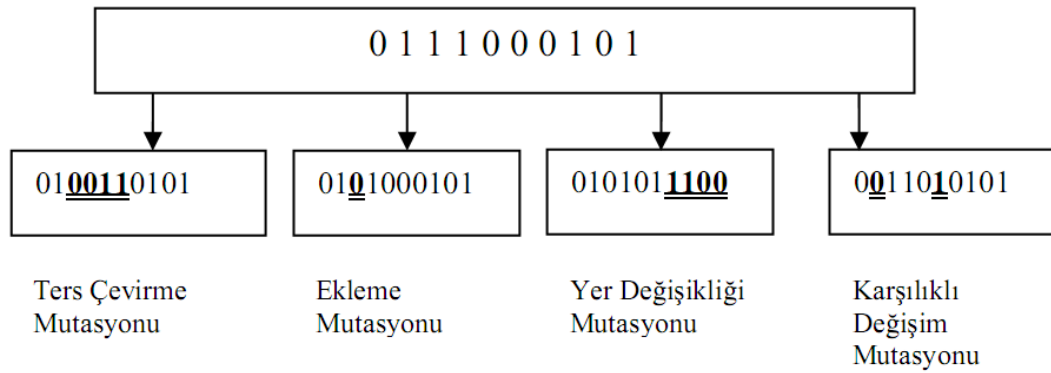
Şekil 2.4 Çaprazlama yöntemleri ve etkileri [47]

Mutasyon: Mutasyon GA'lardaki operasyonda karar verici olarak ikinci derecede rol oynar. Kromozomun taşıdığı genetik bilgide rastgele değişim olmasıdır [50] ya da mevcut kromozomların genlerinin bir ya da birkaçını değiştirerek yeni kromozomlar elde etme işlemidir. Yeniden ve sürekli yeni nesil üretimi sonucunda belirli bir süre sonra nesildeki kromozomlar birbirini tekrarlama konumuna gelebilir ve bunun sonucunda farklı kromozom üretimi durabilir veya çok azalabilir. İşte bu sebeple nesildeki kromozomların çeşitliliğini arttırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğratılır [54].

İşleme konulma olasılığına “mutasyon olasılığı” adı verilir. Mutasyon olasılığındaki artış, genetik aramayı rastsallaştırır, ancak kayıp genetik malzemeyi bulmaya da yardımcı olur [52].

Pek çok mutasyon çeşidi olmakla beraber, Borat ve diğerlerine göre [47], mutasyon operatörü olarak, ele alınan problemin yapısına göre aşağıdakilerden en uygun olan seçilebilir:

- Ters çevirme
- Ekleme
- Yer değişikliği
- Karşılıklı Değişim



Şekil 2.5 Mutasyon yöntemleri ve etkileri [47]

Hızlı yakınsamadan kurtulmanın yolu, araştırma uzayında, mutasyon aracılığıyla yeni çözümler elde etmektir. İkili kodlu genetik algoritmada, mutasyon oranı %1-%5 arasında değiştirilirse iyi sonuçlar elde edilir [55]. Gerçek kodlu GA’da mutasyon oranı ise daha yüksektir [54].

Seçim: Seçim bir kromozom havuzundaki kromozomlardan hangilerinin yeni oluşturulacak havuza aktarılacağını, kromozomların uygunluk değerleri dikkate alınarak belirlenmesidir [50]. GA’da popülasyonlar arasında geçişleri ve yeni popülasyonun üretimini sağlamak için çeşitli seçim operatörleri kullanılabilir. Aşağıda bunlardan bazıları sunulmuştur [51]:

- **Rastgele seçim:** Kromozomlar 1’den n’e kadar sıralanır ve 2 adet rastgele sayı üretilerek ebeveyn kromozomlar belirlenir.

- **Ağırlıklı seçim:** Kromozomlar, uygunluk değerleri hesaplanarak iyiden kötüye doğru sıraya konulurlar. Genellikle popülasyon büyüklüğünün yarısı kadar kromozom elde tutularak, elde tutulan bireylerin daha iyi olan yarısı eşleştirme için kullanılır.
- **Ağırlıklı rastgele seçim:** Bu yöntemde, eşleştirme havuzundaki kromozomların eşleştirilme ihtimali uygunluk değerlerine göre belirlenir. Buna göre, en iyi uygunluk değerine sahip kromozomun eşleştirilme ihtimali en yüksektir.
- **Rulet Çarkı:** Rulet çarkı seçim metoduna göre, kromozomların seçim ihtimalleri, kromozomun uygunluk değerleri / uygunluk değerlerinin toplamı olarak belirlenir. Kümülatif ihtimaller hesaplanır. Seçim aşamasında, popülasyon büyüklüğü kadar, 0-1 arasında rastgele sayı üretilerek, kromozomun kümülatif seçim ihtimalinin rastgele sayıdan küçük olup olmadığına bakılır. Küçük ise kromozom seçilir, değilse bir sonraki kromozom kontrol edilir.

Seçkinlik (Elitizm): Bu işlem, şu anki nesilden sonraki nesle aktarılan bir grup bireyin seçimini kapsar. Mutasyona uğratılmaksızın, sonraki nesle aktarılan bireylerin sayısı, nesil boşluğu olarak işaret edilir. Eğer nesil boşluğu sıfırsa; yeni nesil, sadece yeni bireylerin girişleriyle oluşur. [51]

2.2.2.1.2 Genetik Algoritmaların Yapısı

Basit bir genetik algoritma uygulaması için takip edilecek adımlar şu şekildedir [56]:

- Adım 1: Başlangıç popülasyonunu rastlantısal olarak üret.
- Adım 2: Popülasyon içindeki tüm kromozomların amaç fonksiyonu değerlerini hesapla.
- Adım 3: Seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörlerini uygula.
- Adım 4: Oluşturulan her yeni kromozomun amaç fonksiyonu değerlerini bul.
- Adım 5: Amaç fonksiyonu değerleri kötü olan kromozomları popülasyondan çıkar.
- Adım 6: Önceden belirlenen kuşak sayısı boyunca 3-5 arasındaki adımları tekrar et.

2.2.2.1.3 Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları ve Proje Çizelgeleme

Bolat ve diğerleri [47], yaptıkları literatür taraması sonucunda genetik algoritmaların, araştırma alanı geniş ve karmaşık ise, konuyla ilgili bilgi az ya da eldeki bilgi araştırma alanını daraltmada yeterli değilse, matematiksel analiz elde edilemiyorsa veya geleneksel araştırma metotları ile başarısız olunmuş, iyi sonuç alınmamışsa kullanıldığı sonucuna varmıştır [47].

Günümüzde, genetik algoritmalar, deneysel çalışmalarda optimizasyon aşamasında, endüstriyel uygulamalarda ve sınıflandırmalarda uygulama alanı bulunmaktadır. Mühendislik alanında en çok optimizasyon amaçlı olarak kullanılmakta ve diğer klasik yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedir [47].

Emel ve diğerleri [52], genetik algoritmaların özellikle çözüm uzayının geniş, süreksiz ve karmaşık olduğu problem tiplerinde başarılı sonuçlar verdiği bilgisini tekrarlamış, ardından, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamalarının bulunduğunu eklemiştir [52].

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine çözüm arayışında genetik algoritmalar 10 yıldan fazla süredir kullanılmaktadır (Çizelge 2.3).

Hartmann [57], problemin çözümü için probleme özel veriler içeren ve permütasyon bazlı genetik kodlama kullanan bir genetik algoritma yaklaşımı öne sürmüştür. Bu metodu, öncelik değeri ve öncelik kuralı temelli gösterimler içeren 2 ayrı genetik algoritma yaklaşımının yanı sıra öncelik kural temelli rastgele örnekleme prosedürü ile de karşılaştırarak ortaya koyduğu yaklaşımı kanıtlama yoluna gitmiştir.

Daha sonra 2001 yılında Alcaraz ve Maroto [58], gösterimde çizelge yapısının kurulmasına yardımcı olarak kullanılan fazladan bir bit ve farklı operatörler içeren bir genetik algoritma yaklaşımı öne sürmüşlerdir. Yaklaşım ileriye ve geriye doğru işleyerek çizelge oluşturmakta ve çaprazlama prosedürünü gerçekleştirmektedir. Mutasyon operatörü olarak benzetim tavlama algoritması kullanılmıştır.

Öte yandan Sakalauskas [59], bir ürün çizelgelemesi üzerinde çalışmış ve izin verilen iş önceliği listeleri yardımıyla, her birinden 480 adet olmak üzere 30, 60 ve 90 işli problem setinin yanına ek olarak 120 iş içeren 600 problem üzerinde önerdikleri genetik algoritma yaklaşımını denemiştir. Buna göre 30 ve 60 işli problemlerde 0,3 mutasyon oranı ve 20 birey içeren popülasyonların, 90 ve 120 işli problemlerde ise mutasyon oranı aynı kalmasına karşın 40 birey içeren popülasyonların daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Çizelge 2.3 Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için genetik algoritmalar

Genetik Algoritmalar	Yazar	Yıl	Fazladan Özellikler	Operatörler	
				Çaprazlama	Mutasyon
	Hartmann	1997	Yok	Tek-nokta, çift-nokta, uniform	Bitişik Değiştirme
	Alcaraz ve Maroto	2001	Genotipler çiftler olarak gösteriliyor	Öncelik Çaprazlama, İleri/Geri Çaprazlama	Benzetim Tavlama algoritması
	Debels ve Vanhouke	2005a	Bi-population	Genişletilmiş iki-noktalı	-----
	Sakalauskas	2006	İzin verilen iş öncelik listeleri	Tüm liste çiftleri üzerinde tek noktalı çaprazlama	Rastgele iki noktayı değiştir/kaydır
	Franco ve diğerleri	2007	-----	Tek ve çift noktalı çaprazlama	Rastgele iki noktayı değiştir
	Paksoy ve Uzun	2008	Öncelik Kuralları	Çift noktalı çaprazlama	-----
	Kim ve Ellis	2008	-----	Tek noktalı çaprazlama	Rastgele iki noktayı değiştir

Franco ve diğerleri [60], 30 ve 60 aktivite içeren problemleri 100 bireyli popülasyonlarla çaprazlama operatörünü değiştirerek çözümlemiş ve 30 aktivite içeren problemlerde söz konusu parametreler dâhilinde çift noktalı çaprazlama operatörünün tek noktalı çaprazlama operatörüne göre daha iyi sonuçlar verdiğini saptamış, ancak değişikliklere karşın dikkate değer bir farklılık sonucuna ulaşamamışlardır.

Paksoy ve Uzun'un 2008 yılında yaptığı araştırmada [61], genetik algoritma yaklaşımını 32 faaliyetli bir problemde 20 birey içeren bir popülasyonda, 2 noktalı çaprazlama operatörü ve 0,5 çaprazlama ve mutasyon oranlarıyla test etmiş, 500 ve 1000 nesil sayılarında yaptıkları testlerde 500 nesil sayısında daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Buna dayanarak, genetik algoritmalarda iterasyon artırılması yoluyla çözüm uzayının genişletilmesinin daha iyi sonuçlar verme açısından yeterli olmadığını söylemişlerdir.

Araştırmalarında, parametrelerin farklı kombinasyonlarının kullanılması ve en iyi çözümü veren parametrelerin seçilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Öte yandan Kim ve Ellis [62], Hartmann [57] gibi, permütasyon temelli bir yaklaşım benimsemiş ve 60 veya daha fazla aktivite içeren projelerin çizelgelenmesinde uygulamıştır. Yeni bireyler oluşturmak için tek noktalı çaprazlama ve üniform mutasyon operatörlerini kullanan Kim ve Ellis [62], seçim operatörü olarak elitist rulet çarkını önermiştir. Parametreler üzerinde yaptıkları değişiklikler sonucu, çaprazlama veya mutasyon operatörünün işleme alınmadığı durumlarda algoritmanın en iyi sonuca ulaşamadığını göstermiş ve üzerinde çalıştıkları problem için en iyi parametreler olarak popülasyon büyüklüğü, çaprazlama olasılığı ve mutasyon olasılığını sırasıyla 100, 0.5 ve 0.03 olarak belirlemişlerdir.

2.2.2.2 Tabu Arama Algoritması

Tabu Arama algoritması, komşuluk yapısına dayanan iteratif bir sezgisel algoritmadır. 1989 yılında Glover tarafından geliştirilmiştir.

Temel olarak belirli bir problemin çözümüne ulaşmak için, elde edilen çözümde hareketle komşuluklar oluşturmaktır. Sonraki bölümde açıklanacak olan tabu listesi ve iterasyonlardaki değişken komşu çözüm sayısı, bir tür tabulaştırma görevi yaparak kötü sonuç veren bölgelerde daha fazla işlem yapılmamasını (bu elemanların komşu sayılarının azaltılmasını), istenen çözüme daha az hesaplama ile, dolayısıyla daha hızlı ulaşılmasını sağlamaktadır. İyi sonuç veren parametrelerin bir sonraki iterasyonda komşu sayıları artmakta, böylece algoritmanın verimliliği de artmış olmaktadır [63].

Bu yöntem, optimal veya optime yakın çözümleri bulmak için çözüm uzayını araştırır. Kombinatoriyal problemlerde kullanılan sezgisel optimizasyon tekniklerinden en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Tabu arama, seçilen herhangi bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Mevcut çözümün tanımlanan bir hareket mekanizmasına göre komşuluğu oluşturulur ve bu komşuluk içinden en iyi amaç değerine sahip olan çözüm eğer tabu sınıfına girmiyorsa yeni mevcut çözüm olarak seçilir. Yöntemde tabu sınıflarının belirlenmesi için kısa dönemli hafıza (tabu listesi) kullanılır. Belli bir iterasyon seviyesinde veya iyileşme olmadığında arama durdurulur [64].

2.2.2.2.1 Tabu Arama Algoritmasıyla ilgili Temel Kavramlar

Bu bölümde, Tabu Arama Algoritmasını kavrayabilmek için gerekli olan temel kavramlar ve parametrelerden bahsedilmektedir.

Hareket mekanizması: Hareket mekanizması mevcut çözümde yapılan bir değişiklik ile elde edilebilecek yeni çözümleri belirler. Problem yapısına bağlı olarak belirlenir, ancak uygun şekilde seçilmesi Tabu Arama algoritmasının performansını artırır.

Aday liste stratejileri: Mevcut çözümün komşu çözüm kümesi geniş ve/veya bu kümedeki elemanların değerlendirilmesinin hesaplama maliyeti yüksekse, aday liste stratejileri kullanılır. Problemin yapısına göre ya da genel stratejilere göre oluşturulabilirler [56].

Örneğin, elit aday liste yaklaşımında, öncelikle tüm (veya göreceli olarak fazla sayıda) hareketler araştırarak bulunan en iyi k tane hareketten oluşan bir “ana liste” hazırlanır. Daha sonra, her iterasyonda, ana listedeki mevcut en iyi hareket seçilir. Listedeki hareketlerin kalitesi belli bir değerin altına düştüğünde veya belli sayıda iterasyon tamamlandığında yeni bir ana liste oluşturularak aynı işlemler tekrarlanır. Bu strateji, herhangi bir iterasyonda seçilmemiş fakat iyi olan bir hareketin, daha sonraki bazı iterasyonlarda da iyi hareket olacağı düşüncesine dayalıdır.

Hafıza yapısı: Tabu listesi, tabu arama algoritmasında kullanılan kısa dönem hafızaya karşılık gelir. Bu liste, arama işlemini kontrol etmek için kullanılan esnek hafızadır ve karşılaşılan durumlar hakkındaki seçici bilgileri, yani uygulayıcı tarafından belirlenmiş olan uzunluğuna eşit sayıda iterasyonun hareketlerini içerir [56]. Tabu listesinde kayıtlı olan bu hareketlere tabu hareketleri adı verilir. Eğer bir hareket tabu hareketiyse ve tabu yıkma kriterini karşılamıyorsa gerçekleştirilmez.

Tabu listesinin en temel rolü çember çizmekten kaçınmayı sağlamaktır, ek olarak yerel en iyi tuzakına düşmemeyi sağlar ve aramayı güçlendirir [56]. Eğer uzunluğu çok kısa belirlenirse işlevini yerine getiremeyebilir, ancak çok uzun olması halinde de çok fazla sınırlama yaratır ve tabu listesi uzunluğundaki artışla ziyaret edilen çözümlerin ortalama değerinin arttığı gözlenmiştir [65]. Yani, hareketlerin çoğu tabu olduğundan bulunan iyi çözümlerin kalitesi düşmektedir [56].

Tabu listeleri yeniliğe dayanan hafıza yapısı kullanılmaktadır, buna göre en son harekete göre hafıza güncellenmekte ve en eski bilgi hafızadan çıkartılmaktadır [56].

Bu karşılık olarak, Tabu Arama algoritmasının uzun dönemli hafıza yapısı da bulunmaktadır. Bu yapı içerisinde arama sırasında elde edilen bilgiler tutulur. Örneğin, en iyi çözüm değeri uzun dönem hafızada tutulmaktadır.

Tabu yıkma kriterleri: Tabu yıkma kriterleri, tabu olan bir hareketin yasak olmasına rağmen yapılabileceği durumları belirtmek için kullanılır [56].

En basit ve en yaygın tabu yıkma kriteri, bir hareketin tabu listesinin içinde olmasına karşın çok iyi sonuç verdiği durumlarda hareketin gerçekleştirilebilmesi için kullanılır [56]. Buna göre, eğer bir tabu hareketi o ana dek elde edilmiş tüm sonuçlardan daha iyi bir sonuç sağlıyorsa, tabu sınıflaması göz ardı edilerek hareket gerçekleştirilir [65].

Kullanılan diğer tabu yöntemlerinden bazıları şunlardır [56]:

- **Yokluğa göre:** Eğer tüm mümkün hareketler tabu ise, içlerinden tabu süresinin bitmesi en yakın olan seçilerek gerçekleştirilir.
- **Arama yönüne göre:** Eğer bir hareket, arama yönünü iyi yönde değiştiriyorsa tabu olmasına rağmen seçilir.

Durdurma koşulu: Tabu arama algoritması, uygulayıcının isteğine bağlı olarak, belirli bir iterasyon sayısında ya da belirli sayıda iterasyonda en iyi çözümün değişmemesi gibi koşulların gerçekleşmesi halinde bitirilebilir. Bu işlemi gerçekleştiren koşula durdurma koşulu adı verilmektedir [65].

Uygulamalarda genellikle aşağıdaki durdurma koşullarından biri ya da birkaçı dikkate alınmaktadır [56]:

- En iyi çözümü bilinen problemlerde en iyi çözümün bulunması,
- İzin verilen en büyük iterasyon sayısına ulaşılması,
- Mevcut çözümde daha fazla iyileştirme sağlanamaması.

2.2.2.2.2 Tabu Arama Algoritması Yapısı

Basit bir Tabu Arama algoritması için takip edilecek adımlar şu şekildedir [56, 65, 66]:

- **Adım 1:** Başlangıç çözümü rastlantısal olarak üret.
- **Adım 2:** Mevcut çözümün komşularını belirle ve bu aday çözümlerin amaç fonksiyonu değerlerini hesapla.
- **Adım 3:** Çözümleri değerlendir, tabu listesinde olmayan ya da tabu yıkma kriterlerini karşılayan, (kabul edilebilir) en iyi çözümü seç.
- **Adım 4:** Eğer kabul edilebilir en iyi çözümün uygunluk değeri, o ana kadar ki en iyi uygunluk değerinden iyiye yeni çözümü en iyi olarak ata.
- **Adım 5:** Tabu listesini ve tabu yıkma kriterini güncelle.
- **Adım 6:** Durdurma kriterini kontrol et, tatmin edilmişse bitir. Aksi takdirde Adım 2'ye git.

2.2.2.2.3 Tabu Arama Algoritmasının Kullanım Alanları ve Proje Çizelgeleme

Tabu araştırması olarak adlandırılan sezgisel metot, özellikle pratik problemlerin çözümü konusundaki sınırları hatırı sayılır biçimde değiştirmiştir. Günümüzde Tabu araştırması uygulamaları, kaynak planlaması, telekomünikasyon, finansal analiz, çizelgeleme, alan planlaması, enerji dağıtımı, moleküler mühendislik, lojistik, atık yönetimi, esnek imalat, mineral çıkarımı, biyomedikal analizler gibi pek çok alanı kapsamaktadır. Geçtiğimiz yıllarda, çeşitli alanlardaki dergiler, tabu araştırmasının başarıyla ele aldığı ve genellikle önceki metotlarla elde edilmiş sonuçları önemli şekilde aştığı problemlerin hesapsal sonuçlarını ve metot hakkındaki eğitici çalışmaları yayınlamıştır [67]. Çizelge 2.4'te de görüldüğü üzere, çizelgelenme problemlerinde kullanılan diğer bir sezgisel algoritma da Tabu Arama Algoritmasıdır. İlgili algoritma kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde de kullanılmaktadır.

Çizelge 2.4 Tabu araştırması uygulamaları [67]

Çizelgeleme	Telekomünikasyon
Akış-Zamanı Hücre İmalat	Çağrı Yönlendirme
Heterojen İşlemci Çizelgeleme	Bant genişliği paketleme
İşgücü Planlama	Merkez Tesis Yerleşimi
Sınıf Çizelgeleme	Rota Ataması
Makine Çizelgeleme	Hizmetler için Ağ Tasarımı
Akış Tipi Çizelgeleme	Müşteri İndirimleri Planlaması
Sıralama ve Harmanlama	Hata Bağışıklık Yapısı

Tasarım Bilgisayar-Destekli Tasarım Hata Tahammüllü Ağlar Taşıma Ağı Tasarımı Mimari Alan Planlama Diagram Tutarlılığı Sabit Fiyatlı Ağ Tasarımı Düzensiz Kesme Problemleri	Üretim, Envanter ve Yatırım Esnek İmalat Tam Zamanında Üretim Yetkilendirilmiş MRP Parça Seçimi Çoklu-öge Envanter Planlama Hacim İndirim Hedefi Sabit Yatırım Karışımı
Konum ve Tahsis Çoklu imtia Yerleşimi/Tahsisi Kvadratik Atama Kvadratik Yarı-Atama Çoklu Seviye Genelleştirilmiş Atama Yerleşim Planlaması Kıyı Yağ Sondalaması	Rotalama Araç Rotalama Kapasitelendirilmiş Rotalama Zaman Çerçevesi Rotalama Çoklu-Mod Rotalama Karıştırılmış Filo Rotalama Gezgin Satıcı Gezgin Dağıtıcı
Mantık ve Yapay Zeka Maksimum Memnuniyet Olasılıklı Mantık Kümeleme Desen Tanılama/Sınıflandırma Veri Bütünlüğü Yapay Sinir Ağları Eğitimi ve Tasarımı	Grafik Optimizasyonu Grafik Bölme Grafik Renklendirme Hizip Bölme Maksimum Hizip Problemleri Maksimum Planlayıcı Grafikler P-Medyan Problemleri
Teknoloji Sismik Değişirme Elektriksel Güç Dağıtımı Mühendislik Yapı Tasarımı Minimum Hacim Elipsoitleri Uzay İstasyon İnşası Devre Hücre Yerleşimi	Genel Kombinasyonel Optimizasyon 0-1 Programlama Sabit Fiyat Optimizasyonu Konveks ve Doğrusal olmayan Programlama Hep ya da Hiç Ağlar İki seviyeli Programlama Genel Karışık Tam sayılı Optimizasyon

Thomas ve Salhi [34], periyodik olarak yenilenebilen sınırlı kaynaklara sahip bir projenin süresini kısaltmaya yönelik bir tabu arama algoritması üzerinde çalışmışlardır. Maksimum iterasyon sayısını 10.000 ve çeşitlendirme iterasyon sayısını 200 olarak belirlemişler, tabu araştırması için başlangıç çözümlerini ise literatürdeki 4 makaleden almışlardır. Önerdikleri yöntemi literatürdeki pek çok algoritmayla karşılaştırarak yararlılığını kanıtlamışlardır.

Çizelge 2.5 Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için tabu arama algoritması

Tabu Arama Algoritması	Yazar	Yıl	Hafıza Kullanımı	Problem Tipi
	Thomas ve Salhi	1998	Uzun ve kısa	RCPSP
	Tsai ve Gemmill	1998	Uzun ve kısa	Stokastik RCPSP
	Al-Fawzan ve Haouari	2005	Uzun ve kısa	Çift amaçlı RCPSP
	Lambrechts ve diğerleri	2008	Uzun ve kısa	Sağlam RCPSP
	Mika ve diğerleri	2008	Uzun ve kısa	Çoklu RCPSP
	Pan ve diğerleri	2008	Uzun ve kısa	-----

Tsai ve Gemmill [68], tabu araştırmasını rastgele aktivite süreli ve kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin çözümü için önermişler, algoritmada çoklu tabu listeleri, rastgele kısa süreli hafıza ve çoklu başlangıç çizelgeleri kullanmışlardır.

Öte yandan, literatürde kaynak kısıtlı projelerde, proje süresi ile ilgili riskleri azaltmak için, çizelgenin değişmezliğini (sağlamlığını) hedefleyen çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda proje süresine serbest boşluklar eklenmektedir [69 – 70]. Al-Fawzan ve Haouri [69], proje süresini kısaltırken çizelgenin sağlamlığını maksimize edecek bir iki amaçlı model üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar, sağlamlığı, kontrol edilemeyen faktörlerden kaynaklanan sorunları, çizelgedeki ufak süre artırımlarıyla telafi edebilme yeteneği olarak tanımlamışlar ve bu gibi etkilerin projenin tamamlanma süresini sınırlı şekilde etkileyebilmesini hedeflemişlerdir. Yöntemi 480 karşılaştırma problemi üzerinde denemiş ve olumlu sonuçlara ulaşmışlardır.

Lambrechts ve diğerleri [70], projenin hayata geçirilmesi sırasında meydana gelebilen ve stokastik kaynak uygunlukları ile ilgili olan kesintileri önlemeyi ve durağan bir

referans noktası oluşturacak çizelgeyi bulmayı hedeflemişlerdir. Tabu araştırmasına dayanan yöntemde iki komşuluk yapısı kullanarak öncelik, kaynak ve tarih kısıtlarını göz önünde bulundurmuşlar ve yöntemi 30 aktivite içeren 480 problem üzerinde test ederek sunmuşlardır.

Mika ve diğerleri [71], çizelgeye bağlı hazırlık zamanları olan çoklu bir kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin çözümü için tabu araştırması yöntemini önermişlerdir. Yöntemi, çok başlangıçlı iteratif gelişim metoduyla kıyaslamışlar ve etkisini kanıtlamışlardır.

Pan ve diğerleri [72], ise geleneksel Tabu Araştırması algoritmasının başlangıç çözümü bulma işlemini değiştirerek geliştirilmiş bir yöntem önermiş, yöntemin parametrelerini duyarlılık analizi ile seçmiştir.

2.2.2.3 Benzetim Tavlama Algoritması

Benzetim Tavlama Algoritması, kombinatoriyal en iyileme problemleri için iyi çözümler veren stokastik bir arama yöntemidir. İsmi, katıların fiziksel tavlama süreci ile olan benzerlikten ileri gelmektedir. Birbirlerinden bağımsız olarak, 1983 yılında Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından ve 1985 yılında Cerny tarafından ortaya konmuştur. Komşu arama yöntemine dayalı algoritmalarından birisidir ve komşu aramanın basit bir şekli olan “İniş (descent) algoritması”yla, keyfi olarak seçilen bir başlangıç çözümden başlayarak aramaya başlar [56].

2.2.2.3.1 Benzetim Tavlama Algoritmasıyla ilgili Temel Kavramlar

Bu bölümde, Benzetim Tavlama Algoritmasını kavrayabilmek için gerekli olan temel kavramlar ve parametrelerden bahsedilmektedir.

Başlangıç Sıcaklığı ve Son Sıcaklık: Başlangıçta kötü çözümleri kabul edecek ve elde edilen son çözümün başlangıç çözümünden bağımsız olmasını sağlayacak kadar yüksek sıcaklık olmalıdır. Başlangıç sıcaklığı, algoritmanın ilk adımlarında mevcut çözümü iyileştiren ve iyileştirmeyen çözümlerin belirli bir oranını (%90) kabul edecek kadar yüksek olmalıdır. Yani, maddenin sıvı safhaya ulaştığında tüm atomlarının rassal olarak düzenlenmesini taklit etmek için, başlangıç sıcaklık değeri, denenen tüm hareketlerin

büyük bir kısmı kabul edilecek kadar yüksek seçilmelidir [56]. Son sıcaklık, durdurma koşulu olarak belirlenir.

Soğutma Planı: Mevcut sıcaklıkta, sistem denge dağılımına yaklaşmalıdır (her bir sıcaklıkta aranacak çözüm sayısı). Algoritmanın sonlarına doğru sıcaklık, kötü çözümleri kabuk etme olasılığı sıfıra yaklaşacak şekilde azaltılmalıdır [56].

Bu iki özelliği gerçekleştirmek için iki yol vardır [56] :

- Az sayıda sıcaklıkta büyük sayıda çözüm noktası aramak
- Çok sayıda sıcaklıkta az sayıda çözüm noktası aramak

Sıcaklığın azaltılma oranını kontrol etmek için en çok kullanılan yöntem eksponansiyel soğutma olarak adlandırılır [73]. Eksponansiyel soğutma işlemi bir başlangıç sıcaklığı ile başlar ve sıcaklık her iterasyonda veya belirli sayıda iterasyon sonunda, genellikle 0.8-0.99 arasında seçilen bir α değeri (soğutma oranı) ile çarpılarak azaltılır.

Durdurma koşulu: Benzetim Tavlama algoritması aşağıdaki durdurma koşullarından bir veya birkaçını kullanabilir. Algoritma, kullanılan koşullardan herhangi biri karşılanana dek devam eder [74].

- Belirlenmiş alt sınıra ulaşılması,
- Tüm komşu çözümlerin reddedilmesi,
- Sıcaklığın minimum değere ulaşması,
- Belirlenmiş maksimum iterasyon sayısına ulaşılması,
- Maksimum hesaplama zamanının aşılması.

2.2.2.3.2 Benzetim Tavlama Algoritmasının Yapısı

Tavlama benzetimi yöntemi algoritmik olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir [75] :

1.Adım: T başlangıç sıcaklığını belirle ve bir başlangıç çözüm oluştur.

2.Adım: Son sıcaklık değerine kadar aşağıdaki çevrimi durdurma kriterlerinden en az biri tatmin oluncaya dek tekrarla.

1. S çözümünün komşu çözümlerini üret ve uygunluk değerlerini hesapla.
2. En iyi komşu çözümü seç, eğer önceki en iyi çözümünden iyiyse, en iyi çözümü güncelle. Aksi takdirde, $\exp(-\Delta/T)$ olasılığı ile en iyi çözüm olarak ata.
3. T sıcaklığını güncelle.

2.2.2.3.3 Benzetim Tavlama Algoritmasının Kullanım Alanları ve Proje Çizelgeleme

Benzetim Tavlama algoritması, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin çözümünde öne sürülen sezgisel algoritmalarından bir başkasıdır. Bouleimen ve Lecocq [76], kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde proje süresinin minimizasyonu için benzetim tavlama algoritması tabanlı bir yöntem önermiş ve aynı yöntemin çoklu proje çizelgeleme problemlerinde de kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Geleneksel benzetim tavlama algoritmasının, proje çizelgeleme problemi arama uzayına özgü özellikleri dikkate almasını sağlamış ve yöntemin parametrelerini istatistiksel uygulamalarla belirlemişlerdir.

Çizelge 2.6 Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için benzetim tavlama algoritması

Benzetim Tavlama Algoritması	Yazar	Yıl	Soğutma tekniği	Problem Tipi
	Bouleimen ve Lecocq	2003	Sabit Oranlı	RCPSP ve Çoklu RCPSP
	Chen ve Shahandashti	2009	Sabit Oranlı	Çoklu RCPSP
	He ve diğerleri	2009	-----	Çoklu RCPSP

Chen ve Shahandashti [77] ise benzetim tavlama algoritmasını, genetik algoritma ile birlikte kullanarak hibrit bir yöntem öne sürmüştür.

He ve arkadaşları [78], proje çizelgeleme problemine hem zamansal hem de mali yönden yaklaşmış, tabu araştırması ve benzetim tavlama algoritmalarının problemin çözümünde ne kadar etkili olduklarını literatürdeki farklı yöntemlerle kıyaslayarak göstermişlerdir.

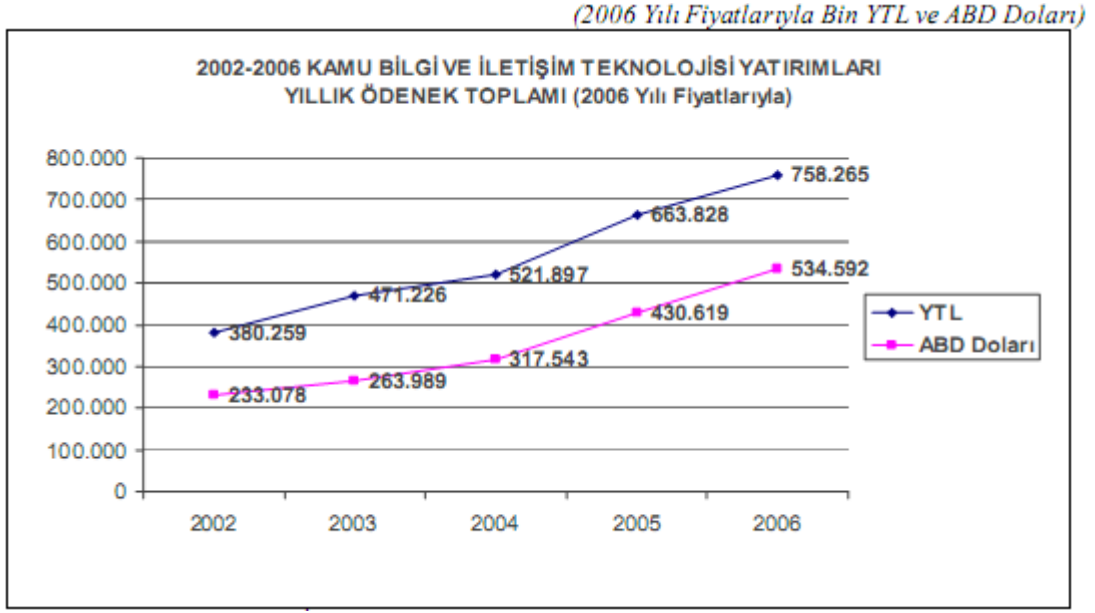
Bir sonraki bölümde bu tez çalışmasında konu edilen bilgi teknolojisi projelerinin dünyadaki ve Türkiye'deki durumu incelenip yaşam döngüsü modellerinden bahsedilmektedir. Bölümün sonunda ise literatürdeki, bilgi teknolojisi projelerinde çizelgeleme problemi hakkında özellikle kaynakların ve yeteneklerin göz önünde bulundurulduğu çalışmalar incelenmektedir.

BİLGİ TEKNOLOJİSİ PROJELERİNDE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Bu bölümde, bu tez çalışmasında uygulama problemi olarak kullanılan bilgi teknolojilerinde çizelgeleme problemine genel bir bakış yapılmaktadır. Öncelikle Türkiye ve dünyada bilgi teknolojisi projelerinin durumuna değinilmekte ve bu yolla ilgili problemin önemi vurgulamaktadır. Daha sonra, bu projelerde proje yönetimi metotları ve çizelgeleme problemleri için yol haritası olarak kullanılan proje yaşam döngüsü modelleri anlatılmaktadır. Son olarak bilgi teknolojilerinin tarihsel gelişimi ve buna paralel olarak kullanılan metotların ortaya çıkışı hakkında kısa bir özet verilerek bölüm tamamlanmaktadır.

3.1 Dünya ve Türkiye’de Bilgi Teknolojisi Projelerinin Durumu

Bilgi teknolojileri sektörü tüm dünyada hızlı bir büyüme göstermektedir. Ülkemizde de bu sektöre yapılan yatırım yıllar geçtikçe artmaktadır. 9. Kalkınma Planı verilerine göre [1], 2002-2006 döneminde yıllık toplam proje sayıları ortalama 203 iken, kamunun bilgi ve iletişim teknolojileri yatırımlarına ayırdığı ödenek düzenli bir artış eğilimi göstermiştir. 2006 yılı fiyatlarıyla, 2002 yılında 203 proje için 233 milyon ABD doları kaynak ayrılırken, 2006 yılında bu tutar 534,6 milyon ABD dolarına ulaşmıştır (Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kamu Bilgi ve İletişim Teknolojisi Yatırımları Yıllık Ödenek Toplamı, 2002-2006 [79]

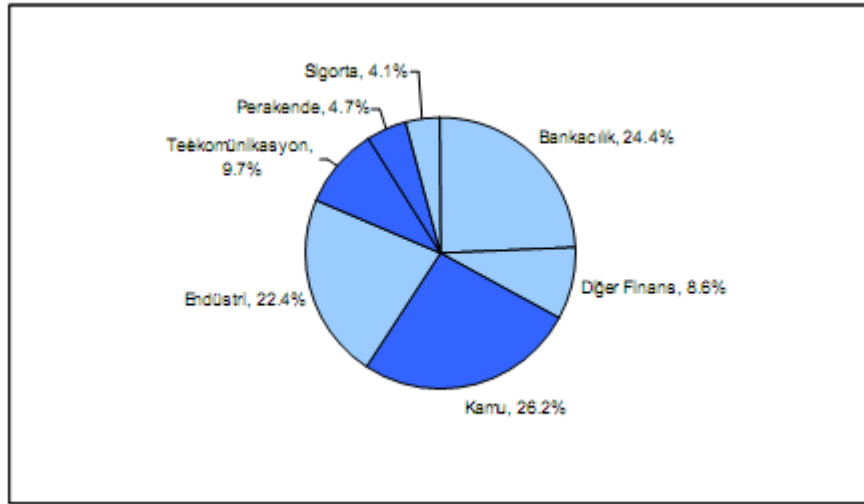
Çizelge 3.1 Kamu bilgi ve iletişim teknolojileri yıllık yatırım ödenekleri

Yıl	Proje Sayısı	Toplam Ödenek Tutarı (Cari Fiyatlar) ¹		Toplam Ödenek Tutarı (2006 Yılı Fiyatları) ²	
		Bin YTL	Bin Dolar	Bin YTL	Bin Dolar
2002	203	286.013	158.808	380.259	233.078
2003	204	369.321	208.656	471.226	263.989
2004	211	451.181	281.285	521.897	317.543
2005	200	626.253	388.494	663.828	430.619
2006	202	758.265	534.592	758.265	534.592

Ülkemizde Bilgi Teknolojileri (BT) hizmetleri pazarı çok büyük oranda kamu, finans ve endüstri sektörleri arasında paylaşılmaktadır. Diğer taraftan, telekomünikasyon sektörü de pazardan %10 kadar bir pay almaktadır (Şekil 3.2). 2007 – 2013 yılları arasını kapsayan Dokuzuncu Kalkınma Planı döneminde ise özellikle servis, eğitim, oyun ve elektronik eşya sektöründeki gömülü sistemler alanlarında atılımlar beklenmektedir.

¹ Cari yıl program kurları esas alınmıştır.

² Cari yıl YTL ve ABD doları fiyatları 2006 yılı fiyatlarına çekilmiştir.



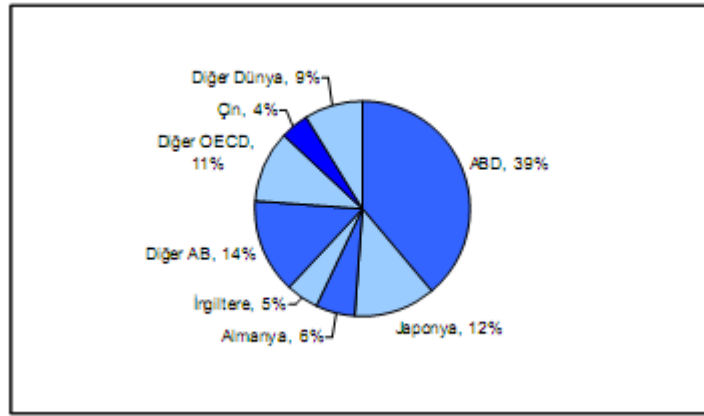
Şekil 3.2 Dikey Pazarlar Bazında Türkiye Bilgi Teknolojisi Hizmetleri Pazarı, 2004 [80].

Ülkemizde görülen artış eğiliminin yanı sıra Bilgi Teknolojileri sektörü dünyada ve Avrupa Birliği ülkelerinde de artış eğilimi göstermektedir. Yine Dokuzuncu Kalkınma Planı'na göre dünya genelinde teknoloji segmentine göre son kullanıcı harcamaları dikkate değer bir artış göstermiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Dünya genelinde teknoloji segmentine göre son kullanıcı bilgi teknolojisi harcamaları, 2005-2009 [81], (Milyar ABD Doları).

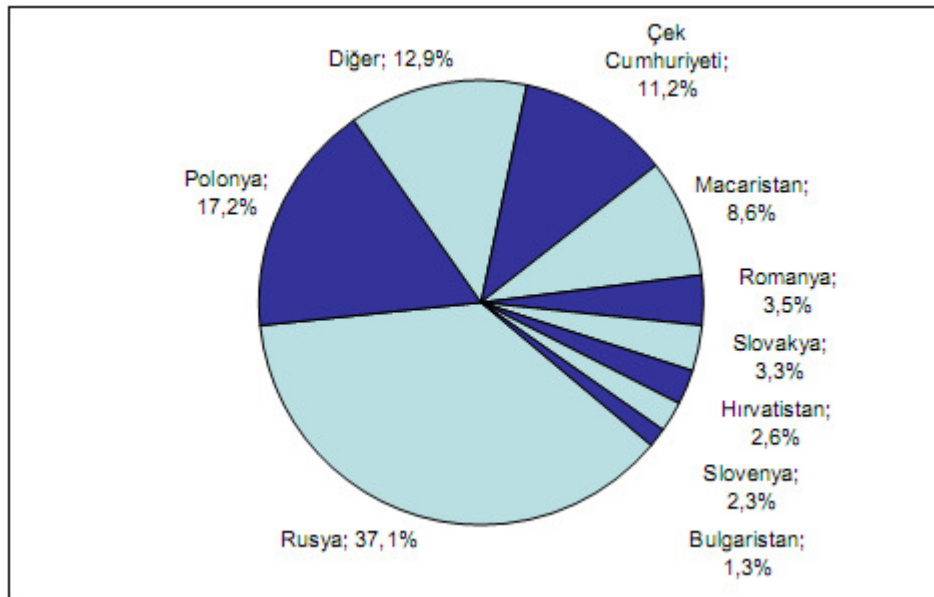
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Büyüme (%) 2004-2009
Donanım	341	354	362	367	369	373	375	1,6
Yazılım	89	93	99	106	113	121	130	6,5
BT Hizmetleri	550	594	639	673	710	752	796	6,4
Toplam BT Pazarı	980	1041	1100	1146	1192	1246	1301	4,9

2004 yılında yapılan bir araştırmaya göre, Bilgi Teknolojileri sektöründe dünya çapındaki en büyük pazar payı sahibi %39 ile ABD iken, onu %12 ile Japonya takip etmektedir (Şekil 3.3).

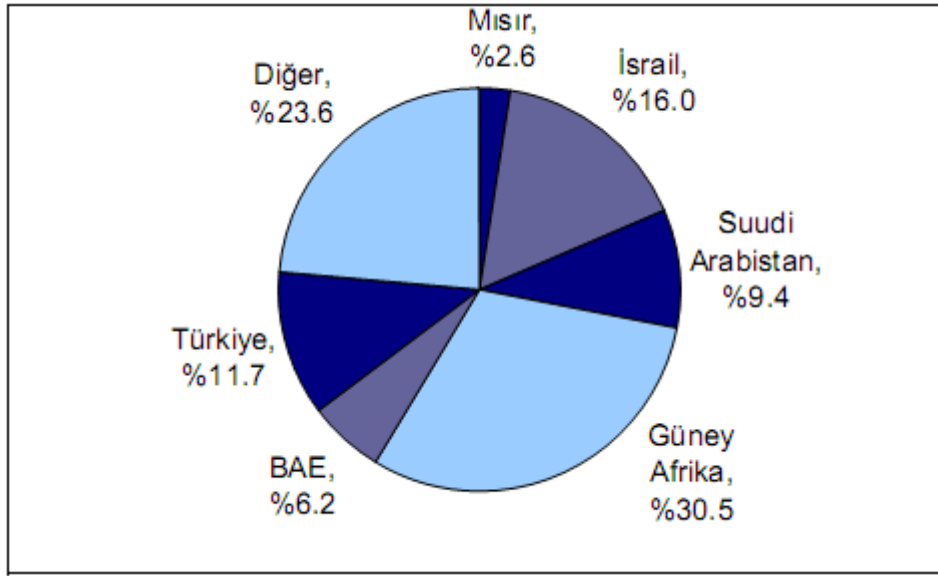


Şekil 3.3 Ülke ve Bölgeler Bazında Dünya Bilgi Teknolojisi Pazarı, 2004 [82].

Bilgi Teknolojileri pazarı bölgesel ölçekte incelendiğinde, Orta ve Doğu Avrupa bölgesinde, en büyük bölge pazar payı %37,1 ile Rusya ve ikinci büyük pay %17,2 ile Polonya'nındır (Şekil 3.4), Orta Doğu ve Afrika bölgesinde ise, %30,5 pay Güney Afrika'ya ve %16 pay İsrail'e aittir. Ülkemiz Orta Doğu ve Afrika Ülkeleri arasında değerlendirilmektedir ve bu ülkeler arasında İsrail'in ardından %11,7'lik pay ile 3. Sırayı almaktadır (Şekil 3.5).



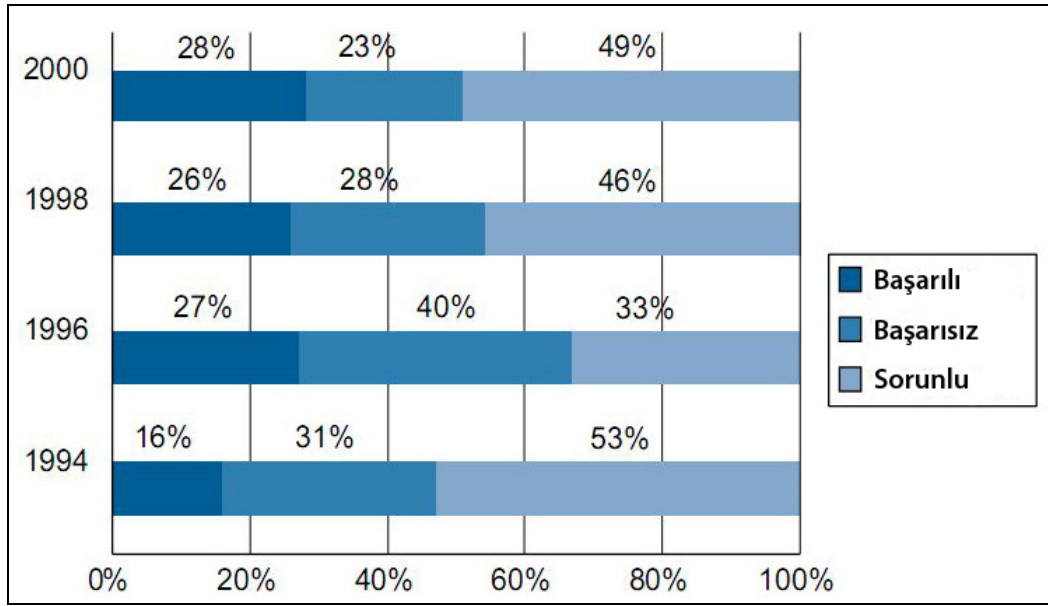
Şekil 3.4 Orta ve Doğu Avrupa Ülkeleri, Bölge Pazar Payları, 2004 (Yüzde) [83].



Şekil 3.5 Orta Doğu ve Afrika Ülkeleri, Bölge Pazar Payları, 2004 (Yüzde) [83].

Amerika’da ise Standish Group tarafından yıllık olarak yayınlanan Chaos raporuna göre, 1994 yılında sadece 28.000 uygulama geliştirme projesi, zaman, bütçe ve önceden belirlenmiş özellik ve işlevlerden kesinti yapmadan, ilgili performans kriterlerini karşılayarak başarılı olmuşken, 2000 yılına gelindiğinde bu sayı 78.000’e kadar ulaşmıştır. 78.000’e kadar ulaşan başarılı proje sayısının yanında, zaman ve/veya bütçe sınırlarını aşarak ya da özellik ve işlevleri azaltılarak tamamlanabilmiş proje sayısı 93.000’den 137.000’e yükselmiş ve iptal edilen projeler ise 54.000 iken 65.000’e ulaşmıştır [84 – 86].

Yine aynı rapora göre 1994 yılında, Amerika’daki bilgi teknolojisi projelerinin yaklaşık %17’si belirlenmiş kısıtlar içerisinde tamamlanabilmişken 2000 yılında bu yüzde %28’e kadar çıkmıştır. Yine %23 ile iptal edilen proje payı ve %49 ile planlaması değiştirilen proje payları bu konuya eğilimin gerekliliğini gösterir (Şekil 3.6).

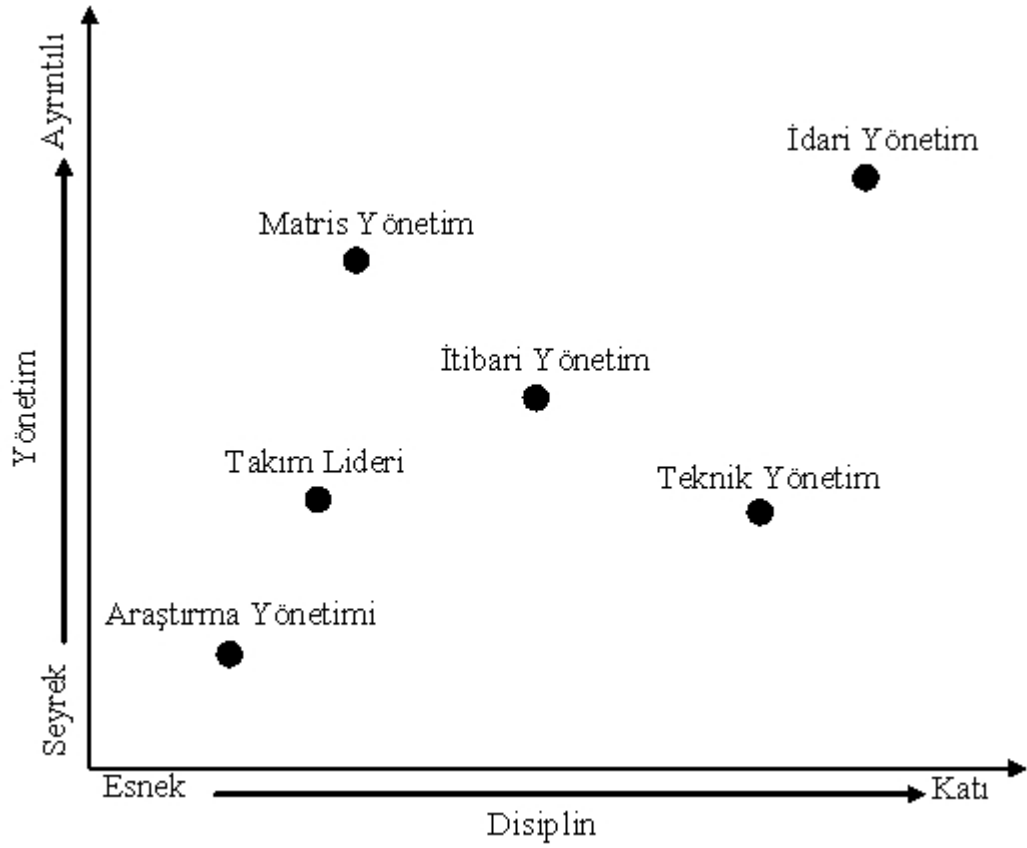


Şekil 3.6 Proje çözüm tarihçesi (1994-2000)

3.2 Bilgi Teknolojisi Projelerinde Proje Yönetimi ve Yaşam Döngüsü Modelleri

Keyes'e [18] göre bilgi teknolojisi projeleri için, 2 ana proje yönetimi metodolojisi bulunmaktadır. Bu metodolojilerden ilki olan PMBOK (Project Management Body of Knowledge – Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Kılavuzu), Amerika'da popülerdir ve IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) standardıdır (1490-2003). PMBOK'un kullanım alanı oldukça geniştir. Hemen her projeyi 5 temel sürece ayırarak gruplar, bu süreçler projenin kabulü, planlama, uygulama, kontrol ve izleme ve son olarak da kapanıştır. Keyes, ikinci yöntem olarak İngiltere ve 50'den fazla ülkede popüler olan PRINCE2 (PProjects IN Controlled Environments2 – Kontrollü Çevrede Projeler2) yönteminden bahseder. Yöntem projeleri 8 adımda incelemektedir, bu adımlar proje başlangıcı, planlama, proje kabulü, proje yönetimi, safha kontrolü, ürün teslimi yönetimi, safha sınırlarının yönetimi ve projenin kapatılmasıdır. PRINCE2, İngiltere devletinin BT proje yönetimi standardıdır [18].

Öte yandan Bechtold [87], "Essentials of Software Project Management" isimli kitabında, özellikle yazılım projesi yönetim metodlarından 6 tanesini disiplin ve yönelim bakış açılarından incelemeyi önermiştir. Kendisine göre, bu metodların her biri belirli koşullar için uygunken diğerleri için uygun değildir (Şekil 3.7).



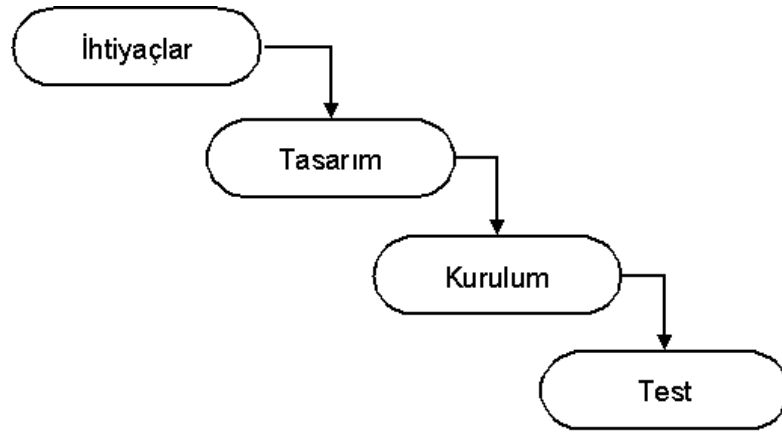
Şekil 3.7 Proje Yönetimi Yaklaşımları [87]

Ancak bu projelerde proje yönetimi için kullanılan ortak araçlardan önemli bir tanesi yaşam döngüsüdür. Bir yaşam döngüsü modeli, bir projede gerçekleştirilen aktivitelerin sırasının ve bu aktivitelerin birbirlerine göre düzenlerinin bir ifadesidir [88] .

Yaşam döngüsünün amacı tüm proje aktivitelerini anlamlı, verimli ve etkili bir şekilde düzenlemek, buna ek olarak da tüm önemli aktivitelerin gerçekleştirildiğine emin olmaktır. Süreçler ve aktiviteler bu döngüler içinde yerleştirilirler. Çoğu projede aşağıdaki yaşam döngülerinden biri ihtiyaçlara hizmet etmek için yeterlidir [87] :

- Şelale
- Kullan-at prototip
- Aşamalı Yapı
- Çoklu Yapı
- Spiral
- Miras bakım

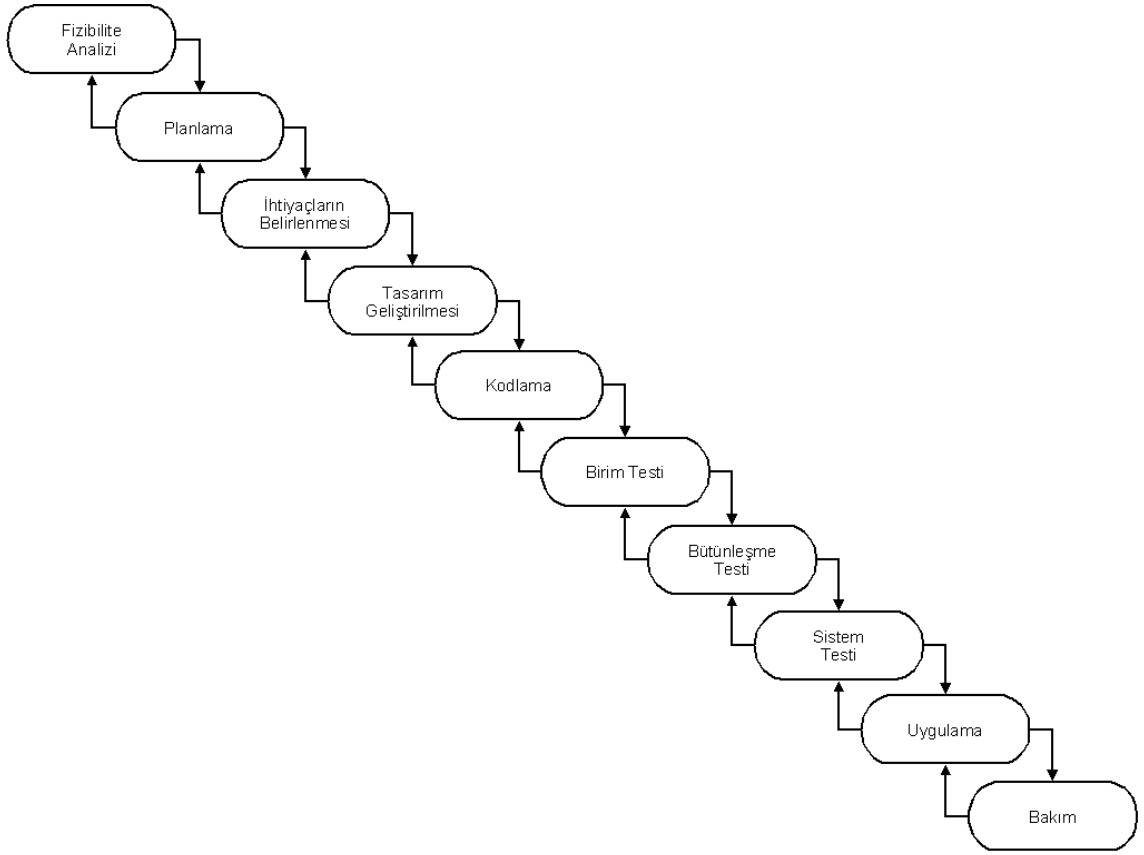
- Hibrit



Şekil 3.8 Basit bir şelale modeli yaşam döngüsü

Şelale yöntemi: Şelale yaşam döngüsü, 1970’li yıllarda geliştirilmiştir (Şekil 3.8 ve 3.9). Bilinen hemen her çeşit yazılım sistemini üretmek için kullanılabilir ve her çeşit sisteme adapte edilebilir. Yöneticiler için, belirli bir zamanda her projenin durumuyla ilgili net bilgi vermesi, aktiviteler arası sınırların net ve açıkça belirtilmiş olması, ayrıca döngünün düzenli ve tahmin edilebilir olması nedenlerinden dolayı tercih edilen bir yöntemdir [89].

Ana aktiviteleri doğrusal bir sırada sunar (Şekil 3.8 ve 3.9). Bechtold [87]’a göre iyi anlaşılmış, kısa süreli projeler için yüksek verimliliktedir. Basit olması, anlaşılmasının kolay oluşu, planlama ve takibin kolaylığı gibi avantajları vardır.

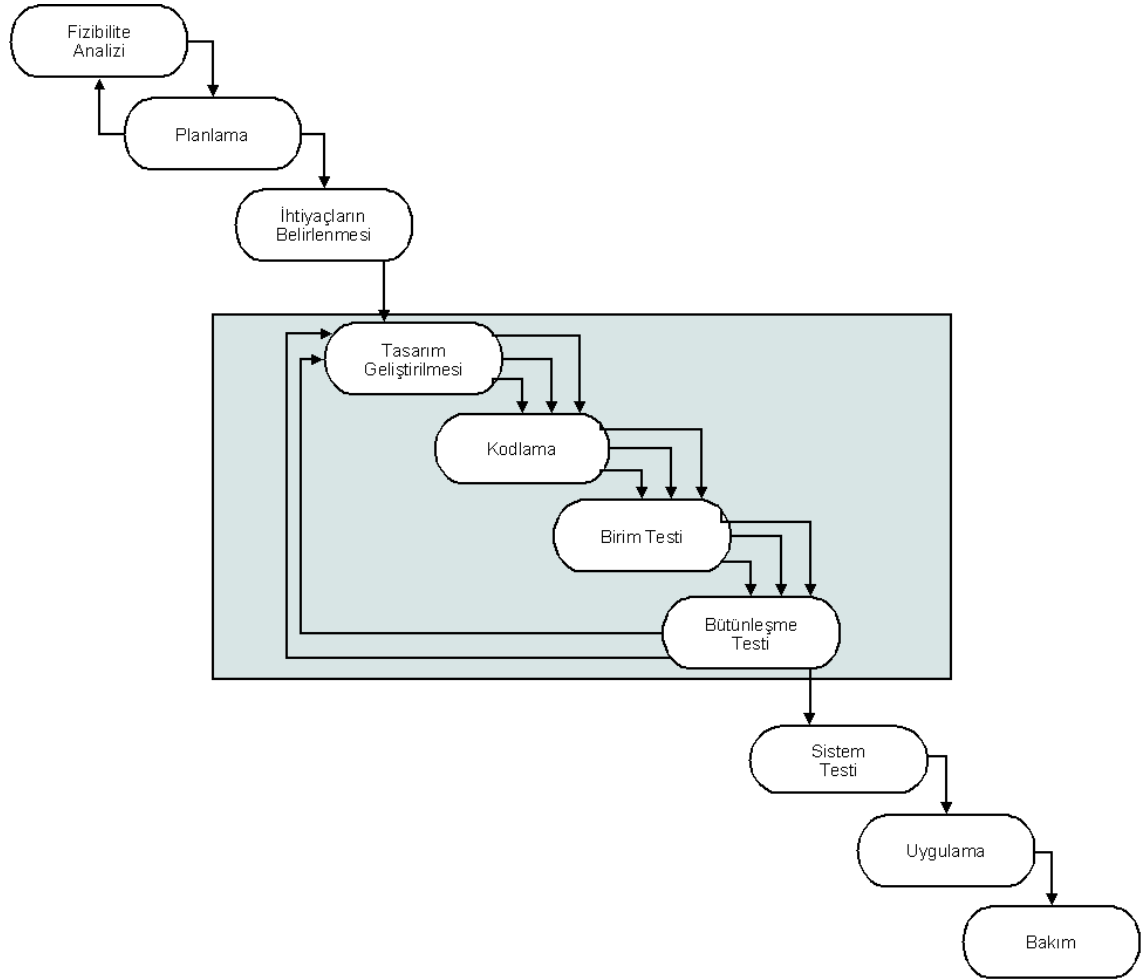


Şekil 3.9 Ayrıntılı bir şelale modeli yaşam döngüsü [53]

Kullan-at prototip modeli: Kullan-at prototip modeli, müşterinin veya yöneticinin (kullanıcının) ne istediğinden emin olmadığı durumlarda kullanılabilecek bir yaşam döngüsüdür. İhtiyaçların dokümantasyonu için referans noktası ya da uygulanabilir ihtiyaçların özelleştirilmesi için takip edilecek bir referans çizgisi olarak kullanılabilir. Şelale yönteminin neredeyse tersidir, çünkü bu yöntemde detaylı planlama yapılmadan ve ihtiyaçlar tam olarak anlaşılmadan önce bir prototip inşa edilir. Bu prototip, esas proje değildir, özelliklerinin çalışmasına gerek yoktur, önemli olan ihtiyaçların belirlenmesine yardımcı olacak yapıda olmasıdır. Yöntemin en önemli riski, kullanıcının prototipi atmadan esas projeye eklemek istemesidir, çünkü prototipleri çalışır duruma getirmek için yapılması gereken düzeltmeler, eninde sonunda sistemin çökmesine neden olur [87].

Aşamalı yapı yaşam döngüsü: Aşamalı yapı yaşam döngüsü, bazı açılardan kullan-at prototip yaşam döngüsüne benzemektedir, ancak sistem daha dikkatli inşa edilir. Bu tip yaşam döngüsü modeli, proje personelinin çeşitli sistem bileşenlerini ve bunların

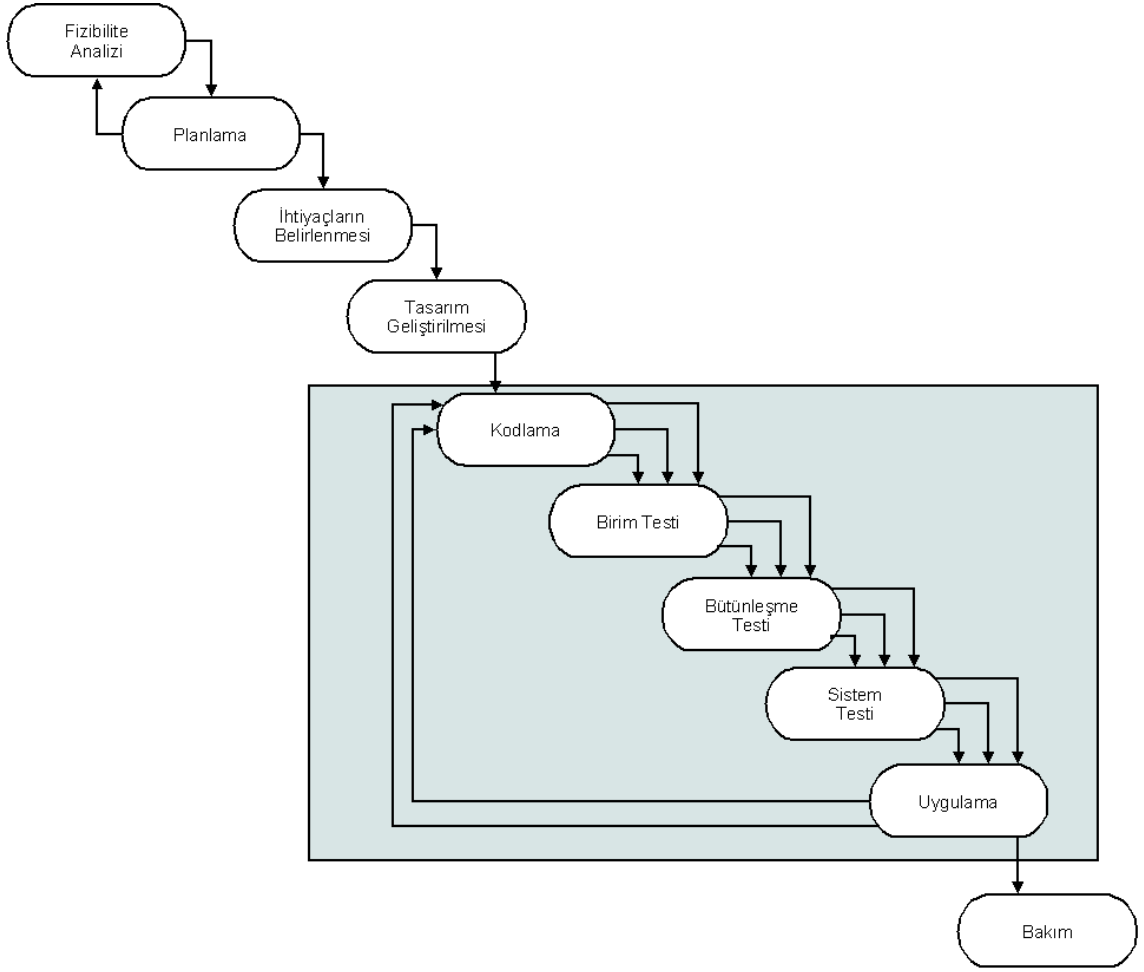
birbirleriyle ilişkilerini anlamasına yardımcı olur, projenin her seferinde bir parçasının üretilmesi ve üretilen her parçanın test edilmesini sağlar (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Aşamalı yapı yaşam döngüsü [87]

Büyük ve yüksek riskli projelerin küçük parçalara bölünerek kontrolü için uygun bir yöntemdir [87].

Çoklu yapı modeli yaşam döngüsü: Çoklu yapı modeli yaşam döngüsü, aşamalı yapı yaşam döngüsünün tek bir kritik fark dışında hemen hemen aynısıdır (Şekil 3.11). Bu fark müşteriye teslim edilen ürünün, sistemin fonksiyonel parçaları olmasıdır. Bu parçalar geçici olarak tek başlarına çalışan ve sonraki kurulumlarda sisteme bütünleştirilecek parçalar olabileceği gibi, kısmen çalışır durumda olan ve son kurulumda tamamen çalışır durumda olacak şekilde her yeni kurulumla geliştirilen parçalar da olabilirler.



Şekil 3.11 Çoklu yapı modeli yaşam döngüsü [87]

Genellikle yeni ilave edilecek kurulumlar eskisi üzerinde değişiklikler gerektirir, bu nedenle ek kurulumlar için müşteriye yeni bir sistem teslim edilir.

Spiral yaşam döngüsü modeli: Spiral yaşam döngüsü, temel olarak yaşam döngüsü fazlarının, proje tamamlanana dek tekrarlanması üzerine kurulu bir yöntemdir. Bu yöntemde tüm proje için detaylı bir planlama yapmak yerine, o dönüşte gerçekleştirilecek proje parçası için detaylı planlama yapılır.

Bu yöntem müşterinin (ya da yöneticinin), son ürünün neye benzemesi gerektiğini bilmediği ve prototip oluşturma bu sorunu çözmediği durumlarda etkilidir. Risk yönetiminin uygulanmasını sağlayan özelleştirilmiş bir sürümü de bulunmaktadır [87].

Hibrit yaşam döngüsü: Hibrit yaşam döngüsü modeli iki veya daha fazla yaşam döngüsü modelinin bir arada kullanılması demektir.

Anlatılan yaşam döngülerinin tamamlayıcı güçlü yönleri Çizelge 3.3'te özetlenmiştir.

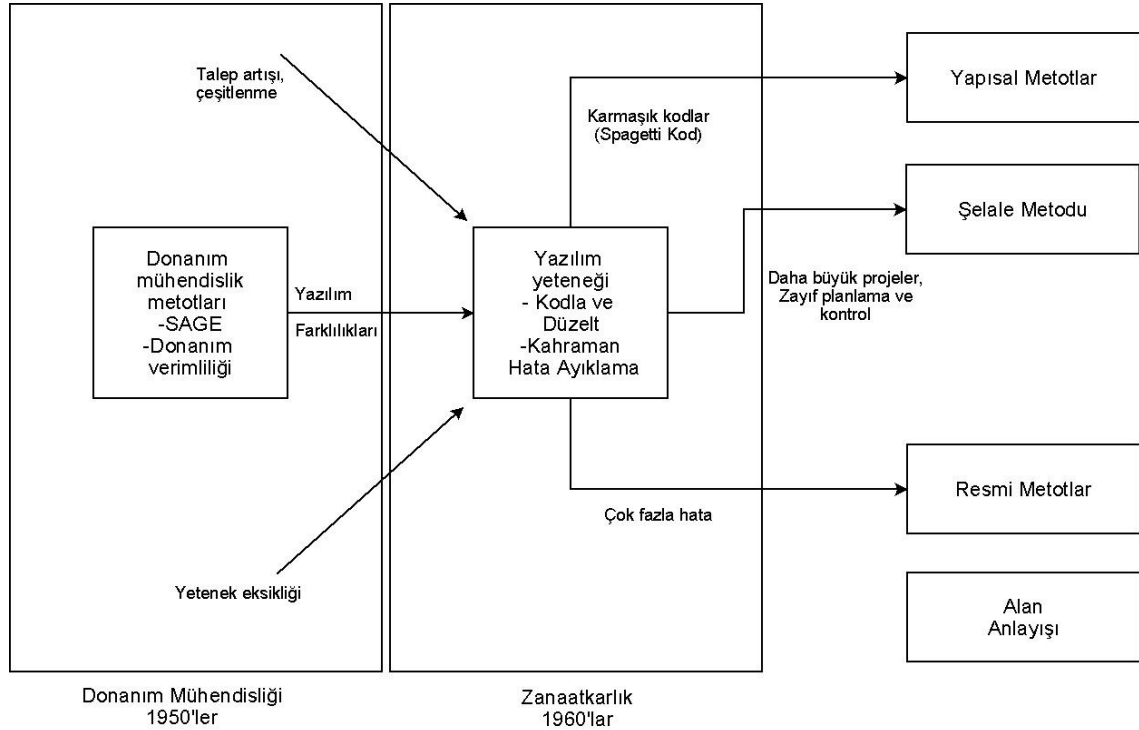
Çizelge 3.3 Projelerin, yaşam döngüsü yaklaşımlarını tamamlayıcı güçlü yönleri [87]

	Şelale	Atılacak Prototip	Aşamalı Yapı	Çoklu Yapı	Spiral	Hibrit
Uygun Süreçler	•					•
Aktifleştirme		•				
Müşteri Odaklılık				•		
Geçmiş Veriler						
Modern Destek Çevresi		•	•	•		
Proje Özeti	•					
İhtiyaçların Değişmezliği	•					
Stratejik Takımlar				•		
Takım Kaynaşması			•			
Takım Uzmanlığı					•	
Eğitim Desteği						•
İdarecinin Uzmanlığı						•

3.3 Bilgi Teknolojisi Projelerinde Çizelgeleme Problemi

Bilgisayar programlama uygulamaları ABD'nin askeri ihtiyaçları doğrultusunda İkinci Dünya Savaşı sırasında başlamıştır. Bomba yörüngelerinin hesaplanmasından düşman iletişiminin çözülmesine dek savaş ihtiyaçları daha iyi ve hızlı hesaplamaları gerektirmiştir [90]. İlk bilgisayarlar çoğunlukla kadınların oluşturduğu insan topluluklarıydı, kadınlar bir sıraya dizilerek bomba yörünge hesaplarının bir kısmını yaparak sonuçları sıradakine iletirdi [90]. Daha sonrasında ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer, Elektronik Numara Entegreli Hesaplayıcı) bilgisayarlar ortaya çıkmıştır. İlk programcılar çoğunlukla eşitlikleri tanımlayan insanlardı. 1950'lerin bilgisayarları ve programlama çevreleri sadece basit talimatlar ve operasyonlar için uygundu. 1960'lara gelindiğinde üniversiteler bu yeni teknoloji için bünyesinde

programlar açmaya başlamış ve donanım üreticilerinde artış görülmeye başlamıştır. Bilgisayarların gelişimiyle birlikte üzerlerinde çalışan programlar da kapsam ve karmaşıklık olarak büyümeye başlamıştır.



Şekil 3.12 Yazılım Mühendisliği Trendleri (1970'ler) [91].

Endüstride kullanıma başlamalarıyla birlikte pek çok problemin çıkabileceği öngörülmesine karşın 1960'larda programların yazım kaliteleri kişisel derleyicilerin olmaması nedeniyle çok yüksekti. Bir programcı derleme imkanının kendisine gelmesi için çok uzun süre beklemek zorunda olduğundan derleme anına dek programı defalarca kontrol edebilirdi [90]. 1960'lı yılların sonu, 70'li yılların başında kişisel bilgisayarların piyasaya sürülmesiyle birlikte programların alanı genişlemeye devam ederken test edilme miktarları düşmüş, programlarda sıklıkla hatalar ve açıklar görülmeye başlanmıştır. Planlama ve kontrol eksikliği dolayısıyla "kodla ve düzelt" yaklaşımı benimsenmiş ve son anda yapılan düzeltmeler öne çıkmıştır. Bunu takiben, projelerin büyümesi ancak eksik planlama ve kontrol problemlerinin devam etmesi üzerine, çözüm üretmek amacıyla, 70'li yıllarla birlikte ihtiyaç öncelikli süreç takibi için ilk yaşam döngüsü olan Şelale modeli yaşam döngüsü ortaya konulmuştur (Şekil 3.12) [91]. Şelale modeli yaşam döngüsü, başarılı fazları iterasyonlarını sınırlama ve tam

ölçekli bir geliştirme yapmadan önce “2 kere kur” prototip oluşturma konseptlerini yazılım projesi yönetimine eklemiştir [91].

Ancak 1970’lerin sonuna doğru şelale modeli yaşam döngüsünün formaliteleri ve ardışık yapısıyla ilgili problemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Ardışık sıralı şelale yaşam döngüsü modeli doküman-yoğun, ağır ilerleyen ve pahalı bir yöntemdi. Kodlama aşamasından önce bu kadar dokümantasyon yapılması pek çok sabırsız yöneticinin takımlarını ihtiyaç belirlemesi ve tasarım için sadece minimum çaba sarf ederek kodlama aşamasına geçilmesi için zorlamasıyla sonuçlanmıştır. O dönemde birçok organizasyon, tahminleri izleyerek, yazılım harcamalarının donanım harcamalarını geçeceğini fark etmiş ve bu 1980’li yıllarda verimliliğin arttırılması, hataların azaltılması çalışmalarına ön ayak olmuştur. 90’lı yıllara gelindiğinde yazılım süreçlerini iyileştirme adı altında pek çok çalışma yapılmış bu çalışmaların arasında “Olgunluk yeteneği modeli” (Capability Maturity Model, CMM) öne çıkmıştır. CMM bilgi teknolojisi projelerinden olan yazılım geliştirmenin bir yönetim problemi olduğunu öne sürer. İyi bir sonuca ulaşmak için, verinin yönetilmesi için doğru prosedürler, süreçler ve uygulamalar gerçekleştirilmelidir. Başka bir deyişle geliştiriciler projelerini doğru şekilde yönetmekte başarısız olduğu için, yöneticiler onlar için organizasyonel kontroller yerleştirmelidir [91].

1980’lerin sonlarına doğru Hewlett Packard kendi market sektörlerinin bir kısmında ürünlerin yaşam döngüsünün 2,75 yıl olduğunu buna karşın şelale yaşam döngüsü ile yazılım üretme süresinin 4 yıl olduğunu görmüştür [91] bu nedenle farklı yaşam döngüsü biçimleri ortaya çıkmaya başlamıştır (Bkz. Bölüm 3.2). Bu döngüler, bilgi teknolojisi projelerinin planlanmasında yapıtaşı olarak kullanılmakta, proje fazlarının başlangıç ve bitiş noktalarını düzenlemektedir. Ancak proje fazlarını düzenleyen yaşam döngüleri, projenin çizelgelenmesi için mihenk taşları görevi görmekle beraber çizelgenin kendisi değildir. Bu yaşam döngülerini kullanmanın dışında, bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesi için, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminde kaynakların ve yeteneklerinin dikkate alındığı literatür çalışmalarının bir özeti takip eden bölümde verilmektedir.

3.4 Bilgi Teknolojisi Projelerinde Çizelgeleme Problemine Yönelik Literatür

Araştırması

Literatür taraması sonucunda, BT projelerinde, kaynakların yeteneklerinin dikkate alındığı bazı çalışmalara rastlanmakla birlikte bu kaynakların performans değerlerinin, özellikle de minimum performanslarının göz ardı edildiği sonucuna varılmıştır. Literatürdeki bu boşluk dikkate alınarak ve kaynakların yeteneklerinin, maksimum ve minimum performanslarının projenin süresine etki edeceği hipoteziyle bu tez çalışmasında maksimum ve minimum performansların dikkate alındığı, kaynak ve aktivite eşlemesinin aktivitelerin gerektirdiği becerilere göre gerçekleştirildiği bir model önerilmiştir.

Bu bölümde, Bölüm 2.2’de genel literatür taramasını verilen çizelgeleme problemi, Bilgi Teknolojisi projelerinin çizelgelenmesi özelinde literatürden örneklerle incelenecektir. Bu örnekler, BT projelerinin çizelgelenmesinde meta-sezgisel algoritmalar kullanan ve eğer varsa, kaynak yeteneklerinin de dikkate alındığı çalışmalardan seçilmiştir.

Literatür taraması sonucu, bilgi teknolojisi projelerinde GA’ların kaynak becerileri dikkate alınarak kullanımına rastlanan ilk makale, Alba ve Chicano’nun [19] farklı yazılım projesi senaryolarını çözmek için genetik algoritmaları kullanarak yaptıkları çalışmadır. Bu yolla genetik algoritmaların esnekliğini, bu uygulama için doğru sonuçlar verdiğini ve otomatik proje yönetimi için önemli bir araç olduğunu göstermişlerdir.

Alba ve Chicano [19], önerdikleri modeli 5 çalışanlı bir yazılım şirketi örneği üzerinde denemişlerdir. Buna göre, yazılım şirketinin elindeki proje bir banka için yazılım uygulaması gerçekleştirmektir.

Çizelge 3.4 Bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesinde Genetik Algoritmaların kullanımı

Yayın Yılı	Yazar Adı	Problem Özellikleri	Parametreler	
2006	Alba ve Chacino	5 çalışan 6 iş ve 5 yetenek	Gösterim biçimi	0-1 bit gösterimi
			Popülasyon büyüklüğü	64
			Seçim Operatörü	2-turnuva
			Çaprazlama Operatörü	2 boyutlu tek noktalı
			Mutasyon Operatörü	Tek noktalı
			Durdurma Kriteri	500 iterasyon
2006	Ge ve Chang		Gösterim biçimi	-----
			Popülasyon büyüklüğü	-----
			Seçim Operatörü	-----
			Çaprazlama Operatörü	Tek noktalı çaprazlama
			Mutasyon Operatörü	Rastgele nokta değişimi
			Durdurma Kriteri	-----
2008	Chang ve diğerleri	Küçük boyutlu 3 çalışan 3 iş ve 3 yetenek	Gösterim Biçimi	-----
			Popülasyon büyüklüğü	1000
			Seçim Operatörü	-----
			Çaprazlama Operatörü	-----
			Mutasyon Operatörü	0.001
			Durdurma Kriteri	-----

2008	Chang ve diğerleri	Büyük boyutlu 15 çalışan 25 iş ve 12 yetenek	Gösterim Biçimi	-----
			Popülasyon büyüklüğü	1000
			Seçim Operatörü	-----
			Çaprazlama Operatörü	-----
			Mutasyon Operatörü	0.001
			Durdurma Kriteri	-----

Projenin tamamlanması için yapılması gereken aktivitelerin her biri bazı yetenekler gerektirmekte ve bu yetenek kısıtlarının tatmini için, görev atamaları çalışanlarla yetenekler eşleştirilerek yapılmalıdır.

Çalışanların sahip olduğu beceriler, aldıkları maaşlar ve projeye ayırdıkları zaman birbirinden farklıdır. Çalışanların bir kısmı projeye tam gün zaman ayırabilirken bazıları gün içinde daha az zaman ayırmakta geri kalanlar ise proje için çalışma saatleri dışında da vakit ayırbilmektedir. Çalışmada proje süresi ve maliyetinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Her görev en az bir çalışan tarafından yapılmalı ve görevlerin gerektirdiği beceriler ilgili görevi yerine getiren çalışan topluluğu tarafından tatmin edilmeli ve herhangi bir çalışan projedeki kendi maksimum çalışma zamanını aşmamalıdır. İlgili beceriler, çalışan-beceri ilişkileri ve aktivite-beceri ilişkileri takip eden tablolarda verilmiştir.

Çizelge 3.5 Beceri listesi

Kod	Beceri
S1	Programlama deneyimi
S2	Liderlik
S3	Veri Tabanı Deneyimi
S4	UML Deneyimi
S5	Web Tasarım Deneyimi

Çizelge 3.6 Çalışan özellikleri – beceri eşleşmeleri

Çalışanlar	S1	S2	S3	S4	S5	Çalışma oranı	Maaş
E1	x			x		1	2000
E2		x	x	x		1	2500
E3					x	0,5	1700
E4	x	x				1	3000
E5				x	x	1,2	2200

Çizelge 3.7 Aktivite listesi – aktivite özellikleri

İş Kodu	İş Adı	Gereken Yetenekler	Gereken Çaba
T1	UML diyagramları	S4	5.0
T2	Veri tabanı tasarımı	S1,S3	20.0
T3	Kurma	S1,S4	50.0
T4	Web sitesi tasarımı	S5	10.0
T5	Yazılımın test edilmesi	S2	50.0
T6	Veri tabanı tasarım dokümanları	S4	15.0
T7	Kullanıcı kılavuzu	S1	10.0

Tablolardan görülebileceği gibi, araştırmacılar projeyi ele alırken çalışanların yeteneklerinin işlerle uyumunu dikkate almış ancak bu yeteneklerle ilgili çalışan performanslarını değerlendirmeye almamışlardır.

Chang ve diğerleri [21] önce küçük bir problem üzerinde en uygun parametreleri belirlemiş daha sonra deneysel bir akıllı ev projesi üzerinde zaman ve maliyet minimizasyonu amaçlarıyla, önerdikleri genetik algoritma modelini kullanmışlardır. Bu araştırmacılar, deneysel akıllı ev projesinin 25 aktivitesini, 12 farklı yetenek ve proje için uygun olan 15 çalışanı hesaba katarak çizelgelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçların kalitesini kanıtlamak için 2 farklı kıdemli yazılım projesi yöneticisi belirlemişler ve aynı projeyi her ikisi de 15 yıl ve üzeri proje yönetimi deneyimi, 25 yıl ve üzerinde yazılım projesi geliştirme deneyimi olan bu iki proje yöneticisine çizelgetmişlerdir. Proje

yöneticileri en kısa çizelgeyi oluşturmaya çalışmış ve maliyet açısından elde ettikleri minimum değerler sırasıyla 546353 ve 559920 olmuştur. Problemin önerilen modelle çözümünden elde edilen sonuçların ortalaması 527104'le uzmanların sonuçlarına yakinken, modelden elde edilen en iyi sonuç 385818 ile ciddi bir farkla daha iyidir. Bu sonuçlardan yola çıkarak Chang ve diğerleri [21], önerdikleri genetik algoritma modelinden elde edilen çizelgelerin daha önceden yazılım projesi yönetimi deneyimi olsa da olmasa da yazılım projesi yöneticileri için bir yardımcı çizelge olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Çizelge 3.8 Bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesinde Tabu Arama Algoritmasının kullanımı

Tabu Arama Algoritması	Yıl	Yazar	İş
	2005	Mika ve diğerleri	Çoklu RCPSP
	2008	Drezet ve Billaut	RCPSP – (çalışan dikkate alınarak)
	2009	He ve diğerleri	Çoklu RCPSP

Bilgi teknolojisi projelerinde çizelgeleme konusunda literatür çalışmalarından elde edilen, Tabu Arama algoritmasının kullanımına yönelik ilk çalışma, Mika ve diğerleri [22] tarafından 2005 yılında yapılmış olan ve minimum proje süresini hedeflerken bir taraftan da pozitif nakit akışlarıyla aktiviteleri ilişkilendiren çalışmadır. Bu çalışmada 4 ayrı ödeme modeli kullanılmış ve benzetim tavlama ile tabu arama algoritmasının her ikisinin de kullanımı önerilmiştir.

Drezet ve Billaut [23], ise kaynakların çalışanlar olduğu ve aktivite gereklilikleri zamana bağlı bir proje çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Bu proje 25 çalışanlı bir yazılım servis şirketinde yazılım geliştirme projesi olarak seçilmiştir. Öncelikle proje, proje yöneticisi tarafından aktivitelere bölünerek bu aktivitelerin süreleri tahmin edilmiştir. Aktivitelere adam atamaları yapılırken yetenekleri göz önünde bulundurmuş ve tabu arama algoritmasının iyi sonuçlar verdiğini kanıtlamışlardır.

Literatür taramasına ver verilmiş bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesi probleminin çözümü için bu tez çalışmasında önerilen model takip eden bölümde

anlatılmıştır. Bölüm modele genel bakışla başlamakta ve modelin adımları alt başlıklar halinde açıklanmaktadır.

KAYNAK KISITLI BİLGİ TEKNOLOJİSİ PROJELERİNİN ÇİZELGELENMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ

Literatürdeki makalelere bakıldığında, personellerin performans değişkenlikleri noktasında bir boşluk görülmektedir. Çalışanların maksimum performansları, işin başlangıcından bitişine kadar sürdürebildikleri bir değer değildir. Dolayısıyla, maksimum performanslar dikkate alınarak yapılan tahminler proje planında sapmalara yol açabilir. Bilgi teknolojisi projelerinin yüksek başarısızlık riskli projeler olduğu da göz önünde bulundurulursa, çalışanın en iyi ve en kötü performans değerleri arasındaki aralığın projenin gidişatı açısından oldukça önemli olduğu görülebilir.

Bu bölümde, BT projelerinin çizelgelenmesinde kullanılabilecek bir model önerisi ortaya konulacak ve adım adım açıklanacaktır.

4.1 Önerilen modele genel bakış

Bu tez çalışmasında önerilen ilgili model literatürdeki ilgili boşluğu doldurmak amacıyla oluşturulmuş ve 4 fazda ele alınmıştır. İlk faz “problemin tanımlanması” aşamasıdır. Bu aşamada problem, ilgili verilerin toplanması ve derlenmesiyle ortaya konulur. İkinci safha olan “çalışanların performans kriterlerinin ağırlıklandırılması” aşamasında bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile performans kriterlerinin birbirlerine göre önem dereceleri belirlenir. Bu dereceler, üçüncü safhada, yani “etkin çalışan grubunu belirleme” safhasında kullanılan maksimum – minimum yaklaşımının girdileri olarak kullanılır. Üçüncü safhada, ayrıca, parametrik olmayan istatistiksel bir test kullanılacaktır. Dördüncü faz olan “sezgisel algoritmaların uygulanması” safhasında probleme uygun sezgisel algoritmalarından seçilen algoritma kullanılarak, problemin

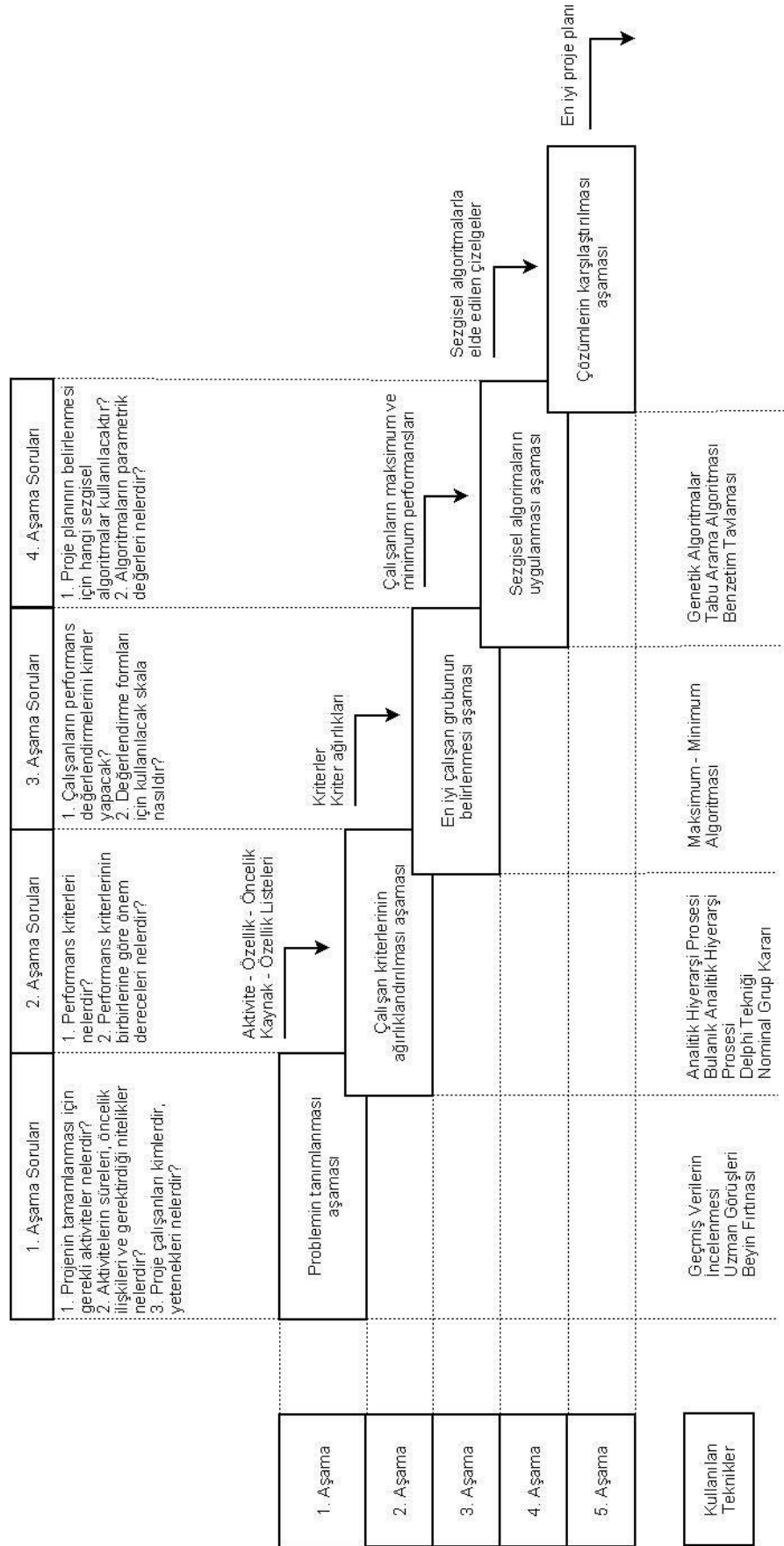
amacını karşılayacak proje planları belirlenecektir. Son aşamada ise bu proje planları kıyaslanarak en iyi proje planı belirlenecektir. Bu ifadeye göre, önerilen modelin çıktısı, oluşturulurken çalışanların en iyi ve en kötü performanslarının dikkate alındığı en kısa proje planı olmaktadır. Modelin kabul edilebilmesi için uygun bulunan tüm sezgisel algoritmaların birer birer kullanımı ile modelin geçerliliğinin test edilmesi gerekmektedir.

Şekil 4.1’de önerilen modelin safhaları detaylı adımlar halinde gösterilirken, Çizelge 4.1’de ise bu safhaların açıklamaları ve önerilen karar verme metotları özetlenmiştir.

Çizelge 4.1 Karar alma metotlarının önerilen modelin aşamaları içindeki pozisyonları

Aşama açıklamaları	Karar alma metotları
<i>Problemin tanımlanması:</i> Problemin çerçevesinin, amaç ve kısıtlarının ortaya konması.	Veri toplama yöntemleri
<i>Çalışanların performans kriterlerinin ağırlıklandırılması:</i> Kriter hiyerarşisine dayanarak, performans kriterlerinin öncelik ağırlıklarının belirlenmesi.	Bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi (BAHP)
<i>Etkin çalışan grubunun belirlenmesi:</i> Önceden ağırlıklandırılmış kriterlere göre çalışanların maksimum ve minimum performanslarını dikkate alarak kabul edilebilir çalışanların belirlenmesi.	Uzman görüşleri Maksimum-minimum yaklaşımı Kruskal-Wallis testi
<i>Sezgisel algoritmaların uygulanması:</i> Etkin çalışan grubu, çalışanların, aktivitelerin ve öncelik ilişkilerinin listelerini dikkate alarak sezgisel algoritmaların probleme uygulanması.	Genetik algoritmalar Tabu Araştırması Benzetim Tavlama
<i>Çözümlerin karşılaştırılması:</i> Etkin çalışan grubu, çalışanların, aktivitelerin ve öncelik ilişkilerinin listelerini dikkate alınarak elde edilmiş sonuçların kıyaslanması ve en iyi proje planının belirlenmesi.	Kıyaslama

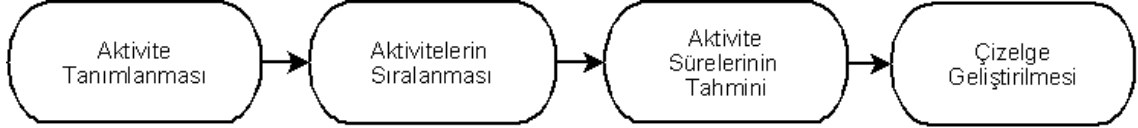
Takip eden başlıklarda önerilen modelin adımları teker teker ele alınarak açıklanmıştır.



Şekil 4.1 Model adımları

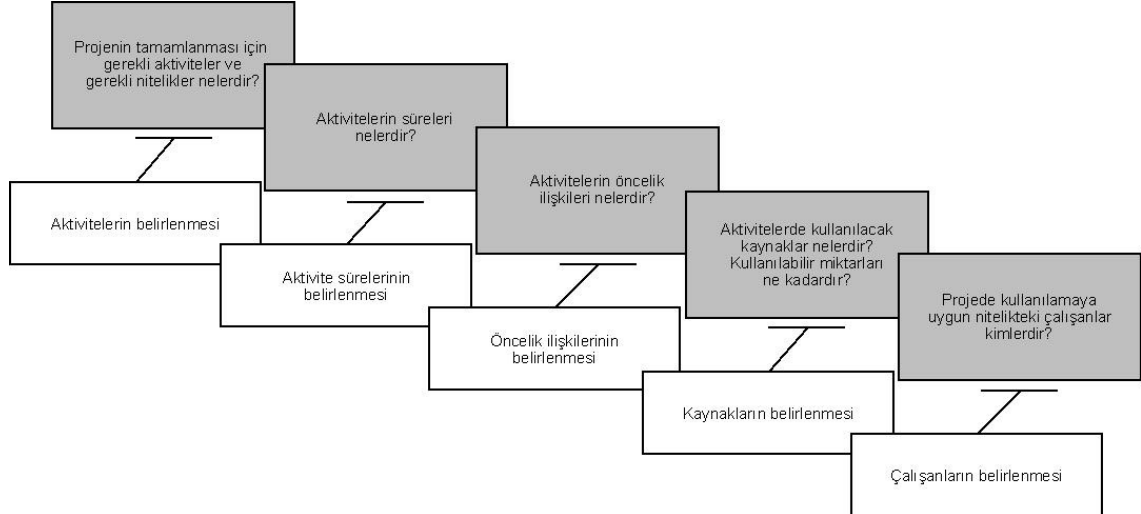
4.2 Problemin tanımlanması aşaması

Stepanek [92], zaman yönetimindeki ana bölümleri, aktivitelerin tanımlanması, aktivitelerin sıralanması, aktivite sürelerinin tahmin edilmesi şeklinde sıralayıp son olarak, bunların ardından çizelge geliştirilmesini eklemiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Zaman yönetimi [56]

Stepanek'in zaman yönetimi öğeleri ve kaynak kısıtlı proje çizelgelenmesi probleminin tanımından da yola çıkılarak söylenebilir ki, bu safhada projenin tamamlanması için tamamlanması gereken aktivitelerin listesi, projede görev alabilecek çalışanların listesi, aktiviteler sırasında kullanılacak kaynakların listesi ve miktarları veri olarak toplanmalıdır. Daha sonra bu veriler derlenerek problemin amaç ve kaynak kısıtları, fonksiyonlar şeklinde ifade edilmelidir.



Şekil 4.3 Problemin tanımlanması

4.3 Çalışanların performans kriterlerinin ağırlıklandırılması aşaması

Problemin tanımlanması ve problem verilerinin ortaya konulmasından sonra, sıra çalışanların performans kriterlerinin belirlenerek ağırlıklandırılması aşamasına gelmektedir.

Bu aşamada, performans kriterleri belirlenerek AHP, BAHF gibi ikili karşılaştırma metotları ya da Delphi, nominal grup tekniği gibi grup karar alma metotları yoluyla ağırlıklandırılabilir.

AHP karar almada, grup veya bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir. 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir.

Birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemi olmasının yanı sıra hem kalitatif hem de kantitatif verilerle çalışabilmektedir [93], bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda bu safhada kullanılmak için uygundur. Ayrıca, karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri (criteria/ attributes / objectives), alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir, en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dâhil edebilmesidir. Bir diğer ifade ile AHP, bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve öngörülerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir [93].

AHP ile karar süreci, aşamaları genel olarak takip eden şekilde verilebilir:

- Problemin hiyerarşik bir yapıda ortaya konulması,
- Her bir hiyerarşi seviyesindeki değişik elemanların göreceli önemlerinin/ağırlıklarının tespit edilmesi için ikili karşılaştırmalar yapılması,
- Karar seçenekleri üzerinde bir değerlendirme yapabilmek için göreceli ağırlıkların/önemlerin bütünleşik bir yapıya dönüştürülmesi.

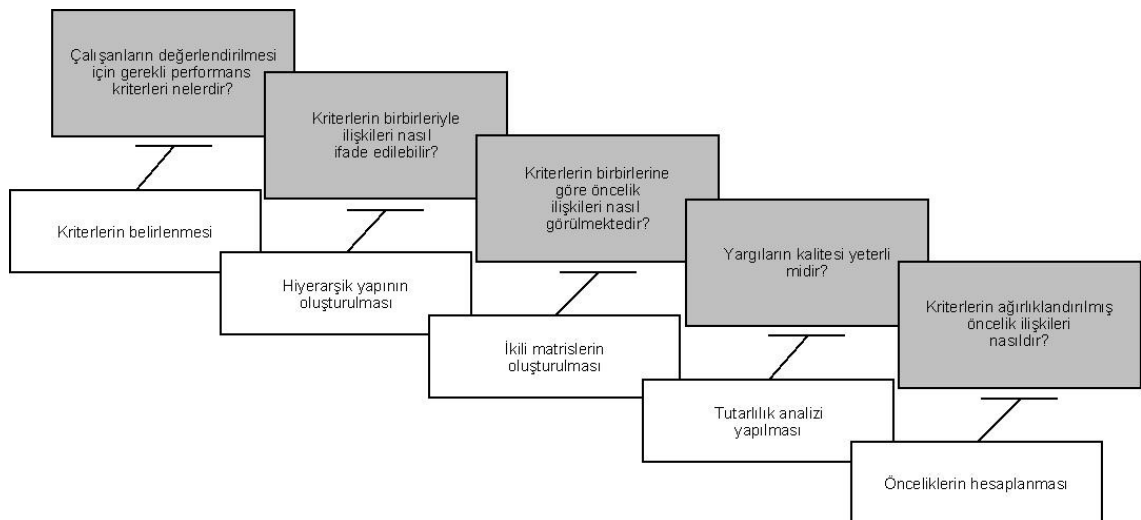
Ancak, gerçek hayatta birçok karar verme probleminin çözümünde etkin bir biçimde kullanılan AHP yöntemi, ikili karşılaştırmalar sürecinde gerçek sayıların kullanılması açısından eleştirilmiştir. Özellikle nitel faktörlerin karşılaştırılmasında gerçek sayıların kullanılması, karar verici için önemli bir güçlüktür. Yapılan farklı çalışmalarda bu problemin aşılması için bulanık sayıların kullanılması önerilmiştir. Bu çalışmalarda karar verme sürecini etkileyen faktörler ve alt faktörler bulanık sayılar kullanılarak karşılaştırılmış ve bulanık öncelikler hesaplanmıştır. Belirlenen bulanık öncelikler değişik metotlarla durulaştırılarak kesin sayılar ile faktör öncelikleri belirlenmiştir [94]. Ayrıca, çeşitli araştırmacılar tarafından, bulanık kümeler kuramını ve hiyerarşik yapıyı

kullanarak çok ölçütlü ortamda en iyi seçeneği belirlemeye veya seçenekleri sıralamaya yönelik çeşitli yöntemler sunulmuştur [95].

Kıyaslama prosesinin bulanık doğasından dolayı karar vericiler ikili kıyaslamalarını sabit bir değer olarak belirlemektense, bir aralık üzerinde ifade etmeyi tercih etmektedirler [95]. Bulanık sayıların kullanılmasıyla geliştirilen bulanık AHP, karar vericilerin ikili kıyaslamalarını aralık üzerinde ifade etmesini sağlamakta, böylece insanın düşünüş biçimini daha iyi yansıtmaktadır. Bu avantajı nedeniyle bu modelde bulanık AHP'nin de kullanılması mümkündür.

Bulanık AHP'nin kullanımı aşamasında ise adımlarının göreceli olarak kolay oluşu ve uygulanışının konvensiyel AHP'ye yakın oluşu sebepleriyle Chang'ın [96 – 97] metodunun seçimi önerilmektedir. Chang'ın [97], ortaya koyduğu, ikili karşılaştırma skalaları için üçgensel bulanık sayıların ve ikili karşılaştırmaların yapay mertebe değerleri için mertebe analizi yönteminin kullanıldığı yaklaşım, Wang ve diğerlerinin [98], getirdiği eleştiri de dikkate alınarak durulaştırma yöntemi üzerinde bir değişiklik kullanılabılır.

Genel anlamda, bulanık AHP'nin dolayısıyla 2. aşamanın adımları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Çalışanların performans kriterlerinin ağırlıklandırılması

Kriterlerin belirlenmesi ve hiyerarşik yapının oluşturulması: Keyes'e göre [18], insanlar proje için kaynak olduğunda bir çizelge yaratılırken aşağıdaki gerçekler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Kaynakların deneyimi
- Kaynakların eğitim seviyesi
- Kaynağın zaten atanmış olduğu iş miktarı
- Belirli bir işi tamamlamanı, belirli bir kaynağın ne kadar zamanını alacağı bilgisi
- Kaynağın takım arkadaşlarıyla ne kadar uyumlu çalıştığının bilgisi

Problem ele alınırken performans kriterleri, Keyes'in [18] çalışmasına dayandırılarak, ilgili firmadaki geçmiş tecrübelerden, uzmanların görüşlerinden, yönetim kararları gibi yöntemlerden yararlanılarak elde edilebilir. Önerilen model için probleme özgü nitelikler ilgili firmanın verilerinden yararlanılarak ortaya konacaktır.

İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve tutarlılık analizinin yapılması:

Hiyerarşik yapının oluşturulmasının ardından uzman görüşleri yardımıyla ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bu matrislerdeki değerler üçgensel bulanık sayı skalası yardımıyla bulanıklaştırılır ve bulanık ikili matrisler elde edilir. Matrisler normalize edildikten sonra üzerlerinden tutarlılık analizi gerçekleştirilir ve tutarlılık oranı değerleri kontrol edilir. Saaty [99], tutarlılık oranının üst sınırını 0,10 olarak önermiştir. 0,10' un üzerindeki bir tutarlılık oranı için yargılar tutarsız kabul edileceğinden, yargıların kalitesinin iyileştirilmesi gerekecektir.

Önceliklerin hesaplanması: Önceliklerin hesaplanması, tutarlılık analizi sonucunda tutarlı kabul edilen ikili karşılaştırma matrisi sonuçları ile Chang'ın [96 – 97] analiz metodu ve toplam entegral değer [100] metotları kullanılarak hesaplanır. Chang'ın [96 – 97] metodunun seçilmiş olmasının nedeni adımlarının göreceli olarak kolay oluşu ve uygulanışının konvensiyel AHP'ye yakın oluşudur.

Buna göre, bulanık AHP adımları aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{S}_x = (l_x, m_x, u_x), \text{ üçgensel bulanık sayısı için;}$$

Adım1: i. nesne için bulanık büyüklük değerinin tanımı aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{S}_x = \sum_{y=1}^n \tilde{c}_{xy} \otimes \left[\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n \tilde{c}_{ky} \right]^{-1} \quad x = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Denklem 4.1})$$

$\sum_{y=1}^n \tilde{c}_{xy}$ 'yi elde etmek için n adet büyüklük değeri toplamı;

$$\sum_{y=1}^n \tilde{c}_{xy} = \left(\sum_{y=1}^n l_{xy}, \sum_{y=1}^n m_{xy}, \sum_{y=1}^n u_{xy} \right), \quad x = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Denklem 4.2})$$

ve $\left[\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n \tilde{c}_{ky} \right]^{-1}$ 'yi elde etmek için gerekli işlem;

$$\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n \tilde{c}_{ky} = \left(\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n l_{ky}, \sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n m_{ky}, \sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n u_{ky} \right) \quad (\text{Denklem 4.3})$$

ve Wang, Luo ve Hua'ya göre [98] (3) eşitliğindeki vektörün tersini hesaplamak için (4) eşitliği kullanılır;

$$\left[\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n \tilde{c}_{ky} \right]^{-1} = \left(\frac{\sum_{y=1}^n l_{xy}}{\sum_{y=1}^n l_{xy} + \sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n u_{ky}}, \frac{\sum_{y=1}^n m_{xy}}{\sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n m_{ky}}, \frac{\sum_{y=1}^n u_{xy}}{\sum_{y=1}^n u_{xy} + \sum_{k=1}^n \sum_{y=1}^n l_{ky}} \right) \quad (\text{Denklem 4.4})$$

Adım 2: $\tilde{S}_x \geq \tilde{S}_y$ 'nin gerçekleşme olasılığı izleyen eşitlikle ifade edilir:

$$V(\tilde{S}_x \geq \tilde{S}_y) = hgt(\tilde{S}_x \cap \tilde{S}_y) = \mu_{\tilde{S}_x}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_x \geq m_y, \\ 0, & \text{if } l_y \geq u_x, \\ \frac{l_y - u_x}{(m_x - u_x) - (m_y - l_y)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Denklem 4.5})$$

(5) numaralı eşitlikten çıkan en düşük, en uygun olasılıklı ve en yüksek değerlerle ifade edilen üçgensel sayılar yardımıyla toplam entegral değerler hesaplanır, bu değerlerin, değerlerin toplamına oranı ağırlıkları vermektedir.

4.4 Etkin çalışan grubunun belirlenmesi aşaması

Modelin bu aşamasında, Talluri ve Narasimhan [101] tarafından sunulmuş maksimum-minimum yaklaşımının genişletilmiş bir formu ve parametrik olmayan istatistiksel testlerden Kruskal-Wallis testinin kullanımını önerilmektedir.

Max-Min yaklaşımı değerlendirilenin maksimum performanslarını göz önünde bulunduran yaklaşımlardan farklı olarak değerlendirilenin minimum performanslarının da değerlendiren açısından önemli olduğunu savunur. Değerlendirilenin maksimum ve minimum performans değerlerini veren iki eşitliğe sokulmasını ve elde edilen sonuçların anlamlı kümelerle bölünerek yorumlanmasını içerir.

Maksimum değerler aşağıdaki eşitliklerin uygulanması sonucu elde edilir.

$$\max \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{rip}}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{sip}}$$

s.k.g.

$$\frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{ri}^*}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{si}^*} = 1$$

$$\frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{rij}}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{sij}} \leq 1, \quad \forall j$$

$$a_{ri}, b_{si} \geq 0 \quad \forall r, s, i.$$

(Denklem 4.6)

Buna karşılık minimum değerler aynı eşitlikte amaç fonksiyonunun minimum yapılması ile bulunabilir.

Maksimum–minimum yaklaşımının bu tez çalışmasında kullanılmasını önerilen ağırlıklar katılarak genişletilmiş formu aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmektedir [102].

$$\max \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{rip} w_r}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{sip} w_s}$$

s.k.g.

$$\frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{ri}^* w_r}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{si}^* w_s} = 1$$

$$\frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{rij} w_r}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{sij} w_s} \leq 1, \quad \forall j$$

$$a_{ri}, b_{si} \geq 0 \quad \forall r, s, i.$$

(Denklem 4.7)

$$\min \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{rip} w_r}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{sip} w_s}$$

s.k.g.

$$\frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{ri}^* w_r}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{si}^* w_s} = 1$$

$$\frac{\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ri} y_{rij} w_r}{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I b_{si} x_{sij} w_s} \leq 1, \quad \forall j$$

$$a_{ri}, b_{si} \geq 0 \quad \forall r, s, i.$$

(Denklem 4.8)

Modellerde bulunan notasyonlar ve açıklamaları aşağıdaki gibidir:

p : performansı değerlendirilen eleman

R : çıktıları içeren kriter setinin büyüklüğü

S : girdileri içeren kriter setinin büyüklüğü

y_{rj} : j. çalışan için r. çıktının değeri

x_{sj} : j. çalışan için s. girdinin değeri

y_{ri}^* : j. çalışan için r. çıktıların en iyi değeri

x_{si}^* : j. çalışan için s. girdilerinin en iyi değeri

a_{ri} : r. çıktının hesaplanan ağırlığı

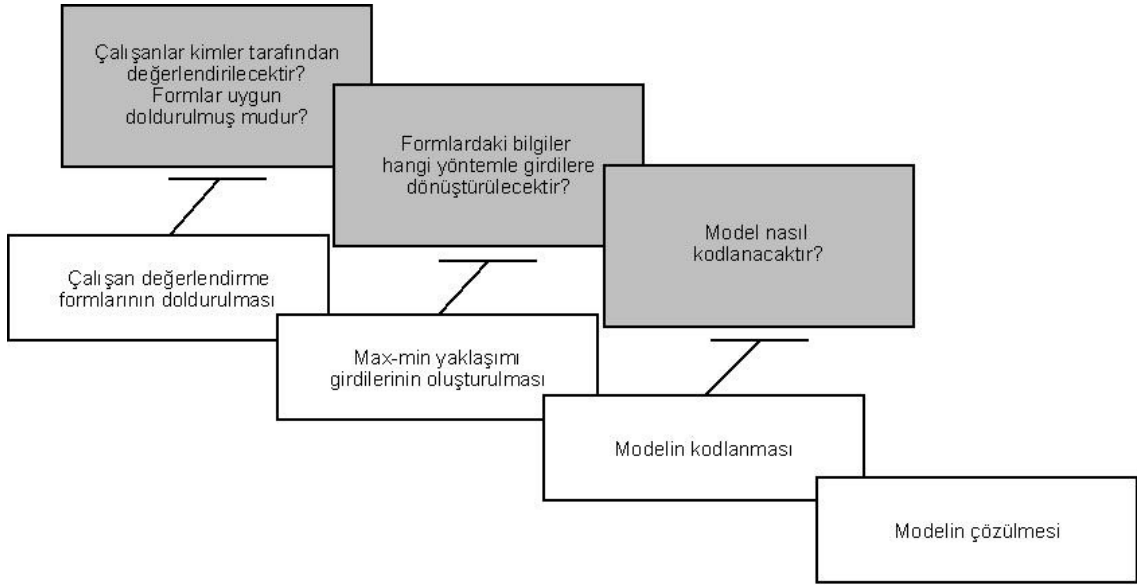
b_{si} : s. girdinin hesaplanan ağırlığı

w_s : s. girdinin ağırlıkça önemi

w_r : r. çıktının ağırlıkça önemini ifade etmektedir.

a_{ri} ve b_{si} modelin değişkenleridir. w_s ve w_r ise modeldeki, bulanık AHP'den alınmış ağırlık önemlerini gösteren diğer parametrelerdir.

Maksimum-minimum yaklaşımı kullanılarak önceden belirlenmiş performans kriterlerine göre çalışanların en iyi ve en kötü performansları göz önüne alınacak, elde edilen performans çıktıları gruplara ayrılıp Kruskal-Wallis testi yardımı ile bu grupların anlamlılığı incelenecektir. Bu safhanın adımları Şekil 4.5'te detaylandırılmıştır.



Şekil 4.5 Etkin çalışan gruplarının belirlenmesi

Çalışan değerlendirme formlarının doldurulması: Çalışmada kullanmak üzere firmanın çeşitli pozisyonlarından çalışanların işleriyle ilgili birden fazla karar verici tarafından çalışanların nitelikleriyle ilgili değerlendirme formları doldurulmalıdır. Verilerin birden fazla kişiden alınmasının nedeni objektif ve daha doğru bir değerlendirmenin yapılabilmesini sağlamaktır.

Max-Min yaklaşımı girdilerinin oluşturulması: Operatör değerlendirme formlarındaki değerler önce bulanıklaştırıp sonrasında normalize edilecektir. Normalizasyon için geometrik ortalama ve $\alpha = 0,5$ olmak üzere toplam entegral değer yöntemleri uygulanacaktır. Ayrıca bulanık AHP'den elde edilen alt kriter ağırlıkları ana kriter ağırlıklarıyla çarpılarak max-min modelinin w_s ve w_r değerleri elde edilir. Daha sonra, girdiler formülasyonda yerine konularak kodlanır. Kodlamanın çözümü sonucunda elde edilen maksimum ve minimum performans çıktıları bir sonraki aşamaya iletilir.

4.5 Sezgisel algoritmaların uygulanması aşaması

Modelin bu aşamasında, proje planının oluşturulması amacıyla sezgisel algoritmalar bu problemin yapısına uygun olan algoritmalar probleme uygulanacaktır.

Model için önerilen sezgisel algoritmalar, Genetik Algoritmalar, Tabu Arama Algoritması ve Benzetim Tavlaması olarak belirlenmiştir. Bu algoritmaların seçimi aşamasında literatür taraması ile hangi algoritmaların kaynak kısıtlı proje çizelgeleme

problemine çözüm olarak önerildiği noktasına bakılmış, bu taramadan çıkan bilgi teknolojisi projelerinde çizelgeleme sonuçları değerlendirilmiştir. Proje çizelgeleme problemlerine yönelik literatür taraması bu tez çalışmasında Bölüm 2’de, bilgi teknolojisi projelerine yönelik literatür taraması ise Bölüm 3’te bulunabilir.

Modelin probleme özgü proje planının belirlenmesi noktasında karar vericiler, takip eden sezgisel algoritmalarından bir tanesini, ellerindeki problemin yapısına uygunluğu, kullanım kolaylığı gibi kişisel kriterleri göz önünde bulundurarak seçip kullanabilirler. Ancak bu tez çalışmasında belirlenmiş sezgisel algoritmaların her biri uygulanarak en iyi çözümün değerlendirilmesi önerilmektedir.

Çizelge 4.2 Sezgisel algoritmaların uygulanması aşamasında kullanılacak metotlar

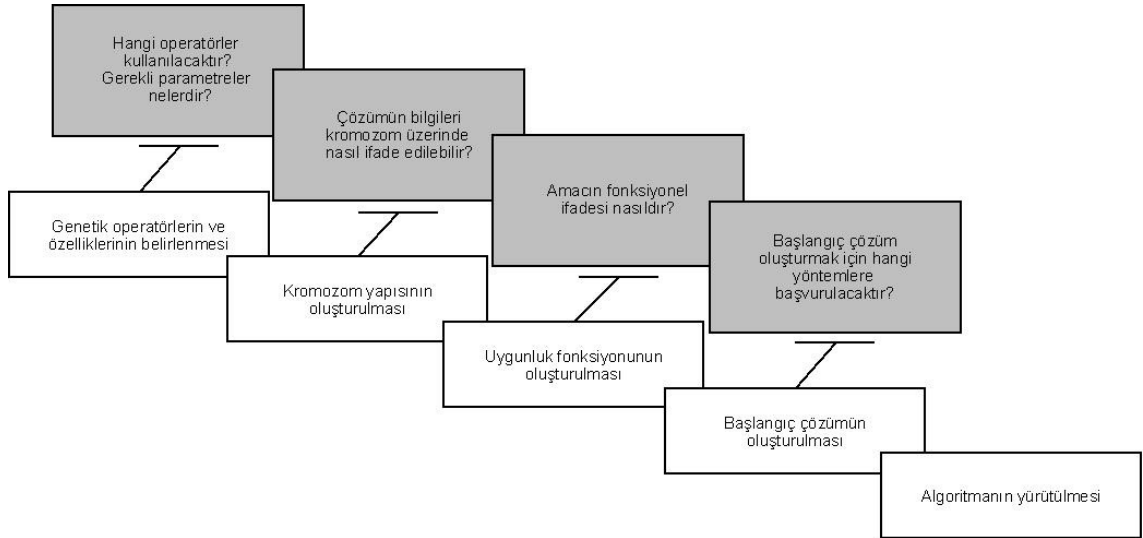
Safha açıklamaları	Kullanılan metotlar
<i>Sezgisel algoritmaların uygulanması:</i> Etkin çalışan grubu, çalışanların, aktivitelerin ve öncelik ilişkilerinin listelerini dikkate alarak sezgisel algoritmaların uygulanması.	Meta-sezgisel algoritmalar • Genetik algoritmalar • Tabu Araştırması • Benzetim Tavlama

Kullanılacak bu metotların uygulamadaki geçerliliğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu test, her bir meta-sezgiselin aynı problem üzerinde uygulanması sonucunda, her bir çözümde elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile gerçekleştirilecektir.

4.5.1 Genetik Algoritmalar

Modelin bu aşamasında, proje planının oluşturulması amacıyla kullanılan sezgisel algoritmalarından ilki genetik algoritmalar [103]. Genetik algoritmaların kaynak kısıtlı bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesi probleminin çözümü için literatürde başarılı örnekleri bulunmaktadır [16, 19, 21, 104].

Aynı sınıf içerisinde bulunduğu tabu araştırması ve benzetim tavlama gibi diğer meta-sezgisellerle genetik algoritmalar arasındaki en büyük fark, genetik algoritmaların tek tek çözümlerden ziyade çözümlerden oluşan popülasyonları ele almasıdır. Çözümler, kromozom olarak adlandırılan sonlu uzunluktaki diziler halinde kodlanır ve uygunluk değerleri hesaplanır. Var olan popülasyondan başlayarak her iterasyonda seçilmiş iki ebeveyne çaprazlama ya da mutasyon gibi operatörler uygulanarak yeni kromozomlar üretilir [39]. Bu aşamanın adımları Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Genetik algoritmaların uygulanması

Genetik operatörlerin ve özelliklerinin belirlenmesi: Parametreler, genetik algoritma performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Tüm problemler için genel olarak kullanılabilecek optimal kontrol parametreleri bulunamamıştır [105]. Popülasyon büyüklüğü genetik algoritmanın yerel optimuma takılmasını engellemek ve çözüm zamanını minimize etmek için ne çok küçük ne çok büyük seçilmelidir. Literatürde, 20-30 arası bir popülasyon büyüklüğünün iyi sonuçlar verdiğini belirtilmiştir. Aynı şekilde çaprazlama olasılığının 0,6 – 0,9 arasında seçilmesi ve mutasyon olasılığının $(1/\text{popülasyon_büyüklüğü})$ ve $(1/\text{kromozom_uzunluğu})$ arasında olması uygundur. Ancak modelin hayata geçirilmesi aşamasında bu değerler denemeler yapılarak duyarlılık analizleri sonucu netleştirilecektir.

Kromozom yapısının oluşturulması: Kromozom yapısının oluşturulması adımı, tüm çözümlerin aynı boyutlara sahip bitler dizisi biçiminde gösterilmesidir. Dizilerden her biri, problemin olası çözümler uzayındaki rastsal bir noktayı simgeler [106]. Kromozomun kodlanmasında problemin nitelikleri etkilidir.

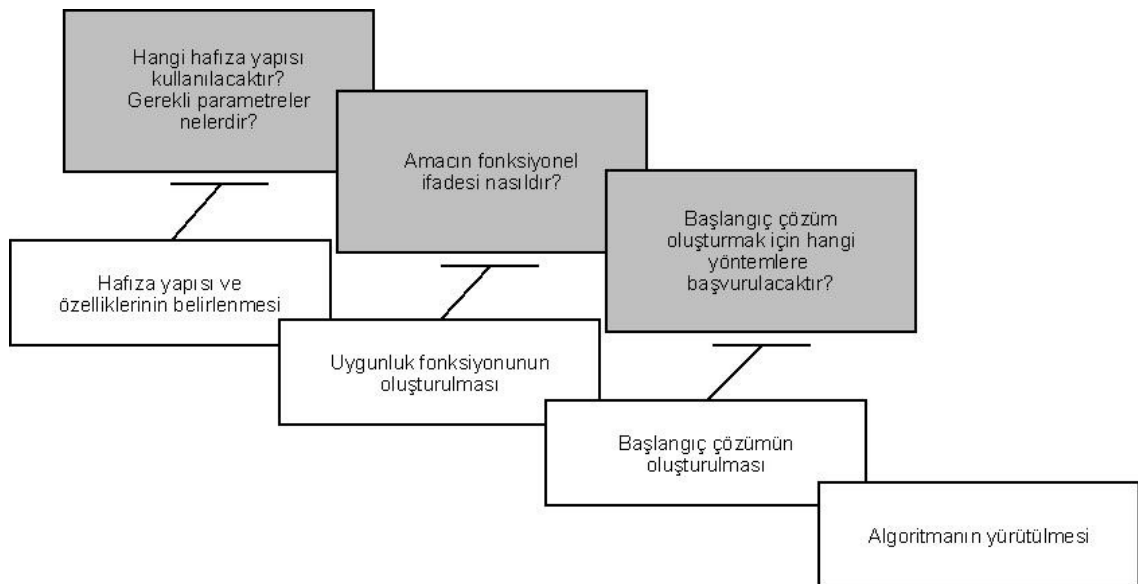
Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması ve başlangıç çözümünün oluşturulması: Uygunluk fonksiyonu probleme özel olduğu için üzerinde çalışılacak problemin verileriyle oluşturulmalıdır. Genellikle problemin amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonu olarak kullanılabilmektedir. Ele alınan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine bakış açısı zaman odaklıdır, dolayısıyla uygunluk fonksiyonu kaynak kısıtlarının sağlandığı en

kısa tamamlanma süresini ortaya koyacak şekilde düzenlenecektir. Başlangıç çözümün oluşturulması aşamasında rastsal sayı üreteçleri kullanılabilir.

4.5.2 Tabu Arama Algoritması

Modelin bu aşamasında kullanılacak meta-sezgisellerden ikincisi Tabu arama algoritmasıdır [107]. Tabu arama algoritması ile kaynak kısıtlı bilgi teknolojisi problemlerinin çözümü için literatürde birtakım çalışmalar bulunmaktadır. Algoritma, sayıların bir vektörü formundaki tek bir çözümü sürekli olarak geliştirmeye çalışır.

Tabu arama algoritmasında tabu listesi olarak oluşturulan ilk aday çözüm ve değişken komşu çözüm sayısı, bir tür tabulaştırma görevi yapmaktadır. Amaç fonksiyonu doğrultusunda, kötü sonuç veren bölgelerde daha fazla işlem yapılmaması (bu elemanların komşu sayılarının azaltılması), istenen çözüme daha az hesaplamayla, dolayısıyla daha hızlı ulaşmayla sağlamaktadır. Amaç fonksiyonu doğrultusunda, iyi sonuç veren parametrelerin bir sonraki iterasyonda komşu sayıları artmakta, böylece algoritmanın verimliliği de artmış olmaktadır [108]. Algoritma, önceden belirlenmiş bir durdurma kriterine dek devam ettirilir.



Şekil 4.7 Tabu arama algoritması

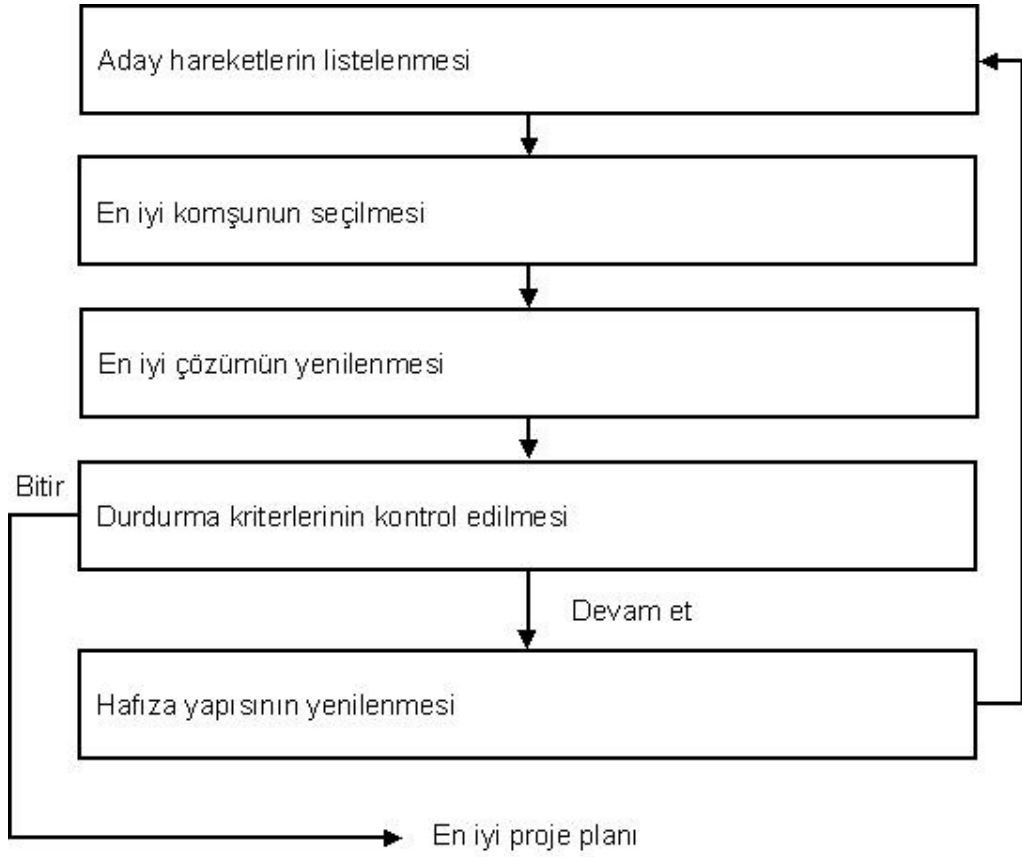
Hafıza yapısının ve özelliklerinin belirlenmesi: Tabu Arama algoritmasının uzun dönemli ve kısa dönemli olmak üzere 2 çeşit hafıza yapısı vardır. Bu yapılardan uzun

dönemli olan, algoritmanın o aşamaya kadar elde ettiği ve uygulanabilir olan en iyi çözümü tutar. Bu çözümün uygulanabilirliği diğer hafıza yapısı olan kısa dönemli hafızayı da ilgilendirmektedir. Kısa dönemli hafıza, arama algoritmasının aynı yerde takılmaması için önemli olan ve liste şeklinde ifade edilebilen bir yapıdır. Bu liste, uzunluğu kadar geriye giderek, o miktarda iterasyonda yapılan değişiklikleri hafızasında tutar. Daha iyi bir çözüm elde edildiğinde bu çözümün listeden bağımsız olup olmadığı kontrol edilir.

Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması: Uygunluk fonksiyonu probleme özel olduğu için üzerinde çalışılacak problemin verileriyle oluşturulmalıdır. Genellikle problemin amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonu olarak kullanılabilir. Ele alınan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine bakış açısı zaman odaklıdır, dolayısıyla uygunluk fonksiyonu kaynak kısıtlarının sağlandığı en kısa tamamlanma süresini ortaya koyacak şekilde düzenlenecek ve çözümlerin değerlendirilmesi aşamasında kullanılacaktır.

Başlangıç çözümün oluşturulması: Tabu araştırma algoritması komşuluk esasına göre hareket etmektedir. Dolayısıyla genetik algoritmalarından farklı olarak başlangıç çözümün oluşturulması aşamasında tek bir çözüm oluşturulacaktır, bu çözüm rassal sayılar ya da farklı algoritmalar yardımıyla oluşturulabilir.

Algoritmanın yürütülmesi: Hafıza yapısı, algoritma özellikleri, çözümlerin değerlendirilmesi için uygunluk fonksiyonu ve algoritmanın başlatılabilmesi için gerekli olan başlangıç çözümü elde edildikten sonra son aşama olarak algoritmanın yürütülmesine geçilir. Tabu arama algoritmasının genel adımları Şekil 4.8’de verilmiştir [108].



Şekil 4.8 Tabu arama algoritması adımları [108]

Aday hareketlerin listelenmesi ve en iyi komşunun seçilmesi: Algoritmanın yürütülebilmesi için gerekli olan ilk hareket başlangıç çözümün üzerinden yapılabilecek aday hareketlerin listelenmesidir. Bu hareketler başlangıç çözümden bir hareket uzaklıktaki çözümlerdir. Aday çözüm listesi üzerinde yapılan seçim işlemi ile arama uzayında hareket edilir. Seçim işleminin adımları Şekil 4.9’da gösterilmiştir [108].



Şekil 4.9 Tabu arama algoritması seçim işleminin adımları [108]

Seçim işlemi sırasında gerçekleştirilecek ilk adım aday hareket için uygunluk değerinin bulunmasıdır. Uygunluk fonksiyonu aracılığıyla bulunan uygunluk değeri, önceki en iyi hareketin uygunluk değerinden düşükse aynı işlem daha iyi çözüm olasılığı olan başka bir aday harekette incelenir. Eğer adayın uygunluk değeri yüksekse, bir sonraki adım olarak adayın tabu listesinde olup olmadığına bakılır. Aday tabu listesinde ise, kabul edilebilir olması için tabu yıkma kriterlerine uygun olması gerekmektedir, tabu listesinde değilse direk olarak kabul edilebilir olarak tanımlanır. Daha iyi bir çözüm olasılığı kalmadığında adaylardan en uygun olan gerçekleştirilerek seçim işlemi bitirilir.

En iyi çözümün yenilenmesi: Tabu araştırmasının hafıza çeşitlerine dahil olan ve “uzun dönemli hafıza” adı verilen yapısı “en iyi çözümü” tutmaktadır. En iyi çözüm içinde bulunulan iterasyonda daha iyi bir çözüm bulunması ve bu çözümü oluşturan hareketlerin tabu listesinde olmaması durumunda yenilenir.

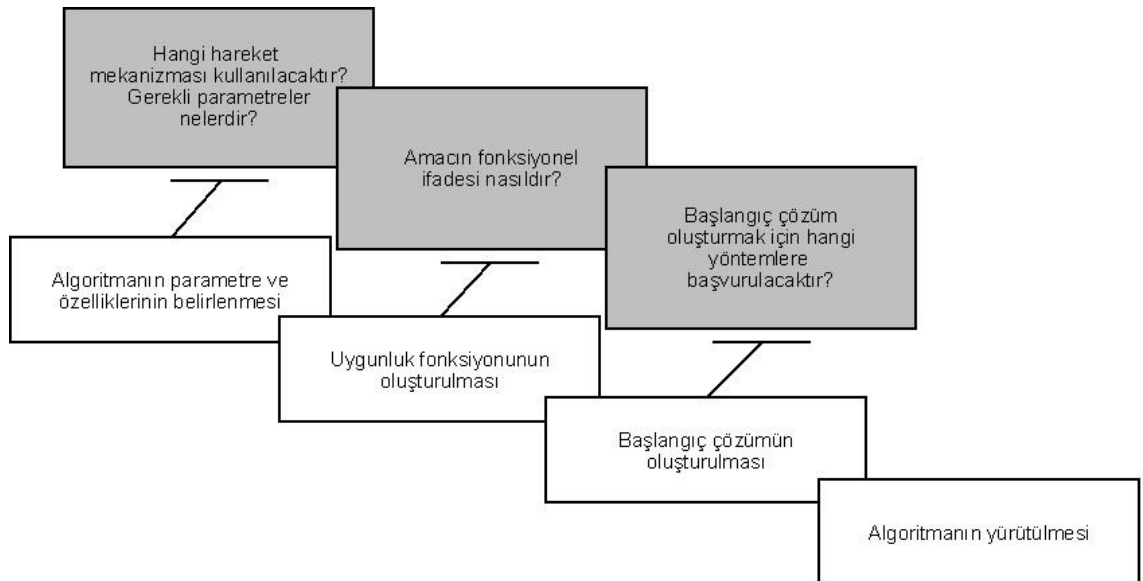
Durdurma kriterlerinin kontrol edilmesi: En iyi çözümün yenilenmesinden sonra tabu araştırma algoritmasının sonlandırılması için önceden belirlenmiş kriterler incelenmelidir. Bu kriterler daha önce de belirtildiği gibi maksimum iterasyon sayısı, belirli bir iterasyon sayısındaki gelişme miktarı vb. olabilir. En iyi çözümün

yenilenmesinin ardından iterasyon bitmiş kabul edilip maksimum iterasyon sayısı ve belirlenmiş diğer durdurma kriterleri kontrol edilir. Eğer kriterler tatmin edilmişse algoritma kesilerek en iyi proje planına ulaşılmış olur, aksi halde bir sonraki adım olan hafıza yapısının yenilenmesine geçilir.

Hafıza yapısının yenilenmesi: Tabu arama algoritması iteratif bir algoritmadır ve her iterasyon sonunda hafıza yapısında bulunan tabu listesi, tabu listesini yıkan adayların listesi gibi yenilenebilir elemanların düzenlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada öncelikle yapılmış hareket tabu listesinde ilk sıraya kaydedilir ve listede bulunan önceki hareketler birer sıra aşağıya kaydırılarak en sondaki eleman listeden çıkartılır. Durdurma kriterleri sağlanmamış olduğundan aday hareketlerin listelenmesi adımına dönülerek yeni iterasyon başlatılır. En son hareket üzerinden aday hareketler hesaplanır.

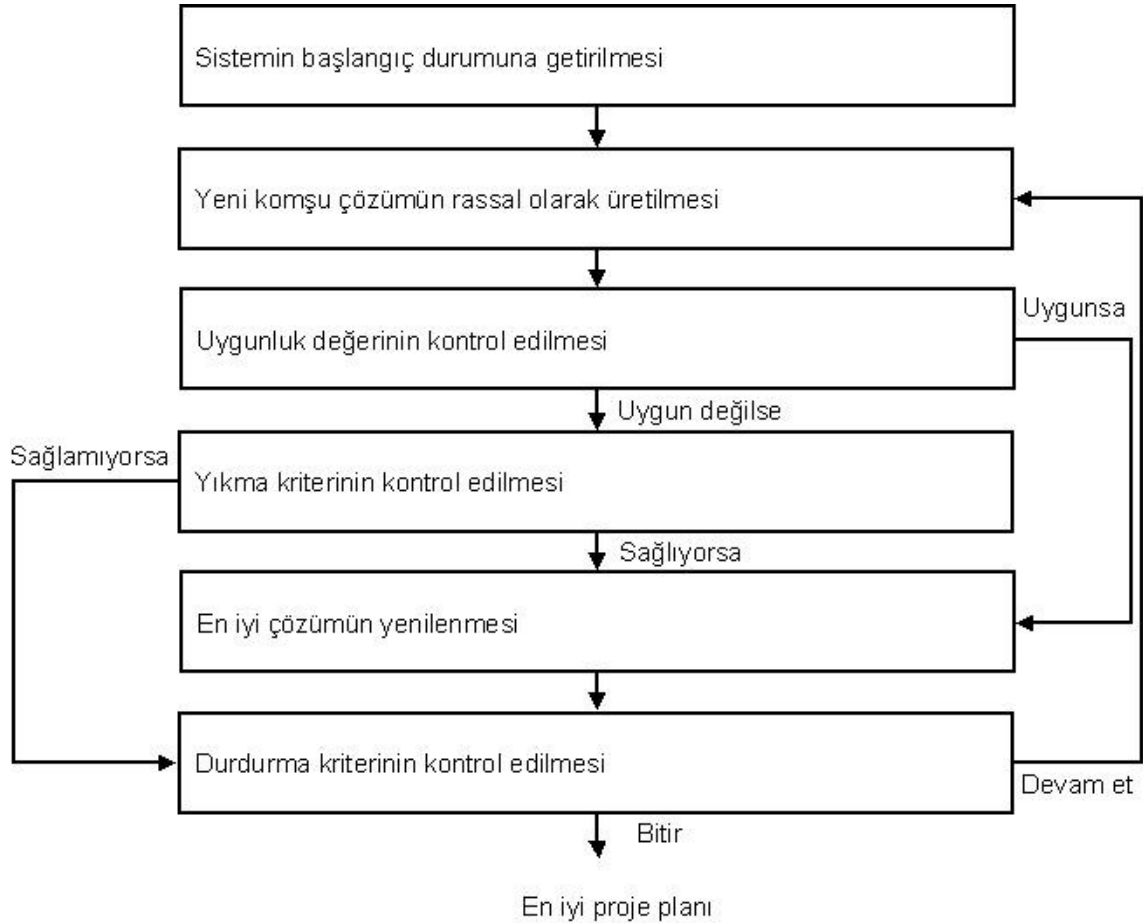
4.5.3 Benzetim Tavlaması

Modelin bu aşamasında kullanılacak meta-sezgisellerden üçüncüsü Benzetim Tavlaması Algoritmasıdır [109 – 110]. Benzetim tavlama algoritması ile kaynak kısıtlı bilgi teknolojisi problemlerinin çözümü için literatürde birtakım çalışmalar bulunmaktadır. Benzetim tavlama yaklaşımının ismi fiziksel tavlama süreci ile olan benzerliğinden gelmektedir. Komşu arama yöntemine dayalı algoritmalarından birisidir.



Şekil 4.10 Benzetim tavlaması

Algoritmanın parametre ve özelliklerinin belirlenmesi: Algoritmanın yürütülmeye başlanması için öncelikle başlangıç sıcaklığının belirlenmesi, soğutma planının oluşturulması, yani tekrar sayısı ve sıcaklık düşürme oranına karar verilmesi, kullanılacak hareket mekanizmasının seçilmesi ve durdurma koşulunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerler belirlendikten sonra algoritma parametreleri tamamlanmış olur.



Şekil 4.11 Benzetim tavlama algoritması adımları

Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması: Uygunluk fonksiyonu probleme özel olduğu için üzerinde çalışılacak problemin verileriyle oluşturulmalıdır. Genellikle problemin amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonu olarak kullanılabilir. Ele alınan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine bakış açısı zaman odaklıdır, dolayısıyla uygunluk fonksiyonu kaynak kısıtlarının sağlandığı en kısa tamamlanma süresini ortaya koyacak şekilde düzenlenecek ve çözümlerin değerlendirilmesi aşamasında kullanılacaktır.

Başlangıç çözümün oluşturulması: Bu çözüm rastsal sayılar ya da farklı algoritmalar yardımıyla oluşturulabilir.

Algoritmanın yürütülmesi: Başlangıç sıcaklığı ve soğutma planı, algoritma özellikleri, çözümlerin değerlendirilmesi için uygunluk fonksiyonu ve algoritmanın başlatılabilmesi için gerekli olan başlangıç çözümü elde edildikten sonra son aşama olarak algoritmanın yürütülmesine geçilir. Benzetim tavlama algoritmasının genel adımları Şekil 4.11 'de verilmiştir.

4.6 Çözümlerin karşılaştırılması aşaması

Bu aşamada, en iyi proje planının belirlenmesi amacıyla, bir önceki adımda Genetik Algoritmalar, Tabu Arama Algoritması ve Benzetim Tavlama Algoritması ile elde edilen çözelgeler karşılaştırılarak analiz edilmektedir.

Bölüm 2.2'de de bahsedildiği üzere, meta-sezgisel algoritmalar problemlerin optimum sonucunu elde etmeyi garantilememekle beraber, optimuma yakın sonuçlar vermekte ve özellikle ele alınan çözelgeme problemi büyüdükçe ve karmaşıktıkça, kesin algoritmalarından daha verimli sonuç elde etmektedir [111]. Bu tez çalışmasına konu olan modelde sezgisel algoritmaların, kesin algoritmaların kullanımına tercih edilmesinin sebebi, problem çözümünde sağladıkları ilgili hız avantajıdır.

Modelde, proje çözelgemesi için önerilen Genetik Algoritmalar, Tabu Araştırması ve Benzetim Tavlama algoritmalarının her biri literatürde çözelgeme için ve modelde kıyaslama yoluyla en iyi çözelgenin belirlenmesi için kullanılmış olmakla birlikte, karar vericiler model yapısını takip ederek her 3 algoritmanın sonucunu kıyaslama yoluna gidebileceği gibi, probleme özgü niteliklere, kullanım kolaylığı ve benzeri kriterlere göre, algoritmalarından birini seçip kullanabilir.

Bu aşamada, modelde algoritmalarından birinin kullanımı pek çok problem için yeterli olmasına karşın, her biri ile elde edilen sonuçların kıyaslanması bazı karmaşık problemlerde sadece birinin uygulanmasına oranla yarar sağlayacaktır.

4.7 Önerilen Modelin Geçerliliğinin Test Edilmesi

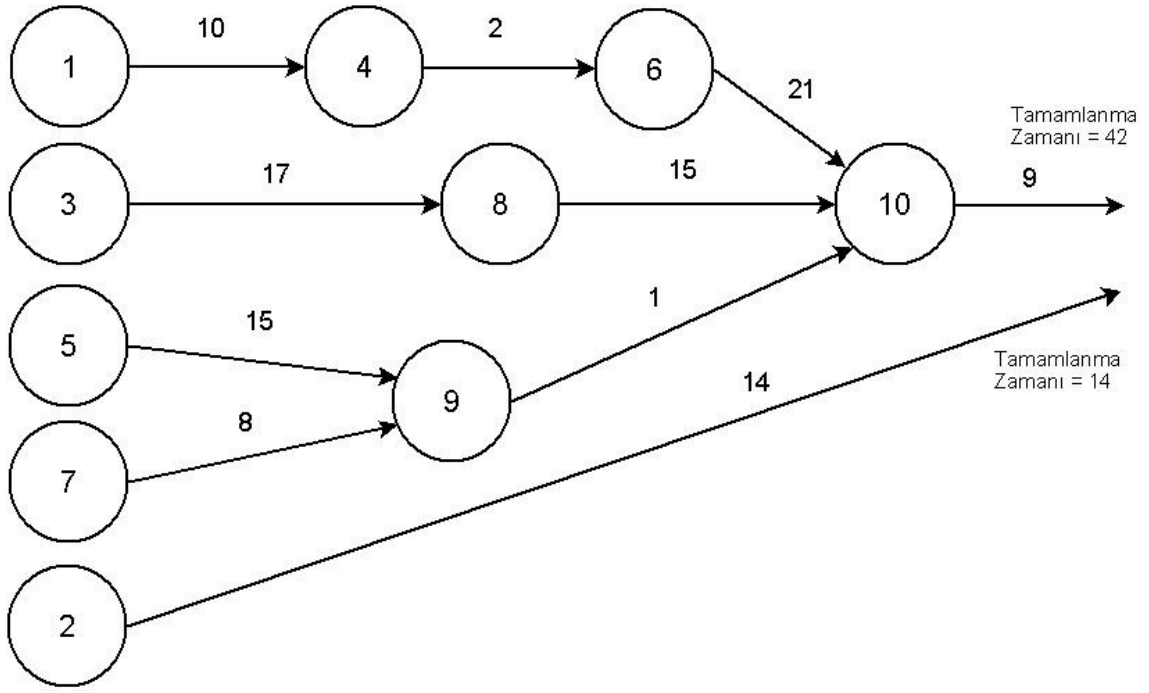
Bu bölümde, önerilen model parametrelerinin ve modelin geçerliliği test edilerek sunulmaktadır. Test için kullanılmak 2 adet problem oluşturulmuştur, bu problemlerden ilki, 10 işli 3 kaynaklı ve 5 özellikli bir test problemidir. CPM yöntemiyle çözümü gerçekleştirilmiş, daha sonra önerilen model ile çözülmüştür.

Çizelge 4.3 Test problemi aktivite-öncelik-özellik ilişkileri

Aktivite Adı	Aktivite süresi	Öncelik İlişkileri	Aktivite Özellik İlişkileri
1	10	-	2,3
2	14	-	1
3	17	-	2
4	2	1	4
5	15	-	4,5
6	21	4	2
7	8	-	1,3
8	15	3	2
9	1	6,8	1,3
10	9	5,7,9	4
11	0	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	-

Problemin aktivite listesi, aktivitelerin süreleri, öncelik ilişkileri ve tamamlanabilmeleri için aktiviteyi gerçekleştirecek çalışanlarda bulunması gereken niteliklerin listesi Çizelge 4.3'te özetlenmiştir.

Buna göre ilgili problemin optimum çözümü CPM ile Şekil 4.12'de gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.12 Test problemi AON grafiği

Buna karşılık olarak, genetik algoritmalarla tekrarlanan çözümlerde, algoritma hemen her çalıştırıldığında optimum sonuca ulaşmıştır. Çizelge 4.4'te en iyi 5 sonuç ve kaynak atamaları görülmektedir.

Çizelge 4.4 Genetik algoritma kullanılarak deneme probleminden elde edilen sonuçlar

Tamamlanma süresi (saat)	Çizelge (kod numarası)	Kaynaklar (kod numarası)
42	0 6 2 3 4 5 7 8 1 9	1 1 0 1 1 2 2 0 1 0
44	2 0 1 3 6 5 4 7 8 9	2 0 1 2 1 0 2 2 1 1
47	0 6 2 4 3 7 5 8 1 9	1 1 0 2 1 2 2 0 1 0
50	2 6 0 4 3 5 7 8 1 9	2 0 1 1 0 1 2 2 2 1
51	2 0 6 3 1 5 4 7 8 9	2 0 1 0 0 1 2 2 1 1

Test problemi üzerinde çalıştırılan tabu algoritmasının verdiği sonuçlar Çizelge 4.5'te özetlenmiştir. Genetik algoritmalarla benzer olarak bu algoritma da optimum sonuca

hemen her çalıştırıldığında yaklaşmış, ancak belirlenmiş iterasyon sayısı içinde optimum çözümü bulamamıştır.

Çizelge 4.5 Tabu araştırması kullanılarak deneme probleminden elde edilen sonuçlar

Tamamlanma süresi (saat)	Çizelge (kod numarası)	Kaynaklar (kod numarası)
44	2 1 0 3 6 5 4 7 8 9	2 0 1 2 1 0 2 2 1 1
45	1 2 0 3 6 5 4 7 8 9	2 1 0 2 0 1 2 2 1 1
46	2 0 1 6 3 5 4 7 8 9	2 0 1 0 1 0 2 2 1 1
47	2 1 0 3 4 6 5 7 8 9	2 0 1 2 0 1 2 2 2 1
50	2 1 0 3 6 4 7 5 8 9	2 0 1 2 0 2 2 1 1 1

Test problemi üzerinde çalıştırılan tavlama benzetimi algoritmasının verdiği sonuçlar Çizelge 4.6’da özetlenmiştir. Tabu Arama Algoritmasına benzer olarak bu algoritma da optimum sonuca hemen her çalıştırıldığında yaklaşmış, ancak belirlenmiş iterasyon sayısı içinde optimum çözümü bulamamıştır.

Çizelge 4.6 Benzetim tavlama kullanılarak deneme probleminden elde edilen sonuçlar

Tamamlanma süresi (saat)	Çizelge (kod numarası)	Kaynaklar (kod numarası)
45	2 4 0 3 1 5 7 6 8 9	2 2 1 2 0 0 2 1 1 1
47	0 1 2 3 4 7 5 6 8 9	1 0 2 1 1 2 1 0 1 1
49	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 0 2 1 1 0 2 2 1 1
50	0 1 2 3 5 4 7 6 8 9	1 0 2 1 0 1 2 2 1 1
51	0 1 3 2 4 5 7 6 8 9	1 0 2 1 1 0 2 1 2 1

Çizelgelerden de görüldüğü üzere, algoritmaların her biri optimum çözüme yaklaşan çözümler (ve zaman zaman optimum çözümü) üretmekte, ayrıca kaynak kullanımı ve çizelge konusunda geniş alternatif sunmaktadır.

Çizelge 4.7 Ek değerlendirme parametreleri

	İşlem hızı (s)	Bulunan en kısa çizelgenin iterasyonu	Bulunan en kısa çizelge (saat)	Optimum sonuca ulaşılma
Genetik Algoritmalar	12,72	388	42	Evet
Tabu Arama	0,06	4	44	Hayır
Benzetim Tavlama	0,003	2	45	Hayır

Çizelge 4.7'ye bakıldığında ise Genetik Algoritmaların işlem zamanının diğer algoritmalarından çok yüksek olduğu ancak hem optimum çözümün bulunması hem de işlem zamanlarının saniyelerle ölçüldüğü göz önünde bulunulduğunda tercih edilebileceği bulunmuştur.

2. test probleminin aktivite listesi, aktivitelerin süreleri, öncelik ilişkileri ve tamamlanabilmeleri için aktiviteyi gerçekleştirecek çalışanlarda bulunması gereken niteliklerin listesi Çizelge 4.8'de özetlenmiştir.

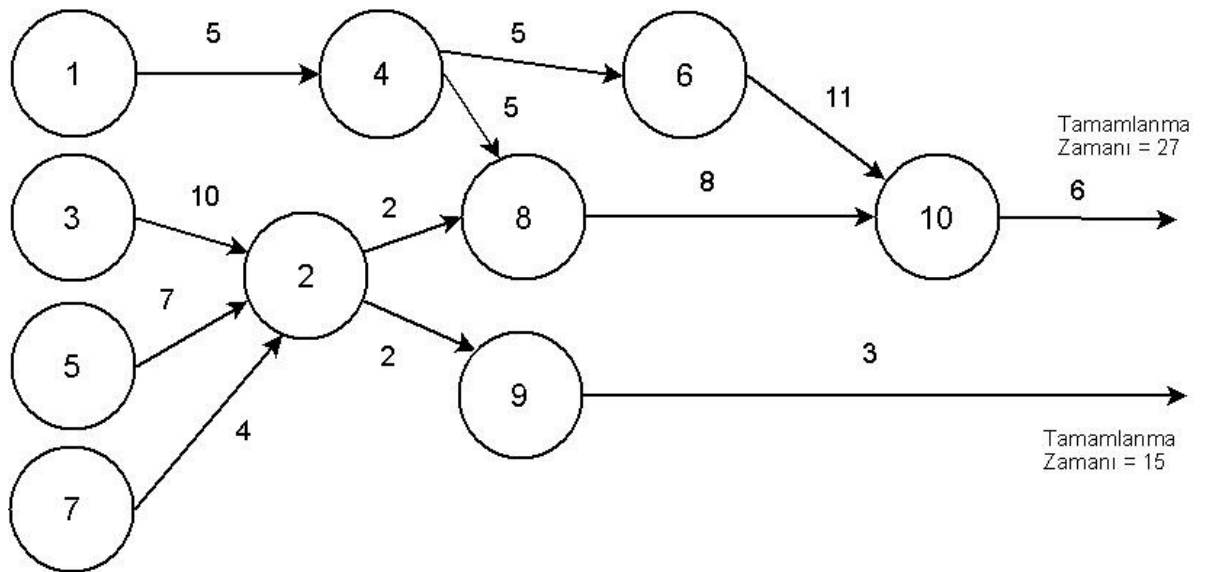
Çizelge 4.8 2. test problemi aktivite-öncelik-özellik ilişkileri

Aktivite Adı	Aktivite süresi	Öncelik ilişkileri	Aktivite Özellik ilişkileri
1	5	-	2,3
2	2	3, 5, 7	1
3	10	-	2
4	5	1	4
5	7	-	4,5
6	11	4	2

7	4	-	1,3
8	8	2	2
9	3	2	1,3
10	6	6,8	4
11	0	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	-

Problemin aktivite listesi, aktivitelerin süreleri, öncelik ilişkileri ve tamamlanabilmeleri için aktiviteyi gerçekleştirecek çalışanlarda bulunması gereken niteliklerin listesi Çizelge 4.8’de özetlenmiştir.

Buna göre ilgili problemin optimum çözümü CPM ile Şekil 4.13’te gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.13 2. test problemi AON grafiği

Buna karşılık olarak, genetik algoritmalarla tekrarlanan çözümlerde, algoritma hemen her çalıştırıldığında optimum sonuca ulaşmıştır. Çizelge 4.9’da en iyi 5 sonuç ve kaynak atamaları görülmektedir.

Çizelge 4.9 Genetik algoritma kullanılarak 2. deneme probleminden elde edilen sonuçlar

Tamamlanma süresi (saat)	Çizelge (kod numarası)	Kaynaklar (kod numarası)
27	0 6 2 3 4 5 7 1 8 9	1 1 0 1 1 0 2 2 2 1
29	0 2 4 3 8 7 5 6 1 9	1 2 0 2 1 1 2 0 2 1
31	0 3 2 6 4 5 1 7 8 9	1 1 0 1 1 2 2 0 1 1
31	0 6 2 3 4 5 1 7 8 9	1 1 0 1 1 0 2 2 1 1
34	0 6 2 3 4 7 1 5 8 9	1 1 0 1 1 2 2 0 1 1

Test problemi üzerinde çalıştırılan tabu algoritmasının verdiği sonuçlar Çizelge 4.10'da özetlenmiştir. Genetik algoritmalara benzer olarak bu algoritma da optimum sonuca hemen her çalıştırıldığında ulaşmıştır.

Çizelge 4.10 Tabu araştırması kullanılarak 2. deneme probleminden elde edilen sonuçlar

Tamamlanma süresi (saat)	Çizelge (kod numarası)	Kaynaklar (kod numarası)
27	0 2 4 3 5 6 7 1 8 9	1 2 0 2 1 0 2 1 2 1
28	0 2 4 3 5 6 1 7 8 9	1 1 0 2 1 0 2 2 1 1
30	0 2 4 3 5 6 1 8 7 9	1 1 0 2 1 0 2 1 2 1
31	0 2 3 4 5 6 1 7 8 9	1 1 0 1 1 0 2 2 1 1
31	2 0 3 4 5 6 1 7 8 9	2 1 1 0 1 0 2 2 1 1

Test problemi üzerinde çalıştırılan tavlama benzetimi algoritmasının verdiği sonuçlar Çizelge 4.11'de özetlenmiştir. Tabu Arama Algoritmasına benzer olarak bu algoritma da optimum sonuca hemen her çalıştırıldığında yaklaşmış ve belirlenmiş iterasyon sayısı içinde optimum çözümü bulmuştur.

Çizelge 4.11 Benzetim tavlamaşı kullanılarak 2. deneme probleminden elde edilen sonuçlar

Tamamlanma süresi (saat)	Çizelge (kod numarası)	Kaynaklar (kod numarası)
27	0 2 4 3 5 6 7 1 8 9	1 2 0 2 1 0 2 1 2 1
28	0 2 4 3 5 6 1 7 8 9	1 1 0 2 1 0 2 2 1 1
31	0 2 3 4 5 6 1 7 8 9	1 1 0 1 1 0 2 2 1 1
33	0 2 3 4 5 6 1 8 7 9	1 1 0 1 1 0 2 1 2 1
34	0 3 2 4 5 6 1 7 8 9	1 1 0 1 1 2 1 0 2 1

Çizelgelerden de görüldüğü üzere, algoritmaların her biri optimum çözüme yaklaşan çözümler (ve hatta optimum çözümü) üretmekte, ayrıca kaynak kullanımı ve çizelge konusunda geniş alternatif sunmaktadır.

Uygulanan test problemleri gibi az sayıda iş, az sayıda öncelik ilişkisi, kaynak ve özellik kısıtları olan problemler için her 3 algoritmada sorunsuz çalışmaktadır. Buna karşın, her üç algoritmadan da elde edilen sonuçlar birbirine çok yakındır ve bu sonuçlar arasında kritik öneme sahip bir fark bulunmamaktadır.

Çizelge 4.12 Ek değerlendirme parametreleri

	İşlem hızı (s)	Bulunan en kısa çizelgenin iterasyonu	Bulunan en kısa çizelge (saat)	Optimum sonuca ulaşılma (%)
Genetik Algoritmalar	8,43	104	27	100
Tabu Arama	10,49	7	27	100
Benzetim Tavlamaşı	0,61	4	27	100

Çizelge 4.12'ye bakıldığında ise Tabu Arama ve Genetik Algoritmaların işlem zamanlarının birbirine yakın olduğu ve benzetim tavlamaşı algoritmasının işlem

zamanının bunlara göre çok daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ancak işlem zamanlarının saniyelerle ölçüldüğü göz önünde bulundurulmalıdır.

Takip eden bölümde, bu bölümde geçerliliğı kanıtlanan modelin gerçek bir bilgi teknolojisi projesi üzerinde uygulanmasına yer verilmektedir. Bölüm, projenin ve dolayısıyla modelin uygulandığı firma ve uygulayıcı firmanın tanıtımı ile başlayıp modelin adımlarından ilki olan problemin tanımlanması aşamasıyla devam etmektedir.

ÖNERİLEN MODELİN UYGULANMASI VE UYGULAMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde bu tez çalışmasında önerilen model gerçek bir Bilgi Teknolojisi üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1 Uygulama yapan ve uygulama yapılan firmanın tanıtımı

Bu teze konu olan proje, 1995 yılından bu yana yurtiçinde ve yurtdışında detay verilere sahip firmalara karar destek çözümleri sunan X firması tarafından gerçekleştirilecektir. Bu firma “Perakende” ve “Bilgi Yönetimi” alanlarında uzmanlaşmış Türkiye’nin öncü yazılım ve danışmanlık şirketlerindendir. İstanbul genel merkez olmak üzere, İstanbul, Ankara ve İzmir’de 60’ı aşkın deneyimli kadrosu ile Türkiye’nin farklı coğrafi bölgeleri, Rusya, Bulgaristan, Romanya, Kıbrıs, Kazakistan, Azerbaycan, Makedonya ve Mısır’da 1800’ün üzerinde farklı noktada faaliyet gösteren müşterilerine hizmet vermektedir. Faaliyet gösterdiği alanlarda dünyanın lider şirketleriyle oluşturduğu iş ortaklıklarını, sahip olduğu AR-GE yetenekleri ve %100 yerli entelektüel sermayesi ile en iyi şekilde tamamlayan firma, bu özellikleri ile sektörde farklı bir konuma sahiptir.

X firması, perakende iş çözümleri, veri ambarı, iş zekası, veri entegrasyonu, veri madenciliği çözümleri ve B2B/B2C elektronik iş platformları ile müşterilerinin verilerini iş değerine dönüştürerek verimliliklerini artırmalarında yardımcı olmaktadır. Firmanın perakende sektörü çözümleri, bir işletmenin tedarik/talep zincirindeki tüm iş süreçlerinin yazılım ve entegrasyon ihtiyaçlarını karşılamak üzere A’dan Z’ ye bir Mağazacılık ERP’si sunmaktadır. Bu çözümler küçük çapta bir mağazadan, çok mağazalı büyük bir zincire kadar yayılan geniş bir yelpazeye hitap etmektedir. Kurumların her

türlü bilgiye analitik olarak raporlar, karneler, analizler ile ulaşmasına olanak sağlayan zengin akıllı raporlama sistemleri üretmektedir. Perakende sektöründe hayata geçirdiği atılımlar, bilgi yönetimi alanında, bugün telekomünikasyon, ulaşım, finans, üretim, sigorta, lojistik, ilaç, tekstil gibi birçok sektörde artarak devam etmektedir. 11 ülkede, farklı ölçekteki 100'ü aşkın müşterisine çözüm ve danışmanlık hizmetleri sağlamaktadır.

Projenin uygulanacağı, Y firması 1983'te İstanbul'da kurulmuştur ve o yıldan bu yana prensiplerini organizasyon ve perakende operasyonlarında sürdürülebilirlik esaslarına uygun olarak ortaya koymaktadır. Büyük üretim gücüyle, paranın gerçek karşılığını veren günlük giyim, moda ve aksesuarlardan oluşan geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Bu gücünü başarılı çalışma takımından, tecrübesinden, verimli ve sürdürülebilir üretim sürecinden almaktadır. Global yönetim ekibi iletişim yetenekleri, toplumsal düşünce yapısı, müşteri odaklılık, takım çalışması yetenekleriyle öne çıkmaktadır. 32 ülkede 170.000 m²'lik alanda 3.000 çalışanı ve 670 mağazası ile faaliyetini sürdürmektedir. Marka vizyonu 2015 yılında hazır giyim markaları arasında dünya çapında en büyük ve popüler markalardan biri olmaktadır.

5.2 Önerilen modelin aşamalarının uygulanması

Bu bölümde, bu tez çalışmasında önerilen modelin X firmasında gerçekleştirilen bir bilgi teknolojisi uygulamasının çizelgelenmesi problemine uygulanması ele alınmıştır. Bölüm, modelin adımlarını takip edecek şekilde, problemin tanımlanması ile başlayıp en iyi çizelgenin belirlenmesi ile son bulmaktadır.

5.2.1 Problemin tanımlanması aşamasının uygulanması

Y firmasının X firmasından talep ettiği ve bu tez çalışmasına konu olan bilgi teknolojisi projesi, X firmasının ürettiği bir lojistik takip sistemidir.

Bu takip sistemi ile üreticilerin, nakliyecilerin ayrıca finans, kalite kontrol ve gümrükleme süreçlerinde yer alan çalışanların doğru zamanda, doğru bilgileri girmelerini sağlayacak bir altyapı kurulması planlanmaktadır. Firmanın yazılımla ilgili hedefi, yazılım kullanılarak bütün bu süreçlerin etkin bir şekilde takip edilebilmesidir.

Böylece gecikmelerden zamanında haberdar olunarak harekete geçilecek ve bu süreçlerde yer alan bütün aktörlerin performansları değerlendirilebilecektir.

Projenin ve dolayısıyla ilgili yazılımın amaçları;

- Nakliyeciler, Üretici ve Acentelerin daha detaylı verilerinin ve süreç tarihçelerinin saklanması/raporlanması ile performans ölçümlerinin yapılabilmesi
- Aksesuar grubunda yaşanan kırık asortili sevkiyatlara çözüm getirilmesi
- Ekranlarda kontrolsüz veri girişlerinin engellenerek ekstra ithalat maliyetlerinin önlenmesi
- Üretim takip sürecinin de sisteme dâhil edilerek üretim sürecindeki performansın izlenebilmesi
- Genel olarak süreçlerdeki kontrolsüz işlemlerin düzene sokularak nakliyeciler ve üretici tarafında yaşanan yükleme/nakliye sıkıntılarının giderilmesi
- Gümrükçü ile olan iş emirleri, beyanname ve masraf süreçleri çevrimiçi sistem üzerinden yapılarak, personel üzerindeki iş yükünün ortadan kaldırılması
- Debit Note bilgilerinin sağlıklı bir şekilde üretilebilmesi ve ödeme ekranlarına tutarların yansıtılması
- Üretim adımlarının sürelerinin takip edilebilmesi ile üretim tesliminde yaşanabilecek gecikmeler sistem üzerinden takip edilebilmesi

olarak sıralanabilir.

Bu amaçlarla yazılım üzerinden, Satınalmacı (Buyer), Üretici, Acente, Nakliyeciler, Pazarlamacı (Merchandiser), Lojistik, Finans, İthalat, Kalite kontrol, Gümrükçü, Antrepo, Depo takipleri yapılabilir.

Yazılımın tamamlanabilmesi için gereken aktivite listesi, ilgili firmada daha önce uygulanmış projelerin verileri gözden geçirilerek ve önceki deneyimler göz önünde bulundurularak firma yetkilileri tarafından belirlenmiştir. Aktivite listesi bilgilerinin içinde bu aktivitelerin öncelik ilişkileri ve aktivitelerin tamamlanması için gerekli ortalama süre bulunmaktadır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Aktivite ve öncelik ilişkisi bilgileri

Aktivite Kodu	Aktivite Adı	Aktivite süresi (gün)	Öncelik İlişkileri	Aktivite Özellik İlişkileri
1	Analiz	16d		3,5,6,11
2	Çözüm Mimarisi Tasarım	2d		4,8
3	Veritabanı Tasarımı	2d	Çözüm Mimarisi Tasarım	4
4	Dosya Ekleme	5d	Veritabanı Tasarımı, Analiz	1,4,
5	İş Emri Açılması	1d	Dosya Ekleme, Veritabanı Tasarımı	1,2
6	Beyanname Bilgileri Alınması	1d	İş Emri Açılması	1,2,5
7	Onay ve Destinasyon Değişikliği	1d	Beyanname Bilgileri Alınması	1
8	Masrafların Alınması	1d	Onay ve Destinasyon Değişikliği	1,5
9	Masraf kalemleri iptal	1d	Masrafların Alınması	1,5
10	Masraf kalemleri Ret Edilmesi	1d	Masraf kalemleri iptal	1,5
11	Ağırlık, Hacim, Adet bilgileri	2d	Masraf kalemleri Ret Edilmesi	1,5
12	İthalat iş emri entegrasyonu	2d	Ağırlık, Hacim, Adet bilgileri	1,5
13	Kalite Kontrol Onay / Ret Sonucu bildirimi	2d	İthalat iş emri entegrasyonu	1,6,11
14	AQL tabloları	2d	Kalite Kontrol Onay / Ret Sonucu bildirimi	6
15	Tamirciler	2d	AQL tabloları	6
16	Hata kodları (Major /	2d	Tamirciler	6

	Minor)			
17	Gemi Ekleme	2d	Hata kodları (Major / Minor)	2
18	Gemi / Uçak - Konşimento Eşleştirilmesi	1d	Gemi Ekleme	2,5
19	Listeleme	3d	Gemi / Uçak - Konşimento Eşleştirilmesi	1
20	Sigortacı formatında çıkıtı üretilmesi	1d	Listeleme	1, 5
21	Authentication	2d	Sigortacı formatında çıkıtı üretilmesi	1
22	Koli Numaraları Toplama	2d	Authentication	1
23	Koli Numaraları Aktarma	2d	Koli Numaraları Toplama	1
24	Nakliyecı Web Servisi	3d	Koli Numaraları Aktarma	1,8
25	Ekleme	3d	Nakliyecı Web Servisi	1
26	Onay / Silme	2d	Ekleme	1
27	Listeleme	2d	Onay / Silme	1
28	Detay	3d	Listeleme	1
29	Giriş	2d	Hata kodları (Major / Minor)	1
30	Listeleme \ Onaylama	3d	Giriş	1
31	Havuz Oluşturma	2d	Detay	1
32	Havuz Listesi	2d	Havuz Oluşturma	1
33	Detay Ekranı	2d	Havuz Listesi	1
34	Bulgu Girişi	2d	Detay Ekranı	1
35	Giriş	2d	Bulgu Girişi	5
36	Manuel Ekleme	2d	Giriş	1,5
37	Listeleme / Onay	6d	Manuel Ekleme	1

38	Oran Girişı	1d	Listeleme / Onay	5
39	Takip adım tanımlama	2d	Listeleme \ Onaylama	5
40	Üretici Takip Girişı / Onaylama	5d	Yönetim	1
41	Geliştirme Buffer	5d	Üretici Takip Girişı / Onaylama	1
42	İş Emri	2d	Masraf kalemleri Red Edilmesi	1
43	Test Ortamı Genel Kurulum	1d	Sigortacı formatında çıktı üretilmesi	1,11
44	Sigorta Yönetimi	2h	Sigortacı formatında çıktı üretilmesi, Test Ortamı Genel Kurulum	1,10,11
45	Nakliyecı El Terminali	2h	Nakliyecı Web Servisi	1,3,7,9,10,11
46	İş Emri Yönetimi	2h	Detay	1,3,7,9,10,11
47	Yönetim	2h	Oran Girişı	1,3,7,9,10,11
48	Kalite Kontrol Yönetimi	2h	Giriş	1,3,7,9,10,11
49	Masraf Yönetimi	2h	Listeleme \ Onaylama	5
50	Üretim Takip Yönetimi	2h	Üretici Takip Girişı / Onaylama	2
51	Sigorta Yönetimi KT	2d	Sigortacı formatında çıktı üretilmesi	5
52	Nakliyecı El Terminali KT	2d	Nakliyecı Web Servisi, Sigortacı formatında çıktı üretilmesi	1,3,7,9,10,11
53	İş Emri Yönetimi KT	2d	Nakliyecı Web Servisi, Detay	1,3,7,9,10,11
54	Yönetim KT	2d	Oran Girişı, Detay	1,3,7,9,10,11
55	Kalite Kontrol Yönetimi KT	2d	Oran Girişı, Giriş	1,3,7,9,10,11
56	Masraf Yönetimi KT	2d	Listeleme \ Onaylama, Giriş	5
57	Üretim Takip Yönetimi KT	2d	Listeleme \ Onaylama, Üretici Takip Girişı / Onaylama	2

58	Kabul Testleri Destek	6d		5
59	Sigorta Yönetimi	4h	Sigorta Yönetimi KT	1,10,11
60	Nakliyeciler El Terminali	4h	Nakliyeciler El Terminali KT	1,10,11
61	İş Emri Yönetimi	4h	İş Emri Yönetimi KT	1,3,7,9,10,11
62	Yönetim	4h	Yönetim KT	1,3,7,9,10,11
63	Kalite Kontrol Yönetimi	4h	Kalite Kontrol Yönetimi KT	1,3,7,9,10,11
64	Masraf Yönetimi	4h	Masraf Yönetimi KT	1,3,7,9,10,11
65	Üretim Takip Yönetimi	4h	Üretim Takip Yönetimi KT	5
66	Proje Kabulü	0h	Sigorta Yönetimi, Nakliyeciler El Terminali, İş Emri Yönetimi, Yönetim, Kalite Kontrol Yönetimi, Masraf Yönetimi, Üretim Takip Yönetimi	1 to 11

İlgili bilgi teknolojisi projesi donanımsal kaynakları projenin uygulanacağı firmadan sağlamakta ve bu nedenle kaynak gereksinimi açısından problemin çözümünde kısıt oluşturacak kaynaklar sadece insan gücü olmaktadır. Bu insan gücünü firmanın personelleri oluşturmakta ve bu personeller çoğunlukla bilgi teknolojisi bölümünden gelmektedir. Projede kullanılabilecek müsait personel kaynağının belirlenmesinde ilgili firmanın insan kaynakları yol göstermiştir. Bu personelin yetkinlik seviyeleri bir sonraki aşamada firma tarafından belirlenecektir.

5.2.2 Çalışanların performans kriterlerinin ağırlıklandırılması aşamasının uygulanması

Problemin tanımlanmasının ardından firma yetkilileri ve daha önce benzer projelerde görev almış firma elemanları beyin fırtınası yoluyla çalışanların değerlendirileceği performans kriterlerini belirlemiştir. Ardından firma yetkilileri belirlenen bu performans kriterlerini önceki verilerden yararlanarak ağırlıklandırmıştır. İlgili kriterler ve ağırlıkları Çizelge 5.2’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.2 Proje kriterleri ve ağırlıkları

Özellik Kodu	Özellik Listesi	Özellik Ağırlıkları
1	.Net Programlama Becerisi	20
2	Lojistik Proje Deneyimi	5
3	Süreç Analizi Becerisi	5
4	Veri Tabanı Yönetimi Tecrübesi	5
5	Muhasebe/Finansman Süreç Becerisi	5
6	Kalite Kontrol Süreç Becerisi	5
7	Eğitim Uygunluğu	5
8	Web Uygulama Geliştirme Yeteneği	5
9	Sistemler Arası Entegrasyon Yazılım Becerisi	20
10	MS Dynamics Axapta Yazılım Geliştirme Deneyimi	15
11	Firma İçi Süreç Analizi Deneyimi	10

5.2.3 Etkin çalışan grubunun belirlenmesi aşamasının uygulanması

Modelin bu aşamasında, proje takımını oluşturan personelin performans değerlendirmesi, değerlendirilenin maksimum performansını göz önünde bulunduran yaklaşımlardan farklı olarak minimum performansı da işleme koyan max-min yaklaşımı kullanılmaktadır.

Çalışan değerlendirme formlarının doldurulması: Çalışmada kullanmak üzere firmanın çeşitli pozisyonlarından çalışanların işleriyle ilgili birden fazla karar vericiye, çalışanların nitelikleriyle ilgili değerlendirme formları doldurtulmuştur. Karar vericilere değerlendirmelerde kullanılmak için sözel değerlendirmelere karşılık gelen bir

değerlendirme skalası verilmiştir. Skalada sözel değerlendirmelere karşılık gelen puan değerleri Çizelge 5.3'te verildiği gibidir.

Çizelge 5.3 Değerlendirme skalası

Sözel Değerlendirme	Karşılık Gelen Puan Değeri
Yok	1
Zayıf	3
Orta	5
İyi	7
Çok iyi	9

Bu skalaya göre karar vericiler tarafından projede kullanılmak için uygun zamanları bulunan çalışanlara verilmiş olan notlar Çizelge 5.4'te verilmiştir. Bu değerler ve performans kriterlerinin ağırlıkları max-min algoritmasının girdilerinin oluşturulması için aynı isimli aşamaya iletilir.

Max-Min yaklaşımı girdilerinin oluşturulması: Önceki aşamada doldurtulan operatör değerlendirme formlarındaki değerler önce bulanıklaştırıp sonrasında geometrik ortalama ve $\alpha = 0,5$ alınarak toplam entegral değer yöntemleriyle normalize edilmiştir. Normalizasyon sonucunda elde edilen değerler max-min algoritmasının çalışan performanslarının hesaplanmasında girdi olarak kullanılır. Ayrıca, bu tez çalışmasında kullanılan Şen'in [102] ortaya koyduğu, max-min algoritmasının genişletilmiş formu bir önceki adımda belirlenmiş olan kriter ağırlıklarını modelin w_s ve w_r değerleri olarak kullanılır.

Çizelge 5.4 Niteliklerin bulanıklaştırılması ve durulaştırılması için K1 kaynağı örneği

	K1														
	Karar Verici 1			Karar Verici 2			Karar Verici 3			Geometrik Ortalama			Toplam Entegral Değer		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	ls	ms	us	0,25	0,5	0,75
Süreç Analizi Becerisi	1	2	3	2	3	4	2	3	4	1,58	2,62	3,63	2,35	2,61	2,87
Muhasebe/Finansman Süreç Becerisi	2	3	4	2	3	4	1	2	3	1,58	2,62	3,63	2,35	2,61	2,87
Kalite Kontrol Süreç Becerisi	2	3	4	2	3	4	1	2	3	1,58	2,62	3,63	2,35	2,61	2,87
Firma İçi Süreç Analizi Deneyimi	2	3	4	2	3	4	3	4	5	2,28	3,30	4,30	3,04	3,30	3,55
Eğitim Uygunluğu	6	7	8	4	5	6	6	7	8	5,24	6,25	7,26	6,00	6,25	6,50
Web Uygulama Geliştirme Yeteneği	6	7	8	6	7	8	4	5	6	5,24	6,25	7,26	6,00	6,25	6,50
.Net Programlama Becerisi	4	5	6	5	6	7	6	7	8	4,93	5,94	6,95	5,69	5,94	6,19
Veri Tabanı Yönetimi Tecrübesi	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0,75	1	1,25
Sistemler Arası Entegrasyon Yazılım Becerisi	6	7	8	6	7	8	8	9	10	6,60	7,61	8,61	7,35	7,61	7,86
MS Dynamics Axapta Yazılım Geliştirme Deneyimi	6	7	8	8	9	10	6	7	8	6,60	7,61	8,61	7,35	7,61	7,86
Lojistik Proje Deneyimi	3	4	5	1	2	3	2	3	4	1,81	2,88	3,91	2,61	2,87	3,13

Çizelge 5.5 Max-min algoritması girdi değerleri

Özellik Kodları		Çalışanlar							
Inputs	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	x_{si}^*
1	5,943	1,000	1,000	8,653	1,000	7,958	1,000	1,000	1,000
9	7,611	3,633	3,633	7,318	3,553	5,943	1,000	1,000	1,000
4	1,000	1,000	1,000	6,256	1,000	2,616	1,000	1,000	1,000
10	7,611	1,000	8,276	2,616	1,000	3,000	1,000	4,710	1,000
2	2,875	3,301	6,802	5,943	7,611	3,094	7,958	8,653	2,875
Outputs	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	y_{ri}^*
5	2,616	3,403	4,641	3,553	4,641	2,616	1,000	3,000	4,641
6	2,616	1,000	5,646	2,616	6,649	3,553	5,943	5,515	6,649
3	2,616	4,641	7,318	3,301	8,653	3,094	2,616	8,653	8,653
11	3,301	1,000	8,653	1,000	1,000	1,000	7,958	4,213	8,653
8	6,256	2,875	1,000	7,958	1,000	7,318	1,000	1,000	7,958
7	6,256	4,475	6,649	6,649	8,653	5,943	4,155	3,403	8,653

Çalışanların projede kullanılan performans kriterlerine göre yapılan değerlendirme sonuçları ve performans kriteri ağırlıkları formülasyonda yerine konulur ve kodlanır. Kodlamanın çözümü sonucunda elde edilen maksimum ve minimum performans çıktıları bir sonraki aşamaya girdi olarak kullanılmak üzere iletilir.

Çizelge 5.6 Max-min algoritmasından elde edilen maksimum ve minimum performans değerleri

Performans	Maksimum	Minimum
Çalışanlar		
K1	0,491307	0,0424954
K2	0,43186	0,0321202
K3	0,565091	0,0146779
K4	0,266367	0,0139334
K5	0,58995	0,015183
K6	0,30912	0,0158032
K7	0,478222	0,145218
K8	0,554132	0,133545

Kruskal Wallis testi uygulanarak çalışan gruplaması yapılabilir ya da çalışanların maksimum ve minimum performansları sezgisel algoritmalarla yapılan hesaplamalara doğrudan katılabilir.

5.2.4 Sezgisel algoritmaların uygulanması aşamasının uygulanması

Modelin bu aşamasında, proje planının oluşturulması amacıyla sezgisel algoritmalar genetik algoritmalar, tabu arama algoritması ve tavlama benzetimi algoritması kullanılacaktır. Algoritmaların parametreleri takip eden başlıklarda verilmiştir.

5.2.4.1 Genetik Algoritmaların Uygulanması

4. Bölümde bulunan model önerisinde anlatılan Genetik Algoritma adımları bu bölümde uygulanarak proje planı için aday sonuçlar elde edilmektedir.

Genetik operatörlerin ve özelliklerinin belirlenmesi: Parametreler, genetik algoritma performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Ancak tüm problemler için genel olarak kullanılabilecek optimal kontrol parametreleri bulunmamaktadır [76].

Problemin çözümü için, literatürdeki çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenen parametreler Çizelge 5.7’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.7 Genetik algoritma parametreleri

Parametreler	Büyüklik	Özellik
Nesil sayısı	1000	----
Popülasyon büyüklüğü	20	----
Gen büyüklüğü/gösterimi	65	Permütasyon temelli gösterim
Çaprazlama oranı / operatörü	0,8	Parçalı çaprazlama
Mutasyon oranı / operatörü	0,05	İki noktalı yer değiştirme
Seçim operatörü	----	Rulet Çarkı
Elitizm	----	Var

Kromozom yapısının oluşturulması: Probleme özel kromozom yapısı çizelgenecek tüm aktivitelerin permütasyon yöntemiyle kromozom üzerinde gösterilmesiyle oluşturulmuştur.

Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması ve başlangıç çözümün oluşturulması: Problemin çözümü için belirlenen amaç fonksiyonu, operatör performanslarının aktivitelerin tamamlanma süresi ve dolayısıyla projenin tamamlanma süresine etki edeceği şekilde düzenlenmiştir. Bu fonksiyonun temel mantığı, zaman etütleri ve

normal zaman kavramına dayanmakta, operatörün bilgi tecrübe ve dolayısıyla performansının işi yapış hızına etki edeceği öne sürülmektedir.

Ele alınan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine bakış açısı zaman odaklıdır, dolayısıyla uygunluk fonksiyonu kaynak kısıtlarının sağlandığı en kısa tamamlanma süresini ortaya koymaktadır.

Başlangıç çözümün oluşturulması aşamasında rassal sayılar kullanılmıştır.

5.2.4.2 Tabu Araştırması Algoritmasının Uygulanması

4. Bölümde bulunan model önerisinde anlatılan Tabu Arama Algoritması'nın adımları bu bölümde uygulanarak proje planı için aday sonuçlar elde edilmektedir.

Hafıza yapısının ve özelliklerinin belirlenmesi: Tabu algoritmasında bulunan 2 adet hafıza tipinden, uzun dönemli olan, en iyi çözümü elde tutarken, kısa dönemli hafıza, daha önceki iterasyonlarda yapılmış hareketleri elde tutar. Kısa dönemli hafıza için belirlenmesi gereken parametre uzunluğu ifade eder. Problem için kullanılan tabu listesi uzunluğu deneme yanılma yöntemi sonucunda 10 olarak seçilmiştir.

Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması: Problemin çözümüne yönelik uygunluk fonksiyonu genetik algoritmalarla çözüm yaklaşımı sırasında oluşturulmuştur. Tabu arama algoritması aynı uygunluk fonksiyonunu kullanmaktadır.

Başlangıç çözümün oluşturulması: Tabu arama algoritması komşuluk esasına göre hareket etmektedir. Genetik algoritmalar için başlangıç çözümü bir popülasyonun tamamını belirtirken Tabu Arama algoritması için rassal olarak tek bir çizelge oluşturulmuştur.

Algoritmanın yürütülmesi: Hafıza yapısı, algoritma özellikleri, çözümlerin değerlendirilmesi için uygunluk fonksiyonu ve algoritmanın başlatılabilmesi için gerekli olan başlangıç çözümü elde edildikten sonra son aşama olarak algoritmanın yürütülmesine geçilir.

Aday hareketlerin listelenmesi ve en iyi komşunun seçilmesi: Algoritmanın yürütülebilmesi için gerekli olan ilk hareket başlangıç çözümün üzerinden yapılabilecek aday hareketlerin listelenmesidir. Bu hareketler başlangıç çözümden bir hareket

uzaklıktaki çözümlerdir. Aday çözüm listesi üzerinde yapılan seçim işlemi ile arama uzayında hareket edilir. Seçim işleminin adımları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Tabu arama algoritması seçim işleminin adımları

Seçim işlemi sırasında gerçekleştirilecek ilk adım aday hareket için uygunluk değerinin bulunmasıdır. Uygunluk fonksiyonu aracılığıyla bulunan uygunluk değeri, önceki en iyi hareketin uygunluk değerinden düşükse aynı işlem daha iyi çözüm olasılığı olan başka bir aday harekette incelenir. Eğer adayın uygunluk değeri yüksekse, bir sonraki adım olarak adayın tabu listesinde olup olmadığına bakılır. Aday tabu listesinde ise, kabul edilebilir olması için tabu yıkma kriterlerine uygun olması gerekmektedir, tabu listesinde değilse direk olarak kabul edilebilir olarak tanımlanır. Daha iyi bir çözüm olasılığı kalmadığında adaylardan en uygun olan gerçekleştirilerek seçim işlemi bitirilir.

En iyi çözümün yenilenmesi: En iyi çözümün tutulması, tabu arama algoritmasının uzun dönemli hafıza yapısına karşılık gelmektedir. Problemin çözümü için, en iyi çözüm her iterasyonun sonunda, tabu listesinde yer almayan hareketlerle oluşmuş ve eski çözümden daha iyi olan bir çözüm bulunduğu takdirde yenilenir.

Durdurma kriterlerinin kontrol edilmesi: En iyi çözümün yenilenmesinden sonra tabu araştırma algoritmasının sonlandırılması için önceden belirlenmiş kriterler

incelenmelidir. Ele alınan problem için durdurma kriterleri, maksimum iterasyon sayısı ve belirli bir iterasyon boyunca gelişmeme durumudur.

En iyi çözümün yenilenmesinin ardından iterasyon bitmiş kabul edilip maksimum iterasyon sayısı ve belirlenmiş diğer durdurma kriterleri kontrol edilir. Eğer kriterler tatmin edilmişse algoritma kesilerek en iyi proje planına ulaşılmış olur, aksi halde bir sonraki adım olan hafıza yapısının yenilenmesine geçilir.

Hafıza yapısının yenilenmesi: Tabu arama algoritması iteratif bir algoritmadır ve her iterasyon sonunda hafıza yapısında bulunan tabu listesi, tabu listesini yıkan adayların listesi gibi yenilenebilir elemanların düzenlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada öncelikle yapılmış hareket tabu listesinde ilk sıraya kaydedilir ve listede bulunan önceki hareketler birer sıra aşağıya kaydırılarak en sondaki eleman listeden çıkartılır. Durdurma kriterleri sağlanmamışsa, aday hareketlerin listelenmesi adımına dönülerek yeni iterasyon başlatılır.

5.2.4.3 Benzetim Tavlama Algoritmasının Uygulanması

4. Bölümde bulunan model önerisinde anlatılan Benzetim Tavlama Algoritması'nın adımları bu bölümde uygulanarak proje planı için aday sonuçlar elde edilmektedir.

Algoritmanın parametre ve özelliklerinin belirlenmesi: İlgili bilgi teknolojisi probleminin çözümü için, literatürdeki bilgilerin ışığında ve deneme yanılma yöntemiyle seçilen başlangıç parametreleri Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

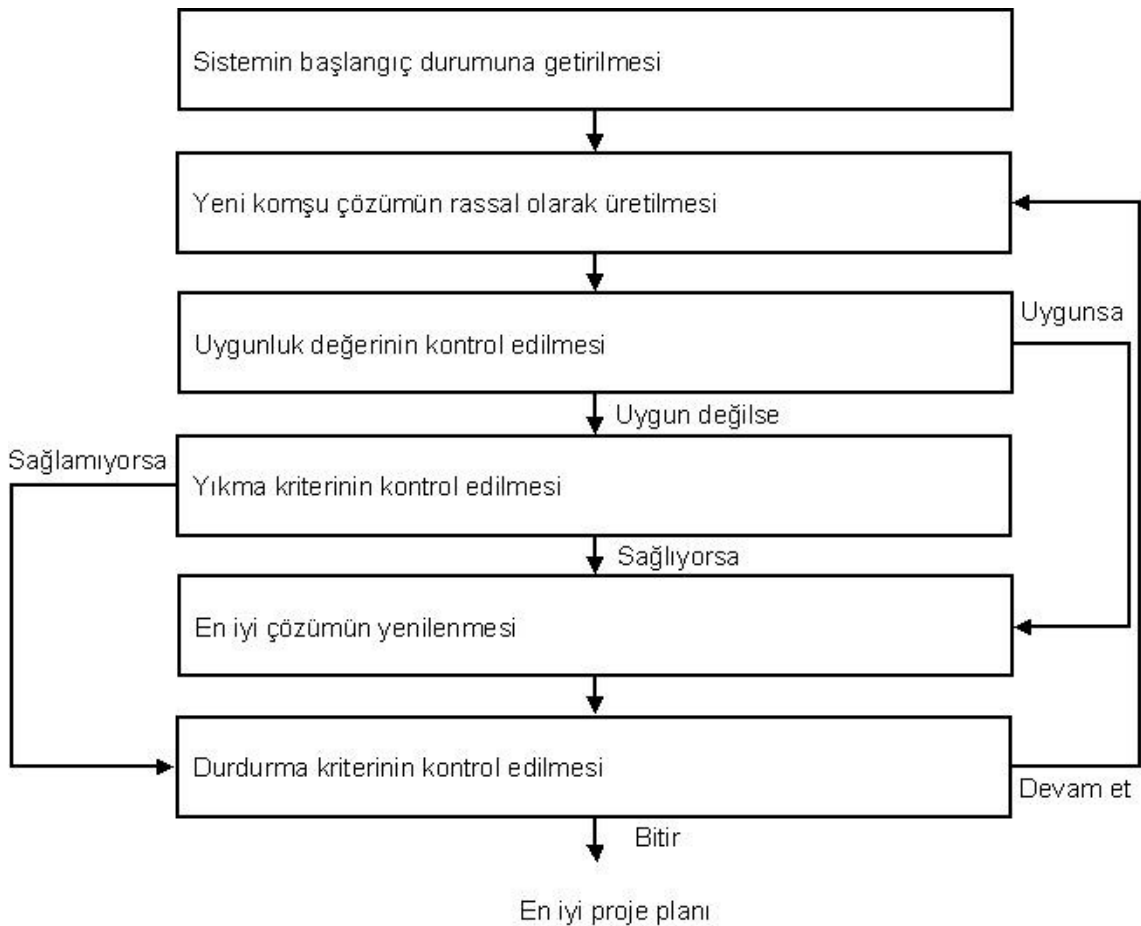
Çizelge 5.8 Benzetim tavlama algoritması için başlangıç parametreleri

Parametreler	Büyükölük	Özellik
Başlangıç Enerjisi	4.000.000	----
Soğutma oranı/fonksiyonu	0,8	Sabit düşürme fonksiyonu
Minimum Enerji	0,0001	----
Devre sayısı	64	----

Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması: Problemin çözümüne yönelik uygunluk fonksiyonu genetik algoritmalarla çözüm yaklaşımı sırasında oluşturulmuştur. Tabu arama algoritmasında da kullanılan aynı uygunluk fonksiyonu bu algorithmada da kullanılmaktadır.

Başlangıç çözümün oluşturulması: Benzetim Tavlama algoritması komşuluk esasına göre hareket etmektedir. Tabu Arama algoritması için olduğu gibi, bu algoritma için de rassal olarak tek bir çizelge oluşturularak başlangıç çözüm olarak kullanılmıştır.

Algoritmanın yürütülmesi: Bu adımda, Şekil 5.2’de verilen Benzetim Tavlama algoritmasının genel adımları uygulanarak, algoritmanın ürettiği en iyi çizelge elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Benzetim tavlama algoritması adımları

5.2.5 Çözümlerin karşılaştırılması aşamasının uygulanması

Ele alınan, çok sayıda aktivite, çizelgeleme seçeneklerini hatırı sayılır ölçüde daraltacak kadar fazla öncelik ilişkisi barındıran problemler için başlangıç çözümü sıralı almak arama süresini daraltmakta ve elde edilen sonuçları iyileştirmektedir. Çizelge 5.9’da ele alınan problemin koşturulduğu durum için elde edilen sonuçlar ve çizelgeler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.9 Problem verileri koşturularak elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Algoritma	Proje Süresi (saat)	Çizelge (kod numaraları)	Kullanılan kaynaklar (kod numaraları)
Genetik Algoritmalar	770	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 52 39 42 54 41 46 44 49 47 40 43 57 48 45 50 53 51 55 56 38 61 58 64 63 60 59 62	7 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 5 0 0 0 0 7 0 0 7 2 5 5 3 0 0 0 0 0 0 4 7 4 0 0 0 0 4 6 7 0 0 0 0 0 0 4
	776	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 45 39 54 41 42 43 44 38 46 47 48 49 50 57 52 53 51 55 56 40 58 59 64 61 62 63 60	7 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 5 0 0 0 0 7 0 0 7 7 5 5 3 0 0 0 0 0 0 4 6 4 0 0 0 0 7 6 2 0 0 0 0 0 0 7
	872	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 56 48 49 50 51 52 53 54 55 47 57 58 59 60 61 62 63 64	7 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 5 0 0 0 0 7 0 0 7 4 0 0 5 0 0 0 0 0 0 4 6 2 0 0 0 0 7 7 7 0 0 0 0 0 0 4
Tabu Araştırması	770	1 0 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 28 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 30 31 32 33 34 35 39 36 29 48 42 41 37 47 44 49 40 43 45 46 38 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64	7 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 7 0 5 7 7 0 5 3 0 0 0 0 0 0 7 6 4 0 0 0 0 7 6 4 0 0 0 0 0 0 7

	772	1 0 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 28 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 30 31 32 33 34 35 39 36 29 48 42 41 37 47 44 40 49 43 46 45 38 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64	7 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 7 0 5 7 7 0 5 3 0 0 0 0 0 0 7 6 4 0 0 0 0 7 6 4 0 0 0 0 0 7
	778	1 0 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 28 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 30 31 32 33 34 35 36 39 29 48 42 41 37 47 44 40 49 43 45 46 38 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64	7 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 7 0 0 7 7 5 3 5 0 0 0 0 0 0 7 7 4 0 0 0 0 7 6 4 0 0 0 0 0 7
Benzetim Tavlamaşı	858	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 57 56 58 59 60 61 62 63 64	7 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 5 0 0 0 0 7 0 0 7 4 0 0 5 0 0 0 0 0 0 7 6 4 0 0 0 0 7 6 4 0 0 0 0 0 7
	874	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 58 57 59 60 61 62 63 64	7 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 5 0 0 0 0 7 0 0 7 4 0 0 5 0 0 0 0 0 0 7 6 4 0 0 0 0 7 6 7 0 0 0 0 0 4

Bu sonuçlara göre elde edilen en iyi sonuç Genetik Algoritmalar ve Tabu Araştırması Algoritması tarafından üretilmişken, tüm algoritmalar arasında en iyi sonuca yaklaşma açısından en başarılı algoritma Tabu Arama algoritması olarak belirlenmiştir.

Öte yandan, Benzetim Tavlamaşı Algoritması bu problemin çözümü için çok verimli değildir. Bu sonuçlardan yola çıkarak Benzetim Tavlamaşı Algoritması'nın daha küçük çaplı problemlerde kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülebilir. (Bkz. Test Problemi)

Özellikle, Tabu Arama algoritması ve Genetik Algoritmalar sonuca yaklaşma açısından başarılı bulunmuştur. Bu algoritmalarla ulaşılan çözümlerde 2. ve 3. sıradaki en iyi sonuçlar, optimuma en yakın sonuçtan çok uzağa düşmemektedir. Farklı parametreler

kullanılarak çözüm işlemi tekrarlandığında daha iyi sonuçların elde edilmesi olası görünmektedir.

Çizelge 5.10 Ek değerlendirme parametreleri

	İşlem hızı (s)	Bulunan en kısa çizelgenin iterasyonu	Bulunan en kısa çizelge (saat)
Genetik Algoritmalar	16,01	576	770
Tabu Arama	32,34	5	770
Benzetim Tavlaması	3,36	2	858

Çizelge 5.10 değerlendirildiğinde tüm programların bir dakikadan az sürede tamamlandığı görülmektedir. Tabu arama algoritmasının işlem süresi en yüksek işlem zamanıdır, ancak test problemlerinde bulunan sonuçlar da göz önüne alınırsa işlem zamanlarının probleme bağlı olarak değişebildiği söylenebilir. Tüm zamanlar 1 dakikanın altında olduğu için her biri kabul edilebilir sürelerdir.

X firmasında uygulanmış olan proje iki faz halinde yürütülmüş ve ilk faz 100 gün olarak planlanmışken 160 gün süre almış, 160 günün sonunda ise çıkan hatalar ve yeni istekler için yazılım desteği vermeye devam edilmiştir. Bu tez çalışmasında odaklandığımız ikinci faz planlamalarda 50 gün olarak yer alırken yapılan yenileme sonucunda bu süre 146 güne uzatılmıştır.

Bu tez çalışmasının sonucunda doğru kaynak kullanımlarına rağmen faz 2'nin minimum süresinin 90 – 100 gün arasında değişeceği belirlenmiştir. Firma, bu çalışmada belirlenen kaynak atamalarını değerlendirmiş ve kullanım için doğru olduklarını teyit etmiştir. Bu kaynakların kullanımı ile ilgili süreç revize edilen süreden aşağıya çekilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çizelgeleme oluşturmak proje yönetiminin en zorlayıcı görevlerinden biridir. Bilgi teknolojileri projeleri gibi, işlerin yapılması için belirli yetenekler gerektiren uzun süreli ve maliyetli projelerde çizelgeleme işi bir kat daha zorlayıcı olmaktadır.

Bu çalışma bilgi teknolojisi projelerini temel alarak, literatürdeki çalışan performans ve yeteneklerinin projenin tamamlanma süresine etkisi noktasına katkıda bulunmaya çalışmıştır.

Literatürde, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin çözümü için örneklerine rastlanan 3 farklı meta-sezgisel yaklaşım, çizelge oluşturma amacıyla kullanılmış, proje ekibinin kişisel yetkinlikleri ve deneyimleri değerlendirilerek, bu kişilerim maksimum ve minimum performansları ortaya konulmuştur. Çizelgenin oluşturulması aşamasında, amaç fonksiyonuna dâhil edilen bu performans değerleri ile çalışanların proje süresinde yarattıkları değişimler göz önüne alınmaya çalışılmıştır.

Bu sayede, projelerin uzamasına neden olan, insan hatası ve beceri/deneyim eksiklerinden kaynaklanan problemler en aza indirgenebilir, çizelgede meydana gelebilecek sapmalar önlenabilir. Oluşacak her sapma, potansiyel yeni müşteri fırsatlarının kaçırılması, ek işgücü ve ceza ödemeleri gibi nedenlerle oluşacak ek maliyetler ve teknolojinin eskimesi nedeniyle ortaya çıkabilecek yararsız ürünlere yol açma olasılığını doğurmaktadır. İnsan hatalarının ve eksikliklerinin minimuma indirgenmesi bu açılardan projenin hem mali yükümlülüklerinin azaltılması hem de proje değerinin kaybedilmemesini sağlar.

İleride bu çalışmanın alanı maliyet kalemlerinin de kısıt olarak amaç fonksiyonuna alınarak değerlendirilmesi ile genişletilebilir. Maliyet kısıtlarını da içine alan başarılı bir genişletme projelerin uygulanabilirliği açısından çok önemli katkılar sağlayacaktır.

Ayrıca, model yalnızca bilgi teknolojisi projelerinde değil farklı sektörlerde de kullanıma açıktır. Modele ekleniş olan kriterler ve değerlendirme yapıları seçilirken farklı sektörlerin ihtiyaçlarının göz önüne alınması durumunda çizelgelemenin kritik önem taşıdığı pek çok diğer sektörde kullanımı uygundur.

Yapı, kriter seçim ekranı, grafiksel ekranlar ve trade-off analizleri eklenerek karar destek sistemi yapısına dönüştürülebilir ve proje yöneticileri için çok önemli bir planlama aracı olarak sunulabilir.

Literatür takip edilerek çözüm için sunulan ve modelin bu halinde kullanılmamış olan sezgisel algoritmalar ve kullanılan tüm algoritmalarından oluşturulan uygun hibrit yapılarla sonraki çalışmalarda modelin geliştirilmesi planlanmaktadır.

Ayrıca yapı içerisine çalışma sürelerinde kesinti, çalışma başında öğrenme gibi ek özellikler eklenmesi düşünülmekte, bu şekilde yöntemin gerçek hayat verilerine uyumunun arttırılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

-
- [1] Devlet Planlama Teşkilatı, “Dokuzuncu Kalkınma Planı”. ekutup.dpt.gov.tr/plan/plan9.pdf, 20 Ağustos 2010.
 - [2] White D. ve Fortune J., (2002). “Current practice in project management – an empirical study”, *International Journal of Project Management*, 20:1 – 11.
 - [3] Jorgensen M. ve Molokken K., (2003). “A review of Surveys on Software Effort Estimation”, *Proceedings of the 2003 International Symposium on Empirical Software Engineering*.
 - [4] Barki H., Rivard S. ve Talbot J., (1993). “Towards an assessment of software development risk”, *Journal of Management Information Systems*, 10(2): 203 – 225.
 - [5] Boehm B.W., (1991). “Software risk management: Principles and practices”, *IEEE Software*, January, 32-41.
 - [6] Wallace L. ve Keil M., (2004). “Software project risks and their effect on outcomes”, *Communications of the ACM*, 47(4): 68-73.
 - [7] Morgenshtern O., Raz T. ve Dvir D., (2007). “Factors affecting duration and effort estimation errors in software development projects”, *Information and Software Technology*, 49:827–837.
 - [8] Linberg K.R., (1999). “Software developer perceptions about software project failure: a case study”, *The Journal of Systems and Software*, 49:177 – 192.
 - [9] Chatzoglou P.D. ve Macaulay L.A., (1997). “The importance of human factors in planning the requirements capture stage of a project”, *International Journal of Project Management*, 15(1):39-53.
 - [10] Blazewicz J., Lenstra J.K. ve Rinnooy Kan A.H.G., (1983). “Scheduling Subject to Resource Constraints: Classification and Complexity”, *Discrete Applied Mathematics* 5:11-24.
 - [11] Icmeli O., Erenguc S.S. ve Zappe C.J., (1993). “Project scheduling problems: a survey.”, *International Journal of Operations & Production Management* 13:80–91.
 - [12] Herroelen W., De Reyck B. ve Demeulemeester E., (1998). “Resource-constrained project scheduling: A survey of recent developments.”, *Computers and Operations Research* 25(4):279–302.

- [13] Brucker, P., Drexl, A., Mohring, R., Neumann, K. ve Pesch, E., (1999). "Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods.", *European Journal of Operational Research* 112:3–41.
- [14] Hartmann,S. ve Kolisch,R., (2000). "Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem." *European Journal of Operational Research* 127(2):394–407.
- [15] Kolisch,R. ve Padman,R., (2001). "An integrated survey of deterministic project scheduling." *Omega* 29:249–272.
- [16] Chang C.K., Jiang H., Di Y., Zhu D. ve Ge Y., (2008). "Time-line based model for software project scheduling with genetic algorithms", *Information and Software Technology*, 50:1142–1154.
- [17] Kolisch,R., Hartmann,S., (1999). "Heuristic algorithms for solving the resource-constrained project scheduling problem: Classification and computational analysis". Weglarz, J.(Ed.), *Project Scheduling, Recent Models, Algorithms and Applications*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 147–178.
- [18] Keyes J., (2005) "Software Engineering Handbook, 2nd Edition", Auerbach Publications, Washington.
- [19] Alba E. ve Chicano J.F., (2007). "Software project management with GAs", *Information Sciences* 177:2380–2401.
- [20] Ge Y. ve Chang C., (2006). "Capability-based Project Scheduling with Genetic Algorithms", *International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation, and Internatioanl Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce*.
- [21] Chang C., Christensen M. ve Zhang T., (2001). "Genetic algorithms for project management", *Annals of Software Engineering* 11(1):107–139.
- [22] Mika M., Waligora G. ve Weglarz J., (2005). "Simulated Annealing and Tabu Search for Multi-mode Resource-Constrained Project Scheduling with Positive Discounted Cashflows and Different Payment Models", *European Journal of Operational Research* 164:639–668.
- [23] Drezet L.E. ve Billaut J.C., (2008). "A Project Scheduling Problem with Labour Constraints and Time-Dependent Activities Requirements".
- [24] He Z., Nengmin W., Jia T. ve Xu Y., (2009). "Simulated Annealing and Tabu Search for Multi-mode Project Payment Scheduling", *European Journal of Operational Research*, 198:688–696..
- [25] Snedaker S., (2005). "How to Cheat at IT Project Management", Syngress.
- [26] Turner R. ve Boehm B., (2003). "People Factors in Software Management: Lessons From Comparing Agile and Plan-Driven Methods", *The Journal of Defense Software Engineering*, December 1 – 8.
- [27] Soltani A. ve Haji R., (2007). "A Project Scheduling Method Based on Fuzzy Theory", *Journal of Industrial and Systems Engineering* 1(1):70-80.

- [28] Herroelen W., (2005). "Project Scheduling – Theory and Practice", *Production and Operations Management*, 14(4):413-432.
- [29] Lancaster J. ve Ozbayrak M., (2007). "Evolutionary algorithms applied to project scheduling problems – a survey of the state-of-the-art", *International Journal of Production Research*, 45(2):425-450.
- [30] Shash A. A. ve Ahcom J., (2006). "Organizational Aspects of Planning and Scheduling Subsystem", *Journal of Construction Research*, 7(1-2):247-265.
- [31] Özdemir G., (2006). "Kısıtlı Kaynaklarla Proje Çizelgelemesi Problemlerinde Kullanılan Genetik Algoritma Metodları Ve Bunların Karşılaştırılması", Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [32] Shtub, A., Bard J. ve Globerson S., (1994). "Project Management Engineering, Technology, and Implementation", New Jersey: Prentice Hall.
- [33] Pinedo, M., (1995). "Scheduling Theory, Algorithms, and Systems", New Jersey : Prentice Hall.
- [35] Demeulemeester, E. ve Herroelen, W., (1992). "A branch-and-bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem", *Management Science* 38:1803- 1818.
- [36] Mingozzi A., Maniezzo V., Ricciardelli S. ve Bianco L., (1998). "An exact algorithm for project scheduling with resource constraints based on a new mathematical formulation." *Management Science* 44:714–729.
- [37] Sprecher A., (2000). "Scheduling resource-constrained projects competitively at modest memory requirements." *Management Science* 46:710–723.
- [38] Valls V., Quintanilla S. ve Ballestin F., (2003). "Resource-constrained project scheduling: A critical activity reordering heuristic." *European Journal of Operational Research* 149:282–301.
- [39] Torres J.M., Franco E.G. ve Mayorga C.P., (2010). "Project scheduling with limited resources using a genetic algorithm", *International Journal of Project Management* 28:619–628.
- [40] Çolak S., Agarwal A. ve Erengüç S.S., (2006). "Resource Constrained Project Scheduling: a Hybrid Neural Approach", *Perspectives in Modern Project Scheduling*, *International Series in Operations Research & Management Science*, 92(II):297-318.
- [41] Pritsker A.A.B., Watters L.J., ve Wolfe P.M., (1969). "Multiproject scheduling with limited resources: a zero-one programming approach", *Management Science* 16:93–107.
- [42] Reyck B.D. ve Herroelen W., (1996), "A Branch-and-Bound Procedure for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem with Generalized Precedence Relations", *Econ Papers*.
- [43] Kolisch R., (1996), "Serial and paralel resource-constrained Project scheduling methods revisited: Theory and computation", *International Journal of Operational Research* 90:320–333.

- [44] Demeulemeester, E. ve Herroelen, W., (1997). "New Benchmark Results for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem", *Management Science*, 43:1485-1492.
- [45] Brucker P., Knust S., Schoo A. ve Thiele O., (1998). "A branch and bound algorithm for the resource-constrained project scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 107:272 – 288.
- [46] Dorndorf U., Pesch E. ve Phan-Huy T., (2000). "A Time-Oriented Branch-and-Bound Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling with Generalised Precedence Constraints", *Management Science*, 46:1365-1384.
- [47] Bolat B., Erol K.O. ve İmrak C.E., (2004). "Mühendislik Uygulamalarında Genetik Algoritmalar Ve Operatörlerin İşlevleri", *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma*, 4.
- [48] Holland J.H., (1975). "Adaptation in Natural and Artificial Systems", *University of Michigan Press, Ann Arbor*.
- [49] Goldberg, D.E., (1983). "Computer-Aided Gas Pipeline Operation Using Genetic Algorithms and Rule Learning." *Ph.D Dissertation University of Michigan, Ann Arbor*.
- [50] Turğut, P., Gümüşçü, M. ve Arslan, A., (2002). "Genetik Algoritmalar Ve Çalışma Prensipleri", *GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Şanlıurfa*.
- [51] Çunkaş M., Selçuk Üniversitesi Ders Notları.
- [52] Emel G.G. ve Taşkın Ç., (2002). "Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları", *Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, XXI(1):129-152.
- [53] Goldberg D.E., (1989). "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, USA.
- [54] İşçi Ö. ve Korukoğlu S., (2003). "Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında bir Uygulama", *Yönetim ve Ekonomi*, 10(2).
- [55] Tektaş M., Tektaş N., Onat N., Gökmen G., Koçyiğit G. ve Akıncı T.Ç., 2010. "Web tabanlı Yapay Zeka Teknikleri Eğitim Simülatörlerinin Hazırlanması", *Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı, Proje Raporu*.
- [56] Aydemir A., "Sezgisel Optimizasyon" Ders Notları, *Başkent Üniversitesi, Ankara*. <http://www.baskent.edu.tr/~ayyuce/END407%20Ders3a.pdf> , Ocak 2011.
- [57] Hartmann S., (1997). "A Competitive Genetic Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling".
- [58] Alcaraz J. ve Maroto C., (2001). "A Robust Genetic Algorithm for Resource Allocation in Project Scheduling", *Annals of Operations Research*, 102(1-4):83-109.

- [59] Sakalauskas L., (2006). "Optimization of Resource Constrained Project Schedules by Genetic Algorithm Based on the Job Priority List", *Information Technology and Control*, 35(4):412-418.
- [60] Franco E.G., Zurita F.L.T. ve Delgadillo G.M., (2007). "A Genetic Algorithm for the Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPS)", 19th International Conference on Production Research, Şili.
- [61] Paksoy S. ve Uzun A., (2008). "Genetik Algoritma ile Kaynak Proje Çizelgeleme", *Çanakkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(2):345-362.
- [62] Kim J.L. ve Ellis R.D., (2008). "Permutation-Based Elitist Genetic Algorithm for Optimization of Large-Sized Resource-Constrained Project Scheduling", *Journal Of Construction Engineering and Management*, November, 904-913 .
- [63] Yalçınöz T., Yavuzer T. ve Altun H., (2002). "Tabu araştırması uygulanarak ekonomik yük dağıtım problemi'nin çözümü", *Eleco'2002 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Elektrik-Bilgisayar, 30-34, Bursa.
- [64] Eren T. ve Güner E., 2005. "Öğrenme Etkili Akış Tipi Çizelgeleme Probleminde Maksimum Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu", *Teknoloji*, 8(4):341-348.
- [65] Hertz A., Taillard E. ve Werra D., . "A Tutorial on Tabu Search".
- [66] Zhang H., 2008. "Artificial Intelligence" Ders Notu, University of Iowa, site: www.cs.uiowa.edu/~hzhzhang/c145/notes/04ts-search-3p.pdf , Mart 2011.
- [67] Glover F. ve Laguna M., (2008). "Tabu Search", *CiteSeerX - Scientific Literature Digital Library and Search Engine (United States)*, doi: 10.1.1.69.7798.
- [68] Tsai Y.W. ve Gemmill D.D., (1998). "Using Tabu search to Schedule Activities of Stochastic Resource-Constrained Projects", *European Journal of Operational Research*, 111:129-141.
- [69] Al-Fawzan M.A. ve Haouari M., (2005). "A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling", *Int. J. Production Economics* 96:175–187.
- [70] Lambrechts O., Demeulemeester E. ve Herroelen W., (2008). "A Tabu Search for Developing Robust Predictive Project Schedules", *Int. J. Production Economics* 111:493–508.
- [71] Mika M., Waligora G. ve Weglarz J., (2008). "Tabu Search for Muliti-mode Resource-Constrained Project Scheduling with Schedule-Dependent Stup Times", *European Journal of Operational Research* 187:1238–1250.
- [72] Pan N.H., Hsaio P.W. ve Chen K.Y., (2008). "A Study of Project Scheduling Optimization using Tabu Search Algorithm", *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 21:1101–1112.
- [73] ReVelle, C. ve Hogan, K., (1989), "The maximum availability location problem: Transportation" *Science*, 23:192-200.

- [74] Raaymakers W. H. M. ve Hoogeveen J.A., (2000). "Scheduling Multipurpose Batch Process Industries with No-Wait Restrictions by Simulated Annealing", European Journal of Operational Research, 126:131-151.
- [75] Bostancıoğlu M., (2007). "Ambulans Yerleşim Noktalarının Sezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu: Sivas Örneği" Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- [76] Bouleimen K. ve Lecocq H., (2003). "A new Efficient Aimulated Annealing Algorithm for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem and its Multiple Mode Version", European Journal of Operational Research 149:268–281.
- [77] Chen P.H. ve Shahandashti S.M., (2009). "Hybrid of Genetic Algorithm and Simulated Annealing for Multiple Project Scheduling with Multiple Resource Constraints", Automation in Construction 18:434–443.
- [78] He Z., Nengmin W., Jia T. ve Xu Y., (2009). "Simulated Annealing and Tabu Search for Multi-mode Project Payment Scheduling", European Journal of Operational Research, 198:688–696.
- [79] DPT, 2006 – Bilgi Toplumu Dairesi, 2006,
http://www.bilgitoplumu.gov.tr/yayin/2002_2006_KamuBITYatirimlar.pdf ,
Mart 2010.
- [80] "Türkiye BT Hizmetleri Pazarı", Araştırma Raporu, 2004, International Data Corporation, <http://www.idc.com/> .
- [81] Gartner Dataquest Araştırma Raporu,2005.
http://www.gartner.com/technology/research/business_leaders.jsp
- [82] OECD Information Technology Outlook, 2004,
http://www.oecd.org/country/0,3731,en_33873108_33873854_1_1_1_1_1_0.html .
- [83] Black Book, Temmuz 2005, <http://www.idc.com/> .
- [84] Chaos Report 1994, Standish Group, www.standishgroup.com/ .
- [85] Chaos Report 2000, Standish Group, www.standishgroup.com/ .
- [86] Extreme Chaos 2001, Standish Group, www.standishgroup.com/ .
- [87] Bechtold R., (2007), "Essentials of Software Project Management", Management Concepts.
- [88] Spiegel D., Lecture Notes, Kutztown University.
<http://faculty.kutztown.edu/spiegel/> , Şubat 2011.
- [89] Sheu M., (2010). Lecture Notes, Advance Topics in Information Systems, California State University, SDLC Handbook, HB 5500-07 October 1998.
<http://som.csudh.edu/depts/cis/msheu/cis-fall03/cis502-01/cis502-syl-fall03-hst.htm> , Ocak 2010.

- [90] Whittaker J. A. ve Voas J.M., (2002). "50 Years of Software: Key Principles for Quality", IT Pro, 28-35.
- [91] Boehm B., (2006). "A View of 20th and 21st Century Software Engineering", ICSE'06, May 20–28, 2006, Shanghai, China.
- [92] Stepanek G., (2005), "Software Project Secrets: Why Software Projects Fail" .
- [93] Kuruüzüm, A. ve Atsan N., (2001). "Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları", Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1(1):58-82.
- [94] Karsak, E.E. ve Tolga, E., (2001). "Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments", International Journal of Production Economics, 69:49–64.
- [95] Kaptanoğlu D. ve Özok A.F., (2006)., "Akademik performans değerlendirmesi için bir bulanık model", İtü dergisi/d mühendislik 5(1-2):193-204.
- [96] Chang D.Y., (1992). "Extent analysis and synthetic decision." Optimization Techniques and Applications, 1:352.
- [97] Chang D.Y., (1996). "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP.", European Journal of Operational Research, 95:649–655.
- [98] Wang A. ve Ying Luo B, Zhongsheng Hua, (2008). "On The Extent Analysis Method For Fuzzy Ahp and Its Applications".
- [99] Saaty, Thomas L., (1994). "How To Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process", Interfaces, 24(6):19-43.
- [100] Liou T.S. ve Wang M.J., (1992). "Ranking fuzzy numbers with integral value.", Fuzzy Sets and Systems, 50:247–255.
- [101] Talluri S. ve Narasimhan R., (2003). "Vendor evaluation with performance variability: A max–min approach." European Journal of Operational Research, 146:543–552.
- [102] Şen S., (2007). "Tedarik Zinciri Yönetiminde Tedarikçi Seçimi Sistemine Ait Bir Karar Destek Modeli Geliştirilmesi Ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [103] Goldberg D.E., (1989). "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, USA.
- [104] Chao, C. (1995). "SPMNET: A New Methodology for Software Management" , Doktora Tezi, The University of Illinois at Chicago.
- [105] Altıparmak F., Dengiz B. ve Smith A.E., (2000). "An Evolutionary Approach For Reliability Optimization in Fixed Topology Computer Networks", Transactions On Operational Research, 12(1-2):57-75.
- [106] Yeniay, Ö., (2001). "An Overview of Genetic Algorithms", Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2(1):37-49.
- [107] Glover F., (1990). "Tabu Search: A Tutorial", Interfaces, 20(4):74-94.

- [108] Yalçınöz T., Yavuzer T. ve Altun H., “Tabu Araştırması Uygulanarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü”, Niğde Üniversitesi, Niğde.
- [109] Kirkpatrick S., Gelett C.D. ve Vecchi M.P., (1983). “Optimization by Simulated Annealing”, Science, 220(4):621-630.
- [110] Cerny V., (1985). “A Thermodynamic Approach to the Travelling Salesman Problem: An Efficient Simulation”, Journal of Optimization Theory and Application, 45:41-51.
- [111] Potvin J.Y., (1996). “Genetic algorithms for the travelling salesman problem”, Annals of Operations Research 63:339–370.

MAKSİMUM-MİNİMUM ALGORTİMASI GİRDİLERİ İÇİN KOD ÖRNEĞİ

K1 kaynağının maksimum performans değeri hesaplama kodları

$MAX=(a_{11}*2.615781257*0.05)+(a_{21}*2.615781257*0.05)+(a_{31}*2.615781257*0.05)+(a_{41}*6.256153663*0.05)+(a_{51}*6.256153663*0.05)+(a_{61}*3.300538091*0.1);$
 $(a_{11}*2.615781257*0.05)+(a_{21}*2.615781257*0.05)+(a_{31}*2.615781257*0.05)+(a_{41}*6.256153663*0.05)+(a_{51}*6.256153663*0.05)+(a_{61}*3.300538091*0.1)-(b_{11}*0*0.2)-(b_{21}*2.875246629*0.05)-(b_{31}*0*0.05)-(b_{41}*0*0.2)-(b_{51}*0*0.15)<=0;$
 $(a_{11}*4.640908757*0.05)+(a_{21}*3.402684255*0.05)+(a_{31}*1*0.05)+(a_{41}*4.475152435*0.05)+(a_{51}*2.875246629*0.05)+(a_{61}*1*0.1)-(b_{11}*1*0.2)-(b_{21}*3.300538091*0.05)-(b_{31}*1*0.05)-(b_{41}*3.63270315*0.2)-(b_{51}*1*0.15)<=0;$
 $(a_{11}*7.318479432*0.05)+(a_{21}*4.640908757*0.05)+(a_{31}*5.645855235*0.05)+(a_{41}*6.649185107*0.05)+(a_{51}*1*0.05)+(a_{61}*8.653403355*0.1)-(b_{11}*1*0.2)-(b_{21}*6.801729449*0.05)-(b_{31}*1*0.05)-(b_{41}*3.63270315*0.2)-(b_{51}*8.276301274*0.15)<=0;$
 $(a_{11}*3.300538091*0.05)+(a_{21}*3.55312142*0.05)+(a_{31}*2.615781257*0.05)+(a_{41}*6.649185107*0.05)+(a_{51}*7.957772904*0.05)+(a_{61}*1*0.1)-(b_{11}*8.653403355*0.2)-(b_{21}*5.943080336*0.05)-(b_{31}*6.256153663*0.05)-(b_{41}*7.318479432*0.2)-(b_{51}*2.615781257*0.15)<=0;$
 $(a_{11}*8.653403355*0.05)+(a_{21}*4.640908757*0.05)+(a_{31}*6.649185107*0.05)+(a_{41}*8.653403355*0.05)+(a_{51}*1*0.05)+(a_{61}*1*0.1)-(b_{11}*1*0.2)-(b_{21}*7.61122962*0.05)-(b_{31}*1*0.05)-(b_{41}*3.55312142*0.2)-(b_{51}*1*0.15)<=0;$
 $(a_{11}*3.093658165*0.05)+(a_{21}*2.615781257*0.05)+(a_{31}*3.55312142*0.05)+(a_{41}*5.943080336*0.05)+(a_{51}*7.318479432*0.05)+(a_{61}*1*0.1)-(b_{11}*7.957772904*0.2)-(b_{21}*3.093658165*0.05)-(b_{31}*2.615781257*0.05)-(b_{41}*5.943080336*0.2)-(b_{51}*3*0.15)<=0;$
 $(a_{11}*2.615781257*0.05)+(a_{21}*1*0.05)+(a_{31}*5.943080336*0.05)+(a_{41}*4.155015475*0.05)+(a_{51}*1*0.05)+(a_{61}*7.957772904*0.1)-(b_{11}*1*0.2)-(b_{21}*7.957772904*0.05)-(b_{31}*1*0.05)-(b_{41}*1*0.2)-(b_{51}*1*0.15)<=0;$

$$(a_{11}*8.653403355*0.05)+(a_{21}*3*0.05)+(a_{31}*5.514808518*0.05)+(a_{41}*3.402684255*0.05)+(a_{51}*1*0.05)+(a_{61}*4.212652886*0.1)-(b_{11}*1*0.2)-(b_{21}*8.653403355*0.05)-(b_{31}*1*0.05)-(b_{41}*1*0.2)-(b_{51}*4.709656857*0.15)\leq 0;$$

$$(b_{11}*5.943080336*0.2)+(b_{21}*2.875246629*0.05)+(b_{31}*1*0.05)+(b_{41}*7.61122962*0.2)+(b_{51}*7.61122962*0.15)=1;$$

$$(a_{11}*8.653403355*0.05)+(a_{21}*8.653403355*0.05)+(a_{31}*8.653403355*0.05)+(a_{41}*8.653403355*0.05)+(a_{51}*8.653403355*0.05)+(a_{61}*8.653403355*0.1)-(b_{11}*1*0.2)-(b_{21}*1*0.05)-(b_{31}*1*0.05)-(b_{41}*1*0.2)-(b_{51}*1*0.15)=0;$$

$$A_{11}\geq 0;$$

$$A_{21}\geq 0;$$

$$A_{31}\geq 0;$$

$$A_{41}\geq 0;$$

$$A_{51}\geq 0;$$

$$A_{61}\geq 0;$$

$$B_{11}\geq 0;$$

$$B_{21}\geq 0;$$

$$B_{31}\geq 0;$$

$$B_{41}\geq 0;$$

$$B_{51}\geq 0;$$

K1 kaynağının minimum performans değeri hesaplama kodları

$$MIN=(a_{11}*2.615781257*0.05)+(a_{21}*2.615781257*0.05)+(a_{31}*2.615781257*0.05)+(a_{41}*6.256153663*0.05)+(a_{51}*6.256153663*0.05)+(a_{61}*3.300538091*0.1);$$

$$(a_{11}*2.615781257*0.05)+(a_{21}*2.615781257*0.05)+(a_{31}*2.615781257*0.05)+(a_{41}*6.256153663*0.05)+(a_{51}*6.256153663*0.05)+(a_{61}*3.300538091*0.1)-(b_{11}*0*0.2)-(b_{21}*2.875246629*0.05)-(b_{31}*0*0.05)-(b_{41}*0*0.2)-(b_{51}*0*0.15)\leq 0;$$

$$(a_{11}*4.640908757*0.05)+(a_{21}*3.402684255*0.05)+(a_{31}*1*0.05)+(a_{41}*4.475152435*0.05)+(a_{51}*2.875246629*0.05)+(a_{61}*1*0.1)-(b_{11}*1*0.2)-(b_{21}*3.300538091*0.05)-(b_{31}*1*0.05)-(b_{41}*3.63270315*0.2)-(b_{51}*1*0.15)\leq 0;$$

$$(a_{11}*7.318479432*0.05)+(a_{21}*4.640908757*0.05)+(a_{31}*5.645855235*0.05)+(a_{41}*6.649185107*0.05)+(a_{51}*1*0.05)+(a_{61}*8.653403355*0.1)-(b_{11}*1*0.2)-(b_{21}*6.801729449*0.05)-(b_{31}*1*0.05)-(b_{41}*3.63270315*0.2)-(b_{51}*8.276301274*0.15)\leq 0;$$

$$(a_{11}*3.300538091*0.05)+(a_{21}*3.55312142*0.05)+(a_{31}*2.615781257*0.05)+(a_{41}*6.649185107*0.05)+(a_{51}*7.957772904*0.05)+(a_{61}*1*0.1)-(b_{11}*8.653403355*0.2)-$$

$$(b_{21} \cdot 5.943080336 \cdot 0.05) - (b_{31} \cdot 6.256153663 \cdot 0.05) - (b_{41} \cdot 7.318479432 \cdot 0.2) - (b_{51} \cdot 2.615781257 \cdot 0.15) \leq 0;$$

$$(a_{11} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) + (a_{21} \cdot 4.640908757 \cdot 0.05) + (a_{31} \cdot 6.649185107 \cdot 0.05) + (a_{41} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) + (a_{51} \cdot 1 \cdot 0.05) + (a_{61} \cdot 1 \cdot 0.1) - (b_{11} \cdot 1 \cdot 0.2) - (b_{21} \cdot 7.61122962 \cdot 0.05) - (b_{31} \cdot 1 \cdot 0.05) - (b_{41} \cdot 3.55312142 \cdot 0.2) - (b_{51} \cdot 1 \cdot 0.15) \leq 0;$$

$$(a_{11} \cdot 3.093658165 \cdot 0.05) + (a_{21} \cdot 2.615781257 \cdot 0.05) + (a_{31} \cdot 3.55312142 \cdot 0.05) + (a_{41} \cdot 5.943080336 \cdot 0.05) + (a_{51} \cdot 7.318479432 \cdot 0.05) + (a_{61} \cdot 1 \cdot 0.1) - (b_{11} \cdot 7.957772904 \cdot 0.2) - (b_{21} \cdot 3.093658165 \cdot 0.05) - (b_{31} \cdot 2.615781257 \cdot 0.05) - (b_{41} \cdot 5.943080336 \cdot 0.2) - (b_{51} \cdot 3 \cdot 0.15) \leq 0;$$

$$(a_{11} \cdot 2.615781257 \cdot 0.05) + (a_{21} \cdot 1 \cdot 0.05) + (a_{31} \cdot 5.943080336 \cdot 0.05) + (a_{41} \cdot 4.155015475 \cdot 0.05) + (a_{51} \cdot 1 \cdot 0.05) + (a_{61} \cdot 7.957772904 \cdot 0.1) - (b_{11} \cdot 1 \cdot 0.2) - (b_{21} \cdot 7.957772904 \cdot 0.05) - (b_{31} \cdot 1 \cdot 0.05) - (b_{41} \cdot 1 \cdot 0.2) - (b_{51} \cdot 1 \cdot 0.15) \leq 0;$$

$$(a_{11} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) + (a_{21} \cdot 3 \cdot 0.05) + (a_{31} \cdot 5.514808518 \cdot 0.05) + (a_{41} \cdot 3.402684255 \cdot 0.05) + (a_{51} \cdot 1 \cdot 0.05) + (a_{61} \cdot 4.212652886 \cdot 0.1) - (b_{11} \cdot 1 \cdot 0.2) - (b_{21} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) - (b_{31} \cdot 1 \cdot 0.05) - (b_{41} \cdot 1 \cdot 0.2) - (b_{51} \cdot 4.709656857 \cdot 0.15) \leq 0;$$

$$(b_{11} \cdot 5.943080336 \cdot 0.2) + (b_{21} \cdot 2.875246629 \cdot 0.05) + (b_{31} \cdot 1 \cdot 0.05) + (b_{41} \cdot 7.61122962 \cdot 0.2) + (b_{51} \cdot 7.61122962 \cdot 0.15) = 1;$$

$$(a_{11} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) + (a_{21} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) + (a_{31} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) + (a_{41} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) + (a_{51} \cdot 8.653403355 \cdot 0.05) + (a_{61} \cdot 8.653403355 \cdot 0.1) - (b_{11} \cdot 1 \cdot 0.2) - (b_{21} \cdot 1 \cdot 0.05) - (b_{31} \cdot 1 \cdot 0.05) - (b_{41} \cdot 1 \cdot 0.2) - (b_{51} \cdot 1 \cdot 0.15) = 0;$$

$A_{11} \geq 0;$

$A_{21} \geq 0;$

$A_{31} \geq 0;$

$A_{41} \geq 0;$

$A_{51} \geq 0;$

$A_{61} \geq 0;$

$B_{11} \geq 0;$

$B_{21} \geq 0;$

$B_{31} \geq 0;$

$B_{41} \geq 0;$

$B_{51} \geq 0;$

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gökçe ÇINAR
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.06.1985 / Eyüp
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : cinar.gokce@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen Matematik	Bahçelievler Anadolu L.	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Okan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Şen C., Çınar G., "Evaluation and pre-allocation of operators with multiple skills: A combined fuzzy AHP and max-min approach", Expert Systems with Applications: An International Journal archive, Volume 37 Issue 3, March, 2010.

Bildiri

1. Şen C., Çınar G., "Bilgi Teknolojisi Projelerinin Çizelgelenmesinde Genetik Algoritma Kullanımı: Kavramsal Bir Model Önerisi", Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 30. Ulusal Kongresi, 2010.