

27808

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PROJE YÖNETİMİNDE
KANTİTATİF YÖNTEMLERİN UYGULANMASI

DOKTORA TEZİ

End. Y. Müh. Ziya ULUKAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Şubat 1992

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Ekim 1992

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ataç Soysal

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Haluk Erkut

Prof. Dr. Turay Gökçen

EKİM 1992

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Modern Proje Yönetimi tekniklerinin son yıllarda artan bir hızla kullanım alanı bulması, özellikle proje programlamasının kaynak kısıtları altında optimum çözümü bulmaya yönelik çalışmaların da artmasına yol açmıştır.

Proje programlamasında temel olan üç unsur zaman, kaynaklar ve maliyetlerdir. Bu çalışmada, bu unsurlara değinilecek ve kaynak kullanımlarında kısıtlamalar söz konusu olduğunda, optimum maliyetle mümkün olan en kısa sürede tamamlanması hedeflenen proje programları konusunda yapılan çalışmalar araştırılarak bu konuda yapılan çeşitli algoritmalar incelenecektir.

Çalışmalarım sırasında bana gösterdiği büyük anlayış ve yardımlarından dolayı doktora tezimi yöneten Sayın Hocam Prof. Dr. Ataç SOYSAL'a en derin şükranlarımı sunmayı borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER	(vi)
ŞEKİLLER LİSTESİ	(viii)
TABLolar LİSTESİ	(ix)
ÖZET	(x)
SUMMARY	(xi)
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Proje Yönetimi Kavramı	1
1.2. Proje Tanımı ve Sınıflandırılması	2
1.3. Proje Safhaları	7
1.4. Sonuç	9
BÖLÜM 2. PROJE PLANLAMA SAFHASI.....	10
2.1. Projenin Yapısal Analizi	10
2.1.1. Ürüne Yönelik Proje Yapı Planı	11
2.1.2. Safhaya Yönelik Proje Yapı Planı	11
2.1.3. Fonksiyona Yönelik Proje Yapı Planı	12
2.1.4. Karma Proje Yapı Planı	12
2.2. Proje Organizasyonu	14
2.2.1. Hat Organizasyonu	14
2.2.2. Kurmay Hat Organizasyonu	15
2.2.3. Matris Organizasyonu	16
2.2.3.1. Fonksiyonel Matris Organizasyonu	17
2.2.3.2. Dengeli Matris Organizasyonu	18
2.2.3.3. Proje Matris Organizasyonu	18
2.2.4. Proje Ekibi Organizasyonu	18
2.2.5. Organizasyon Yapılarının Proje Üzerindeki Etkileri	18
2.2.6. Organizasyonun Yaratabileceği Uyuşmazlık Kaynakları	21
2.3. Proje Şebekesinin Hazırlanması	24
2.3.1. İşlemlerin Sıralanması	24
2.3.2. Şebekenin Oluşturulması	25
2.4. Sonuç	27
BÖLÜM 3. PROJE KONTROL SAFHASI	28
3.1. Giriş	28
3.2. Proje Kontrolünü Oluşturan Safhalar	29
3.3. Proje Yönetimi Maliyetlerinin Kontrolü	30
3.3.1. Proje Yönetimi Planlama Maliyetleri	31

3.3.2. Proje Yönetimi Yürütme Maliyetleri	32
3.3.3. Proje Yönetimi Kontrol Maliyetleri	32
3.3.4. Toplam Proje Yönetimi Maliyetleri	33
3.4. Proje Rantabilitesi	33
3.5. Sonuç	34
BÖLÜM 4. PROJE PROGRAMLANMASI TEKNİKLERİ	35
4.1. Proje Programlaması Tanımı	35
4.2. Programlama Tekniklerinin Sınıflandırılması	35
4.2.1. Kritik Yol Analizi	35
4.2.2. Zaman-Maliyet Dengeleme	38
4.2.2.1. Doğrusal Programlama Modeli	43
4.2.2.2. Hedef Programlama Modeli	44
4.2.2.3. Bulanık Kümeler Yardımı ile Doğrusal Programlama Modeli	45
4.2.3. Kaynak Dengeleme	47
4.2.4. Kaynak Kısıtlı Altında Proje Programlaması	49
BÖLÜM 5. KISITLI KAYNAK ALTINDA PROJE PROGRAMLAMASI ...	52
5.1. Giriş	52
5.2. Kaynak Kısıtları Altında Analitik Teknikler	52
5.2.1. Tamsayılı Programlama	52
5.2.2. Dal-Sınır Teknikleri	58
5.2.3. Sayılama Teknikleri	63
5.3. Kaynak Kısıtlı Altında Sezgisel Teknikler ...	65
5.3.1. Şebeke Karakteristikleri	65
5.3.1.1. Şebeke Boyut, Şekil ve Yapı Karakteristikleri	66
5.3.1.2. Şebekenin Zaman Karakteristikleri	66
5.3.1.3. Şebekenin Kaynak Karakteristikleri	67
5.3.2. Sezgisel Tekniklerde Öncelik Kuralları ...	70
5.3.2.1. Basit Öncelik Kuralları	70
5.3.2.2. Basit Öncelik Kurallarının Bileşimleri	71
5.3.2.3. Ağırlıklı Öncelik Kuralları	71
5.3.3. Sezgisel Yöntemlerde Stratejiler	72
5.3.3.1. Seri Yöntem Olarak Bir Algoritma	73
5.3.3.2. Paralel Yöntem Olarak SPAR-1 Algoritması	75
5.3.4. Tek Kaynak Kısıtlı Tek Proje Programlanmasında Kullanılan Sezgisel Teknikler	78
5.3.5. Çok Kaynak Kısıtlı Tek Proje Programlanmasında Kullanılan Sezgisel Teknikler	85
5.3.6. Çok Kaynaklı Çok Proje Programlanmasında Kullanılan Sezgisel Teknikler	94

5.4. Kaynak Kısıtı Olarak Proje Nakit Akışlarını Hedef Alan Teknikler	99
5.4.1. Tek Proje Durumunda Nakit Akışı Programlaması	99
5.4.2. Çok Proje Durumunda Nakit Akışı Programlaması	103
BÖLÜM 6. PROJE PROGRAMLAMASINDA DEPOLANABİLEN VE DEPOLANAMAYAN KAYNAK KISITLARI	106
6.1 Giriş	106
6.2. Depolanamayan Kaynaklar	107
6.3. Depolanabilen Kaynaklar	107
6.4. Depolanabilen ve Depolanamayan Kaynaklara Bağlı Olarak Proje Programlanması	108
6.4.1. Problemin İlk Formülasyonu	108
6.4.2. Modelin Geliştirilmiş Hali	117
6.4.3. Modelin Uygulanması	120
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	142
KAYNAKLAR	144
ÖZGEÇMİŞ	151

SEMBOLLER

A	Proje şebekesi
$A_{r,t}$	t anında eldeki r kaynak miktarı
ACROS	Bir işlemin şebeke üzerindeki herhangi bir yolda kontrol ettiği maksimum kaynak miktarı
ACTIM	Bir işlemin şebeke üzerindeki herhangi bir yolda kontrol edebileceği maksimum süre
ACTRES	Bir işlemin şebeke üzerindeki herhangi bir yolda kontrol ettiği sürelerle kaynak miktarları çarpımının toplamaları arasından maksimum toplamın seçimi
ADOP	Düzeltilmiş kaynak talebi fazlası
ARLF	Ortalama kaynak yük faktörü
AUF	Ortalama kaynak kullanım faktörü
a	Sıfır bolluğa sahip işlemin ivedilik faktörünü belirleyen sabit sayı
$a_{1,j}$	Normal işlem süresi
$a_{k,1}$	l dönemindeki k işlemine ait nakit akışı
$a_{s,d}$	d zaman noktasında s cinsinden eldeki kaynak miktarı
B_j	En iyi olurlu programdaki j işleminin bitiş zamanı
b	Maksimum geciktirilebilme bolluğuna sahip işlemin ivedilik faktörünü belirleyen sabit sayı
$b_{1,j}$	Enkisa işlem süresi
C	Karmaşıklık katsayısı
$C_{1,j}$	Standart işlem maliyeti
C_t	t dönemi sonunda tamamlanan faaliyetlerin değeri
CP	Kritik yol süresi
$c_{1,j}$	Birim sıkıştırma maliyeti
$c_{s,j}$	j işleminde kullanılacak s cinsinden kaynak grubu
c_1	Kaynak seviyesindeki birim artışa bağlı ceza maliyeti
c_2	Kaynak seviyesindeki birim azalışa bağlı ceza maliyeti
c_3	Projenin bir zaman birimi gecikme maliyeti
D_j	j işlemi için mümkün olan başlama tarihleri kümesi
$D_{j,1}$	j'nin ardıllarının mümkün başlama tarihleri kümesi
d	Gün
$d_{1,j}$	Ters doğrusal süre-maliyet ilişkisinin eğimi
$d(t)$	Proje gecikme maliyeti
e^*	Bileşik faiz
F^*	Kaynak kullanım faktörlerinin maksimum değeri
f	Kaynak kullanım faktörü
f_j	j işleminin bitiş zamanını gösteren tamsayıllı değişken
$f(t)$	t anında kaynak seviyesindeki değişimin maliyeti
G	Toplam net getiri
GENRES	İşlemlere ait normalize edilmiş ACTIM ve ACTRES değerlerinin ağırlıklı toplamı

GRD	En fazla kaynak talebi olan işlem en önce
HP	Proje süresi üst sınırı
h^-	Negatif sapma değişkeni
h^+	Pozitif sapma değişkeni
h_k	Müsaade edilebilen sapma toleransı
I_{mt}	t dönemi sonunda stoktaki m malzeme miktarı
ij	i başlama ve j bitiş düğümünden oluşan işlem
j	işlem
L_k	Kabul edilebilen minimum başarı düzeyi
l_{rj}	j işleminin r kaynağına talebi
MAXTWK	Maksimum toplam iş yüküne sahip işlem en önce
MINSLK	En az bolluğu olan işlem en önce
MOF	En uzun işlem en önce
m_{ij}	İşlemin maksimum sıkıştırılabileceği zaman birimi
O_j	Her bir j kaynağı için karşılanmamış kaynak taleplerinin toplam iş yüküne olan oranı
O	Tüm kaynaklar için karşılanmamış kaynak taleplerinin toplam iş yüküne olan oranı
P_k	k öncelik düzeyi
p	j'nin öncül işlemleri
p(t)	Toplam proje maliyeti
R_{jm}	j işlemi için gereken m malzeme miktarı
R_{kt}	Kaynak kapasitesi
RSM	Kaynak sıralama yöntemi
RAN	Rassal işlem seçimi
r(t)	Kesikli zaman aralığındaki alt işlemler kümesi için kaynak seviyesi
SS_j	j işleminin programlanan başlama zamanı
S_j	j işleminin ardıl işlemler kümesi
S_t	t döneminde faal olan işlemler kümesi
SORCE	Kaynak kullanım matrisi
SASP	En kısa projedeki en kısa işlem en önce
SOF	En kısa işlem en önce
s	Kaynak grubu
T	Kritik yol analizi ile bulunan proje süresi
T_b	Proje başlama zamanı
TIMRES	İşlemlere ait normalize edilmiş ACTIM ve ACTRES değerlerinin toplamının yarısı
TIMROS	İşlemin normalize edilmiş ACROS ve ACTIM değerlerinin ağırlıklı toplamı
t_{ij}	İşlem süresi
U_k	Arzu edilen başarı düzeyi
u_j	j işleminin en geç tamamlanma zamanı
v_k	İşleme yapılan harcamaları gösteren işlem değeri
w_j	j tipi kaynağa ait toplam iş yükü miktarı
w(ARC)	Alternatif ağırlık oranı
w_k	Düğüm gerçekleşme zamanı
x	0-1 değişkeni
Y_{mt}	t döneminde sipariş edilen malzeme miktarı
y_{ij}	ij işleminin sıkıştırıldığı zaman birimi
Z	Amaç fonksiyonu
μ_k	Kaynak ağırlık faktörü
β	İskonto faktörü
τ	İndirgeme faktörü

SEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1-1	Proje Yönetimi Kavramı	1
Şekil 1-2	İç ve Dış Projelerde Projeleme Kademeleri ..	3
Şekil 1-3	Projelerin Senelik Bütçelerine Göre Dağılımı	6
Şekil 1-4	Proje Safhaları Akış Şeması	8
Şekil 2-1	Ürüne Yönelik Proje Yapı Planı	11
Şekil 2-2	Safhaya Yönelik Proje Yapı Planı	11
Şekil 2-3	Fonksiyona Yönelik Proje Yapı Planı	12
Şekil 2-4	Karma Proje Yapı Planı	12
Şekil 2-5	Proje Yapı Planı Tasarımı	13
Şekil 2-6	Hat Organizasyonu Şeması	15
Şekil 2-7	Kurmay Hat Organizasyonu	16
Şekil 2-8	Matris Organizasyonu	17
Şekil 2-9	Proje Başarısına Etki Eden Unsurlar	20
Şekil 2-10	Şebeke Çizim Algoritması	26
Şekil 3-1	Proje Hedeflerinin Koordinasyonunun Kontrolü	28
Şekil 3-2	Proje Organizasyon Matrisi	30
Şekil 3-3	Proje Yönetimi Maliyet Kalemleri	31
Şekil 4-1	PDM'e Özgü Öncelik İlişkileri	38
Şekil 4-2	Doğrusal Olmayan Süre-Maliyet İlişkileri ..	41
Şekil 4-3	Konveks Eğrinin Doğrusallaştırılması	41
Şekil 5-1	Örnek Problem	61
Şekil 5-2	Örnek Probleme Ait Karar Ağacı	62
Şekil 5-3	Proje Programlanmasında Kaynak Tahsisi İçin Basit Bir Sezgisel Algoritma	74
Şekil 5-4	SPAR-1 Algoritmasına Ait Akış Şeması	76
Şekil 5-5	Tek Kaynak Kısıtlı Tek Proje Şebekesi	78
Şekil 5-6	TIMROS Sezgisel Algoritmasına Ait Akış Şeması	80
Şekil 5-7	TIMGEN Sezgisel Algoritması Akış Şeması ...	82
Şekil 5-8	Tek Kaynaklı Tek Proje İçin Sezgisel Algoritma Akış Şeması	84
Şekil 5-9	İvedi Programlama Faktörü Kullanımını Gösteren Sezgisel Algoritmanın Akış Şeması	93
Şekil 6-1	Örnek Proje Şebekesi	116
Şekil 6-2	Uygulamada Kullanılan Proje Şebekesi	137

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2-1	İşlem Tanımı Tablosu	24
Tablo 2-2	Giriş Bilgileri	25
Tablo 4-1	Kaynak Dengeleme Problemine Çözüm Yaklaşımları	48
Tablo 5-1	Dal-Sınır ile Sezgisel Yöntemler Karşılaştırılması	61
Tablo 5-2	w Faktörünün Proje Süresi Üzerindeki Etkisi	80
Tablo 5-3	Verilen Kritere Bağlı Olarak En Kısa Sürenin Sağlandığı Şebeke Sayısı	81
Tablo 5-4	ARFL ve AUF'ye Bağlı Olarak En İyi Kural ..	96
Tablo 5-5	Sezgisel Sıralama Kurallarının Karşılaştırılması	98
Tablo 6-1	Siparişi Alınan Malların Listesi	121
Tablo 6-2	T 175 Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri	122
Tablo 6-3	T 175-1 KDT Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri	123
Tablo 6-4	T 275 Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri	124
Tablo 6-5	T 275-1 KDT Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri	125
Tablo 6-6	T 475 Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri	126
Tablo 6-7	T 475 KD Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri	127
Tablo 6-8	ABC Analizi	128
Tablo 6-9	Malzemelerin Hazırlık ve İşlem Zamanları	131
Tablo 6-10	Faaliyet Süreleri Tablosu	136
Tablo 6-11	Şebekeye Ait Veriler	138
Tablo 6-12	Erken Başlamaya Göre Temin Süreleri	139
Tablo 6-13	Geç Başlamaya Göre Temin Süreleri	139

ÖZET

Kaynak kısıtı altında proje programlaması tekniklerinin bir çok şekillerde sınıflandırılmaları mümkündür. Analitik teknikler veya sezgisel teknikler, tek proje veya çok proje, tek kaynak veya çok kaynak, proje süresinin minimizasyonunu hedef alan teknikler, maliyet minimizasyonunu hedefleyen teknikler veya kaynak dengelenmesi ile ilgili teknikler vb. liste bu şekilde uzayıp gider.

Bu tezde literatürde yer alan çeşitli proje planlama ve programlama teknikleri incelenmiştir. Özellikle malzeme yönetim politikalarının proje programlaması üzerindeki etkilerinin incelenmesi konusu üzerinde durulmuştur. Ayrıca kaynakların malzeme gibi depolanabilen ve ekipman gibi depolanamayan kaynaklar olarak iki gruba ayrıldığı durumlarda, her iki kısıt altında proje programının yapısı incelenmiştir. Atıl kapasite maliyetleri üzerinde durularak, bu maliyetlerin minimizasyonunun toplam proje maliyeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

SUMMARY

THE APPLICATION OF THE QUANTITATIVE METHODS IN PROJECT MANAGEMENT

Project management is by now a relatively well developed management discipline. Project management, which had its origins in the chemical industry just prior to World War II, was developed in the 1950's, essentially in the defence and petro-chemical industries. It has since been developing steadily as an important management discipline. Project management is clearly identified as a separate discipline in the Atlas Missile programme of 1954 and in the Polaris programme. By 1970, several professional societies had been established in Europe, the USA, Australia and Japan. The last three decades have seen project management to evolve from a rarity to the commonplace. Today, there exist a wide range of methods, practices and styles.

A project is an undertaking to achieve a specified objective, defined usually in terms of technical performance, budget and schedule. There are basically two kinds of projects: those which are complete in themselves, like an oil platform, and those which represent a series of product, like an aircraft.

Projects are accomplished according to a common life cycle. Every project, no matter of what kind or for what duration, essentially follows the activity sequence of prefeasibility/feasibility, design and contract negotiation, implementation, handover and in-service support. While this life-cycle of projects is relatively straightforward, a programme can be of two kinds: either a series of individual projects or a product development programme. The skill of the project manager rests on an innate appreciation of the requirements of progressing the project through this life-cycle.

Project management pulls together the functional disciplines needed to achieve the project's budgetary, schedule and technical objectives. Project management is the application of a collection of tools and techniques to direct the use of diverse resources towards the accomplishment of a unique, complex, one-time task within time, cost and quality constraints.

Prime among all project models is the hierarchical work breakdown structure. It has become the focal model for most projects and represents the real foundation for project instructions and reports. Developed in the US defense industry, a WBS is officially defined as: "A

product-oriented family tree division of tasks which organizes, defines and graphically displays the product to be produced as well as the work to be accomplished to achieve the specified product. The top levels define the functional basis of the project, the bottom levels define the project activities. The second analytical model is the timescale networks. The network models have been widely adopted for evaluating project timetables. Even when limited to the time domain, a network is a simplified project model and its availability depends on the resources which dominates the timescale. The networks can be either activity and event oriented networks or activity-on-arrow or precedence networks. Developed in the late 1950s, networks show activity interrelationships. Essentially, no activity can leave a node until all the other activities entering it are completed.

The sequence of activities which transpire from the identification of a project through completion can be described in three major phases: the acquisition, the implementation and the commissioning. The initial phase consists primarily of defining general characteristics and requirements of the project. The second phase comprises the set of activities ranging from conceptual design to detailed construction or development. The focus of project management activities at this stage lies in detailed planning, scheduling and performance control to ensure adherence to plan. The implementation phase of the project life cycle has been studied by using quantitative and graphical approaches to planning, scheduling and control such as CPM/PERT and line of balance as well as various other methods. The commissioning phase indicates completion of the project and initiates incorporation of project outcomes into practice.

The relationship between alternative project management structure and project success is also examined and the relative efficacy of different project management structure is explored. Five types of project management structure namely functional organization, functional matrix, balanced matrix, project matrix and project team have been taken into account. In functional organizations, responsibility and authority lie with functional managers, in projects organizations, they lie with the project manager. In a matrix, they are shared. A team member thus have two bosses. In order to properly gauge the significance of project management structure for project success, other contextual factors such as project complexity, novelty of technology, clarity of objectives, priority and resource availability are also considered. The project success is gauged according to the traditional criteria of cost, the schedule, technical performance, as well as the overall results.

It is very important for project management to play an active role in the coordination process and not just only react upon restrictions and regulations. Experience has proven that a lot of projects have incurred higher expenditures or have even failed because of the project management's lack of spirit for the coordination, delay in the construction permission, lack of synchronization with the accompanying projects, sudden difficulties on the national level in obtaining sufficient foreign exchange for the import of spare parts etc.

In order to derive the resource inputs, time, and cost required for performing the project, the work to be done and the expected work results for the project are successively broken down into levels and component parts during the planning process.

During the project, the project control information is gathered and is compared with the corresponding project plan data on all levels of the project organization and of the project. The project manager has as his superior the governing group who evaluates the entire project and decides on all matters concerning the limits of the project. Within the limits of the project, the project manager has freedom of decision and actions on matters such as adding, changing and deleting activities in the project plan, substituting resource inputs and ordering overtime. The hierarchy of responsibility can be shown as follows:

The project organization	The project
Governing group	entire project
Project manager	entire projects, subprojects block of activities
Subproject manager	subprojects, blocks of activities
Activity manager	block of activities, activities
Member of the project group	activity, work step

The comparison between the goals and the work results must be continually made and the results of these comparisons should guide the decisions and actions of different units and persons of the project organization.

The controlling phase of a project is a complementary part of the other phases of the planning and scheduling. Control will always occurs during the planning phase, during the scheduling phase and perhaps most important during the performance phase of the project through the revision and updating of estimated times and schedules.

Scheduling projects with limited resources is a type of problem which is called a large combinatorial problem. In some cases, there may be just one key resource that is the bottleneck in scheduling a project. Activities are scheduled so that no two of them which require the same resource occur at the same time. At the other extreme are projects that require many resources, most of which are available in fixed and limited amounts. The problem of scheduling activities in such a way that none of resource availabilities are exceeded and none of the precedence relations are violated is an exceedingly difficult task for projects of even modest size.

The techniques used to solve this combinatorial kind of problem are separated in two groups. The first one is the analytical techniques such as the linear programming, integer programming, dynamic programming, branch and bound techniques and implicit and partial enumeration techniques.

Such techniques have produced optimal solutions to constrained resource problems of sizes much greater than possible only a few years ago. However, an apparently common disadvantage of many of these procedures is the extreme variations in computation time experienced from problem to problem, even among seemingly similar type of networks.

For solving large combinatorial problems, heuristic programs have been developed. A heuristic is a method of reducing the search in a problem solving situation. A heuristic program is a collection of such rules which take into account the specific factors of a particular project. Most resource allocation problems are solved with heuristic programs. Resources are allocated on a period by period basis to some subsets of the available jobs.

The heuristic of such programs decides which jobs shall be scheduled and which shall be postponed in any periods. To make such a decision, the heuristic uses priority rules. The most obvious priority rule is to give preference to the jobs with the least slack, when several jobs compete for the same resource.

One of the determining criteria in the project network is the characteristics of project networks. The network summary measures may be divided into three general classes: a) measures which characterize the size, shape and logic of

the network. b) measures which indicate time characteristics. c) measures which characterize resource demands and availabilities. A measure of network logic has been given the name Complexity which is the ratio of number of arcs to number of nodes. A measure of time is termed density and it is the ratio of the sum of the job durations to the total free slack plus sum of job durations. The measures of resources characteristics fall into two groups, according to whether they measures requirements or relationship between requirements and availabilities. Measures in the first group are calculated separately for each resource type. Resource measures in the second group were designed specifically with regard to possible relationships with the increase in project duration typically encountered in constrained resource scheduling. A general measure of the magnitude of resource constraints is the excess resource requirements generated by the differences between a resource profile and resource availabilities.

All projects must be scheduled subject to constraints on resource availabilities, activity precedence relationships and resource acquisition lead time. The resources required in a project include both non-storable resources such as labour and equipment as well as storable resources such as materials, component parts and assemblies. While the effect of non-storable resources constraints on project schedules is deeply investigated in the literature, the effects of materials constraints on project cost is yet only in the form of the mathematical formulation of the problem or experimentation with solution methods.

Products in a large number of environments are produced in a project mode on a made-to-order basis. In industries such as shipbuilding, research and development, aerospace, manufacturing and commercial and residential construction, a wide variety of complex type of products are produced that require materials acquired from a number of different sub-contractors and vendors. In practice, materials are either acquired entirely at the beginning of a project, using a one-lot ordering strategy, or throughout the project on a lot-for-lot basis.

When integrating the materials function into the development of a project schedule, one must also discuss the monetary advantages and disadvantages of this materials management system. While it is very important to maintain coordination between the schedule of project activities and the acquisition of materials, it is also necessary to know what benefits may be obtained from this approach other than just the assurance that the materials will arrive on time such that project activities may begin on their schedule.

The research on project scheduling subject to monetary objectives is also limited in scope. In the literature,

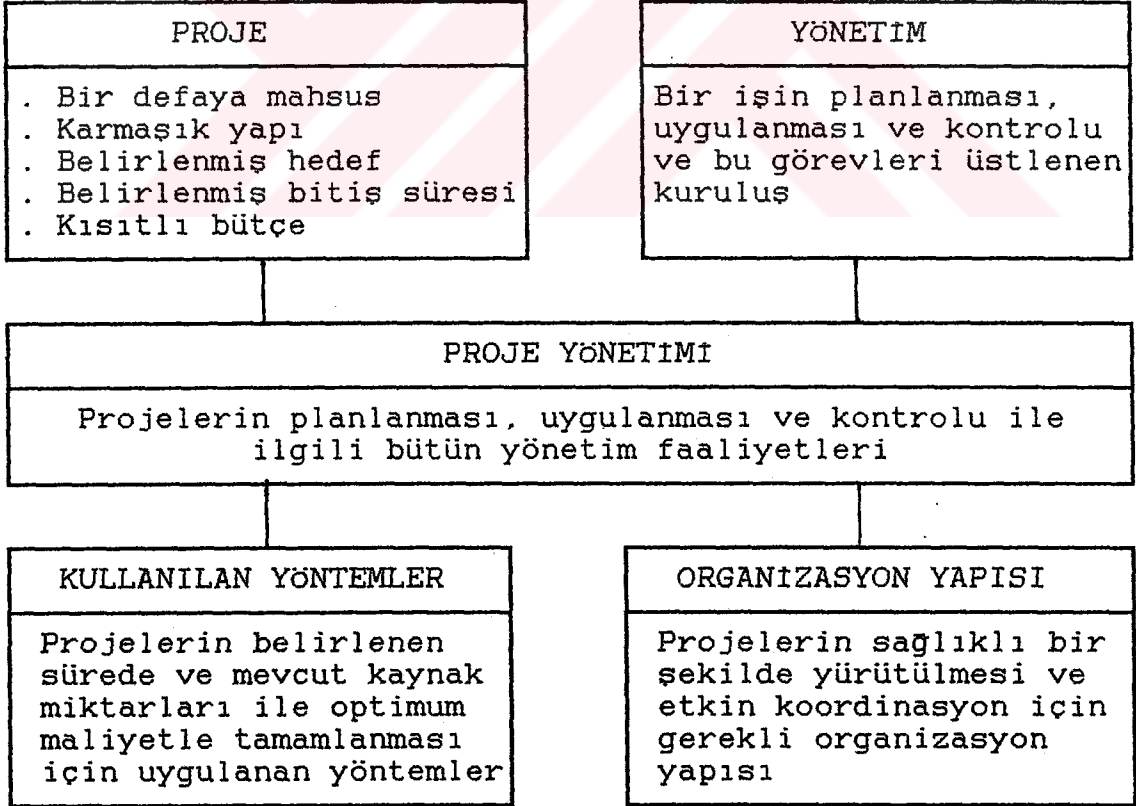
there are formulations for the maximization of the net present value of project cash flows under the assumptions that both positive and negative cash flows occur over the course of a project network, and all resources, including capital are unconstrained in availabilities.



BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Proje Yönetimi Kavramı

Proje yönetimi, projelerin planlanması, uygulanması ve kontrolünün yapılması ile ilgili bütün faaliyetleri içeren bir kavram olarak tanımlanabilir. Proje Yönetimi kavramı, proje tipine bağlı olarak yönetim görevlerini, yapılarını, tekniklerini, araçlarını, projeleme safhalarını ve her bir safhadaki görev dağılımlarını ele alır. Bu kavramın genel hali Şekil 1-1'de şematize edilmiştir:



ŞEKİL 1-1.
Proje Yönetimi Kavramı

1.2. Proje Tanımı ve Sınıflandırılması

Proje kavramı tanımlaması, değişik eserlerde değişik şekillerde yapılmıştır. Bu tanımlamalardan bir kaç tanesi aşağıda verilmiştir.

DIN 69901 normuna göre proje, bir defaya mahsus olarak yapılan, belirlenmiş bir hedefi olan, termin ve kaynaklar açısından sınırlandırılmış olan, bir organizasyonun bir çok biriminin katıldığı bir çalışmadır.

İkinci bir proje tanımı ise, bir amaca ulaşmak için belirli bir sürede bir arada yapılması gereken birbirleri ile ilişkili işlemler sistemi şeklindedir [1]. Bu işlemler birbirlerinden bağımsız veya diğerine bağımlı olabilirler. Ancak bütün işlemler bir projeyi oluşturan parçalar olarak birbirleri ile ilişkilidirler.

Diğer bir tanımlamaya göre proje, program ve sistem gibi kavramların bir alt grubudur. Örneğin, Apollo aya gidiş programı içinde uydu + roket + yer ateşleme kontrol + personel bir sistem olarak ele alınırsa, bir alt sistem olarak uydunun gerçekleştirilmesi bir projedir.

Projelerin sınıflandırılması, projelerin belirgin bazı özelliklerini ortaya çıkarmak amacı ile değişik şekillerde yapılabilir [2].

Projeler, kuruluş içinde gerçekleştirilen projeler ve dışarı yapılan yani diğer bir kuruluş için yapılan projeler olarak iki gruba ayrılabilir.

Kuruluş içi projeler:

- Yeni bir ürünü geliştirme çalışmaları,
- Bir kuruluş içinde bilgisayar sisteminin kurulması,
- Kuruluşun ilgili pazar alanlarını genişletmesi,
- Kuruluşun başka bir yere taşınması

şeklinde özetlenebilir.

Dışarı yapılan projeler ise:

- Diğer bir kuruluş için yapılan ve ihale ve sipariş verme safhalarını da içeren bir inşaat veya ekipman teslimi,
- Yabancı bir ülkeye yapılan anahtar teslimi bir fabrika

şeklinde olabilir. Kuruluş içi projelerle dışarı yapılan projelerdeki projelendirme kademeleri birbirinden farklı olup bu safhalar Şekil 1-2'de gösterilmiştir [3]:

Dış projeler	İç projeler
İhale aşaması	Problem analizi
Kontrat aşaması	Alternatifleri belirleme
Performans planlaması	Uygun çözüm seçimi
Detay planlama	Seçilen çözümün detay planlaması
Gerçekleştirme	Uygulama

ŞEKİL 1-2.
İç ve Dış Projelerde Projelendirme Kademeleri

Projelerin diğer bir gruplandırılması, Ar-Ge projeleri ve endüstri projeleri olarak yapılabilir.

Araştırma ve Geliştirme projelerinin planlanmasında, projede ortaya çıkan belirsizlikler nedeni ile stokastik faktörler devreye girmekte ve GERT gibi stokastik modeller yardımı ile çözüm yaklaşımlarında bulunmaktadır. Ar-Ge projelerinin optimum portföyünün oluşturulması için gereken optimum kaynak tahsisi problemlerine çözüm bulmak amacıyla geliştirilmiş olan kantitatif teknikler, skorlama (scoring) modelleri, ekonomik modeller, risk analizi modelleri ve portföy modelleri adı altında dört gruba ayrılabilir [4]. Yeni ürün geliştirilmesi ile ilgili Ar-Ge projeleri seçimi

modellerinde kullanılan skorlama tekniği, proje için uygun kaynakların sağlanması, proje, ürün ve pazar karakteristiklerinin değeriendirilmesi gibi ölçütlere ağırlıklı değerieler verilerek ve bu ağırlıklara göre bir sıralamanın yapılarak derecelendirilmesini içerir [5].

Ekonomik modeller ve risk analizi ile ilgili modeller, değeriendirme modelleri adı altında birleştirilebilirler. Mevcut proje alternatifleri arasından hangi alternatifin ya da hangilerinin seçileceğini belirlemekte kullanılan ve bu seçimin başarı olasılığının en çoklanması hedefleyen bu modellere bir örnek olarak grup yaklaşımı ile problem çözme tekniği olan Kepner-Tregoe yöntemi verilebilir. Bu teknik, proje hedeflerini yerine getirilmesi mutlak zorunlu olan hedefler ve yerine getirilmesi arzu edilen hedefler olarak iki gruba ayırır ve önerilen çözüm yöntemlerinin bu hedefleri gerşekleştirme düzeylerine bakılır [6]. Risk analizi modellerinde, risk araştırması yapılırken hazırlanan proje yapı planından yararlanılarak, risklerin kantitatif hale getirilmesi için çalışmalar yapılır. İlk aşamada risk unsuru bulunan faaliyet blokları belirlenir. Daha sonra bu faaliyetlerin risk olasılıkları hesaplanır ve riskler kantitatif hale getirilir. Ardından, risklerin doğmasına yol açan nedenler saptanır ve bu risklerin minimize edilmesi için ilk önce en büyük riske sahip faaliyetler için önlem alınarak risk boyutu azaltılmaya çalışılır [7].

Proje risk analizi için bir çok teknik geliştitiirilmiştiir. Bu tekniklerden bazılarıının isimleri aşağıda verilmiştir;

- Hata ağacı
- Sebeb-Sonuç metodu
- Monte Carlo simulasyonu
- Regresyon analizi
- Duyarlılık analizi
- Varyans analizi
- Karar diyagramları

- CPM tekniği
- Hata-Hareket metodu
- Kepner-Tregoe metodu
- PROSIS metodu

Risk durumunu etkileyen bir başka unsur da zamana bağlı olarak artan bilgi akışdır. Proje süreci ilerledikçe başta daha az olan bilgi akışı giderek yoğunlaşır ve karşılıklı iletişimin artması risk oluşma potansiyelini azaltır. Proje risk araştırması ile ilgili teknikler uygulanarak risk büyüklükleri belirlendikten ve alınabilecek önlemler tasarlandıktan sonra projenin risklerini gösteren bir sonuç değerlendirme raporu oluşturulur.

Portföy modelleri ise, doğrusal programlama, tamsayılı programlama, dinamik programlama, hedef programlama gibi optimizasyon tekniklerinden ve GERT (Graphic Evaluation and Review Technique) gibi stokastik tekniklerden oluşur [8,9].

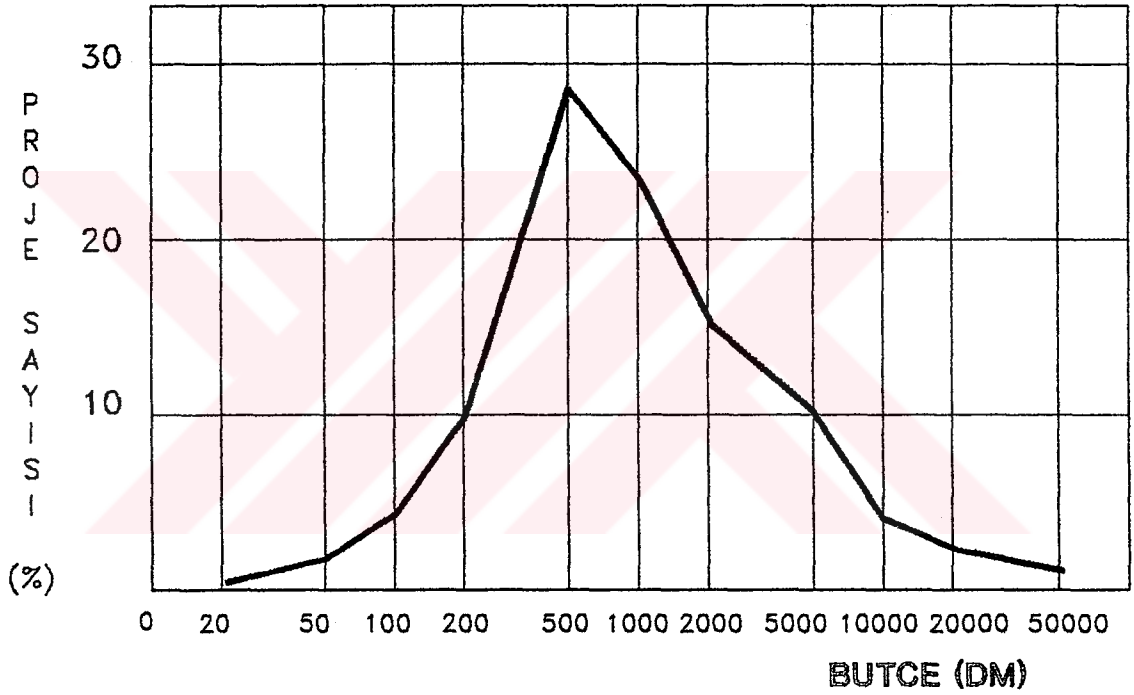
Endüstri projeleri, yapıları itibarı ile deterministik bir karakter taşımaktadırlar. İşgücü, ekipman, malzeme, sermaye gibi miktarları ve kapasiteleri açısından kısıtlı kaynakların etkin planlama, yürütme ve kontrolünü içeren çeşitli analitik veya sezgisel yöntemler ile endüstri projelerinin modellemeleri yapılarak çözüm aranmaktadır.

Projeler kapsamaları açısından da, küçük orta ve büyük kapsamlı projeler olarak gruplandırılabilir [10]. Proje kapsamı denildiği vakit, göz önüne alınacak kriterler sırasıyla:

- . daha önce benzer konularda gerçekleştirilmiş olan projelerin adedi
- . proje hedefine ulaşmayı engelleyebilecek risklerin yüzdesel değeri
- . zamana bağlı olarak kaynak miktarlarındaki değışimler
- . projeyi ortak yürüten kuruluş sayısı
- . proje faaliyetleri arasındaki bağımlılık derecesi

olmaktadır. Bu kriterlerin karmaşıklık derecesi arttıkça projenin kapsamı da büyür.

Projeleri kapsamaları yanında maddi büyüklüğü açısından da sınıflandırmak mümkündür. Proje büyüklüğü, projenin bütçesini belirtir ve yine küçük, orta ve büyük bütçeye sahip projeler şeklinde bir sınıflandırma yapılabilir. Alman Bilimsel Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 1983 yılında yapılan ve 6000 adet Ar-Ge projesinin senelik bütçelerine göre sayısal dağılımını esas alan bir araştırma sonuçları Şekil 1-3'de verilmiştir [11].



ŞEKİL 1-3
Projelerin Senelik Bütçelerine Göre Dağılımı

Bir proje, maliyeti açısından küçük bir proje olabilir ancak kapsamı açısından büyük bir çalışma gerektirebilir. Örnek olarak, bir işletmenin kendi bünyesinde yapısal bir reorganizasyon çalışması yapması, hazır kurulu bir düzeni değiştirmenin getireceği büyük riskleri taşıyacağından kapsam açısından büyük boyutlu bir projedir, ancak proje maliyeti açısından incelendiğinde örneğin bir tesis inşası gibi büyük bir proje bütçesi gerektirmemektedir.

1.3. Proje Safhaları

Bir proje genellikle, planlama, programlama, yürütme (realizasyon) ve kontrol olarak dört ana safhaya ayrılmaktadır. Proje safhaları sırasıyla:

Planlama safhası:

- Projenin tanımlanması ve hedeflerin tesbiti
- Projenin yapısal analizi: Projenin yapısal şeması ortaya çıkana kadar yapılan hazırlık çalışmalarından oluşur.
- Görev ve Sorumlulukların tesbiti (Organizasyon şemasının oluşturulması)
- İşlem sürelerinin belirlenerek proje şebekesinin hazırlanması
- Kaynak gereksiniminin ve maliyet faktörlerinin tesbiti

Programlama safhası:

- İşlemlerin başlama zamanlarının hesaplanması
- Takvimlendirilmiş GANTT diyagramının yapılması
- Kaynak-Yük diyagramlarının oluşturulması
- Bütçe planları yapılması ve proje maliyetinin hesaplanması

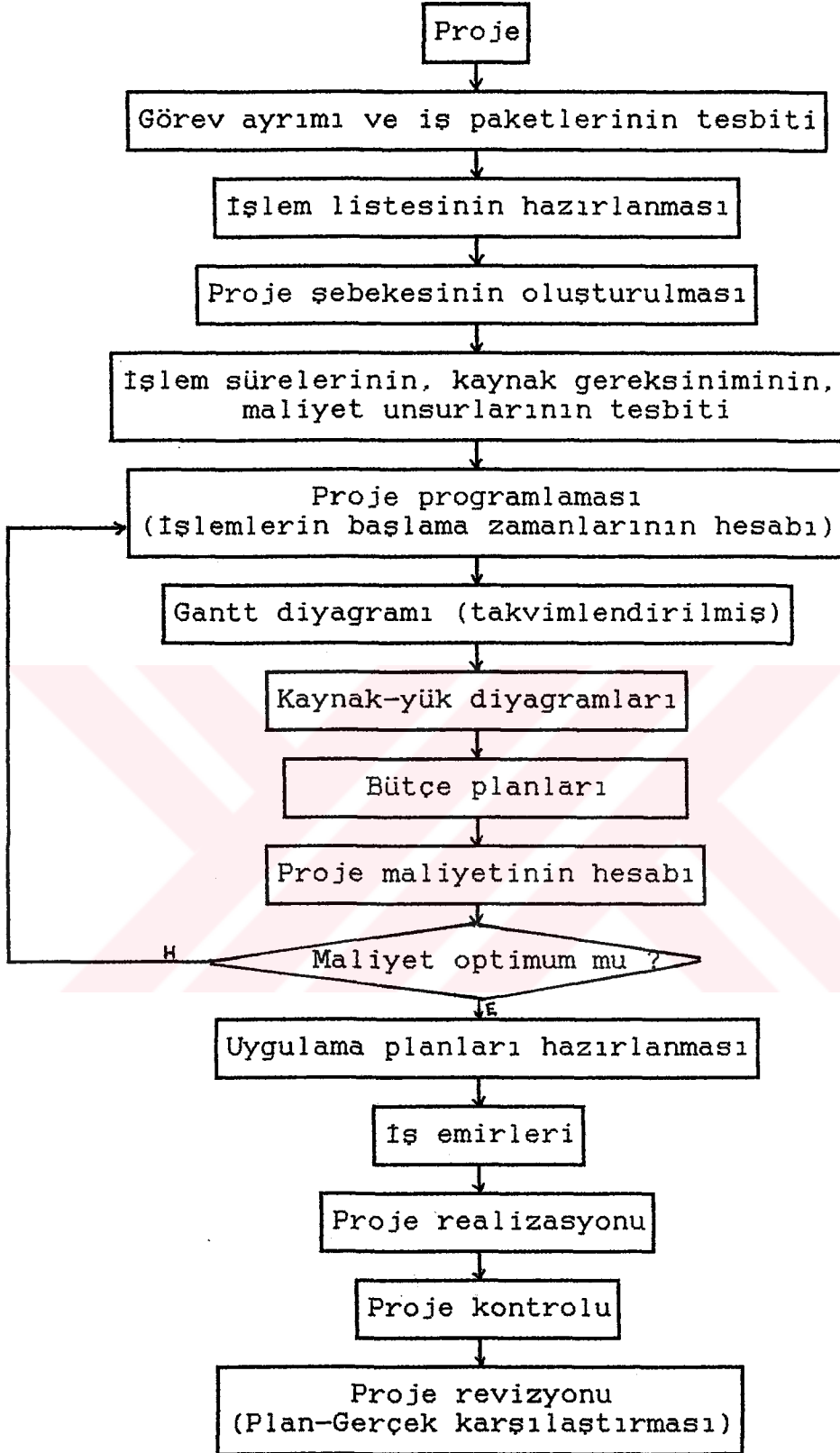
Realizasyon (Yürütme) safhası:

- Uygulama planlarının hazırlanması
- İş emirlerinin hazırlanması
- Proje realizasyonu

Kontrol safhası:

- Planlanan ve gerçekleşen değerler karşılaştırılması
- Proje revizyonunun yapılması.

Proje safhalarına ait akış şeması Şekil 1-4'de verilmiştir.



SEKİL 1-4
Proje Safhaları Akış Şeması

1.4. Sonuç

Giriş bölümünde proje, yönetimi kavramı, projelerin farklı kriterlere göre sınıflandırılması ve projeyi oluşturan safhalar anlatılmıştır. İkinci bölümde, proje planlamasına genel hatlarıyla değinilecektir. Üçüncü bölümde ise proje kontrolü kavramı incelenecektir. Dördüncü ve beşinci bölümlerde tezin konusuna temel teşkil eden proje programlaması ve kaynak kısıtlarının etkisi konusu genel olarak anlatılacak ve daha sonra altıncı bölümde, kaynak kısıtları, depolanabilen ve depolanamayan kaynaklar olarak iki ana elemanına ayrılacaktır. Malzemeler depolanabilen kaynakları, işgücü ise depolanamayan kaynakları oluşturmaktadır. Depolanabilen kaynakları oluşturan malzeme yönetim politikalarının proje programlaması üzerindeki etkileri, depolanamayan kaynak kısıtları ile bir arada ele alınarak çeşitli algoritmalarla incelenecek ve bir uygulama ile erişilen sonuçların daha anlamlı bir hale getirilmesine çalışılacaktır.

BÖLÜM 2. PROJE PLANLAMA SAFHASI

2.1. Projenin Yapısal Analizi

Projenin yapısal analizi üç temel aşamadan oluşur:

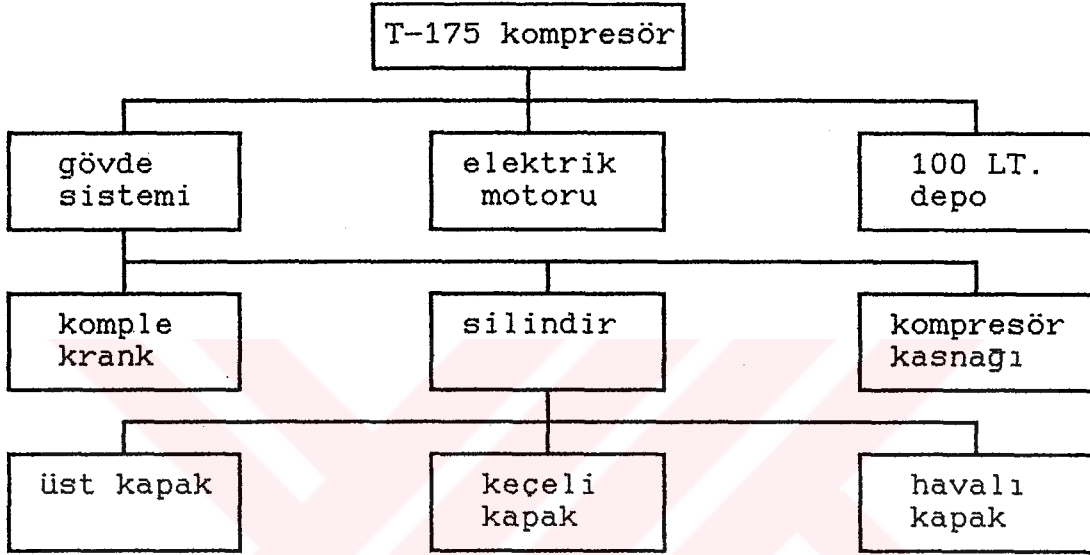
- Projenin temel yapı elemanlarına ayrımı, (Duruma göre bunlar, mamuller, kısmi görevler ya da fonksiyonlar şeklinde olabilir)
- Her yapı elemanında yer alan iş kümelerinin hiyerarşik düzeyleri de gözetilerek şematik bir şekilde gösterimi,
- Proje yapı elemanları şemalarının birleştirilmesi ve iş paketlerini hiyerarşik düzende gösteren bir proje yapı planının oluşturulması.

Proje yapı planı, proje görevlerinin programlanması, projeye uygun organizasyon yapısının kurulması, bilgi akış sisteminin kurulması, spesifikasyonların hazırlanması, veri bankalarının oluşturulması ve raporlama sistemi kurulması gibi görevleri içeren bir planlama aşamasıdır. Proje yapı planı, projeyi alt projelere, alt projeleri faaliyetlere ve faaliyetleri iş paketlerine bölerek, her bir iş paketini bağlı grupların yetki ve sorumlulukları altına verir. Bu bölümlenme, en üstten başlayarak kademelenme şeklinde yani dedüktif yapıda olabileceği gibi alttaki işden başlayarak yukarıya doğru çıkan endüktif bir yapıda da olabilir. Proje yapı planları başlıca dört temel gruba ayrılır:

- Ürüne yönelik proje yapı planı
- Safhaya yönelik proje yapı planı
- Fonksiyona yönelik proje yapı planı
- Karma proje yapı planı

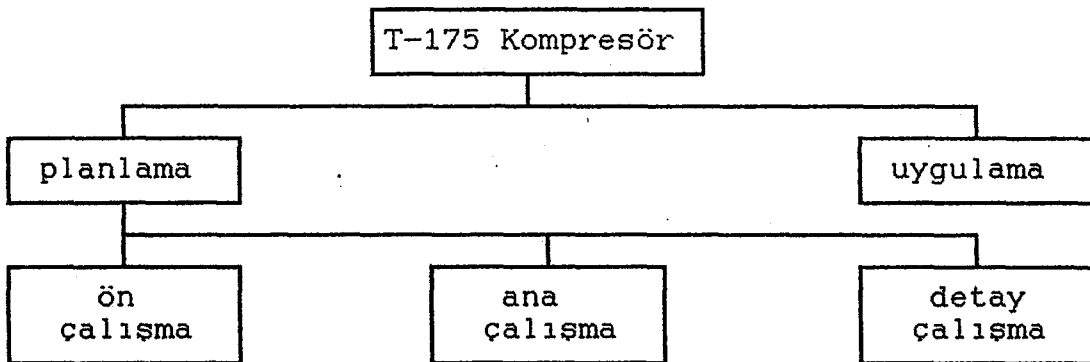
2.1.1. Ürüne Yönelik Proje Yapı Planı

Ürüne yönelik proje yapı planı, ürünü oluşturan bütün sistemlerin alt sistemlerine ayrılmasını içerir. Bir kompresör imalatı örneği için bu yapı planının dallandırılması Şekil 2-1'de verilmiştir:



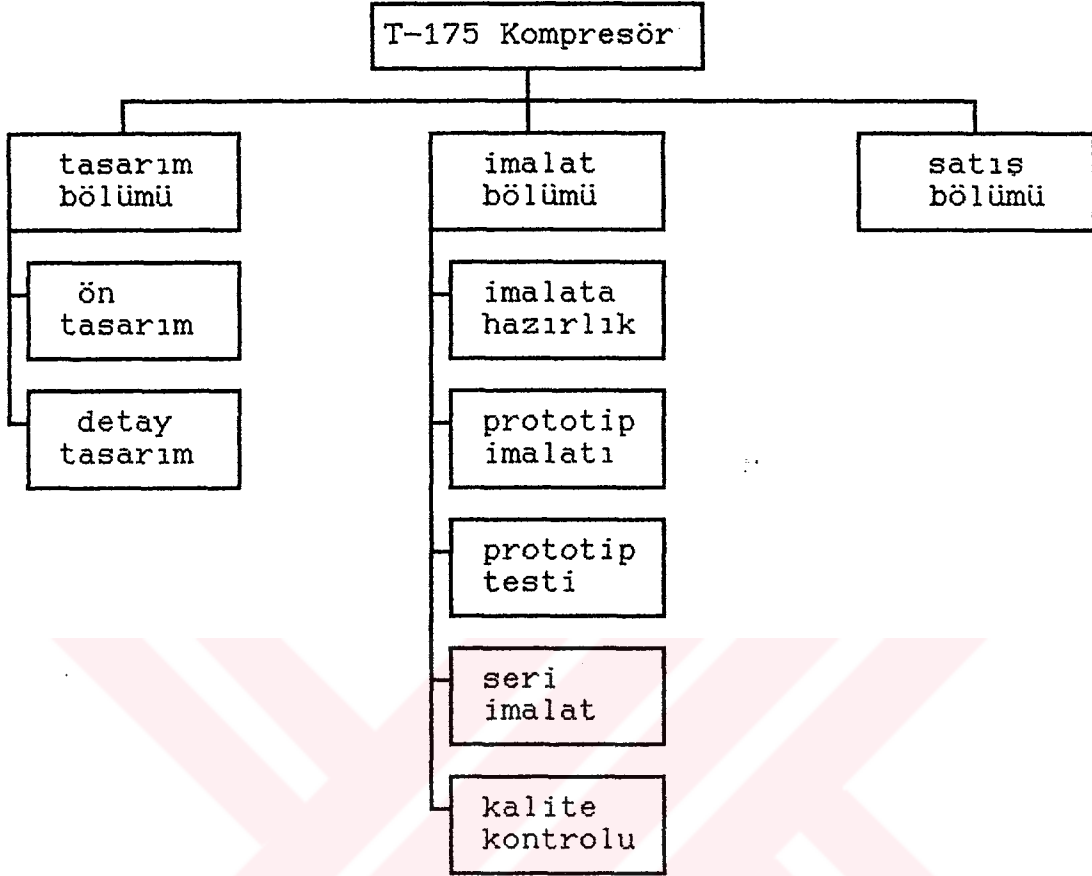
ŞEKİL 2-1
Ürüne Yönelik Proje Yapı Planı

2.1.2. Safhaya Yönelik Proje Yapı Planı



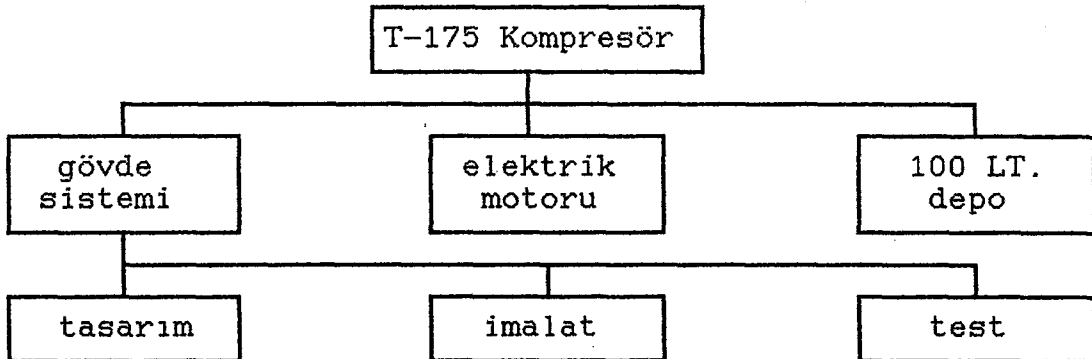
ŞEKİL 2-2
Safhaya Yönelik Proje Yapı Planı

2.1.3. Fonksiyona Yönelik Proje Yapı Planı



ŞEKİL 2-3
Fonksiyona Yönelik Proje Yapı Planı

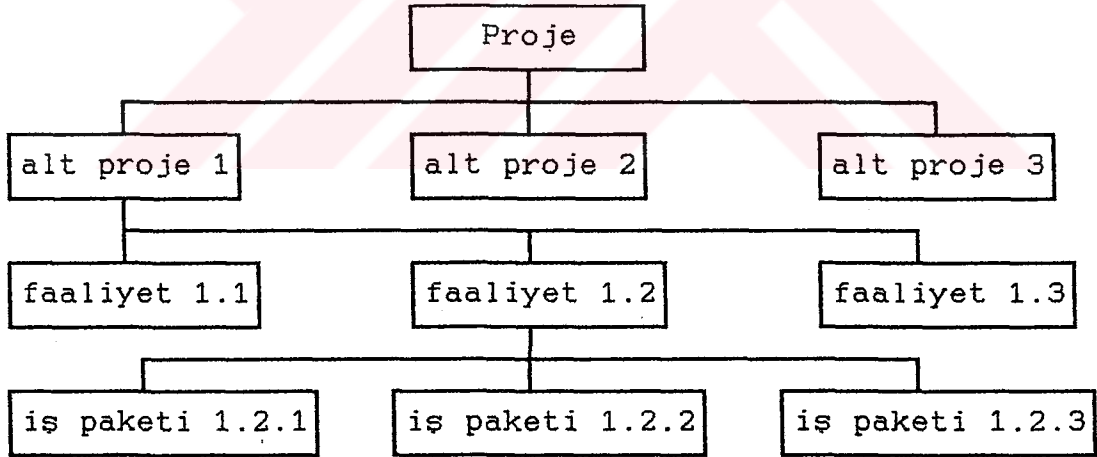
2.1.4. Karma Proje Yapı Planı



ŞEKİL 2-4
Karma Proje Yapı Planı

Genellikle proje yapı planları karma yapı planı olarak hazırlanır. Karma yapı planının üst seviyesi ürüne yönelik olarak hazırlanır. Burada amaçlanan olay ilk aşamada ürünü oluşturan ana parça gruplarını ayırabilmektir. Daha sonra ikinci seviyede, fonksiyonlara yönelik olarak bir dağıtım yapılır. Böylece ürünü oluşturan her bir ana parça için yapılacak çalışmaların listesi elde edilir. Projeyi en üst düzeydeki ana elemanlarından başlayarak en alt düzeydeki iş paketlerine kadar karma bir yapı planı kullanarak sıralamak projedeki faaliyetlerin kontrol edilmesini kolaylaştırır.

Genellikle en alt düzeyde oluşan her bir iş paketinin, maliyet açısından kontrol edilebilir bir büyüklükte olması gerekir. Ayrıca her bir iş paketinin diğerinden bağımsız olacak şekilde belirlenmesi de önemli bir hususu oluşturur. Şekil 2-5'de İş Bölümleme Yapısına bağlı olarak genel bir proje yapı planı örneği verilmiştir:



ŞEKİL 2-5
Proje Yapı Planı Tasarımı

2.2. Proje Organizasyonu

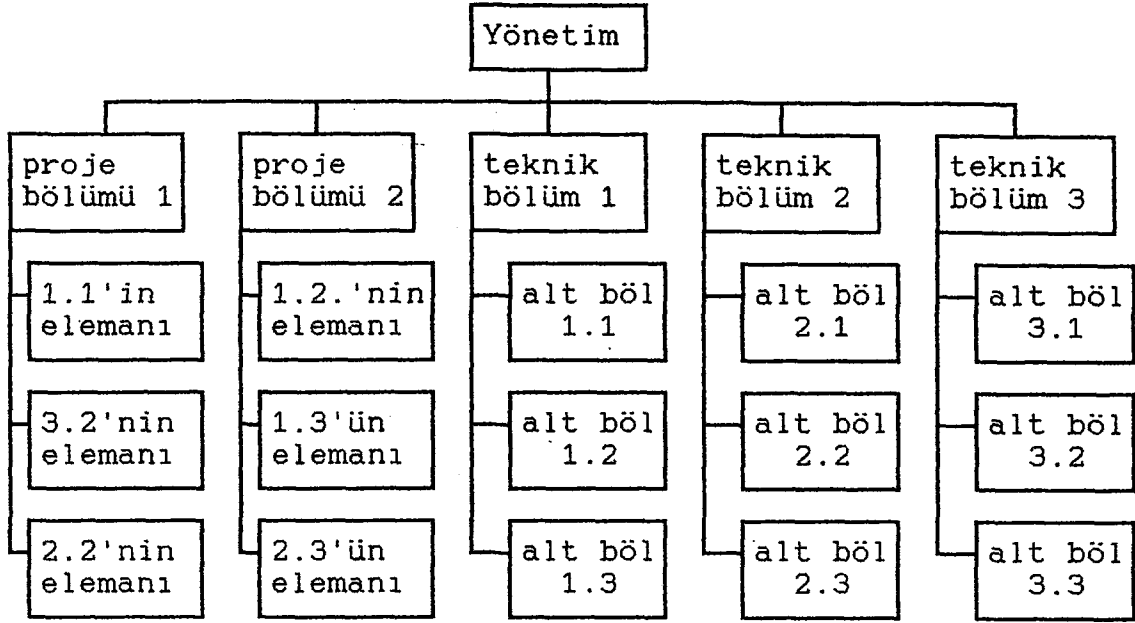
Proje organizasyonunu gerektiren başlıca nedenler:

- . İşlerin arzulanan hedeflere uygun olarak yürütülmesi
- . Rasyonel bir karar verme sistemi oluşturulması
- . Sağlıklı bir bilgi akış sistemi oluşturulması
- . Karar prosesine katılanlar arasındaki koordinasyonun sağlanması
- . Görev ve yetkilerin belirlenmesi
- . Teknik birimler ile proje bölümü arasındaki işbirliğinin sağlanması
- . Projede ortaya çıkabilecek uzlaşmazlıkların ortak görüşle çözümlenmesi, öncelikler üzerinde ortak fikir birliğine varılması

olarak belirtilebilir. Projelerin karakteristiklerine göre uygulanabilecek başlıca organizasyon formları sırasıyla, hat organizasyonu, kurmay hat organizasyonu, matris tipi organizasyonlar ve proje ekibi organizasyonudur.

2.2.1. Hat Organizasyonu

Projede görev alacak olan elemanlar bağlı bulundukları bölümlerden ayrılarak proje yöneticisinin idaresi altında toplanırlar. Proje yöneticisi herhangi bir teknik bölümün yöneticisi de olabilir. Ancak, bir projenin yürütülmesi sırasındaki termin ve maliyetler ile ilgili kriterlere uyulmasından ve arzu edilen proje hedefine ulaşılmasından tek başına yetkili ve sorumludur. Projenin teknik detay problemlerinin çözüme ulaştırılabilmesi için diğer teknik birimlere danışma ihtiyacı duyabilir. Eğer herhangi bir problemin çözümünde anlaşmazlık ortaya çıkarsa o zaman üst yönetimin kararına başvurabilir. Büyük kapsama sahip olan projelerde, bir çok birimin ortak karar alması ve katılımı gerekeceğinden bu tür bir organizasyon yapısı pek uygun olmamaktadır. Hat organizasyonu yapısına ait bir örnek Şekil 2-6'da verilmiştir:

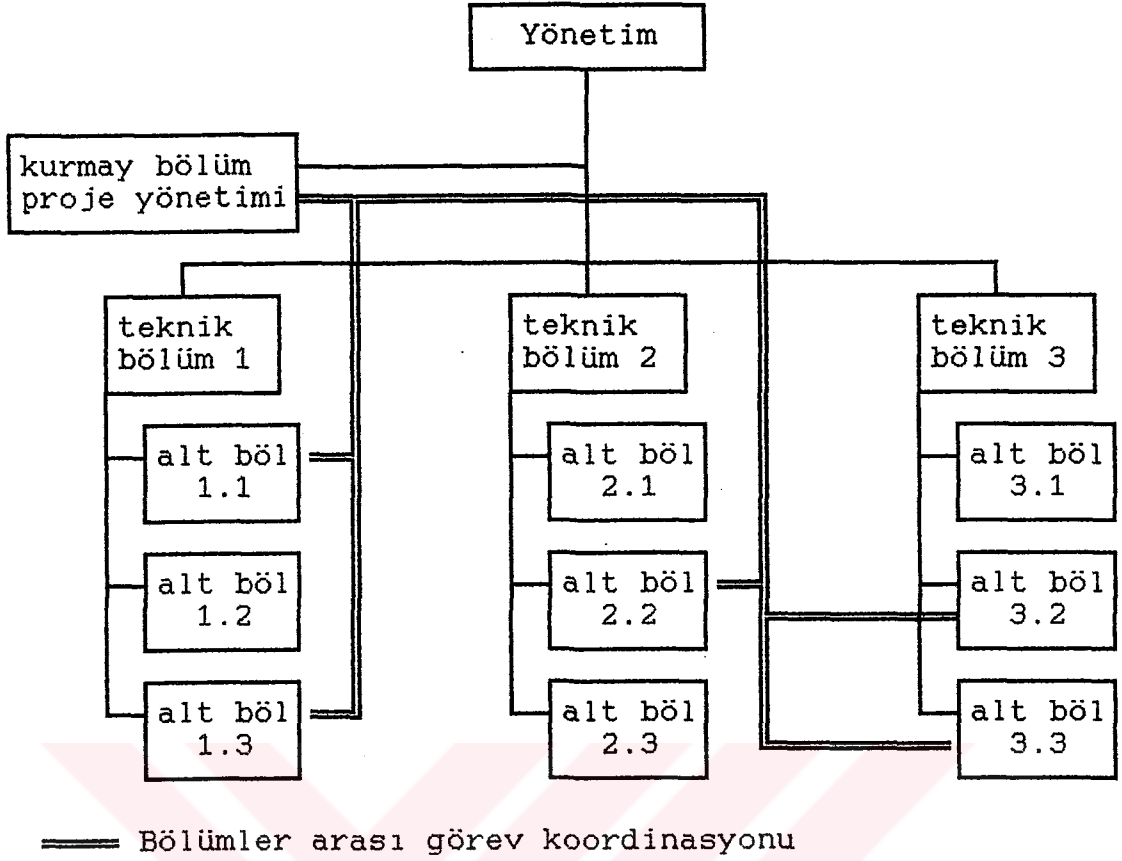


ŞEKİL 2-6
Hat Organizasyonu Şeması

Hat organizasyonunun sağladığı başlıca avantajları, hedefe yönelik tek başlı bir proje yönetiminin sağlanması, tek başlı yönetimin getirdiği hızlı karar verme prosesinin yaratılması, yetki ve sorumlulukların açıkça belirtilmiş olması olarak belirtilebilir. Dezavantajları ise, diğer formlara nazaran daha az esnek bir yapıda olması, ayrı bir proje bölümü kurma maliyetinin daha yüksek olması ve teknik birimlerle yeteri kadar ortak işbirliğinde bulunamamanın getireceği bir kopukluk olarak düşünülebilir [12].

2.2.2. Kurmay Hat Organizasyonu

Proje yöneticisi, işletme tepe yönetimi ile projeyi gerçekleştiren teknik birimlerdeki elemanlar arasındaki koordinasyonu sağlamakla yükümlü olarak kurmay bir görev üstlenir. Proje önceliklerinin belirlenmesi ve alınacak kararlar ile işletme yönetimi yetkilidir. Proje yöneticisi kurmaylık görevi dışında herhangi bir yetkiyle donatılmış değildir. Kurmay hat organizasyonunun yapısı Şekil 2-7'de verilmiştir.

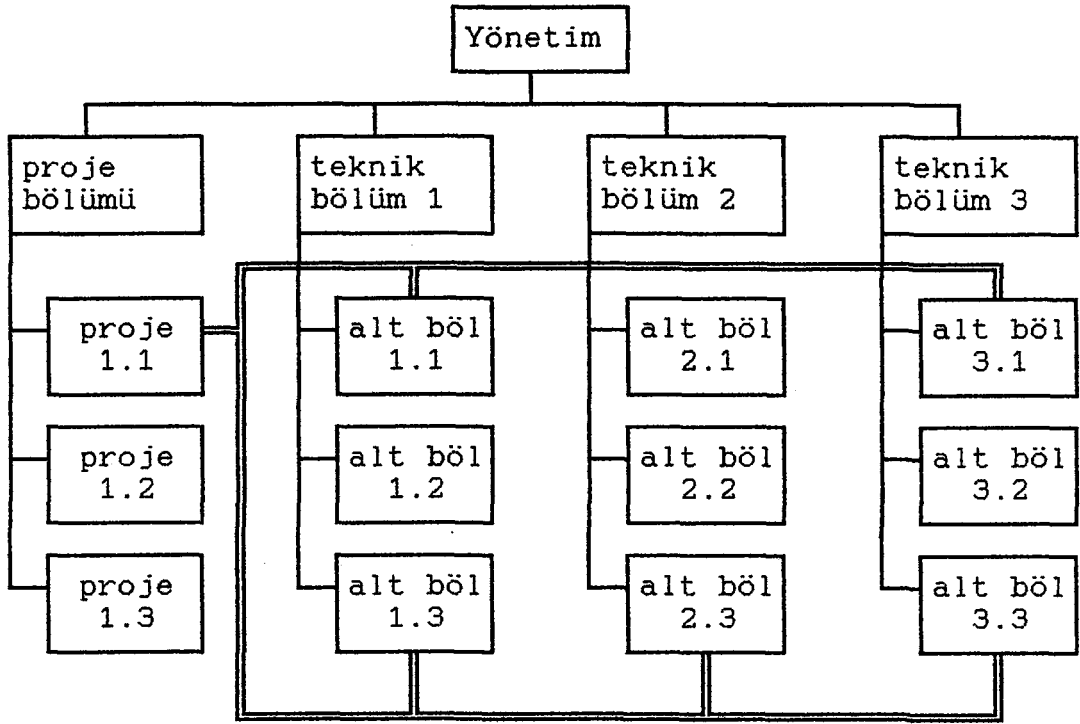


ŞEKİL 2-7
Kurmay Hat Organizasyonu

Kurmay hat organizasyonunun başlıca avantajları, bir kurmay birim oluşturularak projenin merkezi bir noktadan koordinasyonunun sağlanması, yürürlükte olan hiyerarşiyi rahatsız etmeden proje kontrolünün sağlanması ve çok esnek bir yapıya sahip olmasındadır. Dezavantajları ise, rutin işlerle proje işlerinin aynı anda yürütülmesinin getirdiği aşırı yükler ve yetkilerinin sınırlı olması nedeniyle proje yöneticisinin projeyi yarıda bırakabilmesi olasılıklarıdır.

2.2.3. Matris Organizasyonu

Matris organizasyon yapısında, proje faaliyetlerinin nelerden oluşacağı ve ne zaman yapılacağı proje müdürünün nasıl yapılacağı ise teknik müdürlerinin yetkisindedir. Bu yapı Şekil 2-8'de verilmiştir:



— nasıl = ne, ne zaman

ŞEKİL 2-8
Matris Organizasyonu

Matris organizasyonunun avantajları, projenin optimum gelişmesinin sağlanması sorumluluğunun proje yöneticisinde olması, yatay ve dikey hatlar boyunca uygun koordinasyonun sağlanması, hızlı karar verme süresi, bilgi ve deneyimlerin optimal kullanımları ve kaynak kullanımlarında yüksek bir esnekliğin sağlanması olarak gösterilebilir. Bu yapının başlıca dezavantajları ise, projede görev alan elemanların yatay ve dikey sorumlulukların fazlalığı karşısında stres yüklerinin artması ve bölümlerarası işbirliğinin sağlanması için alınacak organizasyonel önlemlerin çokluğudur.

2.2.3.1 Fonksiyonel Matris Organizasyonu

Fonksiyonel matris organizasyonunda dikey hiyerarşi, yatay yetki dağılımlarıyla ve yatay iletişim kanallarıyla dengelenmiştir. Bu yapıda proje yöneticisinin yetkisi her bir grubun çalışmalarının koordinasyonu ile sınırlı kalır.

Grup içindeki bütün teknik çalışmalardan bölüm yöneticisi sorumludur. Proje yöneticisi bir danışman olarak hareket eder ve gruplar içindeki teknik konulara karışmayıp sadece grup çalışmalarını koordine eder [13].

2.2.3.2. Dengeli Matris Organizasyonu

Dengeli matris organizasyonunda proje yöneticisi ve ilgili bölüm yöneticileri yetki ve sorumlulukları eşit bir biçimde paylaşırlar. Proje yöneticisi sadece NE yapılması gerektiğini söyler, bölüm yöneticileri NASIL yapılacağına karar verirler. İş programlarının hazırlanması ve teknik problemlerin bu programlar üzerindeki etkileri üzerinde birlikte karar alırlar.

2.2.3.3. Proje Matris Organizasyonu

Proje matris organizasyonunda ise, proje yöneticisi doğrudan grup çalışmalarına etki edebilir ve personel, iş akışı gibi faaliyetler konusunda gerekli kararları alır. Bölüm yöneticileri ise kaynakların sağlanması konusunda teknik desteklerini proje yöneticisinin emrine sunar.

2.2.4. Proje Ekibi Organizasyonu

Proje ekibi organizasyonunda, proje yöneticisi her bir bölümden seçtiği elemanlar ile kendi ekibini kurar, bu ekip kendini bütünü ile proje çalışmalarına adar, ancak kaynak gereksinimi durumunda veya teknik destek gerektiğinde bölüm yöneticilerinin desteği istenir.

2.2.5. Organizasyon Yapılarının Proje Üzerindeki Etkileri

Değişik tiplerdeki organizasyon yapılarının proje yönetimleri üzerindeki etkilerini inceleyen bir literatür araştırması LARSON ve GOBELI (1989) tarafından yapılmıştır [14]. Bu yayın taraması sonuçlarına göre, Corey ve Starr, yeni ürünlerin geliştirilmesi üzerine çalışan 500 büyük

imalatçı firma ile yaptıkları bir araştırmada proje matrisi ve proje ekibi organizasyonlarının daha başarılı sonuçlar verdiğini bulmuşlardır . Marquis ve Straight ise 100 Ar-Ge projesi üzerine yaptıkları başka bir çalışmada, fonksiyonel matris kullanan kuruluşların daha başarılı teknik sonuçlar elde ettiğini, buna karşılık proje matrisi organizasyonunu kullanan kuruluşların termin ve maliyetlerinde bir tasarruf sağladığını tespit etmişlerdir. Murphy ise 600 adet inşaat firması üzerine yaptığı bir araştırmada proje başarısı ile organizasyon yapısı arasında net bir bağlantı bulamamıştır. Katz ve Allen 86 Ar-Ge projesi üzerine yaptıkları başka bir araştırmada, dengeli matris organizasyonunun daha başarılı sonuçlar verdiğini bulmuştur.

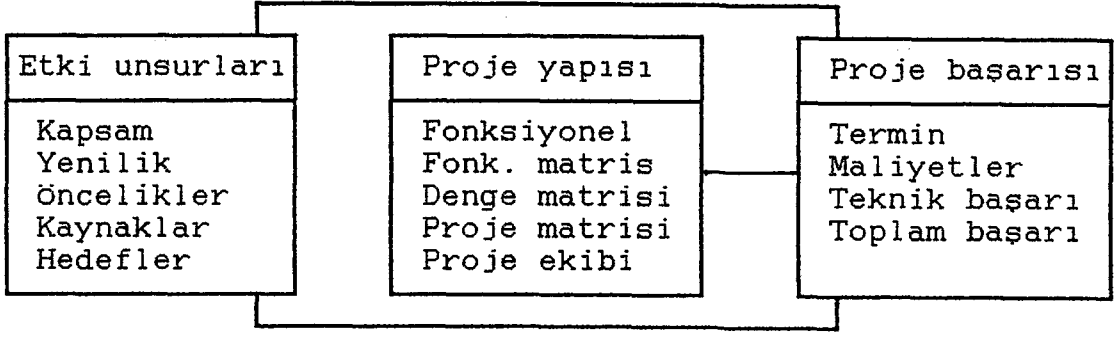
Proje organizasyon yapısının proje başarısı üzerindeki etkisinin sağlıklı bir şekilde incelenmesi için başarıya etki eden diğer unsurların da göz önüne alınması gerekir. Bu amaçla başarı ya da başarısızlığa etki eden beş kritik unsur daha bulunmuştur.

Bu unsurlar sırasıyla;

- Projenin kapsamı
- Kullanılan teknolojinin yeniliği
- Hedeflerin açıklıkla belirtilmesi
- Öncelikler
- Kaynakların kullanılabilirliği

olarak belirlenmiştir.

Projenin başarılı sonuç vermesi kavramı ise müşterinin tam tatmini, istenilen pazar payına ulaşılması, teknolojik bir aşamanın gerçekleştirilmesi veya termin ve maliyet gibi performans etki eden unsurların kontrol edilebilmesi ve istenen hedeflere zamanında ulaşılması şeklinde olabilir. Böylece proje başarısı birden çok değişkene bağlı olan bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Şematik olarak bu yapı Şekil 2-9'da özetlenmiştir [14]:



ŞEKİL 2-9
Proje Başarısına Etki Eden Unsurlar

Proje yönetimi enstitüsü (PMI) tarafından Amerika ve Kanada'daki üyelerinden 547 kişi üzerinde yapılan bir anket araştırması sayesinde yukarıdaki unsurların proje başarısı üzerindeki etkisi incelenmiştir [15]. Konuşulan kişilerin % 30'u proje yöneticisi, % 16'sı genel müdür seviyesinde, % 26'sı bölüm müdürü, kalan yüzdesi ise proje ekiplerinde görevli uzmanlardan oluşmaktadır. Yine grubun % 14'ü ilaç sanayi, % 10'u havacılık sektörü, % 10'u bilgisayar sektörü, kalan kısmı ise telekomünikasyon, tıbbi cihazlar, cam ürünleri, petrol ürünleri ve beyaz eşya sektöründen gelen kişilerden oluşmaktadır.

Araştırma, proje yapısının proje başarısına doğrudan etkisi olduğunu göstermiştir. Özellikle AR-GE projelerinde fonksiyonel organizasyon ve fonksiyonel matris yapılarının diğer üç organizasyon yapısına göre daha başarısız sonuçlar verdiği görülmüştür. Dengeli matris organizasyonu kullanan projeler maliyet kontrolünde başarılı olmakta ancak termin kontrolünde yeteri kadar başarı gösterememektedir. Proje matrisi ve proje ekibi yapısına sahip olan projelerin ise termin kontrollerinde başarılı ancak maliyet kontrollerinde istenildiği kadar başarılı olmadığı görülmüştür.

Teknik performans açısından ise dengeli matris, proje matrisi ve proje ekibi yapıları birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermektedirler.

Seçilen etki unsurları arasında, proje başarısına etki etmesi açısından en fazla ağırlıklı yeri, kesin ve detaylı olarak belirlenmiş hedeflerin bulunması almaktadır. Teknik performansın ve maliyetin kontrolü açısından kullanılabilir kaynaklar, ikinci önem sırasını oluşturmaktadır. Projedeki öncelikler ise özellikle termin kontrolü ve toplam başarı üzerinde rol oynamaktadır. Proje kapsamının ve modern teknolojilerin proje başarısı üzerindeki etkileri ise çok az çıkmıştır. Bunun başlıca nedeni, seçilen projelerin kapsam olarak birbirlerine çok yakın olması ve yeni bir teknoloji kullanımının etkisini ölçebilecek etkili bir ölçüm tekniği olamamasından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, proje organizasyon yapılarının projenin başarısına olan etkileri termin, maliyet, teknik performans ve toplam performans olarak incelenmiş, ancak burada proje yöneticisinin kişisel yetenekleri, tecrübesi gibi faktörler gözönüne alınmamıştır. Bu ve buna benzer diğer faktörlerin projenin organizasyon yapısı kadar proje başarısına etki edebileceği de unutulmamalıdır.

2.2.6. Organizasyonun Yaratabileceği Uyuşmazlık Kaynakları

Sürekli artan rekabet koşulları, hızla gelişen teknoloji, giderek karmaşıklaşan organizasyonel yapılar geleneksel organizasyon anlayışının üzerine büyük bir bilgi yükü getirmiş ve modern proje yönetimi kavramının gelişmesi sonucunu doğurmuştur. Günümüzde proje yöneticilerinin başarı veya başarısızlığı, uyumsuz noktaları ortaya çıkarıp tanımlayabilmek ve bunlara çözüm getirebilmekle doğru orantılıdır. Proje ekibini oluşturan elemanlar farklı disiplinlerden geldiklerinden, proje ekibi işe bakış açıları değişik olan kişilerden oluşabilir. Bu durumda proje yöneticisi gerek idari yöneticilerle gerek kendi ekibi ile ilişkilerini düzenlemek durumunda kalmaktadır. Bir proje sırasında doğabilecek uyuşmazlıklara yol açan başlıca durumlar POSNER (1986) tarafından yedi ana grup altında toplanmıştır [16]. Bu durumlar sırasıyla aşağıdaki şekildedir:

- Projede işlerin öncelik sırası
- İdari prosedüre uygunluk
- Teknik görüş farklılıkları
- İşgücü kaynaklarının dağıtımı
- Maliyet tahminlerindeki değişimler
- İş sıralama ve programlama
- Kişilik özellikleri

Problemin bu aşamasında uyumsuzluk nedenleri tanımlandıktan sonra, ikinci aşamada proje yöneticilerinin nasıl bir tepki gösterdiği ele alınmaktadır. Proje sırasında karşılaşılan uyumsuzluk durumlarını araştırmak amacıyla aşağıdaki dört temel soruya cevap aramak gerekmektedir:

- Uyumsuzluklar en çok hangi nedenlerden kaynaklanmakta ?
- Proje safhaları ilerledikçe uyumsuzluklar nasıl bir değişiklik göstermekte ?
- Proje yöneticileri probleme hangi bakış açılarıyla yaklaşmakta ?
- Probleme yaklaşım biçimleri arasındaki farklılıklar hangi nedenlerden kaynaklanmakta?

Uyumsuzluk durumu sözkonusu olduğunda proje yöneticisinin problemi çözmek için seçtiği yöntemler ise aşağıdaki şekildedir:

- Grup çalışması: İlgili bütün taraflar biraraya gelir ve ortadaki sorun ile ilgili optimum çözümü ve bu çözümün gruplar içindeki etkisini görüşürler.
- Uzlaşma: Ver-ve-al yaklaşımı ile herkesi memnun edecek çözümler bulunabilmesi için ilgili gruplar arasında bir uzlaşmaya varılabilmesi için bir ölçüde pazarlık yapma yoluna başvurulur.
- Geri çekme: İlgili grupların bu konudaki şikayetlerinden vazgeçmeleri veya sorunun ertelenerek ileri bir tarihe bırakılmasıdır.

- Yumuşatma: İlgili gruplardan birinin diğerinin isteği doğrultusunda fikrini değiştirmesinin sağlanmasıdır.
- Zorlama: Kazan-kaybet yaklaşımı doğrultusunda gruplardan birinin isteğinin diğer grubun isteği feda edilerek uygulanmasıdır.

Değişik sektörlerde çalışan 287 proje yöneticisi arasında yapılan bir araştırma ile gerekli veriler toplanmış ve incelenmiştir. Proje sırasında ortaya çıkan ve yukarıda belirtilen yedi noktadan kaynaklanan uyumsuzluklar Likert ölçeği ile derecelendirilmiştir (Önem derecesine göre en önemlisine 4, en az önemlisine 1 puan verilmektedir).

Sonuçlar, uyumsuzluk nedenlerinin projenin safhalarına göre farklı olduğunu göstermiştir. Projenin hazırlık safhasında termin, maliyet, öncelikler ve personel görevlendirilmesinde sorunlar çıkmakta ve proje yöneticisinin bu konularda özellikle teknik birimlerle ilişkilerinde sınırlı kontrol imkanları bulunmaktadır. Projenin hazırlık sonrası işe başlama safhasında ise teknik konular sorun olmaktadır. Karşılaşılan bir problemin çözümü için hangi yolun daha uygun olduğu tartışması yapılabilmektedir. Projenin yürütme safhasında ise terminlere yetişebilme gayreti bir problem yaratabilmektedir. Burada terminde sapmalar varsa gerekli değişikliklerin uygulamaya konması ve bölümler arası iletişimin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Projenin tamamlanma safhasında ise maliyet ve termin birlikte sorun yaratabilmektedir.

Modern proje yönetim tekniklerinin tabiatı gereği sorunların halledilmesi için proje yöneticileri en çok grup çalışması tekniklerini kullanmaktadırlar. Grup çalışmalarından bir sonuç alınamazsa, uzlaşma teknikleri devreye girmektedir. Problemi erteleme gibi bir çareye ise proje yöneticileri baş vurmamaktadırlar. Zorlama ve yumuşatma gibi çözümler ise, uzlaşma ile sonuç alınamazsa başvuru tedbirler olmaktadır.

2.3. Proje Şebekesinin Hazırlanması

Proje şebekesi hazırlanmasının ilk aşaması, proje iş akışının oluşturulmasıdır. Bunun için projeyi oluşturacak bütün işlemlerin (faaliyetlerin) sıralanması gerekir.

2.3.1. İşlemlerin Sıralanması

İşlemlerin sıralanmasında yapılacak ilk iş, öncelik ilişkilerinin belirlenmesidir. Paralel yürütülebilecek işlemler, işlemlerin bollukları, başlama-bitiş ilişkileri göz önüne alınarak işlemler sıralanır. Sıralama prosesinin yürütülmesinde kolaylık sağlamak amacı ile Tablo 2-1'de gösterildiği gibi bir işlem tanımı tablosu oluşturulabilir.

TABLO 2-1
İşlem Tanımı Tablosu

Proje adı:		Tarih:
İşlem tanımı:		İşlem no:
İşlem süresi:	Planlanan başlama tarihi:	Planlanan bitiş tarihi:
Önce gelen işlemler:		
Sonra gelen işlemler:		
Kaynak birimleri:	Birim maliyet:	Kaynak maliyeti:
İşgücü		
Malzeme		
Ekipman		
Toplam maliyet:		
İşlemden beklenen sonuçlar:		

2.3.2. Şebekenin Oluşturulması

İşlemler arasındaki öncelik ilişkileri belirlendikten sonra proje şebekesinin oluşturulmasına sıra gelir. WILLIS (1981) tarafından geliştirilen ve işlemlerin oklar üzerinde gösterildiği bir proje şebekesi oluşturma algoritmasına ait giriş bilgileri Tablo 2-2'de verilmiştir [17]:

TABLO 2-2
Giriş Bilgileri

Liste 1 İşlem	Liste 2 Ardıl işlem
A	B,D
B	-
C	D
D	-

WILLIS'in şebeke oluşturma algoritmasının kullandığı parametrelerin tanımlamaları ise aşağıdaki gibidir:

Liste 1: Bütün işlemlerin listesi

Liste 2: Ardıl işlemlerin listesi

Başlangıç işlemleri: Liste 1'de bulunan ancak liste 2'de bulunmayan işlemler kümesi

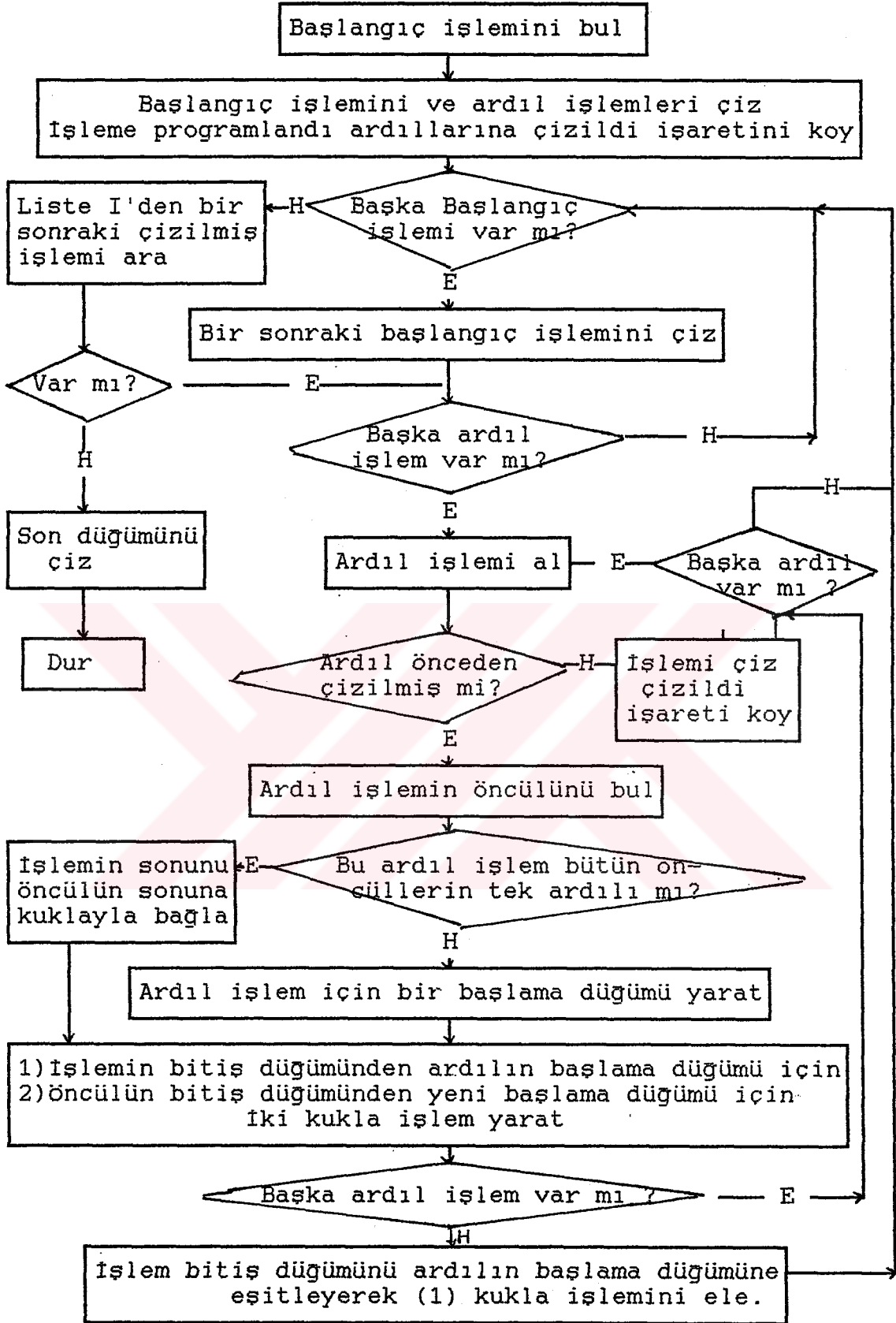
Bitiş işlemleri: Liste 1'de bulunan ve liste 2'de karşılığı boş olan işlemlerin kümesi

Çizilmiş işlemler: Şebekedeki başlama ve bitiş düğümleri atanmış olan işlemler

Programlanmış işlemler: Liste 1'de bulunan ve çizilmiş olan ve bütün ardıl işlemleri de çizilmiş olan ve ardıl işlemleri kendi bitiş düğümlüne bağlanmış olan işlemler kümesi

Öncül işlemler: Bitiş düğümü ile ardılların başlama düğümlerine bağlanmış olan programlanmış olan işlemler kümesi

Şebeke oluşturma algoritmasına ait akış şeması Şekil 2-10'da verilmiştir:



ŞEKİL 2-10
Şebeke Çizim Algoritması

2.4. Sonuç

Proje planlamasında amaç, projenin en kısa zamanda ve minimum maliyetle tamamlanması için gerekli ön çalışmaların yapılmasıdır. Proje planları aşağıdaki unsurlardan oluşur:

- Projenin detaylı tarifi
- Proje yapı planının oluşturulması
- Projenin organizasyon yapısının hazırlanması
- Kaynak-Maliyet-Zaman hesaplamaları
- Rapor verme noktaları oluşturulması

Projeyi oluşturan işlemlerle ilgili kaynak, maliyet ve zaman unsurlarına daha sonraki bölümlerde değinileceğinden bu bölümde ayrıca açıklanmamıştır.

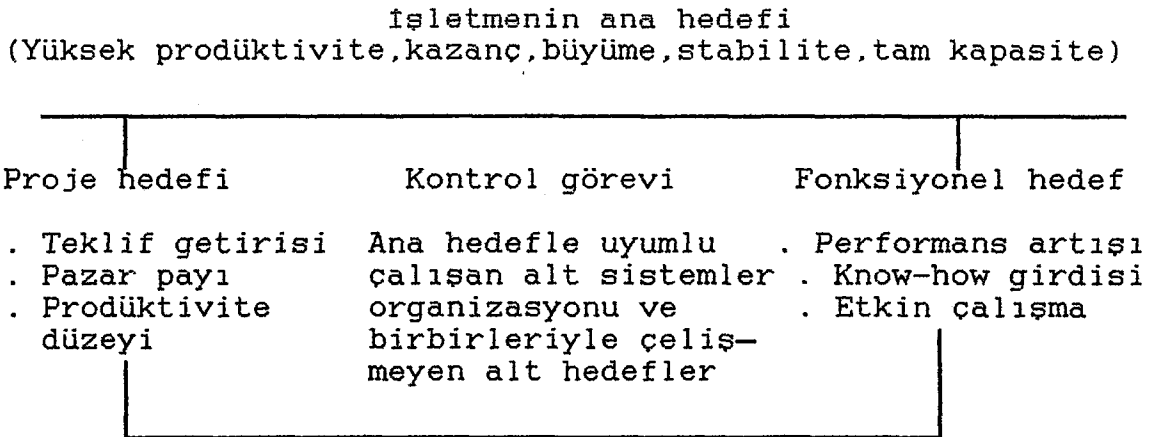
BÖLÜM 3. PROJE KONTROL SAFHASI

3.1. Giriş

Proje kontrol safhasını oluşturan kontrol faaliyetleri proje hedeflerinin yatay ve düşey koordinasyonunu amaçlar. Hedeflerarası koordinasyon kontrolü aşağıdaki şekilde gerçekleşir;

- Organizasyondaki birimlere ait alt hedefler ana hedef sisteminin izni dışında değişemez.
- Ana hedef planın gerektirdiği biçimde değiştirildiğinde alt hedefler de bu değişikliğe uymak zorundadır.
- Alt hedeflerin herhangi birinde yapılan bir değişiklik diğer alt hedefleri etkilememelidir.

Matris organizasyonuna sahip bir projede, işletme hedefleri ile proje hedefinin ve fonksiyonel hedeflerin koordinasyonu Şekil 3-1'deki gibidir [18]:



ŞEKİL 3-1
Proje Hedeflerinin Koordinasyonunun Kontrolü

3.2. Proje Kontrolünü Oluşturan Safhalar

Proje kontrolü aşağıdaki safhalardan oluşur:

- Planlama kontrolü

- . Proje yapı planının kontrolü (PSP/WBS)
(PSP= Project structure plan, WBS=Work Breakdown Structure)
- . İş paketi tanımlarının kontrolü
- . Yürütme faaliyetlerinin planlanması
- . Planlama statüsü kontrolü
- . Performans kontrolü
- . Rapor düzenleme

- Maliyet kontrolü

- . İşgücü maliyetleri kontrolü
- . Maliyet planlama
- . Personel maliyeti statü kontrolü
- . Rapor düzenleme

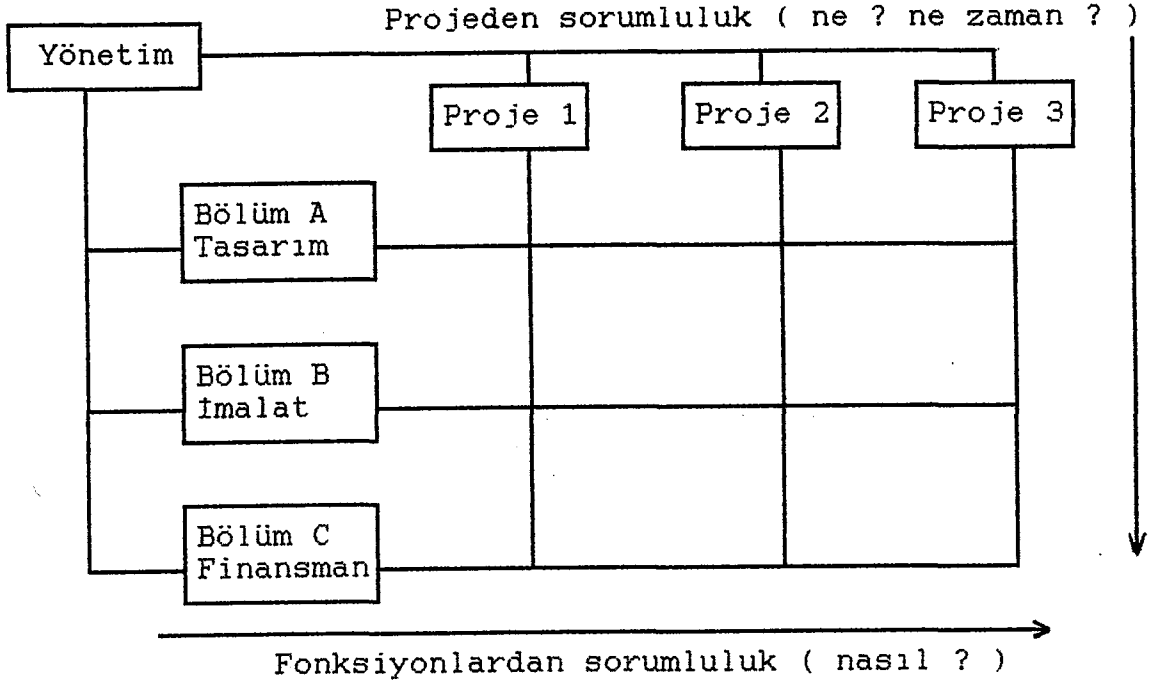
- Genel işletme kontrolü

- . Kontrat ile ilgili yazışmaların kontrolü
- . Performansın kontrolü
- . Fazla mesai, primler düzenlenmesi
- . Bilgi sisteminin kontrolü

- Dökümantasyon kontrolü

- . Dökümanların klasifikasyonu
- . Konfigürasyon değişiklikleri
- . Projenin gözden geçirilmesi

Proje kontrolünün organizasyonel yapı içinde düzenlenmesi ise Şekil 3-2'deki gibi bir proje organizasyon matrisi şeklinde gösterilebilir.

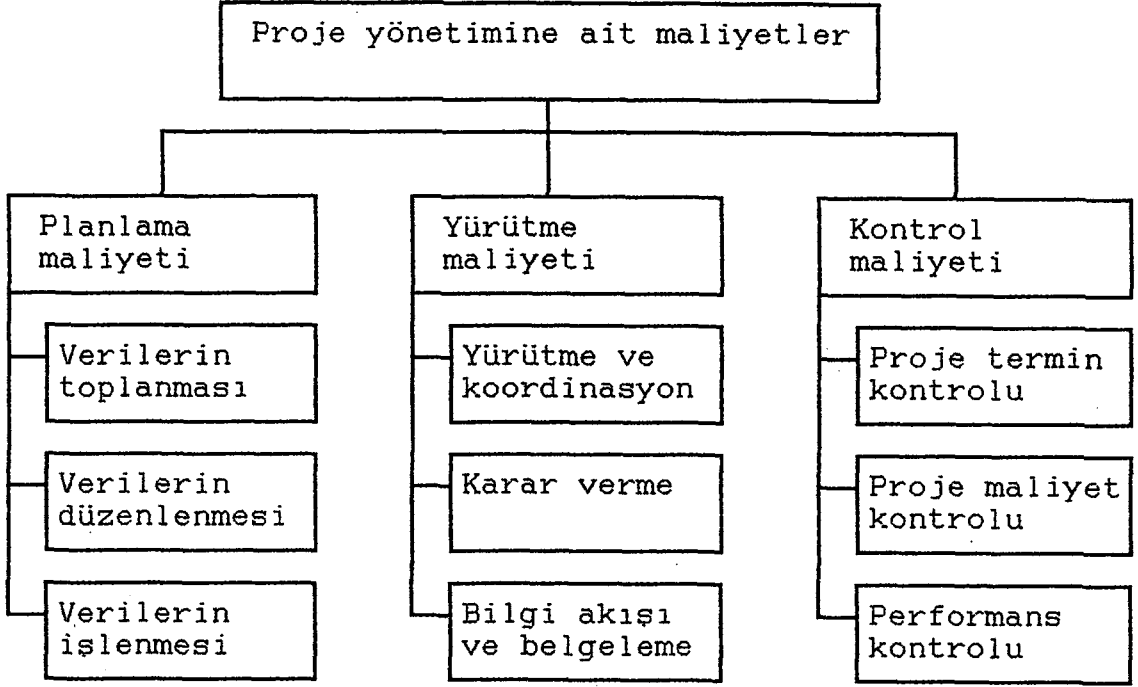


ŞEKİL 3-2
Proje Organizasyon Matrisi

Buradaki proje organizasyon yapısı tipine göre proje yöneticisi ya yönetim içinde yer alan bir kişi olabilir ya da doğrudan yönetime bağlı olan dışarıdan bir kişi konumunda olabilir. Proje yöneticisi, proje kontrolünün başarılı olarak yürütülebilmesini sağlamak için fonksiyonel hedefler ile proje hedefleri arasındaki uzlaşmayı sağlamak durumunda kalır. Fonksiyonel hedefler, faaliyetlerin teknik olarak nasıl gerçekleştirileceğini ve hangi kaynaklara gereksinim duyulduğunu gösterir ve fonksiyonlardan sorumlu olan bölüm yöneticilerinin yetkisi içinde bulunurlar. Proje hedefleri ise, projenin optimum maliyetle en kısa sürede tamamlanması için hangi faaliyetlerin hangi tarihlerde tamamlanması gerektiğini belirtirler ve bu proje yöneticisinin sorumluluğu içindedir. Proje yöneticisi, belli dönemlerde planlanan ve gerçekleşen durumların karşılaştırmasını yaparak, gerekli revizyonları yapmakla yükümlüdür.

3.3. Proje Yönetimi Maliyetlerinin kontrolü

Proje yönetimi ile ilgili maliyetler, projenin planlaması, gerçekleştirilmesi ve proje kontrolü ile ilgili maliyetler olarak üç temel başlık altında toplanabilir:



ŞEKİL 3-3
Proje Yönetimi Maliyet Kalemleri

3.3.1. Proje yönetimi planlama maliyetleri

Projenin planlanması esnasında iki önemli maliyet paketi oluşur. Bunlar, planların ve belgelerin hazırlanması için gerekli personel maliyetleri ve şebeke çizimleri için gerekli hesaplama maliyetleridir [11].

Personel maliyetleri aşağıdaki unsurlardan oluşur;

- Proje yapı planlarının hazırlanması
- Proje yapı planına uygun olarak zaman ve maliyet planlarının hazırlanması ve optimizasyonu
(Birim aktivite başına maliyet hesaplanır.)
- Proje yapı planında belirtilen spesifikasyon değişiklikleri (Proje maliyetinin % 0.1 ~ 0.5'i kadar)
- Zaman ve maliyet planlarının çizimlerinin yapılması
(Birim aktivite başına maliyet hesaplanır)
- Planlar konusunda proje yöneticisi ile teknik grup yöneticileri arasında görüş birliği sağlanması  alı maları (Proje maliyetinin % 0.2 ~ 0.5'i kadar)

Hesaplama maliyetleri de genellikle birim aktivite bazında gerçekleştirilir ve bilgisayarda ağ diyagramının hazırlanması, işletilmesi ve çizimlerinin yapılmasından oluşur. Buradaki maliyet hesaplanmasında kullanılan temel varsayım, proje ekibinin deneyimli ve istenilen niteliklere sahip olan elemanlardan oluşmasıdır. Kuruluş, proje planlamasında deneyime sahip değil ise ve ilk defa bir proje planlayacak ise proje yönetiminin planlama maliyet eğrisi daha yukarı bir seviyede oluşur.

3.3.2. Proje yönetimi yürütme maliyetleri

Proje yönetimi yürütme maliyetlerini oluşturan başlıca unsurlar elemanların hazırlık safhası ve eğitimi, toplantılar ve konferanslar, proje çalışmalarının koordinasyonu, bilgilerin derlenmesi, raporların hazırlanması ve teklif içeriği üzerindeki çalışmalar gibi işlerle ilgili maliyetlerdir. Burada maliyet artış yüzdesini etkileyen en önemli faktör, proje büyüklüğüdür. Projenin büyüklüğü arttıkça, eğitim giderleri, koordinasyon ve bilgi toplama maliyetleri gibi kalemlerin genel toplam içindeki yüzdesi rölatif olarak düşer.

3.3.3. Proje yönetimi kontrol maliyetleri

Projenin Termin - Maliyet - Performans kontrolleri proje kontrol maliyetlerini oluşturur. Yapılan periyodik kontroller ile her bir kalemin planlanan durumdan sapması hesaplanır ve bu sapmaya ilişkin maliyetler proje içine dağıtılır.

Projenin kapsamı büyüdükçe, proje yönetimi kontrol maliyetlerinin toplam proje maliyetine oranında yüzdesel bir düşüş olur. Bu azalmanın nedeni, birim aktivite başına düşen hesaplama ve kontrol maliyetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca full-time çalışma ve işe alıştırma süresi gibi faktörler de bu düşüşü etkileyen nedenlerdir.

3.3.4. Toplam Proje Yönetimi Maliyetleri

Planlama, yürütme ve kontrol maliyetlerinin toplamaları proje yönetimi maliyetlerini oluşturur ve proje büyüklüğü arttıkça, proje yönetimi maliyetlerinin toplam proje maliyeti içindeki yüzdesel oranı azalır. Modern proje yönetimi teknikleri maliyetlerinin bir kısmı zaten geleneksel proje yürütme çalışmalarında da ortaya çıkmaktadır. Örneğin, ihale hazırlama, rapor hazırlama ve proje yürütme maliyetleri, bu yöntemler uygulanmasa da ortaya çıkacak maliyet kalemlerini oluşturacaktır. Ancak proje yönetimi tekniklerinin kullanımı özellikle projenin planlanması safhasında detaylı bir çalışma gerektirdiğinden daha fazla masraf yapılmasına yol açmaktadır. Kontrol ve yürütme safhalarına ait maliyetler, geleneksel proje yürütülmesi maliyetlerine hemen hemen yakın olmaktadır.

3.4. Proje Rantabilitesi

Proje yönetimi ile ilgili harcamalar kantitatif olarak belirlenebilmesine rağmen, bunların sağladığı faydalar daha çok kalitatif olarak ölçülebilen türdendir. Bu nedenle, planlanan ile gerçekleşen proje maliyetleri arasında yapılabilecek bir karşılaştırma, proje rantabilitesi hakkında daha doğru bir fikir verir. Rand Corporation, 22 savunma projesi üzerine gerçekleştirdiği bir araştırmada geleneksel proje teknikleri ile gerçekleştirilen bu projelerde termin sapmalarının ortalama değer olarak % 50 ve en yüksek değer olarak % 150 olduğunu göstermiştir [11]. Maliyet artışlarında ise bu sapma değerleri ortalama olarak % 140, en yüksek değer olarak ise % 600 olarak bulunmuştur. Harvard Business School'un yaptığı başka bir araştırmada ise, 12 askeri projenin ortalama % 36 termin gecikmesi ve ortalama % 220 maliyet artışı ile gerçekleştirildiği bulunmuştur [11]. Kruger'in yaptığı bir araştırmada, firma yöneticileri ile bir anket yapılmış ve modern proje yönetimi tekniklerinin uygulandığı projelerde geleneksel proje yönetimlerine göre proje maliyetlerinin en az % 20 daha

düşük olduğu ortaya çıkarılmıştır. Genelde, modern proje yönetimi tekniklerinin kullanıldığı projelerde planlanan-gerçekleşen arasındaki sapma farkı % 20'yi geçmemektedir. Burada, planlama safhasının oldukça detaylandırılmış olmasının rolü büyüktür.

3.5. Sonuç

Sonuç olarak toplam proje maliyetinin % 0.5 ile % 1'i arasında bir maliyeti bulunan modern PM tekniklerinin en yüksek kullanım maliyetleri bile geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldıklarında, toplam proje maliyetlerinde % 20'lere varan bir indirim sağlamaktadır. Ancak modern proje yönetim tekniklerinin yararlı sonuç vermesi, planlama aşamasında hazırlanan belge ve planların aynı kararlılıkla yürütme ve kontrol safhalarında da kullanılabilmesine bağlıdır. Ancak başarılı bir planlama-yürütme-kontrol koordinasyonu ile termin ve maliyetlerde pozitif bir etki yaratılabilir.

BÖLÜM 4. PROJE PROGRAMLAMASI TEKNİKLERİ

4.1. Proje Programlaması Tanımı

Proje programlaması, bir projedeki bütün işlemlerin zaman, kaynak, maliyet, öncelik ilişkileri ve bütün diğer etkenler gözetilerek sıralanmasının sağlanmasını içeren çalışmalar bütünüdür.

4.2. Programlama Tekniklerinin Sınıflandırılması

Programlama teknikleri dört temel grup altında toplanabilir:

- Kritik Yol Analizi
- Zaman-Maliyet Dengeleme
- Kaynak Dengeleme
- Kaynak Kısıtı Altında Proje Programlama

4.2.1. Kritik Yol Analizi

Kritik yol analizini içeren modeller, diğer tekniklere göre daha basit olup kaynak kısıtlarını dikkate almadan en kısa proje bitiş süresini veren programın oluşturulmasını hedefler. İşlemlerin zamana bağlı karakteristikleri ile ilgili önemli bilgiler bu analiz sırasında ortaya çıkarılır ve diğer programlama teknikleri için de bir başlama noktası oluşturur. Oluşturulan şebeke ile projenin genel bir akış modeli kurulur ve bu grafik model üzerinde projedeki işlem, bağıntı ve olaylar açıkça belirlenir. Geliştirilmiş olan temel üç teknik, işlemlerin oklarla ve olayların düğümlerle gösterildiği CPM tekniği, olayların düğümlerle ve bağıntıların oklarla gösterildiği PERT ve işlemlerin düğümlerle ve bağıntıların oklarla gösterildiği PDM teknikleridir.

CPM (Critical Path Method)

CPM tekniği, 1956 yılında Amerika'da Du Pont şirketi tarafından sanayideki planlama problemlerine bir cevap getirmek amacıyla geliştirilmiş deterministik bir yöntemdir. Bu teknik işlem sürelerinin önceden bilindiğini varsayarak ileriye doğru ve geriye doğru hesap teknikleri yardımı ile kritik yol üzerinde yer alan işlemlerin belirlenmesinde ve kritik olmayan işlemlere ait bollukların hesaplanarak zaman eksenini üzerinde muhtemel kaydırmalar yapılmasında kolaylık sağlar [19].

PERT (Program Evaluation and Review Technique)

Bu teknik, A.B.D Deniz kuvvetleri tarafından 1958 yılında Polaris füze programı için geliştirilmiştir. CPM tekniğinden farklı olarak, PERT tekniğinde işlem süreleri probabilistik olarak tanımlanmıştır. CPM tekniği işlem analizine yönelik iken PERT olay analizine yönelik olarak geliştirilmiştir. PERT tekniğinin proje yaklaşımı, işlem sürelerinin bir olasılık dağılımına göre ortaya çıkacağını varsayar ve faaliyet süreleri iyimser, kötümser ve en olası süre olarak tahmin edilir ve beta dağılımından faydalanılır. PERT tekniğine bağlı olarak PEP (ABD Hava Kuvvetleri için geliştirilmiştir), LESS (IBM), IMPACT, NASA PERT, PLANET, SKED, SPERT, PERT II, PERT III VE PERT IV gibi çok çeşitli teknikler uygulanmaktadır [20].

PERT'deki en iyimser, en kötümser ve en muhtemel zaman tahminlerinin faaliyetlerin zaman olasılıklarını tam olarak yansıtmadığını ileri süren eleştirilere karşılık Bayesian istatistikini kullanan BPERT geliştirilmiştir. Faaliyet sürelerindeki belirsizliklerden gelen değişimlerin, proje tamamlanma zamanı üzerindeki etkilerinin doğru tahmin edilmesi için Bayesian yöntemi kullanılmıştır. Hatalı tahmin olasılığını en aza indirmek amacıyla yönelik olarak Beta dağılımına uyan faaliyet sürelerinde Bayesian nokta tahmini hesaplamaları yapılır.

PERT tekniğinin faaliyet sürelerinden gelen belirsizlikleri yüzünden proje tamamlanma süresi tahminindeki hata olasılığına diğer bir alternatif de proje analizine yönelik şebeke bazlı simülasyon tekniği olan GERT tekniğidir [21]. Bu teknik sayesinde sadece faaliyet sürelerinden gelen belirsizlikler değil aynı zamanda şebekenin bütününden gelen belirsizlikler de incelenir. Bu teknikteki düğümlerin probabilistik bir yapıda olması, olayları modelleme esnekliği sağlar. Faaliyetlerin bizzat kendileri de probabilistik bir yapıda olabilir. GERT'de sekiz değişik tip düğüm kullanılır ve düğümler dört değişik girdi tarafından kontrol edilir. Çıktılar ise probabilistik ve deterministik olarak iki tip olabilir. Fizibilite çalışmaları, araştırma programları ve test programları başlıca uygulama alanlarıdır.

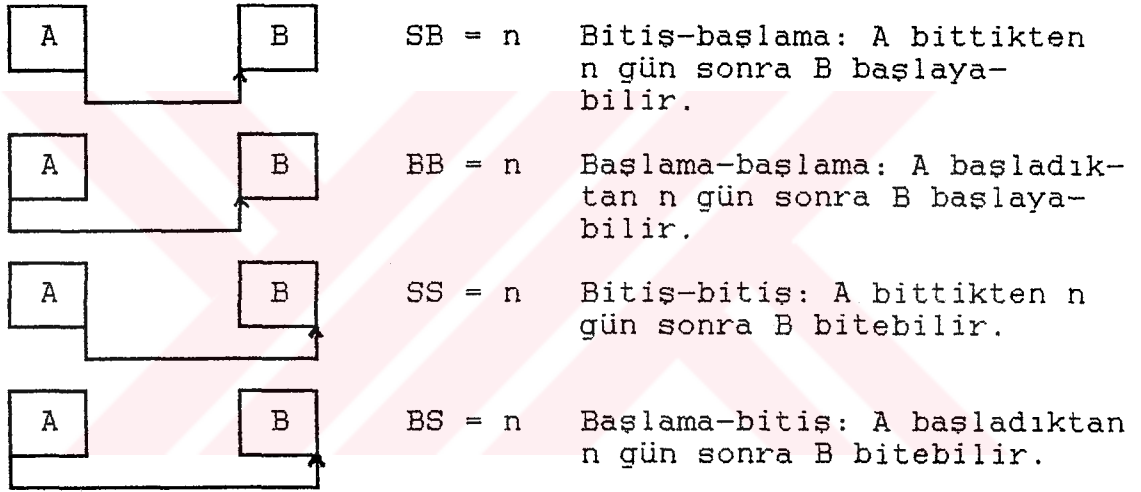
PERT şebekesindeki işlem sürelerinin uygun bir frekans dağılımından rassal olarak seçimini içeren diğer bir teknik ise Monte-Carlo simülasyon tekniğidir. Seçilen işlem sürelerine bağlı olarak proje süresi ve kritik yol belirlenir. İstenen doğruluk derecesine bağlı olarak bu çevrim işlemi bir çok defa tekrar edilir. Simülasyon sonucu olarak, proje süresi ortalama değeri, varyansı, her işlemin kritik yol üzerinde bulunma olasılığı ve projenin istenen bitiş zamanına göre gecikme olasılığı elde edilir. MONGALO ve LEE (1990) şebeke büyüklüğü, öncelik ilişkileri ve işlemlerin kritik yol üzerinde bulunma olasılığı gibi faktörleri sayısal değerlerle ifade ederek Monte-Carlo ile PERT tekniklerini karşılaştırarak hangi şartlar altında hangi tekniğin daha etkin sonuç verdiğini araştırmışlardır [22].

PDM (Precedence Diagramming Method)

PDM tekniğinde işlemler düğümlerin üzerinde, öncelik ilişkileri de oklar üzerinde gösterilmektedir. Bu teknik, CPM ve PERT'e göre öncelik ilişkileri açısından daha gelişmiş olup, başlama-bitiş, başlama-başlama, bitiş-bitiş gibi ilişkileri de bünyesinde bulundurur. Bu öncelik ilişkileri, bir işlemin devam ettiği anda diğer işlemlerin başlamasını

sağlayacak türdendir. Örneğin. 20 gün süresi olan bir A işlemine başlama-başlama ilişkisi ile bağlı bir B işlemi için gerekli tanımlamalar yapılarak, A işlemi başladıktan 3 gün sonra veya A işlemi başlamadan 5 gün önce B işleminin başlaması sağlanabilir. Öncelik ilişkilerinin çeşitliliği proje şebekesinin esnekliğini arttırır ancak projeyi daha karmaşık bir yapıya sokar.

PDM tekniğine özgü olan işlemler arasındaki bitiş-başlama, başlama-başlama, bitiş-bitiş ve başlama-bitiş gibi öncelik ilişkilerinin yapısı ve notasyonu Şekil 4-1'de verilmiştir:



ŞEKİL 4-1
PDM'e Özgü Öncelik İlişkileri

4.2.2. Zaman-Maliyet Dengeleme

Zaman-Maliyet dengeleme yöntemlerinin kullandığı başlıca varsayımlar aşağıda verilmiştir:

- Proje maliyetleri dolaysız ve dolaylı maliyetler olarak ikiye ayrılır. Dolaysız maliyetler, malzeme ve işçilik maliyetleridir ve işlem süresine bağımlıdırlar. Dolaylı maliyetler ise idari ve teknik yönetim, sigorta, kira gibi kalemleri kapsar ve proje süresine bağımlıdırlar.

- Projedeki işlemlerin süreleri daha fazla kaynak miktarı kullanılarak kısaltılabilir.
- İşlem sürelerinin kısaltılması ile zamandan tasarruf sağlanmakla birlikte fazla mesai ve ekstra ödemeler şeklinde dolaysız maliyetleri arttırır.
- Proje süresince dolaylı maliyetler zamana bağlı olarak doğrusal olarak artar.

Zaman-Maliyet dengeleme analizi, zamandan sağlanacak tasarrufların, maliyetleri ne ölçüde arttıracaklarını inceler. Projedeki dolaylı maliyetler kesinlikle bilinebildiğinden, Zaman-Maliyet analizi, projedeki dolaysız maliyetler ile proje süresi arasındaki ilişkiyi esas alır. Bu yöntem şu aşamalardan oluşur:

1. Şebekenin normal süredeki kritik yolu bulunur. Buna bağlı olarak proje süresi ve dolaysız maliyetler belirlenir.
2. Kritik yol üzerinde bulunan işlemlere ait zaman-maliyet eğimleri incelenir ve en az eğime sahip olan işlemin süresi sıkıştırılarak kısaltılır.
3. Yeni kritik yol bulunur. Yeni süre ve buna bağlı olarak dolaysız maliyetler belirlenir.
4. Kritik yol üzerinde bulunan bütün işlemlerin süreleri mümkün olduğunca kısaltılana kadar 2 ve 3 no'lu aşamalar tekrarlanır.

Projedeki işlemlere ait dolaysız maliyetlerin, işlem sürelerine bağlı olarak ters doğrusal yapıda olduğu varsayılırsa, zaman-maliyet dengeleme modeli, ÇEZİK tarafından belirtildiği gibi aşağıdaki şekilde kurulabilir [23]:

Parametreler:

- A : proje şebekesi
ij : i başlama ve j bitiş düğümünden oluşan işlem.
a_{ij}: normal işlem süresi
b_{ij}: en kısa işlem süresi

t_{ij} : işlem süresi. ($b_{ij} \leq t_{ij} \leq a_{ij}$)

d_{ij} : ters doğrusal süre-maliyet ilişkisinin eğimi

T : kritik yol analizi ile bulunan proje süresi

w_k : düğüm gerçekleşme zamanı ($k = 1, 2, \dots, n$)

w_1 : projedeki ilk işlemin başlama düğümü ($w_1 = 0$)

w_n : projedeki son işlemin bitiş düğümü.

Amaç denklemi: (Dolaysız maliyetlerin minimizasyonu)

$$Z \min = \sum_{ij \in A} d_{ij} \cdot (a_{ij} - t_{ij}) \quad (4.1)$$

Kısıtlar:

$$w_n - w_1 \leq T \quad (4.2)$$

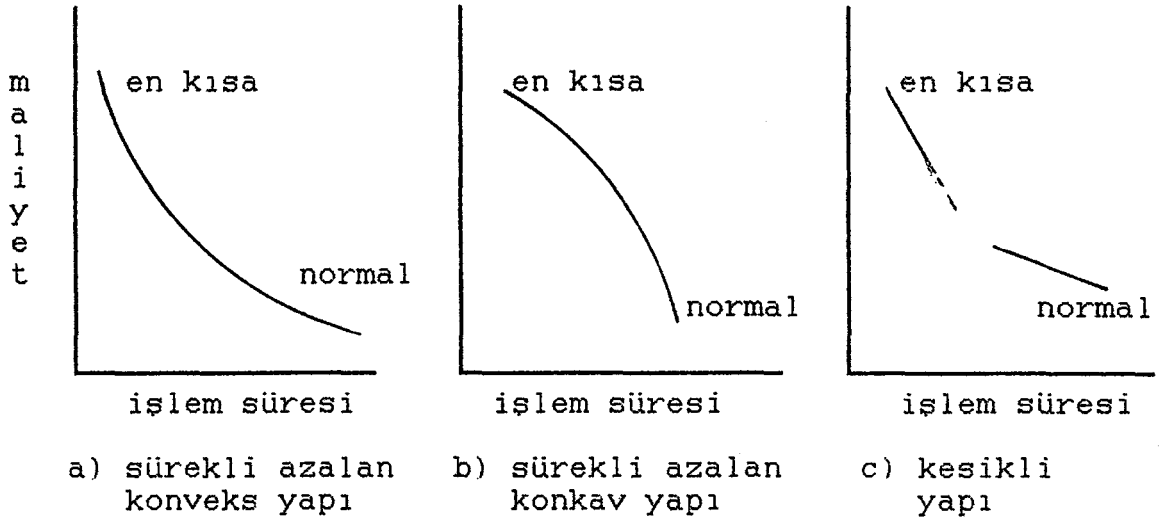
$$w_i - w_j + t_{ij} \leq 0 \quad (j > i) \quad (4.3)$$

$$b_{ij} \leq t_{ij} \leq a_{ij} \quad (4.4)$$

Birinci kısıt, proje süresi için bir üst sınır (tavan) koyulduğunu gösterir. En son bitiş düğümü ile ilk başlama düğümü arasındaki süre kritik yol analizi ile bulunan proje süresini aşmamalıdır. İkinci kısıt, bir işlemin başlama ve bitiş olaylarını gösteren w_i ve w_j düğümlerinin gerçekleşme zamanları arasındaki süre farkının, en az bu iki düğüm arasındaki işlem süresi kadar olması gerektiğini gösterir. Üçüncü kısıt ise, her bir işlem süresinin normal süre ile sıkıştırılmış süre arasında yapılabileceğini gösterir.

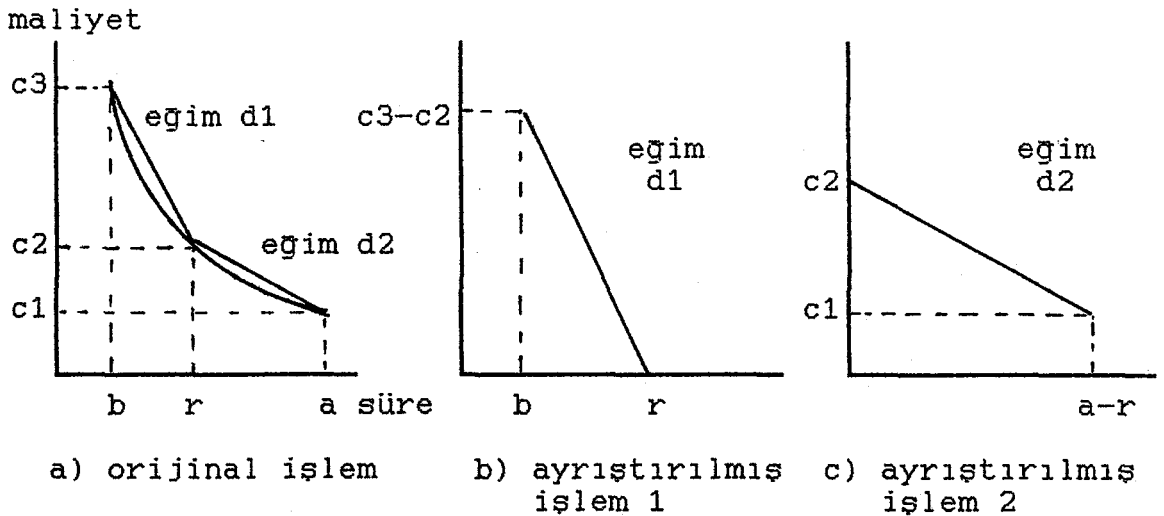
Ağ şebekeleri arasında önemli bir yeri olan bu model, kritik yol analizi yaklaşımının bir devamı niteliğindedir. Problemin çözümü için doğrusal programlama modelini esas alan algoritmalar kullanılabilir.

Ancak, süre-maliyet ilişkisi her zaman doğrusal olmayabilir. Doğrusal olmayan süre-maliyet ilişkilerine ait örnekler Şekil 4-2'de verilmiştir [19]:



ŞEKİL 4-2
Doğrusal olmayan Süre-Maliyet ilişkileri

Süre-Maliyet eğrisinin sürekli azalan konveks yapıda olduğu durumlarda, bu eğrinin küçük parçalarına bölünerek doğrusallaştırılması yoluna gidilir. Bu yöntem, orijinal işlemin alt işlemler kümesine ayrıştırılmasını ve her alt işlemin eğiminin hesaplanmasını gerektirir. Şekil 4-3'de konveks bir eğrinin iki parçaya bölünerek, her bir eğrinin doğrusal hale getirilmesi gösterilmiştir:



ŞEKİL 4-3
Konveks Eğrinin Doğrusallaştırılması

Orijinal işlem, eğimleri d_1 ve d_2 olan iki ayrı işleme ayrıştırılır. Birinci işlemin normal ve en kısa süreleri sırası ile a ve r , ikinci işleminkiler ise $a-r$ ve 0 'dır. $d_2 \leq d_1$ olduğundan önce ikinci işlem sıkıştırılır, daha sonra ilk işlem sıkıştırılır. Yukarıda verilen doğrusal modelde t_{1j} değişkeni yerine t_{11j} ve t_{21j} değerleri, d_{1j} eğim değeri yerine ise d_{11j} ve d_{21j} değerleri konularak problemin formülasyonu yapılabilir. Problemin en genel ifadesi olarak eğer eğri k adet parçaya ayrıştırılırsa, yukarıdaki formülasyon k adet işlem için aynen uygulanır.

$$Z \min = \sum_{ij \in A} \dots (d_{1j} \cdot t_{11j}) + d_{2j} \cdot t_{21j} \dots \quad (4.5)$$

Kısıtlar:

$$w_i - w_j + t_{11j} + t_{21j} \leq 0 \quad (j \geq i) \quad (4.6)$$

$$b \leq t_{11j} \leq r \quad (4.7)$$

$$0 \leq t_{21j} \leq a-r \quad (4.8)$$

.

.

.

Süre-Maliyet ilişkisi sürekli azalan konkav bir yapıda ise, orijinal işlem iki ayrı işleme ayrıştırıldığında, ilk işlemin eğimi (d_1) ikinci işlemin eğiminden (d_2) daha küçük olacaktır. O zaman, ilk olarak ilk işlemin sıkıştırılması gerekeceğinden ve bu da fiziksel olarak bir anlam ifade etmeyeceğinden, sıranın korunması için modele ilave edilen bir 0-1 tamsayılı değişken yardımı ile problemin formülasyonu yapılır.

Egrinin kesikli bir yapıda olduğu durumlarda da, yine her bir noktadaki işlem süreleri ve buna bağlı maliyetler, bir tamsayılı değişkenin modele ilave edilmesi ile problemin formülasyonuna dahil edilir.

DEPORTER ve ELLIS, (1990) Zaman ve Maliyet dengeleme teknikleri konusunda bir araştırmayı doğrusal programlama, hedef programlama ve bulanık kümeler yardımı ile doğrusal programlama modellerini kullanarak yapmıştır [24]. Bu üç modelin etkinliğini 10 faaliyetten oluşan basit bir proje şebekesi üzerinde test ederek karşılaştırması yapılmıştır. Bu üç model ile ilgili formülasyon aşağıda verilmiştir.

4.2.2.1. Doğrusal Programlama Modeli

Modelin Değişkenleri:

a_{ij} : Normal işlem süresi
 m_{ij} : İşlemin maksimum sıkıştırılabileceği zaman birimi
 b_{ij} : Sıkıştırılmış işlem süresi ($b_{ij} = a_{ij} - m_{ij}$)
 C_{ij} : Standart işlem maliyeti
 c_{ij} : Birim sıkıştırma maliyeti
 T_e : Proje tamamlanma zamanı
 T_b : Proje başlama zamanı
 w_i : i olay zamanı
 y_{ij} : i - j işleminin sıkıştırıldığı zaman birimi

Normal işlem süresi, işlemin maksimum sıkıştırılabileceği zaman birimi, standart işlem maliyeti, birim sıkıştırma maliyeti, proje başlama ve tamamlanma zamanları modelin girdilerini oluşturmaktadır. Her olayın gerçekleşme zamanı ve i - j işleminin sıkıştırılma zamanı y_{ij} hesaplamaları ise model tarafından yapılmaktadır.

Modelin Kısıtları:

- 1) Her işlemin sıkıştırılmış süresi o işlemin maksimum sıkıştırılabileceği zaman biriminden fazla olamaz.

$$y_{ij} \leq m_{ij} \quad (y_{ij} \geq 0) \quad (4.9)$$

- 2) İşlemin başlama ve bitiş olayları arasındaki süre, en az normal işlem süresi ile işlemin sıkıştırılmış süresinin

farkı kadar olmalıdır.

$$(w_j - w_i) > a_{ij} - y_{ij} \quad (w_i \geq 0) \quad (4.10)$$

Modelin amaç denklemi iki şekilde olabilir:

1) Proje maliyetinin minimizasyonu:

$$Z_{min} = \sum (c_{ij} * y_{ij}) \quad (4.11)$$

2) Proje süresinin minimizasyonu:

$$Z_{min} = w_n - w_1 \quad (n: \text{son olay}). \quad (4.12)$$
$$(w_1 = T_b)$$

4.2.2.2. Hedef Programlama Modeli

Hedef programlama modeli, projenin birbiri ile çelişen birden çok hedefe göre programlanmasını hedef alır. Burada birbirleriyle çelişebilen ana iki hedef, proje süresinin minimizasyonu ve proje maliyetinin minimizasyonudur. Her iki hedefin öncelik düzeyleri belirlenir ve amaç denklemi arzu edilen hedeflerden sapmaları minimum düzeyde tutacak şekilde oluşturulur. Hedeflerden sapmalar, pozitif ya da negatif şekillerde olabilir ve bu sapma değerleri modelin kısıtları içine ayrıca dahil edilir. Yukarıdaki doğrusal programlama modelinin hedef programlama modeli haline dönüştürülmüş şekli aşağıdaki gibidir:

Amaç Denklemi:

$$Z_{min} = \sum (P_k * (h_- + h_+)) \quad (4.13)$$

Modelin Kısıtları:

$$y_{ij} + h^+ = m_{ij} \quad (4.14)$$

$$y_{ij} + h^- = 0 \quad (4.15)$$

$$(w_j - w_i) + y_{ij} - h^+ = a_{ij} \quad (4.16)$$

$$\sum (c_{1j} * y_{1j}) + h^- - h^+ = 0 \quad (4.17)$$

$$(w_n - w_1) + h^- - h^+ = 0 \quad (4.18)$$

$$w_1 + h^- - h^+ = 0 \quad (4.19)$$

Parametreler:

P_k : k öncelik düzeyi

h^- : Negatif sapma değişkeni

h^+ : Pozitif sapma değişkeni

4.2.2.3. Bulanık Kümeler Yardımı ile Doğrusal Programlama Modeli

Maliyet ve sürenin minimizasyonu olarak belirlenen iki hedefin entegrasyonunun sağlanması amacıyla bulanık kümeler yardımı ile oluşturulan iki yeni kısıt modele ilave edilir. Bu kısıtların oluşturulması amacı ile, doğrusal programlama modeli her hedef için ayrı ayrı çözülür. Sağlanan çözümler ile, her bir ayrı hedef (Z_k) için arzu edilen başarı düzeyi (U_k), kabul edilebilen minimum başarı düzeyi (L_k) ve müsaa- de edilebilen sapma toleransı (h_k) belirlenir.

Problemin genel formülasyonu aşağıdaki gibidir:

Amaç Denklemi:

$$Z_{min} = \tau \quad (4.20)$$

Modelin Kısıtları:

$$\tau \geq (Z_1 - U_k) / h_k \quad (4.21)$$

$$y_{1j} \leq a_{1j} - b_{1j} \quad (4.22)$$

$$y_{1j} \geq 0 \quad (4.23)$$

$$w_j - w_1 + y_{1j} > a_{1j} \quad (4.24)$$

Bu model ile elde edilen sonuçlar, hangi hedefe önce- lik verileceği konusunda belirsizliklerin sözkonusu olduğu durumlarda yararlı olmaktadır.

Zaman-Maliyet teknikleri konusunda kaleme alınmış diğer eserlerin bazıları şu şekildedir.

HOCKING ve LAMBERSON (1970), maliyet denkleminin konveks bir yapıda olduğu durumu ele almış ve projenin sıkıştırılabileceği optimum süreyi veren bir algoritma geliştirmişlerdir [25]. Burada problem, konveks zaman-maliyet eğrisine çok sayıda tanjant çizilerek doğrusal hale dönüştürülmüştür. Daha sonra doğrusal denklemin dualitesi ele alınmış ve problem simpleks yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

GOYAL (1975), projenin belirtilen süre içinde tamamlanması amacına yönelik olarak işlem maliyetlerinin minimizasyonunu hedeflemiştir [26]. Bu amaçla, etkin maliyet eğimi olarak adlandırdığı bir parametre kullanmıştır. Bu parametre, daha önce sıkıştırılmış olan işlemlerin maliyet eğimleri ile sıkıştırılacak işlemlerin maliyet eğimleri arasındaki bir ilişkiyi tanımlamaktadır. Etkin maliyet eğimi kullanılarak, bir işlemin sıkıştırılmasına karar verilirken, daha önce sıkıştırılmış olan işlemler, eğer gerekiyorsa tekrar normal sürelerine getirilmektedirler.

ROBINSON (1975), Zaman-Maliyet dengeleme problemine, proje süresinin minimizasyonunu hedefleyen bir dinamik programlama modeli ile çözüm aramıştır [27]. Azalan bir yapıda zaman-maliyet denklemine sahip olan işlemler göz önüne alınarak, optimum bir program elde edilmesine çalışılmıştır. Varsayım olarak, her bir işlemin süresinin diğer işlem sürelerinin sıkıştırılmaları durumundan etkilenmeyeceği kabul edilmiştir. Zaman-Maliyet fonksiyonunun süreksiz veya kesikli olduğu durumlarda, bu fonksiyonlar doğrusal veya konveks bir hale dönüştürülmektedir. Doğrusal programlamanın her bir kademesinde, maksimum değere sahip olan maliyet fonksiyonunun minimizasyonu hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, Zaman-Maliyet dengelemesi teknikleri,

kaynak kısıtını ve kapasite üst sınırlarını dikkate almadan yalnızca kaynak arttırım yoluyla sürenin azaltılabileceğini varsayan tekniklerden oluşmaktadırlar. Ancak, projenin genel maliyet yapısı hakkında bir ön bilgi sağladıklarından faydalı bir kullanım alanına sahiptirler.

4.2.3. Kaynak Dengeleme

Kaynak dengeleme teknikleri, kapasite yüklenmesindeki değişimlerinin minimizasyonunu ve bu değişimler ile ortaya çıkan maliyetlerin optimizasyonunu hedefler. Bir projenin şebekesini oluşturan işlemlere ait kapasite yüklenmeleri, kaynak-yük diyagramları vasıtası ile gösterilir. Kaynak-yük diyagramlarındaki tepe noktalarının aşağıya çekilecek şekilde düzgün kaynak profillerinin elde edilmesi, proje süresi boyunca yaklaşık olarak sabit olduğu varsayılan bir kapasite kullanımının ortaya çıkmasını sağlar. Ancak işlem sürelerindeki farklılıklar ve işlemler arasındaki öncelik ilişkilerinin karmaşıklık derecesi kapasite yüklenmelerinde seviye farklılıkları oluşmasına yol açar.

Bir proje şebekesinin programlanması aşamasında, kaynak dengeleme ile ilgili unsurların amaç denklemine dahil edilebilmesi için kullanılan bazı ölçütler CARRUTHERS ve BATTERSBY tarafından aşağıda verilmiştir [28]:

- Proje kaynak gereksinim profilinin kullanılabilir mevcut kaynak profilinden sapmalarının karelerinin toplamının minimizasyonu
- Proje kaynak gereksinim profilinin kullanılabilir mevcut kaynak profilinden sapmalarının mutlak değerlerinin toplamının minimizasyonu
- Birbirini takip eden iki zaman periyodu arasında kaynaklardaki maksimum artışın minimizasyonu
- Birbirini takip eden iki zaman periyodu arasında kaynaklardaki maksimum azalışın minimizasyonu
- En fazla kaynak gereksinimi duyulan zaman periyodundaki kaynak tepe yüksekliğinin minimizasyonu

Kaynak dengeleme problemini ele alan tekniklerin büyük çoğunluğu, kesin sonuç elde edilen optimizasyon teknikleri olmaktan ziyade, proje programında bir ölçüde iyileştirme sağlayan ve yaklaşık bir çözüme varmayı hedefleyen sezgisel (heuristics) ya da sayılama (enumeration) teknikleridir. Kaynak dengeleme konusunda yapılan çalışmalarla ilgili bir literatür araştırmasına ait özet sonuçları BECKER tarafından Tablo 4-1'de verilmiştir [29].

TABLO 4-1
Kaynak Dengeleme Problemine Çözüm Yaklaşımları

Araştırma	Amaç denklemi	Çözüm Algoritması
Burgesj Killibrew	Sapmaların karelerinin toplamının minimizasyonu	Sezgisel, EB kriteri, sabit işlem süresi
Koslowski	Sapmaların mutlak değerlerinin minimizasyonu	Sezgisel, EB ve TB, değişken işlem süresi
Fehler	Proje süresinin minimizasyonu	Aynı kaynağa talebi olan işlemlere ait varyant karşılaştırma
Brankamp	Maksimum sapma değerinin minimizasyonu	Sezgisel, TB kriteri
Langer	Kaynak kullanım oranının maksimizasyonu	Sezgisel, çok proje modeli
Kondratjev	Maksimum sapma değerinin minimizasyonu	Sezgisel, Kesikli kapasite dağılımı
Kaffka	Proje süresinin minimizasyonu	Sezgisel, EB ve en uzun süre kriteri
Muller-Merbach	Proje süresinin minimizasyonu	Sınırlı sayılama, tek kaynak tipi
Schwinn	Kapasite kısıtı altında süre minimizasyonu	Sezgisel, Monte Carlo simülasyonu
Seeling	Kapasite kısıtı altında süre minimizasyonu	Kesin çözüm tekniği değişken işlem süresi

4.2.4. Kaynak Kısıtı Altında Proje Programlanması

CPM, PERT ve ilgili teknikler büyük projelerin programlanmasında gerekli kaynakların sınırsız olduğu varsayımına dayanır. Kaynakların sınırlı olduğu durumlarda ise, kritik yol ve bolluk gibi bu tekniklerin temelini oluşturan kavramlar farklı anlamlar içerir. Kritik yol üzerindeki bazı işlemler, kaynakların yetersizliği durumunda ertelenebilirler. Bu ertelenme işlemi uygulandığında, projenin başlangıcından bitişine kadar tayin edilmiş olan bolluksuz işlemlerin yörüngesi anlamını kaybeder ve sıfır bolluğa sahip kritik işlemler sırası bu yörüngenin yerini alır. WİEST tarafından belirtildiği gibi kritik yol yörüngesine karşıt olarak, kritik sıra sadece teknoloji seçimine ve işlem zamanlarına bağlı olarak değil, aynı zamanda kaynak kısıtlarına da bağlı olarak tayin edilir [30].

Bir X projesi ele alındığında, bu proje açıkça belirlenen birbirinden farklı n faaliyetten oluşur. Bu n adet faaliyet miktarını oluşturan her bir j faaliyetine bağlı olarak t_j (süre), cs_j (gerekli kaynak miktarı) ve s_j (kaynak grubu) vardır. Her j faaliyeti için doğrudan öncelikli işlemler kümesi P_j veya doğrudan ardıl işlemler kümesi S_j vardır. X projesindeki faaliyetler m adet farklı, homojen kaynak grubu ile yapılabilir. Bir s kaynak grubundaki d günündeki mevcut kaynak sayısı a_{sd} olarak tanımlanabilir. Yine bir kaynak grubundan d gününde atanacak eleman sayısı ise q_{sd} olarak tanımlanabilir. Verilmiş olan bir program çizelgesine bağlı olarak, her bir kaynak grubu için kaynak gereksinim vektörü $Q_s = (q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{sz})$ ve kaynak olarak vektörü $A_s = (a_{s1}, a_{s2}, \dots, a_{sz})$ tanımlanabilir. Bütün kaynak grupları için ise, bu tanımlanmış olan vektörlerin birer satırını oluşturduğu Q ve A matrisleri oluşturulur.

Verilen bu tanımlamalara bağlı olarak, kısıtlı kaynak altındaki proje programlarının bir sınıflandırılmasının yapılması mümkündür. $Q \leq A$ olan yani kaynak kısıtlarının aşılmadığı, teknolojik sıra ve iş sürelerinin göz önüne

alındığı bir programa olurlu bir program denir. Bütün bu olurlu programlar arasındaki en az süreye sahip bir olurlu program optimum programı oluşturur.

Ayrıca programlar, taşınabilir ve taşınamaz programlar şeklinde iki sınıfa ayrılabilir. Bu taşınabilirlik işlemi, sağa ve sola, yöresel ve bütünsel şekillerde olabilir. Bir işi diğer kısıtları çiğnemenin daha önce başlayacak şekilde programlamak sola taşınabilir bir programı, daha geç başlayacak şekilde programlamak ise sağa doğru taşınabilir bir programı yaratır. Eğer bir işi i gün kadar sola taşımak, birer günlük bir seri sola taşımalarla elde edilebiliyorsa, bu işleme yöresel sola taşıma denir. Eğer bu işlem aynı şartlarda sağa doğru olabiliyorsa bu da bir yöresel sağa taşımadır. Eğer i gün kadar sola veya sağa taşıma, yöresel olarak elde edilemiyorsa, buna bir bütünsel taşıma denir. Teknolojik sıra veya kaynak kısıtlarından ötürü hiç bir iş sağa ya da sola yöresel olarak taşınamıyorsa, buna da sağa veya sola taşınamaz programlar denir. Kaynakların sınırlı olduğu projelerde, her zaman boş olmayan bir sola taşınamaz programlar kümesi J_1 ve boş olmayan bir sağa taşınamaz programlar kümesi J_2 olabilir.

Kritik sıra kavramı ise aşağıdaki özelliklere sahip işlemlerden oluşan bir kümedir:

- . Bütün işlemler sıfır bolluğa sahiptir.
- . Her iki komşu işlem bitişik teknolojik veya bitişik kaynak sırasının ortak bir elemanıdır. Bitişik teknolojik sıra, birbirini takip eden işlemler kümesini, bitişik kaynak sırası da, aynı kaynak grubunda oluşan ve birbiri ile çakışmayan ve birbirini takip eden işlemlere atanan kaynak kümesini gösterir.
- . İlk işlem aynı zamanda ait olduğu her bitişik teknolojik veya kaynak sırasının ilk elemanıdır.
- . Son işlem aynı zamanda ait olduğu her bitişik teknolojik veya kaynak sırasının son elemanıdır.

Kritik yörüngede olduğu gibi, kritik sıradaki işlemlerin kısaltılmasıyla proje tamamlanma süresi kısaltılabilir. Proje süresinin kısaltılmasını sağlayan diğer etkenler ise, teknoloji seviyesinin arttırılması ve ilave kaynak tahsis edilmesidir.

Kaynak kısıtı altında proje programlaması teknikleri ve problemin çözümü için kullanılan yöntemler BÖLÜM 5'de yer almaktadır.



BÖLÜM 5. KISITLI KAYNAK ALTINDA PROJE PROGRAMLAMASI

5.1. Giriş

Genellikle, bir projedeki faaliyetlerin büyük bölümü farklı tiplerde kaynaklara gereksinim duyarlar. Ve yine bu kaynakların büyük bir bölümü de tedarik edilmeleri bakımından kısıtlamalara tabiidirler. Projelere kaynak tahsisleri konusunda literatürde yer alan çeşitli yaklaşımlar önce DAVIS (1973) sonra da WILLIS (1985) tarafından araştırılmış ve bu problemin çözümü için kullanılan yöntemlerin, kesin çözüm teknikleri (analitik teknikler) ve sezgisel teknikler (heuristics) olarak iki ana gruba ayrıldığı görülmüştür [31,32,33,34] :

5.2. Kaynak Kısıtları Altında Analitik Teknikler:

Özellikle kısıtlı kaynak durumlarında, projenin tamamlanmasını müsaade edilen zamanı aşmayacak sürede sağlamaya yönelik olan optimizasyon teknikleri küçük ölçekli test problemlerinde sınanmakta, ancak pratikte, gerçek hayatta karşılaşılabilen türdeki büyük boyutlu karmaşık projelerde başarısız sonuçlar vermektedir. Bu konudaki çalışmalar, tamsayılı programlama ve buna bağlı teknikler, dal sınır tekniği ve sınırlı ve örtülü sayılama teknikleri gibi teknikleri içermektedir.

5.2.1. Tamsayılı Programlama:

Kaynak kısıtları olan projelerin eniyi çizelgelenmesi problemi matematiksel olarak çözümü zor sayılan bileşimsel problemler sınıfına girer [35]. Bileşimsel problemler sınıfına örnek olarak WUEST (1972) tarafından geliştirilen ve BOWMAN'ın işlemlerin tezgahlara atanması problemine bir

çözüm bulmak için gerçekleştirdiği 0-1 programlama modeline benzeyen bir model gösterilmiştir [19,35]. Bunun için, bir projede her biri s simgesi ile gösterilen m tane kısıtlı kaynak grubu bulunduğu ve her biri j simgesi ile gösterilen n adet işlemin belirli bir düzen içinde çizelgelenmesi gerektiği varsayılmıştır. p simgesi j işinin başlayabilmesi için tamamlanması zorunlu olan öncül işlemi, P_j kümesi ise öncül işlemlerin bütünü tanımlamak için kullanılmaktadır. Çizelgelemede kullanılacak zaman noktası d simgesi ile gösterilerek projenin z zaman biriminde tamamlanmasının istendiği varsayılmıştır.

Parametreler:

s (kaynak grubu) = $1, 2, \dots, m$
 d (gün) = $1, 2, \dots, z$
 j (işlem) = $1, 2, \dots, n$
 p = j 'den önce gelen işlemler. $p \in P_j$

Modelin karar değişkeni:

$X_{j,d}$: j işinin d zamanında yapılıp yapılmadığı kararı;
bu 0-1 tamsayılı değişken olup, işlem yapılıyorsa 1, yapılmıyorsa 0 değerini alır.

Modelin değişmezleri:

$a_{s,d}$: d zaman noktasında s cinsinden eldeki kaynak miktarı
 $c_{s,j}$: j işleminde kullanılacak s cinsinden kaynak grubu miktarı
 t_j : j işleminin süresi

Modelin kısıtları:

1. j işleminin d gününde aktif olup olmadığını gösteren kısıt:

$$X_{j,d} = 0 \text{ veya } 1 \quad (\text{bütün } j \text{ ve } d \text{ değerleri için}) \quad (5.1)$$

2. Projenin tamamlanma tarihine kadar bütün işlemlerin gerçekleştirilmesi gerektiğini gösteren kısıt:

$$\sum_{d=1}^z X_{jd} = t_j, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (5.2)$$

3. Kaynak kapasitesi kısıtı:
Her zaman noktasında kullanılan kaynaklar eldeki mevcut kaynak miktarlarını aşamaz.

$$\sum_{j=1}^n c_{mj} \cdot X_{jd} \leq a_{md}, \quad d = 1, 2, \dots, z \quad (5.3)$$

$$s = 1, 2, \dots, m$$

4. Öncelik kısıtı:
Bir işlem önünden gelmesi zorunlu olan öncül işlemler tamamlanmadan başlayamaz.

$$t_p \cdot X_{jd} \leq \sum_{j=1}^{d-1} X_{pj}, \quad p \in P_i, \quad d = 1, 2, \dots, z \quad (5.4)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

5. İşlemlerin parçalanamaması kısıtı:
Hiç bir iş parçalara ayrılarak yapılamaz.

$$t_j \cdot X_{jd} - t_j \cdot X_{j,d+1} + \sum_{i=d+2}^z X_{ji} \leq t_j, \quad d = 1, \dots, z \quad (5.5)$$

$$j = 1, \dots, n$$

Bu kısıtlar bağlı olarak en en kısa proje süresini vermesi istenen amaç denkleminin formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$Z_{\min} = R_k \sum_{j=1}^n X_{jk} + R_{k+1} \sum_{j=1}^n X_{j,k+1} + \dots + R_z \sum_{j=1}^n X_{jz} \quad (5.6)$$

Burada, k , $0 \leq k \leq z$ arasında herhangi bir değer, ve $R_{k+1} = w.R_k$, w =sabit bir sayı ve $R_0=1$ olarak alınmıştır. WIEST, w değeri için tesadüfi bir seçim yaparak $w=4$ olarak kabul etmiş ve böylece bu modelin en kısa proje tamamlanma süresini verecek programı bulmasını amaçlamıştır. 55 işlem ve 4 cins kaynak grubu ve 30 günlük bir zamanı kapsayan bir proje için bu model uygulandığında, 6870 adet kısıt ve 1650 değişkeni içeren bir modelin kurulması gerekmektedir. Bu nedenle günümüzde analitik tekniklerin kullanılması daha ziyade küçük ölçekli projelerin programlanmasında etkili olabilmekte, büyük projelerin modellenmesinde ise etkin bir çözüm bulmakta zorlanılmaktadır.

GONGUET sınırlı kaynak altında proje programlaması yaklaşımında, üç temel varsayım kullanmıştır [36]:

- işlemlerin kaydırılması ve ek kapasite (fazla mesai) kullanılmamaktadır.
- kısıtlı kaynak tipi tektir. Diğer kaynaklar kısıtsız kabul edilmiştir.
- t anında tek bir proje programlanabilir.

işlemler birbirine öncelik ilişkileri ile bağlı olup bu ilişki türüne teknolojik kısıt adı verilmiştir. Kaynak kısıtları da, her bir dönemde gereksinim duyulan kaynak sayısının eldeki mevcut kaynak miktarlarını geçemeyeceği şeklinde ifade edilmiştir. Amaç denklemi, projedeki son işlemin başlama zamanının minimize edilmesi olarak belirlenmiştir.

Problem bir tamsayılı lineer programlama problemi olarak ele alınmış ve formülasyonu buna göre yapılmıştır:

Karar değişkeni:

$$X_{j,t} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } t \text{ anında } j \text{ işlemi programlanabiliyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$\sum_{t \in D_j} X_{j,t} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (5.7)$$

Burada D_j , j işleminin PERT tekniği ile belirlenen toplam bolluğunu ifade etmektedir.

Amaç denklemi:

$$Z_{\min} = \sum_{t \in D_j} t \cdot X_{j,t} \quad (5.8)$$

Burada:

j_e : kendinden sonra gelen işlemler kümesi boş olan işlem, yani son işlem olarak tanımlanır.

Öncelik ilişkileri kısıtları:

(Bir işlem bitmeden onu takip eden işlem başlayamaz)

$$SS_j + d_j \leq SS_{j_1}, \quad j_1 \in S_j \quad (5.9)$$

$$\sum_{t \in D_j} t \cdot X_{j,t} + d_j \leq \sum_{t \in D_{j_1}} t \cdot X_{j_1,t} \quad (5.10)$$

Burada:

SS_j : j işleminin programlanan başlama zamanı

d_j : j işleminin süresi

j_1 : j işlemini takip eden işlem

S_j : j işleminden sonra gelen işlemler kümesi

D_j : j işlemi için mümkün olan başlama tarihleri kümesi

D_{j_1} : j 'yi takip eden işlemlerin mümkün başlama tarihleri kümesi

Kaynaklarla ilgili kısıt:

(Kaynak talebi mevcut kaynak miktarını geçemez)

$$\sum_{j \in P} \sum_{t \in D_j} l_{r,j,t_1-t+1} \cdot X_{j,t} \leq A_{r,t_1} \quad (t_1 = 1, \dots, W) \quad (5.11)$$

Burada:

P : projeyi oluşturan işlemler
 l_{r,j,t_1-t+1} : j işleminin r kaynağına olan talebi
 A_{r,t_1} : t_1 anında eldeki mevcut r kaynak miktarı
W : 1 no'lu dönemdeki toplam birim zaman sayısı.

Bu model, tek tip kaynak talebi olan ve 16 işlemli ve 32 birim zamanda tamamlanan bir projeye uygulandığında, 239 değişken ve 63 kısıt denklemi ortaya çıkmaktadır.

PRITSKER, geliştirdiği bir tamsayılı 0-1 programlama modelinde, karar değişkeni olarak işlemlerin belirlenmiş dönemlerde tamamlanıp tamamlanmadığı kriterini ele alarak problemi formüle etmiş ve bu formülasyonu ile, çoklu kaynak durumu, işlem ötelemeleri, kaynak ikamesi ve sabit termin süresi gibi kriterleri incelemiştir [37].

Algoritmanın amaç denklemi, birden çok proje için tamamlanma sürelerinin minimizasyonu, toplam gecikmenin minimizasyonu veya gecikme cezalarının minimizasyonu gibi üç değişik şekilde olabilmektedir. 3 proje ve her biri 3 değişik tip kaynağa gereksinim gösteren 8 işlemten oluşan bir sistemin formülasyonu, 33 karar değişkeni ve 37 kısıt denklemi içermektedir.

FRANKE, iki değişik tip 0-1 değişkeni içeren bir model geliştirmiştir [34]. Birinci tip değişken, bir işlemin belirli bir dönemde programlanıp programlanmadığını, diğer değişken ise projenin belirli bir dönemde bitip bitmediğini kontrol etmektedir. Ancak yazar bu konuda herhangi bir uygulama yapmamıştır.

PRABHAKAR, inşaat sektörü için geliştirdiği spesifik bir 0-1 tamsayılı programlama modelinde problemi alt problem gruplarına bölmüştür [34]. Bu modelde, işlemler günden güne değişen miktarlarda kaynaklara ihtiyaç duymaktadırlar. Kullanılan kaynak miktarı mevcut kapasiteyi geçmemekte ve

kaynak kullanımı sürekli bir fonksiyon olup can eğrisi şeklinde oluşmaktadır. Her bir işlem, kendi alt işlemlerine ayrıştırılabilmekte ve işlem süreleri de kullanılan kaynak miktarlarına bağlı olarak artıp azalabilmektedir. Ancak bu model sadece özel bir kullanım için geçerlidir.

5.2.2. Dal-Sınır Teknikleri

Bu tip problemlerde dal-sınır yönteminin kullanılması için, önce bir dallanma (ana programı kısmi programlarına ayırma) şemasının ortaya konması ve sonra bu şema üzerinden dallanmanın yapılması gerekmektedir. Her dallanmada, alt sınırlar hesaplanarak kısmi programlar gözden geçirilir ve baskın olmayan kısmi programlar elenerek dallanmaya devam edilir. Dallanma şeması ortaya konduktan sonra, ya geri izleme (back tracking) ya da atlamalı izleme (jumptracking) ile sonuca ulaşılabilir. Bu yöntemin başlıca avantajı, doğrusal programlamada ele alınması gereken bütün olurlu programlar yerine baskın programların izlenmesine olanak vermesidir.

HERROELEN, (1972) bu konuda yapılmış olan çalışmalardan ilkinin JOHNSON'un tek kaynak kısıtlı proje programlamasında proje süresinin minimizasyonunu hedef alarak geliştirdiği dal-sınır algoritmasının oluşturduğunu belirtir [34]. Bu algoritma aşağıdaki gibi bir süreç izler:

- Önce kısmi bir program tanımlanır.
- Bu kısmi program işlemler kümesini dört alt kümeye ayırır
- Programlanmış işlemler bitmiş kümeyi oluşturur.
- Devam eden işlemler aktif kümeyi oluşturur.
- Kendinden önce gelen işlemler tamamlanmış, ama kendileri henüz başlamamış işlemler karar kümesini oluşturur.
- Kalan programlanmamış işlemler de kalan işlemler kümesini oluşturur.
- Sezgisel bir yöntemle proje süresinin üst sınır değeri belirlenir.
- Ardışık olarak tek dal üzerinde oluşturulan düğümlerde

alt sınır değerleri hesaplanır.

- Altsınır değerleri proje süresi üstsınır değerini aştığı takdirde çözüm kesilir ve yeni bir dal oluşturulur.

Bu teknik küçük boyutlu teorik çalışmalar için geçerli olup gerçek hayattaki projelerde hesaplama süresi çok büyük boyutlara ulaşmaktadır.

Daha sonra yine tek kaynak kısıtına bağlı olarak MASON ve MOODY, proje gecikmesinden doğan maliyetlerin ve kaynak seviyelerindeki dalgalanmaların minimizasyonunu hedef alan bir dal-sınır yöntemini geliştirmişlerdir [38].

Modelin kullandığı başlıca varsayımlar:

- Gecikme cezaları kaynak seviyesindeki birim artış veya eksilmelere bağlı olarak doğrusal olarak değişir.
- İşlemlere ait süre ve kaynak talebi gibi parametreler sabit tamsayı değerler almaktadır.
- Başlayan bir işlem yarıda kesilemez

olarak özetlenebilir.

Amaç denklemini oluşturan denklemler kümesi aşağıda verilmiştir:

t zamanında kaynak seviyesindeki değişimin maliyeti:

$$f(t) = c_1 \cdot \max[0, r(t+1) - r(t)] + c_2 \cdot \max[0, r(t) - r(t+1)] \quad (5.12)$$

Burada:

c_1 : Kaynak seviyesindeki bir birim artışa bağlı doğrusal ceza maliyeti

c_2 : Kaynak seviyesindeki bir birim azalışa bağlı doğrusal ceza maliyeti

$r(t)$: $(t-1)$ ile t arasındaki kesikli zaman aralığındaki alt işlemler kümesi için kaynak seviyesi

Proje gecikme maliyeti:

$$d(t_1) = c_3 \cdot (t_1 - t_2) \quad (5.13)$$

Burada:

c_3 : projenin hedeflenen bitiş süresine göre bir zaman birimi uzamasının getireceği maliyet.

Toplam proje maliyeti:

$$p(t_1) = \sum_{t=0}^{t_1-1} f(t) + d(t_1) \quad (5.14)$$

Algoritmanın hedefi, bütün olurlu programlar kümesi içinde en düşük toplam maliyeti verecek olurlu programın belirlenmesidir. Bu amaçla bir başlamış işlemler kümesi belirlenerek bu bütün işlemler kümesinin bir kısmı programı olarak alınır. Aynı şekilde, t anında programlanabilecek işleri belirten ve başlamış işler kümesinde olmayan fakat öncülleri tamamlanmış işlemleri gösteren bir karar kümesi tanımlanır. Belirlenen herhangi bir t zamanında m adet işlem başlayabiliyorsa, 2^m adet kadar karar alt kümeleri oluşturulabilir. Yine Johnson algoritmasına benzer şekilde maliyetler ile ilgili üst sınır ve alt sınır değerleri hesaplanarak yukarıdaki süreç izlenir.

HASTINGS ve WILLIS (1976), proje süresinin minimizasyonunu hedef alan bir dal-sınır yöntemi geliştirerek, bu yöntemi 25 işlemlili dört şebekeye uygulamış ve elde edilen sonuçları sezgisel algoritmalar kullanımıyla elde edilen sonuçlarla Tablo 5-1'de karşılaştırmışlardır [39]. Elde edilen sonuçlara göre, dal-sınır yöntemi ile sağlanan optimum sonuçlara sezgisel öncelik kuralları kullanarak ulaşılması genelde mümkün olmamaktadır. Sezgisel kurallar ile bulunan dört şebekedeki 56 proje süresi içinde sadece biri dal-sınır yöntemiyle bulunan optimum sonucu verebilmiştir.

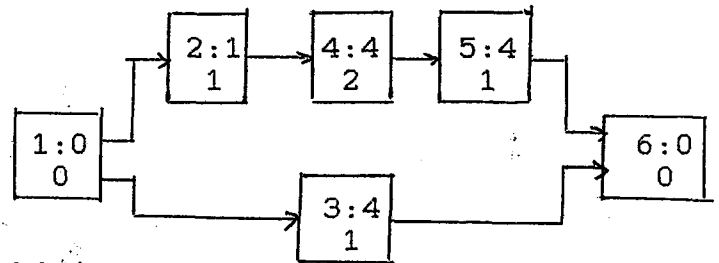
TABLO 5-1
Dal-Sınır ile Sezgisel Yöntemler Karşılaştırması

Sezgisel algoritmalar	Proje Süresi (gün)			
	şebeke 1	şebeke 2	şebeke 3	şebeke 4
1- Erken bitiş (artan sıra)	57	43	63	50
2- Erken başlama (artan ")	57	43	63	50
3- Geç bitiş (artan ")	57	42	66	48
4- Geç başlama (artan ")	59	44	66	52
5- Toplam bolluk (artan ")	57	43	68	51
6- Kaynak talep miktarı (azalan sıra)	59	44	66	52
7- En büyük işlem süresi (azalan ")	57	47	75	48
8- En büyük kaynak kullanım (azalan ")	61	44	72	53
9- Serbest bolluk (artan ")	57	42	66	57
10- En kısa süreli işlem (azalan ")	62	51	69	61
11- Kaynak kullanımı (azalan ")	64	45	72	51
12- En az kaynak kullanımı (azalan ")	62	44	69	51
13- En az kaynak kullanımı (artan ")	59	46	73	49
14- Rassal	58	46	74	53
Dal-Sınır Yöntemi	56	41	60	48

STINSON çok kaynaklı proje programlaması problemi için dal-sınır yöntemi yaklaşımını kullanmış ve proje tamamlanma süresinin minimizasyonunu hedeflemiştir [40,41]. Stinson aşağıdaki Şekil 5-1'de verilen örnek problemi ele almıştır:

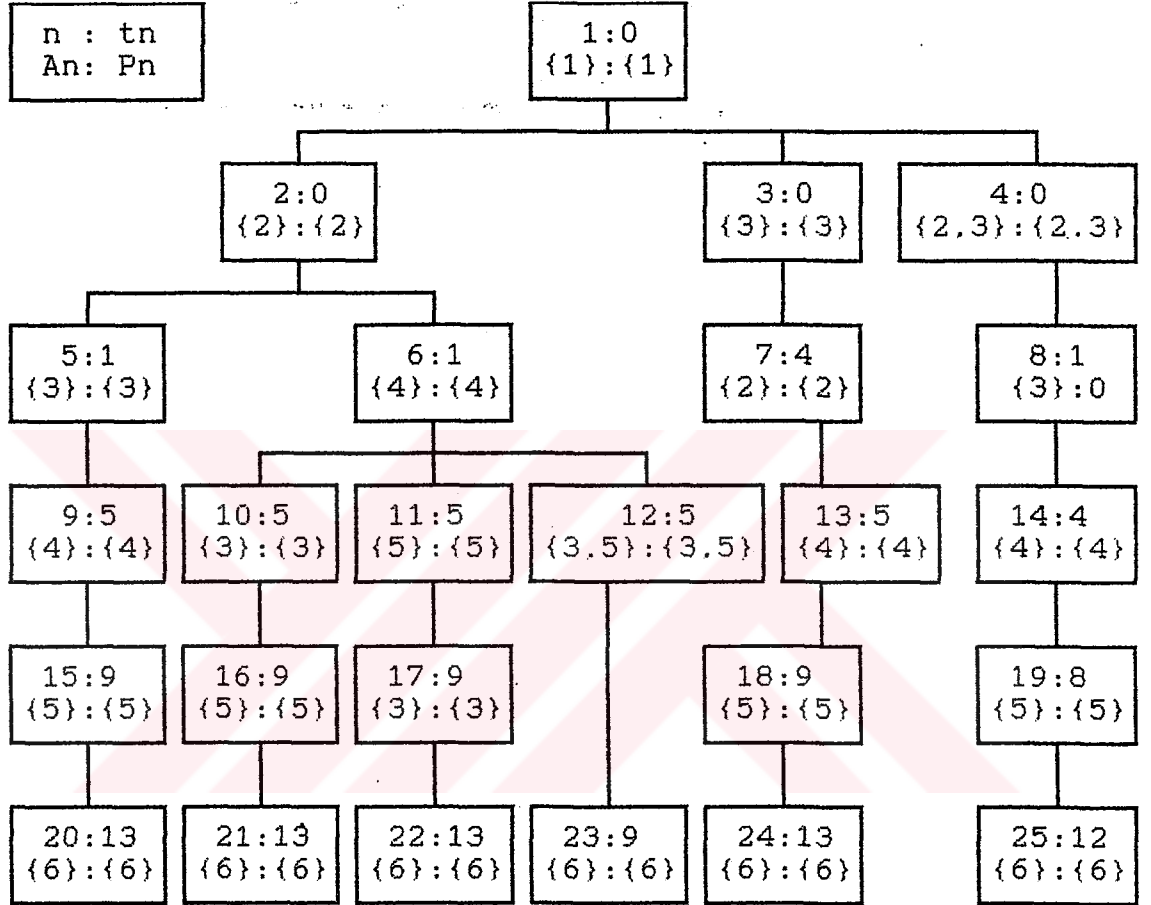
İşlem No	İşlem süresi	Kaynak talebi
1	0	0
2	1	1
3	4	1
4	4	2
5	4	1
6	0	0

Mevcut Kaynak Miktarı: 2 birim



ŞEKİL 5-1
Örnek Problem

Düğüm sayısı n ile, işlemlerin programlanması gereken zamanları t_n ile, devam eden işlemler kümesi A_n ile ve t_n anında programlanabilecek işlemler de P_n ile gösterilerek Şekil 5-2'de bu probleme ait Karar Ağacı verilmiştir:



ŞEKİL 5-2
Örnek Probleme Ait Karar Ağacı

Burada optimum çözüm 9 gün ile 23'üncü düğümde ortaya çıkmaktadır. İşlem sayısı fazla olan projelerde bu şekilde bir dallanma işlem hacmini çok arttıracığından çözüm mümkün olmayabilir. Stinson, bu nedenle geliştirdiği yöntem ile baskın olmayan kısmi programların mümkün olduğunca önceden belirlenmesini ve budanmasını (pruning) hedeflemiş ve bu amaçla düğümlerin seçiminde bütün sıraların incelenmesini engellemek amacıyla bazı sezgisel kriterleri kullanmıştır. (alt sınır, kritik sıra alt sınırı, öncelik esaslı alt sınır, kaynak esaslı alt sınır, toplam kaynak bolluğu, mevcut

kısmi program süresi v.s...)). Bu ölçütlerin de ayrıca bir karmasının ele alınarak ve karar vektörleri oluşturularak bunların yardımıyla dallanmadaki düğüm seçimlerinde devam edilecek yolun seçimi yapılmakta ve böylece optimum çözümü verme olasılığı en yüksek olan kısmi programlar öncelikle ele alınmaktadır. Bu yöntem ile küçük boyutlu problemlerde kısa sürede optimum çözüme ulaşmak mümkün olmaktadır.

5.2.3. Sayılama Teknikleri

Bu konudaki çalışmaların ilkinin BALAS'ın. atölye tipi proje programlama problemine 0-1 değişkenleri yardımıyla ve örtülü sayılama yöntemi ile çözüm araması oluşturur [42]. Önce sezgisel bir yöntem kullanarak proje süresi üst sınır değeri belirlenmiş daha sonra tek dal üzerinde oluşturulan düğümlerdeki alt sınır değerleri hesaplanmıştır. Dallar üstündeki düğümlerde elde edilen olurlu program çözümleri proje üst sınır değerinin altında kaldığı sürece dallanmaya devam edilir. Tek kaynaklı örtülü sayılamaya diğer bir örnek olarak SCHRAGE modeli kaynaklarda verilmiştir [43,44].

TALBOT-PATTERSON'un (1978) kurmuş olduğu etkili bir model, atölye tipi çok kaynak kısıtlı proje programlaması probleminde proje süresinin minimizasyonunu hedefleyen ve tüm muhtemel işlem tamamlanma zamanlarının sistematik bir sayılanmasını içeren bir örtülü sayılama yaklaşımından oluşmaktadır [45]. Bu yaklaşımda hesap hacmini azaltmak amacıyla şebeke kesiti (network cut) uygulanarak daha iyi sonuçlar vermeyecek olan hesaplamaların kesilip elenmesi sağlanmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, üç farklı kaynak kullanan 30 ile 50 arasında işlem sayısına sahip şebekeler için sağlanmıştır. Yöntemin dayanak aldığı temel algoritma BALAS'ın algoritmasıdır. Ancak BALAS algoritmasında olduğu gibi 0-1 değişkenler kullanılması yerine negatif değerler almayan tamsayıli değişkenler kullanılmaktadır.

Algoritmanın notasyonu ve genel akışı aşağıdaki şekildedir:

Notasyon:

R_{kt} : Kaynak kapasitesi

k : Kaynak türü sayısı

r_{jk} : j işleminin k türü kaynağa talebi

P : Öncül işlemler kümesi

N : İşlem sayısı (düğüm sayısı)

B_j : En iyi olurlu programdaki j işleminin bitiş zamanı

f_j : j işleminin bitiş zamanını gösteren tamsayılı değişken

HP : Proje süresi üst sınırı

S_t : t döneminde faal olan işlemler kümesi

u_j : j işleminin en geç tamamlanma zamanı

Algoritmanın Akışı:

- Düğüm numaralarını topolojik sırada diz.
(eğer $n \in P_m$ ise o zaman $n \leq m$)
- Proje süresi üst sınırını hesapla
($HP = \sum d_j$)
- İşlemler için üst limitleri (en geç tamamlanma zamanları) hesapla ($u_j = LF_j - 1 + (HP - LF_N)$)
- En iyi olurlu programdaki son işlemin tamamlanma zamanını proje üst sınırına eşitle ($B_N = HP$)
- Birinci işlemi en erken tamamlanma zamanına programla
($f_1 = d_1$)
- Kalan kaynak vektörünü hesapla
($\sum (R_{kt} - r_{1k}) \quad t=1, \dots, d_1 \quad k=1, \dots, k$)
- İkinci işlemi en erken tamamlanma zamanına programla
($t^* = \max \{ f_{j'} : j' \in P_2 \}$ öncüllerinin erken tamamlanma zamanlarını en büyüğü)
- $t+1$ 'den başlayarak u_2 'ye kadar kaynak kapasitesi $R(k, t)$ 'ye bak (d_2 süresi kadar) öyle ki $R_{kt} \geq r_{2k}$ ($k=1, \dots, k$) olsun. Örneğin ikinci işlemin kaynak kısıtlarına bakılarak programlanabildiği zaman aralığı $(t' - d_2 + 1)$ 'den t' 'ye kadar olan dönem olsun. $f_2 = t'$ eşitle ve r_{2k} 'yi R_{kt} 'den bir dönem boyunca çıkar.
- Bu programlamayı 3, 4, ..., N işlem programlanana kadar yeya herhangi bir $j' \leq N$ işlemi kaynak yetersizliği nedeni ile

programlanamayana kadar sürdür.

- N işlemi için bir bitiş zamanı f_N tesbit et ve problemin çözümü için $H = B_N - f_N$ kadar B_N 'den kısa proje süresini bul.
- Olurlu çözümü B vektöründe depola yani $B_j = f_j$ ($j=1, \dots, N$) ve u_j üst limitlerini H kadar azalt.

Yukarıdaki çözümü elde etmek isterken, bir j' işlemi kaynak kısıtları yüzünden programlanamadığı takdirde, geri izleme uygulanır. Önce $j'-1$ 'inci işlem $f_{j'-1}$ 'den büyük bir en erken olurlu tamamlanma zamanına göre programlanabilir mi kontrol edilir ve mümkünse j' işlemi ile devam edilir. Değilse ya yine kaynaklar kısıtlıdır, ya da $f_{j'-1} = u_{j'-1}$ 'dir. Bu durumda $j'-2$ işlemine bakılır. Geri izleme birinci işleme kadar sürdüğü takdirde optimallik koşulu sağlanmış demektir.

5.3. Kaynak Kısıtı Altında Sezgisel Teknikler

Kaynak kısıtı altındaki projelerin programlanmasında, problemin boyutu ve şebekenin karakteristikleri, optimizasyon metodlarını kompütasyonel olarak olanaksız kılabilir. Bu durumlarda, oldukça iyi alt-optimal programların yani etkin ve güvenilirliği yüksek programların yaratılmasına uygun basit programlama kuralları kullanan sezgisel problem çözümü uygundur. Sezgisel yöntemlerde programlama, işlem bazında belirli öncelikler verilerek yapılır. Sezgisel yöntemlerde işlemlerin hangi kritere göre öncelik alacağını belirtmek için şebeke karakteristiklerinin bilinmesine gerek duyulur.

5.3.1. Şebeke Karakteristikleri

Kısıtlı kaynak altında proje programlanmasında ağ diyagramlarının karakteristiklerinin de problemlerin çözümü üzerinde etkileri söz konusudur. DAVIS (1975) şebekeye ait karakteristikleri üç ana gruba ayırmıştır [46].

5.3.1.1. Şebeke Boyut, Şekil ve Yapı Karakteristikleri:

Birinci grupta, ağ diyagramının boyutu, şekli ve öncelik ilişkileri yapısını gösteren karakteristikler bulunur. Ağ diyagramının boyutu, şebekedeki düğümlerin (işlemler) toplam sayılarını gösterir. Ağ diyagramının şeklini ise uzunluk, genişlik ve uzunluğun genişliğe oranı kriterleri tayin eder. Şebekenin uzunluğu, şebekenin başından sonuna kadar birbirlerini ardışık olarak izleyen maksimum düğüm sayısıdır. Şebekenin genişliğini ise, sadece öncelik ilişkileri esas alınarak paralel olarak yürüyen maksimum düğüm sayısı gösterir. Bu ikisinin birbirlerine oranı da üçüncü kriteri oluşturur. Şebeke öncelik ilişkilerinin yapısı bir anlamda ağ diyagramının karmaşıklık derecesini gösterir. Karmaşıklık katsayısı, öncelik ilişkilerini gösteren yay sayısının işlem sayısını gösteren düğümlerin sayısına oranı şeklinde ifade edilir. Karmaşıklık katsayısı C ile gösterilir ve şebeke N adet işlemten oluşursa, C aşağıda verilen aralıkta herhangi bir değer alabilir:

$$(N-1)/N \leq C \leq N(N-1)/2N \quad (5.15)$$

Karmaşıklık katsayısının değeri hangi öncelik kuralının programlama için daha uygun olabileceği hakkında bir ön fikir verir.

5.3.1.2. Şebekenin Zaman Karakteristikleri:

İkinci grup ölçütler, şebekenin zaman boyutunu gösteren karakteristikleri içerir. Bu karakteristiklerin bir bölümü, kritik yol hesabı yapılmadan daha önce bulunabilir. Bunlar şebekeyi oluşturan işlemlerin sürelerinin toplamı, ortalama işlem süresi ve işlem sürelerinin varyansları şeklinde ifade edilebilir. Diğer bir grup ise kritik yol analizi yapıldıktan sonra ortaya çıkar. Bunlar, kritik yol süresi, toplam bolluk, toplam serbest bolluk ve şebeke yoğunluğu kriterleridir.

$$\text{Sebeke yoğunluğu} = \frac{\text{İşlem süreleri toplamı}}{\text{İşlem süreleri toplamı} + \text{Toplam serbest bolluk}}$$

Sebeke yoğunluğu, 0 ile 1 arasında bir değer alır ve yüksek yoğunluk değerleri, işlem bolluklarının az olması nedeni ile kaynak çakışmaları yaratılmadan işlemlerin programlanmasında daha az bir serbestlik bulunduğunu gösterir. Yoğunluğun 1 değerini alması bütün işlemlerin kritik işlem olduğunu gösterir.

5.3.1.3. Şebekenin kaynak karakteristikleri:

Üçüncü grup ölçütler, şebekenin kaynaklarla ilgili karakteristiklerini gösterir. Bunlar, doğrudan kaynak gereksinimleri ile ilgili ölçütler ve eldeki mevcut kaynaklarla gereksinim duyulan miktarlar arasındaki ilişkileri gösteren ölçütler olmak üzere iki alt gruba ayrılabilirler. İlk alt grupla ilgili ölçütler, birim işlem başına ortalama kaynak gereksinimi, dönem bazında ortalama kaynak gereksinimi, gereksinim duyulan maksimum kaynak seviyesi, değişik kaynak grubu sayısı ve projenin toplam kaynak gereksinimi şeklinde ifade edilebilirler. Projenin toplam kaynak gereksinimi bulunurken toplam iş yükü miktarı kavramı (total work content) kullanılır:

$$w_j = \sum_{i=1}^N d_i \cdot r_{ij} = \sum_{t=1}^{CP} r_{jt} \quad (5.16)$$

Burada:

- w_j : j tipi kaynağa ait toplam iş yükü miktarı
- d_i : i işleminin süresi
- r_{ij} : dönem bazında i işleminin j tipi kaynak ihtiyacı
- N : işlem sayısı
- CP : kritik yol süresi
- r_{jt} : t döneminde j tipi kaynağa duyulan toplam ihtiyaç

ikinci alt gruba ait ölçütler, eldeki mevcut kaynak miktarının gereksinim duyulan miktarlardan daha az olması durumunda ortaya çıkan karşılanamamış kaynak taleblerini içerirler. Bu ölçütler, taleplerin karşılanmadığı toplam dönem sayısı, taleplerin karşılanmadığı ardışık dönemlerin sayısı, karşılanmamış kaynak taleplerinin toplam iş yükü miktarına oranı şeklinde olabilirler. Bu son ölçüt O faktörü diye adlandırılır ve erken başlama ölçütü kullanılarak iki aşamalı bir işlem ile hesaplanır:

$$O_j = \frac{\sum_{t=1}^{CP} \max(0; r_{jt} - A_j)}{w_j} \quad (\text{her } j \text{ kaynağı için}) \quad (5.17)$$

$$O = \sum_{j=1}^M O_j \quad (\text{tüm kaynaklar için}) \quad (5.18)$$

Burada:

A_j : Birim dönemde eldeki mevcut j tipi kaynak adedi

M : Farklı kaynak tiplerinin sayısı

w_j : j tipi kaynağa ait toplam iş yükü miktarı

r_{jt} : t döneminde j tipi kaynağa duyulan toplam ihtiyaç
(erken başlama kriterine göre hesaplanmış)

Aynı işlemler geç başlama kriteri göz önüne alınarak tekrarlanırsa, buna da LC-faktörü (Late Completion) adı verilmektedir.

Bu konuda diğer bir ölçüt de, dönem sayısına ve farklı kaynak adedine göre düzeltilmiş olan kaynak talebi fazlalığının hesaplanmasıdır. Bu düzeltilmiş kaynak talep fazlası hesabı, erken başlama (ADOPEs=Adjusted Obstruction per Period based on ES) ve geç başlama (ADOPLS=Adjusted Obstruction per Period based on LS) olmak üzere iki türlü yapılabilir:

$$\text{ADOPEs} = \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{t=1}^{\text{CP}} \text{Max} (0; r_{j,t} - A_j)}{M \times \text{CP}} \quad \text{"EST"ye göre} \quad (5.19)$$

Burada $r_{j,t}$ değeri, erken başlama kriterine göre hesaplanmıştır, geç başlama kriteri ele alınır ise aynı şekilde ADOPLS elde edilir. Her iki kriterin birleşik etkisiniyse, dönem başına düzeltilmiş ortalama kaynak talebi fazlalığı ölçütü (ADAOP=Adjusted Average Obstruction per Period) ile göstermek mümkündür;

$$\text{ADAOP} = (\text{ADOPEs} + \text{ADOPLS}) / 2. \quad (5.20)$$

Son olarak, kullanılan bir başka ölçütde, DAVIS (1975) tarafından kullanılan ve toplam iş miktarının eldeki mevcut toplam iş miktarına oranını gösteren kaynak kullanım faktörü (f) olarak adlandırılan ölçütdür. Çok kaynak kısıtlı durumlarda tek bir ölçüt bulmak için f değerlerinin maksimumu (F^*) seçilir:

$$f_j = \frac{w_j}{\text{CP} \times A_j} \quad (5.21)$$

$$F^* = \text{Max} [f_j] \quad (5.22)$$

Bütün bu tanımların sayesinde, daha programlama yapmadan şebeke hakkında kaynak kullanımları ile ilgili bazı ön bilgiler elde edilir ve bu da seçilen yöntemde işe başlatma ile ilgili öncelik kurallarının seçiminde yararlı bilgiler sağlar.

Ayrıca bu sayede, eğer kritik olmayan bir kaynak söz konusu ise, bu kaynak karar kriterinden çıkartılarak problemin boyutu azaltılabileceğinden çözüm işlemleri daha da kolaylaşacaktır.

5.3.2. Sezgisel Tekniklerde Öncelik Kuralları

Sezgisel tekniklerde hangi öncelik kurallarının kullanılabilceğinin belirlenmesi konusunda oldukça kapsamlı bir çalışma PANWALKER ve ISKANDER (1977) tarafından yapılmıştır [47]. Bu kurallar en genel ifadesiyle basit öncelik kuralları, basit öncelik kurallarının bileşimleri ve ağırlıklı öncelik kuralları şeklinde üç temel sınıfa ayrılabilir.

5.3.2.1. Basit Öncelik Kuralları

Basit öncelik kuralları, işlemlerin süreleri, işlem sayıları, maliyet değerleri, hazırlık zamanları, işlemlerin geliş zamanları ve tezgahlar gibi ölçütlere bağlı olarak belirlenirler.

1- İşlem süreleri ile ilgili kurallar:

- En kısa süreli işlem en önce
- En uzun süreli işlem en önce
- Kalan işlem süresi en kısa olan işlem en önce
- Kalan işlem süresi en uzun olan işlem en önce
- Şebeke sonuna kadar kendisini takip eden sıradaki işlemlerin toplam süresinin en fazla olduğu işlem en önce

2- İşlem sayıları ile ilgili kurallar:

- Şebeke sonuna kadar kendisini takip eden sıradaki işlemlerin toplam sayısı en fazla olan işlem en önce
- Şebeke sonuna kadar kendisini takip eden sıradaki işlemlerin toplam sayısının en az olduğu işlem en önce

3- Maliyet ile ilgili kurallar:

- En yüksek gerçekleştirilme maliyetine sahip işlem en önce
- En yüksek birim gecikme cezasına sahip işlem en önce

4- Hazırlık zamanları ile ilgili kurallar:

- Hazırlık zamanı gerektirmeyen işlem en önce
- Hazırlık zamanı minimum olan işlem en önce

5- İşlemlerin geliş zamanları ile ilgili kurallar:

- İlk gelen ilk çıkar
- Rassal sıra
- Son gelen ilk çıkar
- En az bolluğa sahip işlem en önce

6- Tezgahlar ile ilgili kurallar:

- En önce en az kuyruk olan tezgahda işlem görecektir iş
- En önce iş yükü en az olan tezgahda işlem görecektir iş

5.3.2.2. Basit Öncelik Kurallarının Bileşimleri

- İşleri yüksek ve düşük maliyetli olarak iki sınıfa ayır ve yüksek maliyetli işleri ilk giren ilk çıkar kuralına göre yerleştir.
- Kuyrukta bekleyen en kısa işlem süreli işleri seç ve ilk giren ilk çıkar kuralına göre yerleştir.
- İşlerin bir sonraki işleme girmek için kuyrukta bekleme sürelerine göre uzun, orta ve kısa kuyruk olmak üzere üç kuyruk oluşturun ve en kısa kuyruğa sahip işleme öncelik verecek şekilde en kısa işlem süreli işi seç.

5.3.2.3. Ağırlıklı Öncelik Kuralları

Burada, yukarıda belirtilen basit öncelik kurallarına ağırlık değerleri verilerek öncelikler belirlenir. Örneğin, şebeke sonuna kadar kendini takip eden sıradaki işlemlerin ağırlıklı toplam süresi en fazla olan işlem önce seçilir.

Bu öncelik kurallarının kullanımı gösteren çeşitli makaleler kaynaklarda verilmiştir [48,49,50,51,52].

5.3.3. Sezgisel Yöntemlerde Stratejiler

Sezgisel yöntemlerde temel olarak iki strateji uygulanmaktadır. Bunlar, ilk defa KELLEY (1961) tarafından ortaya atılmış olan paralel ve seri yöntemlerdir [53].

Paralel yöntem, olurlu bir programın işlemlerini öncelik ilişkisi kısıtına ve kaynak olanaklarına bağlı olarak bütünsel olarak ele alan ve buna göre mümkün olduğu kadar erken programlayarak yapılan bir stratejidir. Paralel yöntemde, her adımda birden çok işlemin aynı zamanda programlanması mümkündür. Paralel yöntemin etkin olup olmaması, programlanabilir işlemlerin tercih edilen alt kümesinin nasıl elde edilebildiğine bağlıdır. Toplam bolluk, kaynak gereksinimi ya da işlem süresi gibi faktörler alt kümenin elde edilmesinde karar ölçütleri olarak alınabilirler ve programın etkinliğini tayin ederler. Ve bu şekilde değişik programlama kuralları ile elde edilen çeşitli programların arasından en iyisi seçilebilir.

Seri yöntem ise, olurlu bir programın elde edilmesi için yine yukarıdaki benzer kısıtları ele alan ancak her defasında bir tek işlemi programlamaya imkan veren bir stratejidir. Seri yöntemlerde hesaplama süresi açısından programın elde edilmesi daha hızlı olacağından listeleme faktörlerinin çeşitli kombinasyonlarını denemek ve elde edilen bu programlar arasından en iyisini seçmek mümkün olacaktır.

GONGUET (1969) sezgisel yaklaşımlarda yapılan kaynak tahsislerinin paralel veya seri olarak yapılabileceğini belirtmiştir [36]. Paralel tahsis yönteminde, kaynaklar birim zaman bazında tahsis edilirler ve t anında kaynak tahsisine uygun olan işlemler bu iş için seçilirler.

Seri sezgisel yöntemde ise, kaynak tahsisleri birim iş bazında yapılır. Projeyi oluşturan bütün işlemlerin kümesi P ve t anında programlanacak olan işlemlerin kümesi de P2

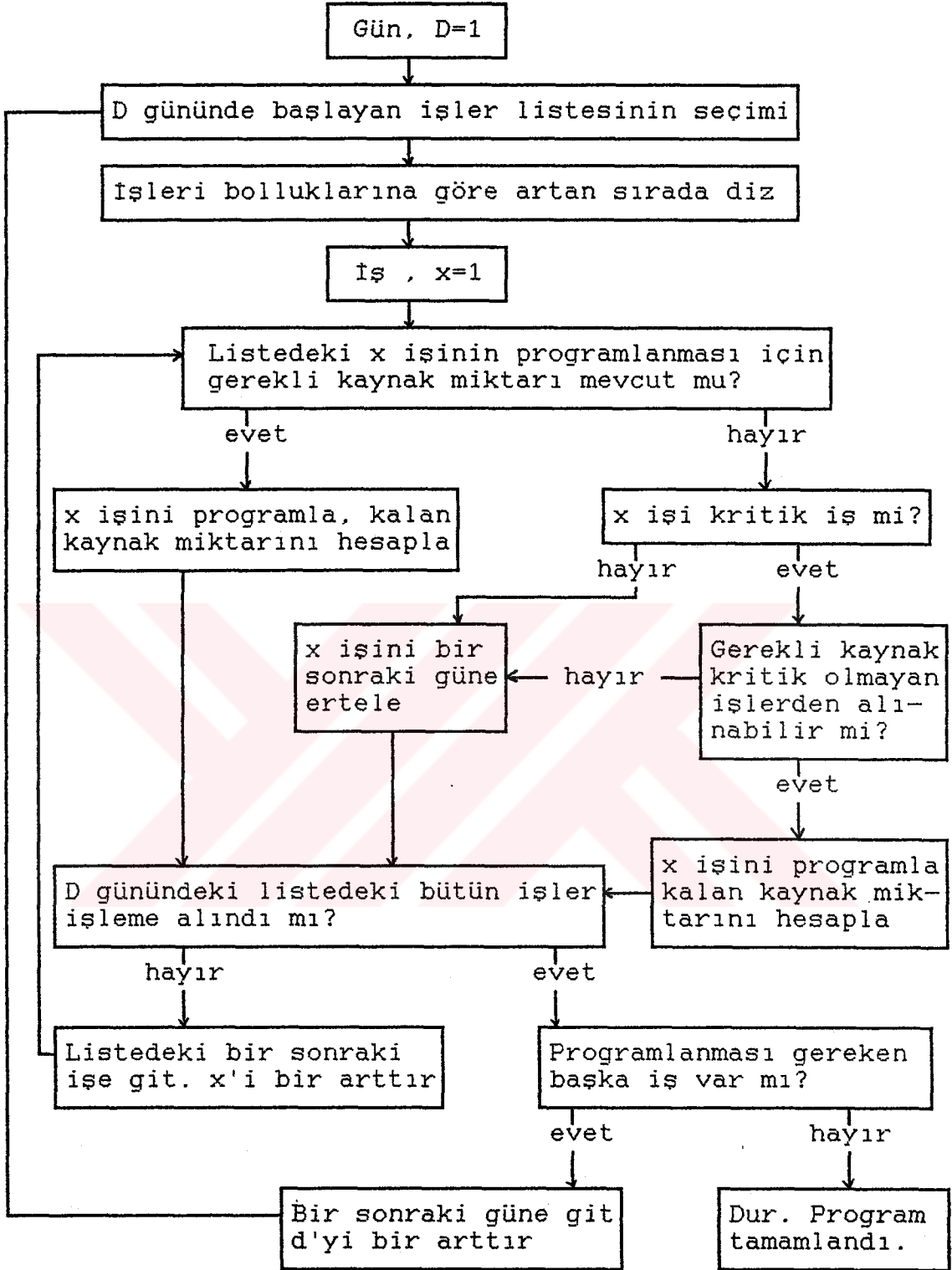
olarak adlandırılırsa, başlama anında $t=0$ anında $P2=0$ olur. $P-P2$ kümesinden seçilecek işlemi belirleyecek kural, seri yöntemi oluşturur. Bu kural problemin özelliğine göre, en büyük süreye sahip olan işlemin ilk önce programlanması, en geç bitiş zamanı ile programlanan bitiş zamanı arasındaki farkın (güncel bolluk) minimum olduğu işlemlerin ilk önce programlanması gibi değişik kurallardan veya bunların kombinasyonundan oluşabilir. Burada kuralların hangilerinin daha iyi sonuçlar verdiğini ölçebilmek için aşağıdaki kriterler esas alınır:

- Sonuçların kararlılığı: Kaynak seviyesini oluşturan kaynak miktarı azaldıkça, proje tamamlanma süresi artar. O halde, proje süresinin en azlanması hedeflendiğinde, en uygun süre-seviye kombinasyonunu sağlayan kural en iyi sonucu verir.
- Bilgisayar işlem zamanı: En hızlı işlem zamanını sağlayan kural daha etkindir.
- Elde edilen proje tamamlanma süresi: Probleme özgü şebeke yapısına bağlı olarak, her kural değişik projelere uygulandığında farklı bitiş süreleri verebilir.

Genel anlamda, geniş boyutlu problemlerin çözümü için seri ve paralel stratejiler sezgisel yaklaşımın temelini teşkil ederler.

5.3.1.1. Seri Yöntem Olarak Bir Algoritma

WIEST (1972) tarafından geliştirilen basit bir sezgisel algoritma üç kurala dayanmaktadır [19]. Birinci kural, periyot bazında işlemlerin erken başlama zamanlarına göre kaynakları tahsis etmektedir. İkinci kural, aynı kaynağa gereksinim duyan birden çok işlem olduğunda önceliği en az toplam bolluğa sahip olan işleme vermektir. Son kural ise, kritik işlemlerin programlanması için gerekli olan kaynak miktarını serbest bırakmak amacıyla kritik olmayan diğer işlemlerin yeniden programlanmasıdır. Bu algoritmanın akış şeması Şekil 5-3'de verilmiştir.



ŞEKİL 5-3
Proje Programlanmasında Kaynak Tahsisi İçin Basit bir
Sezgisel Algoritma

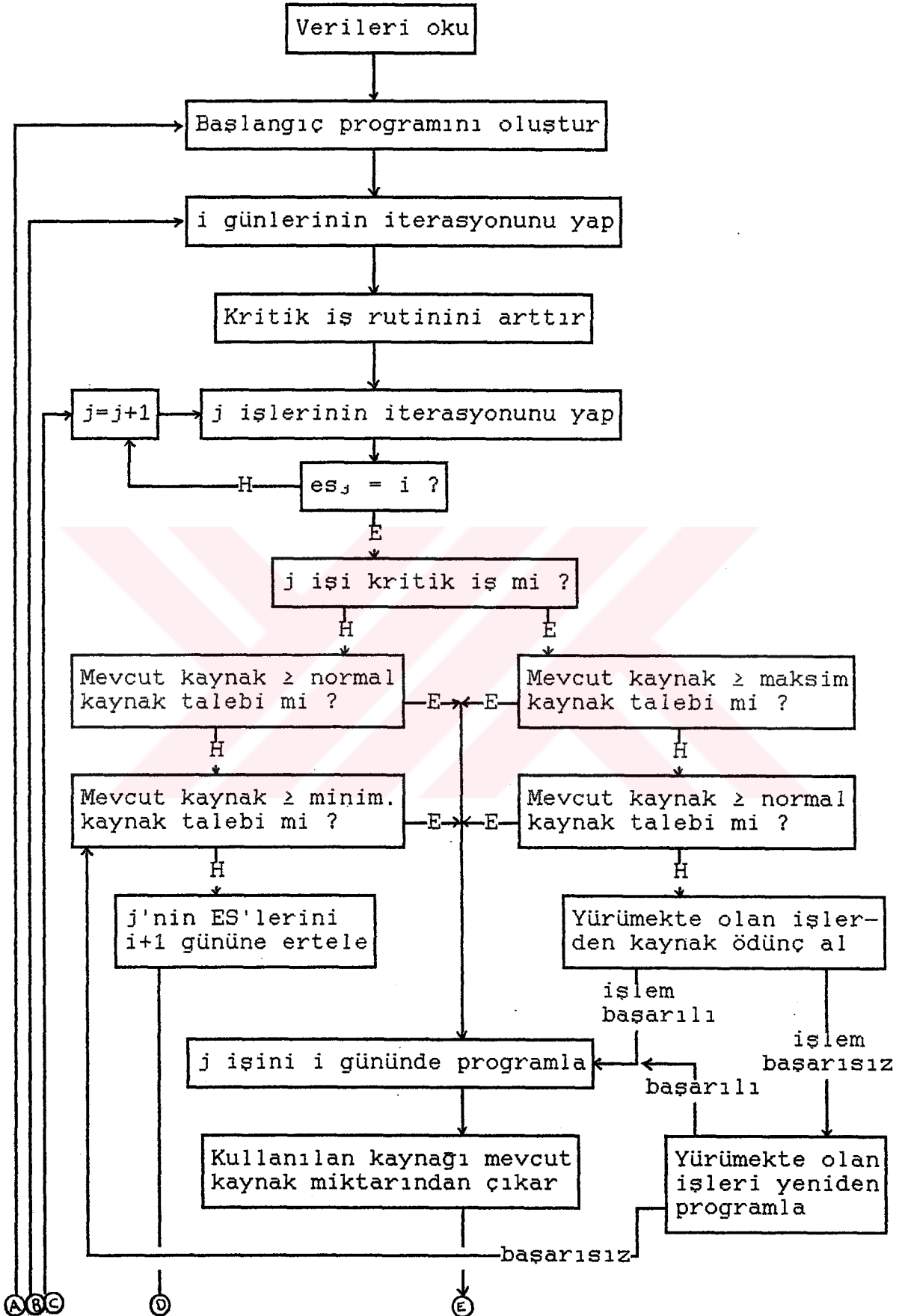
5.3.3.2. Paralel Yöntem olarak SPAR-1 Algoritması

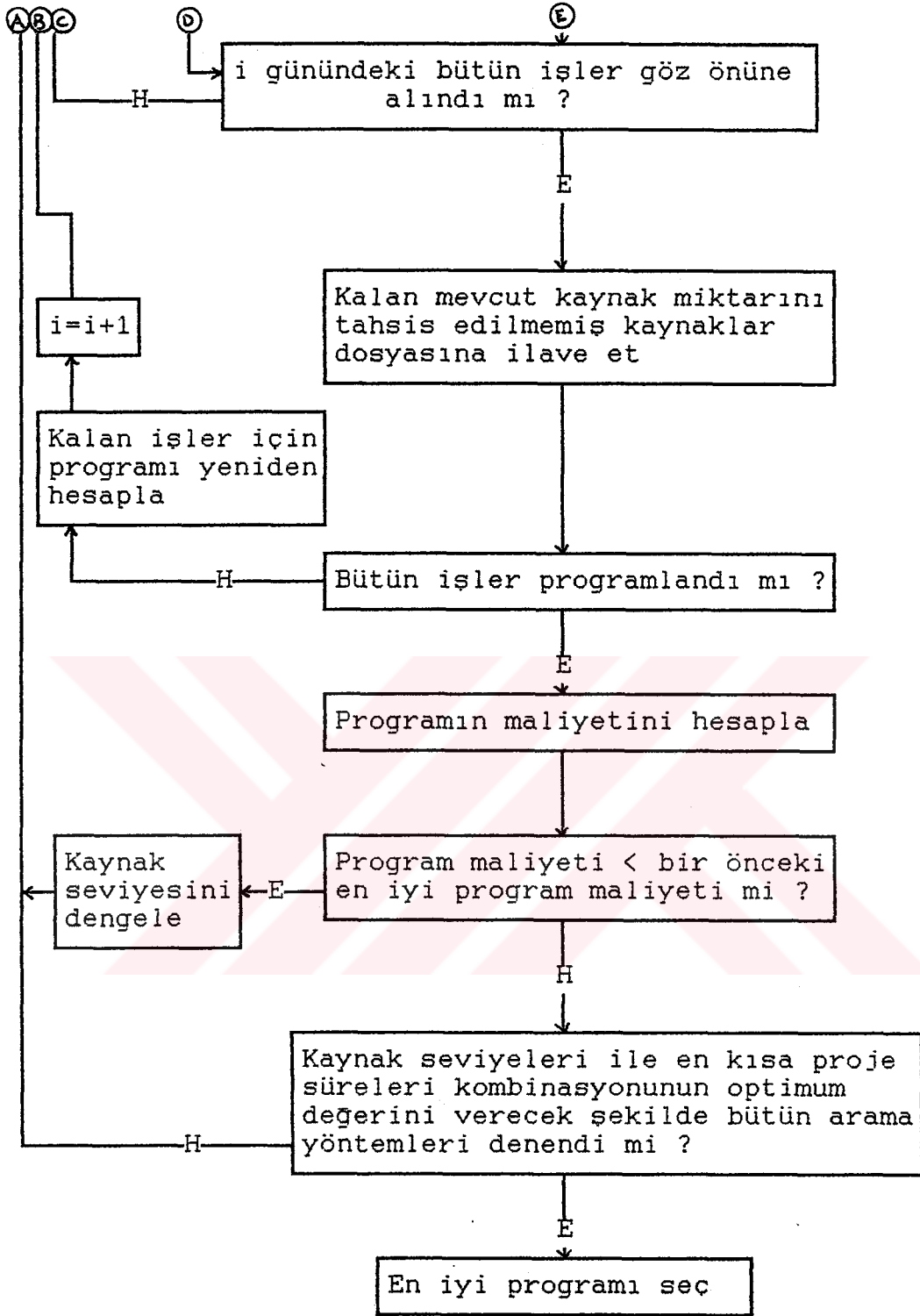
WIEST, (1974) kaynakların tahsisleri için bir sıralama programı geliştirmiştir ve SPAR-1 adı verilen bu programla sabit veya değişken kaynaklı, tek veya çok proje modellerini birarada ele almıştır [19,30]. Program paralel stratejiye dayanmakta ve toplam bolluğu esas alan öncelik şemasını kullanmaktadır. Program esnasında herhangi bir kademede öncülleri tamamlanan işlemler bolluklarının sırasına göre program için ele alınmaktadır. Algoritma zamana göre ilerledikçe her programlanabilir işlemin toplam bolluğu revize edilerek ortaya dinamik öncelik şeması çıkarılmaktadır.

SPAR-1, elastik kaynak gereksinimine de uyumlu olup işlem süresi ona ayrılan kaynak miktarının bir fonksiyonu olabilir. Bundan dolayı kritik bir işlemin programlanması istendiğinde daha önceden programlanmış olan bir işlemde kaynağı ödünç almak veya kiralamak mümkündür. Program bu yol ile kaynakları ödünç alma olanağını araştırır ve sonra kritik işlemi gerçekleştirecek miktardaki yeterli kaynağı tahsis ederek daha önceden sıralanmış olan kritik olmayan işlemlerin yeniden programlanmaları olanaklarını inceler. Daha sonra, eğer programlamada artık kaynak kalmışsa, bu programlanan işlemlerin sürelerinin azaltılması için kullanılır.

Paralel stratejinin uygulanmasında SPAR-1 algoritması programlanacak tercihli kümedeki işlemlerin seçilmesi için rassal seçim işlemini kullanır. Bu rassal seçim mekanizması ile bütün program çeşitli kereler tekrarlanarak tüm program örnekleri elde edilir ve bunların arasından en iyi program seçilebilir [54].

WIEST, SPAR-1 algoritması ile tek kaynaklı ve 1200 faaliyetten oluşan 300 gün süren bir projeyi 5-10 dakikalık bir hesaplama zamanı kullanarak programlamanın mümkün olabileceğini belirtmektedir. Bu algoritmanın akış şeması Şekil 5-4'de verilmiştir.





ŞEKİL 5-4
SPAR-1 Algoritmasına Ait Akış Şeması

5.3.4. Tek Kaynak Kısıtlı Tek Proje Programlanmasında Kullanılan Sezgisel Teknikler:

Tek kaynak kısıtına bağlı tek proje programlama problemine ELSAYED (1986) tarafından sezgisel bir algoritma kullanılarak çözüm aranmıştır [55]. Amaç denklemi, proje süresinin minimizasyonu olarak alınmıştır.

$$\text{Minimizasyon : [maksimum (} s_i + d_i \text{)]} \quad (5.23)$$

Kısıtlar:

$$s_i \geq \text{maksimum (} s_j + d_j \text{)} \quad , j \in P_i \quad (\text{öncelik k.}) \quad (5.24)$$

$$a_k \geq \sum_{i \in A_t} r_{ik} \quad (\text{kaynak kısıtı}) \quad (5.25)$$

Burada:

s_i : i işleminin başlama zamanı

d_i : i işleminin süresi

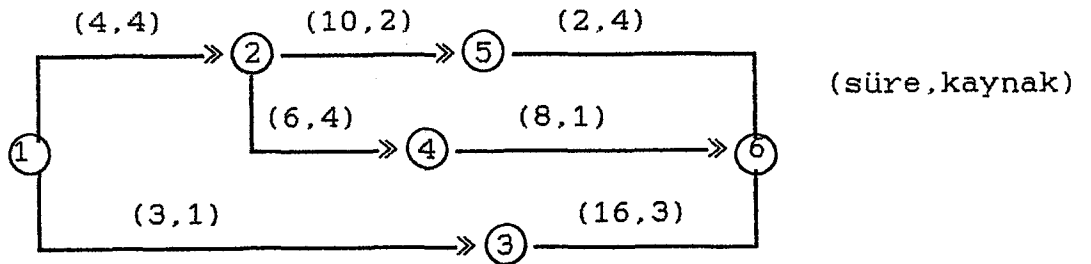
P_i : i işleminden önce gelen işlemler kümesi

a_k : k kaynağının eldeki mevcut miktarı

A_t : t anında aktif olan işlemler kümesi

r_{ik} : i işleminin gereksinim duyduğu k kaynak miktarı

olarak tanımlanır. Bu problemin sezgisel teknik kullanarak çözümünü göstermek amacıyla, Şekil 5-5'deki gibi bir şebeke ele alınmıştır:



ŞEKİL 5-5
Tek Kaynak Kısıtlı Tek Proje Şebekesi

Sezgisel algoritma için seçilen tanımlamalar ve kriterler aşağıdaki şekildedir:

w : Özel ağırlık katsayısı.
 $0 \leq w \leq 1$

ACTIM : Bir işlemin şebeke üzerindeki herhangi bir yolda kontrol edebileceği maksimum süre.
 $ACTIM(1-2) = \max (4+10+2; 4+6+8) = 18$

ACTRES : Bir işlemin şebeke üzerindeki herhangi bir yolda kontrol ettiği sürelerle kaynak miktarları çarpımının toplamı arasında maksimum toplamın seçimidir.
 $ACTRES(1-2) = \max(4 \times 4 + 10 \times 2 + 2 \times 4 ; 4 \times 4 + 6 \times 4 + 8 \times 1) = 48$

Normalizasyon: Her bir işlem için seçilen kriter değerinin o kriterin en büyük değerine oranı.

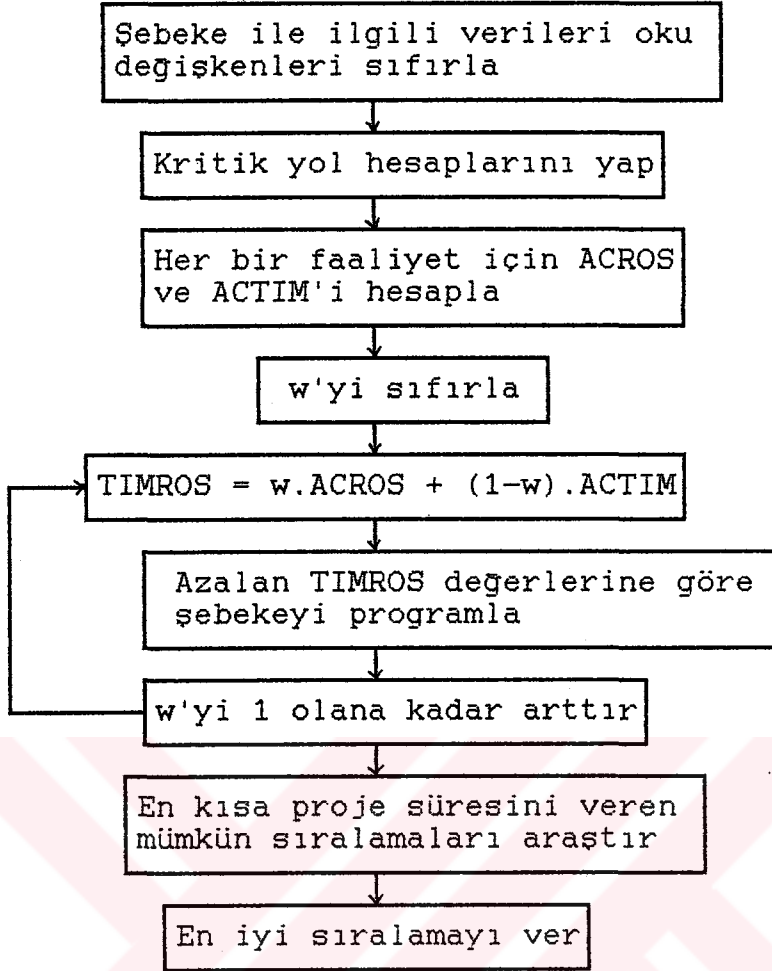
GENRES : İşlemlere ait normalize edilmiş ACTIM ve ACTRES değerlerinin ağırlıklı toplamıdır.
 $GENRES = w.ACTRES + (1-w).ACTIM$

TIMRES : Bir işleme ait normalize edilmiş ACTIM ve ACTRES değerlerinin toplamının yarısı.
 $TIMRES(1-2) = 1/2 (94.73+94.11) = 94.42$

ACROS : Bir işlemin şebeke üzerindeki herhangi bir yolda kontrol edebileceği maksimum kaynak miktarı
 $ACROS(1-2) = \max (4+2+4; 4+4+1) = 10$

TIMROS : İşlemin normalize edilmiş ACROS ve ACTIM değerlerinin ağırlıklı toplamı.
 $TIMROS = w.ACROS + (1-w).ACTIM$

İşlemlerin TIMROS kriterine göre programlanması ile ilgili akış şeması Şekil 5-6'da verilmiştir:



ŞEKİL 5-6
TIMROS Sezgisel Algoritmasına Ait Akış Şeması

Gerçekleştirilen çalışmada, 0'dan 1'e kadar değişen değerlerde ağırlık faktörleri kullanılmıştır. Bu ağırlık faktörlerine bağlı olarak hesaplanan proje süreleri Tablo 5-2'de verilmiştir:

TABLO 5-2
w Faktörünün Proje Süresi Üzerindeki Etkisi

w	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
süre	34	34	34	34	28	28	34	34	34	34	34

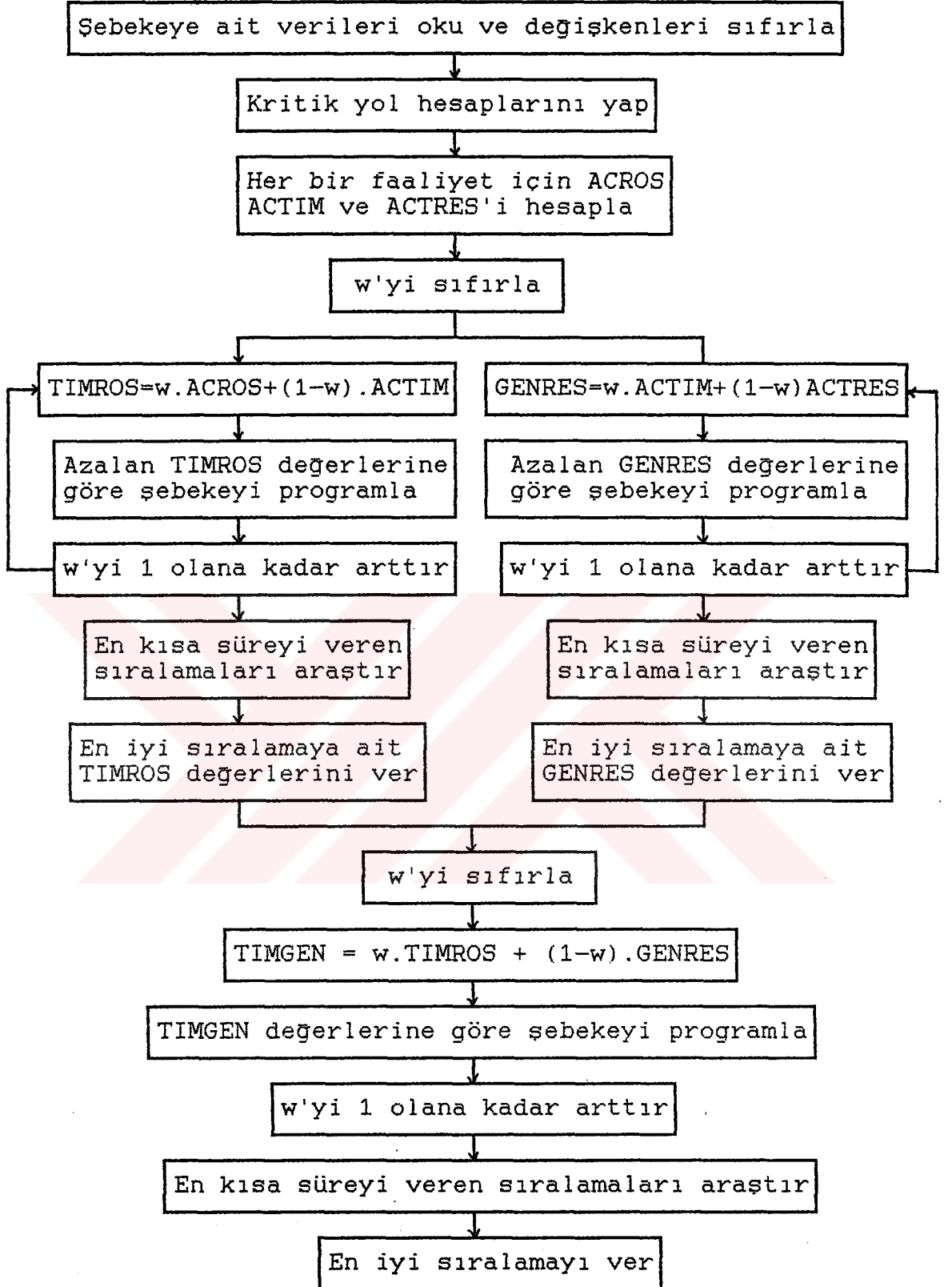
En kısa proje süresini sağlayan ağırlık değerlerinin 0.4 ile 0.5 olduğu görülmektedir. TIMROS sezgisel algoritması, işlemin şebeke üzerinde kontrol edebildiği maksimum süre ile maksimum kaynak miktarının ağırlıklı ortalaması şeklinde hesaplanmaktadır. Böylece süre ve kaynak kısıtları dikkate alınarak proje programlanması yapılabilmektedir. Ağırlı faktörünün 0.5 civarında en iyi sonucu vermesi süre ve kaynak miktarı kriterlerinin aynı öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Tek kaynaklı tek proje programlanması ile ilgili diğer bir sezgisel algoritma da TIMGEN algoritmasıdır. Bu algoritma TIMROS'un daha geliştirilmiş bir şekli olup ACTRES kriterine de yer vermektedir. Bunun anlamı işlem süresi ile o işlemin kullandığı kaynak miktarının çarpımının da ağırlıklı bir değer olarak öncelik kuralının belirlenmesi aşamasında yer almasıdır. TIMGEN algoritmasına ait akış seması Şekil 5-7'de verilmiştir.

Farklı işlem sayıları içeren otuz şebeke üzerinde yukarıda belirtilen kriterlerin proje süresi üzerindeki etkileri incelenmiş ve sonuçlar Tablo 5-3'de verilmiştir:

TABLO 5-3
Verilen Kritere Bağlı Olarak En Kısa Sürenin
Sağlandığı Şebeke Sayısı

Kriterler	Kriterin en kısa süreyi verdiği şebeke sayısı
TIMGEN	30
TIMROS	23
GENRES	10
ACTIM	4
TIMRES	3
ACTRES	2

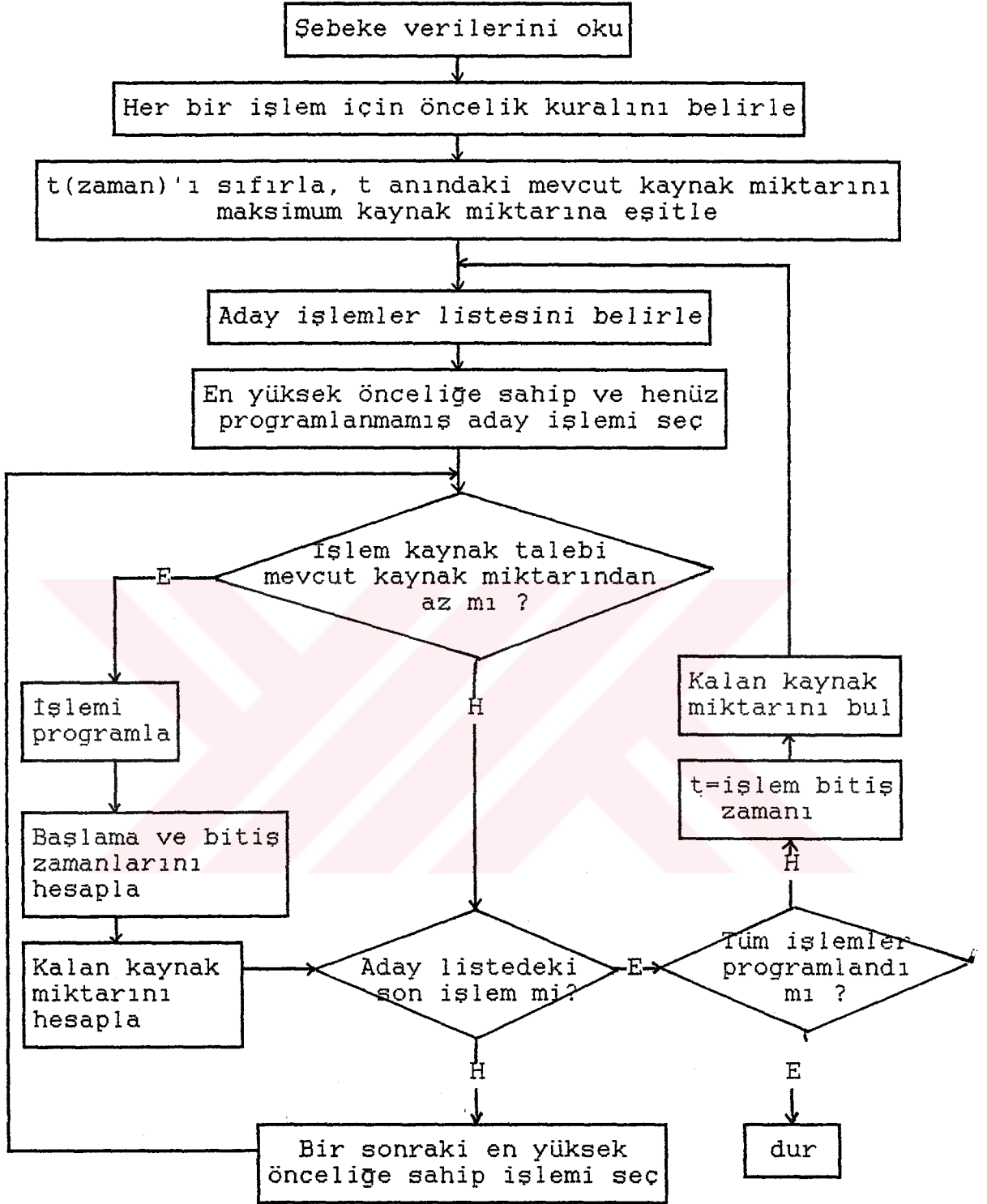


SEKİL 5-7
TIMGEN Sezgisel Algoritması Akış Şeması

KHATTAB ve CHOOBINEH (1990), TIMGEN algoritmasının ağırlık faktörleri kullanması zorunluluğu yüzünden karmaşık bir yapıya sahip olduğunu, ayrıca işlemlerin programlanması için gereken kritik yolu standart PERT-CPM tekniğini kullanarak hesaplamanın bir dezavantaj olduğunu belirterek daha etkin bir algoritma önermişlerdir [56]. İşlem sürelerini, kaynak talebini ve işlemlerin şebekedeki yerlerini dikkate alan sekiz adet öncelik kuralı kuralı kullanan bu algoritma kritik yol hesaplamasına ihtiyaç duymamaktadır. Kullanılan öncelik kuralları aşağıda verilmiştir:

- 1-
$$\frac{\text{İşlem süresi} + \text{Bütün ardıl işlemlerin süresi}}{\text{İşlemin kaynak talebi} + \text{Ardıl işlemlerin kaynak talebi}}$$
- 2- Bütün ardıl işlemlerin sürelerinin toplamı
- 3-
$$(\text{İşlem süresi} + \text{Bütün ardıl işlemlerin süresi}) - (\text{Öncül işlemlerin süresi})$$
- 4- İşlem süresi + bütün ardıl işlemlerin süresi
- 5-
$$\frac{\text{İşlem süresi} + \text{ardışık ardıl işlemlerin süresi}}{\text{ardışık ardıl işlemlerin sayısı}}$$
- 6-
$$\frac{\text{ard.ardıl işlem süresi} / \text{ard.ardıl işlem kaynak talebi}}{\text{işlem kaynak talebi} / \text{işlem süresi}}$$
- 7- İşlem kaynak talebi
- 8-
$$\frac{\text{İşlem süresi}}{\text{İşlem kaynak talebi}}$$

Bu sekiz öncelik kuralını kullanan sezgisel programlama algoritması Şekil 5-8'de verilmiştir:



ŞEKİL 5-8
Tek kaynaklı Tek Proje için Sezgisel
Algoritma Akış Şeması

5.3.5. Çok Kaynak Kısıtlı Tek Proje Programlanmasında Kullanılan Sezgisel Teknikler

Kısıtlı kaynaklı proje programlamasında COOPER (1976) sezgisel algoritması. çok kaynak kısıtlı tek proje programlamada proje süresinin minimizasyonunu veya kaynak kullanım faktörünün (UF=Utilization Factor) maksimizasyonunu içeren öncelik kurallarının seçimine dayanır [57]. Problemin formülasyonu aşağıda verilmiştir:

Tek proje durumunda amaç fonksiyonu:

$$PDUR_{min} = \text{Maks}_{i \in A} [s_i + d_i]. \quad (5.26)$$

Burada:

PDUR: Proje süresi.

i : İşlem numarası.

A : N adet işlemden oluşan küme (Proje).

s_i : i işleminin başlama zamanı.

d_i : i işleminin süresi.

Farklı tiplerdeki projelerde seçilen öncelik kuralının performansının test edilmesi ve birbirleri ile karşılaştırmalarının yapılmasını sağlamak açısından amaç denklemi kaynak kullanım faktörünün (UF) maksimizasyonu olarak değiştirilebilir:

$$UF_{maks} = \sum_{k=1}^K \frac{\sum_{i \in A} d_i r_{ik}}{R_k \cdot PDUR} \cdot \frac{100}{K} \quad (5.27)$$

Burada:

K : Farklı kaynak tipi sayısı

k : Kaynak sayısı

r_{ik} : i işleminin k kaynak talebi

R_k : Mevcut k kaynak miktarı

Öncelik kısıtı:

$$s_i \geq s_j + d_j, \quad j \in P_i \quad (5.28)$$

Burada:

P_i : i 'den önce gelen işlemler kümesi.

j : i 'den önce gelen işlem.

Kaynak kısıtı:

$$\sum r_{ik} \leq R_{kt} \quad (5.29)$$

Burada:

R_{kt} : t döneminde k kaynağından mevcut miktar.

şeklinde problemin formülasyonu yapılmıştır. Bu problemin paralel sezgisel yöntemle çözümü ise aşağıdaki şekildedir:

İlk önce programlanacak işler kümesi olan A kümesinin bir alt kümesi olan X kümesini oluşturan işlemlerin başlama zamanlarını içeren kısmi program T_x oluşturulur. Herhangi bir iş X kümesinde ise, o işden önce gelen bütün işler de, kaynak kısıtları ile çelişmeyecek şekilde bu X kümesinde yer alırlar.

Daha sonra T_x kümesinin büyütülmesi amacıyla kaynaklar açısından programlanmaya uygun olan işlemler AV_x kümesinde toplanırlar. Bunlar kendileri henüz X kümesinde yer almayan, ancak kendilerinden önce gelen bütün işler X kümesinde yer alan işlerdir ($AV_x = \{i: i \in X, (j \in X, j \in P_i)\}$).

AV_x kümesindeki i işleminin başlayabileceği en erken zaman σ_i olarak tanımlandığında, " AV_x 'deki i işleminin programlanması" demek σ_i 'nin belirlenmesi ve $s_i = \sigma_i$ olan işlemlerin X kümesine dahil edilmesi anlamına gelir. Bu tanımlara bağlı olarak paralel yöntem dört adımdan oluşur:

1. adım: Boş bir kısmi program oluşturulması ($X = 0$).
2. adım: Uygun işler kümesi AV_n 'in yaratılması. Eğer AV_n boş küme ise, dur. (Bütün işler programlanmış). Aksi takdirde 3. adıma geç.
3. adım: AV_n kümesinden öncelik kuralına göre j işini seç.
4. adım: Seçilen işi programla. (σ_j 'yi bul; $s_j = \sigma_j$ yap; $X = X \cup \{j\}$ yap) ; 2. adıma dön.

Üçüncü adımda sözü geçen öncelik kuralı, X kümesi büyüdükçe değişebilir ve farklı bir kural uygulanabilir.

COOPER, bir çok farklı öncelik kuralının sezgisel yöntemlerle yaratılan 32 program üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu öncelik kurallarının bazıları sırasıyla:

- en önce gelen iş
- minimum geç başlama zamanı olan iş
- minimum erken bitiş zamanı olan iş
- minimum geç bitiş zamanı olan iş
- en az bolluğu olan iş
- en kısa işlem süresi olan iş
- en uzun işlem süresi olan iş
- kendinden hemen sonra gelen iş sayısı en fazla olan iş
- bir sonraki adımda en büyük AV_n kümesi yaratan iş
- rassal değişken değeri en büyük olan iş
- kendinden sonra gelen toplam iş sayısı en fazla olan iş
- pozisyonel sıra ağırlığı en büyük olan iş ($rpw_i = d_i + \sum d_j$)
- kaynak durumuna göre ilk başlayacak iş ($1/(\sigma_i - 1)$)
- kendinden sonra gelen işler en az bolluğa sahip olan iş
- kümülatif eşdeğer kaynak süresi en fazla olan iş

olarak verilmiştir. En sondaki beş öncelik kuralının, çok kaynaklı tek proje programlamada diğer öncelik kurallarına nazaran daha başarılı sonuçlar verdiği COOPER tarafından belirtilmektedir.

DAR-EL, (1978) çok kaynak kısıtlı proje programlanması problemine alternatif kaynak bileşimleri (ARC=Alternative Resource Combinations) kriterini kullanarak bir çözüm aramıştır [58,59]. Diğer bir deyişle, her bir işlem. farklı kaynak tiplerinin bir veya daha fazla sayıda değişik karması kullanılarak farklı sürelerde gerçekleştirilme imkanına sahip olabilir. Farklı tipdeki kaynak miktarlarının karmasının seçimine teknoloji alternatifi adı verilir. Kapasite yüklenmesi ile ilgili kısıtlara bağlı olarak farklı teknoloji alternatifleri arasında proje uzamasını en aza indirecek seçim yapılır.

Kullanılan sezgisel algoritmanın amacı, proje süresine bağlı olarak toplam proje maliyetinin minimize edilmesidir. Problemin girdileri, her işleme ait alternatif kaynak bileşim sayıları, kaynaklara ait maliyet denklemleri ve kaynak miktarlarındaki değişmelere bağlı olarak işe alma ve isten çıkarma maliyetlerinden oluşmaktadır. Algoritma, verilmiş herhangi bir proje süresi için, minimum maliyeti sağlayacak şekilde işlemlerin kaynak bileşimi alternatiflerini seçer. Oluşturulan üç boyutlu bir ijk matrisi ile, i işleminin tamamlanması için gereken k adet kaynak miktarı j adet farklı kaynak bileşimi alternatifinden biri seçilerek gerçekleştirilir. Bu amaçla işlemlerin hangi kaynak bileşimlerinden ne kadar kullanacaklarını gösteren bir kaynak kullanım matrisi oluşturulur:

SORCE (i,j,k): i işleminin j . kaynak bileşimi alternatifindeki k . kaynaktan kullanım miktarı.

Konu maliyetler açısından ele alındığından, kaynak ağırlık faktörü (μ) ve alternatif ağırlık oranı ($w_1(ARC_j)$) adı altında iki yeni tanım yapılmaktadır.

$$\mu_k = \frac{\text{k. kaynağın maksimum eğimi}}{\text{maksimum eğimler toplamı}}$$

$$\sum_{k=1}^p \mu_k = 1 \quad (5.30)$$

$$w_1 = \sum \mu_k \cdot \text{SORCE} (i, j, p+1) \cdot \text{SORCE} (i, j, k) \quad (5.31)$$

Burada:

k: kullanılan kaynak no'su.

p: toplam kaynak grubu sayısı.

i: işlem no'su.

j: i işleminin kaynak bileşim alternatifi no'su.

$\text{SORCE} (i, j, p+1)$: ARC, alternatifi seçildiğinde işlem süresi.

Kullanılan kaynakların ağırlık faktörü (μ), her bir kaynağın diğer kaynaklara nazaran göresel maliyetini ele almaktadır. Her bir işlemin ağırlık oranı (w_1) ise teknoloji alternatiflerinin maliyetlerini göresel olarak değerlendirmektedir.

Bu tanımlamalara bağlı olarak, her bir işlem için alternatiflerin en küçük ağırlık oranından farkına göre arzu edilen proje süresini sağlayacak temel sıralar elde edilmekte ve daha sonra alternatiflerin proje süresini aşmayacak şekilde yeniden seçilmesiyle maliyetler minimize edilmektedir.

Bu yöntemde işlem sürelerinin proje bazında değişken ancak seçilen teknoloji alternatifi bazında sabit olduğu varsayımında bulunmaktadır. Toplam proje maliyetinin minimizasyonun hedeflendiği bu sezgisel yöntem, projenin gecikmesine bağlı olan maliyetleri dikkate alarak hangi teknoloji alternatiflerinin seçileceğini belirler. Bu yöntem genellikle değişken kaynak ataması modellerinde uygulanmaktadır.

Çok kaynaklı tek proje programlamasında kullanılan sezgisel yöntemlerde işlem önceliklerini belirlemek için kullanılan önemli bir karar ölçütü de, ivedi programlama faktörüdür (scheduling urgency factor). Bu konuda THESEN (1976) tarafından geliştirilen bir algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir [60]:

1) Değişkenlere başlangıç değerlerinin atanması.

a) Kaynaklarla ilgili değişkenlere ait tanımlamalar:

w_{ij} : j işleminin gereksinim duyduğu i kaynak miktarı
 w_i : eldeki mevcut i kaynak miktarı
 d_j : j işleminin süresi
 R_j : j işleminden önce gelen işlemler kümesi
 LFT_j : j işleminin geç başlama zamanı

b) İşlem kümelerine ait tanımlamalar:

A = (henüz programlanmamış işlemler kümesi)
C = (t anında programlanmaya uygun işlemler kümesi)
F = (t anında tamamlanmış işlemler kümesi)
P = (t anında işlem gören işlemler kümesi)
S = (t anında başlaması programlanan işlemler kümesi)

c) Programlamaya ait değişkenlere ait tanımlamalar:

t'_j : j işleminin programlanan başlama zamanı
 t''_j : j işleminin programlanan bitiş zamanı
 s_j : j işleminin bolluğu
 w_i : t anında kullanılan i kaynak miktarı
 c_j : t anında j işleminin rölatif ivediliği
 t_{now} : şimdiki t anı

d) Programlama için başlangıç değerlerinin atanması:

$t_{now} = 0$
A = tüm işlemler kümesi
C = kendinden önce gelen işlem olmayan işlemler
 $w_i = 0$ (bütün i'ler için)

2) t anında başlayan işlemlerin seçiminin yapılması:

- a) Uygun işlemler kümesindeki her j işlemi için c_j ivedi programlama faktörünü hesapla.
- b) Aşağıda verilen çok boyutlu sırtçantası (knapsack) problemini çöz:

$$\text{Amaç denklemi: } Z_{\max} = \sum_{j \in C} c_j \cdot X_j \quad (5.32)$$

$$\text{Kısıtlar: } \sum w_{ij} \cdot X_j + W_i \leq W_i \quad (5.33)$$

$$X_j = 0 \text{ veya } 1. \quad (5.34)$$

- c) t anında başlayan işlemler kümesini oluştur.
 $S = (j : X_j = 1, j \in C)$. eğer $S = 0$, 4b'ye git.

- d) S kümesindeki işlemleri başlat

a) S 'yi henüz programlanmamış işlemler kümesinden ve t anında programlanmaya uygun işlemler kümesinden çıkar. ($A = A - S$; $C = C - S$)

b) S 'yi işlem gören işlemler kümesine ekle.
($P = P + S$)

c) başlama ve bitiş zamanlarını güncelleştir.

$$t_j = t_{\text{now}}, \quad j \in S$$

$$t_j = t_{\text{now}} + d_j, \quad j \in S$$

d) kaynakları yükle: $W_i = W_i + w_{ij}$. $(i, j) \in S$

- 3) Zamanı güncelleştir, biten işlemler ait kaynakları serbest bırak. yeni uygun işlem kümesini oluştur.

a) $t_{\text{now}} = \min_{j \in F} (t_j)$

b) $F = (j: t_j = t_{\text{now}})$, $P = P - F$, $W_i = W_i - w_{ij}$ $(i, j) \in F$

c) $S = (j: j \in A-C, k \in AUP \text{ } (k \in R_j))$

$$C = C \cup S$$

- 4) a) Programlanacak uygun işlem varsa 2'ye git ($C = 0$).
- b) İşlem gören işlem varsa 3'e git ($P=0$).
- c) Programlama bitince dur.

Thesen'in algoritmasında kullandığı yöntem, işlemlere ait ivedilik faktörlerinin (c_j) toplamalarını alarak en çok ivediliği olan uygun işlemlerin kombinasyonunun seçiminin yapılmasını içermektedir. İşlem bazında ele alındığında, c_j değerlerinin hesaplanmasında iki alternatif söz konusudur. Eğer j işleminin gereksinim duyduğu i kaynak miktarı o anda serbest olan kaynak miktarından fazlaysa, c_j değeri hesaplanmaz ve j . programlamaya uygun işlemler kümesinden çıkarılır. Eğer yeterli miktarda kaynak serbest durumda ise, o zaman c_j değeri hesaplanabilir. c_j . işlem başlama zamanındaki gecikmenin proje süresi üzerindeki etkisi (D_j) ile işlem kaynak kullanım oranının (B_j) toplamı şeklinde ifade edilebilir:

$$c_j = B_j + D_j \quad (5.35)$$

Burada:

$$B_j = \sum d_{ij} \cdot w_{ij} / (W_i - W_i) \quad (5.36)$$

$$D_j = a \cdot b \cdot (T - s_j) / (b - 2a) \cdot s_j + T \cdot b \quad (5.37)$$

Parametreler:

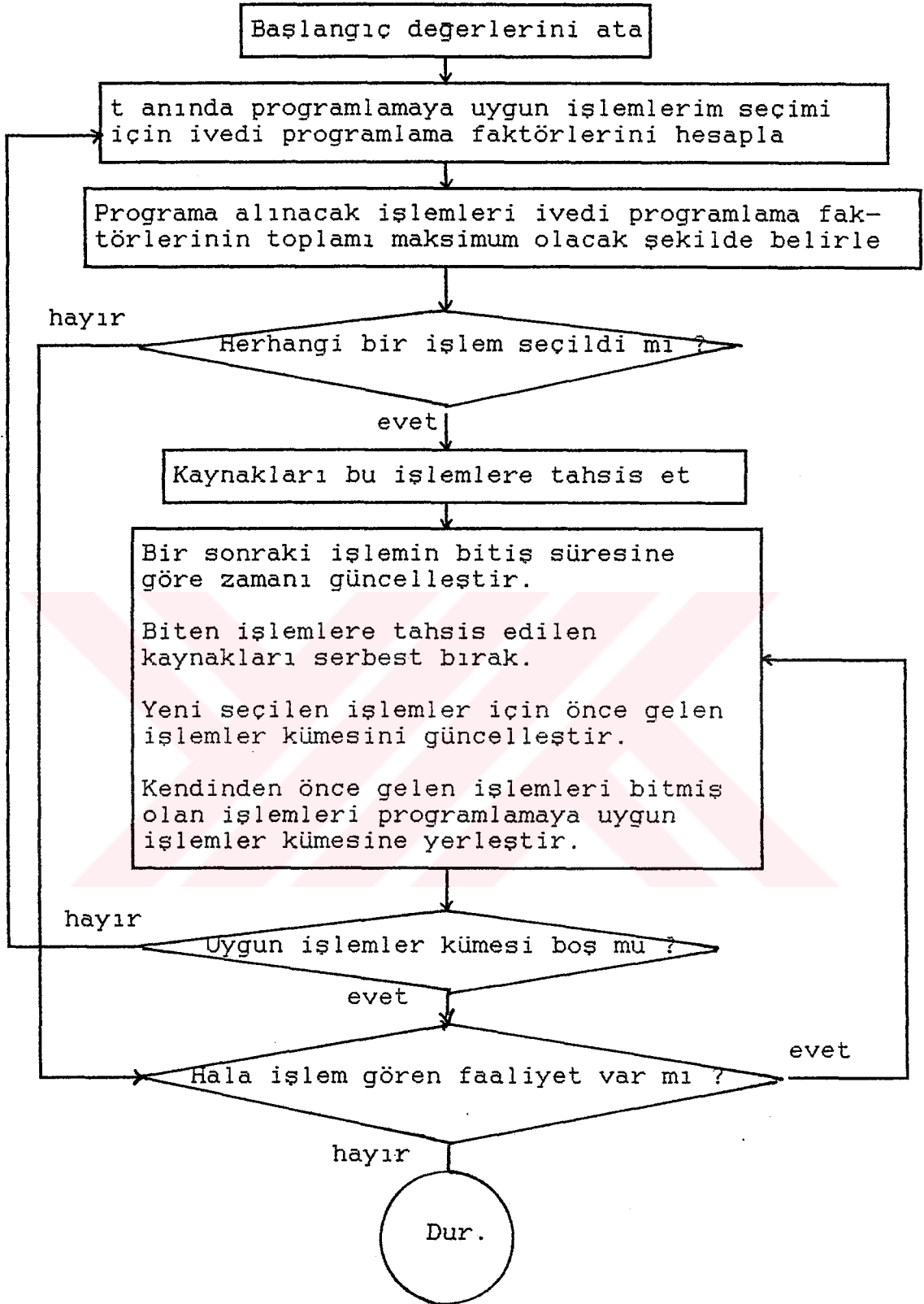
$$s_j = LFT_j - d_j - t_{max}. \quad (\text{işlem bolluğu})$$

$$T = \sum d_j. \quad (\text{maksimum proje süresi})$$

a = Sıfır bolluğa sahip bir işlemin ivedilik faktörünü belirleyen sabit sayı.

b = Maksimum geciktirilebilme bolluğuna sahip bir işlemin ivedilik faktörünü belirleyen sabit bir sayı.

Projede büyük pozitif bolluğa sahip işlemler olması durumunda, D_j değeri ihmal edilebilir. Ancak işlemlerin kritik olduğu durumlarda, D_j değeri büyük önem kazanır. Thesen, sezgisel yaklaşımını rassal olarak seçilmiş şebekelerde farklı ivedilik faktörleri kullanarak denemiş ve çözüm süresinin ivedilik faktörüne bağlı olarak büyük değişiklikler gösterdiğini belirtmiştir.



ŞEKİL 5-9
İvedi Programlama Faktörü Kullanımını
Gösteren Sezgisel Algoritmanın Akış Şeması

5.3.6. Çok Kaynaklı Çok Proje Programlamasında Kullanılan Sezgisel Teknikler

Çok kaynak kısıtı altında çok proje programlanmasında kullanılan sezgisel tekniklerin çok aşamalı modellerinden biri KURTULUS ve DAVIS (1982) tarafından ele alınmıştır [61]. Varsayım olarak, işlem öncelik ilişkileri ve işlem süreleri deterministik olarak alınmış ve her bir işlem için gereken kaynak miktarı ve farklı kaynak gruplarının adedi sabit kabul edilmiştir. Amaç denklemi olarak, toplam proje süresindeki gecikmenin minimizasyonu hedeflenmiştir. Programlama için göz önüne alınan iki ölçüt, Ortalama Kaynak Yük Faktörü (ARLF=Average Resource Load Factor) ve Ortalama Kullanım Faktörü (AUF=Average Utilization Factor) ölçütleri olmuştur.

Ortalama Kaynak Yük Faktörü, kaynak gereksinimlerinin t anında oluşan zirve noktasının projenin kritik yol süresi esas alındığında, projenin ilk yarısında mı yoksa ikinci yarısında mı oluştuğunu belirler. Problemin formülasyonu:

$$Z_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } t \geq CP_i/2 \text{ ise} \\ -1 & \text{eğer } t < CP_i/2 \text{ ise} \end{cases} \quad (5.38)$$

$$X_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ projesine ait } j \text{ işi } t \text{ anında aktif ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.39)$$

olarak tanımlandığında, i projesi için:

$$ARLF_i = 1 / CP_i \sum_t \sum_{k=1} \sum_{j=1} Z_{ijt} \cdot X_{ijt} \cdot (r_{ijk} / K_{ij}) \quad (5.40)$$

olarak elde edilir.

Burada:

CP_i : i projesinin kritik yol süresi

K_{ij} : i projesindeki j işleminin gereksinim duyduğu kaynak tipi sayısı

N_i : i projesindeki işlem sayısı

r_{ijk} : i projesindeki j işleminin gereksinim duyduğu k tipi kaynak miktarı

olarak tanımlanmıştır. Çok proje ortamındaki ARLF değeri ise, her projeden elde edilen değerlerin ortalamasıdır. Burada r_{ijk} değeri para olarak tanımlanırsa, ARLF proje nakit akışlarının maksimumunu bulmakta kullanılabilir.

ikinci ölçüt olan Ortalama Kullanım Faktörü (AUF), her kaynağın ortalama kısıtlılık derecesini göstermektedir. Her zaman aralığında kaynak talebinin kaynak kapasitesine olan oranı hesaplanarak, bu oranın 1'den küçük olduğu durumlarda proje süresinde bir gecikmenin söz konusu olduğu bulunur. Projelerin kritik yol süreleri artan sırada dizilerek, her bir proje bitiminde kaynak profilinin değiştiği bir kırılma noktasının bulunduğu aralıklar yaratılır:

$$S_1 = CP_1, \quad S_2 = CP_2 - CP_1, \dots, \quad S_M = CP_M - CP_{M-1}$$

M: Proje sayısı S: Aralık sayısı

Daha sonra, herhangi bir aralıkta gereksinim duyulan k tipi kaynağın toplam miktarı bulunur:

$$W_{SLk} = \sum_{t=a}^b \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} r_{ijk} \cdot X_{ijt} \quad (5.41)$$

L : dönem sayısı

W_{SLk} : L aralığında gereken k tipi kaynağın toplam miktarı

a : CP_{L-1}

b : CP_L

N_i : i projesindeki işlem sayısı

r_{ijk} : i projesindeki j işleminin k tipi kaynak talebi

Buradan elde edilen W_{SLk} değerinin, her bir aralıktaki maksimum kaynak tipi mevcuduna ($R_{maks.k}$) oranı, ortalama kaynak kullanım faktörünü verir:

$$AUF_k = (1/M) \cdot \sum_{L=1}^M W_{SLk} / (R_{maks.k} \times S_L) \quad (5.42)$$

Böylece projelere ait AUF ve ARLF değerleri kullanılarak, çok proje ortamında sezgisel sıralama algoritmalarında hangi öncelik kuralının en iyi sonucu verdiği (en az proje gecikmesini sağlayan sonuç) Tablo 5-4'de gösterilmiştir:

TABLO 5-4
ARFL ve AUF'ye Bağlı Olarak En İyi Kural

ARFL değeri aralıkları	AUF aralıkları	
	0.6 : 0.8	0.9 : 1.6
-3.5 : -2.5	MINSLK	SASP
-2.5 : -1.5	MAXTWK	SASP
-1.5 : -0.5	SASP	MAXTWK
-0.5 : 0.5	MINSLK	SASP, SOF, MAXTWK
0.5 : 1.5	SASP	SASP
1.5 : 2.5	MINSLK	MOF, SASP
2.5 : 3.5	MINSLK	SASP

Buradaki öncelik kurallarının tanımları şu şekildedir:

MINSLK: en az bolluğu olan en önce

MAXTWK: maksimum toplam iş miktarına sahip olan en önce

SASP : en kısa süreli projedeki en kısa süreli işlem

SOF : en kısa işlem süreli işlem en önce

MOF : en fazla işlem süreli işlem en önce

En kısa sürede yani optimum sonuca en yakın sürede proje programlamasını sağlayabilecek olan öncelik kurallarının seçimi ve bunların birbirleri ile karşılaştırılmaları DAVIS ve PATTERSON (1975) tarafından yapılmıştır [62]:

Patterson ve Davis, çok kaynak kısıtına bağlı olan çok proje programlaması problemlerine bir çözüm bulabilmek için geliştirmiş oldukları sezgisel algoritmalar için 8 öncelik kuralı belirlemişlerdir.

Bunlar sırasıyla:

- Minimum işlem bolluğu (MINSLK)
- Kaynak sıralama yöntemi (RSM): $d_{i,j}$, i işlemini takip eden j işleminin toplam proje süresinde yarattığı artış olarak tanımlanırsa, minimum $d_{i,j}$ değerine sahip olan işleme öncelik verilir:

$$d_{i,j} = \max[0; (EFT_i - LST_j)] \quad (5.43)$$

EFT_i = i işleminin erken bitiş zamanı

LST_j = j işleminin geç başlama zamanı

- Minimum geç başlama zamanı (LFT)
- En fazla kaynak talebi (GRD): Her türden en çok toplam kaynak miktarına gereksinim duyan işlemlere öncelik verilir. Matematiksel formülasyonu;

$$\text{Öncelik verilecek işlem} = d_j \sum_{i=1}^m r_{i,j} \quad (5.44)$$

Burada:

d_j = j işleminin süresi

$r_{i,j}$ = j işleminin dönem bazında gereksinim duyduğu i tipi kaynak miktarı

m = değişik kaynak tipi sayısı

- En fazla kaynak kullanımı (GRU): Atıl kaynak miktarını minimize edecek şekilde maksimum kaynak kullanımını içeren işlemler kümesine öncelik verilir.
- En kısa süreli iş (SIO)
- Mümkün olduğunca fazla iş (MJP): Her dönemde, kaynak kısıtları ile çakışmayacak şekilde müsaade edilebilen en fazla işlem sayısını oluşturan kümeye öncelik verilir.
- Rassal işlem seçimi (RAN).

Bu öncelik kuralları, örtülü sayılama tekniğiyle optimum sonucu önceden bulunmuş olan 83 değişik tipdeki problem üzerinde test edilmiş ve sezgisel olarak elde edilen proje sürelerinin optimum sonuca göre karşılaştırmaları yapılmış ve sonuçlar Tablo 5-5'de verilmiştir:

TABLO 5-5
Sezgisel Sıralama Kurallarının Karşılaştırılması

Sonuçlar	Sezgisel Sıralama Kuralları							
	MINSLK	RSM	LFT	RAN	GRU	GRD	SIO	MJP
Optimum sonucu aşma oranı(%)	5.6	6.8	6.7	11.4	13.1	13.1	15.3	16
Optimum süreyi veren prob.sayısı	24	12	17	4	2	11	1	2

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi, minimum işlem bolluğu, kaynak sıralama yöntemi ve en geç başlama zamanı kriterlerinden oluşan sezgisel öncelikler grubu, diğer beş sezgisel öncelik kuralından oluşan gruba göre, optimum proje süresine sağlayabilme açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

5.4. Kaynak Kısıtı Olarak Proje Nakit Akışlarını Hedef Alan Teknikler:

Literatürde. proje planlaması tekniklerinin uygulandığı çalışmaların büyük bir kısmının, proje süresinin, kaynak ve öncelik ilişkileri kısıtlarına bağlı olarak enazlanması hedefleyen çalışmalar olduğu göze çarpmaktadır. Diğer bir araştırma konusunu da, belirlenmiş bir proje süresi içinde kaynakların dengelenmesi oluşturmaktadır. Ancak, yüksek sermaye maliyetleri ve faiz oranları, projenin net şimdiki zaman değerinin ençoklanması bazı durumlarda daha uygun bir hedef olabileceğini göstermiştir. Paranın zaman değerini gözönüne alarak projenin net şimdiki zaman getirisini ençoklamayı hedefleyen çalışmalar son yıllarda yapılan bir çok araştırmada göze çarpmaktadır. Özellikle sermaye yoğun projelerde, sağlam bir nakit akışı öngören yönetim politikasının oluşturulması projenin şimdiki zaman değerinin hesaplanmasına destek olmaktadır.

5.4.1. Tek Proje Durumunda Nakit Akışı Programlaması

Projenin şimdiki zaman değerini ençoklamayı hedefleyen algoritmaların kullanımının başlangıcı, RUSSELL'in (1970) proje programlanmasında nakit akışlarını dikkate alan bir şebeke oluşturması ile başlar [63]. Russell'in yaklaşımındaki temel felsefe, temel problemi aktarma problemleri kümesi haline dönüştürerek çözmek olmuştur. İşlemlerin oklar üzerinde gösterildiği bir şebekede, seçilmiş düğümler üzerinde belirlenmiş nakit akışları tanımlanarak, bunlar anahtar olaylar diye adlandırılır ve projenin net şimdiki zaman değerini maksimize edebilmek için anahtar olayların hangi zamanlarda gerçekleşmesi gerektiği araştırılır. i düğümündeki a_i nakit akışı, proje yönetiminden işlemler için ödemelerin yapılması veya müşteriden proje yönetimine ödemelerin yapılması durumlarına bağlı olarak negatif veya pozitif değerler alabilir. Genellikle, projenin başlangıç zamanlarında, işlemler için yapılan harcamaların müşteriden gelen ödemelerden daha çok olması nedeniyle nakit akışları

negatif değerler alır, projenin sonlarına yaklaşıldığında müşteri ödemeleri arttığından pozitif bir duruma dönüşür.

Burada, iki önemli varsayım söz konusudur. Birinci varsayım, a_i nakit akışının i anahtar olayının gerçekleşme zamanından bağımsız olmasıdır. İkinci varsayım ise, nakit akışları kümesinin önceden bilindiği varsayımını içerir. m adet işlemden oluşmuş olan ve her bir işlemin sabit bir d_k ($k=1,2,\dots,m$) süresi olan bir projede her biri T_i anında gerçekleşen n adet olay vardır ve her olayla ilgili bir a_i ($i=1,2,\dots,n$) nakit akışı değeri söz konusudur. Projenin sermaye maliyetini gösteren r değerini içeren iskonto faktörü β değerinin bilindiği de öngörülerek, amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılır:

$$Z_{\max} = \sum_i a_i \cdot \exp(-\alpha T_i) \quad (5.45)$$

Burada:

$$\exp(-\alpha) = 1/(1+r) = \beta$$

olduğundan, amaç denklemi şu şekilde değiştirilebilir:

$$Z_{\max} = \sum_i a_i \cdot \beta^{T_i} \quad (5.46)$$

Bu denklemin kısıtlarını zaman öncelikleri oluşturur:

$$T_{i(k)} + d_k \leq T_{j(k)} \quad k = 1,2,\dots,m. \quad (5.47)$$

Burada $i(k)$, k işlemini başlatan olayı, $j(k)$ ise k işlemini bitiren olayı tanımlar.

Russel, bu iki denklemden oluşan bu doğrusal olmayan programlama problemini, Taylor serisini kullanarak ve bu açılımın ilk terimini alarak doğrusal bir denklem haline dönüştürmüştür. Optimum olmasa da geçerli çözüm sağlayan

olay zamanlarının T_1^* olduğu varsayılarak ve β iskonto faktörünün, $\beta = 1 / (1+r) = e^{-r}$ olduğu bilinerek, T_1^* 'a yaklaşan T_1 değerleri için aşağıdaki denklem oluşur:

$$\begin{aligned} \sum_i a_i \cdot \exp(-\alpha T_1) &= \sum_i a_i \cdot \exp(-\alpha T_1^*) - \sum_i (T_1 - T_1^*) a_i \cdot \alpha \cdot \exp(-\alpha T_1^*) = \\ &= \sum_i a_i \cdot \exp(-\alpha T_1^*) - \sum_i T_1^* \cdot a_i \cdot \alpha \cdot \exp(-\alpha T_1^*) - \sum_i T_1 \cdot a_i \cdot \alpha \cdot \exp(-\alpha T_1^*) \\ &= \text{sabit} - \sum_i T_1 \cdot a_i \cdot \alpha \cdot \exp(-\alpha T_1^*) \end{aligned} \quad (5.48)$$

Bu dönüşüm sonucu, amaç denkleminin yeni hali aşağıda verilmiştir:

$$Z_{\max} = - \sum_i T_1 \cdot a_i \cdot \alpha \cdot \beta^{T_1^*} \quad (5.49)$$

Bu doğrusal programlama modelinin dual formülasyonu yapılır ve problem bu şekilde çözülebilir.

GRINOLD, (1972) bu konuda yaptığı bir araştırmada doğrusal kısıtlara sahip doğrusal olmayan bir modelin doğrusal bir modele dönüştürülebileceğini göstermiştir [64,65]. Bu durumda, problemin optimum çözümü, bollukları sıfır değerine sahip olan işlemlerden oluşan bir kümeden oluşmaktadır. Grinold, Markowitz'in ağırlıklı dağıtım problemini çözmede kullanmış olduğu ve bütün matris katsayılarının 0 veya ± 1 değerine eşit olduğu üçgen denklemler sisteminin çözümünü gerektiren algoritmaya bağlı olarak iki çözüm algoritması geliştirmiştir. Birinci algoritma, problemi verilmiş belli bir bitiş süresi için çözmektedir. İkinci algoritma ise, mümkün olan bütün bitiş zamanlarını hesaba katarak optimum çözümü bulmaktadır.

DOERSCH ve PATTERSON, (1977) 0-1 tamsayı programlama modeli geliştirerek sermaye dağıtım kısıtlarına bağlı

olarak projenin net bugünkü zaman değerinin maksimizasyonu problemini incelemişlerdir [66]. Her bir işlemin bitiminde, o işlem için yapılan harcamalar ve müşteriden yapılan ödemeler dikkate alınarak ve projenin gecikmesi durumundaki cezalar gözönüne alınarak amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Her k işleminin bitiminde, o işleme yapılan harcamaları gösteren bir v_k işlem değeri ortaya çıkmaktadır:

$$v_k = \sum_{l=1}^{d_k} a_{kl} \cdot \exp(\alpha(d_k - l)) - c_k \cdot \exp(\alpha(d_k)) + c_k \quad (5.50)$$

Burada:

- d_k = sabit işlem süresi
- a_{kl} = l döneminde k faaliyetine ait nakit akışı
- e^α = bileşik faiz = $1/\beta$
- c_k = k işleminin gerektirdiği sermaye yatırımı

şeklindedir.

Amaç denklemini oluşturan terimler iki gruba ayrılır. Birinci grupta, v_k değerlerinin miktarı ve bu nakit akış miktarlarını proje başlangıcına taşıyacak indirgeme faktörü β' bulunmaktadır.

$$\beta' = \exp(-\alpha t), \quad t = \text{işlemin tamamlanma zamanı}$$

Amaç denkleminin ikinci grubunu oluşturan terim ise projeye ait işlemlerin gecikmesi durumunda uygulanacak olan gecikme cezalarını içerir. Bu miktarlarda aynı şekilde β' indirgeme faktörü yardımı ile projenin başlama zamanına taşınırlar. Modelin kısıtları da, işlemlerin tamamlanma zamanları, öncelik ilişkileri ve sermayenin paylaşılması kısıtlarından oluşur. Sermayenin paylaşılması kısıtının iki anlamı vardır. İlki, belli bir dönem boyunca işlem gören faaliyetlere tahsis edilecek olan miktar o dönemdeki kullanılabilir mevcut sermaye miktarını aşamaz. İkincisi,

projenin gecikebilme durumu göz önünde tutularak gecikme cezalarını karşılayabilecek miktarda yeterli sermaye elde bulundurulmalıdır. Bu yöntem teorik amaçlı olup 15 ile 20 işlemden oluşan küçük boyutlu projelerde başarılı sonuçlar vermekte, ancak daha fazla işlem içeren projelerde çözüm bulunamamaktadır. Gerçek hayattaki projeler yüzlerce hatta binlerce işlemi içerdiğinden, kaynaklar ve nakit akışları kısıtlarını dikkate alan orta ve büyük ölçekli projelerin programlanmasında sezgisel algoritmalara başvurulması bir gereksinim halini almıştır.

SMITH-DANIELS ve AQUILANO. (1987) projenin net şimdiki zaman değerinin ençoklanması problemini ele alırken, nakit akışlarının her işlemin başlangıcında proje gideri olarak oluştuğunu ve müşterinin toplam ödemeyi proje bittikten sonra bir defada yaptığı varsayımından hareket etmişlerdir [67]. Literatürde yer alan bir çok problemi test ederek, önce erken başlama kriteri uygulanarak daha sonra da kaynak kısıtları bulunan işlemlerin sağa doğru kaydırılmasını öngören sezgisel algoritmaların, sadece erken başlama kriterini esas alan algoritmalara göre daha yüksek net şimdiki değer artışı ve daha düşük proje tamamlanma süreleri sağladığını göstermişlerdir. Aynı şekilde, geç başlama ölçütüne göre oluşturulan sezgisel algoritmaların hemen hemen aynı net şimdiki değer artışını sağlamalarına rağmen, proje tamamlanma sürelerinin sağa doğru kaydırılmayı gerçekleştiren algoritmalara nazaran daha uzun olduğunu göstermişlerdir.

5.4.2. Çok Proje Durumunda Nakit Akışı Programlaması

Kısıtlı kaynak altında çok proje programlamasında projenin net şimdiki değerinin maksimizasyonunu hedef alan ve problemin dinamik programlama tekniği kullanılarak çözümünü içeren bir çalışma, TAVARES (1987) tarafından yapılmıştır [68]. Bu çalışmada her işleme ait kaynak tüketimi, o işlem için yapılan harcamalar cinsinden ölçülmüştür. Harcamalara ait maliyet profilinin zamana bağlı sürekli bir fonksiyon olarak verildiği problemin formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$C_k = [\exp(\beta-\alpha)t.X_k(t) + a_k.X_k(t)] dt \quad (5.51)$$

Burada:

- C_k : k projesinin t başlama anına indirgenmiş toplam maliyeti
 T : k projesinin toplam süresi
 β, α : indirgeme ile ilgili faktörler
 $X_k(t)$: k projesi için t anındaki harcama düzeyi
 $a_k.X_k(t)$: $X_k(t)$ 'nin türevi cinsinden ifade edilen maliyet fonksiyonu. Kaynak tüketim seviyelerindeki değişmeler yüksek harcamalar gerektirdiğinde bu terimin önemi artar.

Problem N ($n=1, \dots, N$) kademedan oluşan ve her kademedede I_n ($i=1, \dots, I_n$) proje bulunan bir yapıda düşünülmüştür. Her kademe bitişinde net şimdiki değere indirgenmiş bir getiri olduğu varsayılarak, kademe bazında hesaplanan getiriler, kademelerdeki proje bazında hesaplanan toplam maliyetlerden çıkarılarak N kademe için toplam net getiri bulunmuştur:

$$G_{maks} = \sum_{n=1}^N B_n \cdot \exp(-\tau t_{n+1}) - \sum_{i=1}^{I_n} C_{k=\langle i, n \rangle} \cdot \exp(-\tau t_k) \quad (5.52)$$

Burada:

- G : Toplam net getiri.
 N : Kademe sayısı.
 B_n : t_n anındaki getiri.
 τ : $(\alpha-\beta)$ değerini ifade eden indirgeme faktörü.
 t_k : k projesinin başlama zamanı.

Tavares Portekizde kurulacak büyük bir demiryolu ağı projesini oluşturan on altı proje için bu tekniği uygulamış ve projelerin net şimdiki değerini maksimum kılacak şekilde her kademedede her projeye ait optimum süreleri ve bunların getirilerini dinamik programlama ile hesaplamıştır.

Bu konuda Türkiye'de yapılmış olan çalışmalara örnek olarak. İTÜ Araştırma fonu tarafından desteklenen ve "Türk Sanayi Kuruluşlarında Nakit Akış Dinamiğinin İncelenmesi" adlı bir araştırma projesi verilebilir [69]. Bu araştırma projesi çerçevesinde geliştirilen bir model, talep, satış, üretim, stok, nakit dengesi, işçilik, hammadde ve kredi alt modellerinden oluşmakta ve çevre koşullarının endüstriyel imalat yapan firmalar üzerindeki etkileri araştırmaktadır. Nakit dengesi alt modeli, kuruluşun bütün faaliyetlerini gerçekleştirmek için yapmış olduğu harcamalar ile elde ettiği gelirleri sonucunda oluşan nakit değişimini incelemek amacı ile oluşturulmuştur.

Model, problemin tanımlanması, modelin neden-sonuç ilişkilerinin kurulması, akış diyagramının oluşturulması, dynamo denklemlerinin yazılması, modelin test edilmesi, deneylerin planlanması ve uygulanması ve deney sonuçlarının çıkarılması şeklinde klasik sistem dinamiği çalışmalarının adımlarını takip etmektedir.

Modelin kullandığı varsayımlar, firmanın bir satış geliriye sahip olması, kısa vadeli borç alması, finans kaynağı olarak kısa vadeli borç veren kuruluşları kullanması, inceleme döneminde yatırım yapılmaması ve temettü ve kar dağıtımının olmamasıdır.

Firmanın performans ölçütleri, firmanın cirosu ve elde ettiği kar miktarı olarak alınmıştır. Firmayı etkileyen çevre değişkenleri ise, kredi faizi, satış fiyatı, işçilik ücreti ve talep gibi firmanın kontrol altında tutamadığı kriterlerden oluşmaktadır.

Bu modelin kurulmasıyla hedeflenen başlıca amaç, çevre değişikliklerinin önceden kestirilerek, bu değişikliklere kolayca uyabilecek üst yönetim düzeyinde politikaların geliştirilmesidir.

BÖLÜM 6. PROJE PROGRAMLAMASINDA DEPOLANABİLEN VE DEPOLANAMAYAN KAYNAK KISITLARI

6.1. Giriş

SLOWINSKI, proje programlanması problemlerini kaynak tahsisleri açısından iki ana gruba ayırmıştır [70,71]. Birinci gruptaki problemler depolanamayan veya yenilenebilen (renewable resources) adı verilen kaynakları ele alır. Bu kaynaklar, işgücü, ekipman gibi kaynaklar olup, bunların proje süresinin herhangi bir anındaki (birim zamandaki) kullanılabilirlikleri sınırlıdır. Amaçlanan bu kaynakların optimum kullanımıyla optimum proje süresinin sağlanmasıdır.

İkinci gruptaki problemler ise, depolanabilen veya yenilenemeyen (non-renewable resources) kaynakları ele alır. Bu kaynaklar, para, enerji ve malzemeler olup, bunların proje süresi içindeki toplam tüketim miktarları kısıtlıdır. Diğer bir deyişle, bu kaynaklar zaman içinde tüketildikçe toplam miktarları azalır. Amaç, maliyetin minimizasyonu olup, bu kaynakların toplam tüketim miktarı toplam maliyetin belirlenmesi için bir ölçüt oluşturur.

Bu iki ana grup birarada ele alındığında, yani projeye ait faaliyetlerin aynı anda hem depolanabilen, hem de depolanamayan kaynaklara gereksinim duyduğu durumlarda, çift kısıtlı kaynak adı verilen üçüncü bir kaynak grubu devreye girer. Çift kısıtlı kaynaklar, kullanımları ve tüketimleri açısından kısıtlanmış kaynakları ifade ederler. Örneğin işgücü ele alındığında, eldeki işgücü miktarı ve toplam adam-saat sayısı kısıtlı ise bu çift kısıtlı bir kaynağı ifade eder. Hem proje süresinin, hem de proje maliyetinin göz önüne alınması gerekliliğini getiren bu tür bir yaklaşım çok amaçlı optimalite kriterini ortaya çıkarır.

6.2. Depolanamayan Kaynaklar

Bir projeyi oluşturan faaliyetlerin planlanmasında, termin ve iş kapsamına bağlı olarak depolanamayan (işgücü) kaynaklarının planlanması ve yönetimi önemli bir yer tutar. Özellikle birden çok proje bir arada yürütülüyorsa, toplam işgücü gereksiniminin belirlenmesi ve zaman ekseninde projelere dağıtılması kademeli bir planlama çalışması gerektirir [72,73].

Bir proje için gerekli kaynaklarının hesaplanmasında ilk adım girdileri oluşturan verilerin tanımlanmasıdır. Bu veriler, projenin beklenen başlama tarihi, projenin toplam süresi ve projenin parasal değeri gibi bir projeye ait özel bilgiler ile yük dağılımları, adam-ay cinsinden standart çalışma saatleri gibi benzer projelerin ortak verileri olarak ikiye ayrılabilir. Yük dağılım oranları da projenin belirli aşamalarındaki işgücü kullanımlarını gösterir ve o aşamada kullanılan işgücü miktarının ortalama miktara olan oranını gösteren bir yük oranı olarak belirtilir. Adam-ay cinsinden standart çalışma saati ise teknik bir eleman tarafından bir ayda harcanan ortalama çalışma saati miktarını gösterir.

Projelerin toplam işgücü gereksiniminin hesaplanmasında ise her bir projenin işgücü gereksinimi ve eldeki mevcut işgücü miktarı gözönüne alınır. Böylece her dönemin işgücü miktarı her proje için hesaplanarak gerekli dağılım elde edilir. Ayrıca projeler için elde edilen yük dağılımları proje performansı hakkında diğer projelerle karşılaştırma yaparak bir fikir sahibi olunmasını sağlar.

6.3. Depolanabilen Kaynaklar

Malzeme gibi depolanabilen kaynakların, toplam proje maliyeti üzerindeki etkileri ise depolanabilen kaynak kısıtları altında proje programlamasının temelini oluşturur. Depolanabilir kaynakların temin edilme süreleri ve buna

bağlı olarak malzeme siparişlerinin verilmesinin planlanması. proje faaliyetlerinin planlanması açısından hayati bir önem taşır.

Bir işletmede temel girdiyi oluşturan malzemenin, talebinin belirlenmesinden işletmeye gelişine, kabul işlemlerinden stoklanmasına ve nihayet malzemeye ihtiyaç duyan atölyelere sevkine kadar olan süreci takip ve kontrol etmek ve işletme içindeki malzeme akışının daha etkin olmasını sağlamak modern malzeme yönetim politikalarının temelini oluşturur. Malzeme takip sistemi, malzeme gereksiniminin belirlenmesi, siparişlerin çıkarılması, malzemenin tedarik edilmesi ve malzemenin sarf edileceği birimlere gönderilmesinden oluşan bir sistemdir [74,75].

6.4. Depolanamayan ve Depolanabilen Kaynaklara Bağlı Olarak Proje Programlanması

Projeyi oluşturan faaliyetler arasında koordinasyonun sağlanması açısından, özellikle sipariş tipi imalat yapılan projelerde işgücü gibi depolanamayan kaynak kısıtları ile malzeme gibi depolanabilen kaynak kısıtlarının entegrasyonu önem kazanmaktadır.

Malzeme tedarik sistemi ile faaliyetlerin planlanması arasındaki koordinasyonun sağlanması ve malzeme temin kısıtlarının ve maliyetlerinin proje programına dahil edilmesi ile toplam proje maliyeti ve proje süresi üzerindeki etkilerinin incelenmesi problemin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır.

6.4.1. Problemin İlk Formülasyonu:

SMITH-DANIELS, malzeme teminiyle ilgili kısıtlar ve maliyetler ile faaliyet süreleri ve faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerinin entegrasyonunu sağlamak amacıyla, 0-1 programlama tekniğini kullanmıştır [76]. Bu teknik ile faaliyet süreleri, malzeme temin tarihleri ve envanter

seviyelerinin planlanması mümkün olmaktadır. Amaç fonksiyonu, malzemelerin sipariş edilme ve stok maliyetlerini, tamamlanmış proje faaliyetlerinin bekletilme maliyetlerini ve projenin planlanan süreyi aşması halinde uygulanacak gecikme cezalarını içeren maliyetlerden oluşur ve toplam maliyetin minimizasyonunu sağlamaya yöneliktir. Burada kullanılan iki önemli varsayım, malzeme temini ve depolamayan kaynak kısıtlarının olmadığıdır. Karar değişkenleri ve parametreler aşağıdaki şekildedir:

Karar değişkenleri:

$X_{jt} = 1$ eğer j faaliyeti t döneminde başlarsa
0 diğer durumlarda

$Z_{mt} = 1$ eğer m malzemesi t döneminde sipariş edilirse
0 diğer durumlarda

$Y_{mt} =$ t döneminde sipariş edilen m malzeme miktarı

$I_{mt} =$ t dönemi sonunda stoktaki m malzeme miktarı

$C_t =$ t dönemi sonunda tamamlanan faaliyetlerin değeri

Parametreler:

$d_j =$ j faaliyetinin süresi

$R_{jm} =$ j faaliyeti için gereken m malzeme miktarı

$V_j =$ Malzeme ve işgücü maliyetleri de dahil olmak üzere
j faaliyetinin tamamlandıktan sonraki değeri

$S_m =$ m malzemesinin sipariş maliyeti

$h_m =$ m malzemesinin bir dönem elde tutulması maliyeti

$P_j =$ j faaliyetinden önce gelen faaliyetler kümesi

T_m = m malzemesinin temin süresi

S_{1j} = j faaliyetinin erken başlama zamanı

S_{2j} = j faaliyetinin geç başlama zamanı

D = Dönem başına projenin gecikme cezası

H = Dönem başına tamamlanmış faaliyetlerin maliyeti
(faaliyet değerinin %'si olarak)

Q = Çok büyük bir sayı

T = Proje süresinin üst sınırı (kritik yol + müsaade edilen maksimum gecikme süresi)

N = Projeyi oluşturan son faaliyet

Bu değişken ve parametrelere bağlı olarak maliyetlerin minimizasyonunu hedef alan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} Z_{min} = & \sum_{t=S_{2N}+1}^T (t-S_{2N}).D.X_{Nt} + \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M S_m.Z_{mt} + \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M h_m.I_{mt} \\ & + \sum_{t=1}^T H.C_t \end{aligned} \quad (6.1)$$

Projeyi oluşturan son faaliyetin tamamlanma zamanı ya kritik yolun hesaplanması ile bulunan bir zaman değeri olabilir veya projenin bitiş süresi olarak belirlenmiş sabit bir zaman değeri olabilir. SMITH-DANIELS, burada kritik yolun hesaplanması sonucu elde edilen proje tamamlanma

süresini kullanmıştır.

Problemi oluşturan kısıtlar kümesi. faaliyetler arası öncelik ilişkilerini, sipariş gereksinimlerini ve envanter hesaplamalarını içerir:

1. Kısıt:

Faaliyetler belirlenen sırada gerçekleştirilmelidir.

$$\sum_{t=1}^T t.X_{it} + d_i \leq \sum_{t=1}^T t.X_{jt} \quad i \in P_j \quad j = 1,2,\dots,N \quad (6.2)$$

2. Kısıt:

Bütün faaliyetler gerçekleştirilmelidir.

$$\sum_{t=1}^T X_{jt} = 1 \quad j = 1,2,\dots,N \quad (6.3)$$

3. Kısıt:

Stok dengeleme şartlarına uyulmalıdır.

$$I_{m(t-1)} + Y_{m(t-T_m)} - \sum_{j=1}^N R_{jm}.X_{jt} = I_{mt} \quad m = 1,2,\dots,M \quad (6.4)$$
$$t = 1,2,\dots,T$$

4. Kısıt:

Her malzeme gereksinimi oluştuğunda sipariş verilmelidir.

$$Q.Z_{mt} - Y_{mt} \geq 0 \quad m = 1,2,\dots,M \quad (6.5)$$
$$t = 1,2,\dots,T$$

5. Kısıt:

Tamamlanan her faaliyet projeye bağlanan para miktarı olarak proje değerini arttırır.

$$C_{t-1} + \sum_{j=1}^N V_j \cdot X_j(t-d_j) = C_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (6.6)$$

Ayrıştırma işlemleri:

Eğer projenin kesinlikle planlanan zamanda bitirilmesi isteniyorsa, proje gecikme cezası D çok büyük bir sayı olarak varsayılacaktır, yani $D = \infty$ alınacaktır. Bu durumda, her bir faaliyetin başlama zamanı:

$$X_{jt} = 1 \quad S_{1j} \leq t \leq S_{2j} \quad \text{olacaktır.}$$

Kritik yol üzerinde yer alan faaliyetlerin erken başlama (S_{1j}) ve geç başlama (S_{2j}) zamanları birbirine eşit olduğundan, $S_{1j} = S_{2j}$ olacaktır ve faaliyetin optimum başlama tarihi $X_{jS_{2j}} = 1$ olarak belirlenir.

(6.1) denkleminde verilen amaç fonksiyonunda $(t-S_{2N})$ değeri, t , S_{2N} zamanına eşit olduğundan sıfır değerini alır. Amaç denkleminin yeni formülasyonu aşağıdaki şekildedir:

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M S_m \cdot Z_{mt} + \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M h_m \cdot I_{mt} + \sum_{t=1}^T H \cdot C_t \quad (6.7)$$

Yeni problem kısıtlar açısından incelendiğinde, birinci, ikinci ve dördüncü kısıtlar ((6.2), (6.3), (6.5) no'lu denklemler) olduğu gibi korunur, ancak faaliyetler, kritik yol üzerinde yer alan ve kritik yol üzerinde yer almayan faaliyetler kümesi olmak üzere iki gruba ayrıldığından, üçüncü ve beşinci kısıtların formülasyonu değişir.

Değiştirilmiş 3. kısıt:

Stok dengeleme şartlarına uyulmalıdır.

$$I_m(t-1) + Y_m(t-T_m) - \sum_{j \in CP} R_{jm} \cdot X_{jt} - \sum_{j' \in CP} R_{j'm} \cdot X_{j't} = I_{mt} \quad (6.8)$$

$m = 1, 2, \dots, M$ CP = Kritik yol üzerindeki faaliyetler
 $t = 1, 2, \dots, T$ kümesi

Değiştirilmiş 5. Kısıt:

Tamamlanan her faaliyet projenin değerini arttırır.

$$C_{t-1} + \sum_{j \in CP} V_j \cdot X_j(t-a_j) + \sum_{j' \in CP} V_{j'} \cdot X_{j'}(t-a_{j'}) = C_t \quad (6.9)$$

$t = 1, 2, \dots, T$

(6.8) ve (6.9) no'lu kısıtlar, kritik yol üzerinde bulunan ve başlama zamanları sabit değerler olan j faaliyetleri ile, kritik olmayan ve başlama zamanları S_{1j} ile S_{2j} arasında herhangi bir t anında olan j' faaliyetlerini birbirlerinden ayırmak amacıyla oluşturulmuşlardır. Kritik yol üzerinde bulunan bütün faaliyetlerin optimum başlama zamanları bilindiğine göre, $\sum V_j \cdot X_j(t-a_j)$ sabit bir değer alacaktır. (6.9) denklemindeki C_t ifadesi (6.7) denklemine yerleştirilirse amaç fonksiyonu aşağıda belirtilen duruma gelir.

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M S_m \cdot Z_{mt} + \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M h_m \cdot I_{mt} +$$

$$\sum_{t=1}^T H \cdot \left[C_{t-1} + \sum_{j \in CP} V_j \cdot X_j(t-a_j) + \sum_{j' \in CP} V_{j'} \cdot X_{j'}(t-a_{j'}) \right] \quad (6.10)$$

(6.10) denkleminin minimum maliyet şartını sağlaması için, kritik olmayan faaliyetlerin başlama zamanlarının S_{1j} ile S_{2j} arasında belirlenmesi gerekir. t' zamanını $S_{2j'}$ zamanından daha evvel gerçekleşen bir an olarak varsayarak, eğer $X_{j'-t'} = 1$ ($j' \in CP$) ise, o zaman problem, kritik olmayan faaliyetler için malzeme gereksiniminin t' anında olduğu, kritik faaliyetler içinse malzeme gereksiniminin

S_{2j} anında olduğu bir duruma dönüşür. Eğer j' faaliyeti, en geç başlama zamanı S_{2j} yerine t' anında başlarsa, o zaman tamamlanmış olan j' faaliyetini t' anından S_{2j} anına kadar elde tutmanın getireceği maliyet, amaç fonksiyonundaki maliyet değerini yükseltecektir:

$$H [V_{j'} (S_{2j} - t')] \quad (6.11)$$

Diğer taraftan, faaliyetin S_{2j} zamanından daha önce başlaması, malzeme sipariş zamanlarını dolayısıyla stokta tutma maliyetlerini etkileyeceğinden toplam maliyetlerde bir düşme sağlayabilecektir. Burada, üç farklı durumun oluşması sözkonusudur.

Birinci durumda, j' faaliyetine ait malzeme siparişleri S_{1j} anında ya da daha önce gelebilir. İkinci durumda, malzemeler t' anında ($S_{1j} \leq t' \leq S_{2j}$) gelebilir. Üçüncü durumda ise malzemeler tam S_{2j} anında gelir ve j' faaliyeti de bu anda başlar.

Birinci durum, yani siparişlerin S_{1j} anında veya daha önce geldiği düşünülürse, j' faaliyetinin S_{2j} anı yerine S_{1j} anında başlaması, stokta tutma maliyetlerinde bir azalma yaratacaktır. Ancak j' faaliyetinin S_{1j} anında başlamasının optimum olması için, stokta tutma maliyetlerindeki düşüşün, tamamlanmış j' faaliyetini S_{1j} anından S_{2j} anına kadar bekletme maliyetinden yüksek olması gerekmektedir:

$$\sum_m h_m \cdot R_{j'm} \cdot (S_{2j} - S_{1j}) > H \cdot [V_{j'} \cdot (S_{2j} - S_{1j})] \quad (6.12)$$

Ancak, (6.12) şartının sağlanması çok zor bir olasılıktır. j' faaliyetinin bir dönem elde tutulmasının maliyetinin ($HV_{j'}$) analizi yapılırsa :

b_m = m malzemesinin birim maliyeti

$a_{j'}$ = j' faaliyetinin işgücü maliyeti

E_m = birim malzemeyi bir dönem elde tutma maliyeti (%)

E_a = bir faaliyeti bir dönem bekletme maliyeti (%)
 E_c = sermaye maliyeti

olarak düşünülürse, o zaman:

$$V_{j'} = \sum_m b_m \cdot R_{j' \cdot m} + a_{j'}$$

$$h_m = E_a \cdot b_m + E_c \cdot b_m$$

$$H = E_a + E_c$$

olur.

$V_{j'}$, h_m ve H değerleri (6.12) denklemindeki yerlerine yerleştirilirse, bu eşitsizlik aşağıdaki hale dönüşür.

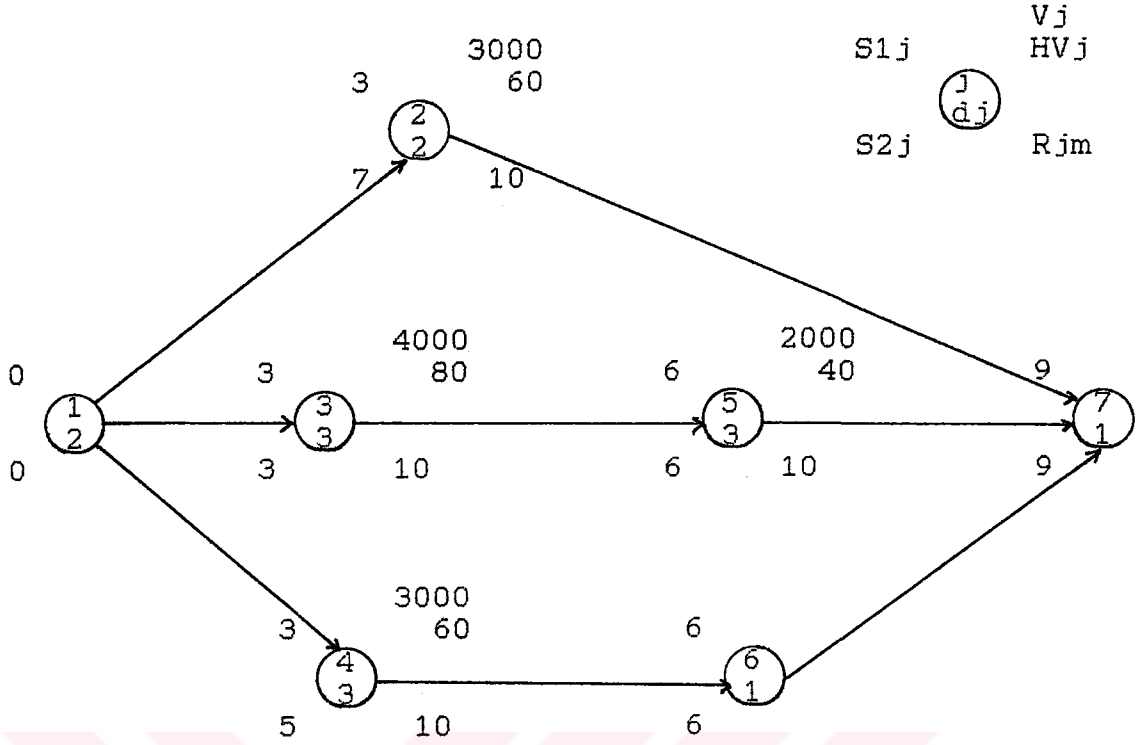
$$\sum_m E_m \cdot b_m \cdot R_{j' \cdot m} > \sum_m E_a \cdot b_m \cdot R_{j' \cdot m} + (E_a + E_c) a_{j'} \quad (6.13)$$

Birinci durumda, (6.10) denkleminin minimum maliyeti sağlayabilmesi için $X_{j' \cdot S_{2j'}} = 1$ olmalıdır, bu da (6.13) şartının gerçekleşmesinin ancak, j' ile ilgili malzemeyi elde tutma maliyetlerinin, j' faaliyetinin biten kısmına ait işgücü maliyetlerinden fazla olduğu takdirde mümkün olur, bu da çok küçük bir olasılıktır.

İkinci durumda, j' faaliyetinin malzeme talebi t' anında gerçekleşir ($S_{1j'} \leq t' \leq S_{2j'}$). Eğer j' faaliyeti en geç başlama zamanı yerine t' anında başlarsa (6.13) şartını sağlar.

Üçüncü durumda, j' faaliyeti ile ilgili malzemeler $S_{2j'}$ anında temin edilirler ve j' faaliyeti de $S_{2j'}$ anında başlar ve bu durum amaç fonksiyonunu (6.10) her şart altında minimize eder.

Bu üç durum örnek bir şebeke üzerinde gösterilebilir:



Burada:

Malzeme maliyeti : 100TL/birim

Malzemeyi elde tutma maliyeti : 2 TL/birim-dönem

Sipariş maliyeti : 45 TL/birim sipariş

Faaliyeti bekletme maliyeti : Dönem başına faaliyet
maliyetinin % 2'si

olarak alınmıştır.

3 no'lu faaliyet kritik yol üzerinde olduğundan, erken başlama ve geç başlama zamanları aynıdır ve bu faaliyet 3. dönemde başlamak zorundadır. 4 no'lu faaliyetin ise kritik olmayıp 2 dönemlik bir bolluğu vardır. Her iki faaliyet de aynı malzemeden 10'ar birime gereksinim duymaktadır. Eğer malzemeler aynı anda sipariş edilirse, o zaman 4 no'lu faaliyetin malzemesi de 3. dönemde gelecektir.

Birinci duruma göre, 4 no'lu faaliyet 3.dönemde yani S_{14} erken başlama zamanında başlarsa, biten bu faaliyeti, bir sonraki 6 no'lu faaliyet başlayıncaya kadar 2 dönem boyunca bekletmenin maliyeti 120 TL olacaktır (faaliyet maliyeti olan 3000 TL'nin % 2'si bir dönem için 60 TL, 2 dönem bekletileceğinden $2 \times 60 = 120$ TL eder).

İkinci duruma göre, eğer 4 no'lu faaliyet, 3. dönem yerine S_{24} geç başlama zamanı olan 5. dönemde başlarsa, 10 birim malzemeyi 3.dönemden 5.döneme kadar elde tutmanın maliyeti 40 TL olacaktır (Malzeme miktarı olan 10 adet in dönem başına birim elde tutma maliyeti olan 2 TL/birim- dönem ile çarpımı 20 TL/dönem verir, malzeme 2 dönem elde tutulduğundan $20 \times 2 = 40$ TL olur). O halde 4 no'lu faaliyetin başlama zamanını 5. döneme kadar geciktirmek, birinci duruma göre $120 - 80 = 40$ TL'lik bir tasarruf sağlayacaktır.

Yani birinci durumda belirtildiği gibi, 4 no'lu faaliyeti 3.dönemde başlatmanın yaratacağı, malzemeyi iki dönem daha az elde tutmadan sağlanacak tasarruf, 4 no'lu faaliyet i iki dönem bekletmenin maliyetinden daha az olacaktır.

Üçüncü durumda, eğer 4 no'lu faaliyet, t anında başlarsa ($S_{14} \leq t \leq S_{24}$), yani 5. dönem yerine 4. dönemde başlarsa, tamamlanmış olan faaliyeti bir dönem bekletmenin maliyeti ve malzemeyi bir dönem elde tutmanın maliyetinin toplamı olan 80 TL'lik bir maliyet oluşacaktır ($60 + 20 = 80$). Bu maliyet de ikinci durumda elde edilen toplam maliyetten (40 TL) daha yüksek bir değerdir.

Böylece, optimum çözümün her faaliyetin en geç başlama zamanında programlanması ile elde edileceği görülmektedir.

6.4.2. Modelin Geliştirilmiş Hali

Başta belirtildiği gibi, bu model malzemelerin sipariş edildikleri anda ve miktarda sağlanacağını varsaymakta ve ayrıca ekipman kısıtlarını gözönüne almamaktadır.

Modelin orijinal halindeki amaç denklemi dört temel maliyet elemanının minimizasyonundan oluşmaktadır. Bunlar, projenin gecikme cezalarını içeren maliyetler, sipariş maliyetleri, malzemeyi stokta tutma maliyetleri ve tamamlanmış olan faaliyetlerin bir sonraki faaliyet başlayıncaya kadar bekletilmesi maliyetleridir. Modelin geliştirilmiş halinde, beşinci bir maliyet unsuru olarak tezgahların atıl zamanlarının minimizasyonunun modele katılması hedeflenmiş ve böylece depolanamayan kaynak kısıtı olarak ekipman unsurunun depolanabilen kaynak kısıtı olan malzeme ile bir arada ele alınması amaçlanmıştır.

Ekipman kısıtlarını oluşturan başlıca unsurlar, özellikle atölye tipi siparişe dayanan imalatla, tezgahların kapasite kısıtları ve atıl zamanlarıdır. Tezgah atıl zamanı, tezgahın işler durumda olmasına rağmen, o anda herhangi bir iş olmadığından dolayı boşa geçen ve üretim kaybı olarak düşünülen bir zamandır. Diğer bir deyişle, bir tezgahın bir dönem boyunca kullanılabileceği toplam süre ile o tezgahın o dönemde çalıştığı sürenin arasındaki farka eşittir. Kısıt olarak düşünüldüğünde ise, tezgahın bir dönem boyunca fiilen çalıştığı süre, o tezgahın bu dönemdeki toplam kullanılabilir çalışma süresinden az olmak durumundadır. Kısıtın formülasyonu şu şekilde verilmiştir:

$$\begin{aligned} & T \\ G_e - \sum_{t=1}^T X_{et} & \geq 0 \quad e = 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (6.14)$$

Burada:

e : ekipman (tezgah)

G_e : e ekipmanının bir dönem boyunca toplam kullanılabilir süresi (kapasitesi)

X_{et} : e ekipmanının t döneminde çalıştığı süre

k : toplam ekipman sayısı

olmaktadır.

Bu kısıtın amaç denklemine katılabilmesi için ekipmanın atıl zamanını gösteren bir maliyet katsayısının belirlenmesi ve bu maliyet katsayısının atıl süre ile çarpılması gerekir. Bu ifade amaç denklemine aşağıdaki formülasyon ile eklenmiştir:

$$Z_{min} = \dots\dots\dots + C_e \left(G_e - \sum_{t=1}^T X_{et} \right) \quad (6.15)$$

Burada:

C_e : e tipi ekipmanın (tezgahın) maliyet katsayısı.

olarak belirlenmiştir.

Orijinal modeldeki diğer bir varsayım ise, malzemelerin sipariş edildikleri anlarda ve miktarlarda hemen elde edilebilmeleridir. Herhangi bir temin süresi ve ekonomik parti büyüklüğü belirlenmemektedir. Modelin 4. kısıtı (6.5) tekrar edilirse:

$$Q \cdot Z_{mt} - Y_{mt} \geq 0 \quad \begin{matrix} m = 1, 2, \dots, M \\ t = 1, 2, \dots, T \end{matrix}$$

Q değerinin çok büyük bir değer olarak kabul edildiği yani sipariş edilecek miktarın her durumda temin edilebileceği bu nedenle de ekonomik parti büyüklüğü gibi bir unsura yer verilmediği gözükmemektedir. Aynı şekilde, t döneminde siparişi verilen bir malzemenin yine t döneminde geldiği varsayılmış ve temin süreleri göz önüne alınmamıştır. Burada Q değerini kaldırıp yerine ekonomik parti büyüklüğü x sipariş sayısı gibi bir değer konularak, sipariş edilecek malzeme miktarlarına bir sınır getirmek mümkündür.

Ancak böyle bir ifade, siparişi zaman eksenini boyunca dağıtacağından, bu sefer malzemenin zamanında gelmemesinden dolayı faaliyetlerin başlama tarihlerinde gecikmelere yol açabilecek ve problemi daha karmaşık bir hale sokacaktır.

Uygulama kısmında ekonomik sipariş miktarları hesaplanarak, oluşabilecek temin gecikmeleri araştırılmıştır.

6.4.3. Modelin Uygulanması

Uygulama için kullanılan veriler, KOMSAN Kompresör Sanayii ve Ticaret A.Ş.'den sağlanmıştır. Bu kuruluş, sipariş üzerine imalat usulü ile çalışan ve yaklaşık olarak kırk çeşit kompresör üreten ve elli kişilik bir işgücü kapasitesine sahip olan ve torna, freze, matkap, pres, taşlama, honlama, rektifiye, kılavuz, giyotin, broslama, ütüleme ve kaynak tezgahları gibi tezgahlardan oluşan yaklaşık yirmi tezgahlık bir üretim kapasitesine sahiptir.

Bu kuruluşun belirli bir dönem için siparişini aldığı ürünlerin listesi Tablo 6-1'de verilmiştir.

Tezin kapsamında ele alınan ürünler ise en çok imalatı yapılan ilk altı ürün olan T 175 Kompresör, T 175-1 KDT Kompresör, T 275 Kompresör, T 275-1 KDT Kompresör, T 475 Kompresör ve T 475 KD Kompresör olmuştur.

Bu ürünlere ait malzemelerin adları, fiyatları, işçilik giderleri ve toplam maliyetleri Tablo 6-2, 6-3, 6-4, 6-5, 6-6 ve 6-7'de verilmiştir.

Daha sonra bu ürünleri oluşturan malzemelerin hangilerinin üzerinde dikkatle durulacağını yani kritik olanlarının belirlenmesi amacıyla bir ABC analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları da Tablo 6-8'de verilmiştir.

Bu malzemelerin bir kısmı doğrudan dışarıda fason olarak yaptırılmakta ve fabrikaya hazır olarak gelmekte olduğundan bu tür malzemeler dikkate alınmamıştır. Hem fabrikada işlenen hem de ABC analizinde A sınıfına giren malzemeler, atıl tezgah zamanlarının hesaplanabilmesi amacı ile göz önüne alınmıştır.

TABLO 6-1
Siparişı Alınan Malların Listesi

Malzeme Adı	Sipariş Miktarı
D 175 Kompresör	4
D 250 Kompresör	4
T 175 Kompresör	150
T 175-1 KDT Kompresör	50
T 175-1 KDT Mono Kompr.	10
T 175 KD2 Kompresör	10
T 275 Kompresör	100
T 275 KD2 Kompresör	50
T 275 KD3 Kompresör	10
C 275 Kompresör	10
C 275 KD2 Kompresör	5
C 275 KD3 Kompresör	5
T 375 Kompresör	6
T 375 KD Kompresör	3
C 375 KD Kompresör	3
T 475 Kompresör	80
T 475 KD Kompresör	40
C 475 KD Kompresör	3
C 3110 Kompresör	5
L 90 Kompresör	4
L 91 Kompresör	2
L 94 Kompresör	1
L 820 Kompresör	5
L 840 KD Kompresör	5
L 830 HK Kompresör	4
L 901 Kompresör	3
L 902 Kompresör	3
L 904 Kompresör	2
Y 275 Kompresör	2
Y 4130 Kompresör	1
Y 475 HK Kompresör	1
VEK 30 Kompresör	4
VEK 40 Kompresör	2
VEK 50 Kompresör	1
VEK 75 Kompresör	1
VEK 150 Kompresör	1
VEK 180 Kompresör	1

TABLO 6-2
T 175 Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri

KOD	MALZEME ADI	AĞIR- LIK (KG)	BİRİM KG FİYATI (TL)	ADET	MALZEME FİYATI (TL)	ISCİ. PUANI	ISCİLİK GİDERİ (TL)	İMALAT SARF GİD. (TL)	TOPLAM (TL)	GEN.İDARI GİDER (TL)	TOPLAM MALİYET (TL)
401002	GÖVDE 175	8	5500	1	44000	15	48000	19200	111200	33360	144560
402003	075 SİLİNDİR	5.6	6500	1	36400	8	25600	10240	72240	21672	93912
403006	UST KAPAK 75	3	5500	1	16500	8	25600	10240	52340	15702	68042
403016	KEÇELİ YAN KAP	1.8	5500	1	9900	10	32000	12800	54700	16410	71110
403017	HAVALI KAPAK	1.7	5500	1	9350	8	25600	10240	45190	13557	58747
404004	KOMPRESÖR KASNAĞI	12	5500	1	66000	15	48000	19200	133200	39960	173160
407002	BİYEL KOLU	0.3	16000	1	4800	10	32000	12800	49600	14880	64480
411002	RULMAN BİLEZİĞİ	1	2200	1	2200	1	3200	1280	6680	2004	8684
415001	RULMAN HK15*22	0.9	14993	1	13494	0	0	0	13494	4048	17542
415002	RULMAN NK1	0.9	72796	1	65516	0	0	0	65516	7862	73378
415009	RULMAN 6006	0.9	26330	2	47394	0	0	0	47394	5687	53081
415016	RULMAN 1203	0.9	46000	1	41400	0	0	0	41400	4968	46368
416002	YAĞ KEÇESİ	0.8	2500	1	2000	0	0	0	2000	300	2300
420001	KAMA	1	1250	1	1250	0	0	0	1250	375	1625
421014	AL. KAPAK	0.22	15000	1	3300	1	3200	1280	7780	2334	10114
422007	CIVATA M4*16	1	280	4	1120	0	0	0	1120	67	1187
422009	CIVATA M6*10	1	130	4	520	0	0	0	520	31	551
422028	CIVATA M10*75	1	1100	6	6600	0	0	0	6600	396	6996
422029	CIVATA M8*20	1	250	9	2250	0	0	0	2250	135	2385
422043	SAPLAMA M10*40	1	800	4	3200	0	0	0	3200	960	4160
422046	CIVATA M16*15	1	1100	1	1100	0	0	0	1100	66	1166
422081	CIVATA M12*15	1	610	1	610	0	0	0	610	37	647
422118	SAPLAMA M6*25	1	700	2	1400	0	0	0	1400	420	1820
423001	SOMUN M6	1	25	2	50	0	0	0	50	3	53
423013	SOMUN M10	1	95	4	380	0	0	0	380	114	494
425001	UST KAPAK CONTA	1	460	1	460	1	3200	1280	4940	1482	6422
425002	SİL.UST.KAP.CONTA	1	460	1	460	1	3200	1280	4940	1482	6422
425003	SİL.ETEK CONTA	1	200	1	200	1	3200	1280	4680	1404	6084
425004	HAV.YAN.KAP.CONTA	1	240	2	480	2	6400	2560	9440	2832	12272
425013	AL.KAPAK CONTA	1	200	1	200	1	3200	1280	4680	1404	6084
425050	YAĞ BOS. CONTA	1	300	1	300	0	0	0	300	90	390
425805	YAĞ GÖSTER.CONTA	1	600	1	600	0	0	0	600	180	780
426020	KASNAK YAN.PULU	1	800	1	800	0	0	0	800	48	848
427002	PUL M8	1	175	9	1575	0	0	0	1575	95	1670
427004	PUL M12	1	400	1	400	0	0	0	400	24	424
427022	PUL M16	1	840	1	840	0	0	0	840	50	890
428023	NIPEL 1/2"-3/4"	1	3000	1	3000	0	0	0	3000	900	3900
430015	YAĞ BOS.ELEMANI	0.2	15000	1	3000	4	12800	5120	20920	6276	27196
430800	YAĞ GÖSTERGESİ	1	10000	1	10000	1	3200	1280	14480	4344	18824
448006	KOMPLE PISTON 075	1	31600	1	31600	7	22400	8960	62960	18888	81848
454002	KOMPLE KRANK	1	34400	1	34400	20	64000	25600	124000	37200	161200
456001	HAVA FİLTRESİ	1	8500	1	8500	0	0	0	8500	2550	11050
468001	KOMPLE SUBAP	1	60000	1	60000	0	0	0	60000	18000	78000
MMP005	T 175 MONTAJ		0	1	0	30	96000	38400	134400	40320	174720
TOPLAM					537549		460800	184320	1182669	322917	1505586

TABLO 6-3

T 175-1 KDT Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri

KOD	MALZEME ADI	AGIR- LIK (KG)	BİRİM KG FIYATI (TL)	ADET MALZEME FIYATI (TL)	İSCİ. PUANI	İSCİLİK GİDERİ (TL)	İMALAT SARF GİD. (TL)	TOPLAM (TL)	GEN.İDARİ GİDER (TL)	TOPLAM MALİYET (TL)	
404045	MOT.KASNAGI 1.5BG	2.3	5500	1	12650	7	22400	8960	44010	13203	57213
410002	EL.MOTOR 1.5BG	0.85	303000	1	257550	0	0	0	257550	77265	334815
413001	MANOMETRE	1	23000	1	23000	0	0	0	23000	6900	29900
414002	V KAYISI	0.9	19417	1	17475	0	0	0	17475	5243	22718
421003	AL.CEMBER	0.16	15000	2	4800	0	0	0	4800	1440	6240
422005	CIVATA M6*20	1	60	3	180	0	0	0	180	11	191
422019	SAC VIDA 4.8*32	1	120	2	240	0	0	0	240	14	254
422035	CIVATA 3/8	1	310	2	620	0	0	0	620	37	657
422097	SEDİSKUR M8*10	1	250	1	250	0	0	0	250	15	265
422103	CIVATA M10*40	1	285	8	2280	0	0	0	2280	684	2964
423001	SOMUN M6	1	25	3	75	0	0	0	75	5	80
423013	SOMUN M10	1	95	3	285	0	0	0	285	86	371
426029	YAYLI RONDELA	1	50	4	200	0	0	0	200	12	212
427001	DEMİR PUL M6	1	15	3	45	0	0	0	45	3	48
427005	DEMİR PUL M10	1	50	8	400	0	0	0	400	24	424
428019	NIPEL 1/2"-3/4"	1	1600	1	1600	0	0	0	1600	96	1696
428022	REDUKSIYON 1/2"	1	1650	1	1650	0	0	0	1650	495	2145
428023	NIPEL 1/2"-3/4"	1	3000	1	3000	0	0	0	3000	900	3900
428054	REDUKSIYON 1/2"-1/	1	3500	1	3500	0	0	0	3500	1050	4550
440001	BASINC SALTERİ	1	70000	1	70000	0	0	0	70000	10500	80500
446001	BOSALTMA MUSLUGU	1	18000	1	18000	0	0	0	18000	2700	20700
446012	SİBER VANA	1	16500	1	16500	0	0	0	16500	2475	18975
450002	CEKVALF R1/2"	1	20000	1	20000	0	0	0	20000	3000	23000
452001	EMNİYET SUBABI	1	22000	1	22000	0	0	0	22000	3300	25300
458019	AL.BORU 16*2020	1	11770	1	11770	4	12800	5120	29690	8907	38597
458061	AL.BORU 6*750	1	7500	1	7500	3	9600	3840	20940	6282	27222
460001	KOMPLE DEPO 100LT	1	127710	1	127710	67	214400	85760	427870	128361	556231
464002	KOMPLE MUHAFAZA	1	36000	1	36000	0	0	0	36000	10800	46800
465016	BAGLAMA LAMASI	0.2	1150	1	230	0	0	0	230	69	299
600005	T175 KOMPRESOR	1	537549	1	537549	144	460800	184320	1182669	322917	1505586
MMF007	T175 MONTAJ	1	0	1	0	50	160000	64000	224000	0	224000
TOPLAM					1197059	880000	352000	2429059	606794	3035853	

TABLO 6-4
T 275 Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri

KOD	MALZEME ADI	AĞIR- LIK (KG)	BİRİM KG FİYATI (TL)	ADET	MALZEME FİYATI (TL)	İŞÇİ. PUANI	İŞÇİLİK GİDERİ (TL)	İMALAT SARF GİD. (TL)	TOPLAM (TL)	GEN.İDARİ GİDER (TL)	TOPLAM MALİYET (TL)
401003	GÖVDE 275	11.6	5500	1	63800	20	64000	25600	153400	46020	199420
402003	075 SİLİNDİR	5.6	6500	2	72800	8	51200	20480	144480	43344	187824
403006	UST KAPAK 75	3	5500	2	33000	8	51200	20480	104680	31404	136084
403018	KECELİ KAPAK 275	1.8	5500	1	9900	10	32000	12800	54700	16410	71110
403019	HAVALI KAPAK 275	1.7	5500	1	9350	8	25600	10240	45190	13557	58747
404004	KOMPRESÖR KASNAĞI	12	5500	1	66000	15	48000	19200	133200	39960	173160
407002	BIYEL KOLU	0.3	16000	2	9600	10	64000	25600	99200	29760	128960
411003	RULMAN BİLEZİĞİ	1	2200	1	2200	1	3200	1280	6680	2004	8684
415001	RULMAN HK15*22	0.9	14993	2	26987	0	0	0	26987	8096	35083
415002	RULMAN NKI	0.9	72796	2	131033	0	0	0	131033	15724	146757
415010	RULMAN 6206	0.9	29325	2	52785	0	0	0	52785	6334	59119
415017	RULMAN 1204	0.9	49830	1	44847	0	0	0	44847	5382	50229
416003	YAĞ KEÇESİ 30*50	0.8	2600	1	2080	0	0	0	2080	312	2392
418050	SEGMAN TAKIMI	1	21000	2	42000	0	0	0	42000	12600	54600
419018	PISTON PERNOSU	1	4000	2	8000	0	0	0	8000	2400	10400
420001	KAMA	1	1250	1	1250	0	0	0	1250	375	1625
421014	AL. KAPAK	0.22	15000	1	3300	1	3200	1280	7780	2334	10114
422028	CIVATA M10*75	1	1100	8	8800	0	0	0	8800	528	9328
422029	CIVATA M8*20	1	250	9	2250	0	0	0	2250	135	2385
422043	SAPLAMA M10*40	1	800	8	6400	0	0	0	6400	1920	8320
422046	CIVATA M16*15	1	1100	1	1100	0	0	0	1100	66	1166
422081	CIVATA M12*15	1	610	1	610	0	0	0	610	37	647
422091	CIVATA M10*50	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0
422112	CIVATA M6*15	1	60	4	240	0	0	0	240	14	254
422118	SAPLAMA M6*25	1	700	2	1400	0	0	0	1400	420	1820
423001	SOMUN M6	1	25	2	50	0	0	0	50	3	53
423013	SOMUN M10	1	95	8	760	0	0	0	760	228	988
425001	UST KAPAK CONTA	1	460	2	920	1	6400	2560	9880	2964	12844
425002	SİL.UST.KAP.CONTA	1	460	2	920	1	6400	2560	9880	2964	12844
425003	SİL.ETEK CONTA	1	200	2	400	1	6400	2560	9360	2808	12168
425004	HAV.YAN.KAP.CONTA	1	240	2	480	1	6400	2560	9440	2832	12272
425013	AL.KAPAK CONTA	1	200	1	200	1	3200	1280	4680	1404	6084
425050	YAĞ BOS. CONTA	1	300	1	300	0	0	0	300	90	390
426020	KASNAK YAN.PULU	1	800	1	800	0	0	0	800	48	848
426049	DELİK EMN.SEGMANI	1	300	4	1200	0	0	0	1200	360	1560
427002	PUL M8	1	175	8	1400	0	0	0	1400	84	1484
427004	PUL M12	1	400	2	800	0	0	0	800	48	848
427022	PUL M16	1	840	1	840	0	0	0	840	50	890
428023	NIPEL 1/2"-3/4"	1	3000	2	6000	0	0	0	6000	1800	7800
430015	YAĞ BOS.ELEMANI	0.2	15000	1	3000	4	12800	5120	20920	6276	27196
430800	YAĞ GÖSTERGESİ	1	10000	1	10000	1	3200	1280	14480	4344	18824
449006	PISTON 075	0.5	15000	2	15000	5	32000	12800	59800	17940	77740
454003	KOMPLE KRANK T275	1	24580	1	24580	22	70400	28160	123140	36942	160082
456001	HAVA FİLTRESİ	1	8500	2	17000	0	0	0	17000	5100	22100
468001	KOMPLE SUBAP	1	60000	2	120000	0	0	0	120000	36000	156000
MMP010	T 275 MONTAJ	1	0	1	0	40	128000	51200	179200	53760	232960
TOPLAM					804382		617600	247040	1669022	455181	2124203

TABLO 6-5
T 275-1 KDT Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri

KOD	MALZEME ADI	AĞIR- LIK (KG)	BİRİM KG FİYATI (TL)	ADET	MALZEME FİYATI (TL)	İSÇİ. PUANI	İSÇİ. GİDERİ (TL)	İNALAT SARF GİD. (TL)	TOPLAM (TL)	GEN.İDARİ GİDER (TL)	TOPLAM MALİYET (TL)
404043	MOT.KASNAĞI 5.5B6	3	5500	1	16500	7	22400	8960	47860	14358	62218
410005	EL.MOTOR 5.5B6	0.85	774000	1	657900	0	0	0	657900	197370	855270
411014	UZATMA BORUSU	1	1100	1	1100	0	0	0	1100	330	1430
412030	AL.ETİKET	1	1100	1	1100	0	0	0	1100	330	1430
413001	MANOMETRE	1	23000	1	23000	0	0	0	23000	6900	29900
414003	V KAYISI	0.9	20028	1	18025	0	0	0	18025	5408	23433
421004	AL.ÇEMBER	0.18	15000	2	5400	0	0	0	5400	1620	7020
421011	AL.ETİKET PERÇİNİ	1	30	4	120	0	0	0	120	7	127
422018	CIVATA 1/4"x15,	1	65	4	260	0	0	0	260	16	276
422019	SAC VİDA 4.8*32	1	120	2	240	0	0	0	240	14	254
422061	CIVATA M1/2X60	1	390	2	780	0	0	0	780	47	827
422103	CIVATA M10*40	1	285	8	2280	0	0	0	2280	684	2964
423004	SOMUN 1/4"	1	25	6	150	0	0	0	150	9	159
423013	SOMUN M10	1	95	8	760	0	0	0	760	228	988
423018	SOMUN 3/4"	1	300	1	300	0	0	0	300	90	390
426019	YAY.RONDELA R1/4	1	40	5	200	0	0	0	200	12	212
426029	YAY.RONDELA M10	1	50	8	400	0	0	0	400	24	424
427005	DEMİR PUL M10	1	50	8	400	0	0	0	400	24	424
428016	ALTILI BAĞ.R1/2	1.3	3800	1	4940	3	9600	3840	18380	5514	23894
428019	NİPEL R1/2"	1	1600	1	1600	0	0	0	1600	96	1696
428020	DUZ RAKORU R1/2"	1	4700	1	4700	0	0	0	4700	282	4982
428021	KORTAPA R1/2"	1	600	1	600	0	0	0	600	36	636
440001	BASINÇ SALTERİ	1	70000	1	70000	0	0	0	70000	10500	80500
446001	BOSALTMA MUSLUĞU	1	18000	1	18000	0	0	0	18000	2700	20700
446006	KÜRESEL VANA	1	21000	1	21000	0	0	0	21000	3150	24150
450003	ÇEKVALF R1/2"	1	24500	1	24500	0	0	0	24500	3675	28175
452001	EMNİYET SUBABI	1	22000	2	44000	0	0	0	44000	6600	50600
458005	AL.BORU 16*1130	1	8170	1	8170	4	12800	5120	26090	7827	33917
458013	AL.BORU 6*400	1	6710	1	6710	3	9600	3840	20150	6045	26195
458043	AL.BORU 16X1180	1	8320	1	8320	4	12800	5120	26240	7872	34112
460013	ARA DEPO T-275	1	10090	1	10090	10	32000	12800	54890	16467	71357
460071	DEPO 200LT T-275	1	161600	1	161600	82	262400	104960	528960	158688	687648
464002	KOMPLE MUHAFAZA	1	36000	1	36000	0	0	0	36000	10800	46800
600010	T275 KOMPRESOR	1	804382	1	804382	166	617600	247040	1669022	455181	2124203
MMP012	T275 KD-2 MONTAJ	1	0	1	0	100	320000	128000	448000	134400	582400
TOPLAM					1953527		1299200	519680	3772407	1057304	4829711

TABLO 6-6
T 475 Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri

KOD	MALZEME ADI	AĞIR- LIK (KG)	BİRİM FİYATI (TL)	KG ADET	MALZEME FİYATI (TL)	İSÇİ. PUANI	İSÇİLİK GİDERİ (TL)	İMALAT SARF GİD. (TL)	TOPLAM (TL)	GEN.İDARİ GİDER (TL)	TOPLAM MALİYET (TL)
401014	GÖVDE 475	23.8	5500	1	130900	40	128000	51200	310100	93030	403130
402003	075 SİLİNDİR	5.6	6500	4	145600	8	102400	40960	288960	86688	375648
403006	UST KAPAK 75	3	5500	4	66000	8	102400	40960	209360	62808	272168
403020	HAVALI KAPAK 475	4.1	5500	1	22550	12	38400	15360	76310	22893	99203
403021	KECELİ YAN KAPAK	4.3	5500	1	23650	15	48000	19200	90850	27255	118105
404003	KOMPRESÖR KASNAĞI	28.4	5500	1	156200	20	64000	25600	245800	73740	319540
407003	BİYEL KOLU	0.45	16000	4	28800	13	166400	66560	261760	78528	340288
411004	RULMAN ARA BİLEZ.	1	2200	1	2200	2	6400	2560	11160	3348	14508
415001	RULMAN HK15*22	0.9	14993	4	53975	0	0	0	53975	16192	70167
415003	RULMAN 4907	0.9	107200	4	385920	0	0	0	385920	46310	432230
415011	RULMAN 6307	0.9	40670	2	73206	0	0	0	73206	8785	81991
415018	RULMAN 1207	0.9	79050	1	71145	0	0	0	71145	8537	79682
416004	YAĞ KEÇESİ 35*70	0.8	4000	1	3200	0	0	0	3200	480	3680
420002	KAMA	1	1250	1	1250	0	0	0	1250	375	1625
421015	AL. KAPAK 475	0.25	10000	1	2500	1	3200	1280	6980	2094	9074
422007	CIVATA M4X16	1	280	4	1120	0	0	0	1120	67	1187
422027	CIVATA M10X25	1	230	1	230	0	0	0	230	14	244
422028	CIVATA M10*75	1	1100	24	26400	0	0	0	26400	1584	27984
422029	CIVATA M8*20	1	250	12	3000	0	0	0	3000	180	3180
422043	SAPLAMA M10*40	1	800	16	12800	0	0	0	12800	3840	16640
422046	CIVATA M16*15	1	1100	1	1100	0	0	0	1100	66	1166
422071	CIVATA M6X20	1	55	4	220	0	0	0	220	13	233
422081	CIVATA M12*15	1	610	1	610	0	0	0	610	37	647
422118	SAPLAMA M6*25	1	700	2	1400	0	0	0	1400	420	1820
423001	SOMUN M6	1	25	2	50	0	0	0	50	3	53
423013	SOMUN M10	1	95	16	1520	0	0	0	1520	456	1976
425001	UST KAPAK CONTA	1	460	4	1840	1	12800	5120	19760	5928	25688
425002	SİL.UST.KAP.CONTA	1	460	4	1840	1	12800	5120	19760	5928	25688
425003	SİL.ETEK CONTA	1	200	4	800	1	12800	5120	18720	5616	24336
425006	HAV.YAN.KAP.CONTA	1	120	2	240	1	6400	2560	9200	2760	11960
425014	AL.KAPAK CONTA	1	250	1	250	1	3200	1280	4730	1419	6149
425050	YAĞ BOS. CONTA	1	300	1	300	0	0	0	300	90	390
425805	YAĞ GÖS.CONTASI	1	600	1	600	0	0	0	600	180	780
426022	KASNAK YAN.PULU	1	350	1	350	0	0	0	350	21	371
426024	BİYEL YANAK PULU	1	2200	2	4400	0	0	0	4400	1320	5720
427002	PUL M8	1	175	12	2100	0	0	0	2100	126	2226
427004	PUL M12	1	400	1	400	0	0	0	400	24	424
427022	PUL M16	1	840	1	840	0	0	0	840	50	890
430015	YAĞ BOS.ELEMANI	0.2	15000	1	3000	4	12800	5120	20920	6276	27196
430800	YAĞ GÖSTERGESİ	1	10000	1	10000	1	3200	1280	14480	4344	18824
448006	KOMPLE PİSTON 075	1	31600	4	126400	7	89600	35840	251840	75552	327392
454005	KOMPLE KRANK T475	1	56220	1	56220	28	89600	35840	181660	54498	236158
456001	HAVA FİLTRESİ	1	8500	4	34000	0	0	0	34000	10200	44200
468001	KOMPLE SUBAP	1	60000	4	240000	0	0	0	240000	72000	312000
MMP017	T 475 MONTAJ	1	0	1	0	130	416000	166400	582400	174720	757120
	TOPLAM				1699126		1318400	527360	3544886	958795	4503681

TABLO 6-7

T 475 KD Kompresör Malzemesi Maliyet Bilgileri

KOD	MALZEME ADI	AGIR- LIK (KG)	BİRİM KG FİYATI (TL)	ADET	MALZEME FİYATI (TL)	İSCİ. PUANI	İSCİLİK GİDERİ (TL)	İMALAT SARF GİD. (TL)	TOPLAM (TL)	GEN. İDARİ GİDER (TL)	TOPLAM MALİYET (TL)
404026	MOT. KASNAĞI 3000D	8.5	5500	1	46750	8	25600	10240	82590	24777	107367
410007	EL. MOTOR 10BG	0.85	1110000	1	943500	0	0	0	943500	283050	1226550
412030	AL. ETİKET	1	1100	1	1100	0	0	0	1100	330	1430
413003	MANOMETRE 0-16	1	35000	1	35000	0	0	0	35000	10500	45500
414004	V KAYISI 17X2250	0.9	27311	2	49160	0	0	0	49160	14748	63908
421007	AL. ÇEMBER 500LT	0.25	15000	2	7500	3	19200	7680	34380	10314	44694
421011	AL. ETİKET PERÇİNİ	1	30	4	120	0	0	0	120	7	127
422018	CIVATA 1/4"X15	1	65	1	65	0	0	0	65	4	69
422019	SAC VİDA 4.8*32	1	120	2	240	0	0	0	240	14	254
422039	CIVATA 1/2X40"	1	455	4	1820	0	0	0	1820	109	1929
422045	CIVATA M10X45"	1	290	4	1160	0	0	0	1160	70	1230
422061	CIVATA M1/2X60	1	390	2	780	0	0	0	780	47	827
422077	CIVATA M10*30	1	250	2	500	0	0	0	500	30	530
422097	SEDİSKUR M8X10	1	250	1	250	0	0	0	250	15	265
423004	SOMUN 1/4"	1	25	1	25	0	0	0	25	2	27
423007	SOMUN 1/2"	1	130	4	520	0	0	0	520	31	551
423008	SOMUN 3/8"	1	50	2	100	0	0	0	100	6	106
423013	SOMUN M10	1	95	4	380	0	0	0	380	114	494
423018	SOMUN 3/4"	1	300	1	300	0	0	0	300	90	390
426019	YAY. RONDELA R1/4	1	40	1	40	0	0	0	40	2	42
426028	YAY. RONDELA 1/2"	1	55	4	220	0	0	0	220	13	233
427005	DEMİR PUL M10	1	50	10	500	0	0	0	500	30	530
428003	MANŞON 1/2"X30	1	1800	1	1800	0	0	0	1800	108	1908
428019	NİPEL R1/2"	1	1600	1	1600	0	0	0	1600	96	1696
428020	DUZ RAKORU R1/2"	1	4700	1	4700	0	0	0	4700	282	4982
428022	REDUKSİYON1/2X3/4	1	1650	1	1650	0	0	0	1650	495	2145
428054	REDUKSİYON1/2X1/4	1	3500	1	3500	0	0	0	3500	1050	4550
428137	ÖZEL DİRSEK	1	7500	4	30000	0	0	0	30000	9000	39000
440001	BASINÇ SALTERİ	1	70000	1	70000	0	0	0	70000	10500	80500
442003	SELENOİD VALF	1	132000	1	132000	0	0	0	132000	19800	151800
446001	BOSALTMA MUSLUGU	1	18000	1	18000	0	0	0	18000	2700	20700
446006	KURESEL VANA	1	21000	1	21000	0	0	0	21000	3150	24150
450003	ÇEKVALF R1/2"	1	24500	1	24500	0	0	0	24500	3675	28175
452001	EMNİYET SUBABİ	1	22000	2	44000	0	0	0	44000	6600	50600
458010	AL. BORU 16*2220	1	12220	1	12220	4	12800	5120	30140	9042	39182
458011	AL. BORU 16*720	1	6670	1	6670	4	12800	5120	24590	7377	31967
458013	AL. BORU 6X400	1	6710	1	6710	3	9600	3840	20150	6045	26195
458034	AL. BORU 16X760	1	6820	1	6820	4	12800	5120	24740	7422	32162
458039	AL. BORU 16X600	1	6370	1	6370	4	12800	5120	24290	7287	31577
460009	KOMPLE DEPO 500LT	1	394680	1	394680	146	467200	186880	1048760	314628	1363388
460017	ARA DEPO T-475	1	15510	1	15510	10	32000	12800	60310	18093	78403
464003	KOMPLE MUHAFAZA	1	45000	1	45000	0	0	0	45000	13500	58500
600017	T 475 KOMPRESOR	1	1699126	1	1699126	412	1318400	527360	3544886	958795	4503681
MMP019	T 475 KD MONTAJ	1	0	1	0	200	640000	256000	896000	268800	1164800
TOPLAM					3635886		2563200	1025280	7224366	2012748	9237114

ABC Analizi

KOD	MALZEME ADI	TEMİN SÜRESİ (GÜN)	PARÇI BÜYÜKLÜĞÜ	TOPLAM MALİYET (TL)	KUMULATİF MALİYET (TL)	KUMULATİF YÜZDE (%)
1	410007 ELEKTRİK MOTOR 10BG	1	120	113.220.000	113.220.000	11.69%
2	410005 ELEKTRİK MOTOR 5.5BG	1	150	98.685.000	211.905.000	21.88%
3	468001 KOMPLE SUBAP	25	980	58.800.000	270.705.000	27.95%
4	410002 ELEKTRİK MOTOR 1.5BG	1	200	51.510.000	322.215.000	33.27%
5	460009 KOMPLE DEPO 500LT	7	120	47.361.600	369.576.600	38.16%
6	415003 RULMAN 4907	1	480	46.310.400	415.887.000	42.94%
7	402003 075 SİLİNDİR	30	980	35.672.000	451.559.000	46.62%
8	440001 BASINÇ SALTERİ	2	470	32.900.000	484.459.000	50.02%
9	415002 RULMAN NKI	90	500	32.758.000	517.217.000	53.40%
10	460001 KOMPLE DEPO 100LT	7	200	25.542.000	542.759.000	56.04%
11	460071 DEPO 200LT T275	7	150	24.240.000	566.999.000	58.54%
12	404004 KOMPRESÖR KASNAĞI	22	350	23.100.000	590.099.000	60.93%
13	448006 KOMPLE PİSTON 075	30	680	21.488.000	611.587.000	63.15%
14	404003 KOMPRESÖR KASNAĞI	22	120	18.744.000	630.331.000	65.08%
15	452001 EMNİYET SUBABI	30	740	16.280.000	646.611.000	66.76%
16	403006 UST KAPAK 75	22	980	16.170.000	662.781.000	68.43%
17	442003 SELENOİD VALF	2	120	15.840.000	678.621.000	70.07%
18	401014 GÖVDE 475	22	120	15.708.000	694.329.000	71.69%
19	415001 RULMAN HK15*22	90	980	13.224.120	707.553.120	73.06%
20	464002 KOMPLE MUHAFAZA 175-275	7	350	12.600.000	720.153.120	74.36%
21	401003 GÖVDE 275	22	150	9.570.000	729.723.120	75.35%
22	415009 RULMAN 6006	1	400	9.478.800	739.201.920	76.32%
23	401002 GÖVDE 175	22	200	8.800.000	748.001.920	77.23%
24	415011 RULMAN 6307	1	240	8.784.720	756.786.640	78.14%
25	415018 RULMAN 1207	1	120	8.537.400	765.324.040	79.02%
26	446001 BOSALTMA MUSLUĞU	2	470	8.460.000	773.784.040	79.90%
27	456001 HAVA FİLTRESİ	3	980	8.330.000	782.114.040	80.76%
28	415016 RULMAN 1203	1	200	8.280.000	790.394.040	81.61%
29	413001 MANOMETRE	2	350	8.050.000	798.444.040	82.44%
30	415010 RULMAN 6206	1	300	7.917.750	806.361.790	83.26%
31	454002 KOMPLE KRANK T175	25	200	6.880.000	813.241.790	83.97%
32	454005 KOMPLE KRANK T475	25	120	6.746.400	819.988.190	84.67%
33	415017 RULMAN 1204	1	150	6.727.050	826.715.240	85.36%
34	450003 ÇEKVALF R1/2" 275-475	30	270	6.615.000	833.330.240	86.04%
35	418050 SEGMAN TAKIMI	5	300	6.300.000	839.630.240	86.69%
36	414004 V KAYISI 17X2250	5	240	5.899.200	845.529.440	87.30%
37	422028 CIVATA M10*75	1	5280	5.808.000	851.337.440	87.90%
38	446006 KURESEL VANA	2	270	5.670.000	857.007.440	88.49%
39	404026 MOTOR KASNAĞI 3000D	25	120	5.610.000	862.617.440	89.07%
40	464003 KOMPLE MUHAFAZA 475	7	120	5.400.000	868.017.440	89.63%
41	430800 YAĞ GÖSTERGESİ	25	470	4.700.000	872.717.440	90.11%
42	413003 MANOMETRE 0-16	2	120	4.200.000	876.917.440	90.54%
43	450002 ÇEKVALF R1/2" 175	30	200	4.000.000	880.917.440	90.96%
44	454003 KOMPLE KRANK T275	25	150	3.687.000	884.604.440	91.34%
45	428137 ÖZEL DİRSEK	7	480	3.600.000	888.204.440	91.71%
46	414002 V KAYISI	5	200	3.495.000	891.699.440	92.07%
47	407003 BİYEL KOLU	40	480	3.456.000	895.155.440	92.43%
48	446012 SİBER VANA	2	200	3.300.000	898.455.440	92.77%
49	422043 SAFLAMA M10*40	7	3920	3.136.000	901.591.440	93.09%
50	403021 KEÇELİ YAN KAPAK 475	22	120	2.838.000	904.429.440	93.38%

KOD	MALZEME ADI	TEMİN SURESİ (GÜN)	PARTİ BUYUKLUĞU	TOPLAM MALİYET (TL)	KUMULATİF MALİYET (TL)	KUMULATİF YUZDE (%)
51	403020 HAVALI KAPAK 475	22	120	2,706,000	907,135,440	93.66%
52	414003 V KAYISI	5	150	2,703,750	909,839,190	93.94%
53	404045 MOTOR KASNAĞI 1.5BG	25	200	2,530,000	912,369,190	94.20%
54	404043 MOTOR KASNAĞI 5.5BG	25	150	2,475,000	914,844,190	94.46%
55	407002 BİYEL KOLU	40	500	2,400,000	917,244,190	94.71%
56	458019 AL.BORU 16*2020	7	200	2,354,000	919,598,190	94.95%
57	449006 PISTON 075	30	300	2,250,000	921,848,190	95.18%
58	428023 NİPEL 1/2"-3/4"	10	700	2,100,000	923,948,190	95.40%
59	403016 KECELİ YAN KAPAK 175	22	200	1,980,000	925,928,190	95.60%
60	403017 HAVALI KAPAK 175	22	200	1,870,000	927,798,190	95.80%
61	460017 ARA DEPO T475	3	120	1,861,200	929,659,390	95.99%
62	458013 AL.BORU 6X400	7	270	1,811,700	931,471,090	96.18%
63	460013 ARA DEPO T275	3	150	1,513,500	932,984,590	96.33%
64	458061 AL.BORU 6*750	7	200	1,500,000	934,484,590	96.49%
65	403018 KECELİ YAN KAPAK 275	22	150	1,485,000	935,969,590	96.64%
66	458010 AL.BORU 16*2220	7	120	1,466,400	937,435,990	96.79%
67	430015 YAĞ BOS.ELEMANI	20	470	1,410,000	938,845,990	96.94%
68	403019 HAVALI KAPAK 275	22	150	1,402,500	940,248,490	97.08%
69	428020 DUZ RAKORU R1/2"	5	270	1,269,000	941,517,490	97.21%
70	458043 AL.BORU 16X1180	7	150	1,248,000	942,765,490	97.34%
71	458005 AL.BORU 16*1130	7	150	1,225,500	943,990,990	97.47%
72	419018 PISTON PERNOSU	5	300	1,200,000	945,190,990	97.59%
73	421014 ALUMINYUM KAPAK 175-275	10	350	1,155,000	946,345,990	97.71%
74	428054 REDUKSİYON1/2X1/4	7	320	1,120,000	947,465,990	97.83%
75	421003 AL.CEMBER 100LT	7	400	960,000	948,425,990	97.93%
76	421007 AL.CEMBER 500LT	7	240	900,000	949,325,990	98.02%
77	422029 CIVATA M8*20	7	3590	897,500	950,223,490	98.11%
78	458034 AL.BORU 16X760	7	120	818,400	951,041,890	98.20%
79	421004 AL.CEMBER 200LT	7	300	810,000	951,851,890	98.28%
80	458011 AL.BORU 16*720	7	120	800,400	952,652,290	98.36%
81	422103 CIVATA M10*40	1	2800	798,000	953,450,290	98.45%
82	427002 PUL M8	5	4440	777,000	954,227,290	98.53%
83	458039 AL.BORU 16X600	7	120	764,400	954,991,690	98.61%
84	428019 NİPEL R1/2"	2	470	752,000	955,743,690	98.68%
85	428016 ALTILI BAĞ R1/2	10	150	741,000	956,484,690	98.76%
86	422118 SAPLAMA M6*25	7	940	658,000	957,142,690	98.83%
87	423013 SOMUN M10	1	6200	589,000	957,731,690	98.89%
88	428022 REDUKSİYON 1/2"	7	320	528,000	958,259,690	98.94%
89	426024 BİYEL YANAK PULU	5	240	528,000	958,787,690	99.00%
90	422046 CIVATA M16*15	1	470	517,000	959,304,690	99.05%
91	425001 UST KAPAK CONTASI	15	980	450,800	959,755,490	99.10%
92	425002 SİL.UST.KAPAK CONTASI	15	980	450,800	960,206,290	99.14%
93	411002 RULMAN ARA BİLEZİĞİ	1	200	440,000	960,646,290	99.19%
94	420001 KAMA 8*7*35	10	350	437,500	961,083,790	99.23%
95	416002 YAĞ KEÇESİ 30*45*10	1	200	400,000	961,483,790	99.28%
96	427022 PUL M16	5	470	394,800	961,878,590	99.32%
97	416004 YAĞ KEÇESİ 35*70*10	1	120	384,000	962,262,590	99.36%
98	422007 CIVATA M4*16	1	1280	358,400	962,620,990	99.39%
99	411003 RULMAN ARA BİLEZİĞİ	1	150	330,000	962,950,990	99.43%
100	416003 YAĞ KEÇESİ 30*50*10	1	150	312,000	963,262,990	99.46%

KOD	MALZEME ADI	TEMİN SÜRESİ (GÜN)	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ	TOPLAM MALİYET (TL)	KUMULATİF MALİYET (TL)	KUMULATİF YUZDE (%)
101	421015 ALUMINYUM KAPAK 475	10	120	300,000	963,562,990	99.49%
102	412030 ALUMINYUM ETİKET	2	270	297,000	963,859,990	99.52%
103	422081 CIVATA M12*15	1	470	286,700	964,146,690	99.55%
104	426020 KASNAK YANAK PULU	5	350	280,000	964,426,690	99.58%
105	411004 RULMAN ARA BİLEZİĞİ	1	120	264,000	964,690,690	99.61%
106	427004 PUL M12	5	620	248,000	964,938,690	99.63%
107	422039 CIVATA 1/2X40"	1	480	218,400	965,157,090	99.66%
108	428003 MANSON 1/2"X30	5	120	216,000	965,373,090	99.68%
109	422061 CIVATA M1/2X60	1	540	210,600	965,583,690	99.70%
110	427005 DEMİR PUL M10	5	4000	200,000	965,783,690	99.72%
111	425003 SİLİNDİR ETEK CONTASI	15	980	196,000	965,979,690	99.74%
112	425805 YAĞ GÖSTERGE CONTASI	15	320	192,000	966,171,690	99.76%
113	426049 DELİK EMN.SEGMANI	5	600	180,000	966,351,690	99.78%
114	425004 HAV.YAN.KAPAK CONTA	15	700	168,000	966,519,690	99.80%
115	411014 UZATMA BORUSU	5	150	165,000	966,684,690	99.81%
116	420002 KAMA 8*10*73	10	120	150,000	966,834,690	99.83%
117	425050 YAĞ BOŞALTMA CONTASI	15	470	141,000	966,975,690	99.84%
118	422045 CIVATA M10X45"	1	480	139,200	967,114,890	99.86%
119	422035 CIVATA 3/8	1	400	124,000	967,238,890	99.87%
120	422019 SAC VIDA 4.8*32	1	940	112,800	967,351,690	99.88%
121	422009 CIVATA M6*10	1	800	104,000	967,455,690	99.89%
122	426029 YAYLI RONDELA	5	2000	100,000	967,555,690	99.90%
123	428021 KORTAPA R1/2"	2	150	90,000	967,645,690	99.91%
124	423018 SOMUN 3/4"	1	270	81,000	967,726,690	99.92%
125	422097 SEDIŞKUR M8X10	1	320	80,000	967,806,690	99.93%
126	425013 AL.KAPAK CONTA	15	350	70,000	967,876,690	99.94%
127	423007 SOMUN 1/2"	1	480	62,400	967,939,090	99.94%
128	422077 CIVATA M10*30	1	240	60,000	967,999,090	99.95%
129	422018 CIVATA 1/4"X15	1	720	46,800	968,045,890	99.95%
130	465016 BAĞLAMA LAMASI	1	200	46,000	968,091,890	99.96%
131	426022 KASNAK YANAK PULU	5	120	42,000	968,133,890	99.96%
132	423001 SOMUN M6	1	1540	38,500	968,172,390	99.97%
133	422005 CIVATA M6*20	1	600	36,000	968,208,390	99.97%
134	422112 CIVATA M6*15	1	600	36,000	968,244,390	99.97%
135	426019 YAY.RONDELA R1/4	1	870	34,800	968,279,190	99.98%
136	421011 AL.ETİKET PERCİNİ	2	1080	32,400	968,311,590	99.98%
137	425014 AL.KAPAK CONTA	15	120	30,000	968,341,590	99.98%
138	425006 HAV.YAN.KAPAK CONTA	15	240	28,800	968,370,390	99.99%
139	422027 CIVATA M10X25	1	120	27,600	968,397,990	99.99%
140	426028 YAYLI RONDELA 1/2"	5	480	26,400	968,424,390	99.99%
141	422071 CIVATA M6X20	1	480	26,400	968,450,790	100.00%
142	423004 SOMUN 1/4"	1	1020	25,500	968,476,290	100.00%
143	423008 SOMUN 3/8"	1	240	12,000	968,488,290	100.00%
144	427001 DEMİR PUL M6	5	600	9,000	968,497,290	100.00%

Burada seçilen malzemeler. işleme girmeden önce malzeme statüsünde. işlemleri bittikten sonra da ürün statüsünde varsayılmaktadırlar. Örneğin bir silindir. fabrikaya malzeme olarak girmekte ve torna. rektifiye. matkap ve honlama tezgahlarında işlendikten sonra ürün sınıfına girmektedir. Seçilen malzemelerin geçtikleri işlemler Tablo 6-9'da verilmiştir.

TABLO 6-9
Malzemelerin Hazırlık ve İşlem Zamanları

		TORNA	TORNA	REKTİFİYE	MATKAP	HONLAMA	
075 SİLİNDİR	HAZIRLIK (Dk)	60	60	30	120	30	
	İSLEM (Dk)	20	10	10	10	15	
		ÖZEL FREZE	Ç.K.MATKAP	S.MATKAP	KILAVUZ		
UST KAPAK	HAZIRLIK (Dk)	15	120	30	30		
	İSLEM (Dk)	10	5	10	6		
		İS.MERKEZİ	İS.MERKEZİ	İS.MERKEZİ	MATKAP		
GÖVDE	HAZIRLIK (Dk)	180	180	180	30		
	İSLEM (Dk)	10	5	15	6		
		TORNA	TORNA	TORNA	TORNA	MATKAP	FREZE
KRANK	HAZIRLIK (Dk)	60	60	60	60	30	60
	İSLEM (Dk)	10	10	20	5	5	5
		GIYOTİN	KIVIRMA	KAYNAK	BOMBE ÇAKIM	T.KAYNAK AK.MONTAJ	
KOMPLE DEPO	HAZIRLIK (Dk)	30	30	0	0	30	30
	İSLEM (Dk)	3	10	10	15	10	30
		GIYOTİN	EKS.PRES	EKS.PRES	UTULEME	TASLAMA	
SUPAB	HAZIRLIK (Dk)	30	60	60	60	30	
SACI	İSLEM (Dk)	1	2	5	2	15	
		TORNA	TORNA	BROS			
KOMPRESÖR KASNAĞI	HAZIRLIK (Dk)	30	30	30			
	İSLEM (Dk)	20	60	5			

Fabrikanın içinde işlem görmeleri, temin sürelerindeki uzunluklar ve A sınıfında bulunabilme kriterlerine sahip olma şartını sağlayan ve orijinal problem ile bir karşılaş-tırma yapılması imkanını vermesi amacına yönelik olarak se-çilen bu yedi malzemenin her biri bir faaliyet olarak ele alınmış bu faaliyetlerin süreleri hesaplanmıştır.

Faaliyet sürelerinin hesaplanmasında iki seçenek söz konusu olmaktadır. İlk önce problemin ilk formülasyonunda verildiği gibi, malzeme siparişinin bir defada verildiği varsayılarak, her malzemenin toplam parti büyüklüğüne bağlı olarak geçtiği tezgahlarda harcadığı sürenin toplamı ele alınacaktır. İkinci seçenekte ise, ekonomik parti büyüklüğü göz önüne alınarak buna bağlı olarak faaliyet süreleri bulunacaktır. Her iki durumda da tezgahların iki vardiya çalıştıkları varsayılmıştır (16 saat).

Birinci seçenekte, faaliyet sürelerinin hesaplanması ile ilgili formülasyon aşağıdaki gibidir:

Faaliyet Süresi = Parti büyüklüğü x Her tezgahtaki işlem zamanı + Her tezgahtaki hazırlık zamanları

Faaliyet I:

470'lik bir parti gövde imalatının süresi:

$$470 \times (10+5+15+6) + (180+180+180+30) = 17.490 \text{ Dk} \\ = 19 \text{ gün}$$

Faaliyet II:

980'lik bir parti silindir imalatının süresi:

$$980 \times (20+10+10+10+15) + (60+60+30+120+30) = 64.000 \text{ Dk} \\ = 67 \text{ gün}$$

Faaliyet III:

470'lik bir parti kompresör kasnağı imalatının süresi:

$$470 \times (20+60+5) + (30+30+30) = 40.040 \text{ Dk} \\ = 42 \text{ gün}$$

Faaliyet IV:

980'lik bir parti üst kapak imalatının süresi:

$$980 \times (10+5+10+6) + (15+120+30+30) = 30,575 \text{ Dk} \\ = 32 \text{ gün}$$

Faaliyet V:

740'lik bir parti supab imalatının süresi:

$$740 \times (1+2+5+2+15) + (30+60+60+60+30) = 18,740 \text{ Dk} \\ = 20 \text{ gün}$$

Faaliyet VI:

470'lik bir parti krank imalatının süresi:

$$470 \times (10+10+20+5+5+5) + (60+60+60+60+30+60) = 26,180 \text{ Dk} \\ = 28 \text{ gün}$$

Faaliyet VII:

470'lik bir parti komple depo imalatının süresi:

$$470 \times (3+10+10+15+10+30) + (30+30+0+0+30+30) = 36,780 \text{ Dk} \\ = 38 \text{ gün}$$

İkinci seçenekte, ilk önce ekonomik parti büyüklükleri hesaplanacaktır. Ekonomik parti büyüklüğü formülü aşağıda verilmiştir:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot c_R \cdot D}{c_H}} \quad (6.16)$$

Burada:

c_R : Sipariş maliyeti

D : Talep

c_H : Elde tutma maliyeti

olarak alınır. Malzemelerin sipariş maliyetleri hesaplanırken, tezgahda işlenme açısından bir fark göstermeyen ve aynı faaliyetin bir parçası olan ancak sipariş maliyeti farklı olan malzemelerin sipariş maliyetlerinin ağırlıklı

ortalaması alınmıştır. Yukarıda verilen faaliyetlerin ekonomik parti büyüklükleri (EOQ) aşağıda hesaplanmıştır:

Faaliyet I:

Gövde imalatına ait ekonomik parti büyüklüğü:

$$C_R = \frac{200 \times 44000 + 150 \times 63800 + 120 \times 130900}{470} = 72500$$

$$C_H = C_R \times \% 10 = 7250$$

$$Q_{I1} = \sqrt{\frac{2 \times 72500 \times 470}{7250}} = 97 \quad (5 \text{ parti})$$

Faaliyet II:

Silindir imalatına ait ekonomik parti büyüklüğü:

$$C_R = 36400$$

$$C_H = 3640$$

$$Q_{I2} = \sqrt{\frac{2 \times 36400 \times 980}{3640}} = 140 \quad (7 \text{ parti})$$

Faaliyet III:

Kompresör kasnağı imalatına ait ekonomik parti büyüklüğü:

$$C_R = \frac{200 \times 66000 + 150 \times 66000 + 120 \times 156200}{470} = 89000$$

$$C_H = 8900$$

$$Q_{III} = \frac{2 \times 89000 \times 470}{8900} = 97 \quad (5 \text{ parti})$$

Faaliyet IV:

Üst kapak imalatına ait ekonomik parti büyüklüğü:

$$C_R = 16500$$

$$C_H = 1650$$

$$Q_{IV} = \sqrt{\frac{2 \times 16500 \times 980}{1650}} = 140 \quad (7 \text{ parti})$$

Faaliyet V:

Supab imalatına ait ekonomik parti büyüklüğü:

$$C_R = 60000$$

$$C_H = 6000$$

$$Q_V = \sqrt{\frac{2 \times 60000 \times 740}{6000}} = 120 \quad (7 \text{ parti})$$

Faaliyet VI:

Krank imalatına ait ekonomik parti büyüklüğü:

$$C_R = \frac{200 \times 34400 + 150 \times 24580 + 120 \times 56200}{470} = 36830$$

$$C_H = 3683$$

$$Q_{VI} = \sqrt{\frac{2 \times 36830 \times 470}{3683}} = 97 \quad (5 \text{ parti})$$

Faaliyet VII:

Komple depo imalatına ait ekonomik parti büyüklüğü:

$$C_R = \frac{200 \times 127710 + 150 \times 161600 + 120 \times 394680}{470} = 206688$$

$$C_H = 20668$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 \times 206688 \times 470}{20668}} = 97 \quad (5 \text{ parti})$$

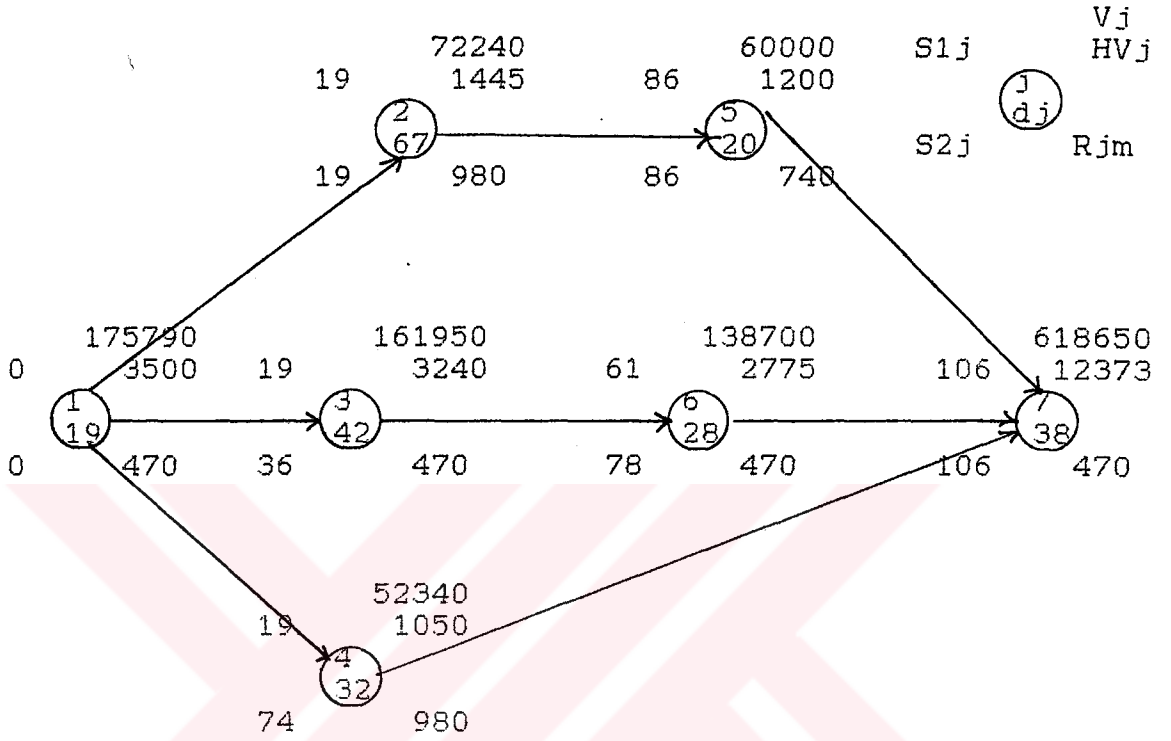
Görüldüğü gibi parti büyüklükleri ilk seçeneğe göre daha ufak olduğundan, faaliyet süreleri azalacaktır. Ancak seçilen malzemelerin temin sürelerinin de oldukça uzun olması, faaliyetlerin gecikmemesinin sağlanması ve malzemeyi elde bulundurmama maliyetlerinin çok yüksek kabul edilmesi yüzünden bütün partilerin art arda sipariş verilmesi gerekliliği ortaya çıkacağından, bu özel durumda ilk seçenek tercih edilecektir.

İlk seçeneğe göre faaliyetlere ait şebekenin oluşturulması için gerekli veriler, yukarıdaki hesaplamalardan alınarak Tablo 6-10'da verilmiştir:

TABLO 6-10
Faaliyet Süreleri Tablosu

Faaliyet	Süre
Gövde	19
Silindir	67
Kompresör Kasn.	42
Üst Kapak	32
Subap	20
Krank	28
Komple depo	38

Tablo 6-9'daki faaliyet sürelerine ve Tablo 6-8'deki tezgah kısıtlarına bağlı olarak şebeke Şekil 6-2'de verilmiştir:



ŞEKİL 6-2
Uygulamada Kullanılan Proje Şebekesi

Burada:

- j : faaliyet
- d_j : faaliyet süresi
- S_{1j} : faaliyetin erken başlama zamanı
- S_{2j} : faaliyetin geç başlama zamanı
- V_j : tamamlanmış faaliyetin maliyeti (malzeme, işçilik ve genel sarf giderleri toplamı)
- HV_j : tamamlanmış faaliyetin bekletme maliyeti (faaliyet maliyetinin % 2'si)

olarak tanımlanmıştır.

Burada R_{1m} malzeme talebi, faaliyetin gereksinim duyduğu toplam malzeme miktarını belirtmektedir. Faaliyet de malzemenin tezgahlarda işlem görmüş hali olarak kabul edildiğinden, faaliyetin malzeme talebi, henüz işlenmemiş olarak gelen malzeme miktarıdır. Tamamlanmış faaliyet maliyetleri de, Tablo 6-2'den Tablo 6-7'ye kadar olan tablolaradaki malzeme maliyet bilgileri verilerinden elde edilmiştir. Şebekede hesaplanan erken başlama ve bitiş zamanları ve geç başlama ve bitiş zamanları bir tablo halinde Tablo 6-11'de verilmiştir.

TABLO 6-11
Şebekeye Ait Veriler

Faali- yet	Süre	Erken Başla.	Erken Bitiş	Geç Başla	Geç Bitiş	Temin Süresi
1	19	0	19	0	19	22
2	67	19	86	19	86	30
3	42	19	61	36	78	22
4	32	19	51	74	106	22
5	20	86	106	86	106	30
6	28	61	89	78	106	25
7	38	106	144	106	144	7

Diğer önemli bir unsur olan malzeme temin zamanlarının göz önüne alınması ve hangi tarihlerde sipariş verilmesi gerektiğini göstermek amacı ile faaliyetlerin erken başlama ve geç başlama zamanlarına ait olmak üzere Tablo 6-12 ve Tablo 6-13'de faaliyetlerin malzeme sipariş zamanlarını gösteren temin süreleri tabloları verilmiştir:

TABLO 6-12
Erken Başlamaya Göre Temin Süreleri

	Proje Zaman Ekseni										
	-22	-11	-3	0	19	36	56	61	86	99	106
faaliyet kodları				1	2 3 4			6	5		7
malzeme miktarı				470	980 470 980			470	740		470
sipariş zamanı	470	980	470 980			470	740			470	

TABLO 6-13
Geç Başlamaya Göre Temin Süreleri

	Proje Zaman Ekseni													
	-22	-11	0	14	19	36	52	53	56	74	78	86	99	106
f k			1		2	3				4	6	5		7
m m			470		980	470				980	470	740		470
s z	470		980	470			980	470	740				470	

Termin sürelerine ait tabloların avantajı, faaliyetlerin programlanma zamanları ile o faaliyetlerin başlaması için gereken malzeme miktarlarının siparişlerinin hangi tarihlerde verilmesi gerektiğinin bir tablo üzerinde birlikte görülmesidir. Böylece faaliyetlerde malzeme temin durumlarına göre yapılacak ertelemeler açık bir şekilde görülebilir.

Tezgah atıl zamanlarının problemin içine formüle edilmesi ile ilgili olarak Tablo 6-9'daki tezgah grupları ele alınmıştır. Burada kolaylık sağlaması açısından sadece bir tek faaliyetin gerçekleştirilmesi için yararlanılan özel tezgahlar grubu ele alınacaktır. 4 no'lu faaliyetin (Üst Kapak) imalatında kullanılan özel freze, matkap ve kılavuz tezgahlarından oluşan grup içinde özel freze sadece bu amaçla kullanılmaktadır. Daha önceki hesaplamalardan 980 adetten oluşan bir parti üst kapak imalatının 32 gün sürdüğü belirlenmişti. Burada, özel frezenin toplam çalışma süresi aşağıda hesaplanmıştır:

Tezgah Çalışma Süresi = Parti Hacmi x Birim ürün işlem süresi + Hazırlık zamanı

Üst Kapak İmalatı için bu süre:

$980 \times 10 + 60 = 9,860$ dakika = 10 gün olarak bulunur.

Özel freze için atıl geçen zaman miktarı:

$32 - 10 = 22$ gün olarak bulunur.

Bu değer, bu tezgah için belirlenen boşta bekleme maliyet katsayısı ile çarpılarak bu tezgahın atıl bekleme maliyeti ortaya çıkarılır.

Giyotin makas ele alındığında, boşta bekleme maliyeti çok daha düşük olan bu ekipmanın atıl bekleme süresinin çok yüksek olduğu görülmektedir.

Komple depo ve supab saçı kesiminde kullanılan bu ekipmanın çalıştığı toplam süre:

$(470 \times 3 + 30) + (740 \times 1 + 30) = 2,210$ dakika = 3 gün

Komple depo imalatı 38 gün ve supab imalatı 20 gün sürdüğüne göre, en iyi olasılıkla bu ürünler paralel olarak imal

edilse bile, atıl süre $38 - 3 = 35$ gün gibi büyük bir değer olacaktır.

Sonuç olarak tezgahların atıl bekleme maliyetlerinin minimizasyonunun sağlanması için, amaç denkleminin öteki kısıtları ile çelişmeyecek bir şekilde optimum parti büyüklüklerinin hesaplanmasının önemi ortaya çıkmaktadır.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada projelerin malzeme, işgücü ve tezgah gibi kaynak kısıtları altında programlanması problemi ile ilgili literatürde yer alan çeşitli modeller incelenmiş ve bu problemi hedef alan bir modelin geliştirilerek ve soruna çeşitli açılardan yaklaşılarak yeni çözüm yöntemlerinin denenmesi amaçlanmıştır.

Proje programlama teknikleri, en kısa sürede optimum maliyet ile sonuca ulaşılmasını hedefleyen tekniklerdir. Özellikle kaynakları kısıtlı olan projeler için oldukça karmaşık modeller geliştirilerek bunlar için bir çözüm bulunmasına çalışılmıştır.

Büyük boyutlu projelerde analitik çözüm teknikleri yetersiz kaldığından sezgisel algoritmaların geliştirilmesine doğru bir yönelme olmaktadır. Ancak sezgisel algoritmalarda bir başlangıç çözümüne dayanmakta ve çoğu zaman spesifik problemlere bir çözüm bulmak amacı ile geliştirilmektedirler. Bu yüzden genelleştirilmeleri oldukça zor olmaktadır.

Analitik teknikler ise, küçük problemlerde başarılı sonuçlar vermektedirler. Problemin boyutu küçük tutulduğu takdirde, kesin sonuç almak her zaman mümkün olmaktadır.

Bu düşünceden yola çıkarak, proje programlamada malzeme yönetim politikalarını da gözönüne alan bir 0-1 programlama modelini ele alarak, malzeme temin sürelerinin ve ekipman türünden depolanamayan kaynak kısıtlarının modele dahil edilmesi konusunda çalışmalar yapılması burada amaçlanmıştır.

Bu amaçla, modelin geliştirilmesine çalışılarak, ekipmanlara ait atıl kapasite maliyetlerinin minimizasyonunun modelin içine entegre edilmesinin olurluluğu araştırılmış ve bir uygulama ile sonuçların geçerliliği incelenmiştir.

Burada önemli olan noktalardan biri de, malzeme temin sürelerinin, faaliyetlerin gecikmesinde rol oynayan etkenlerden biri olduğunun göz ardı edilmemesidir. Bu amaca yönelik olarak, faaliyetlere ilişkin malzeme temin süresi tabloları oluşturularak, faaliyetlerin programlanması ile malzeme temini arasındaki ilişkiyi tek bir tabloda görme imkanının yaratılmasının programlama sürecini daha etkin kılacağı anlaşılmıştır.

Yine, malzeme sipariş miktarları açısından herhangi bir kısıt olmadığı varsayımı da incelenerek, böyle bir kısıt oluşması durumunda ekonomik parti büyüklüğü hesaplanması yapılarak ve sipariş edilecek partilerin miktarları ve sipariş sayıları saptanarak malzeme temin edilmesi yolunun açık olduğu görülmektedir. Ancak, problemin bu şekilde çözümünün daha detaylı hale getirilmesi için malzeme temininin gecikme risklerini de göz önüne alan ve stokastik olarak beklenen gerçekleşme değerlerini veren bir model kurulması gerekecektir.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZDEMİR, A., Proje Planlama ve Kontrol Yöntemleri, Atatürk Üniversitesi İşletme Fak., Yayın No:57, Erzurum (1976).
- [2] SOYSAL, A., Proje Yönetimine Giriş -Proje Planlama ve Kontrol Semineri- TUSSİDE, İstanbul (1986).
- [3] GROTH, R., ERBSLOCH, F.D., STROMBACH, M.E., Projekt Management in Mittelbetrieben, Deutscher Instituts-Verlag, Köln (1982).
- [4] BARD, J.F., BALACHANDRA R., KAUFMANN P.E., An Interactive Approach to R&D Project Selection and Termination, IEEE Transactions On Engineering Management, Vol.35, No 3 (1988).
- [5] COOPER, R., An Empirically Derived New Product Project Selection Model, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol em-28, No 3 (1981).
- [6] DAVIES, G.B., PEARSON, A.W., The Application of Some Group Problem Solving Approaches to Project Selection in Research and Development, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol em-27, No 3 (1980).
- [7] RADEMACHER, G., Risiko-Management von Projekten, Management Enzyklopadie, Band 8, 2.Auflage, s.227-233, Verlag Moderne Industrie, Landsberg (1984).
- [8] LEE, J., BAE, Z.T., R&D Project Selection: Behavior and Practice in a Newly Industrialized Country, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol em-33, No 3 (1986).
- [9] GUPTA, S.K., TAUBE, L.R., A State of The Art of Survey on Project Management, Project Management: Methods and Studies, DERL.: DEAN, B.V. Elsevier Publishing, North-Holland (1985).
- [10] DREGER, W., Projekt-Management: Planung und Abwicklung von Projekten, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin (1975).
- [11] RINZA, P., Projektmanagement, Planung, Überwachung und Steuerung von technischen und nicht technischen Vorhaben, VDI-Verlag GmbH, (1985).

- [12] NÜBLING, F., Die Projektorganisation, SE-Unterlagen Invenio, Frankfurt (1988).
- [13] GERKEN, W., Systemanalyse: Entwurf und Auswahl von DV-Anwendersystemen, Addison-Wesley Verlag GmbH, Bonn (1988).
- [14] LARSON, W.E., GOBELI, H.D., Significance of Project Management Structure on Development Success, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.36, No 2, s.119-125 (1989).
- [15] LARSON, W.E., GOBELI, H.D., Matrix Management: Contradictions and Insights, California Management Review, Vol.29, No 4, s.126-138 (1987).
- [16] POSNER, B., What's All The Fighting About? Conflicts in Project Management, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.33, No 4, s.207-211 (1986).
- [17] WILLIS, R.J., A Note on the Generation of Project Network Diagrams, Journal of Operation Research Society, Vol.32, s.235-238 (1981).
- [18] RADEMACHER, G., Projekt-Controlling, Management Enzyklopadie, Band 7, 2.Auflage, s.851-863, Verlag Moderne Industrie, Landsberg (1984).
- [19] WIEST, J.D., LEVY, F.K., A Management Guide to PERT-CPM, Prentice-Hall, New Delhi (1972).
- [20] WIEST, J.D., Gene Splicing PERT and CPM :The Engineering of Project Network Models, Project Management: Methods and Studies, DERL.: DEAN, B.V. Elsevier Publ. North-Holland, (1985).
- [21] MOORE, L.J., TAYLOR, B., Multi-Team, Multi-Project Research and Development Planning with GERT, Management Science, Vol.24, No 4, s.401-410 (1977).
- [22] MONGALO, M.A., LEE, J. A Comparative Study of Methods for Probabilistic Project Scheduling, Computers and Industrial Engineering, Vol.19, No 4, s.505-509 (1990).
- [23] ÇEZİK, A., Çok Proje Planlamasında Amaç Programlaması TUBITAK YAE Teknik Bülten 14, s.4-7 (1983).
- [24] DEPORTER, E.L., ELLIS, K.P., Optimization of Project Networks with Goal Programming and Fuzzy Linear Programming, Computers and Industrial Engineering, Vol.19, No 4, s.500-504 (1990).

- [25] HOCKING, R.R., LAMBERSON, L.R., Optimum Time Compression in Project Scheduling, Management Science, Vol.16, No 10, s.597-606 (1970).
- [26] GOYAL, S.K., A Note on a Simple CPM Time-Cost Tradeoff Algorithm, Management Science, Vol.21, No 6, s.718-722 (1975).
- [27] ROBINSON, D.R., A Dynamic Programming Solution to Cost-Time Tradeoff for CPM, Management Science, Vol.22, No 2, s.158-166 (1975).
- [28] CARRUTHERS, J.A., BATTERSBY, A., Advances in Critical Path Methods, Operational Research Quarterly, Vol.17, No 4, s.359-379 (1966).
- [29] BECKER, G., Belastungsplanung mit Hilfe der Netzplantechnik, Fertigungstechnik und Betrieb, Vol.22, s.396-401 (1972).
- [30] WIEST, J.D., A Heuristic Model for Scheduling Large Projects with Limited Resources, Management Science, Vol.13, No 6, s.359-377 (1967).
- [31] WILLIS, R.J., Critical Path Analysis and Resource Constrained Project Scheduling-Theory and Practice, European Journal of Operation Research Society, Vol.21, s.149-155 (1985).
- [32] BUFFA, E.S., Production and Inventory Systems: Planning and Control, Homewood Illinois (1979).
- [33] DAVIS, E.W., Project Scheduling under Resource Constraints - Historical Review and Categorization of Procedures, AIIE Transactions, Vol.5, No 3, s.297-311 (1973).
- [34] HERROELEN, W.S., Resource-Constrained Project Scheduling - The State of the Art, Operation Research Quarterly, Vol.23, No 3, s.261-273 (1972).
- [35] OZDEN, M., Proje Yönetimi Teknikleri ile Altsistem İş Programlarının Eşgüdümlü Planlaması, Yöneylem Araştırması Dergisi, Vol.2, No 1, s.16-25 (1983).
- [36] GONGUET, L., Comparison of three Heuristic Procedures for Allocating Resources and Producing Schedule, Project Planning by Network Analysis, North-Holland Publ. Cy., Amsterdam (1969).
- [37] PRITSKER, A.A.B., WATTERS, L.J., WOLFE, P.M., Multi - Project Scheduling with Limited Resources: A Zero-One Programming Approach, Management Science, Vol.16, No 1, s.93-108 (1969).

- [38] MASON, A.T., MOODIE, L., A Branch and Bound Algorithm for Minimizing Cost in Project Scheduling, Management Science, Vol.18, No 4, s.158-173 (1971).
- [39] HASTINGS, N.A., WILLIS, R.J., Project Scheduling with Resource Constraints Using Branch and Bound Method, Operation Research Quarterly, Vol.27, No 2, s.341-349 (1976).
- [40] STINSON, J.P., DAVIS, E.W., KHUMAWALA, B., Multiple Resource Constrained Scheduling Using Branch and Bound, AIIE Transactions, Vol.10, No 3, s.252-259 (1978).
- [41] PATTERSON, J.H., A Comparison of Exact Approaches for Solving the Multiple Constrained Resource Project Scheduling Problem, Management Science, Vol.30, No 7, s.854-867 (1984).
- [42] BALAS, E., Machine Sequencing via Disjunctive Graphs: An Implicit Enumeration Algorithm, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, s.941-957 (1968).
- [43] SCHRAGE, L., Solving Resource Constrained Network Problems By Implicit Enumeration-Nonpreemptive Case, Operations Research, Vol.18, s.263-278 (1970).
- [44] SCHRAGE, L., Solving Resource Constrained Network Problems By Implicit Enumeration-Preemptive Case, Operations Research, Vol.20, s.668-677 (1972).
- [45] TALBOT, F.B., PATTERSON, J.H., An Efficient Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving Resource Constrained Scheduling Problems, Management Science, Vol.24, No 11, s.1163-1174 (1978).
- [46] DAVIS, E.W., Project Network Summary Measures - Constrained Resource Scheduling, AIIE Transac., Vol.7, No 2, s.132-142 (1975).
- [47] PANWALKAR, S.S., ISKANDER, W., A Survey of Scheduling Rules, Operations Research, Vol.25, No 1, s.45-61 (1977).
- [48] PLEBANI, L.J., A Heuristic for Multiple Resource Constrained Scheduling, Production and Inventory Management, Vol.22, No 1, s.65-80 (1981).

- [49] ULUSOY, G., OZDAMAR, L., Heuristic Performance and Network Resource Characteristics in Resource Constrained Project Scheduling, Journal of Operational Research Society, Vol.40. No 12, s.1145-1152 (1989).
- [50] BELL, C.E., HAN, J., A New Heuristic Solution Method in Resource Constrained Project Scheduling, Naval Research Logistics, Vol.38, s.315-331 (1991).
- [51] HOLLOWAY, C.A., NELSON, R.T., SURAPHONGSCHAI, V., Comparison of a Multi-Pass Heuristic Decomposition Procedure with other Resource Constrained Project Scheduling Procedures, Management Science, Vol.25, No 9, s.862-872 (1979).
- [52] NORBIS, M.I., MACGREGOR, S.J., Two Level Heuristics for the Resource Constrained Scheduling Problem, International Journal of Production Research, Vol.24, No 5, 1203-1219 (1986).
- [53] KELLEY, J., Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis, Operations Research, Vol.9, No 3, s.296-319 (1961).
- [54] BAKER, K.R., Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley Publishing, s.268-288 (1974).
- [55] ELSAYED, E.A., NASR, N.Z., Heuristics for the Resource Constrained Scheduling, International Journal of Production Research, Vol.24, No 2, s.299-310 (1986).
- [56] KHATTAB, M., CHOOBINEH, F., A New Heuristic for Project Scheduling with a Single Resource Constraint, Computers and Industrial Engineering, Vol.19, No 4, s.514-518 (1990).
- [57] COOPER, D.F., Heuristics for Scheduling Resource Constrained Projects: An Experimental Investigation, Management Science, Vol.22, No 11, s.1186-1194 (1976).
- [58] DAR-EL, E.M., TUR, Y., A Multi-Resource Project Scheduling Algorithm, AIIE Transactions, Vol.9, No 1, s.44-52 (1977).
- [59] DAR-EL, E.M., TUR, Y., Resource Allocation of a Multi-Resource Project for Variable Resource Availabilities, AIIE Transactions, Vol.10, No 3, s.299-306 (1978).

- [60] THESEN, A., Heuristic Scheduling of Activities Under Resource and Precedence Restrictions, Manag. Science, Vol.23, No 4, s.412-422 (1976).
- [61] KURTULUS, I.S., DAWIS, E.W., Multi-Project Scheduling: Categorization of Heuristic Rules Performance, Management Science, Vol.28, No 2, s.161-172 (1982).
- [62] DAVIS, E.W., PATTERSON, J.H., A Comparison of Heuristic and Optimum Solutions in Resource-Constrained Project Scheduling, Management Science, Vol.21, No 8, s.944-955, April (1975).
- [63] RUSSELL, A., Cash Flows in Networks, Management Science, Vol.16, No 5, s.357-373 (1970).
- [64] GRINOLD, R.C., The Payment Scheduling Problem, Naval Research Logistics Quarterly, Vol.19, No 1, s.123-136 (1972).
- [65] ELMAGHRABY, S.E., HERROELEN, W.S., The Scheduling of Activities to Maximize the Net Present Value of Projects, European Journal of Oper. Res. Soc., Vol.49, s.35-39 (1990).
- [66] DOERSCH, R.H., PATTERSON, J.H., Scheduling a Project to Maximize its Present Value: A Zero-One Programming Approach, Manag. Science, Vol.23, No 8, s.882-889 (1977).
- [67] SMITH-DANIELS, D.E., AQUILANO, N.J., Using a Late Start Resource Constrained Project Schedule to Improve Project Net Present Value, Decision Sciences, Vol.18, s.617-630 (1987).
- [68] TAVARES, L.V., Optimal Resource Profiles for Program Scheduling, European Journal of Operation Research Society, Vol.29, s.83-90 (1987).
- [69] ERKUT, H., POLAT, S., Nakit Akış Analizi İçin Bir Sistem Dinamiği Modeli, YA-EM 91 Bildiriler.
- [70] SLOWINSKI, R., Multiobjective Network Scheduling with Efficient Use of Renewable and Nonrenewable Resources, European Journal of Operation Research Society, Vol.5, No 8, s.711-723 (1980).
- [71] SLOWINSKI, R., Two Approaches to Problems of Resource Allocation among the Project Activities - A Comparative Study, Journal of Operation Research Society, Vol.31, s.711-723 (1980).

- [72] AFIESIMAMA, B.T., Aggregate Manpower Requirements for Strategic Project Planning, Computers and Industrial Engineering, Vol.12, No 4, s.249-262 (1987)
- [73] SOYSAL, A.,SIVRI, H., ULUKAN, Z., Personel İhtiyaç Planlaması Üzerine bir Uygulama, Endüstri Mühendis.88, Ulusal Kongre (Bildiri) (1988).
- [74] SOYSAL, A., ÖZKAYA,G., ÖZ,E., ÖZKAN,C., Büyük Bir İşletmede Malzeme Takip ve Kontrol Sistemlerinin İyileştirilmesi, YA-EM 88 (Bildiri) (1988).
- [75] SOYSAL, A., CEBECİ,U., YENİSEY,M., Sipariş Tipi Üretim Yapan bir İşletmede Bilgisayar Destekli Malzeme Yönetim Sistemi, YA-EM 91 (Bildiri) (1991).
- [76] SMITH-DANIELS, D.E., SMITH-DANIELS, V.L., Optimal Project Scheduling with Materials Ordering, IIE Transactions, Vol.19, No 2, s.122-129 (1987).

ÖZGEÇMİŞ

Ziya Ulukan, 25 Ekim 1960 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra, 1979-1980 öğretim yılında Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Bu bölümden 1983-1984 güz döneminde mezun olarak mühendis ünvanı aldı. 1984-1985 döneminde İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programına girdi ve aynı yıl bu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Personel İhtiyaç Planlaması konusunda yüksek lisans tezini vererek, 1986 yılı yaz döneminde yüksek mühendis ünvanı aldı. 1986-1987 güz döneminde İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü doktora programına girdi. Doktora dersleri yeterlilik sınavını verdikten sonra, 1987 yılı eylül ayında Federal Alman hükümetinin açtığı proje yönetimi konulu bir burs sınavını kazanarak, 18 aylık bir süre boyunca Almanya'da teorik ve pratik öğrenim gördü. 1989 yılı mart ayında Türkiye'ye dönerek üniversitedeki görevine devam etti. 1989 yılı ağustos ayında Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları genel müdürlüğünde proje mühendisi olarak çalışmaya başladı. 1991 yılı temmuz ayında İ.T.Ü. İşletme Fakültesindeki araştırma görevliliği görevine geri döndü ve halen aynı görevdedir. Evli olup, İngilizce, Fransızca ve Almanca bilmektedir.