



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**İNŞAAT YÖNETİMİNDE KISIT BAZLI KARAR DESTEK
MODELİ**

Osman Hürol TÜRKAİN

İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliğı Programı

Danışman

Prof.Dr.Ekrem MANİSALI

Nisan, 2016

İSTANBUL

Bu çalışma 21 Nisan 2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:



İmza

Prof. Dr. Ekrem MANİSALI (Danışman)

İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



İmza

Doç.Dr. Gül POLAT TATAR

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



İmza

Doç.Dr. Ömer ÖZKAN

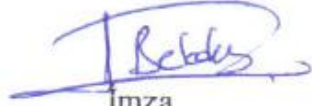
İstanbul Medeniyet Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi



İmza

Doç.Dr. Ümit IŞIKDAĞ

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
Enformatik Bölümü



İmza

Doç.Dr. Gebrail BEKDAŞ

İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır

ÖNSÖZ

En başta doktora eğitiminde tez danışmanlığımı yürüten Prof.Dr. Ekrem MANİSALI hocama tez sürecinde maddi ve manevi, sürekli ve sabırla yanımda bulunduğu için ve sürekli muhafaza ettiği için, kendilerine en içten teşekkürlerimi beyan ederim. Bütün eğitimim boyunca bana her türlü desteklerini esirgemeyen Hami TÜRKAİN, Hamiyet TÜRKAİN ve Hayrettin TÜRKAİN kardeşlere ve kardeşim Gürer TÜRKAİN'a en içten sadakatlerimi sunarım.

Doktora çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen, her türlü desteği sağlayan, sabır gösteren değerli dostum Murat ANBARCI'ya, ve süreç boyunca manevi destek ve motivasyon sağlayan değerli abim, iş arkadaşım ve hocam Doç.Dr. Gabriel BEKDAŞ'a teşekkürü borç bilirim.

Nisan, 2016

Osman Hürol TÜRKAİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 PROJE YÖNETİMİ.....	1
1.2 ÜRETİM PROJELERİNDE İŞ PROGRAMI	4
1.3 KURUMSAL AÇIDAN PLANLAMA FONKSİYONU	4
1.4 İNŞAAT PROJELERİNDE PLANLAMA.....	5
1.5 FAALİYETLERİN SIRALAMASINI BELİRLEMEK	7
1.6 FAALİYETLERİN SÜRESİNİ TAHMİN ETMEK	8
1.7 PLANLAMA ÇEŞİTLERİ	8
1.7.1 Gantt Şemaları.....	9
1.7.2 Kritik Yol Metodu.....	11
1.8 İNŞAAT PROJELERİNDE KISIT KAVRAMI	13
2. GENEL KISIMLAR	17
2.1.DETERMİNİSTİK YÖNTEMLER.....	17
2.2.META SEZGİSEL YÖNTEMLER.....	17
2.3.SEZGİSEL YÖNTEMLER	18
2.3.1.Sezgisel Kurallar	18
2.3.2.Planlama Metotları	22
2.3.2.1 Seri Planlama Yöntemi.....	22
2.3.2.2 Paralel Planlama Yöntemi	23
2.3.3.Seri Planlama Örneği	25
2.3.4.Paralel Planlama Örneği.....	30
3. MALZEME VE YÖNTEM	35
3.1.PARAMETRİK OLMAYAN İSTATİSTİKSEL TESTLER	39
3.1.1 Wilcoxon İstatistiksel Testi.....	39

3.1.2 Kolmogorov-Smirnov Testi.....	40
3.1.3 Mann-Whitney U Testi	40
3.1.4 Kruskal Wallis İstatistiksel Testi	41
3.1.5 Wilcoxon İstatistiksel Testi Uygulaması	42
4. BULGULAR	45
4.1 PARALEL VE SERİ PLANLAMA METODLARININ MUKAYESESİ.....	45
4.2 SEZGİSEL KURALLARIN MUKAYESESİ	48
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	54
SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR	58
EKLER.....	60
EK 1. SERİ PLANLAMA ÇÖZÜM ADIMLARI.....	60
EK 2. PARALEL PLANLAMA ÇÖZÜM ADIMLARI	69
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Örnek Bir İş Kırınım Yapısı.....	5
Şekil 1.2: Proje planlama & kontrol döngüsü.....	6
Şekil 1.3: Bir faaliyetin planlama ve ilerleme durumu.....	9
Şekil 1.4: Bir faaliyetin değişken şartlarda ilerleme durumu	10
Şekil 1.5: Bir benzin istasyonu için örnek bir Gantt diyagramı	11
Şekil 1.6: Projenin CPM diyagramı.....	12
Şekil 1.7: CPM diyagramın ileri geri hesapları	13
Şekil 1.8: Birinci tip kısıt.....	14
Şekil 1.9: İkinci tip kısıt.	14
Şekil 1.10: Üçüncü tip kısıt.	15
Şekil 2.1: Örnek bir şebeke.	22
Şekil 2.2: Paralel planlama metodunun akış şeması.....	24
Şekil 2.3: Örnek bir şebeke	25
Şekil 2.4: İlk durumdaki hesap öncesi kaynak kullanımı	26
Şekil 2.5: Örnek şebekede ikinci adım karar kümesinin gösterimi	26
Şekil 2.6: Planlamada ilerleyiş	28
Şekil 2.7: 9 numaralı faaliyetin planlaması	29
Şekil 2.8: Seri planlamaya göre son durum.....	30
Şekil 2.9: Paralel planlamada ara bir adım.	31
Şekil 2.9: Paralel planlamada ara bir adım	32
Şekil 2.10: Paralel planlamadan görünüm.....	33
Şekil 2.11: Paralel planlamada son durum	34
Şekil 3.1: 30 Faaliyetli veri dosyasından görünüş	36
Şekil 3.2: Faaliyetlerin kaynak durumları	37
Şekil 3.3: 32 Faaliyetli bir şebeke	37

Şekil 3.4: Hesaplamaların akış metodu.....	38
Şekil 4.1: Seri ve paralel planlama en iyi sonucun hata payı	48
Şekil 4.2: Seri planlamaya göre en iyi dört kuralın birinci gelme ihtimalleri.	50
Şekil 4.3: İlk dört kuralın PSLIB’ deki en iyi sonuçlara göre hata payı.....	52
Şekil 4.4: İlk dört kuralın CPM sonuçlarına göre hata payı	53



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Başlıca sezgisel kurallar ve tanımlamaları.....	19
Tablo 3.1: Örnek sonuçlar.....	42
Tablo 3.2: İki verinin mukayesesi.....	43
Tablo 3.3: Sıralama puanları hesap sonucu.....	43
Tablo 3.4: Wilcoxon tablosu.....	44
Tablo 4.1: Çözümlemelerin ve en iyi gönderimlerin ortalamaları.....	47
Tablo 4.2: 30 faaliyetli şebekeler için sezgisel kuralların ikili mukayesesi.....	49
Tablo 4.3: Sezgisel kuralların birbirine göre üstünlük ihtimalleri.....	51
Tablo 5.1: Seri planlama için 30 faaliyetlik planlamada sezgisel kuralların sonuçları.....	55
Tablo 5.2: Seri planlama metodunda sezgisel kuralların mukayesesi.....	56
Tablo 5.3: Paralel planlama metodunda sezgisel kuralların mukayesesi.....	57

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

X	: Değer Kümesi
D_i	: Tanım Kümesi
i	: Proje Faaliyet İndisi
N	: Faaliyet Adedi
F_i	: Proje Tamamlanma Süresi
r	: Kaynak İhtiyacı
A_t	: T Anında Aktif Faaliyetler
t_n	: Planlama Zamanı
C_n	: Tamamlanmış Faaliyetler
A_n	: Aktif Faaliyetler
D_n	: Karar Kümesi

Kısaltmalar

Açıklama

SPT	: En Kısa İşlem Süresi
MIS	: En Çok Hemen Sonraki Faaliyet Sayısı
MTS	: En Çok Sonraki Faaliyet Sayısı
RPW	: En Büyük Pozisyonel Ağırlık 1
RPW*	: En Büyük Pozisyonel Ağırlık 2
EST	: Erken Başlama Zamanı
ESTD	: Dinamik Erken Başlama Zamanı
EFT	: Erken Bitiş Zamanı
EFTD	: Dinamik Erken Bitiş Zamanı
LST	: Geç Başlama Zamanı
LFT	: Geç Bitiş Zamanı
MSL	: Statik Toplam Bolluk
MSLD	: Dinamik Toplam Bolluk
GRD	: En Büyük Kaynak Gereksimi
WRUP	: En Büyük Kaynak Kullanımı Ve Öncelik İlişkisi
CPM	: Kritik Yol Metodu

ÖZET

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT YÖNETİMİNDE KISIT BAZLI KARAR DESTEK MODELİ

Osman Hürol TÜRKAİN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof.Dr.Ekrem MANİSALI

Kısıtlı kaynak planlama kısıtlı kaynaklar altında projelerin minimum proje süresinde tamamlanmasını amaçlayan bir planlama çeşididir. Kısıtlı kaynak planlama problemini çözümleyebilmek için, birçok yöntem mevcuttur. Sezgisel öncelik kuralları en etkin yöntemlerden birisidir. Literatürde sezgisel yöntemlerinin mukayesesini yapan yeterli miktarda yayın bulunmamaktadır. Bu çalışma seri planlama metodu için 17 adet öncelik kuralını paralel planlama metodu içinde 16 adet sezgisel kuralı mukayese etmiştir. Test problemleri PSLIB kütüphanesinden 4 tip kaynaklı tek modlu 2040 adet problem indirilmiş ve çözümlenmiştir. Seri planlama metodu paralel planlama metodundan daha iyi performans göstermiştir. Sezgisel kuralların içinden ise geç başlama kuralı en performanslı kuraldır.

Nisan 2016, 89 sayfa.

Anahtar kelimeler: Kısıtlı kaynak planlama, Sezgisel Yöntemler, Sezgisel Kurallar

SUMMARY

Ph.D. THESIS

A CONSTRAINED BASED DECISION SUPPORT MODEL IN CONSTRUCTION MANAGEMENT

Osman Hürol TÜRKAİN

Istanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof.Dr.Ekrem MANİSALI

Resource-Constrained project scheduling is a kind of scheduling problem that aims minimizing project duration within limited resource availabilities. There are various types of methods for solving Resource-Constrained project scheduling. Heuristic priority rules are one of efficient methods. In the literature comparison of the heuristic rules within different networks is not sufficient. This study compares 17 heuristic priority rules for serial scheduling scheme and 16 heuristic rules for heuristic scheduling method by the solution of 2040 benchmark problems with 4 different resource type in Project Scheduling Problem Library (PSLIB). And there are four kinds of resource types. Serial scheduling scheme showed better performance than Parallel scheduling scheme The late start rule showed best performance in the rules.

April 2016, 89 pages.

Keywords: Resource-Constrained Project Scheduling, Heuristic Methods, Heuristic Rules

1. GİRİŞ

İnşaat projelerinde kısıtlar kaçınılmaz bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Gerek kurumsal gerek kurumsal olmayan firmalarda olsun kriz yönetimi genellikle kişisel tecrübelerle çözümlenmektedir. Proje yönetimi uygulamalarında, uygulama açısından günlük çözümler yerine, sistematik çözümlere ihtiyaç vardır. Söz konusu bu tez literatürdeki halihazırdaki sistematik çözümlere bir inceleme ve mukayese mahiyetinde olup, inşaat projelerinde uygulanabilirliği açısından bir giriş özelliği taşımaktadır.

1.1 PROJE YÖNETİMİ

İnşaat projeleri karmaşık ve zaman alıcı taahhütlerdir. Normal şartlarda bir projenin toplam gelişimi uzman hizmetler gerektiren muhtelif safhalardan oluşmaktadır. Projenin ilk planlama aşamasından tamamlanma aşamasına kadar ki safhalarda tipik bir faaliyet finans kuruluşları, devlet kurumları, mühendisler, mimarlar, avukatlar, sigorta firmaları, müteahhitler, malzeme üreticileri ve tedarikçileri, mal sahibi/sahipleri gibi farklı alanlardan gelen talep girdileri aşamalarından geçer.

İnşaat projeleri bir dereceye kadar benzersizdir. Bu özelliği, projenin bulunduğu çevreye uyumunu, kendine özgü işlevine uygun olarak düzenlenmesini, kişisel zevkleri ve tercihleri yansıtacak şekilde tasarlanmasını gerektirir. Şantiye tecrübeleri ve yaşanan sapmalar ile yapı malzemelerinin birleşimi her inşaat projesini yeni ve farklı bir deneyim haline dönüştürür.

İnşaat süreci son derece değişken ve çoğu zaman öngörülemeyen faktörlerin etkisi altındadır. Mimarlar, mühendisler, taşeronlar, malzeme tedarikçileri ve satıcılarını içeren inşaat ekibi bir işten diğerine değişkenlik gösterebilir. İnşaat sahasındaki yeraltı koşulları, yüzey topoğrafyası, hava durumu, ulaşım, malzeme temini, altyapı hizmetleri, yerel taşeronlar, çalışma koşulları ve mevcut teknolojiler gibi tüm karmaşıklıklar inşaat sürecinin doğal parçasıdır.

Sonuç olarak inşaat projeleri kendi kompleksliği ve çeşitliliği ile standart olmayan üretim doğası ile temsil edilirler. Fabrika tipi üretim şeklinin kullanımı bireyselliği azaltabilir fakat standart yöntemler ve montaj hattı üretimi ile sağlanan ürün homojenliği tam olarak inşaat yapım sürecine adapte olamayacaktır. Aksine bir defaya mahsus üretim ve inşaat sektörü menşeiili proje yönetimi araçları üretim süreçlerinde benimsenmektedir.

İnşaat yönetimi terimi proje sahibinin asgari maliyetle yüksek kalite elde etme amacına ulaşabilmesi için profesyonel yönetim hizmeti sunulmasıdır. Bu tür hizmetler sahadaki inşaat gibi sadece tanımlanmış bir bölümün inşaat programını kapsayabilir ya da toplam proje sorumluluğunu ihtiva edebilir. İnşaat yönetimi yaklaşımının amacı, projenin planlaması, tasarımı ve inşasındaki faaliyetlerin tamamını entegre bir şekilde ele almaktır. İnşaat yönetimi uygulandığında bir projedeki mal sahibi, müteahhit, mimar, mühendis proje müdüründen oluşan birbirine hasım olmayan bir ekip kurulur. Proje katılımcıları, proje başlangıcından proje bitişine kadar birlikte uyum içerisinde çalışarak proje sahibinin çıkarlarına en uygun şekilde hizmet etmeye çalışır. Yönetim ekibi en ekonomik zaman diliminde proje sahibinin maksimum değeri elde edebilmesi için inşaat maliyeti, kalite ve proje tamamlanma takvimine uyarak çaba göstermektedir. İnşaat yönetimi tek başına tasarım ya da inşaat hizmetlerini içermez ancak tasarım ve inşaat hizmetleri için tanımlanmış yönetim kararlarını ve denetimini içerir.

Kaynak terimi iş gücü, malzeme, ekipman ve makineyi işaret etmektedir. İnşaat sürecinde tüm bu kaynaklar bir iş planı altında dikkatli bir şekilde yönetilmelidir. Projenin gelecekteki kaynak ihtiyaç takvimi hazırlanarak yeterli gerekli iş desteğini sağlamak için gerekli olumlu adımlar atılmalıdır. Uygun malzeme sevkiyatı tecrübeli ve dikkatli bir satın alma, imalat çizimi, gözden geçirme ve onay ile kalite kontrolü gerektirir. İşçi ekipleri ve inşaat ekipmanları planlanmış ve düzenlenmiş olmalıdır. Projede taşeron kullanımı söz konusu ise taşeronlar genel iş programından haberdar olmalı, taşeronların kendi bölümlerine düşen işleri koordine edilerek kontrol altında tutulmalıdır.

İnşaat planlaması ya da inşaat iş programının hazırlanması deneyimli, saha tecrübesi olan işine aşina kişiler tarafından yapılmalıdır. Bu konuda önemli bilgi proje planlama aşamasında öğrenilir. Bu nedenle planlama yapan kişiler işin yönetiminde en iyi konuma sahiptir. Proje şebekesini oluşturabilmek için birçok proje kaynağından bilgi alınması gereklidir. Proje müdürü, şantiye şefi, saha mühendisi gibi projeye önderlik eden kilit

personelden planlama toplantısı ya da bir dizi görüşme adı altında proje ile ilgili bilgiler toplanabilir. Hazırlanan proje şebekesi üzerindeki faaliyetlerin değiştirilebilir, eleştirilebilir ve geliştirilebilir bir ortam sunması gerekmektedir. Projede sorunlar ortaya çıkarsa projeden sorumlu kişiler istişare ederek sorunları giderebilir. Burada önemli bir nokta şebekenin ve müşterek görüşlerin geliştirilmesinde tam bir grup katılımının sağlanmasıdır Sears ve diğ (2008).

Müteahhit, taşeron ve malzeme tedarikçilerinin katılımı uygulanabilir bir iş planının geliştirilmesi için hayati önem taşımaktadır. Normalde müteahhit projenin süresel işleyişini ayarlar. Taşeronlar müteahhitten hazırladığı iş planındaki kendi çalışmalarıyla ilgili iş planlarını gözden geçirir ve faaliyetleri ile ilgili ek ayrıntılar geliştirerek yardımcı olur. Bu durum müteahhit ile taşeronların proje üzerinde birlikte çalışmasına olanak sunar. Sorunlar erken tespit edilir ve bunların çözümleri için doğru adımlar çok önceden atılır.

Gerçekçi olmak gerekirse, bir iş planı uygulamadaki kısıtları ya da bir tür sınırlamaları veya faaliyetlere uygulanan diğer durumları yansıtmalıdır. Bu tip kısıtlar bir dizi uygulamadaki hususlardan kaynaklanmaktadır. Faaliyetlerin mantık ilişkisi kısıtları fiziksel kısıtlar olarak adlandırılabilir. Kalıpların ve donatının yerleştirilmesi beton dökümü için bir kısıt olarak düşünülebilir. Bu türlü kısıtlar faaliyetler arasındaki mantıksal ilişkinin doğal bir parçasıdır.

Kısıtlar inşaat yönetiminde karşılaşılan temel problemlerden birisidir. Kısıtlara örnek olarak iş tamamlama tarihleri, kaynak kısıtları, güvenlik, finansal ya da yönetsel kısıtlar olarak sınıflandırılabilir. Birçok planlama metodu kritik yol metodu temelli yapılmaktadır.

Bunun yanında paydaşlar tarafından sağlanan çeşitli tipteki kısıtlar vardır. Ve bu çeşit kısıtlar değişik kılıflar altında bulunabilir. Örnek verilecek olursa, inşaat projelerinde 6 çeşit kısıt bulunmaktadır. Zaman kısıtı, teknolojik kısıt, lojistik kısıt, kaynak ve mekan kısıtları. Teknolojik kısıta örnek verilecek olursak, Beton dökümünden önce kalıp ve demir işleri yapılmalıdır. Bazı faaliyetler güvenlik ve kaynak kısıtı sebepleri yüzünden paralel olarak işlenememektedir. Bu kısıtlar faaliyetlerin hemen sonra ya da hemen önce olarak tanımlanmasını direk olarak dikte etmemektedir (Wiest, 1962).

1.2 ÜRETİM PROJELERİNDE İŞ PROGRAMI

Sanayi devriminden sonra üretim mekanizmalarında üretim hacmini olabilecek en uygun zamanda ve maliyette karşılayabilmek için, üretim sistemleri üzerinde planlama optimizasyon teknikleri gelişmeye başlamıştır. Fakat planlama ve optimizasyon sistematik olarak 1950 li yıllardan sonra olmaktadır.

Planlama tanım olarak, üretim ve sanayi servislerinde sıklıkla kullanılan bir karar verme sürecidir. Üretimin bir yada birden fazla amacı yerine getirmesi için, kaynakların zaman dilimine olabilecek en uygun şekilde yerleştirmeyi amaçlamaktadır. Bir organizasyon içinde kaynaklar ve faaliyetler birden fazla şekilde karşımıza çıkabilmektedir. Kaynaklara örnek verecek olursak, bir üretim bandındaki robotlar ve makineler, hava limanlarında ray yolları, şantiyedeki işçiler, bilgisayarlardaki hesaplama üniteleri. Bu gibi kaynakların oluşturduğu faaliyetlere ise örnek olarak, üretim sisteminde faaliyetler, hava limanındaki uçakları kalkışları ve inişleri, şantiyedeki inşaat süreçleri, bilgisayar içindeki hesaplama bileşenleri verilebilir. Bütün faaliyetler belli bir önem derecesine sahiptir. Ve mümkün mertebe en erken başlama zamanı ve teslim zamanı gibi zamansal tanımlara sahiptir. Bu durumda projelerdeki hedeflere örnek verecek olursak, projelerde en son faaliyetin yani proje teslim tarihinin bitiş tarihi örnek olarak verilebilir.

Planlama, üretim sistemleri gibi birçok sanayi uygulamalarında ve bilgi teknolojilerinde önemli bir yere sahiptir. Üretim sistemlerinin yanında hizmet sektöründe ve ulaştırma, dağıtım sistemlerinde de kullanılabilmektedir.

1.3 KURUMSAL AÇIDAN PLANLAMA FONKSİYONU

Üretim sisteminde yada planlama organizasyonunda planlama fonksiyonu, diğer fonksiyonlarla iletişim halinde olmalıdır. Mesela inşaat projelerinde faaliyetlerin planlanması ile inşaat malzemelerin tedarik zinciri planlaması birbirine uyumlu olmalıdır. Kurumsal bilgi yönetimi ile bu durum sağlanabilmektedir.

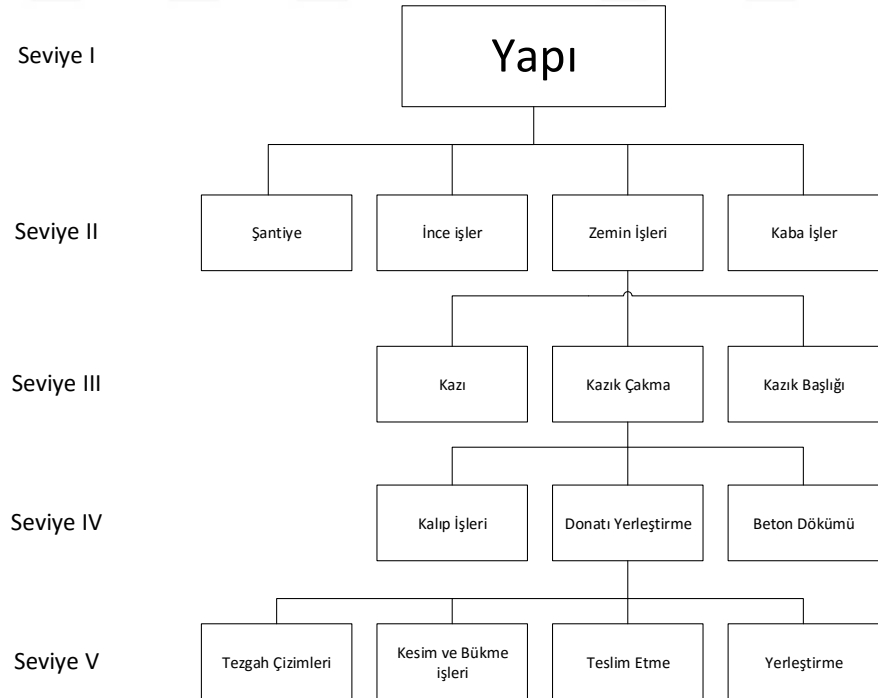
Bir moder fabrika yada hizmet organizasyonu, içinde bilgi sistemi barındıran merkezi bir bilgisayar ve veri tabanına sahip olmalıdır. Ve merkezi bilgisayar organizasyon bünyesinde çeşitli hesaplama sistemleri ile senkronize olacak şekilde veri alışverişi sağlamalıdır. Bu hesaplama hizmeti sağlayan programlar bütününe Kurumsal kaynak

planlama (ERP) sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Birçok yazılım şirketi ERP yazılımı sağlamaktadır. SAP, J.D., Edwards, gibi yazılımlar örnek olarak verilebilir.

1.4 İNŞAAT PROJELERİNDE PLANLAMA

Bir proje planlaması içinde bir amaç yada tesis barındırır. İş kapsamı ise yapılan işlerin tanımlaması ve nasıl yapılacağını belirtmektedir. Bir inşaat projesi öncesi ihale sürecinde, dökümanlarda işin tanımını içinde varındıran şartnameler ve planlar bulunmaktadır. Daha iyi bir planlama ve yönetim yapmak için, mevcut inşaat işleri alt kısımlara ayrılır. Örnek olarak bazı faaliyetler bazı faaliyetlerin alt faaliyeti hükmünde olabilir. Öbür yandan, faaliyete bir mekan isnat edilerek farklı bir faaliyet olarak tanımlanabilir. Bu durumda bir inşaat projesi içinde alt unsurları barındıran bir proje olarak tanımlanabilir.

Bir projenin sahada nasıl icra edilmesi belirlenmesi açısından alt unsurların tanımlanması ehemmiyet arz etmektedir. İş paketleri genellikle alt unsur olarak tanımlanabilmektedir. Ve iş paketlerin hiyerarşik olarak tanımlanabildiği sisteme iş kırınım yapısı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.1 de (Halpin, 2010) küçük bir yapının iş kırınım yapısını göstermektedir.

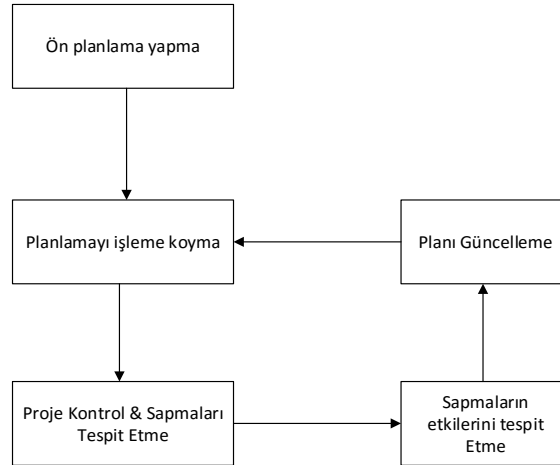


Şekil 1.1: Örnek bir iş kırınım yapısı.

Ana proje olarak Yapı projesi birinci seviyede olup ikinci seviyedeki alt unsurlara bölünmüştür ve ikinci seviyedeki zemin işleride aynı şekilde alt faaliyetlere bölünmüştür. Kazı, kazık çakma, kazık başlığı imalatı faaliyetleri zemin işleri arasında bulunabilir. Ardından kazı başlığı faaliyeti kalıp işleri, donatı işleri beton dökümü gibi işlere bölünmektedir. En son olarak donatı işleri tezgah çizimleri, kesim ve bükme işleri, donatıyı ilgili yere iletme ve yerleştirme olarak tanımlanabilir.

İş kırınım yapısını oluşturmak için öncelikle projenin tanımını detaylı bir şekilde hakim olmak gerekmektedir. Bunun yanında, tecrübe fonksiyonel iş kırınım yapısını oluşturmada önemli bir yere sahiptir. İş kırınım yapısı ve faaliyet hiyerarşileri projenin mevcut durumunu belirlemek ve projeyi zaman, maliyet ve kalite perspektifi altında yönetmek için yapılır. Projenin ve proje hedeflerinin ortaya konması açısından iş kırınım yapısı objektif bir şekilde ortaya konması gerekmektedir. Ayrıca iş kırınım yapısı planlama için sarfedilen eforu azaltmaktadır.

Planlama projenin ilerlemesi, izlenmesi ve kontrol edilmesi için bir temel sunmaktadır. Bundan dolayı planlama sayesinde belirsizlikler azalmış ve ana hedefler arasında alt hedefleri açığa çıkarmaktadır. Ve faaliyet sıralandırılmasında yardımcı olacak ve kriz yönetiminde çözüme ulaşılmasını kolaylaştıracaktır.



Şekil 1.2: Proje planlama & kontrol döngüsü.

Planlama işin başında yapılıp biten bir iş olmayıp, projenin icrası boyunca güncellenen bir süreçtir. İnşaat öncesindeki ön planlama sonucu inşaattaki faaliyetler

etkilenebilmektedir. Bunun sonucu olarak inşaat öncesindeki mevcut planlamada güncellenebilmektedir. Projenin başarısı proje müdürünün süreç esnasındaki olabilecek sapmaları tahmin etmesi ve yapılacak önlemler sonucu olabilecek sapmaları minimum düzeyine indirmesi ile mümkün olmaktadır. Şekil 1.2’de (Halpin, 2010) proje öncesi planlamanın yapılışı ve süreç esnasında planlamanın güncellenmesi anlatılmaktadır. Eğer iş kırınım yapısı projeye uygun bir şekilde yapılırsa, planlamada proje boyunca güncel kalabilmektedir. Planlama, proje esnasında olabilecek sapmaları ve sapmaların etkilerini tespit etmek bunun yanında etkilerin azaltılması için yapılacak uygun önlemlerin alınmasını sağlayan bir araçtır.

1.5 FAALİYETLERİN SIRALAMASINI BELİRLEMEK

İş kırınım yapısını elde ettikten sonra, faaliyetlerin mantıksal bir şekilde sıralamasını elde etmek planlamanın ana amaçlarından birisidir. Planlamada belli bir sıralamada bulunan ve belli bir süresi ve maliyeti olan iş kalemleri faaliyet olarak adlandırılırlar.

İş paketlerin sıralanmasında temel kriterler 1- faaliyetin mekanı 2- kullanılan malzeme 3- method ve 4- faaliyet için gerekli kaynaklar. Mekanın önemine örnek olarak, bir binada ikinci kattaki betonun dökülebilmesi için, birinci kattaki betonun dökülmüş hatta prizini almış olması gerekmektedir. Bunun gibi fiziksel kısıtlar inşaat sürecinde sıklıkla karşılaşılan durumdur. Mekansal durumlar ise iş gücüne ve mevcut şartlara bağlı olup faaliyet sırasına doğrudan etki etmezler.

Bazı durumlar için, fiziksel gerekliliklerde doğrudan faaliyet sırasına etki etmezler. Mesela ince işlerden lavabonun tefrişat işleri en son olarak yapılmalıdır. Seramik ve fayans gibi duvar ve döşeme işleride önceden bitirilmelidir. Fakat işlerin sıralaması idari bir tercihtir. Bu durumdaki sıralama yönetsel lojik ilişki olarak tanımlanabilir.

Projelerdeki faaliyet sıralamaları otomatik olarak üretme çabaları 1990 lı yılların başından itibaren yapılagelmıştır. Özellikle 1988 yılı PLANEX adında faaliyet sıralamasını otomatikleştiren bir yazılım geliştirilmiştir (Zozaya-Gorostiza, 2012). Fakat doğru sıralamanın yapılabilmesi için faaliyetlerin şartlarını detaylı olarak tanımlanması gerektiğinden, mevcut yazılım sadece akademik bir araç olarak kalmıştır herhangi bir ticari bir atılım gerçekleşmemiştir. Bunun yerine güncel yayınlarda BIM (building

information modelling) faaliyetlerin sıralamasında önemli bir veri kaynağı olduğundan, güncel çalışmalarda kullanılabilir. Kim, ve diğ. (2013).

1.6 FAALİYETLERİN SÜRESİNİ TAHMİN ETMEK

Faaliyetler belirlenip ve sıralaması yapıldıktan sonra, faaliyetlerin süreleri de tahmin edilmelidir. Faaliyet süresinin tahmininde önemli pay sahibi olan unsurlar aşağıda listelenmiştir.

- Yapılacak işin miktarı: İşin miktarı faaliyetin süresi ile her zaman doğru orantılıdır.
- İş için kullanılacak kaynak miktarı: Faaliyetlerin üretim hızını direk olarak etkiyeceğinden, faaliyet süresinin tahmin edilmesi için önemli bir kriterdir.
- İş için kullanılan teknik: Kalıp işlerinde kullanılacak kalıp tipinden, beton dökümünde kullanılan pompa tipine kadar faaliyet süreleri inşaat tekniğinde doğrudan etkilenir. Literatürde zaman maliyet ödünleşim problemleri olabilecek en optimum tekniği elde etmeye yaramaktadır Feng ve diğ. (1997).
- Faaliyetin mekanı: Herhangi iki faaliyetin gerek miktarı gerek çalışanları aynı olsada farklı mekanlarda bulunduğu için farklı faaliyet süreleri elde edilebilir.
- Kaynaklar için, çalışma takvimleri: İşçiler için tanımlanan, haftalık saat miktarları faaliyet sürelerine doğrudan etki edebilir.

Faaliyet sürelerini ekti eden mevcut faktörler oldukça önem arz etmektedir. Fakat bunun yanında faaliyet içindeki kaynakların dengeli olması gerekmektedir. Mesela demir bağlama işinde demir usta miktarı ile tezgah başındaki ustaların miktarı birbiri ile dengeli olmalıdır. Aksi takdirde mesela tezgah ustaların yetersizliği sonucu bazı demir bağlama ustaları fazla yer işgal etmiş görüneceklerdir.

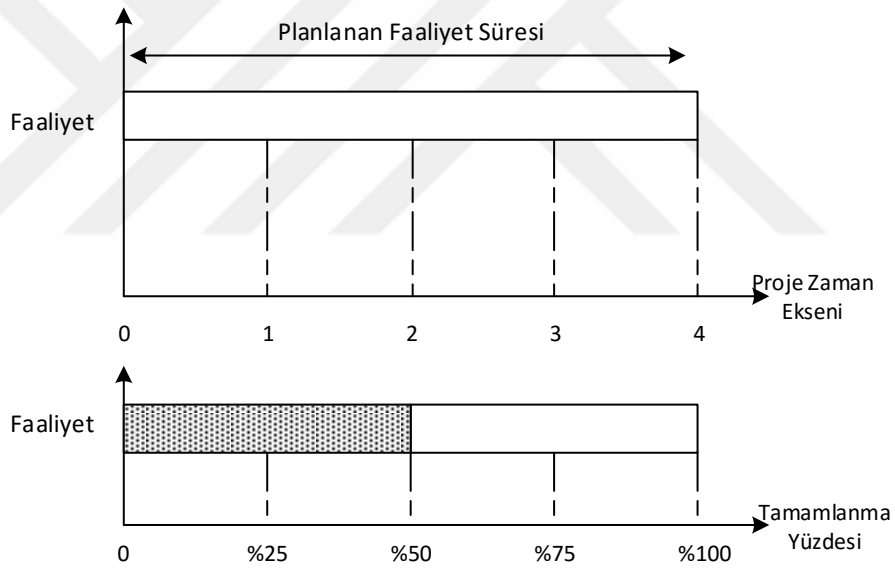
1.7 PLANLAMA ÇEŞİTLERİ

Bu bölümde inşaat projelerinde kullanılan planlama çeşitleri gösterilecektir. Planlama işlemi faaliyetlere ve kaynaklara çalışma takvimi oluşturmaktır. Böylece faaliyetlerin ve projenin başlama ve bitiş tarihleri belirlenecektir. Planlama için en sık kullanılan yöntem faaliyetlerin arasında ilişkileri gösteren bir şebekeyi tasvir etmektir. Ve şebeke üzerinden hesaplar yapmaktır.

Proje yöneticisi yeterli bir veriye sahip olduğunda, faaliyetlere başlama zamanları vererek planlamayı oluşturabilir. Planlamanın sonuçları üzerinden fikir yürütmek gerektiğinde Gantt şemaları kullanılır. Gantt şemalarında dikey eksen faaliyetler ve numaralamaları yatay eksen ise uzunluğu ile faaliyetlerin sürelerini temsil eden çubuklar bulunmaktadır.

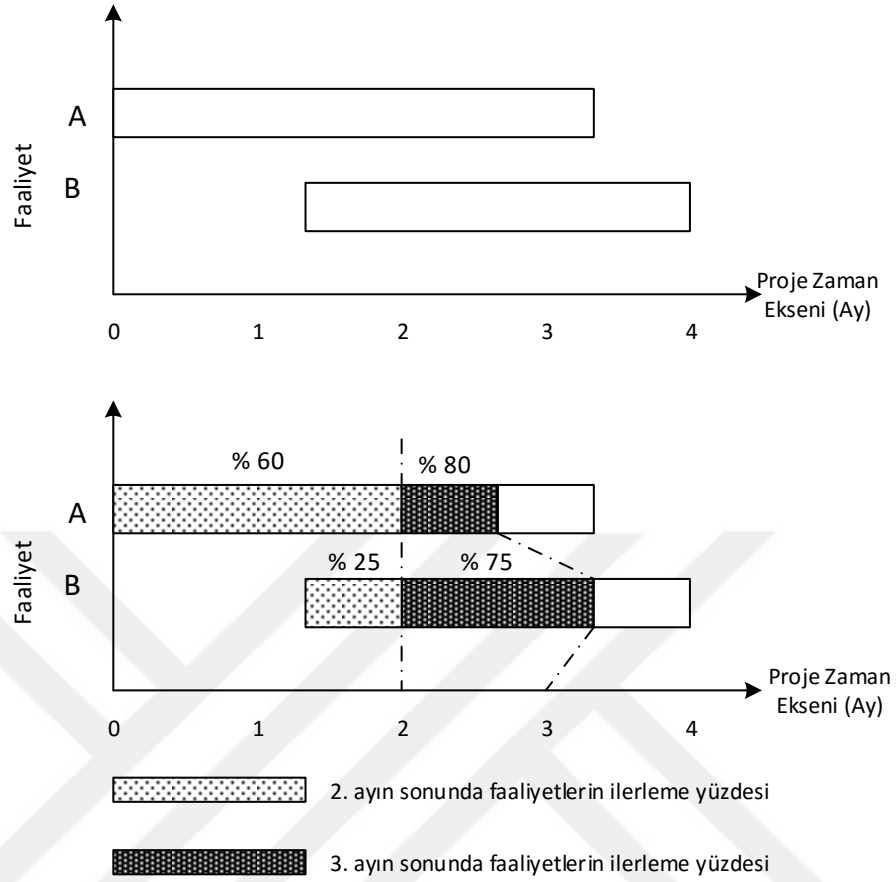
1.7.1 Gantt Şemaları

Gantt şemaları sayesinde faaliyetler için başlama ve bitiş zamanı hakkında bilgi edebiliriz. Uygulamada faaliyetlerin tamamlanma yüzdesi projenin ilerleme esnasında faaliyetin yüzde kaç ilerlediğini belirtmektedir. Şekil 1.3’de faaliyetin planlama durumu ve ilerleme durumu belirtilmektedir. Böylece bir projenin hem planlanmış durumunu ve faaliyetlerin ilerleme durumunu elde edebiliriz.



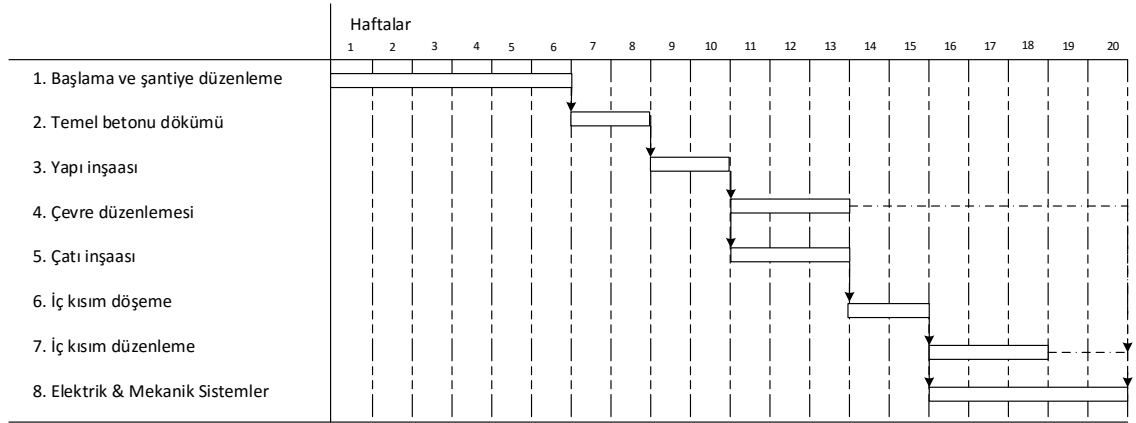
Şekil 1.3: Bir faaliyetin planlama ve ilerleme durumu.

Şekil 1.3’de faaliyetin yarısı tamamlanmış olduğu ortaya çıkmaktadır. Faaliyetin ilerleme hızının sabit olduğu, ve çalışma koşullarının devam ettiği şartlarda projenin süresel olarak yarısının tamamlandığı söylenebilir. Fakat uygulamada proje boyunca çalışma koşulların sürekli değişeceğinden faaliyetlerin günlük bazda ilerleme hızlarında farklılık gösterebilir. Bu durumda faaliyetin yarısı tamamlanmış olması süresel olarak yarısının tamamlanmış olması manasına gelmemektedir. Faaliyetin günlük olarak değişken hızlarda ilerlediği kabulü üzerine kurulan modelde hangi sürede ne kadar bittiğini gösteren bir Gantt şeması yapılmalıdır.



Şekil 1.4: Bir faaliyetin değişken şartlarda ilerleme durumu.

Şekil 1.4’de iki faaliyetli bir şebekenin ilerleme durumunu göstermektedir. 2. ayın sonunda A faaliyeti %60’lık bir bitirme oranına sahip olmaktadır. B faaliyeti ise %25’ lik bir ilerlemeye sahip olmaktadır. Fakatı bu modelde faaliyet ilerlemeleri sabit olmadığından projenin ileriki safhalarında farklı tamamlanma oranları ile karşılaşılabilir. A faaliyeti 3. ayda %20’lik bir ilerleme göstererek, ay sonunda % 80 lik bir tamamlanma oranına ulaşmaktadır. B faaliyeti ise ikinci ayda % 25’lik bir tamamlanma oranına ulaşmaktadır. Üçüncü ay içinde % 50’lik bir ilerleme göstererek ay sonunda % 75’lik bir tamamlanma oranına ulaşmıştır.



Şekil 1.5: Bir benzin istasyonu için örnek bir Gantt diyagramı.

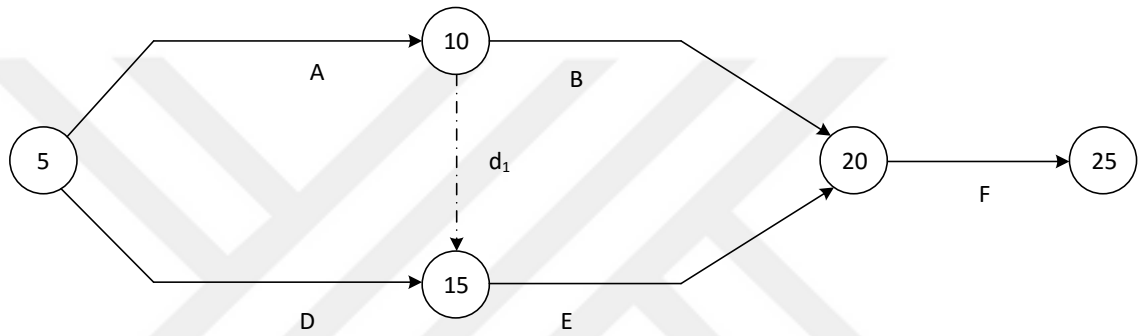
Şekil 1.5’te (Halpin, 2010) bir benzin istasyonu inşaatı için örnek bir Gantt diyagramı gösterilmiştir. Önceki gösterimlerden farklı olarak, faaliyetler arasındaki ilişkiler de tanımlanmıştır. Faaliyetlerden bazıları bitiş-başlangıç bazıları ise bitiş-bitiş şeklinde bağlanmıştır. Gantt şemasının önemli avantajlarından birisi mevcut durumu doğrudan göstermesidir. Fakat proje süresinin ilk etapta hesaplanması ve güncellenmesi yönünden sıkıntılar ihtiva ettiğinden hesaplama yapmak için, CPM diyagramlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

1.7.2 Kritik Yol Metodu

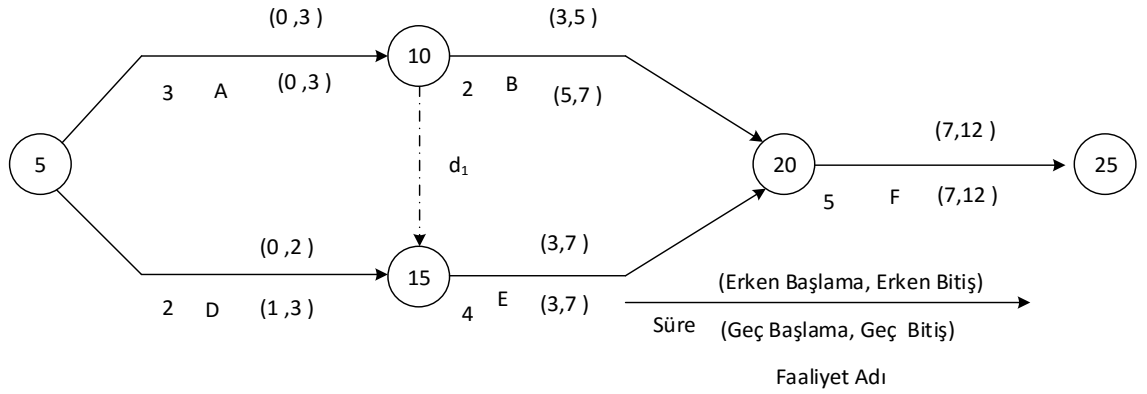
Kritik yol metodunda (CPM) en önemli husus faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerinin tanımlanabilmesidir. Faaliyetler arasındaki ilişkiler, şebeke üzerinde gösterilirler. Şebeke diyagramının oluşturulabilmesi için, ilk etapta bütün faaliyetler arasındaki ilişkiler belirlenmesi gerekmektedir. Faaliyetler arasındaki ilişkinin kurulmasından sonra, faaliyet sürelerinin elde edilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki tabloda örnek faaliyetler ve faaliyetler arasındaki ilişkiler ve faaliyet süreleri verilmiştir. Bir faaliyetin başlaması için bitmesi gereken faaliyetler “Hemen Önceki Faaliyetler (HÖF)” olarak tanımlanmaktadır. Tablo 1.1 ‘de faaliyetler ve ilgili faaliyetin HÖF listesi ve faaliyet süresi verilmektedir.

Tablo 1.1: Faaliyetler ve veriler.

Faaliyetler	HOF	Süre
A	-	3
B	A	2
C	B	5
D	-	2
E	D,A	4
F	B,E	5

**Şekil 1.6:** Projenin CPM diyagramı.

Yukarıdaki projede “Hemen Önceki Faaliyetleri” belirlenmiş faaliyetler verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi A ve D faaliyetlerinden önce bir faaliyet gelmediğinden başlangıç faaliyeti olarak kabul edilir. B faaliyetinden hemen önce A faaliyeti geldiğinden şebekede o şekilde yerleştirmek gerekmektedir. E faaliyetinde hemen önce A ve D faaliyetleri geldiğinden lojik kukla faaliyeti kullanmak gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde şebeked üzerinde ileri geri hesaplar yaparak, faaliyetlerin erken başlama, erken bitiş, geç başlama, geç bitiş değerleri belirlenecektir.

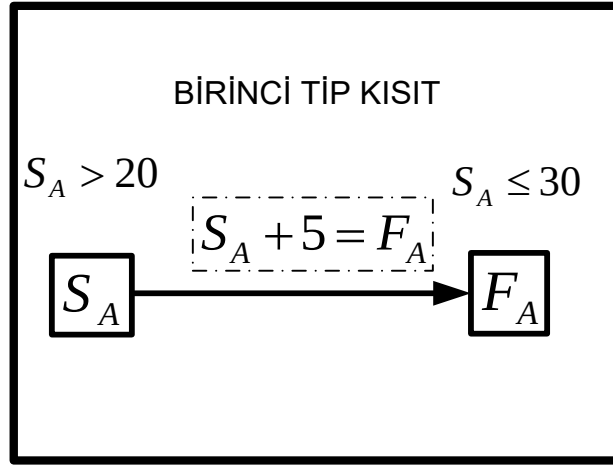


Şekil 1.7: CPM diyagramının ileri geri hesapları.

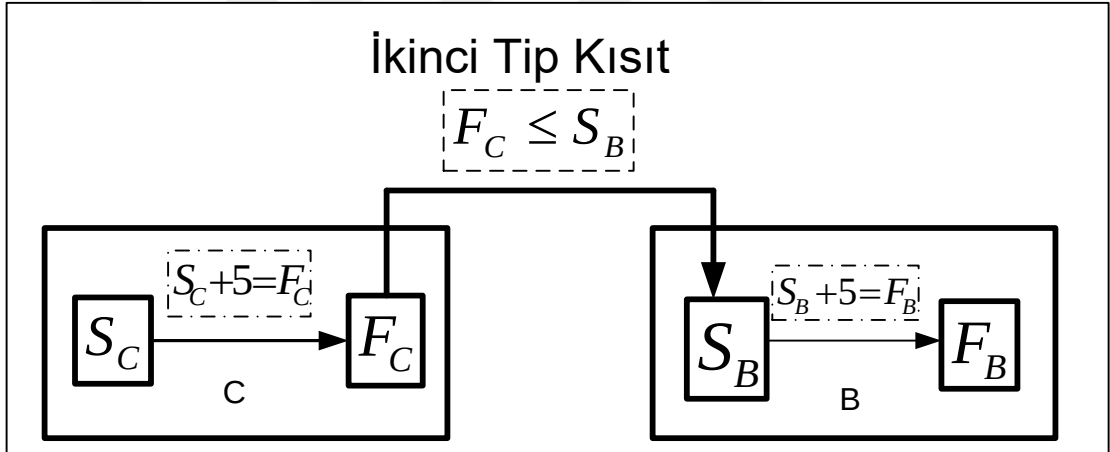
Şekil 1.7 de şebeke üzerinde faaliyetlerin başlama ve bitiş değerleri gösterilmiştir. Şebekenin kritik yolu A-d1-E-F yoludur. CPM tekniğinin önemli bir avantajı şebeke üzerinden hesap yapıldığından, bir faaliyetin erken başlama ve bitiş zamanlarının elde edilmesinin yanında, geç başlama ve geç bitiş değerlerinin de elde edilmesini sağlamaktadır. Ön planlamanın yanında CPM planlamayı güncellenmesi için Gantt şemasında göre daha uygundur.

1.8 İNŞAAT PROJELERİNDE KISIT KAVRAMI

Genel bir kısıt sağlama problemi (Constraint satisfaction problem) değer kümesi $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ve bu değerlerin tanım kümesi D_i ve kısıtlar kümesi K_i vardır (Lorterapong, 2012). Amaç kısıtları sağlamak şartıyla, tanım kümesindeki değerleri bulmaktır. Şebekede bulunması gereken ana değişkenler proje faaliyetlerinin başlama ve bitiş değerleridir. Şebeke kısıtları değişkenler üzerinde üç tip kısıtlar olarak tanımlanmıştır. Birinci tip kısıtlar bütün değerler belli bir değere sabitler, ikinci tip kısıtlar ise değerlerin birbiri ile olan farklılıklarını kısıtlar. Üçüncü tip kısıtlar ise şartlı kısıttır. Bu tür kısıtın geçerli olma şartı başka kısıtların gerçekleşmesine bağlıdır. Birinci tip kısıtlara , mekansal ve kaynak kısıtı örnek olarak verilebilir. İkinci tip kısıta ise faaliyetlerin birbiri ile öncelik ilişkileri örnek verilebilir. Üçüncü tip kısıta ise güvenlik, lojistik ve yönetsel kısıtlar örnek verilebilir. Bu tezde kullanılacak olan kısıt tipi kaynak kısıtlarıdır.



Şekil 1.8: Birinci tip kısıt.



Şekil 1.9: İkinci tip kısıt.

İkinci tip kısıtlar yukarıda anlatıldığı gibi CPM şebekesini oluştururken faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerinden ibaret olduğu görülmektedir. Kısıt problemlerinde faaliyetler arasındaki ilişkiler kısıt olarak yorumlanmaktadır.

Üçüncü Tip Kısıt

- Güvenlik Kısıtlar
- Lojistik Kısıtlar
- Yönetimsel Kısıtlar

Şekil 1.10: Üçüncü tip kısıt.

Kaynak kısıtları inşaat uygulamalarında genellikle, iki tip kaynak kısıtı atayarak uygulanır. Birinci tip kaynak kısıtı, yenilenebilir kaynak tipidir bu tip kaynaklar zaman içinde yenilenmektedir genellikle iş gücü ve ekipmanlar buna örnek olarak verilebilir. İkinci tip olarak yenilemez kaynak tipleridir, bu tip kaynaklar genellikle inşaatlarda kullanılan malzemelerdir. Bu tezde sadece yenilenebilir kaynaklar göz önüne alınmaktadır.

Klasik CPM analizinde süresel olarak modelleme yapılırken, kaynak kısıtları göz önüne alınmaz. Fakat gerçek inşaat projelerinde kaynak kısıtları her zaman ön plandadır. Ve projenin gidişatını önemli ölçüde etkiler. Kısıtlı kaynak planlama formülasyonları aşağıdaki formülasyonlarla listelenmiştir. Kısıtlı kaynak planlamanın amaç fonksiyonu denklem (1.1)' de gösterilmiştir.

$$\min\{\max F_i | i = 1, 2, \dots, N\} \quad (1.1)$$

Minimum proje süresi problemlerinde bu fonksiyon minimum yapılmak istenmektedir. i indisi projedeki faaliyetlerin indisidir. Projede N adet faaliyet vardır. $\max F_i$ projedeki en büyük tamamlama süresidir, başka bir deyişle projenin süresidir. Denklem (1.2)'de kısıtlı kaynak planlama için lojik kısıt başka bir deyişle faaliyetler arasındaki öncelik ilişkisi gösterilmektedir.

$$F_j \leq F_i - D_i, \forall j \in P_i; i = 1, 2, \dots, N \quad (1.2)$$

Denklem (1.2)'de j faaliyeti i faaliyetinin hemen önce faaliyetidir ($\forall j \in P_i$). j faaliyetinin bitiş değeri i faaliyetinin bitiş değerinin i faaliyetinin süresinin çıkartılışına eşittir. Kaynak kısıt durumu denklem (1.3) 'de gösterilmektedir.

$$\sum_{A_t} r_{ik} \leq R_k, k = 1, 2, \dots, K; t = S_1, S_2, \dots, S_N \quad (1.3)$$

Denklem (1.3) kaynak şartını göstermektedir. r_{ik} i faaliyetinin k kaynağına ihtiyacını gösterir bir ifadedir. K adet kaynak çeşidi vardır. A_t ifadesi t anında aktif olan faaliyetleri gösterir.

Söz konusu denklem bir şebekedeki kaynak kısıtlarının durumunu gösterir. Analiz metodlarında faaliyetlere lojik sıralaması vererek, şebekede tanımlanmış olan faaliyet ilişkileriyle çelişmeyecek şekilde bir alt şebeke oluşturulmaktadır. Faaliyet sıralamasını elde etmek için çeşitli metotlar vardır. Bu metotlar deterministik ve sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılır. Deterministik yöntemlerde başlıca kullanılan metotlar Lineer ve Integer programlama, Dal ve sınır algoritması metodudur. Sezgisel yöntemlerin altında ise başlıca kullanılan metotların başında alt sınır algoritmaları (lower-bound algorithm) ve sezgisel öncelik kuralları gelmektedir. Faaliyetlerin öncelik sırası belli başlı kurallar çerçevesinde belirlenir.

Bu tez çalışması aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır;

- i. 2.Bölümde meta sezgisel ve deterministik yöntemler açıklanarak planlama şemaları ve örnekleri gösterilmiştir.
- ii. 3.Bölümde Parametrik olmayan testler ve Wilcoxon istatistiksel testi detaylandırılmıştır.
- iii. 4.Bölümde paralel-seri planlama ile sezgisel kuralların mukayesesi yapılmıştır.
- iv. 5.Bölümde sonuçlar üzerinde durulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde kısıtlı kaynak planlama problemi ve çözüm önerileri ilgili genel bilgiler ve çözüm metotları anlatılacaktır.

2.1.DETERMİNİSTİK YÖNTEMLER

Deterministik yöntemler kısıtlı kaynak planlamada ilk olarak 1968 yılında Russell Johnson tarafından uygulanmıştır. Johnson doktora tezine dal ve sınır yöntemini, kısıtlı kaynak planlamaya ilk kez uygulamıştır (Johnson, 1967). Dal sınır metodu prensip olarak ilk faaliyetten itibaren alternatif planlamaları barındıran bir karar ağacı oluşturur ve planlama ilerledikçe karar ağacında yanlış olan kararları ihtiva eden dallar budanır, sonuç olarak analiz bittiğinde geriye kalan bütün karar alternatifleri kaynak kısıtlarını sağlamaktadır. Dal ve sınır yöntemleri ilk kez uygulanan yöntemlerden birisi olmasına rağmen günümüze kadar birçok çalışmada aktif olarak kullanılmaktadır. En son olarak Hegazy'in çalışmasında kısıt karşılama

2.2.META SEZGİSEL YÖNTEMLER

Klasik yöntemlerin en büyük dezavantajı, hacim olarak büyük problemlerde çözümleme yapmanın oldukça zor olmaktadır. Lineer programlama ve dinamik programlama teknikleri çok sayıda değişken barındıran yada lineer olmayan hedef fonksiyonu ihtiva eden NP-hard problemlerini çözümlemede, çoğu zaman başarı sağlayamamakta veya yerel optimum noktalara takılmaktadır. Bu tip sorunların üstesinden gelmek için, evrimsel tabanlı ve meta sezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Evrimsel algoritmalar tabiattaki varlıkların nesiller boyunca tekâmülü ya da hayat gibi karmaşık gelişim gösteren mekanizmaları taklit ederek çözümlemeleri daha iyilemeye gitmektedir. Bunlardan birisi karınca kolonisi algoritması olup etkili bir çözümleme alınabilmektedir Merkle ve diğ. (2002). Öbür yandan Derviş Karaboğanın geliştirdiği, Yapay Arı Kolonisi algoritması doğadaki arıların çiçek aramasını taklid ederek çözümleme yapmaktadır Karaboga ve Basturk (2007). Literatürde kısıtlı kaynak planlamaya uygun olabilecek bir çok makale bulunmaktadır.

Literatüre meta sezgisel algoritmalar ilk olarak tanıtılan algoritma genetik algoritmadır (Holland, 1975). Genetik algoritmalar prensip olarak “En iyi olan hayatta kalır” ilkesiyle çözüm aramaktadır. Ancak büyük problemlerde Optimum çözüme ulaşmasından ötürü,

genetik algoritmalar mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılagelmiştir. Büyük problemlerde başarısının yanında genetik algoritmalar çözüme yakınsama süresi uzun olabilmektedir.

Genetik algoritmanın kaynak kısıtlı problemlerde uygulaması ilk olarak 1994 yılında James Bean tarafından geliştirilmiştir (Bean, 1994). Son yıllarda da halâ uygulanabilmekte ve geliştirilmektedir. Mendes ve diğ. (2009). Rastsal anahtarlama metodu uygulayarak, rastgele planlama kombinasyonları oluşturmuştur ve süresel olarak minimum süreyi veren planlamalar bir sonraki planlama için cross-over(çaprazlama) yapma hakkı kazanmıştır. Ve nesiller boyunca çözümlemeler sürekli olarak iyileştirilmiştir. Rastsal anahtarlama metoduyla, kısıtlı kaynak planlamada faaliyetlerin önem sıralaması yapılabilmektedir. Hangi faaliyetlerin önem sıralamasının yapılacağı seri ve paralel planlama metotlarında anlatılacaktır. Rastsal anahtarlama 1994'ten itibaren genetik algoritma harici meta-sezgisel algoritmalarda da kullanıldığı görülmüştür Zhang ve diğ. (2005).

2.3.SEZGİSEL YÖNTEMLER

Sezgisel yöntemler kısıtlı kaynak problemlerinin çözümünde en sık kullanıla gelen yöntemlerin başında gelmektedir. Sezgisel metotlar belli bir sezgisel kurala göre uygun faaliyeti seçerler ve süresel planlamayı bu faaliyete göre yaparlar diğer yöntemlerine göre önemli bir avantajı daha hızlı olmasıdır. Dezavantajı ise diğer yöntemlere göre daha kötü sonuç vermesidir.

2.3.1.Sezgisel Kurallar

Sezgisel yöntemlerin önemli avantajlarından birkaçı diğer yöntemlere göre hızlı olmaları ve basit olmalarıdır. İlk olarak 1963 yılında Kelley tarafından uygulanmıştır (Kelley, 1963). Son yıllara kadar, birçok çalışmada kullanılmaya devam etmiştir. Çoğu ticari yazılımlar sezgisel kurallardan yararlanmıştır. Sezgisel yöntemlerde birçok öncelik kuralları vardır. Öncelik kuralları kısıtlı kaynak kullanım pozisyonuna giren faaliyetlerden hangilerinin seçileceğini gösteren kurallardır. Aşağıdaki tabloda öncelik kuralları listelenmiş ve açıklaması yapılmıştır.

Tablo 2.1: Başlıca sezgisel kurallar ve tanımlamaları.

Sezgisel Kural	Min/Max	Tanım
SPT(Shortest Processing Time)	Min	d_j : j faaliyetinin En kısa işlem süresi
MIS(Most Immediate Successors)	Max	F_j : j faaliyetinin En çok hemen sonraki faaliyet sayısı
MTS(Most Total Successors)	Max	j faaliyetinin F_j^* En çok sonraki faaliyet sayısı
RPW (Great Positional Weight)	Max	j faaliyetinin $d_j + \sum_{i \in F_j} d_i$ En büyük pozisyonel ağırlık 1 weight 1
RPW* (Great Positional Weight)	Max	j faaliyetinin $d_j + \sum_{i \in F_j^*} d_i$ En büyük pozisyonel ağırlık 2 weight 2
EST (Early Start Time)	Min	Erken başlama zamanı
ESTD (Early Start Time-Dynamical)	Min	Dinamik erken başlama zamanı
EFT(Early Finish Time)	Min	Erken bitiş zamanı
EFTD(Early Finish Time-Dynamical)	Min	Dinamik erken bitiş zamanı
LST (Late Start Time)	Min	LS_j Geç başlama zamanı
LFT (Late Finish Time)	Min	LF_j Geç bitiş zamanı
MSL (Minimum Slack)	Min	$LS_j - ES_j$ Statik toplam bolluk
MSLD (Minimum Slack-Dynamical)	Min	$LS_j - ES_j$ Dinamik toplam bolluk
GRD(Greatest Resource Demand)	Max	En büyük kaynak gereksimi
WRUP	Max	En büyük kaynak kullanımı ve öncelik
ACROS	Max	$\sum_{i \in \Pi_{jh}} \sum_{r=1}^m \left(\frac{u_{ir}}{a_r} \right) h = 1, \dots, \pi_j$
ACTRES	Max	$\sum_{i \in \Pi_{jh}} \sum_{r=1}^m \left(\frac{u_{ir} d_i}{a_r} \right) h = 1, \dots, \pi_j$

Tabloda verilmiş olan sezgisel kurallar aşağıda detaylı olarak listeli bir şekilde anlatılmıştır.

- SPT(Smallest Processing Time) kuralı en küçük faaliyet süresine sahip olan faaliyeti planlamaya sokmaktadır.
- MIS (Most Immediate Successors) kuralı ise en çok hemen sonraki faaliyet sayısına sahip faaliyeti ilk olarak planlamaya sokmaktadır.

- MTS (Most Total Successors) en çok sonraki faaliyet sayısına sahip faaliyeti seçmektedir.
- RPW(Rank Positional Weight) ise ilgili faaliyetin faaliyet süresi ile hemen sonraki faaliyetlerin faaliyet süresini toplamından ibarettir, en büyük RPW değerine sahip faaliyet planlama için seçilmektedir. RPW* nin RPW den farkı ise hemen sonraki faaliyetler yerine sonraki faaliyetler hesaba katılmasıdır.
- EST (Early Start Time) değeri ise erken başlama zamanıdır. Karar kümesindeki bütün faaliyetler içinde en küçük erken başlama zamanına sahip faaliyet seçilir ve planlamaya dahil edilir. Fakat EST değerleri orjinal CPM den alınmış değerlerdir.
- ESTD (Early Start Time Dynamical) ise orjinal erken başlama değerleri yerine çözümleme boyunca değişen değerleri kullanmaktadır. Açıkçası kısıtlı kaynak çözümlemelerde proje süresi uzamaktadır. İleride açıklanacağı üzere paralel planlama metodunda ESTD kuralı kullanılamamaktadır. Çözümleme esnasında bazı faaliyetlerin erken başlama değerleri değişebilmektedir.
- EFT (Early Finish Time) en küçük erken bitiş değerine sahip faaliyet seçilmektedir. EFTD (Early Finish Time Dynamical) ise EST den tek farkı çözümleme boyunca değişen bitiş değerleri ile işlem yapmasıdır.
- LST (Late Start Time) kuralı ise geç başlama kuralıdır, faaliyetler arasından en küçük en geç başlayan faaliyet seçilecektir. LFT (Late Finish Time) ise geç bitme zamanıdır. Faaliyetler arasından en küçük en geç başlayan faaliyet seçilecektir.
- MSL (Minimum Slack Time) En küçük toplam bolluk değerine sahip faaliyet planlama için seçilecektir.
- MSLD (Minimum Slack Time –Dynamical) En küçük toplam bolluk değerine sahip faaliyet planlama için seçilecektir. MSL den farkı çözümleme boyunca bolluk değerlerinin değişebilmesidir.
- GRD (Greatest Resource Demand) En büyük kaynak ihtiyacına sahip faaliyet seçilecektir.
- WRUP (Weighted Resource and Utilization) kuralı ise Gündüz Ulusoy ve Linet Özdamar tarafından 1989 yılında öne sürülmüştür (Ulusoy ve Özdamar, 1989) (Ulusoy ve Özdamar 1989). WRUP;

$$\omega |F_j| + (1 - \omega) \sum_{r=1}^m (u_{jr}/a_r) \quad (2.1)$$

formülüne göre hesaplanır, herhangi bir j faaliyetin WRUP değerini hesaplamak için, ilk önce j faaliyetinden sonra kaç adet faaliyet geldiği hesaplanmalıdır $|F_j|$. Bütün kaynak tiplerine göre faaliyetlerin kaynak gereksimleri ile projeye verilen kaynakların miktarları oranlarıdır. Oran hesaplandıktan sonra $(1-\omega)$ ile çarpılır ω değeri boyutsuz bir ağırlık değeridir. Ve bu çalışmada 0,5 olarak alınmıştır.

ACROS kuralı ise (Bedworth, 1973) tarafından öne sürülmüştür. Formülizasyonu ilk etapta bir faaliyetin ACROS kuralı hesaplanması için,

$$\sum_{i \in \Pi_{jh}} \sum_{r=1}^m \left(\frac{u_{ir}}{a_r} \right) | h = 1, \dots, \pi_j \quad (2.2)$$

formülizasyonu kullanılır. İlk olarak aday faaliyetten sonraki bütün yollar elde edilir $h = 1, \dots, \pi_j$. Daha sonra her yol için yol üzerindeki bütün faaliyetler için $\left(\frac{u_{ir}}{a_r} \right)$ değeri diğer bir ifade ile faaliyetin kaynak talebi ile projeye arz edilen kaynak oranı hesaplanır ve yol için değer elde edilmesi için, yol boyunca bütün faaliyetler için bulunan değerler toplanır. bir faaliyetten sonraki bütün yollar üzerindeki faaliyetler için kaynak talebi ile arz edilen değerler oranlanır ve yol boyunca toplanır. Bütün yollar için elde edilen değerler toplanır ve elde edilen sonuç, faaliyetin ACROS değeri olmaktadır. En büyük ACROS değerine sahip faaliyet daha fazla önem arz etmektedir.

ACTRES kuralı ise ACROS kuralından küçük bir farklılık barındırmaktadır. $\left(\frac{u_{ir}}{a_r} \right)$ oranına birde faaliyet süresi çarpımı gelmektedir. Formülizasyonu;

$$\sum_{i \in \Pi_{jh}} \sum_{r=1}^m \left(\frac{u_{ir} d_i}{a_r} \right) | h = 1, \dots, \pi_j \quad (2.3)$$

Şeklindedir, Elsayed ve Nasr (1986) tarafından 1986 yılında öne sürülmüştür.

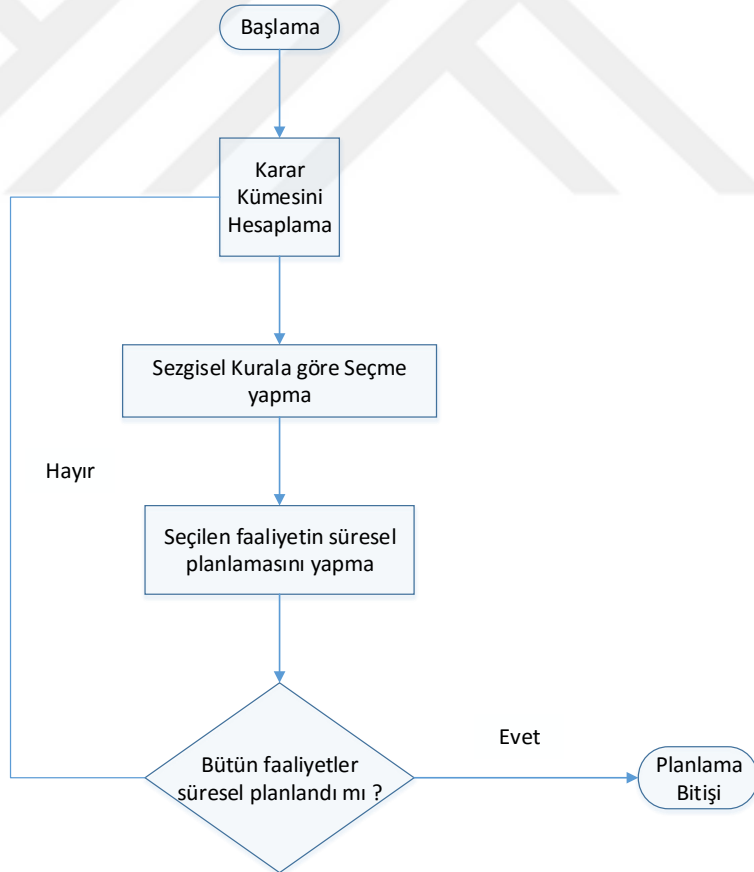
Sezgisel kurallar günümüze kadar sıklıkla kullanılmakta olup, literatüre sürekli olarak yeni kurallar eklenmektedir. Söz konusu kuralların istatistiksel olarak mukayesesi, literatürde önemli bir eksiklik olup, bu çalışmanın ana amaçlarından biriside bu eksikliği gidermektedir.

2.3.2. Planlama Metotları

Planlama şemaları sezgisel kurallardan yararlanılarak faaliyet seçiminin yapılması için, seçilecek faaliyetlerin belirlenmesini sağlayan metotlardır. Başlıca planlama metotları paralel ve seri planlama metotlarıdır.

2.3.2.1 Seri Planlama Yöntemi

Seri planlama metodu ilk olarak Kelley tarafından 1963 yılında önerilmiştir (Kelley, 1963). Seri planlamada temel amaç öncelik kurallarına göre ve kaynak kısıtlarını aşmaksızın, halihazırdaki faaliyetlerden uygun olan faaliyet seçilip olabilecek en erken zamana göre süre atamalarını yapmaktır. Seri planlamada iki adet faaliyet kümesi vardır. Birinci faaliyet kümesi bitmiş faaliyetler kümesidir (C_n). Bu kümede bulunan faaliyetlerin süresel atamaları, süresel planlamaları, kaynak kısıtlarını ve öncüllük ilişkilerine uyacak şekilde yapılmıştır.

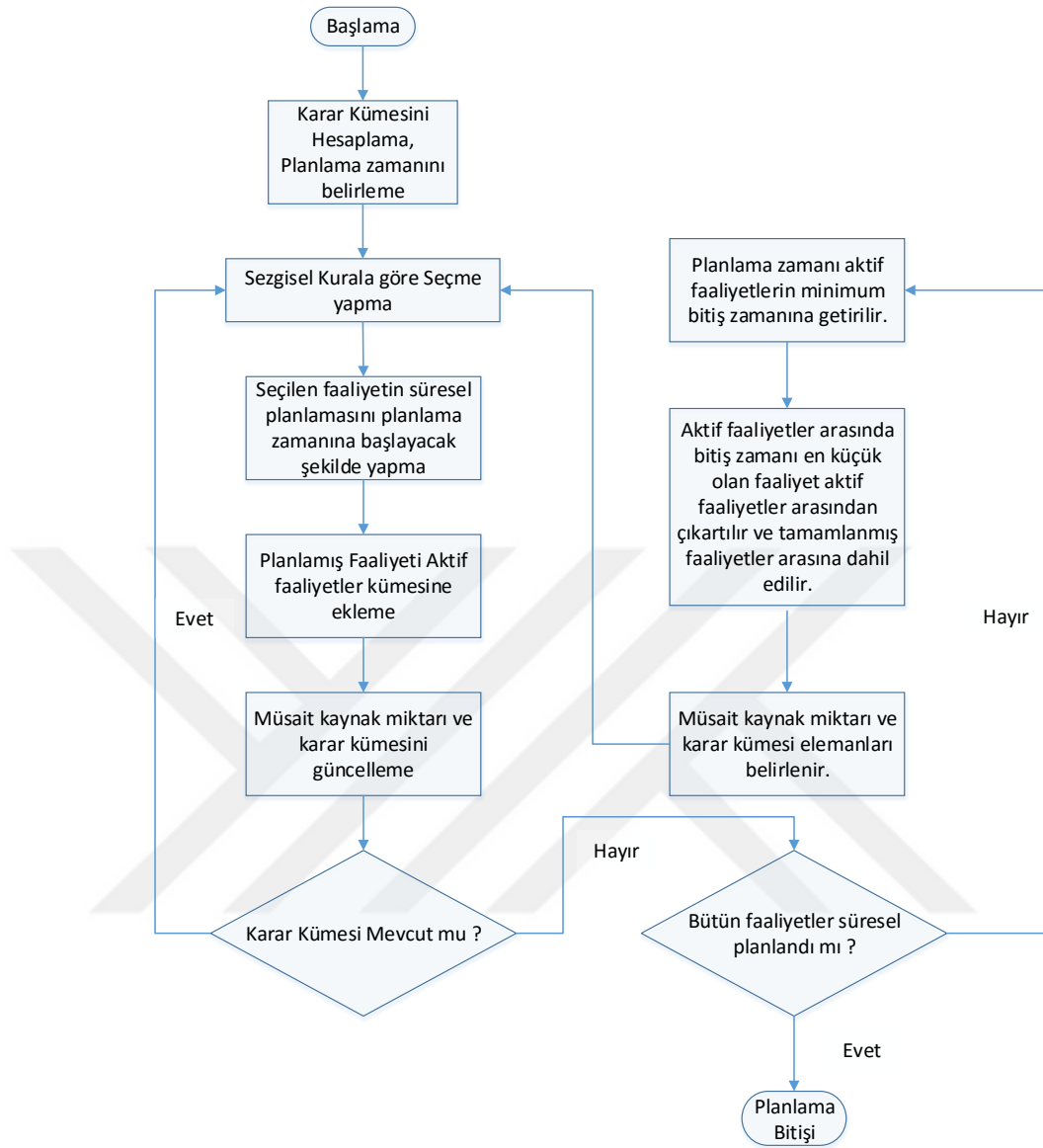


Şekil 2.1: Örnek bir şebeke.

İkinci faaliyet kümesi ise karar kümesidir (D_n), karar kümesindeki faaliyetlerin hemen önceki faaliyetlerin süresel planlaması yapılmış olması gerekmektedir. Seri planlamadaki bir hesap aşamasında karar kümesinden bir faaliyetin öncelik kurallarına göre seçilip, kaynak ve faaliyet öncelik şartlarını bozmayacak şekilde olabilecek en erken zamanda süresel planlaması yapılmasından ibarettir. Bütün faaliyetlerin süresel planlaması yapılıncaya kadar bu süreç devam eder. Böylece faaliyet sayısı kadar N adet hesap adımı gerekmektedir.

2.3.2.2 Paralel Planlama Yöntemi

Paralel planlamada ise seri planlamadan farklı olarak zaman eksenini vardır. Zaman eksenine takılan karar küme faaliyetleri, paralel planlama için, uygun faaliyetler olarak adlandırılırlar (Kolisch, 1996). Paralel planlama adı altında iki adet algoritma vardır. Birincisi, (Kelley, 1963) tarafından öne sürülen algoritmadır, ikincisi ise, “Brooks algoritması” olarak adlandırılan 1999 yılında Bedworth ve Bailey (1999) tarafından öne sürülmüştür. Brooks algoritması araştırmacılar için, daha çok kabul görmüştür paralel planlama metodundan bahsedilirken aslında kastedilen Brooks algoritmasıdır. (Kolisch, 1996).



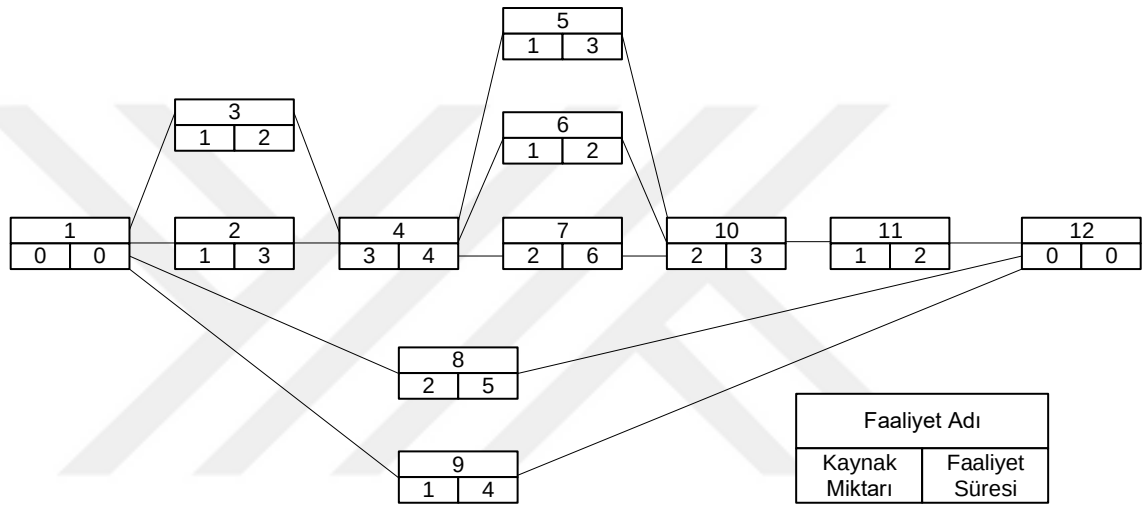
Şekil 2.2: Paralel planlama metodunun akış şeması.

Yukarıdaki şekilde paralel planlama için akış şeması çizilmiştir. Paralel planlama en fazla (N) adet çözümleme adımından oluşmaktadır. Paralel metodun seri metodundan farklılığı ise içinde planlama zamanını barındırmasıdır (t_n). Bunun sonucu olarak planlama zamanına göre planlaması yapılmış faaliyetler ikiye ayrılır. Birincisi planlama zamanına göre tamamlanmış faaliyetler (C_n) ikincisi ise planlama zamanına göre aktif faaliyetlerdir (A_n). Seri planlamada olduğu gibi karar kümesi (D_n) aynen mevcuttur. Fakat karar kümesinin hemen önceki faaliyetleri tamamlanmış faaliyetler (C_n) arasında bulunması gerekmektedir. Karar kümesinin faaliyetlerinden bir faaliyet öncelik sırasına göre seçilir.

Karar kümesinden seçilen bir faaliyet (t_n) zamanında başlayacak şekilde programlanır. Ve bir sonraki hesap adımı için aktif faaliyetlerin arasında yer alır.

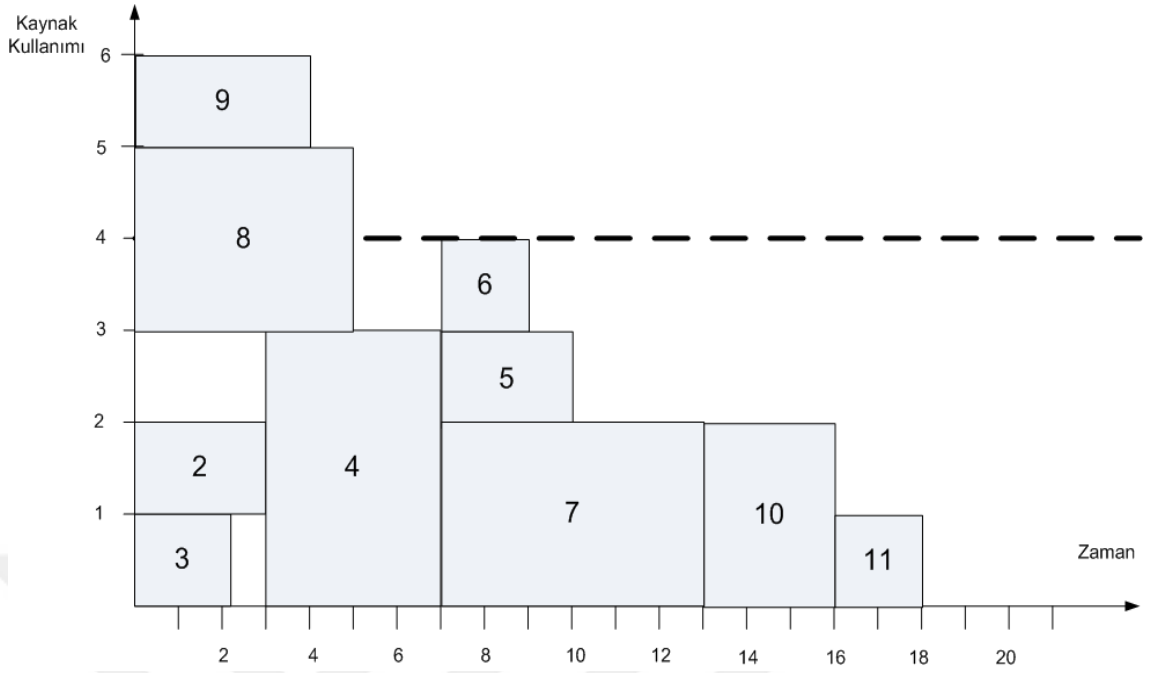
2.3.3.Seri Planlama Örneği

Bu bölümde 12 faaliyetli bir proje kısıtlı kaynak planlamayla çözümlenecektir. Algoritmanın başlaması ve sonlanması için Projede başlangıç ve bitiş faaliyetleri kukla faaliyetlerdir. Faaliyetler arasındaki lojik ilişkiler ve faaliyetlerin kullandığı kaynak miktarları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



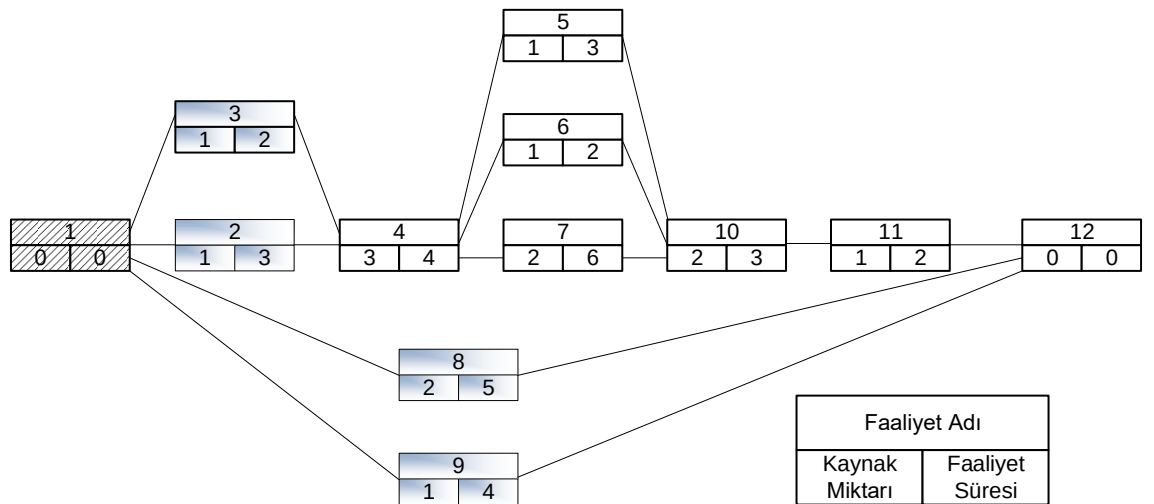
Şekil 2.3: Örnek bir şebeke.

Örnek projeye 4 adet yenilenebilir kaynak verilecektir. Kaynak kısıtsız CPM çözümlemesi sonucu 18 gün proje süresi bulunmuştur. Fakat kaynak talebi kaynak arzından fazla olduğundan kaynak kısıtlarını aşmamak için, bazı faaliyetler tehir edilecektir. Mevcut durumdaki kaynak kullanımı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.4: İlk durumdaki hesap öncesi kaynak kullanımı.

Açıklama açısından daha basit olduğu için örnek olarak SPT (en küçük faaliyet süresi kuralı) seçilecektir. İlk etapta 1 numaralı kukla faaliyeti işleme alınacaktır. Ve 1 numaralı faaliyet tamamlandıktan sonra 1,2,8,9 numaralı faaliyetler karar kümesinin elemanları olacaktır.



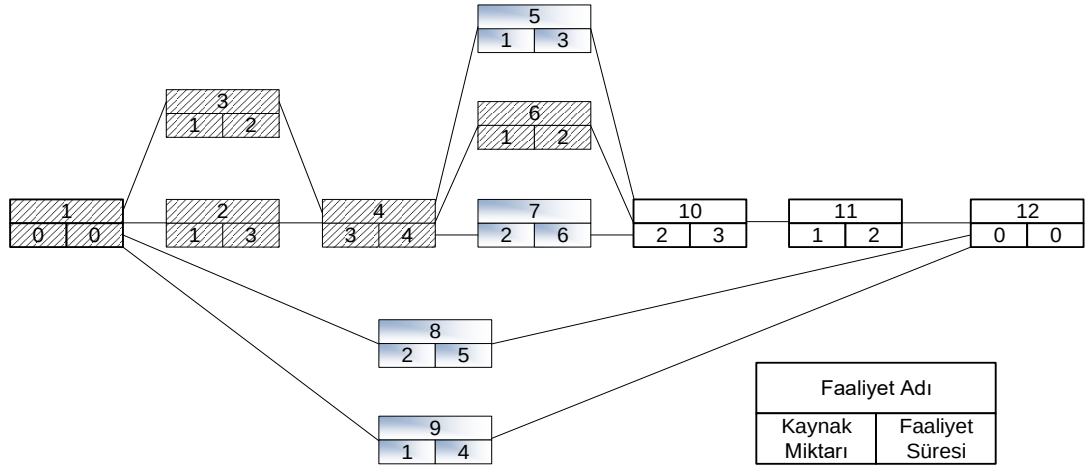
Şekil 2.5: Örnek şebekede ikinci adım karar kümesinin gösterimi.

3-2-8 ve 9 numaralı faaliyetlerden en kısa süreli faaliyet seçilip planlamaya alınacaktır. Bu durumda 3 numaralı faaliyet en kısa faaliyet süresine sahip olduğu için, olabilecek en küçük başlama zamanında başlamak üzere planlamaya alınacaktır. 3 numaralı faaliyet

planlandıktan sonra karar kümesinin elemanları 2-8 ve 9 numaralı faaliyetler olacaktır. 2-8 ve 9 numaralı faaliyetler arasından yine en küçük süreli faaliyet seçilecektir.

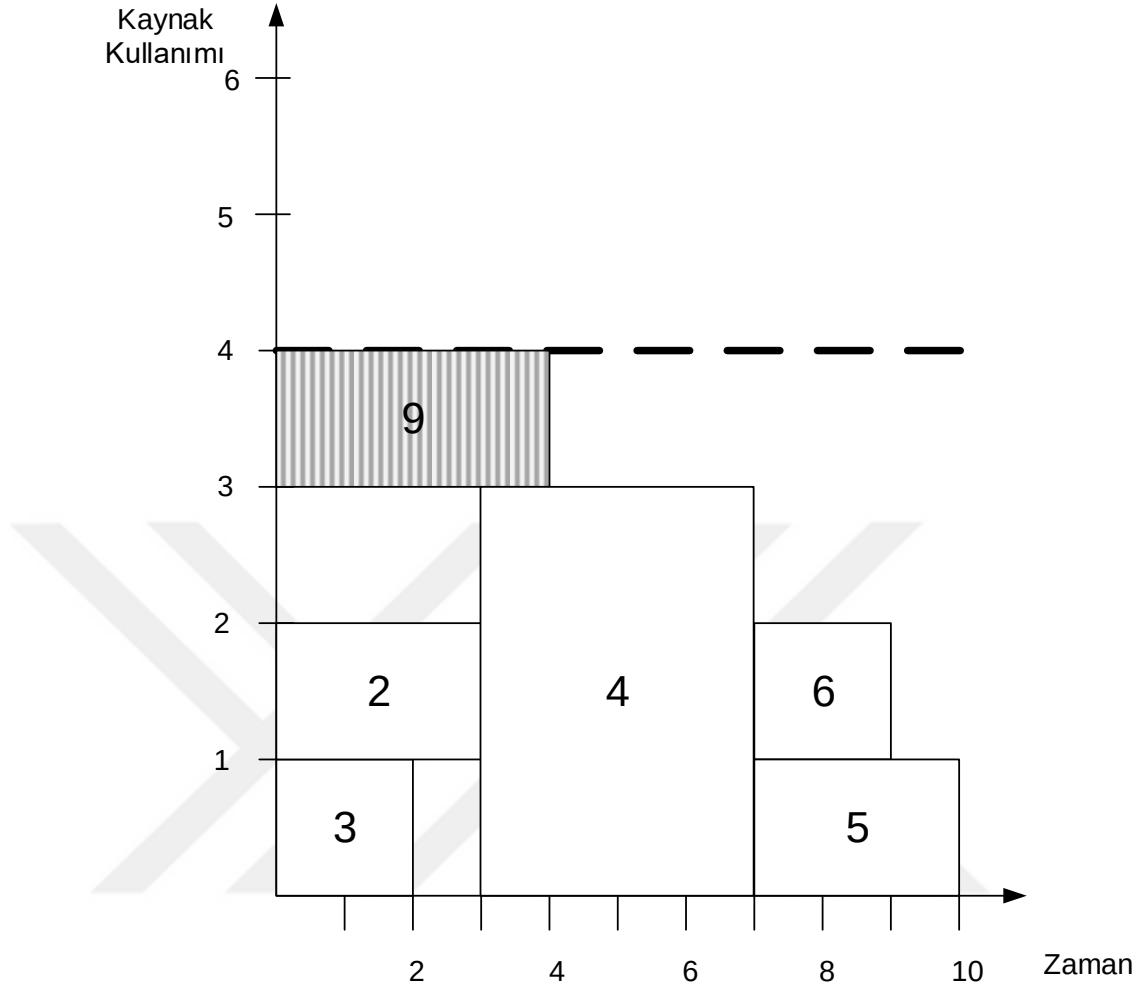
Sonuç olarak 2 numaralı faaliyet planlamaya alınmak üzere seçilecektir. Kaynak kısıtları ve faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerini bozmayacak şekilde planlanacaktır. Bu durumda 2 ve 3 numaralı faaliyetler birinci günün başında başlayacaktır. Bu durumda 2 ve 3 numaralı faaliyetler bittiği için, 4 numaralı faaliyet karar kümesine eklenecektir. Sonuç olarak karar kümesinin elemanları 4-8 ve 9 numaralı faaliyetlerdir. Bu grupta minimum süreye sahip olan 4 numaralı faaliyet seçilip planlamaya alınacaktır. Faaliyet ilişkilerini bozmayacak ve kaynak kısıtlarını aşmayacak şekilde olabilecek en erken zamanda planlaması yapılacaktır. 2 numaralı faaliyetin bitiş zamanı 3 ve 3 numaralı faaliyetin bitiş zamanı ise 2 dir. Bu durumda 4 numaralı faaliyet faaliyetler arasındaki ilişkileri bozmaması için 3 günden erken zamanda süresel ataması yapılamaz.

Sonuç olarak 2 ve 3 numaralı faaliyetler birinci günde başlamış ve 2 numaralı faaliyet üçüncü günün sonunda tamamlanmış ve 3 numaralı faaliyet ise ikinci günde tamamlanmıştır. 4 numaralı faaliyetin başlaması için ise 2 ve 3 numaralı faaliyetin tamamlanması gerekmektedir. 4 numaralı faaliyet üçüncü günde başlayacak şekilde süresel ataması yapılmış ve yedinci günde tamamlanması beklenmektedir. Dördüncü faaliyetten sonra 5-6-7 numaralı faaliyetler başlamaktadır. Ve sonuç olarak 5-6-7-8-9 numaralı faaliyetler karar kümesinin elemanlarını oluşturmaktadırlar ve yine içlerinden en küçük süreli faaliyet seçilip mümkün olabilecek en kısa zamanda süresel planlaması yapılacaktır. Sonuç olarak içlerinden en kısa süreye sahip olan 6 numaralı faaliyet en kısa süreye sahiptir ve yedinci günde başlamak üzere planlamaya alınacaktır. Bu durumda şebekede süresel planlaması yapılmış faaliyetler ve kaynak kullanım durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Çözüm adımlarında ilerleme durumu.

5-7-8 ve 9 numaralı faaliyetler karar kümesinin elemanlarını oluşturmaktadır. Aralarından 5 numaralı faaliyet 1 günlük süre ile seçilecek ve planlamaya alınacaktır. Bu durumda dördüncü faaliyetten sonra 5 numaralı faaliyet 6 numaralı faaliyet ile beraber başlamaktadır. Çünkü kaynak durumu ikisinin icraası için müsaittir. Bu durumda karar kümesi 7-8 ve 9 numaralı faaliyetlerden oluşmaktadır. Bu durumda 9 numaralı faaliyet 4 günlük süresiyle karar kümesin içinde en kısa süreye sahip faaliyettir ve planlamaya kaynak kısıtlarını ve faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerini bozmayacak şekilde olabilecek en erken zamanda planlamaya alınacaktır. Aşağıdaki şekilde 9 numaralı faaliyetin süresel planlama şekli gösterilmiştir.

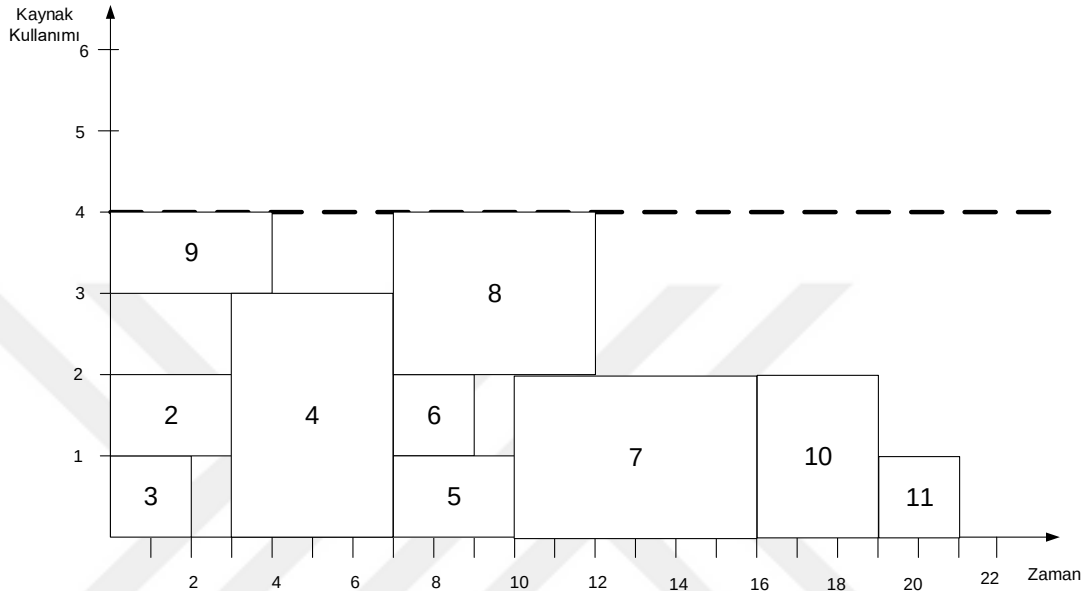


Şekil 2.7: 9 numaralı faaliyetin planlaması.

9 numaralı faaliyet, diğerlerine 4-5-6 numaralı faaliyetlerden sonra planlamaya alınmasına rağmen hemen önceki faaliyeti 1 numaralı faaliyet olduğundan ve kaynak durumu müsait olduğundan birinci günden sonra başlayabilecek şekilde planlaması yapılabilmektedir.

9 numaralı faaliyet tamamlanmış faaliyetler arasına geçtiğinden karar kümesinin faaliyetleri 7 ve 8 numaralı faaliyetlerdir. Sonuç olarak 8 numaralı faaliyet planlamaya alınacaktır. 6 ve 5 numaralı faaliyetlerle birlikte başlayabilecektir. Sekizinci faaliyet planlamaya alınması ile birlikte karar kümesinde sadece 7 numaralı faaliyet bulunmaktadır. Bunun sonucunda yedinci faaliyet planlamaya alındığında, kaynak kısıtından dolayı şebekeye göre aynı anda başlayabilmesine rağmen, kaynak kısıtlarından dolayı 5 numaralı faaliyeti beklemek durumunda kalacaktır. Ve onuncu günde

başlayabilmektedir. Yedi numaralı faaliyetten sonra sırası ile 10-11 ve 12 numaralı faaliyetler bulunmaktadır. Ve sırası ile bu faaliyetler planlamaya sokulacaktır. Seri planlamaya göre en kısa faaliyet süresi kuralı kullanarak proje süresi 21 gün olarak bulunmuştur.



Şekil 2.8: Seri planlamaya göre son durum.

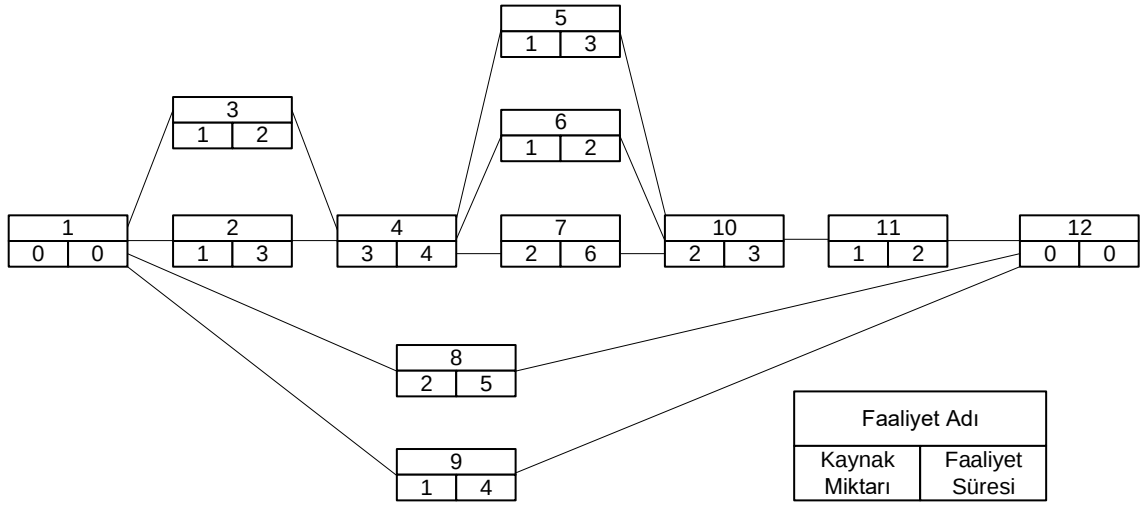
2.3.4.Paralel Planlama Örneği

Yukarıda seri planlamaya göre çözümlenmiş olan proje paralel planlama metoduna göre çözümlenecektir. Paralel planlamada ilk olarak zaman eksenini tanımlanacak ve projenin sıfır zamanında başladığı kabul edilecektir. Birinci faaliyet kukla faaliyet olduğu için direkt birinci faaliyetten başlanacaktır ve başlar başlamaz birinci faaliyet tamamlanmış faaliyetler arasında yerini alacaktır.

Tanımlamaya göre bir faaliyetin karar kümesine girebilmesi için;

- 1) Bütün hemen önceki faaliyetleri tamamlanmış faaliyet olmalı,
- 2) t_n anındaki kaynak kısıtlarını sağlamalıdır.

Bu durumda 2-3-8 ve 9 numaralı faaliyetler karar kümesini oluşturmaktadır. Ve bu kümeden “en kısa faaliyet süreli faaliyet” seçilecek ve başlangıcı t_n olacak şekilde planlanacaktır. Bu durumda 3 numaralı faaliyet karar kümesinden ilk olarak seçilecek



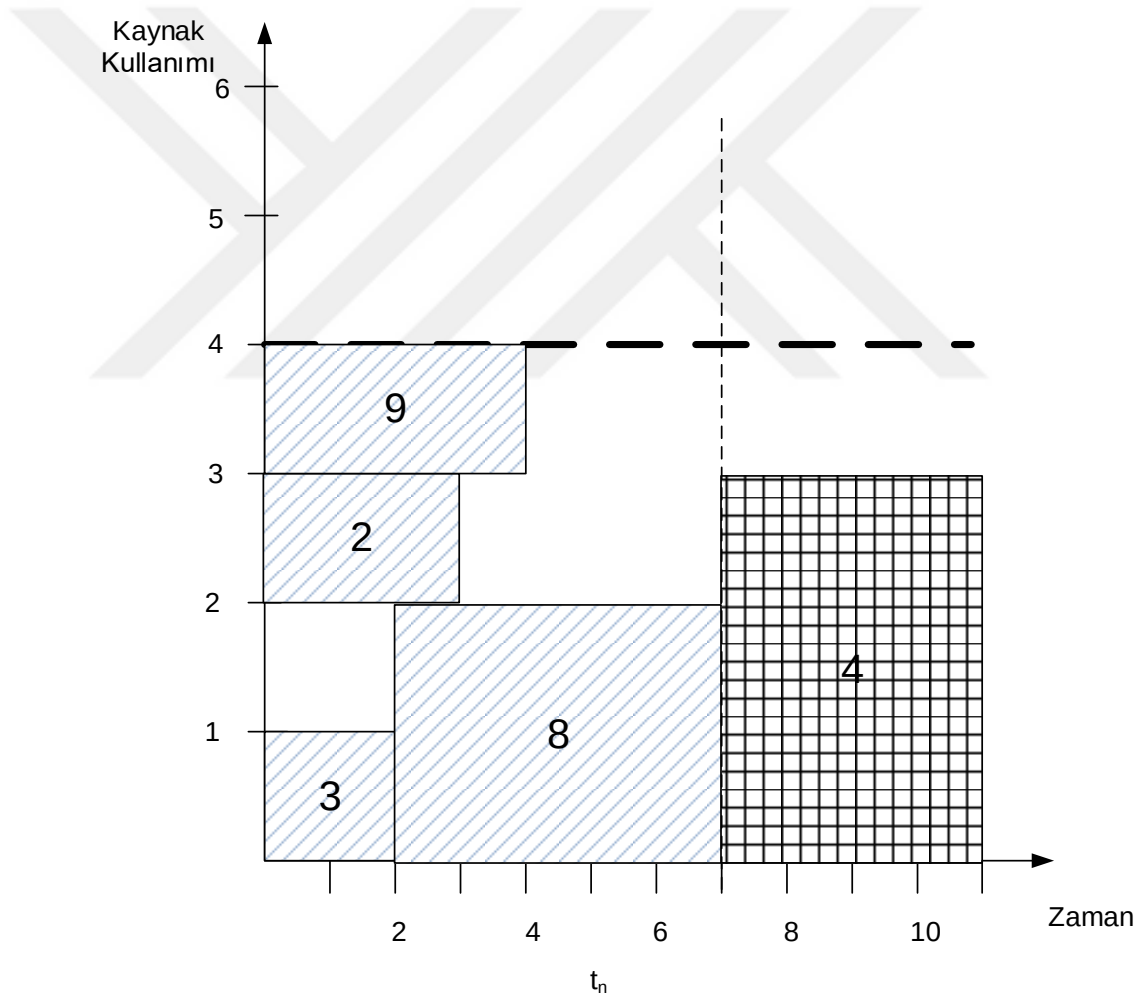
Şekil 2.9: Paralel planlamada ara bir adım.

$t_n = 0$ anında süresel ataması yapılacaktır. Bu durumda $t_n = 0$ anında mevcut kullanılabilir kaynak 4 den 3'e inmiştir. Bu durumda 3 numaralı faaliyet aktif faaliyet haline gelmiş ve karar kümesinde aktif faaliyetler kümesine dahil olmuştur. Bu durumda karar kümesinin elemanları 2-8 ve 9 numaralı faaliyetlerdir. Karar kümesinde minimum faaliyet süresine sahip olan faaliyet 3 günlük süre ile 2 numaralı faaliyetdir.

Sonuç olarak $t_n = 0$ anına göre süresel planlaması yapılmış ve aktif faaliyetler kümesine dahil edilmiştir. Bu durumda mevcut kullanılabilir kaynak 4 birim kaynaktan t_n anında 2 ve 3 numaralı faaliyetlerin kullanılmasıyla 2 birim kaynağa düşmüştür. Karar kümesi elemanları ise 8 ve 9 numaralı faaliyetlerdir. Bu durumda minimum faaliyet süreye sahip olan 9 numaralı faaliyet seçilir ve aktif faaliyetler arasında yerini almaktadır. Bu durumda $t_n = 0$ anında kullanılabilir kaynak miktarı 1 birim kaynağa kadar düşmüştür.

Mevcut durumda sekiz numaralı faaliyet karar kümesine dahil edilemez çünkü $t_n = 0$ anında 8 numaralı faaliyeti işleme alacak kadar yeterli kaynak miktarına sahip değiliz. Bu durumda planlama zamanı t_n ilerlemesi gerekmektedir. Aktif faaliyetler kümesi olan 2-3-9 numaralı faaliyetlerin bitiş zamanı minimum olan faaliyet belirlenir. 3 numaralı faaliyetin bitiş zamanı 2. gündür 2 numaralı faaliyetin bitiş zamanı 3. gündür. Ve 9 numaralı faaliyetin bitiş zamanı 4. gündür. Bu durumda t_n zamanı 0' dan üçüncü faaliyetin bitiş zamanı olan 2'ye kayacaktır. 3 numaralı faaliyet aktif faaliyetlerden tamamlanmış faaliyetler kümesine geçecektir.

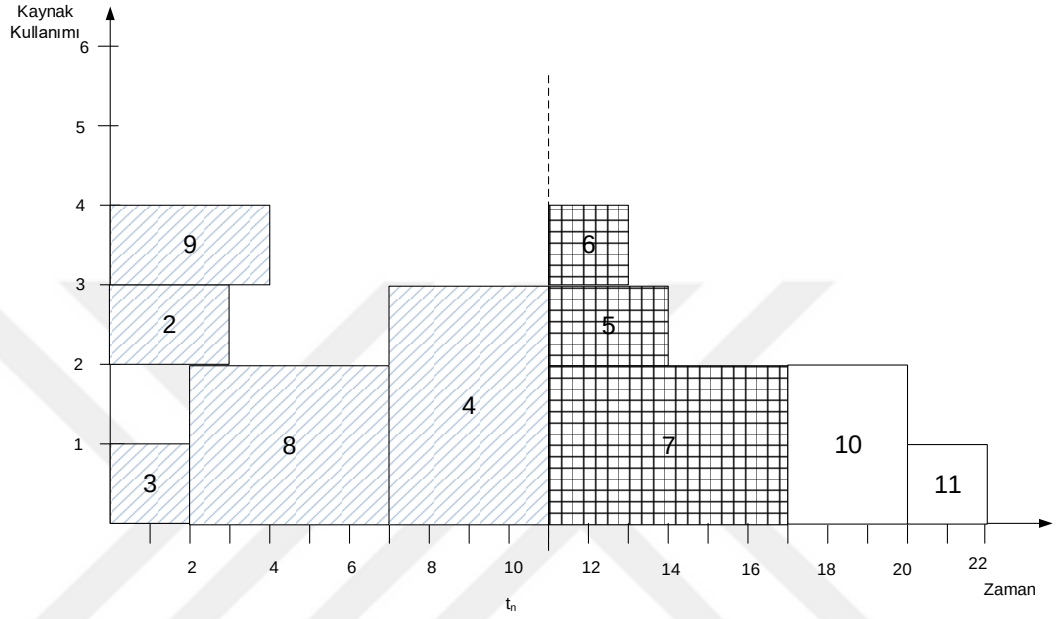
Karar kümesinin tanımına göre kümeye yeni bir faaliyet girmemektedir çünkü 3 numaralı faaliyetin tamamlanması ile birlikte başlayabilecek bir faaliyet olmayacaktır. Bu durumda sekiz numaralı faaliyet planlamaya alınacaktır ve başlangıç zamanı ikinci gündür. Bu adımdan sonra yeni bir karar kümesi oluşamamasından dolayı planlama zamanı ilerlemesi gerekmektedir. Bu durumda 2 numaralı faaliyet tamamlanmış faaliyetler kümesine dahil edilmiş olup, 2 numaralı faaliyet aktif faaliyetlerden tamamlanmış faaliyetler arasına girmiş bulunmaktadır. Sonuç olarak 4 numaralı faaliyetin hemen önceki faaliyetleri tamamlanmış kümenin elemanları olduğundan 4 numaralı faaliyetin karar kümesinin tek elemanı olma durumu vardır mevcut durum aşağıdaki şekilde tasvir edilmiştir.



Şekil 2.10: Paralel planlamada ara bir adım.

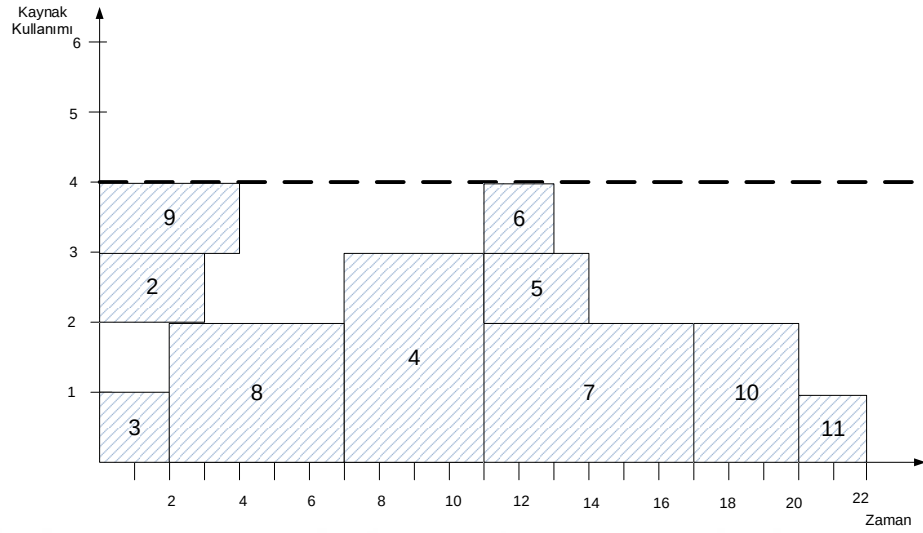
Şekil 2.9’da görülüyor ki 2-3-9-8 numaralı faaliyetler tamamlanmış faaliyetlerdir. Planlama zamanı yedinci güne getirilmiştir ve 4 numaralı faaliyet karar kümesinin tek elemanıdır. Bu durumda 4 numaralı faaliyet aktif faaliyetler kümesine getirilecek ve karar

kümesi bir sonraki çözümleme adımı için 11. güne getirilecektir. Planlama zamanı onbirinci güne getirildiğinde tamamlanmış faaliyetler kümesine 4 numaralı faaliyet eklenmiştir. Karar kümesinin elemanları ise 5-6-7 numaralı faaliyetlerdir. Mevcut durum aşağıdaki Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Paralel planlamadan görünüm.

Mevcut durumda karar kümesinin elemanlarından sırasıyla 6-5-7 numaralı faaliyetler planlamaya alınarak aktif faaliyetler arasına girmektedirler. 7 numaralı faaliyet $t_n=11$. günde başlamaktadır. 7 numaralı faaliyet aktif faaliyetlere dahil olduğunda karar kümesini oluşturmak için, t_n zamanı ilk etapta 13, 14 daha sonra 17. güne getirilecektir. En son olarak sırası ile 10 ve 11. faaliyetler işlenecektir. En son hal aşağıdaki Şekil 2.9'daki gibidir.



Şekil 2.12: Paralel planlamada son durum.

Paralel planlama metodu çözüm adımları daha az olduğu için, seri planlama metoduna göre daha hızlı çözümleme yapmaktadır. Çünkü paralel planlama metodunun her adımında bir ya da daha fazla faaliyet planlamaya dahil olmaktadır. Fakat seri planlama şemasında her adımda sadece bir adet faaliyet süresel planlaması yapılabilmektedir. Fakat söz konusu örnekte paralel planlama metodu ile 22 günlük bir proje elde edilirken, seri planlama metodu kullanılarak, 21 günlük bir proje elde edilmiştir.

Seri planlama metodunda elde edilen karar kümesinde daha fazla faaliyet olduğundan, seri planlama metodu ile daha kısa proje süreleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmada seri ve paralel planlama şemaları PSLIB kütüphanesindeki tek modlu bütün projeler üzerinde denenmiştir. ESTD kuralı tanım olarak bir faaliyetin olabilecek en erken başlama zamanına eşit olmaktadır. Paralel planlama metodunda karar kümesindeki faaliyetlerin t_n zamanında başlayacağı için ESTD değeri karar kümesindeki bütün faaliyetlerde aynı değere sahip olacaktır. Bu durumda ESTD sezgisel kuralı paralel planlama metodunda kullanılamayacaktır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada paralel ve seri planlama yöntemi kullanarak sezgisel kurallara göre en kısa süre ve proje süresi elde etmek amacı ile matlab programlama dili ile analiz yapılmıştır. PSLIB kütüphanesinden 30 faaliyetli 480 adet proje, 60 faaliyetli 480 adet proje, 90 faaliyetli 480 adet proje ve 120 faaliyetli 600 adet proje indirilmiştir. Ve dosyalar otomatik olarak okutulmuştur ve bütün projeler çözümlenmiştir. Toplamda 2040 problem seri planlama için 17, paralel planlama için 16 kurala göre analiz yapılmıştır. Sonuç olarak paralel planlama için sezgisel kurallar birbiri arasında istatistiksel olarak mukayesesi yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde elde edilen veriler ışığında sezgisel kuralların istatistiksel analizleri yapılmıştır. Buna ek olarak, paralel ve seri planlama metotların mukayesesi yapılmıştır. Aynı sezgisel kurallar için paralel ve seri planlama metotlarının mukayesesi yapılmıştır. Aşağıdaki şekillerde PSLIB kütüphanesinden indirilmiş bir dosyanın incelemesi gösterilmiştir.

Şekil 3.1’de 30 faaliyetli dosyada proje bilgileri ve faaliyetler ve ilgili faaliyetler hakkındaki bilgiler listelenmiştir. Proje bilgilerine bakacak olursak, 32 adet faaliyetten oluşmaktadır fakat başlangıç ve bitiş faaliyetleri dummy faaliyetler olduğundan, net olarak 30 adet faaliyet bulunmaktadır. Horizon faaliyet sürelerinin toplamıdır ve bu proje için, 148 gündür. Herbir faaliyet için, faaliyet numarası (jobnr.), faaliyet mod sayısı (#modes), faaliyetten sonra gelen faaliyet sayısı (#successors), faaliyetten hemen sonra gelen faaliyetler (successors). Örneğin 1 numaralı faaliyetten sonra 3 adet faaliyet gelmektedir. Bu faaliyetler 2 3 ve 4 numaralı faaliyetlerdir. Tablodan anlaşılıyor ki Tek modlu bir analiz yapıldığından, bütün faaliyetlerin faaliyet süreleri sabittir.

```

*****
file with basedata          : j30_17.bas
initial value random generator: 271693241
*****
projects                    : 1
jobs (incl. supersource/sink): 32
horizon                     : 148
RESOURCES
- renewable                  : 4    R
- nonrenewable               : 0    N
- doubly constrained         : 0    D
*****
PROJECT INFORMATION:
pronr.  #jobs rel.date duedate tardcost  MPM-Time
      1    30      0      60      27      60
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.   #modes  #successors  successors
      1       1       3         2  3  4
      2       1       3         5  7 13
      3       1       3         6 18 24
      4       1       1         19
      5       1       3         8  9 10
      6       1       3        11 13 22
      7       1       1        14

```

Şekil 3.1: 30 Faaliyetli veri dosyasından görünüş.

Şekil 3.2'nin sol kısmında faaliyetlerin süreleri ve kullandığı yenilenebilir kaynak miktarları bulunmaktadır. Sağ kısmında ise 32. faaliyete kadar tablo devam etmekte ve projeye verilen yenilenebilir kaynak miktarı yazılmaktadır. Tablodan bakılacak olunursa 2 numaralı faaliyetin süresi 1 gün ve 4 çeşit kaynaktan sade 4 numaralı kaynaktan 5 birim olarak kullanılmaktadır. PSLIB den indirilen projelerin temel özellikleri bütün faaliyetlerin başlangıç ve bitiş faaliyetleri kukla faaliyetlerdir herhangi bir süresi ve kaynak gereksinimi yoktur.

26	1	1	30				
27	1	1	28				
28	1	1	31				
29	1	1	32				
30	1	1	32				
31	1	1	32				
32	1	0					

20	1	1	0	0	7	0
21	1	7	0	2	0	0
22	1	9	0	0	0	10
23	1	9	0	0	7	0
24	1	4	0	4	0	0
25	1	4	0	3	0	0
26	1	1	0	0	4	0
27	1	1	9	0	0	0
28	1	8	0	0	0	9
29	1	1	0	0	0	1
30	1	2	0	8	0	0
31	1	7	0	4	0	0
32	1	0	0	0	0	0

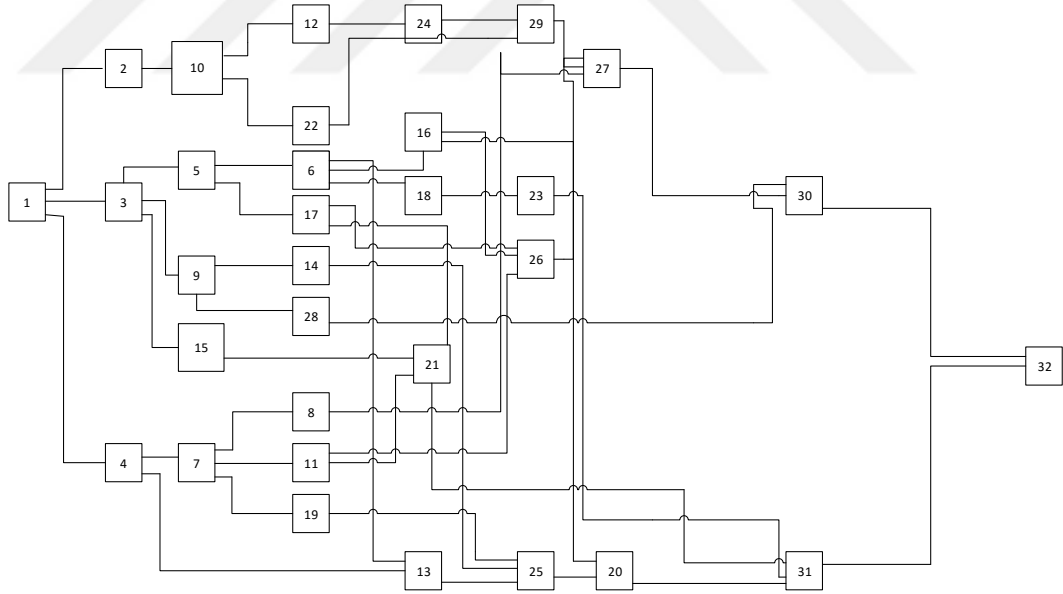
REQUESTS/DURATIONS:							
jobnr.	mode	duration	R 1	R 2	R 3	R 4	

1	1	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	5
3	1	1	0	3	0	0
4	1	1	8	0	0	0
5	1	7	0	0	2	0
6	1	6	0	0	0	3
7	1	4	1	0	0	0
8	1	5	0	0	10	0
9	1	8	0	0	3	0
10	1	7	0	0	0	1
11	1	8	9	0	0	0
12	1	1	7	0	0	0
13	1	2	0	3	0	0

RESOURCEAVAILABILITIES:							
R 1	R 2	R 3	R 4				
10	8	13	12				

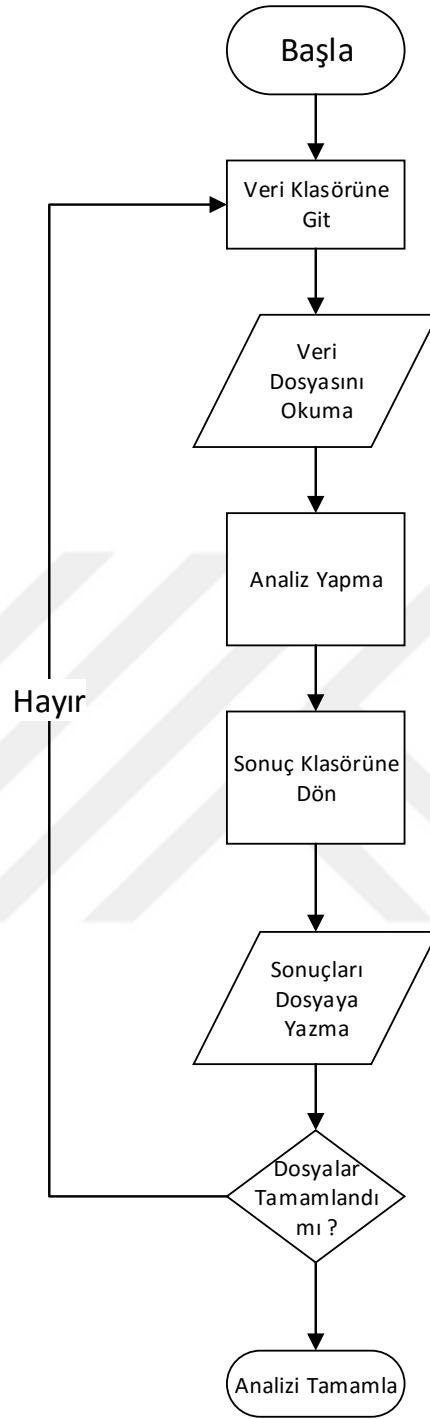
Şekil 3.2: Faaliyetlerin kaynak durumları.

Her bir faaliyetin en fazla dört adet hemen sonraki faaliyeti bulunmaktadır. Bütün dosyalar otomatik olarak okutulup şebekeleri oluşturulmuştur. Aşağıdaki şekilde örnek bir şebeke çizimi bulunmaktadır.



Şekil 3.3: 32 Faaliyetli bir şebeke.

Bütün CPM ve kısıtlı kaynak planlamalar Matlab programlama dili ile yazılmıştır ve Şekil 3.4'de akış metodu genel hatları ile programın çalışma şeklini göstermektedir.



Şekil 3.4: Hesaplamaların akış metodu.

Şekil 3.4’deki akış metodu hem paralel hem de seri metod için, bütün sezgisel kurallar ile işleme alınır. Gerek seri ve paralel planlama şemalarının birbiri ile mukayeseleri gerek ise paralel ve seri hesaplamalarının da sezgisel kuralların birbiri ile mukayesesi için Wilcoxon testi kullanılmıştır.

3.1.PARAMETRİK OLMAYAN İSTATİSTİKSEL TESTLER

Parametrik olmayan istatistiksel testler genel olarak dağılımlardan ve ortalama ve standart sapma gibi parametrelerden bağımsız olarak çıkarsama yapmaya yarayan istatistiksel testlerdir. Hesaplama yapılırken, istatistik verilerinin herhangi bir istatistiksel dağılıma sahip olduğu kabulüne göre hesap yapmamaktadır. Parametreler yerine bütün verileri göz önüne almaktadır.

Fakat dağılımlardan bağımsız olmak demek, herhangi bir ön kabulden bağımsız olmak demek değildir. Mesela uygulamada istatistiksel verilerin dağılımı hakkında örnek verilecek olunursa dağılımın simetrikliği hakkında bir kabul yapılabilir. Yada verilerin sürekli ve simetrik olduğu yönünde bir kabul yapılabilir. Bu çalışmada ise bütün sonuçların ayrı mekanizmalar sonucu üretildiğinden sonuçlar birbirine göre mukayese yapılarak analiz yapılacaktır. Başlıca parametrik olmayan istatistik testleri. Kolmogorov-Smirnov testi, Wilcoxon testi, Kruskal-Wallis testi Mann-Whitney U testi.

3.1.1 Wilcoxon İstatistiksel Testi

Wilcoxon testi 1945 yılında ikili verileri birbiri ile mukayesesi için önerilmiş bir parametrik olmayan istatistik testidir (Wilcoxon, 1945). Wilcoxon testinin amacı verileri diğer metotların aksine verileri eşleştirerek mukayese etmektedir. Mesela iki adet veri kümesini birbiri ile mukayese edelim, Wilcoxon testinde birinci setin iki numaralı sonucu sadece ikinci setin iki numaralı sonucu ile mukayese ederek, ikisinin arasında bir farkının olup olmadığını ya da birisinin diğerine olan üstünlüğünü istatistiksel olarak, tayin etmektedir. Fakat diğer metotlar veri kümelerinin tamamını mukayese etmektedir. Wilcoxon istatistiksel testinde sıfır hipotezi ve alternatif hipotez vardır. Sıfır hipotezde değerlerinin birbirinden farkı olmadığı alternatif hipotezde ise iki verinin birisinin diğerinden üstün olduğu ya da ikisinin aynı olmadığını belirten hipotezdir. İstatistik hesapları ile P-değerini hesapladığımızda verilerin sıfır hipotezi altında nasıl davrandığını görebilir. Test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır.

- Bütün çiftler için fark değeri d_i ve hangi değerin büyük olduğunu gösteren fark işareti $S_i \in \{-1,0,1\}$ hesaplanır. $S_i = 0$ şartını sağlayan çiftler hesaplama dışı bırakılır.

- d_i değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır ve sıra numarası R verilir. Mesela altıncı çiftin arasındaki fark ikinci en büyük değer olsun, bu durumda $R_6 = 2$ olmaktadır.
- Aşağıdaki formüle göre istatistik değer elde edilir.

$$W = |\sum_i S_i R_i| \quad (3.1)$$

W bilinen bir dağılıma sahiptir. N değeri 10' dan büyük olursa, yaklaşık olarak normal dağılıma sahip olacaktır. Böylece, sıfır hipotezi altında olasılıklar hesaplayabiliriz. Wilcoxon testi karşılıklı olarak değerleri mukayese ettiğinden bu çalışmada diğer metotlardan daha uygundur.

3.1.2 Kolmogorov-Smirnov Testi

Kolmogorov-Smirnov testi iki adet dağılımın birbiri ile mukayeselerini yapmaktadır. İki adet kümülatif dağılımın fonksiyonlarını kullanarak yapmaktadır. Bir istatistiksel dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu $F(a) = P(x \leq a)$ dağılımdaki x değerinin a değerinden küçük olma ihtimalini göstermektedir. Eğer sürekli yerine süreksiz veriler hakkında konuşursak, kümülatif dağılım fonksiyonu $F_n(a) = \frac{1}{n} \sum_i \mathbb{I}(x_i < a)$ olarak tanımlanır. $\mathbb{I}$ fonksiyonu ise içindeki argüman doğru ise 1 yanlış ise 0 değerini vermektedir.

Şimdi iki adet kümülatif dağılım fonksiyonunu mukayese edelim Kolmogorov-Smirnov testinde aşağıdaki formüle göre D_n değeri hesaplanmaktadır.

$$D_n = \max_x |F_n^1(x) - F_n^2(x)| \quad (3.2)$$

Bu formülle en büyük sapmaya bakarak iki kümülatif istatistiksel dağılımın birbiri ile mukayeselerini elde edilebilir. Şayet iki dağılım aynı popülasyondan geliyor ise

$\lim_{n \rightarrow \infty} D_n = 0$ durumu ortaya çıkar. Eğer iki dağılım kesişmiyor ise D_n değeri 1'e eşit olacaktır. Bu durumda iki dağılım birbirine eşit olmadığı sonucunu ortaya çıkaracaktır.

3.1.3 Mann-Whitney U Testi

Mann-Whitney U testi Wilcoxon testine benzerlikler taşımaktadır. Fakat ikili olması gerektirmeyen çoklu örnekler üzerinde de uygulanabilir. H_0 hipotezi iki grubun aynı

dağılıma sahip olduğudur alternatif hipotez ise bir grubun diğer gruptan daha büyük yada küçük olduğunu göstermektedir. Test istatistiğini hesaplamak oldukça basittir.

- 1- Bütün veri değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır ve sıra numarası verilir.
- 2- Birinci gruptaki sıra değerleri toplanır ve R_1 olarak ifade edilir birinci gruptaki veri değerleri toplanır ve n_1 olarak adlandırılır. Ve birinci grup için U_1 değeri $U_1 = R_1 - n_1(n_1 + 1)/2$ olarak hesaplanır.
- 3- $U = \min(U_1, U_2)$ olarak test istatistiği tanımlanır.

U değerinin dağılımı bilinen bir dağılıma sahiptir. Eğer n_1 ve n_2 değerleri yeterince büyükse U değerinin dağılımı ortalaması birinci hipotezin doğru olduğu şartlarda $n_1 n_2 / 2$ değerine eşit olan bir normal dağılıma eşittir. Eğer ortanca değerler çok farklı ise U değeri sıfıra yakın olur eğer birbirine yakın değerler ise U değeri $n_1 n_2 / 2$ değerine yakın olur.

3.1.4 Kruskal Wallis İstatistiksel Testi

Kruskal-Wallis testi, sadece sıralama verisi bulunduran verilere uygulanmasının yanı sıra sürekli yada süreksiz istatistiksel dağılıma sahip olan verilerin ortalama ve ortanca değerlerinin mukayesesinde de kullanılabilir. Bunun yanında herhangi bir kümülatif dağılım fonksiyonlarının bir alternatife göre dominant olup olmadığını da göstermektedir.

Farzedin ki k adet rastsal numunemiz olsun, i . Numune n_i adet gözlem sonucuna sahip olsun herbir gözlem sonucuda $j = 1, \dots, n_i$ olarak tanımlansın. Böylece toplam gözlem sayısı $N = \sum_{i=1}^k n_i$ bütün gözlemler en küçük değerden (1) en büyük değere (N) sıralanır. Farzedin ki r_{ij} değeri x_{ij} gözleminin sıralaması olsun ve s_i değeri $s_{ij} = \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}$ i nci numunenin sıralama toplamına eşittir. Böylece $S_k = \sum_{i=1}^k (s_i^2 / n_i)$ değerini hesaplayabiliriz. Ve test istatistiği aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$T = \frac{12S_k}{N(N+1)} - 3(N+1) \quad (3.3)$$

Bütün örnekler aynı popülasyondan geldi ise düşük orta ve yüksek sıralama değerleri bütün örneklerde var olmasını bekleriz. Fakat alternatif hipotezde yüksek yada düşük sıralama değerleri bir yada daha fazla numunede baskın hale gelebilir. Alternatif hipotezin doğru olduğu durumlarda, S_k değeri göreceli olarak daha büyük sıralama toplam değeri barındıracağından, T değerini arttıracaktır.

Küçük boyutlu örnekler için H_0 hesaplamak için, gerçek permutasyon olasılıklarını el ile hesaplamak uygun olabilir fakat büyük örnekler için, T değeri ki $k - 1$ serbestliğinde bir ki kare dağılımı göstermektedir.

3.1.5 Wilcoxon istatistiksel testi uygulaması

Wilcoxon istatistiksel testi diğer parametrik olmayan testler arasından uygun olmasının başlıca nedeni birincisi bizim problemimizde iki adet sezgisel kuralı mukayese ettiğimizde, farklı projelerden gelen sonuçları sadece kendi içinde mukayese etmemiz gerektiğinden, Wilcoxon testinin bu tip mukayeseye uygun olduğu öne çıkmaktadır. Örnek olarak aşağıdaki Tablo 3.1’de seri planlama ile çözülmüş 10 adet 30 faaliyetli projenin SPT kuralı ile MIS kurallarının sonuçları verilmektedir8.

Tablo 3.1: Örnek sonuçlar.

Problem	SPT	MIS
1	59	46
2	56	45
3	75	65
4	81	77
5	86	80
6	61	49
7	62	52
8	67	59
9	75	62
10	60	49

Bu verilere MIS kuralının SPT kuralına göre üstünlüğünü istatistiksel olarak tespit edeceğiz. Aşağıdaki Tablo 3.2’de her satır için MIS değerinin SPT değerinden küçük ya da büyük olduğu ve aralarındaki farkın mutlak değeri yazılacaktır.

Tablo 3.2: İki verinin mukayesesi.

Problem	SPT	MIS	İşaret	Fark
1	59	46	1	13
2	56	45	1	11
3	75	65	1	10
4	81	77	1	4
5	86	80	1	6
6	61	49	1	12
7	62	52	1	10
8	67	59	1	8
9	75	62	1	13
10	60	49	1	11

Fark değerlerinin elde edilmesinden sonra fark değerlerinin sıralaması yapılacaktır. Sıralama değeri verilirken en büyük fark değeri numune sayısına eşit olacaktır. En küçük fark değeri “1” olarak sıralama değeri verilecektir. Örneğin; 4 numaralı problemde 4 gün fark çıkmıştır, sette en küçük değer 4 olduğundan 4 numaralı problemin sıralama değeri “1” ‘e eşittir. Fakat en büyük değerlere bakıldığında karşımıza iki adet en büyük değerler çıkacaktır. 1 numaralı problem ile 9 numaralı problemin fark değerleri 13’er günle en yüksek değerlerdir. Bu değerler sıralama olarak 9 ve 10 değeri verileceğinden adillik olması açısından ikisine aynı sıralama puanı “9.5” olarak verilecektir. Aşağıdaki Tablo 3.3’de sıralama değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.3: Sıralama puanları hesap sonucu.

Problem	SPT	MIS	İşaret	Fark	Sıralama
1	59	46	1	13	9.5
2	56	45	1	11	6.5
3	75	65	1	10	4.5
4	81	77	1	4	1
5	86	80	1	6	2
6	61	49	1	12	8
7	62	52	1	10	4.5
8	67	59	1	8	3
9	75	62	1	13	9.5
10	60	49	1	11	6.5

Sonuç olarak MIS kuralının SPT kuralından üstün geldiği bütün sıralama rakamlarını toplarsak 55 sayısına ulaşırız. Son olarak Wilcoxon tablolarını kullanarak 55 sayısının

MIS kuralı sonucu üretilen sürelerin SPT kuralı sonucu üretilen sürelerden küçük olup olmadığını test edeceğiz. Örnek bir Wilcoxon tablosu aşağıdaki Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4: Wilcoxon tablosu.

n	α değerleri			
	0.1	0.05	0.02	0.01
5	0	-	-	-
6	2	0	-	-
7	3	2	0	-
8	5	3	1	0
9	8	5	3	1
10	10	8	5	3

Tablo 3.4 te α değerleri anlamlılık değeridir. İlgili numune sayısına göre bulunan değerler anlamlılık düzetine göre eşik değerden düşükse sıfır hipotezi o derece anlamlı olmaktadır. Örneğimizde 10 adet numunenin içinde toplanan sıralama sayısı 10 ve 10’dan küçükse %10 ihtimalle söz konusu iki dağılım birbirinden farklı olduğu sonucu çıkacaktır. Örnekte ise toplam sıralama sayısı 55 olduğu için yüksek ihtimalle bu iki dağılım birbirinden farklıdır.

4. BULGULAR

Bu bölümde, örnek proje sonuçlarının istatistiksel analizi yapılacaktır. Paralel ve Seri planlama metotları mukayese edilecek bunun yanında seri planlama metodu altında çalışan sezgisel kurallar mukayese edilecektir.

4.1 PARALEL VE SERİ PLANLAMA METODLARININ MUKAYESESİ

Bu bölümde paralel planlama metodu ile seri planlama metodu arasında yapılan mukayese sonucu paralel planlamanın seri planlamadan daha kötü sonuç verildiği görülmektedir. Bunun yanında bütün sezgisel kurallar için karşılıklı mukayese yaparak, paralel ve seri planlama metotları altında en uygun sezgisel kurallar elde edilmiştir. Aşağıdaki tabloda seri planlama için bütün sezgisel kuralların sonuçlarının ortalamaları ve PSLIB kütüphanesine gönderilen en iyi sonuçların ortalaması en alt satırda ise kaynak kısıtsız durumun çözümleri ortalaması bulunmaktadır.

Tablo 4.1: Seri planlama için sezgisel kuralların sonuçları.

Sezgisel Kural	30 Faal	60 Faal	90 Faal	120 Faal
SPT	69.54	96.47	113.44	153.21
MIS	65.11	89.47	105.66	139.47
MTS	63.21	85.81	100.89	130.62
RPW	62.45	85.21	99.99	127.94
RPW*	65.50	90.77	107.38	146.10
EST	64.73	89.46	106.88	151.94
ESTD	64.24	88.88	106.15	150.99
EFT	66.25	91.42	109.11	155.57
EFTD	65.83	90.65	108.19	153.53
LST	62.30	84.63	99.79	127.75
LFT	62.66	85.13	100.05	128.41
MSL	72.30	102.03	122.39	177.65
MSLD	65.39	88.47	103.71	134.05
GRD	66.39	92.11	109.60	150.26
WRUP	66.27	91.88	108.70	146.00
ACROS	66.65	91.34	107.45	143.14
ACTRES	66.72	91.22	107.96	143.93
Minimum	62.30	84.63	99.79	127.75
Gönderilen En İyi (PSLIB)	58.99	79.80	94.94	122.18
CPM	52.28	72.54	86.84	94.95

Tablo 4.1 de ortalamalara bakacak olursak, en iyi dört sezgisel kuralı sıralarsak, LST, RPW, LFT ve MTS sezgisel kuralları en iyi sezgisel kurallardır. Aşağıdaki tabloda ise paralel planlama metodunun sonuçları mevcuttur.

Tablo 4.2: Paralel planlama için sezgisel kuralların sonuçları.

Sezgisel Kural	30 Faal	60 Faal	90 Faal	120 Faal
SPT	84.72	107.09	121.83	185.67
MIS	89.21	112.16	127.04	198.25
MTS	90.79	113.68	129.80	203.04
RPW	90.90	114.20	129.59	202.43
RPW*	87.54	110.01	125.38	192.10
ESTD	88.59	110.58	125.92	194.97
EFT	88.35	110.00	126.36	194.77
EFTD	87.12	109.32	124.10	191.73
LST	91.03	114.12	130.17	202.38
LFT	91.56	114.06	130.83	203.30
MSL	90.72	113.77	129.48	200.90
MSLD	87.12	109.32	124.10	191.73
GRD	84.13	107.69	123.59	188.91
WRUP	86.80	110.48	126.83	196.64
ACROS	89.98	112.01	127.00	197.70
ACTRES	89.35	111.30	126.25	195.70
Minimum	84.13	107.09	121.83	185.67
Gönderilen En İyi (PSLIB)	58.99	79.80	94.94	122.18
CPM	52.28	72.54	86.84	94.95

Tablo 4.2’de sezgisel kuralların ortalamasına bakacak olursak paralel planlama için en iyi sezgisel kurallar sırası ile, SPT, GRD, EFTD ve MSLD sezgisel kuralları olduğu görülmektedir.

Seri planlama ile paralel planlama hesaplarını mukayese etmek için, her sezgisel kural için elde edilen proje süreleri için, kaynak gözetilerek elde edilen proje süresi ile kaynak kısıtı gözetmeksezin elde edilen proje süresi arasındaki oran elde edilir. En iyi sonuçları veren sezgisel kural için oran ortalaması alınır ve en düşük oranı gösteren sezgisel kuralın oranı ilgili planlama metodunun performansını göstermektedir. Aşağıdaki tabloda seri ve paralel planlamanın için en iyi performans gösteren sezgisel kuralların kaynak kısıtsız şebeke çözümüne göre ne oranda projeyi uzatıldığını gösterilmektedir. Örnek verirse, paralel metod için 30 faaliyetlik setlerde ortalama olarak kaynak kısıtı gözetmeksizin elde edilen proje süresinden 1.61 kat daha fazla proje süresi elde edilmiştir.

Tablo 4.3: Çözümlemelerin proje sonuçlarının CPM sonucuna göre oranları.

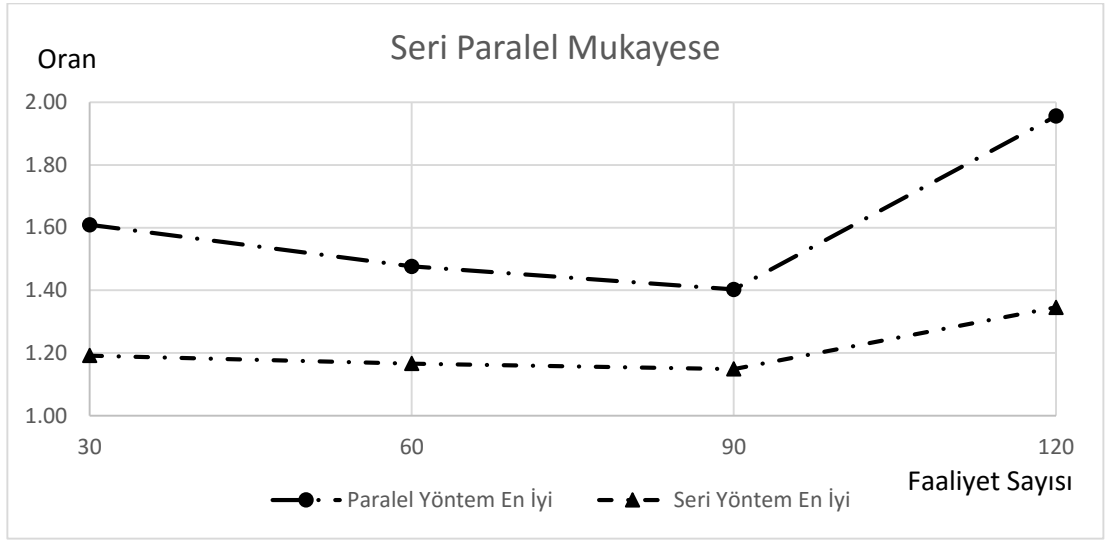
Yöntem	30 Faaliyet	60 Faaliyet	90 Faaliyet	120 Faaliyet
Paralel Yöntemin en iyi sonucu	1.61	1.48	1.40	1.96
Seri Yöntemin en iyi sonucu	1.19	1.17	1.15	1.35

Tablo 4.3’de görüldüğü üzere, paralel metod sonucu yapılan çözümlemeler seri çözümlemelere göre her dört faaliyet grubu için de daha kötü sonuç vermektedir. Örnek olarak, CPM’ e göre 100 gün olan proje süresi 30 faaliyetlik bir set için, paralel planlamada 161 gün seri planlamada ise 119 gün olmaktadır. Bu durumu teyit eden birçok çalışma vardır. Öncelikle elde edilen bulgular (Kolisch, 1996) ile örtüşmektedir. Ancak, Kolisch ve Hartmann (2006) makalesinde paralel planlama metodunun daha iyi sonuç verdiği vurgulanmaktadır. Tablo 4.4 de paralel ve seri planlama metodunun CPM ‘e göre (kaynak kısıtsız planlama) proje süresi açısından mukayese gösterilmektedir.

Tablo 4.4: Çözümlemelerin ve en iyi gönderimlerin ortalamaları.

Yöntem	30 Faal	60 Faal	90 Faal	120 Faal
Paralel Planlama	84.13	107.09	121.83	185.67
Seri Planlama	62.30	84.63	99.79	127.75
En İyi Gönderilen (PSLIB)	58.99	79.80	94.94	122.18
CPM	52.28	72.54	86.84	94.95

Tablo 4.4 değerleri normalize edilerek, CPM 1.00 baz değerlerine göre diğerlerinin rölatif değerleri şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Seri ve paralel planlama en iyi sonucun hata payı.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi üç bölge meydana gelmektedir. Proje boyutu (30-60) birinci bölge (60-90) ikinci bölge, (90-120) üçüncü bölge şeklindedir. Seri planlama metodunda bulunan hata payları, iki bölge boyunca küçük miktarlarda azalırken, üçüncü bölgede ise ilk iki bölgedeki azalışın 10 katı kadar artmaktadır. Paralel planlamada ise, ilk iki bölgede serideki gibi daha büyük bir eğimle azalmakta üçüncü bölgede ise serideki gibi ancak, üç katı gibi artmaktadır.

Bu çalışmada refereans olarak alınan PSLIB ve kaynak kısıtsız CPM’e göre bakıldığında her ikisi açısından da şekil 4.1 de görüleceği gibi her iki metodun en iyi sonuçları da ilk iki bölgede azalmakta üçüncü bölgede ise artış göstermektedir.

4.2 SEZGİSEL KURALLARIN MUKAYESESİ

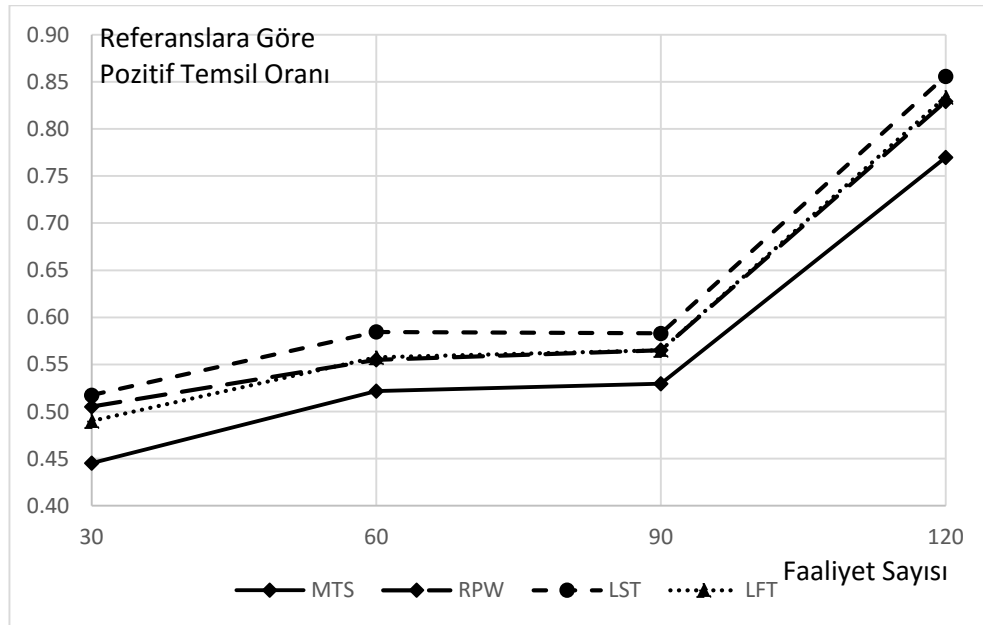
Bu bölümde seri ve paralel planlama metodu için, sezgisel kuralların birbiri ile üstünlükleri irdelenecektir. Tablo 4.4’ ü oluşturmak için, 480 tane 30 faaliyetlik projeler seri planlama metoduna göre çözümlenmiştir. Bir setteki bütün projeler için sezgisel kuralların sonuçları karşılıklı olarak mukayese edilmiştir. İlgili problem setinde herhangi bir sezgisel diğer bir sezgisel kuraldan kaç defa daha iyi geldiği sayılacaktır.

Tablo 4.4: 30 faaliyetli şebekeler seri planlama metodu altında sezgisel kuralların ikili mukayesesi.

	SPT	MIS	MTS	RPW	RPW*	EST	ESTD	EFT	EFTD	LST	LFT	MSL	MSLD	GRD	WRUP	ACROS	ACTRES
SPT	0	268	312	320	264	280	293	241	243	325	319	110	264	251	241	232	230
MIS	52	0	198	250	133	150	169	104	111	245	225	32	156	107	102	92	85
MTS	29	74	0	149	83	97	106	59	67	170	145	16	75	60	59	42	50
RPW	22	52	60	0	51	64	74	43	50	109	98	14	39	46	43	40	41
RPW*	78	146	213	235	0	174	183	125	138	244	240	26	157	113	118	114	111
EST	61	156	218	249	137	0	121	94	107	263	240	19	158	119	121	109	105
ESTD	45	131	204	236	125	99	0	78	80	249	228	16	144	103	103	94	90
EFT	75	211	267	289	197	215	239	0	116	295	284	38	209	175	182	162	160
EFTD	61	199	266	292	191	202	222	71	0	287	280	32	199	159	166	155	151
LST	17	52	74	83	44	60	69	38	49	0	82	12	36	36	46	35	37
LFT	20	64	85	123	62	75	88	46	53	125	0	13	44	43	44	38	45
MSL	221	309	333	338	315	323	330	289	298	339	337	0	307	289	294	291	290
MSLD	67	152	193	223	147	168	178	129	136	231	220	40	0	118	130	112	106
GRD	78	189	252	271	184	202	219	148	160	271	268	43	182	0	159	143	142
WRUP	83	188	256	278	183	197	219	152	156	273	272	44	185	149	0	155	155
ACROS	81	174	244	272	186	195	210	165	171	273	262	45	196	164	165	0	62
ACTRES	91	177	246	272	192	201	216	163	169	275	262	44	202	168	167	75	0
Toplam	1081	2542	3421	3880	2494	2702	2936	1945	2104	3974	3762	544	2553	2100	2140	1889	1860

Örnek olarak MIS ve SPT kurallarını mukayese edecek olursak, 268 defa MIS kuralı SPT kuralından üstün gelmiştir. Buna karşılık 52 problemde SPT kuralı MIS kuralından daha iyi sonuç vermiştir. Geriye kalan 160 problemde iki sezgisel kural aynı sonucu vermiştir. Tablo 4.4'teki değerler 480'e bölüldüğünde Tablo 4.5'deki üstünlük oranları çıkmaktadır. Sezgisel kuralların 30'luk problemler için ve seri planlama altında birbirine karşı üstün gelme oranları verilmektedir.

Tablo 4.5'e bakıldığında sezgisel kuralların birbirine göre üstünlük ihtimalleri verilmektedir. Örneğin MIS kuralı SPT kuralından 30 faaliyetli şebekeler içinde üstün gelme oranı % 56'dır. Bunun yanında MIS kuralının SPT kuralından üstün gelme oranı ise %11'dir. Fakat grup içinde en iyi sezgisel kuralı tespit etmek için, bütün sezgisel kurallar için ortalama değer hesaplanması gerekmektedir. Ortalama değerler Tablo 4.5'de en alt satırda hesaplanmıştır. Bu değere bakılarak sezgisel kurallar içinde hangisinin diğerlerine göre daha iyi olduğu yaklaşık ortaya çıkmaktadır. Bu hesaplamalar sadece seri planlama metodu sonuçları üzerinden, bütün setler için yapılmıştır ve en iyi gelme oranlarına göre en iyi dört kurallar aşağıdaki Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



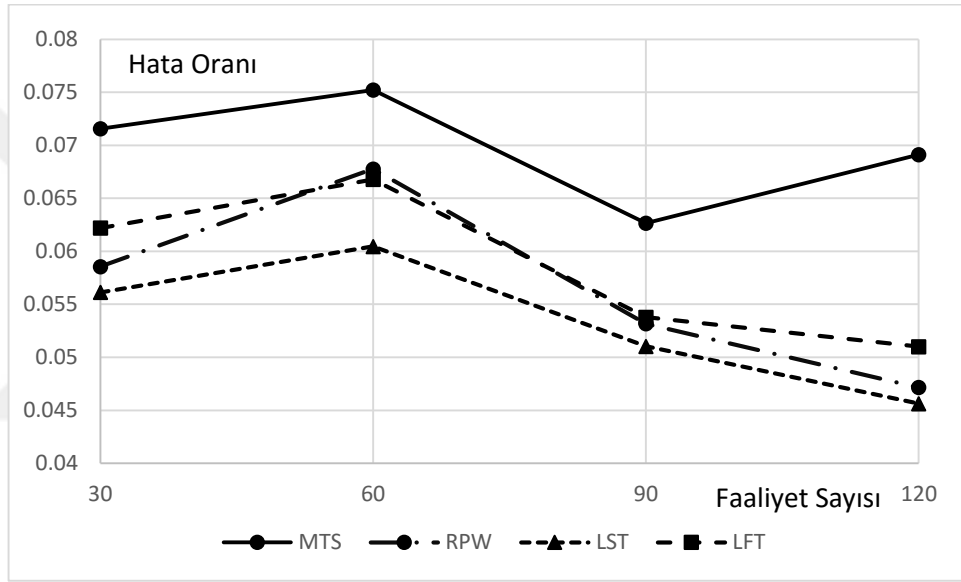
Şekil 4.2: Seri planlamaya göre en iyi dört kuralın birinci gelme ihtimalleri.

Tablo 4.5: Sezgisel kuralların 30 faaliyetlik setler içinde birbirine göre üstün gelme oranları.

	SPT	MIS	MTS	RPW	RPW*	EST	ESTD	EFT	EFTD	LST	LFT	MSL	MSLD	GRD	WRUP	ACROS	ACTRES
SPT	0.00	0.56	0.65	0.67	0.55	0.58	0.61	0.50	0.51	0.68	0.66	0.23	0.55	0.52	0.50	0.48	0.48
MIS	0.11	0.00	0.41	0.52	0.28	0.31	0.35	0.22	0.23	0.51	0.47	0.07	0.33	0.22	0.21	0.19	0.18
MTS	0.06	0.15	0.00	0.31	0.17	0.20	0.22	0.12	0.14	0.35	0.30	0.03	0.16	0.13	0.12	0.09	0.10
RPW	0.05	0.11	0.13	0.00	0.11	0.13	0.15	0.09	0.10	0.23	0.20	0.03	0.08	0.10	0.09	0.08	0.09
RPW*	0.16	0.30	0.44	0.49	0.00	0.36	0.38	0.26	0.29	0.51	0.50	0.05	0.33	0.24	0.25	0.24	0.23
EST	0.13	0.33	0.45	0.52	0.29	0.00	0.25	0.20	0.22	0.55	0.50	0.04	0.33	0.25	0.25	0.23	0.22
ESTD	0.09	0.27	0.43	0.49	0.26	0.21	0.00	0.16	0.17	0.52	0.48	0.03	0.30	0.21	0.21	0.20	0.19
EFT	0.16	0.44	0.56	0.60	0.41	0.45	0.50	0.00	0.24	0.61	0.59	0.08	0.44	0.36	0.38	0.34	0.33
EFTD	0.13	0.41	0.55	0.61	0.40	0.42	0.46	0.15	0.00	0.60	0.58	0.07	0.41	0.33	0.35	0.32	0.31
LST	0.04	0.11	0.15	0.17	0.09	0.13	0.14	0.08	0.10	0.00	0.17	0.03	0.08	0.08	0.10	0.07	0.08
LFT	0.04	0.13	0.18	0.26	0.13	0.16	0.18	0.10	0.11	0.26	0.00	0.03	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09
MSL	0.46	0.64	0.69	0.70	0.66	0.67	0.69	0.60	0.62	0.71	0.70	0.00	0.64	0.60	0.61	0.61	0.60
MSLD	0.14	0.32	0.40	0.46	0.31	0.35	0.37	0.27	0.28	0.48	0.46	0.08	0.00	0.25	0.27	0.23	0.22
GRD	0.16	0.39	0.53	0.56	0.38	0.42	0.46	0.31	0.33	0.56	0.56	0.09	0.38	0.00	0.33	0.30	0.30
WRUP	0.17	0.39	0.53	0.58	0.38	0.41	0.46	0.32	0.33	0.57	0.57	0.09	0.39	0.31	0.00	0.32	0.32
ACROS	0.17	0.36	0.51	0.57	0.39	0.41	0.44	0.34	0.36	0.57	0.55	0.09	0.41	0.34	0.34	0.00	0.13
ACTRES	0.19	0.37	0.51	0.57	0.40	0.42	0.45	0.34	0.35	0.57	0.55	0.09	0.42	0.35	0.35	0.16	0.00
Ortalama	0.14	0.33	0.45	0.51	0.32	0.35	0.38	0.25	0.27	0.52	0.49	0.07	0.33	0.27	0.28	0.25	0.24

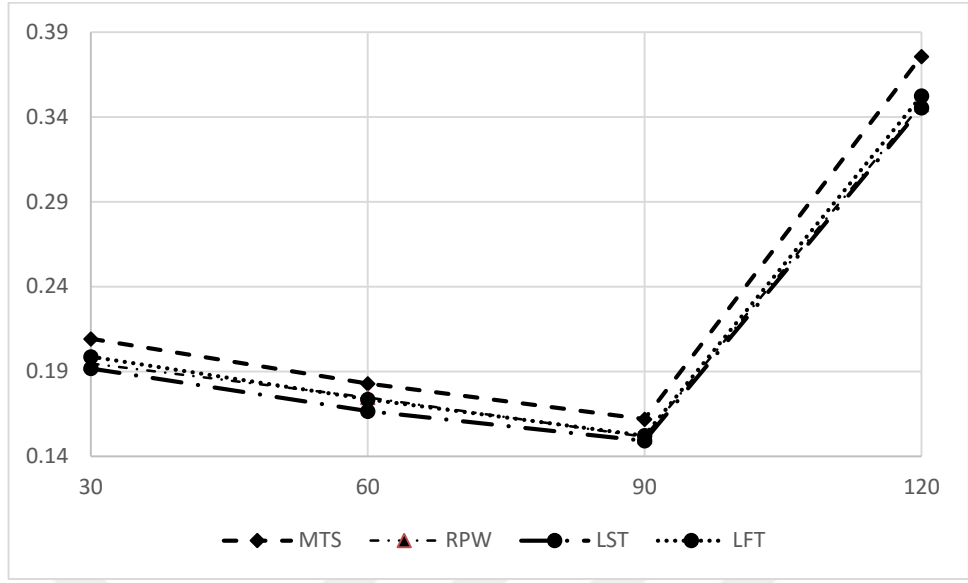
Şekil 4.2’de LST kuralın diğerlerinden üstün gelme oranı 30 faaliyetli planlarda %52 den 120 faaliyetli planlarda % 86’lara kadar artış göstermiştir. Faaliyet sayısının artması ile birlikte iyi performans gösteren kuralların performansı daha da artırmaktadır. Bu tablodan çıkartılacak bir sonuç ise faaliyet sayısı artarken sezgisel kuralların performansı da artmasına rağmen, 60 faaliyetten sonra, istisnai olarak performanslarda duraksama göstermeleridir.

Aşağıdaki Şekil 4.3’de en iyi dört sezgisel kuralın süresel olarak iyi sonuca göre göreceli hata değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.3: İlk dört kuralın PSLIB’ deki en iyi sonuçlara göre hata payı.

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi daha önce yapılan yorumların negatif açıdan teyidi görülmektedir. 4.2 ‘de en iyi temsil oranına sahip olan LST nin beklenildiği gibi hata oranı her bölge için en azdır. Birinci bölgede görülüyor RPW en yüksek artış eğimine sahiptir. Diğer üç kural ise birbirine benzer eğilim göstermektedir. İkinci bölgede ise RPW kuralı en hızlı bir şekilde hata oranını azaltmaktadır. Üçüncü bölgede ise sadece MTS kuralının hata oranı artış göstermektedir, diğer kurallar ise azalış göstermektedir. Şekil 4.4 de ise en iyi dört sezgisel kuralın kaynak kısıtsız CPM’e göre proje süresini ne oranda uzattığını gösteren grafik bulunmaktadır.



Şekil 4.4: İlk dört kuralın CPM sonuçlarına göre hata payı.

Bu tablodan çıkartılacak sonuç ise 90 faaliyetli projelerden sonra bütün sezgisel kuralların performansların düşmesidir. Mesela en iyi kural olan LST kuralının 30'luk faaliyetlerde gösterdiği %20 lik proje süresi erteleme performansı 90'lık faaliyetlerde % 15'e kadar düşmüştür. Fakat 120'lik faaliyetlerde %35'e kadar çıkmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma göstermiştir ki seri planlama metodu paralel planlama metodundan bütün sezgisel kurallara göre daha iyi sonuç vermiştir ve sezgisel kuralların içinden LST (geç başlama zamanı) kuralı seri planlama metodunda diğer kurallara göre daha iyi sonuç vermiştir. Paralel planlamanın seri planlamaya göre daha kötü bir sonuç vermesinin önemli bir nedeni zaman eksenini üzerindeki planlama zamanına göre karar kümesindeki faaliyetlerin seçimini engellediğinden daha iyi planlama için faaliyetlerin seçilmesi engellenmektedir. Mesela sezgisel yöntemi ele aldığımızda 5 adet faaliyet seçilebildiğinden paralel planlamaya göre bir faaliyet zaman eksenine takıldığından elenmektedir. Bu faaliyet seçildiğinde diğer faaliyetlere göre daha iyi sonuç verebilecek iken, paralel planlama yönteminde erken başlayamamaktadır.

Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biriside en geç başlama kuralının diğer kurallara göre istatistiksel olarak üstünlük sağlamasıdır. Bunun yanında problem boyutunun artması ile en geç başlama kuralının performansında gözle görülür bir artış gözlenmiştir. Bunun bir sebebi, 120 faaliyetlik projelerde aynı sonucu veren sezgisel kurallar olmaması bir diğer sebebi ise problem büyüdükçe çözüm aşamaları arttıkça, sezgisel kuralların bir problem çözümünde daha çok sıranmasıdır. Böylece daha kaliteli sezgisel kurallar büyük projelerde daha iyi sonuç vermektedirler. Literatürde ise $LST > LFT >> MTS > MSLD >> GRPW >> WRUP$ sıralaması karşımıza çıkmaktadır (Kolisch,1996). Fakat ilgili makalede paralel planlama daha iyi sonuç verdiği öne sürülmesine rağmen bu çalışmada seri planlama daha başarılı olmuştur. Bunun sebebi ise ilgili makalede mukayesenin küçük çapta problemlerde yapılmış olmasından ileri gelmektedir.

Bu çalışmada sezgisel kuralların birbiri ile mukayesesinde Wilcoxon istatistiksel testi kullanılmıştır. İlk adımda SPT sezgisel kuralın seri planlama metodu altında MIS sezgisel kuralına göre üstün olup olmama ihtimalini hesaplayacak olursak, 30 faaliyetlik projeleri ele alacak olursak, 480 adet problem her iki sezgisel kurala göre çözümlenip sonuçları Wilcoxon istatistiksel testine sokulmaktadır, böylece iki sezgisel kuralın birbirine göre üstün gelme ihtimali istatistiksel olarak elde edilmektedir.

Tablo 5.1: Seri planlama için 30 faaliyetlik planlamada sezgisel kuralların sonuçları.

	SPT	MIS	MTS	RPW	RPW*	EST	ESTD	EFT	EFTD	LST	LFT	MSL	MSLD	GRD	WRUP	ACROS	ACTRES
SPT	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
MIS	0%	0%	100%	100%	6%	86%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	22%	0%	0%	0%	0%
MTS	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
RPW	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	97%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
RPW*	0%	94%	100%	100%	0%	100%	100%	0%	1%	100%	100%	0%	69%	0%	0%	0%	0%
EST	0%	14%	100%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	2%	0%	0%	0%	0%
ESTD	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EFT	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	52%	55%	19%	19%
EFTD	0%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	99%	9%	8%	1%	0%
LST	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LFT	0%	0%	0%	93%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MSL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
MSLD	0%	78%	100%	100%	31%	98%	100%	0%	1%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
GRD	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	48%	91%	100%	100%	0%	100%	0%	58%	22%	14%
WRUP	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	45%	92%	100%	100%	0%	100%	42%	0%	22%	12%
ACROS	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	81%	99%	100%	100%	0%	100%	78%	78%	0%	25%
ACTRES	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	81%	100%	100%	100%	0%	100%	86%	88%	75%	0%
ORTALAMA	6%	62%	81%	94%	52%	68%	75%	28%	43%	100%	88%	0%	56%	29%	30%	21%	17%

Tablo 5.1’de en alt satırdaki değerler ilgili kolondaki değerlerin ortalaması alınarak bulunmuştur. Mesela MIS ile SPT kuralını mukayese edersek, MIS kuralı %100 ihtimalle SPT kuralından üstün gelmektedir. Ortalaması alınırken bir kuralın kendisi ile mukayese olamayacağından, kendisi ile mukayese değeri ortalamaya katılmamıştır. Aynı işlem daha sonra seri ve paralel planlama yöntemi için, 30 faaliyetlik, 60 faaliyetlik, 90 faaliyetlik ve 120 faaliyetlik setlerin sonuçları üzerinden de hesaplar yapılmıştır toplu tablolar ve sonuç tabloları aşağıdaki Tablo 5.2 ve Tablo 5.3’de verilmiştir. Seri planlama için LST kuralı, paralel planlama için ise SPT kuralı en iyi değerleri istatistiksel olarak yakalamıştır. Wilcoxon istatistiksel testi ile diğer testler birbiri ile paralellik göstermiştir.

Tablo 5.2: Seri planlama metodunda sezgisel kuralların mukayesei.

	Seri 30	Seri 60	Seri 90	Seri 120
SPT	6.25%	6.25%	6.25%	6.25%
MIS	61.62%	60.41%	66.91%	68.75%
MTS	81.25%	81.25%	81.25%	81.25%
RPW	93.55%	89.99%	91.10%	90.16%
RPW*	52.22%	46.00%	46.99%	37.91%
EST	67.73%	58.48%	56.14%	43.72%
ESTD	74.99%	69.09%	64.34%	55.86%
EFT	28.48%	26.03%	20.00%	17.88%
EFTD	42.78%	45.40%	32.75%	30.58%
LST	99.77%	100.00%	99.99%	100.00%
LFT	87.93%	91.26%	90.16%	91.09%
MSL	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
MSLD	55.79%	74.52%	75.00%	75.00%
GRD	29.20%	14.77%	12.91%	13.45%
WRUP	30.46%	18.14%	23.76%	26.33%
ACROS	21.12%	34.16%	45.49%	60.89%
ACTRES	16.88%	34.27%	36.98%	50.88%

Aşağıdaki Tablo 5.3’de paralel planlama için verilmiş sonuçlar bulunmaktadır.

Tablo 5.3: Paralel planlama metodunda sezgisel kuralların mukayesesi.

	Paralel 30	Paralel 60	Paralel 90	Paralel 120
SPT	93.57%	95.01%	98.18%	100.00%
MIS	44.95%	36.13%	35.99%	35.46%
MTS	17.35%	23.34%	21.18%	11.77%
RPW	11.75%	8.19%	24.04%	17.29%
RPW*	68.68%	65.81%	58.06%	75.01%
ESTD	55.40%	57.99%	64.99%	62.36%
EFT	58.18%	73.94%	66.62%	62.96%
EFTD	80.39%	84.53%	91.96%	86.08%
LST	13.97%	7.50%	6.24%	10.00%
LFT	0.72%	7.71%	0.89%	1.46%
MSL	24.72%	19.94%	14.32%	26.15%
MSLD	80.39%	84.53%	91.96%	86.08%
GRD	99.76%	98.24%	84.47%	92.83%
WRUP	82.98%	58.44%	47.35%	45.67%
ACROS	31.75%	37.63%	41.77%	39.59%
ACTRES	42.13%	47.76%	58.69%	53.96%

SONUÇ

Sonuç olarak seri planlama metodu paralel planlama metodundan bariz bir şekilde üstün gelmektedir. Bunun yanında paralel planlama için, 16 adet sezgisel kural seri planlama için 17 adet sezgisel kural birbiri ile mukayese edilmiştir. Seri planlama metotları içinde en fazla performans gösteren sezgisel kural LST (En geç başlama sezgisel kuralı) olarak tespit edilmiştir. LST kuralının, 120 faaliyetlik projelerde PSLIB kütüphanesine gönderilen en iyi sonuçlara yüzde 5'lik bir yaklaşımla iyi bir performans göstermiştir. En iyi çözüme ulaşan metotlar göz önüne alındığında LST sezgisel kuralı bu metotlara nazaran oldukça hızlı bir çözüm yapabilmektedir. Bu çalışmada bir diğer çarpıcı bir sonuç, tablo 2.1' de tanımlanan sezgisel kurallar içinde hesaplanması basit olan sezgisel kuralların karmaşık sezgisel kurallara görece daha iyi bir performans göstermektedir. Bir diğer çarpıcı sonuç ise şekil 4.1 de ve şekil 4.4'e bakıldığında, 90 faaliyetlik proje sonuçlarında sonuçların davranış değişikliği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sınırları ise sadece PSLIB kütüphanesinden alınan sonuçlara göre çözümleme yapılmış olmasıdır. Rastsal şebeke üretme algoritmaları ile, daha fazla şebeke üzerinden testler gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

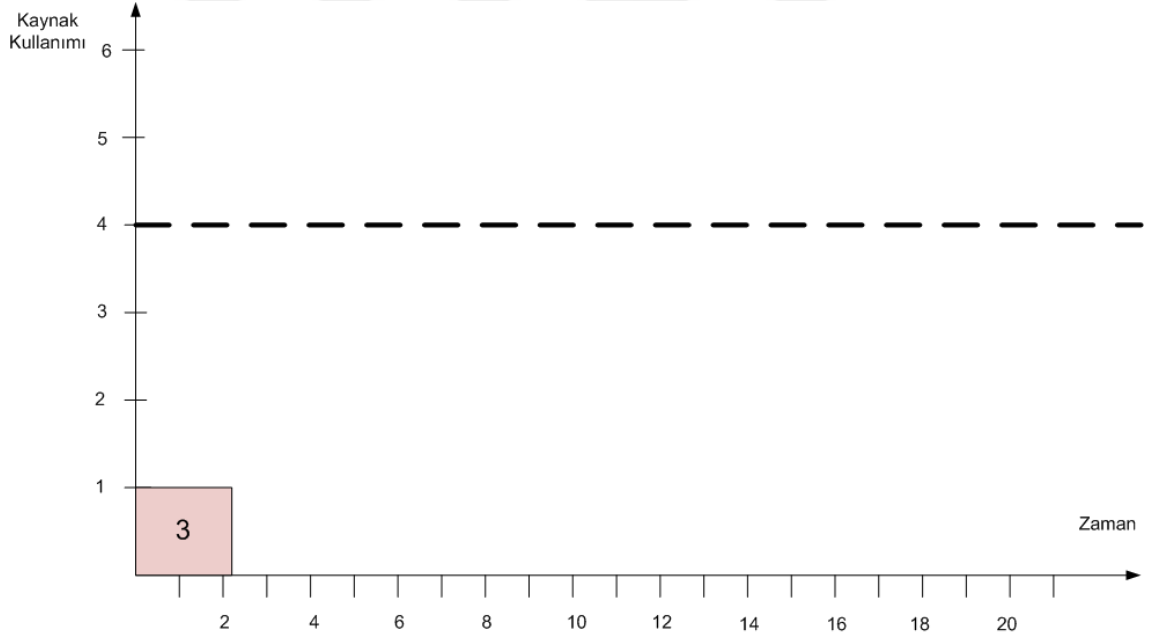
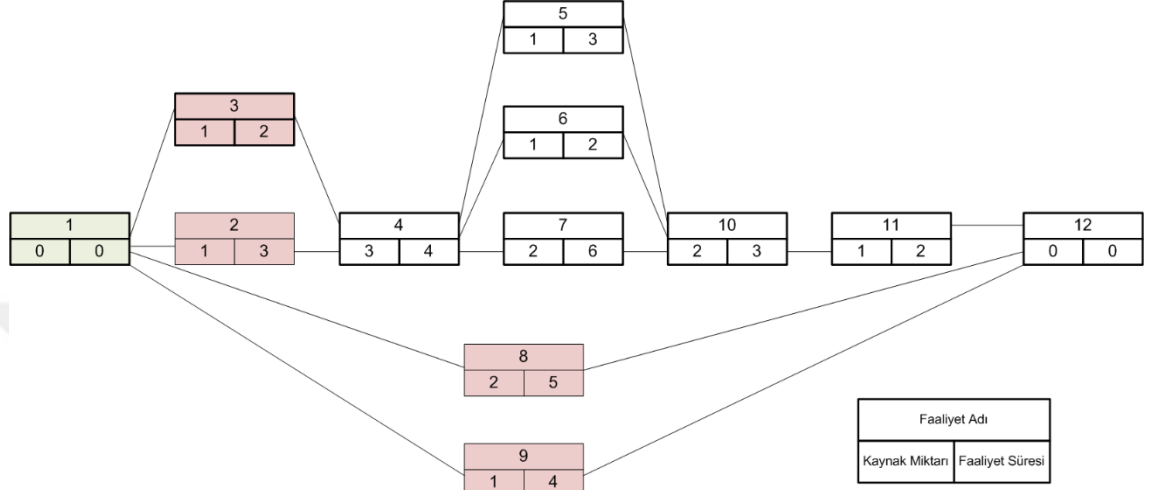
- Bean, J. C. 1994. Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization. *INFORMS* 6 (2): 154-160.
- Bedworth, D. D., Bailey, J. E., 1999, *Integrated production control systems: management, analysis, design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Bedworth, David D., 1973, *Industrial systems: planning, analysis*, Ronald Press.
- Elsayed, E.A., Nasr N.Z.. 1986 Heuristics for resource-constrained scheduling. *International Journal of Production Research* 299-310.
- Feng, C., Liu, L., ve Burns S., 1997, Using genetic algorithms to solve construction time–cost trade-off problems, *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering* 184–189.
- Fink, A., Homberger, J., 2013, An ant-based coordination mechanism for resource-constrained project scheduling with multiple agents and cash flow objectives. *Flexible Services and Manufacturing Journal* 25 (1-2): 94-121.
- Halpin, D.W., 2010, *Construction Management.*, John Wiley & Sons.
- Hartmann, S., Rainer K., 2000, Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 394-407.
- Holland, J.H., 1975, *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, U Michigan Press.
- Johnson, T. J. R., 1967, *An algorithm for the resource constrained project scheduling problem* Thesis (Phd), Massachusetts Institute of Technology.
- Karaboga, D., ve Basturk B., 2007. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of global optimization*, 459-471.
- Kelley, J.E., 1963, The critical-path method: Resources planning and scheduling, *Industrial scheduling* 13: 347-365.
- Kim, H., Kyle A., SangHyun L., Hildreth J., 2013, Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology, *Automation in Construction*, 285-295.
- Kolisch, R., 1996, Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation, *European Journal of Operational Research* 320-333.

- Kolisch, R., Soenke H., 2006, Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update., *European journal of operational research* 23-37.
- Lorterapong, P., Ussavadiolkrit M.. 2012, Construction scheduling using the constraint satisfaction problem method, *Journal of Construction Engineering and Management* 414-422.
- Mendes, J., Gonçalves J., Resende M.G.C., 2009, A random key based genetic algorithm for the resource constrained project scheduling problem, *Computers & Operations Research* 92-109.
- Menesi, W., Hegazy T.. 2014, Multimode resource-constrained scheduling and leveling for practical-size projects *Journal of management in engineering*.
- Merkle, D., Middendorf M., Schmeck H., 2002, Ant colony optimization for resource-constrained project scheduling. *Evolutionary Computation* 333-346.
- Sears, S.K., Sears G.A., Clough R.H.. 2008, *Construction Project Management*, John Wiley&Sons Canada.
- Ulusoy, G., Özdamar L., 1989, Heuristic performance and network/resource characteristics in resource-constrained project scheduling, *Journal of the Operational Research Society*, 1145-1152.
- Wiest, J.D., 1962, The scheduling of large projects with limited resources, *DTIC Document*.
- Wilcoxon, F., 1945, Individual comparisons by ranking methods, *Biometrics bulletin* 80-83.
- Zhang, H., Li, X., Huang F., 2005, Particle swarm optimization-based schemes for resource-constrained project scheduling, *Automation in Construction*, 393-404.
- Zozaya-Gorostiza, C., 2012, *Knowledge-based process planning for construction and manufacturing*, Elsevier.

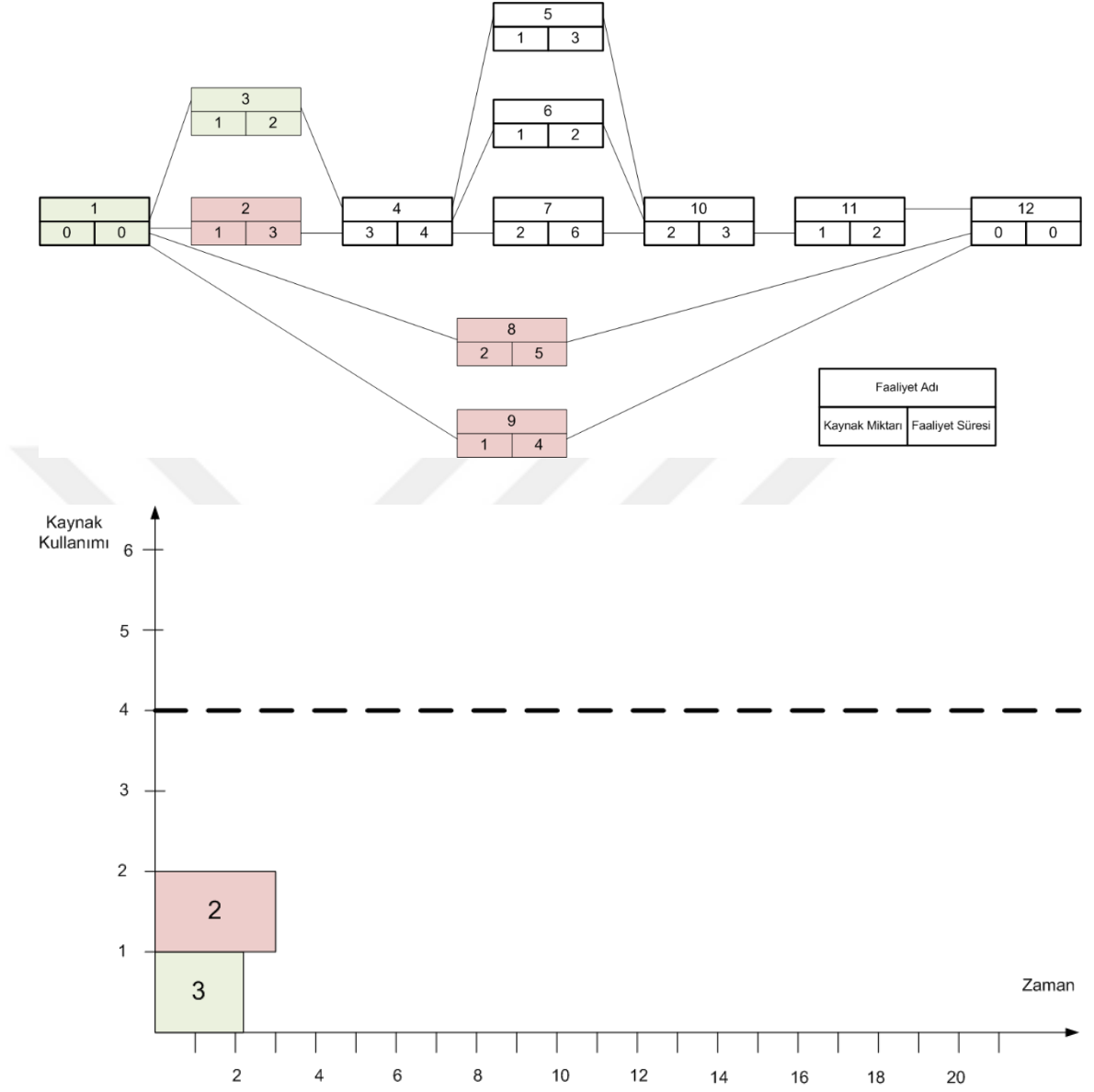
EKLER

EK 1. SERİ PLANLAMA ÇÖZÜM ADIMLARI

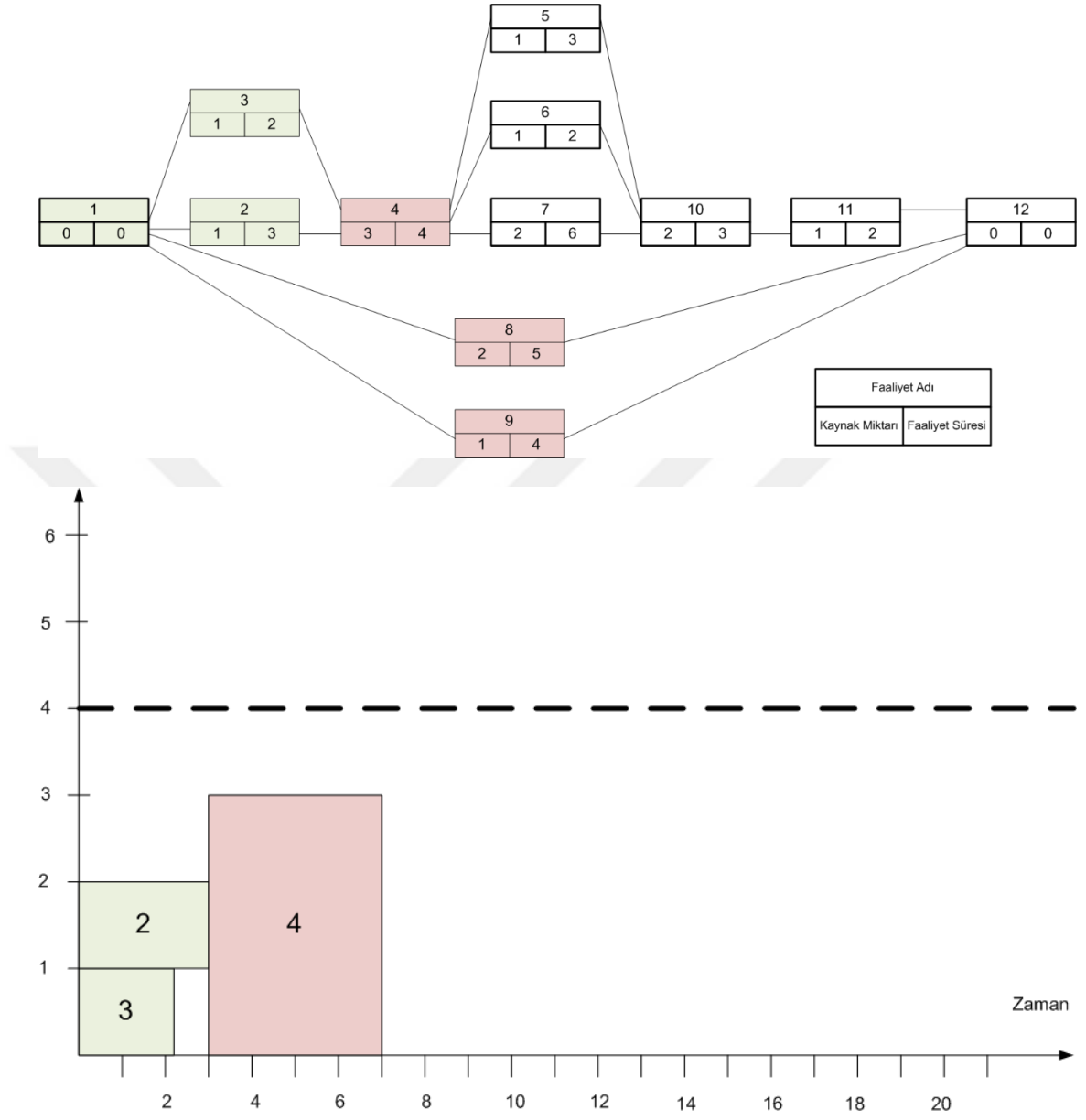
Adım 1:



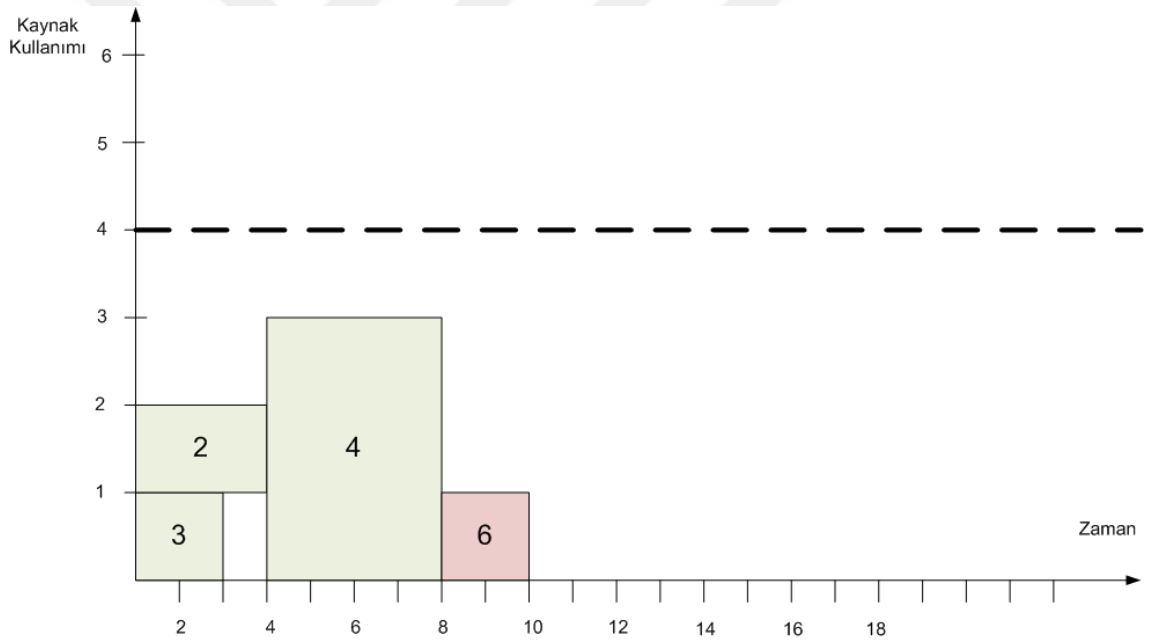
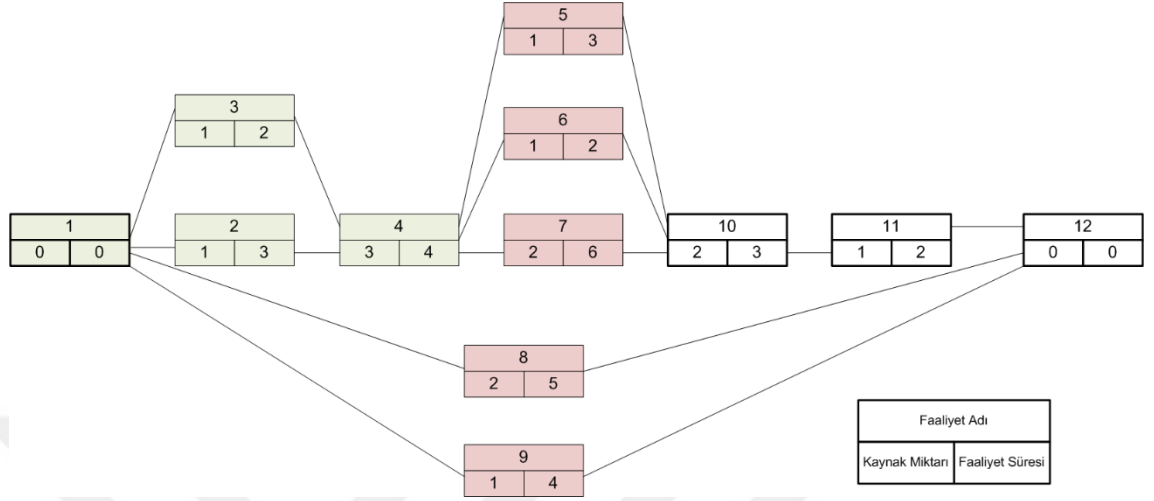
Adım 2:



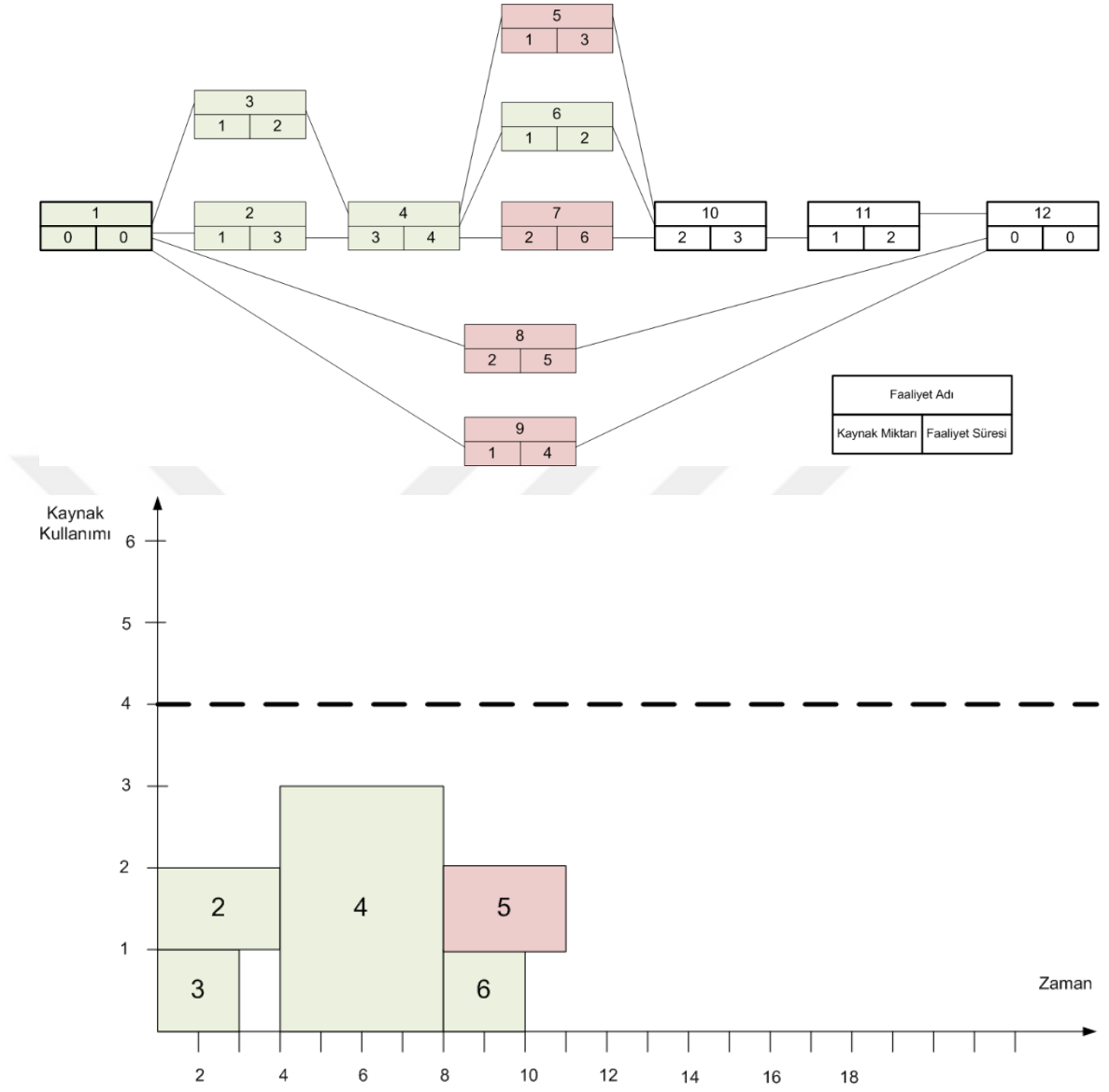
Adım 3:



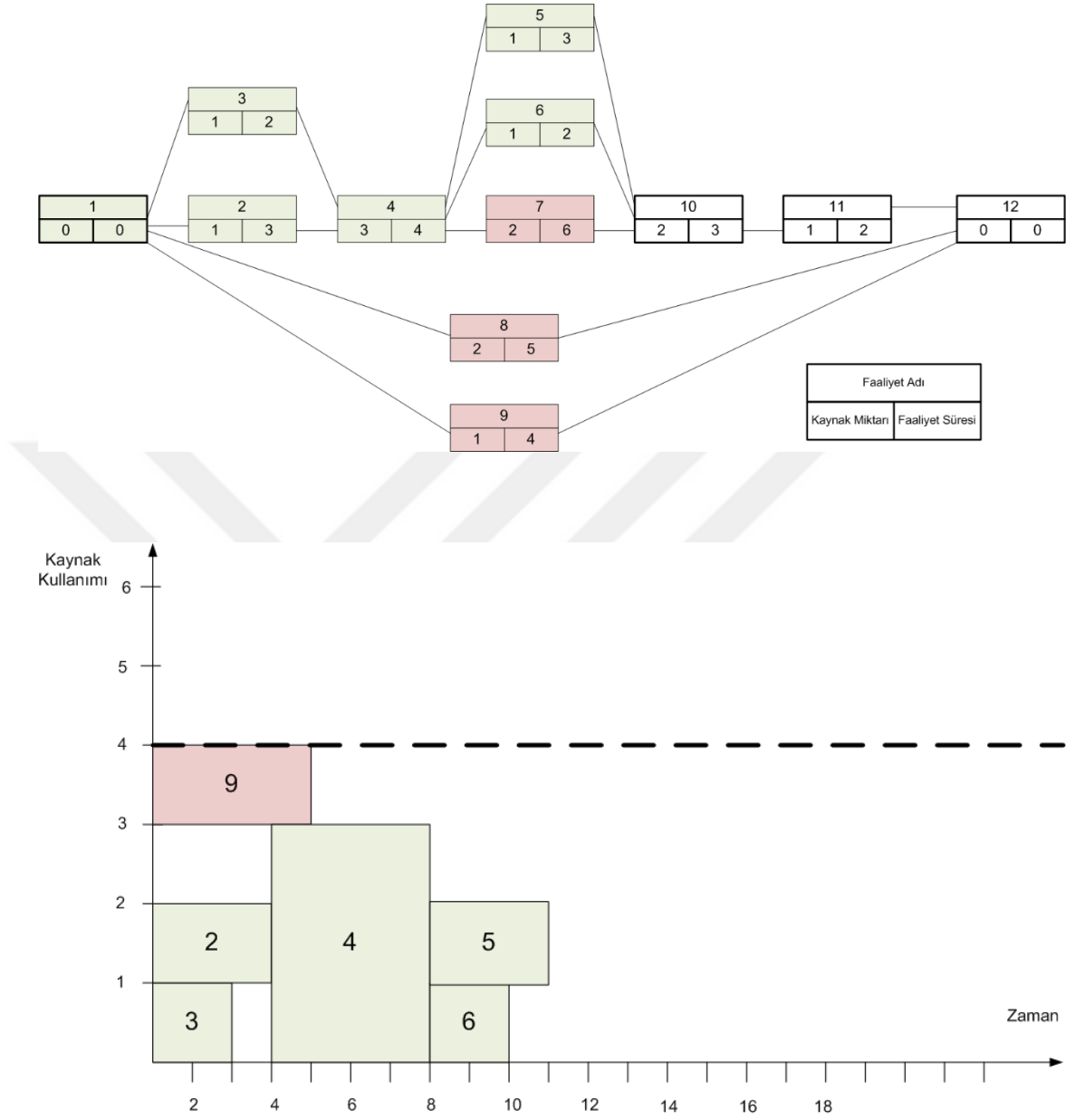
Adım 4:



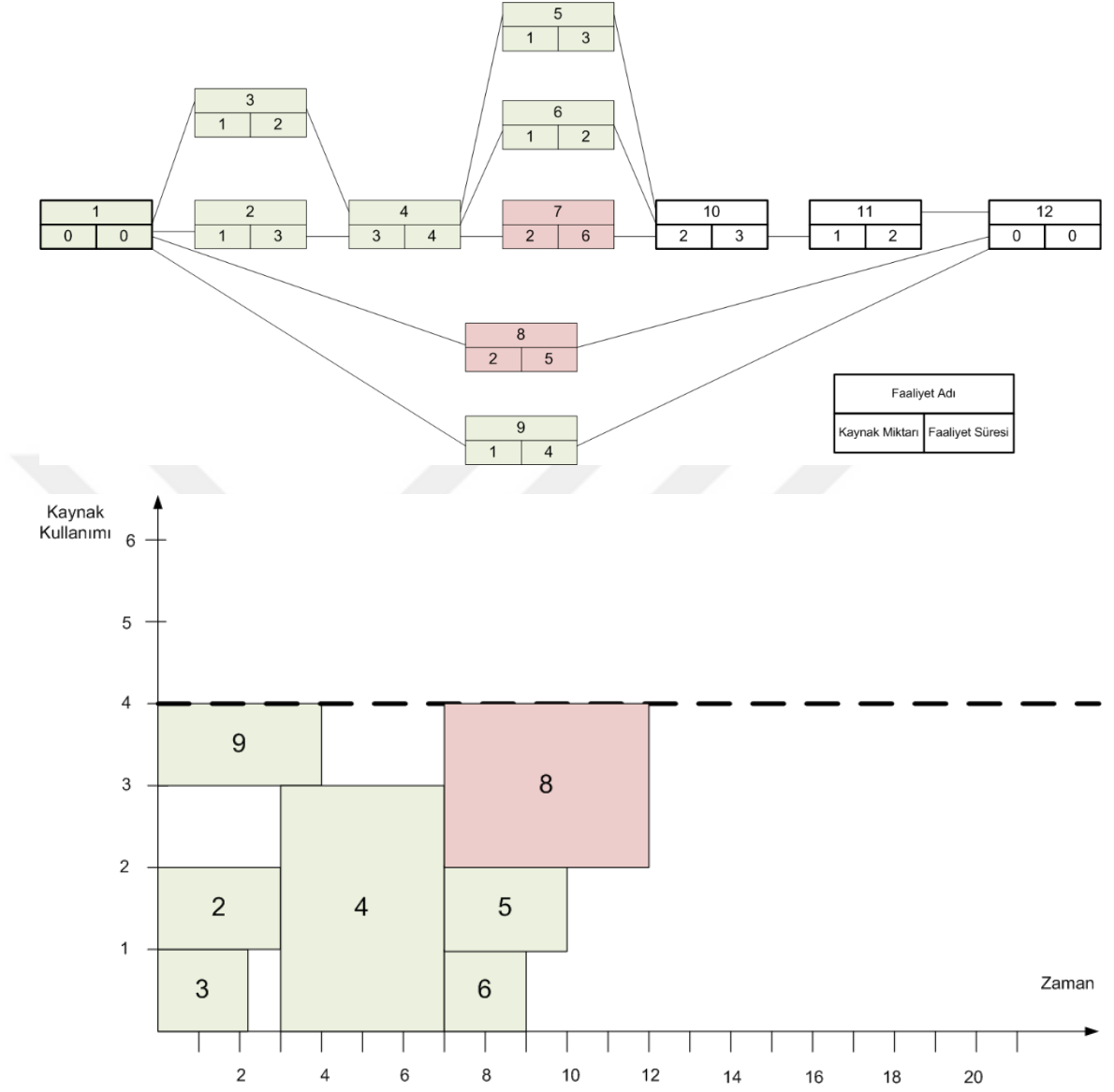
Adım 5:



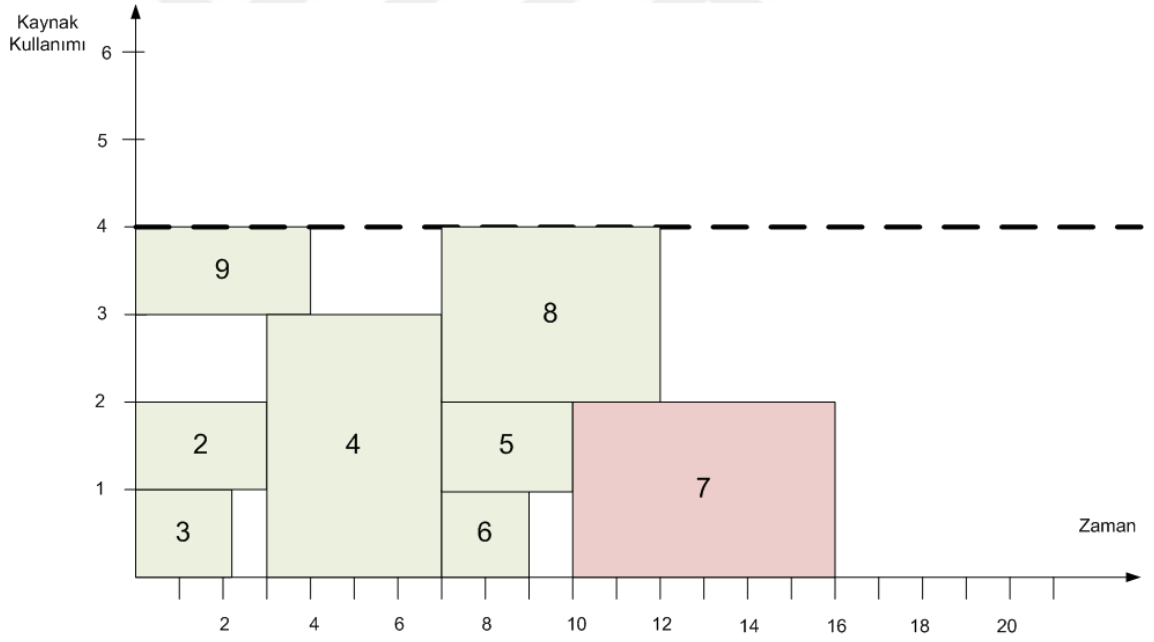
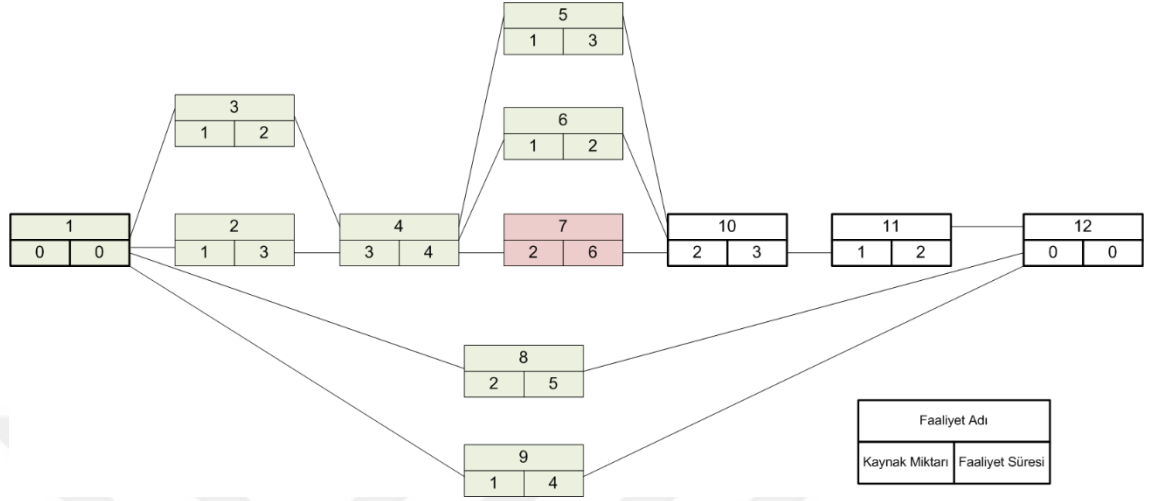
Adım 6:



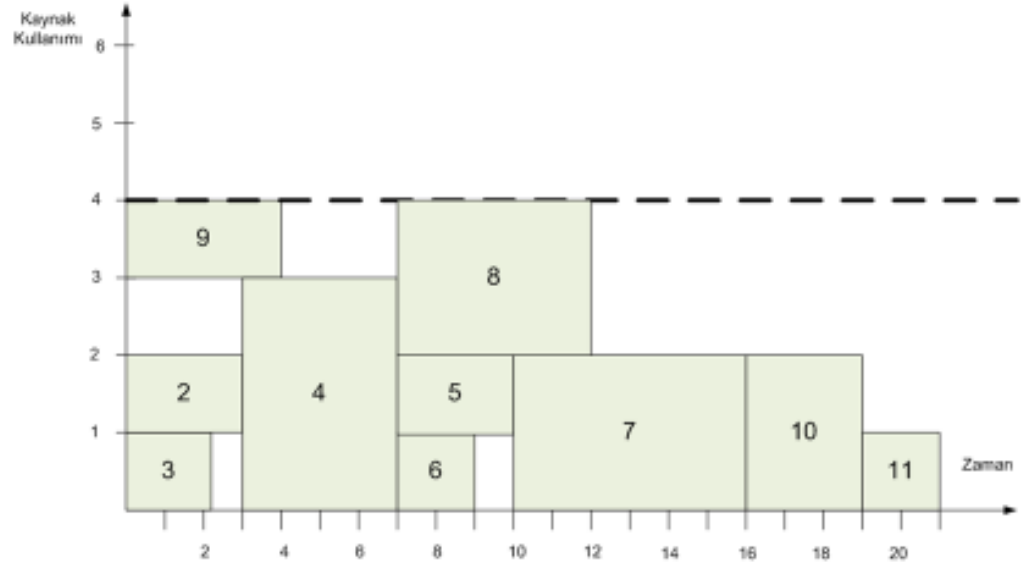
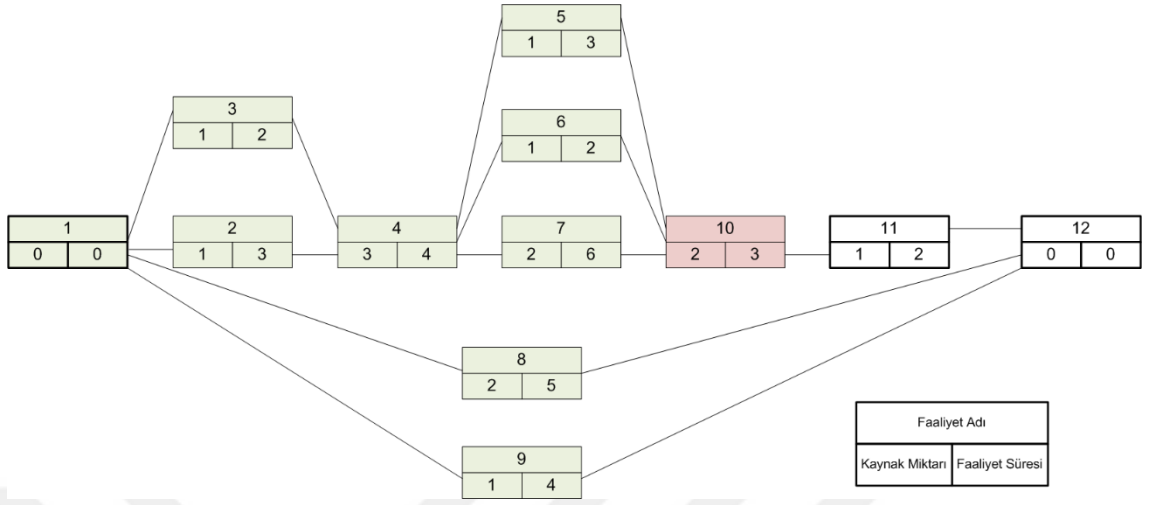
Adım 7:



Adım 8:

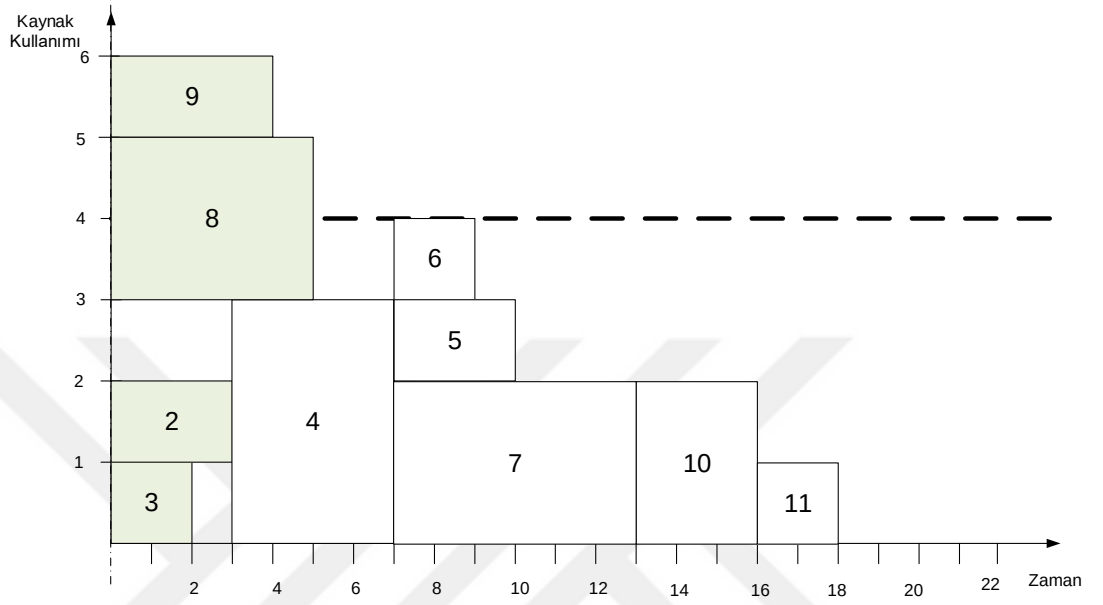


Adım 9:

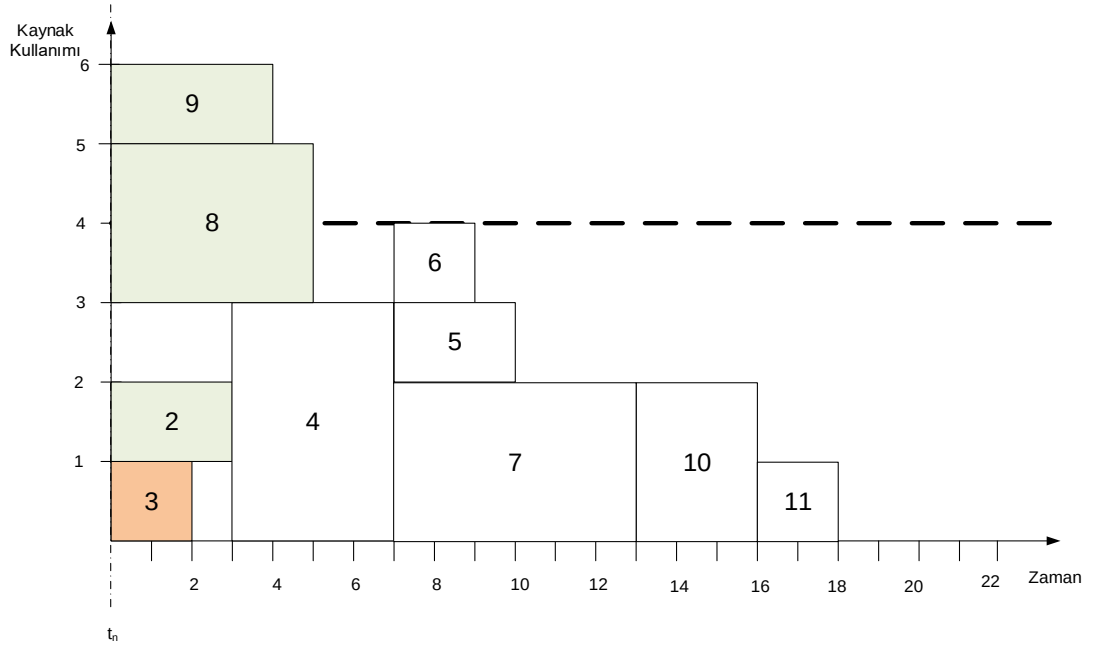


EK 2. PARALEL PLANLAMA ÇÖZÜM ADIMLARI

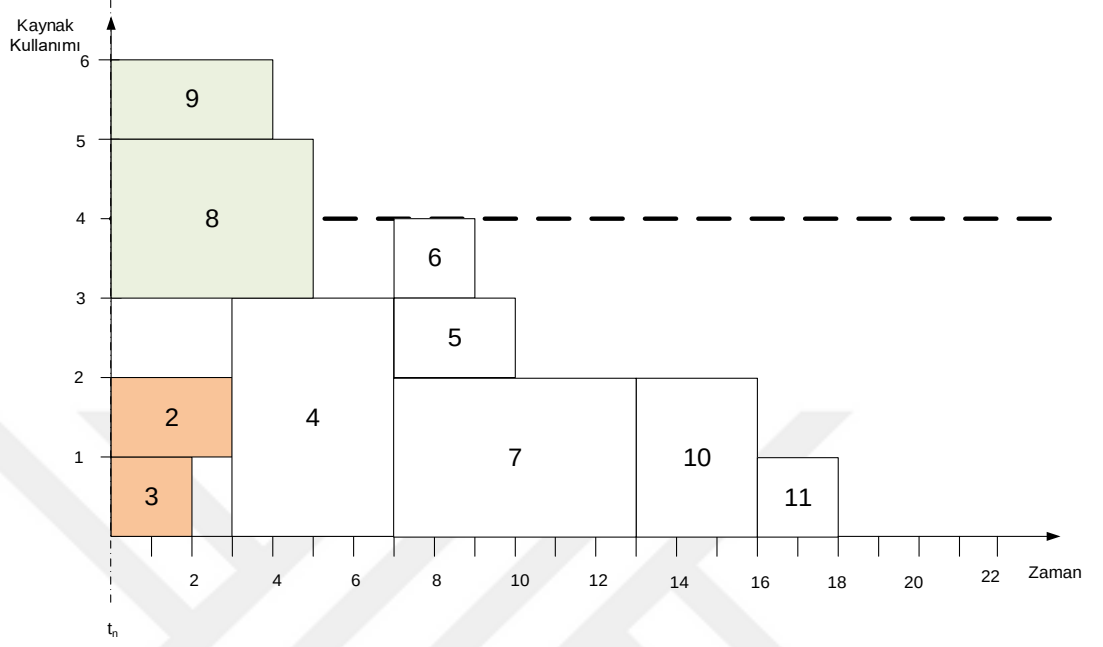
Adım1:



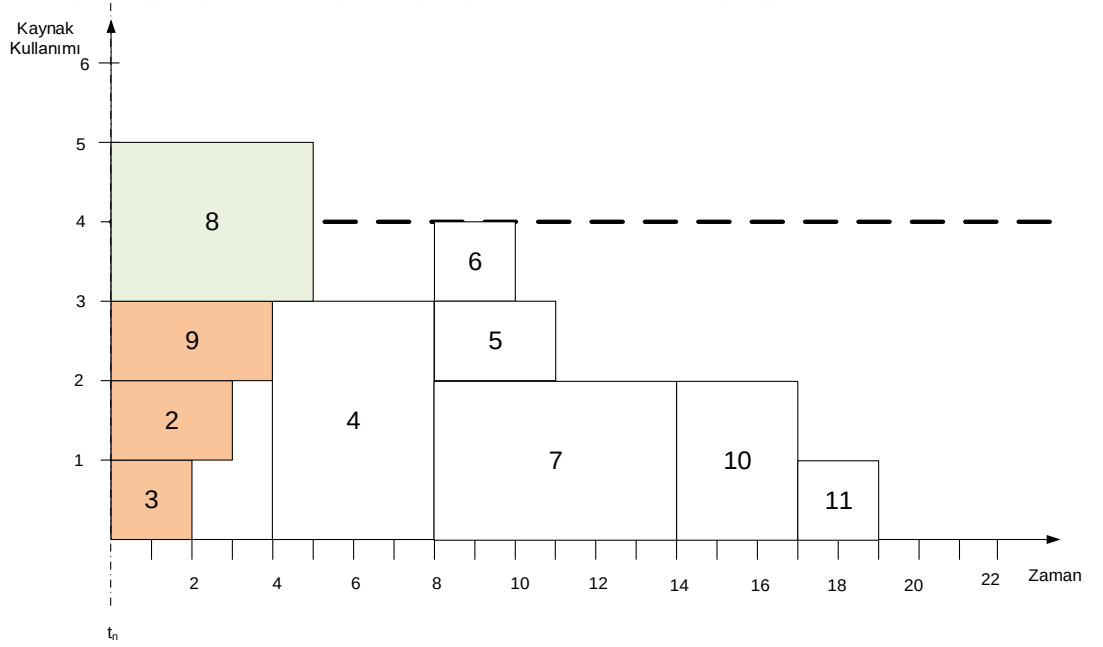
Adım2:



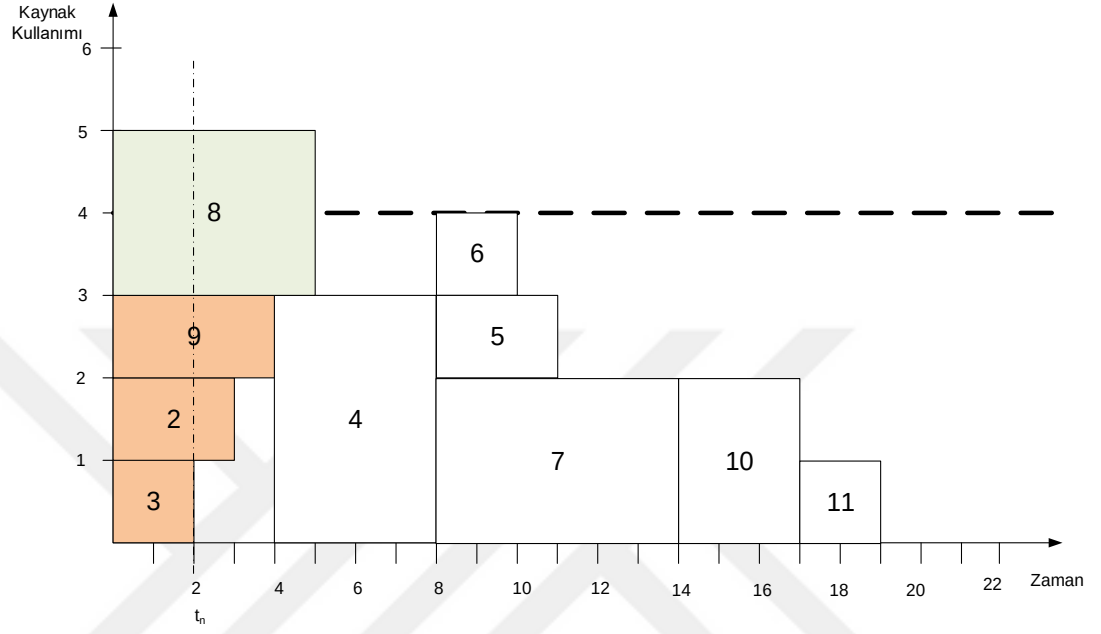
Adım3



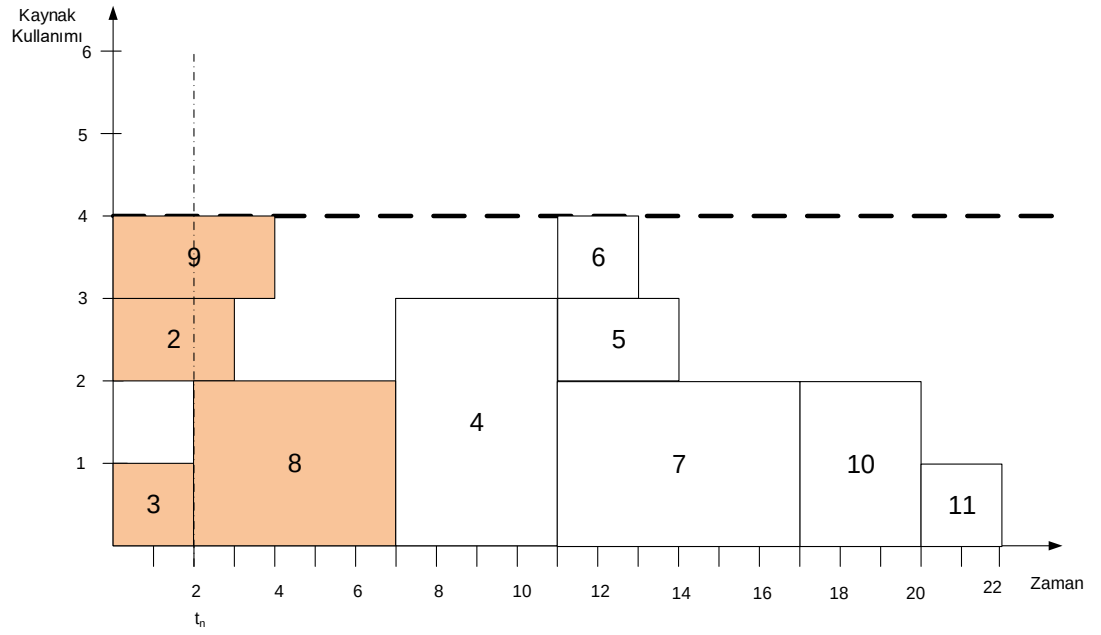
Adım 4:



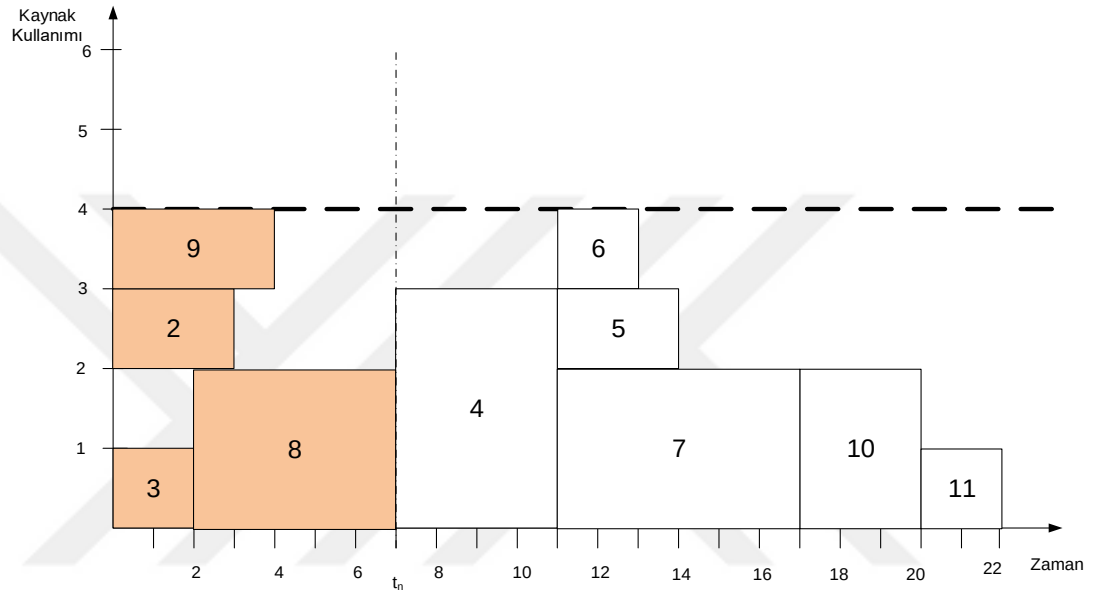
Adım 5:



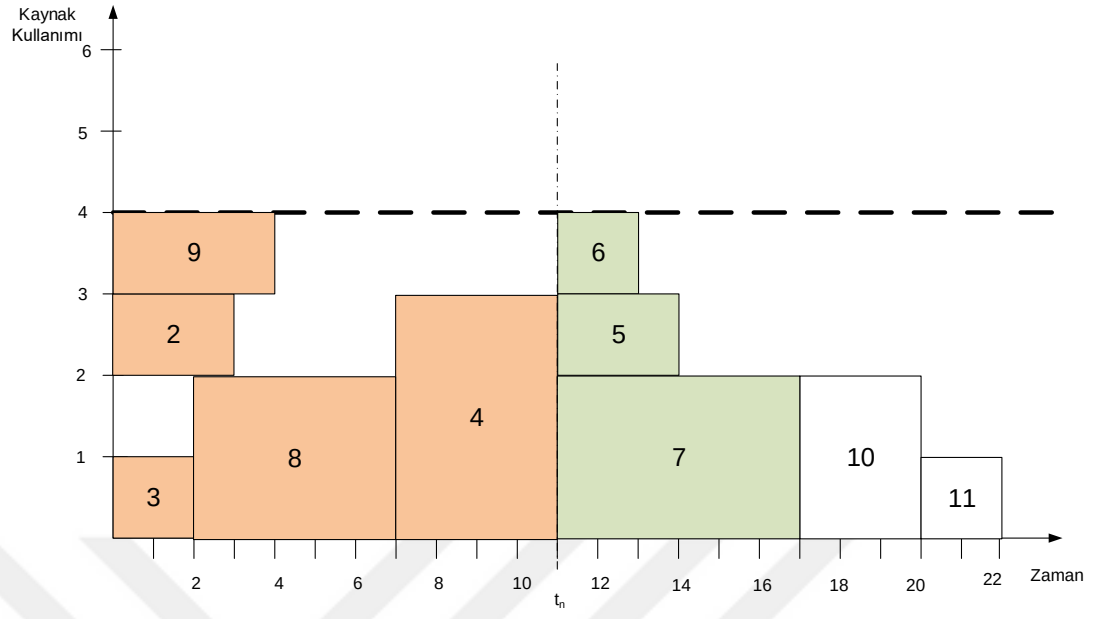
Adım 6:



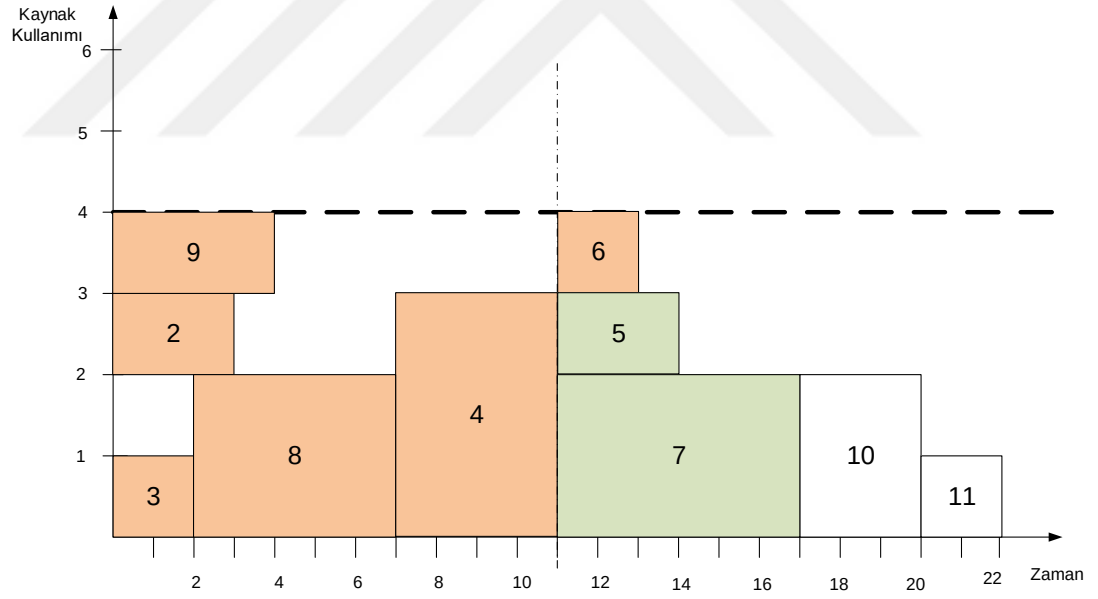
Adım 7:



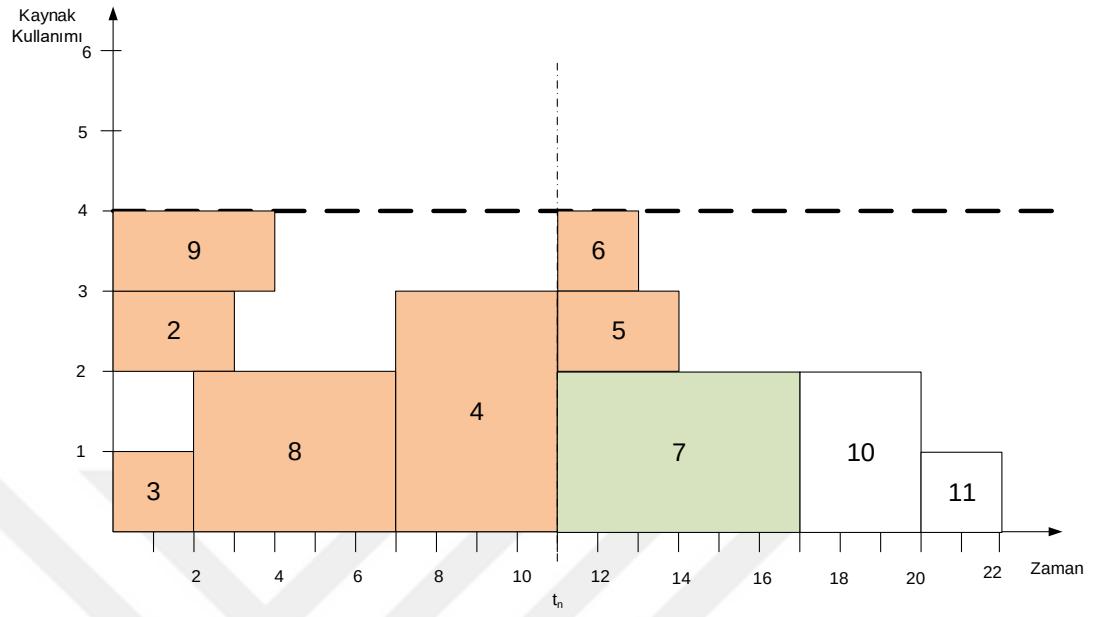
Adım 8:



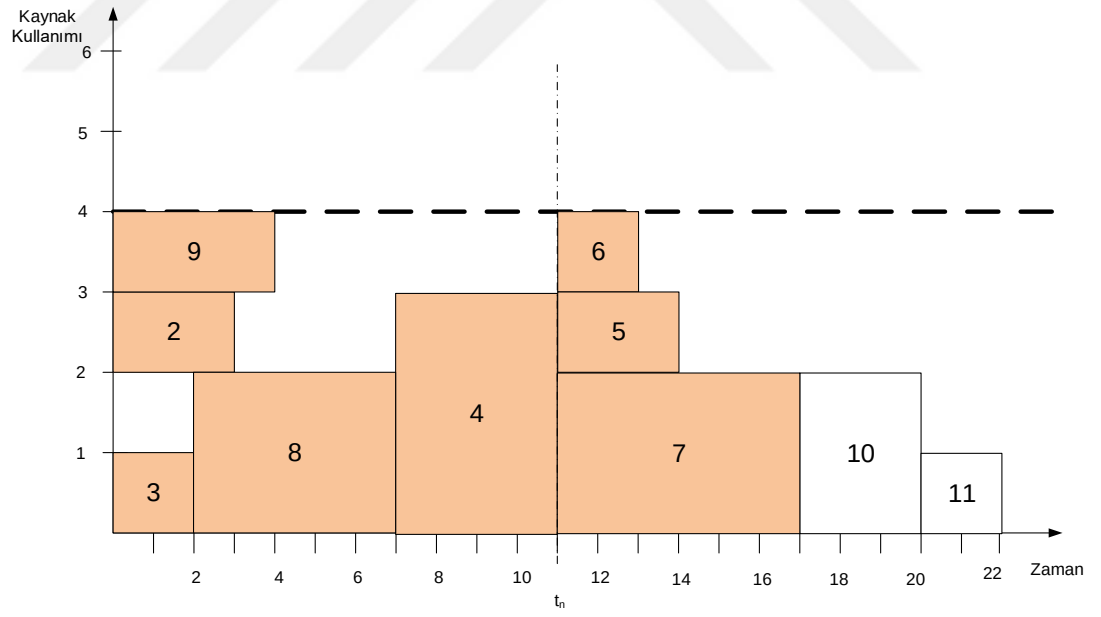
Adım 9:



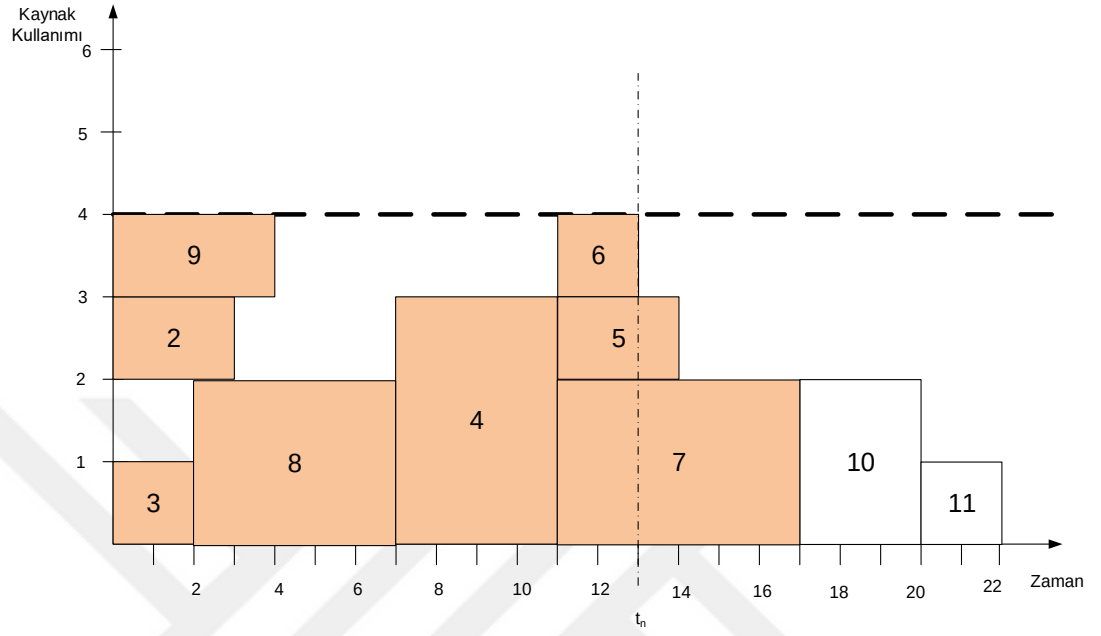
Adım 10:



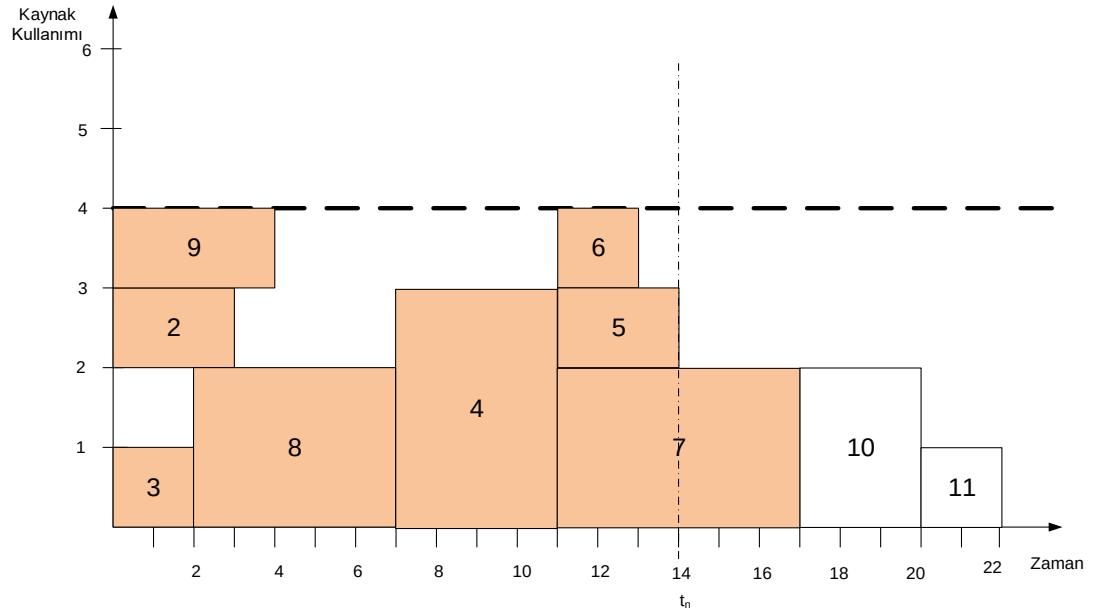
Adım 11:



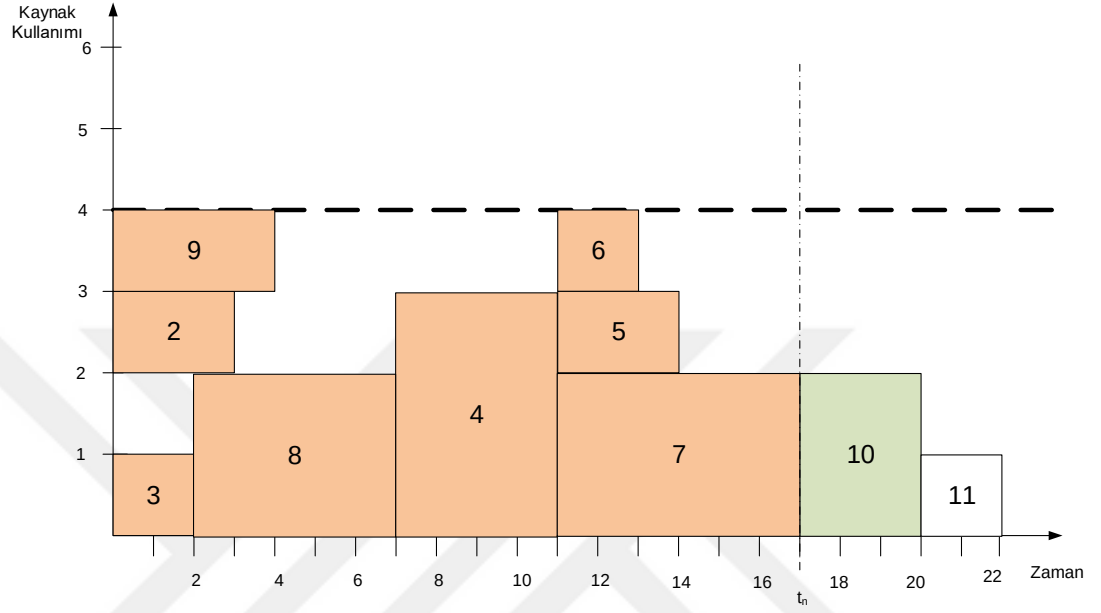
Adım 12:



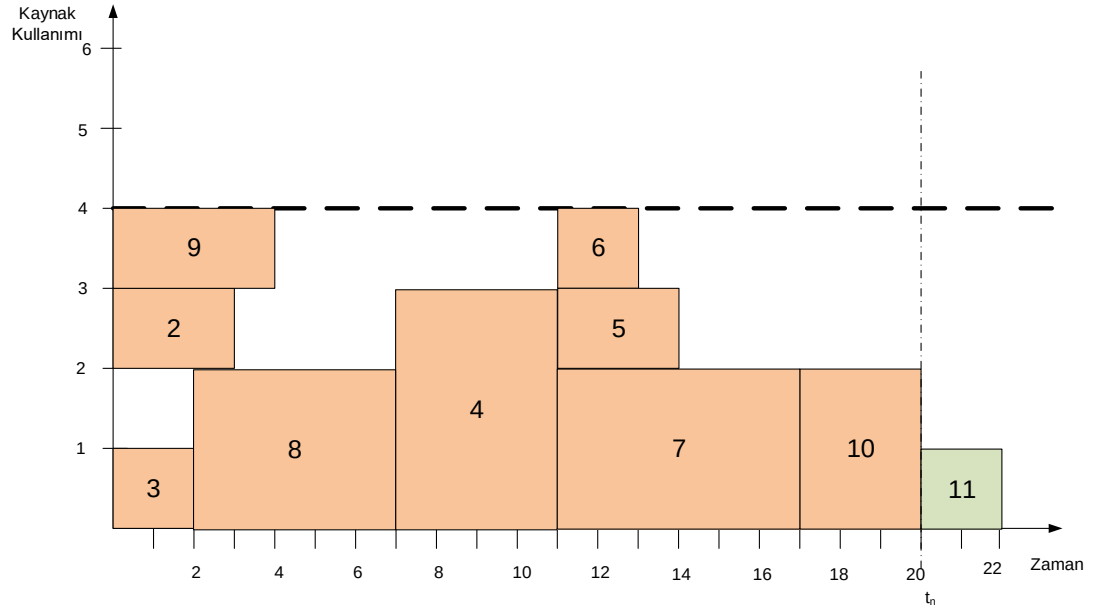
Adım 13:



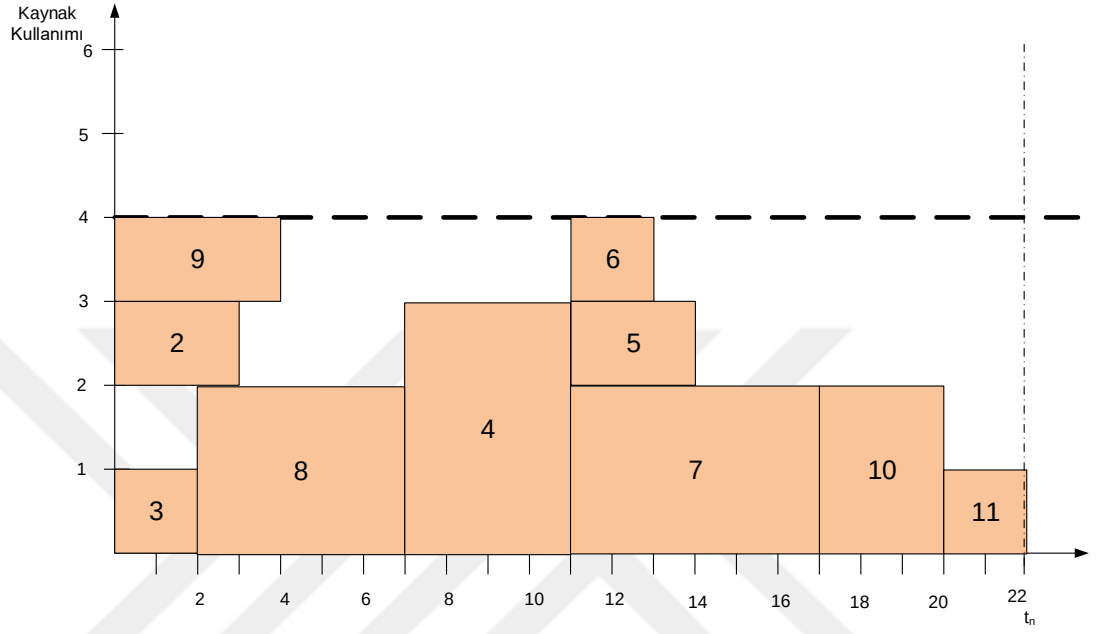
Adım 14:



Adım 15:



Adım 16:



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Osman Hürol Türkakin
Doğum Yeri	Bakırköy
Doğum Tarihi	25 Ağustos 1985
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	05053172953
E-Posta Adresi	turkakin@istanbul.edu.tr
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Teknik Üniversitesi
Fakülte	İnşaat Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Teknik Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Yapı Mühendisliği
Programı	Yapı Mekaniği
Mezuniyet Tarihi	Temmuz 2010

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	Nisan 2016

Makale ve Bildiriler	
Makaleler	
Anbarcı M. , Türkakin O.H., Öz B., "Yapım İşleri Genel Şartnamesine Göre Sözleşmede Bulunmayan İşlerin Fiyat Tespiti ile Revize Birim Fiyat İlişkisi", Yapı Dünyası, ss.37-41, 2016	
Bildiriler	

- Türkakin O.H., Manisali E., "An Efficient Genetic Algorithm Method For Large Population Solutions", 15th EU/ME Workshop: Metaheuristic and Engineering, İSTANBUL, TÜRKİYE, 23-25 Mart 2014, pp.185-187
- Kocakaya M.N., Türkakin O.H., Manisali E., "Multi-Criteria Marble Selection Using An Electre-Ahp Application", 11th INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING, İSTANBUL, TÜRKİYE, 21-25 Ekim 2014, pp.1-1
- Giran Ö., Türkakin O.H., Anbarcı M. , "İnşaat Yönetiminde Veri Ambarlama Ve Örnek Bir Veri Ambarlama Uygulaması", 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, ANTALYA, TÜRKİYE, 6-9 Kasım 2014, ss.1-1
- Zalmai M.L., Türkakin O.H., Manisali E., "Time Cost Trade Off Optimization Using Harmony Search And Monte-Carlo Method", 11th INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING, İSTANBUL, TÜRKİYE, 21-25 Ekim 2014, pp.1-1
- Anbarcı M. , Türkakin O.H., Manisali E., "Konut Satın Alma Kararında Promethee Çok Ölçütlü Bir Karar Verme Yöntemi Ile Bir Uygulama ", 3. PROJE ve YAPIM YÖNETİMİ KONGRESİ PROGRAM, ANTALYA, TÜRKİYE, 6-9 Kasım 2014, ss.1-1
- Türkakin O.H., Anbarcı M., Manisali E., "Obtaining Optimal Activity Durations Of A Construction Project From The Cash Flows Using Genetic Algorithm", Advances in Civil Engineering, TÜRKİYE, 17-19 Ekim 2012, pp.10-20
- Anbarcı M., Türkakin O.H., Manisali E., "İnşaat Yönetimi Bilim Dalı Kapsamında Çalışan İnşaat Mühendislerinin İş Tanımları", 2.Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, İZMİR, TÜRKİYE, 13-16 Eylül 2012, ss.10-20 (Link)
- Türkan Y.S., Türkakin O.H., "Fuzzy Rule Based Fire Risk Analysis Of Istanbul'S Streets And Avenues ", Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization, TÜRKİYE, 19-21 Eylül 2011, pp.50-60
- Türkakin O.H., Giran Ö., Türkan Y.S., Manisali E., "Cpm Kullanılmayan İnşaat Projelerinde Karşılaşılan İstihkak, Geçici Kabul Ve Fesih İle İlgili Uyuşmazlıklar Ve Çözüm Önerileri ", 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, BURSA, TÜRKİYE, 25-27 Kasım 2011, ss.50-60