

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

**YAPI BİLGİ MODELİ İLE ZAMAN MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMİNİN
ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rishad Ahmad FIDA

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ö. Halis BETTEMİR

AĞUSTOS – 2021

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

**YAPI BİLGİ MODELİ İLE ZAMAN MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMİNİN
ÇÖZÜMÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Rishad Ahmad FIDA
36173621011**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ö. Halis BETTEMİR

AĞUSTOS – 2021

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ö. Halis Bettemir'e,

Çalışmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Yapı Bilgi Modeli İle Zaman Maliyet Ödünleşim Probleminin Çözümü” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Rishad Ahmad FIDA



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışmada izlenen yol.....	2
2. PROJE YÖNTEMİ.....	4
2.1. Kritik Yol Metodu	5
2.2. Zaman Maliyet Ödünleşim Problemi.....	7
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	11
4. YÖNTEM	28
5. VAKA ANALİZİ	34
5.1. Vaka Analizi 1	34
5.2. Vaka Analizi 2	36
5.3. Vaka Analizi 3	38
5.4. Vaka Analizi 4	40
5.5. Vaka Analizi 5	42
5.6. Vaka Analizi 7	44
5.7. Vaka Analizi 8	46
5.8. Vaka Analizi 9	48
5.9. Vaka Analizi 10	53
5.11. Vaka Analizi 11	57
6. SONUÇ	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1: Proje Normal Süre Ve Günlük Kısaltma Maliyetleri.	30
Çizelge 4.2: Proje EOZi, GOZi,EOZj, GOZj, Toplam Bolluk ve Kısaltma Maliyetleri	30
Çizelge 4.3: Yapılan Hızlandırma.	31
Çizelge 4.4: Proje EOZi, GOZi,EOZj, GOZj, Toplam Bolluk ve Kısaltma Maliyetleri. ...	31
Çizelge 4.5: Yapılan Hızlandırma.	32
Çizelge 4.6: Proje EOZi, GOZi,EOZj, GOZj, Toplam Bolluk ve Kısaltma Maliyetleri. ...	32
Çizelge 4.7: Yapılan Hızlandırma.	32
Çizelge 4.7 (devam) : Yapılan Hızlandırma.	33
Çizelge 4.8: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	33
Çizelge 5.1: Proje Normal Süre Ve Günlük Kısaltma Maliyetleri.	34
Çizelge 5.2: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	35
Çizelge 5.3: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	36
Çizelge 5.4: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	36
Çizelge 5.5: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	37
Çizelge 5.6: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	38
Çizelge 5.7: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	38
Çizelge 5.8: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	39
Çizelge 5.9: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	40
Çizelge 5.10: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	40
Çizelge 5.11: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	41
Çizelge 5.12: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	42
Çizelge 5.13: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	42
Çizelge 5.14: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	43
Çizelge 5.15: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	44
Çizelge 5.16: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	44
Çizelge 5.17: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	45
Çizelge 5.18: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	46
Çizelge 5.19: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	46
Çizelge 5.20: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	47
Çizelge 5.21: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	48
Çizelge 5.22: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	49
Çizelge 5.23: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	51
Çizelge 5.24: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	52
Çizelge 5.25: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	52
Çizelge 5.25 (devam) : Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	53
Çizelge 5.26: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	53
Çizelge 5.26 (devam) : Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	54
Çizelge 5.27: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	56
Çizelge 5.28: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	57
Çizelge 5.29: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	58
Çizelge 5.29 (devam) : Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.	59
Çizelge 5.30: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.	61
Çizelge 5.31: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	62
Çizelge 5.32: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	63
Çizelge 5.32 (devam) : Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	64
Çizelge 5.32 (devam) : Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1: Proje Şebeke Diyagramı.	29
Şekil 5.1: Proje Şebeke Diyagramı.	35
Şekil 5.2: Proje Şebeke Diyagramı.	37
Şekil 5.3: Proje Şebeke Diyagramı.	39
Şekil 5.4: Proje Şebeke Diyagramı.	41
Şekil 5.5: Proje Şebeke Diyagramı.	43
Şekil 5.6: Proje Şebeke Diyagramı.	45
Şekil 5.7: Proje Şebeke Diyagramı.	47
Şekil 5.8: Proje Şebeke Diyagramı.	50
Şekil 5.9: Proje Şebeke Diyagramı.	55
Şekil 5.10: Proje Şebeke Diyagramı.	60



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

BIM	: Building Information Modeling
KYM	: Kritik Yol Metodu
GA	: Genetik Algoritma
YGGA	: Yeni Gelişmiş Genetik Algoritma
YBM	: Yapı Bilgi Modellemesi
D.N.	: Düğüm Noktası



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPI BİLGİ MODELİ İLE ZAMAN MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

RISHAD AHMAD FIDA

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

71+VIII sayfa

2021

Danışman: Doç. Dr. Ö. Halis BETTEMİR

Bir projedeki aktiviteyi gerçekleştirmek için mevcut araçların, kaynakların, malzemelerin, teknolojilerin ve yöntemlerin çeşitliliği, inşaat projelerinde bireysel aktivitelere atanabilecek alternatif uygulama modları sağlar.

Bu mevcut alternatifler arasından seçim yapmak, proje yöneticisinin kararını gerektirir. Aktivite modunun seçimi, o aktivite için farklı bir süreye ve farklı doğrudan ve dolaylı maliyetlere sahip olabilir. İnşaat projelerinde zaman-maliyet Ödünleşim problemi (ZMÖP) analizi, en uygun toplam proje süresini ve/veya toplam maliyeti bulmak amacıyla genellikle mevcut alternatif modları keşfetmek için kullanılır.

Bu çalışmada hesap cetveli üzerinde geliştirilen uygulama ile müteahhitlerin uygulaması zor olan algoritmaları yerine; zaman maliyet ödünleşim problemlerinde bir projenin farklı yapım alternatifleri arasında en uygun olanları seçen , projelerde Zaman Maliyet Ödünleşim probleminin optimum veya optimuma yakın sonuçları düşük hesaplama süresinde elde eden ve müteahhitler ve proje planmacıları tarafından rahatlıkla uygulanabilen bir algoritma geliştirilmiştir. Uygulama hesap cetveli uygulamasında makro yardımı ile yazılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zaman Maliyet Ödünleşim, Optimizasyon, Kritik Yol Yöntemi

ABSTRACT

Master Thesis

SOLUTION OF TIME-COST TRADE-OFF BY BUILDING INFORMATION MODEL

RISHAD AHMAD FIDA

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

71+VIII Pages

2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr Ö. Halis BETTEMİR

The variety of tools, resources, materials, technologies and methods available to perform the activity in a project provides alternative modes of implementation that can be assigned to individual activities in construction projects.

Choosing among these available alternatives requires the decision of the project manager. The choice of the activity mode may have a different duration and different direct and indirect costs for that activity.

In construction projects, time-cost trade-off problem (TCTP) analysis is often used to explore available alternative modes in order to find the optimal total project duration and/or total cost.

In this study; an algorithm has been developed in a spreadsheet application which chooses the most suitable among the different construction alternatives of a project in time-cost trade-off problems to obtain optimum or near-optimal results of the Time Cost Trade-off problem in low calculation time. The application is written with the help of macro in the spreadsheet application.

Instead of the algorithms that are difficult for contractors to implement the developed algorithm can be easily applied by contractors and project planners.

Keywords: Time Cost Trade-off, Optimization, Critical Path Method

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü arasında giderek artan rekabet ve inşaat projelerinin doğasında var olan engeller nedeniyle, bir şirketin ayakta kalabilmesi için proje çizelgelerinin hazırlanmasında kapsamlı değerlendirmeler yapılması gerekmektedir. İnşaat şirketleri, rakiplerine karşı rekabet avantajı elde etmek için proje maliyetlerini en aza indirmeye çalışmaktadır. Genelde, bir inşaat projesinin müteahhit tarafından mümkün olan en uygun maliyetle ve surede bitirilmesi istenir. Proje süresini kısaltma ve proje işlerini en uygun maliyet ve surede tamamlama, proje yönteminin en önemli konulardandır.

İnşaat projelerinin daha fazla kar elde etmek amacıyla öngörülen sürelerden daha kısa sürede teslim edilmeye çalışılması yaygın bir durumdur. Proje süresindeki herhangi bir azalma, programın sıkıştırılması veya hızlandırılmasıyla kolaylaştırılır.

Proje hızlandırması, sözleşme yükümlülüklerini, proje yürütme sırasında yaşanan gecikmelerden kurtulmak veya en düşük maliyetli proje süresini belirlemek için proje sürelerini kısaltma ihtiyacı olduğunda proje ekiplerinin sıklıkla karşılaştığı zorlu bir problemdir. Projenin hızlandırması, projelerin planlanması, programlanması ve kontrol edilmesi için kritik yol metodunun (KYM) tanıtılmasından sonra ilk olarak Kelly (1961) tarafından geliştirilmiştir. KYM İstenen genel proje hedeflerine ulaşmak için bir projenin toplam maliyeti ile süresi arasında hassas bir denge kurmayı amaçlar. Projeyi önceden belirlenmiş bir son tarihte bitirmek, erken gecikmeleri gidermek, diğer projeler için önemli kaynakları erkenden serbest bırakmak, erken tamamlama ödülü almak ve projeyi iyileştirmek için projeyi belirli bir sürede bitirmek gerekebilir.

Proje süresini azaltmak aktivitelerin süresini azaltarak yapılabilir. Bu süre azalması sonucunda, projelerin doğrudan maliyeti artarken, projenin dolaylı maliyetini düşürmektedir. Doğrudan maliyetlerin, projenin yürütülmesinde doğrudan kullanılan tüm kaynakların (örneğin malzeme, işçilik, ekipman ve taşeronlar)maliyetleri içermektedir. Dolaylı maliyetler, ofis personeli, ofis hizmetleri ve malzemeleri, saha denetimi vb. maliyetler olabilir.

Projelerin süresini hızlandırmak, zaman ve maliyet faktörleri göz önüne alındığında, inşaat projelerinin yönetiminde zorlu bir görev haline gelmektedir. Artan

doğrudan maliyetin en aza indirilmesi ve en düşük maliyetli sürenin bulunması iyi araştırmalıdır.

Proje çizelgelemede, bir hizmet veya ürün yaratmak için belirli öncelik ilişkilerine sahip bir dizi aktiviteler gerçekleştirilmelidir. Projenin bir aktivitesi, farklı zaman ve/veya maliyetlerle birkaç farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Genellikle aktivite sürelerini azaltarak süreci hızlandırmak mümkün olabilir. Aktivite süreleri ekstra kaynak ayrılarak azaltılabilir. Bu kaynaklar insan, alet, makine, taşeronluk gibi alternatif işleme seçenekleri olabilir. Kaynak tüketimindeki artış, doğal olarak maliyeti artırır ve süreyi kısaltır. Kaynak tüketim seviyelerine göre alternatifler tanımlanabilir. Her alternatif kendi maliyet ve zaman kombinasyonunu tanımlar. Her aktivite için alternatif sayısı genellikle sınırlıdır ve karar, uygun proje sonuçlarına yol açan bir aktivite alternatifi seçmektir.

Projede aktivite süreleri ile maliyetler arasında bir ödünleşim olan ters bir ilişki vardır. Aktivite süreleri ve maliyetler arasındaki bu ödünleşim, literatürde zaman maliyeti ödünleşim problemi (ZMÖP) olarak tanımlanır. ZMÖP, farklı karar kombinasyonlarını analiz ederek proje süresi ve maliyeti arasında optimal bir denge sağlamayı amaçlar.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada hesap cetveli üzerinde geliştirilen uygulama ile müteahhitlerin uygulaması zor olan algoritmaları yerine; zaman maliyet ödünleşim problemlerinde bir projenin farklı yapım alternatifleri arasında en uygun olanları seçen , projelerde Zaman Maliyet Ödünleşim probleminin optimum veya optimuma yakın sonuçları düşük hesaplama süresinde elde eden ve müteahhitler ve proje planmacıları tarafından rahatlıkla uygulanabilen bir uygulama geliştirilmiştir.

1.2. Çalışmada izlenen yol

Aktivite sayısı 5 ile 30 arasında değişen, 11 farklı projeler analiz edilmiştir.

Projelerin şebeke diyagramları çizilmiştir ve aktivitelerin toplam bolluk hesaplanmış ve kritik aktiviteler tespit edilmiştir. Algoritma, birden fazla kritik yoldaki kilitlenen aktivitelerin birleşik maliyeti proje süresi değiştiğinde günlük dolaylı maliyeti aştığı durumda algoritma durur ve minimum proje maliyeti

hesaplanır. Optimum proje maliyeti ve süresi, hesap cetveli programında makro yardımıyla hesaplanır.



2.PROJE YÖNTEMİ

Proje, önceden tanımlanmış hedeflere ulaşmak için belirli zaman sınırları içinde tamamlanması gereken birbiriyle ilişkili faaliyetler topluluğudur. Projeler geçici ve benzersizdir; sınırlı bir süreye ve ayırt edici özelliklere sahiptirler. Aktivite, projenin yürütülmesi sırasında zaman tüketen ve kaynak gerektiren bir projenin çalışma ögesidir. Teknolojik gereklilikler, ekonomik gereklilikler veya yasal gereklilikler gibi faktörler nedeniyle proje faaliyetleri arasında öncelik ilişkileri bulunmaktadır. Öncelik ilişkileri, faaliyetlerin işleme sırasını tanımlar.

Her projenin ulaşılması gereken belirli hedefleri vardır. Hedefler, gerçekleştirilecek sonuçları tanımlar. Hedefler, hedeflerin operasyonel tanımlarıdır. Hedeflerin başarılması, bir projenin performansını belirler. Bu nedenle, hedefler somut ve dolayısıyla ölçülebilir olmalıdır. Proje süresi, proje maliyeti ve müşteriler tarafından belirlenen özellikler üç ana proje hedefidir. Bunlar arasında proje süresi, projeyi tamamlamak için taahhüt edilen süreyi ifade eder. Proje süresi olarak da adlandırılır ve çizelgeleme literatüründe ele alınan en yaygın hedefdir. Yukarıda belirtilen proje hedeflerine ek olarak, projeyi nakit akışlarının maksimum net bugünkü değeri veya maksimum kalitede tamamlaması gibi bazıları da literatürde kullanılmaktadır. Tek bir hedefe göre optimizasyona ek olarak, çok kriterli yaklaşımlar kullanılarak aynı anda birkaç hedef aranabilir.

Proje yönetimi, proje hedeflerine ulaşılmasını sağlamak için çeşitli araçlar ve yöntemler geliştiren ve uygulayan yönetim disiplini. Her proje, ömrü boyunca kavramsal tasarım, tanımlama, planlama, izleme ve kontrol ve sonlandırma aşamalarından geçer. Her aşama farklı bir yönetim teknikleri seti gerektirir. Kavramsal tasarım, projelerin ihtiyaçlarını belirler ve tanımlama aşamasında referans teşkil edecek temel ilkeleri belirler. Bu aşamada, problem tanımı bulanıktır. Ancak projeye başlanıp başlanmayacağına karar vermek için fizibilite ve risk analizleri yapılır. Bir proje kavramsal olarak tasarlandıktan sonra, bir projenin hedefleri, kapsamı ve stratejisi açıkça tanımlanmalıdır. Ayrıca projenin mali planını temsil eden bir bütçe de bu aşamada projeye tahsis edilir. Tanımlama aşamasından sonra, planlama işlevi, önceden tanımlanmış proje hedeflerine ulaşmak için somut bir plan oluşturur. Bu aşamada, projenin iş içeriği faaliyetleri içeren iş paketlerine bölünür. Her aktivite için zaman, kaynak ve maliyet gereksinimleri tahmin edilir.

2.1. Kritik Yol Metodu

En yaygın çizelgeleme ve ağ analiz tekniklerinden biri olan kritik yol metodu (KYM), ağ boyunca en uzun yolun belirlenmesini içerir. Bir projenin süresini, projeyi tamamlamak için gereken en kısa süre ile birlikte tanımlamayı kolaylaştırır. Bu tekniğin benimsenmesi, aktiviteler arasındaki sürenin ve mantıksal ilişkinin belirlenmesini gerektirmektedir.

Kritik yol, projenin en erken tamamlanma süresini belirleyen proje ağlarındaki en uzun yoldur. Kritik yol üzerindeki faaliyetlere kritik faaliyetler denir. KYM, zaman çizelgesini tanımlamak ve kritik faaliyetleri bulmak için kullanılır.

Proje çizelgeleri olarak adlandırılan zaman planları üreten proje çizelgeleme, planlama fonksiyonunun önemli bir parçasıdır. Proje çizelgeleri, faaliyet başlangıç ve bitiş zamanlarını tanımlar ve ayrıca faaliyetlere kaynakları tahsis eder. Proje çizelgeleri, proje yürütmesinden önce hazırlanır ve bu yürütme öncesi plana temel veya tahmini çizelge denir. İyi bir temel çizelge oluşturmak önemlidir, çünkü bu çizelge malzeme temini, planlama ekipmanı ve personel vb. gibi birçok aktiviteyi planlamak ve koordine etmek için kullanılır. Ayrıca uygulamada, teslim tarihleri genellikle bu çizelge kullanılarak belirlenir.

Proje faaliyetleri ve aralarındaki ilişkiler genellikle proje ağ diyagramları adı verilen grafik araçlarla gösterilir. Proje ağ diyagramları, proje aktiviteleri arasındaki ilişkileri gösteren şematik araçlardır. Zaman sırasını yansıtmak için soldan sağa doğru çizilirler. Bir ağ diyagramı tipik olarak yaylar ve düğümler adı verilen öğelerden oluşur. İki alternatif ağ temsili mümkündür: yay üzerinde aktivite gösterimi ve düğüm üzerinde aktivite gösterimi. Bir düğümde etkinlik (AON) gösteriminde, düğümler etkinlikleri temsil eder ve yaylar düğümler arasındaki öncelik ilişkilerini tanımlar. Yay üzerinde aktivite (AOA) gösteriminde, düğümler faaliyetlerin tamamlanması gibi olayları temsil ederken, yaylar faaliyetlere karşılık gelir. Başka bir faaliyetin başlamasından önce tamamlanması gereken bir faaliyete öncül denir. Başka bir faaliyetin tamamlanmasından sonra başlayabilen faaliyete ardıl denir. Yolluk faaliyetleri, öncülü olmayan faaliyetlerdir.

Bir aktivitenin en erken başlangıcı ve en geç başlangıcı, aktivitenin başlangıcı ile ilgili zamandaki en erken ve en son noktaları tanımlar. Benzer şekilde, en erken bitiş ve en geç bitiş, en erken ve en geç bitiş zamanlarını tanımlar. Kritik yol, proje

ağı üzerinden ileri ve geri geçişler yapılarak belirlenir. Her aktivite için erken başlangıç ve erken bitiş süreleri ileri geçişte hesaplanır, geç başlangıç ve geç bitiş süreleri geri geçişte hesaplanır.

Proje yönetimi literatüründe iki tür bolluk yaygın olarak kullanılmaktadır; toplam bolluk ve serbest bolluk. Toplam bolluk (TB), bir aktivitenin tamamlanma süresinin, proje tamamlanma süresini geciktirmeden en erken tamamlanma süresini aşabileceği süredir. Serbest bolluk (SB), bir faaliyetin tamamlanma süresinin, projedeki ardıllarının en erken başlangıç zamanını etkilemeden ertelenebileceği süredir. Toplam bolluk, her aktivite için erken başlangıç ve geç başlangıç arasındaki fark olarak hesaplanırken, serbest bolluk, bir aktivitenin erken bitiş ile hemen ardıllarının minimum erken başlangıç arasındaki farktır. Kritik faaliyetler sıfır TB'ye sahiptir. Bu nedenle, bu faaliyetlerdeki herhangi bir gecikme, projenin tamamlanmasında gecikmeye yol açacaktır.

KYM planlamasında kullanılan terminoloji aşağıda verilmiştir:

Aktivite (Faaliyet): Tanımlanmış görev.

Düğüm (Olay): Aktivitelerin başlangıç (başlangıç düğümü: i) veya bitişini (bitiş düğümü: j) ifade eder.

Kritik Yol: Bir projenin izleyebileceği en uzun yol ve süreyi kapsayan olay dizisidir.

Süre: Bir faaliyetin başlangıcı ve bitiş arasında iş günleri.

Erken Olay Zamanı_(i) (EOZ_i): i düğümünün en erken başlama zamanı.

Geç Olay Zamanı_(i) (GOZ_i): i düğümünün en geç başlama zamanı.

Erken Olay Zamanı_(j) (EOZ_j): j düğümünün en erken başlama zamanı.

Geç Olay Zamanı_(j) (GOZ_j): j düğümünün en geç başlama zamanı.

Toplam Bolluk (TB): Planlamada bir aktivitenin kritik yolu geciktirmeden sahip olduğu erteleme miktarı.

$$TB = GOZ_j - EOZ_i - \text{Süre}$$

Serbest Bolluk (SB): Planlamada bir aktivitenin başka bir aktiviteyi geciktirmeden sahip olduğu erteleme miktarı.

$$SB = EOZ_j - EOZ_i - \text{Süre}$$

Olarak ifade edilir.

2.2. Zaman Maliyet Ödünleşim Problemi

ZMÖP modelleri, proje çizelgeleme problemlerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Bu problemler, kaynak mevcudiyeti üzerindeki bir kısıtlamadan ziyade bir aktiviteyi işlemek için alternatif seçenekler anlamına gelir. Ek bir maliyet uygulanırsa, bir aktiviteyi tamamlamak için gereken süre en aza indirilebilir. Bu alternatifler, daha kısa süreli bir alternatifin daha büyük bir maliyeti olduğu gerçeğiyle karakterize edilir.

Bir ZMÖP probleminde sürekli veya kesikli alternatifler düşünülebilir. Kesikli alternatifler, bir görevi yapmak için çok sayıda zaman ve maliyet alternatifi vardır. Bir proje takvimi edindikten sonra çeşitli faaliyetlerin iş sürelerini düşürerek proje uzunluğunu en aza indiriyoruz. Projenin süresini kısaltabilecek faaliyetler, kritik olan, henüz en kısa süre seçeneğine tahsis edilmemiş ve bu nedenle bir sonraki daha kısa süreye tahsis edilmeleri halinde bütçe sınırlamalarını aşmayan faaliyetlerdir.

Üç tür ZMÖP sorunu vardır: son tarih, bütçe ve maliyet eğrisi. Son teslim tarihi sorunu, hedefin bir teslim tarihini karşılarken proje maliyetlerini azaltmak olduğu bir zorluktur. Bütçe zorluğu, projenin tamamlanma süresini belirli bir bütçe dâhilinde minimumda tutmayı amaçlar. Zaman/Maliyet eğrisi sorunu hem zamanı hem de maliyeti hesaba katar ve çeşitli olası zaman-maliyet kombinasyonlarından baskın olmayan bir grup çözüm üretir.

Toplam maliyetin ve tamamlanma süresinin azalmayan bir fonksiyonunun optimal çözümü, baskın olmayan çözüm kümesindedir, bu nedenle zaman/maliyet eğrisini bulmak esastır. Bu çalışmada zaman maliyet eğrisi veya eğim yöntemini ele alıyoruz.

ZMÖP problemlerinde çözüm yöntemleri üç kategoride sınıflandırılabilir: Matematiksel, üst sezgisel ve sezgisel çözüm yaklaşımları. Sezgisel yöntemler, sorun türüne bağlı olarak iyi çalışabilir, ancak en uygun çözümü garanti etmez. Uygun çözümler aralığı, sezgisel teknikler kullanılarak üretilen sonuçlar tarafından kapsanamayabilir. Matematiksel yöntemler kesin çözümler sunar, ancak problemin formüle edilmesi zordur ve hatalara açıktır. Kesikli ZMÖP, özellikle, çok fazla yardımcı değişkenin atanmasını gerektirir. Matematiksel yöntemler büyük bir hesaplama çabası gerektirir. İyi ve optimuma yakın çözümlere ulaşmak için daha

verimli bir algoritma geliştirilmeli ve ZMÖP'yi ele almak için mevcut sezgisel yöntemlerden yararlanılmalıdır.

Amaç, alternatifler listesinden her bir faaliyet için ideal zaman/maliyet kombinasyonunu seçmektir. Problemler, araştırma boyunca doğrusal olmayan dışbükey bir fonksiyon olarak kabul edilmiştir. Doğrudan ve dolaylı proje maliyetlerinin minimum toplamı aranır.

ZMÖP birçok araştırmacı tarafından ve uzun yıllardır incelenmiştir. İlk çalışmalar altmışlı yılların başlarına kadar uzanmaktadır.

Aktivite süreleri genellikle ek para kaynakları tahsis edilerek azaltılabilir. Para kaynakları, aktivite maliyeti olarak açıklanmaktadır. Kesikli ZMÖP'te, her aktivitenin farklı zaman-maliyet değerleri olabilir ve alternatif olarak bilinir. Her aktivitenin birden fazla alternatifi olabilir. Problem, toplam maliyet ve proje süresini kriter olarak dikkate alarak her bir aktivite için uygun alternatif seçmektir. Bu problem literatürde kesikli ZMÖP olarak tanımlanmaktadır.

Kesikli bir zaman-maliyet ilişkisi, yalnızca belirli ve farklı süre değerleri uygulanabilir olduğunda ve proje aktiviteleri modellemek için sürekli ilişkilere kıyasla daha uygun olduğunda ortaya çıkar.

Proje hızlandırma sürecini başlatmak için herhangi bir proje hızlandırması metodlardan herhangi birini uygulamadan önce aktivitelerin doğrudan maliyetleri ile süreleri arasındaki ilişkiler belirlenmelidir. Bunlar sürekli ve kesikli zaman-maliyet ilişkileri olarak gösterilebilir. Sürekli bir ilişki, zaman-maliyet eğrisi boyunca herhangi bir zaman-maliyet kombinasyonunda tamamlanabilen bir aktiviteyi temsil eder.

ZMÖP probleminin tüm kategorileri Polinom olmayan zor (NP-zor) problemler olduğundan ve optimal kararların bulunması çok zaman alan hesaplamalar gerektirdiğinden, bu problemle başa çıkmak için literatürde birkaç farklı algoritma önerilmiştir. Sürekli gelişen bilgisayar bilimi teknolojilerinden yararlanan araştırmacılar, ZMÖP çalışmalarında çeşitli optimizasyon yöntemlerini uygulamaya çalışmaktadır. ZMÖP problemleri temel olarak Tam, Sezgisel ve Meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarını içerir.

Kesin prosedürler, optimal çözümü bulmak için tüm çözüm uzayını keşfetmeye çalışır. Buna göre, büyük miktarda hesaplama gerektirirler ve bu da

karmaşık kodlama prosedürlerinin yanı sıra daha yüksek özellikli bilgisayarları da gerektirir. Sırasıyla, genellikle Sezgisel algoritmaların yeterliliğini güçlendirmekle suçlanırlar. Yine de kesin algoritmalar, sonuçların optimal olmasını garanti edebilen tek yöntemler oldukları için, optimizasyon problemlerinin vazgeçilmez araçlarıdır. Kesin algoritmaların en popüler türevlerinden bazıları doğrusal programlama, karma tamsayılı programlama, dinamik programlama ve dal-sınır yöntemidir.

Kesin prosedürlerin aksine, Sezgisel algoritmalar çok daha az hesaplama çabası gerektirir ve neredeyse hiç vakit kaybetmeden çözümler üretme yeteneğine sahiptir; genellikle, bir bilgisayarın yardımı olmadan bile uygulanabilirler. Sezgisel yöntemler, zor optimizasyon problemlerine çözüm bulmak için basit kurallar içerir. Bununla birlikte, sezgisel yöntemlerde optimal sonuç garanti edilmez ve elde edilen çözümler optimale yakın, daha ziyade tatmin edici çözümlerdir. Yapıcı ve iyileştirme sezgisel yöntemleri, sezgisel algoritmaların en saygın varyantlarıdır. İlki, çözümler üretmek için adım adım bir prosedür kullanır ve uygulanabilir bir çözüme ulaşılan kadar bunları birer birer üretir. Genel olarak, prosedürün sonucuna varılmadıkça, yapıcı sezgiselleri sırasında uygulanabilir bir çözüm elde edilmez. İkinci tür sezgisel algoritmalar, yani iyileştirme sezgisel yöntemleri, uygun bir çözümle başlar ve bunu bir dizi değişiklik yoluyla art arda geliştirir. Bu prosedür sırasında, sürecin ilerlemesine bakılmaksızın genellikle uygulanabilir bir çözüm korunur.

Meta-sezgisel algoritmalar, sezgisel yöntemlere kıyasla daha yüksek seviyeli algoritmaların bir göstergesidir, çünkü sezgisel yöntemler probleme bağımlı iken meta-sezgiseller problemin doğasından bağımsızdır. Bu rastgele arama teknikleri, doğal organizmaların evrimini ve akıllı davranışlarını simüle ederek bir optimizasyon problemini çözer. Sezgisel algoritmaların aksine, meta-sezgisel algoritmaların yinelemeli kalitesi, yerel optimuma takılıp kalmayı önleyebilir. Bu ikinci özellik, genellikle, istenen global optimum çözümü keşfetme şansını artırarak, çözüm alanı içinde kapsamlı aramaları şart koşar. Ancak, sezgisel yöntemlere benzer şekilde, meta-sezgisel yöntemler, çözümlerin optimal olmasını sağlama konusunda yetersizdir; bunun yerine, önemsiz hesaplama çabalarıyla, önemsiz bir sürede optimuma yakın çözümler elde ederler. Bu algoritma kategorisi, evrimsel hesaplama ve sürü zekası gibi modern çalışmalarla iyi bir şekilde ilişkilidir ve yavaş ama doğru çözümler karşısında hızlı yakınsayan optimale yakın çözümleri tercih edenler için umut vericidir. En yaygın meta-sezgisel yöntemlerden bazıları genetik algoritmalar

(GA), karınca kolonisi optimizasyonu (KKO), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), karıştırılmış kurbağa sıçraması (SFL), benzetilmiş tavlama (SA) ve benzerleridir.

ZMÖP, inşaat çizelgelemesinde ve özellikle çizelge hızlandırma sırasında önemli bir rol oynar. ZMÖP için yetersiz analizler ve sonuçlar, gerçekçi olmayan proje sürelerine ve zamanlama hızlandırma maliyetlerine yol açar. Bu nedenle, ZMÖP için etkin yöntemlerin geliştirilmesi, sadece proje maliyetleri için doğru alternatifin belirlenmesi için değil, aynı zamanda gerçekçi proje süresi ve bütçe beklentilerinin belirlenmesi için de çok önemlidir.

ZMÖP problemleri, faaliyetlerin zaman-maliyet biçimleri arasındaki ilişkiye göre doğrusal veya kesikli olabilir. Her ikisi de literatürde değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, inşaat projeleri faaliyetleri çoğunlukla kesikli zaman-maliyet modlarına sahip olduğundan, ZMÖP'nin kesikli zaman-maliyet takas problemi (KZMÖP) olarak da adlandırılan kesikli versiyonu, inşaat proje yönetimi alanındaki araştırmacılar tarafından daha fazla dikkat çekmiştir.

ZMÖP analizlerinin arkasındaki temel amaç, toplam proje maliyetini azaltmak için en uygun çarpışma alternatiflerini seçerek bazı faaliyetleri hızlandırmaktır (Siemens, 1971). İlk çalışmalarda ZMÖP doğrusal maliyet fonksiyonları ile analiz edilmiş olmasına rağmen, uygulamada faaliyetlerin zaman maliyet modlarının kesikli olması durumu daha yaygın olduğu için problemin kesikli olarak araştırılması gerektiği anlaşılmıştır (Vanhoucke ve Debels, 2007).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Feng ve diğ. (1997) Genetik algoritma prensipleri kullanarak yeni bir algoritma oluşturmıştır. Genellikle Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerin çözümünde bir projedeki tüm kaliteyi optimize etmek için bir karar sıralaması yapmak gerekir. Bu karar sıraları GA da bir dizi olarak temsil edilebilir. Zaman Maliyet Ödünleşim problemini, proje süresini ve maliyetini aynı anda minimize eden çoklu objektif optimizasyon süreci olarak ele alınabilir. Feng ve diğ. (1997) 18 aktiviteli bir problemi çözmüş ve başlangıç değerlerine göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Çoğu durumlarda projelerin belirli bir süre içinde tamamlanması gerekir. Bunu minimum maliyetle istenen süreyi elde etmek için kaynakların ayarlanması ve kaynak tahsislerinin optimize edilmesi gerekir. Sezgisel yöntemler iyi sonuç verebilir fakat en uygun çözümü garanti etmezler.

Liu (1995) Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerini daha kolay bir şekilde çözmek için matematiksel modeller kullanarak Lineer Programming-Integer Programming (LP/IP) yaklaşımı ile yeni bir algoritma sunmuştur. LP/IP metodu bir projedeki Zaman Maliyet ilişkisinin minimum maliyet eğrisinin alt sınırını Doğrusal Programlama (Lineer Programing LP) kurar. Doğrusal programlama çözümlere dayanarak, Tamsayılı Programlama (Integer Programing IP) yardımıyla istenen zaman ve maliyet bölgelerini seçerek kesin çözüm elde edilir. LP/IP inşaat planlamacılara Zaman Maliyet Ödünleşim kararlarını analiz etmek için verimli bir araçtır.

Bir projede toplam maliyetin direkt maliyet ve endirekt maliyet olarak iki bileşeni vardır. Geleneksel ZMÖP analizlerde proje süresi ne olursa olsun paranın değeri kesin olarak sabit tutulmaktadır. Fakat paranın değeri zamanla azalır. Maliyet de zamanın bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Bu yüzden paranın zaman değeri vardır ve maliyet hesaplarken dikkate alınmalıdır. Bunun için birçok ekonomik yöntem kullanılabilir. En sık kullanılan metot net bugünkü değerdir. Net Bugünkü Değer proje yönteminde birçok varsayımlar için araştırılmıştır. En temel varsayım her aktivitenin bitiş süresinde net nakit akışı tahmin edilebilmesidir.

Ammar (2011) ZMÖP nakit akışını bugünkü değerini hesaplayıp çözmek için matematiksel optimizasyon model sunmuştur. Bu model en uygun çözüm üreten

doğrusal olmayan programlar şeklinde formülleştirilmiştir. Önerilen model paranın zaman değerini dikkate alarak projenin direkt maliyetlerini minimize eder. Nakit akışı hazırlanırken projelerdeki aktivitelerin maliyetleri bitiş zamanı göz önüne alınarak belirlenir. Paranın zaman değerini dikkate almak için aktivitelerin bitiş zamanındaki maliyetleri paranın zaman değeri ele alınarak güncellenmelidir. Makaledeki vaka çalışmasında normal aktivite süreleri dikkate alındığında proje süresi 76 hafta olarak hesaplanmışken Zaman-Maliyet Ödünleşim probleminin çözümü ile 36 hafta, endirekt maliyetler ve paranın zaman değeri dikkate alındığında 65 hafta olarak hesaplanmıştır. Paranın zaman değeri yani faiz %5,25 olarak alındığında en uygun proje süresi 70 hafta bulunmuştur. Bu model Zaman-Maliyet Ödünleşim problemlerinde paranın zaman değerini de dikkate alarak en uygun çözümü garanti eder.

En kısa proje süresini verilen bütçeyi ve süreyi aşmadan maliyeti minimize problemi bir genelleştirilmiş çift kriterli optimizasyon problemi olarak tarif edilebilir. Yang (2007) çift kriterli ZMÖP daha fazla verim, esneklik ve sağlamlık ile çözmek için PSO algoritması kullanarak Elistist PSO algoritmasını geliştirmiştir. Önerilen algoritma üç şekilde katkıda bulunmaktadır. Birincisi Pareto yüzeyini tek seferde çalıştırıldığında bulabilmekte ve bu yüzden karar vericilere muhtemel çözümlerin artı ve eksilerini değerlendirmek için yardımcı olur. İkincisi önerilen yaklaşım bir aktivitenin mevcut Zaman-Maliyet fonksiyonları doğrusal, doğrusal olmayan, kesikli, aralıklı ve karışık türlerini çözmek için esneklik gösterir. Son olarak algoritma bir toplam maliyet eğrisi sunar ve toplam maliyet eğrisi yardımıyla karar vericiler en uygun proje süresini ve son olarak da minimum toplam maliyeti kolaylıkla bulabilirler.

ZMÖP proje süresi, maliyeti ve tahmini gelir açısından daha olumlu sonuçlar elde etmek için proje programının sıkıştırılmasıdır. ZMÖP kapsamlı araştırılmış ve birçok model önerilmiştir. Bunlar Deterministik ve belirsiz olarak iki kategoriye sınıflandırılabilir. Belirsiz verileri ile başa çıkmak için bir alternatif bulanık mantık kavramını kullanmaktır. Bulanık mantık kavramında belirsiz aktivite süreleri bulanık kümelerle temsil edebilir. Chen (2010) Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerini bulanık ortamda analiz etmiştir. Önerilen Yaklaşım bir proje ağındaki minimum toplam hızlandırma maliyetini üyelik fonksiyonu yolu ile tarif edebilmektedir. Bir proje ağındaki bazı parametreler örneğin zaman ve maliyet bulanık olduğu zaman

minimum toplam hızlandırma maliyeti de bulanık olur. Bu yöntemde minimum toplam hızlandırma maliyetinin alt ve üst sınırlarını farklı olasılık seviyeleri altında türetir. Alt ve üst sınırlarını hesaplamak için bir çift iki-seviyeli parametrik matematiksel programlar formüle edilmiştir. Sayısal örnek çözüldüğünde bir proje ağındaki minimum toplam hızlandırma maliyeti bir üyelik fonksiyonu olduğu için parametrelerin bulanıklığını tamamen koruduğu görülmüştür.

ZMÖP çözmek için bir çok evrimsel algoritma geliştirilmiştir. Bazı evrimsel algoritmalar uygun veya uyguna yakın çözümleri bulmak için faydalı kanıtlansa bile her türlü problemlerin uygunluğuna ulaşmaya garanti etmeyebilirler. Çoğu evrimsel algoritmaların aday çözüm dizileri değerlendirmek metotları nedeniyle uygun çözümü bulmak kabiliyetleri sınırlıdır.

Abdelraheem (2011) Evrimsel algoritmaların sınırlarının üzerine çıkabilmek için Electimize evrimsel algoritmasını sunmuştur. Bu algoritma sadece uygun çözümü değil ayrıca başka alternatif optimal çözümleri bulmak için daha avantajlıdır. Örnek olarak 18 aktiviteli bir proje ele alınmış ve bu algoritma minimum proje süresi (110 gün) ve minimum proje maliyetini (\$161.720) sadece bir iterasyonla bulmuştur. Diğer evrimsel algoritmalarla karşılaştırıldığında, birçok evrimsel algoritmalar uygun çözümü bulmada başarısız olmuş ve birçoğu uygun çözümü yüzlerce iterasyon ve çözüm dizileri kullanarak bulmuştur.

ZMÖP çözümü için analitik yöntemler geliştirilerek birçok çalışmalar yürütülmüştür. Bu analitik yöntemlerin ZMÖP çözümünde ancak iki sınırlamaları vardır. Birincisi, bunlar zaman-maliyet ilişkilerin doğrusal yaklaşımlarla sınırlı kalmıştır. İkincisi de bu yöntemler amaç fonksiyonunu formüle etmek için zaman-maliyet eğrilerini el ile çizilmesini gerektirir.

Li. (1999) bu sınırlamaların üstesinden gelmek için makine öğrenimi ve Genetik Algoritma tabanlı sistem (Machine Learning and Genetic Algorithms based System (MLGAS)) sunmuştur. MLGAS Doğrusal olmayan Zaman-Maliyet eğrilerinin makine öğrenimi ve Gelişmiş Genetik Algoritma olarak iki alt sistem içerir. Bu sistemde doğrusal olmayan Zaman-Maliyet ilişkilerini karakterize etmek için ikinci dereceden doğrusal olmayan bir model kurulmuş ve Makine Öğrenme metodu kullanılarak eski zaman-maliyet verilerden doğrusal olmayan Zaman-Maliyet ilişkisi kurulmuştur. Bu sistem özellikle tarihsel veri bankası bulunan bir inşaat organizasyon için daha avantajlıdır. Makine Öğrenimi ve Genetik algoritma tabanlı

sistem diğer yöntemler ve algoritmalarla kıyaslandığında doğrusal olmayan Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerinde daha iyi çözümler üretmektedir.

Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerini her aktiviteye uygun seçenekler belirleyerek bir projenin süresini ve maliyetini eş zamanlı minimize eden çoklu objektif optimizasyon problemi olarak düşünebiliriz. Çoklu objektif optimizasyon problemlerinde en iyilik (uygunluk) ve çeşitlilik iki büyük sorunlardır. Geem (2010) ZMÖP çözmek için Armoni Arama algoritmasını sunmuştur. Armoni arama algoritması Genetik Algoritma, Karınca kolonisi optimizasyon algoritması ve diğer algoritmalarla göre daha iyi ve daha hızlı Pareto çözümler vermektedir. Armoni arama algoritması çeşitli birleşik optimizasyon problemleri örneğin yapısal tasarım, hidrolik ağ tasarımı vb. gibi yerlerde başarılı olarak uygulanmıştır.

Bu algoritmanın amacı bir proje ağındaki her aktiviteye bir aday seçeneği atarak proje süresi ve maliyetini ikisini de minimize etmektir. Armoni Araması algoritması 7 aktiviteli bir projeye uygulanmış ve kısa sürede 300 çözüm üreterek Pareto dizisini bulmuştur. Karınca kolonisi algoritması aynı Pareto dizisini 882 çözüm üreterek bulmuş ve Genetik Algoritma herhangi bir Pareto cephesi önermemiştir.

ZMÖP matematiksel programlama, üst sezgisel ve sezgisel yöntemlerin yanı sıra global arama algoritması kullanılarak da çözülebilmektedir.

Çoğu araştırmacılar global arama algoritmasını kullanarak Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerini çözmek için bazı evrimsel metotları uygulamaya çalışmışlar. Ziong (2008) Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerini çözmek için evrimsel algoritmaya dayanan Karınca Kolonisi Optimizasyon algoritmasını sunmuştur. Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerinde Karınca Kolonisi Optimizasyon algoritmasının genel amaç karınca algoritmasını kullanarak her aktiviteyi gerçekleştirmek için bir seçeneğin belirlenmesidir. Karınca Kolonisi Optimizasyon algoritması değiştirilmiş uyabilen ağırlık yaklaşımı ile birlikte bir projedeki en uygun çözümü bulabilmekte ve Pareto cephesini de tanımlayabilmektedir. Algoritmanın verimliliği ve performansını doğrulamak için 7 ve 18 aktiviteli iki farklı problem çözülmüştür. Genetik Algoritma ile karşılaştırıldığında Karınca Kolonisi Optimizasyon algoritmasının verimliliği ve en uygun çözümü bulma Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerini çözmek için daha iyi olduğu görülmektedir.

Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerinde bir aktivitenin Zaman-Maliyet fonksiyonları çoğunlukla doğrusal farz edilir ancak pratik uygulamalarda Zaman-Maliyet fonksiyonları doğrusal olmayabilir.

Bir aktivitedeki sürekli ve sürekli olmayan zaman aralıklarına göre parçalı doğrusal, kesikli nokta, süreksiz zaman aralığı vb. gibi maliyet fonksiyonun olası çeşitleri olabilir. Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerinde maliyetin doğrusal olmadığı durumlar için araştırmacılar tarafından çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Moussourakis (2004) doğrusal olmayan ZMÖP çözmek için esnek karışık tamsayılı programlama modeli sunmuştur. Bu modelin iki versiyonu vardır. Modelin ana versiyonunda proje tamamlama tarihini esas alarak projedeki toplam maliyet minimize edilmiş ve modelin diğer versiyonunda ise kaynak ve bütçe kısıtlaması esas alınarak proje süresi minimize edilmiştir. Bu model proje yöneticilere Zaman Maliyet Ödünleşim problemlerinde karşılaştığı sorunları çözmek ve rasyonel kararlar vermek için yardımcı olabilmektedir. Bu modeller kullanılarak proje yöneticileri projenin normal tamamlama süresi, projenin en kısa tamamlama süresi vb. gibi çeşitli senaryolarında kullanılabilir.

İnşaat projeleri, büyüklük ve maliyet açısından giderek daha büyük ve daha karmaşık hale gelmektedir. İnşaat yönetim sisteminin, zaman ve maliyetten tasarruf etmek amacıyla istenen inşaat programını geliştirmesi için bir optimizasyon aracı gereklidir.

Bir inşaat projesinde, proje faaliyetleri, değişen süreler ve maliyetlerle farklı yürütme modlarında tamamlanabilir ve yürütme süresi genellikle ek masraflarla sıkıştırılabilir. İnşaat çizelgeleme araştırmaları arasında, amacı, son teslim tarihini karşılarken minimum maliyete sahip bir veya daha fazla proje çizelgesini belirlemek olan son teslim tarihi kısıtlı maliyet optimizasyon probleminin (DCOP) çalışmasına çok dikkat edilmiştir. Bu problem güçlü deterministik olmayan polinom-zaman (NP) sertliğine sahip olduğundan, NP-sertliğini ele almak için yapılan çabaların çoğu meta-sezgisel yöntemlerle ilgilidir.

Genetik algoritmalar (GA'lar), karınca kolonisi optimizasyonu, memetik algoritma (MA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) benzetilmiş tavlama (SA), karıştırılmış kurbağa sıçrama algoritması (SFLA) ve değişken komşu tabu arama gibi birçok meta-sezgisel yöntem ZMÖP'te DCOP'u çözmek için geliştirilmiştir.

Bu nedenle, bu sorunu araştırmak önemlidir. Yazar, ekosistemdeki organizmalar arasındaki simbiyotik etkileşimleri simüle eden Simbiyotik Organizma Arama (SOS) algoritmasına dayalı olarak ZMP'teki büyük lekli DCOP'ler için değiştirilmiş bir meta-sezgisel yöntem sunmuştur.

Değiştirilmiş SOS algoritması, büyük lekli DCOP'lerle başa çıkabilmesini sağlamak amacıyla basit ama kullanışlı bir aktarım işlevini ve sezgisel kural tabanlı bir operatörü temel SOS algoritmasına entegre eden kesikli Simbiyotik Organizma Araması (DSOS) olarak adlandırılır.

Diğer popülasyon tabanlı algoritmalar (rneğin, GA ve PSO) gibi, SOS algoritması, optimal veya optimale yakın bir çözüm elde etmek için popülasyon yinelemelerini kullanarak çözüm uzayında arama yapar.

DSOS, 630, 720 ve 2000 aktiviteli proje ağları dhil olmak üzere 180 ila 6300 aktivite arasında değişen büyük ölçekli proje ağları üzerinde test edilmiş ve bunların sonuçları diğer meta-sezgisel algoritmalarla karşılaştırılmıştır.

Genel olarak, sonuçlar, son teknoloji meta-sezgisel yöntemlerle karşılaştırıldığında, DSOS'un hem basit hem de karmaşık büyük lekli DCOP ZMP çözmek için rekabetçi bir yöntem olduğunu göstermiştir.

ZMP hem zamanı hem de maliyeti minimize etme gerekliliği açısından çok amaçlı bir optimizasyon problemidir. Geleneksel optimizasyon yöntemleri yalnızca tek amaçlı optimizasyon problemlerini çözebilmektedir. Pareto optimal çözüm olarak ifade edilen kavram, çok amaçlı optimizasyon problemlerinde anlam kazanmaktadır.

Albayrak (2020), ZMP çözmek için genetik algoritma (GA) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tabanlı yeni bir hibrit metasezgisel algoritma (NHA) olarak adlandırılan bir meta-sezgisel çok amaçlı optimizasyon hibrit algoritması geliştirmiş ve sonuçları standart PSO ile karşılaştırmıştır. Algoritma, gerçek hayattaki proje planlama problemlerini çözmek için uygulanabilir bir prosedür sağlar. Önerilen yöntem, proje yöneticilerine amaç fonksiyonları için tercihlerini tanımlamada yardımcı olmak için birak baskın olmayan çözüm seti üretir.

NHA, 37 aktiviteden oluşan proje üzerinde test edildi. Bu projede kaynaklar doğrudan maliyet açısından dikkate alınmış ve kaynak kısıtı günde 12 işçi olarak kabul edilmiştir. Optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılan st limit tanımı uygulanarak toplam proje süresi 200 gün ile sınırlandırılmıştır.

PSO ve NHA, sırasıyla aynı proje verileri üzerinde uygulanmıştır.

PSO'ya göre, ZMÖP değerleri süre için 170 ile 199 gün arasında ve maliyet için 125.500-132.200 dolar arasında değişmektedir. 176 gün—125.500\$, mümkün olan en düşük maliyete karşılık gelen en kısa proje tamamlama süresine sahip olan en uygun zaman-maliyet olarak hesaplanmıştır.

NHA'nın ZMÖP sonuçları 169-199 gün ve 125.500-131.200 \$ değerlerine sahiptir. Proje en düşük maliyet alternatifi ile tamamlanacak ise minimum maliyet 125.500 \$ ve buna karşılık gelen toplam proje süresi 173 gün olarak hesaplanmıştır.

Pareto optimalleri kolayca bulunur. Projenin sonuçları PSO ve NHA tarafından elde edilmiş olup, her iki algoritma ile de minimum toplam maliyet 125.500\$ olarak elde edilmiştir. Her iki metasezgisel için birden fazla proje tamamlama alternatifi olmasına rağmen, PSO'nun Pareto noktası 176 gün ve NHA'nın Pareto noktası 173 gün hesaplanmıştır.

Sonuçlara göre, GA'nın yerel arama yeteneği ve PSO'nun sosyal bileşeni, NHA'yı küresel optimizasyonda daha avantajlı hale getirmiştir. Yerel en iyi noktalardan kaçınmak ve çözüm uzayını araştırmak açısından daha verimli olması beklenen NHA, projenin daha kısa ve ekonomik alternatiflerini de sunmaktadır.

ZMÖP'de, bir proje çizelgelenirken projelerle çevrili birçok gerçek ve belirsiz durum göz önünde bulundurulmalıdır. Gerçek durumlarda, yöneticiler tarafından dikkate alınması gereken birçok önemli hususlar örneğin proje tamamlanma süresi ile maliyet arasındaki ödünleşimler ve proje ortamının belirsiz koşullar olabilmektedir.

Abdel-Basset (2020), projenin belirsiz durumlarda proje maliyetini mümkün olduğunca en aza indirmek için doğrusal zaman-maliyet ödünleşimlerini çözmek için nötrozofik teoriyi uygulayan bir model sunmuştur. Optimum proje takvimini bulmak, sınırlı kaynakları kullanmanın ekonomik tasarrufları ve projeyi mümkün olan en iyi sürede tamamlaması nedeniyle çok önemlidir. Ayrıca, proje yürütmenin önemli çevresel etkisine daha fazla dikkat etmek çok önemli hale gelmektedir.

Proje çizelgelemede, bazı faaliyetlere harcanan süreyi azaltarak ve faaliyetlerin kalitesinin düşmesine veya artmasına neden olabilecek ek maliyetler ödeyerek proje tamamlama süresini hızlandırmak çoğu zaman mümkündür. Bu nedenle, proje çizelgeleme problemlerinde, faaliyetler için zaman, maliyet, kalite ve

çevresel etkilerin tüketilebilir kaynaklarla farklı kombinasyonlarına sahip çeşitli yürütme biçimleri göz önünde bulundurulur ve farklı yöntemler kullanılarak her bir faaliyet için mümkün olan en iyi yürütme biçimleri kombinasyonu aranır.

Bu amaçla Banihashemi (2020), proje boyunca proje süresini kısaltmak, toplam maliyeti en aza indirmek, proje kalitesini en üst düzeye çıkarmak ve çevresel etkileri azaltmak için inşaat projelerindeki tüm faaliyetler için mevcut yürütme modlarını analiz edebilen paralel Veri Zarflama Analizi (DEA) yöntemini geliştirmiştir.

Modelde, proje faaliyetlerinin çevresel etkisi zaman, maliyet ve kalite olmak üzere üç faktörle birlikte incelenmektedir. Sonuçlar, her yürütme modunda verimli yürütme yönteminin kullanılmasının, en yüksek kalitede, en az sürede, en az maliyetle ve en az çevresel etkiyle proje yürütmesine yol açtığını göstermiştir. Bu çalışmada, proje faaliyetlerinin farklı yürütme modlarının verimliliğini belirlemek için DEA veya VZA yöntemi kullanılmıştır.

Projelerin zamanında ve bütçenin altında nasıl tamamlanacağını belirlemek, optimizasyon alanında en önemli hedef haline gelmiştir. Ayrıca, sözleşmede belirtilen tasfiye edilmiş hasar (LD) riskini azaltmak için proje maliyetlerini en aza indirmenin yanı sıra, yükleniciler projeleri öngörülen süreden daha erken tamamlamaya çalışırlar çünkü yüklenici sözleşme tamamlama tarihini karşılayamazsa LD toplam proje maliyetlerini etkiler.

Sezgisel olarak, doğrudan maliyetlerin program hızlandırması ile artacağı varsayılır. Ancak, proje yürütme optimizasyonu değerlendirilirken genellikle proje süresini ve maliyetini etkileyen kritik bir faktör olarak işgücü verimliliği nadiren dikkate alındığından, böyle bir varsayım eksiktir. Mevcut ekibin üretkenliği artırılabilirse, özellikle uzun süreli büyük inşaat projelerinde, maliyetleri artırmadan bir projenin süresini azaltmak veya planlanan süre içinde proje maliyetlerini azaltmak mümkündür.

Birçok araştırma, işgücü verimliliğinin eğitim, süreç iyileştirme veya teşvik vb. gibi yönetim yoluyla geliştirilebileceğini ortaya koymuştur. Bu konuyu ele almak için LIN (2019), çalışma ortamına ve yönetime göre değişken üretkenliği dikkate alan optimal veya optimuma yakın üretkenliği ve zamanlamayı arayan ve belirleyen GA kullanarak geliştirilmiş bir ZMÖP modeli sunmuştur.

Önerilen model, işgücü kaynağı, teslim edilebilirlik, süre ve doğrudan maliyet arasındaki etkileşimi kurarak değişken üretkenliğin proje süresi ve doğrudan maliyet üzerindeki etkisini ele almaktadır. Bu model, yan etki olmadan proje süresini kısaltabilir ve böylece orijinal doğrudan maliyeti aşmadan LD riskini azaltabilmektedir.

Tekrar eden projeler inşaat sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. Bu projelere örnek olarak demiryolları, boru hatları, yüksek binalar, otoyollar ve köprüler verilebilir. Bu tür projelerin zaman ve maliyet açısından verimliliğini artırmak en önemli çalışmaların bir parçasıdır. Bu zorluklara yanıt olarak, literatür bu sorunları CPM'de (kritik yol yöntemi) kesikli zaman-maliyet takas sorunu (DTCTP) olarak tanımlamıştır.

Kesikli ZMÖP çözümündeki yaklaşımların çoğu, kaynakların zaman veya maliyet açısından herhangi bir masraf olmadan transfer edilebilmesi ilkesine dayanmaktadır. Çoğu gerçekçi durumda, kaynak aktarımı proje süresini veya proje gecikme riskini artırır. Kaynak transferini göz ardı etmek, pratik olmayan planlamaya yol açacaktır.

Kaynakların etkin kullanımını sağlamak için transfer sürelerinin ve maliyetlerinin planlama aşamasında daha erken düşünülmesi gerekir . Tekrarlayan projelerde aktiviteler, farklı lokasyonlarda tekrarlanan birimlerden oluşur. Aktarma işi, kaynakları mevcut birimden diğerine taşımak için bir birimin tamamlanması beklendikten sonra yapılmalıdır.

Kaynak aktarımı ile kaynak çakışmaları daha yoğun hale gelir ve kaynak kısıtlaması zamanlama şemaları üzerinde daha büyük etkiye sahiptir. Yöneticiler genellikle karşılaştırma için birden fazla uygun çözüm elde etmek için kaynak kısıtlamasını ayarlamayı seçerler. Transfer planına ek olarak, kaynak transferinin dikkate alınması proje kaynak kısıtlamasının baskısını da artıracaktır. Kaynak aktarımı, faaliyet yürütme süreci ile aynı zamanda gerçekleşebileceğinden, kaynak kısıtlaması (kaynak havuzundaki ilk kaynak miktarı) zamanlama sonucu üzerinde önemli bir etkiye sahip olacaktır.

Zhou (2021), hesaplanabilir kaynak transfer maliyetlerini (FRCDTCTP-rt) göz önünde bulunduran esnek kaynak kısıtlaması ile kesikli bir zaman-maliyet takas problemi sunmuştur. Kaynak transferi (FRCDTCTP-rt) ile esnek kaynak kısıtlı

kesikli zaman/maliyet değiş tokuş probleminin amacı, kaynak transferini tanıtan ve esnek kaynak kısıtlamasını karşılayan bir dizi sonuç belirlemektir.

FRCDTCTP-rt, (1) kaynak kısıtlamasını artırarak daha dūřuk proje sūreli cōzūmler elde edebilir.

İnřaat yōnetimi literatūründe temel olarak iki tip Kesikli ZMōP incelenmiřtir. İlk problem, belirli bir proje teslim tarihi iēin doęrudan ve dolaylı maliyetleri, cezaları ve ikramiyeleri dikkate alarak proje maliyetini en aza indirmeyi amaēlamaktadır. İkinci problem, uygulanabilir proje sūreleri kūmesi ūzerinden eksiksiz ve baskın olmayan zaman-maliyet profili olan Pareto cephesinin belirlenmesini iēermektedir (Vanhoucke ve Debels 2007).

Mevcut būyūk ōlēekli Kesikli ZMōP yōntemlerinin cōęunun ana sınırlamalarından biri, yūkses kaliteli cōzūmler elde etmek iēin būyūk hesaplama sūresi gerektirmeleridir. Bu yōntemler aynı zamanda, būyūk ōlēekli inřaat projelerinin karmařıklıęını yeterince yansıtmayan, kūēuk projelerin seri olarak kopyalanmasıyla oluřturulan birkaç problemi kullandıklarından, hesaplamalı analizde kullanılan ōrneklerle ilgili bir sınırlamaya sahiptir.

Sōnmez (2020), kısa bir hesaplama sūresi iēinde būyūk ōlēekli projelerin zaman-maliyet optimizasyonu iēin yūkses kaliteli cōzūmler elde etmek, cizelgeleme hesaplamalarının miktarını azaltmak iēin, kritik olmayan aktivitelerin yeniden cizelgeleme yōntemi (NARM) adlı yeni bir sezgisel cizelgeleme yōntemi geliřirmiřtir.

Mevcut zaman-maliyet dengeleme calışmalarında kullanılan sezgisel yōntemler, en uzun proje sūresi cōzūmū ile bařlayan ve kritik faaliyetleri en dūřuk maliyet eęimi ile hızlandırarak yeni cōzūmler belirleyen bir prosedūre dayanmaktadır. Őnerilen sezgisel model, en kısa proje sūresi cōzūmūyle (tamamen hızlandırılan cizelge) bařlar ve kritik faaliyetleri en yūkses maliyet eęimi ile cōzerek yeni cōzūmler arar.

İnřaat proje faaliyetlerinde dōrt tūr ōrtūřme olabilir ve ōrtūřen faaliyetler, inřaat projelerinin daha gerēekēi modellenmesine izin verir Harris (1978).

Uygulamada, projeyi normalden hızlandırılmış sūresine hızlandırma sūrecinde dikkate alınması gereken, az sayıda baskın yollar vardır. Dięer yollar yedek yollardır ve optimizasyon modelinden cıkarılabilir. Yedekli yollar, herhangi

bir hızlandırma döngüsünde asla kritik olmayacak olanlardır. Herhangi bir yolun, hızlandırılmış projesi süresine eşit veya daha kısa bir süre uzunluğu varsa, bu yol yedektir.

Bu tür bir problem için AMMAR (2000), optimum proje zaman maliyetini oluşturmak için standart sıfır-bir programlama biçiminde formüle edilmiş verimli bir matematiksel optimizasyon modeli geliştirmiştir.

Modelde proje ağının tüm olası yolları oluşturulur. Modelde yalnızca baskın yollar (etkili yollar) ve kesin etkin zaman-maliyet ilişkileri içeren aktiviteler dikkate alınır. Gereksiz yollar elenir. Önerilen model optimal çözümü garanti etmektedir.

İnşaat projelerinin kalitesini analiz etmeye ve optimize etmeye odaklanan çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, kalite memnuniyeti kavramı, proje kalitesinin nasıl sağlandığını ve teslim edildiğini göstermek için zaman-maliyet-kalite optimizasyon modellerinin oluşturulmasında tanımlanır. Proje sahibinin memnuniyeti ne kadar yüksek olursa, proje kalitesi o kadar iyi olur ve bunun tersi de geçerlidir.

Çok amaçlı optimizasyon teknikleri, projelerin zaman, maliyet ve kalitesi arasındaki bir dizi dengeyi belirlemede etkilidir. Elde edilen çözüm kümesi arasından en iyi proje çizelgesini seçmek, özellikle belirlenen çözümlerin sayısı çok olduğunda zorlu bir iştir.

Wang (2019), bir projede zaman-maliyet ve kalite arasındaki ödünleşimleri belirlemek için nicel bir araştırma yöntemini benimseyen ve Domine Edilmeyen Sıralama Genetik Algoritmaları II (NSGA II) kullanarak model hesaplamalarını yürüten bir optimizasyon modeli geliştirmiştir.

Geliştirilen modelin performansı, 20 aktiviteden oluşan bir inşaat projesi kullanılarak test edilmiştir. Bu model, inşaat kalitesini en üst düzeye çıkarırken proje süresini ve maliyetini en aza indirebilen bir optimizasyon modelidir. Bu optimizasyon modeli, inşaat yöneticilerinin belirli bir bütçe ve süre ile bir inşaat projesini teslim etmek için en yüksek kaliteyi, belirtilen süre ve kalite için en düşük maliyeti ve belirtilen bütçe ve kalite için en kısa süreyi belirlemesine olanak tanır.

Dünyanın farklı bölgelerinde periyodik olarak ormanlarda meşe azalması gözlemlenmiştir. Ormanların azalması sorunu ekolojik bir sorun olmasına rağmen, kökü yerel toplulukla katılımcı yönetimde yatmaktadır.

Zandebasiri (2019), İran'ın Zagros meşe ormanlarındaki düşüş projelerinin yönetimi ve kontrolüne PERT ve CPM yöntemlerini uygulanmıştır. Geleneksel olarak proje çizelgeleme, proje sahibinin doğrudan projenin yönetimine ve kontrolüne dahil olduğu tek bir karar vericinin bakış açısını alır. Ancak, genel olarak mal sahibi, projenin planlamasına veya kontrolüne dâhil değildir.

Aouam (2019), ajans perspektifinden zaman-maliyet ödünleşim ile çok modlu proje çizelgeleme problemi olan bir model geliştirmiştir. Modelde mal sahibi (müdür), zaman/maliyet dengelerini optimize ederken projeyi planlamak, gerçekleştirmek ve kontrol etmek için bir müteahhit (temsilci) görevlendirir.

Sonuçlar, acenteyi görmezden gelmenin mal sahibi için maliyetli olabileceğini ve yüklenicinin çok riskten kaçındığı ve çabanın yüksek belirsizlikle ilişkili olduğu durumlarda, doğrusal olmayan tazminat biçimleri de dâhil olmak üzere diğer sözleşme planlarının araştırılması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu çabanın maliyeti, acenteyi göz önünde bulundurarak potansiyel değeri etkileme eğilimindedir.

Yürütülen her proje aktivitenin kalitesi, proje yönetiminde önemli bir konudur. Bir projenin sonucu, proje müteahhitlerinin beklentilerini karşılıyorsa, başarı olarak bilinir. Projelerde, genel proje kalitesi tatmin edici olsa bile, proje gereksinimlerini karşılamayan tek bir proje faaliyeti nedeniyle yeniden çalışma gerektirebilir ve muhtemelen zaman gecikmesi ve maliyet aşırımları meydana gelebilir.

Projelerde faaliyetlerin süresi ve tamamlanma sürelerinin belirsiz olması çok olasıdır. Başka bir deyişle, herhangi bir projenin hemen her alanında belirsizlik vardır. Ayrıca, faaliyetler benzersiz olduğundan ve geçmiş veriler genellikle eksik olduğundan, bir proje yöneticisinin bu rastgele değişkenleri doğru bir şekilde ele alması zordur.

Haghighi (2018), belirsizlik altında kalite kaybı maliyetini göz önünde bulundurarak ZMÖP ele almak için yeni bir analitik metodoloji metodu sunmuştur. Metot, proje yönetimini geliştirmek için kalite kaybı maliyeti, risk değerlendirmesi ve aralık değerli bulanık kümeler (IVFS'ler) dikkate alınarak PERT ve zaman-maliyet takası kavramlarını uygulayan Proje planlamasına yönelik yeni bir IVF-PERT sunulmuştur.

Bir faaliyeti yürütmek için mevcut araçların, kaynakların, malzemelerin, teknolojilerin ve yöntemlerin çeşitliliği, inşaat projelerinde bireysel faaliyetlere atanabilecek alternatif uygulama modları sağlar. Başka bir deyişle, alternatif materyaller kullanılarak veya farklı kaynak biçimleriyle bir faaliyet yürütülebilir. Bu mevcut modlar arasından seçim yapmak proje yöneticisinin kararını gerektirir. Faaliyet modunun seçimi, o faaliyet için farklı bir süreye ve farklı doğrudan ve dolaylı maliyetlere sahip olabilir. İnşaat projelerinde ZMÖP analizi, en uygun toplam proje süresini ve (veya) toplam maliyeti bulmak amacıyla genellikle mevcut alternatif modları keşfetmek için kullanılır.

Gerçek dünyada, alternatif modlar, özellikle inşaat sektörü veya yeni teknolojiler için yeni olanlar, kanıtlanmamıştır ve zaman ve maliyetlerine ilişkin daha yüksek belirsizlik tahminleriyle birlikte gelir. Bu nedenle, tek bir faaliyet için bazı modlar diğerlerinden daha riskli olabilir ve daha geniş bir aralıkta bir olasılık dağılım fonksiyonuna sahip olabilir. Modlar arasındaki örtüşmeler önemli olduğunda, problemin deterministik yöntemlerle çözülmesi zorlaşır. Her modun belirsizliğini denkleme dâhil ederken, Kesikli ZMÖP çözmenin zorluğu katlanarak büyür. Bunun nedeni, zaman ve maliyetin her mod özelliğinin deterministik bir değerden ziyade bir olasılık ile temsil edildiği artık stokastik bir problem haline gelmesidir.

ZMÖP, toplam proje süresini ve (veya) toplam maliyetini nihai olarak en aza indirmek için bireysel proje faaliyetleri için en uygun uygulama modlarını seçmeye odaklanır. Bununla birlikte, büyük ölçekli inşaat projeleri genellikle, her biri farklı maliyetler ve süreler sağlayan farklı olası uygulama modlarıyla birlikte gelen çok sayıda faaliyet içerir.

Bu maliyetlerde ve sürelerde belirsizliğin var olduğunu bilerek, problem, makul bir kısa sürede makul bir hesaplama maliyeti ile tüm olası mod kombinasyonlarını stokastik olarak değerlendirmek neredeyse imkânsız hale gelir.

Hussein (2018), projelerin belirsizlik kavramı adı altında kesikli ZMÖP problemini çözmek için evrimsel stokastik kesikli ZMÖP (ESDTCT) için nesne yönelimli programlama geliştirmiştir. Model, hem zaman hem de maliyet için belirli bir ortak güven düzeyini karşılarken, toplam proje maliyetini ve (veya) süresini en aza indirmeyeyle sonuçlanan her proje etkinliği için en uygun yürütme modunu tanımlar.

ZMÖP, elli yıldan fazla bir süredir kapsamlı bir şekilde çalışılmakta ve özellikle zor bir kombinatoryal problem olarak kabul edilmektedir. Proje boyutu ile katlanarak artan problem boyutu nedeniyle, çözümü için son yıllarda evrimsel algoritmalar uygulanmış ve test edilmiştir. Proje yöneticisinin “en iyi” yöntemi arama veya algoritma yapısı ve parametrelerinin ince ayarını yapma becerisine veya isteğine sahip olmadığı durumlarda, karşılaştırmalı çalışmaların eksikliği gerçek uygulamada ciddi bir eksiklik olabilir. Bunun yerine, proje yöneticisinin bu tür optimizasyon algoritmalarını uygulayan bazı yaygın kullanımlı ticari yazılımları kullanması daha olasıdır.

Chassiakos (2019), zaman-maliyet takas problemi için çeşitli evrimsel algoritmaların performans potansiyelini değerlendiren bir çalışma yapmıştır. Değerlendirme, iki etkililik ölçüsüne, çözüm kalitesine (başarı oranı ve çoklu algoritma uygulamaları altında bulunan en iyi çözümlerin ortalaması) ve işlem süresine (birden çok denemede ortalama çalışma süresi) dayanmaktadır.

Değerlendirme, literatürden farklı büyüklük ve özelliklere sahip ve kesin çözümleri bilinecek vaka çalışması projeleri üzerinde yapılmıştır. Karşılaştırmalı değerlendirmede beş evrimsel tabanlı algoritma göz önünde bulundurulur. Bunlar: tepe tırmanışı, genetik algoritmalar, parçacık sürüsü, diferansiyel evrim ve yapay arı kolonisidir.

İnşaat sektöründe tekrarlayan projeler (RP'ler) yaygındır. Tekrar, geometri ve konum düzenlerinden veya birimlerin çoğalmasından kaynaklanır. RP'ler genellikle aynı görevi bir birimden diğerine geçerek çeşitli birimlerde (konumlar, parçalar) gerçekleştirmek için kaynaklara (ekipler gibi) ihtiyaç duyar (Vanhoucke, 2006).

Daha rekabetçi bir proje takvimi oluşturmak, sürekli öncelik ilişkilerinin dikkate alınmasını gerektirir; Tekillik fonksiyonlarının kullanımıyla tanımlanan parça bazında doğrusal ve doğrusal olmayan aktivite-zaman-üretim fonksiyonları (Su ve Lucko, 2016), ZMÖP kolaylaştırmada planlayıcıya ciddi bir problem sunar.

Tran (2019), proje süresi ve maliyetinin aynı anda optimize edildiği tekillik fonksiyonları aracılığıyla tekrarlayan projeler için ZMÖP kolaylaştırmak için SOS algoritmasına dayanan uyarlanabilir birçok amaçlı simbiyotik organizma arama (AMOSOS) algoritması geliştirmiştir. Önerilen çizelgeleme yönteminin anlaşılması ve uygulanması kolaydır ve hızlı bir şekilde doğru sonuçlar üretir.

Bir proje çizelgesini hızlı takip etmek, genel proje süresini kısaltmak amacıyla kısmen örtüşen kritik faaliyetleri ve orijinal öncelik ilişkilerini bir dereceye kadar geçersiz kılmayı içerir. Hem aktivite çökmesi hem de hızlı izleme, program sıkıştırma teknikleridir ve sadece birkaç algoritma, her ikisinin de aynı projede kullanımını dikkate almıştır.

Ballesteros-Perez (2019), proje aktivitelerinin zaman ve maliyet arasındaki doğrusal olmayan ilişkisini göz önünde bulundurarak, hızlı izlemeyi kullanarak ZMÖP etkinliği için doğrusal olmayan GA kullanarak yeni bir model önermiştir. Önerilen model, kaynakların işbirliği içinde çalışıp çalışmadığına bağlı olarak iki konfigürasyonu benimseyebilir ve ayrıca farklı hızlandırma seviyelerine ulaşmak için gereken kaynak sayısının hesaplanmasına da izin verir.

ZMÖP için yakın zamanda geliştirilen optimizasyon algoritmalarından biri, Rao ve diğerleri tarafından geliştirilen Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyondur (TLBO). (2011). TLBO, eğitimci ve öğrenciler arasındaki bir sınıfta öğretme öğrenme sürecini yansıtan doğal gerçeği teşvik eder. TLBO algoritması, çok sayıda mühendislik optimizasyon problemine etkili bir şekilde uygulanmıştır. Eirgash (2019), önerilen modelin çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözmek için uygunluğunu doğrulamak için Pareto tabanlı baskın olmayan sıralama NDS-TLBO algoritması geliştirmiştir. NDS-TLBO algoritmasının doğrulaması, 18 aktiviteden oluşan küçük bir test projesi, 63 aktivite ile orta ölçekli proje ve 630 aktivite ile daha karmaşık büyük ölçekli problemde oluşan bir test projesi üzerinde test edilmiştir. Sayısal sonuçlara dayanarak, büyük ağlar için NDS-TLBO'nun sonuçları, NDS-TLBO'nun ZMÖP için yeterli optimal ve optmale yakın çözümler sağladığını göstermektedir.

Bu seçim sürecinde projenin uygulandığı bölgeye göre inşaat uygulamalarındaki belirsizlikler ve riskler dikkate alınmaktadır. Yıldırım (2019), inşaat proje faaliyetlerindeki belirsizlikleri dikkate alan bir II modeli geliştirmek için genetik algoritma ve bulanık küme teorisini kullanarak bir model önermiştir. Bu modelde, bir bina inşaat projesinde faaliyetlerin farklı yapım teknikleri belirlenmiştir. Her bir yapım tekniği, projenin farklı risk seviyelerinde zaman ve maliyet açısından değerlendirilmiştir. Daha sonra genetik algoritma optimizasyon modeli ve Pareto tekniği kullanılarak en uygun zaman-maliyet çiftleri elde edilmiştir. Bu optimizasyon

ile farklı belirsizlik seviyelerinde proje performans bileşenlerinin zaman ve maliyet açısından en uygun çözümü bulmak mümkündür.

Harmony Search (HS) algoritması, karmaşık hesaplamalar gerekmediğinden çeşitli problem türlerini çok kolay ve etkili bir şekilde çözebilir. HS, ZMÖP'in kesikli, sürekli ilişkilerini kullanabilir ve lineer ve lineer olmayan ZMÖP fonksiyonları içinde uygulanabilir. Zalmai (2020), farklı projeler için daha kolay kullanılabilecek farklı uygulamaları tanıtarak uyum arama HS yöntemini kullanarak zaman-maliyet dengeleme optimizasyonunu çözmüştür. Modelde birim fiyat analizi verilerine dayalı olarak her bir faaliyet için güncellenebilen zaman-maliyet değerleri elde edilmiştir. Daha sonra faaliyetlere ait farklı iş kalemlerinin ekip hızları ve maliyetleri dikkate alınarak çok amaçlı zaman-maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Büyük inşaat konut projelerinin başlangıç aşamasında, en düşük maliyet, zaman ve kaliteyi sağlayan uygun tasarım ve alternatiflerin bulunabilmesi için detayları ve aşamaları için etütler ve çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, temeller için doğru kazık tipi seçimi, performansları zaman, maliyet ve kalite açısından değerlendirmek için gereken bu kararlardan biridir. Bu değerlendirme sürecinden sonra en uygun kazık tipinin seçimi projedeki çalışma ile gerçekleştirilecektir. Lateef (2019), kesikli Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması PSO kullanarak kaliteyi "maksimize ederken" maliyet ve zamanı "en aza indirme" hedefiyle optimal bir kazık tipi bularak zaman-maliyet-kalite ödünleşimi (TCQT) problemini çözmek için bir model geliştirmiştir.

Toğan (2018), kesikli ZMÖP çözmek için TLBO algoritmasına ve MAWA-TLBO olarak adlandırılan Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımına (MAWA) dayalı çok amaçlı bir optimizasyon modeli önermiştir. TLBO algoritmasının performansını doğrulamak için çeşitli dolaylı maliyet oranları ile iyi bilinen 7, 18 ve 63- aktivite problemleri çözülmüştür. Sayısal sonuçlar, geliştirilen MAWA-TLBO'nun MAWA ve metasezgisel algoritmalar temelinde önerilen diğer çok amaçlı optimizasyon modelleriyle rekabet edebildiğini göstermektedir.

Leyman (2018), bir meta-sezgisel yaklaşımın parçası olarak farklı çözüm temsillerinin etkisini net bugünkü değer optimizasyonu (DTCTP-NPV) ile kesikli ZMÖP sorunu üzerinde araştırma yapmıştır.

Çoklu proje yönetimi, birkaç paralel projeden oluşaln bir programın planlanmasını, koordine edilmesini ve kontrol edilmesini içerir. Çoklu proje yönetimi, büyüyen bir araştırma alanıdır. Çok projeli problem ortamları, çoğu imalat ve hizmet şirketinde işin doğasını belirler. Verimli olmak için, çoklu proje yöneticileri zaman yönetimini ve kaynak tahsisini optimize etmelidir. Zaman yönetimi, proje yönetiminde en önemli paydır. Kaynak tahsisi, pilot projelerde ikinci ana görevdir.

Çoklu proje yönetiminde kaynakların tahsisi daha karmaşıktır. Aslında, kaynakların tahsisi, çoklu proje yönetiminin ana konularından biridir. Zaman (süre) ve maliyet (kaynak yatırımı), çoklu proje yönetiminin en önemli iki özelliğidir. Ancak bu nitelikler birbirinden bağımsız değildir. Genel bir kural olarak, çoklu projenin daha hızlı tamamlanması genellikle daha fazla kaynak gerektirir. Statik çoklu proje süresi ve maliyeti, inşaat aşamasının başlamasından önce taraflarca bir ödünleşim olarak belirlenir. Çoklu proje zamanının ve maliyetinin öneminden dolayı, planlama sırasında bu değerlerin mümkün olduğunca doğru belirlenmesi esastır.

Klevanskiy (2019), çok projeli çizelgeleme için iki aşamalı ayrıştırma yaklaşımı önermiştir. Yaklaşımın ilk aşaması, projeleri “makro faaliyetler” (toplamlar) olarak ele almayı amaçlar. Her bir toplama, projeyi kritik yolunda tamamlamak için bir kaynak kullanılabilirliği maliyet sorunu (RACP) modeli çözülerek belirlenir. Yaklaşımın ikinci aşamasında, çoklu projeyi önceden belirlenmiş bir proje süresi ile tamamlamak için kaynak seviyelendirme çizelgelemesi için toplamalar kullanılır.

4. YÖNTEM

Bu çalışmada, kesikli zaman-maliyet ödünleşim problemleri için optimum veya optimuma yakın çözümü bulmak için bir algoritma sunulmuştur. Proje tamamlanma süresi ve maliyeti, kritik faaliyetler ve inşaat alternatifleri gibi proje detayları bir hesap cetveli programında hesaplanır. Algoritma hesap cetveli programında makro yardımı ile yazılmıştır. Algoritma, inşaat alternatiflerinden olası hızlandırma seçeneklerinin bir listesini arar. Proje hızlandırması, minimum maliyet eğrisi yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilir ve optimum bir çözüm bulmak için adım adım gerçekleştirilir.

Bu algoritma, aktiviteleri birer birer hızlandırarak optimum çözümü bulur. Şebeke diyagramı, faaliyetlerin öncelik ilişkisi kullanılarak oluşturulur. Şebeke diyagramı, AoA yöntemine göre çizilmektedir. Normal proje süresi ve projenin maliyeti, projenin kritik faaliyetlerine dayalı olarak hesaplanır. Bu algoritma, proje programında mümkün olan optimum çözümü bulmak için minimum maliyet eğim eğrisini kullanır. Minimum maliyet eğim eğrisi, kendisine atanan minimum maliyete sahip projenin kritik aktiviteleri hızlandırır. Bu süreç, optimum çözüm bulunana veya projedeki tüm kritik aktiviteler mümkün olan en kısa sürede tamamlanmasına kadar devam eder.

Bir projedeki faaliyetlerin birden fazla olası alternatifi olabilir. Bu algoritma, optimum çözümü bulmak için mümkün olan en iyi alternatif seçimini yapmaktadır. Proje detayları bir hesap cetveli programına kaydedilir. Proje süresi daha sonra ileri ve geri geçiş yöntemi kullanılarak yay üzerindeki aktiviteye dayalı olarak hesaplanır. En erken başlangıç ve bitiş ve en geç başlangıç ve bitiş süreleri hesap cetveli programında hesaplanır. Aktivitelerin Toplam Bolluğa göre kritik faaliyetler bulunur.

Bu Algoritma, hesap cetveli programında bulunan Makro kodu kullanılarak oluşturulur. Algoritma, bir aktivitenin maliyet eğrisine göre olası hızlandırma seçenekleri arasından en düşük hızlandırma maliyetine sahip kritik aktiviteyi otomatik olarak seçer. Uygun bir hızlandırma varsa, o zaman o aktivite hızlandırılır.

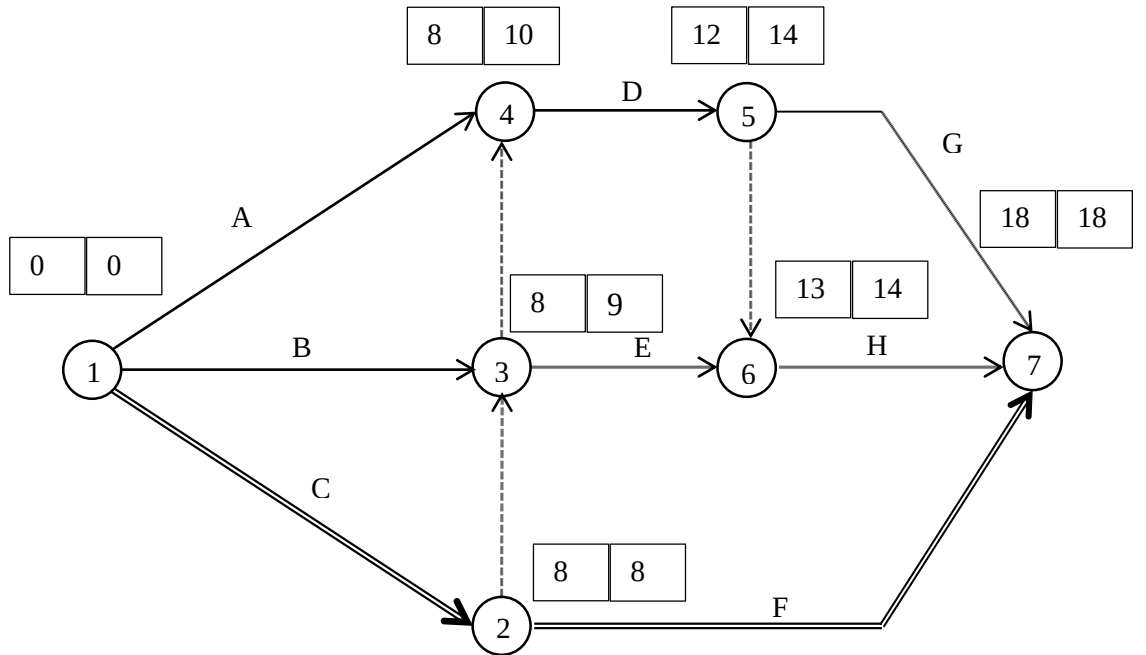
Bir proje ağının bir veya birden çok kritik yolu olabilir. Bir kritik yol varsa, o yoldaki tüm aktiviteler en düşük hızlandırma maliyetlerine göre yürütülür. Algoritma, yalnızca en düşük maliyete sahip aktiviteyi seçer ve onu hızlandırır. Hızlandırma fizibilitesi mümkün olduğu sürece, hızlandırma yapılır, fizibilite

bulunamazsa, bir sonraki hızlandırma maliyeti en düşük olan aktivite gerçekleştirilir. Tüm olası seçenekler yürütülürse ve daha fazla hızlandırma fizibilitesi bulunmazsa, algoritma durur ve optimum çözüm hesaplanır. Birden fazla kritik yol olması durumunda, birden fazla yol üzerinde en az hızlandırma maliyeti olan aktiviteler adım adım hızlandırılır. Önceki kritik yolun önceki aktivitenin hızlandırma maliyeti ve mevcut veya alternatif yolun mevcut aktivitenin hızlandırma maliyeti bir değişkende saklanır. Hızlanma seçeneği, yalnızca hızlanan her iki aktivitenin toplam maliyeti günlük dolaylı maliyeti aşmıyorsa yürütülür.

Algoritma, birden fazla kritik yoldaki kilitlenen aktivitelerin birleşik maliyeti günlük dolaylı maliyeti aştığında ve/veya proje süresinin değiştiğinde Toplam Maliyet bir artış söz konusu ise algoritma durur ve minimum proje maliyeti hesaplanır. Optimum proje maliyeti ve süresi, yukarıdaki koşulların tümü yürütüldüğünde ve başka olası hızlanma mümkün olmadığında, hesap cetveli programında makro yardımıyla hesaplanır.

Bu yöntem 8 aktiviteli bir proje ile detaylı olarak aşağıda gösterilmiştir.

8 Aktiviteli bir projenin Şebeke diagramı Şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.1: Proje Şebeke Diagramı.

Proje için Genel Gider Maliyeti 70 TL/Gün olarak verilmiştir.

Projenin normal süre ve maliyetleri ile projedeki aktivitelerin farklı yapım modları ya da günlük hızlanma maliyetleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Proje Normal Süre Ve Günlük Kısaltma Maliyetleri.

Günlük Kısaltma Maliyeti						
Akt.	Süre	Mal	1 Gün	2 Gün	3 Gün	4 Gün
A	6	200	25	-	-	-
B	5	400	40	40	-	-
C	8	900	20	45	45	50
D	4	600	10	30	45	-
E	5	400	15	25	-	-
F	10	500	20	25	30	60
G	4	700	20	30	-	-
H	4	100	20	30	-	-

Aktivitelerin Makimum hızlandırma süreleri de Normal Süreye göre hesaplanmıştır. Proje için Günlük genel gider Maliyeti 70 TL/Gün olarak verilmiştir.

Projenin EOZi, GOZi,EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk hesaplanmış ve Çizlege 4.2 de verilmiştir. Toplam Bolluğu sıfır (0) aktiviteler kritik aktiviteler olarak hesaplanmış ve koyu renkte gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Proje EOZi, GOZi,EOZj, GOZj, Toplam Bolluk ve Kısaltma Maliyetleri

Akt.	Maliyet	Süre	EOZi	GOZi	EOZj	GOZj	Top. Bolluk	Kısaltma Maliyetleri
A	6	200	0	0	8	10	4	25
B	5	400	0	0	8	9	4	40
C	8	900	0	0	8	8	0	20
D	4	600	8	10	12	14	2	10
E	5	400	8	9	13	14	1	15
F	10	500	8	8	18	18	0	20
G	4	700	12	14	18	18	2	20
H	4	100	13	14	18	18	1	20

Bu algoritmada projedeki sadece kritik aktivitelerinin kısaltma maliyetini dikkate alınmaktadır.Buna göre kritik yoldaki aktivilerin kısaltma maliyeti Çizlege 4.2 deki değerleregöre:

C Aktivitesi için 20 TL/ Gün ve F Aktivitesi için 20 TL/Gün dür.

Algoritma bunlar arasında en ucuzu aktiviteyi seçer ve bu aktivitenin maksimum hızlandırma sayısına bakarak eğer hızlandırma mümkün ise hızlandırır ve projenin Toplam Maliyet, Süre, Dolaylı ve Doğrudan maliyetleri, hızlanmadan doğan maliyet ve hızlanan aktiviteyi hesap cetveli uygulamasında aşağıdaki Çizelge 4.3 te gösterildiği gibi otomatik hesaplar. C ve F aktiviteleri sırasıyla birer gün hızlandırılmış.

Çizelge 4.3: Yapılan Hızlandırma.

Çözüm	Süre	Doğr. Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlan. Aktivite	Hızlan. Maliyeti
1	18	3800	1260	5060	Yok	Yok
2	17	3820	1190	5010	C	20
3	16	3840	1120	4960	F	20

Eğer projen süresi değişti ise ve hızlandırılmış aktivitenin maliyeti Günlük Gider maliyetten düşük veya eşit ise algoritma devam edilir.

F aktivitesinin hızlandırma sonucu kritik yol değişmektedir. E ve H aktiviteler de kritik olmuş ve her kritik aktivitenin hızlanma maliyetleri Çizelge 4.4 te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: Proje EOZi, GOZi,EOZj, GOZj, Toplam Bolluk ve Kısıltma Maliyetleri.

Akt.	Mal.	Süre	EOZi	GOZi	EOZj	GOZj	Top. Bolluk	Kısıltma Maliyeti
A	6	200	0	0	7	8	2	25
B	5	400	0	0	7	7	2	40
C	7	920	0	0	7	7	0	45
D	4	600	7	8	11	12	1	10
E	5	400	7	7	12	12	0	15
F	9	520	7	7	16	16	0	25
G	4	700	11	12	16	16	1	20
H	4	100	12	12	16	16	0	20

Bu aşamada C,F,E ve H aktivitelerinin kısıltma maliyetleri tekrardan hesap cetveli uygulamasında bakılır. Bunlar arasında en ucuz kısıltma maliyeti olan E aktivitesi 1 gün kısaltılır. Aşağıdaki Çizelge 4.5 te 4. Çözümde E aktivitesi kısıldığında proje süresinde değişiklik olmamıştır ve kritik aktiviler C 45 TL/Gün ve F 25 TL/Gün olarak hesaplanmış ve 5. Çözümde F aktivitesi 1 gün kısaltılmıştır. Burada F aktivitesi 3. Çözümde 1 gün hızlandırıldığı zaman Kısıltma maliyeti 20

TL/Gün olarak belirlenmiştik, F aktivitesi 5. Çözümde hızlandırdığı zaman kısaltma maliyet Çizlege göre 25 TL/Gün otomatik olarak algoritma tarafından seçilmiştir.

Çizelge 4.5: Yapılan Hızlandırma.

Çözüm	Süre	Doğr. Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlan. Maliyeti
1	18	3800	1260	5060	Yok	Yok
2	17	3820	1190	5010	C	20
3	16	3840	1120	4960	F	20
4	16	3855	1120	4975	E	15
5	15	3880	1050	4930	F	25

Proje Süresi değiştiğinden ve yapılan her iki hızlanmada hızlanma maliyetlerin toplamı (15+25), Günlük gider (70) küçük olduğu için hızlanma kabul edilmiş ve algoritmaya devam edilmiştir.

Kritik aktiviteler ve kısaltma maliyetleri Çizlege 4.6 de verilmiştir.

Çizelge 4.6: Proje EOZi, GOZi,EOZj, GOZj, Toplam Bolluk ve Kısaltma Maliyetleri.

Akt.	Maliyet	Süre	EOZi	GOZi	EOZj	GOZj	Top. Bolluk	Kısaltma Maliyetleri
A	6	200	0	0	7	7	1	25
B	5	400	0	0	7	7	2	40
C	7	920	0	0	7	7	0	20
D	4	600	7	7	11	11	0	10
E	4	415	7	7	11	11	0	15
F	8	545	7	7	15	15	0	20
G	4	700	11	11	15	15	0	20
H	4	100	11	11	15	15	0	20

Çizelge 4.7: Yapılan Hızlandırma.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlan. Aktivite	Hızlan. Maliyeti
1	18	3800	1260	5060	Yok	Yok
2	17	3820	1190	5010	C	20
3	16	3840	1120	4960	F	20
4	16	3855	1120	4975	E	15
5	15	3880	1050	4930	F	25

Çizelge 4.8 (devam) : Yapılan Hızlandırma.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlan. Aktivite	Hızlan. Maliyeti
6	15	3890	1050	4940	D	10
7	15	3910	1050	4960	H	20
8	14	3940	980	4920	F	30

6. ve 7. Çözümlerde proje süresi değişmemektedir ve 8. Çözümde proje süresi değişmiş ve hızlanma maliyetlerin toplamı (20 + 30), Günlük gider (70) TL/Günden az olduğu için devam edilmiş ve son hızlandırma sonuçları Çizelge 4.8 te gösterilmiştir.

Çizelge 4.9: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti	Optimum Maliyet	Optimum Süre
1	18	3800	1260	5060	Yok	Yok	4915	12
2	17	3820	1190	5010	C	20		
3	16	3840	1120	4960	F	20		
4	16	3855	1120	4975	E	15		
5	15	3880	1050	4930	F	25		
6	15	3890	1050	4940	D	10		
7	15	3910	1050	4960	H	20		
8	14	3940	980	4920	F	30		
9	14	3960	980	4940	G	20		
10	14	3985	980	4965	E	25		
11	13	4030	910	4940	C	45		
12	12	4075	840	4915	C	45		

Yapılan en son hızlandırmalarda 11. çözümde hızlanma maliyeti 45 TL/Gün ve ve 12. çözümde hızlanma maliyeti 45 TL/Gün olarak hesaplanmıştır.

Bu iki hızlanmanın toplam maliyeti günlük giderden (70 TL/Gün) büyük olduğu için algoritma daha hızlandırma yapmamaktır ve optimum süreyi 12 gün ve optimum maliyeti 4915 TL olarak hesaplanmaktadır.

5. VAKA ANALİZİ

Tezin bu bölümünde, önceden açıklanan bilgiler kullanılarak ve harmanlanarak bir kaynak dengeleme çalışması yapılmıştır. Literatürden derlenen; ve Projelerin ok diyagramları kritik yol metodu ile oluşturuldu.

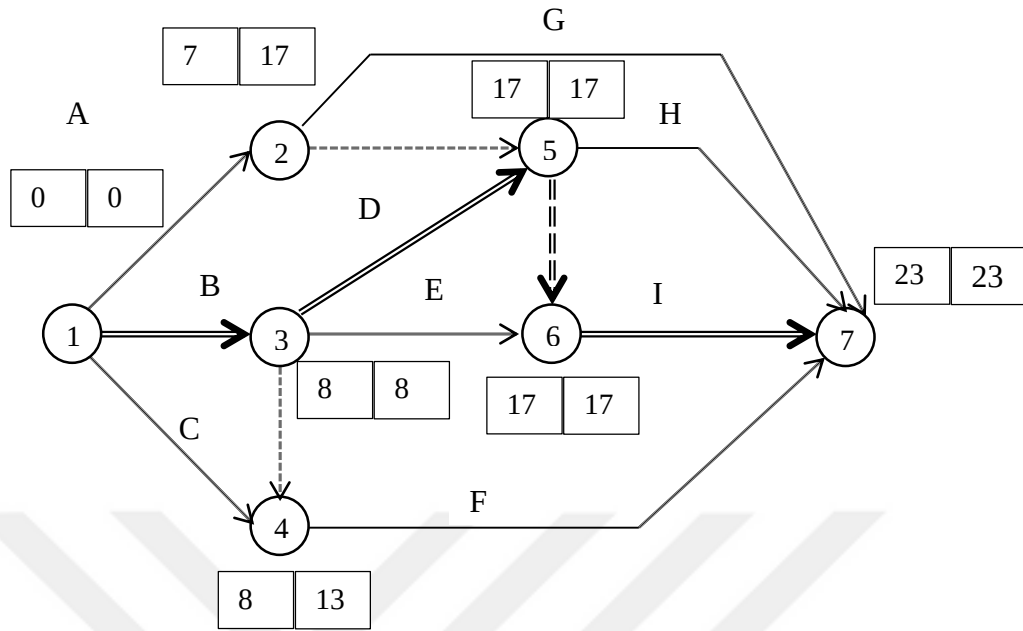
5.1. Vaka Analizi 1

9 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük hızlandırma maliyetleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Proje Normal Süre Ve Günlük Kısaltma Maliyetleri.

Aktivite	Öncel Aktivite	Normal		Günlük Hızlandırma Maliyeti		
		Süre	Maliyet	1 Gün	2 Gün	3 Gün
A	-	7	200	20	40	-
B	-	8	300	15	30	-
C	-	5	150	50	60	-
D	B	9	200	25	30	-
E	B	6	250	40	-	-
F	B,C	10	260	10	25	40
G	A	4	200	20	30	40
H	A,D	3	400	35	55	-
I	D,E	6	240	20	30	40

Şekil 5.1 de projenin şebeke diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.1: Proje Şebeke Diyagramı.

Çift oklarla gösterilen aktiviteler kritik aktivitelerdir. KYM kullanarak projenin EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.2 de verilmiştir

Çizelge 5.2: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.

Başlangıç Düğüm Noktası	Tamamlama Düğüm Noktası	Aktivite	Süre	Maliyet	EOZi	GOZi	EOZj	GOZj	Toplam Bolluk
1	2	A	7	200	0	0	7	17	10
1	3	B	8	300	0	0	8	8	0
1	4	C	5	150	0	0	8	13	8
3	5	D	9	200	8	8	17	17	0
3	6	E	6	250	8	8	17	17	3
4	7	F	10	260	8	13	23	23	10
2	7	G	4	200	7	17	23	23	12
5	7	H	3	400	17	17	23	23	3
6	7	I	6	240	17	17	23	23	0

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 23 gün, Toplam Maliyet 3350 olarak hesaplanmıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan B,D,I aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.3 te verilmiştir.

Çizelge 5.3: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti	Optimum Maliyet	Optimum Süre
1	23	2200	1150	3350	Yok	Yok	3190	16
2	22	2215	1100	3315	B	15		
3	21	2235	1050	3285	I	20		
4	20	2260	1000	3260	D	25		
5	19	2290	950	3240	B	30		
6	18	2320	900	3220	D	30		
7	17	2350	850	3200	I	30		
8	16	2390	800	3190	I	40		

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 3190 ve Optimum Süreyi 16 gün olarak hesaplamıştır.

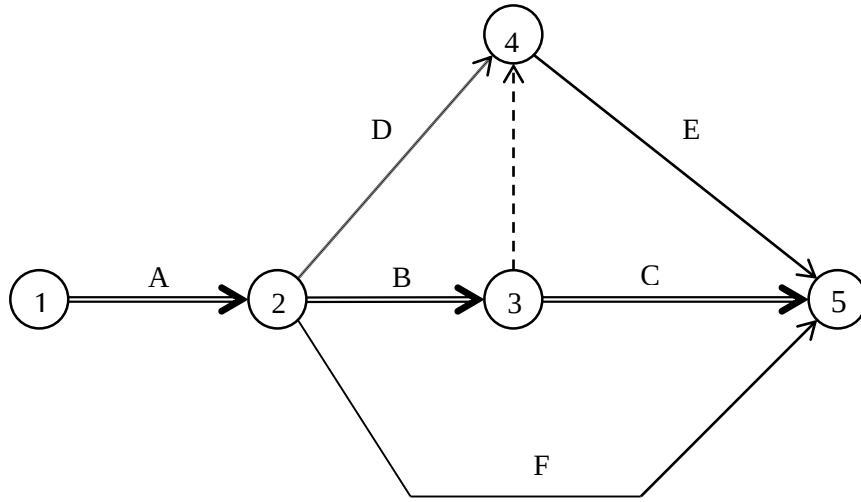
5.2. Vaka Analizi 2

6 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 5.4 de verilmiştir.

Çizelge 5.4: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Normal			
Aktivite	Süre	Maliyet	Maliyet Eğrisi TL/gün
A	4	200	40
B	5	1100	50
C	3	800	100
D	5	400	25
E	3	500	75
F	3	1100	20

Şekil 5.2 de projenin ok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.2: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanılarak projenin erken EOZ_i, GOZ_i, EOZ_j, GOZ_j ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.5 de verilmiştir.

Çizelge 5.5: Proje EOZ_i, GOZ_i, EOZ_j, GOZ_j ve Toplam Bolluk.

Baş. DN.	Tam DN.	Akt.	Süre	Mal.	EOZ _i	GOZ _i	EOZ _j	GOZ _j	Top. Bolluk
1	2	A	6	120	0	0	6	6	0
2	3	B	10	1000	6	6	16	16	0
3	5	C	10	400	16	16	26	26	0
2	4	D	13	300	6	6	19	22	3
4	5	E	4	500	19	22	26	26	3
2	5	F	19	1000	6	6	26	26	1

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 10 gün, Toplam Maliyet 3250 olarak hesaplamıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan B,D aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir. Günlük gider 75 olarak verilmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Yapılan Hızlandırmalar Ve Sonuç

Çözüm	Süre	Doğ. Maliyet	Dol. Maliyet	Top. Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti	Opt. Maliyet	Opt. Süre
1	26	3320	1950	5270	Yok	0	5170	22
2	25	3360	1875	5235	A	40		
3	24	3400	1800	5200	A	40		
4	23	3450	1725	5175	B	50		
5	23	3470	1725	5195	F	20		
6	22	3520	1650	5170	B	50		

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 5170 ve Optimum Süreyi 22 gün olarak hesaplamıştır.

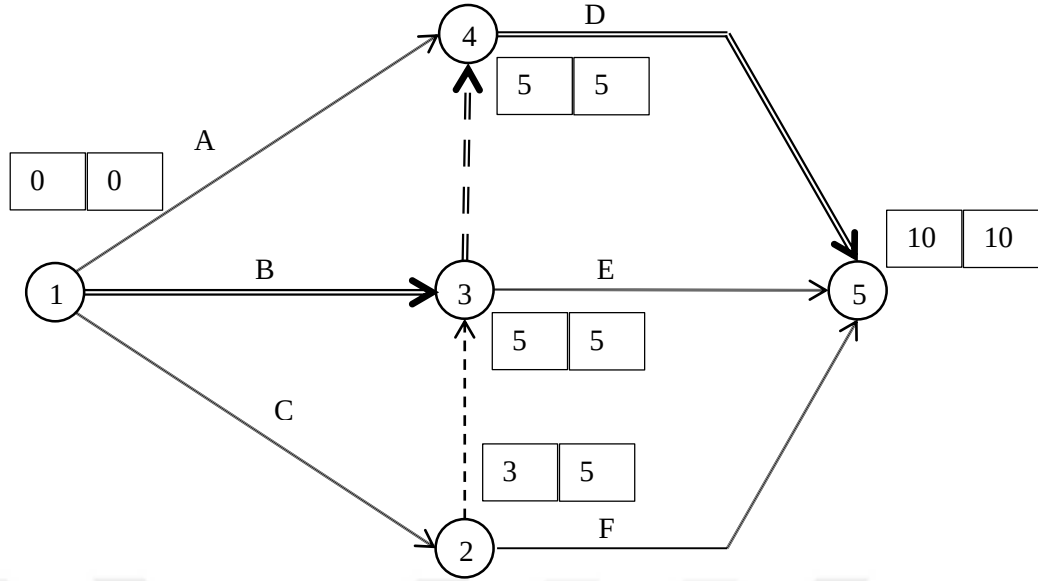
5.3. Vaka Analizi 3

6 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 5.7 de verilmiştir.

Çizelge 5.7: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Aktivite	Normal Süre	Günlük Kısaltma Maliyeti		
		1 Gün	2 Gün	3 Gün
A	4	10	15	-
B	5	30	30	30
C	3	45	60	-
D	5	20	25	40
E	3	-	-	-
F	3	5	15	-

Şekil 5.3 de projenin ok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.3: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanarak projenin erken EOZ_i, GOZ_i, EOZ_j, GOZ_j ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.8 de verilmiştir.

Çizelge 5.8: Proje EOZ_i, GOZ_i, EOZ_j, GOZ_j ve Toplam Bolluk.

Baş DN	Tam. DN.	Akt.	Süre	EOZ _i	GOZ _i	EOZ _j	GOZ _j	Toplam Bolluk
1	4	A	4	0	0	5	5	1
1	3	B	5	0	0	5	5	0
1	2	C	3	0	0	3	5	2
4	5	D	5	5	5	10	10	0
3	5	E	3	5	5	10	10	2
2	5	F	3	3	5	10	10	4

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 10 gün, Toplam Maliyet 3250 olarak hesaplanmıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan B,D aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir. Günlük gider 45 olarak verilmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.9 te verilmiştir.

Çizelge 5.9: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Yapılan Hızlandırmalar Ve Sonuç								
Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti	Optimum Maliyet	Optimum Süre
1	10	2800	450	3250	Yok	Yok	3185	6
2	9	2820	405	3225	D	20		
3	8	2845	360	3205	D	25		
4	7	2875	315	3190	B	30		
5	7	2885	315	3200	A	10		
6	6	2915	270	3185	B	30		
7	6	2920	270	3190	F	5		
8	6	2935	270	3205	A	15		
9	6	2965	270	3235	B	30		
10	6	3005	270	3275	D	40		
11	5	3050	225	3275	C	45		

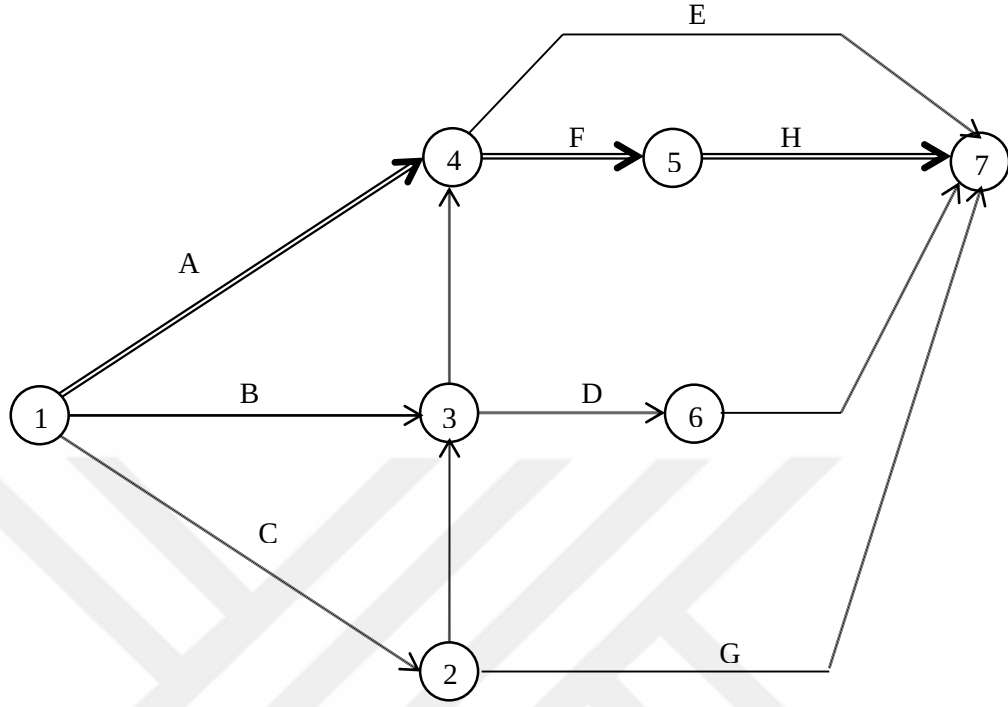
5.4. Vaka Analizi 4

9 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 5.10 te verilmiştir.

Çizelge 5.10: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Günlük Kısaltma						
	Normal		Maliyeti			
Aktivite	Süre	Maliyet	1 Gün	2 Gün	3 Gün	4 Gün
A	6	2500	50	60	60	-
B	5	2000	40	50	-	-
C	4	1800	40	50	-	-
D	6	3000	30	30	40	-
E	9	4000	30	30	30	-
F	8	3500	80	110	-	-
G	10	4000	20	20	20	-
H	5	2500	10	10	30	50
I	4	2000	30	60	80	-

Şekil 5.4 de projenin ok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.4: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanılarak projenin EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.11 de verilmiştir.

Çizelge 5.11: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.

Baş. DN.	Ta. DN.	Akt.	Süre	Maliyet	EOZi	GOZi	EOZj	GOZj	Top Bol
1	4	A	6	2500	0	0	6	6	0
1	3	B	5	2000	0	0	5	6	1
1	2	C	4	1800	0	0	4	6	2
3	6	D	6	3000	5	6	14	15	4
4	7	E	9	4000	6	6	19	19	4
4	5	F	8	3500	6	6	14	14	0
2	7	G	10	4000	4	6	19	19	5
5	7	H	5	2500	14	14	19	19	0
6	7	I	4	2000	14	15	19	19	1

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 19 gün, Toplam Maliyet 27580 olarak hesaplamıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan A, F, H aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir. Günlük gider 120 olarak verilmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.12 te verilmiştir.

Çizelge 5.12: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Yapılan Hızlandırmalar Ve Sonuç								
Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti	Optimum Maliyet	Optimum Süre
1	19	25300	2280	27580	Yok	Yok	27330	15
2	18	25310	2160	27470	H	10		
3	18	25320	2160	27480	H	10		
4	17	25350	2040	27390	I	30		
5	17	25380	2040	27420	H	30		
6	16	25430	1920	27350	A	50		
7	16	25470	1920	27390	B	40		
8	15	25530	1800	27330	A	60		

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 27330 ve Optimum Süreyi 15 gün olarak hesaplamıştır.

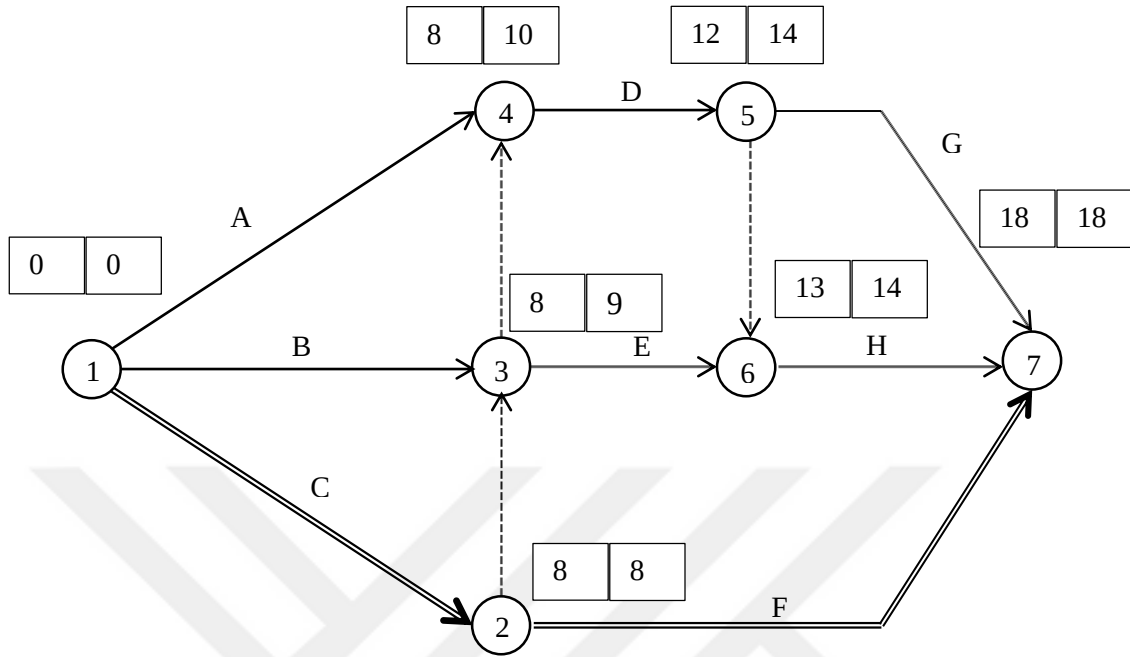
5.5. Vaka Analizi 5

8 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 5.13 de verilmiştir.

Çizelge 5.13: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Günlük Kısaltma					
Aktivite	Normal	Maliyeti			
	Süre	1 Gün	2 Gün	3 Gün	4 Gün
A	6	25	-	-	-
B	5	40	40	-	-
C	8	20	45	45	50
D	4	10	30	45	-
E	5	15	25	-	-
F	10	20	25	30	60
G	4	20	30	-	-
H	4	20	30	-	-

Şekil 5.5 de projenin ok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.5: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanarak projenin erken EOZ_i, GOZ_i, EOZ_j, GOZ_j ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.14 de verilmiştir

Çizelge 5.14: Proje EOZ_i, GOZ_i, EOZ_j, GOZ_j ve Toplam Bolluk.

Baş. DN.	Tam. DN.	Akt.	Süre	EOZ _i	GOZ _i	EOZ _j	GOZ _j	Toplam Bolluk
1	4	A	6	0	0	8	10	4
1	3	B	5	0	0	8	9	4
1	2	C	8	0	0	8	8	0
4	5	D	4	8	10	12	14	2
3	6	E	5	8	9	13	14	1
2	7	F	10	8	8	18	18	0
5	7	G	4	12	14	18	18	2
6	7	H	4	13	14	18	18	1

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 18 gün, Toplam Maliyet 4960 olarak hesaplamıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan C ve F aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir. Günlük gider 120 olarak verilmiştir. Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi,

Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.15 te verilmiştir.

Çizelge 5.15: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Yapılan Hızlandırmalar Ve Sonuç

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti	Optimum Maliyet	Optimum Süre
1	18	3800	1160	4960	Yok	Yok	4890	15
2	17	3820	0	4930	C	20		
3	16	3840	0	4900	F	20		
4	16	3855	0	4915	E	15		
5	15	3880	0	4890	F	25		

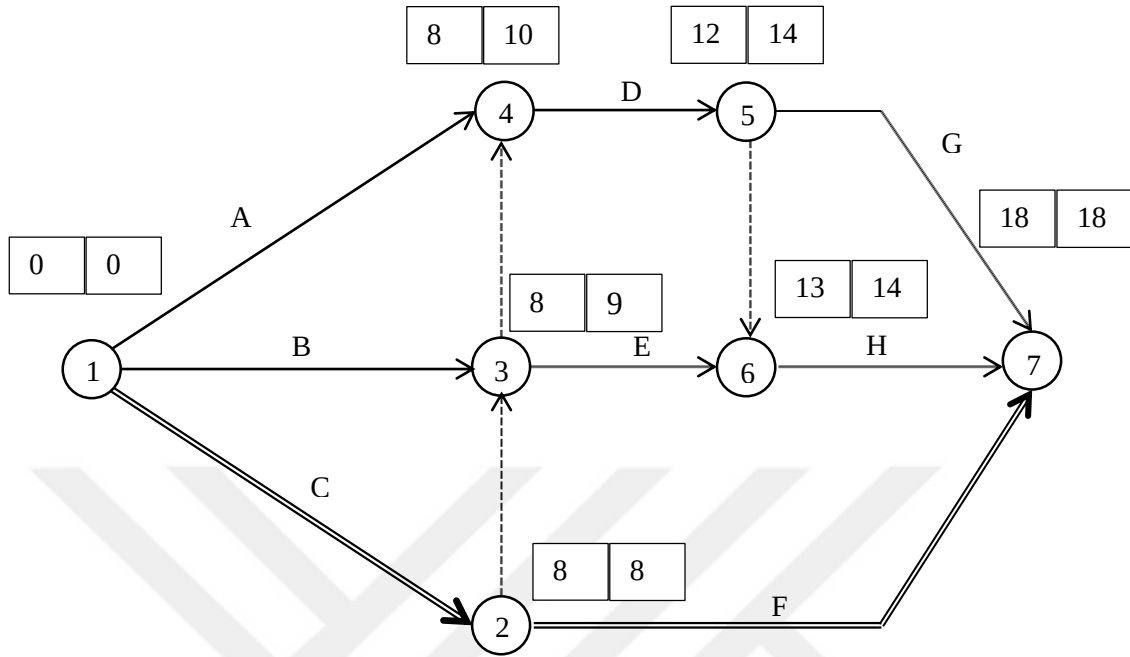
5.6. Vaka Analizi 7

8 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 5.16 de verilmiştir.

Çizelge 5.16: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Aktivite	Normal		Günlük Kısaltma Maliyeti			
	Süre	Maliyet	1 Gün	2 Gün	3 Gün	4 Gün
A	6	200	25	-	-	-
B	5	400	40	40	-	-
C	8	900	20	45	45	50
D	4	600	10	30	45	-
E	5	400	15	25	-	-
F	10	500	20	25	30	60
G	4	700	20	30	-	-
H	4	100	20	30	-	-

Şekil 5.6 de projenin ok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.6: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanarak projenin erken EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.17 de verilmiştir.

Çizelge 5.17: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.

Baş. DN.	Tam . DN.	Akt.	Süre	Mal.	EOZi	GOZ i	EOZ j	GOZ j	Top Bolluk
1	4	A	6	200	0	0	8	10	4
1	3	B	5	400	0	0	8	9	4
1	2	C	8	900	0	0	8	8	0
4	5	D	4	600	8	10	12	14	2
3	6	E	5	400	8	9	13	14	1
2	7	F	10	500	8	8	18	18	0
5	7	G	4	700	12	14	18	18	2
6	7	H	4	100	13	14	18	18	1

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 18 gün, Toplam Maliyet 5060 olarak hesaplamıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan C ve F aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir. Günlük genel gider 70 olarak verilmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.18 te verilmiştir.

Çizelge 5.18: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dol. Mal.	Topl. Mal.	Hızla. Aktivite	Hızlan. Maliyeti	Opti. Maliyet	Optim. Süre
1	18	3800	1260	5060	Yok	Yok	4915	12
2	17	3820	1190	5010	C	20		
3	16	3840	1120	4960	F	20		
4	16	3855	1120	4975	E	15		
5	15	3880	1050	4930	F	25		
6	15	3890	1050	4940	D	10		
7	15	3910	1050	4960	H	20		
8	14	3940	980	4920	F	30		
9	14	3960	980	4940	G	20		
10	14	3985	980	4965	E	25		
11	13	4030	910	4940	C	45		
12	12	4075	840	4915	C	45		

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 4915 ve Optimum Süreyi 12 gün olarak hesaplamıştır.

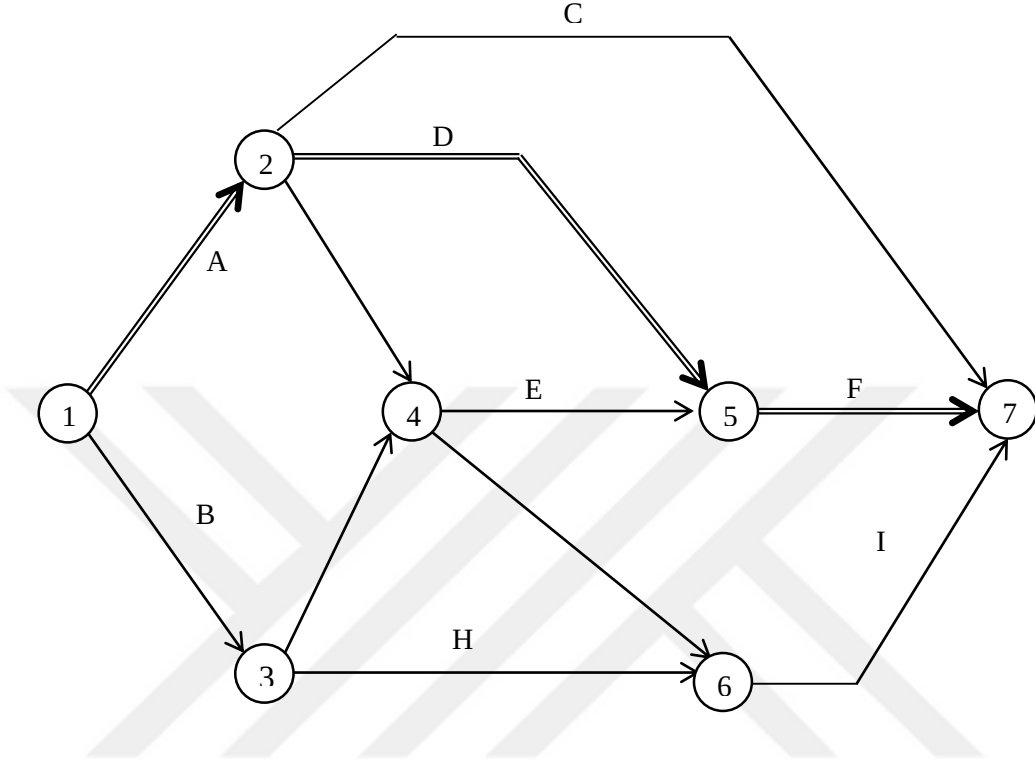
5.7. Vaka Analizi 8

9 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 5.19 de verilmiştir.

Çizelge 5.19: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Aktivite	Normal Süre	Günlük Kısaltma Maliyeti			
		1 Gün	2 Gün	3 Gün	4 Gün
A	7	40	50	110	-
B	6	45	50	-	-
C	10	5	10	25	30
D	6	20	25	35	-
E	4	15	35	-	-
F	6	15	30	40	-
G	5	10	15	25	40
H	7	20	30	-	-
I	5	20	30	45	-

Şekil 5.7 de projenin ok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.7: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanarak projenin erken EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.20 de verilmiştir.

Çizelge 5.20: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.

Baş. DN.	Tam. DN.	Akt.	Süre	EOZi	GOZi	EOZj	GOZj	Toplam Bolluk
1	2	A	7	0	0	7	7	0
1	3	B	6	0	0	6	7	1
2	7	C	10	7	7	19	19	2
2	5	D	6	7	7	13	13	0
4	5	E	4	7	9	13	13	2
5	7	F	6	13	13	19	19	0
4	6	G	5	7	9	13	14	2
3	6	H	7	6	7	13	14	1
6	7	I	5	13	14	19	19	1

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 19 gün, Toplam Maliyet 11000 olarak hesaplanmıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan B ve D aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir. Günlük gider 90 olarak verilmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.21 te verilmiştir.

Çizelge 5.21: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğr. Maliyet	Dol. Mal.	Topl. Mal.	Hızla. Aktivite	Hızlan. Maliyeti	Opt. Maliyet	Optimum Süre
1	19	9290	1710	11000	Yok	Yok	10805	14
2	18	9305	1620	10925	F	15		
3	18	9325	1620	10945	D	20		
4	17	9345	1530	10875	H	20		
5	17	9350	1530	10880	C	5		
6	17	9360	1530	10890	G	10		
7	17	9360	1530	10890	I	20		
8	16	9385	1440	10825	D	25		
9	16	9395	1440	10835	C	10		
10	16	9410	1440	10850	E	15		
11	16	9440	1440	10880	F	30		
12	15	9470	1350	10820	H	30		
13	15	9485	1350	10835	G	15		
14	15	9510	1350	10860	C	25		
15	15	9510	1350	10860	I	30		
16	14	9545	1260	10805	D	35		

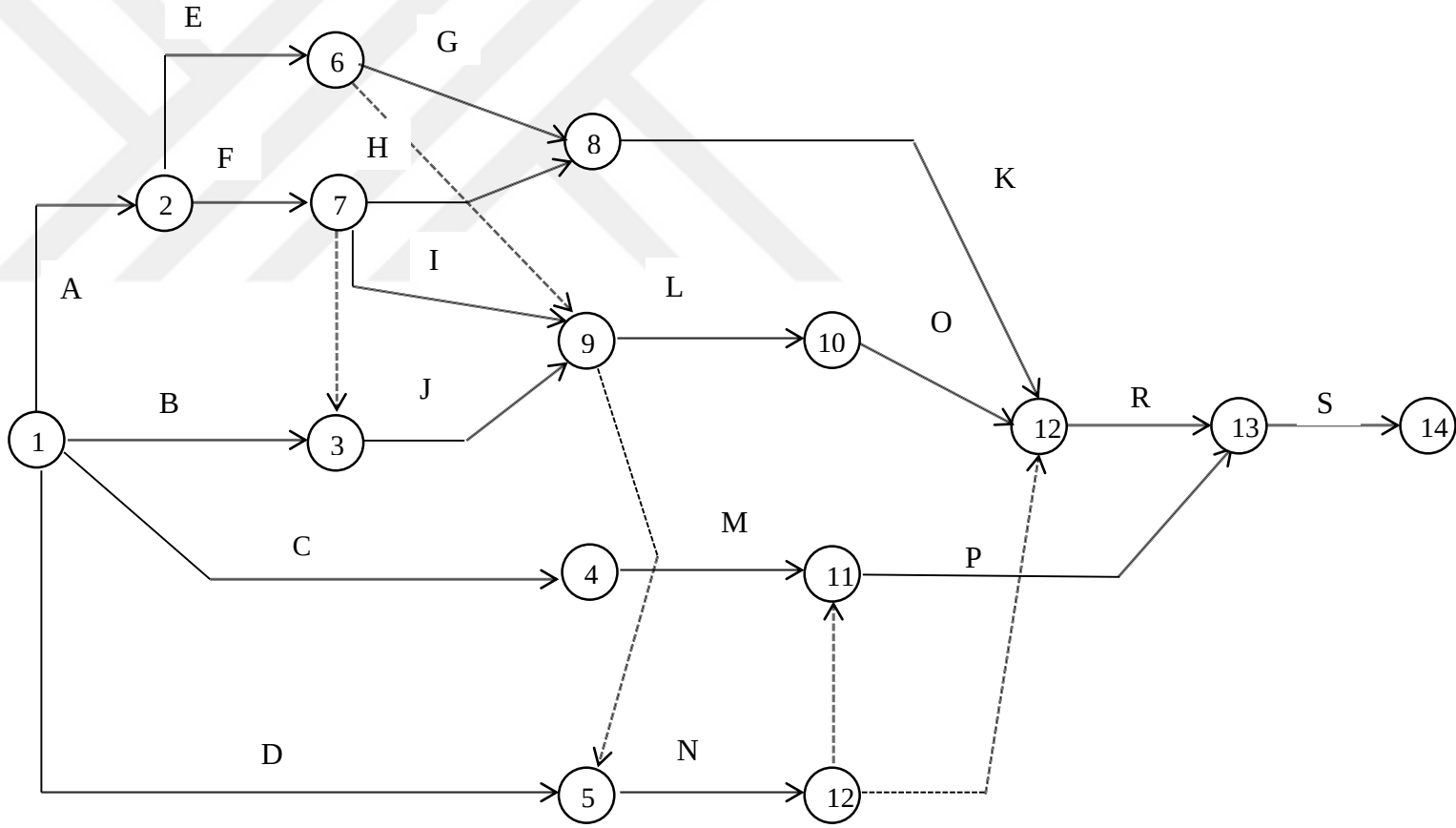
5.8. Vaka Analizi 9

18 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 5.22 de verilmiştir.

18 aktivite projesinin ilk kısmı, geç tamamlama için herhangi bir ceza veya ödül olmaksızın günlük 200 \$ dolaylı maliyetten oluşmaktadır. İkinci kısım, 200 \$ günlük dolaylı maliyetin yanı sıra 110 gün hedefinden önce erken proje tamamlama için günlük 1000 \$ ödül ve geç tamamlama süresi ve ardından 110 gün hedef için 20000 \$ günlük cezadan oluşmaktadır.

Çizelge 5.22: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Aktivite	Normal		Hızlandırma 1		Hızlandırma 2		Hızlandırma 3		Hızlandırma 4	
	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet
A	24	1200	21	1500	16	1900	15	2150	14	2400
B	25	1000	23	1500	20	1800	18	2400	15	3000
C	33	3200	22	4000	15	4500	-	-	-	-
D	20	30000	16	35000	12	45000	-	-	-	-
E	30	10000	28	15000	24	17500	22	20000	-	-
F	24	18000	18	32000	14	40000	-	-	-	-
G	18	22000	15	24000	9	30000	-	-	-	-
H	24	120	21	208	16	200	15	215	14	220
I	25	100	23	150	20	180	18	240	15	300
J	33	320	22	400	15	450	-	-	-	-
K	20	300	16	350	12	450	-	-	-	-
L	30	1000	28	1500	24	1750	22	2000	-	-
M	24	1800	18	3200	14	4000	-	-	-	-
N	18	2200	15	2400	9	3000	-	-	-	-
O	16	3500	12	4500	-	-	-	-	-	-
P	30	1000	28	1500	24	1750	22	2000	20	3000
R	24	1800	18	3200	14	4000	-	-	-	-
S	18	2200	15	2400	9	3000	-	-	-	-



Şekil 5.8: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanarak projenin erken EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.23 de verilmiştir.

Çizelge 5.23: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.

Baş. DN.	Ta. DN.	Akt.	Maliyet	Süre	EOZi	GOZi	EOZj	GOZj	Topl. Bolluk
1	2	A	24	1200	0	0	24	24	0
1	3	B	25	1000	0	0	48	48	23
1	4	C	33	3200	0	0	33	97	64
1	5	D	20	3000 0	0	0	81	103	83
2	6	E	30	1000 0	24	24	54	81	27
2	7	F	24	1800 0	24	24	48	48	0
3	9	G	18	2200 0	48	48	81	81	15
7	8	H	24	120	48	48	72	107	35
7	9	I	25	100	48	48	81	81	8
3	9	J	33	320	48	48	81	81	0
8	13	K	20	300	72	107	127	127	35
9	10	L	30	1000	81	81	111	111	0
4	11	M	24	1800	33	97	99	121	64
5	12	N	18	2200	81	103	99	121	22
10	13	O	16	3500	111	111	127	127	0
11	14	P	30	1000	99	121	151	151	22
13	14	R	24	1800	127	127	151	151	0
14	15	S	18	2200	151	151	169	169	0

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 169 gün, Toplam Maliyet 133540 olarak hesaplamıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan B ve D aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.24'te verilmiştir.

Çizelge 5.24: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Yapılan Hızlandırmalar Ve Sonuç								
Çözüm	Sü.	Doğr. Maliyet	Dolaylı Mal.	Top. Mal.	Hızlan. Aktivite	Hızlan. Maliyeti	Opt. Maliyet	Opt. Süre
1	169	99740	33800	133540	Yok	0	128970	140
2	161	99820	32200	132020	J	80		
3	159	99870	31800	131670	I	50		
4	158	99900	31600	131500	I	30		
5	156	99950	31200	131150	J	50		
6	154	100010	30800	130810	I	60		
7	151	100070	30200	130270	I	60		
8	148	100270	29600	129870	S	200		
9	145	100570	29000	129570	A	300		
10	140	100970	28000	128970	A	405		

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 128970 ve Optimum Süreyi 140gün olarak hesaplamıştır.

Proje 9 Erken Bitirme Ödül ve Ceza Durumu

İkinci kısım, 200 \$ günlük dolaylı maliyetin yanı sıra 110 gün hedefinden önce erken proje tamamlama için günlük 1000 \$ ödül ve geç tamamlama süresi ve ardından 110 gün hedef için 20000 \$ günlük cezadan oluşmaktadır.

Çizelge 5.25: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti
1	169	1213800	1213800	2427600	Yok	0
2	161	99820	1052200	1152020	J	80
3	159	99870	1011800	1111670	I	50
4	158	99900	991600	1091500	I	30
5	156	99950	951200	1051150	J	50
6	154	100010	910800	1010810	I	60
7	151	100070	850200	950270	I	60

Çizelge 5.26 (devam) : Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti
8	148	100270	789600	889870	S	200
9	145	100570	729000	829570	A	300
10	140	100970	628000	728970	A	405
11	139	101220	607800	709020	A	245
12	138	101470	587600	689070	A	250
13	136	101970	547200	649170	L	500
14	132	102220	466400	568620	L	250
15	130	102470	426000	528470	L	250
16	124	103070	304800	407870	S	600
17	120	104070	224000	328070	O	1000
18	114	105470	102800	208270	R	1400
19	110	106270	22000	128270	R	800

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 128270 ve Optimum Süreyi 110 gün olarak hesaplamıştır.

5.9. Vaka Analizi 10

18 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 5.26 de verilmiştir.

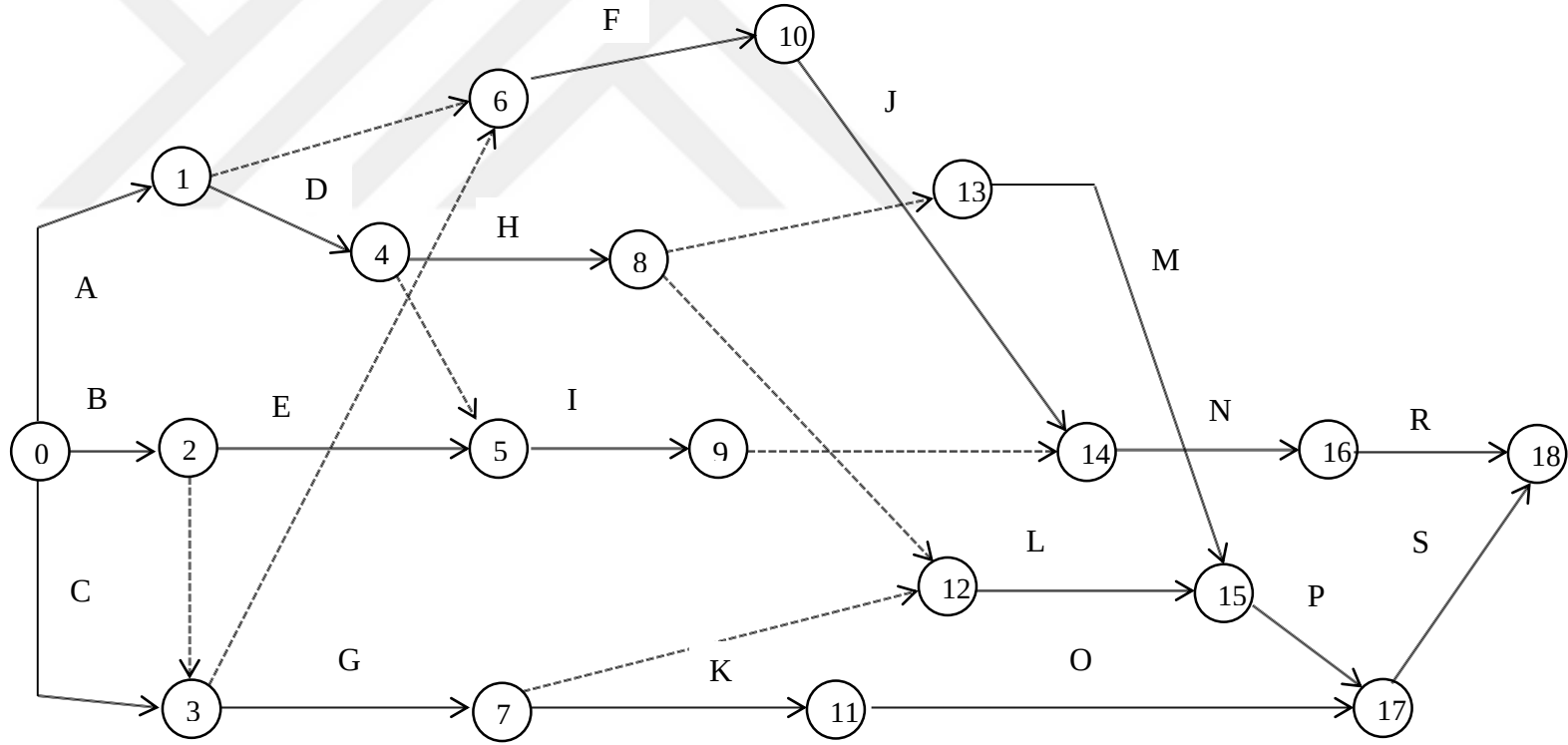
Çizelge 5.27: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Aktivite	Normal		Hızlandırma 1		Hızlandırma 2		Hızlandırma 3	
	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet
A	5	15000	4	15250	3	15600		
B	7	20000	6	20500	5	21000	4	21650
C	6	17500	5	17800	4	18200	3	18800
D	8	10000	7	10250	6	10500	5	10900
E	7	6000	6	6100	5	6250	4	6500
G	9	25000	8	25500	7	26000	6	26750
F	10	30000	9	31000	8	32000	7	33000
H	8	25000	7	25400	6	26000	5	26750
I	7	17000	6	17250	5	17550	4	18000
K	7	28000	6	28500	5	29000	4	29750
J	9	40000	8	41000	7	42000	6	43000
O	9	20000	8	20500	7	21000	6	22000
L	8	50000	7	52000	6	54000	5	56000
M	10	100000	9	102000	8	105000	7	110000
N	7	35000	6	36000	5	37000	4	38000
P	8	32000	7	32500	6	33000	5	34500

Çizelge 5.28 (devam) : Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Aktivite	Normal		Hızlandırma 1		Hızlandırma 2		Hızlandırma 3	
	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet
R	10	55000	9	56000	8	57000	7	58500
S	9	27000	8	28000	7	29000	6	30500





Şekil 5.9: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanarak projenin erken EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.27 de verilmiştir.

Çizelge 5.29: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.

Baş. DN.	Tam . DN.	Akt .	Maliyet	Süre	EOZi	GOZi	EOZ j	GOZ j	Toplam Bolluk
0	1	A	5	15000	0	0	5	5	0
0	2	B	7	20000	0	0	7	7	0
0	3	C	6	17500	0	0	7	12	6
1	4	D	8	10000	5	5	13	13	0
2	5	E	7	6000	7	7	14	14	0
3	7	G	9	25000	7	12	16	23	7
6	10	F	10	30000	7	12	17	22	5
4	8	H	8	25000	13	13	21	21	0
5	9	I	7	17000	14	14	21	21	0
7	11	K	7	28000	16	23	23	30	7
10	14	J	9	40000	17	22	26	31	5
11	17	O	9	20000	23	30	39	39	7
12	15	L	8	50000	21	23	31	31	2
13	15	M	10	1E+05	21	21	31	31	0
14	16	N	7	35000	26	31	33	38	5
15	17	P	8	32000	31	31	39	39	0
16	18	R	10	55000	33	38	48	48	5
17	18	S	9	27000	39	39	48	48	0

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 48 gün, Toplam Maliyet 576500 olarak hesaplamıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan A, B, D, E, H, I, M, P ve S aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.30: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti
1	48	552500	24000	576500	Yok	0
2	48	552600	24000	576600	E	100
3	47	552850	23500	576350	A	250
4	47	553000	23500	576500	E	150
5	46	553250	23000	576250	D	250

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 576250 ve Optimum Süreyi 46 gün olarak hesaplamıştır.

5.11. Vaka Analizi 11

30 Aktiviteli projeye ait normal süre ve maliyet, Günlük kısaltma maliyetleri Çizelge 2 de verilmiştir. 30 aktivite projesi herhangi bir ceza veya ödül olmaksızın günlük 750 \$ dolaylı maliyetten oluşmakta ve buna göre minimum toplam proje maliyeti hedeflenmektedir. İkinci kısım, günlük 750 \$ dolaylı maliyetten oluşur ve 85 günden erken tamamlama proje süresi için günlük 2000 \$ ödül uygular.

Yukarıda belirtilen problemlerde olası zamanlama alternatiflerinin sayısı çok fazladır. 30 aktiviteli projede, 28 aktivitenin 7 farklı yapım alternatifleri ve 2 aktivitelerin 6 yapım alternatifleri mevcuttur. 30 faaliyetlik proje için olası yapım alternatiflerinin toplam sayısı şu şekilde hesaplanabilir; $28^7 \cdot 2^6 = 863547.424768$ Milyar.

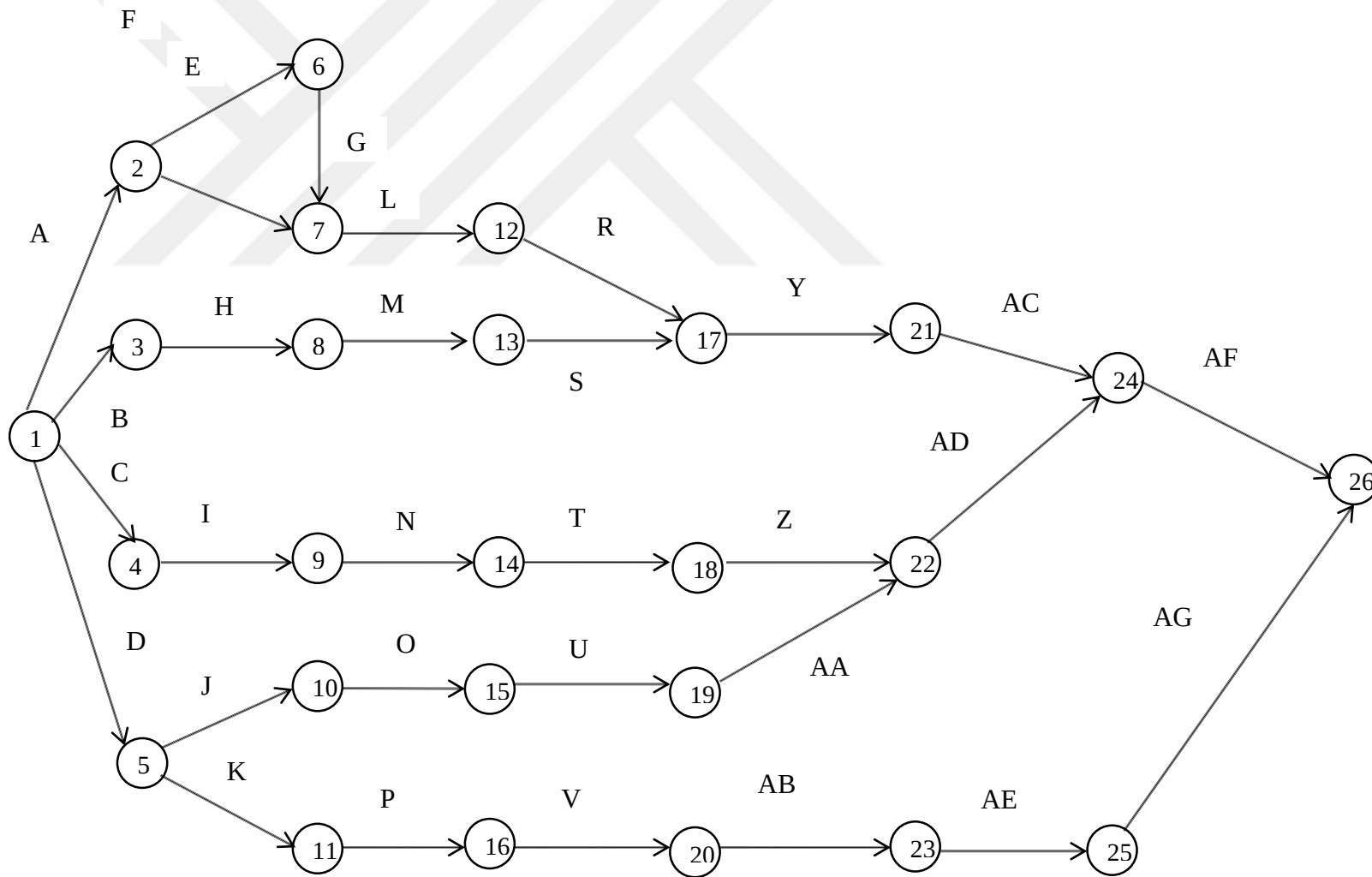
Çizelge 5.31: Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Aktivite	Hızlandırma Maliyetleri													
	Normal		Hızlandırma 1		Hızlandırma 2		Hızlandırma 4		Hızlandırma 5		Hızlandırma 6		Hızlandırma 7	
	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet
A	15	10000	14	10300	13	10400	12	10500	11	11000	10	11100	9	11250
B	14	7500	13	7800	12	8000	11	8200	10	8500	9	9000	8	9150
C	13	9500	12	9600	11	9700	10	9800	9	10200	8	10650	7	11250
D	12	8000	11	8300	10	8700	9	9100	8	9200	7	9300	6	9450
E	11	12500	10	12800	9	13300	8	13500	7	13600	6	13800	5	14550
F	14	17500	13	18100	12	18600	11	19100	10	19900	9	20550	8	21450
G	13	16500	12	16900	11	17400	10	17500	9	17900	8	18450	7	19350
H	12	15000	11	15500	10	15800	9	16200	8	16400	7	16500	6	17250
I	11	10000	10	10300	9	10600	8	10800	7	11100	6	11250	5	11700
J	14	15000	13	15100	12	15700	11	16100	10	16200	9	16950	8	17250
K	13	20000	12	20300	11	20400	10	20600	9	21100	8	21300	7	22200
L	12	25000	11	25100	10	25300	9	25600	8	26900	7	28050	6	28200
M	11	10000	10	10100	9	10200	8	10300	7	10600	6	10650	5	10800
N	10	16000	9	16100	8	16800	7	17000	6	17400	5	18150	4	18600
O	12	18000	11	18400	10	19100	9	19500	8	20200	7	20550	6	21450
P	13	12500	12	12800	11	13200	10	13300	9	13500	8	13650	7	13950
R	14	15000	13	15500	12	15600	11	15700	10	15900	9	16200	8	16800
S	12	5000	11	5100	10	5200	9	5300	8	5400	7	5550	6	5850
T	14	25000	13	25300	12	25600	11	26600	10	27100	9	27300	8	27600
U	13	12500	12	13000	11	13400	10	13900	9	14300	8	14550	7	14850
V	15	16000	14	16500	13	17000	12	17500	11	18300	10	19200	9	19500
Y	17	14500	16	14600	15	15100	14	15700	13	16500	12	16650	11	17100
Z	11	19250	10	19400	9	20100	8	20600	7	21400	6	22350	5	22800

Çizelge 5.32 (devam) : Proje Süre, Maliyet ve Hızlandırma Maliyetleri.

Aktivite	Hızlandırma Maliyetleri		Hızlandırma Maliyetleri		Hızlandırma Maliyetleri		Hızlandırma Maliyetleri		Hızlandırma Maliyetleri		Hızlandırma Maliyetleri		Hızlandırma Maliyetleri	
	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet
AA	12	23000	11	23600	10	23900	9	24100	8	24900	7	25350	6	25950
AB	9	12000	8	12400	7	12800	6	13000	5	13100	4	13500		
AC	15	8000	14	8100	13	8300	12	8400	11	8900	10	9150	9	9450
AD	14	7500	13	7800	12	7900	11	8000	10	8100	9	8250	8	8550
AE	18	9000	17	9100	16	9400	15	9800	14	10300	13	10800	12	11100
AF	15	8000	14	8100	13	8300	12	8500	11	8800	10	9000	9	9450
AG	9	10000	8	10400	7	10700	6	10800	5	10900	4	11100		

Şekil 11 de proje diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.10: Proje Şebeke Diyagramı.

KYM kullanarak projenin EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.30 de verilmiştir.

Çizelge 5.33: Proje EOZi, GOZi, EOZj, GOZj ve Toplam Bolluk.

Baş. DN.	Tam. DN.	Akt.	Maliyet	Süre	EOZi	GOZi	EOZj	GOZj	Toplam Bolluk
1	2	A	15	10000	0	0	15	15	0
1	3	B	14	7500	0	0	14	30	16
1	4	C	13	9500	0	0	13	37	24
1	5	D	12	8000	0	0	12	32	20
2	6	E	11	12500	15	15	26	26	0
2	7	F	14	17500	15	15	39	39	10
6	7	G	13	16500	26	26	39	39	0
3	8	H	12	15000	14	30	26	42	16
4	9	I	11	10000	13	37	24	48	24
5	10	J	14	15000	12	32	26	46	20
5	11	K	13	20000	12	32	25	48	23
7	12	L	12	25000	39	39	51	51	0
8	13	M	11	10000	26	42	37	53	16
9	14	N	10	16000	24	48	34	58	24
10	15	O	12	18000	26	46	38	58	20
11	16	P	13	12500	25	48	38	61	23
12	17	R	14	15000	51	51	65	65	0
13	17	S	12	5000	37	53	65	65	16
14	18	T	14	25000	34	58	48	72	24
15	19	U	13	12500	38	58	51	71	20
16	20	V	15	16000	38	61	53	76	23
17	21	Y	17	14500	65	65	82	82	0
18	22	Z	11	19250	48	72	63	83	24
19	22	AA	12	23000	51	71	63	83	20
20	23	AB	9	12000	53	76	62	85	23
21	24	AC	15	8000	82	82	97	97	0
22	24	AD	14	7500	63	83	97	97	20
23	25	AE	18	9000	62	85	80	103	23
24	26	AF	15	8000	97	97	112	112	0
25	26	AG	9	10000	80	103	112	112	23

Hızlandırma yapmadan Projenin Normal Süresi 112 gün, Toplam Maliyet 491750 olarak hesaplamıştır. Toplam Bolluğu sıfır olan A,E,G,L,R,Y,AC ve AF aktiviteleri kritik aktivite olarak belirlenmiştir.

Hesap cetveli programında yazılan makro ile oluşturulan algoritma çalıştırdığında projenin kaç çözüm sayısında proje süresi, Doğrudan Maliyet, Dolaylı Maliyet, Toplam Maliyet, her çözümde Hızlandırılmış aktivite ve hızlanma maliyeti ile Optimum Maliyet ve Optimum Süre değerleri hesaplanmış ve çizelge 5.31 te verilmiştir.

Çizelge 5.34: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti
1	112	407750	84000	491750	Yok	0
2	111	407850	83250	491100	L	100
3	110	407950	82500	490450	Y	100
4	109	408050	81750	489800	AC	100
5	108	408150	81000	489150	AF	100
6	107	408350	80250	488600	L	200
7	106	408550	79500	488050	AC	200
8	105	408650	78750	487400	AC	100
9	104	408850	78000	486850	AF	200
10	103	409050	77250	486300	AF	200
11	102	409350	76500	485850	A	300
12	101	409450	75750	485200	A	100
13	100	409550	75000	484550	A	100
14	99	409850	74250	484100	E	300
15	98	410150	73500	483650	L	300
16	97	410450	72750	483200	AF	300
17	96	410650	72000	482650	AF	200
18	95	411050	71250	482300	G	400
19	94	411500	70500	482000	AF	450
20	93	412000	69750	481750	A	500
21	92	412100	69000	481100	A	100
22	91	412250	68250	480500	A	150
23	90	412750	67500	480250	E	500
24	89	412950	66750	479700	E	200
25	89	413050	66750	479800	E	100
26	88	413150	66000	479150	AE	100
27	88	413350	66000	479350	E	200
28	87	413650	65250	478900	D	300

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 478900 ve Optimum Süreyi 87 gün olarak hesaplamıştır.

Problem 11 İkinci Kısım

İkinci kısım, günlük 750 \$ dolaylı maliyetten oluşur ve 85 günden erken tamamlama proje süresi için günlük 2000 \$ ödül uygular.

Çizelge 5.35: Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti
1	112	407750	84000	491750	Yok	0
2	111	407850	83250	491100	L	100
3	110	407950	82500	490450	Y	100
4	109	408050	81750	489800	AC	100
5	108	408150	81000	489150	AF	100
6	107	408350	80250	488600	L	200
7	106	408550	79500	488050	AC	200
8	105	408650	78750	487400	AC	100
9	104	408850	78000	486850	AF	200
10	103	409050	77250	486300	AF	200
11	102	409350	76500	485850	A	300
12	101	409450	75750	485200	A	100
13	100	409550	75000	484550	A	100
14	99	409850	74250	484100	E	300
15	98	410150	73500	483650	L	300
16	97	410450	72750	483200	AF	300
17	96	410650	72000	482650	AF	200
18	95	411050	71250	482300	G	400
19	94	411500	70500	482000	AF	450
20	93	412000	69750	481750	A	500
21	92	412100	69000	481100	A	100
22	91	412250	68250	480500	A	150
23	90	412750	67500	480250	E	500
24	89	412950	66750	479700	E	200
25	89	413050	66750	479800	E	100
26	88	413150	66000	479150	AE	100
27	88	413350	66000	479350	E	200
28	87	413650	65250	478900	D	300
29	87	413950	65250	479200	K	300
30	86	414450	64500	478950	G	500
31	86	414550	64500	479050	G	100
32	86	414650	64500	479150	K	100
33	85	414750	63750	478500	M	100
34	85	414850	63750	478600	J	100
35	85	414950	63750	478700	M	100
36	85	415150	63750	478900	K	200
37	84	415550	61000	476550	G	400

Çizelge 5.36 (devam) : Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti
38	84	415650	61000	476650	M	100
39	84	415950	61000	476950	P	300
40	84	416250	61000	477250	AD	300
41	83	416750	58250	475000	R	500
42	83	416850	58250	475100	R	100
43	83	416950	58250	475200	S	100
44	83	417050	58250	475300	AD	100
45	82	417350	55500	472850	AE	300
46	82	417450	55500	472950	R	100
47	82	417550	55500	473050	S	100
48	82	417650	55500	473150	AD	100
49	81	418050	52750	470800	D	400
50	81	418150	52750	470900	S	100
51	81	418350	52750	471100	R	200
52	80	418750	50000	468750	D	400
53	80	418850	50000	468850	D	100
54	80	418950	50000	468950	S	100
55	79	419250	47250	466500	R	300
56	79	419350	47250	466600	C	100
57	79	419450	47250	466700	D	100
58	79	419600	47250	466850	S	150
59	78	420100	44500	464600	Y	500
60	78	420200	44500	464700	C	100
61	78	420350	44500	464850	D	150
62	77	420850	41750	462600	AC	500
63	77	420950	41750	462700	C	100
64	77	421200	41750	462950	AC	250
65	76	421600	39000	460600	P	400
66	76	421700	39000	460700	N	100
67	76	421800	39000	460800	P	100
68	76	421900	39000	460900	AD	100
69	75	422200	36250	458450	AC	300
70	75	422350	36250	458600	AD	150
71	75	422550	36250	458800	P	200
72	74	423100	33500	456600	G	550
73	74	423250	33500	456750	P	150
74	74	423550	33500	457050	B	300
75	74	423850	33500	457350	AD	300
76	74	424450	33500	457950	F	600
77	73	425050	30750	455800	R	600
78	73	425250	30750	456000	B	200
79	73	425550	30750	456300	P	300
80	73	425950	30750	456700	O	400

Çizelge 5.37 (devam) : Yapılan Hızlandırma Ve Sonuç.

Çözüm	Süre	Doğrudan Maliyet	Dolaylı Maliyet	Toplam Maliyet	Hızlanan Aktivite	Hızlanma Maliyeti
81	72	426550	28000	454550	Y	600
82	72	426700	28000	454700	Z	150
83	72	427100	28000	455100	AB	400
84	72	427600	28000	455600	U	500
85	71	428350	25250	453600	E	750
86	71	428550	25250	453800	B	200
87	71	428850	25250	454100	I	300
88	71	429250	25250	454500	U	400
89	71	429650	25250	454900	AB	400
90	71	430150	25250	455400	F	500
91	70	430950	22500	453450	Y	800
92	70	431100	22500	453600	Y	150
93	70	431300	22500	453800	AB	200
94	70	431600	22500	454100	I	300
95	69	432100	19750	451850	U	500
96	69	432200	19750	451950	AB	100
97	69	432400	19750	452150	I	200
98	69	432800	19750	452550	U	400
99	68	433250	17000	450250	Y	450
100	68	433500	17000	450500	U	250
101	68	433800	17000	450800	I	300
102	68	434200	17000	451200	AB	400
103	67	435100	14250	449350	G	900

Yapılan hızlandırma sonucunda algoritma optimum Maliyeti 449350 ve Optimum Süreyi 67 gün olarak hesaplamıştır.

6. SONUÇ

Zaman-Maliyet Ödünleşim problemlerin çözümü için birçok farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında Genetik Algoritma, Parçacık sürü Optimizasyonu (PSO), Ant Colony vb. Algoritmaların uygulanması ve kodlanması bir müteahhit ve mplanlama mühendislerinin oldukça zordur.

Bu çalışmada geliştirilen uygulama ile müteahhitlerin uygulaması zor olan algoritmaları yerine; zaman maliyet ödünleşim problemlerinde bir projenin farklı yapım alternatifleri arasında en uygun olanları seçen, projelerde Zaman Maliyet Ödünleşim probleminin optimum veya optimuma yakın sonuçları düşük hesaplama süresinde elde eden ve müteahhitler ve proje planmacıları tarafından rahatlıkla uygulanabilen bir hesap cetveli uygulaması geliştirilmiştir.

Bu çalışmada projelere ait verilerinin hesap cetveli uygulamasına veri girişi ve değişimi yapılarak, diğer yöntemlere göre hızla sonuç alınabilmektedir. Yapılan analizler sonucunda çözülen projelerin optimum süre ve maliyetleri bulunmuştur. Bu yöntemle bir projedeki yapım alternatiflerinin değerlendirilmesi ve yapım işlerinin daha uygun maliyet ve süre içerisinde tamamlanması müteahhidin mali durumunun iyileşmesini sağlayacaktır.

Zaman Maliyet Dengeleme Problemleri bu çalışmada minimum maliyet eğim eğrisi yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür. Şebeke diyagramları, Activity-on Arc (AoA) ağları kullanılarak oluşturulur. Hesap çizelgesi uygulamasında projelerin Aktivite Başlangıç ve Bitiş süreleri, toplam bolluk ve kritik aktiviteleri hesaplanmıştır.

Yukarıdaki projelere uygulanan bu algoritma, daha az hesaplama gücü gerektirir ve optimum veya optimuma yakın çözümleri bulmaya yardımcı olmaktadır ve hemen hemen her türlü zaman maliyet ödünleşim problemine kolayca uygulanabilir.

Bu çalışmada, ZMÖP'ün çözümü için hesap cetveli üzerinde oluşturan uygulama, inşaat sektöründe müteahhitlerin ve planlama mühendislerinin kolaylıkla ve rahatlıkla uygulayabilmesi ve kullanımı açısından için önem taşımaktadır.

Algoritma ile yapılan analizler sonucunda çözülen projelerin optimuma yakın çözümler elde edilmiş. Sonuç olarak geliştirilen algoritma, orta ve küçük ölçekli inşaat planlama sürecinin verimliliğini arttırmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Basset, M., Ali, M., & Atef, A. (2020).** Uncertainty assessments of linear time-cost tradeoffs using neutrosophic set. *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106286.
- Acar Yildirim, H., & Akcay, C. (2019).** Time-cost optimization model proposal for construction projects with genetic algorithm and fuzzy logic approach. *Revista de La Construcción*, 18(3), 554–567.
- Albayrak, G. (2020).** Novel Hybrid Method in Time–Cost Trade-Off for Resource-Constrained Construction Projects. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 44(4), 1295–1307.
- Ammar, M. A. (2011).** Optimization of Project Time-Cost Trade-Off Problem with Discounted Cash Flows. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(1), 65–71.
- Aouam, T., & Vanhoucke, M. (2019).** An agency perspective for multi-mode project scheduling with time/cost trade-offs. *Computers & Operations Research*, 105, 167–186.
- Applying Ant Colony System to Solve Construction Time-Cost Tradeoff Problem. (2011). *Advanced Materials Research*, 179–180, 1390–1395.
- Ballesteros-Pérez, P., Elamrousy, K. M., & González-Cruz, M. C. (2019).** Non-linear time-cost trade-off models of activity crashing: Application to construction scheduling and project compression with fast-tracking. *Automation in Construction*, 97, 229–240.
- Banihashemi, S. A., & Khalilzadeh, M. (2020).** Time-cost-quality-environmental impact trade-off resource-constrained project scheduling problem with DEA approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(7), 1979–2004.
- Chen, S. P., & Tsai, M. J. (2011).** Time–cost trade-off analysis of project networks in fuzzy environments. *European Journal of Operational Research*, 212(2), 386–397.
- Eirgash, M., & Dede, T. (2018).** A multi-objective improved teaching learning based optimization algorithm for time-cost trade-off problems. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 1(3), 118–128.

- Feng, C. W., Liu, L., & Burns, S. A. (1997).** Using Genetic Algorithms to Solve Construction Time-Cost Trade-Off Problems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 11(3), 184–189. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3801\(1997\)11:3\(184\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(1997)11:3(184))
- Fulkerson, D. R. (1961).** A Network Flow Computation for Project Cost Curves. *Management Science*, 7(2), 167–178.
- Geem, Z. W. (2010).** Multiobjective Optimization of Time-Cost Trade-Off Using Harmony Search. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(6), 711–716.
- Haghighi, M. H., Mousavi, S. M., Antuchevičienė, J., & Mohagheghi, V. (2019).** A NEW ANALYTICAL METHODOLOGY TO HANDLE TIME-COST TRADE-OFF PROBLEM WITH CONSIDERING QUALITY LOSS COST UNDER INTERVAL-VALUED FUZZY UNCERTAINTY. *Technological and Economic Development of Economy*, 25(2), 277–299.
- Hussein, B., & Moselhi, O. (2019).** An evolutionary stochastic discrete time-cost trade-off method. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 46(7), 581–600.
- Lateef, H. H., & Burhan, A. M. (2019).** Time-Cost-Quality Trade-off Model for Optimal Pile Type Selection Using Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm. *Civil Engineering Journal*, 5(11), 2461–2471.
- Lemar Zalmi, M., Akcay, C., & Manisali, E. (2019).** Time-cost optimization using harmony search algorithm in construction projects. *Revista de La Construcción*, 18(2), 226–237.
- Leyman, P., van Driessche, N., Vanhoucke, M., & de Causmaecker, P. (2019).** The impact of solution representations on heuristic net present value optimization in discrete time/cost trade-off project scheduling with multiple cash flow and payment models. *Computers & Operations Research*, 103, 184–197.
- Li, H., Cao, J. N., & Love, P. E. D. (1999).** Using Machine Learning and GA to Solve Time-Cost Trade-Off Problems. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(5), 347–353.

- Lin, C. L., & Lai, Y. C. (2020).** AN IMPROVED TIME-COST TRADE-OFF MODEL WITH OPTIMAL LABOR PRODUCTIVITY. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 26(2), 113–130.
- Liu, D., Li, H., Wang, H., Qi, C., & Rose, T. (2020).** Discrete symbiotic organisms search method for solving large-scale time-cost trade-off problem in construction scheduling. *Expert Systems with Applications*, 148, 113230.
- Liu, L., Burns, S. A., & Feng, C. W. (1995).** Construction Time-Cost Trade-Off Analysis Using LP/IP Hybrid Method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 121(4), 446–454.
- Lo, W., & Kuo, M. E. (2011).** Assessing the Time-Cost Trade-Off of Construction Projects. *Advanced Materials Research*, 243–249, 6394–6399.
- Moussourakis, J., & Haksever, C. (2004).** Flexible Model for Time/Cost Tradeoff Problem. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(3), 307–314.
- Rogalska, M., Bożejko, W., & Hejducki, Z. (2008).** Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling. *Automation in Construction*, 18(1), 24–31.
- Siemens, N. (1971).** A Simple CPM Time-Cost Tradeoff Algorithm. *Management Science*, 17(6), B-354.
- Sonmez, R., Aminbakhsh, S., & Atan, T. (2020).** Activity Uncrashing Heuristic with Noncritical Activity Rescheduling Method for the Discrete Time-Cost Trade-Off Problem. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(8), 04020084.
- Toğan, V., & Eirgash, M. A. (2018).** Time-Cost Trade-off Optimization of Construction Projects using Teaching Learning Based Optimization. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(1), 10–20.
- Tran, D. H., Chou, J. S., & Luong, D. L. (2019).** MULTI-OBJECTIVE SYMBIOTIC ORGANISMS OPTIMIZATION FOR MAKING TIME-COST TRADEOFFS IN REPETITIVE PROJECT SCHEDULING PROBLEM. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 25(4), 322–339.
- Vanhoucke, M., & Debels, D. (2007).** The discrete time/cost trade-off problem: extensions and heuristic procedures. *Journal of Scheduling*, 10(4–5), 311–326.

- Wang, T., Abdallah, M., Clevenger, C., & Monghasemi, S. (2019).** Time–cost–quality trade-off analysis for planning construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(1), 82–100.
- Węglarz, J., Józefowska, J., Mika, M., & Waligóra, G. (2011).** Project scheduling with finite or infinite number of activity processing modes – A survey. *European Journal of Operational Research*, 208(3), 177–205.
- Xiong, Y., & Kuang, Y. (2008).** Applying an Ant Colony Optimization Algorithm-Based Multiobjective Approach for Time–Cost Trade-Off. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(2), 153–156.
- Yang, I. T. (2007).** Using Elitist Particle Swarm Optimization to Facilitate Bicriterion Time-Cost Trade-Off Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(7), 498–505.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı: Rishad Ahmad FIDA

Lisans: Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

