

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

**PROJE YÖNETİMİ SÜRECİNDEKİ GECİKME, KAYNAK KISITLARI
VE İŞ DEĞİŞİKLİKLERİNE BAĞLI OLARAK İŞ PROGRAMININ REVİZE
EDİLMESİ VE İŞ PROGRAMI OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS

Suat TOPUZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR

Şubat 2025

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

**PROJE YÖNETİMİ SÜRECİNDEKİ GECİKME, KAYNAK KISITLARI
VE İŞ DEĞİŞİKLİKLERİNE BAĞLI OLARAK İŞ PROGRAMININ REVİZE
EDİLMESİ VE İŞ PROGRAMI OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS

Suat TOPUZ

Yapı Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR

Şubat 2025

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

PROJE YÖNETİMİ SÜRECİNDEKİ GECİKME, KAYNAK KISITLARI VE
İŞ DEĞİŞİKLİKLERİNE BAĞLI OLARAK İŞ PROGRAMININ REVİZE
EDİLMESİ VE İŞ PROGRAMI OPTİMİZASYONU

Tezi Hazırlayan: Suat TOPUZ

Yüksek Lisans Tezi



TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında değerli vaktini bana ayıran, karşılaştığım her problem de çözüm bulmamı sağlayan ve hiç bir yardımını esirgemeyen, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini her zaman paylaşan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR'e,

Tez çalışmam süresince bana destek olan değerli meslektaşlarım Harun TANYERİ, Oğuzhan GÖVERÇİLE, Alper BOZTEPE ve diğer mesai arkadaşlarıma,

Hayatımın her aşamasında bana her zaman destek olan, pes ettiğim zamanlarda beni tekrardan motive eden, birlikte geçireceğimiz zamanlardan feragat ederek beni çalışmaya zorlayan, ben bir konuda başarılı olduğum zaman kendi başarısı gibi sevinen ve benim başarılarımın arkasında her zaman gizli kahramanım olarak desteğini her zaman hissettiğim değerli eşim Aylin TOPUZ'a,

Tezin uygulama aşamasında FYL-2024-3641 kod numarası ile vermiş oldukları maddi destekten dolayı, İnönü Üniversitesi BAP koordinatörlüğüne

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Proje yönetimi sürecindeki gecikme kaynak kısıtları ve iş değışikliklerine bağı olarak iş programının revize edilmesi ve iş programı optimizasyonu” 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.

Suat TOPUZ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....	I
ONUR SÖZÜ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	IX
ÖZET	X
ABSTRACT.....	XI
1. GİRİŞ	1
1.1 Yapım Yönetiminin Tanımı ve Tarihçesi	1
1.2 Planlama.....	2
1.3 Maliyet Kavramı	3
1.4 Bütçe Kavramı	6
1.5 Yapım Yönetiminde Bütçe Yönetimi	6
1.6 Yaklaşık Maliyet Kavramı ve Sözleşme Türleri.....	7
1.6.1. Sabit fiyatlı sözleşme	9
1.6.2. Birim fiyatlı sözleşme.....	11
1.7 İş Programı	12
1.7.1 Microsoft Excel çalışma sayfası	14
1.7.2 Microsoft (MS) Project programı	14
1.7.3 ProjectLibre programı.....	15
1.7.4 Primavera proje yönetim programı	15
1.7.5. Gantt proje yönetim programı.....	15
1.7.6. AMP ve OSKA yazılımları.....	15
1.8.1. Gantt çizelgesi	16
1.8.2. Kritik yol yöntemi.....	17
1.9 Zaman Maliyet Ödünleşim Problemi	18

1.10 Kaynak Kısıtlılığı	20
1.11 İş Değişiklikleri	22
1.12 Optimizasyon.....	24
1.12.1 Genetik Algoritma	25
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	29
2.1. Zaman Maliyet Ödünleşim Problemi	29
2.2. İş Programı Optimizasyonu	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37
3.1. Metrajlar.....	37
3.2 İş Kırılım Yapısı	38
3.3 Birim Fiyat Analizleri	39
3.4 Planlama	40
3.5 Hızlandırma Alternatifleri, Maliyet ve Süre Analizi	42
3.6 İş Programı Hazırlama Yöntemleri	45
3.7 Optimizasyon	48
3.8 Genetik Algoritma ile Optimizasyon	52
4. VAKA ANALİZİ	56
4.1 Proje Bilgileri	56
4.2 İş Kırılım Yapısı ve Metraj İcmalleri.....	59
4.3 Birim Fiyat Analizi ve Kaynak Planlaması	61
4.4 Sürelerin Tespiti ve Hızlandırma Alternatiflerinin Oluşturulması	66
4.5 İş Programının Oluşturulması	69
4.5.1 Tek Bloklü İş Programının Oluşturulması.....	69
4.5.2 Yedi Bloklü İş Programının Oluşturulması	74
4.6 İş Programı Optimizasyonu	76
4.7 Tek Bloklü İş Programının Optimizasyonu	78

4.7.1 Birinci Problem: Tek Bloklı Yapıda Yalın ZMÖP Çözümü	78
4.7.2 İkinci Problem: Süre Kısıtlı Tek Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü ..	82
4.7.3 Üçüncü Problem: Süre ve Nakit Akış Kısıtlı Tek Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü.....	84
4.7.4 Dördüncü Problem: Süre, Nakit Akış ve Kaynak Kısıtlı Tek Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü.....	87
4.8 Yedi Bloklı İş Programı Optimizasyonu	90
4.8.1 Birinci Problem: Yedi Bloklı Yapıda Yalın ZMÖP Çözümü	90
4.8.2 İkinci Problem: Süre Kısıtlı Yedi Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü ..	93
4.8.3 Üçüncü Problem: Süre ve Nakit Akış Kısıtlı Yedi Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü.....	94
4.8.4 Dördüncü Problem: Süre, Nakit Akış ve Kaynak Kısıtlı Yedi Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü	98
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİMESİ.....	100
KAYNAKLAR.....	104
ÖZGEÇMİŞ	117

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1: Örnek Metraj Hesaplama Çizelgesi.	4
Çizelge 1. 2: Birim Fiyat Analizi.	5
Çizelge 3. 1: Örnek Metraj Cetveli.	37
Çizelge 3. 2: İş Kırılım Yapısı.	38
Çizelge 3. 3: Birim Fiyat Analizi (Malzeme, İşçilik ve Kâr ve Genel Gider Dahil).....	40
Çizelge 3. 4: Duvar Örme Aktivitesi Hızlandırma Alternatifleri.	43
Çizelge 3. 5: Yığma Yapıya Ait Örnek.	45
Çizelge 3. 6: Yığma Yapıya Ait Süre Çizelgesi.....	47
Çizelge 3. 7: Yığma Yapıya Ait Maliyet Çizelgesi.....	49
Çizelge 3. 8: Aktivitelerin Hızlandırma Maliyetleri	50
Çizelge 3. 9: Hızlandırma Adımları, Süre ve Maliyet.....	51
Çizelge 4. 1: İş Kırılım Yapısı	60
Çizelge 4. 2: Proje Tamamlanma Süresi	75
Çizelge 4. 3: Proje Tamamlanma Süresi	76
Çizelge 4. 4: Optimizasyon Problemleri	77
Çizelge 4. 5: Birinci Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler	83
Çizelge 4. 6: Tek Blok Nakit Akış Çizelgesi	86
Çizelge 4. 7: İkinci Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler	87
Çizelge 4. 8: Üçüncü Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler	89
Çizelge 4. 9: Tek Bloklu İş Programı Optimizasyonu İcmali	89
Çizelge 4. 10: Birinci Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler	94
Çizelge 4. 11: Çok Blok Nakit Akış Çizelgesi.....	96
Çizelge 4. 12: İkinci Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler	97
Çizelge 4. 13: Üçüncü Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler	99
Çizelge 4. 14: Çok Bloklu İş Programı Optimizasyonu İcmali.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1: Örnek İş Programı	13
Şekil 1. 2: Gantt Çizelgesi	16
Şekil 1. 3: Genetik Algoritma Algoritması	26
Şekil 3. 1: Yığma Yapıya Ait Şebeke Diyagramı	46
Şekil 3. 2: Süre Çizelgesi Tanımlar	47
Şekil 3. 3: Yığma Yapıya Ait Gantt Şeması.....	48
Şekil 3. 4: Rastgele Oluşturulan Popülasyon	52
Şekil 3. 5: Popülasyon, Süre ve Maliyet Değerleri	54
Şekil 3. 6: Genetik Algoritma Sonuçları	55
Şekil 4. 1: Vaziyet Planı	56
Şekil 4. 2: Mimari Plan	57
Şekil 4. 3: Statik Plan	57
Şekil 4. 4: Vinç Yerleşim Planı	58
Şekil 4. 5: Aktivite Metrajları	59
Şekil 4. 6: İş Kırılım Yapısı ve Metraj İcmali	61
Şekil 4. 7: Birim Fiyat Analizi ve Kaynak İhtiyacı.....	63
Şekil 4. 8: Makine İcmal Tablosu	64
Şekil 4. 9: İşçilik İcmal Tablosu.....	65
Şekil 4. 10: Malzeme İcmal Tablosu.....	65
Şekil 4. 11: İşçi Sayısı Hesabı	67
Şekil 4. 12: İşçilik Maliyet Hesaplamaları	68
Şekil 4. 13: Aktivitelerin Hızlandırma Alternatifleri	69
Şekil 4. 14: Temel Altı İmalatları İş Programı	70
Şekil 4. 15: Betonarme İmalatları İş Programı.....	71
Şekil 4. 16: Tek Bloklu Birinci Problem Yakınsama Grafiği	79
Şekil 4. 17: Tek Bloklu Birinci Probleme Ait Hızlandırılma Alternatifleri	81
Şekil 4. 18: Tek Bloklu İkinci Problem Yakınsama Grafiği	82
Şekil 4. 19: Tek Bloklu Üçüncü Problem Yakınsama Grafiği	85
Şekil 4. 20: Tek Bloklu Dördüncü Problem Yakınsama Grafiği	88
Şekil 4. 21: Çok Bloklu Birinci Problem Yakınsama Grafiği	91
Şekil 4. 22: Çok Bloklu Birinci Probleme Ait Hızlandırılma Alternatifleri	92
Şekil 4. 23: Çok Bloklu İkinci Problem Yakınsama Grafiği.....	93

Şekil 4. 24: Çok Bloklı Üçüncü Problem Yakınsama Grafiğı	95
Şekil 4. 25: Çok Bloklı Dördüncü Problem Yakınsama Grafiğı	98



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

KYY	:	Kritik Yol Yöntemi
PERT	:	Programlama Değerlendirme ve Gözden Geçirme
KDV	:	Katma Değer Vergisi
ÇŞİDB	:	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
SFS	:	Sabit Fiyatlı Sözleşme
ATGBS	:	Anahtar Teslimi Götürü Bedel Sözleşme
BFS	:	Birim Fiyatlı Sözleşme
MAK	:	Maliyet Artı Kâr
ZMS	:	Zaman ve Malzeme Sözleşmesi
YİD	:	Yap İşlet Devret
CPM	:	Critical Path Method
ZMÖP	:	Zaman Maliyet Ödünleşim Problemi
KKO	:	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
PSO	:	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
SFL	:	Karıştırılmış Kurbağa Sıçraması
GA	:	Genetik Algoritma
İKY	:	İş Kırılım Yapısı
YİĞŞ	:	Yapım İşleri Genel Şartnamesi
ZMÖ	:	Zaman Maliyet Ödünleşimi
KKİPP	:	Kaynak Kısıtlı İş Programı Problemi
WBS	:	Work Breakdown Structure
η	:	Verim
CS	:	Crew Size
EOZ	:	Erken Olay Zamanı
GOZ	:	Geç Olay Zamanı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PROJE YÖNETİMİ SÜRECİNDEKİ GECİKME, KAYNAK KISITLARI VE İŞ DEĞİŞİKLİKLERİNE BAĞLI OLARAK İŞ PROGRAMININ REVİZE EDİLMESİ VE İŞ PROGRAMI OPTİMİZASYONU

Suat TOPUZ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

XI + 117 sayfa

2025

Danışman: Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR

Bu çalışmada yapım yönetimi alanının önemli problemlerinden biri olan zaman maliyet ödünleşim problemi sadece maliyet ve süre ödünleşimi, gecikme cezalı zaman maliyet ödünleşimi, nakit akışının dengelenerek zaman maliyet ödünleşimi ve kaynak kısıtlı zaman maliyet ödünleşimi olmak üzere dört farklı biçimde oluşturulmuş ve çözülmüştür. Konut türü bir yapının inşaat süreci için 91 adet aktivite tanımlanmış ve her aktivite için en az 5 en fazla 8 adet farklı inşaat süresi ve maliyet alternatifi tanımlanmıştır. Yapım alternatifleri oluşturulurken literatürde yer alan ekip sayısı ve iş verimi ilişkisinden yararlanılmıştır. Aktiviteler arasındaki fiziksel bağıntılar ve mantıksal kısıtlar dikkate alınarak doğrusal iş programı hazırlanmış ve çalışılmayan günler dikkate alınarak takvimli iş programı üzerinden zaman maliyet ödünleşim problemi çözülmüştür. Problemin dört farklı amaç fonksiyonu ile hazırlanıp çözülebilmesi için hesap tablosu uygulaması oluşturulmuş ve optimizasyon süreci Genetik Algoritma ile yürütülmüştür. Optimizasyon süreci oluşturulan hesap tablosu üzerinde çalışan makro kodu ile yürütülmüştür. Vaka analizi olarak inşaatı devam etmekte olan 7 bloklu tünel kalıp inşaatı seçilmiş ve toplam proje maliyetinde 30 milyon TL'den daha fazla tasarruf elde edilebileceği optimizasyon süreci sonunda görülmüştür. Tez çalışmasının sonuçları zaman maliyet ödünleşim probleminin çok kriterli biçimde oluşturulmasını önererek hem literatür, hem de toplam proje maliyetinde önemli düşüşler sağlayarak inşaat sektörü için yararlı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: İş programı, optimizasyon, genetik algoritma, proje yönetimi, zaman maliyet ödünleşim problemi

ABSTRACT

Master Thesis

SCHEDULE REVISION AND SCHEDULE OPTIMIZATION DUE TO DELAYS, RESOURCE CONSTRAINTS AND SCOPE CHANGES IN THE PROJECT MANAGEMENT PROCESS

Suat TOPUZ

Inonu University

Graduate School of Nature and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

XI + 117 pages

2025

Supervisor: Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR

In this study, the time-cost tradeoff problem, which is one of the important problems in the field of construction management, is formulated and solved in four different ways: cost and time tradeoff only, time-cost tradeoff with delay penalty, time-cost tradeoff with cash flow balancing, and time-cost tradeoff with resource constraints. For the construction process of a residential building 91 activities were defined. At least 5 and at most 8 different construction time and cost alternatives were formed for each activity. The relationship obtained from the literature defining the work efficiency according to the crew size was utilized while creating the construction alternatives. A linear work schedule was prepared by taking into account the physical relations between activities and logical constraints, and the time-cost trade-off problem was solved over the calendarized work schedule by taking into account the non-working days. In order to prepare and solve the problem with four different objective functions, a spreadsheet application was created and the optimization process was carried out with the Genetic Algorithm. The optimization process was executed with macro code running on the spreadsheet. The 7-block tunnel formwork construction under construction was selected as a case study and it was seen at the end of the optimization process that more than 30 million TL could be saved in the total project cost. The results of this thesis will be useful for the construction industry by providing significant reductions in the total project cost and the literature by proposing a multi-criteria formulation of the time-cost tradeoff problem.

Keywords: Construction schedule, optimization, genetic algorithm, project management, time cost tradeoff problem

1. GİRİŞ

İnşaat faaliyetleri gelişen teknoloji ve değişen talepler sebebiyle dinamik bir sektördür. Bu sebeplerden dolayı inşaat projelerinin paydaşlarından olan işveren ve yapım alanında faaliyet gösteren inşaat firmaları değişken koşullar nedeniyle belirsizliklerle karşılaşmaktadır. Söz konusu belirsizliklerin en aza indirilmesi ve proje sahibinin taleplerinin karşılanmasını sağlamak maksadıyla inşaat projesinin zaman, maliyet, iş güvenliği ve kalite etkenlerini dikkate alarak yönetilmesi yapım yönetimi olarak adlandırılmaktadır. Proje/yapım yönetimi alanında faaliyet gösteren profesyoneller projeyi başlangıç safhasından tamamlanma safhasına kadar geçen süreçte yönetim, planlama, organizasyon ve tedarik anlamında yönetir. Yapım faaliyetleri belli bir başlangıç ve tamamlanma sürelerine sahiptir, yapım yönetimindeki asıl gaye projenin hedeflediklerine ulaşmaya çalışırken yapım faaliyetinin başlangıcında belirlenmiş bütçe ve süre kısıtlarının aşılmamasını proje ve teknik şartnamede tanımlanan işlerin en üst seviyede kalite standartlarını yerine getirerek gerçekleştirilmesini sağlamaktır.

1.1 Yapım Yönetiminin Tanımı ve Tarihçesi

Yapım yönetimi diğer bir deyişle yapı işletmesi, yapıya yönelik tamamlanmış projelerin planlanması ve zaman ile kalite açısından tüm süreçlerin yönetimi olarak tanımlanabilir.

Yapı tasarımı, üretim ve yapım yönetim faaliyetleri tarihi insanlığın varoluş tarihi kadar eskidir. Tarih öncesi devirlerden itibaren Anadolu'da, Mezopotamya ve Mısır toplumlarında yapıların projelendirilip hayata geçirildikleri idari binalar, askeri tesisler, sosyal alanlar ve dini yapılardan günümüz hayatında insanların toplu ve kalabalık bir şekilde yaşamasına olanak sağlayan büyük metropollere kadar yapım ve planlama anlamında yapım yönetimi insanlığın en önemli yapı taşlarından biri olmuştur (Lethaby, 1919). Planlama anlamında Mısır ve önceki dönemlerde yapı sahiplerinin yapının maliyete nazaran süre anlamında kısıtlar koyduğu ve bu anlamda sınırlamalar getirdiği görülmektedir. İlerleyen dönemlerde maliyet tahminleri ve hesaplamaları daha çok önem kazanmıştır. Günümüz

Yunanistan sınırları içerisinde bulunan M.Ö. 5. yüzyıla ait olduğu tahmin edilen bir belgede yapılması planlanan yapının projeden evvel bir komisyon hazırlanması ve yapının kabaca yapım maliyetinin belirtilmesini, yapıyı yapacak olan kişi ya da kişiler ile bu şartlar altında sözleşme imzalanması hususuna dikkat edildiği görülmektedir (Yılmaz ve Dikmen, 2012).

Yapım yönetimi kavramı modern anlamda temel mühendislik anlayışı içerisinde 1950'li yıllarda yapım yönetimi ya da proje yönetimi adı altında ortaya çıkmıştır. Yapım yönetimi bilimi mühendislik faaliyetleri üzerine kurulu yönetim disiplini yanı sıra ayrı bir disiplin olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. 1950'li yıllardan önce proje yönetiminde düzensiz ve resmi olmayan yönetim şekilleri kullanılıyordu. Özellikle birinci dünya savaşının başlaması ile beraber ekseriyetle askeri anlamda yapılması planlanan faaliyetlerin yönetilmesi problemi daha profesyonel yaklaşımlarda bulunmayı kaçınılmaz hale getirmiştir. Henry Gantt tarafından tasarlanan Gantt çizelgeleri proje yönetimi dışında bağımsız amaçlar için kullanılırken 1950'li yıllara gelindiğinde yapım yönetimi alanında kullanılmaya başlanılmıştır. Bu dönemlerde Kritik Yol Yöntemi (KYY) ve Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) metotları da yapım yönetimi alanında kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yenilikler sayesinde projenin zamanlama modelleri geliştirilirken bununla beraber proje maliyetinin tahmini, maliyetin yönetilmesi ve mühendislik ekonomisi gibi alanlar için de yeni teknolojiler geliştirilmektedir.

1.2 Planlama

Planlama, ulaşılması amaçlanan hedefe yönelik faaliyetlerin düşünme süreci olarak tanımlanabilir. Yapım yönetimi alanındaki en önemli ve temel unsurlarından birisi planlama sürecidir. Uygulamaya geçirilmesi düşünülen bir projeden önce yapılması gereken bu faaliyet projenin uygulanması aşamasındaki birçok bilinmezliğin önüne geçilmesini sağlamaktadır. Planlama aşamasında yoğun olarak kritik yol yöntemi kullanılır çünkü bu yöntemde iş grupları fiziksel kısıtlarla beraber birbirlerine bağlanır. Her bir iş grubu için ihtiyaç duyulan personel ve malzeme miktarları tespit edilir. Bu iki faktör ile doğrudan ilişkili olan maliyet ve sürenin tayin edilebilmesi için planlama faaliyetine muhakkak ihtiyaç duyulmaktadır. Yapım faaliyetinin ne kadar personel ve ne miktarda malzeme ile tamamlanacağını bilmesi tahmini tamamlanma süresinin de bilinmesine yardımcı olacaktır. Planlama sürecinde işin tahmini süre içerisinde tamamlanması için gerekli kaynak ihtiyacı da ortaya çıkacaktır. Bu durumda iki farklı yaklaşım vardır. Birinci yaklaşım

yapılacak aktiviteleri sınırsız kaynak tanımlayarak planlamaktır. Bu durum gerçekte uygulanması çok mümkün olmayan bir alternatiftir çünkü hem çok sayıda işçi ve makinanın aynı anda fiziksel olarak çalışması hem de aktivitelerin tamamlanması için gereken malzeme miktarının temini yüklenicilere mali anlamda önemli zorluklar çıkaracaktır. İkinci yaklaşım olarak bazı kaynaklar üzerine kısıtlar tanımlayıp iş programının tanımlanan kısıtları ihlal etmeden hazırlanmasını içermektedir. Günümüzde daha çok bu duruma göre planlama yapılır. Yükleniciler ellerindeki kısıtlı kaynaklara göre işin en uygun sürede ve en düşük maliyetle tamamlaya gayret etmektedir. Bu duruma bir örnek olarak tünel kalıp tekniği ile konut şantiyesi inşaatları verilebilir. Tünel kalıp kullanmak betonarme imalatların tamamlanma süresini oldukça kısaltır ancak kule vinç olmadan imalatların yapılması mümkün değildir. Bu sebeple kule vinç burada kısıtlı kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü toplu konut inşaatlarında kule vincin birden fazla kullanılmaması durumunda kule vincin tünel kalıplarını taşıdığı bloğun betonarme imalatı tamamlanmadan diğer bloklara geçilemeyecektir. Kule vince ilave olarak aynı anda birden fazla bloğun kaba inşasının yürütülmesi hedeflendiğinde çok fazla tünel kalıp elemanının kiralınmasını gerektirmektedir. Belirtilen hususlar önemli maliyet artışına sebep olacağı için söz konusu kaynaklar üzerine kısıtlar tanımlayıp işi daha uzun sürede ancak daha düşük maliyetle tamamlama yoluna gidilebilmektedir.

1.3 Maliyet Kavramı

Dünya genelinde üretim sektöründe ya da yapım faaliyetlerinde tamamlanan çoğu proje, planlama safhasında kararlaştırılan tahmini maliyetlerin üzerinde maliyetlerle tamamlanması sebebiyle gündeme gelmiştir (Wu, 1998). Bu sorunun gündeme gelmemesi için öncelikle uygulanması planlanan projenin öngörülen maliyetinin aşılmaması ve maliyetin gerçeğe yakın hesaplanabilmesi gerekmektedir. Değişen şartlar altında talep edilen güncellemeleri doğru ve düzenli yapabilmek için proje safhasındaki maliyetlerin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bahse konu bu işlemlerin tümü işin başında maliyet oluşumuna yardımcı olan hususlar üzerinden yürütülür.

İnşaat maliyetinin hesaplanabilmesi için gerekli olan ana çerçeveyi oluşturan temel unsurlar metraj, rayiç, birim fiyat analizi, adam saat, yaklaşık maliyet, keşif ve genel giderler kavramlarıdır. Yapım faaliyetinin temeli olan yaklaşık maliyet (tahmini maliyet) hesaplamalarında belirtilen kavramlardan yararlanılarak maliyet hesaplanır. Bu sebeple

yapım faaliyetine konu olan maliyet kavramının açıklanması için öncelikle bu kavramların açıklanması gerekmektedir.

Bir yapım faaliyetine konu olan tüm işlerin proje ya da uygulama aşamasında ölçülebilen büyüklüklerine metraj adı verilir. Metraj hesaplamalarında uzunluklar metre, alanlar metrekare, hacimler metreküp, demir işleri kilogram ve bazı imalatlar adet olarak tespit edilirler. Yapılan ölçümleme işlemi sonucunda yapıma konu olan imalatların miktarları ortaya çıkar (**Çizelge 1. 1**) Metraj hesaplaması sırasında gerçekleştirilen işlemler metraj cetvellerine yazılarak düzenli ve anlaşılabilir biçimde olması sağlanır (Şakir Uğur Gözü, 2009). Yapılan bu hesapların çok hassas bir şekilde yapılması, gerek yaklaşık maliyetin belirlenmesinde gerekse uygulama aşamasında ihtiyaç duyulan malzeme ve alt yükleniciler ile yapılan anlaşmalar açısından kritik öneme haizdir.

Çizelge 1. 1: Örnek Metraj Hesaplama Çizelgesi.

Açıklama	Adet	En	Boy	Yükseklik	Azı/Çoğu
Z03 Mahal	1	5,00	3,00	1,00	15,00
Z04 Mahal	2	3,50	4,00	3,00	84,00

Rayiç kelimesi dilimize Farsça ve Arapçadan geçmiştir ve “geçerli, cari” anlamındadır (Özlük, 2019). Ekonomik değere sahip bir iktisadi kıymetin kıymetlendirildiği gündeki alım-satım değeri rayiç bedelidir. Günümüzde bu kıymetlendirme çoğunlukla cari değer adı altında kullanılan rayiç bedel iktisadi kıymetlerin gerçek değerini yansıtan bir ölçüdür. Bu terim ise Türkiye’deki İnşaat Mühendisliği mevzuatında yer alan anlamıyla kendilerine devlet tarafından yetki verilmiş olan kamu kurumlarının hazırladığı yıllık ya da yıl içinde güncellediği birim fiyat analizleri ve tarifleri ile oluşturmaktadır (Aliefendioğlu vd., 2016). Yüklenici kârı ve genel giderleri eklenmemiş iktisadi kıymetlerin değeri ile beraber rayiçler, işçilik bedelleri ve yüklenici kârının hesaba dâhil edildiği yapım işine ait birim fiyatlarda yer almaktadır. Belirtilen rayiçlerden elde edilen birim fiyatların kullanılması yapıma konu olan yapının yaklaşık maliyetinin hesaplanmasında önemli kolaylık sağlar.

Aktivitelerin tamamlanması için gerekli süre tahmini ise işin tamamlanması için işçinin ne kadar çalışması gerektiğini belirten adam-saat kavramı ile gerçekleştirilmektedir. Adam-saat birim olarak tanımlanabilir ve puantaj yardımıyla gözlemsel olarak tespit edilip sayısal veriler elde edilir. Bu sayısal veriler tespit edilirken işin cinsi önem arz etmektedir. Örneğin bir kazı işinde kazılan zemin sınıfı sonuca direkt etki etmektedir. Kazı yapılan

toprak cinsinin sert mi yoksa yumuşak mı olmasına göre adam-saat değerleri değişkenlik gösterecektir (Page, 1999).

Bir aktivitenin herhangi bir iş kaleminin birim miktarının inşası için kullanılan makine, ekipman, işçilik ya da malzeme miktarlarının analiz edilmesi ise birim fiyat analizi olarak tanımlanabilir (**Çizelge 1. 2**) Söz konusu bu analizlerin kitapları mevcut olmakla birlikte bu analizleri yapan kamu kuruluşları da yer almaktadır. Projelendirilmiş bir yapının maliyeti bu analizler yardımıyla hesaplanabilir (Eker, 1998). Birim fiyat analizlerinin doğru bir şekilde hazırlanması için imalatın hangi malzemelerle hangi miktarda kullanarak yapılacağı ve kaç adet usta veya işçinin çalışması gerekeceğinin belirlenmesi ve işin tamamlanması için gereken sürenin deneysel ve gözlemsel yöntemlerle tespit edilmesi gerekmektedir. Deneysel ve gözlemsel olarak tespit edilen veriler kayıt altına alınarak sarf edilen malzemeye birlikte bir analiz oluşturulur ve söz konusu analize eş zamanlı olarak birim fiyat tarifi de oluşturulur. Birim fiyatın gerçekçi tespit edilmesi mümkün mertebe en detaylı analiz ile sağlanabilmektedir.

Çizelge 1. 2: 15.250.1101 poz numaralı 2,5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması işinin birim fiyat analizi.

Rayiç No	Tanımı	Birimi	Miktar	Birim Fiyat	Tutar (TL)
19.100.2411	400 kg çimento dozlu ince harç yapılması	m ³	0,025	1.546,10	38,65
10.130.4502	Çam kerestesi 2.sınıf	m ³	0,001	5.000,00	5,00
10.130.9991	Su	m ³	0,01	35,00	0,35
10.100.1012	Sıvacı ustası	sa	0,35	190,00	66,50
10.100.1041	Marangoz usta yardımcısı	sa	0,1	140,00	14,00
10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	0,7	124,00	86,80
10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	0,1	124,00	12,40
1 m ² 2,5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması fiyatı (TL) (Yüklenici karı ve genel gideri eklenmemiş 2024 Yılı Birim Fiyatı)					223,70

Yapım İşleri İhaleleri Uygulama Yönetmeliğinin tanımlar başlıklı 3. maddesinde

“f) Yaklaşık maliyet: İhale onay belgesi düzenlenmeden önce idarece her türlü fiyat araştırması yapılarak, katma değer vergisi (KDV) hariç olmak üzere hesaplanan ve dayanakları ile birlikte bir hesap cetvelinde gösterilen, ihale konusu işin öngörülen bedelini ifade eder.” tanımı yer almaktadır.

Yaklaşık maliyet ihtiyaç sahipleri özel kişi, tüzel kişi ya da kamu idareleri tarafından doğru, eksik ya da fazla olarak hesaplanabilir. Hesabın hassas yapılması sonucu yapımına geçilen işler en ekonomik olarak tamamlanan işler olurken hatalı hesap sonucu yapımına geçilen işler planlanan bütçenin aşılmasına sebep olur. Yaklaşık maliyetin hata payı arttıkça ve özellikle düşük hesaplanması durumunda işin yapımı esnasında projelerin tahmin edilen süreden daha geç tamamlanmasına, planlamanın yeniden yapılmasına, başta düşünülen ve üzerinde çalışılan süre ve maliyet değerlerinin değişmesine ve kazanılması hedeflenen kâr miktarlarına ulaşamamasına sebep olacaktır.

Keşif, yapıma konu olan işin sözleşme öncesinde ihtiyaç sahipleri özel kişi, tüzel kişi ya da kamu idareleri tarafından yapımına ihtiyaç duyulan işin eksiksiz tamamlanması için aktivite miktar ve tutarlarının tespit edildiği yıla ait fiyatlarıyla toplanmasıdır (Akçalı, 2010). İşi yaptıran taraf için bütçe kavramı işi yaptıracak özel kişi, tüzel kişi ya da kamu idareleri tarafından o işin yapımı için planlanan parayı ifade eder.

1.4 Bütçe Kavramı

Bütçe tanım itibariyle devlet, tüzel ya da özel kişilerin gelecekteki belirli bir zaman aralığı için tasarladığı gelir ve giderlerin tümü olarak tanımlanır. İnşaat mühendisliği anlamında ise hayata geçirmeyi düşündükleri projelerin maliyet çerçevesinde gelir-gider ya da kâr ve zarar anlamındaki planlamadır.

Yapım yönetimine konu olan bütçeleme faaliyetleri kısa süreli planlama işlerini içermektedir. Bu sebeple bütçeleme faaliyetleri önem arz etmektedir. Uygulamaya geçirilmesi planlanan yapım faaliyetinin nakit yönetimi için nakit akış tabloları kullanılabilir. Bu nakit akış sürecinde iş kırılım yapısı, yaklaşık maliyet, malzeme veya ekipman satın alımı, işçilik ve makine ödemeleri, taşeron ödemeleri ve hak ediş planlaması konularında nakit akış tablolarıyla bu süreç planlanabilir.

1.5 Yapım Yönetiminde Bütçe Yönetimi

Bütçe yönetimi yapım yönetiminin önemli bir çalışma alanıdır. İhtiyaç sahibinin kaynaklarının inşaat işinin gerçekleştirilmesi için kullanımı olarak değerlendirilebilir. Bu kaynak kullanımı konusu nakit harcamalar, malzeme, ekipman, işçilik ve iş makinesi gibi kalemlerin seferber edilmesidir. Günümüzde herhangi bir projeye teklif veren firmaların

bütçe yönetimi oldukça önemlidir. Projeye verilecek tek bir teklif kâr oranı yüksek olan bir işte şirketin kâra geçip büyümesine, yanlış ya da eksik hesaplanmış bir teklif ise şirketin iflas etmesine yol açacaktır. Bu nedenle şirketler teklif vereceği işlerin dış finansal kaynakla mı yoksa öz sermaye ile mi yapılacağına karar vermelidir. Yapıma konu olan faaliyetler büyük çoğunlukla dışarıdan temin edilecek malzeme ve işçilik kalemlerinden oluşacağı için bütçe ve muhasebe yönetimi anlamında oldukça karmaşıktır. Nakit yönetim süreci şirketler ve kurumlar için gelir-gider arası denge ile sürecin hassaslığı anlamında geniş çapta bir planlama ile bunun yönetimini sağlayacak teknik ve finansal otoritelerin kurulumunu kaçınılmaz hale getirir (Peterson, 2009).

Her inşaat projesi uygulandığı yer, zaman ve muhasebe anlamında kendine özgüdür ancak zorunlu olarak ekipman, malzeme, işçilik, makine ve para olmak üzere aynı kaynak türlerini kullanır. Bu kaynakların yönetimi de maliyet ve zaman anlamında yönetim gerektirir. Ekipman ve malzeme yönetimi proje kapsamında kullanılacak malzemelerin kalitesi, kontrolü ve kaynağı anlamında yönetilmesidir. Bu yönetimdeki amaç ise söz konusu kaynakların istenilen kalitede, nitelikte ve miktarda eksiksiz olarak temin edilmesidir. İşçilik ve makine planlaması ise yapım yönetimi profesyonellerinin dikkat etmesi gereken en önemli konudur. Bu planlama direkt olarak projenin süre ve maliyet anlamında başarılı olmasını etkileyen bir yönetim türüdür. Parasal planlama olarak değerlendirilen süreç ise finansal yönetim olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu süreçte malzeme, işçilik ve ekipman giderleri ile bunlara bağlı olarak şirket bünyesine kazandırılan gelirlerin yönetimidir. Diğer yönetim disiplinlerinin tümünden etkilenen ve tümünü etkileyen bir yönetim faaliyetidir.

1.6 Yaklaşık Maliyet Kavramı ve Sözleşme Türleri

Yaklaşık maliyet yapım aşamasına geçilmesi düşünülen bir işin öngörülen bedelini ifade eder. İhtiyaç sahibi tarafından bir işin yapımına yönelik maliyet çalışması hem o işin yapımına yönelik bütçe planlaması hem de o işin tahmini bedeli nedir sorusunun cevabının bulunmasında önemli bir rol oynar. Yaklaşık maliyetin tespit edilmesinde birden fazla yöntem uygulanabilmektedir. Bunlardan bir tanesi olan parametrik yöntemde yapının toplam metrekare değeri ile bir metrekaresinin maliyeti çarpılarak hesaplanabilir (Gencer, 2017). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından her yıl resmi gazetede yapı yaklaşık birim maliyetleri yayımlanır ve yapının mimarlık hizmetlerine esas olan sınıflarına göre metrekare bedelleri tespit edilir. Yapım faaliyetine geçilmesi planlanan yapının toplam

metrekaresi üzerinden yapılan bu yaklaşık maliyet tespiti genellikle gerçeğe yakın olmaz ve yapım aşamasında yükleniciler ve yapı sahipleri arasında anlaşmazlıklara yol açar. Bu yöntemin sadece yapı sahipleri tarafından bütçeleme aşamasında kullanılması daha uygun olmaktadır.

Yaklaşık maliyet miktar bileşeni, birim fiyat bileşeni ve yüklenici kâr ve genel gider bileşenlerinden oluşur (Gencer, 2017). Yaklaşık maliyetin tespiti yapılmadan önce uygulama projelerinin ve buna bağlı mahal listelerinin eksiksiz ve birbiriyle uyumlu olarak hazırlanması gerekmektedir. Uygulama projelerine göre hazırlanan iş kalemlerine detaylı olarak ölçümleme (metraj) çalışması yapılmalı ve hazırlanan metraj cetvelleri ise bir icmal sayfasında toplanarak o işe ait her bir aktivitenin miktarı tespit edilmelidir. Miktar bileşenin tespiti sonrası her aktivitenin birim fiyat bileşeninin tespitinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma yapılırken kamu birim fiyatları kullanılabileceği gibi yapım firmalarının daha önceden yapmış olduğu inşaatlar sırasında tespit ettiği birim fiyatlarda kullanılabilir. Yapım alanında faaliyet gösteren firmalar ile yapılan yüz yüze görüşmeler sonucunda tespit edilen adam-saat verileri ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından yayımlanan inşaat ve tesisat birim fiyatlarında kullanılan adam-saat değerleri karşılaştırıldığında ÇŞİDB verilerinin gerçek uygulama değerlerinin 1,56 katı fazla işçilik öngördüğü tespit edilmiştir (Kuruoğlu ve Bayoğlu, 2001).

2002 yılında yürürlüğe giren 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu ve 4735 sayılı Kamu İhale Sözleşmeleri Kanunu ile 2886 sayılı Devlet İhale Kanununu çerçevesinde uygulamada karşılaşılan sorunların çözülmesi ve Avrupa Birliği entegrasyon sürecinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Kamunun denetimi ya da kamu kaynaklarını kullanarak yapılan ihalelerde uygulanacak usul ve esaslar 4734 sayılı Kamu İhale Kanununda açıklanmıştır. Bahse konu bu kanunda 3 adet ihale usulü vardır: açık ihale, belli istekliler arasında ve pazarlık usulü ihale yöntemleridir (Akçay ve Manisalı, 2007).

Kamu kaynakları kullanarak yapılması planlanan yapım işi yukarıda bahsedilen kanunlar çerçevesinde yapılacağından açık, pazarlık ya da belirli istekliler arasından yapılacak ihale usullerinden hangisiyle yapılacağının seçimi teklif edilen bedelin başka bir ifadeyle sözleşme bedelini etkilemektedir (Kocaman vd., 2020).

Yeni ihale yasasında Avrupa Birliği direktifleri kapsamında tam rekabet, şeffaflık, ayrımcılık yapmama, tarafsızlık, eşit muamele ve orantılılık göz önüne alınmıştır. 4735

sayılı Kamu İhaleleri Sözleşme Kanununa göre sözleşme usulleri iki adet olup temel olarak anahtar teslimi götürü bedel sözleşme ve teklif birim fiyatlı sözleşmedir. Kanunun sözleşme türleri başlıklı 6. Maddesinde;

“a) Yapım işlerinde; uygulama projeleri ve bunlara ilişkin mahal listelerine dayalı olarak, işin tamamı için isteklinin teklif ettiği toplam bedel üzerinden anahtar teslimi götürü bedel sözleşme” ve “c) Yapım işlerinde; ön veya kesin projelere ve bunlara ilişkin mahal listeleri ile birim fiyat tariflerine, mal veya hizmet alımı işlerinde ise işin ayrıntılı özelliklerine dayalı olarak; idarece hazırlanmış cetvelde yer alan her bir iş kaleminin miktarı ile bu iş kalemleri için istekli tarafından teklif edilen birim fiyatların çarpımı sonucu bulunan toplam bedel üzerinden birim fiyat sözleşme...” olarak tanımlanmıştır.

Kamu İhale Sözleşmeleri Kanununa göre ana sözleşme şekli olarak tanımlanmıştır ve kamu idareleri tarafından iki sözleşme yöntemi kullanılmaktadır. Bazı yapım işleri ise hem birim fiyatlı sözleşme hem de anahtar teslimi sözleşmeyi karma olarak kullanmaktadır.

Kamu idareleri tarafından anahtar teslimi götürü bedel sözleşme, teklif birim fiyatlı sözleşme ya da ikisini de içeren karma sözleşme türlerinden birisi kullanılabilir. 4735 sayılı Kamu İhale Sözleşmeleri Kanununa göre ana sözleşme türü anahtar teslimi götürü bedel sözleşme türüdür. Kamu olarak bu sözleşme türlerinden biri kullanılsa da dünya genelinde sabit fiyatlı sözleşme, birim fiyatlı sözleşme, maliyet artı kâr sözleşme ve zaman ve maliyet sözleşmesi yer almaktadır.

1.6.1. Sabit fiyatlı sözleşme

Sabit fiyatlı sözleşme (SFS) türü sözleşme türleri içerisinde uygulanması en kolay sözleşme olarak değerlendirilir (Bennett, 2003). Bu sözleşme türünde yapıya konu olan teknik dokümanlar üzerinden hesaplanan ve yüklenicinin giderleri, tahmin ettiği riskler ve kârını içeren bir sözleşme türüdür. Bu sözleşme türünde ödemeler yüklenicinin yapmayı taahhüt ettiği iş karşılığında maliyetten bağımsız olarak işveren ile yüklenici anlaşmış olan tutar üzerinden sabit olarak yapılır (Murdoch ve Hughes, 2007).

SFS türünde yüklenicinin inşaa aşamasında harcadığı giderleri azaltması ve üretim kapasitesiyle birlikte kalitesini de artırmasını teşvik eden bir sözleşmedir. SFS de işi tarif edecek şekilde teknik dokümanların yanı sıra kapsam, süre, kalite ve süre hususlarını da dokümantasyona dâhil etmek zorundadır (Çimen, 2019). SFS'nin doğası gereği işveren yüklenicinin tüm maliyet riskini üstlenmesine yönelik bir eğilimde olsa da bahse konu

sözleşmeler yüklenicilerin yaygın olarak hak iddiasında bulundukları bir sözleşmedir (Westney, 1997).

Mezkûr kanunda yer alan anahtar teslimi götürü bedel sözleşme (ATGBS) olarak da adlandırılabilen bu sözleşme uygulama projesi eksiksiz olarak hazırlanmış inşaat projelerinde kullanılır. ATGBS’lerde yükleniciyle sabit bir fiyat üzerinden anlaşma sağlanmaktadır. Bu sabit fiyatın ortaya çıkabilmesi için proje ve mahal listelerinin eksiksiz ve uyumlu şekillerde hazırlanmış miktarların ise hesaplanmış olması gerekmektedir. İşin devamı sırasında iş değişikliklerinin yaşanması yüklenici ile işveren arasında anlaşmazlıklara yol açabilmektedir. Yükleniciler arasında rekabet ortamı yaratılacağı düşünülen SFS türünde yükleniciler işe başlamadan önce mali riskini en aza indirmek sağlamak ve tasarruf etmek amacıyla işin devamı sırasındaki iş değişiklik taleplerini en aza indirmek eğilimindedir (Çimen, 2019). Bu durumu sağlayabilmenin en etkili yolu tasarım aşamasındaki bir projeyi konusunda uzman kişilerin hazırlaması ve yüklenicilerin projeye teklif vermeden önce etraflıca inceleme yapmasıdır. Yapım safhasında meydana gelebilecek iş değişikliklerine hızlı reaksiyon verilmesi de işin bedelinin artmasını engelleyecektir. Bu hususlara dikkat edilmediği takdirde süre uzaması ve ilave maliyet ile karşılaşılması kaçınılmaz olacaktır.

SFS’lerin uygulanabileceği proje türü, tüm ihtiyaçların ortaya koyulduğu ve değişiklik gerektirmeyecek projelerdir (Wysocki, 2011). SFS türü diğer sözleşme tiplerine kıyasla proje safhasında daha fazla özen gösterilmesi gereken bir türdür ve mevcut yapım yöntemlerinin dışına çıkılması düşünülen projeler için uygun olmamaktadır (Rumane, 2011).

SFS türünde sözleşme bedeline işçilik, ekipman, makine ve malzemeyi de içeren tüm doğrudan maliyetler ile mobilizasyon, şantiye harcamaları, teknik personel giderleri ve genel giderlerden oluşan dolaylı maliyetler ve kâr dahil edilmelidir. Yükleniciler tarafından teknik dokümanlarda yer alan işin teslim edilmesi taahhüt edildiğinden işin detayları sözleşme öncesi soru işaretine mahal verilmeyecek şekilde tarif edilmelidir. Bu sebeple üstyapı inşaatları gibi önceden tasarlanabilen ve yapılacak imalatların miktar ya da teknik özellik gibi konuların belli olduğu projelerde uygulanmalıdır. Yüksek miktarda toprak kazısı içeren ve miktarı tespit edilemeyen karayolu inşaatları gibi projelerde bu sözleşme türünün uygulanması doğru olmayacaktır.

İşveren penceresinden bakıldığında SFS’lerin olumlu yönleri arasında projenin toplam maliyeti sözleşme aşamasında bellidir. Bununla birlikte işveren tarafından olumsuz yön olarak

yüklenicinin kâr amacıyla tekniğine uygun olmayan kalitesiz bir imalat yapması ya da ihale dokümanlarının hazırlanması aşamasında yapılan hatalar sebebiyle fazla ödeme yapma riskiyle karşı karşıyadır. İlave olarak SFS türünde işin devamı sırasında teknik dokümanlarda değişikliğe gidilmesi oldukça güçtür ve hukuki anlaşmazlıklara yol açabilir. Yüklenici penceresinden bakıldığında SFS türü iyi planlandığı, sözleşme öncesi iyi bir maliyet çalışması yapıldığı ve yapım aşamasında kontrol altında tutulabilen bir maliyet yönetimiyle yüksek kâr elde edilebilir. Başka bir avantaj ise işin devamı sırasında meydana gelebilecek iş değişikliklerinin yüksek kâr sağlayabileceğidir (Bennett, 2003).

1.6.2. Birim fiyatlı sözleşme

Birim fiyatlı sözleşmeler (BFS), ölçüm üzeri ödeme yapılan sözleşmeler olması sebebiyle “ölçümlenen sözleşmeler” olarak adlandırılabilirdiği gibi 4735 sayılı kanunda da birim fiyatlı sözleşme olarak geçmektedir. BFS türü ekonomik olarak sabit bir fiyata bağlı olmayıp yapım safhasında meydana gelebilecek iş değişiklik emri ve miktar artışlarından etkilenmemesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. BFS proje kapsamında yer alan her imalatın teknik özellikleri ve miktarı bellidir. Yüklenici tarafından her bir imalat kalemi için teklif edilen tutarlar ile imalat miktarları çarpılarak ortaya çıkan toplam bedel sözleşme bedelidir. Bu sözleşme türünün kullanılmasının en önemli önemli avantajlarından biri yapım safhasında ortaya çıkabilecek bir miktar artışının hemen tolere edilebilmesi ve sözleşme fiyatının bu doğrultuda yenilenebilmesidir (El-Reedy, 2011).

Bu sözleşme türü kamu ya da özel ihtiyaç sahipleri tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Bunun sebebi işverenlerin ihtiyaçlarını ortaya koyacak teknik özellik ve miktarların belirlenebilmesidir. Yükleniciler tarafından ise yapılacak imalatın teknik detayları ve miktarı belli olduğundan sadece yapılacak işe yönelik malzeme ile işçilik giderleri hesaplanarak teklif verilebilir. İş değişiklik emri sebebiyle meydana gelebilecek iş artışı riskini teklifine yansıtmamasını temin eder (Rodriguez, 2017).

BFS türünde yükleniciye ilk başta teklif ettiği sözleşme bedelinin üstünde ya da altında tamamlanma olasılığı oldukça yüksektir. Ödemeler yüklenicinin her bir iş kalemi için teklif ettiği bedel ile imalatını tamamladığı miktarın çarpılmasıyla ödenir. Yükleniciler ihale öncesi kendilerine tebliğ edilen miktarlar üzerinden işe devam ederler ancak kazı, yol imalatları, şehir içi ya da dışı su-kanalizasyon hatları gibi ihale öncesi miktar tespiti zor olan imalatlar bu sözleşme türüyle yapıma bağlandıkları için nihai miktar iş sonunda ortaya çıkacaktır. Bu

sebeple ihale öncesi tespit edilen miktarlar ile işin sonunda ortaya çıkan miktarlar farklılık gösterecek, yükleniciye nihai miktarlar üzerinde ödeme yapılarak işin sözleşme bedeli tamamlandığında ortaya çıkacaktır (Bennett, 2003).

1.7 İş Programı

Ülkemizde Avrupa Birliği standartlarına entegrasyon kapsamında yapılan kanun çalışmaları kapsamında 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu ve 4735 sayılı Kamu İhale Sözleşmeleri kanunu 2002 yılında yürürlüğe girmiştir. Kamu kaynakları kullanılarak yapılacak olan yapım işleri ihaleleri 4734 sayılı kanuna tabi olup idarelerin bu kanuna göre gerçekleştirecekleri ihalelerde uygulayacakları usul ve esaslar ise Yapım İşleri İhaleleri Uygulama Yönetmeliği'nde düzenlenmiştir.

Bu yönetmeliğin eki olan ve Ek-8'de yer alan Yapım İşleri Genel Şartnamesi (YİGS) 4735 sayılı Kamu İhale Sözleşmeleri Kanununa göre sözleşmesi imzalanan yapım işlerinin yürütülmesinde uygulanacak genel esasları belirlemek amacıyla hazırlanmıştır.

Mezkûr şartnamenin tanımlar başlıklı 4. maddesinde iş programı “*İş programı: Yüklenicinin, işin süresi ve varsa iş kısımlarına ait bitirme tarihleri ile yıllık ödeme miktarlarını da dikkate alarak, yapım işine ait iş kalemlerini/gruplarını, imalatların niteliğini, teknik özelliğini ve yapım sürelerini esas alarak aylık imalatı ve iş miktarlarını, ihzarat ödemesi öngörülen işlerde ihzaratı, yıllık ödenek dilimlerini ve bunların aylara dağılımını ayrıntılı olarak gösterdiği program*” olarak tanımlanmıştır.

Yapım işlerinin sözleşmeye bağlanması sonrası olmazsa olmaz kabul edilen iş programı işin belirlenen süre içerisinde tamamlanabilmesi için iş kalemlerinin belirli bir düzen içerisinde tamamlanabilmesi maksadıyla işe ait miktar ve işin birim fiyatının çarpımıyla oluşan tutarın ve bu işe ait ilerlemenin takip edilebildiği bilgisayar programı yardımıyla oluşturulmuş çizelge veya tablodur (Çakabay, 2023).

Kamu idareleri penceresinden bakıldığında anahtar teslimi götürü bedel sözleşme türü ile taahhüde bağlanan yapım işleri genel şartnamesine göre iş programı oluşturulurken aşağıda yer alan bilgilerin yer alması gerekmektedir (Çakabay, 2023).

- İdarenin adı ve onayı
- Yüklenicinin adı ve onayı

- Yapım işinin adı ve yeri
- Yüklenici bünyesinde yer alan teknik elemanların isim ve unvanları
- İhale ve sözleşme tarihleri
- Sözleşme bedeli
- İş yeri teslim tarihi ve işin bitiş tarihi
- İşin süresi (takvim günü olarak)
- Ödenek dilimleri

Söz konusu bilgilerin yer aldığı bir iş programı örneği **Şekil 1. 1**'de yer almaktadır.

S.N	İMALAT TARİFİ	SÖZLEŞME PÜRSANTAJI	DETAY PÜRSANTAJI	İMALAT TUTARI	YER TESLİM TARİHİ 18.12.2023	Haziran 2022				Temmuz 2022				Ağustos 2022			
İNŞAAT İŞLERİ						1.HAFTA	2.HAFTA	3.HAFTA	4.HAFTA	1.HAFTA	2.HAFTA	3.HAFTA	4.HAFTA	1.HAFTA	2.HAFTA	3.HAFTA	4.HAFTA
ŞANTIYE TESİSLERİNİN KURULMASI																	
İNŞAAT İMALATLARI			100,0000	0,00 TL													
1	BETONARME İMALATLARI		53.559930	10.685.206,04 TL													
2	DUVAR İMALATLARI		9,443462	1.883.970,67 TL													
3	TAVAN İMALATLARI		31,794653	6.331.063,27 TL													
4	DÖŞEME İŞARETLERİ		0,200624	40.024,49 TL													
5	DOĞRAMA İMALATLARI		5,061331	1.009.735,53 TL													
İNŞAAT İŞLERİ TOPLAMI			100,0000	19.950.000,00 TL													
GENEL TOPLAM			100,0000	19.950.000,00 TL													
						0,00				885.206,04				2.683.970,67			
						HAZİRAN 22 TOPLAMI		0,00		TEMMUZ 22 TOPLAMI		885.206,04		AĞUSTOS 22 TOPLAMI		3.569.176,71	

Şekil 1. 1: Örnek İş Programı.

Yüklenicilerin bakış açısı ile bakıldığında ise yapım işinin belki de en önemli ve kritik öneme sahip aşaması iş programının hazırlanmasıdır. Proje yönetim sürecinde planlaması gereken çoğu unsur bu aşamada çözüme kavuşmaktadır. Teknik dokümanlara göre hazırlanmış metraj verilerine göre aktivitelerin belli olması sonrası projenin tamamlanabilmesi için ne kadar malzemeye ihtiyaç duyulacağı ortaya çıkmaktadır. Bu aşamadan sonra adam saat verileri ışığında her aktiviteye kaynak tanımlaması yapılarak aktivitelerin süresi ve maliyetleri hesaplanmalıdır. Birbiriyle fiziksel bağları olan bu aktiviteler örnek olarak kalıp ve demir imaları tamamlanmamış bir betonarme elemanın beton imalatının başlayamayacağı gibi kısıtlarda göz önünde bulundurularak her aktivitenin başlangıç ve bitiş süreci belirlenmiş olur. Proje kapsamındaki tüm aktivitelerin tamamlanması ile proje tamamlanmış olacağından iş programı safhasında projenin bitiş zamanı da ortaya çıkacaktır. Hazırlanmış olan iş programının kontrolü ve yapım aşamasındaki takibi açısından iş programı düzenlenirken kalem-kağıt ile iş programı hazırlanması gelişen teknoloji sayesinde yerini bilgisayar ortamında düzenlenebilen iş

programlarına bırakmıştır. Bilgisayar yardımıyla iş programı düzenlenmesi gerek kullanıcı hatasını minimize etmek gerekse zaman ve emek tasarrufu açısından geliştirilmiş bazı paket programlar yer almaktadır (Çakabay, 2023).

Günümüzde ülkemizde kullanılan kanun ve mevzuatlara da uygun olarak hazırlanabilen paket programlar geliştirilmiştir. Bu programların kullanılmasındaki amaç iş programı hazırlanırken dikkat edilmesi gereken tüm faktörleri değerlendirmek, insan hatasını en aza indirmek ve zamandan tasarruf sağlamaktır. Bu programların genel mantığı ve tablolaması birbirine yakınlık göstermektedir. Söz konu bu programlardan kısaca bahsetmekte fayda vardır.

1.7.1 Microsoft Excel çalışma sayfası

Excel çalışma sayfası içerisinde hücreler yardımıyla rakam, metin, formül, işaret ve grafik barındıran bir programdır. Bu özellikleri sayesinde çoğu işlem herhangi bir yazılım kısıtlamasına maruz kalmadan kolaylıkla kullanılabilir ve düzenlenebilir. Aktiviteleri aylık, haftalık ya da günlük olarak ilerleme durumları çizelge ya da grafik olarak oluşturabilir. Bu geniş çalışma imkânları sayesinde diğer tüm yazılımların içerdiği özellikleri kapsayacaktır. Kamu kurumlarının çoğu tarafından iş programlarının hazırlanması bu program ile istenmektedir. Bunun sebebi; iş programı oluşturan çok sayıda yazılım olmasının yanında kamuda çalışan personeller tarafından iş programının kolaylıkla incelenmesi ve düzenlenmesinin sağlamasıdır. Ayrıca bir yazılım yüklenici tarafından kullanılıyor ancak kamu idareleri tarafından kullanılmıyor olabilir. Bu sebeple genel olarak excel kullanılması yazılı olmayan bir kural haline gelmiştir.

1.7.2 Microsoft (MS) Project programı

İş programının oluşturulması ve aktivitelere kaynak ataması yapılması, bütçe ve ilerleme takip edilmesi gibi konularda kolaylıkla kullanılabilen bu program bir proje yönetim yazılımı olarak tasarlanmıştır. Aynı firma tarafından geliştirilmesi sebebiyle excel ile aynı tabanlı olup benzerlik göstermektedir. Bu benzerlik sebebiyle kullanılması gayet yaygındır ve planlama aşamasındaki süre kısıtı söz konusu olduğunda büyük projelerde sıklıkla başvuru bir programdır.

1.7.3 ProjectLibre programı

ProjectLibre programı proje yönetim süreçlerinin tüm işlevlerinin etkin bir şekilde kullanılabildiği açık kaynaklı proje yönetim yazılımıdır. Microsoft Project yazılımına alternatif olacak şekilde geliştirilen bu program özellikle kullanıcılara bütçe dostu bir programdır. Programda projelerin süre ve maliyet yönetimini yapabilir, Gantt şeması oluşturulabilir. Birden fazla projenin aynı anda yönetilmesi sağlanabilir.

1.7.4 Primavera proje yönetim programı

Primavera dünya çapında özellikle inşaat, havacılık, enerji vb. sektörlerde faaliyet gösteren şirketler tarafından planlama için kullanılır (Koçak, 2018). İnşaat sektöründe proje yönetimi alanında kullanılan bu program görsel açıdan zengin grafikleri ve aktivitelerin ne zaman başlayıp ne zaman biteceği ile kaynak ve bütçe takibi konusunda kullanıcılara kolaylıklar sunar.

1.7.5. Gantt proje yönetim programı

Gantt ve PERT gibi konvansiyonel proje yönetim tekniklerini ışığında proje yönetim sürecinin takibinin yapılabildiği bir programdır. Burada aktiviteler çubuk diyagram ile gösterilir ve işe ait yıl/hafta ve gün zamanlarını ilerleyişi kolaylıkla görülebilir (Çakabay, 2023).

1.7.6. AMP ve OSKA yazılımları

Ülkemizde kamu idareleri ve şirketler tarafından sıklıkla tercih edilen yerli ürünlerdir. İki yazılım şirketinin de amacı Kamu İhale Kanunu ve diğer mevzuatlar çerçevesinde inşaat faaliyetleri anlamında sektörün ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde program geliştirmektir. İş programı hazırlanması ve düzenlemesine olanak sağlayan yazılımlar geliştirmişlerdir. Dünya çapında kabul görmüş diğer yazılımlara nazaran daha çok kamu idarelerinin güncel mevzuat hükümleri doğrultusunda talep ettikleri ihtiyaçlara cevap verecek şekilde hazırlanmış olup yukarıda bahsi geçen programlara nazaran daha çok işin başında oluşturulması ve işin devamı sırasında iş artışı, ödenek değişikliği, süre uzatımı vb. durumlarda güncellemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Kaynak tanımlama ile bütçe takibi konularında yetersiz kalmaktadır.

1.8. İş Programı Hazırlama Yöntemleri

Ülkemizde kamu idareleri tarafından sözleşmeye bağlanmış işlerin yürürlükteki mevzuatlar çerçevesinde iş programları talep edilir. Yükleniciler tarafından bu iş programları ve içermesi gereken bilgiler doldurularak proje yönetimi tabanlı programlar yardımıyla idarelere sunulur. Ancak çoğu idare ve yüklenici iş programlarının kapsamlı hazırlanmasından çok yüzeysel olarak düzenlenmesinden yanadır ve idareler mevzuatlar çerçevesinde isterlerse daha kapsamlı iş programını paket programlar ile de talep edebilirler. Büyük çaptaki projelerde ve büyük ölçekli inşaat firmaları tarafından proje yönetim sürecindeki olmazsa olmazlardan birisi ise planlama yapılması ve planlama doğrultusunda hazırlanan iş programı yardımıyla yapım aşamasındaki teknik, mali ve kalite yönetiminin takibidir. Bu çerçeveden bakıldığında iş programları işin başından sonuna kadar olan sürecin takibi, aktivitelerin başlangıç ve bitiş tarihlerini, kaynak kullanım miktarlarını, bütçeleme yapılması ve yapım işinin devamı sırasındaki kazanımların takip edilebileceği bir çizelge ya da grafik olarak düzenlenmelidir. İş programı başlığı altında bahsedilen iş programı hazırlama programları temelde iki ana yöntem üzerinde durmuşlardır. Dünya çapında kabul görmüş bu iki yöntem Gantt çizelgesi ve kritik yol yöntemidir.

1.8.1. Gantt çizelgesi

Henry Gantt tarafından tasarlanan ve soyadı ile adlandırılan bu iş programı çizelgeleme yöntemi proje yönetiminin kontrolünü sağlayan grafiksel bir tasarımdır (**Şekil 1. 2**). Bu yöntemde planlamaya ve kaynak tahsisine olanak sağlayan, işlerin devamı sırasındaki ilerlemeyi ve kaynak kullanımını gösteren görsel yardımcılar kullanılmaktadır (Baker, 2009).

Haftalar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Duvar İmalatları								57%		
Kaba Sıva							75%			
Alçı Sıva							67%			
Boya	Başlayınca	Başlar		Tamamlanınca						
Döşeme İmalatları				Başlar					67%	
Şap			0%							
Seramik						0%				
Parke							0%			

Şekil 1. 2: Gantt Çizelgesi

Gantt tarafından oluşturulan çizelgeler yardımıyla proje yönetim sürecine dair görev alan planlama mühendisleri tarafından programın ilerisinde ya da gerisinde olup olmadığını anlayabilecek duruma gelmiştir. Günümüzdeki modern yazılımlar halen bu önemli işlevi kullanmaktadır. Gantt'a göre bunun sağlanmasındaki temel sebepler her işçinin yapması gerekenleri ve tamamlanan işlerin gösterilmesi ile her gün yapılan imalat miktarları ve ortalamalarının görünmesidir (Gantt, 1903).

Gantt çizelgeleri İkinci Dünya Savaşı'ndan itibaren askeri üretim alanında yoğun anlamda kullanılmaya başlanmıştır. Proje yönetim sürecinde de etkin şekilde kullanılan Gantt çizelgeleri tüm proje aktivitelerine zaman planlanması ve birbiri arasında fiziksel bağ olan öncül ve ardıl ilişkinin kurulmasını içermektedir. Bu süreçte planlama mühendisleri her aktivitenin süresinin ve kullanılacak kaynak miktarını hesaplamaktadır (Veeraraghavan ve Vaidyanathan, 2012). Planlama mühendisleri ayrıca ihtiyaçlarına göre personelleri (mühendis, usta, işçi vb.) ve malzemeleri ayrı ayrı programlayabilmektedir. Gantt çizelgeleri genel anlamda planlama mühendislerine her faaliyetin kendi arasındaki ve tüm proje ile ilişkisini, aktiviteler arasındaki öncelik bağlarını, her aktivite için gerçek zaman/maliyet planlaması yapılmasını ve projenin kritik kilometre taşlarını belirleyerek işçilik, malzeme ve parasal kaynakların daha iyi organize edilmesine yardımcı olur (Walters, 1995).

1.8.2. Kritik yol yöntemi

Kritik yol yöntemi (KYY) İngilizce adıyla critical path method (CPM) proje yönetim alanında kullanılan bir planlama algoritmasıdır. KYY fiziksel anlamda birbiriyle bağlantılı olan aktivitelerin başlangıçtan bitimine kadar tamamlanması gereken süreyi baz alarak belirleyen bir metottur. Kritik yol yöntemi Gantt çizelge yöntemi gibi savunma, yazılım geliştirme, havacılık ve inşaat alanlarında sıklıkla kullanılır. İnşaat sektöründe birbiriyle öncül ve ardıl anlamında fiziksel bağları olan aktiviteler yer alması sebebiyle bu matematiksel analiz yöntemi rahatlıkla uygulanabilir (Hyatt ve Weaver, 2006).

KYY kullanılabilmesi için basit birkaç teknik uygulanması gerekmektedir. Bunlardan ilk olarak projeyi oluşturan tüm iş kalemleri ve iş grupları diğer bir deyişle iş kırılım yapısı oluşturulmalıdır. Her bir iş kalemi yani aktivitenin tamamlanması için gereken süre belirlenmelidir. Aktiviteler arasındaki öncül ve ardıl ilişkileri tanımlanmalı ve son olarak kilometre taşları veya tamamlanınca teslim edilecek kısımların bitiş noktaları belirlenmelidir (Armstrong-Wright, 1969).

KYY algoritma oluştuktan sonra aktivitelerin bitiş noktalarına veya projenin en sonuna giden yolu en uzun yol olarak kabul eder ve bazı aktivitelerin projeyi uzatmadan başlayabileceği ya da bitirebileceği en erken zaman ile en geç zamana ait yolları belirler. Bu yapılırken hangi aktivitelerin “kritik” diğer bir deyişle en uzun yolda yer aldığı ve hangi aktivitelerin ise bolluk yani proje toplam süresini değıştirmeden gecikebileceğini belirler. KYY’ye göre kritik yol; projenin tamamlanma süresine direkt etkisi olan aktiviteler dizisidir. Kritik yolda yer alan aktivitelerin tamamlanma süresinde gecikmeler yaşanırse projenin tamamlanma süresi de uzayacaktır. Kritik yol dışında yer alan aktivitelerin gecikmesi ise projenin tamamlanma süresini etkilemeyebilir. Bu durum bir örnek ile açıklanacak olursa; A aktivitesinin başlamasıyla B aktivitesinin başlaması aynı anda olsun ve A aktivitesi 5 gün B aktivitesi 3 gün sürmesi planlansın. C aktivitesi ise projenin son aktivitesi olsun, 5 gün sürsün ve A ve B aktiviteleri tamamlandıktan sonra başlanabilsin. Bu kısa örnekte kritik yol hiç şüphesiz A ve C aktivitesi üzerindedir çünkü ikisinde meydana gelebilecek bir gecikme projenin tamamlanma süresini doğrudan etkileyecektir. B aktivitesinin ise 2 gün gecikmesi proje süresine doğrudan etkisi olmayacaktır. Bu sebeple B aktivitesinin iki gün bolluğu bulunmaktadır.

1.9 Zaman Maliyet Ödönleşim Problemi

Günümüz dünyasında artan rekabet koşullarıyla birlikte projenin iş programı hazırlanırken hem zaman hem de maliyet dikkate alınarak optimizasyon yapılması kaçınılmaz olmuştur. Proje yönetim sürecinde rol alan kişiler proje süresinin kısaltılması ve maliyetin düşürülmesi konusunda sürekli olarak baskı altındadırlar (Uğural, 2020). Proje yönetim sürecinde bir projenin en düşük toplam proje maliyetinde tamamlanabilmesi için gereken sürenin belirlenmesi zaman maliyet ödönleşim problemi (ZMÖP) olarak tanımlanmaktadır (Bettemir ve Yücel, 2021).

Yapım aşamasında meydana gelen harcamalar iki ana grupta kategorize edilebilir. Bunlardan birincisi malzeme giderleri, işçilik giderleri ve makine-ekipman giderlerini barındıran doğrudan maliyetler ve ikincisi ise yapım faaliyetinin meydana gelebilmesi için gerekli olan işçilerin konaklama ihtiyacı, beslenme, şantiye aydınlatması, idari ofis giderleri, makine kiralrı, amortisman ve güvenlik giderler gibi giderler olan dolaylı maliyetlerdir. Doğrudan maliyetler direkt olarak aktivitede kullanılacak olan ve proje tamamlandıktan sonra tam olarak tespit edilebilen malzeme giderleri ile bunların yapılmasında görev alan

işçilikler olduğundan bedelleri işin toplam süresinden bağımsızdır. Dolaylı maliyetler ise yapım işinin süresi ile doğru orantılıdır. İşin tamamlanma süresi arttıkça dolaylı maliyette aynı oranda artacaktır.

Bir aktivitenin süresi ve maliyeti arasında ters korelasyon bulunmaktadır. Diğer bir ifadeyle bir aktivitenin süresini kısaltmaya çalışmak yapım maliyetinde artışa sebep olacaktır. ZMÖP aktivitenin miktarında bir kısıtlama meydana getirmeden, aktivitenin yapımı ile ilgili maliyeti artırırken toplam proje süresini kısaltarak dolaylı maliyetlerden tasarruf sağlar. Dolaylı maliyetlerden elde edilen tasarruf, artan aktivite maliyetinden daha fazla ise projenin toplam maliyeti azalırken projenin tamamlanma süresi kısıllacaktır.

ZMÖP proje yönetim sürecinin en önemli kısımlarından biridir. Bu problemde aktivitenin tamamlanmasına alternatifler sunarak ek bir maliyet ile aktivitenin süresinin kısılması sağlanabilir. Bu durum bir odanın boyanması aktivitesi üzerinden örnek anlatılacak olursa belirtilen işin kaynakları olarak işçilik ve malzeme (boya ve sarf malzemeler) düşünülebilir. Senaryo gereği iki adet işçi ile iki günde tamamlanacak bir aktivite ve toplam işçilik-malzeme gideri üzerinden doğrudan maliyeti 5000 TL olsun. Dolaylı maliyet olarak da işçilerin ulaşımı, malzeme tedariki, beslenme vb. giderleri için 1000 TL/gün alınsın. Burada aktivite malzeme kaynakları olarak boya miktarında bir değişiklik olmadan sarf malzeme ve işçi sayısının artırılması yoluna gidilsin, sarf malzeme ve işçilik ücretinin artışı işin toplam maliyetini 800 TL tutarına artış meydana getirsin ve süreyi bir güne indirsin. Sonuç olarak bakıldığında birinci alternatifte dolaylı ve doğrudan maliyetler toplamda 7000 TL olacaktır. Söz konusu aktivitenin bir gün kısılması için ödenen ek maliyet ile beraber dolaylı ve doğrudan maliyetlerin toplamı 6800 TL olacaktır. Bu örnekten yola çıkarak anlaşılabilecek sonuç aktivitenin toplam maliyetinde 200 TL gibi bir azalma ve süresinde ise bir gün kısalma meydana gelmesidir.

Uygulamada genel olarak üç farklı ZMÖP türü bulunmaktadır. Bunlardan birincisi teslim tarihi problemidir ve projenin son teslim tarihinde bitmesini sağlarken projenin toplam maliyetinin mümkün olan en düşük seviyeye kadar azaltılmasını amaçlar. İkinci olarak projenin toplam maliyetinde aşım meydana getirmeden süresinin minimize edilmesidir. Son olarak ise hem proje toplam maliyetinin azaltılması hem de tamamlanma süresinin kısılması problemidir ki hem zamanı hem de maliyeti dikkate alarak zaman-maliyet kombinasyonlarından oluşan çözümler üretir (Fida, 2021).

ZMÖP çözüm metotları üç ana başlıkta gruplandırılabilir. Matematiksel, sezgisel ve üst sezgisel olarak gruplandırılan bu metotlardan matematiksel olan yöntemler kesin sonuçlar sunar ancak proje yönetim sürecinde matematiksel yöntemin kullanılması çok emek gerektirir ve uzun sürer. Sezgisel teknikler ise problem türüne bağlı olarak iyi sonuçlar verebilir ancak en avantajlı çözümü sunacağı kesin olmamakla birlikte uygun çözümler sezgisel yöntem kullanılarak hesaplanan değerleri içermeyebilir. ZMÖP temel amaç her bir aktivite için en optimum zaman/maliyet ihtimalinin bulunmasıdır. Bu ihtimaller doğrusal olmayan dışbükey bir fonksiyon olarak tanımlanabilir ve doğrudan ile dolaylı maliyetlerin toplamının en az olduğu kısım aranır. Sezgisel çözüm yönetimin uygulanması algoritma olarak basittir ve çok kısa sürede çözüme ulaşabilir. Üst sezgisel yöntemler ise sezgisel yöntemlere nazaran daha karmaşık algoritmalar içerir çünkü sezgisel yöntemler problemin doğasına bağımlı iken üst sezgisel yöntemler bundan bağımsızdır. En yaygın üst sezgisel yöntemler Genetik Algoritma (GA), karınca kolonisi optimizasyonu (KKO), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), karıştırılmış kurbağa sıçraması (SFL), benzetilmiş tavlama ve genetik algoritma (GA)'dır (Bettemir, 2009).

1.10 Kaynak Kısıtlılığı

Proje yönetim sürecinin en önemli girdilerinden bir tanesi kaynaktır. Kaynak yönetimi proje yönetiminin önemli bir parçasını oluşturur ve yapım faaliyetinin mevcut kaynaklarının aktif bir şekilde organize etme, atama, kullanma ve koordinasyon süreci olarak tanımlanabilir. Proje yönetimindeki kaynaklar genel anlamda insan gücü, makine-ekipman, malzemeler ve finansal kaynaklar olarak gruplandırılabilir. Kaynak yönetim faaliyeti proje de kullanılan tüm kaynakların projenin istenilen kalite, süre ve maliyete tamamlanabilmesi için organize edilmesidir (Kerzner, 2017).

İş programı tasarlanırken bazı teknik ve mali problemlerden dolayı kaynakların kısıtlı kullanılması gerekmektedir. İşin doğası gereği aktivitelerin eş zamanlı yürütülmesine ihtiyaç duyulmakta ve bu durumda gerekli kaynak sayısı proje kapsamında temin edilebilen sayının üzerine çıkmaktadır. Bu gibi durumlarda eş zamanlı yürütülmesi gereken aktivitelerin ötelenmesi zorunlu olmaktadır. Bu durum kaynak kısıtlı iş programının tasarlanmasını gerektirmektedir.

Bir projenin toplam maliyeti kullanılan kaynaklar ile doğrudan orantılıdır. Başka bir ifadeyle kaynak kullanılması için sarf edilen maliyetlerin toplamı proje maliyeti olarak

tanımlanabilir. Proje yönetim disiplinin planlama adımıyla uygulamaya geçilecek projenin miktar tespiti yapılarak iş kırılım yapısı (İKY) oluşturulur. İKY proje yönetim faaliyetinin önemli bir adımıdır ve projenin istenilen hedefe ulaşılabilmesi için yönetim sürecini kolaylaştırır. İKY sayesinde proje daha küçük kısımlara bölünerek planlama yapılır. Küçük birimlerin birbiriyle olan ilişkisi ve bir bütün içerisinde planlanmasıyla proje yönetim süreci tanımlanır. İKY oluşturulurken her aktivitenin tek tek planlanması projenin yönetilmesini zorlaştırabilir. Bunun yerine birbiriyle ilişkili olan aktiviteleri iş grubu olarak planlamak hem süreci kolaylaştırırken kaynak takibinin daha kolay yapılacaktır.

Bir aktiviteyi oluşturan kaynaklar işçilik ve malzeme olarak iki ana grupta toplanabilir. Malzeme her aktivite için bir çeşit olabileceği gibi birden fazla malzeme ile de tamamlanabilir. Malzeme direkt olarak aktivitenin metrajı ile ölçülebilir. Örneğin seramik imalatı yapılması için kullanılacak seramik miktarı zayıyla beraber tespit edilebilir ve kaynak ataması yapılır. Seramik imalatı için ise seramik, seramik yapıştırma harcı vb. birden fazla kaynak kullanılır. Bu aktivitede seramik cinsine bağlı olarak aktivitenin malzeme maliyeti değişkenlik gösterir ancak miktar sabittir. İşçilik ve ekipman kaynağı ise süre ile korelasyon içerisindedir. Bir aktivitenin erken tamamlanması isteniyorsa işçilik kaynağının miktarının artması gerekmektedir. İşçilik kaynağı arttıkça aktivitenin tamamlanma süresi azalacaktır. Diğer bir ifadeyle aktivitenin hızlı tamamlanması için o aktiviteye görev alacak işçi miktarının artırılması gerekmektedir. Ancak malzeme tedarik süreci de işçilik miktarının artırılmasına etki edecektir.

Eğer bir proje yönetim faaliyetinde sınırsız kaynak ile planlama yapılabilseydi ve tüm kaynaklar fiziksel olarak aynı anda kullanılabilseydi maliyetten bağımsız olarak en kısa sürede proje tamamlanabilirdi. Ancak sınırsız kaynaklar hem fiziksel olarak aynı anda kullanılamaz hem de maliyet açısından tahmin edilenin üzerinde tamamlanmasına yol açabilir. Proje yönetim sürecinin temelini oluşturan en düşük maliyet ve en kısa zamanda tamamlanması disiplini değerlendirildiğinde maliyet-süre ekseninde en etkili kaynak ataması yapılmalıdır.

Bazı projelerde kaynak miktarlarının artırılması özellikle de makine kaynaklarının artırılması yüklenicilere getireceği ek maliyetler kazandıracağı süreye kıyasla daha dezavantajlı olabilir. Projelerin belli bir hedef süresi de var olduğundan makine kaynaklarının artırılması diğer kaynakların tedarik sürecine dâhil olmasını zorlaştırır ve sürenin kısalmamasıyla sonuçlanabilir. Proje yönetim sürecinde genellikle kaynak kısıtlı olarak

planlama yapılır ve bu kısıtlı kaynak çerçevesinde proje istenilen sürede tamamlanmasına gayret edilir.

Buna bir örnek verecek olursa toplu konut inşaatlarında tünel kalıp kullanılması süreyi ciddi anlamda kısaltacaktır. Statik projelerin birbirine çok benzer olması hızlı imalat yapılmasının en önemli etkenidir. Ancak tünel kalıp yapılabilmesi ise şantiye de kule vinç kullanılması zorunlu hale gelecektir. Binaların birbirine yakın olduğu ve kule vincin tüm binalardaki imalatlarda kullanılması durumu bir sorun yaratmaz. Buna karşın binaların birbirinden uzak olması tek bir kule vinç ile inşaatın yapılmasına olanak sağlamaz. Bu açıdan bakıldığında her bina ya da birbirine yakın binalar için birer vinç planlanması gerekmektedir. Bu durumda ise proje maliyeti ciddi anlamda artacaktır ve finansal planlamanın bozulmasına yol açacaktır. Ayrıca buradan kazanılan süre vince bağlı betonarme imalatların birbiriyle ilişkisi, süresi ve her bina için kalıp, demir ve işçilik gerektirmesi sebebiyle çokta avantaj sağlamayacaktır tabiri caizse kule vincin boş kalmasında sebep olacaktır. Bu örnekte planlama yapılırken vinç kısıtlı kaynak olarak düşünülmeli ve tek ya da binaların yerleşimine bağlı olarak birkaç tane olarak planlama yapılmalıdır. Başka bir örnek olarak ise birden çok binanın temelini kazılması için tek bir iş makinesi olması durumunda da aynı kaynak kısıtlılığı düşünülebilir ve kazı bittikten sonra başlanacak betonarme imalatlarının kazı bitmesine bağlı olduğu için iş makinesinin kısıtlı kaynak olduğudur. Bir binanın temel kazısında bir iş makinesiyle kazı yapılması durumunda kazıdan çıkan ve döküm sahasına götürülmesi gereken hafriyatın nakliyesi sırasında bir iş makinesine bağlı olarak kamyonların sıra beklemesi de kaynak kısıtlılığına bir örnek verilebilir. Kamyonların sıra beklememesi için kazı makinesinin artırılma maliyeti ve getireceği süre avantajı değerlendirilerek iş makinesi artırılabilir ancak bunun mümkün olmaması halinde kaynak kısıtlı planlama yapılması kaçınılmazdır.

1.11 İş Değişiklikleri

Yüklenici ve işveren arasında imza altına alınan sözleşme ile ekleri kapsamında meydana gelen bir değişiklik olarak tanımlanabilir (Bakr, 2014). İş değişiklikleri sözleşme eklerinde yer alan ve işin başında karar verilen şartların değişmesi olarak açıklanabilir. İş değişiklikleri işverenin ihtiyaçlarının değişmesi, proje hataları ve işin devamı sırasında iş değişikliklerinin kaçınılmaz olması durumunda ortaya çıkar.

Ülkemizdeki kamu idareleri yükleniciler ile yaptıkları sözleşmeleri Kanun kapsamında düzenler ve 4735 sayılı Kamu İhaleleri Sözleşme Kanununa göre sözleşme usulleri iki adet

olup temel olarak anahtar teslimi götürü bedel sözleşme ve teklif birim fiyatlı sözleşmedir. Anahtar teslimi götürü bedel sözleşmelerde yapım işi işin başında yükleniciye verilen uygulama projeleri, mahal listeleri ve teknik şartnameler kapsamında tamamlanır. Birim fiyatlı sözleşmelerde ise yükleniciye verilen teknik dokümanlar çerçevesinde teslim edilir. Kamu kaynakları kullanılarak yapımına geçilen her iki sözleşmede de iş değişikliği emri verilmesi durumları belli şartlara bağlanmıştır. 4735 sayılı Kanunun ekinde yer alan Yapım İşleri Genel Şartnamesi (YİGS)’ne göre sözleşme kapsamında yaptırılacak ilave işler ve iş eksilişleri madde 21’de açıklanmış olup

“(1) Yapım sözleşmelerinde, öngörülemeyen durumlar nedeniyle bir iş artışının zorunlu olması halinde, artışa konu olan işin; a) Sözleşmeye esas proje içinde kalması, b) İdareyi külfete sokmaksızın asıl işten ayrılmasının teknik veya ekonomik olarak mümkün olmaması, şartlarıyla, anahtar teslimi götürü bedel ihale edilen yapım işlerinde sözleşme bedelinin % 10’una, birim fiyat teklif almak suretiyle ihale edilen yapım işleri sözleşmelerinde ise % 20’sine kadar oran dahilinde, süre hariç sözleşme ve ihale dokümanındaki hükümler çerçevesinde aynı yükleniciye yaptırılabilir.”

hükmü yer almaktadır. Bu madde incelendiğinde iş değişikliğinin öngörülemeyen bir duruma bağlı olması, sözleşmeye ait proje içinde kalması ve ekonomik olarak idareyi külfete sokmaması şartına bağlanmıştır. Her iki sözleşme türünde de idareler projelerde ve mahal listelerinde değişiklik yapma yetkisi verilmemiştir.

Kamu idareleri için geçerli olan bu şartlar genel anlamda tüm inşaat projeleri için örnek alınmalı ve işin başında olası iş değişikliklerinin şartlarıyla değişiklik durumunda uygulanacak usul ve esaslar belirlenmelidir. Aksi takdirde bu durum yükleniciler ve işverenler açısından mali ve hukuki sorunlara yol açacaktır.

Ayrıca projenin ilk şartlarında işin devamı sırasında meydana gelecek bir iş değişikliği durumu doğal olarak süre uzatımına sebep olacaktır. Projelerde meydana gelen iş değişiklikleri üzerinde yapılan bir araştırmada inşaat sürecinde yaşanan değişikliklerin bütçe ve süresini ortalama %10 ile %15 arasında artırdığı görülmüştür. İş sahibi diğerlerine kıyasla proje yönetim firmasının en az artışa sebep olan taraf olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar tarafından genel çözüm önerileri olarak inşaat aşamasında tasarımlarda değişiklik yapılmasının durdurulması, iş kalemlerinin kısımlı olarak gösterildiği iş planlama tekniklerinin kullanılması, projenin sıkı takip edilebilmesini sağlayan haftalık ve

aylık raporların yapılması gibi eylemlerin inşaat sürecinde oluşan iş değişikliği emri çalışmalarını önleyebileceğini belirtmiş ancak bir sistem önerisi getirilememiştir (Temel vd., 2021).

İş değişiklikleri Türkiye’de genel anlamda işverenin isteği doğrultusunda mahal listelerindeki değişiklik olarak görülse de bazı durumlarda mecburiyetten karşımıza çıkmaktadır. Temel kazısı sonrasında binanın oturacağı zeminin taşıma gücünün proje aşamasında tekniğine uygun biçimde tayin edilememesi sonucu zeminde iyileştirme yapılması ya da binanın yerinin değiştirilmesi gündeme gelmektedir. Bu iki durum da sözleşme imzalandıktan sonra inşaat sırasında anlaşılabileceği için iş değişikliği mecburi hale gelecektir. Bahse konu iki örnekte de işin başında yapılmış olan planlamanın revize edilmesi gerekmektedir. Revize sonrası projenin tamamlanma süresinde öteleme ve tahmini maliyetin değişmesi söz konusudur. Proje yönetim sürecinde karşımıza çıkan bu durumlar sebebiyle iş programı dinamik olarak değişmelidir. Proje yönetim kısmında görev alan kişiler bu ve benzeri durumlar karşısında projenin tamamlanma süresinin ve tahmini maliyetin değişmemesi durumuna kendilerini hazırlamalıdır.

1.12 Optimizasyon

Optimizasyonun tanımını bir sürecin ya da organizasyonun en iyi duruma getirilmesi olarak yapılabilir. Genel anlamda bu sürecin en iyi duruma getirilmesi için kaynakların etkin ve verimli kullanılmasını sağlamaktır. Optimizasyon konusu mühendislik, üretim, işletme ve benzeri birçok alanda kullanılır.

Optimizasyon bir sürecin ya da tasarlanan bir olgunun en iyi duruma getirilmesi amacının güdülerek matematiksel hesapların yapılmasıdır. Burada yüksek kâr, minimum tahmini maliyet, en kısa süre, yüksek verimlilik, en kısa süre en düşük bütçe ve benzeri bir amaç için tasarımların en iyiye ulaşma çabasıdır (Mei ve Wang, 2021).

Proje yönetim sürecindeki genel işleyiş, iş kırılım yapısı oluşturulduktan sonra kaynakların atanması sürecidir. Bu süreç sonrası projenin maliyeti ve süresi kabaca belli olacaktır. Bu aşamadan sonra oluşturulan iş programı her zaman en avantajlı program olmayacaktır. Proje bitimindeki tahmini maliyetin düşürülmesi, sözleşmede yer alan tamamlanma süresine uyulması ve gecikme cezasıyla karşı karşıya kalınmaması için ilk etapta

tasarlanan iş programının revize edilmesi gerekmektedir. Aktivitelerin maliyetleri ile süresi arasında ters bir korelasyon bulunmaktadır (Sönmez vd., 2020).

Söz konusu bu revizyondaki asıl gaye projenin genelindeki direkt ve endirekt maliyetlerin minimum değerinin tespit edilmesidir. Bu problem ZMÖP olarak tanımlanmıştır. Bu problem çözülürken aynı zamanda projenin tamamlanma süresi en aza indirgenmiş olur. İş programının olması mümkün ihtimaller arasında en az süre ve maliyete getirilmesi sürecine iş programı optimizasyonu denir.

1.12.1 Genetik Algoritma

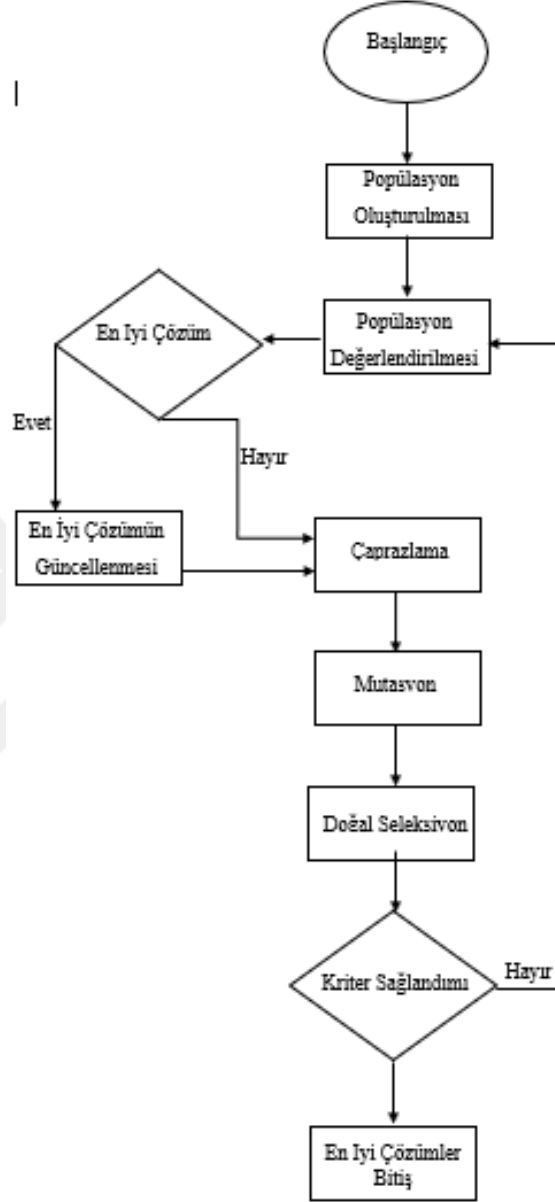
ZMÖP çözümü için ilk etapta oluşturulmuş bir iş programının optimizasyonu gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle projenin tamamlanma maliyetini ve süresini en aza indirmelidir. Bunun yapılabilmesi için matematiksel yöntemler, sezgisel yöntemler ve üst sezgisel yöntemler kullanılabilir. Genetik algoritma en yaygın olarak kullanılan üst sezgisel yöntemlerden biridir.

Genetik algoritma John Holland tarafından akademik çalışmalarını yaptığı Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan Michigan Üniversitesi'nde 1975 yılında geliştirilmiştir. John Holland bilinen evrim yasalarını optimizasyon problemlerinde genetik algoritma içinde kullanmıştır ve bu çalışmalarını “Adaptation in Natural and Artificial System” adlı kitabında yayımlamıştır.

GA genellikle yapay zeka ve bilgisayar bilimleri alanında yaygın olarak kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma geliştirilirken evrimin de konusu olan doğal seleksiyon ve genetik kavramlarından ilham alınmıştır. GA herhangi bir problemin optimize edilmesi ya da en iyi sonuca ulaşılması için kullanılır. GA'nın temel prensibi doğal seleksiyon ve genetik süreçlerin temel prensiplerini örnek alır ve bu prensipler arasında seçim, mutasyon ve çaprazlama gibi kavramlar yer almaktadır (Goldberg, 1989).

Bu algorithma probleme bir çözüm üretmek yerine birçok çözümden oluşan bir küme üretilir. Hal böyle olunca aynı anda birçok nokta değerlendirilebilir ve çözüm kümesindeki optimum çözüme ulaşma ihtimali artmaktadır. GA gelişigüzel oluşturulan bir popülasyon üzerinde çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile en uygun çözümü arar. Evrimsel sürecin bilgisayarda çalıştırılmasıyla optimizasyon yapılmış olur (Mitchell, 1996).

GA'nın adımları başlangıç popülasyonunun oluşturulması, uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi, seçim, çaprazlama, mutasyon ve yeni popülasyonun oluşturulmasından oluşur. Bahsi geçen bu adımlar tekrar edilerek bir sonuca yaklaştırmaya çalışılır (Şekil 1. 3).



Şekil 1. 3: Genetik Algoritma Algoritması

GA'nın uygulanmasında birinci adımı başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Bu aşamada problemin potansiyel çözümlerinden bir popülasyon oluşturulur ve her bir bireye yani çözüme gen adı verilir. Söz konusu bu bireyler belirli bir kurala göre oluşturulur ve gelişigüzel seçilir. Popülasyonun büyüklüğü problemin çözüm süresini etkilemektedir. Popülasyondaki

bireyler az olursa en uygun çözümün bulunması zorlaşmakta, birey sayısı gereğinden fazla olursa çözüm süresi oldukça uzayacaktır. Popülasyonun büyüklüğü problemin cinsine göre GA'yı hazırlayan kişi tarafından karar verilmelidir.

İkinci aşama uygunluk fonksiyonunun tanımlanmasıdır. Bu adımda popülasyonda yer alan her bir çözümün (gen) uygun olup olmadığının denetlenmesini sağlayan bir uygunluk fonksiyonu tanımlanır. Bu uygunluk fonksiyonu problemin en uygun çözüme yaklaşmasını sağlayacak şekilde belirlenmelidir. En düşük maliyet ve minimum tamamlanma maliyeti buna örnek gösterilebilir.

Üçüncü aşama seçilimdir. Bu aşamada uygunluk fonksiyonuna bağlı olarak en iyi çözüme yakın bireylerin birbiriyle eşleşmesi sağlanır.

Çaprazlama (Crossover) dördüncü aşamadır. Bu adımda seçilen çözümler arasında tabiri caizse genetik değiş tokuş yapılır. Burada amaç yeni çözümlerin ortaya çıkmasını sağlamak için çaprazlamaya tabi tutulacak iki çözümden de değerler alınır ve daha iyi çözümlerin meydana gelmesi sağlanır. Uygunluk fonksiyonuna göre fonksiyon çıktısına göre uygun çözüme daha yakın yani yüksek değere sahip değerlerin popülasyondaki diğer bireyler ile çaprazlanması yani çoğaltılmasına olanak sağlanır. Bu çaprazlama sonrasında yeni bireyler (çözümler) meydana gelir. Her bir birey kendisini meydana getiren bireylerin (anne, baba) özelliklerini taşır. Burada önemli olan çaprazlamalar sonrası yeni çözümler üretilirken uygunluk fonksiyonuna göre düşük değere sahip bireylerin çaprazlanma ihtimali azalacağından bu çözümler belli bir zaman sonra popülasyon dışında kalacaktır. Popülasyon tekrar sayısı arttıkça uygunluk fonksiyonuna göre daha uygun çözümlerden oluşacaktır. Bu sayede gittikçe iyi çözümler popülasyon içerisinde yaygın hale gelir ve genetik işlevler sayesinde diğer iyi çözümlerle birleşirler.

Popülasyonda kötü çözümlerinde birbiriyle çaprazlanma ihtimali vardır. Kötü bireyler birbiriyle ya da bir iyi bir kötü çözüm birbiriyle çaprazlanırsa optimum çözümden uzaklaşma ihtimali de artacaktır. Bu sebeple genetik algoritma da mutasyon operatörü de yer almalıdır. Mutasyon operatörü yeni oluşturulan çözümlerin genetik materyali yani değerinde gelişigüzel değişiklikler yapar. Bu sayede çeşitlilik artacaktır ve daha iyi çözümlerin bulunma ihtimali artacaktır.

Son aşamada ise seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra yeni bir popülasyon meydana gelecektir. Bu yeni popülasyona da aynı işlemler uygulanarak optimum

özme yaklaşmak için uğraşmaktadır. Uygunluk değeri yüksek olan çok sayıda çözümün olması çözüm kümesinde o kadar iyi sonuç olmasını sağlar ve problemin çözümü için en uygun sonucun bulunmasını sağlayacaktır (Goldberg, 1989).

Yukarıda bahsi geçen adımlar en uygun çözüme ulaşmak için tekrar edilir. GA karmaşık ve birden çok etkeni içeren problemlerin çözümünde optimizasyon için kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu algoritmanın kullanılmasında problemin modellenirken esnek hareket edilebilmesi, geniş çözümlerin olduğu arama alanlarında en uygun çözümün bulunabilmesi ve paralel hesaplama ile yüksek verimlilik etkili olmuştur (Mitchell, 1996).



2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması sonuçlarının anlaşılır biçimde ele alınabilmesi maksadıyla zaman maliyet ödünleşim problemi iş programı optimizasyonu olarak iki gruba ayrılmıştır. Bu gruplandırmanın yapılmasındaki temel sebep proje yönetim sürecinde iş programı yapılması ve zaman maliyet ödünleşim problemi kavramlarının iki ana konu olarak karşımıza çıkmasıdır. Bir projenin ZMÖP çözülebilmesi için öncelikle iş programı yapılmalı ve ortaya çıkan maliyet ile süre değerlerine göre ödünleşim yoluna gidilerek hem süre hem de maliyet değerleri optimize edilmelidir.

2.1. Zaman Maliyet Ödünleşim Problemi

Bir projenin tamamlanma maliyetini minimum hale getirmeyi amaçlayan ZMÖP, geçtiğimiz altmış beş yıldan beri süregelen bir araştırma konusu olmuştur. Günümüzde hâlâ güncelliğini koruyan ZMÖP'ün önemi Kelley ve Walker (1959), Fulkerson (1961) ve Kelley (1961) tarafından geliştirilen ve kritik yol yöntemi üzerine yapılan çalışmalarla eş zamanlı olarak farkına varıldı. Bu konu hakkında sezgisel olarak kayda değer ilk çalışma Siemens (1971) tarafından yapılmıştır. Ardından bu algoritma Siemens ve Gooding (1975) ile Goyal, (1975) tarafından geliştirilmiştir. Barber ve Boardman, (1988) ve Chiu ve Chiu, (2005) tarafından yapılan çalışmalarda ZMÖP çözümüne yönelik doğrusal maliyet grafikleriyle sezgisel olan algoritmalar önerilmiştir. Bahse konu bu algoritmalar devamlı fonksiyon tarzında oluşturulan problemlerin çözümünde kullanılmakta ancak doğrusal olmayan veya kesikli fonksiyonlar için en iyi çözüme kavuşmayı garanti edememektedir. Bu problemin sebebi sezgisel yaklaşımların ZMÖP çözümünü tüm ihtimaller değil de belirli bir kümede aramasından oluşmasıdır. Diğer taraftan sezgisel yaklaşımlar problemi belirli kurallar çerçevesinde ele almaktadır ve bu kurallara uygun problemleri çözebilmektedir. Bu kurallara uysa dahi her problem optimum çözümü vermez, bazı problemler olumsuz sonuçlar vermektedir.

Kısıtlı kaynak, mevcut kaynakların dengelenmesi ile nakit akış yönteminin dâhil olduğu bir zaman planlama modeli Hegazy ve Ersahin, (2001) tarafından önerilmiştir. Kısıtlı kaynak ile proje bitiş tarihini etkilemeden ZMÖP çözümünü Moussourakis ve Haksever (2004) önermiştir. Chassiakos ve Sakellariopoulos, (2005) ZMÖP çözümü maksadıyla erken tamamlanma ve geç tamamlanma durumuna göre prim ya da ceza veren,

lineer tamsayılardan oluşan bir model geliştirmişlerdir. Aktivitelere atanmış kaynakların kısıtlandığı ve aynı kaynakların farklı aktivitelerde kullanıldığı durumlarda ZMÖP problemini çözmek için genetik algoritma Chen ve Weng (2009) tarafından önerilmiştir. Senouci ve El-Rayes (2009) zaman planları ve inşaatların kaynaklarının verimli kullanılması ile değerlendirmek için çok fonksiyonlu bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Söz konusu bu model hem projenin tamamlanma süresini azaltırken hem de toplam bütçeyi minimize etmektedir. Ammar (2011) en az proje maliyeti için zaman maliyet ödünleşim örneği oluşturup projenin güncel değerini hesaplama işlemine denklemlerde yer vermiştir. Bettemir ve Yücel (2023) Zaman Maliyet ödünleşim problemini çözmüş fakat nakit akışın yüksek mertebelerde negatif olmasını engellemeyi ve kaynak kullanımının çok yüksek miktarlara çıkmasını dikkate almamıştır. Ancak ekip boyutu ile iş verimi etkisini dikkate almıştır.

Üst sezgisel yöntemler sonuçlar kümesini verimli şekilde tarayarak makul bir zaman içerisinde optimum kesin sonuç olmasa bile bu sonuca en yakın değerleri tespit edebilmesi açısından oldukça etkin bir yöntemdir (Albayrak ve Özdemir, 2016). Üst sezgisel yöntemler içerisinde ZMÖP çözümüne yönelik en sık kullanılan metotlardan birisinin genetik algoritmadır. Feng vd. (1997), Hegazy (1999), Kandil ve El-Rayes (2006) ile Lee vd., (2010) problem çözümlerinde genetik algoritmayı tercih etmişlerdir. Kasaeian vd., (2007) modern bir bakış açısıyla modifiye edilmiş çok fonksiyonlu genetik algoritma kullanmışlardır. Bu algoritmanın etkili olmasının sebebi çözüm kümesinde yalnızca küçük bir bölüm içerisinde sonuç aramasından süre gelmektedir. Hooshyar vd., (2008) çözüm önerisi olarak mutasyon operatörünü geliştirilmiş bir algoritma sunmuşlardır. Sonmez ve Bettemir (2012) zaman maliyet etkileşim problemine genetik algoritma ile çözüm aramışlardır. Eshtehardian vd. (2009) bulanık ortamlarda ZMÖP çözümüne yönelik olarak genetik algoritmayı tercih etmişlerdir. Çok fonksiyonlu genetik algoritmayı diğer çözümlere nazaran geniş arama yelpazesıyla kesikli bulanık ZMÖP için uyarlamışlardır.

Bettemir (2009) tarafından genetik algoritmaya göre daha iyi sonuçlar veren ve genetik algoritma ile tavlama benzetimli genetik algoritmayı birlikte kullanan bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde hesaplama adımlarının kısaltılması için örneğin popülasyon miktarı, mutasyon, çaprazlama ve tıpkı demir tavlama işinde yer alan demirin soğuma hızı değerleri tasarımıyla optimize edilmiştir. Öte yandan bu ortak algoritma 18 aktivite ve fazla

aktiviteden oluşan örneklerde hesap yapma süresini artıracığından söz konusu bu yöntemin optimizasyon kabiliyetinin artırılmasını tavsiye etmiştir (Bettemir, 2011).

Feng vd., (1997) geniş kapsamlı kritik yol yöntemi ağlarının ZMÖP'ü etkili bir şekilde çözmek için genetik algoritma ve Pareto eğrisi kullanan bir model tavsiye etmişlerdir. Leu ve Yang (1999) sınırlı kaynak ve kaynak dengeleme modellerini içeren birden çok kritere bağlı optimum zaman hesabı yapan bir model önermişlerdir. Feng vd., (2000) genetik algoritma ve ZMÖP çözümüne yönelik benzetim barındıran modeli belirsizlik altında çözen bir yaklaşım tavsiye etmişlerdir.

Sakellarpoulos ve Chassiakos (2004) aktiveler arasında öncüllük-ardıllık ilişkileri tanımlanmış aynı zamanda bazı aktiviteler için zaman kısıtı vb. gerçek anlamda proje şartlarını barındıran çözümler sunmuşlardır. Aktiviteler arası bağ, dış etkenlere bağlı olarak zaman ve projenin geç tamamlanması halinde gecikme cezası ya da erken tamamlanması halinde ödül veren tarzda yöntemlerle gerçek hayatta uygulanan projelerde de kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Ke vd. (2009) yaptığı araştırmada stokastik problemlerde ZMÖP çözümüne yönelik iki yeni model önermişlerdir. Bu iki yeni model şans-kısıt ve şans-bağımlılık faktörlerini içermektedir. Bu yeni modellerin çözümü için ise genetik algoritma ve stokastik simülasyonu aynı anda kullanan bir algoritma sunmuşlardır.

Ke (2014) birçok projenin, bitirilmiş çoğu projede uygulanmış bazı ortak kısımlar içerdiğini tespit etmiştir. Bu sebeple bir projenin tamamlanma zamanının hesaplanmasında gelişigüzellik ve rastlantısallığın bir arada düşünülmesi gerektiğini sunmuştur. Kısmen rastlantısallık ve kısmen belli olmayan değişkenlerin olduğu projeler üzerinde, bağımlı-rastgele çözümüyle belirsiz tesadüfi ZMÖ modellemesi oluşturarak problem çözümünü belirsiz rastgele canlandırma ile genetik algoritma yöntemlerinin karmasıyla çözmüştür. Öte yandan modelleme sürekli ZMÖ ilişkisi varsayımı yaptığından kesikli ilişki için kullanılmamaktadır.

Jebaseeli ve Dhayabaran (2015) komple bulanık ZMÖP çözümüne yönelik olarak projenin tamamlanma maliyetini en aza indiren ve uygulanması, gerçek projelerde karşımıza çıkabilecek ZMÖP çözümü için mevcut yöntemlerden daha basit bir yöntem önermişlerdir. Komple bulanık lineer programlama problemini çok fonksiyonlu lineer programlama modeline dönüştürmüşlerdir. Daha öncesinde Liu vd., (1995) bulanık verimli

inşaat zaman maliyet ödünleşim yöntemi sunmuşlardır. Arıkan ve Güngör (2001) bulanık modeli, en kısa tamamlanma süresi ve hızlandırma maliyetiyle ZMÖP üzerinde uygulayarak çözüme gitmişlerdir.

Kang vd., (2015) aktiviteler arasında olması muhtemel bütün bağları uygulanabilirliği daha etkin kılmak için ele alan ve aktiviteler arasında mümkün olan tüm ihtimalleri dikkate alan bir ZMÖ modeli öne sürmüşlerdir. Modelin sonuçlarını mevcut kesikli ZMÖP modelinden elde edilen sonuçlar ile kıyaslamışlardır. Öne sürülen modelde toplam tamamlanma maliyeti mevcut modele nazaran daha yüksek olsa da yeni modelin çözümü kısa bir planlamayla en iyi sonucu vermektedir.

Aminbakhsh vd. (2016) tam sayılı lineer programlama yöntemi üzerinde orta büyüklükte Pareto eğrisi problemi için en iyi çözümü elde etmişlerdir. Problemin söz konusu yöntemle çözümünü göstermek amacıyla 63 aktiviteli bir örnek üzerinde uygulamışlardır.

Bettemir ve Talat Birgönül (2017) kesikli ZMÖP'nin çözümüne yönelik minimum maliyet grafiğinden esinlenerek şebeke analiz algoritması sunmuşlardır. Bu algoritma arama alanı büyük olsa dahi mümkün olmayan ihtimalleri dikkate almaz. Bu sebeple algoritmanın hesaplama adımları meta-sezgisel algoritmaya nazaran daha az olmuştur. Buna ek olarak öne sürülen modelde en iyi çözüme meta-sezgisel algoritmaya nazaran daha çok yaklaştığı açıklanmıştır.

Zhang ve Ng, (2012) çalışmasında karınca koloni optimizasyonu yöntemiyle hesap yükünü hafifleterek çözüme ulaşmıştır. Rahimi ve Iranmanesh, (2008) kesikli ZMÖP ve kalite ödünleşimini çözerken konuya parçacık sürü optimizasyonu ile yaklaşmışlardır. Yang, (2007) ve Iranmanesh vd. (2008) parçacık sürü, Anagnostopoulos ve Kotsikas, (2010) benzetimli tavlama, Geem (2010) uygunluk aramasını ZMÖP'yi çözmek amacıyla uygulamışlardır. Cha ve Lee (2015) çalışmalarında yapı bilgi modellemesi vasıtasıyla geliştirdikleri problemde insan orijinli hataları minimize ederek verimlilik artışını ele almış ve yapı bilgi modellemesi yardımıyla ZMÖP'yi çözmüşlerdir.

Projelerin planlanma aşamasında ödünleşim problemi sadece maliyet ve zaman ile alakalı değildir (Bettemir ve Birgönül, 2017). Bu sebeple, ZMÖP'ye çevre, imalatların kullanılabilirliği ve kaynak kısıtlılığı da eklenebilir. Koo vd., (2015) çevre ile proje ilişkisini ortaya koyarak zaman-maliyet ve çevre ödünleşim çözümüne yönelik çalışma

yapmışlardır. Zhang ve Xing, (2010), Mungle vd. (2013) ile Tavana vd., (2014) zaman maliyet ödünleşim problemine kalite bileşenini de ekleyerek çözüm üretmeye çalışmışlardır. Kim vd. (2012) aktivitelerde hızlandırma yapıldığında oluşacak muhtemel kalite kaybını da dikkate lineer bir model önermişlerdir. Monghasemi vd. (2015) kalite ölçütünü zaman-maliyet ekseninde muhtemel tüm alternatifleri araştırarak, projenin zaman anlamında olumlu etkisi olduğunu ispatlamışlardır. Tareghian ve Taheri, (2007) kalite ve zaman-maliyet ödünleşim problemini toplu olmayan arama algoritmasını elektromanyetik ile geliştirerek çözmüşlerdir.

ZMÖP kaynaklar üzerindeki sınırlamanın kaldırıldığı düşünülerek çözülür (Bettemir ve Birgönül, 2017). Liu ve Wang, (2008), Afruzi vd., (2014), Rostami vd., (2014), Bettemir ve Bulak (2022) ile Cheng ve Tran, (2016) sınırlı kaynakla ZMÖP çözümünü sağlamışlardır. Ghoddousi vd. (2013) birden fazla mod ile kısıtlı kaynak zaman problemini, kaynak ataması, kaynak dengeleme ve kesikli ZMÖP bir arada çözümlemeye çalışmışlardır. ZMÖP çözümlerinde zaman ile maliyet arasındaki dengeyi anlamak adına matematiksel analizler yapılmış ve sistemin farklı koşullar altında nasıl davrandığını incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda ortaya çıkan değerlerin farklı üretim hatları için ortak bir dağılım modeli olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışma da ortaya konan model üretim süreçlerini daha verimli hale getirmek ve zaman-maliyet optimizasyonunu sağlamak amacıyla kullanılmıştır (Sagron ve Pugatch, 2021).

ZMÖP'ün sadece zaman ve maliyet üzerinde çözüm aramak yerine bu hususlar ile kalite arasındaki dengeyi sağlayan çeşitli çözüm yolları sunmuşlardır. Örnek projede projenin süresini 84 gün olarak belirlerken, maliyeti 440.000 doların altında tutmuş ve kaliteyi %85'in üzerinde korumuşlardır (T. Wang vd., 2021).

İnşaat projelerinin planlanmasında zaman, maliyet ve kalite arasındaki ödünleşimi optimize etmek için karşıt çoklu hedefli fark evrimi (Opposition Multiple Objective Differential Evolution - OMODE) algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmada OMODE algoritması inşaat projelerindeki zaman, maliyet ve kalite hedeflerini aynı anda optimize etmek için kullanılmıştır (Luong vd., 2021).

ZMÖP çözümünde zaman-maliyet ödünleşimi analizini iyileştirmek amacıyla Apriori algoritması tabanlı bir model önermektedir. Önerilen model, Apriori algoritması kullanarak, inşaat projelerindeki zaman ve maliyet ilişkilerini daha doğru bir şekilde analiz

etmeyi ve optimize etmeyi hedeflemektedir. Bu yaklaşım, projelerin planlama ve yönetim süreçlerinde daha etkili kararlar alınmasına yardımcı olmuştur (Gupta ve Trivedi, 2022).

Çalışmalarında inşaat projelerinde zaman-maliyet optimizasyonunu daha verimli hale getirmek yeni bir metodoloji geliştirmişlerdir ve optimizasyon algoritmaları kullanarak, proje yöneticilerinin karar alma süreçlerini hızlandırmak ve maliyetleri düşürmek hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar otomatikleştirilmiş zaman-maliyet optimizasyonunun, manuel yöntemlere kıyasla daha verimli ve doğru sonuçlar sunduğunu göstermiştir (Nasiri ve Lu, 2022).

Sınırlı derinliğe sahip ayrık zaman-maliyet ödünleşimi probleminin yaklaşık çözümüne odaklanarak çözüm aranmıştır. Çalışmada, bu problemin yaklaşık çözümleri için yeni üst ve alt sınırlar sunulmuştur. Yapılan çalışmalar neticesinde eşsiz oyunlar varsayımı ve $P \neq NP$ kabul edilirse, $(d+2)/4$ 'ten daha iyi bir yaklaşık oranın mümkün olmadığını göstermişlerdir. Bu bulgu, önceki çalışmaların sonuçlarını güçlendirmektedir (Daboul vd., 2023).

İnşaat projelerinin planlanmasında zaman-maliyet optimizasyonu için Rao algoritmalarını kullanan çok amaçlı bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmalarında inşaat projelerinin etkin bir şekilde yönetilmesi için zaman ve maliyet arasındaki dengeyi sağlamanın önemini vurgulamışlardır. Sonuç olarak ZMÖP çözümündeki Rao algoritmalarının kullanılmasının etkin bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Yılmaz ve Dede, 2023).

Ayrık zaman maliyet ödünleşim probleminin çözümüne yönelik olarak uyarlanabilir arama alanı kullanan bir yaklaşım sunmaktadır. Mevcut meta-sezgisel algoritmaların küçük ve orta ölçekli projelerde kesin çözümler üretebildiğini, ancak büyük ölçekli projelerde tatmin edici sonuçlar elde edilemediğini belirtmişlerdir. Önerilen yöntem, büyük ölçekli inşaat projelerinde zaman ve maliyet arasındaki dengeyi daha etkin bir şekilde sağlamayı hedeflemişlerdir (Bettemir ve Birgonul, 2023).

ZMÖP çözümünde optimizasyon ile birlikte ele almakta ve makine öğrenimi tekniklerine dayalı bir yaklaşım sunmaktadır. Geleneksel yöntemler, genellikle teknik hesaplamalara odaklanırken sonuç olarak kullanılan algoritmalarından çok katmanlı algılayıcı (MLP) en başarılı tahmin performansını göstermiştir (Wang vd., 2024).

2.2. İş Programı Optimizasyonu

Proje yönetim sürecindeki ön çalışmalar sonucunda hazırlanan iş programları her zaman düşük maliyet ve en kısa süre ekseninde en avantajlı iş planı olmayabilir. Yapım safhasında ve sonrasında elde edilmesi planlanan kâr miktarları, projenin erken tamamlanması sonucunda elde edilecek kazanımlar, projenin taahhüt edilen süreden sonra teslim edilmesi ya da şantiyenin dolaylı giderlerinin miktarını en aza indirilmesi maksadıyla iş programının optimize edilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bir aktivitenin süresi ile o aktiviteyi meydana getirecek maliyetler arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Aktivitenin tamamlanma süresini azaltmak için aktivitenin inşası için daha fazla kaynak tahsis ederek söz konusu aktivitenin doğrudan maliyetini artırmak gerekmektedir (Ahbab vd., 2019). Bir aktivitenin doğrudan giderleri ile dolaylı giderlerinin minimum değerinin bulunması gerekmektedir. Bahse konu bu problem ZMÖP olarak tanımlanmaktadır ve bu problemin çözülmesi inşaatın tamamlanma süresi ekonomik eksen göz önüne alınarak en elverişli duruma getirilir. Bu sayede hem şantiyenin dolaylı giderlerinde düşüş sağlanmakta hem de muhtemel gecikme riskinden oldukça uzaklaşmaktadır.

Yapım maliyetini iki ana unsur oluşturur. Doğrudan malzeme ve işçilik giderleri ile bunların etkin şekilde kullanılmasını sağlayan dolaylı giderler. Bu iki unsurun en düşük değerinin bulunması işleminin zaman maliyet ödünleşim problemi olarak tanımlanır. Wang vd. kalite unsurunu göz ardı etmeden baskın olmayan genetik algoritma ile çözüm aramışlardır (Wang vd., 2021). Liu vd. kesikli simbiyotik organizma araması hakkında çalışmalar yayımlamışlardır (Liu ve Wang, 2008). Bahse konu problemde kalite etkeni dışında çevresel etkenleri de ekleyen Banihashemi ve Khalilzadeh (2021) veri zarflama metodu ile çözüme ulaşmışlardır. Abdel-Basset vd., (2020) belli olmayan proje yönetim sürecinde nütrosifik sayı tanımlamalarıyla olasılık olarak ZMÖP çözmüşlerdir. Toğan ve Eirgash, (2018) ZMÖP çözümünde her probleme özel bir popülasyon tanımlamış ve bu tanımlanan algoritma ile çözüm yapmışlardır. Toğan ve Eirgash, (2018) optimizasyon algoritmasına öğrenme ve öğretme tabanı ekleyerek ZMÖP'ü çözmüştür. Bettemir ve Birgönül (2017) şebeke analiz metodu ile ZMÖP çözümünü sağlamışlardır.

Proje yönetim sürecinde aktivitelere kaynak planlaması yapılırken sınırsız kaynak ataması mümkün olmamaktadır. Projede aynı kaynakları kullanan aktiviteler için kaynak temin edilemediğinden eş zamanlı aktivitelerin geciktirilmesi mecburidir ve bu problem

Kaynak Kısıtlı İş Programı Problemi (KKİPP) olarak tanımlanır. Zhu vd., (2019) ayrık zıt birden fazla versiyonlu KKİPP'yi optimize etmiştir. Lin vd. (2020) genetik programlama içeren üst sezgisel yöntemle çok kaynaklı KKİPP'nin çözümüne yönelik araştırmalar yapmıştır. Pellerin vd. (2020) KKİPP'yi üst sezgisel yöntemlerden birisi olan hibrit üst sezgisel yöntemle, Birjandi ve Mousavi (2019) stokastik yöntemle ve Laszczyk ve Myszkowski (2019) ise fazla kaynaklı çok amaç içeren işlevsel algoritma ile çözmüştür. Chakraborty vd. (2020) çok modellenmiş KKİPP'yi revize edilmiş değişken parametrelili arama sezgisel yöntem ile Tirkolaei vd. (2019) çoklu işlevsel çok parametrelili KKİPP'yi pareto yöntemli algoritmayla, Creemers (2019) rastgele KKİPP'yi aktiviteleri istenilen zamanda durdurularak belli zaman sonra kaldığı yerden tamamlanabilecek şekilde çözüme ulaşmıştır. Arab vd., (2020) KKİPP'yi çok işlevli gelişimsel algoritma ile çözmüşlerdir. Erzurum ve Bettemir (2021) proje yönetim sürecindeki kaynak dengeleme problemini paralel hesaplama metodu ile çözmüştür.

Geçmiş çalışmalarda KKİPP problemi ve ZMÖP'nin bir arada çözüm arandığı çalışmalar bulunmaktadır. Lotfi vd. (2022) ZMÖP'i altgeçit projesini işin içerisine çevre ile ilişkisi ve kalite unsurlarını dâhil ederek tedarik edilebilecek kaynaklar üzerinde kısıtlamalarda hesaba katarak doğrusal olmayan programlama ile iş programı optimizasyonu yapmıştır. Sharma ve Trivedi, (2022) ZMÖP yanında kalite ve iş güvenliği önlemlerini de ekleyerek çözüm aramışlardır. Bu çalışmalarına tedarik aşamasında kaynakların kısıtlı olduğunu da dikkate alarak optimizasyonu baskın olmayan sıralama ile yapmışlardır. Amiri vd., (2018) pareto tabanlı algoritma ile, Albayrak (2020) sürü temelli optimizasyon ile evrimsel algoritmayı birleştirerek karma bir algoritma ile, Banihashemi ve Khalilzadeh (2021) verimlilik analizi ile ZMÖP ve KKİPP'yi beraber çözmüştür. Kannimuthu vd., (2019) ikili doğrusal programlama ile iki problemi birlikte çözmüştür. Heravi ve Moridi, (2019) mükerrer işlerden oluşan proje yönetim süreçleri için sürü tabanlı arama yöntemiyle optimizasyon yapmıştır. Bettemir ve Bulak (2022) çalışmalarında insan müdahalesini en aza indirecek ve yinelemeli bir şekilde iş programı oluşturulmuş ve optimize edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Metrajlar

Projenin maliyeti ve süresi doğrudan işi oluşturan kalemlerin miktarlarına bağlıdır. Projesi tamamlanmış bir işin ilk etapta tüm iş kalemlerinin yapım miktarları tespit edilmelidir. Belirtilen iş ‘metraj’ olarak tanımlanır. Aktivitelerin miktarları adet, uzunluk, metrekare, metreküp, metre tül, kg, ton vb. büyüklüklerle ölçülür. Temel anlamıyla ölçülerin birbiriyle çarpımıyla hesaplanan aktivite metrajları birim üzeri birinci, ikinci ya da üçüncü mertebeden değerler alır. Metraj bileşenlerinde adet, benzer, en, boy, yükseklik, azı ve çoğu kavramları yer almaktadır. Bu kavramlara projeden karşılık gelen ölçüler girilir ve söz konusu değerlerin çarpılmasıyla miktar tespiti yapılmış olur. Örnek olarak ÇŞİDB tarafından yayımlanan 15.220.1004 pozuna ait metraj sunulmuştur (Çizelge 3. 1).

Aktivitelerin bazılarında doğası gereği boşluklar yer alır. Duvar imalatında yer alan pencere ya da kapı boşlukları bunlara örnek olarak verilebilir. Bir duvar örme imalatının metrekare hesabı yapılırken kapı ve pencereler hariç olarak hesaplama yapmak yerine tüm duvar hesaplanıp sonrasında boşlukların düşülmesi daha pratik olabilmektedir. Aktivitelerin metraj hesabında bırakılan bu boşluklar ‘minha’ olarak adlandırılmaktadır. Tüm imalat miktarından yapılmayan kısımların düşürülmesine minha etmek denir. Bu nedenle metraj cetvellerinde imalat miktarlarının çarpımlarının yer aldığı sütunda azı ya da çoğu ifadesi yer alabilir.

Çizelge 3. 1: Örnek Metraj Cetveli.

15.220.1004 135 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 135 x 190 mm) ile duvar yapılması					
Mahal	Adet	En	Boy	Yükseklik	Miktar
1K-03 Oda					
A-A Aks	1	5,00	1,00	3,00	15,00
B-B Aks	1	6,00	1,00	3,00	18,00
Minha Kapı	-1	1,00	1,00	2,20	-2,20
TOPLAM					30,80

3.2 İş Kırılım Yapısı

İngilizce anlamıyla Work Breakdown Structure (WBS) olarak bilinen İş Kırılım Yapısı (İKY) proje yönetim alanında kullanılan ve projenin detaylı bir şekilde planlanmasını sağlayan bir yöntemdir. İKY büyük bir projeyi yönetimi kolaylaştıran daha küçük parçalara ayırarak her bir aktivitenin ve aktivite grubunun daha kolay ve ayrıntılı olarak planlanmasını sağlar.

Türkiye’de iş grupları olarak adlandırılan bu yaklaşımda projeye ait metrajların detaylı bir şekilde yapılmasının ardından birbiri ile fiziksel ve mantıksal olarak bağlı işler aynı grupta yer alacak şekilde gruplandırma yapılır. Yapılan bu gruplama her bir aktivite grubuna kendi içerisinde kaynak tanımlama ya da süre planlaması yapılmasına da olanak sağlamaktadır. İş kırılım yapısı oluşturulurken aktivitelerin birbiri ile ilişkisi olmasına dikkat edilmelidir. Diğer bir ifadeyle aynı tarzda ve birbirini takip eden aktiviteler aynı iş grubunda yer almalıdır. Bina inşaatlarından bir örnekle açıklanacak olursa; temel kazısı, temel altı yalıtım, temel için temel dolgusu vb. imalatlar bir grupta toplanmalıdır. Betonarme imalatlar kalıp, beton ve demir imatları olarak gruplandırılırken duvar, tavan, döşeme, doğrama ve çatı imatları ayrı gruplandırılmalıdır.

Bahse konu şekilde oluşturulan İKY sonucunda her bir aktivite grubunun ihtiyaç duyacağı kaynakların tahsisi daha kolay olacaktır. Yüklenicilerin penceresinden bakıldığında söz konusu aktivite gruplarının tamamlanması bir kontrol noktası olacaktır. O kontrol noktasına ulaşmak için ne kadar bütçe ayıracağı ve o seviyeye gelmek için ne kadar süre harcayacağını planlayabilecektir. Örnek bir iş kırılım yapısı **Çizelge 3. 2’de** gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2: Yığma Yapı İş Kırılım Yapısı.

İŞ KIRILIM YAPISI (İKY)				
Betonarme	Döşeme	Duvar	Tavan	Doğrama
Kalıp	Şap	Kaba Sıva	Asma Tavan	Demir
Demir	Seramik	Kaba Alçı	Tavan Sıvası	PVC
Beton		Boya	Boya	Alüminyum

İKY oluşturulması projenin genelinde aktiviteyi yapacak işçi gruplarının da planlamasını kolaylaştıracaktır. Bir aktivite grubunun tamamlanması şantiyedeki işçi grubunun faaliyetlerini tamamlayarak ayrılmasını ve başka işçi grubunun şantiyede çalışmalara başlamasını sağlayacaktır.

3.3 Birim Fiyat Analizleri

Her bir aktivite işçilik ve malzeme bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin bir araya gelmesiyle aktivite tamamlanır. Buradan hareketle aktiviteyi oluşturan işçilik ve malzeme giderleri doğrudan o aktivitenin maliyetini oluşturacaktır. Bir aktivitenin malzeme maliyetinin tespit edilmesi direkt olarak metrajına bağlıdır. Aktivitenin tamamlanması için kullanılacak malzeme miktarı süresine bağlı olmaksızın hesaplanabilir. Diğer bir ifadeyle o aktivite hızlı ya da yavaş şekilde yapılması kullanılacak malzeme miktarını değiştirmez. Aktivitede sarf edilecek malzemeler ile gerek duyulan kaynak miktarı tespit edilebilir. Bu durum bir örnekle açıklanacak olursa ahşap kalıp imalatı örnekleme için kullanılabilir. Ahşap kalıp imalatında kullanılan tahta, keresteler, çivi ve kalıp yağı kullanılacak kaynak olarak dikkate alınabilir. Başka bir örnek olarak sıva yapılmasında alçı, su, sıva filesi ve alçı köşe profili sarf edilecek kaynak olarak tanımlanabilir. İmalatı yapılacak miktar ile bu imalatın yapılması sırasında kullanılacak malzemeler birim fiyatın malzeme bileşenini oluşturur. Malzemelerin birimleri adet, metre, kg, m², m³, ton vb. büyüklüklerdir. Aktivitenin toplam miktarı o aktivitenin bir birimi için kullanılacak malzeme miktarı ile çarpılarak sarf edilecek toplam malzeme tespit edilebilir.

Aktivitenin diğer bir maliyet bileşeni ise işçilik olarak ifade edilebilir. Birim fiyat analizlerinde işçiliğin tespiti için söz konusu aktivitenin bir biriminin yapılması için ihtiyaç duyulan işçilikler hesaplanmalıdır. İşçilik tespit edilirken, söz konusu imalatın bir biriminin yapılması için usta, usta yardımcısı, düz işçi vb. elemanların kaç saat çalıştığı belirlenir.

Birim fiyat analizleri hesaplanırken birim fiyat analizi yapılacak aktivitenin bir biriminin yapılabilmesi için kullanılacak malzeme ile zayıat miktarı ve işçilik miktarı tespit edilir ve bir çizelgede birleştirilir. ÇŞİDB birim fiyat kitaplarında yer alan 15.220.1001 pozuna ait birim fiyat analizi örnek olarak kullanılmış ve **Çizelge 3. 3**'te sunulmuştur. Söz konusu hesaba ihtiyaç duyulduğu takdirde nakliye vb. giderler eklenir. Ülkemizde özellikle kamu idareleri projelerinde birim fiyat olarak başta Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve diğer idareler tarafından yayımlanan birim fiyatları kullanmaktadır. Her pozun kendine ait birim fiyat analizleri yer almaktadır. Söz konusu bu analizlere idareler tarafından %15 genel gider ve %10 yüklenici kârı ilave edilir ve böylelikle birim fiyat analizleri yapılmış olur.

Çizelge 3. 3: Birim Fiyat Analizi (Malzeme, İşçilik ve Kâr ve Genel Gider Dahil).

15.220.1001 85 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 85 x 190 mm) ile duvar yapılması					
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
Malzeme					
10.130.2001	190 x 85 x 190 mm yatay delikli tuğla Zayiat dahil	AD	26	3,25	84,50
19.100.2419	Kireç harcı yapılması (sönmüş kireç torbalı)	M3	0,01	1319,33	13,19
10.130.9991	Su	M3	0,01	35,00	0,35
İşçilik					
10.130.1013	Duvarcı ustası	SA	0,60	190,00	114,00
10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	SA	1,20	124,00	148,80
Kârsız Toplam :					360,84
Kâr ve Genel Gider Toplam :					90,21
1 m ² 85 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 85 x 190 mm) ile duvar yapılması					451,05

Proje yönetim sürecinde miktar tespiti yapılmış işleri birim fiyat analizlerindeki malzeme ve işçilik ihtiyaçları ile çarparak projede ne kadar malzeme ve işçilik ihtiyacı olduğu hesaplanabilir. Burada yer alan malzeme miktarlarının bedelleri projenin doğrudan maliyetinin malzeme bedeli anlamında tespit edilmesini sağlar. Aktivitenin tamamlanması için gerekli olan işçilik miktarları ise adam-saat biriminde ifade edilir. Aktivitenin metrajı ile ihtiyaç duyulan adam-saat değerleri çarpılarak toplam adam-saat değerleri tespit edilebilir.

3.4 Planlama

Proje yönetiminin en önemli adımlarından birisi planlama evresidir. Bu evre projenin süre ve maliyetine karar verilen süreçtir. Daha doğrusu bu süreç sonunda ortaya işin toplam maliyeti ve tamamlanma süreci ortaya çıkacaktır. Bir projenin tamamlanma maliyeti doğrudan ve dolaylı maliyetlerden oluşur. Doğrudan maliyetler aktivitelerin tamamlanması için gerekli olan işçilik, makine ve malzeme giderlerini oluşturur. Dolaylı maliyetler ise projenin tamamlanması için ihtiyaç duyulan yemek, konaklama, personel maaşları, ulaşım ve enerji ihtiyaçları gibi giderleri kapsar. Bu dolaylı maliyetler projenin tamamlanma süresiyle doğrusal ilişki içerisindedir.

Bir aktivitenin tamamlanma süresi ile maliyeti arasında ters bir ilişki vardır. Aktivitenin süresi kısaltılmak istendiğinde o aktivite için yapılan harcamanın artırılması gerekmektedir. Projenin hazırlanması ardından metrajlar yapılır ve sonrasında bu metrajlar birim fiyatlarla çarpılarak ortaya ihtiyaç duyulan malzeme ve adam-saat miktarları çıkar. Bir aktivitenin kaç adam-saatle tamamlanacağına göre işçi miktarları belirlenmelidir ki bu belirleme projenin süresine doğrudan etki edecektir. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse; **Çizelge 3. 3**'teki örnekte bir birim duvar örmek için duvarcı ustasının 0,60 saat (36 dk.) ve düz işçinin ise 1,20 saat (72 dk.) çalışmasına ihtiyaç duyulduğu ilgili bakanlığın geçmiş yıllarda gerçekleştirdiği analizler sonucunda belirlenmiştir. Buradan hareketle konut inşaatının bir katında 220 m² duvar imalatı olduğu varsayıldığı durumda toplamda bir katın duvarının örülmesi için duvarcı ustası ihtiyacı 132 adam-saat ve düz işçi ihtiyacı ise 264 adam-saat olacaktır. Bir mesai gününün 8 saat olduğu kabul edilirse söz konusu duvar imalatının 5 günde tamamlanması için 4 adet duvarcı ustasına ve 7 adet düz işçiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hesap yapılırken toplam adam-saat önce günlük mesai saatine ardından ise bitirilmek istenen güne bölünür ve çıkan değer yukarı yuvarlanarak yapılır. Duvarcı ustasının yevmiyesi 2000 TL/gün ve düz işçinin yevmiyesi 1500 TL/gün olarak alınırsa aktivitenin toplam işçilik maliyeti 18.500 TL olacaktır.

Malzeme maliyeti aktivitenin süresinden bağımsız olarak sabittir ve aktivitenin tamamlanma süresine bir etkisi olmaz. Malzeme maliyetinin aktivitenin süresine etkisi olabilmesi için malzeme tedarik sürecinde problem yaşanılması gerekmektedir. Verilen örnekte duvar örme işinin tamamlanması için ihtiyaç duyulan malzemenin tedarik edilmesinde maddi olarak ya da imalat olarak problem olduğu takdirde aktivitenin süresi uzayacaktır. Bu durum kaynak kısıtlı iş programı problemi olarak adlandırılır ve çoğu aktivite için yer almadığından dikkate alınmaz.

Aktivitelerin süresine bağlı olarak dolaylı maliyetler de artacaktır. Bu açıdan değerlendirildiğinde aktivitenin süresinin kısalması doğrudan maliyeti artıracaktır ama diğer yandan dolaylı maliyetlerin azalmasını sağlayacaktır. Bu sebeple herhangi bir aktivite için süresinin kısalması için gereken ek maliyeti dolaylı maliyetin kısalan gün kadarki maliyetinden az ise o aktiviteyi hızlandırmak proje tamamlanma maliyetini düşürecektir.

3.5 Hızlandırma Alternatifleri, Maliyet ve Süre Analizi

Bir aktivitenin gecikmesi projenin tamamlanma süresini etkilemiyorsa söz konusu aktivitenin bolluk olarak tanımlanır. Örnek olarak duvar örme ve elektrik ile mekanik tesisat imalatlarının ele alındığı durumda duvar imalatından sonra sıva imalatı yapılacaktır ancak duvar örülürken bir yandan da duvar içerisinde kalacak elektrik ve mekanik imalatların yapılması gerekmektedir. Duvar örme imalatının 8 günde tamamlanacağı, elektrik ile mekanik tesisatın ise 5 günde tamamlanacağı varsayıldığında duvar imalatı bitmeden sıva imalatı başlayamayacağından sıva 8 gün sonra başlayabilir. Bu durumda sıva imalatı elektrik ve mekanik imalatından bağımsızdır. Elektrik ve mekanik imalatının 3 gün gecikmesi projenin tamamlama süresine bir etkisi olmayacaktır. Bu durum bolluk tanımına bir örnektir. Aynı şekilde elektrik ve mekanik tesisatlarının hızlı tamamlanması projenin erken tamamlanmasına katkı sağlamayacaktır. Bu örnekte duvar örülmesi kritik yol üzerindedir ve ancak bu aktivitenin hızlandırılması proje süresini kısaltacaktır.

Aktivitelerin hızlandırılmasının kritik yol üzerinde aktiviteler üzerinden yapılması mantıklı hale gelecektir. Aksi durumda hızlandırmalar sadece kaynakların daha erken tahsis edilmesini ve kısa sürede daha fazla bütçe harcanmasına sebep olacaktır. Proje yönetim sürecinde her bir aktivitenin hızlandırma aktiviteleri belirlenmelidir. Bu yapılırken ise kıstas aktivitelerin tamamlanma süreleridir. Duvar örme imalatının 5 gün yerine 1 günde yapmak istenirse 17 adet duvarcı ustasına ve 33 adet düz işçiye ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum hem fiziksel olarak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple hızlandırma alternatiflerinin akılcı yapılması gerekmektedir. Ayrıca burada şantiyede fazla sayıda işçi olması iş kazaları olma riskini artıracaktır ve imalatların kalitesinin düşeceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonmez ve Rowings (1998) çalışmalarında inşaatlarda işgücü verimliği alanında çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada aktivitelerdeki işçi sayısının artması bir işçinin yapacağı iş miktarının verimiyle ters orantılı olduğu açıklanmıştır. Çalışmada denklem (3. 1) 'deki formüle yer verilmiştir. Bu formülde CS ifadesi İngilizce 'Crew Size'ın kısaltılması yani işçi sayısı olarak alınmalıdır. İşçi sayısı arttıkça verim düşecektir. Bu sebeple aktivitenin hızlandırılması için işçi sayısının artırılması belli bir sayıdan sonra hızlandırma değil yavaşlamaya sebep olacaktır.

$$\eta = 1.25 - 0.038 (CS - 2) \quad (3. 1.)$$

Duvar örme örneğinden devam edecek olursak 220 m² duvarın 5 günde örülmesi için 4 adet duvarcı ustasına ve 7 adet düz işçiye ihtiyaç olduğu belirtilmişti. Eşitlik (3. 1)'e göre 11 adet işçinin verimi 0,908 değeri olacaktır. Burada verimi hesaba katmak için toplam adam-saat değerini süre ve günlük mesai saatine bölerek bulunan sonucu da verime bölerek gereken işçi sayısı belirlenebilir. Çıkan sonuç yukarı tamsayıya yuvarlanırsa gereken duvarcı ustasında bir değişiklik olmayacaktır ancak düz işçi sayısını 12 adete çıkacaktır. Örneğin duvar imalatının 1 günde tamamlanması üzerinden gidilecek olursa gerekli olan usta sayısı 17 ve düz işçi sayısı ise 33'e çıkacaktır. Eşitlik (3. 1)'de yer alan formüle 50 sayısı yazıldığında değer eksi çıkacaktır ki bu durum matematiksel olarak gün içerisinde eksi miktarda iş yapılması sonucunu verecektir. Aslında burada ortaya çıkan durum işin bir günde tamamlanmasının fiziksel olarak imkânsız olduğunun bilinmesidir.

Proje yönetim sürecinde aktivitelerin hızlandırma maliyetlerinin planlama safhasında oluşturulması ve yapım safhasına geçilmeden önce hangi aktivitelerin hızlandırılabilirliğinin bilinmesi gereklidir. Ayrıca hızlandırma yapılması bile projenin ilerleyen safhalarında projenin olası gecikme ihtimaline göre hızlandırma yapılabilir. Proje üzerinde kritik yol üzerinde bulunan aktivitelerin hızlandırılması kritik yolu değiştirebilecektir. Bu durum ise ilk planlamada hızlandırma yapılmasına ihtiyaç duyulmayan aktivitelerin hızlandırılmasını gerektirecektir. Bu sebeple tüm aktivitelerin hızlandırılma alternatifleri planlanmalıdır. Alternatif sayısının makul bir değer olması gereklidir. Genel anlamda bu sayı her aktivite için aynı olmamakla beraber 5 ile 8 arasında bir alternatif sayısı makul olacaktır. ÇŞİDB birim fiyat kitabında yer alan 15.220.1001 pozuna ait örnek hızlandırma maliyetleri sunulmuştur (Çizelge 3. 4).

Çizelge 3. 4: Duvar Örme Aktivitesi Hızlandırma Alternatifleri.

15.220.1001 85 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 85 x 190 mm) ile duvar yapılması aktivitesine ait hızlandırma maliyetleri																
	1. Alt.		2. Alt.		3. Alt.		4. Alt.		5. Alt.		6. Alt.		7. Alt.		8. Alt.	
Duvar Örme	Gün	Kişi	Gün	Kişi	Gün	Kişi	Gün	Kişi	Gün	Kişi	Gün	Kişi	Gün	Kişi	Gün	Kişi
	10	5	9	6	8	7	7	8	6	9	5	11	4	14	3	20
Tutar	8.000		10.000		12.000		13.500		15.000		18.500		24.000		34.500	

*Alt. : Alternatif

Duvar örme alternatiflerinin yer aldığı **Çizelge 3. 4** incelendiğinde işin yavaştan hızlıya doğru olacak şekilde 10 günde 5 kişi ile 8.000 TL ile tamamlanmasından, 3 günde 20 kişi ile

34.500 TL ye tamamlaması yer almaktadır. Çizelgeden görüldüğü üzere duvar örme aktivitesinin hızlandırılması için aktivitenin maliyetinin artması gerekmektedir. Bu aktivitede çalışan işçi sayısının artırılması ile mümkündür. Duvar örme aktivitesinin kritik yol üzerinde olduğu varsayılırsa seçilen her alternatifin kısalttığı süre kadar projenin toplam tamamlanma süresi kısaltılacaktır. Aktivitenin hızlandırma alternatifleri seçildikçe söz konusu aktivite kritik yol üzerinden çıkabilecektir. Bu durumda başka aktivitelerin hızlandırma yoluna gidilecektir ve söz konusu aktivite tekrar kritik yol üzerine gelebilir.

Hızlandırma alternatiflerinden biri seçilirken söz konusu bu seçimin şantiye dolaylı giderine kıyaslamasıyla karar verilir. Örneğin 5. alternatiften 6. alternatife geçilmesi proje tamamlanma maliyetine 3.500 TL ilave edecektir. Eğer bu artış şantiye dolaylı giderinden az ise hem proje tamamlanma süresi hem de proje tamamlanma maliyeti azalacaktır.

Alternatiflerden her zaman en hızlısı seçilemez çünkü kaynaklar her zaman sınırsız değildir. Mesela en hızlı duvar örme alternatifi seçildiğinde o kadar işçi temin edilemeyebilir ya da şantiye sahasına tuğla tedarik sürecinde problem yaşanabilecektir. Hal böyle olunca kısıtlı kaynak ile iş programının yapılması kaçınılmazdır. Bazı durumlarda da en hızlı alternatifin yapılması çok maliyetli olacağından aktiviteler hızlandırılmaz. 7. alternatiften 8. alternatife geçilmesi süreyi 1 gün kısaltmakta ancak maliyeti 10.000 TL artırmaktadır. Bu durumda hızlandırma yapılması maddi açıdan dezavantaj oluşturacağından seçilmez.

Proje yönetim sürecinde genelde kısıtlı kaynak ile iş programı yapılması gerekmektedir. Bazı kaynaklarda kısıt olması bunu mecbur kılacaktır. Konvansiyonel kalıpla inşaat yapılacak dilatasyon olan bir bina düşünelim ve elimizdeki kalıp ve kalıp iskelesi kısıtlı olsun. Bu durumda bloklardan bir tanesinin imalatı tamamlansa bile kalıp bekleme süreleri ve kalıp kaynağının kısıtlı olması sebebiyle diğer kısma geçilemeyecektir. Aslında kalıp ve kalıp iskelesi üzerinde kısıt bulunmasa ve işçi temininde problem olmasa inşaat süresi ciddi manada kısalacaktır. Bu kısalma maliyette ciddi bir artışa yol açacaktır. Burada yüklenicinin fazladan kalıp ve kalıp iskelesi temin etmesinin kaba inşaat sonrasında söz konusu malzemelerin elinde kalmasına sebep olacaktır. Kiralama yoluna da gidilse bu sefer kiralama maliyeti işin toplam maliyetini yükseltecektir. Bu örnekte aslında kalıp ve kalıp iskelesinin kısıtlı kaynak olması zorunluluk değil tercih sebebidir çünkü kaynağı kısıtlı hale getirerek çözüm aramak kuşkusuz ekonomik anlamda optimum çözüm olacaktır. Bu seçeneğin seçilmesi tamamıyla süre ile alakalıdır. Eğer proje tamamlanma süresi üzerinde ciddi baskı yoksa kısıtlı kaynak ile tasarım daha etkili olacaktır.

3.6 İş Programı Hazırlama Yöntemleri

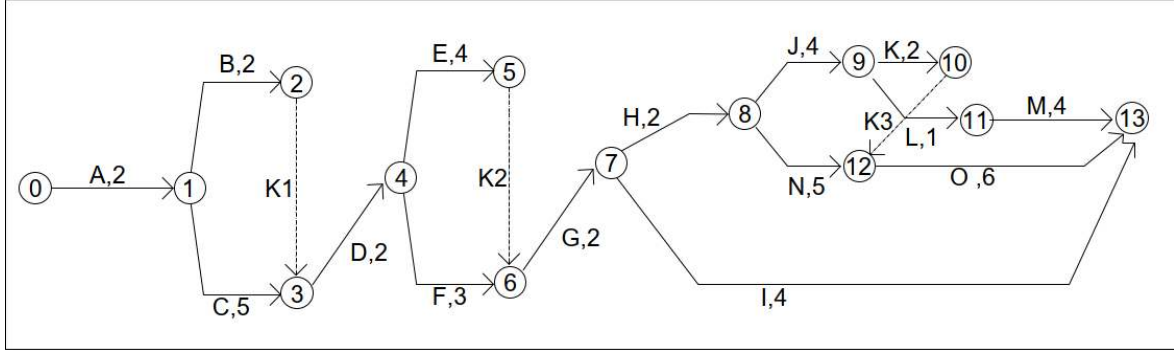
Proje yönetim sürecinin ilk aşaması yapım safhasına geçilecek projenin metrajlarının çıkarılmasıdır. Ardından iş kırılım yapısı oluşturulur ve yönetim süreci bu bölümlere ayrılmış aktiviteler üzerine yoğunlaşır. Planlama safhasında yapım sürecinin kaç kişilik ekiplerle hangi tedarik sürecinde yapılacağına dair planlama yapılır. Bu yapılırken her aktivite için en uzun süre ve en düşük maliyetle planlama yapılır. Hızlandırma alternatiflerinin belirlenmesinin ardından eğer projenin toplam maliyetini düşürülebilmesi ve süresinin kısaltılabilmesi mümkünse bu aşamada hızlandırma alternatiflerine göre planlama revize edilir. Bu aşamalardan sonra verilen kararlar daha anlaşılır ve uygulanabilir olması açısından iş programında gösterilir.

Bu şekilde ön tasarımı yapılan bir proje yönetim süreci iki iş programından birisi ile görsel hâle getirilir. KYY'ye göre iş programı oluşturulmasının bazı temel prensipleri vardır. Bir aktiviteyi başlatabilmek için öncül aktivitelerin hepsinin tamamlanması gerekmektedir. Öncül aktivitesi olmayan işler direkt olarak projeye beraber başlayabilirler. Şebekede kullanılan okun uzunluğu aktivitenin süresini ya da kaynak ihtiyacını göstermez. Ok sadece iki olay arasındaki bağı gösterir. Şebekede yer alan aktivitelere verilen rakamlar şebeke içinde uyumlu olmalıdır. Bir aktivitenin başlangıç olayının rakamı bitiş olayından büyük olamaz. KYY'yi bir örnekle açıklayacak olursak, basit bir tek katlı yığma yapıda yer alan birkaç aktivite üzerinde açıklamak uygun olacaktır (**Çizelge 3. 5**).

Çizelge 3. 5: Yığma Yapıya Ait Örnek.

Aktivite	Süre (Gün)	Öncelik (Bağılılık)
Kazı (A)	2	-
Temel Kalıp (B)	2	A
Temel Demir (C)	5	A
Temel Beton (D)	2	B,C
Tabliye Kalıp (E)	4	D
Tabliye Demir (F)	3	D
Tabliye Beton (G)	2	E,F
Duvar (H)	5	G
Çatı (I)	4	G
Sıva (J)	4	H
Boya (K)	2	J
Şap (L)	1	J
Seramik (M)	4	L
Dış Cephe (N)	5	H
Doğrama (O)	6	N,K

Yığma yapıya ait KYY'ye ait olan şebeke diyagramı **Şekil 3. 1**'de yer almaktadır. Burada her aktivitenin birbiri ile olan öncüllük ve ardıllık ilişkileri yer almaktadır.



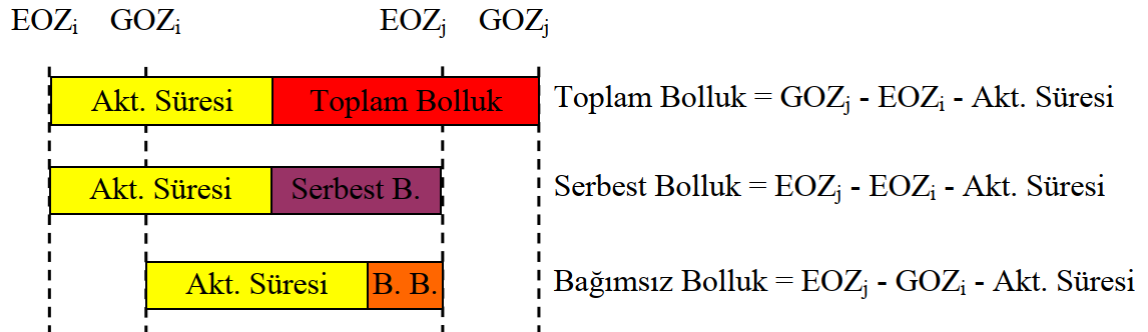
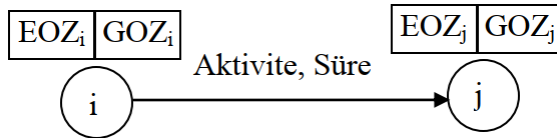
Şekil 3. 1: Yığma Yapıya Ait Şebeke Diyagramı

Şebeke diyagramından sonra şebeke diyagramı doğrultusunda projeye ait süre çizelgesi oluşturulmuştur (**Çizelge 3. 6**). Bu çizelge ile ilgili olarak bazı açıklamaların yapılması faydalı olacaktır. Her aktivitenin başlangıç ve tamamlanma numarası yer almaktadır. İki numara arasında bir aktivite yer alabilir. Her aktivitenin tamamlanma süresi vardır ve bazı aktiviteler kendinden önceki aktivite tamamlanmadan başlayamaz. Örnek vermek gerekirse tabliye betonu tamamlanmadan çatı imalatı başlayamayacaktır ya da doğrama imalatı tamamlanmadan önce dış cephe ve boya imalatının tamamlanması gerekmektedir. O halde boya imalatı önce tamamlansa bile dış cephe imalatı tamamlanmadan doğrama imalatı başlayamayacaktır. Bu durumda boya imalatının, dış cephe tamamlanana kadar gecikmesi işin toplam süresini etkilemeyecektir. Söz konusu süre fazlalığı bolluk olarak tanımlanır. Proje başlangıcından hareketle her aktivitenin erken tamamlanma süresi belirlenir ve bu erken olay zamanı olarak adlandırılır (EOZ). Tüm aktivitelerin düğüm noktaları kendinden önceki aktiviteye göre süreler alır. **Çizelge 3. 6**'da EOZi sütununda yer almaktadır. Aktiviteler sırasıyla kendinden önceki ve/veya aktivitelerin tamamlanması ardından başlar ve bu hususa göre hesaplamalar ardından projenin tamamlanma süresi 32 gün olarak hesaplanmıştır. Bu süre hesaplandıktan sonra proje tamamlanma süresinden geriye gelecek şekilde kendinden önceki aktiviteler ışığında geç olay zamanları (GOZ) hesaplanır. Her aktiviteye göre bolluk hesabı **Şekil 3. 2**'ye göre yapılır. Proje de bolluk değeri sıfır olanlar kritik yoldur ve bu projede kritik yol A-C-D-G-H-J-K-O hattıdır. Bu hat dışında kalan aktivitelerin bolluk süreleri vardır ve bolluk sayısı kadar gecikme projenin toplam süresini etkilemez. Örnek olarak çatı imalatının 13 gün

gecikmesi proje toplam süresini artırmaz. Projenin erken tamamlanması için kritik yol üzerindeki aktivitelerin hızlandırılması gerekmektedir.

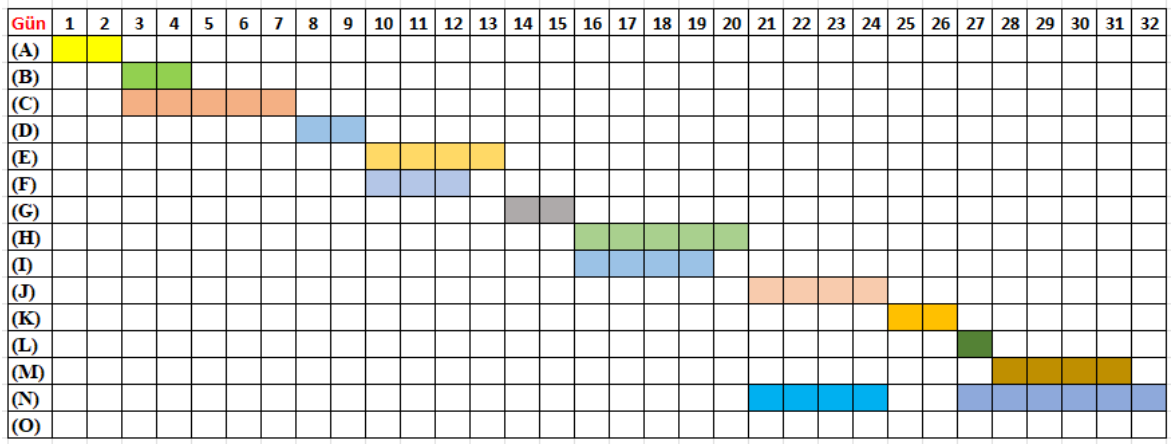
Çizelge 3. 6: Yığma Yapıya Ait Süre Çizelgesi

Aktivite	Başlangıç Olay No	Tamamlanan Olay No	Süre	EOZ _i	GOZ _i	EOZ _j	GOZ _j	Bolluk
(A)	0	1	2	0	0	2	2	0
(B)	1	2	2	2	2	4	7	3
(C)	1	3	5	2	2	7	7	0
(D)	3	4	2	7	7	9	9	0
(E)	4	5	4	9	9	13	13	0
(F)	4	6	3	9	9	13	13	1
(G)	6	7	2	13	13	15	15	0
(H)	7	8	5	15	15	20	20	0
(I)	7	13	4	15	15	32	32	13
(J)	8	9	4	20	20	24	24	0
(K)	9	10	2	24	24	26	26	0
(L)	9	11	1	24	24	25	28	3
(M)	11	13	4	25	28	32	32	3
(N)	8	12	5	20	20	26	26	1
(O)	12	13	6	26	26	32	32	0
K1	2	3	0	4	7	7	7	3
K2	5	6	0	13	13	13	13	0
K3	10	12	0	26	26	26	26	0



Şekil 3. 2: Süre Çizelgesi Tanımlar

Yığma yapıya ait proje Gantt şeması üzerinde de gösterilebilir (**Şekil 3. 3**). Bu şemada ilk sütunda aktiviteler ve ilk satırda günler yer almaktadır. Çubuk şemasıyla işin süresi, başlangıç ve bitiş zamanı gösterilebilir. Her aktivite başlangıç zamanından başlayarak aktivite süresi kadar çubuk diyagramla gösterilir. Bu iş programı yönteminde aktiviteler arası öncüllük ve ardıllık ilişkisi net anlaşılamamaktadır. Ancak bu gösterim şeklinde çubuk diyagramının büyüklüğü direkt olarak aktivite uzunluğunu tarif etmektedir. Ayrıca aktivitenin ne zaman başlayacağı, ne zaman tamamlanacağı ve doğal olarak ne kadar süreceği daha iyi anlaşılmaktadır. Gün yapılan harcama tutarları en alt satırda toplandığında aktivitelerin günlük maliyetleri de bu gösterim şeklinde daha anlaşılır olacaktır. Bu avantajlar sayesinde kullanımı daha yaygındır ve daha basit bir gösterim olması sebebiyle daha anlaşılır olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3. 3: Yığma Yapıya Ait Gantt Şeması

3.7 Optimizasyon

İş programı oluşturulup proje tamamlanma süresi ve maliyeti tespit edildikten sonra söz konusu bu değerlerin minimize edilmesi gerekmektedir. İş programının olması mümkün ihtimaller arasında en az süre ve maliyete getirilmesi sürecine iş programı optimizasyonu denir. Bu optimizasyonun yapılabilmesi maksadıyla öncelikle şantiyenin mevcut aktivitelerinin maliyetleri ve dolaylı gideri hesaplanmalıdır (**Çizelge 3. 7**).

Çizelge 3. 7: Yığma Yapıya Ait Maliyet Çizelgesi

Yığma Yapı Maliyet	
Aktivite	Maliyet
Kazı (A)	20.000,00 TL
Temel Kalıp (B)	5.000,00 TL
Temel Demir (C)	60.000,00 TL
Temel Beton (D)	40.000,00 TL
Tabliye Kalıp (E)	50.000,00 TL
Tabliye Demir (F)	35.000,00 TL
Tabliye Beton (G)	20.000,00 TL
Duvar (H)	18.000,00 TL
Çatı (I)	12.500,00 TL
Sıva (J)	22.500,00 TL
Boya (K)	8.000,00 TL
Şap (L)	4.500,00 TL
Seramik (M)	16.000,00 TL
Dış Cephe (N)	15.000,00 TL
Doğrama (O)	20.000,00 TL
Toplam	346.500,00 TL

Yapım işinin toplam maliyeti 346.500,00 TL olarak hesaplanmıştır. Bu yapım işinin günlük 10.000,00 TL tutarında dolaylı gideri olduğu varsayımı yapılabilir. Bu gidere ulaşım, konaklama, vergiler, sigorta giderleri, enerji vb. giderler dâhildir. Yapım faaliyetinde kritik hat üzerinde yer alan kazı, temel demir, temel beton, tabliye beton, duvar, sıva, boya ve doğrama imalatlarında hızlandırma alternatiflerinden biri seçilerek hem projenin toplam maliyeti hem de tamamlanma süresi kısaltılarak iş programı optimize edilebilir.

Projenin birinci duruma göre tamamlanma süresi 32 gün ve tamamlanma maliyeti dolaylı giderler dâhil 666.500,00 TL'dir. Her aktivitenin hızlandırma maliyetleri **Çizelge 3. 8**'de sunulmuştur. Bu çizelgeye göre kritik yol üzerinde yer alan aktiviteler hızlandırılarak iş programı maliyet ve süre anlamında optimize edilecektir.

Çizelge 3. 8: Aktivitelerin Hızlandırma Maliyetleri

Aktivite	1. Alternatif		2. Alternatif		3. Alternatif	
	Süre	Maliyet (TL)	Süre	Maliyet (TL)	Süre	Maliyet (TL)
Kazı (A)	2	20.000,00	1	28.000,00	-	-
Temel Kalıp (B)	2	5.000,00	1	8.000,00	-	-
Temel Demir (C)	5	60.000,00	4	72.000,00	3	88.000,00
Temel Beton (D)	2	40.000,00	1	52.500,00	-	-
Tabliye Kalıp (E)	4	50.000,00	3	58.000,00	2	68.000,00
Tabliye Demir (F)	3	35.000,00	2	43.000,00	1	53.000,00
Tabliye Beton (G)	2	20.000,00	1	32.500,00	-	-
Duvar (H)	5	18.000,00	4	26.000,00	3	36.000,00
Çatı (I)	4	12.500,00	3	18.500,00	2	26.500,00
Sıva (J)	4	22.500,00	3	34.000,00	2	45.000,00
Boya (K)	2	8.000,00	1	16.500,00	-	-
Şap (L)	1	4.500,00	-	-	-	-
Seramik (M)	4	16.000,00	3	24.000,00	2	34.000,00
Dış Cephe (N)	5	15.000,00	4	20.000,00	4	28.000,00
Doğrama (O)	6	20.000,00	5	28.000,00	4	38.000,00

Optimizasyon projenin en düşük maliyet ve en kısa sürede tamamlanabilmesi maksadıyla yapılır ve bu işleme zaman maliyet ödünleşim problemi denilmektedir. Bu açıdan bakıldığında hangi aktivitelerin hızlandırılacağı kararı verilirken aktivitenin süresinin kısılması için ödenmesi gereken tutar projenin günlük dolaylı maliyet tutarından az ise hızlandırma alternatifi tercih edilmelidir. Aksi takdirde süre kısılırken maliyet artacaktır. Bazı durumlarda projenin en kısa sürede tamamlanması esas olsa da genelde süreden bağımsız olarak en düşük maliyet olan iş programı seçilir.

Optimizasyon sürecinde bazı yaklaşımlar yapılabilir. Sezgisel olan bu yaklaşımlarla optimizasyon yapılırken kritik hat üzerindeki aktivitelerden başlanmalıdır. Bu durumda projenin tamamlanma süresi azalacaktır. Projede bolluk değeri 0 olan aktiviteler kritik hat üzerindedir. Bu aktivitelerin süresi kısaldığında kritik hat yer değiştirebilir. Sunulan örnekte tabliye kalıp imalatı 2 gün daha erken tamamlanırsa toplam aktivite süresi 2 güne düşecektir. Bu durumda ise kritik hat tabliye kalıp imalatından tabliye demir imalatına dönecektir. Hızlandırma durumu değerlendirmesi ise tabliye demir aktivitesi üzerinde düşünülmelidir. Proje üzerinde yapılan optimizasyon **Çizelge 3. 9**'da yer almaktadır.

Çizelge 3. 9 : Hızlandırma Adımları, Süre ve Maliyet

Hızlandırma Adımı	Hızlandırılan Aktivite	Süre	Doğrudan Maliyet (TL)	Dolaylı Maliyet (TL)	Toplam Maliyet (TL)
0	YOK	32	346.500,00	320.000,00	666.500,00
1	A	31	354.500,00	310.000,00	664.500,00
2	E	30	362.500,00	300.000,00	662.500,00
3	F	30	370.500,00	300.000,00	670.500,00
4	H	29	378.500,00	290.000,00	668.500,00
5	O	29	386.500,00	290.000,00	676.500,00
6	K	28	395.000,00	280.000,00	675.000,00
7	N	28	400.000,00	280.000,00	680.000,00
8	E	27	410.000,00	270.000,00	680.000,00
9	F	27	420.000,00	270.000,00	690.000,00
10	H	26	430.000,00	260.000,00	690.000,00
11	O	26	440.000,00	260.000,00	700.000,00
12	J	25	451.500,00	250.000,00	701.500,00
13	N	25	459.500,00	250.000,00	709.500,00
14	J	24	470.500,00	240.000,00	710.500,00
15	C	23	482.500,00	230.000,00	712.500,00
16	D	22	495.000,00	220.000,00	715.000,00
17	G	21	507.500,00	210.000,00	717.500,00
18	C	20	523.500,00	200.000,00	723.500,00

Hızlandırma alternatifleri yapılırken öncelikle kritik hat üzerinde yer alan imalatlardan başlanmıştır. Birinci adımda kazı imalatı hızlandırılmıştır. Bu hızlandırma proje toplam maliyetini 2.000,00 TL azaltmış ve proje süresini 31 güne düşürmüştür. Ardından toplamda 18 adım hızlandırma yapılmıştır. Bu işlemler sırasında ikinci adımda sezgisel yöntemle ile proje toplam maliyeti düşürülmüştür. Projenin toplam maliyetinde 4.000,00 TL azalma ve süresinde 2 gün kısalma meydana gelmiştir. Hızlandırma adımlarına devam edildiğinde proje maliyetinin bu durumdan daha az olduğu duruma rastlanılmamıştır. Bunun yanında süre olarak en kısa durum son adımda meydana gelmiştir ancak bu halde de proje toplam maliyeti ilk duruma göre 57.000,00 TL artmıştır. Eğer projenin süreden bağımsız olarak en kısa sürede tamamlanması hedeflenseydi bu duruma göre iş programı hazırlanabilirdi. Fakat optimizasyonda amaç proje toplam maliyetinin en düşük olduğu durumun bulunmasıdır.

Bu optimizasyon deneme yanılma yoluyla yapılmıştır ve 15 aktiviteli bir proje için bile 18 adet adım denenmiştir. Sezgisel yöntemle ulaşılan bu sonucun en optimum çözüm

olduğu çok aktiviteli olmayan bu örnekte kabul edilebilir düzeydedir. Ancak aktivite sayıları arttığında ve hızlandırma alternatif sayıları daha fazla olduğunda sezgisel yöntemler ile çözüm aramak hem çok uzun sürmekte hem de optimum çözüme ulaşmak oldukça zor hale gelmektedir. Bu sebeple optimizasyon için üst sezgisel yöntemlerin tercih edilmesi daha akılcı olacaktır. Genetik algoritma üst sezgisel yöntemler arasında en çok tercih edilenler arasındadır.

3.8 Genetik Algoritma ile Optimizasyon

Genetik algoritma ile probleme çözüm aramak için excel hesap tablosu üzerine yazılan makro kodları kullanılmıştır. Optimizasyon sürecinin bir önceki örnekte sunulduğu gibi el yordamıyla yapılması neredeyse imkânsızdır. Çünkü kullanılan parametrelere göre deneme sayısı binlerce olabilmektedir.

Optimizasyon için öncelikle muhtemel çözümleri içeren bir popülasyon oluşturulmalıdır. Bu popülasyonun üyeleri olan çözümler yani genler belli bir kurala göre rastgele oluşturulur (Şekil 3. 4.). Bu örnek için 100 adet başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur. Her bir aktiviteye hızlandırma alternatif sayılarını geçmeyecek kadar ve rastgele olacak şekilde değerler atanır.

	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
3	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
4	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
5	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
6	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
7	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
8	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
9	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
10	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
11	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
12	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
13	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
14	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1

Şekil 3. 4 : Rastgele Oluşturulan Popülasyon

Başlangıçta proje yönetim sürecinde kullanılabilecek ve rastgele alternatiflere göre düzenlenmiş 100 adet çözüm üretilmektedir. Bu çözümlerin uygunluk fonksiyonuna göre değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Hiç kuşkusuz proje yönetim sürecinin uygunluk fonksiyonu en düşük maliyet ve en kısa tamamlanma süresidir. Uygunluk fonksiyonuna göre her bir çözümün maliyet ve süre değerleri hesaplanır.

Genetik algoritma operatörlerinden bir tanesi mutasyon operatörüdür. Mutasyon operatörü çözümler içerisinde mutasyon oranı kadar çözüm üzerindeki alternatifleri rastgele olacak şekilde değiştirerek yeni çözümler üretmektedir. Mutasyon operatörünün çalıştırılmasıyla mevcut çözümlerin sayısı artacaktır.

Genetik algoritmanın bir diğer önemli operatörü ise çaprazlamadır (Crossover). Çaprazlama aşamasında bir nevi gen değiş tokuşu yapılarak yeni çözümler üretilmeye çalışılmaktadır. Her yeni çözüm kendisini meydana getiren çözümden (anne, baba) özelliklerini taşır. Buradaki amaç çaprazlama sonucunda uygunluk fonksiyonuna göre uygun olmayan çözümlerin çaprazlama ihtimali azalacağından popülasyonun tekrar sayısı arttıkça uygunluk fonksiyonuna göre daha optimum çözümler çoğalacaktır.

Çaprazlama esnasında işlem rastgele yapıldığı için iyi çözümlerin yanında kötü çözümlerin birbiri ile çaprazlanma ihtimali vardır. İki kötü çözüm ya da bir iyi bir kötü çözüm birbiriyle çaprazlandığında optimum çözümden uzaklaşılacaktır. Mutasyon operatörü bu sorundan kaçınmak için kullanılmaktadır. Bu sayede çözüm kümesindeki çeşitlilik artacaktır ve daha iyi çözümlerin bulunma ihtimali olacaktır.

Son aşamada ise doğal seleksiyon, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra elde edilen mevcut çözümlerden sadece bazıları hayatta kalacaktır. Bu elimizde kalan popülasyonda aynı işlemler tekrar edilerek optimum çözüme yaklaşmak için uğraşılacaktır. Çözüm arayışında uygunluk değeri yüksek olan ne kadar çok çözüm olursa optimum sonuca ulaşmak o kadar kolaylaşacaktır.

Örnek problemde parametre sayısı aktivite sayısına eşit olacak şekilde 15 olarak tanımlanmıştır. Popülasyon boyutu ise 100 olarak alınmıştır. İlk etapta rastgele olacak şekilde popülasyon oluşturulmuş ve hızlandırma alternatiflerine göre rastgele oluşturulan her popülasyonun süre ve maliyet değerleri hesaplanmıştır. Bazı değerler **Şekil 3. 5**'te yer almaktadır.

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
3	Puan	Süre	Maliyet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
4	101,5427	28	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
5	107,989	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
6	119,7597	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
7	125,6833	28	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
8	132,5533	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
9	134,3897	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
10	148,4345	28	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
11	152,672	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
12	154,6813	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
13	155,2942	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
14	161,6741	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
15	162,8843	28	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
16	165,4602	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
17	166,2804	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
18	170,7399	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
19	171,0609	28	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
20	175,0467	28	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
21	175,1404	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
22	175,1983	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
23	176,522	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
24	177,0787	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
25	178,1112	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
26	192,4079	27	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
27	193,2753	28	659.000,00 TL	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1

Şekil 3. 5: Popülasyon, Süre ve Maliyet Değerleri

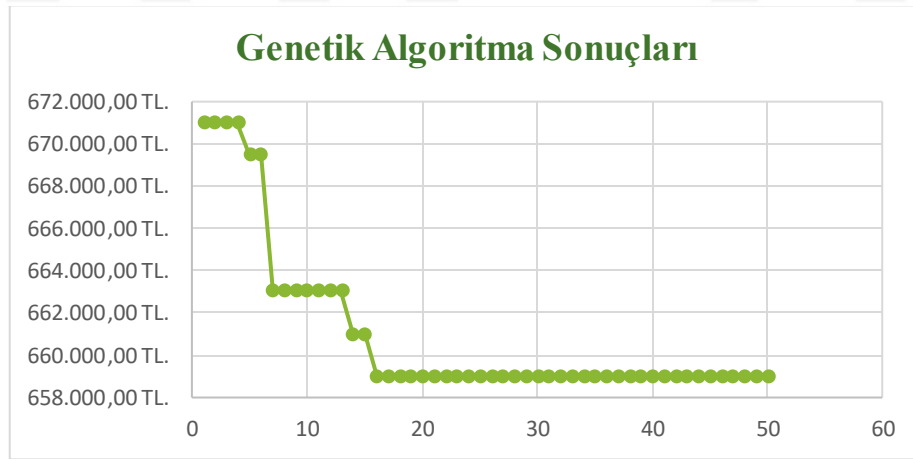
Söz konusu örnekte mutasyon oranı 0,10 olarak alınmıştır. 100 adet popülasyondan rastgele 10 adedi seçilerek seçilen 10 adet popülasyonun hızlandırma alternatifleri +1 ya da -1 değeri eklenerek değişiklik yapılır. Sonuç 0 ise 1 olarak alınır, sonuç hızlandırma alternatif sayısından fazla olur ise maksimum hızlandırma alternatifi kadar değer alabilir. Bu işlem sonucunda 100 adet bireye 10 adet mutasyondan gelen bireyler eklendiğinde birey sayısı 110 adete çıkmaktadır. Sonraki aşamada 110 adet olan popülasyonun her birine rastgele olacak şekilde puanlama yapılır. Rastgele yapılan puanlama sonucuna göre en düşük puandan en yüksek puana doğru bir sıralama yapılır. Bu sıralamanın yapılması elzemdir aksi takdirde yapılan her çaprazlamada 1. sıradaki çözüm 2. sıradaki ve 3. sıradaki çözüm ise 4. sıradaki çözüm ile eşleşecektir. Çaprazlama işlemine bu şekilde devam edilmemesi için puanlama yapılmaktadır. Bunun olması popülasyondaki çözümlerin çeşitliğini azaltacaktır ve optimum çözüme ulaşılması kolaylaşacaktır.

Bir sonraki aşama çaprazlama aşamasıdır. Bu aşamada ise 110 adet rastgele puana göre iyiden kötüye doğru sıralanmış olan popülasyon arasından tanımlanan çaprazlama oranı kadar çözümün rastgele birinci kısmıyla başka bir çözümün rastgele ikinci kısmından yeni bir gen (çözüm) üretilir. Bizim örneğimizde çaprazlanma oranı 0,70 olarak alınmıştır. Bu değer yaklaşık olarak mevcut popülasyon arasından çaprazlanarak oluşturulan 80 adet yeni çözüm getirecektir. Toplamda 190 adet çözüm kümesi oluşturulmuştur. Popülasyon arasından en optimum süre ve maliyet değeri sonuç hücrelerine yazdırılır. Ardından bu popülasyonların her birine rastgele olacak şekilde bir puan değeri verilir. Bu sefer puanlara

göre büyükten küçüğe sıralanır. Sıralama sonucunda seleksiyon operatörü çalışır ve sıralamaya göre en yüksek 100 çözüm kalır. Böylelikle bir çevrim tamamlanmış olur.

Sıradaki işlem olarak mutasyon operatörü yeniden çalışır ve 10 adet mutasyona uğramış popülasyon oluşturulur. Verilen puan değerine göre ilk etapta oluşturulan ve mutasyonla gelen popülasyon bu sefer en yüksek puandan en düşük puana göre sıralanır ve çaprazlama operatörleri çalıştırılır. Böylece ilk popülasyon dahil olmak üzere 190 adet popülasyon oluşmuş olur ve çözümlerde optimuma doğru yaklaşılmış olur. Puanlama rastgele olacak şekilde ve sıralama bu sefer küçükten büyüğe olacak şekilde yeniden yapılır. En iyi çözüm bir hücreye yazdırılarak ikinci çevrim tamamlanmış olur. Çevrimler durma kriteri yerine getirilinceye kadar sürdürülür.

Örnek proje üzerinde excel hesap tablosu yardımıyla genetik algoritmayla çözüm aranmıştır. Söz konusu projenin tamamlanma maliyeti 659.000,00 TL ye kadar düşürülmüştür ve bu durumdaki proje tamamlanma süresi ise 27 gündür. Popülasyonun 50 çevrim sonrası 659.000,00 TL tutarında yakınsadığı **Şekil 3. 6**'da görülmektedir. Buradan şu çıkarımı yapmak gayet yerinde olacaktır. Genetik algoritma ile el yordamıyla yapılabilecek çözüme kıyasla daha fazla sayıda çözüm kümesi oluşturulduğu için en optimum çözüm bulunabilecektir.

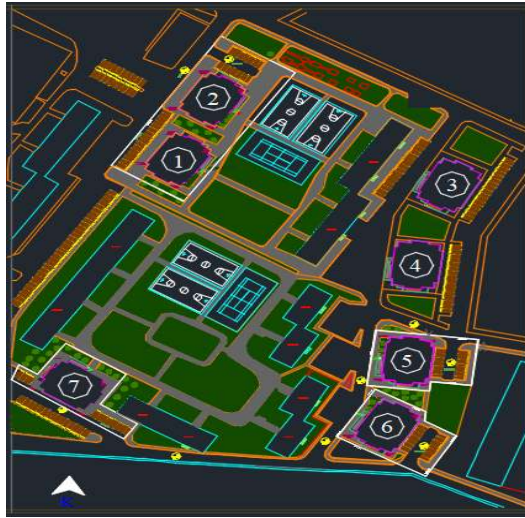


Şekil 3. 6: Genetik Algoritma Sonuçları

4. VAKA ANALİZİ

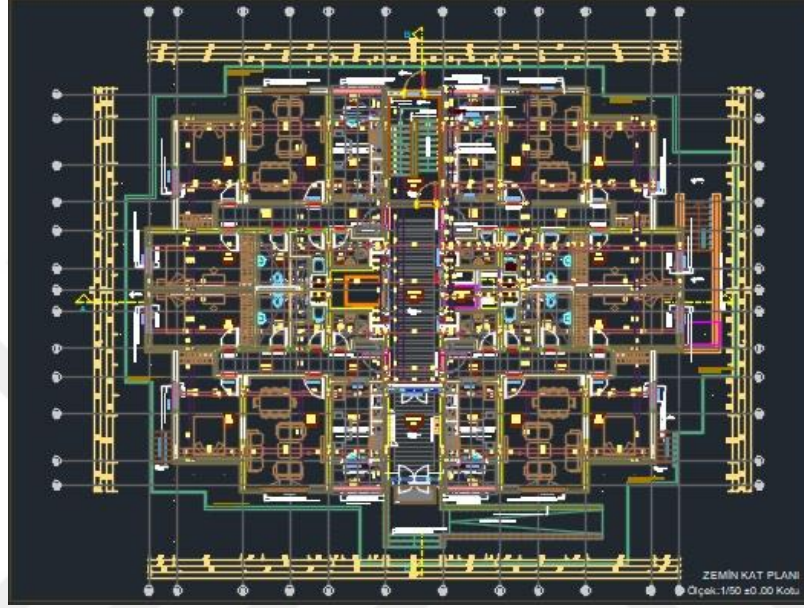
4.1 Proje Bilgileri

Ülkemizde meydana gelen ve yüzyılın felaket olarak nitelendirilen 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinde yaklaşık 39 bin bina yıkılmış ve yaklaşık 200 bin bina ağır hasar almıştır. Bu evlerde yaşayan insanların acilen konut ihtiyaçlarının karşılanması gerekmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde toplu konut inşaatları yapılması ihtiyacı hasıl olmuştur. Bu tez çalışmasında vaka analizi olarak toplu konut projesi alınmıştır. Söz konusu projenin vaziyet planı **Şekil 4. 1**'de yer almaktadır. Proje kapsamında 7 adet konut yer almaktadır. Vaziyet planında blokların altı tanesi birbirine yakın mesafede konumlanmış çiftler halinde yerleştirilirken bir tanesi müstakil olarak yer almaktadır. Projede yerleşimin böyle olmasının sebebi ise konutların inşa edildiği kampüste deprem nedeniyle ağır hasarlı olarak hasar tespiti yapılan blokların yıkılması sonucu meydana gelen boşluklara yeni konutların planlanmasıdır. Blokların yapılabilmesi için yeni bir yer olmaması yıkılan blokların yerlerine yapılmasını kaçınılmaz hale getirmektedir. Konutların hepsi tip olarak tasarlanmıştır ve statik projesi tünel kalıp tekniğine uygun olarak tasarlanmıştır. Konut ihtiyaçlarının ivedilikle karşılanması düşünüldüğünde tünel kalıp tekniği gereklilik arz etmektedir.

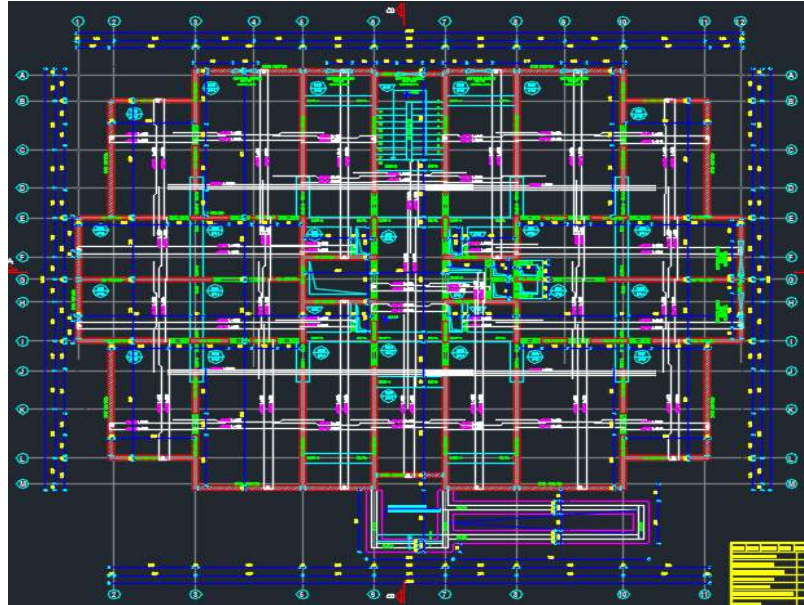


Şekil 4. 1: Vaziyet Planı

Blokların temel tipi radye jeneredir ve zeminin taşıma gücü yeterli olduğu için kazıklı temel veya herhangi bir zemin iyileştirme işlemine gerek duyulmamıştır. Blokların radye temeli 560 m^2 oturum alanlı, normal kat ise 465 m^2 'dir. Binaların oturduğu zemin sınıfı ZC olup zemin taşıma gücü 33.00 t/m^2 'dir. Kat yüksekliği döşeme üstünden döşeme altına 2,91 mt ve çatının yerden yüksekliği 32,20 metredir. Binalara ait mimari plan Şekil 4. 2'de statik plan ise Şekil 4. 3'te yer almaktadır.



Şekil 4. 2: Mimari Plan



Şekil 4. 3 : Statik Plan

Tünel kalıp tekniği süre anlamında avantaj sağlarken bu avantajın yanında kule vinç kullanımını da zorunlu hale getirmektedir. Bununla birlikte tünel kalıpların temin edilmesi de ilk yatırım maliyetini de artırmaktadır. Ancak tip konutlar inşa edilmesi sebebiyle aynı tünel kalıpla birden fazla ve gayet süratli şekilde güvenli konutlar inşa edilebilmektedir. Yapım sürecinde ekonomik kısıtlar sebebiyle sadece bir adet kule vinç kullanılabilir. Hal böyle olunca proje yönetim sürecinde kule vinç üzerinde kaynak kısıtı olduğu için inşaat sürecinin iş programı oluşturulurken söz konusu kaynak üzerindeki kısıt dikkate alınarak oluşturulmaktadır. İkişer adet olan blokların imalatları yapılırken bir kule vinç yer değiştirmeden iki bloğun da imalatında kullanılabilir. Her blok ya da blokların imalatı tamamlandıktan sonra vinç demonte edilip diğer blok çiftinin yakınına taşınıp yeni bloğun yapımına geçilecektir. Vinç yerleşim planı **Şekil 4. 4**'te sunulmuştur. Şekilde yer alan “v” harfleri kule vinçlerin kurulacağı yerleri göstermektedir. Projesi tamamlanan bu blokların önce inşaat maliyeti ve süresinin tahminini yapılabilmek için tüm iş kalemlerinin metrajları hesaplanmıştır.



Şekil 4. 4: Vinç Yerleşim Planı

4.2 İş Kırılım Yapısı ve Metraj İcmalleri

Projede yer alan bloklar birbiri ile tip olması sebebiyle bir bloğa ait miktar tespitlerinin yapılması yeterli olacaktır. Bu sebeple metrajların kolay yapılabilmesi ve proje planlama sürecinde kolaylık sağlanması açısından iş kırılım yapısı oluşturulmuştur. İş kırılım yapısı **Çizelge 4. 1**'te sunulmuştur. Proje de 11 adet iş grubu yer almaktadır. Bu iş gruplarının altında 64 adet aktivite yer almaktadır. Her bir aktiviteye yönelik metrajlar yapılmıştır. Metrajlar yapılırken bodrum kat, zemin kat ve normal kat olarak 3 ana kısımda yapılmıştır. Normal kata yapılan metrajlar 9 ile çarpılarak planlamaya dâhil edilmiştir. Her bir aktivite için kamu birim fiyatları kullanılmıştır. Kamu birim fiyatlarına göre yapılan bazı aktivite metrajları **Şekil 4. 5**'te yer almaktadır.

	A	B	C	D	E	F	G
217	15.270.1006 Çimento esaslı polimer modifiyeli iki bileşenli kullanıma hazır yalıtım harcı ile file takviyeli olarak, 2 kat halinde toplam 1.5 mm kalınlıkta su yalıtımı yapılmasıM2						
218	B05	BAYAN WC		1,6	5	0,3	3,10
219	B06	BAY WC		1,6	5	0,3	3,10
220		BALKON	40	3,05	7,5	0,3	212,00
221		BANYO	40	5,83	10,6	0,3	360,40
222		WC	40	2,9	7,2	0,3	202,40
223							
224						Toplam (m2)	781,00
225							
226	No	Açıklama	Adet	ALAN	ÇEVRE	Yükseklik	Toplam
227	15.275.1101 250/350 kg çimento dozlu kaba ve ince harçla sıva yapılması (dış cephe sıvası)M2						
228		ÖN CEPHE			27,6	27,1	747,96
229		DİĞER CEPHELER			65,9	29,3	1.930,87
230		BALKON YAN DUVAR	32		1,4	28,1	1.258,88
231		SACAK ALTI		638			638,00
232		MINHA BINA ÇEVRESİ		464			-464,00
233		MINHA P01	40	2,3		1,5	-138,00
234		MINHA P02	80	1,5		1,5	-180,00
235		MINHA GİRİŞ			3,95	3,41	13,47
236		SAÇAK ÜSTÜ YAN DUVARLAR	4		4,25	11	187,00
237		MINHA PCK3	40	1,3		2,2	-114,40
238		MINHA P03	16	1		1,3	-20,80
239		MINHA YK1	2	1		2,2	-4,40
240		MARKİZ ON PARAPET			2,6	0,6	1,56
241							
242						Toplam (M2)	3.856,14

Şekil 4. 5: İş kalemlerinin metrajlarının bazıları

Çizelge 4. 1: Örnek Proje İş Kırılım Yapısı

Temel Altı	Betonarme	Duvar	Döşeme	Tavan	Dış Cephe	Çatı	Merdiven	Doğrama	Çevre	Diğer
Kazı	Tünel Kalıp Ø 8- Ø 12	10'luk Bims	Tesviye Tabakası Sürme Yalıtım	Beton Astarı Isı Yalıtımı Tavan Sıvası	Dış Cephe İskele Dış Cephe Sıva Taş Yünü Mantolama XPS	Ahşap Çatı Su Yalıtımı Isı Yalıtımı	Mermer Bas. ve Rıht Mermer Döşeme Mermer Duvar Kaplama Paslanmaz	Sac Kapı Kasası Kapı Kanadı Antipas- Sentetik Boya	Hasır Çelik Andezit Bordür Andezit Döşeme Andezit	Mutfak Dolabı Mutfak Tezgâhı Gömmе Dolap
Grobeton	Demir Ø 14- Ø 28	19'luk Bims	Yalıtım Şapı	Alçı Sıva Asma Tavan	Mantolama Mineral Sıva	Kiremit Yağmur Oluğu Çatı ve Baca Birleşim Sacı	Korkuluk Merdiven Bant Uygulaması	Çelik Kapı Aksesuar	Duvar Andezit Merdiven	
Su Yalıtımı	Beton	Beton Astarı	Şap Isı/Ses Yalıtım	Tavan	Dış Cephe Boyası Yağmur İniş Borusu			Demir Kapı PVC Doğrama Alüminyum Doğrama		
Isı Yalıtımı	Beton	Kaba Sıva	Terrazo Karo	Tavan						
Keçe		Alçı Sıva	Seramik	Boyası						
Çakıl Serme		Ses Yalıtımı Duvar	Parke							
8,5'luk Tuğla		Boyası 20*60								
Temel Demir		Seramik	Mermer Eşik							
Temel Kalıp			Geçiş Profili							
Temel Beton										

Proje kapsamında yer alan 64 aktivitenin metrajları hesaplanmıştır. İş kırılım yapısına göre gruplandırılan metrajların miktarları planlama açısında kolaylık sağlanması amacıyla bodrum/temel, zemin kat, normal kat ve çatı ya da çevre olarak gruplanmıştır ve **Şekil 4.6**'da sunulmuştur.

	A	C	D	E	F	G	H	I	J
1			İŞ KIRILIM YAPISI / METRAJ İÇMALİ						
2									
3	İmalatın Cinsi	İş Kalemi No	İş Kalemini Adı ve Kısa Açıklaması	Ölçü Birimi	Miktarı	BODRUM TEMEL	ZEMİN	NORMAL KAT (TEK KAT)	ÇATI ÇEVRE
17	Duvar	15.230.1006	19 cm kalınlığındaki taşıyıcı olmayan bimsbeton duvar blokları ile duvar yapılması (bimsbeton tutkalı ile) (min. 1,50 N/mm ² ve 600-900 kg/m ³ , 900 kg/m ³ hariç)	M2	1.522,20		152,22	152,22	
18	Duvar	15.220.1202	240 mm kalınlığında düşey delikli tuğla (290 x 240 x 190 mm) ile duvar yapılması (AB Sınıfı -650-750 kg/m ³)	M2	134,07	134,07			
19	Duvar	15.540.1241	Brüt beton yüzeylerin alçı veya sıvaya hazırlanması (iç cephe)	M2	5.535,63	503,24	503,24	503,24	
20	Duvar	15.275.1106	250 kg çimento dozlu harç ile kaba sıva yapılması	M2	4.002,27	363,84	363,84	363,84	
21	Duvar	15.280.1009	Perlitli sıva alçısı ve saten alçı ile kaplama yapılması (Beton, tuğla duvar vb. yüzeylere)	M2	10.265,49	933,23	933,23	933,23	
22	Cephe	15.185.1013	Ön yapımlı bileşenlerden oluşan tam güvenlikli, dış cephe iş iskelesi yapılması. (0,00-51,50 m arası)	M2	2.720,85		272,09	272,09	
23	Cephe	15.275.1101	250/350 kg çimento dozlu kaba ve ince harçla sıva yapılması (dış cephe sıvası)	M2	3.856,14	192,00	385,61	385,61	

Şekil 4. 6 : İş Kırılım Yapısı ve Metraj İçmalı

Projedeki metrajların hesaplanma aşamasından sonra kaynak planlaması aşamasına geçilir. Proje yönetim sürecindeki kaynaklar malzeme ve işçilik olarak tanımlanabilir. Hangi aktivitenin ne kadar kaynağa ihtiyacı olduğu birim fiyat analizleri ile tespit edilebilir. Birim fiyat analizlerinde bahse konu aktiviteden bir birim yapılması için ne kadar malzeme ve işçilik ihtiyacı olduğu yer almaktadır. Proje kapsamındaki aktiviteler kamu birim fiyatları baz alınarak yapıldığı için kamu birim fiyat analizlerinin yapılması yerinde olacaktır.

4.3 Birim Fiyat Analizi ve Kaynak Planlaması

Ülkemizde kamu idareleri inşaat faaliyetlerini bütçelemek açısından kendi birim fiyatlarını yayımlamaktadır. Bu birim fiyatları her yıl hatta enflasyon sebebiyle yılda birkaç kere güncellemektedir. Resmi olarak yayımlanan her birim fiyat analizinin temelinde birim fiyatı yayımlayan kurumun konu hakkında teknik ve bilimsel bir çalışma yer almaktadır. Bu

sebeple birim fiyat analizleri tartışmaya açık olmayan bir konudur ve ülke genelinde kullanılır.

Diğer taraftan kurumsal inşaat firmaları da kendi birim fiyat analizlerini oluşturmuşlardır. Bu firmalar geçmişte yaptıkları inşaat faaliyetlerinde aktivitelerin hangi miktarda malzeme ve ne kadar işçilik ile yapıldığına yönelik puantaj tutmuşlardır. Bahse konu bu puantajlara sayesinde özellikle adam-saat konusunda ciddi miktarda veri yer almaktadır. Bu veriler sayesinde aktivitenin kaç işçi ile ne kadar günde biteceği ve temin edilmesi gereken malzeme miktarı tespit edilebilmektedir.

Kuruoğlu ve Bayoğlu (2001) tarafından yayımlanan çalışmada ÇŞİDB birim fiyat analizlerinde yer alan adam-saat değerleri piyasa da yer alan gerçek uygulama değerlerinden ortalama 1,56 kat daha fazla olduğu ortaya konmuştur. Diğer bir ifadeyle birim fiyat analizlerinde ihtiyaç duyulan adam-saat değerleri gerçek bir planlama yapılabilmesi için 1,50 değerine bölünmesi gereklidir. Bu sebeple proje yönetim sürecinde kaynak planlaması yapılırken ihtiyaç duyulan adam-saat değerlerinin hesabında analizde yer alan değerler 1,50'ye bölünmüştür.

Proje bünyesinde bulunan dış cephe sıvasının birim fiyat analizi **Şekil 4. 7**'de sunulmuştur. Örnek olarak verilen birim fiyat analizi incelendiğinde proje genelinde söz konusu aktiviteden toplamda 3.856,14 m² yer almaktadır. Bu miktarın 192 m³'si bodrum kat seviyesinde ve 381,65 m²'si ise zemin ve üst katlarda yer almaktadır. Aktivitenin bir biriminin yapılabilmesi maksadıyla malzeme olarak 0,023 m² 250 dozlu çimento harcı, 0,01 m³ 350 dozlu ince harç ve 0,01 m³ su gerekmektedir. Bu miktarlar proje toplam miktarıyla çarpılırsa ve hangi katta ne kadar yapılacağı dağıtılsa hangi katta ne kadar ihtiyaç olduğu bulunabilecektir. Aktivitenin bir biriminin yapılabilmesi için birim fiyat analizine göre sıvacı ustasının 1 saat çalışması gerekmektedir. Piyasa verilerine göre bakıldığında söz konusu ihtiyaç yaklaşık 0,66 saat olarak belirlenmektedir. Proje miktarına göre bakıldığında sıvacı ustasının adam-saat değeri bodrum kat için 128 ve zemin kat ile normal kat için 257,08 saat olarak hesaplanabilmektedir.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
133	Analiz Format No	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ					-					
134	İş Kalemi / İş Grubu No	Analizin Adı :					Ölçü Birimi :	TOPLAM	BODRUM TEMEL	ZEMİN KAT	NORMAL KAT	ÇATI ÇEVRE
135	15.275.1101	250/350 kg çimento dozlu kaba ve ince harçla sıva yapılması (dış cephes sıvası)					M2	3.856,14	192,00	385,61	385,61	
136												
137	Poz No	GİRDİLER	Ölçü Birim	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı						
138		Malzeme :										
139	19.100.2404	250 kg çimento dozlu harç yapılması (kargir işlerde)	M3	0,023	1.173,53	26,99		88,69	4,42	8,87	8,87	
140	19.100.2408	350 kg çimento dozlu ince harç yapılması	M3	0,01	1.440,58	14,41		38,56	1,92	3,86	3,86	
141	10.130.9991	Su	M3	0,01	35,00	0,35		38,56	1,92	3,86	3,86	
142		İşçilik :										
143	10.100.1012	Sıvacı ustası	SA	0,6666667	190,00	190,00		2.570,76	128,00	257,08	257,08	
144	10.100.1044	Sıvacı usta yardımcısı	SA	0,2666667	140,00	56,00		1.028,30	51,20	102,83	102,83	
145	10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	SA	0,2666667	124,00	49,60		1.028,30	51,20	102,83	102,83	
146	10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	SA	0,1666667	124,00	31,00		642,69	32,00	64,27	64,27	
147		Kârsız Toplam					368,35					
148		% 25					Kâr ve Genel Giderler	92,09				
149		Toplam Tutar					460,44					
150	Tarifi											
151	1 m3 dışlı kuma 250 kg çimento katılması ile hazırlanan harçla ortalama 2 cm kalınlığında											
152	kaba sıva yapılması, üzerine 1 m3 mil kumuna 350 kg çimento ilavesiyle hazırlanan harçla											
153	ortalama 0,8 cm kalınlığında ince sıva yapılması, duvar yüzeyinin temizlenmesi, gerekli											
154	zamanlarda sulanması, her türlü malzeme ve zıyaatı, işçilik, çalışma sehpaları, inşaat											
155	yerindeki yüklemeye, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil,											
156	1 m2 fiyatı:											
157												

Şekil 4. 7: Birim Fiyat Analizi ve Kaynak İhtiyacı

Proje yönetim sürecindeki iki ana bileşenden bir tanesi süre ve bir tanesi tamamlanma maliyetidir. Aktivitelerin kaç günde biteceği ve birbiri ile ilişkisine bağlı olarak proje toplam süresi hesaplanabilir. Bu sebeple toplam adam-saat değerleri aktivitenin kaç günde tamamlanabileceğinin tespiti açısından önem arz etmektedir. Örnek vermek gerekirse bodrum kat dış cephesindeki sıva imalatının yapılabilmesi için sıvacı ustasının 128 saat çalışması gerekmektedir. Bir başka ifadeyle 128 adam-saate ihtiyaç vardır. Planlama yaparken bu işin kaç günde yapılması isteniyorsa çalışacak işçi sayısı buna göre belirlenmelidir. Aktivitenin yapılması için ihtiyaç duyulan saat miktarı önce günlük mesai saatine ardından ise kaç günde bitirilmek isteniyorsa ona bölünmelidir. Çıkan değer yukarı tamsayıya yuvarlanmalıdır. Örneğin mesai saati 8 saat ve tamamlanma süresi 4 gün olarak seçilirse aktivitenin yapılması için 4 sıvacı ustasına ihtiyaç duyulacaktır. Aynı hesap sıvacı usta yardımcısı ve düz işçi için yapıldığında, 2 sıvacı ustası ve 3 düş işçiye ihtiyaç duyulmaktadır.

İşçilik kaynağı hesaplanırken verim faktörü de dikkate alınmalıdır. Önceki bölümde eşitlik (3. 1.)’de açıklanan formül dikkate alındığında 9 kişilik sıvacı ekibinin verim değeri 0,984 bulunmaktadır. Hesaplanan gün değeri verim sayısına bölündüğünde 5 sıvacı ustası, 2

sıvacı usta yardımcısı ve 4 işçiye ihtiyaç duyulmaktadır. Verim faktörü dikkate alındığında ekip sayısı 2 kişi artmaktadır. Bir aktivitenin süresinin kısalması maliyetini artıracaktır. Aynı örnekte aktivitenin 3 günde tamamlanması planlandığında ekip sayısı 15 kişiye çıkacaktır. Aktivitenin 1 günde tamamlanması ise verim formülü dikkate alındığında mümkün olmamaktadır.

Kaynak planlamasının yapılabilmesi ve toplamda ne kadar kaynak ihtiyacının tespiti için proje kapsamındaki 64 aktivitenin birim fiyat analizlerinde yer alan rayiçler üzerinden hesaplama yapılmalıdır. Proje kapsamında kullanılacak kaynaklar makine, işçilik ve malzeme olarak 3 grupta toplanabilir. Kaynakların parasal olarak tutarının belirlenmesi maksadıyla kamu birim fiyatı ve piyasa fiyatları tespit edilmiştir. Proje kapsamında kullanılacak makine icmalleri **Şekil 4. 8**'de yer almaktadır. Ekran görüntüsünde sunulan değerlerin tespiti hesap tablosu aracılığı ile gerçekleştirilir. Belirtilen aktivitelerin tamamlanma süresi dikkate alınarak kaç iş makinesi ve ne kadar süre ile kiralanması gerektiği hesaplanabilmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		MAKİNE								
2		POZ NO	AÇIKLAMA	MİKTAR	BODRUM	ZEMİN	NORMAL KAT (9 KAT)	KAMU BİRİM FİYATI SAAT	PIYASA FİYATI SAAT	
3		19.100.1006	Ekskavatör (paletli) (210 - 259 hp) (maksimum 2,5 m3) 1 saatlik ücreti	33,60	33,6			1.826,47 TL	2.057,50 TL	
4		19.100.1027	Kazıcı yükleyici (100 hp) (maksimum 2,5 m3) 1 saatlik ücreti	12,60	12,6			1.005,14 TL	2.057,50 TL	
5		19.100.1013	Greyder (190-209 hp) 1 saatlik ücreti	3,82	3,8185			1.621,04 TL	1.470,00 TL	
6		19.100.1047	Titreşimli silindir'in 1 saatlik ücreti	6,49	6,49145			936,63 TL	1.345,00 TL	
7		19.100.1101	Mobil Beton Pompasının Bir Saatlik Ücreti (420 HP)	27,20	4,42	2,40	2,40	4.062,41 TL	5.000,00 TL	
8		19.100.1033	Beton vibratörü'nün 1 saatlik ücreti	136,00	22,10	11,99	11,99	278,35 TL	300,00 TL	
9		19.100.1111	Demir kesme ve bükme makinası'nın 1 saatlik ücreti	501,15	46,05	45,51	45,51	37,28 TL	40,00 TL	
10		19.100.1090	Tünel kalıp imalat atelyesinin 1 saatlik ücreti	270,84		27,08	27,08	3.221,38 TL	3.500,00 TL	
11										

Şekil 4. 8 : Makine İcmal Tablosu

İnşaat faaliyetleri emek yoğun biçimde yürütülmektedir. Bu nedenle işçilik gereksinimlerinin doğru ve eksiksiz hesaplanması maliyet ve süre tahminlerinin doğru yapılabilmesi için elzemdir. Proje kapsamında kullanılacak işçilik gereksinimlerinin adam-saat biriminde hesaplanması için oluşturulmuş hesap tablosunun ekran çıktısı **Şekil 4. 9**'da

sunulmuştur. Benzer şekilde inşaat süresince kullanılarak miktar hesaplanmasını yapan tablonun ekran görüntüsü ise **Şekil 4. 10**'da sunulmuştur.

İŞÇİLİK			BODRUM	ZEMİN	NORMAL KAT (Ø KAT)	ÇATI/ÇEVRE	KAMU BİRİM FİYATI	PİYASA FİYATI SAAT
POZ NO	AÇIKLAMA	MİKTAR						
10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	39591,40	3418,34	3587,19	3463,82	1435,44	124,00 TL	187,5
10.100.1015	Betoncu ustası	271,99	44,21	23,98	23,98		190,00 TL	375
10.100.1019	Soğuk demirci ustası	1820,52	180,87	163,79	163,79	1,71	190,00 TL	437,5
10.100.1047	Soğuk demirci usta yardımcısı	2930,99	271,30	265,66	265,66	3,07	140,00 TL	375
10.100.1068	Birinci sınıf usta	1300,98		150,98	125,57	19,84	190,00 TL	625
10.100.1018	Sıcak demirci ustası	2534,36	164,74	236,96	236,96		190,00 TL	500
10.100.1060	Formen	270,84		27,08	27,08		272,00 TL	562,5
10.100.1087	Tünel Kalıpcısı (Betonarme)	1128,50		112,85	112,85		190,00 TL	468,75

Şekil 4. 9: İşçilik İcmal Tablosu

MALZEME			BODRUM	ZEMİN	NORMAL KAT (Ø KAT)	ÇATI/ÇEVRE	KAMU BİRİM FİYATI	PİYASA FİYATI
POZ NO	AÇIKLAMA	MİKTAR						
10.130.1001	Çakıl (elenmesi gerekmeyen iri agrega)	381,85	381,85				82,00 TL	306
10.130.9991	Su	1521,83	256,34	131,46	130,97	3,27	35,00 TL	35
10.130.1008	32 mm'ye kadar kırmataş	94,45	94,45				290,00 TL	306
10.130.1503	C 16/20 beton harcı gri renkte, normal hazır beton harçları (TS EN 206-1+A1)	82,39	82,39				1.850,00 TL	2000
10.130.1506	C 30/37 beton harcı gri renkte, normal hazır beton harçları (TS EN 206-1+A1)	2637,55	359,67	239,78	239,78		2.020,00 TL	2250
10.130.1751	Hasır çelik (3,01-10,00 kg)	524,47				524,47	19,50 TL	23,335
10.130.1704	Beton çelik çubuğu, nervürlü Ø 8-12 mm (S420, B420B-C, B500B-C)	146306,16	2614,50	14369,17	14369,17		18,70 TL	25
10.130.1705	Beton çelik çubuğu nervürlü ø 14-32 mm. (S420, B420B-C, B500B-C)	178533,78	32956,00	14557,78	14557,78		18,70 TL	25

Şekil 4. 10 : Malzeme İcmal Tablosu

Hesaplamaları yapılan icmaller üzerinden proje genelinde ihtiyaç duyulan malzeme, makine ve işçilik miktarları tespit edilmiştir. Kaynak planlaması yapılırken malzeme ihtiyacı süreden bağımsız olarak hesaplanabilecektir. Malzeme ihtiyacının süreyle ilişkisi temin açısından önemlidir ve bu durum nakit akışını etkileyecektir. Makine ihtiyacı ise süre ile ters

orantılıdır ve aktivitenin süresinin kısaltılması için makine sayısının/sayılarının artırılması gerekmektedir. Bu ise maliyeti doğrudan etkileyen bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.4 Sürelerin Tespiti ve Hızlandırma Alternatiflerinin Oluşturulması

Proje yönetim sürecinde optimizasyonun amacı en düşük maliyetin bulunmasıdır. En düşük maliyetin bulunması sürenin kısılmasıyla doğru orantılıdır. Aktivitenin süresinin kısılması maliyeti artıracaktır. Bu sebeple aktivitenin sürelerinin tespit edilmesi ve ardından hızlandırma alternatiflerinin bulunması gerekmektedir. Ancak bu şekilde başarılı bir planlama yapılabilecek ve iş programı oluşturulabilecektir.

Aktivitelerin büyüklüğüne göre alternatif sayılarına karar verilmelidir. Bu yapılırken sayının az tutulması hızlandırma ihtimallerini azaltabileceği gibi çok tutulması ise gereksiz şekilde işlem yükünü artıracaktır. Örnek proje de aktivite sayılarının hızlandırma alternatifleri en az 5 en fazla 8 olarak tasarlanmıştır. Aktivitenin tamamlanması için hedeflenen süre dikkate alınarak kaç adet işçi gerektiği hesaplanmalıdır. Burada verim de dikkate alındığında en hızlı alternatif ihtimalin de bile aktivite miktarının büyüklüğüne bağlı olarak tamamlanma süresi oldukça uzun sürebilmektedir. Verimin hesaplanması için işçi sayısına, işçi sayısının hesaplanabilmesi için gün değerine ve değerinin hesaplanabilmesi için ise verim sayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değerlerin hesaplanması yolunda bir yaklaşım yapılmıştır.

Bu yaklaşımda hedeflenen süreye göre işçi sayısı tayin edilirken **Şekil 4. 11**'de görüldüğü üzere öncelikle hedef bir süre belirlenir ve hedef süreye ulaşabilmek için kaç işçi çalıştırılması gerektiği hesaplanmalıdır. Bu sebeple aktivitenin tamamlanması gereken adam.saat değeri hedeflenen tamamlanma süresine bölünür, ardından günlük çalışma saatine bölünerek işin hedeflenen sürede bitirilmesi için gereken işçi sayıları hesaplanır. Bu işlem sonrasında elde edilen işçilik sayıları üzerinden verim hesaplanır. Ardından tespit edilen verim değeri de dikkate alınarak tekrardan aynı hedef sürede işin tamamlanması için ne kadar işçiye ihtiyaç tekrardan kontrol edilir. Kontrol sonrası ortaya çıkan verim değeri ilk hesaplama da ortaya çıkan verim değerinden farklı ise işçi sayısı hesabı tekrar edilir. Yinelemeli işçi sayısı hesabının uygulanması **Şekil 4. 11**'de sunulmuştur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
15.275.1101	250/350 kg çimento dozlu kaba ve ince harçla sıva yapılması (dış cephe sıvası)(Nakliyeler dahildir)																
BÖLÜM	BODRUM																
SÜRE	12	11	10	9	8	7	6	5									
10.100.1012	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	
10.100.1044	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
10.100.1062	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
10.100.1062	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
CS	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	8	9	
VERİM	1,136	1,136	1,136	1,136	1,136	1,136	1,136	1,136	1,136	1,136	1,098	1,098	1,098	1,098	1,022	0,984	
BÖLÜM	ZEMİN																
SÜRE	12	11	10	9	8	7	6	5									
10.100.1012	3	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	9	12		
10.100.1044	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5		
10.100.1062	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5		
10.100.1062	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3		
CS	8	8	8	8	9	9	9	9	11	11	14	14	15	16	20	25	
VERİM	1,022	1,022	1,022	1,022	0,984	0,984	0,984	0,984	0,908	0,908	0,794	0,794	0,756	0,718	0,566	0,376	

Şekil 4. 11 : İşçi Sayısı Hesabı

Proje genelinde her blokta 64 adet aktivite yer almaktadır. Bu 64 adet aktivitenin bodrum/temel, zemin kat, normal kat ve çatı/çevre bölümlerinden oluştuğu değerlendirilirse aktivitelerin alternatifleri oluşturulurken bu bölümlere göre oluşturulması gerekmektedir. Bu şekilde planlama yapıldığında bazı aktivitelerin sadece belli bölümler de bazı aktivitelerin ise her bölümde yer aldığı görülmektedir. Beton aktivitesi hem temel hem bodrum hem de zemin ile normal katlarda yer alacaktır. Kazı aktivitesi ise sadece temel seviyesinde yer almaktadır. Alternatifler planlanırken normal kat için bir planlama, zemin kat ve temel kısımları için bir planlama öngörülmüştür. Bunun yapılmasındaki amaç aktivitenin hedeflenen süre için tamamlanması için gereken ekibin tüm faaliyet boyunca aynı sayıda teşkil edilmesidir. Aksi takdirde bu sayıda dalgalanma yaşanırsa hem planlama hem de uygulama açısından sorunlarla karşılaşılabilir.

Her imalat kalemini iş programının düzgün bir şekilde yapılabilmesi maksadıyla her kat seviyesinde planlanması gerekmektedir. Bu şekilde planlama yapıldığından her kat seviyesinde ilgili imalatlar yer alacaktır ve aktivitenin başlangıç ve bitiş zamanı tayin edilebilecektir. Örnek vermek gerekirse donatı aktivitesi temel, zemin ve normal katlar için düzenlenirse donatı iş kalemine ait temel, zemin ve normal katlar olmak üzere 9 adet aktivite tanımlanmaktadır. Beton dökülmesi aktivitesi ise donatıdan sonra başlamak zorunda olduğundan hem beton aktivitesine öncüllük koşulu sağlanmış hem de iş programı aşamasında hangi tarihte hangi kat seviyesinde imalat olduğu, hangi aşama ne kadar donatı ihtiyacı olduğu ve şantiye de kaç adet işçi çalıştığı gibi parametreler kolayca tahmin edilebilecektir.

Her imalat kalemi için aktiviteler ilgili kat seviyesine göre planlama yapıldığında bir adet binada 469 adet aktivite yer almaktadır. Her aktivitenin hızlandırma alternatifler ve her alternatifte göre işçilik maliyetleri hesaplanmıştır. Hızlandırma alternatiflerine göre yapılan hesaplamalar **Şekil 4. 11**'de sunulmuştur.

İşçilik maliyetlerinin gerçekçi hesaplanabilmesi için piyasa araştırması sonucunda her personel için ayrı ayrı saatlik ücretler tespit edilmiştir. Tespit edilen bu saatlik ücretler baz alınarak her bir aktivitenin hedeflenen gün sayılarına göre ödenmesi gereken işçilik maliyetleri hesaplanmış ve yapılan hesaplamalara yönelik ekran görüntüsü **Şekil 4. 12**'de sunulmuştur.

15.275.1101 Pozu - İşçilik Maliyeti Bodrum Kat							
12 Gün	11 Gün	10 Gün	9 Gün	8 Gün	7 Gün	6 Gün	5 Gün
6.500,00 TL	6.500,00 TL	6.500,00 TL	6.500,00 TL	6.500,00 TL	9.750,00 TL	9.750,00 TL	13.000,00 TL
1.750,00 TL	1.750,00 TL	1.750,00 TL	1.750,00 TL	1.750,00 TL	1.750,00 TL	1.750,00 TL	3.500,00 TL
1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	3.000,00 TL
1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL
11.250,00 TL	11.250,00 TL	11.250,00 TL	11.250,00 TL	11.250,00 TL	14.500,00 TL	14.500,00 TL	21.000,00 TL
15.275.1101 Pozu - İşçilik Maliyeti Bodrum Kat							
12 Gün	11 Gün	10 Gün	9 Gün	8 Gün	7 Gün	6 Gün	5 Gün
9.750,00 TL	9.750,00 TL	13.000,00 TL	13.000,00 TL	16.250,00 TL	19.500,00 TL	26.000,00 TL	39.000,00 TL
3.500,00 TL	3.500,00 TL	3.500,00 TL	3.500,00 TL	3.500,00 TL	5.250,00 TL	5.250,00 TL	8.750,00 TL
3.000,00 TL	3.000,00 TL	3.000,00 TL	3.000,00 TL	3.000,00 TL	4.500,00 TL	4.500,00 TL	7.500,00 TL
1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	1.500,00 TL	3.000,00 TL	3.000,00 TL	3.000,00 TL	4.500,00 TL
17.750,00 TL	17.750,00 TL	21.000,00 TL	21.000,00 TL	25.750,00 TL	32.250,00 TL	38.750,00 TL	59.750,00 TL

Şekil 4. 12 : İşçilik Maliyet Hesaplamaları

Hesaplamalar sonucunda **Şekil 4. 12**'da sunulan tabloda görüldüğü üzere aktivitelerin süresinin hızlandırılması maliyeti artıracaktır. Verim faktörü de dikkate alındığında bu artışın doğrusal olmadığı görülmektedir. Bu sebeple planlama mühendisinin bu sorunu en optimum şekilde çözebilmesi için iş programının düzgün bir şekilde oluşturulması gerekmektedir.

Hızlandırma alternatifleri sonucunda 469 adet aktivite için oluşturulan hesap tablosunun birkaç aktivite için ekran görüntüsü **Şekil 4. 13**'de sunulmuştur. Bu aşamadan sonra iş programının oluşturulması aşamasına geçilecektir.

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
		1.A		2.A		3.A		4.A		5.A		6.A		7.A		8.A	
AKTİVİTE	Süre (Gün)	Kişi Sayısı	Süre (Gün)	Kişi Sayısı	Süre (Gün)	Kişi Sayısı	Süre (Gün)	Kişi Sayısı	Süre (Gün)	Kişi Sayısı	Süre (Gün)	Kişi Sayısı	Süre (Gün)	Kişi Sayısı	Süre (Gün)	Kişi Sayısı	
9. Kat Donatı	12	12	11	12	10	15	9	15	8	18	7	18	6	24	5	29	
9. Kat Beton	5	3	4	3	3	5	2	8	1	18	-	-	-	-	-	-	
Bodrum Kat Duvar 25'lik Duvar	9	3	8	3	7	3	6	5	5	5	4	6	3	9	2	14	
Zemin Kat Duvar 10'luk Duvar	9	4	8	4	7	4	6	4	5	6	4	6	3	8	2	14	
Zemin Kat Duvar 20'luk Duvar	9	4	8	4	7	4	6	4	5	6	4	8	3	10	2	20	
1. Kat 10'luk Duvar	9	4	8	4	7	4	6	4	5	6	4	6	3	8	2	14	
1. Kat 20'lik Duvar	9	4	8	4	7	4	6	4	5	6	4	8	3	10	2	20	
2. Kat 10'luk Duvar	9	4	8	4	7	4	6	4	5	6	4	6	3	8	2	14	

Şekil 4. 13 : Aktivitelerin Hızlandırma Alternatifleri

4.5 İş Programının Oluşturulması

İş programı oluşturmadan önce iş kırılım yapısı, aktivitelerin metrajları ve alternatifleri oluşturulmuştur. Her aktiviteye kat seviyelerine göre planlama yapılmış ve proje iş programı yapılmaya hazır hale getirilmiştir. İş programının oluşturulabilmesi için şantiyenin hangi dönemlerde aktif olacağı ve hangi günler imalat yapılacağı planlanması gerekmektedir. İnşaat faaliyetleri hava şartlarından direkt olarak etkilenmekte, hava şartlarına göre verim düşmekte ya da artmaktadır. Planlama yapılırken hava şartları değişkenlik gösterebilen bir durum olduğundan bir kabul yapılarak bu program hazırlanacaktır. Uygulama da haftanın yedi günü şantiye de çalışma olmaktadır. Ancak hava şartlarının müsait olmadığı yağışlı, aşırı soğuk ya da aşırı sıcak olduğu günlerde şantiye de faaliyetlere ara verilmektedir. Bu çalışılmayan günlerin önceden bilinmesi çok muhtemel değildir. Bu sebeple haftanın son günü olan Pazar günü şantiyede faaliyet olmadığı varsayılmıştır. Bu kabul sayesinde hava şartlarına bağlı olarak çalışılmayan dönemde yapılamayacak imalatlarda kaybedilen süre varsayımsal olarak hesaba dâhil edilmiştir.

4.5.1 Tek Bloklı İş Programının Oluşturulması

İş programı oluşturulurken her aktivitenin hızlandırma alternatiflerinden bir tanesi seçilerek başlanmalıdır. Burada seçenek olarak karşımıza her bir aktivite de en az 5 ve en fazla 8 adet alternatif yer almaktadır. Planlama olarak ilk seferde doğrudan maliyetlerin en az olduğu birinci alternatifler seçilerek bir iş programı hazırlanmıştır. Bu şekilde bir

planlamada işçilik maliyetleri düşük olacak ancak proje süresi uzun olacağından dolayı maliyet kalemi bir hayli artıracaktır.

İş programı yapılırken aktivitelerin öncüllük ve ardıllık koşulları dikkate alınmalıdır. Örnek proje konut inşaatı olduğundan kaba inşaat ve ince inşaat kalemleri olarak iki ana grupta planlanacaktır ve kazı, temel altı imalatları ve ardından betonarme imalatlar gelecektir. Kaba inşaatın tamamlanmasının ardından ince imalatlar başlayacaktır. İş programı oluşturulmaya başlanırken proje başlangıç tarihi belirlenmelidir ki örnek proje de bu tarih 01.04.2023 tarihi seçilmiştir. Bu tarihin seçilme sebebi ise 06 Şubat 2023 depremleri sonrası ortaya çıkan konut ihtiyacının karşılanması amacıyla tip projelerin yapılacağı alana göre revize edilmesi sonrası inşaatın hemen başlamasıdır. Projede birinci aktivite temel kazısıdır ve 01.04.2023 tarihinde başlamıştır ve beş gün süren kazı aktivitesi 02.04.2023 tarihinin Pazar olması ve şantiyenin kapalı olması sebebiyle 06.04.2023 tarihinde sona ermiştir. Blokaj imalatı 07.04.2023 tarihinde başlamıştır ve ardından sırasıyla grobeton, su yalıtımı, temel kalıp, beton, demir, temel içi dolgu, geotekstil keçe, xps ve temel koruma duvar imalatı yapılarak zemin kat beton ve demir imalatına geçilmiştir. Belirtilen tarihler Şekil 4. 14’te sunulmuştur.

4	TEMEL/DOLGU KAZI İMALATLARI					
5	Aktiviteler	Başlangıç	Tatile Kadar	Tam Haftalı	Son Hafta	Bitiş
6	Temel Kazısı	1.04.2023	1	0	4	6.04.2023
7	Temel Blokaj	7.04.2023	2	0	3	12.04.2023
8	Temel Grobeton	13.04.2023	3	0	2	18.04.2023
9	Temel Bohçalama	19.04.2023	4	7	0	29.04.2023
10	Temel Kalıp	1.05.2023	5	0	0	5.05.2023
11	Temel Donatı	1.05.2023	6	7	4	18.05.2023
12	Temel Beton	19.05.2023	2	0	3	24.05.2023
13	Temel İçi Dolgu	25.05.2023	3	0	2	30.05.2023
14	Temel Keçe	31.05.2023	4	0	4	8.06.2023
15	Temel XPS	9.06.2023	2	7	2	20.06.2023
16	Temel Koruma Duvar	21.06.2023	4	7	1	3.07.2023

Şekil 4. 14: Temel Altı İmalatları İş Programı

Temel imalatlarının ardından betonarme imalatlarına geçilmiştir. Uygulama da tünel kalıp tekniğinde kat planı 2000 m²'ye kadar olan imalatlar da yeterli kaynak miktarıyla üç günde bir kat imalatı yapılabilir. Ancak iş programı yapılırken birinci alternatif seçilmiştir ve kat planı 465 m² olan bu projede de on dört günde bir kat yapılması planlanmıştır. İş programında Pazar günlerine çalışma planlanmadığından betonarme imalatı 152 günde tamamlanacak şekilde planlama yapılmıştır. Betonarme işlerinin süre hesaplamalarının sonucu **Şekil 4. 15**'te sunulmuştur.

	A	B	C	D	E	F
4	BETONARME İMALATLAR					
5	Aktiviteler	Başlangıç	Tatile Kadar	Tam Haftalı	Son Hafta	Bitiş
17	Zemin Kat Kalıp	4.07.2023	5	0	3	12.07.2023
18	Zemin Kat Donatı	4.07.2023	5	0	3	12.07.2023
19	Zemin Kat Beton	13.07.2023	3	0	3	19.07.2023
20	1. Kat Kalıp	20.07.2023	3	0	5	28.07.2023
21	1. Kat Donatı	20.07.2023	3	0	5	28.07.2023
22	1. Kat Beton	29.07.2023	1	0	4	3.08.2023
23	2. Kat Kalıp	4.08.2023	2	7	0	12.08.2023
24	2. Kat Donatı	4.08.2023	2	7	0	12.08.2023
25	2. Kat Beton	14.08.2023	5	0	0	18.08.2023
26	3. Kat Kalıp	19.08.2023	1	7	1	28.08.2023
27	3. Kat Donatı	19.08.2023	1	7	1	28.08.2023
28	3. Kat Beton	29.08.2023	5	0	0	2.09.2023
29	4. Kat Kalıp	4.09.2023	6	0	2	12.09.2023
30	4. Kat Donatı	4.09.2023	6	0	2	12.09.2023
31	4. Kat Beton	13.09.2023	4	0	1	18.09.2023
32	5. Kat Kalıp	19.09.2023	5	0	3	27.09.2023
33	5. Kat Donatı	19.09.2023	5	0	3	27.09.2023
34	5. Kat Beton	28.09.2023	3	0	2	3.10.2023
35	6. Kat Kalıp	4.10.2023	4	0	4	12.10.2023
36	6. Kat Donatı	4.10.2023	4	0	4	12.10.2023
37	6. Kat Beton	13.10.2023	2	0	3	18.10.2023
38	7. Kat Kalıp	19.10.2023	3	0	5	27.10.2023
39	7. Kat Donatı	19.10.2023	3	0	5	27.10.2023
40	7. Kat Beton	28.10.2023	1	0	4	2.11.2023
41	8. Kat Kalıp	3.11.2023	2	7	0	11.11.2023
42	8. Kat Donatı	3.11.2023	2	7	0	11.11.2023
43	8. Kat Beton	13.11.2023	5	0	0	17.11.2023
44	9. Kat Kalıp	18.11.2023	1	7	1	27.11.2023
45	9. Kat Donatı	18.11.2023	1	7	1	27.11.2023
46	9. Kat Beton	28.11.2023	5	0	0	2.12.2023

Şekil 4. 15: Betonarme İmalatları İş Programı

Kaba inşaatın ardından ince imalatlar başlayacaktır. İnce imalatların ilk aktivitesi duvar aktivitesidir ve duvar aktivitenin başlayabilmesi için ilk koşul betonarme imalatının bitmesidir. Aktiviteler arasında öncüllük ve ardıllık ilişkisi varsa söz konusu aktiviteler

arasında aynı mekânı öncel işi yapan ekip terk ettikten sonra ardıl işi yapacak ekibin mekâna girebilmesi için belli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Bu süre tampon süre olarak tanımlanmaktadır. Duvar imalatının başlayabilmesi için iki adet seçenek ortaya çıkmaktadır. Seçeneklerden bir tanesi betonarme imalatı tamamlandıktan sonra duvar imalatının başlamasıdır ancak bu durumda proje tamamlanma süreci gecikecektir. Diğer seçenek ise imalatın en erken ve müsait durumda başlamasıdır. Belirtilen durum betonarme imalatı zemin kat seviyesine geldiğinde bodrum kattan duvar imalatının başlamasını gerektirmektedir. Bu durumda da duvar imalatı betonarme imalatından daha hızlı tamamlanan bir aktivite ise betonarme imalatını sürekli olarak yakalayacak ancak önüne geçmesi fiziksel olarak imkansız olduğundan bekleyerek devam edecektir. Bu ise uygulamada kullanılan bir yöntem değildir. Aktivitenin başladıktan sonra tamamlanana kadar devam etmesi gerekmektedir.

Bu iki durumun da kontrol edilebilmesi için duvar imalatının başlanacağı tarih belirlenmelidir. Birinci durum imalatın başlayabileceği ilk durumda başlaması ve ikinci durum ise kendinden önceki imalatın tamamlanması ardından tampon süre kadar beklediği duruma göre başlangıç zamanının tayin edilmesidir. Birinci ihtimalde zemin kat seviyesi betonarme imalatı tamamlanmasını müteakip tampon süre kadar bekleyip duvar imalatının başlamasıdır. Tampon sürenin proje için 5 gün seçilmesi uygun olacaktır. Bu durumda duvar imalatı 24.07.2023 tarihinde başlayacak toplamda 219 gün sürecektir ve 28.02.2024 tarihinde tamamlanacaktır. İkinci durumda ise kaba inşaat son kata geçtiği tarih olan 17.11.2023 tarihinden beş gün sonra tamamlanacaktır. Tamamlanma tarihi 22.11.2023 tarihinden geriye doğru hesaplama yapıldığında duvar imalatının 17.04.2023 tarihinde başlamasıdır. Bu durum ise fiziksel olarak mümkün olmamaktadır çünkü planlamada o tarihte temel altı grobeton imalatı aşamasındadır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde duvar imalatının başlaması gereken tarih 24.07.2023 olarak hesaplanmıştır. Duvar imalatının ardından aktivitelerin öncüllük ve ardıllık koşullarına göre imalatlar yukarıda anlatıldığı şekilde planlandığında en son aktivite doğramalara cam takılması aktivitesidir. Bu aktivite son katta 12.10.2024 tarihinde bitmiş ve toplam 560 günde tamamlanmıştır. İş programı oluşturulduktan sonra projenin tamamlanma maliyeti hesaplanabilecektir.

Projenin toplam maliyetini iki unsur oluşturur. Bunlardan bir tanesi direkt olarak malzeme ve işçilik maliyetlerinden oluşan doğrudan maliyettir. Diğer ise proje toplam süresine bağlı olarak oluşan dolaylı maliyettir. Dolaylı maliyet şantiyenin yemek, konaklama, enerji ihtiyacı vb. giderlerinin toplamıdır. Şantiye genel gideri olarak 40.000,00 TL/gün gider alınmıştır.

Tüm aktivitelerin normal sürelerinde icra edildiği durumda projenin tamamlanma süresi 560 gündür ve proje süresine bağlı olarak aktivitelerin işçilik giderleri 4.297.543,72 TL, malzeme giderleri süreden bağımsız olarak 28.562.501,43 TL olarak hesaplanmıştır. Kaba inşaatın süresi 152 gün sürmüştür ve vinç kirası 10.000 TL/gün üzerinden 1.520.000,00 TL olarak hesaplanmıştır. İşçilik, malzeme ve makine giderlerinden oluşan doğrudan giderler toplamda 34.380.045,15 TL olarak hesaplanmıştır. Proje dolaylı gideri ise 22.400.000,00 TL olarak hesaplandığında projenin tamamlanma maliyeti 56.780.045,15 TL olarak hesaplanmıştır.

Diğer bir ihtimal olarak alternatiflerin olabilecek en hızlısının tercih edilmesidir. Bu durumda ise dolaylı maliyetler azalacak ancak doğrudan maliyetlerde artış meydana gelecektir. Alternatiflerin en hızlı seçenekleri üzerinden planlama yapıldığında ise temel altı imalatları 29 gün, betonarme imalatlar 24 gün ve ince imalatlar 237 gün sürmüştür.

Tüm iş kalemlerinin en hızlı biçimde gerçekleştirilmesi halinde projenin tamamlanma süresi 289 gündür ve proje süresine bağlı olarak aktivitelerin işçilik giderleri 15.693.916,12 TL, malzeme giderleri süreden bağımsız olarak 28.562.501,43 TL olarak hesaplanmıştır. Kaba inşaatın süresi 24 gün sürmüştür ve vinç kirası 10.000 TL/gün üzerinden 240.000,00 TL olarak hesaplanmıştır. İşçilik, malzeme ve makine giderlerinden oluşan doğrudan giderler toplamda 44.496.417,55 TL olarak hesaplanmıştır. Proje dolaylı gideri ise 11.560.000,00 TL olarak hesaplandığında projenin tamamlanma maliyeti 56.056.417,15 TL olarak hesaplanmıştır.

Her iki planlamada da projenin tamamlanma maliyetleri birbirine yakın çıkmaktadır. Ancak en yavaş alternatifler üzerinden yapılan planlamada süre 560 gün, en hızlı alternatifler üzerinden yapılan planlama da ise süre 289 gün olarak gerçekleşmektedir. Bu noktada uygulama da kısa süre tercih sebebidir. Bunun sebebi uzun süre karşısında giderlerin enflasyon sebebiyle artması, gecikme cezasıyla karşı karşıya kalınması ve sözleşme

süresinden önce işin tamamlanarak yüklenici firmanın prestij kaybına sebebiyet verilmemesidir.

4.5.2 Yedi Blokluk İş Programının Oluşturulması

Tünel kalıp tekniğinin hız avantajının yanı sıra bazı dezavantajları da yer almaktadır. Bu dezavantajların başında tünel kalıp imalatının kule vinç mecburi kılmasıdır. Betonarme inşaatında sacdan imal edilmiş olan kalıplar inşa süresini oldukça kısaltmakla beraber ilk yatırım maliyetini artırmaktadır. Hem kule vinç mecburiyeti hem de tünel kalıp ilk yatırım maliyetinin yüksek olması yüklenicileri finansal açıdan zor duruma düşürebilmektedir.

Projenin uygulanma aşamasında her bloğun bir adet vinç ve tünel kalıp ile yapılması ekonomik açıdan mümkün olmadığından 1 adet vinç ve 1 takım tünel kalıp ile yapım faaliyeti tamamlanmalıdır. İlk bloğun inşaatının tamamlanmasının ardından ikinci bloğa geçilmeli ve blok çiftlerinin inşaatı tamamlandığından vinç deplase edilmelidir. Her bloğun inşaatı kazı, kaba inşaat ve ince inşaat olarak devam edeceğinden kurulan ekipler kesintiye uğramadan inşa faaliyetine devam etmeli ve en son blok tamamlanıncaya kadar sürekli şekilde çalışmalıdır.

Belirtilen koşul vinç ve tünel kalıp kaynakları üzerinde kısıt planlamanın kaynak kısıtlı iş programı oluşturulmasını zorunlu hale getirmektedir. Planlama olarak öncelikle ikişerli gruplar halinde olan blokların kazısının yapılması ve kazı aktivitesinin diğer blokların kazısına devam etmesi gerekmektedir. Aynı şekilde kaba inşaat kazı aktivitesinin hemen ardından başlamalı ve tamamlanmasını müteakip diğer bloklara devam etmelidir. Bu şekilde hazırlanmış bir iş programı ekonomik olacaktır.

Ayrıca yüklenici firmanın ekonomik imkânları da başka bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Projenin süresinin kısalması tamamlanma maliyetini artıracaktır. Aktivitelerin hızlanması malzeme ve iş makinesi temini noktasında da yüklenici firmayı zorlayacaktır. Yüklenici firma ekonomik açıdan malzeme temininde problem yaşarsa aktivitelerin süresi kısalamayacak ve proje tamamlanma süresi uzayacaktır. Bu durum dolaylı maliyeti artırdığından ötürü proje tamamlanma maliyeti de haliyle artacaktır. Bu açıdan bakıldığında kaynaklar üzerindeki kısıt malzeme temini konusunda da planlama yapılmasını gerektirmektedir. İş programı oluşturulurken bir blok için program oluşturulup optimizasyonu yapılmalı ve aynı aktivite alternatiflerine göre diğer blokların inşaatları planlanmalıdır.

Yedi bloklu iş programının oluşturulması aşamasında planlama olarak öncelikle alternatifler arasında doğrudan maliyetlerin en az olduğu birinci alternatifler seçilerek bir iş programı hazırlanmıştır. Bu planlamaya göre iş programı yapıldığında inşaat 01.04.2023 tarihinde başlamıştır ve toplamda 1980 gün sürerek 07.10.2028 tarihinde tamamlanmıştır (**Çizelge 4. 2**). Proje de her bloğun seçilen alternatiflere göre malzeme ve işçilik maliyeti bir blok için 32.860.045,15 TL'den 230.020.316,04 TL olarak hesaplanmış. Kule vincin ilk bloğun imalat başlangıcından son bloğun imalatının tamamlanmasına kadar geçen sürede yaklaşık 36 ay kiralanması gerekmektedir. Bu maliyet 10.760.000,00 TL ve proje süresi 2016 gün hesaplanarak dolaylı maliyet tutarı 80.600.000,00 TL olarak tespit edilmiştir. Projenin tamamlanma maliyeti 321.570.316,04 TL'dir.

Çizelge 4. 2 : Proje Tamamlanma Süresi

Tamamlanma Süreleri					
Blok İsim	Başlangıç Tarihi	Temel Altı İmalatları Bitiş	Betonarme İnşaat Bitiş	İnce İmalatlar Başlama	İnce İmalatlar Bitiş
1. Blok	1.04.2023	3.07.2023	2.12.2023	24.07.2023	12.10.2024
2. Blok	7.04.2023	21.07.2023	4.05.2024	29.02.2024	9.06.2025
3. Blok	13.04.2023	09.08.2023	5.10.2024	6.10.2024	7.02.2026
4. Blok	19.04.2023	29.08.2023	8.03.2025	16.05.2025	10.10.2026
5. Blok	25.04.2023	16.09.2023	9.08.2025	23.12.2025	7.06.2027
6. Blok	30.04.2023	5.10.2023	10.01.2026	31.07.2026	5.02.2028
7. Blok	7.05.2023	24.10.2023	13.06.2026	09.03.2027	07.10.2028

Planlama her aktivitenin seçilebilecek en hızlı ihtimalinin seçildiği şekilde yapılırsa başlangıç tarihi 01.04.2023 olan projenin süresi 1213 gün ve tamamlanma tarihi 27.07.2026 olarak belirlenmiştir (**Çizelge 4. 3**). Proje de her bloğun seçilen alternatiflere göre malzeme ve işçilik maliyeti bir blok için 44.256.417,55 TL'den 309.794.922,84 TL olarak hesaplanmış. Kule vincin ilk bloğun imalat başlangıcından son bloğun imalatının tamamlanmasına kadar geçen süre boyunca yaklaşık 6 ay kiralanması gerekmektedir. Bu maliyet 1.830.000,00 TL ve proje süresi 1213 gün hesaplanarak dolaylı maliyet tutarı 48.520.000,00 TL olarak tespit edilmiştir. Projenin tamamlanma maliyeti 360.144.922,84 TL'dir.

Çizelge 4. 3: Proje Tamamlanma Süresi

Tamamlanma Süreleri					
Blok İsim	Başlangıç Tarihi	Temel Altı İmalatları Bitiş	Betonarme İnşaat Bitiş	İnce İmalatlar Başlama	İnce İmalatlar Bitiş
1. Blok	1.04.2023	29.04.2023	24.05.2023	8.05.2023	15.01.2024
2. Blok	2.04.2023	10.05.2023	17.06.2023	25.06.2023	17.06.2024
3. Blok	5.04.2023	20.05.2023	13.07.2023	15.08.2023	18.11.2024
4. Blok	6.04.2023	31.05.2023	7.08.2023	03.10.2023	21.04.2025
5. Blok	7.04.2023	10.06.2023	31.08.2023	21.11.2023	22.09.2025
6. Blok	8.04.2023	21.06.2023	25.09.2023	9.01.2024	23.02.2026
7. Blok	9.04.2023	1.07.2023	19.10.2023	27.02.2024	27.07.2026

4.6 İş Programı Optimizasyonu

İş programı optimizasyonu aşamasına geçilebilmesi için iş programının insan müdahalesi olmadan hesap cetveli üzerinde oluşturulması gerekmektedir. Aktiviteler için alternatifler arasından en ucuzunun seçilmesi en düşük doğrudan maliyetli iş programı olacaktır. Ancak bu durum doğal olarak proje tamamlanma süresini en uzun seçilmesine sebep olacaktır. Bu şantiyenin açık olması durumu makine kiralama ücreti, teknik personellerin giderleri, şantiyenin enerji ihtiyacı, vergi ve SGK ödemeleri gibi durumlar sebebiyle bir hayli dolaylı maliyet getirecektir. Projenin tamamlanma maliyetine ait iki bileşenden doğrudan maliyet en düşük alternatiflerden oluşsa da diğer maliyetin yüksek olması tamamlanma maliyetini artıracaktır.

Yapım alternatiflerinin en hızlısının seçilmesi durumunda proje tamamlanma süresine bağlı olarak dolaylı maliyetler minimum olacaktır. Ancak bu durumda da doğrudan maliyetler en yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Her iki durumda da projenin tamamlanma maliyetleri birbirine yakın olmaktadır. Bu durumda projenin belli bir tamamlanma süresi olması sebebiyle en hızlı alternatifin seçilmesi projenin gecikmesi halinde varsa gecikme cezası ile karşı karşıya kalınma riskini minimize edecektir.

Her projenin tamamlanması için sözleşmelerde belirli bir proje süresi yer almaktadır. Kamu yatırımlarında yapım işleri bir sözleşmeye bağlanır ve proje sözleşme süresinde tamamlanmazsa gecikme cezası uygulanır. Kamu yatırımı olmayan projelerde ise gerek sözleşmelerinde belirli bir sürenin varlığı gerekse projenin tamamlanma zamanının uzamasından kaynaklı enflasyon etkisiyle yapım maliyetlerinin artması söz konusu

olabilmektedir. Bu sebeplerden ötürü projelerin ihale ya da anlaşma sürecinde belirli bir tamamlanma süresi yer almaktadır. Bu tarihin aşılması gerektiğinden proje yönetim süreci belirli bir tamamlanma süresine göre planlanır. Planlanma safhasında hedeflenen süre içerisinde aktivitelerin tamamlanması için ne kadar işçi, makine ve malzeme gerektiği hesaplanmalıdır. En düşük maliyetli aktivite alternatiflerine göre düzenlenen bir iş programı hedeflenen süre içerisinde tamamlanmıyorsa optimizasyon gerekmektedir. Aynı şekilde en yüksek maliyetli aktivite alternatifine göre düzenlenen bir iş programı hedeflenen süreden kısa ise iş programının tamamlanma süresi artırılarak tamamlanma maliyeti düşürülebilir.

Her iki durumda da hem proje tamamlanma maliyetinin hem de proje süresinin optimizasyonu kaçınılmaz olmaktadır. Bu sürenin belirlenmesinde yüklenici firmanın ekonomik imkânları oldukça önemlidir. En kısa sürede tamamlanma durumunda günlük harcanması gereken bütçe artacağından yüklenici işçi, makine ya da malzeme temini noktasında zorlanabilir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında iş programı optimizasyonu önemli hale gelmektedir. Optimizasyonun sezgisel yöntemle yapılması aktivite sayısı fazla olan bu tarz projelerde çok mümkün olmamaktadır. Bu sebeple optimizasyonun genetik algoritma yoluyla yapılması daha doğru sonuçlar verecektir.

Optimizasyon aşamasında 4 adet probleme çözüm aranacaktır. Bu problemler sonucu sınırsız kaynak ve kısıtlı kaynak altında iş programları optimizasyonu yapılacaktır. Optimizasyon aşamasında incelenecek problemler **Çizelge 4. 4**'te sunulmuştur.

Çizelge 4. 4: Optimizasyon Problemleri

Problem	Açıklama
Birinci Problem	Herhangi bir kısıt olmadan en uygun maliyetin çözümü
İkinci Problem	Birinci probleme ek olarak belirli bir süre kısıtı koşuluyla en uygun maliyetin çözümü
Üçüncü Problem	İkinci probleme ek olarak nakit akış çizelgesine göre belirli bir limitin altında en uygun maliyetin çözümü
Dördüncü Problem	Üçüncü probleme ek olarak günlük çalışan işçi sayısına sınırlama getirilerek en uygun maliyetin çözümü

4.7 Tek Bloklı İş Programının Optimizasyonu

İş programı optimizasyonuna önce tek bloklı yapının optimizasyonundan başlanmıştır. Burada amaç tek bloklı optimizasyon sonucunda çıkan değerlerin optimizasyon yapılmadan direkt olarak en hızlı ve en yavaş seçilerek oluşturulan bir program ile arasındaki farkın karşılaştırabilmesidir. Ayrıca bu yapılan çalışma ile tek blok optimizasyonu sonucunda ortaya çıkan alternatiflerin yedi bloklı optimizasyon sonucu ile karşılaştırılmasıdır.

4.7.1 Birinci Problem: Tek Bloklı Yapıda Yalın ZMÖP Çözümü

İnşaatın tamamlanma süresi üzerinde bir kısıt bulunmadığı hallerde proje süresinin gecikmesi halinde yüklenici gecikme cezası ödemez. Bu durumda inşaat süresinden bağımsız olarak iş programı optimize edilebilir. Bu projelerde işin erken tamamlanması dolaylı maliyetin ve fiyat artışlarının getireceği olumsuzlukları ortadan kaldıracaktır. İşin geç tamamlanması durumunda da maliyet artışının olması kaçınılmazdır.

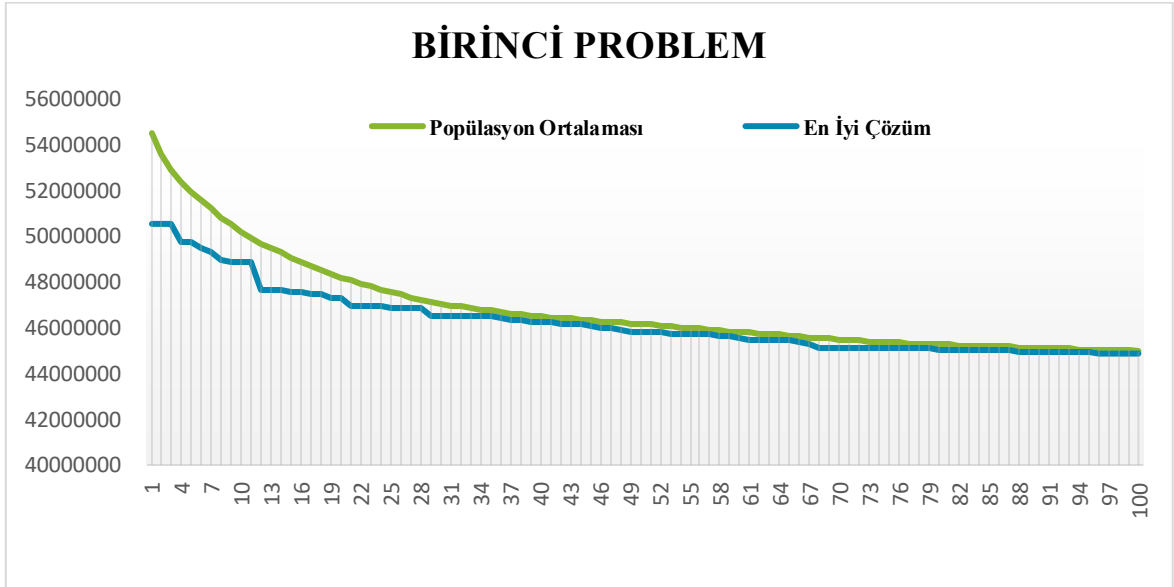
Kamu yatırımları ve kamu yatırımı olmayan projelerde belirli bir tamamlanma süresi tayin edilir. Ancak birinci problemde optimizasyon yapılırken herhangi bir tamamlanma süre koşulu tanımlanmadan sadece toplam proje maliyetinin optimizasyonu yapılacaktır. Bu optimizasyon sürecinde projenin en ucuz tamamlanma maliyetine ulaşmaya çalışılacaktır.

Örnek olarak verilen projede toplamda 64 adet iş kalemi yer almaktadır. Vaka çalışmasında incelenen inşaat projesi toplu konut inşası olması sebebiyle bodrum kat diğer katlardan farklılık arz etmekte ancak zemin kat ve dokuz normal kat birbirinin aynısıdır. Bu sebeple 64 adet iş kalemi temel altı, bodrum kat ve zemin kat olarak kat seviyelerine göre planlama yapılmıştır. Zemin kat için seçilen alternatifler diğer normal katlarda da kullanılarak iş programı oluşturulmuştur. Bahse konu planlama sonrası 91 adet aktivite yer almaktadır. Söz konusu bu aktivitelerin 9 tanesi 5 alternatif ve 82 tanesi ise 8 alternatiften oluşmaktadır. Bu parametreler düşünüldüğünde çözüm kümesinde $2 \cdot 10^{80}$ mertebesinde ihtimal yer almaktadır. Bu sebeple optimizasyonun el ile yapılması çok mümkün olmamaktadır.

Optimizasyon süreci genetik algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritmada örnek uzaydaki çözümler rastgele olacak şekilde üretilir. Bu üretilen çözümün her biri popülasyon olarak isimlendirilir. Ardından popülasyon içerisinde mutasyon oranı kadar

ekstra çözüm sayısı ortaya çıkar ve çaprazlama oranı kadar popülasyon mevcut çözümler içerisinde üretilir. Doğal seleksiyon sonrası iyi olan çözümlerle işlemler tekrar edilir. Belirli bir tekrar sonrası optimum çözüme yakın çözümler yakınsanır.

Birinci problemde popülasyon sayısı 200, mutasyon oranı 0,10 ve çaprazlama oranı ise 0,70 olarak belirlenmiştir. Problemin çözümü rastgele oluşturulan 200 adet bireyden oluşan popülasyonla başlar. Mevcut nesle yapılan çaprazlama işlemi sonrası 140 yeni birey eklenmiş ve çözüm sayısı 340 olmuştur. Çaprazlamadan sonra mutasyon işlemi gerçekleştirilir ve rastgele seçilen 20 adet birey mutasyona tabi tutularak 20 çözüm daha üretilir. Doğal seleksiyon ile toplamda 360 adet olan çözümler tekrar 200 adede indirilir. Bu işlem sırasında 180 adet birey imha edilir. İmha işlemi kötü çözümlere düşük hayatta kalma şansı, iyi çözümlere yüksek hayatta kalma şansı tanıyacak şekilde rastgelelik içeren sıralama ile gerçekleştirilir. Belirtilen süreç sonrası yenilenmiş 200 çözüm elde edilir ve çaprazlama, mutasyon ve doğal seleksiyon operatörleri ile nesil tekrardan aynı işlemlerden geçer. 100 defa bu işlemler tekrarlanmış ve optimum çözüme yaklaşılmıştır (**Şekil 4. 16**). Optimizasyon aşamasında her bir çözümde yer alan seçilmiş alternatif sayılarına göre süre ve maliyet değerleri hesaplatılır. Hesaplanan bu değerlere göre maliyeti gittikçe düşen nesiller üzerinde işlemler tekrar edilir. Maliyet olarak aktivitelerin malzeme ve her seçilen hızlandırma alternatifine göre işçilik miktarları, kule vinç kirası ve dolaylı maliyet alınmıştır.



Şekil 4. 16: Tek Bloklı Birinci Problem Yakınsama Grafiği

Problem üzerinde yapılan 100 çevrim sonrası popülasyon ortalaması ve çözüm değerleri yakınsamıştır. Problemin bilgisayar yardımıyla elektronik hesap tablosundaki çözümü yaklaşık 30 saat sürmüştür. Yakınsama sonrası elde edilen en iyi çözümde proje tamamlanma süresi 255 gün ve proje tamamlanma maliyeti 44.866.417,55 TL'dir. Optimizasyon aşamasında değerlendirilen 5 adet çözümün ortalama tamamlanma süresi 260,4 gün ve ortalama tamamlanma maliyeti 44.918.408,46 TL'dir.

Problem çözümünde söz konusu tamamlanma süresi ve tamamlanma maliyetine ulaşılması için seçilmesi gereken hızlandırma alternatifleri **Şekil 4. 17**'de sunulmuştur. Bu hızlandırma alternatifleri seçilerek yapılacak bir planlama sonrası bu değerler ile proje tamamlanabilecektir.



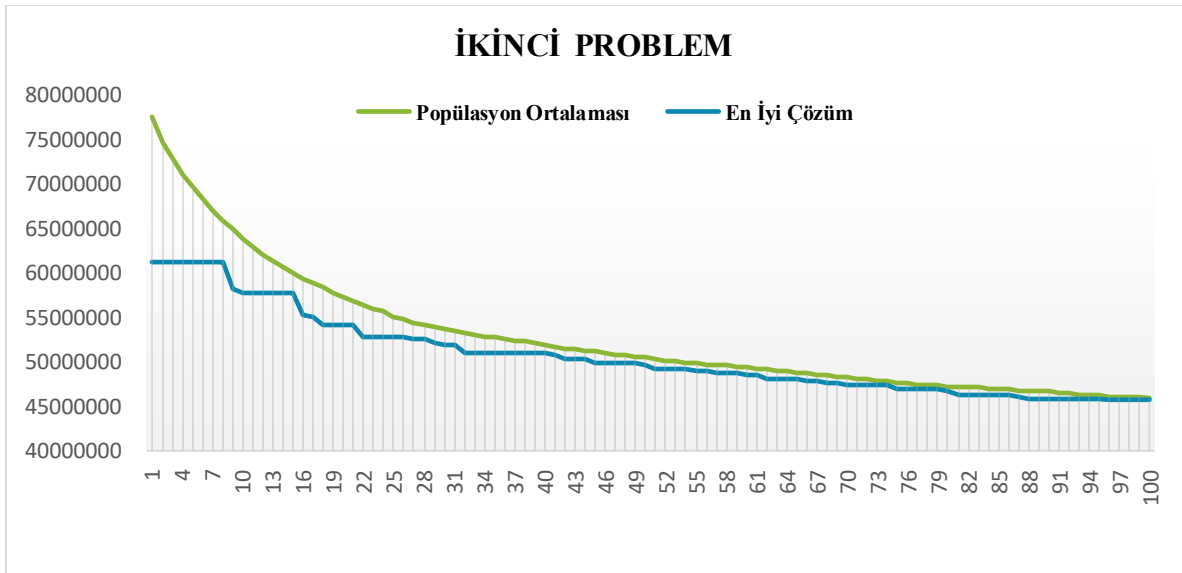
T. Kazısı	5	Z. K. 10'lık Duvar	6	Z.K. Dış Cephe Sıva	5	Su Yalıtımı	2	Z.K. Seramik Kaplama	1	Z.K. Demir Kapı	3
T. Blokaj	5	Z. K. 20'lık Duvar	7	B.K. Mantolama	6	Çatı Arazisi Isı Yalıtımı	3	Z.K. Parke	2	B.K. Antipas Boya	3
T. Grobeton	5	B.K. Duvar Brüt Beton Astarı	7	Z.K. Mantolama	1	Kiremit	3	B.K. Mermer Kaplama	3	Z.K. Antipas Boya	4
T. Bohçalama	6	Z. K. Duvar Brüt Beton Astarı	2	Z.K. Mineral Sıva	1	Oluk	5	Z.K. Mermer Kaplama	1	Z.K. Denizlik Paspas	5
T. Kalıp	2	Z. K. Duvar Kaba Sıva	5	Yağmur İniş Borusu	1	Çatı Kenarı	1	B.K. Merdiven Döşeme	2	Z.K. Plastik Doğrama	7
T. Donatı	7	Z. K. Duvar Kaba Sıva	3	Z.K. Dış Cephe Boya	3	B.K. Tesviye Beton	5	Z.K. Merdiven Döşeme	4	Z.K. Alüminyum Doğrama	1
T. Beton	5	B.K. Duvar Seramik	4	B.K. Tavan Brüt Beton Astarı	6	Z.K. Tesviye Beton	3	B.K. Merdiven Basamak	3	Z.K. Cam Takılması	7
T. İçi Dolgu	5	Z. K. Duvar Seramik	2	Z.K. Tavan Brüt Beton Astarı	2	B.K. Süpürme Yalıtım	2	Z.K. Merdiven Basamak	2	Z.K. Kapı Kanadı	4
T. Keçe	6	B.D. Alçı-Sıva	4	B.K. Tavan Kaba Sıva	7	Z.K. Süpürme Yalıtım	6	B.K. Merdiven Duvar	2	Z.K. Gömme Dolap	3
T. XPS	8	Z.K. Alçı-Sıva	8	B.K. Tavan Alçı Sıva	6	B.K. Su Geçirmez Şap	1	Z.K. Merdiven Duvar	6	Z.K. Mutfak Dolabı	3
T. Koruma Duvar	7	Z. K. Ses Yalıtımı	6	Z.K. Tavan Alçı-Sıva	3	Z.K. Su Geçirmez Şap	4	B.K. Merdiven Korkuluk	5	Z.K. Mutfak Tergahı	4
Z.K. Kalıp	7	B.K. Duvar Boya	5	Z.K. Alüminyum Asma Tavan	6	B.K. Şap	3	Z.K. Merdiven Korkuluk	3	Tretuvar Hasır Çelik	3
Z.K. Donatı	7	Z. K. Duvar Boya	2	B.K. Tavan Boya	7	Z.K. Şap	4	B.K. Sac Kapı Kazası	6	Bordür	3
Z.K. Beton	5	Z.K. Dış Cephe İskele	3	Z.K. Tavan Boya	1	Z.K. Döşeme Ses/Isı Yalıtım	5	Z.K. Sac Kapı Kazası	2	Andezit Döşeme	4
B.K. 25'lik Duvar	6	B.K. Dış Cephe Sıva	4	Ahşap Oturma Çatı	5	B.K. Karo Kaplama	4	B.K. Demir Kapı	6	Andezit Duvar - Merdiven	1
* T : Temel		* Z.K. : Zemin Kat		* B.K. : Bodrum Kat						Andezit Merdiven	4

Şekil 4. 17 : Tek Bloklu Birinci Probleme Ait Hızlandırılma Alternatifleri

4.7.2 İkinci Problem: Süre Kısıtlı Tek Bloklü Yapının ZMÖP Çözümü

İlk problemde optimizasyon sonucu elde edilen iş programının sunduğu tamamlanma süresi hedeflenen bitirme süresinden fazla olabilir. Bu durumda gecikme cezasının ödenmesi kaçınılmazdır. Projenin yapım safhasında karşılaşılabilecek olumsuzluklar da düşünüldüğünde gecikme cezasına bağlı olarak maddi kayıp olması yüklenici firmayı zora sokabilmektedir. Ancak her durumda projenin hedeflenen süreden daha geç tamamlanması durumu yüklenici firmayı ekonomik açıdan olumsuz etkilemez. İş programı oluşturulması sonrası ortaya çıkacak tamamlanma süresi sözleşme şartlarındaki süreden fazla ise gecikme cezası meydana gelecektir. Bu gecikme cezası ve proje tamamlanma maliyetinin toplam tutarı projenin erken tamamlanması için gerekli olan maliyetten daha az ise yüklenici tarafından gecikme cezası ödenerek proje tamamlanabilir. Ancak mevzuatta gecikme cezasının belli bir orandan sonra sözleşme feshine gitmesi ya da firmaların prestij kayıpları projelerin süresinde ya da süresinden önce tamamlanmasını gerektirmektedir.

Bu sebeple ikinci problemde maliyet optimizasyonun yanında gecikme cezası da eklenerek tekrar optimizasyon yapılmıştır. Birinci problemde optimizasyon sonrası tamamlanma süresi 255 gün olarak bulunmuştur. Bu nedenle ikinci problemin optimizasyonu yapılırken malzeme gideri, işçilik gideri ve kule vinç kirasına ek olarak 250 gün sonrası gecikilen her takvim günü için 120.000,00 TL ceza eklenmiştir. İkinci problemin genetik algoritma ile çözümünün yakınsama grafiği Şekil 4. 18’de sunulmuştur.



Şekil 4. 18: Tek Bloklü İkinci Problem Yakınsama Grafiği

Bu problemin çözümünde 250 günü geçen her bir gün için gecikme cezası uygulanmıştır. Bu sayede gecikme cezası uygulanmış günler daha pahalı bir çözüm sunacağından nesilde 250 günden az olan çözümler öne çıkacaktır. Ancak problemin sonucunda çözümler yakınsamıştır ve bilgisayar yardımıyla elektronik hesap tablosundaki en iyi çözümde çözümü 42 saat sürmüştür ama süre olarak 254 gün ve 45.460.154,91 TL bulunmuştur. Optimizasyon aşamasında değerlendirilen 5 adet çözümün ortalama tamamlanma süresi 255,8 gün ve ortalama tamamlanma maliyeti 46.030.687,81 TL’dir.

Birinci problemin optimizasyon sonucu ile kıyaslandığında hızlandırılan ya da yavaşlayan aktiviteler **Çizelge 4. 5**’de sunulmuştur.

Çizelge 4. 5: Birinci Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler

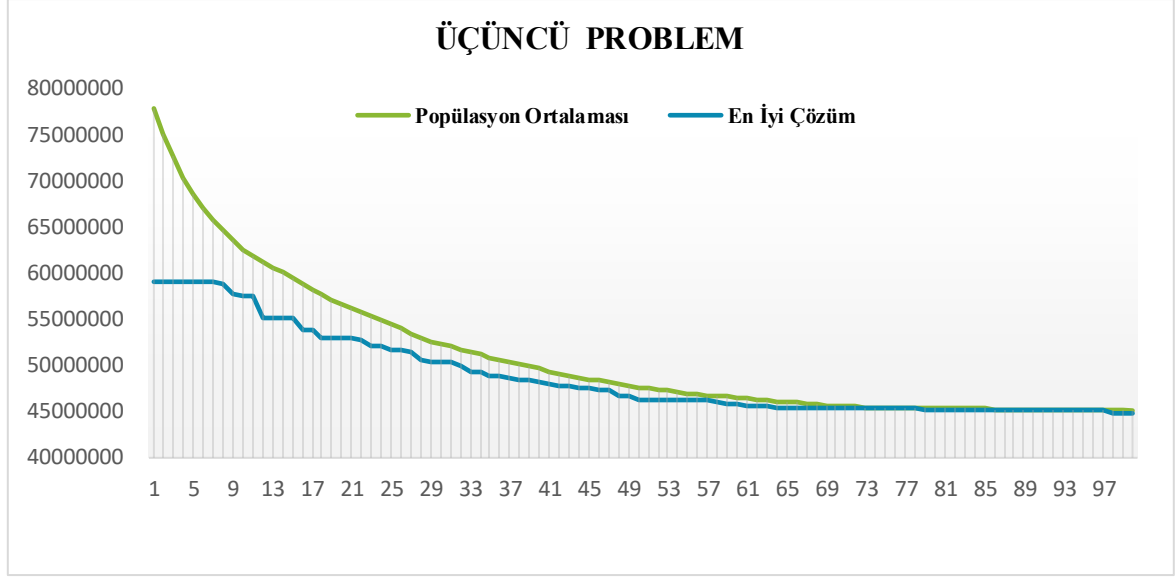
Hızlandırılan Aktiviteler		Yavaşlatılan Aktiviteler	
T. Kazısı	Z.K. Su Geçirmez Şap	T. Bohçalama	Z.K. Tesviye Betonu
T. Beton	B.K. Karo Kaplama	T. Keçe	B.K. Sürme Yalıtım
T. XPS	Z.K. Parke	B.K. 25'lik Duvar	B.K. Su Geçirmez Şap
T. Koruma Duvar	B.K. Mermer Kaplama	Z. K. 10'luk Duvar	B.K. Şap
		B.K. Duvar Brüt Beton	
Z.K. Kalıp	Z.K. Merdiven Duvar	Astarı	Z.K.Şap
Z.K. Donatı	B.K. Demir Kapı	Z. K. Duvar Kaba Sıva	Z.K. Seramik Kaplama
Z.K.Beton	Z.K. Demir Kapı	Z. K. Duvar Seramik	B.K. Merdiven Döşeme
Z. K. Duvar Brüt			
Beton Astarı	Z.K. Antipas Boya	B.D. Alçı-Sıva	Z.K. Merdiven Döşeme
Z. K. Duvar Kaba			B.K. Merdiven
Sıva	Z.K. Mutfak Dolabı	B.K. Duvar Boya	Basamak
			Z.K. Merdiven
Z.K. Dış Cephe İskele	Andezit Döşeme	Z.K. Mantolama	Basamak
Z.K. Dış Cephe Sıva		Z.K. Mineral Sıva	B.K. Merdiven Duvar
			B.K. Merdiven
B.K. Mantolama		Yağmur İniş Borusu	Korkuluk
B.K. Tavan Brüt			Z.K. Merdiven
Beton Astarı		Z.K. Dış Cephe Boya	Korkuluk
B.K. Tavan Kaba Sıva		B.K. Tavan Alçı Sıva	B.K. Antipas Boya
Z.K. Tavan Alçı-Sıva		Z.K. Tavan Boya	Z.K. Mutfak Tezgahı
Z.K. Alüminyum			
Asma Tavan		Ahşap Oturtma Çatı	Bordür
			Andezit Duvar –
B.K. Tavan Boya		Su Yalıtımı	Merdiven
Kiremit		Çatı Arası Isı Yalıtımı	Andezit Merdiven
B.K. Tesviye Betonu		Oluk	
Z.K. Sürme Yalıtım		Çatı Kenarı	

4.7.3 Üçüncü Problem: Süre ve Nakit Akış Kısıtlı Tek Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü

İnşaatın yürütölmesi için gerekli olan toplam malzeme miktarı seçilen yapı alternatiflerinden bağımsız olarak sabit kalsa da aktivitelerin tamamlanma sürelerine bağı olarak malzeme temini hızı artacak ya da azalacaktır. Bununla birlikte yüklenici yapacağı inşaat karşılığında belirli periyotlarda para alabilecektir. İnşaatın hızlı ilerlemesi durumunda aynı periyod içerisinde yüklenici çok fazla iş yapacak ancak bu işlerin parasını hemen alamayacaktır. Bu durum yüklenici firmayı nakit akışı olarak zorlayabilecektir. Hızlandırılmış aktivitelerle planlanmış bir iş programı firmanın bir ay içerisinde yapacağı harcama miktarını artıracaktır. Yüklenici firmanın bu nakit akışı karşılayabilecek bir ekonomik imkânı olmadığında finansal kaynaklardan kredi kullanmak veya vadeli işlem yapmak zorunda kalacaktır. Böyle bir durumda gerçekleştirilen vadeli işlem hacmine bağı olarak veya çek-senet miktarına bağı olarak ek maliyetlerle karşılaşılacaktır. Ödenen faiz miktarına bağı olarak proje tamamlanma maliyeti artabilecektir.

Örnek projede yüklenici her ay yaptığı işin hak edişini takip eden ayın 15. gününde alabilmektedir. Yüklenicinin kâr oranı ise %5 olarak alınmıştır. Bir hak ediş döneminde 1.000.000,00 TL maliyet ile imalat yapan yüklenici ay sonunda gerçekleştirilecek hak ediş ödemesini 1.050.000,00 TL olarak hak ediş tutanağının imzalanmasından 15 gün sonra alacaktır.

Üçüncü problemde ikinci probleme ek olarak aylık en fazla 5.000.000,00 TL ödenebilecek şekilde optimizasyon yapılmıştır. Seçilen alternatiflere göre aylık nakit akışı 5.000.000,00 TL'yi geçen her ay için %5 oranında yani 250.000,00 TL faiz ödenek şekilde problem ele alınmıştır. Üçüncü problemin bilgisayar yardımıyla elektronik hesap tablosundaki yaklaşık 65 saat sonraki çözümü sonrası yakınsama grafiğı **Şekil 4. 19**'de sunulmuştur.



Şekil 4. 19: Tek Bloklı Üçüncü Problem Yakınsama Grafiğı

Bu problemin çözümünde ikinci probleme ek olarak aylık harcama tutarı ve hak ediş tutarı arasındaki farkın 5.000.000 TL' yi geçtiğı durumda 250.000 TL tutarında faiz ödenmesi durumu çözülmüştür. Bu sayede faiz uygulanmış çözüm daha pahalı olacağından nesilde bu çözümler doğal seleksiyon sonucunda dışarıda kalacaktır. Problemin sonucunda çözümler yakınsamıştır ve en iyi çözüm süre olarak 252 gün ve maliyet olarak 44.445.917,55 TL bulunmuştur. Optimizasyon aşamasında değerlendirilen 5 adet çözümün ortalama tamamlanma süresi 253 gün ve ortalama tamamlanma maliyeti 44.686.417,55 TL'dir.

Bu problemin çözümünün daha iyi anlaşılabilmesi maksadıyla birinci problemin ve üçüncü problemin nakit akışı **Çizelge 4. 6**'te sunulmuştur. Üçüncü problemde ilk aylardaki aktiviteler yavaşlatılmış ve buna bağılı olarak bütçe mayıs ayında -5.000.000,00 TL'nin altına düşmüştür.

Çizelge 4. 6: Tek Blok Nakit Akış Çizelgesi

Nakit Akış Çizelgesi			
Birinci Problem Nakit Akışı			
	Bütçe(TL) (A)	Hakediş (TL) (B=A*1,05)	Fark(TL) (C=B-A)
Nisan 23	3.874.992,70	YOK	- 3.874.992,70
Mayıs 23	11.944.085,63	4.068.742,34	- 7.875.343,29
Haziran 23	6.879.723,08	12.541.289,91	5.661.566,83
Temmuz 23	3.189.358,44	7.223.709,23	4.034.350,79
Ağustos 23	5.089.590,46	3.348.826,36	- 1.740.764,10
Eylül 23	4.636.370,44	5.344.069,98	707.699,54
Ekim 23	4.856.252,82	4.868.188,97	11.936,15
Kasım 23	3.705.645,16	5.099.065,46	1.393.420,30
Aralık 23	670.054,00	3.890.927,42	3.220.873,41
Üçüncü Problem Nakit Akışı			
Nisan 23	3.934.308,82	YOK	- 3.934.308,82
Mayıs 23	7.574.058,18	4.131.024,26	- 3.443.033,92
Haziran 23	9.779.425,30	7.952.761,09	- 1.826.664,22
Temmuz 23	5.208.625,78	10.268.396,57	5.059.770,79
Ağustos 23	5.239.161,52	5.469.057,07	229.895,55
Eylül 23	5.818.663,70	5.501.119,60	- 317.544,10
Ekim 23	3.920.852,71	6.109.596,88	2.188.744,17
Kasım 23	2.798.454,49	4.116.895,35	1.318.440,86
Aralık 23	211.367,04	2.938.377,21	2.727.010,17

İkinci problemin optimizasyon sonucu ile kıyaslandığında hızlandırılan ya da yavaşlayan aktiviteler **Çizelge 4. 7**'de sunulmuştur.

Çizelge 4. 7: İkinci Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler

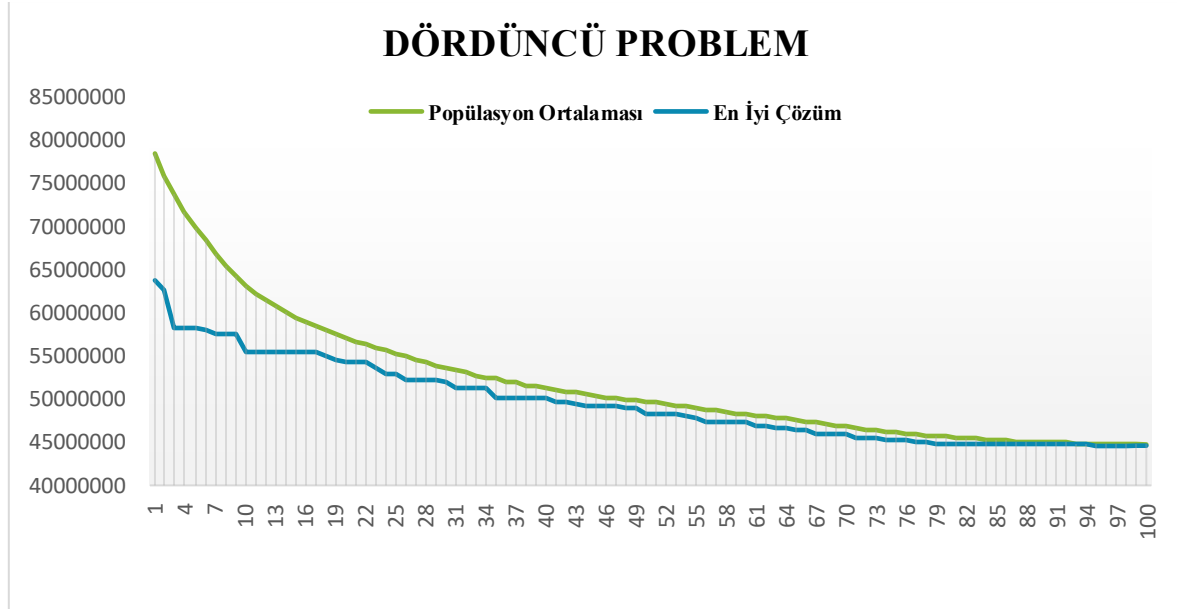
Hızlandırılan Aktiviteler		Yavaşlatılan Aktiviteler	
T. Keçe	B.K. Merdiven Basamak Z.K. Merdiven	T. Kazısı	Z.K. Parke Z.K. Mermer
Z. K. 20'luk Duvar	Basamak	T. Donatı	Kaplama
B.K. Duvar Brüt Beton Astarı	Z.K. Merdiven Duvar B.K. Merdiven	T. Beton	B.K. Merdiven Döşeme B.K. Merdiven
Z. K. Duvar Kaba Sıva	Korkuluk	T. XPS	Duvar Z.K. Merdiven
B.K. Duvar Seramik	B.K. Sac Kapı Kasası	B.K. 25'lik Duvar	Korkuluk
B.D. Alçı-Sıva	Z.K. Sac Kapı Kasası	Z. K. Duvar Kaba Sıva	Z.K. Alüminyum Doğrama Z.K. Gömme
Z. K. Ses Yalıtımı	B.K. Demir Kapı	B.K. Dış Cephe Sıva	Dolap Z.K. Mutfak
B.K. Duvar Boya	B.K. Antipas Boya	Z.K. Dış Cephe Sıva	Dolabı
Z.K. Dış Cephe İskele	Z.K. Denizlik Parapet	Z.K. Mineral Sıva	Bordür
B.K. Mantolama	Z.K. Plastik Doğrama	Yağmur İniş Borusu	
Z.K. Dış Cephe Boya	Z.K. Kapı Kanadı	Z.K. Tavan Brüt Beton Astarı	
B.K. Tavan Brüt Beton Astarı	Z.K. Mutfak Tezgahı	Z.K. Tavan Alçı-Sıva	
B.K. Tavan Alçı Sıva	Tretuvar Hasır Çelik	Su Yalıtımı	
B.K. Tavan Boya	Andezit Döşeme Andezit Duvar – Merdiven	Kiremit	
Z.K. Tavan Boya	Andezit Merdiven	Oluk	
Çatı Arası Isı Yalıtımı		Çatı Kenarı	
Z.K. Tesviye Betonu		Z.K. Sürme Yalıtım	
B.K. Su Geçirmez Şap		B.K. Şap	
Z.K. Su Geçirmez Şap		B.K. Karo Kaplama	
Z.K. Merdiven Döşeme		Z.K. Seramik Kaplama	

4.7.4 Dördüncü Problem: Süre, Nakit Akış ve Kaynak Kısıtlı Tek Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü

Planlama safhasında karşılaşılan problemlerde birisi ise kaynak miktarının işçi bileşenidir. Planlamada seçilen alternatiflere göre işçi sayıları belirlenmekte ve aktivitelerin süresi boyunca işçiler şantiye sahasında çalışmaktadırlar. Yapım safhasının ilerleyen aşamalarında aynı anda devam eden aktivite sayıları artış göstermekte ve bu duruma bağlı olarak aynı anda çalışan işçilerin sayısı da artmaktadır. Bu durum hem nakit akışını, hem

dolaylı maliyeti hem de iş kazaları riskini artırmaktadır. Bu sebeple işçi sayısına bir kısıtlama getirilmesi de optimizasyon açısından bir parametredir.

Dördüncü problemde üçüncü probleme ek olarak şantiyede çalışan günlük toplam işçi sayısına sınırlama getirilmiştir. Toplam işçi sayısı en fazla 130 işçi olarak sınırlandırılmış ve bu sayıyı geçen her işçi için günlük 2000 TL tutarında ekstra ödeme yapılacak şekilde amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu problemde her bir geçen işçi için söz konusu tutar eklenerek optimizasyon yapılmış, bilgisayarda elektronik hesap tablosundaki çözümü yaklaşık 80 saat sürmüştür. Çözümün yakınsama grafiği **Şekil 4. 20**'de sunulmuştur.



Şekil 4. 20: Tek Bloklı Dördüncü Problem Yakınsama Grafiği

Bu problemin çözümü sonrası bir günde çalışan işçi sayısı en fazla 129 olarak optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sonrası problemin sonucunda çözümler yakınsamıştır ve en iyi çözümde süre 248 gün ve maliyet 44.603.917,55 TL bulunmuştur. Optimizasyon aşamasında değerlendirilen 5 adet çözümün ortalama tamamlanma süresi 250,2 gün ve ortalama tamamlanma maliyeti 44.790.062,09 TL'dir.

Üçüncü problemin optimizasyon sonucu ile kıyaslandığında hızlandırılan ya da yavaşlayan aktiviteler **Çizelge 4. 8**'de sunulmuştur.

Çizelge 4. 8: Üçüncü Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler

Hızlandırılan Aktiviteler		Yavaşlatılan Aktiviteler	
T. Donatı	Z.K. Seramik Kaplama	T. Bohçalama	B.K. Şap
T. Beton	Z.K. Parke	T. Kalıp	B.K. Mermer
T. XPS	Z.K. Mermer Kaplama	T. Keçe	Kaplama
Z.K. Donatı	Z.K. Merdiven Döşeme	Z.K. Beton	B.K. Merdiven
Z. K. Duvar Kaba Sıva	B.K. Merdiven	Z. K. 10'luk Duvar	Döşeme
B.K. Duvar Boya	Korkuluk	Z. K. 20'luk Duvar	Z.K. Merdiven
Z. K. Duvar Boya	Z.K. Alüminyum	Z. K. Duvar Brüt Beton	Basamak
B.K. Dış Cephe Sıva	Doğrama	Astarı	B.K. Merdiven Duvar
Z.K. Mantolama	Andezit Merdiven	Z. K. Duvar Kaba Sıva	Z.K. Merdiven Duvar
Yağmur İniş Borusu		B.K. Duvar Seramik	B.K. Sac Kapı Kasası
Z.K. Tavan Brüt Beton		Z. K. Duvar Seramik	Z.K. Sac Kapı Kasası
Astarı		B.D. Alçı-Sıva	B.K. Antipas Boya
Ahşap Oturtma Çatı		Z. K. Ses Yalıtımı	Z.K. Antipas Boya
Su Yalıtımı		Z.K. Dış Cephe Sıva	Z.K. Denizlik Parapet
Çatı Arası Isı Yalıtımı		B.K. Mantolama	Z.K. Plastik Doğrama
Çatı Kenarı		B.K. Tavan Brüt Beton	Z.K. Kapı Kanadı
B.K. Tesviye Betonu		Astarı	Z.K. Gömme Dolap
Z.K. Tesviye Betonu		B.K. Tavan Kaba Sıva	Z.K. Mutfak Dolabı
B.K. Sürme Yalıtım		B.K. Tavan Boya	Z.K. Mutfak Tezgahı
Z.K.Şap		Z.K. Tavan Boya	Andezit Döşeme
Z.K. Döşeme Ses/Isı		Kiremit	
Yalıtım		B.K. Su Geçirmez Şap	

Tek bloklu dört problemin optimizasyonunu içeren icmal çizelgesi **Çizelge 4. 9**'da sunulmuştur.

Çizelge 4. 9 : Tek Bloklu İş Programı Optimizasyonu İcmali

Problem Nu.	Süre	Maliyet
1	255	44.866.417,55 TL
2	254	45.460.154,91 TL
3	252	44.445.917,55 TL
4	248	44.603.917,55 TL

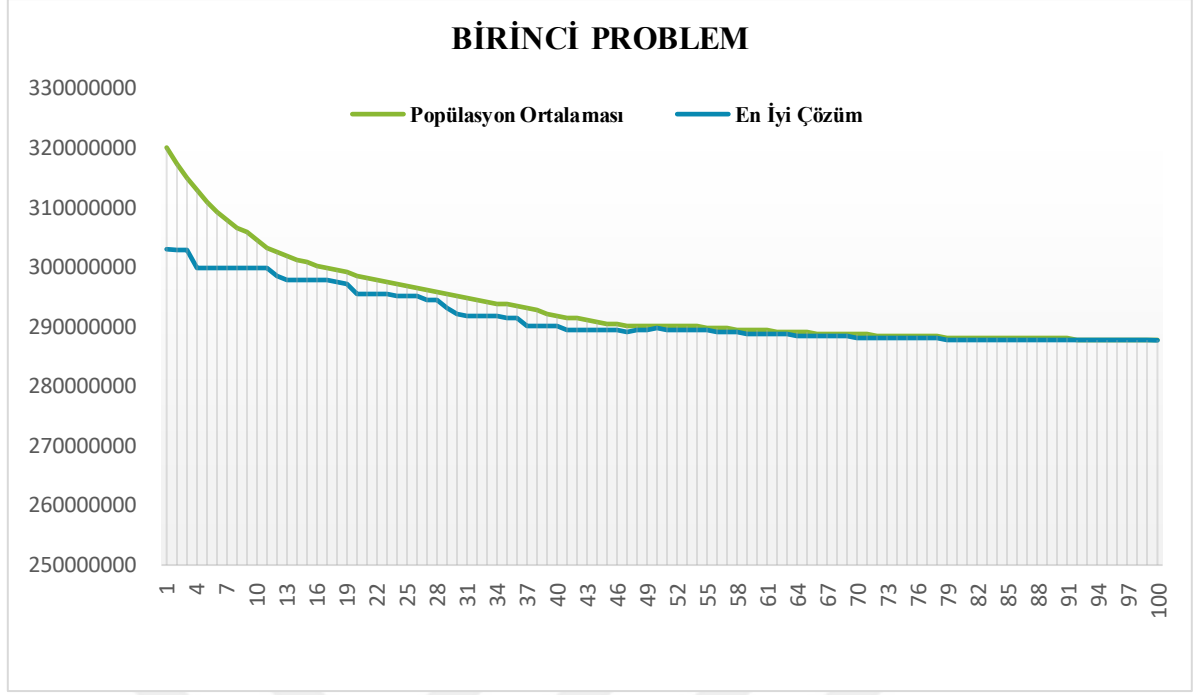
4.8 Yedi Bloklı İş Programı Optimizasyonu

Tek bloklı iş programı oluşturulurken aktivitelerin başlaması için bir adet öncel aktivitenin tamamlanma kısıtı bulunmaktadır. İnşaat boyunca tüm aktiviteler bir ekip ile gerçekleştirileceği için bir iş kalemi aynı anda birden fazla blokta yürütülemeyecektir. Bu nedenle bir iş kaleminin her hangi bir blokta başlayabilmesi için aynı blokta söz konusu aktivitenin öncel aktivitesinin tamamlanmasının yanı sıra bir önceki blokta da aynı aktivitenin tamamlanmış olmasını gerektirir. Bu nedenle yedi bloklı çözümde her aktiviteye kendi bloğu içindeki koşula ek olarak kendinden önceki blokta yer alan aktivitenin tamamlanması koşulu eklenmelidir. Bu koşul iş programının KKİPP çözülmesini gerektirmektedir.

4.8.1 Birinci Problem: Yedi Bloklı Yapıda Yalın ZMÖP Çözümü

Yedi bloklı birinci problemin çözümünde de tek bloklı birinci problemin çözümünde olduğu gibi popülasyon sayısı 200, mutasyon oranı 0,10 ve çaprazlama oranı ise 0,70 alınmıştır. Yedi bloklı problemin çözümünde aktivitelere kendinden önceki blokların aktivitelerin tamamlanması koşulu da eklenerek çözüm aranmıştır.

Aktivitelerin planlaması bir ekip ile yapılacağından optimizasyon aşamasında tek blok için seçilmiş ekip tüm blokların inşaatında çalışacak şekilde planlanmıştır. Yapılan optimizasyon sonucunda popülasyon ortalaması ile çözüm yakınsamış ve yakınsama grafiği Şekil 4. 21’de sunulmuştur.



Şekil 4. 21: Yedi Bloklı Birinci Problem Yakınsama Grafiği

Problem üzerinde yapılan 100 çevrim sonrası popülasyon ortalaması ve çözüm değeri yakınsamıştır. Problemin bilgisayar yardımıyla elektronik hesap tablosundaki çözümü yaklaşık 120 saat sürmüştür. Yakınsama sonrası elde edilen en iyi çözüme göre proje tamamlanma süresi 1232 gün ve proje tamamlanma maliyeti 287.775.066,04 TL'dir. Optimizasyon aşamasında değerlendirilen 5 adet çözümün ortalama tamamlanma süresi 1226 gün ve ortalama tamamlanma maliyeti 288.481.876,79 TL'dir.

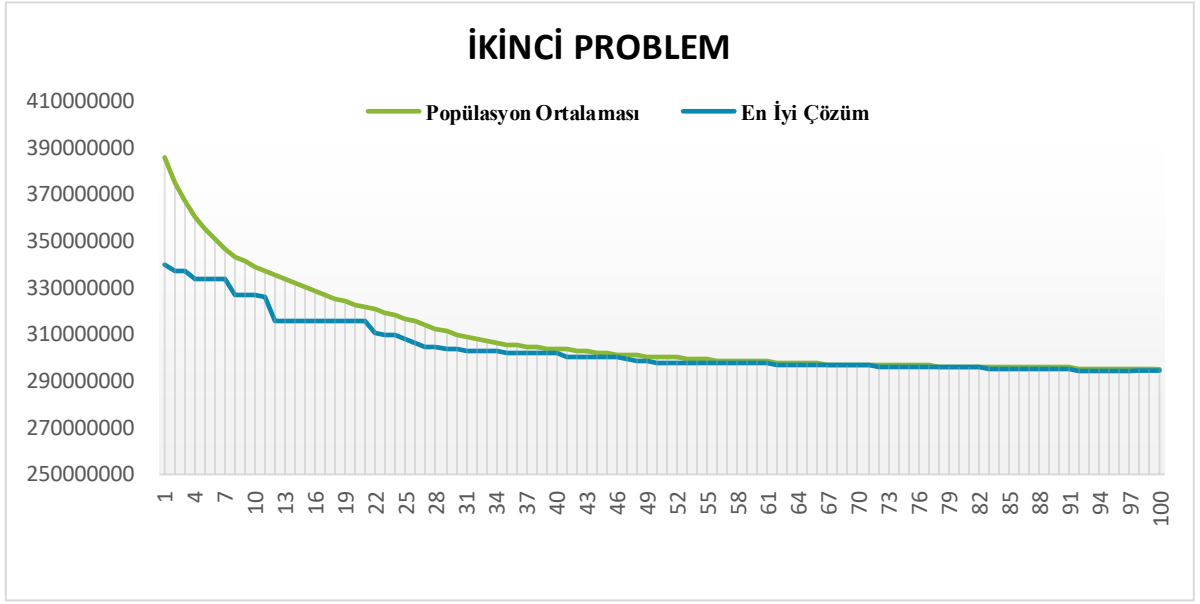
Problem çözümlerinde seçilen hızlandırma alternatifleri **Şekil 4. 22**'de sunulmuştur.

T. Kazısı	1	Z. K. 10'lık Duvar	6	Z.K. Dış Cephe Sıva	2	Su Yalıtımı	1	Z.K. Seramik Kaplama	3	Z.K. Demir Kapı	1
T. Blokaj	3	Z. K. 20'lık Duvar	4	B.K. Mantolama	6	Çatı Arası Isı Yalıtımı	4	Z.K. Parke	2	B.K. Antipas Boya	5
T. Grobeton	5	B.K. Duvar Brüt Beton Astarı	2	Z.K. Mantolama	1	Kiremit	2	B.K. Mermer Kaplama	5	Z.K. Antipas Boya	1
T. Bohçalama	6	Z. K. Duvar Brüt Beton Astarı	1	Z.K. Mineral Sıva	1	Oluk	2	Z.K. Mermer Kaplama	2	Z.K. Denizlik Parapet	2
T. Kalıp	3	Z. K. Duvar Kaba Sıva	7	Yağmur İniş Borusu	3	Çatı Kenarı	5	B.K. Merdiven Döşeme	4	Z.K. Plastik Doğrama	3
T. Donatı	5	Z. K. Duvar Kaba Sıva	3	Z.K. Dış Cephe Boya	2	B.K. Tesviye Beton	1	Z.K. Merdiven Döşeme	5	Z.K. Alüminyum Doğrama	2
T. Beton	4	B.K. Duvar Seramik	4	B.K. Tavan Brüt Beton Astarı	2	Z.K. Tesviye Beton	1	B.K. Merdiven Basamak	5	Z.K. Cam Takılması	6
T. İçi Dolgu	1	Z. K. Duvar Seramik	1	Z.K. Tavan Brüt Beton Astarı	4	B.K. Sürme Yalıtım	3	Z.K. Merdiven Basamak	5	Z.K. Kapı Kanadı	2
T. Keçe	3	B.D. Alçı-Sıva	7	B.K. Tavan Kaba Sıva	1	Z.K. Sürme Yalıtım	5	B.K. Merdiven Duvar	8	Z.K. Gömme Dolap	2
T. XPŞ	4	Z.K. Alçı-Sıva	8	B.K. Tavan Alçı Sıva	1	B.K. Su Geçirmez Şap	3	Z.K. Merdiven Duvar	7	Z.K. Mutfak Dolabı	3
T. Koruma Duvar	3	Z. K. Şes Yalıtımı	5	Z.K. Tavan Alçı-Sıva	1	Z.K. Su Geçirmez Şap	5	B.K. Merdiven Korkuluk	2	Z.K. Mutfak Tezgahı	6
Z.K. Kalıp	6	B.K. Duvar Boya	4	Z.K. Alüminyum Asma Tavan	3	B.K. Şap	4	Z.K. Merdiven Korkuluk	2	Tretuvar Haar Çelik	1
Z.K. Donatı	6	Z. K. Duvar Boya	1	B.K. Tavan Boya	5	Z.K. Şap	2	B.K. Şac Kapı Kasası	5	Bordür	2
Z.K. Beton	5	Z.K. Dış Cephe İskele	2	Z.K. Tavan Boya	1	Z.K. Döşeme Ses İsi Yalıtım	2	Z.K. Şac Kapı Kasası	2	Andezit Döşeme	2
B.K. 25'lik Duvar	6	B.K. Dış Cephe Sıva	1	Alışıp Oturma Çatı	2	B.K. Karo Kaplama	1	B.K. Demir Kapı	6	Andezit Duvar - Merdiven	1
* T : Temel		* Z.K. : Zemin Kat		* B.K. : Bodrum Kat						Andezit Merdiven	4

Şekil 4. 22: Yedi Bloklı Birinci Probleme Ait Hızlandırılma Alternatifleri

4.8.2 İkinci Problem: Süre Kısıtlı Yedi Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü

Yedi bloklı iş programı optimizasyonu sonucunda belirli bir tamamlanma süresi sonrası günlük gecikme cezası uygulanarak çözüm aranmıştır. Bunun için proje toplam süresi 1150 günü geçen her gün için günlük 150.000,00 TL gecikme cezası uygulanmış ve en uygun maliyete ek olarak süre koşulu eklenerek çözülmüş problemin yakınsama grafiği **Şekil 4. 23**'te sunulmuştur.



Şekil 4. 23: Yedi Bloklı İkinci Problem Yakınsama Grafiği

Bu problemin çözümünde 1150 günü geçen her bir gün için gecikme cezası uygulanmıştır. Bu sayede gecikme cezası uygulanmış günler daha pahalı bir çözüm sunacağından nesilde 1150 günden az olan çözümlerin öne çıkması beklenmektedir. Ancak problemin sonucunda çözümler yakınsamıştır ve bilgisayar yardımıyla elektronik hesap tablosundaki çözümü 135 saat sürmüştür ama en iyi çözümde süre olarak 1190 gün ve 294.517.827,36 TL bulunmuştur. Optimizasyon aşamasında değerlendirilen 5 adet çözümün ortalama tamamlanma süresi 1189,6 gün ve ortalama tamamlanma maliyeti 295.616.520,03 TL'dir.

Birinci problemin optimizasyon sonucu ile kıyaslandığında hızlandırılan ya da yavaşlayan aktiviteler **Çizelge 4. 10**'da sunulmuştur.

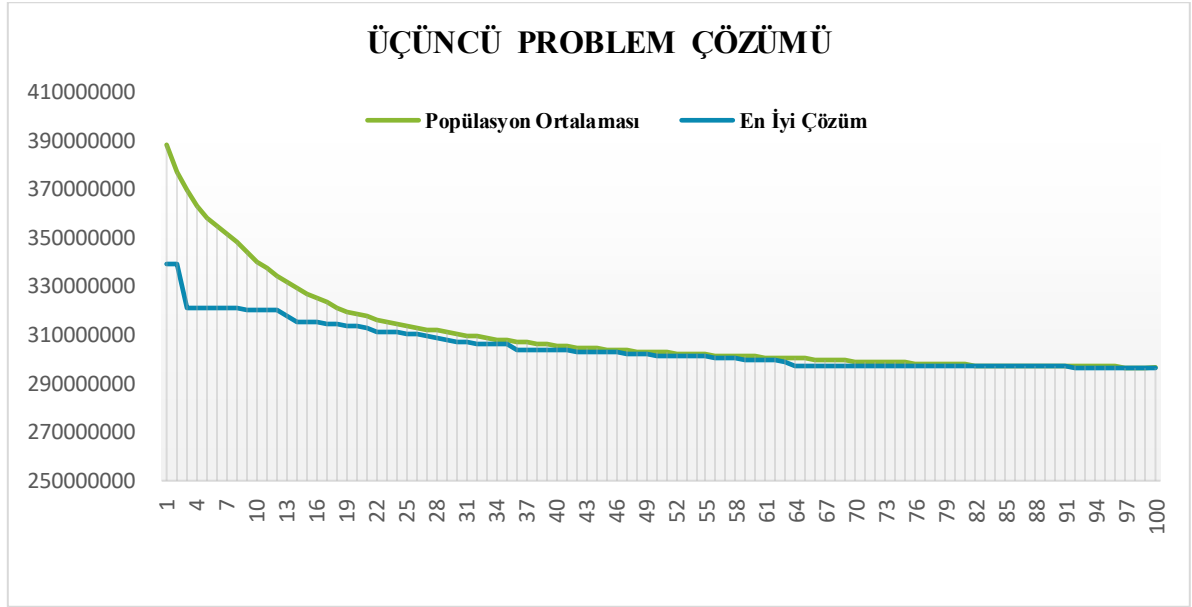
Çizelge 4. 10: Birinci Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler

Hızlandırılan Aktiviteler		Yavaşlatılan Aktiviteler		
T. Blokaj	Z.K. Merdiven Döşeme	T. Kazısı	Z.K. Tavan	Z.K. Kapı
	Z.K. Merdiven		Boya	Kanadı
T. Grobeton	Basamak	T. Bohçalama	Ahşap Oturtma	Z.K. Gömme
			Çatı	Dolap
T. Kalıp	Z.K. Sac Kapı Kasası	T. İçi Dolgu	Su Yalıtımı	Tretuvar
	Z.K. Alüminyum			Hasır Çelik
T. Donatı	Doğrama	T. Keçe	Oluk	Bordür
			B.K. Tesviye	Andezit
T. Beton	Z.K. Mutfak Dolabı	T. XPS	Betonu	Döşeme
				Andezit
B.K. Duvar Brüt			Z.K. Tesviye	Duvar -
Beton Astarı	Z.K. Mutfak Tezgahı	T. Koruma Duvar	Betonu	Merdiven
Z. K. Duvar Kaba		B.K. 25'lik Duvar	B.K. Sürme	Andezit
Sıva			Yalıtım	Merdiven
Z. K. Duvar Kaba				
Sıva		Z. K. 10'luk Duvar	B.K. Şap	
Z. K. Ses Yalıtımı		Z. K. 20'luk Duvar	Z.K. Parke	
		B.K. Duvar	Z.K. Mermer	
B.K. Mantolama		Seramik	Kaplama	
Yağmur İniş		Z. K. Duvar	B.K. Merdiven	
Borusu		Seramik	Basamak	
Çatı Arası Isı			Z.K. Merdiven	
Yalıtımı		B.D. Alçı-Sıva	Duvar	
Kiremit			B.K. Merdiven	
		B.K. Duvar Boya	Korkuluk	
Çatı Kenarı		Z.K. Dış Cephe	Z.K. Merdiven	
Z.K. Sürme		İskele	Korkuluk	
Yalıtım		B.K. Dış Cephe	B.K. Sac Kapı	
B.K. Su Geçirmez		Sıva	Kasası	
Şap		Z.K. Dış Cephe	B.K. Demir	
Z.K. Su Geçirmez		Sıva	Kapı	
Şap		B.K. Tavan Brüt	Z.K. Demir	
		Beton Astarı	Kapı	
Z.K.Şap		B.K. Tavan Kaba	Z.K. Antipas	
B.K. Mermer		Sıva	Boya	
Kaplama		Z.K. Tavan Alçı-	Z.K. Denizlik	
B.K. Merdiven		Sıva	Parapet	
Döşeme			Z.K. Plastik	
		B.K. Tavan Boya	Doğrama	

4.8.3 Üçüncü Problem: Süre ve Nakit Akış Kısıtlı Yedi Bloklu Yapının ZMÖP Çözümü

Yedi bloklu iş programı optimizasyonunun üçüncü problemde ikinci probleme ek olarak yüklenici aylık en fazla 12.000.000 TL ödenebilecek şekilde optimizasyon

yapılmıştır. Seçilen alternatiflere göre aylık nakit akışı 12.000.000 TL'yi geçen her aya doğru orantılı olarak 600.000 TL faiz ödenecek şekilde problem ele alınmıştır. Optimizasyon sürecinde yüksek faiz bedeli ödenen çözümlerin daha pahalı olması nedeniyle doğal seleksiyon sürecinde elenmesi beklenmektedir. Üçüncü problemin bilgisayar yardımıyla elektronik hesap tablosundaki yaklaşık 145 saat sonraki çözümü sonrası elde edilen yakınsama grafiği **Şekil 4. 24**'te sunulmuştur.



Şekil 4. 24: Yedi Bloklı Üçüncü Problem Yakınsama Grafiği

Bu problemin çözümünde ikinci probleme ek olarak aylık harcama tutarı ve hak ediş tutarı arasındaki farkın 12.000.000 TL'yi geçtiği durumda geçtiği miktarla orantılı olarak 600.000 TL tutarında faiz ödenmesi durumu çözülmüştür. Bu sayede faiz uygulanmış çözüm daha pahalı olacağından nesilde bu çözümler doğal seleksiyon sonucunda dışarıda kalacaktır. Problemin bilgisayar yardımıyla elektronik hesap tablosundaki çözümü 145 saat sürmüştür ve çözümler yakınsamıştır. En iyi çözümde süre olarak 1190 gün ve 296.457.066,04 TL bulunmuştur. Optimizasyon aşamasında değerlendirilen 5 adet çözümün ortalama tamamlanma süresi 1192 gün ve ortalama tamamlanma maliyeti 296.311.168,65 TL'dir. Problemin çözümünün kıyaslanması maksadıyla birinci problemin ve üçüncü probleme ait bütçenin negatif değerlerini gösteren nakit akışı **Çizelge 4. 11**'de sunulmuştur.

Çizelge 4. 11: Yedi Blok Nakit Akış Çizelgesi

Nakit Akış Çizelgesi			
Birinci Problem Nakit Akışı			
	Bütçe(TL) (A)	Hakediş(TL) (B=A*1,05)	Fark(TL) (C=B-A)
Nisan 23	4.503.575,85	YOK	- 4.503.575,85
Mayıs 23	8.670.287,38	4.728.754,65	- 8.445.108,58
Haziran 23	13.874.629,40	9.103.801,75	- 13.215.936,24
Temmuz 23	14.972.518,86	14.568.360,87	- 13.620.094,23
Ağustos 23	12.857.384,39	15.721.144,81	- 10.756.333,81
Eylül 23	12.780.505,62	13.500.253,61	- 10.036.585,83
Ekim 23	14.363.595,58	13.419.530,90	- 10.980.650,50
Kasım 23	14.781.014,77	15.081.775,35	- 10.679.889,91
Aralık 23	15.076.714,19	15.520.065,50	- 10.236.538,60
Ocak 24	15.618.813,19	15.830.549,90	- 10.024.801,89
Şubat 24	13.288.149,34	16.399.753,85	- 6.913.197,38
Mart 24	14.400.945,71	13.952.556,81	- 7.361.586,28
Nisan 24	14.604.992,19	15.120.992,99	- 6.845.585,48
Üçüncü Problem Nakit Akışı			
Nisan 23	4.714.554,22	YOK	- 4.714.554,22
Mayıs 23	11.942.228,16	4.950.281,93	- 11.706.500,45
Haziran 23	11.417.306,37	12.539.339,57	- 10.584.467,25
Temmuz 23	11.384.219,06	11.988.171,69	- 9.980.514,62
Ağustos 23	9.150.768,67	11.953.430,01	- 7.177.853,28
Eylül 23	10.180.472,94	9.608.307,10	- 7.750.019,12
Ekim 23	10.247.314,27	10.689.496,59	- 7.307.836,80
Kasım 23	11.342.269,13	10.759.679,98	- 7.890.425,95
Aralık 23	12.190.778,31	11.909.382,59	- 8.171.821,67
Ocak 24	9.809.742,88	12.800.317,23	- 5.181.247,32
Şubat 24	9.398.761,71	10.300.230,02	- 4.279.779,01
Mart 24	12.090.482,86	9.868.699,79	- 6.501.562,08
Nisan 24	11.800.770,20	12.695.007,00	- 5.607.325,27
Mayıs 24	10.072.559,19	12.390.808,71	- 3.289.075,75
Haziran 24	10.131.298,56	10.576.187,15	- 2.844.187,17
Temmuz 24	11.621.422,59	10.637.863,49	- 3.827.746,27
Ağustos 24	11.321.765,25	12.202.493,72	- 2.947.017,80
Eylül 24	9.961.693,66	11.887.853,52	- 1.020.857,95
Ekim 24	11.772.674,44	10.459.778,35	- 2.333.754,04
Kasım 24	10.939.075,13	12.361.308,16	- 911.521,01
Aralık 24	10.587.112,99	11.486.028,89	- 12.605,11
Ocak 25	10.312.661,63	11.116.468,64	791.201,90

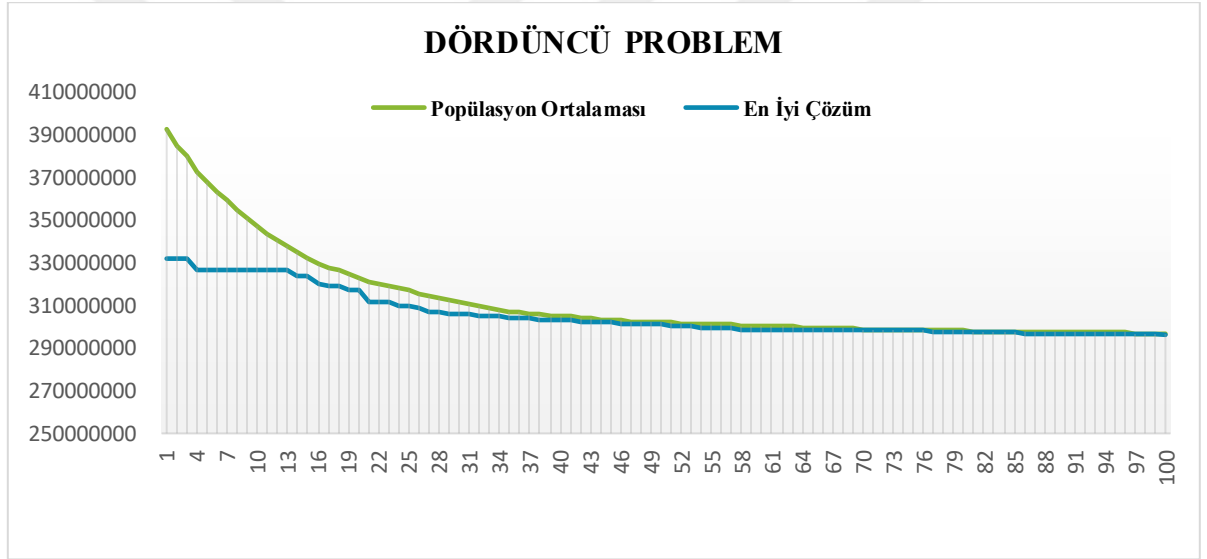
Birinci problemde ilk aylardaki aktiviteler yavaşlatılmış ve buna bağlı olarak bütçe ilk aylarda -12.000.000,00 TL'nin altına düşmüştür. İkinci problemin optimizasyon sonucu ile kıyaslandığında hızlandırılan ya da yavaşlayan aktiviteler **Çizelge 4. 12**'de sunulmuştur.

Çizelge 4. 12: İkinci Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler

Hızlandırılan Aktiviteler		Yavaşlatılan Aktiviteler	
T. Kazısı	Oluk	T. Blokaj	B.K. Karo Kaplama
T. Bohçalama	Çatı Kenarı	T. Kalıp	B.K. Mermer
T. İçi Dolgu	Z.K. Tesviye		Kaplama
	Betonu	T. Donatı	Z.K. Mermer
T. XPS	B.K. Sürme Yalıtım	T. Beton	Kaplama
Z.K. Kalıp	B.K. Su Geçirmez	B.K. Duvar Brüt Beton	B.K. Merdiven
	Şap	Astarı	Döşeme
Z.K. Donatı	B.K. Şap	Z. K. Duvar Kaba Sıva	B.K. Merdiven
Z.K. Beton	Z.K. Seramik		Basamak
B.K. 25'lik Duvar	Kaplama	Z. K. Duvar Kaba Sıva	Z.K. Merdiven
Z. K. 10'luk Duvar	B.K. Merdiven		Basamak
B.K. Duvar Seramik	Korkuluk	Z. K. Ses Yalıtımı	Z.K. Sac Kapı
Z. K. Duvar Seramik	Z.K. Merdiven	Z.K. Dış Cephe Sıva	Kasası
B.K. Duvar Boya	Korkuluk	B.K. Mantolama	
Z.K. Dış Cephe İskele	B.K. Sac Kapı	Z.K. Mineral Sıva	Z.K. Cam Takılması
B.K. Dış Cephe Sıva	Kasası	Yağmur İniş Borusu	Tretuvar Hasır Çelik
B.K. Tavan Brüt Beton	B.K. Demir Kapı	Z.K. Dış Cephe Boya	Bordür
Astarı	Z.K. Kapı Kanadı	B.K. Tavan Alçı Sıva	Andezit Döşeme
B.K. Tavan Kaba Sıva	Andezit Merdiven		
B.K. Tavan Boya		Çatı Arası Isı Yalıtımı	
Z.K. Tavan Boya		Kiremit	
Ahşap Oturtma Çatı		B.K. Tesviye Beton	
Su Yalıtımı		Z.K. Sürme Yalıtım	
		Z.K. Su Geçirmez Şap	
		Z.K. Döşeme Ses/Isı	
		Yalıtım	

4.8.4 Dördüncü Problem: Süre, Nakit Akış ve Kaynak Kısıtlı Yedi Bloklı Yapının ZMÖP Çözümü

Yedi bloklı iş programının dördüncü ve son problemde üçüncü probleme ek olarak şantiye de çalışan işçi sayısına bir kısıt getirilerek çözüm aranmaya çalışılmıştır. Bu durum için şantiyede çalışabilecek işçi sayısı en fazla 500 olacak şekilde sınırlanmıştır. Belirtilen işçi kısıtı aşıldığında aşılın miktar kadar 2000 TL tutarında ekstra ödeme yapılacak şekilde amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu problemde her bir geçen işçi için söz konusu tutar eklenerek optimizasyon yapılmış, bilgisayarda elektronik hesap tablosundaki çözümü yaklaşık 160 saat sürmüştür. Dördüncü problemin çözümü sonucunda oluşturulan yakınsama grafiği Şekil 4. 25'te sunulmuştur.



Şekil 4. 25: Yedi Bloklı Dördüncü Problem Yakınsama Grafiği

Bu problemin çözümü sonrası bir günde çalışan işçi sayısı en fazla 304 olacak şekilde iş programı elde edilmiştir. Optimizasyon sonrası problemin sonucunda çözümler yakınsamıştır ve en iyi çözümde süre olarak 1186 gün ve maliyet olarak 296.244.834,36 TL değerlerini sunan iş programı elde edilmiştir. Optimizasyon aşamasında değerlendirilen 5 adet çözümün ortalama tamamlanma süresi 1191,8 gün ve ortalama tamamlanma maliyeti 296.953.368,35 TL'dir.

Üçüncü problemin optimizasyon sonucu ile kıyaslandığında hızlandırılan ya da yavaşlayan aktiviteler Çizelge 4. 13'te sunulmuştur.

Çizelge 4. 13: Üçüncü Probleme Kıyasla Hızlandırılan/Yavaşlatılan Aktiviteler

Hızlandırılan Aktiviteler		Yavaşlatılan Aktiviteler	
T. Kalıp	Z.K. Seramik Kaplama	T. Kazısı	B.K. Sürme Yalıtım
T. Beton	Z.K. Parke	T. Grobeton	B.K. Su Geçirmez Şap
T. Keçe	B.K. Mermer Kaplama	T. Bohçalama	Z.K.Şap
Z.K. Donatı	Z.K. Mermer Kaplama	T. Donatı	Z.K. Döşeme Ses/Isı Yalıtım
B.K. 25'lik Duvar	B.K. Merdiven Döşeme	T. İçi Dolgu	Z.K. Merdiven Döşeme
Z. K. Duvar Kaba Sıva	B.K. Merdiven Basamak	Z.K.Beton	B.K. Merdiven Korkuluk
Z. K. Ses Yalıtımı	Z.K. Merdiven Basamak	Z. K. 10'luk Duvar	Z.K. Merdiven Korkuluk
B.K. Dış Cephe Sıva	B.K. Merdiven Duvar	Z. K. 20'luk Duvar	B.K. Sac Kapı Kasası
Z.K. Dış Cephe Sıva	Z.K. Merdiven Duvar	B.K. Duvar Seramik	Andezit Merdiven
B.K. Mantolama	Z.K. Sac Kapı Kasası	Z. K. Duvar Seramik	
Z.K. Mineral Sıva	B.K. Demir Kapı	Z.K. Dış Cephe İskele	
Yağmur İniş Borusu	Z.K. Demir Kapı	B.K. Tavan Brüt Beton Astarı	
Z.K. Dış Cephe Boya	B.K. Antipas Boya	B.K. Tavan Kaba Sıva	
Z.K. Tavan Brüt Beton Astarı	Z.K. Antipas Boya	Z.K. Tavan Alçı-Sıva	
B.K. Tavan Boya	Z.K. Denizlik Parapet	Z.K. Alüminyum Asma Tavan	
Çatı Arası Isı Yalıtımı	Z.K.Alüminyum Doğrama	Z.K. Tavan Boya	
Kiremit	Z.K. Mutfak Tezgahı	Ahşap Oturtma Çatı	
Z.K. Sürme Yalıtım	Tretuvar Hasır Çelik	Oluk	
Z.K. Su Geçirmez Şap	Bordür	Çatı Kenarı	
B.K. Şap	Andezit Döşeme-Duvar-Merdiven	Z.K. Tesviye Betonu	

Yedi bloklu dört problemin optimizasyonunu içeren icmal çizelgesi

Çizelge 4. 14: Yedi Bloklu İş Programı Optimizasyonu İcmali

Problem		
Nu.	Süre	Maliyet
1	1232	287.775.066,04 TL
2	1190	294.517.827,36 TL
3	1190	296.457.066,04 TL
4	1186	296.244.834,36 TL

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİMESİ

Zaman maliyet ödünleşim problemi yirminci yüzyılın ortalarından günümüze kadar üzerinde çalışmaların yapıldığı bir problemdir. Bu problem üzerine sunulan çözümler sayesinde inşaat projelerinin uygulanması aşamasında proje tamamlanma süresinin ve maliyetinin düşürülmesi konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak zaman maliyet ödünleşim probleminin çözülmesi daha çok akademik düzeyde kalmış ve uygulamada bu konu üzerinde harcanan emek ve sermaye çok düşük kalmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ticari proje yönetim yazılımları bu problemin oluşturulması ve çözümüne yönelik herhangi bir işlev sunamamaktadır. Bunun yanında küçük ya da orta büyüklükteki yüklenici firmalar bu amaca ilave bütçe planlamamaktadır. Tecrübe ve tahmine dayalı olarak iş programları oluşturulmakta ve inşaatın sonunda zarar ya da beklenenden daha az kâr elde etmektedirler. Bu durum vaka çalışmalarında da görülmüş ve ilk oluşturulan iş programına kıyasla yaklaşık tek blokta 10 milyon TL 7 blokta 30 milyon TL daha düşük toplam proje maliyeti elde edilmiştir.

Bu çalışmada inşaat projelerinin iş programını hazırlamak için gerçekleştirilen süre ve maliyet hesaplamalarında iş verimini dikkate alan bir yaklaşım önerilmiştir. Geleneksel yaklaşıma benzer şekilde iş kalemlerinin metrajları hesaplanıp iş tarifleri ile eşleştirilerek gereken işçilik ve malzeme miktarları hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra hedeflenen bitirme süresinde ilgili iş kaleminin tamamlanabilmesi için gereken işçi sayısının hesaplanmasında iş verimi dikkate alınarak geleneksel yaklaşımdan farklı bir yol izlenmiştir. İş verimi işçi sayısı ile ters orantılı olarak değiştiği için hesaplamalar sırasında yaklaşık bir iş verimi alınarak ilk çözüm elde edilmiş, elde edilen çözümdeki işçi sayıları dikkate alınarak iş verimi tekrar hesaplanmış ve aradaki fark sıfıra inene kadar yinelemeli hesaplama sürdürülmüştür. Bu şekilde farklı inşaat süresi ve inşaat maliyeti alternatiflerinin hızlı ve doğruluğu yüksek bir şekilde hazırlanabilmesi mümkün olmuştur.

Bu çalışmaların ardından elde edilen seçeneklerin hangi kombinasyonu ile en uygun iş programının oluşturulabileceği zaman maliyet ödünleşim probleminin çözümü yapılmıştır. Söz konusu problemin çözümü elektronik hesap tablosuyla yapılmış ve her

projeye kolaylıkla uygulanabilecek bir format geliştirilerek tek bloklu ve yedi bloklu problemler ele alınmıştır.

Analizler sonucunda tek bloklu ZMÖP çözümlerinde tüm kısıtlardan bağımsız olarak yapılan birinci problem çözümünde tamamlanma süresi 255 gün ve tamamlanma maliyeti 44.866.417,55 TL olarak bulunmuştur. Bu sonuç problemin en yavaş ya da en hızlı alternatiflerinin seçilerek oluşturulan maliyetine göre yaklaşık %20 oranında daha az tamamlanma maliyetiyle çözülebilmesini sağlamıştır. Aynı zamanda süre olarak 34 gün daha erken tamamlanma süresine sahiptir.

Tek bloklu ikinci çözümde 250 günü geçen süre için gecikme cezası uygulanmıştır. Bu problemin çözümünde optimizasyon sonucunda bulunan çözüm 250 günün altına düşmemiş ve maliyet olarak birinci çözüme nazaran yaklaşık 600.000 TL tutarında daha pahalı bir tamamlanma maliyeti ortaya çıkmıştır. Optimizasyon sonucuna bakıldığında bu çözüme ulaşmak için; temel altı imalatların, betonarme imalatların, dış cephe imalatları ve doğrama imalatlarının hızlandırıldığı ve duvar, döşeme ve çatı imalatlarının yavaşlatıldığı görülmüştür. Yükleniciler açısından değerlendirildiğinde gecikme cezası ödendiği haldeki tamamlanma maliyeti süresinde tamamlanan bir işin toplam maliyetinden az olduğu durumlarda, gecikme cezası ödeyerek işi tamamlamak tercih edilebilir. Ancak bu durumun prestij kaybına neden olacağı da unutulmamalıdır.

Tek bloklu üçüncü problemde aylık belirli bir bütçenin aşılması durumunda faiz ödendiği durum ele alınarak yüklenici firmayı mali anlamda zora sokmayacak bir iş programı optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda birinci ve ikinci problemdeki kombinasyonda aşılan bütçe sınırının üçüncü problemde aşılmadığı ve sürenin 252 gün tamamlanma maliyetinin ise 44.445.917,55 TL olarak bulunmuştur. Bu sonuç hem en kısa süre hem de en düşük maliyet olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çözüme ulaşmak için ikinci probleme nazaran temel betonarme imalatları, duvar örme imalatları, dış cephe imalatları, döşeme ve doğrama imalatları yavaşlatılmış duvar kaplama, tavan imalatları ve tretuvar imalatları yavaşlamıştır. Bütçe aşımını engellemek amacıyla başlangıçtaki imalatların yavaşlatılarak bütçeye getirdiği yük azaltılmaya çalışılmıştır. Proje yönetim sürecindeki en önemli faktörlerden birisi olan nakit akış dengesi göz önüne alındığında bu tarz bir çözümün seçilmesi mali denge açısından oldukça etkin bir tercih olacaktır.

Tek bloklu dördüncü problemde ise şantiyede çalışan işçi sayısına kısıtlama getirerek kaynak kısıtlı iş programını çözümü yapılmaya çalışılmıştır. Optimizasyon sonucunda 248 gün ve 44.603.917,55 TL toplam proje maliyeti sonucu bulunmuştur. Bu sonuca ulaşmak için ilk etapta yapılacak ve işin sonunda yapılan ancak işin başında planlanabilecek aktiviteler tamamlanarak lineer bir dağılım yapılmış ve şantiyenin aşırı kalabalık olmasını önlemek için işçi sayısına kısıtlama getiren kısıtlar oluşturulmuştur. Kaynak kısıtlı olarak planlama yapılan bu çözümde şantiyede aynı anda çalışan işçi sayısına bir kısıtlama getirilmiştir. Bu durum hem iş kazalarının önlenmesinde kolaylık sağlayacak hem de şantiyedeki kalabalık ekiplerin getirdiği verim düşüşünü minimize edecektir. Ayrıca bu çözümde diğer üç çözümdeki kısıtlar var olduğundan bu çözümün seçilmesi yüklenicilere süre, nakit akışı ve belirli işçi sayısı ile işi tamamlama noktasında kolaylık sağlayacaktır.

Yedi bloklu problemlerin çözümünde ise tek bloklu problemlerde uygulanan kısıtlar sırasıyla uygulanmıştır. Birinci problemin optimizasyonu sonrası en hızlı ve en yavaş alternatiflere göre oluşturulan programa nazaran toplam proje maliyetinden %15 oranında tasarruf edilecek şekilde iş programı oluşturulmuştur. Tamamlanma süresi olarak ise 1232 gün sonucuna ulaşılmıştır.

Yedi bloklu ikinci problemde belirli bir gün kısıtı koyularak 1190 gün ve 294.517.827,36 TL sonucuna ulaşılmıştır. Bu sürenin düşürülmesi için temel betonarme imalatları, duvar kaplama imalatları, döşeme kaplama imalatları gibi öncül olan aktiviteler hızlandırılmış ve döşeme kaplama, çevre tanzimi ve çatı imalatları hızlandırılmıştır. Süre olarak kısıt içeren bu çözüm gecikme cezasının getirdiği maliyet artışını dikkate alarak çözülmüş ve tamamlanma süresini kısaltmıştır.

Üçüncü problemde ise ikinci probleme ek olarak bütçe sınırı aşılmadan problem çözülmüştür. Problemin çözümünde ise temel altı imalatları, duvar örme imalatları, tavan imalatları, merdiven ve döşeme imalatları hızlandırılmış. Sıva, çatı, döşeme kaplama imalatlarının son aktiviteleri hızlandırılmıştır. Problem çözümü sonucunda 1190 gün ve 296.457.066,04 TL sonucuna ulaşılmıştır. Yüklenicinin aylık harcama tutarında belirli bir miktarın aşılmasını engelleyerek çözüme ulaşıldığından nakit akışı olarak büyük avantaj sağlamaktadır.

Dördüncü ve son problemde ise üçüncü probleme ek olarak şantiyede çalışan işçi sayısına kısıtlama getirilmiştir. Literatürde KKİPP olarak yer alan bu problemde 500 işçiyi

geçmeme koşulu tanımlanmıştır. Problemin optimizasyonu sonucunda 1186 gün ve 296.244.834,36 TL maliyet ile inşaatın tamamlanmasını sağlayan iş programı elde edilmiştir. Bu denli büyük iş hacmi olan örnek proje de işçi sayısında kısıtlamaya uyulması somut olarak ekonomik ve iş güvenliği açısından avantaj sağlamasının yanında somut olarak birçok açıdan da fayda sağlayacaktır.

Çözümlerin geneli değerlendirildiğinde her iki çözüm grubunda da en son çözümlerin seçilmesi proje yönetim sürecindeki dikkate alınması gereken en temel kısıtlar noktasında planlamacılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışmada üst sezgisel yöntemlerle yapılan bir optimizasyonun sezgisel yöntemlere nazaran daha düşük toplam proje maliyetli çözüm verme olasılığının yüksek olduğu doğrulanmış ve problem çözümleri ile kanıtlanmıştır. Bu çalışmada bir adet kule vinç ile kaynak kısıtlı iş programı çözülmüştür. Söz konusu çalışmalar excel tabanlı hesap cetvelinde yapılmıştır. Bu hesaplamalar problemin büyüklüğüne göre 30 saat ile 160 saat arasında sürmüştür. Oluşturulan problemin çözülmesi iyi bir bilgisayarda bile haftalar sürmektedir. Bu problemlerin çözümünde makro yerine executable biçiminde bir yazılım derlemesi ile işlemler hızlanabilecek ve hesap süresi önemli ölçüde kısıllacaktır. Bir sonraki aşama olarak birden fazla kule vinç ile yapılan planlamanın nasıl bir sonuç vereceği ve söz konusu problemlerin executable biçiminde yazılım derlenmesi ile çözüm aranması ileri araştırmaların konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Basset, M., Ali, M., ve Atef, A. (2020).** Uncertainty assessments of linear time-cost tradeoffs using neutrosophic set. *Computers ve Industrial Engineering*, 141, 106286.
- Afruzi, E. N., Najafi, A. A., Roghanian, E., ve Mazinani, M. (2014).** A multi-objective imperialist competitive algorithm for solving discrete time, cost and quality trade-off problems with mode-identity and resource-constrained situations. *Computers ve Operations Research*, 50, 80-96.
- Ahbab, C., Daneshvar, S., ve Celik, T. (2019).** Cost and time management efficiency assessment for large road projects using data envelopment analysis. *Teknik Dergi*, 30(2), 8937-8959.
- Akçalı, Ü. (2010).** İnşaat Terimleri Sözlüğü.
- Akçay, C., ve Manisalı, E. (2007).** 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu ve 4735 Sayılı Kamu İhale Sözleşmeleri Kanununun, AB Uygulamaları Çerçevesinde Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar Açısından İncelenmesi. 4. İnşaat Yönetimi Kongresi, Bildiri Kitabı, 13-26.
- 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.
- Albayrak, G., ve Özdemir, İ. (2016).** Yapı projelerinin süre-maliyet optimizasyonunda metasezgisel algoritma kullanımı. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(5), 39-49.
- Aliefendioğlu, Y., Mendeş, F. F. Y., ve Mendeş, M. (2016).** Rekabet Ortamında Birim Fiyatın Uygulanabilirliği: Yüksek Fen Kurulu Örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3). <https://dergipark.org.tr/en/pub/dubited/issue/24380/258437>
- Aminbakhsh, S., Sönmez, R., ve Bilir, M. (2016).** Tamsayılı Doğrusal Programlama Yöntemiyle Kesikli Zaman-Maliyet Ödünleşim Probleminin Optimal Pareto

Çözümü [Optimal pareto solution of discrete time-cost trade-off problem with integer linear programming method]. 4th Project and Construction Management Congress, 281-292.

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. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000256](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000256)

Anagnostopoulos, K. P., ve Kotsikas, L. (2010). Experimental evaluation of simulated annealing algorithms for the time–cost trade-off problem. *Applied Mathematics and Computation*, 217(1), 260-270.

Arab, H. G., Rayeni, A. M., ve Ghasemi, M. R. (2020). An effective improved multi-objective evolutionary algorithm (IMOEa) for solving constraint civil engineering optimization problems. *Teknik Dergi*, 32(2), 10645-10674.

Arıkan, F., ve Güngör, Z. (2001). An application of fuzzy goal programming to a multiobjective project network problem. *Fuzzy sets and systems*, 119(1), 49-58.

Armstrong-Wright, M., A. T. (1969). *Critical Path Method: Introduction and Practice*. Longman Group LTD.

Baker, K. R. (2009). *Principles of sequencing and scheduling*. John Wiley.

Bakr, G. A. (2014). Studying the status of variations in construction contracts in Jordan. *İçinde Computing in Civil and Building Engineering (2014) (ss. 187-194)*.

Banihashemi, S. A., ve Khalilzadeh, M. (2021). Time-cost-quality-environmental impact trade-off resource-constrained project scheduling problem with DEA approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(7), 1979-2004.

Barber, T. J., ve Boardman, J. T. (1988). Knowledge-based project control employing heuristic optimisation. *IEE Proceedings A Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education, Reviews*, 135(8), 529. <https://doi.org/10.1049/ip-a-1.1988.0083>

Bennett, F. L. (2003). *The Management of Construction: A Project Lifecycle Approach*.

- Bettemir, O., ve Yücel, T.** (2021). Zaman maliyet ödünleşim probleminin en az insan müdahalesi ile oluşturulup çözülmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(2), 461-480.
- Bettemir, Ö. H.** (2009). Optimization of time-cost-resource trade-off problems in project scheduling using meta-heuristic algorithms. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/18989>
- Bettemir, Ö. H.** (2011). Experimental design for genetic algorithm simulated annealing for time cost trade-off problems. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(1), 15-26.
- Bettemir, Ö. H., ve Birgonul, M. T.** (2023). Solution of discrete time–cost trade-off problem with adaptive search domain. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- Bettemir, Ö. H., ve Bulak Ö. F.** (2022). İnşaat sürecinin iş çizelgelemesi, yönetimi ve optimizasyonu. *Teknik Dergi*, 33(6), 12945-12986.
- Bettemir, Ö. H., ve Talat Birgönül, M.** (2017). Network analysis algorithm for the solution of discrete time-cost trade-off problem. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(4), 1047-1058. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-1615-x>
- Bettemir, Ö. H, ve Yücel, T.** (2023). Simplified solution of time-cost trade-off problem for building constructions by linear scheduling. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 17(2), 293 - 309. <https://doi.org/10.14525/JJCE.v17i2.10>.
- Birjandi, A., ve Mousavi, S. M.** (2019). Fuzzy resource-constrained project scheduling with multiple routes: A heuristic solution. *Automation in Construction*, 100, 84-102.
- Cha, H. S., ve Lee, D. G.** (2015). A case study of time/cost analysis for aged-housing renovation using a pre-made BIM database structure. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(4), 841-852. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0617-1>
- Chakraborty, R. K., Abbasi, A., ve Ryan, M. J.** (2020). Multi-mode resource-constrained project scheduling using modified variable neighborhood search heuristic. *International Transactions in Operational Research*, 27(1), 138-167. <https://doi.org/10.1111/itor.12644>

- Chassiakos, A. P., ve Sakellariopoulos, S. P.** (2005). Time-Cost Optimization of Construction Projects with Generalized Activity Constraints. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(10), 1115-1124. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:10\(1115\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:10(1115))
- Chen, P.-H., ve Weng, H.** (2009). A two-phase GA model for resource-constrained project scheduling. *Automation in Construction*, 18(4), 485-498.
- Cheng, M.-Y., ve Tran, D.-H.** (2016). An efficient hybrid differential evolution based serial method for multimode resource-constrained project scheduling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 90-100. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0414-0>
- Chiu, Y.-S. P., ve Chiu, S. W.** (2005). Incorporating expedited time and cost of the end product into the product structure diagram. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(7-8), 987-991.
- Creemers, S.** (2019). The preemptive stochastic resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 277(1), 238-247.
- Çakabay, A.** (2023). YAPIM İŞLERİNDE İŞ PROGRAMININ ÖRNEK PROJELER İLE İRDELENMESİ VE İŞİN ÖZ YÖNETİMİNE OLAN ETKİLERİ İLE UYUMSUZLUKLARA ÇÖZÜM YOLLARININ GELİŞTİRİLMESİ.
- Çimen, Ö.** (2019). İnşaat projeleri sözleşme türü seçiminde çok kriterli karar verme uygulaması. *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Daboul, S., Held, S., ve Vygen, J.** (2023). Approximating the discrete time-cost tradeoff problem with bounded depth. *Mathematical Programming*, 197(2), 529-547. <https://doi.org/10.1007/s10107-022-01777-9>
- Eker, N.** (1998). Metraj ve Keşif Yapılmasında Temel Verilerin Düzenlenmesi.
- El-Reedy, M. A.** (2011). *Construction Management for Industrial Projects A Modular Guide for Project Managers*. Scrivener Publishing.
- Erzurum, T., ve Bettemir, Ö. H.** (2021). Exact Solution of Resource Leveling Problem by Exhaustive Enumeration with Parallel Programming. *Teknik Dergi*, 32(3).
- Eshtehardian, E., Afshar, A., ve Abbasnia, R.** (2009). Fuzzy-based MOGA approach to stochastic time–cost trade-off problem. *Automation in construction*, 18(5), 692-701.

- Feng, C.-W., Liu, L., ve 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))
- Feng, C.-W., Liu, L., ve Burns, S. A.** (2000). Stochastic Construction Time-Cost Trade-Off Analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14(2), 117-126. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2000\)14:2\(117\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2000)14:2(117))
- Fida, R. A.** (2021). YAPI BİLGİ MODELİ İLE ZAMAN MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ.
- Fulkerson, D. R.** (1961). A Network Flow Computation for Project Cost Curves. *Management Science*, 7(2), 167-178. <https://doi.org/10.1287/mnsc.7.2.167>
- Gantt, H.** (1903). Üretimde çizgesel günlük denge. *Amerika Makina Mühendisleri Derneği Tutanakları*, XXIV, 1322-1336.
- Geem, Z. W.** (2010). Multiobjective Optimization of Time-Cost Trade-Off Using Harmony Search. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(6), 711-716. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000167](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000167)
- Gencer, Y. M. H.** (2017). Yaklaşık Maliyet Hesaplama Esasları, Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözüm Önerileri Estimated Cost Calculation Guidelines, Problems In Practice And A Solution Recommendation.
- Ghoddousi, P., Eshtehardian, E., Jooybanpour, S., ve Javanmardi, A.** (2013). Multi-mode resource-constrained discrete time-cost-resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm. *Automation in construction*, 30, 216-227.
- Goldberg, D. E.** (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley.
- Goyal, S. K.** (1975). Note—A Note on “A Simple CPM Time-Cost Tradeoff Algorithm”. *Management Science*, 21(6), 718-722. <https://doi.org/10.1287/mnsc.21.6.718>
- Gupta, R., ve Trivedi, M. K.** (2022). AEHO: Apriori-based optimized model for building construction to time-cost tradeoff modeling. *IEEE Access*, 10, 103852-103871.

- Hegazy, T.** (1999). Optimization of construction time-cost trade-off analysis using genetic algorithms. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26(6), 685-697. <https://doi.org/10.1139/l99-031>
- Hegazy, T., ve Ersahin, T.** (2001). Simplified Spreadsheet Solutions. II: Overall Schedule Optimization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(6), 469-475. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2001\)127:6\(469\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2001)127:6(469))
- Heravi, G., ve Moridi, S.** (2019). Resource-constrained time-cost tradeoff for repetitive construction projects. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23, 3265-3274.
- Hooshyar, B., Tahmani, A., ve Shenasa, M.** (2008). A Genetic Algorithm to Time-Cost Trade off in project scheduling. 2008 IEEE congress on evolutionary computation (IEEE world congress on computational intelligence), 3081-3086. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4631214/>
- Hyatt, C., ve Weaver, P.** (2006). A brief history of scheduling. Melbourne, Australia: Mosaic Project Services Pty Ltd. https://mosaicprojects.com.au/PDF_Papers/P042_History_of_Scheduling.pdf
- Iranmanesh, H., Skandari, M. R., ve Allahverdiloo, M.** (2008). Finding Pareto optimal front for the multi-mode time, cost quality trade-off in project scheduling. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 40(1), 346-350.
- J. Rodriguez.** (2017). <https://www.liveabout.com/common-types-of-construction-contracts-844483>
- Jebaseeli, M. E., ve Dhayabaran, D. P.** (2015). An Algorithm to Solve Fully Fuzzy Time Cost Trade off Problems. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*.
- Kandil, A., ve El-Rayes, K.** (2006). Parallel Genetic Algorithms for Optimizing Resource Utilization in Large-Scale Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(5), 491-498. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:5\(491\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:5(491))
- Kang, N., Son, J., ve Lee, S.** (2015). New Time-Cost Trade-Off Model Considering the Sequence of Alternatives Between Activities. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 14(2), 379-386. <https://doi.org/10.3130/jaabe.14.379>

- Kannimuthu, M., Raphael, B., Palaneeswaran, E., ve Kuppuswamy, A.** (2019). Optimizing time, cost and quality in multi-mode resource-constrained project scheduling. *Built Environment Project and Asset Management*, 9(1), 44-63.
- Kasaeian, A., Shoghli, O., Afshar, A., ve Narmak, T.** (2007). Nondominated archiving genetic algorithm for multi-objective optimization of time-cost trade-off. *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Evolutionary Computing*, Vancouver, British Columbia, Canada, 19-21. <https://www.academia.edu/download/86434154/558-313.pdf>
- Ke, H.** (2014). Uncertain random time-cost trade-off problem. *Journal of Uncertainty Analysis and Applications*, 2(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s40467-014-0023-3>
- Ke, H., Ma, W., ve Ni, Y.** (2009). Optimization models and a GA-based algorithm for stochastic time-cost trade-off problem. *Applied Mathematics and Computation*, 215(1), 308-313.
- Kelley, J. E.** (1961). Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. *Operations Research*, 9(3), 296-320. <https://doi.org/10.1287/opre.9.3.296>
- Kelley, J. E., ve Walker, M. R.** (1959). Critical-path planning and scheduling. Papers Presented at the December 1-3, 1959, Eastern Joint IRE-AIEE-ACM Computer Conference on - IRE-AIEE-ACM '59 (Eastern), 160-173. <https://doi.org/10.1145/1460299.1460318>
- Kerzner, H.** (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Wiley.
- Kim, J., Kang, C., ve Hwang, I.** (2012). A practical approach to project scheduling: Considering the potential quality loss cost in the time–cost tradeoff problem. *International Journal of Project Management*, 30(2), 264-272.
- Kocaman, E., Merve, K., ve ÇALIŞ, G.** (2020). İhale usulü ve sözleşme türünün yapım işi sözleşme bedeline etkisinin incelenmesi. *Teknik Dergi*, 31(1), 9789-9812.
- Koçak, S.** (2018). İnşaat projelerinde kazanılmış değer analizi ile Primavera P6 destekli maliyet kontrolü ve bir uygulama.

- Koo, C., Hong, T., ve Kim, S.** (2015). AN INTEGRATED MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION MODEL FOR SOLVING THE CONSTRUCTION TIME-COST TRADE-OFF PROBLEM. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(3), 323-333. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.802733>
- Kuruoğlu, M., ve Bayoğlu, F. İ.** (2001). Yapi Üretiminde Adamsaat Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma ve Sonuçları.
- Laszczyk, M., ve Myszkowski, P. B.** (2019). Improved selection in evolutionary multi-objective optimization of multi-skill resource-constrained project scheduling problem. *Information Sciences*, 481, 412-431.
- Lee, H.-S., Roh, S., Park, M.-S., ve Ryu, H.-G.** (2010). Optimal option selection for finishing works of high-rise building. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 14(5), 639-651. <https://doi.org/10.1007/s12205-010-0904-z>
- Lethaby, W. R.** (1919). *Architecture: An introduction to the history and theory of the art of building*. Holt.
- Leu, S.-S., ve Yang, C.-H.** (1999). GA-Based Multicriteria Optimal Model for Construction Scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(6), 420-427. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:6\(420\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:6(420))
- Lin, J., Zhu, L., ve Gao, K.** (2020). A genetic programming hyper-heuristic approach for the multi-skill resource constrained project scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 140, 112915.
- Liu, L., Burns, S. A., ve 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. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1995\)121:4\(446\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1995)121:4(446))
- Liu, S.-S., ve Wang, C.-J.** (2008). Resource-constrained construction project scheduling model for profit maximization considering cash flow. *Automation in Construction*, 17(8), 966-974.
- Lotfi, R., Yadegari, Z., Hosseini, S., Khameneh, A., Tirkolaee, E., ve Weber, G.** (2022). A robust time-cost-quality-energy-environment trade-off with resource-constrained in project management: A case study for a bridge construction project. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 18(1).

- Luong, D.-L., Tran, D.-H., ve Nguyen, P. T.** (2021). Optimizing multi-mode time-cost-quality trade-off of construction project using opposition multiple objective difference evolution. *International Journal of Construction Management*, 21(3), 271-283. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1526630>
- Mei, L., ve Wang, Q.** (2021). Structural optimization in civil engineering: A literature review. *Buildings*, 11(2), 66.
- Mitchell, M.** (1996). *An introduction to genetic algorithms*. MIT press.
- Monghasemi, S., Nikoo, M. R., Fasaee, M. A. K., ve Adamowski, J.** (2015). A novel multi criteria decision making model for optimizing time–cost–quality trade-off problems in construction projects. *Expert systems with applications*, 42(6), 3089-3104.
- Moussourakis, J., ve Haksever, C.** (2004). Flexible Model for Time/Cost Tradeoff Problem. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(3), 307-314. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:3\(307\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:3(307))
- Mungle, S., Benyoucef, L., Son, Y.-J., ve Tiwari, M. K.** (2013). A fuzzy clustering-based genetic algorithm approach for time–cost–quality trade-off problems: A case study of highway construction project. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(8), 1953-1966.
- Murdoch, J., ve Hughes, W.** (2007). *Construction contracts: Law and management*. 4th dü. Oxon: Taylor ve Francis.
- Nasiri, S., ve Lu, M.** (2022). Streamlined project time-cost tradeoff optimization methodology: Algorithm, automation, and application. *Automation in construction*, 133, 104002.
- Özlük, D.** (2019). *Türkiye Türkçesinden Farsça Kökenli Kelimeler*.
- Page, J. S.** (1999). *Estimator's General Construction Man-Hour Manual* (2nd ed.).
- Pellerin, R., Perrier, N., ve Berthaut, F.** (2020). A survey of hybrid metaheuristics for the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 280(2), 395-416.
- Peterson, J. S.** (2009). *Construction Accounting and Financial Management* (2nd ed.).

- Rahimi, M., ve Iranmanesh, H.** (2008). Multi objective particle swarm optimization for a discrete time, cost and quality trade-off problem. *World Applied Sciences Journal*, 4(2), 270-276.
- Rostami, M., Moradinezhad, D., ve Soufipour, A.** (2014). Improved and competitive algorithms for large scale multiple resource-constrained project-scheduling problems. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1261-1269. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0401-x>
- Rumane, A. R.** (2011). *Quality Management in Construction Projects*. Taylor and Francis Group.
- Sagron, R., ve Pugatch, R.** (2021). Universal distribution of batch completion times and time-cost tradeoff in a production line with arbitrary buffer size. *European Journal of Operational Research*, 293(3), 980-989.
- Sakellariopoulos, S., ve Chassiakos, A. P.** (2004). Project time–cost analysis under generalised precedence relations. *Advances in Engineering Software*, 35(10-11), 715-724.
- Senouci, A., ve El-Rayes, K.** (2009). Time-Profit Trade-Off Analysis for Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(8), 718-725. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000031](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000031)
- Sharma, K., ve Trivedi, M. K.** (2022). Latin hypercube sampling-based NSGA-III optimization model for multimode resource constrained time–cost–quality–safety trade-off in construction projects. *International Journal of Construction Management*, 22(16), 3158-3168. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1843769>
- Siemens, N.** (1971). A Simple CPM Time-Cost Tradeoff Algorithm. *Management Science*, 17(6), B-354-B-363. <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.6.B354>
- Siemens, N., ve Gooding, C.** (1975). Reducing project duration at minimum cost: A time-cost tradeoff algorithm. *Omega*, 3(5), 569-581.
- Sonmez, R., ve Bettemir, Ö. H.** (2012). A hybrid genetic algorithm for the discrete time–cost trade-off problem. *Expert Systems with Applications*, 39(13), 11428-11434.

- Sonmez, R., ve Rowings, J. E.** (1998). Construction Labor Productivity Modeling with Neural Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(6), 498-504. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:6\(498\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:6(498))
- Sönmez, M., ümit DİKMEN, S., ve AKBIYIKLI, R.** (2020). Time-cost relationships for superstructure projects in Turkey. *Teknik Dergi*, 31(2), 9869-9896.
- Şakir Uğur Gözü.** (2009). İnşaat Metraj ve Keşif İşlemi Açıklamalar Hesaplar.
- Taheri Amiri, M. J., Haghighi, F., Eshtehadian, E., ve Abessi, O.** (2018). Multi-project time-cost optimization in critical chain with resource constraints. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 3738-3752.
- Tareghian, H. R., ve Taheri, S. H.** (2007). A solution procedure for the discrete time, cost and quality tradeoff problem using electromagnetic scatter search. *Applied mathematics and computation*, 190(2), 1136-1145.
- Tavana, M., Abtahi, A.-R., ve Khalili-Damghani, K.** (2014). A new multi-objective multi-mode model for solving preemptive time–cost–quality trade-off project scheduling problems. *Expert systems with applications*, 41(4), 1830-1846.
- Temel, B., GÜRCANLI, G. E., ve Mahçiçek, S. B.** (2021). İnşaat sektöründe oluşan iş değişiklik taleplerini azaltacak bir proje yönetim sistemi önerisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 662-673.
- Tirkolae, E. B., Goli, A., Hematian, M., Sangaiah, A. K., ve Han, T.** (2019). Multi-objective multi-mode resource constrained project scheduling problem using Pareto-based algorithms. *Computing*, 101(6), 547-570. <https://doi.org/10.1007/s00607-018-00693-1>
- Toğan, V., ve Eirgash, M. A.** (2018). Time-cost trade-off optimization with a new initial population approach. *Teknik Dergi*, 30(6), 9561-9580.
- Uğural, M. N.** (2020). İnşaat projelerinde zaman maliyet ödünleşim problemi: Örnek olay analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 460-465.
- Veeraraghavan, S., ve Vaidyanathan, R.** (2012). Measuring seat value in stadiums and theaters. *Production and Operations Management*, 21(1), 49-68.

- Walters, J. R.** (1995). Heuristic Scheduling Svsteins. By THOMAS E. MORTON and DAVID W. PENTICO (Wiley, 1993)[Pp. 695] Price:£ 66. THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH, 33(6), 1787-1788.
- Wang, P., Wang, K., Huang, Y., ve Fenn, P.** (2024). A contingency approach for time-cost trade-off in construction projects based on machine learning techniques. Engineering, Construction and Architectural Management, 31(11), 4677-4695.
- Wang, T., Abdallah, M., Clevenger, C., ve Monghasemi, S.** (2021). Time–cost–quality trade-off analysis for planning construction projects. Engineering, Construction and Architectural Management, 28(1), 82-100.
- Westney, R. E.** (1997). The Engineer’s Cost Handbook: Tools for Managing Project Costs. Marcel Decker.
- Wu, K.** (1998). A study of the cost management process and estimation techniques for estimating building services installations in the buildingconstruction industry. HKU Theses Online (HKUTO).
- Wysocki, R. K.** (2011). Effective project management: Traditional, agile, extreme. John Wiley ve Sons.
- 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. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:7\(498\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:7(498))
- Yılmaz, G., ve Dikmen, S. Ü.** (2012). Osmanlı Döneminde Kullanılan Yaklaşık Maliyet Tahmin Yöntemleri.
- Yılmaz, M., ve Dede, T.** (2023). Multi-objective time–cost trade-off optimization for the construction scheduling with Rao algorithms. Structures, 48, 798-808.
- Zhang, H., ve Xing, F.** (2010). Fuzzy-multi-objective particle swarm optimization for time–cost–quality tradeoff in construction. Automation in Construction, 19(8), 1067-1075.
- Zhang, Y., ve Ng, S. T.** (2012). AN ANT COLONY SYSTEM BASED DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CONSTRUCTION TIME-COST OPTIMIZATION. Journal of Civil Engineering and Management, 18(4), 580-589. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.704164>

Zhu, L., Lin, J., ve Wang, Z.-J. (2019). A discrete oppositional multi-verse optimization algorithm for multi-skill resource constrained project scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 85, 105805.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Suat TOPUZ

Lisans : Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,
2017

Mesleki Deneyim :

- 2018-2020 yılları arasında özel sektörde saha ve teknik ofis mühendisliği görevlerinde çalışmıştır.
- 2021 yılından itibaren kamuda mühendis olarak görev yapmaktadır.

Yayın ve Kongre Listesi:

- Topuz, S ve Bettemir (2024). Güçlendirme İşlerinde Miktar Hatasına Bağlı Dengesiz Teklifin Önlenmesi için Öneriler. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 36(2), 809-825.
- VI. Uluslararası Türk Dünyası Fen Bilimleri ve Mühendislik Kongresi 19-21 Aralık 2024, Bakü – Azerbaycan, “İş verimine bağlı olarak inşaat süre ve maliyeti hesaplanması”