

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

**KESİKLİ ZAMAN MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMİNİN
OPTİMUM ÇÖZÜMÜNÜN ARANMASI**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

OCAK 2019

Tezin Başlığı: Kesikli Zaman Maliyet Ödünleşim Probleminin Optimum Çözümünün Aranması

Tezi Hazırlayan: Tugay YÜCEL

Sınav Tarihi: 25.01.2019

Yukarıda Adı Geçen Tez Jürimizce Değerlendirilerek İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi Olarak Kabul Edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Önder Halis BETTEMİR**
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Kâzım TÜRK
İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan POLAT
Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kesikli Zaman Maliyet Ödünleşim Probleminin Optimum Çözümünün Aranması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Tugay YÜCEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KESİKLİ ZAMAN MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMİNİN OPTİMUM ÇÖZÜMÜNÜN ARANMASI

Tugay Yücel

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

74 + xi sayfa

2019

Danışman: Doç. Dr. Önder Halis Bettemir

İnşaat işlerinin normal süresinde tamamlanması en uygun direkt maliyeti sağlar. Ancak şantiyenin işletilmesi için gerekli olan ve dolaylı maliyet olarak tanımlanan giderler önemli büyüklüklere erişebilir. Oluşturulan ilk iş programında projenin tamamlanma maliyeti olan direkt ve dolaylı maliyetler toplamı elde edilebilecek en düşük düzeyden daha yüksek miktarlarda olabilir. Bazı aktiviteleri belirli bir maliyet artışı ile daha kısa sürede tamamlayıp projenin daha kısa sürede tamamlanması sağlanabilir. Bu sayede direkt maliyetler artarken dolaylı maliyetler azalabilir. Toplam proje maliyetinin azalması ise tasarruf edilen dolaylı maliyet ve sağlanacak dolaylı faydalar miktarının direkt maliyet artış miktarından daha fazla olması ile elde edilebilir. Sonuç olarak bu çalışmada, toplam proje maliyetinin en düşük olacağı iş programını oluşturmayı amaçlayan zaman maliyet ödünleşimi problemine çözümler aranmıştır.

Zaman maliyet ödünleşim probleminin yapım alternatiflerini belirlemek önemli ölçüde veri toplama ve derleme işini gerektirir. Kullanılacak ekipman cinsi, ekip sayıları ve yapım tekniği bir aktivitenin tamamlanma süresini ve maliyetini doğrudan etkiler. Tek vinç kullanımı durumunda yani kısıtlı kaynaklar ve sıkışık sürede oluşturulan iş programını hazırlarken yapım alternatiflerini tek tek belirlemek planlama ofisinin iş yükünü önemli ölçüde arttıracığı için inşaat sektörü için uygulanabilir değildir.

Bu çalışmada iş programını sistematik biçimde oluşturan bir hesap cetveli geliştirilerek her aktivite için farklı tamamlanma sürelerinin ve maliyetinin insan müdahalesi olmadan hesaplanması sağlanmıştır. Çalışmaya konu olan iki problemde de hesap cetveli uygulaması üzerine yazılan makro ve GA'yla optimizasyon yapılarak toplam işçilik giderleri ve genel giderlerinin en düşük düzeyde tutulması sağlanmıştır. Düzenlenen makro kullanıcının optimizasyon ve genetik algoritma üzerinde bilgi sahibi olmasını dahi gerektirmemektedir. Belirlenen alternatifler arasından en düşük toplam proje maliyeti ile işin gerçekleştirilmesini sağlayan iş programı oluşturularak planlama ofisinin iş yükünü önemli ölçüde düşürecek bir araç geliştirilmiştir. Bu çalışma sonucu geliştirilen hesap cetveli uygulamasını kullanacak

müteahhitlerin maliyeti en aza indirerek kârlarını en üst düzeye çıkarabilmeleri sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Zaman Maliyet Ödünleşim, Optimizasyon, Genetik Algoritma



ABSTRACT

Msc Thesis

OPTIMUM SOLUTION OF DISCRETE TIME-COST TRADE-OFF PROBLEM

Tugay Yücel

Inönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

74 + xi pages

2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Önder Halis Bettemir

Completion of construction activities within their normal duration provides the optimum direct cost. However, in this case summation of the necessary expenditures for the operation of the construction site which are defined as overhead cost may reach significant amounts. Therefore in the initial schedule, the sum of the direct and the overhead costs which are considered as total project cost can be higher than the minimum obtainable cost. The project duration can be shortened by crashing some of the activities with an additional increase in the direct cost. This increases the direct cost while decreases the overhead cost. Total project cost decreases when the savings of the overhead cost is higher than the increase of the direct cost. Consequently, obtaining construction schedule which provides the minimum total project cost is defined as time-cost trade-off problem. In this study, discrete time-cost trade-off problem is solved.

Determination of construction alternatives for the time-cost trade-off problem requires considerable amount of data collection and editing. Type of equipment to be used, sizes of the crews, and the implemented construction technique directly effects the duration and cost of an activity. While preparing the schedule, the planning department is usually under pressure of time and it is not feasible to determine construction alternatives for every activity which significantly increases the workload of the planning department.

In this study, a spreadsheet application is developed which systematically prepares the construction schedule and computes the duration and cost of each activity without human intervention. A macro which implements genetic algorithm is written to minimize the summation of the labor and the overhead costs. The developed macro application does not require any pre-knowledge on the Genetic Algorithm or optimization procedure. Construction schedule which provides the least total construction cost is prepared by the developed tool, this approach decreases the workload of the planning department. The spreadsheet application developed in this study provides the opportunity of maximizing the profits of the contractors by minimizing the total project cost.

KEYWORDS: Time-cost trade-off, Optimization, Genetic algorithm

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgemedi beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Önder Halis BETTEMİR'e;

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans çalışmalarım süresince de benden desteklerini esirgemeyen değerli BABAANNEM'e, ANNEM'e ve BABAM'a

teşekkür ederim.

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi İÜ-BAP FYL-2017-593 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTARCT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	6
2.1. Zaman Maliyet Ödünleşim Problemi.....	6
2.2. Kule Vinç Modellemesi.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Metraj Hesapları.....	14
3.1.1. Beton metraji.....	15
3.1.2. Kalıp metraji.....	17
3.1.2.1. Kolon ve kirişlerin kalıp metraji.....	17
3.1.2.2. Döşeme ve perdelerin kalıp metraji.....	18
3.1.3. Donatı metrajları.....	19
3.1.3.1. Kolon için donatı metraji.....	19
3.1.3.2. Kiriş için donatı metraji.....	20
3.1.3.3. Döşeme için donatı metraji.....	21
3.1.4. Duvar metraji.....	22
3.1.4.1. Dış duvar metraji.....	22
3.1.4.2. İç duvar metraji.....	22
3.1.5. Sıva metraji.....	23
3.1.5.1. Dış sıva metraji.....	23
3.1.5.2. İç sıva metraji.....	24
3.1.6. Parke metraji.....	25
3.1.7. Karo seramik metraji.....	25
3.2. Adam.Saat ve Makine.Saat Değerlerinin Hesaplanması.....	28
3.3. Problemlerin Oluşturulması.....	29

3.3.1.	Birinci problem.....	31
3.3.2.	İkinci problem.....	37
3.4.	Genetik Algoritma.....	39
3.4.1.	Popülasyonun oluşturulması.....	40
3.4.2.	Çaprazlama.....	40
3.4.3.	Mutasyon.....	41
3.4.4.	Doğal Seleksiyon.....	42
3.5.	Genetik Algoritmanın Uygulanması.....	43
3.5.1.	Popülasyonun oluşturma uygulaması.....	49
3.5.2.	Çaprazlamanın uygulanması.....	51
3.5.3.	Mutasyonun uygulanması.....	52
3.5.4.	Doğal seleksiyonun uygulanması.....	54
3.5.5.	Makro uygulaması.....	54
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	57
4.1.	Birinci Problemin Çözümünden Elde Edilen Veriler.....	58
4.2.	İkinci Problemin Çözümünden Elde Edilen Veriler.....	62
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	66
6.	KAYNAKLAR.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kalıp aktivitesinin yapım seçenekleri.....	3
Şekil 3.1.	Zemin kat planı.....	13
Şekil 3.2.	Normal kat planı.....	14
Şekil 3.3.	Beton metraжі.....	16
Şekil 3.4.	Kolon ve kiriş için kalıp metraжі.....	17
Şekil 3.5.	Döşeme ve perde için kalıp metraжі.....	18
Şekil 3.6.	Kolon için donatı metraжі.....	19
Şekil 3.7.	Kiriş için donatı metraжі.....	20
Şekil 3.8.	Döşeme için donatı metraжі.....	21
Şekil 3.9.	Dış duvar alanı metraжі.....	22
Şekil 3.10.	İç duvar alanı metraжі.....	23
Şekil 3.11.	Dış sıva alanı metraжі.....	24
Şekil 3.12.	İç sıva alanı metraжі.....	24
Şekil 3.13.	Parke alanı metraжі.....	25
Şekil 3.14.	Seramik alanı metraжі.....	26
Şekil 3.15.	Metraj özeti.....	27
Şekil 3.16.	Kalıp işleri için poz tarifi.....	28
Şekil 3.17.	Kalıp işlerinin adam saat değerleri.....	29
Şekil 3.18.	İş aktivitelerinin tamamlanma sürelerinin belirlenmesi.....	32
Şekil 3.19.	Kaba işler için iş programı.....	34
Şekil 3.20.	Boya, parke ve seramik işlerinin iş programı.....	35
Şekil 3.21.	Gantt şeması.....	35
Şekil 3.22.	Günlük malzeme kullanım miktarları.....	36
Şekil 3.23.	Çaprazlama operatörü örneğı.....	40
Şekil 3.24.	Mutasyon operatörü örneğı.....	42
Şekil 3.25.	GA akış şeması.....	43
Şekil 3.26.	Birinci problemin başlangıç birey sayısı 50, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 3.27.	Birinci problemin başlangıç birey sayısı 100, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	45

Şekil 3.28.	İkinci problemin başlangıç birey sayısı 50, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	46
Şekil 3.29.	İkinci problemin başlangıç birey sayısı 100, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	47
Şekil 3.30.	Birinci problem için bireylerin rastgele oluşturulması.....	49
Şekil 3.31.	İkinci problem için bireylerin rastgele oluşturulması.....	49
Şekil 3.32.	Bireylerin kodlarının tayin edilmesi ve maliyet değerine göre sıralanması.....	50
Şekil 3.33.	Bireylere hayatta kalma olasılığının verilmesi.....	51
Şekil 3.34.	Çaprazlama noktalarının belirlenmesi.....	51
Şekil 3.35.	Çaprazlama operatörünün oğul bireyleri oluşturması.....	52
Şekil 3.36.	Mutasyona uğrayacak bireylerin seçimi.....	53
Şekil 3.37.	Mutasyona uğrayacak genin seçimi.....	53
Şekil 3.38.	Mutasyon değerinin belirlenmesi.....	54
Şekil 3.39.	Birinci problemde kullanılan makro kodunun bir kesiti.....	55
Şekil 3.40.	İkinci problemde kullanılan makro kodunun bir kesiti.....	56
Şekil 4.1.	Problem 1 tekrar 1 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	58
Şekil 4.2.	Problem 1 tekrar 2 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	59
Şekil 4.3.	Problem 1 tekrar 3 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	59
Şekil 4.4.	Problem 1 tekrar 4 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	59
Şekil 4.5.	Problem 1 tekrar 5 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	60
Şekil 4.6.	Problem 1 tekrar 6 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	60
Şekil 4.7.	Problem 1 tekrar 7 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	60

Şekil 4.8.	Problem 1 tekrar 8 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	61
Şekil 4.9.	Problem 1 tekrar 9 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	61
Şekil 4.10.	Problem 1 tekrar 10 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	61
Şekil 4.11.	Problem 2 tekrar 1 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	62
Şekil 4.12.	Problem 2 tekrar 2 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	63
Şekil 4.13.	problem 2 tekrar 3 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	63
Şekil 4.14.	Problem 2 tekrar 4 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	63
Şekil 4.15.	Problem 2 tekrar 5 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	64
Şekil 4.16.	Problem 2 tekrar 6 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	64
Şekil 4.17.	Problem 2 tekrar 7 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	64
Şekil 4.18.	Problem 2 tekrar 8 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	65
Şekil 4.19.	Problem 2 tekrar 9 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	65
Şekil 4.20.	Problem 2 tekrar 10 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Metrajda kullanılan veri listesi.....	15
Çizelge 3.2.	Temel çalışmalarındaki iş paketleri ve süreleri.....	30
Çizelge 3.3.	İş paketi numarası ve açıklaması.....	30
Çizelge 3.4.	Birinci problemdeki alternatiflerin ekip sayıları ve maliyet değerleri.....	33
Çizelge 3.5.	Birinci problemdeki alternatiflerin yapım süreleri ve maliyet değerleri.....	33
Çizelge 3.6.	İkinci problemdeki alternatiflerin ekip sayıları ve maliyet değerleri.....	37
Çizelge 3.7.	İkinci problemdeki alternatiflerin yapım süreleri ve maliyet değerleri.....	38
Çizelge 3.8.	Birinci problemin başlangıç birey sayısı 50 ve farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen minimum maliyet değerleri.....	44
Çizelge 3.9.	Birinci problemin başlangıç birey sayısı 100 ve farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen minimum maliyet değerleri.....	45
Çizelge 3.10.	İkinci problemin başlangıç birey sayısı 50 ve farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen minimum maliyet değerleri.....	46
Çizelge 3.11.	İkinci problemin başlangıç birey sayısı 100 ve farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen minimum maliyet değerleri.....	47
Çizelge 4.1.	Her iki problem için en uygun maliyet ve aktiviteler için seçilen alternatif numaraları.....	57
Çizelge 4.2.	Birinci problemin çözümünden elde edilen minimum maliyet değerleri.....	58
Çizelge 4.3.	İkinci problemin çözümünden elde edilen minimum maliyet değerleri.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BIM
GA
ZMÖP

Bina Bilgi Modellemesi
Genetik Algoritma
Zaman Maliyet Ödönleşim Problemi



1. GİRİŞ

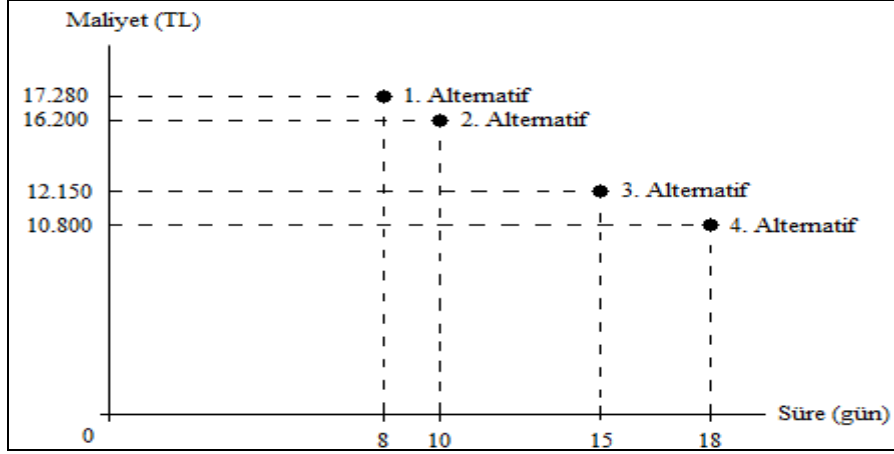
Günümüzün artan rekabet şartları ve pazarın genişlemesiyle birlikte şirketlerin iş kabiliyetini artırma isteği sonucu yapım işlerinin belirlenen bütçe ve süre içerisinde tamamlanması kayda değer bir şekilde önem kazanmıştır. Şirketler rakiplerine karşı üstünlük kurabilmek veya iş hayatında başarılı olabilmek için maliyetleri minimize etmeyi amaçlamaktadır. Belirlenen proje sürelerinin kısaltılıp mümkün olan en uygun maliyet ve sürede yapım işinin tamamlanması günümüz proje yönetiminin en önemli konuları arasına girmiştir.

Projenin yapım maliyeti ve süresi müteahhidin mevcut iş koşullarına da bağlıdır. Projenin normal süresinde mi yoksa daha kısa sürede mi tamamlanması projenin iç etkenlerine bağlı olduğu kadar dış etkenlere de bağlıdır. Bazı durumlarda proje bütçesine odaklanılırken bazen süre dikkate alınır. Projeyi erken bitirme kararıyla veya proje maliyetini düşürüp süreyi uzatarak motive olabilirler. Erken bitirme kararı, yeni bir inşaat işine başlamadan önce mevcut işleri bitirmek için alınırken işlerin yavaşlatılması mali sıkıntılar sonucu tercih edilebilir. Proje yöneticileri ise proje maliyeti ve proje süreleri arasında dengeleme yaparak en uygun çözümü arar.

Yapım işlerinde bitirme süresi ve doğrudan maliyet arasında ters bir ilişki söz konusudur. Projedeki bir aktivitenin normal süresinden daha kısa sürede tamamlanması, aktivitenin yapım maliyetini artırır. İş programında yer alan faaliyetlerin sürelerini kısaltmak için bu faaliyetlere ait işgücü ve makine kaynaklarının artırılması veya fazla mesai yapılması, ya da maliyeti yüksek yapım yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir (Aminbakhsh vd, 2016). Belirlenen kritik yol üzerindeki aktivitelerin yapımının hızlanması (erken tamamlanması), aktivitenin maliyetinin artmasıyla birlikte toplam proje süresinde bir kısalma sağlar. Proje süresindeki bu kısalma dolaylı maliyet olarak adlandırılan aydınlatma, güvenlik, temizlik vb. maliyetleri azaltırken projenin doğrudan maliyetinde bir artış yaratır. Örneğin kazı çalışmalarında kaya kütleleriyle karşılaşılması durumunda dinamitle patlatma işlemi uygulanabilir veya zayıf zemin durumunda jet grout işlemi ile zemin güçlendirilebilir. Kırıcı kafayla kaya kırma işlemi yoğun emek ve iş gücü gerektirdiğinden dinamitle patlatma daha uygun bir seçim olabilir. Jet grout, klasik enjeksiyon yöntemlerine göre hızlı ve ekonomik olması, dar ve sıkışık ortamlarda

dahi uygulanabilirliği ve daha kalıcı olması açısından avantajlar yaratabilir. Böylelikle yüksek maliyetli yapım yöntemlerinin kullanılması doğrudan maliyetleri artırırken projenin tamamlanmasının önündeki engellerin hızlıca ortadan kaldırılması sonucu proje süresinde kısaltmaların oluşması sağlanacaktır. Bunun yanı sıra yapım işinin kapsamına göre mobil vinç yerine kule vincin tercih edilmesi ya da mevcut kule vinç sayısının artırılması; betonun, pompanın yetersiz kaldığı yüksekliklere dökülmesi için kompresör ve beton örümceğinin kullanılması veya yapım işine ait çalışmalarda işçilere fazla mesai yaptırılması doğrudan maliyetleri artırır. Projeyi daha kısa sürede teslim etmek için artan doğrudan maliyetlerle, azalan dolaylı maliyetler ve projenin erken tamamlanmasıyla elde edilecek kazanımlar arasında kurulacak matematiksel denklemler hızlandırmanın gerekliliği konusunda bir fikir sağlayacaktır. Bu nedenle projenin erken tamamlanması sonucu erişilecek kazanımlar doğru belirlenmeli, projenin kısaltılmasıyla artacak doğrudan maliyetlerin elde edilen tasarrufa oranı iyi araştırılmalıdır. Bu değerlendirme ve araştırma sonucunda, uygun tamamlama süresinin tespiti zaman-maliyet ödünleşim problemi (ZMÖP) olarak tanımlanır. Bu problemin optimum çözümü inşaat sektöründe maliyetlerin azalmasını sağlayacaktır.

Zaman-maliyet ödünleşim problemi sürekli ve kesikli olmak üzere aktiviteler üzerinde iki farklı biçimde modellenebilir. Sürekli ZMÖP'de maliyetin ve zamanın, normal ve hızlandırılmış süreleri sürekli doğrusal bir fonksiyon olarak tanımlanabilir (Lee vd, 2010). Kesikli ZMÖP'te ise sürekli olmayan, sadece belirli tamamlanma süreleri için uygulanabilir maliyet ve zaman değerleri tanımlanabilir. Şekil 1.1'de zaman ve maliyet arasındaki kesikli ilişkinin bir örneği gösterilmektedir. İş makineleri ve malzemelerin belirli ebatlarda üretilmesi, işçi ve ekipman sayılarının tamsayı olma zorunluluğu gibi durumlardan dolayı aktivite süresinin kısaltılmasının sınırlı sayıda yolu vardır. Bu nedenle, inşaat mühendisliği uygulamalarında modelleme için kesikli ZMÖP, sürekli ZMÖP'ten daha uygundur.



Şekil 1.1. Kalıp aktivitesinin yapım seçenekleri

Kesikli zaman maliyet ödünleşim modeline aşağıdaki çalışmalar örnek olarak verilebilir. Bir kazı işinde kullanılacak ekskavatörün kova hacimleri 1,5, 2 ve 2,5 metreküp gibi belirli ölçülere sahiptir. Her hacim değeri için kova üretimi gerçekleşmemektedir (1,69 metreküp kova hacimli ekskavatör olmaması gibi). Bu nedenle, sınırlı sayıda alternatif arasından yapılacak kazı işi için en uygun boyutlu ekskavatör seçimine karar verilmektedir. Kazı süresi ekskavatör kovasının büyüklüğüne bağlı olacağı için seçilen kova büyüklüğüne göre kazı süreleri kesikli fonksiyon olacaktır.

Bir binanın helis merdivenlerini yapmak için kazı yapılması gerektiği varsayalım. Bu kazının iksa sistemi olmadan yapılması durumunda şevin göçme ihtimali vardır. Yapılması gereken iksa sisteminin yapım süresini kısaltmak için şantiyede mevcut olan bir adet fore kazık makinesine ek olarak bir adet fore kazık makinesi daha kiralanabilir. Ekstra kiralanın fore kazık makinesi işin süresini azaltırken kira masrafı nedeniyle inşaat maliyetini artırmaktadır.

Yüksek katlı binaların üst katlarının beton dökümü esnasında beton pompasının erişememesi sebebiyle alternatif döküm yöntemleri üzerinde düşünülebilir. Döküm işleminin kule vinç yardımıyla gerçekleştirilmesi veya beton örümceğiyle yapılması seçeneklerinden zaman ve maliyet açısından en uygun olanı seçilebilir.

Hidroelektrik, termik, güneş veya rüzgar enerji santrallerinde üretilen enerji, kendi şalt sahalarından TEİAŞ himayesindeki enerji iletim hatlarına gönderilir. Enerji iletim hatlarından ise kullanılması planlanan lokasyona yine TEİAŞ himayesinde kurulmuş trafo merkezlerine iletilir. Trafo merkezlerine iletilen enerji de elektrik dağıtım şirketleri vasıtasıyla evlere, iş yerlerine veya sanayi bölgelerine gönderilir. Yüksek kapasiteli üretim yapan sanayi bölgelerine enerji aktarımında bulunan enerji iletim hattı ve trafo merkezi kritik konumdadır. Bahsedilen enerji iletim hattı ve trafo merkezi yapımı esnasındaki veya arızadan dolayı oluşan enerji kesintilerindeki gecikmeler özellikle sanayi bölgelerinde ciddi etkiler yaratabilir. Neredeyse tamamı elektrik gücüyle çalışan makinelerin bir gün bile çalışmaması üretimde büyük aksaklıkların oluşmasına neden olarak kayda değer maliyet kayıplarına yol açabilir. Yapım veya arızanın onarım süresini minimum seviyede tutmak bu nedenle büyük önem arz etmektedir. Örneğin trafo merkezinde enerji iletimini sağlayan hat fideri sisteminde bulunan kesicinin arızalanması ve değişmesi durumu hızla gerçekleştirilmelidir. Çelik konstrüksiyon ve temel sisteminden oluşan kesicinin yapımı esnasında süreyi kısaltmak için ilave maliyetler gerektiren önlemler alınabilir. Temel sisteminin hızlıca prizini alıp dayanım kazanması için priz hızlandırıcı katkı malzemeleri veya çelik konstrüksiyon üst montajının yerde tamamlanarak mobil vinç yardımıyla temelle bağlantısının yapılması, yapım maliyetini artırırken arızanın mümkün olan en kısa sürede giderilip enerjinin sisteme verilmesi açısından büyük kazançlar sağlamaktadır.

Enerji iletiminde canlı bakım; Ulusal Elektrik Sisteminin herhangi bir parçasında veya belirli birimlerinde yapılacak olan bakım faaliyetlerinin, sistemin enerjisi kesilmeden yapılması işlemidir. Dünyada 50 ülkede yüksek gerilim seviyesinde canlı bakım çalışmaları yapılmakta ve kesintilerin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda ülkemiz, Fransa iletim şirketinden canlı bakım faaliyetleri için gereken yüksek maliyetli ekipmanlar satın almakta ve kesintilerin minimize edilmesini sağlamak için canlı bakım ekipleri oluşturmaktadır. Böylelikle enerji kesintisi olmadan arızalar giderilerek üretimsel kayıpların önüne geçilmektedir.

Zaman-maliyet ödünleşim probleminin optimum çözümü için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler üç ana gruba ayrılabilir. Matematiksel programlama (kesin), üst sezgisel ve sezgisel Yöntemler. Matematiksel Yöntemler; Doğrusal

programlama, Tamsayılı programlama, Doğrusal-tamsayılı programlama, Dinamik programlama vb. yöntemlerdir. Matematiksel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar genellikle küçük ölçekli problemlere yönelmiştir (Aminbakhsh vd, 2016). Bunun nedeni ise büyük ölçekli problemlerde aktivite sayısının artmasıyla birlikte artan hesap ve bellek yüküdür. Ayrıca matematiksel yöntemlerin uygulanması yüksek seviyede bilgi ve uzmanlık gerektirmektedir. Sezgisel ve Meta-Sezgisel Yöntemler ise Genetik Algoritma, Benzetimli Tavlama, Parçacık Sürü Kolonisi, Karınca Kolonisi, Tabu Arama Algoritması vb. yöntemlerdir.

Uygulamada optimum süre-maliyet değerlerini analiz edebilmek için konvansiyonel matematiksel modeller kullanılabilmesine rağmen büyük ölçekli projelerde bunların uygulanması yoğun süre ve emek gerektirmesi bakımından kullanışsız kabul edilmektedir (Kandil ve El-Rayes, 2005). Bu çalışmada ele alınan problemler; aktivite sayısı artıkça arama uzayının büyüklüğü eksponansiyel olarak genişlediğinden NP (non-deterministic polynomial) - Hard NP-Zor zorluk derecesine sahip karmaşık bir problemidir. Bu nedenle analitik, doğrusal ve deterministik çözüm yöntemleri bu problemin çözümünde yetersiz kalabilir. NP-Hard problemlerin çözümünde, optimum bir sonuca ulaşılabilen fakat bu sonucun gerçekten optimum olduğunu kanıtlanmamaktadır. Bu noktada NP-Hard problemin çözümünde makul hesaplama süresi ve hesaplama yükü önem taşımaktadır. Bu nedenle; meta-sezgisel yöntemler günümüzde daha yaygın kullanılan ve farklı problemlere daha kolaylıkla uyarlanabilen yöntemlerdir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Taranılan kaynakların tutarlı biçimde kümelenebilmesi için kaynak taraması zaman maliyet ödünleşim problemi ve kule vinç kullanımının modellenmesi olarak iki kesimde gerçekleştirilmiştir.

2.1. Zaman Maliyet Ödünleşim Problemi

Proje maliyetini en aza indirecek ZMÖP, geçmiş altmış yıldan beri araştırma konusu olmuş günümüz gelişmeleriyle birlikte araştırma sayısı gitgide artmaktadır. ZMÖP'ün önemi Kelly ve Walker (1959), Fulkerson (1961) ile Kelly (1961) tarafından geliştirilen proje analiz teknikleriyle aynı anda farkına varıldı. ZMÖP'ün çözümüne yönelik ilk önemli sezgisel algoritma Siemens (1971) tarafından yapıldı ve daha sonra algoritması Goyal (1975) ve Siemens ve Gooding (1975) tarafından iyileştirildi. Barber ve Boardman (1988) ile Chiu ve Chiu (2005) doğrusal maliyet eğrileriyle ZMÖP çözümü için sezgisel algoritmalar önermişlerdir. Anılan algoritmalar sürekli fonksiyon biçiminde oluşturulan hızlandırma fonksiyonları için optimum çözüm sağlamakta ancak doğrusal olmayan veya kesikli hızlandırma alternatifleri için global optimuma yakınsamayı garanti etmemektedir. Bunun sebebi, sezgisel algoritmaların ZMÖP çözümünü arama uzayının tamamında değil de belirli bir aralıkta aramasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra sezgisel algoritmalar belirli kuralları uygulayarak çözüm aramakta ve bu kurallara uygun olan problemleri çözebilmektedir. Kurallara uygun olsa dahi ele alınan problemlerden bazılarında iyi sonuçlar verirken bazılarında kötü sonuçlar verebilir.

Hegazy ve Ersahin (2001) ZMÖ analizi, sınırlı kaynak, kaynak dengeleme ve nakit akış yöntemiyle entegre bir zamanlama modeli önermişlerdir. Moussourakis ve Haksever (2004) kaynak kısıtlamaları ve değişmez proje bitiş tarihi olan ZMÖP çözümünü sunmuşlardır. Chassiakos ve Sakellariopoulos (2005) ZMÖP çözmek için erken/gecikmeli proje tamamlanmasına ödül/ceza veren doğrusal ve tamsayılı bir programlama modeli önermişlerdir. Chen ve Weng (2009) kaynakların kesintiye uğradığı ve çakıştığı kaynak kısıtlı durumu çözmek için zaman-maliyet ödünleşimine dayanan bir genetik algoritma önermişlerdir. Senouci ve El-Rayes (2009) zamanlama planları ve verimli inşaat kaynağı kullanımı oluşturmak ve değerlendirmek için çok

amaçlı bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Kurulan model eş zamanlı olarak zamanı minimize ederken proje karını en üst düzeye çıkartmaktadır. Ammar (2011) minumum proje maliyeti için ZMÖ modeli kurup net bugünkü değerin nakit akışını denklemlere katmıştır.

Meta-sezgisel algoritmalar arama uzayını etkin bir biçimde tarayarak, kabul edilebilir süreler içerisinde optimum kesin değer olmasa bile optimuma yakın sonuçlar vermesi bakımından oldukça kullanışlıdır (Albayrak ve Özdemir, 2016). Meta-sezgisel algoritmalar arasından ZMÖP'nin çözümü için en çok kullanılan yöntemlerden birisi genetik algoritmadır. Feng vd. (1997), Hegazy (1999), Kandil ve El-Rayes (2006) ile Lee vd. (2010) çözümlerinde GA kullanmışlardır. Kasaeian vd. (2007) elistist bir yaklaşımla geliştirilmiş çok amaçlı GA kullanmışlardır. Bu algoritmanın verimliliği, arama alanının yalnızca küçük bir bölümünü aramasından kaynaklanmaktadır. Hooshyar vd. (2008) problemin çözümü için zeki mutasyon operatörlü bir algoritma sunmuştur. Sönmez ve Bettemir (2012) ZMÖP'nin çözümü için genetik algoritma kullanmışlardır. Eshtehardian vd. (2009) bulanık ortamlarda ZMÖP'nin çözümü için genetik algoritma kullanmışlardır. Çok amaçlı genetik algoritmayı nispeten geniş arama alanıyla kesikli bulanık zaman-maliyet ödünleşim problemi için uyarlamışlardır.

Bettemir (2009) Genetik algoritma ve benzetimli tavlama'yı birleştiren karma bir algoritma önermiştir. Önerilen karma algoritmayla genetik algoritma karşılaştırılmış ve tavlama benzetimli genetik algoritmanın (TBGA), Genetik algoritmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Hesap yükünün azaltılması için popülasyon boyutu, çaprazlama, mutasyon ve soğuma hızı değerlerini deneysel tasarımla en uygun hale getirmiştir. Diğer yandan, bu karma algoritmanın 18 aktiviteden daha fazla aktiviteli problemlerin çözümünde hesap süresini artıracığından dolayı ileri çalışma olarak TBGA'nın optimum arama yeteneğinin iyileştirilmesini önermiştir (Bettemir,2010).

Feng vd. (1997) geniş ölçekli kritik yol yöntemi şebekelerinin ZMÖP'ü verimli çözecek genetik algoritma ve pareto ön yaklaşımı kullanan bir model önermişlerdir. Leu ve Yang (1999) ZMÖ modelini, kaynak sınırlı modelini ve kaynak seviyeleme modelini birleştiren birçok kritere dayalı optimum bir zamanlama modeli

önermişlerdir. Feng vd. (2000) belirsizlik altında ZMÖP'nin çözümü için simülasyon teknikleri ve genetik algoritmayı birleştiren karma bir yaklaşım önermişlerdir.

Sakellarpoulos ve Chassiakos (2004) aktivite öncelik ilişkileri ve belirli aktiviteler için zaman kısıtlaması gibi gerçekçi proje özelliklerini dikkate alan ilave çözüm yöntemleri geliştirmişlerdir. Aktivite Öncelik ilişkileri, dış zaman kısıtlamaları ve projenin geç / erken tamamlanması durumunda ceza / ödül durumları gibi parametreleri analize dahil eden ve optimum zaman-maliyet seçeneğini sağlayan yöntem değerlendirilmiş ve gerçekçi projelere uygulanabileceğini göstermişlerdir.

Ke vd. (2009) çalışmalarında rastlantısal (stokastik) ortamlarda zaman-maliyet ödünleşim probleminin çözümü için şans-kısıtlı ve bağımlı-şans programlamalarını esas alan iki yeni model önermişlerdir. Önerilen modelleri çözmek için stokastik benzetim ve genetik algoritmayı birleştiren karma akıllı bir algoritma oluşturmuşlardır.

Ke (2014) çalışmasında çoğu projenin, tamamlanmamış birçok proje tarafından gerçekleştirilen bazı ortak veya eski kısımlar içereceğini belirtmiştir. Bu nedenle proje zamanlama probleminde belirsizlik ve rastgeleliğin aynı anda düşünülmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Kısmen rastgele değişkenler ve kısmen belirsiz değişkenlerin olduğu problemde, bağımlı-tesadüfî programlamayla belirsiz rastgele ZMÖ modeli oluşturmuş ve bu modelin çözümü için belirsiz rastgele simülasyon ile genetik algoritmayı birleştirmiştir. Ayrıca model sürekli ZMÖ ilişkisi olduğunu varsaydığından kesikli ilişki için uygulanabilirliği yoktur.

Jebaseeli ve Dhayabaran (2015) tamamen bulanık ZMÖP çözümü için toplam maliyeti minimize eden ve uygulanması, gerçek hayatta ortaya çıkabilecek ZMÖP'nin çözümü için var olan yöntemlerden daha kolay bir algoritma sunmuşlardır. Tam bulanık doğrusal programlama problemini çok amaçlı doğrusal programlama problemine dönüştürmüşlerdir. Öncesinde Liu vd. (1995) bulanık optimum inşaat ZMÖ yöntemi önermişlerdir. Arikan ve Güngör (2001) bulanık programlamayı, minimum tamamlama süresi ve hızlandırma maliyetiyle ZMÖP'ye uygulamışlardır.

Kang vd. (2015) aktiviteler arasındaki mümkün olan bütün ilişkileri (FS,FF,SS,SF) uygulanabilirliği arttırmak için ele alan ve aktiviteler arasındaki alternatif sıralamaları göz önüne alan yeni bir ZMÖ modeli geliştirmişlerdir. Modelden elde edilen sonuçları mevcut kesikli ZMÖP modellerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Önerilen modelden elde edilen toplam maliyet mevcut modelin çözümünden daha pahalı ve proje süresi daha uzun olsa da yeni modelin çözümü pratik bir zamanlamayla optimum sonucu vermektedir.

Aminbakhsh vd. (2016) tamsayılı doğrusal programlama yöntemi geliştirip orta ölçekli Pareto eğrisi problemi için optimum çözümler elde etmişlerdir. 63 aktiviteye kadar olan bir örnek problemin önerilen yöntemle çözülebilirliği gösterilmiştir.

Bettemir ve Birgönül (2016) kesikli ZMÖP'nin çözümü için minimum maliyet eğrisinden esinlenerek şebeke analizi algoritması önermişlerdir. Önerilen şebeke analizi algoritması, arama alanı büyük olsa da uygunsuz seçenekleri ortadan kaldırır. Bu nedenle, şebeke analizi algoritmasının hesap yükü meta-sezgisel algoritmaların binde birinden daha az olmuştur. Ayrıca önerilen modelin global optimuma meta-sezgisel algoritmalarından daha iyi yakınsadığı ortaya konulmuştur.

Zhang ve Thomas Ng (2012) karınca koloni optimizasyonu kullanarak fazla hesap yükü yaratmadan çözüme ulaşmışlardır. Rahimi ve Iranmanesh (2008) kesikli zaman-maliyet kalite ödünleşimi problemini parçacık sürü optimizasyonu ile çözmüşlerdir. Yang (2007) ile Iranmanesh vd. (2008) parçacık sürü optimizasyonu, Anagnostopoulos ve Kotsikas (2010) benzetimli tavlama, Geem (2010) uyum aramasını ZMÖP'yi çözmek için kullanmışlardır. Cha ve Lee (2015) bina bilgi modeli destekli ZMÖP'yi incelemişlerdir. Cha ve Lee (2015) çalışmalarında bina bilgi modeli veritabanı geliştirerek insan kaynaklı hataları azaltmakta ve iş verimliliğin artış olduğunu göstermişlerdir.

Proje planlama sürecindeki ödünleşim zaman ve maliyetle sınırlı değildir (Bettemir ve Birgönül, 2016). Bu nedenle, ZMÖP'ye kalite, çevre ve sınırlı kaynak kullanılabilirliği konuları da eklenerek incelenebilir. Koo vd. (2015) çevresel etkiyi ortaya çıkarıp ZM-çevre ödünleşimini çözmüşlerdir. Zhang ve Xing (2010), Mungle vd. (2013) ile Tavana vd. (2014) ZMÖP'ye kaliteyi ekleyip ZM-kalite ödünleşimini

çözmüşlerdir. Kim vd. (2012) hızlandırılan aktiviteler için potansiyel kalite kaybı maliyetini dikkate alan karışık tamsayılı doğrusal programlama önermişlerdir. Monghasemi vd. (2015) zaman, maliyet ve kalite ölçütlerine dayanan her zamanlama alternatifini araştırarak, proje zamanlamasına verimli etki sağladığını kanıtlamışlardır. Tareghian ve Taheri (2007) ZM-kalite ödünleşimini dağınık arama algoritması elektromanyetizma ile geliştirilerek probleme uygulamışlardır.

ZMÖP sınırsız kaynak kullanılabilirliği varsayılarak çözülür (Bettemir ve Birgönül, 2016). Liu ve Wang (2008), Afruzi vd. (2014), Rostami vd. (2014) ile Cheng ve Tran (2016) sınırlı kaynakla ZMÖP'yi çözmüşlerdir. Ghoddousi vd. (2013) çok modlu kaynak kısıtlı zamanlama problemini, kesikli ZMÖP'yi, kaynak tahsisi ve kaynak dengeleme problemini aynı anda ele almışlardır.

2.2. Kule Vinç Modellemesi

Kule vinç, genellikle çok katlı yapım işleri sırasında inşaat mühendislerinin kullanım alanında olan, sabit ya da hareketli bir taşıyıcı üzerinde ağır yüklerin yatayda ve düşeyde taşınmasını sağlayan çelik strüktürdeki bir makinedir. Kule gibi yükselen bir gövdesi ve ağırlık taşıyan kolu vardır. Ağırlık taşıyan bu kola bum denir. Bum kulenin üstüne yerleştirilirken bir tarafına da beton ağırlıklar yerleştirilerek taşıma sırasında denge şartları yerine getirilir. Yüksek katlı yapım işlerinde kullanılan kule vinçler, proje sürelerinde önemli hız artışları sağlamakta ve taşıyıcı işçilerin yaptığına göre daha az maliyet ve yüksek iş güvenliği ortamı oluşturmaktadır. Bu avantajlarından dolayı birçok araştırmaya konu olmuştur.

Shapira ve Glascock (1996) Kuzey Amerika'da mobil vinç kullanımının kule vinç kullanımına göre çok yüksek oranlarda olduğunu belirtmiştir. Avrupa'da ise 2. Dünya savaşının ardından oldukça yaygın biçimde kule vinç kullanılarak Avrupa yeniden inşa edildi. Kule vinçlerin ilk modellerine nazaran zamanla ağırlık ve vinç kolu mesafe kapasiteleri arttı. Kurulum, işletme ve güvenlik özellikleri gelişti.

Yapı elemanları kalıp bileşenleri yalıtım malzemeleri kaldırmada yüksek katlı inşaatlarda en yaygın çözümdür. Daha hafif modelleri, mobil vinçlerin yeri almaktadır. Şehirlerde fazlaca kule vinç kullanımı vinç şehirler tanımını oluşturdu.

Kule vinçler ray üzerine yerleştirilebilmektedir. Saha şartlarının el verdiği ölçüde geniş bir çalışma alanı elde edebilir. İnşaat projelerinin rekabetçi doğası gereği yapı teslimi için belirlenen son tarihe kadar inşaatı yetiştirilebilmesi için ek kule vinç kullanımının maliyeti genellikle ceza miktarından daha düşük olur. Vinçler inşaat boyunca her gün kullanılarak işlerin zamanında yerleştirilmesi sağlanır.

Yüksek yapılarda veya büyük inşaatlarda gereken kaldırma hizmetleri tek vinçle sağlayamayabilir. Birden fazla vincin çalıştığı durumda vinç kollarının çakışması durumları yaşanabilir. Bu da artan kule vinç sayısı ile kapsama alanları çakışması çalışmalarının yapılmasını ve gelişmiş çarpma önleme sistemlerinin kullanılmasını gerektirir.

Üstten ve alttan kabinli olmak üzere iki tip kule vinç vardır. Her iki tip için çok farklı montaj/demontaj seçenekleri ve kule yükseklik seçenekleri bulunmaktadır. Alt kabinli vincin montaj ve demontajı kısmen kolay ve hızlıdır. Üst kabinli vincin yüksekliği 300 m'ye kadar ulaşabilir olduğu için yüksek katlı binalarda kullanılması daha avantajlıdır. Bina üstünde yükselen vinçlerin sökülmesi sırasında ciddi zorluklar yaşanmaktadır. Alttan kabinli vinçler düşük katlı ve kısa süreli işler için daha uygundur.

Tam vd. (2002) kule vincin kaldırma sürelerini tahmin etmek için geleneksel lineer regresyon modelleri ve doğrusal olmayan sinir ağı modelleri geliştirmiştir. Doğrusal olmayan sinir ağı modelleri ile daha yüksek doğruluk elde edileceği bulunmuştur. Kaldırma süreleri tahminindeki hataları en aza indirmek için düzenli saha gözlemleri yaparak model parametrelerinin gözden geçirilmesi ve ayarlanması gerekir.

Kaldırma süresi modeli için girdi değişkenleri; Dikey yatay açısı, Kaldırma yüksekliği, Açıl hareket (yükleme ve boşaltma noktaları arasındaki açı), Vinç kapasitesi ve Operatör becerisi olarak tanımlanmıştır. Uygun vinç seçimi ve kurulum yerinin optimizasyonu kaldırma süresini azaltabilir. Birden fazla vinç kullanıldığında vinç operatörü diğer vinçlerle çarpışmayı önleyecek şekilde manevra yapması gerektiği için vinç hareketi yavaşlayacak ve vincin hızını düşürecektir. Benzer şekilde görme alanı engellendiğinde operatör vinci yavaşlatır. Görüşün yetersiz

olduğu durumda operatör destekleyici sistemler kullanılır. İş güvenliği açısından sahada bulunan işaretçilerin yönlendirmeleri de önem kazanmaktadır.

Kule vincin kaldırdığı yükün niteliği de taşıma süresini etkilemektedir. Yükün yeri, yükleme noktası, boşaltma noktası, saha şartları, hava şartları ve rüzgâr hızı kaldırma hızı ile boşaltma hızını önemli ölçüde etkilemektedir.

Leung ve Tam (1999a) kule vinçlerinin kaldırma sürelerini değerlendirmek için yüksek doğrulukta tahmin modelleri geliştirmiştir. Kaldırma süresine atfedilebilir olarak düşünölen 20 girdi parametrelili regresyon modeli oluşturmuşlardır.

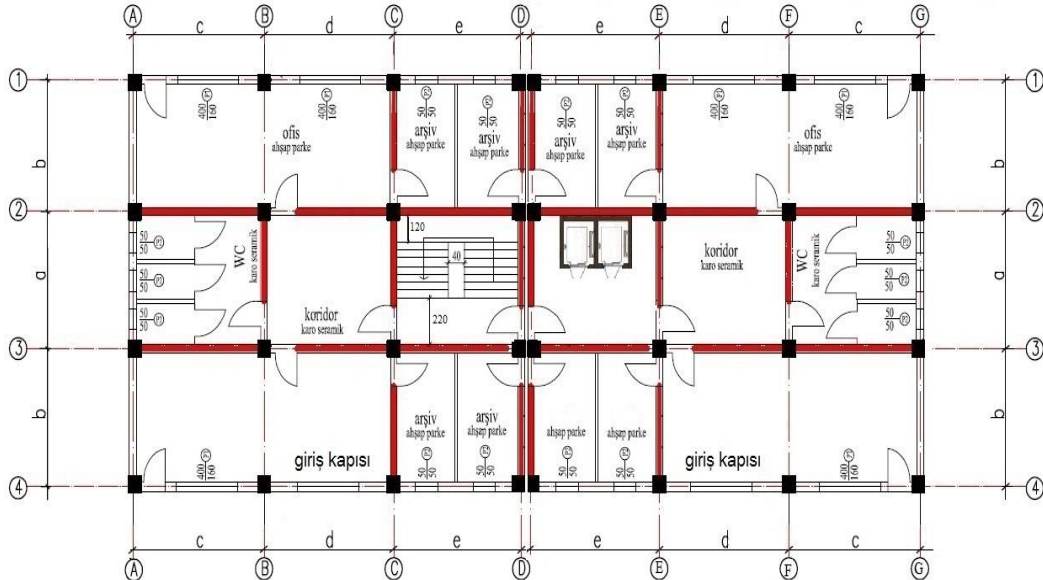
Donatı, tuğla, harç ve yalıtım malzemeleri, seramik veya laminat parke gibi kaldırma sürelerinin doğru hesaplanması kule vincin kullanım verimini artırır. Kule vincin etkin kullanımı planlanan kat döngüsü süresinin elde edilmesinde kritik öneme sahiptir.

Leung ve Tam (1999b) lojman yapımı için bir kule vincinin kaldırma sürelerini öngörmek için oluşturulan matematiksel bir modelin türevlerini incelemiştir. Kule vinç sayısı site alanı ile sınırlıdır. Rüzgâr hızı ortam sıcaklığı ve nemi ile operatörün becerisi gibi veriler kolaylıkla elde edilemediği ve nicelleştirilemediğinden vincin kaldırma süresi ile ilgili model kurmanın zor olduğu dikkate alınmalıdır.

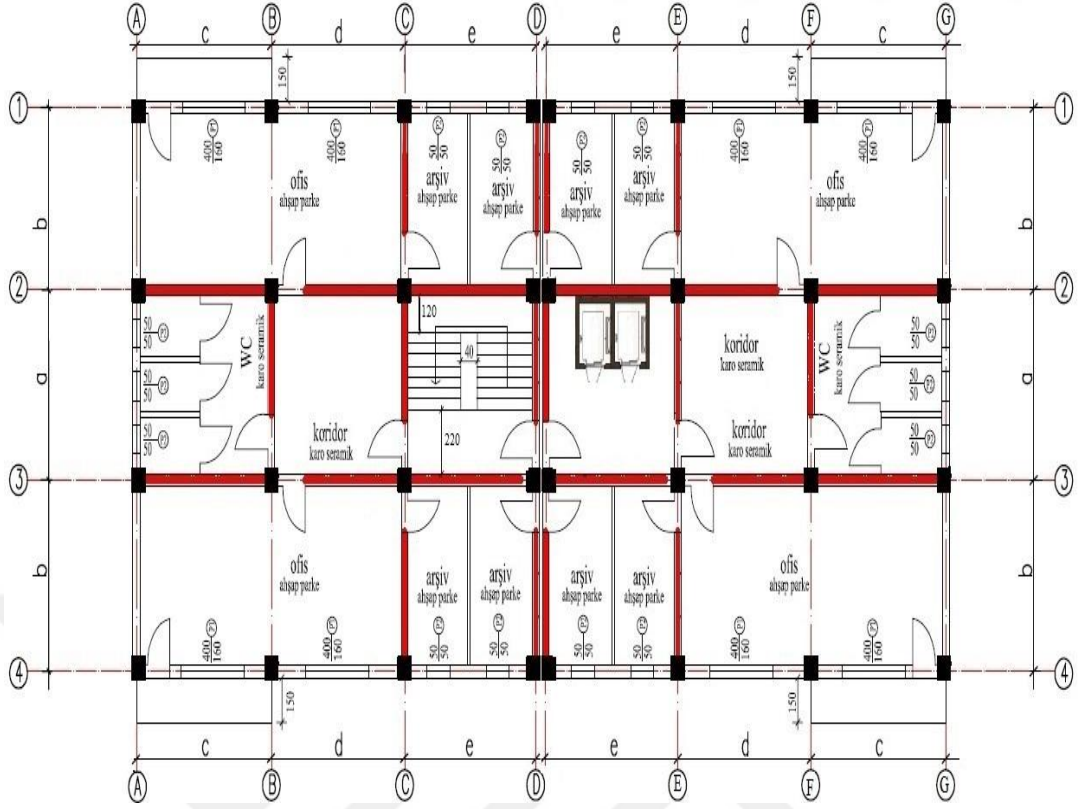
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kaynak taramasında atıfta bulunulan makalelerdeki optimizasyon algoritmalarının yükleniciler tarafından uygulanabilmesi oldukça güçtür. Çalışmaların önemli bir kısmı üniversitelerde teorik düzeyde yapılmış ve yüklenicilerin geliştirilen bu kuramın pratiğe dönük uygulamalarını kendi başlarına gerçekleştirmeleri bilgi eksikliğinden dolayı çok zordur. Bu nedenle optimizasyon alanında çok fazla bilgisi olmayan yüklenici ve planlama mühendislerinin oldukça kolay biçimde kullanabilecekleri bir hesap cetveli uygulaması geliştirilmiştir. Hesap cetvelinde iş paketlerinin farklı yapım süreleri için maliyet değerleri hesaplanmış ve oluşan ZMÖP hesap cetveline yazılan makro ile GA kullanılarak çözülmüştür. Bu çalışmanın uygulayıcılar açısından oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada çözümü yapılacak üç bodrum katı, zemin kat ve on beş üst kattan oluşan bir iş merkezinin zemin kat planı Şekil 3.1’de, üst kat planı da Şekil 3.2’de görülmektedir. Kazı çalışmaları ve bodrum katların yapım işleri, problemin çözümüne iş aktivitelerinin süreleri boyutunda sadece iş programına dahil edildiğinden planına yer verilmemiştir.



Şekil 3.1. Zemin kat planı



Şekil 3.2. Normal kat planı

3.1. Metraj Hesapları

Yapım işinin metraj değerleri hesaplanırken kullanılan veriler Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Aks uzunlukları, kolon ve kiriş boyutları, perde kalınlığı, döşeme derinliği, Donatı boyutları ve aralıkları, etriye bilgileri, duvar kalınlıkları ve kapı-pencere boyutları vs. tanımlanmıştır. Örneğin döşeme derinliği ‘DosemeDer’, düz donatı aralığı ‘DuzDonAralik, Üst katlar için pas payı ‘UstPP’ değişken adıyla tanımlanmıştır. Metraj, tanımlanan bu verilerin seçilerek hesaba katılmasıyla oluşturulmuştur. Bu durum daha sonradan değişebilecek herhangi bir verinin işlem adımlarının tamamına otomatik olarak geçmesini sağlamaktadır. Değişen veriler karşısında metraj hesabının otomatik olarak yenilenmesi işlem adımlarının tekrarının önlenmesini sağlamakta ve zaman kayıpların oluşmasını engellemektedir.

Çizelge 3.1. Metrajda kullanılan veri listesi

Proje Genel Verileri			Kiriş Boyuna Donatı	4	adet Ø16	Kapı-Pencere-Duvar Verileri		
A Aks Uzunluğu	70	cm	Kiriş Montaj	2	adet Ø12	Giriş Kapısı Eni	30	cm
B Aks Uzunluğu	65	cm				Giriş Kapısı Yüksekliği	23	cm
C Aks Uzunluğu	60	cm	Düz Donatı Aralığı	30	cm			
D Aks Uzunluğu	55	cm	Pilye Donatı Aralığı	30	cm	Pencere 1 Eni	40	cm
E Aks Uzunluğu	62	cm				Pencere 1 Yüksekliği	16	cm
Dilatasyon	5	cm	Ø8	0,395		Pencere 1 Kasa Kalınlığı	0	cm
	10	cm	Ø10	0,617		Pencere 2 Eni	12	cm
Beton Hesabı İçin Veriler			Ø12	0,888		Pencere 2 Yüksekliği	50	cm
Kolon Eni	70	cm	Ø14	1,208		Pencere 2 Kasa Kalınlığı	50	cm
Kolon Boyu	70	cm	Ø16	1,578			7	cm
Dilatasyon Kolon Eni	35	cm	Ø18	1,998		Lento Yüksekliği	20	cm
Dilatasyon Kolon Boyu	70	cm						
Kat Yüksekliği	30	cm	Mesnet Sıklığı	10	cm	Dış Duvar Kalınlığı	25	cm
Kiriş Derinliği	0	cm	Sıklaştırma Sıklığı	8	cm	İç Duvar Kalınlığı	15	cm
Kiriş Eni	70	cm	Serbest Bölge Sıklığı	12	cm			
Perde Kalınlığı	30	cm	Kanca Boyu	20	cm	Ofis Kapı Yüksekliği	21	cm
Döşeme Derinliği	16	cm	Bodrum kolon Etriye Boyu	288	cm	Ofis Kapı Genişliği	0	cm
Yangın Kapı Yüksekliği	21	cm	Boyuna Donatı sayısı	24	adet	Ofis Kapı Kasa Kalınlığı	10	cm
Yangın Kapı Genişliği	11	cm				Ofis Kapı Kanat Genişliği	0	cm
Asansör Eni	20	cm	Kiriş Sıklaştırma Aralık	10	cm		12	cm
Asansör Boyu	0	cm	Kiriş Serbest Aralık	20	cm	Tuvalet Yüksekliği	23	cm
	40	cm				Tuvalet Uzunluğu	0	cm
Asansör Perde Kalınlığı	0	cm	Kiriş Gövde+Mont Donatı sayısı	4	adet Ø14	Tuvalet Duvar Kalınlığı	20	cm
	20	cm				Tuvalet Sayısı	0	cm
Donatı Hesabı İçin Veriler			Kiriş Boyuna Donatı Sayısı	4	adet Ø18	Tuvalet Kapı Eni	10	cm
Bodrum Paspayı	4	cm	Kiriş Etriye Kanca Boyu	15	cm	Tuvalet Kapı Yüksekliği	6	cm
Üst Katlar	3	cm	Bodrum Kiriş Etriye Boyu	198	cm	Tuvalet Kapı Kasa Kalınlığı	21	cm
Kolon Boyuna Donatı	11	Ø16	Üstkat kolon Etriye Boyu	296	cm	Tuvalet Kapı Yüksekliği	0	cm
Filiz Boyu	0	cm	Üstkat Kiriş Etriye Boyu	206	cm		2	cm
Etriye Sıklaştırmaları	6	cm				Kılıcına Duvar Kalınlığı	10	cm
Serbest Bölge Aralığı	12	cm	Perde X yönü Aralığı	20	cm			
Etriye Çapı	8	mm	Perde Y yönü Aralığı	30	cm	Süpürgelik Yüksekliği	8	cm
			Perde Dikey Filiz Boyu	60	cm			
			Perde Yatay Filiz Boyu	52,5	cm			

3.1.1. Beton metraji

Beton metraji Şekil 3.3'te verilmiştir. Kolon metrajında =KolonEn, =KolonBoy ve =KatYuk tanımları yazılarak beton hacmi yapılacak kolonların boyutları veriler

tabından otomatik olarak alınıp bir kolonun beton hacmi hesaplanmıştır. Benzer boyuttaki kolon sayısı ile çarpılıp toplam beton ihtiyacı elde edilmiştir. Farklı boyuttaki kolonlar için işlem tekrarlanmıştır. Kiriş metrajında, en =KirisEn, derinlik =KirisDerin ve açıklık =C_aks+KirisEn/2-1,5*KolonEn formülleri yardımıyla veriler bölümünden çekilerek bir kirişin beton metrajı elde edilmiştir. Benzer boyutlardaki kiriş sayısı ile çarpılarak toplam metraj hesaplandı. Farklı boyutlardaki kirişler için işlem tekrarlanmıştır. Döşeme Metrajında, A1B2 döşemesi için en =C_aks-KirisEn, boy =B_aks-KirisEn formülleri sayesinde kiriş hacmi ayrılmış bir alan oluşturuldu. Derinlik =DosemeDerin ile çarpılarak beton hacmi hesaplandı. Döşeme hacminin kolon hacmiyle kesiştiği hacimler minha edilerek hacim elde edildi. Benzer boyutlardaki döşeme sayısı ile çarpılarak toplam metraj hesaplandı. Farklı boyutlardaki döşemeler için işlem tekrarlanmıştır

STDSAPMA													=C_aks+KirisEn/2-1,5*KolonEn		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
1	BETON METRAJ														
2	KOLONLAR														
3		En	Boy	Yükseklik	Hacim	Benzeri	Toplam								
4	A1	70	70	300	1,47	24	35,28	m3							
5	D1	35	70	300	0,74	8	5,88	m3							
6						Genel Toplam	41,16	m3							
7	KIRIŞLER														
8		En	Derinlik	Açıklık	Hacim	Benzeri	Toplam								
9	A2B2	30	70	KolonEn	1,07	8	8,57	m3							
10	B2C2	30	70	480	1,01	8	8,06	m3							
11	D2E2	30	70	535	1,12	6	6,74	m3							
12	B1B2	30	70	560	1,18	16	18,82	m3							
13	B2B3	30	70	630	1,32	6	7,94	m3							
14						Genel Toplam	50,13	m3							
15	DÖŞEMELER														
16		En	Boy	Derinlik	Hacim	minha	azı	Benzeri	Toplam		Beton Minhaları				
17	A1B2	570	620	16	5,65	0,06	5,60	4	22,3872	m3	Tam Minha	0,0256 m3			
18	B1C2	520	620	16	5,16	0,04	5,12	4	20,48	m3	Yarım Minha	0,0128 m3			
19	A2B3	570	670	16	6,11	0,04	6,07	2	12,144	m3	Çeyrek Minha	0,0064 m3			
20	B2C3	520	670	16	5,57	0,03	5,55	2	11,0976	m3	Dilatasyon Tam	0,0032 m3			
21	C1D2	595	620	16	5,90	0,02	5,88	4	23,5136	m3	Dilatasyon Yarım	0,0016 m3			
22	D2E3	595	670	16	6,38	3,11	3,27	1	3,2712	m3	Asansör Beton Minhası	3,0912 m3			
23	C2D3	595	340	16	3,24	0,02	3,22	1	3,2208	m3					
24								Genel Toplam	96,1144	m3					
25	PERDELER														
26		Kalınlık	Yükseklik	Açıklık	Hacim	Benzeri	Toplam								
27	C2D2	30	300	570	5,13	2	10,26	m3							
28	D2D3	30	300	630	4,98	2	9,95	m3							
29	Asansör				9,96		9,96	m3							
30						Genel Toplam	30,17	m3							

Şekil 3.3. Beton metrajı

Perde metrajında, kalınlık =PerdeKalin, yükseklik =KatYuk ve Açıklık =E_aks+KirisEn/2-DilKolEn-KolonEn/2 formülleri yardımıyla hacmi hesaplanan perde benzer boyuttaki sayısı kadar çarpılarak toplan beton hacmi hesaplandı. Farklı boyutlardaki perdeler için işlem tekrarlanmıştır.

3.1.2. Kalıp metrajı

Yapım işindeki farklı boyutlara sahip kolon, kiriş, döşeme ve perdelerde kullanılacak kalıp alanının metraj hesabı yapılmıştır.

3.1.2.1.Kolon ve kirişlerin kalıp metrajı

Kalıp metrajı Şekil 3.4'te verilmektedir. Kalıp metrajı hesaplanacak kolona ait en =KolonEn, boy =KolonBoy ve yükseklik =KatYuk formülleri yardımıyla otomatik alınarak =(KolonEn+KolonBoy)*KatYuk/100^2 işlemi sonucunda kalıp alanı belirlenmiştir. Kolona komşu olan döşeme ve kiriş alanları =(KolonEn * DosemeDer + PerdeKalin * (KatYuksek - DosemeDerin) + KolonBoy * DosemeDerin + PerdeKalin * (KatYuksek - DosemeDerin)) / 100^2 ifadesiyle hesaplanıp minha edilmiştir. Farklı boyutlardaki kolonlar için işlem tekrarlanmıştır.

D35									
=KatYuksek									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
32	KALIP METRAJ								
33	KOLONLAR								
34		En	Boy	Yükseklik	Alan	Minha	Azı	Benzeri	Toplam
35	A1	70	70	300	8,40	1,93	6,47	4	25,89
36	A2	70	70	300	8,40	2,20	6,20	12	74,38
37	B2	70	70	300	7,95	0,65	7,30	6	43,82
38	C2	70	70	300	7,95	2,03	5,92	2	11,85
39	D1	35	70	300	6,30	1,18	5,12	4	20,47
40	D2	35	70	300	6,30	2,09	4,21	2	8,42
41	D3(DilSağı)	35	70	300	6,30	0,71	5,59	2	11,18
42								Toplam	196,01
43	KIRIŞLER								
44		En	Derinlik	Açıklık	Alan	Minha	Azı	Benzeri	Toplam
45	A1B1	30	70	510	8,67	0,82	7,85	4	31,42
46	A2B2	30	70	510	8,67	1,63	7,04	4	28,15
47	B1C1	30	70	480	8,16	1,54	6,62	4	26,50
48	B2C2	30	70	480	8,16	0,77	7,39	4	29,57
49	A1A2	30	70	560	9,52	0,90	8,62	8	68,99
50	B1B2	30	70	560	9,52	1,79	7,73	8	61,82
51	A2A3	30	70	630	10,71	1,01	9,70	2	19,40
52	B2B3	30	70	630	10,71	2,02	8,69	3	26,08
53	D2E2	30	70	570	9,69	1,82	7,87	2	15,73
54	D2D3	30	70	630	10,71	1,01	9,70	1	9,70
55								Toplam	285,95

Şekil 3.4. Kolon ve kiriş için kalıp metrajı

Kiriş kalıp alanı hesaplanırken en =KirisEn, boy =KirisDerin ve açıklık =C_aks+KirisEn/2-1,5*KolonEn yardımıyla veriler tabından çekilmiştir. Kalıp alanı A1B1 kirişinin kalıp alanı için =(KirisEn+2*KirisBoy)*(A_aks-KolonBoy)/100^2 işlemleri sonucunda hesaplanmıştır. Kirişe komşu olan döşeme alanı =DosemeDerin*D52/100^2 formülüyle hesaplanıp minha edilmiştir. Benzer sayıdaki kiriş sayısı ile çarpılarak toplam alan bulunmuştur. Farklı boyutlardaki kolonlar için işlem tekrarlanmıştır.

3.1.2.2. Döşeme ve perdelerin kalıp metrajı

Şekil 3.5'te döşeme ve perde için kalıp metrajı gösterilmektedir. Döşemelerin kalıp alanı hesabında en =C_aks-KirisEn ve boy =B_aks-KirisEn ifadeleri ile hesaplanır ve birbiriyle çarpılarak A1B2 döşeme alanı hesaplanmıştır. Döşeme alanının kolon izdüşümüyle kesiştiği yerler minha edilmiştir. Benzer boyuttaki döşeme sayısı ile çarpılarak kalıp alanı bulunmuştur. Farklı en ve boy değerlerine sahip döşemeler için işlem tekrarlanmıştır.

56	DÖŞEMELER									
57		En	Boy	Alan	minha	azı	Benzeri	Toplam		
58	A1B2	570	620	35,34	0,36	34,98	4	139,92	m2	
59	A2B3	570	670	38,19	0,24	37,95	2	75,9	m2	
60	B1C2	520	620	32,24	0,24	32,00	4	128	m2	
61	B2C3	520	670	34,84	0,16	34,68	2	69,36	m2	
62	C1D2	595	620	36,89	0,15	36,74	4	146,96	m2	
63	C2D3	595	670	39,865	19,735	20,13	1	20,13	m2	
64	D2E3	595	670	39,865	21,17	18,70	1	18,695	m2	
65							Genel Toplam	598,97	m2	
66										
67	PERDELER									
68		Kalınlık	Yükseklik	Açıklık	Alan	Minha	Azı	Benzeri	Toplam	
69	C2D2	30	300	535	32,1	1,71	30,39	2	60,78	m2
70	C2C3	30	300	630	37,8	2,02	35,78	1	35,78	m2
71	D2D3	30	300	630	37,8	4,04	33,76	1	33,76	m2
72	Asansör				94,08	3,22	90,86		90,86	m2
73								Genel Toplam	221,18	m2

Şekil 3.5. Döşeme ve perde için kalıp metrajı

Perde kalıp alanı metrajında kalınlık =PerdeKalin, yükseklik =KatYuk ve Açıklık =E_aks+KirisEn/2-DilKolEn-KolonEn ifadeleriyle oluşturulup toplam alanı bulunmuştur. C2D2 perdesine komşu döşeme derinliğinden oluşan ortak alan

=2*DosemeDerin * (E_aks + KirisEn/2 - DilKolEn - KolonEn) / 100^2 ifadesiyle hesaplanıp minha edilmiştir. Benzer boyuttaki perde sayısı ile çarpılıp kalıp alanı hesaplanmıştır. Açıklık mesafeleri farklı olan perdeler için yapılan işlem tekrarlanmıştır.

3.1.3. Donatı metrajları

Yapım işindeki farklı boyutlara sahip kolon, kiriş ve döşemelerde kullanılacak donatının metraj hesabı yapılmıştır.

3.1.3.1. Kolon için donatı metraji

Kolon için donatı metraji Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Etriye miktarının belirlenmesinde MAK(KatYuksek/4;KolonEn;KolonBoy) ile sıkılaştırma boyu ve =KatYuksek - 2 * SkBoy - KirisDerin ile serbest boy değeri hesaplanmıştır. =YUKARIYUVARLA (SikBoy / SiklastirmaS;0) * 2 + YUKARIYUVARLA (SerBoy / SerBolS;0) + YUKARIYUVARLA (KirisDerin / MesnetS;0) ifadesiyle etriye sayısı belirlenmiştir. Etriye sayısının belirlenmesiyle etriye toplam boyu =B128*ZUKolEtBoy/100 ifadesiyle metre cinsinden hesaplanmıştır. Toplam etriye boyu birim ağırlıkla çarpılarak (=B129*Ø8) toplam ağırlık hesaplanmıştır.

E118		fx =BoyDonSay*E117/100									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
114	KOLONLAR										
115	A1										
116	Etriye(Ø8)			Boyuna Donatı(Ø16)							
117	Sıkılaştırma Boyu	75 cm		Donatı Boyu	410 cm						
118	Serbest Boy	90 cm		Toplam Donatı Boyu	98,4 m						
119	Etriye Sayısı	31 adet		Donatı Ağırlığı	155,28 kg						
120	Etriye Boyu	91,76 m					Toplam Ağırlığı	191,52 kg	benzeri	24	
121	Etriye Ağırlığı	36,25 kg					Azı	4596,49 kg			
122	D1										
123	Etriye(Ø8)			Boyuna Donatı(Ø16)							
124	Sıkılaştırma Boyu	75 cm		Donatı Boyu	410 cm						
125	Serbest Boy	80 cm		Toplam Donatı Boyu	73,8 m						
126	Etriye Sayısı	31 adet		Donatı Ağırlığı	116,46 kg						
127	Etriye Boyu	70,06 m					Toplam Ağırlık	144,13 kg	benzeri	8	
128	Etriye Ağırlığı	27,67 kg					Azı	1153,04 kg			
129							GENEL TOPLAM	5749,53 kg			

Şekil 3.6. Kolon için donatı metraji

Boyuna donatının ağırlığının belirlenmesi için $=\text{KatYuksek}+\text{FilizBoy}$ ifadesiyle tek adet boyuna donatının uzunluğu hesaplanmıştır. Sisteme girdiğimiz boyuna donatı sayısı ile hesaplanan uzunluk değeri çarpılarak $(=\text{BoyDonSay}*\text{E117}/100)$ toplam donatı boyu belirlenmiştir. Belirlenen toplam donatı uzunluğu birim ağırlıkla çarpılarak $(=\text{E118}*\text{Ø16})$ donatı ağırlığı hesaplanmıştır. Benzer boyutlardaki kolon sayısı ile çarpılarak toplam değer hesap elde edilmiştir. Farklı boyuttaki kolonlar için işlem tekrarlanmıştır.

3.1.3.2. Kiriş için donatı metrajı

Şekil 3.7’de A1B1 kirişinin donatı metrajı görülmektedir. Etriye için aks açıklığı $=\text{C_aks}+\text{KirisEn}/2-1,5*\text{KolonBoy}$ ifadesiyle, sıkılaştırma boyu $=\text{EĞER}((\text{KirisDerin}-\text{UstPP})*2*2>\text{B134};\text{B134};(\text{KirisDerin}-\text{UstPP})*2*2)$ ifadesiyle hesaplanmıştır. Serbest boy (B136) ise aks açıklığı (B134) ile sıkılaştırma boyu (B135) arasındaki fark $(=\text{B134}-\text{B135})$ kadardır. $=\text{YUKARIYUVARLA}(\text{B135} / \text{KirSkAra};0) + \text{YUKARIYUVARLA}(\text{B136} / \text{KirSerAra};0)$ ifadesiyle daha önceden sisteme girdiğimiz etriye aralığı verilerine göre etriye sayısı belirlenmiştir. Kirişte kullanılacak toplam etriye boyu $(=\text{B137}*\text{ZUKirEtBoy}/100)$ etriye sayısı ile etriye boyu çarpımı kadardır. Toplam uzunluğunun birim ağırlıkla çarpılması sonucu $(=\text{B138}*\text{Ø8})$ etriye ağırlığı belirlenmiştir.

E134		=C_aks+KirisEn/2-UstPP+1,5*KirisDerin*2									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
131	KIRIŞLER										
132	A1B1										
133	Etriye(Ø8)			Boyuna Donatı							
134	Aks Açıklığı	510	cm	Donatı Boyu(Ø18)	822	cm					
135	Sıkılaştırma Boyu	268	cm	Toplam Donatı Boyu	32,88	m					
136	Serbest Boy	242	cm	Montaj Boyu(Ø14)	600	cm					
137	Etriye Sayısı	40	Adet	Toplam Montaj Boyu	24	m					
138	Etriye Boyu	82,4	m	Toplam BoyDon Ağırlı	94,69	kg	Toplam ağırlık	127,23	kg	benzeri	8
139	Etriye Ağırlığı	32,55	kg				azı	1017,87	kg		

Şekil 3.7. Kiriş için donatı metrajı

Kirişte kullanılacak Ø18’lik donatı boyu hesabı $=\text{C_aks}+\text{KirisEn}/2-\text{UstPP}+1,5*\text{KirisDerin}*2$ ifadesiyle bulunmuştur. Önceden tasarlanan donatı sayısı,

donatı boyuyla çarpılarak ($=\text{KirBoyDon} * \text{E134} / 100$) toplam Ø18'lik donatı boyu belirlenmiştir. Montaj donatısının uzunluğu C aksının uzunluğu kadardır. $=\text{KirGovMonDon} * \text{E136} / 100$ ifadeyle de toplam montaj donatı boyu hesaplanmıştır. Toplam uzunlukları hesaplanan donatılar birim ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıkları hesaplanmıştır. Benzer boyuttaki kiriş sayısıyla çarpılarak toplam ağırlık belirlenmiştir.

3.1.3.3. Döşeme için donatı metrajı

Şekil 3.8'de A1B2 döşemesi için donatı metraj hesabı verilmektedir. X doğrultusunda düz donatı uzunluğu $=\text{C_aks} + \text{KirisEn} + 2 * \text{KirisDerin}$, pilye donatı uzunluğu $=\text{C_aks} + \text{KirisEn} + \text{KirisDerin} + \text{C_aks} / 4 + \text{DosemeDerin} * 0,82$ ifadeleriyle belirlenmiştir. Y doğrultusundaki düz donatı uzunluğu $=\text{B_aks} + \text{KirisEn} + 2 * \text{KirisDerin}$, pilye donatı uzunluğu $=\text{B_aks} + \text{KirisEn} + \text{KirisDerin} + \text{B_aks} / 4 + \text{DosemeDerin} * 0,82$ ifadeleriyle hesaplanmıştır.

B78		f_x		=C_aks+KirisEn+2*KirisDerin						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
75	DONATI METRAJ									
76	DÖŞEMELER									
77	A1B2	Düz	Pilye							
78	X Doğrultusundaki Boy	770	863,1		Y Boyu	620	cm	Y sayı	21	
79	Y Doğrultusundaki Boy	820	925,6		X Boyu	570	cm	X sayı	20	
80	Ø10 Boyu	692,08	m							
81	Ø10 Ağırlığı	427,01	kg	benzeri	4					
82	TOPLAM	1708,05	kg							

Şekil 3.8. Döşeme için donatı metrajı

X doğrultusunda yerleştirilecek donatı sayısı, x boyu $=\text{C_aks} - \text{KirisEn}$ ifadesiyle hesaplanarak bu değer $=\text{YUKARIYUVARLA}((\text{F79} / \text{DuzDonAralik} + 0,001); 0)$ ifadesiyle donatı aralığına bölünmesi sonucu elde edilmiştir. F79 ifadesi Y doğrultusundaki boyu, +0,001 terimi ise sonucun tamsayı olması durumunda donatı sayısının bir fazlasının hesaplanacağını ifade etmektedir. Aynı şekilde y doğrultusunda yerleştirilecek donatı sayısı, y boyu $=\text{B_aks} - \text{KirisEn}$ ifadesiyle hesaplanarak bu değer $=\text{YUKARIYUVARLA}((\text{F78} / \text{DuzDonAralik} + 0,001); 0)$ ifadesiyle donatı aralığına bölünmesi sonucu elde edilmiştir. Toplam donatı uzunluğunun hesabı için belirlenen düz donatı ve pilye uzunluğu ve sayıları, x ve y

doğrultusu için çarpılarak metre cinsinden belirlenmiştir. Belirlenen bu değer birim ağırlıkla çarpılarak A1B2 döşemesi için toplam ağırlıklık bulunmuştur.

3.1.4. Duvar metraji

Yapım işine ait dış ve iç duvar alanlarının metraji hesaplanmıştır.

3.1.4.1. Dış duvar metraji

Şekil 3.9’da A1B1 yüzeyine ait dış duvar metraji gösterilmektedir. Açıklık $=C_{aks}+KirisEn/2-1,5*KolonEn$, yükseklik ise $=KatYukseK-KirisDerin$ ifadeleriyle belirlenip çarpılarak dış duvar alanı hesaplanmıştır. Dış duvar yüzeyinde bulunan pencere ve lento alanları minha edilerek net duvar alanı bulunmuştur. Benzer boyuttaki yüzey sayısı ile çarpılarak toplam yüzey alanı belirlenmiştir. Farklı açıklık, yükseklik ve minha değerleri olan yüzeylere işlem tekrarlanmıştır.

1	DIŞDUVAR									
2		Açıklık	Yükseklik	Alan						
3	A1B1	510	230	11,73	m2					
4		En	Boy	Alan						
5	Minha P1	400	160	6,4	m2	Çoğu	4,31	m2	Benzeri	4
6	Minha Lento	510	20	1,02	m2	Toplam Alan	17,24	m2		
7										
8		Açıklık	Yükseklik	Alan						
9	B1C1	480	230	11,04	m2					
10		En	Boy	Alan						
11	Minha P1	400	160	6,4	m2	Çoğu	3,68	m2	Benzeri	2
12	Minha Lento	480	20	0,96	m2	Toplam Alan	7,36	m2		

Şekil 3.9. Dış duvar alanı metraji

3.1.4.2. İç duvar metraji

Şekil 3.10’da A2B2, B2C2 ve B2C3 yüzeylerine ait iç duvar metraji gösterilmektedir. B2C2 yüzeyine ait açıklık $=D_{aks}-KolonEn$, yükseklik ise $=KatYukseK-KirisDerin$ ifadeleriyle belirlenip çarpılarak iç duvar alanı hesaplanmıştır. iç duvar yüzeyinde bulunan orta kapı ve lento alanları minha edilerek

alan bulunmuştur. Benzer boyuttaki yüzey sayısı ile çarpılarak toplam yüzey alanı belirlenmiştir. Farklı açıklık, yükseklik ve minha değerleri olan yüzeylere işlem tekrarlanmıştır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
39	İÇDUVAR									
40		Açıklık	Yükseklik	Alan						
41	A2B2	510	230	11,73	m2	Çoğu	11,73	m2	Benzeri	4
42						Toplam Alan	46,92	m2		
43										
44		Açıklık	Yükseklik	Alan						
45	B2C2	480	230	11,04	m2					
46		En	Boy	Alan						
47	Minha Ortakapı	100	210	2,1	m2	Çoğu	7,98	m2	Benzeri	4
48	Minha Lento	480	20	0,96	m2	Toplam Alan	31,92	m2		
49										
50		Açıklık	Yükseklik	Alan						
51	B2B3	630	230	14,49	m2					
52		En	Boy	Alan						
53	Minha Okapı	100	210	2,1	m2	Çoğu	11,13	m2	Benzeri	3
54	Minha Lento	630	20	1,26	m2	Toplam Alan	33,39	m2		

Şekil 3.10. İç duvar alanı metraji

3.1.5. Sıva metraji

Yapım işine ait dış ve iç sıva alanlarının metraji hesaplanmıştır.

3.1.5.1. Dış sıva metraji

Şekil 3.11’de A1A4 ve A1G1 yüzeyinin dış sıva metraji gösterilmektedir. A1A4 yüzeyinin boyu $=2 \cdot B_{aks} + A_{aks} + KirisEn$ ifadesiyle, yüksekliği $=KatYuksek$ ifadesiyle hesaplanmıştır. Boy hesaplanırken bina yüzeyi tek parça olarak alınmıştır. Gerekli minhalar düşülerek toplam alan belirlenmiştir. A1G1 yüzeyinin eni $=2 \cdot (C_{aks} + D_{aks} + E_{aks}) + KirisEn$ ifadesiyle, yüksekliği $=KatYuksek$ ifadesiyle hesaplanmıştır. En hesaplanırken bina yüzeyi tek parça olarak alınmıştır. Gerekli minhalar düşülerek toplam alan belirlenmiştir.

205	DIŞ SIVA												
206		En	Boy	Yükseklik	Alan								
207	A1A4		2030	300	60,90	m2							
208	Minha Pencere	50	50		1,50	m2	Toplam	61	m2	benzeri	2		
209	Minha+ PencereDışı	18	50	50	1,62	m2	Genel toplam	122	m2				
210													
211		En	Boy	Yükseklik	Alan								
212	A1G1	3580		300	107,40	m2							
213	Minha Pen1	400	160		25,60	m2							
214	Minha Pen2	50	50		1,00	m2							
215	Minha+ P1Dışı	13	400	160	3,74	m2	Toplam	86	m2	benzeri	2		
216	Minha+ P1Dışı	18	50	50	1,08	m2	Genel toplam	171	m2				

Şekil 3.11. Dış siva alanı metrajı

3.1.5.2. İç siva metrajı

Şekil 3.12’de A1C2 köşegeninin içinde kalan duvar ve tavan sıvalarının metrajı gösterilmektedir. Duvarların iç sıvasında $en = C_{aks} + D_{aks} + KirisEn/2 - DisDuvKal - İcDuvKal/2$, $boy = B_{aks} + KirisEn/2 - DisDuvKal - İcDuvKal/2$ ve $yükseklik = KatYuksek - DosemeDer$ ifadeleriyle hesap edilmiştir. Pencere ve kapı yüzeyleri minha edilmiştir. B1 ve B2 kolonu üstündeki karşılıklı iki yüzey ise metrajla eklenerek toplam yüzey alanı bulunmuştur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
128	İÇ SIVA													
129		En	Boy	Yükseklik	Alan									
130	A1C2	1133	632,5	284	100,25	m2								
131	Minha Pencere	400	160		12,80	m2								
132	Minha Kapı	100	210		4,20	m2								
133	Minha+ B1 (İkiYüzlü)		45	284	2,56	m2								
134	Minha+ B2 (İkiYüzlü)		27,5	284	1,56	m2	Azı	87	m2					
135		En	Boy		Alan									
136	TAVAN A1C2	1133	632,5		71,63	m2								
137	Minha A1 kolon	45	45		0,20	m2								
138	Minha B1 kolon	70	45		0,32	m2								
139	Minha C1 kolon	27,5	45		0,12	m2								
140	Minha A2 kolon	45	27,5		0,12	m2								
141	Minha B2 kolon	70	27,5		0,19	m2				Toplam	157,9675	m2	benzeri	4
142	Minha C2 kolon	27,5	27,5		0,08	m2	Azı	71	m2	Genel Toplam	631,87	m2		

Şekil 3.12. İç siva alanı metrajı

A1C2 köşegenini kapsayan tavan sıva metrajı için $en = C_{aks} + D_{aks} + KirisEn/2 - DisDuvKal - İcDuvKal/2$, $boy = B_{aks} + KirisEn/2 - DisDuvKal - İcDuvKal/2$ ifadeleri kullanılarak alanı hesaplanmıştır. A1, B1, C1, A2, B2 ve C2 kolonlarının izdüşümleri minha edilerek toplam sıva alanı hesaplanmıştır. Farklı en, boy ve minha değerleri olan yüzeylere işlem tekrarlanmıştır.

3.1.6. Parke metrajı

Şekil 3.13'te A1C2 yüzeyinin parke alanı metrajı hesaplanmıştır. En değeri $= C_{aks} + D_{aks} + KirisEn/2 - DisDuvKal - İcDuvKal/2$, boy değeri $= B_{aks} + KirisEn/2 - DisDuvKal - İcDuvKal/2$ ifadeleriyle hesaplanmıştır. A1, B1, C1, A2, B2, C2 ve kapı eşiği alanları minha edilerek parke metrajı hesaplanmıştır. Farklı en, boy ve minha değerleri olan yüzeylere işlem tekrarlanmıştır.

64	PARKE									
65		En	Boy	Alan						
66	A1C2	1132,5	632,5	71,63	m2					
67		En	Boy	Alan						
68	Minha A1 kolon	45	45	0,2025	m2					
69	Minha B1 kolon	70	45	0,315	m2					
70	Minha C1 kolon	27,5	45	0,1238	m2					
71	Minha A2 kolon	45	27,5	0,1238	m2					
72	Minha B2 kolon	70	27,5	0,1925	m2					
73	Minha C2 kolon	27,5	27,5	0,0756	m2	Çoğu	70,74	m2	Benzeri	4
74	Minha+ KapıEşiği	15	94	0,141	m2	Toplam Alan	283	m2		

Şekil 3.13. Parke alanı metrajı

3.1.7. Karo seramik metrajı

Şekil 3.14'te seramik alanı metrajı gösterilmektedir. B2C3 kapsamındaki alanının eni $= D_{aks} - İcDuvKal$, boyu $= A_{aks} - İcDuvKal$ ifadeleriyle belirlenip çarpılması sonucu alan hesaplanmıştır. Parke alanının izdüşümünde bulunan B2, C2, B3, C3 ve kapı eşiği alanları minha edilip benzer ölçülerdeki alan sayısı ile çarpılarak toplam seramik alanı metrajı çıkarılmıştır. Farklı en, boy ve minha değerlerine sahip seramik alanların metrajı için işlem tekrarlanmıştır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
86	KARO SERAMİK									
87		En	Boy	Alan						
88	B2C3	535	685	36,65	m2					
89		En	Boy	Alan						
90	Minha B2 kolon	27,5	27,5	0,08	m2					
91	Minha C2 kolon	27,5	27,5	0,08	m2					
92	Minha B3 kolon	27,5	27,5	0,08	m2					
93	Minha C3 kolon	27,5	27,5	0,08	m2	Çoğu	36,77	m2	Benzeri	2
94	Minha+ KapıEşiği	94	15	0,42	m2	Toplam Alan	73,54	m2		

Şekil 3.14. Seramik alanı metrajı

Zemin kat ve on beş üst kattan oluşan bir iş merkezinin ince ve kaba işlerinin metrajı hesap cetveli kullanarak hesaplanmıştır. Şekil 3.15'te bir katın yapımında kullanılan beton hacmi, kalıp alanı, donatı miktarları, dış ve iç duvar alanı, lamine parke-seramik alanları, boya alanı ve bu işlerde kullanılacak diğer malzemelerin metraj özeti gösterilmektedir.

METRAJ ÖZETİ				
BETON	217,58	m3	Beton Harcı	217,58 m3
KALIP	1302,11	m2	Plywood kalıp Malzemesi	1432,32 m2
			Yağ Bazlı Kalıp Ayırıcısı	0,13 Ton
			Çatal Çivi	0,13 Ton
			Çivi	0,26 Ton
DONATI	9536,58	kg	Nervürlü (Ø8-Ø12)	10,01 Ton
	11943,35	kg	Nervürlü (Ø14-Ø28)	12,78 Ton
DIŞDUVAR	151,82	m2	30cm Kal.GazbetonDuvar Bloğu	46,91 m3
			Gazbeton Tutkalı	1,00 Ton
İÇDUVAR	170,19	m2	190x135x190 yatay del. Tuğla	29,89 m3
			Kireç Harcı İçin.10.041/al(y)	
			Kum	2,72 m3
			Portland Çimentosu	0,68 ton
			Sönmüş Toz kireci	0,21 ton
LAMİNE PARKE	436,24	m2	Parke Elemanı	479,86 m2
			2mm kal. Parke Altı Şiltesi	458,05 m2
SERAMİK	214,55	m2	Porselen Karo(30x30-33x33)	225,28 m2
			Karo Yapıştırıcısı	0,86 Ton
			Derz Dolgusu	0,09 Ton
İÇ CEPHE SIVASI	1977,64	m2	K.H.için	
			Kum	45,49 m3
			Portland Çimentosu	9,10 ton
			Sönmüş Toz Kireç	5,82 ton
			Su	13,19 m3
			İnce Harç için	
			Kum	19,78 m3
			Portland Çimentosu	4,94 ton
			Sönmüş Toz Kireç	1,50 ton
			Su	5,04 m3
DIŞ CEPHE SIVASI	293,29	m2	350Kg Çim.Doşlu İnce.Harç İçin	
			İnce Sıva veya Derz Kumı	6,75 m3
			Portland Çimentosu	2,36 Ton
			Su	1,65 m3
			250Kg Çim.Doşlu Harç için	
			Kum	2,93 m3
			Portland Çimentosu	0,73 Ton
			Su	0,63 m3
BOYA	1959,83	m2	Zımpara kağıdı	1960,00 adet
			Boya Astan	0,29 Ton
			İç Cephe Macunu	0,69 Ton
			İç Cephe Boyası	0,39 Ton

Şekil 3.15. Metraj özeti

3.2. Adam.Saat ve Makine.Saat Değerlerinin Hesaplanması

Hesaplanan metraj değerlerine karşılık gelen işçiliğin, adam.saat cinsinden değeri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın poz tariflerinden yararlanarak kaba ve ince iş kalemleri için hesaplanmıştır. Şekil 3.16'da kalıp işleri için poz tarifleri gösterilmektedir.

STDSAPMA				
	A	B	C	D
1		KALIP İŞLERİ (M2)		
2	Rayıç No	Tanımı	Birimi	Miktar
3		Malzeme:		
4	04.168/B3	Film kaplı 21 mm Plywood kalıp malzemeleri (TS 46)	m ²	1,2
5		1,20/30= 0,04 m2		
6	04.168/B3	Film kaplı 21 mm Plywood kalıp malzemeleri (TS 46)	m ²	0,40
7		Bağlantı malzemeleri vb. karşılığı %10		
8	04.116/1	Yağ bazlı kalıp ayırıcı (konsantre kalıp yağı, ahşap-plastik)	kg	0,10
9	04.168/C	I kesitli ahşap kiriş (alt ve üst başlıklar min.40x80 mm) (T3S 46)	m	1,10
10		(Alt ve üst başlıklar min. 40x80 mm fırınlanmış ladin, köknar vb. kereste gövde suya dayanıklı sunta veya kontrplak min. 30 mm kalınlıkta) (1,10 / 10)		
11	4.272	Çatal çivi (TS 155)	kg	0,10
12	4.270	Çiviler (TS 155)	kg	0,20
13		İşçilik:		
14		Yapılması ve sökülmesi	Hızlandırma	4,50
15	1.009	Marangoz ustası	Saat	=E15/\$D\$14 1,10
16	1.209	Marangoz usta yardımcısı	Saat	0,24 1,10
17	1.501	Düz işçi	Saat	0,17 0,75

Şekil 3.16. Kalıp işleri için poz tarifi

Poz listesindeki işçilik gereksinimleri işçilerin çalışmadığı süreleri de ekleyip belirttiği için yüksek işçilik gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Bu durumu engellemek için poz tarifinden alınan marangoz ustası, marangoz usta yardımcısı ve düz işçi adam saatleri =E15/\$D\$14, =E16/\$D\$14 ve =E17/\$D\$14 formülü yardımıyla 4.5'e bölünerek işçi ihtiyaç tahminleri azaltılmıştır. Poz tarifine göre 1 metrekare kalıp yapım işi için marangoz ustası 1.1, marangoz ustası yardımcısı 1.1 ve düz işçi 0.75 saat çalışması gerekirken işçilik azaltılması sonrası ihtiyaçlar sırasıyla 0.24, 0.24 ve 0.17 saat olmuştur. Sonrasında bu değerler bir metrekarelik kalıp işi yapımında kullanılacak birim işçilik değerleri olarak sisteme tanıtılmıştır. Üst kat için

hesaplanan metraj miktarlarını da kullanarak gereken marangoz ustası, yardımcısı ve düz işçilik değerleri sırasıyla $=\text{BirimMarU} \cdot \text{UstKalipTop}$, $=\text{BirimMarUyrd} \cdot \text{UstKalipTop}$ ve $=\text{BirimKalDİ} \cdot \text{UstKalipTop}$ formülleri yardımıyla hesaplanmıştır. Şekil 3.17’de üst kat kalıp işlerinin adam ve saat miktarları gösterilmektedir. Şekil 3.15’te belirtilen metraj özetinde yer alan tüm inşaat işleri için işçilik miktarları, kalıp işine benzer şekilde hesaplanmıştır.

F15		=BirimMarU*UstKalipTop		
	A	B	C	F
1		Kalıp İşleri (m2)		Üst Kat
2	Rayıç No	Tanımı	Birimi	Miktar
3		Malzeme:		
4	04.168/B3	Film kaplı 21 mm Plywood kalıp malzemeleri (TS 46)	m ²	1562,53
5		1,20/30= 0,04 m2		
6	04.168/B3	Film kaplı 21 mm Plywood kalıp malzemeleri (TS 46)	m ²	
7		Bağlantı malzemeleri vb. karşılığı %10		
8	04.116/1	Yağ bazlı kalıp ayırıcı (konsantre kalıp yağı, ahşap- I kesitli ahşap kiriş (alt ve üst başlıklar min.40x80 mm)	kg	130,21
9	04.168/C	(T3S 46)	m	1432,32
10		(Alt ve üst başlıklar min. 40x80 mm fırınlanmış ladin, köknar vb. kereste gövde suya dayanıklı sunta veya kontraplak min. 30 mm.kalınlıkta) (1,10 / 10		
11	4.272	Çatal çivi (TS 155)	kg	130,21
12	4.270	Çiviler (TS 155)	kg	260,42
13		İşçilik:		
14		Yapılması ve sökülmesi		
15	1.009	Marangoz ustası	Saat	318,29
16	1.209	Marangoz usta yardımcısı	Saat	318,29
17	1.501	Düz işçi	Saat	217,02

Şekil 3.17. Kalıp işlerinin adam saat değerleri

3.3. Problemlerin Oluşturulması

Adam.saat ve makine.saat değerleri hesaplanan aktivitelere; birinci problem için 4, ikinci problem için 5 yapım süresi alternatifi oluşturulmuştur. Oluşturulan alternatiflerin kaç işçiyle ve kaç günde tamamlanacağı hesaplanmıştır. Yapım alternatiflerinin oluşumu problemlerin tanıtıldığı 3.3.1 ve 3.3.2 başlıkları altında detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Müteahhit kendi tuttuğu geçmiş verilerinin ortalama değerlerini ilgili veri giriş hücrelerine aktardığında tüm iş kalemlerinin yapım alternatifleri geliştirilen sistem tarafından otomatik olarak oluşturulacaktır.

Problemlerin her ikisinde de temel çalışmaları ve bodrum katların yapımında yer alan iş aktiviteleri dâhil edilmemiştir. Bu çalışmalardaki iş aktiviteleri Çizelge 3.2’de gösterilen yapım süreleri dikkate alınarak iş programına eklenmiştir.

Çizelge 3.2. Temel çalışmalarındaki iş paketleri ve süreleri

İş paketi	Süre (gün)
Kazı işleri	20
Çakıl-Grobeton Dökümü	1
Su Yalıtımı	3
Temel İçin Kalıp İşleri	3
Temel İçin Donatı İşleri	10
Temel İçin Mekanik İşleri	3
Beton Dökümü	1
Beton Kürü	3
Temel İçin Kalıp Sökme İşleri	2

Çizelge 3.3’te problemlerde kullanılan iş paketleri açıklamaları ve bu iş paketlerine karşılık gelen iş paketi numaraları gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. İş paketi numarası ve açıklaması

İş Paketi Numarası	İş Paketi Açıklaması
1	Bodrum Kat Kalıp Aktivitesi
2	Zemin Kat Kalıp Aktivitesi
3	Üst Kat Kalıp Aktivitesi
4	Bodrum Kat Donatı Aktivitesi
5	Zemin Kat Donatı Aktivitesi
6	Üst Kat Donatı Aktivitesi
7	Zemin Kat İç Duvar Aktivitesi
8	Üst Kat İç Duvar Aktivitesi
9	Zemin Kat Dış Duvar Aktivitesi
10	Üst Kat Dış Duvar Aktivitesi
11	Zemin Kat Laminant Parke Aktivitesi
12	Üst Kat Laminant Parke Aktivitesi
13	Zemin Kat Seramik Aktivitesi
14	Üst Kat Seramik Aktivitesi
15	Zemin Kat Granit Aktivitesi
16	Zemin Kat Sıva Aktivitesi
17	Üst Kat Sıva Aktivitesi
18	Zemin Kat Boya Aktivitesi
19	Üst Kat Boya Aktivitesi

İş merkezinin inşasında yapılması gereken zemin ve üst katların donatı ve kalıp işleri, zemin ve üst katların iç duvar, dış duvar, laminat parke, granit kaplama seramik kaplama, sıva ve boya işlerinden oluşacak iki problemde de her aktivitenin farklı alternatiflere sahip olması, yapım süresi ve maliyeti açısından fırsatlar yaratacaktır. Bu alternatiflerin oluşumu işçi sayısının artırılması, mesai yaptırılması veya gelişmiş yapım yöntemleri kullanılarak sağlanabilir. Bu çalışmada aktivitelerin alternatif yapım seçenekleri; işçi sayısının artışı, gelişmiş yapım yöntemleri ve mesai yaptırılmasına bağlı olarak oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, Çizelge 3.3'teki iş kalemleri ve bu iş kalemlerinin alternatif yapım seçenekleri sayısının farklı olduğu iki problemin optimum sonucu aranmıştır.

3.3.1. Birinci problem

İlk problemde, hesaplanan adam.saat ve makine.saat değerlerine göre her aktivite için 4 alternatif oluşturuldu. 2. Alternatif, 1.alternatifin işçi sayısı sabit tutulup mesai yaptırılarak; 3 ve 4. alternatif ise işçi sayısının artırılmasıyla oluşturuldu. Artan işçi sayısı ile birlikte çalışma veriminin düşeceği göz önünde bulundurularak, adam.saat ve makine.saat değerleri 3 ve 4. alternatif için belirlenen iş verimi değeri 0,95'e bölünerek hesaplandı. Günlük çalışma süresi 8 saat, mesaili çalışma süresi de 10 saat olarak kabul edildi. Şekil 3.18'de 4 alternatif için aktivitelerin tamamlanma süresini; adam.saat değeri, iş verimi, işçilerin günlük normal ve mesaili çalışma süresi dikkate alınarak hesap cetvelinde otomatik olarak oluşturulan formülasyon gösterilmektedir.

Üst kat kalıp işindeki aktivitelerin oluşumu sırasında, 1. Alternatif için =YUKARIYUVARLA(adam.saat!C5/GCS/"Ekip&Süre"!C3;0) formülü yardımıyla mevcut işçi durumuna göre süre belirlendi. Bu ifade de C5, incelenen aktivitenin toplam adam.saat değeri; C3 ise işçi sayısını ifade etmektedir. 2. alternatifin süresi, işçi sayısının sabit kalarak fazla mesai yaptırılarak oluşmuştur. Bu nedenle günlük çalışma süresi (GCS) yerine mesaili çalışma süresi (MCS) tanımlanarak formül =YUKARIYUVARLA(adam.saat!C5/MCS/"Ekip&Süre"!E3;0) halini almıştır. 3. alternatifin oluşumu, işçi sayısının artırılması sonucu oluşturulmuştur. Bu nedenle süre hesaplanırken kalabalıklaşan işçi grubunun iş veriminin düşeceği göz önüne alınarak formülasyona verim değeri tanımlanmıştır. Bundan dolayı formül

=YUKARIYUVARLA((adam.saat!C5/Verim)/GCS/'Ekip&Süre'!G3;0) halini almıştır. 4. alternatif oluşumu, 3. alternatifteki işçi sayısının artırılması sonucu elde edilmiştir. Bu nedenle sürenin hesaplanmasında kullanılan formül =YUKARIYUVARLA((adam.saat!C5/Verim)/GCS/'Ekip&Süre'!I3;0) halini alarak artan işçi sayısı I3 hücresinde eklenmiştir.

STDSAPMA									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		1.A		2.A		3.A		4.A	
2		Süre(Gün)	Ekip(Kişi)	Süre(Gün)	Ekip(Kişi)	Süre(Gün)	Ekip(Kişi)	Süre(Gün)	Ekip(Kişi)
3	Kalıp Bodrum	24	6	19	6	=YUKARIYU	12	10	16
4	Kalıp Zemin	18	6	15	6	10	12	8	16
5	Kalıp Üstkat	18	6	15	6	10	12	8	16
6	Donatı Bodrum	18	4	14	4	7	11	5	16
7	Donatı Zemin	16	4	13	4	6	11	5	16
8	Donatı Üstkat	16	4	13	4	6	11	5	16
9	İçduvar Zemin	7	5	6	5	5	8	3	14
10	İçduvar Üstkat	9	5	7	5	6	8	4	14
11	Dışduvar Zemin	8	4	7	4	5	7	4	10
12	Dışduvar Üstkat	8	4	7	4	5	7	4	10

Şekil 3.18. İş aktivitelerinin tamamlanma sürelerinin belirlenmesi

Alternatiflerin maliyetleri, 1. Alternatifte fazla mesaisiz günlük çalışma ücreti 100 TL, 2, 3 ve 4. Alternatiflerde mesaili çalışma ücreti 135 TL üzerinden hesaplandı. Çizelge 3.4'de 4 alternatif için ekip sayıları ve maliyet değerleri, Çizelge 3.5'te ise süre ve maliyet değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Birinci problemdeki alternatiflerin ekip sayıları ve maliyet değerleri

İş paketi	Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3		Alternatif 4	
	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)
1	6	14.400	6	15.390	12	21.060	16	21.600
2	6	10.800	6	12.150	12	16.200	16	17.280
3	6	10.800	6	12.150	12	16.200	16	17.280
4	4	7.200	4	7.560	11	10.395	16	10.800
5	4	6.400	4	7.020	11	8.910	16	10.800
6	4	6.400	4	7.020	11	8.910	16	10.800
7	5	3.500	5	4.050	8	5.400	14	5.670
8	5	4.500	5	4.725	8	6.480	14	7.560
9	4	3.200	4	3.780	7	4.725	10	5.400
10	4	3.200	4	3.780	7	4.725	10	5.400
11	5	2.500	5	2.700	7	3.780	10	4.050
12	5	3.500	5	4.050	7	4.725	10	5.400
13	5	4.000	5	4.050	9	6.075	12	6.480
14	5	3.000	5	3.375	9	4.860	13	5.265
15	5	3.500	5	4.050	8	5.400	14	5.670
16	7	14.000	7	15.120	11	20.790	16	21.600
17	7	14.700	7	16.065	11	20.790	16	21.600
18	7	7.000	7	7.560	12	9.720	17	11.475
19	7	7.000	7	7.560	12	11.340	17	11.475

Çizelge 3.5. Birinci problemdeki alternatiflerin yapım süreleri ve maliyet değerleri

İş paketi	Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3		Alternatif 4	
	Süre (gün)	Maliyet (TL)	Süre (gün)	Maliyet (TL)	Süre (gün)	Maliyet (TL)	Süre (gün)	Maliyet (TL)
1	24	14.400	19	15.390	13	21.060	10	21.600
2	18	10.800	15	12.150	10	16.200	8	17.280
3	18	10.800	15	12.150	10	16.200	8	17.280
4	18	7.200	14	7.560	7	10.395	5	10.800
5	16	6.400	13	7.020	6	8.910	5	10.800
6	16	6.400	13	7.020	6	8.910	5	10.800
7	7	3.500	6	4.050	5	5.400	3	5.670
8	9	4.500	7	4.725	6	6.480	4	7.560
9	8	3.200	7	3.780	5	4.725	4	5.400
10	8	3.200	7	3.780	5	4.725	4	5.400
11	5	2.500	4	2.700	4	3.780	3	4.050
12	7	3.500	6	4.050	5	4.725	4	5.400
13	8	4.000	6	4.050	5	6.075	4	6.480
14	6	3.000	5	3.375	4	4.860	3	5.265
15	7	3.500	6	4.050	5	5.400	3	5.670
16	20	14.000	16	15.120	14	20.790	10	21.600
17	21	14.700	17	16.065	14	20.790	10	21.600
18	10	7.000	8	7.560	6	9.720	5	11.475
19	10	7.000	8	7.560	7	11.340	5	11.475

Süre, işçi ve maliyet değerleri belirlenen alternatifler en düşük maliyet değerine sahip olandan başlayarak en yüksek maliyet değerine doğru 1, 2, 3 ve 4 alternatif numaraları verildi. 1 ile 4 arasında rastgele seçilen sayılara göre olası yapım

seçenekleri oluşturuldu. Rastgele oluşturulan yapım seçenekleri sabitlenerek bu değerler üzerinden kaba ve ince inşaat işleri için iş programı oluşturuldu.

KABA İşLER		
Aktivite	Başlangıç	Tamamlama
Kazı	0	20
akıl-Grobeton	20	21
Su Yalıtımı	21	24
Donatı (Temel)	24	34
Temel Kalıbı	32	34
Mekanik (Temel)	24	27
Beton Dökme	34	35
Temel Beton Kr	35	38
Kalıp Sökme (T)	35	37
B3 Donatı	38	41
B3 Kalıp	37	41
B3 Beton	41	42
B3 Kr	42	45
B3 Kalıp Sökme	42	46
B2 Donatı	47	50
B2 Kalıp	46	50
B2 Beton	50	51
B2 Kr	51	54
B2 Kalıp Sökme	51	55

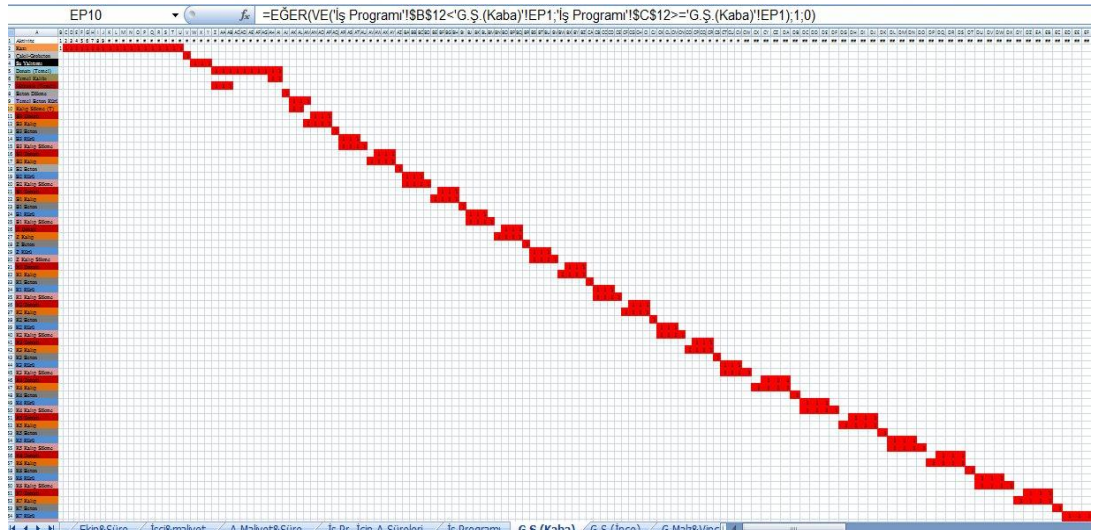
şekil 3.19. Kaba işler için iş programı

Öncelikle donatı, kalıp, beton, kr ve kalıp sökme işlerinden oluşan iş programı oluşturuldu. şekil 3.19’da kaba işlere ait iş programının bir kesiti gösterilmektedir. İş programı oluşturulurken ekiplerin st katta çalışan başka bir ekibe yetişip onların yürütmekte oldukları işi bekleme ihtimalleri n şartlar yazılarak yok edilmiştir. şekil 3.20’de ince işlerin iş programının bir bölümü gösterilmektedir.

Boya	Erken Başlangıç	Erken Tamamlanma	Parke	Erken Başlangıç	Erken Tamamlanma	Seramik	Erken Başlangıç	Erken Tamamlanma
Z	248	250	Z	260	262	Z	258	260
K1	250	252	K1	262	264	K1	260	262
K2	252	254	K2	264	266	K2	262	264
K3	254	256	K3	266	268	K3	264	266
K4	256	258	K4	268	270	K4	266	268
K5	258	260	K5	270	272	K5	268	270
K6	260	262	K6	272	274	K6	270	272
K7	262	264	K7	274	276	K7	272	274
K8	264	266	K8	276	278	K8	274	276
K9	266	268	K9	278	280	K9	276	278
K10	268	270	K10	280	282	K10	278	280
K11	270	272	K11	282	284	K11	280	282
K12	272	274	K12	284	286	K12	282	284
K13	274	276	K13	286	288	K13	284	286
K14	276	278	K14	288	290	K14	286	288
K15	278	280	K15	290	292	K15	288	290

Şekil 3.20. Boya, parke ve seramik işlerinin iş programı

Oluşturulan iş programıyla koordineli olarak kaba ve ince işler için gantt şemaları oluşturuldu. Gantt şemasında tüm aktivitelerin işin başlangıcından sonuna kadar hangi günlerde yürütüldüğü, 1 ve 0 rakamlarıyla belirtildi. İşin yürütüldüğü günler 1, yürütülmediği günler 0 ile gösterildi. Daha sonra koşullu biçimlendirme yapılarak çalışmanın olduğu günler renklendirilmiştir. Şekil 3.21’de oluşturulan Gantt şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.21. Gantt şeması

Malzeme miktarlarının kullanımını gösteren otomatik sistemin bir bölümü Şekil 3.22’de gösterilmektedir. Aktivitelerin yapımı için gerekli olan günlük malzeme miktarı gantt şeması yardımıyla formülleştirilerek belirlendi. Gantt şemasına göre

çalışmanın yapıldığı günün 1 olduğu belirtilmişti. Yapım işinin herhangi bir gününde, ele alınan iş aktivitesine ait çalışma varsa daha önceden hesaplanan metraj değerleri tamamlanma süresine bölünerek günlük kullanılan malzeme miktarları hesaplandı. Çalışmanın tamamı için hangi gün ne kadar malzemeye ihtiyaç olduğu otomatik olarak oluşturuldu.

Malzeme / Gün	277	278	279	280	281	282	283
DONATI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DIŞDUVAR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
İÇDUVAR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PARKE ELAMANI (tek seferde 20 m2)	239,93	239,93	239,93	239,93	239,93	239,93	239,93
PARKE ALTI ŞİLTESİ (tek seferde 200	229,02	229,02	229,02	229,02	229,02	229,02	229,02
PORSELEN KARO (tek seferde 15 m2)	112,64	112,64	112,64	112,64	112,64	112,64	112,64
KARO YAP. VE DERZ DOLGUSU	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
SIVA	39,97	39,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BOYA	0,69	0,69	0,69	0,69	0,00	0,00	0,00
ZIMPARA KAĞIDI (Hepsi Tek seferde)	980,00	980,00	980,00	980,00	0,00	0,00	0,00

Şekil 3.22. Günlük malzeme kullanım miktarları

Günlük malzeme miktarının belirlenmesi sonrasında kule vincin; yükleme süresi 50 saniye, dolu hızı 0,5 metre / saniye, yatay dolu taşıma süresi 30 saniye, dolu açışal dönüş süresi 30 saniye, boşaltma süresi 40 saniye, açışal dönüş süresi 25 saniye, boş yatay taşıma süresi 25 saniye ve boş hızı 1 metre / saniye kabul edilerek; malzemenin taşınacağı kata göre sefer süreleri belirlendi.

Parke elemanı 20 m², parke altı şiltesi 200 m², seramik malzeme elemanı 15 m², zımpara kağıdı 1960 adet ve diğer yapı elemanları da 1 m³ veya 1 ton miktarına kadar kule vinçle tek seferde taşınılabileceği kabul edilerek; çalışma günü içerisinde taşınması gereken malzemenin kule vinç sefer sayıları belirlendi. Sefer sayılarına göre kule vincin günlük çalışma süreleri dakika cinsinden ve saatlik çalışma verimi 50 dakika olarak hesaplandı. İş boyunca günlük maksimum vinç çalışma süresi belirlenerek, birden fazla vince ihtiyaç olup olmadığı ortaya çıkarıldı. İlk problemde birden fazla vince ihtiyaç olmadığı hesaplandı.

19 aktivite için rastgele yapım seçenekleri belirlenerek, bir günlük genel giderin 2500 TL olduğu kabul edilerek toplam maliyet değeri hesaplandı ve ilk problem oluşturuldu. En uygun maliyet değeri aranan problemin 19 aktivitesi de 4 yapım

alternatifine sahiptir. Bu durumda problemin çözümünde $4^{19} = 274.877.906.944$ denenmesi gereken alternatif vardır.

3.3.2. İkinci problem

İkinci problemde, ilk problemden farklı olarak her bir aktivite için 4. Alternatifteki mevcut işçi sayısının artırılması sonucu 5. alternatif oluşturuldu. Oluşturulan beş farklı alternatifin oluşumu birinci problemde anlatıldığından bu bölümde yer verilmemiştir. Çizelge 3.6’da ikinci problem için işçi sayısı ve maliyet değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. İkinci problemdeki alternatiflerin ekip sayıları ve maliyet değerleri

İş Paketi	Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3		Alternatif 4		Alternatif 5	
	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)	Ekip (kişi)	Maliyet (TL)
1	6	14.400	6	15.390	12	21.060	16	21.600	45	34.500
2	6	10.800	6	12.150	12	16.200	16	17.280	45	31.000
3	6	10.800	6	12.150	12	16.200	16	17.280	45	30.500
4	4	7.200	4	7.560	11	10.395	16	10.800	30	21.000
5	4	6.400	4	7.020	11	8.910	16	10.800	30	21.000
6	4	6.400	4	7.020	11	8.910	16	10.800	30	21.000
7	5	3.500	5	4.050	8	5.400	14	5.670	30	12.500
8	5	4.500	5	4.725	8	6.480	14	7.560	30	12.500
9	4	3.200	4	3.780	7	4.725	10	5.400	25	11.000
10	4	3.200	4	3.780	7	4.725	10	5.400	25	11.000
11	5	2.500	5	2.700	7	3.780	10	4.050	21	13.500
12	5	3.500	5	4.050	7	4.725	10	5.400	21	12.500
13	5	4.000	5	4.050	9	6.075	12	6.480	26	12.000
14	5	3.000	5	3.375	9	4.860	13	5.265	26	11.500
15	5	3.500	5	4.050	8	5.400	14	5.670	26	9.000
16	7	14.000	7	15.120	11	20.790	16	21.600	55	33.000
17	7	14.700	7	16.065	11	20.790	16	21.600	55	33.000
18	7	7.000	7	7.560	12	9.720	17	11.475	45	19.000
19	7	7.000	7	7.560	12	11.340	17	11.475	45	19.000

Aktivitelerin 5. alternatifinin maliyeti, ilk problemde de kullanılan mesaili çalışma ücreti 135 TL ve mesaili çalışma süresi 10 saat kabul edilerek hesaplandı. Çizelge 3.7’de 5 alternatif için; adam.saat değeri, iş verimi, işçilerin günlük normal ve mesaili çalışma süresi dikkate alınarak hesap cetvelinde otomatik olarak oluşturulan süre ve maliyet değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.7. İkinci problemdeki alternatiflerin yapım süreleri ve maliyet değerleri

İş Paketi	Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3		Alternatif 4		Alternatif 5	
	Süre (gün)	Maliyet (TL)	Süre (gün)	Maliyet (TL)	Süre (gün)	Maliyet (TL)	Süre (gün)	Maliyet (TL)	Süre (gün)	Maliyet (TL)
1	24	14.400	19	15.390	13	21.060	10	21.600	4	34.500
2	18	10.800	15	12.150	10	16.200	8	17.280	4	31.000
3	18	10.800	15	12.150	10	16.200	8	17.280	4	30.500
4	18	7.200	14	7.560	7	10.395	5	10.800	3	21.000
5	16	6.400	13	7.020	6	8.910	5	10.800	3	21.000
6	16	6.400	13	7.020	6	8.910	5	10.800	3	21.000
7	7	3.500	6	4.050	5	5.400	3	5.670	2	12.500
8	9	4.500	7	4.725	6	6.480	4	7.560	2	12.500
9	8	3.200	7	3.780	5	4.725	4	5.400	2	11.000
10	8	3.200	7	3.780	5	4.725	4	5.400	2	11.000
11	5	2.500	4	2.700	4	3.780	3	4.050	2	13.500
12	7	3.500	6	4.050	5	4.725	4	5.400	2	12.500
13	8	4.000	6	4.050	5	6.075	4	6.480	2	12.000
14	6	3.000	5	3.375	4	4.860	3	5.265	2	11.500
15	7	3.500	6	4.050	5	5.400	3	5.670	2	9.000
16	20	14.000	16	15.120	14	20.790	10	21.600	3	33.000
17	21	14.700	17	16.065	14	20.790	10	21.600	3	33.000
18	10	7.000	8	7.560	6	9.720	5	11.475	2	19.000
19	10	7.000	8	7.560	7	11.340	5	11.475	2	19.000

Düşük maliyet değerine sahip olandan yüksek maliyet değerine doğru 1, 2, 3, 4 ve 5 numaraları verildi. Her iş paketi için 1 ile 5 arasında rastgele seçilen yapım alternatifine göre iş programları oluşturuldu. Rastgele oluşturulan yapım seçenekleri sabitlenerek bu değerler üzerinden kaba ve ince inşaat işleri için iş programı oluşturuldu. İlk problemdeki gantt şemasının oluşumu ve günlük malzeme kullanımı aşamaları tekrarlanarak iş boyunca günlük maksimum vinç çalışma süresi belirlendi ve tek vincin yeterli olup olmadığı ortaya çıkarıldı. İlk problemden farklı olarak hesaplanan maliyet değerine, vincin çalışma süresinin 600 dakikayı geçmesi durumunda vincin yetersiz kalması nedeniyle inşaatın yürütülemeyeceği varsayılarak 1.000.000 TL ceza tanımlandı. Belirtilen ceza miktarı vincin yetersiz olduğu durumdaki iş programını vincin yeterli olduğu iş programına göre maliyet açısından uygunsuz duruma getirecektir. Böylece vincin yetersiz olduğu iş programları, genetik algoritma tarafından elenecektir.

Yapım seçenekleri rastgele belirlenen 19 aktivite için, bir günlük genel giderin 2.500 TL ve ikinci vinç gereksinimi durumunda 1.000.000 TL ceza konularak problem oluşturuldu. En uygun maliyet değeri aranan problemin 19 aktivitesi de 5

yapım alternatifine sahiptir. Bu durumda problemin çözümünde $5^{19} = 19.073.486.328.125$ farklı çözüm yolu vardır.

Çözümü aranan problemlerin her bir çözüm yolunun 1 dakikada hesaplandığı düşünülürse ilk problemde 274.877.906.944 farklı çözüm yolunun tamamının hesaplanması için 522.979 yıl; ikinci problemde ise 19.073.486.328.125 farklı çözüm yolunun tamamı 36.288.977 yıl gibi astronomik süreler gerektirmektedir. Her iki problemde de çözüm yollarının yani arama uzayının büyük olması nedeniyle problemlerin deneme-yanılma yoluyla doğru çözümünün bulunması çok uzun hesaplama süresi gerektirmektedir. Dolayısıyla kabul edilebilir süreler içerisinde doğru çözümü bulamamaktadır.

Sezgisel algoritmalar, açgözlü bir yaklaşım (greedy approach) gösterdiklerinden dolayı problemin çözümündeki her tekrarda en iyiye gitmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım lokal optimuma yakalanma ihtimali yükseltmekte ve bu nedenle global optimum yakınsama ihtimalini düşürmektedir. Dolayısıyla problemin doğru çözümünü belirlemeyi garanti edemez. Bunun yanı sıra sezgisel algoritmalar sadece tanımlandığı probleme çözüm üretir.

Tanımlandığı problemten bağımsız çalışabilen metasezgisel algoritmalar ise çözümü ararken geçici olarak optimumdan uzaklaşmakta ve bu sayede arama uzayını daha etkin bir şekilde araştırıp lokal optimuma yakalanma ihtimalini azaltmaktadır. Her adımda oluşturulan çözüm kümesini kullanarak uygun hesaplama süreleri içerisinde optimum sonucu vermektedirler. Dolayısıyla, bu çalışmada daha düşük maliyetli çözüm GA ile aranmıştır.

3.4. Genetik Algoritma

Genetik algoritma 1975 yılında Michigan Üniversitesinde John Holland tarafından geliştirilmiş ve optimizasyon problemlerinin birçoğunda kullanılmıştır. Bu algoritma, problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütün içindeki optimum çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Genetik algoritma rastgele oluşturulan popülasyondan yola çıkarak

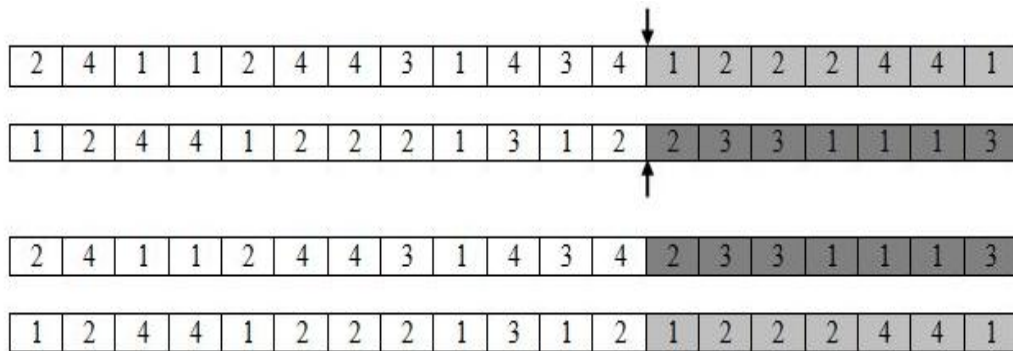
çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile optimum çözümü arar. Dolayısıyla evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit eder. GA'nın başlıca adımları rastgele popülasyonun oluşturulması, çaprazlama, mutasyon ve doğal seleksiyondur.

3.4.1. Popülasyonun oluşturulması

Popülasyon, birey adı verilen, ele alınan problemin alternatif çözüm yollarından oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Genler probleme ait parametrelerin alabileceği değerleri taşır. GA döngüsüne ilk önce rastgele üretilen genler yardımı ile önceden belirlenmiş sayıda bireyler oluşturularak başlanır. Popülasyon boyutu bilinmeyen sayısına göre önceden belirlenir ve analiz boyunca sabit tutulur. Zaman maliyet ödünleşim probleminde GA ile yapılan çözümlerde popülasyon boyutunun parametre sayısının 4 ile 5 katı arasında alınmasının işlem süresi ve elde edilen sonuç açısından en uygun seçim olacağı kanısına varılmıştır (Bettemir, 2009).

3.4.2. Çaprazlama

Çaprazlama operatörü rastgele eşleştirilen iki bireyin rastgele seçilen kısımlarının karşılıklı olarak değiştirilmesidir. Eşleştirilen bireyler ebeveyn, bu eşleşmeden elde edilen bireyler ise oğul olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.23'te gri renkle gösterilen alanlar rastgele sayı üretilerek elde edilen çaprazlamanın yapılacağı kesimi göstermektedir.

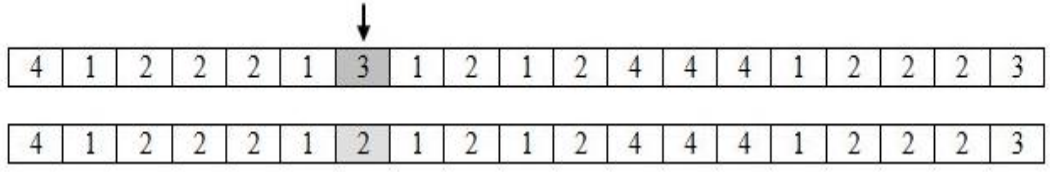


Şekil 3.23. Çaprazlama operatörü örneği

Çaprazlama sonrasında elde edilen oğul bireyler genlerinin bir parçasını bir ebeveynden diğer parçasını öteki ebeveynden almaktadırlar. Bu nedenle çaprazlama, bir önceki birey kümesinden daha iyi nitelikler içeren bireyler oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşmak için bir noktadan çaprazlama yapılacağı gibi birden fazla noktadan da çaprazlama yapılabilir. Bunun yanı sıra; çaprazlanacak kısımların farklı öncelik durumlarına göre klasik çaprazlamadan yani karşılıklı yer değiştirmeden farklı olarak yana kaydırılarak değiştirilmesi de gen çeşitliliğinin oluşması için denenmektedir. Çaprazlama tek başına gen çeşitliliğini sağlamakta yeterli olamamaktadır. Çaprazlama sadece mevcut genlerin kendi aralarında değişimine izin vermektedir, bu nedenle popülasyonda bulunmayan bir gen kombinasyonunun oluşmasına yol açamamaktadır. Bu eksiklik nedeni ile mutasyon operatörüne ihtiyaç duyulmaktadır.

3.4.3. Mutasyon

Mutasyon operatörü rastgele seçilmiş bir bireyin yine rastgele seçilen bir gen takımının gen değerini değiştiren bir operatördür. Böylelikle popülasyonda bulunmayan bireyin oluşması sağlanmaktadır. Dolayısıyla popülasyonda bulunan bireyler dışındaki iyi nitelikli bir bireyin ifade edilme olasılığını düşürür. Mutasyonun genel amacı, genetik çeşitliliği sağlamak veya korumaktır (Braysy, 2001). Çaprazlama mevcut genlerin birbirleriyle yer değiştirmesi sonucu olduğundan en iyi çözümlere ulaşmamıza engel olabilir. Mutasyon, popülasyonda olmayan ve çaprazlamayla elde edilemeyen yeni bireylerin oluşmasına ortam yaratmakta ve bu olası iyi veya kötü bireyin genlerinin sistem içinde olmasını sağlamaktadır. Yani bireylere yeni gen değerleri kazandırarak popülasyon içinde olmayan bu olası yararlı genin yaşamasını sağlar. Mevcut döngüde iyi bir çözüm üretmeyen genin, sonraki döngülere aktarılmasını sağlayarak gözden kaçırılmış olası iyi bireylerin oluşma ihtimalini artırır. Bunun yanı sıra mutasyon işlemine gelinceye kadar sadece mevcut genlerin değişiminden ibaret olan gen havuzu içerisinde, bir daha elde edilemeyecek olası iyi bir çözümün kaybını önler.



4	1	2	2	2	1	3	1	2	1	2	4	4	4	1	2	2	2	3
4	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	4	4	4	1	2	2	2	3

Şekil 3.24. Mutasyon operatörü örneği

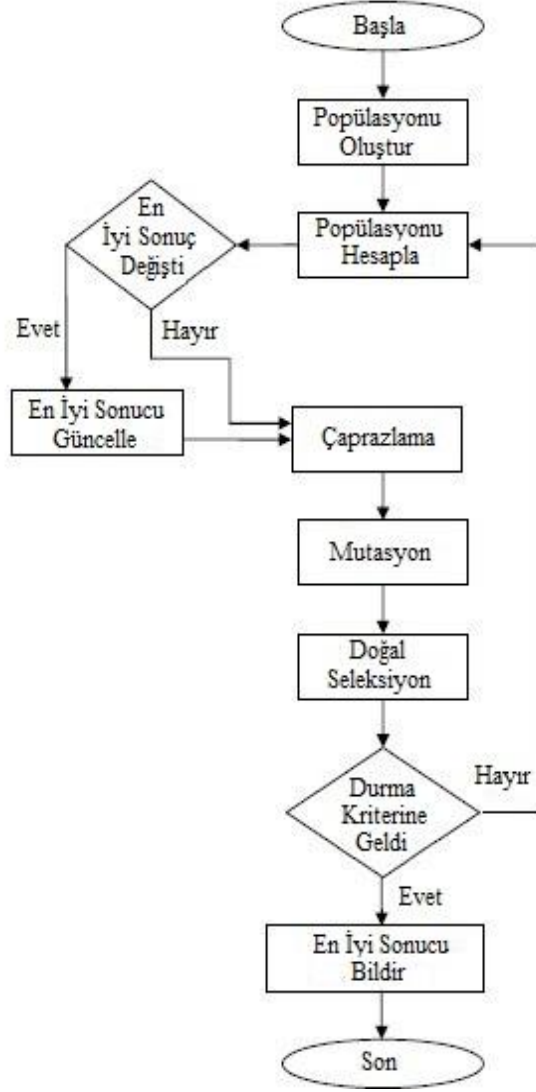
Şekil 3.24'te gen değeri 3 olan bireyin 2 olmasını sağlayan bir mutasyon operatörü örneği gösterilmektedir. Mutasyon; bu örnekte tek bireyin gen değerini değiştirmektedir. Birden fazla gen değerini değiştiren mutasyon operatörleri tanımlanarak farklı sayıda gen değerinin değişimi de sağlanmaktadır.

3.4.4. Doğal seleksiyon

Popülasyon boyunun sabit kalması için çaprazlama ile üretilen birey sayısı kadar bireyin yok edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada hangi bireylerin yok edileceği büyük önem taşımaktadır çünkü yararlı gen taşıyan bireylerin yok edilmesi optimum arama algoritmasının yerel optimuma yakınsamasına neden olabilir. Bu nedenle sadece en kötü bireylerin öldürülmesinden kaçınılmış ve rulet tekerleği yöntemi tercih edilmiştir.

Bu yöntemde her bireyin taşıdığı genlere göre gerçekleşen proje maliyeti hesaplanır. Proje maliyetlerine göre düşük maliyetli bireylere yüksek hayatta kalma şansı, yüksek maliyetli projelere ise düşük hayatta kalma şansı verilir. Rastgele rakamlar üretilerek hangi bireylerin yok edileceğine karar verilir.

Doğal seleksiyonun gerçekleştirilmesi ile bir genetik algoritma çevrimi tamamlanmış olur. Kaç çevrim yapılacağına problemin zorluğu ve bilgisayarın hesap kapasitesine bakılarak karar verilir. Durdurma kriteri döngü sayısı olabileceği gibi hedeflenen uygunluk değeri de olabilmektedir (Fung vd, 2001). Genetik algoritmanın akış şeması Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25. GA akış şeması

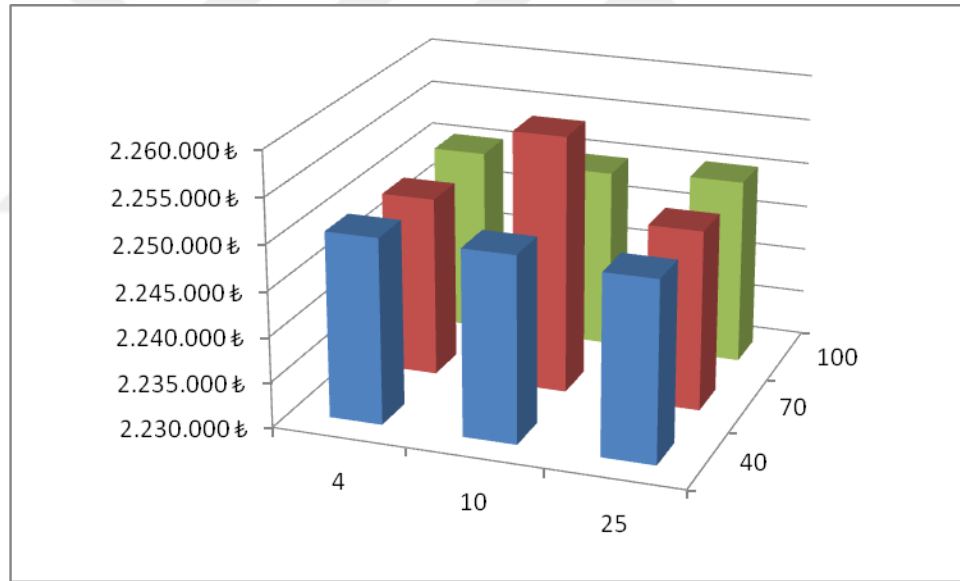
3.5. Genetik Algoritmanın Uygulanması

Bu çalışmada ele alınacak problemlerin analizleri sırasında kullanılacak başlangıç birey sayısı, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı değerlerinin değiştiği durumlarda; çözüme olan etkileri hesap yükü, hesaplama süresi ve optimum sonuca ulaşmak açısından yüksek derecede önem taşımaktadır. En uygun oranları belirlemek için bu değerlerin farklı kombinasyonları kullanılarak her iki problem için bir tekrar analiz yapıp çözümler elde edilmiştir. Kombinasyon değerleri birey sayısı için 50 ve 100, çaprazlama oranı için %40, %70 ve %100, mutasyon oranı için %4, %10 ve %25'tir.

Çizelge 3.8. Birinci problemin başlangıç birey sayısı 50 ve farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen minimum maliyet değerleri

50 Birey	% 4	% 10	% 25
% 40	2.250.455 TL	2.250.455 TL	2.249.810 TL
% 70	2.249.810 TL	2.258.330 TL	2.249.810 TL
% 100	2.250.455 TL	2.249.810 TL	2.250.455 TL

Çizelge 3.8’de, birinci problemin analizi için ilk oluşturulan birey sayısı 50, farklı çaprazlama ve mutasyon oranlarının kombinasyonu kullanılarak 250 GA döngüsü sonucu elde edilen maliyet değerleri gösterilmektedir. Başlangıç birey sayısı 50 olarak seçilen bu analizde, minimum maliyet değerleri 250 döngü sonucu belirli bir değere yakınsamış olsa da ortalama maliyet değeri belirli bir değere yakınsamamıştır.



Şekil 3.26. Birinci problemin başlangıç birey sayısı 50, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen maliyet değerlerinin karşılaştırılması

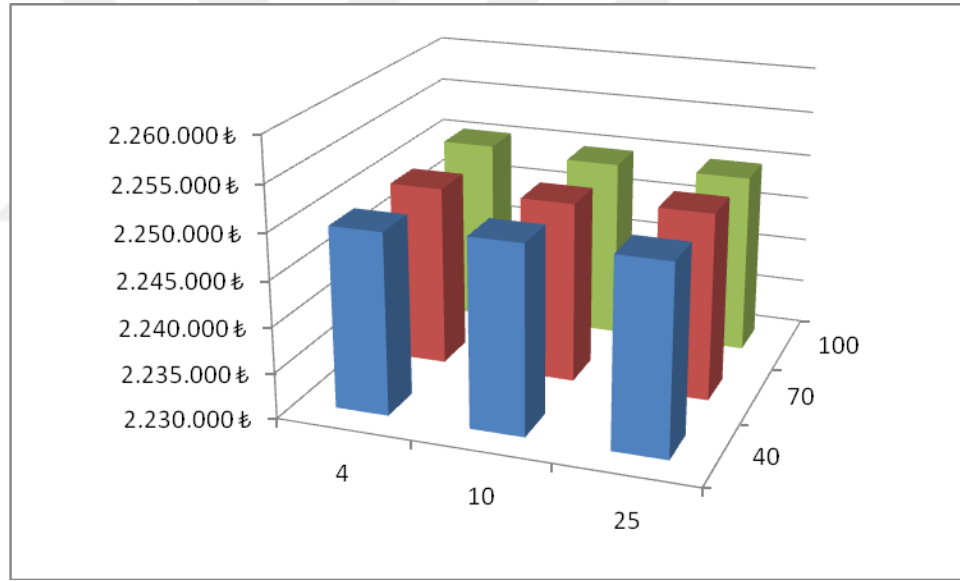
Şekil 3.26’deki karşılaştırmada; çaprazlama oranının %40 olarak alınıp mutasyon oranının %4, %10 ve %25 değerleri kullanılarak hesaplanan tekrarda mutasyon değerinin artışına bağlı olarak maliyet değerinde bir düşüş olduğu elde edilmiştir. Çaprazlama oranları %70 ve %100 için mutasyon oranının artışı sonrasında maliyette belirgin veya doğrusal bir değişiklik yaşanmamıştır. Bunun yanı sıra mutasyon

oranının %25 olarak alınıp çaprazlama oranının artırılması sonucu maliyet değerinde bir artış yaşanmıştır.

Çizelge 3.9. Birinci problemin başlangıç birey sayısı 100 ve farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen minimum maliyet değerleri

100 Birey	% 4	% 10	% 25
% 40	2.249.810 TL	2.250.455 TL	2.250.455 TL
% 70	2.249.810 TL	2.249.810 TL	2.250.455 TL
% 100	2.250.455 TL	2.249.810 TL	2.249.810 TL

Çizelge 3.9’da, birinci problemin analizi için ilk oluşturulan birey sayısı 100, farklı çaprazlama ve mutasyon oranlarının kombinasyonu kullanılarak 250 GA döngüsü sonucu elde edilen maliyet değerleri gösterilmektedir.



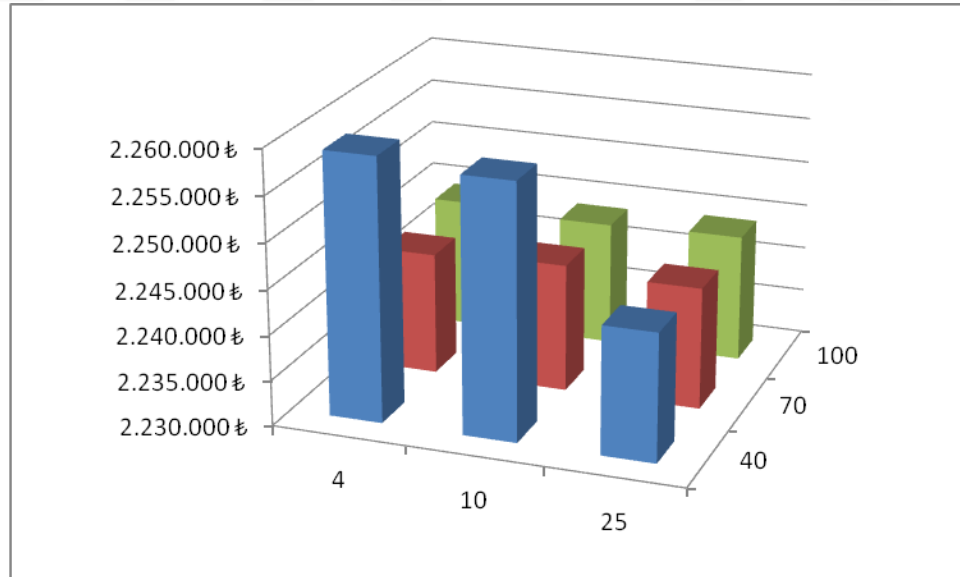
Şekil 3.27. Birinci problemin başlangıç birey sayısı 100, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Başlangıç birey sayısının 50'den 100'e çıkması birinci problemde mutasyon oranının %25 alındığı durumda ters etki yaratmış olsa da genelde sonuçlar iyileşmiştir. Şekil 3.27'deki karşılaştırmaya göre çaprazlama oranının %40 olarak alınıp mutasyon oranının %25 değeri kullanılarak hesaplanan tekrarda mutasyon değerinin artışına bağlı olarak maliyet değerinde bir artış olduğu görülmüştür.

Çaprazlama oranları %70 ve %100 için mutasyon oranının artışı sonrasında maliyette başlangıç birey sayısının 50 olduğu durumla benzer şekilde belirgin veya doğrusal bir değişiklik yaşanmamıştır. Bunun yanı sıra mutasyon oranının %25 olarak alınıp çaprazlama oranının artırılması sonucu maliyet değerinde bir düşüş yaşanmaktadır. Bahsedilen durumlar başlangıç birey sayısı 50 olan durumdan tam tersi sonuçlar vermiştir. İlave olarak Çaprazlama oranı %100 alınıp mutasyon değeri artırıldığında maliyette bir artış yaşanmıştır. Birey sayısı başlangıç için 100 seçilen durumda hem minimum maliyet değeri hem de ortalama maliyet değerleri 250 GA döngü sonucunda belirli bir değere yakınsadığı görülmüştür. Dolayısıyla, başlangıç birey sayısının artışı, ortalama değerlerin yakınsama ihtimalini artırdığı söylenebilir.

Çizelge 3.10. İkinci problemin başlangıç birey sayısı 50 ve farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen minimum maliyet değerleri

50 Birey	% 4	% 10	% 25
% 40	2.258.975 TL	2.258.035 TL	2.244.060 TL
% 70	2.243.415 TL	2.244.060 TL	2.243.415 TL
% 100	2.244.355 TL	2.243.710 TL	2.244.060 TL

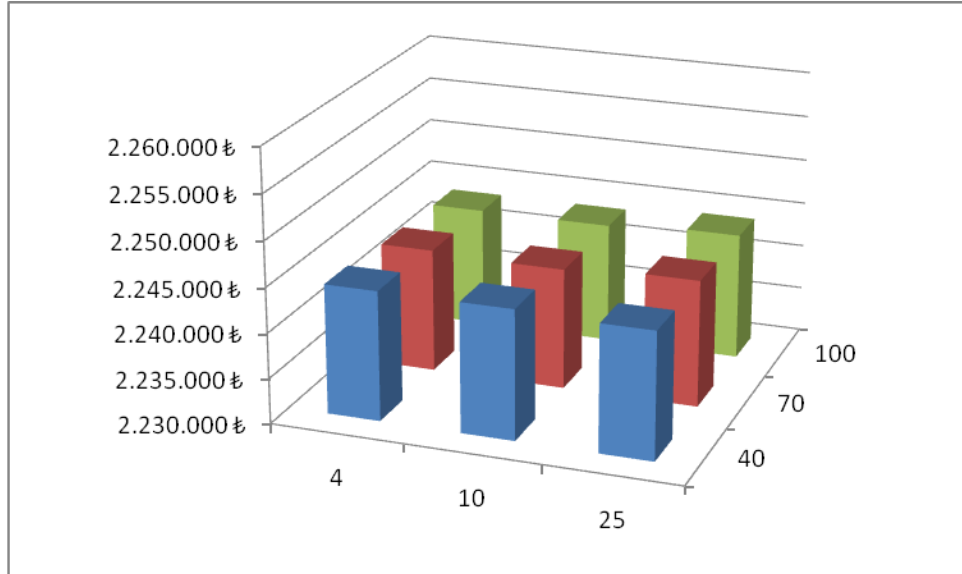


Şekil 3.28. İkinci problemin başlangıç birey sayısı 50, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.10’da, İkinci problemin analizi için ilk oluşturulan birey sayısı 50, farklı çaprazlama ve mutasyon oranlarının kombinasyonu kullanılarak 250 GA döngüsü sonucu elde edilen maliyet değerleri gösterilmektedir. Başlangıç birey sayısı 50 olarak seçilen bu analizde, minimum maliyet değerleri 250 döngü sonucu belirli bir değere yakınsamış olsa da ortalama maliyet değeri belirli bir değere yakınsamamıştır. Şekil 3.28’deki karşılaştırmadan da görüldüğü üzere çaprazlama oranının %40 olarak alınıp mutasyon oranının %4, %10 ve %25 değerleri kullanılarak hesaplanan tekrarda mutasyon değerinin artışına bağlı olarak maliyet değerinde bir düşüş olduğu elde edilmiştir. Çaprazlama oranları %70 ve %100 için mutasyon oranının artışı sonrasında maliyette belirgin veya doğrusal bir değişiklik yaşanmamıştır. Bunun yanı sıra mutasyon oranının %10 olarak alınıp çaprazlama oranının artırılması sonucu maliyet değerinde bir düşüş yaşanmıştır.

Çizelge 3.11. İkinci problemin başlangıç birey sayısı 100 ve farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen minimum maliyet değerleri

100 Birey	% 4	% 10	% 25
% 40	2.244.355 TL	2.244.355 TL	2.244.060 TL
% 70	2.243.710 TL	2.243.415 TL	2.244.060 TL
% 100	2.243.415 TL	2.243.415 TL	2.244.060 TL



Şekil 3.29. İkinci problemin başlangıç birey sayısı 100, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları kullanılarak elde edilen maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.11’de, ikinci problemin analizi için ilk oluşturulan birey sayısı 100, farklı çaprazlama ve mutasyon oranlarının kombinasyonu kullanılarak 250 GA döngüsü sonucu elde edilen maliyet değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.29’daki karşılaştırmaya göre çaprazlama oranının %40 olarak alınıp mutasyon oranının %4, %10 ve %25 değerleri kullanılarak hesaplanan tekrarda mutasyon değerinin artışına bağlı olarak, başlangıç birey sayısı 50 durumundaki gibi maliyet değerinde bir düşüş olduğu elde edilmiştir. Bunun yanı sıra mutasyon oranının %10 olarak alınıp çaprazlama oranının artırılması sonucu maliyet değerinde bir düşüş yaşanmaktadır. İlave olarak Çaprazlama oranı %100 alınıp mutasyon oranı artırıldığında maliyette bir artış yaşanmıştır. Mutasyon oranının %4 olarak alınıp çaprazlama oranının artışı sonucu maliyet değerinde bir düşüş yaşanmaktadır. Mutasyon oranının %25 iken çaprazlama oranının artışının maliyet değerine bir etkisi olmamıştır. Birey sayısı başlangıç için 100 seçilen durumda hem minimum maliyet değeri hem de ortalama maliyet değerleri 250 GA döngü sonucunda daha düşük maliyet değerine yakınsadığı görülmüştür. Dolayısıyla, başlangıç birey sayısının artışı, ortalama değer yakınsama ihtimalini artırdığı söylenebilir. İlk problemde, birey sayısının 100 olduğu analizlerin ortalama değeri 2.250.097 TL, birey sayısının 50 olduğu analizlerin ortalama değeri 2.251.042 TL’dir. İkinci problemde, birey sayısının 100 olduğu analizlerin ortalama değeri 2.243.872 TL, birey sayısının 50 olduğu analizlerin ortalama değeri 2.247.121 TL’dir. Bu nedenle birey sayısı 100 alınmıştır.

Bu analizler sonucunda; yakınsamanın daha kararlı ve hızlı olması, hesaplama yükü, hesaplama süresi ve en uygun maliyete ulaşma açısından daha uygun olduğu değerlendirildiğinden her iki problemin çözümünde kullanılacak birey sayısının 100, çaprazlama oranının %70 ve mutasyon oranının %10 seçilmiştir. Bu değişkenlerin seçimi sırasında yapılan GA uygulamaları 250 döngü olarak tamamlanırken problemlerin ana çözümünde 500 döngü olarak yapılmıştır. Birey sayısı, çaprazlama ve mutasyon oranlarının belirlenmesiyle birlikte problemlerin çözümü hesap cetveli uygulaması üzerine yazılan makro kodlaması yardımıyla genetik algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GA uygulanması, popülasyonun oluşturulması, çaprazlama, mutasyon ve doğal seleksiyon adımlarının probleme uyarlanmasıyla oluşmaktadır.

3.5.1. Popülasyonun oluşturma uygulaması

Genetik algoritma bireylerin rastgele oluşturulmasıyla başlanır. İlk problemde kullanılan 19 aktivitenin 4 farklı yapım alternatifi olduğundan 1, 2, 3 ve 4; ikinci problemde kullanılan 19 aktivitenin 5 farklı yapım alternatifi olduğundan 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı yapım alternatifini seçecek sayıların rastgele üretilmesi sonucu bireyler oluşturuldu. Şekil 3.30’da 4 alternatife sahip, şekil 3.31’de ise 5 alternatife sahip problemin ilk oluşturulan bireyleri gösterilmektedir.

İlk Oluşturulan Bireyler	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19
B1	=YUKARIYUVARLA(S_SAYI_ÜRET()*4;0)											1	3	4	4	3	1	1	4
B2	4	2	2	4	2	1	3	1	2	3	3	4	1	1	2	1	3	2	3
B3	2	3	4	4	2	3	2	1	2	1	3	3	3	3	2	4	2	1	3
B4	4	3	1	4	3	1	4	1	2	4	3	4	3	4	4	2	2	1	3
B5	2	1	3	4	1	1	3	4	2	1	2	3	4	3	4	3	2	1	1
B6	4	4	2	1	1	3	3	3	3	4	1	4	4	2	4	4	3	3	2
B7	3	4	2	1	3	2	4	1	3	4	4	1	2	1	2	4	1	3	2
B8	3	3	1	1	1	3	2	4	4	1	1	3	2	4	2	4	3	1	2
B9	3	4	4	2	4	3	1	4	4	3	2	4	1	3	2	1	4	3	4
B10	4	3	4	1	3	4	2	3	1	3	3	4	1	2	1	3	4	3	2

Şekil 3.30. Birinci problem bireylerin rastgele oluşturulması

İlk Oluşturulan Bireyler	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19
B1	=YUKARIYUVARLA(S_SAYI_ÜRET()*5;0)											1	4	1	4	4	1	5	2
B2	5	1	5	2	5	4	4	2	4	3	5	4	1	1	4	5	1	5	1
B3	2	1	5	4	3	4	1	5	3	5	2	3	2	1	2	4	1	5	2
B4	2	3	1	5	1	1	5	1	4	1	2	2	3	2	4	3	5	2	2
B5	4	1	1	4	3	2	2	2	5	5	1	5	1	4	5	1	2	5	2
B6	2	1	1	5	3	5	4	2	2	2	3	2	3	4	4	2	5	3	4
B7	1	2	3	5	4	3	1	1	4	4	3	1	4	4	5	2	2	5	2
B8	4	5	3	2	5	2	2	2	1	5	2	3	1	5	3	4	3	3	1
B9	3	3	1	5	3	5	2	1	1	4	2	3	3	4	4	4	2	1	4
B10	1	4	3	1	3	3	1	2	2	4	4	1	1	3	2	5	5	4	2

Şekil 3.31. İkinci problem bireylerin rastgele oluşturulması

Popülasyondaki bireylerin sayısı her iki problem içinde 100 olarak belirlendi ve analiz boyunca sabit tutuldu. Oluşturulan bireylere öncelikle kendine has kod numarası tayin edildi ve sonrasında yapım maliyetleri hesaplanarak küçükten büyüğe doğru sıralandı. Daha sonra şekil 3.32’de görüldüğü gibi en düşük maliyetli birey 1 numaralı sırada olacak şekilde 100'e kadar sıralandı.

SIRA	KOD	MALİYET (TL)	SIRA	KOD	MALİYET (TL)
1	B30	2.437.895	1	B11	2.423.060
2	B22	2.438.850	2	B60	2.481.040
3	B54	2.447.850	3	B81	2.494.620
4	B75	2.455.180	4	B93	2.527.335
5	B5	2.455.875	5	B22	2.538.665
6	B10	2.455.875	6	B25	2.553.615
7	B97	2.459.705	7	B5	2.581.195
8	B75	2.461.030	8	B59	2.601.935
9	B43	2.461.595	9	B21	2.604.500
10	B17	2.489.985	10	B51	2.605.440
11	B14	2.493.410	11	B31	2.615.735
12	B8	2.497.870	12	B16	2.616.705
13	B66	2.508.725	13	B72	2.620.845
14	B44	2.514.460	14	B3	2.621.150
15	B82	2.534.250	15	B86	2.630.205
16	B33	2.534.395	16	B71	2.637.745
17	B21	2.535.905	17	B45	2.638.040
18	B9	2.536.855	18	B39	2.651.095
19	B69	2.537.255	19	B61	2.654.695
20	B89	2.541.015	20	B27	2.664.515

Şekil 3.32. Bireylerin kodlarının tayin edilmesi ve maliyet değerine göre sıralanması

Sıralanan bireylere başarı sırasını da dikkate alarak rastgele sayılar üretilip hayatta kalma olasılıkları verildi. Burada en düşük maliyetli bireye daha büyük bir hayatta kalma olasılığı verilmesi gerekmektedir. Bu durum maliyet sıra numarasını da hayatta kalma olasılığı değerine dahil eden Şekil 3.33’te gösterilen formül sayesinde gerçekleştirildi.

V	W	X	Y	Z	AA
Sıra	Kod	Maliyet (TL)	Hayatta Kalma Olasılığı		
15	B32	2.508.725	$=(150-V2)*(S_SAYI_ÜRET()*2+0,5)$		
10	B47	2.490.435	329,34		
4	B10	2.438.850	310,75		
7	B32	2.457.865	308,58		
13	B3	2.504.830	294,79		
31	B87	2.560.500	278,15		
42	B23	2.607.160	269,55		
16	B9	2.514.460	268,99		
35	B49	2.578.825	245,78		
32	B3	2.562.825	245,47		

Şekil 3.33. Bireylere hayatta kalma olasılığının verilmesi

Daha sonra bireyler hayatta kalma olasılıklarına göre büyükten küçüğe doğru sıralandı. Bu sıralamada art arda gelen bireyler birbirleriyle çaprazlama işlemine tabi tutuldu.

3.5.2. Çaprazlamanın uygulanması

Çaprazlamada değiştirilecek kısımların seçimi için 1 ile 19 arasından rastgele sayılar üretildi.

	Çaprazlama Noktası	Kod	Sıra	Maliyet	Hayatta Kalma Olasılığı
$=YUKARIYUVARLA(S_SAYI_ÜRET()*19;0)$		B88	12	2.495.300	336,89
		B100	19	2.527.300	307,55
	9	B68	27	2.541.015	307,49
		B18	4	2.437.895	303,51
	5	B86	13	2.499.040	294,64
		B9	21	2.536.805	287,27
	2	B32	2	2.403.295	286,39
		B28	14	2.508.725	285,82
	1	B89	37	2.584.490	255,33
		B46	8	2.455.180	254,07
	9	B49	31	2.557.135	253,89
		B54	35	2.578.825	252,43
	13	B15	50	2.608.825	249,00
		B3	22	2.536.855	248,93
	2	B21	33	2.562.825	244,53
			20	2.535.905	240,22

Şekil 3.34. Çaprazlama noktalarının belirlenmesi

Rastgele belirlenen çaprazlama noktasından, iki bireyin genleri karşılıklı olarak değiştirildi. Örneğin Şekil 3.34'te görülen B18 kodlu bireyle B86 kodlu birey 5. aktivite noktasından gen değerleri değiştirilerek çaprazlama işlemi gerçekleştirildi. Şekil 3.35'de ise çaprazlama operatörüne uğramış ebeveyn bireyler B1 ve B2'nin 14. aktivite sonrasındaki genler takımının yer değiştirmesi sonucu oluşan oğul bireylerin gen değerleri gösterilmektedir.

Ebeveyn Bireyler	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	Oğul Bireyler	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19
B1	3	2	3	3	2	2	3	4	4	1	2	2	4	4	1	2	4	4	3	B1	4	4	3	4	2	1	1	4	4	4	3	1	3	4	1	2	4	4	3
B2	4	4	3	4	2	1	1	4	4	4	3	1	3	4	3	1	4	2	2	B2	3	2	3	3	2	2	3	4	4	1	2	2	4	4	3	1	4	2	2
B3	4	2	4	2	1	2	4	2	3	4	1	3	3	1	2	3	3	2	4	B3	2	1	4	2	1	2	2	3	1	2	4	3	3	1	2	3	3	2	4
B4	2	1	4	2	1	2	2	3	1	2	4	4	2	3	2	1	2	4	4	B4	4	2	4	2	1	2	4	2	3	4	1	4	2	3	2	1	2	4	4
B5	1	1	4	2	1	3	3	2	4	4	1	4	2	4	3	1	4	4	2	B5	4	2	4	2	1	3	3	2	4	4	1	4	2	4	3	1	4	4	2
B6	4	2	3	3	4	1	3	1	3	1	2	4	2	3	3	3	3	4	1	B6	1	1	3	3	4	1	3	1	3	1	2	4	2	3	3	3	3	4	1
B7	4	1	4	1	3	2	1	1	3	3	3	2	1	2	3	4	2	2	2	B7	1	2	4	1	3	2	1	1	3	3	3	2	1	2	3	4	2	2	2
B8	1	2	2	4	3	1	3	1	1	2	2	4	1	2	3	1	4	2	1	B8	4	1	2	4	3	1	3	1	1	2	2	4	1	2	3	1	4	2	1
B9	2	3	3	4	4	2	4	3	3	1	1	1	3	2	3	1	2	1	1	B9	3	1	3	4	4	2	4	3	3	1	1	1	3	2	3	1	2	1	1
B10	3	1	3	1	2	4	2	4	3	1	2	4	3	3	3	3	2	1	2	B10	2	3	3	1	2	4	2	4	3	1	2	4	3	3	3	3	2	1	2
B11	3	3	1	2	1	2	1	3	1	2	3	3	4	2	2	3	3	1	2	B11	3	4	4	2	4	3	1	4	4	3	2	4	4	2	2	3	3	1	2
B12	3	4	4	2	4	3	1	4	4	3	2	4	1	3	2	1	4	3	4	B12	3	3	1	2	1	2	1	3	1	2	3	3	1	3	2	1	4	3	4
B13	2	3	4	1	1	2	4	1	4	2	4	2	2	4	2	1	1	3	2	B13	2	4	4	1	1	2	4	1	4	2	4	2	2	4	2	1	1	3	2
B14	2	4	2	3	4	2	1	2	4	3	3	4	4	3	1	2	4	2	2	B14	2	3	2	3	4	2	1	2	4	3	3	4	4	3	1	2	4	2	2
B15	2	4	2	1	3	2	2	2	4	4	1	3	3	2	2	4	2	3	2	B15	4	1	4	1	4	2	4	1	2	3	3	4	3	2	2	4	2	3	2
B16	4	1	4	1	4	2	4	1	2	3	3	4	3	4	2	4	1	2	2	B16	2	4	2	1	3	2	2	2	4	4	1	3	3	4	2	4	1	2	2
B17	3	4	4	2	3	2	4	4	4	1	4	4	2	3	1	1	4	2	4	B17	3	1	2	4	1	3	2	4	1	1	2	4	2	3	1	1	4	2	4
B18	3	1	2	4	1	3	2	4	1	1	2	2	4	1	1	1	4	4	3	B18	3	4	4	2	3	2	4	4	4	1	4	2	4	1	1	1	4	4	3
B19	4	3	4	1	1	1	2	4	2	3	2	2	3	1	3	4	2	2	2	B19	1	4	4	3	1	3	2	2	1	1	2	2	3	1	3	4	2	2	2
B20	1	4	4	3	1	3	2	2	1	1	4	4	4	4	1	3	4	3	4	B20	4	3	4	1	1	1	2	4	2	3	4	4	4	4	1	3	4	3	4

Şekil 3.35. Çaprazlama operatörünün oğul bireyleri oluşturması

Çaprazlama oranı % 70 olarak belirlendiğinden çaprazlama işlemi sonucunda oğul veya çocuk olarak adlandırılan 70 yeni birey oluşturuldu.

3.5.3. Mutasyonun uygulanması

Her döngü sonunda oluşan birey sayısı 100 olarak belirlenmişti. Mutasyona uğrayacak birey sayısı da döngü sonu oluşacak birey sayısının %10'u olarak belirlendi. Hangi 10 bireyin mutasyona uğrayacak olması, şekil 3.36'daki formül sayesinde rastsal olarak belirlenerek mutasyona uğrayacak bireylerde 1, uğramayacak bireylerde ise 0 rakamı yazmaktadır.

			Mutasyon		
			Varlığı	Noktası	Değeri
=EĞER(S_SAYI_ÜRET() $\leq$ 0,1;1;0)					
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0

Şekil 3.36. Mutasyona uğrayacak bireylerin seçimi

Mutasyonun hangi gen değerinde olacağı 1 ile 19 arasındaki sayıların Şekil 3.37'deki formül yardımıyla rastgele oluşturulmasıyla belirlenmektedir.

			Mutasyon		
			Varlığı	Noktası	Değeri
=EĞER(Y3=1;YUKARIYUVARLA(S_SAYI_ÜRET()*19;0);0)					
			0	0	0
			0	0	0
			1	13	1
			1	1	-1
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0

Şekil 3.37. Mutasyona uğrayacak genin seçimi

Mutasyon değeri, Şekil 3.38'deki formül yardımıyla rastgele belirlenmiş -1 veya +1 değerinden oluşmaktadır. Mevcut gen değerine mutasyon değeri eklenerek mutasyon işlemi tamamlanmıştır. İlk problem için 0 veya 5; ikinci problem için ise 0 veya 6 gibi alternatif karşılığı olmayan gen değerlerinin oluşmasını engellemek amacıyla mutasyon değeri, yapım alternatifi sayısına kalanlı bölündüğünde kalan sayı yapım modu olarak atanmıştır. 4 alternatifli bir aktivitede 0 geni oluşursa gen değeri 4 olmakta veya 5 alternatifli bir aktivitede 6 geni oluşursa gen değeri 1 olmaktadır.

Mutasyon		
Varlığı	Noktası	Değeri
=EĞER(Y3=1;YUVARLA(S_SAYI_ÜRET();0)*2-1;0)		
0	0	0
0	0	0
1	13	1
1	1	-1
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0

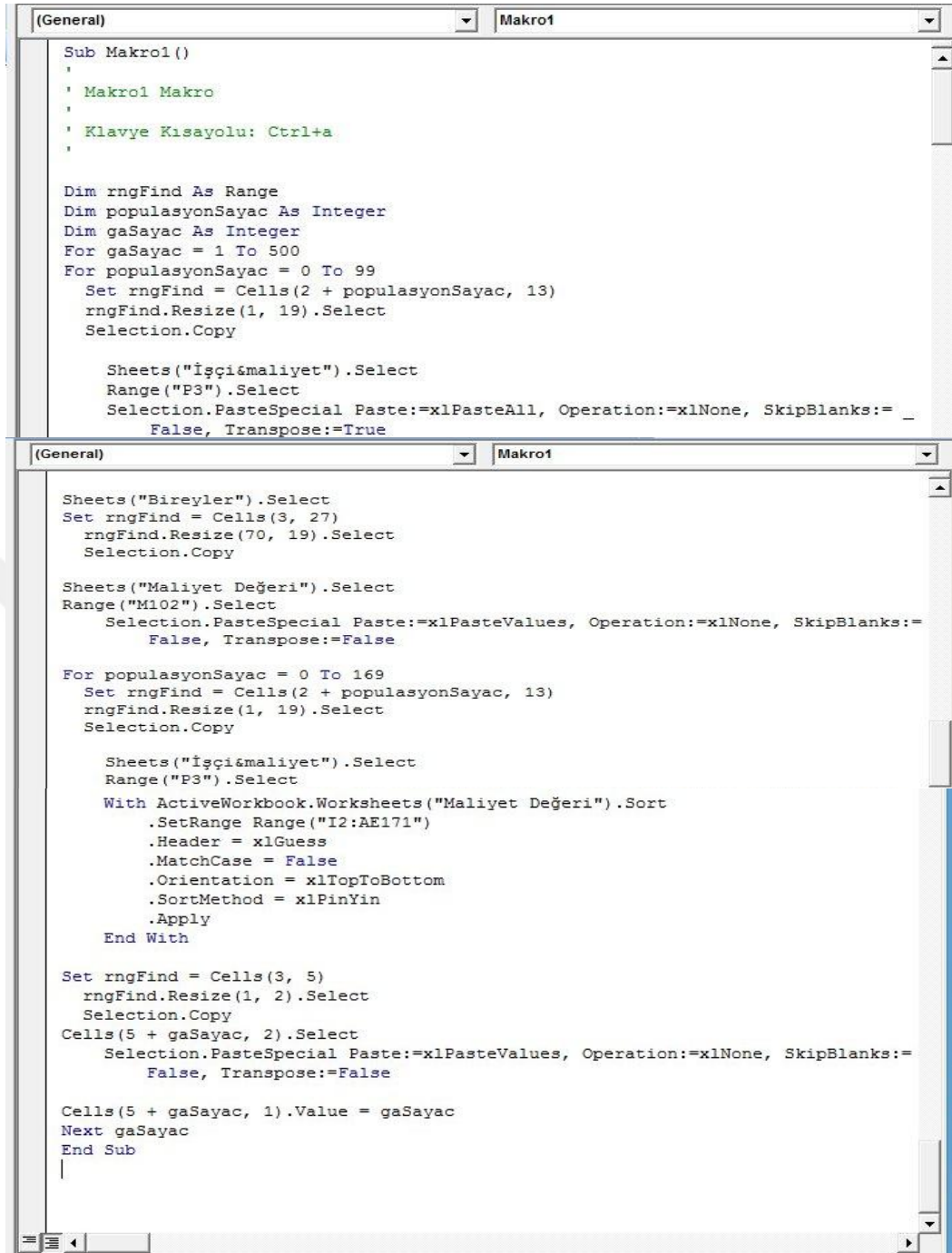
Şekil 3.38. Mutasyon değerinin belirlenmesi

3.5.4. Doğal seleksiyonun uygulanması

Çaprazlama sonucu oluşan 70 oğul birey ile mutasyona uğramış 10 yeni bireyi de içine alan 100 ebeveyn bireyin yapım maliyet değerleri yazılan makro kodu yardımıyla hesaplandı. Yapım maliyet değerleri hesaplanan bu bireyler, bu değere göre küçükten büyüğe doğru sıralandı. Daha sonra sıra numaraları verildi ve hayatta kalma olasılıkları hesaplandı. Hayatta kalma olasılık değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanan toplam 170 birey, ilk başta oluşturulan birey sayısına (100) eşit olmasını sağlamak amacıyla en düşük değere sahip 70 birey yok edilerek doğal seleksiyon gerçekleştirildi. Doğal seleksiyonun uygulanmasıyla genetik algoritmanın bir döngüsü tamamlandı. Bir döngü sonucu oluşan bireylerin maliyet değerinin ortalaması ve en uygun maliyet değeri kayıt altına alındı.

3.5.5. Makro uygulaması

Bu çalışmada optimum çözüm yolu aranan iki problem için hesap cetvelinde birbirine benzer iki farklı makro kodu yazıldı. Makro kodlarındaki farklılık ikinci problemde oluşturulan 5. alternatifinde sistem içinde çalışmasını sağlamaktan kaynaklanmıştır. GA'nın her tekrarında gerçekleşmesi gereken 500 döngü, oluşturulan makro kodlaması sayesinde bir önceki döngü sonucu oluşan bireylerin gen değerlerini de temel alarak sağlamaktadır. Şekil 3.39'da ilk problemin çözümünde kullanılan makro kodlamasının bir kesidi gösterilmektedir.

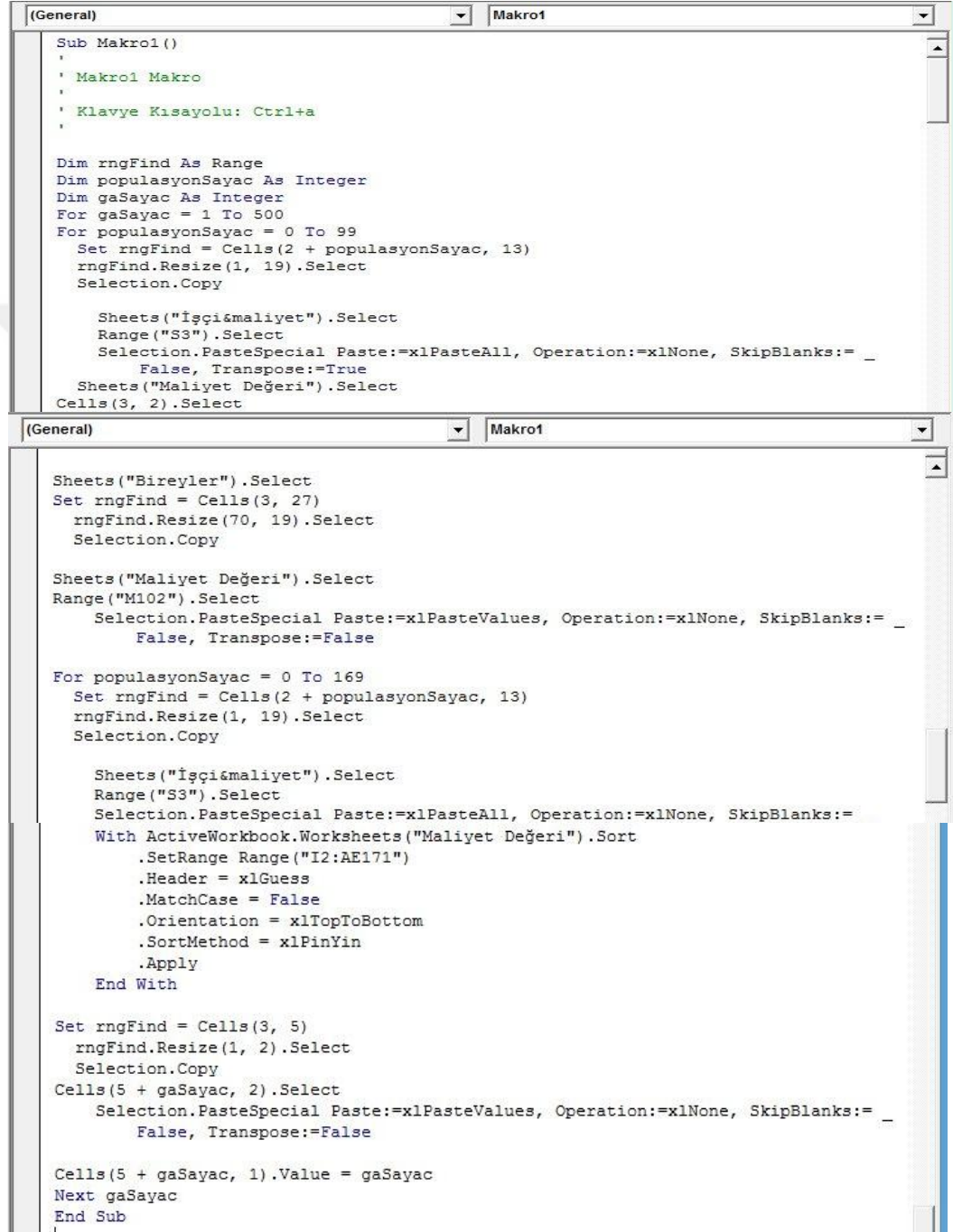


Şekil 3.39. Birinci problemde kullanılan makro kodunun bir kesiti

Kullanılan bu makro kodu yardımıyla GA uygulamasında anlatılan adımlar otomatik olarak gerçekleşmekte ve döngü sayısının isteğe bağlı olarak değiştirilmesini sağlamaktadır.

Şekil 3.40'ta ise ikinci problemin çözümünde kullanılan makro kodlamasından bir kesit yer almaktadır. Hesap cetvelinde, birinci problemin çözüm süreci içerisinde

maliyet değerinin hesaplanması P3 hücresine gen dizisinin yerleştirilmesiyle başlamaktaiken ikinci problemde 5. alternatifin sisteme dâhil olması sonucu S3 hücresine kaymaktadır. Bu nedenle, ikinci problemdeki makro kodlaması güncellenerek doğru çalışması sağlanmıştır.



```
Sub Makro1()  
    ' Makro1 Makro  
    ' Klavye Kısayolu: Ctrl+a  
  
    Dim rngFind As Range  
    Dim populasyonSayac As Integer  
    Dim gaSayac As Integer  
    For gaSayac = 1 To 500  
        For populasyonSayac = 0 To 99  
            Set rngFind = Cells(2 + populasyonSayac, 13)  
            rngFind.Resize(1, 19).Select  
            Selection.Copy  
  
            Sheets("İşçi&maliyet").Select  
            Range("S3").Select  
            Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAll, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _  
                False, Transpose:=True  
            Sheets("Maliyet Değeri").Select  
            Cells(3, 2).Select  
        Next populasyonSayac  
    Next gaSayac  
End Sub  
  
Sub Makro2()  
    Sheets("Bireyler").Select  
    Set rngFind = Cells(3, 27)  
    rngFind.Resize(70, 19).Select  
    Selection.Copy  
  
    Sheets("Maliyet Değeri").Select  
    Range("M102").Select  
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _  
        False, Transpose:=False  
  
    For populasyonSayac = 0 To 169  
        Set rngFind = Cells(2 + populasyonSayac, 13)  
        rngFind.Resize(1, 19).Select  
        Selection.Copy  
  
        Sheets("İşçi&maliyet").Select  
        Range("S3").Select  
        Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAll, Operation:=xlNone, SkipBlanks:=  
        With ActiveWorkbook.Worksheets("Maliyet Değeri").Sort  
            .SetRange Range("I2:AE171")  
            .Header = xlGuess  
            .MatchCase = False  
            .Orientation = xlTopToBottom  
            .SortMethod = xlPinYin  
            .Apply  
        End With  
    Next populasyonSayac  
  
    Set rngFind = Cells(3, 5)  
    rngFind.Resize(1, 2).Select  
    Selection.Copy  
    Cells(5 + gaSayac, 2).Select  
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _  
        False, Transpose:=False  
  
    Cells(5 + gaSayac, 1).Value = gaSayac  
    Next gaSayac  
End Sub
```

Şekil 3.40. İkinci problemde kullanılan makro kodunun bir kesidi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

GA'da porblem için popülasyon boyutu tüm çevrimlerde sabit kalacak şekilde 100 birey, çaprazlama oranı %70 ve mutasyon oranı %10 olarak alınmıştır. Bu çalışmada çözümü aranan problemler için GA'da her tekrarda 500 çevrim yapılmıştır. GA, rastsal olarak arama uzayında optimum çözümü aramaktadır. Bu rastsallıktan dolayı arama uzayında bulunan en uygun çözümü bulmak için hesap cetvelinde 500 döngü olarak uygulanan GA, her iki problem için 10 kez tekrarlanmıştır. 10 tekrar yapılmasının nedeni GA rastsal çalışma prensibi, çalışmada çözümü aranan problemlerin arama uzayının büyük olması ve her tekrar sonucunda elde edilen optimum çözümün kıyaslanmasıdır. Birinci ve ikinci problemin 10 tekrar sonucunda elde edilen optimum çözümün maliyeti ve bu optimum sonucu veren bireyin gen değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Her iki problem için en uygun maliyet ve aktiviteler için seçilen alternatif numaraları

		1. Problem	2. Problem
En Uygun Maliyet (TL)		2.249.810	2.243.415
Aktivite 1	Seçilen Alternatif Numarası (Gen Değeri)	4	5
Aktivite 2		4	4
Aktivite 3		4	4
Aktivite 4		2	3
Aktivite 5		2	2
Aktivite 6		2	2
Aktivite 7		1	1
Aktivite 8		1	1
Aktivite 9		1	1
Aktivite 10		1	1
Aktivite 11		1	1
Aktivite 12		3	3
Aktivite 13		4	4
Aktivite 14		1	1
Aktivite 15		1	1
Aktivite 16		4	5
Aktivite 17		4	4
Aktivite 18		4	4
Aktivite 19		2	2

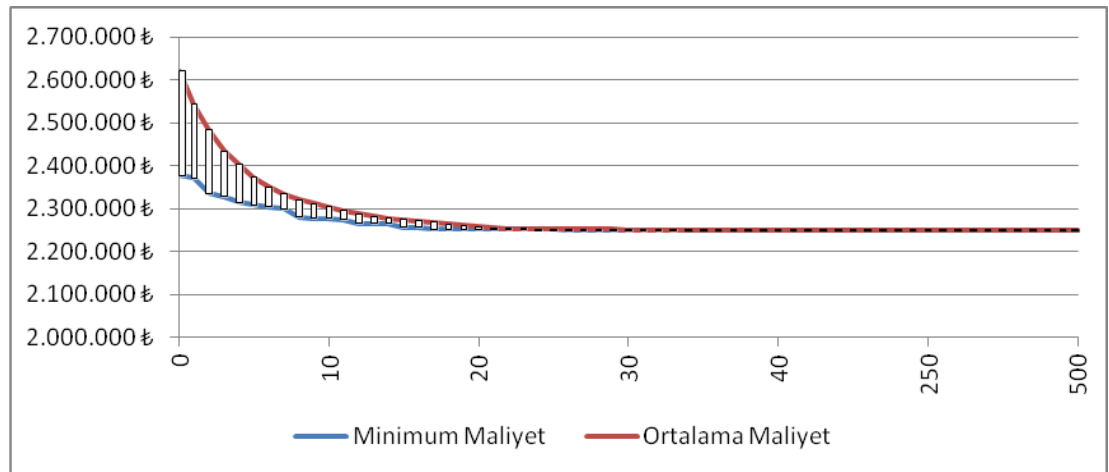
4.1. Birinci Problemin Çözümünden Elde Edilen Veriler

Birinci problemin GA'daki 500 döngüsünün 10 tekrarı sonucu elde edilen minimum maliyet değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

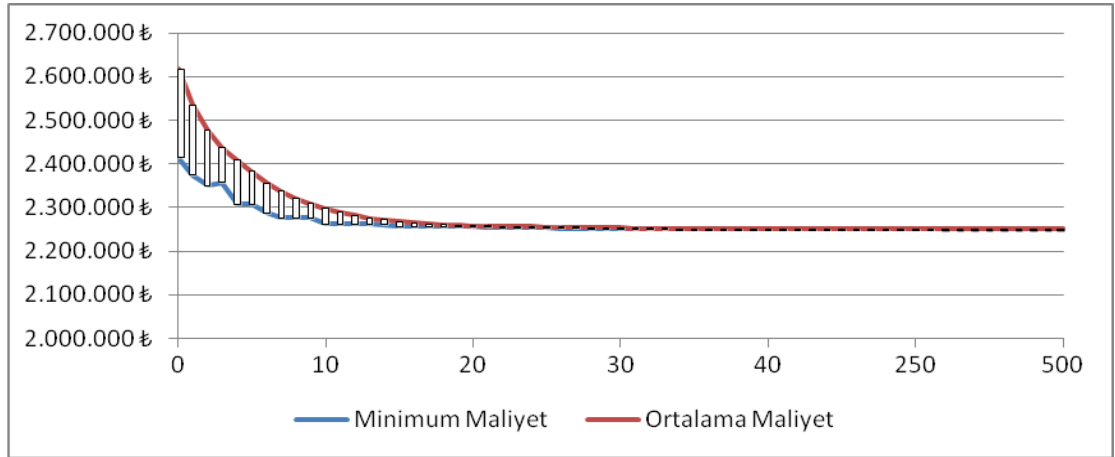
Çizelge 4.2. Birinci problemin çözümünden elde edilen minimum maliyet değerleri

Tekrar Numarası	Minimum Maliyet Değerleri (TL)
1	2.250.455
2	2.250.455
3	2.249.810
4	2.249.810
5	2.249.810
6	2.250.455
7	2.250.455
8	2.250.455
9	2.250.455
10	2.250.455

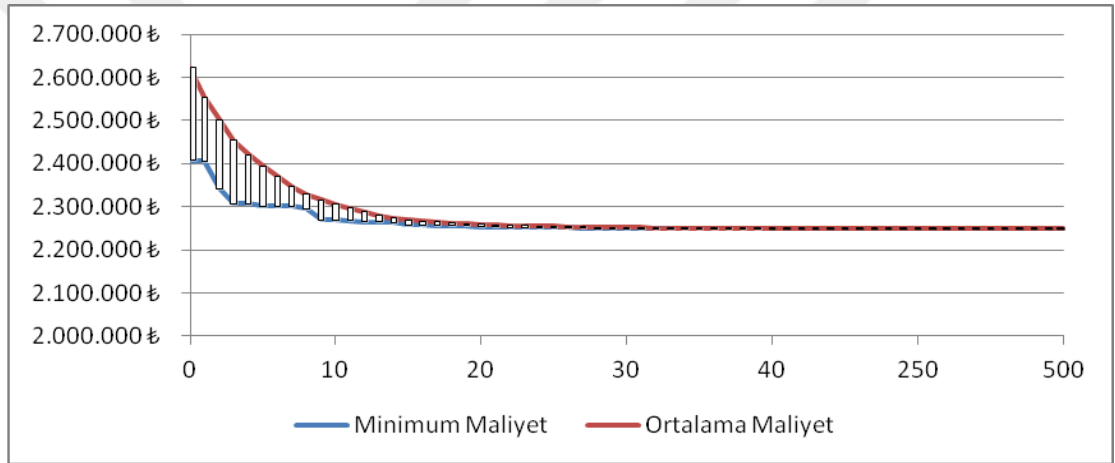
Birinci problemdeki her tekrar sonucu kayıt altına alınan ortalama ve minimum maliyet değerleri Şekil 4.1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10'da gösterilmektedir. Grafiklerde ortalama ve minimum maliyet değerleri arasındaki fark döngü sayısının ilerlemesine bağlı olarak azalmakta ve sıfırlanmaktadır.



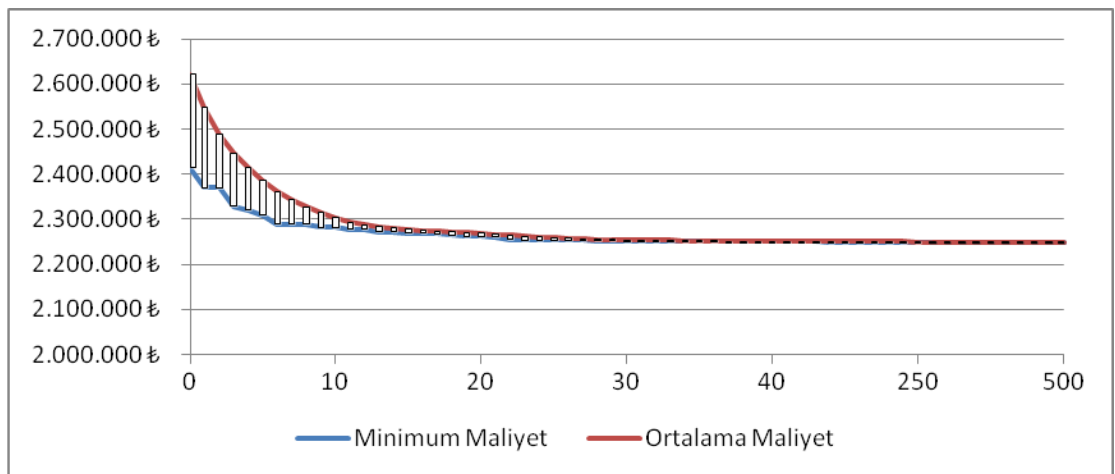
Şekil 4.1. Problem 1 tekrar 1 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



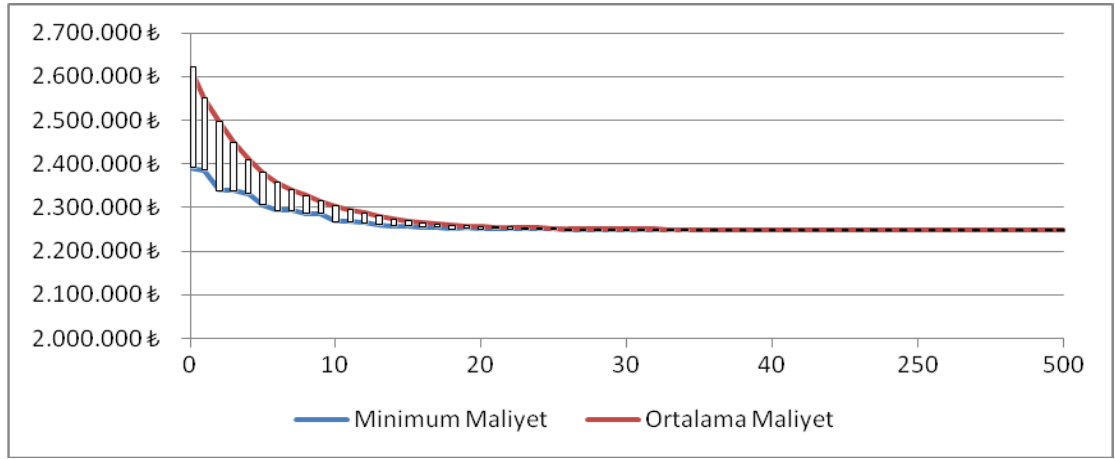
Şekil 4.2. Problem 1 tekrar 2 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması 1



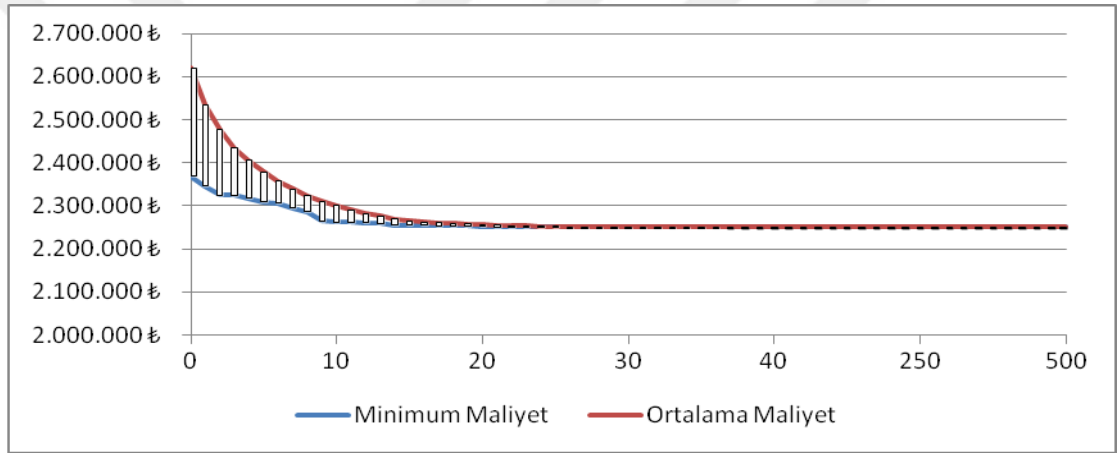
Şekil 4.3. Problem 1 tekrar 3 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



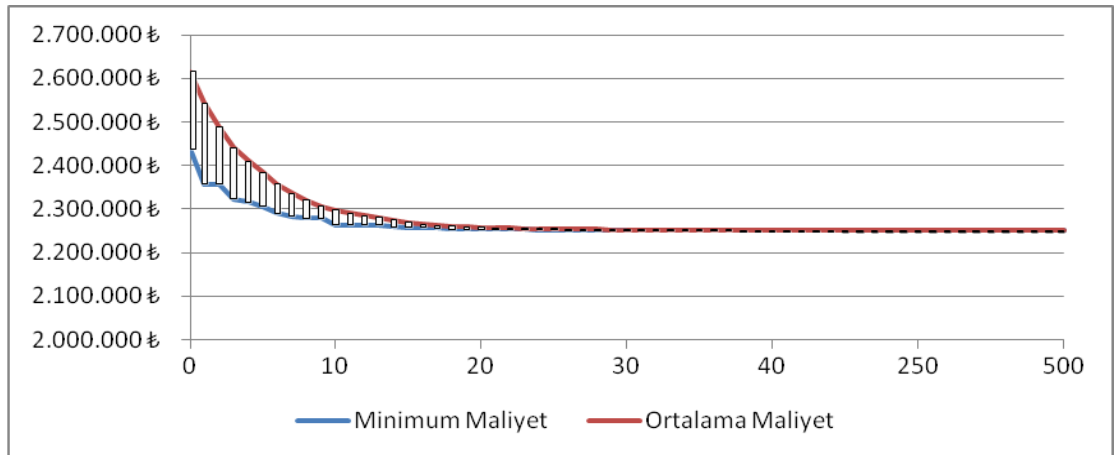
Şekil 4.4. Problem 1 tekrar 4 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



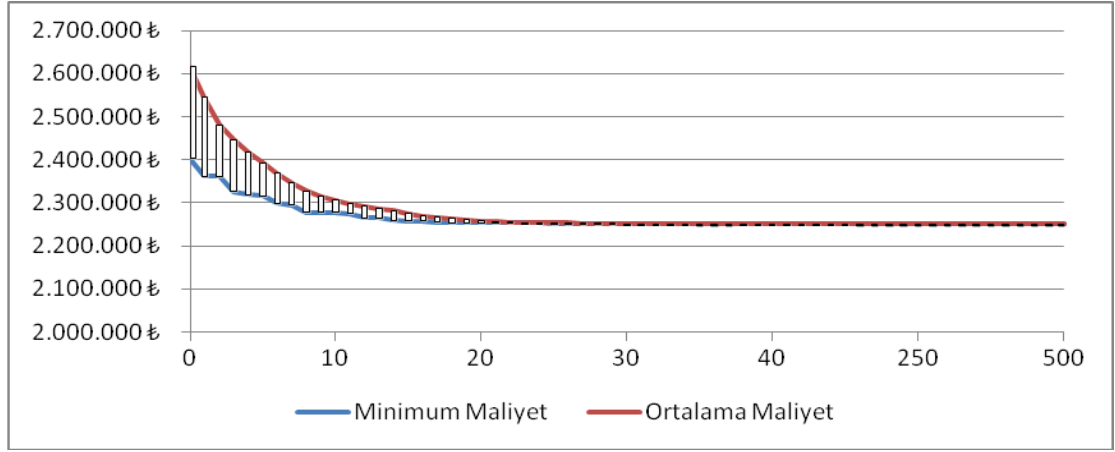
Şekil 4.5. Problem 1 tekrar 5 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



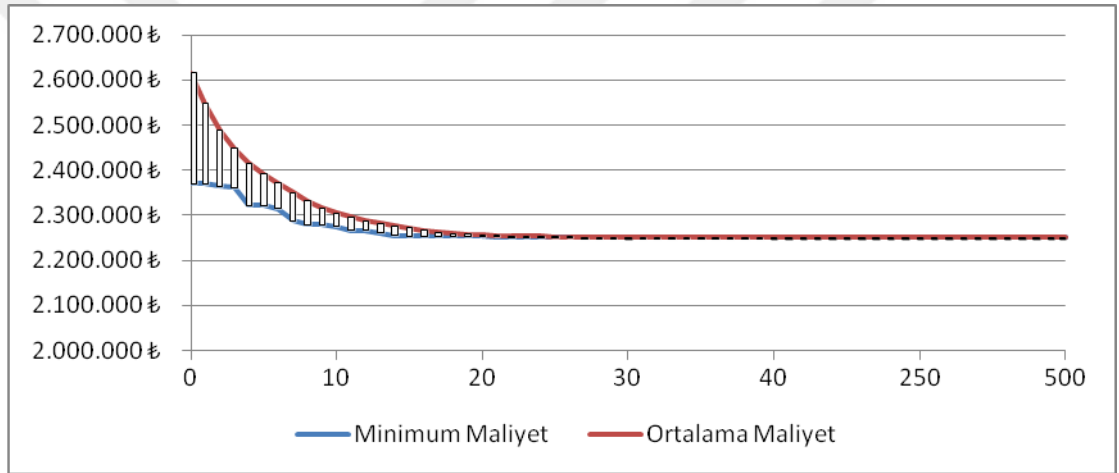
Şekil 4.6. Problem 1 tekrar 6 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



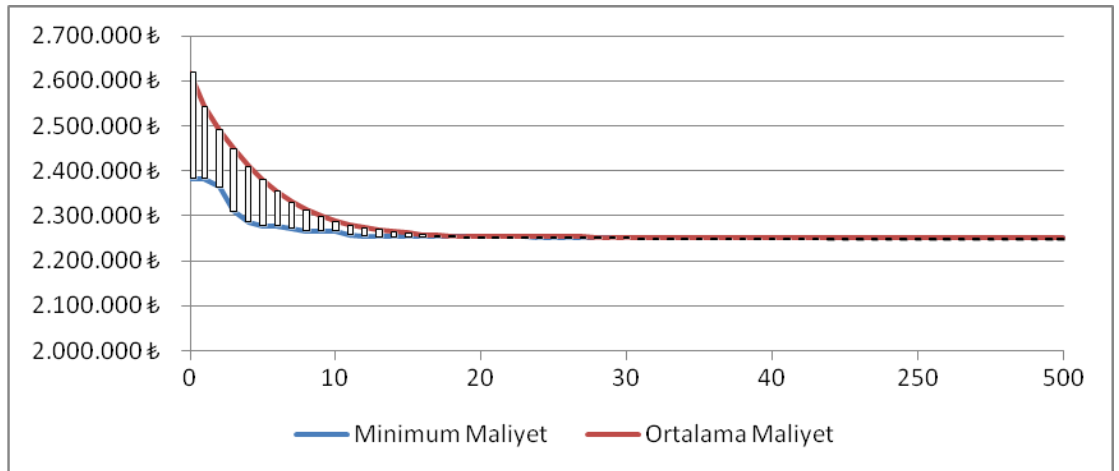
Şekil 4.7. Problem 1 tekrar 7 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



Şekil 4.8. Problem 1 tekrar 8 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



Şekil 4.9. Problem 1 tekrar 9 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



Şekil 4.10. Problem 1 tekrar 10 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması

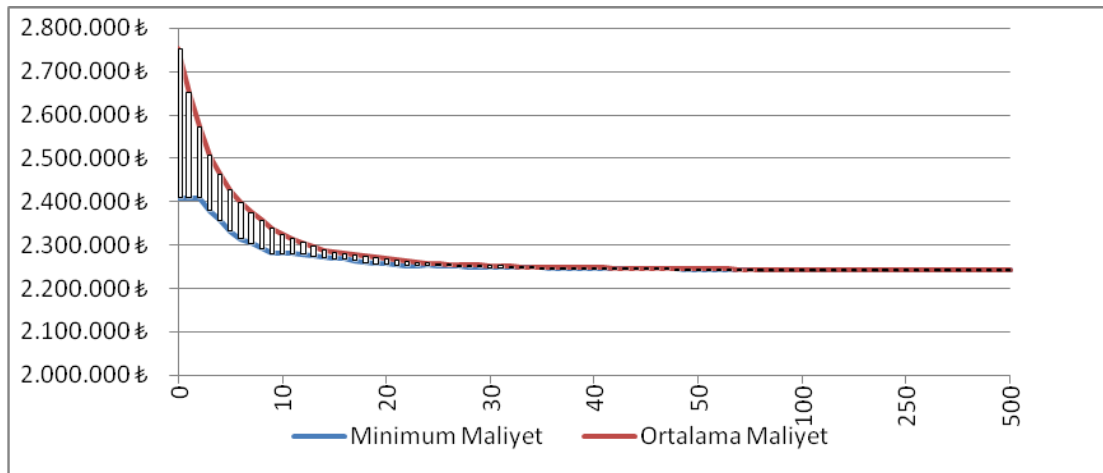
4.2. İkinci Problemin Çözümünden Elde Edilen Veriler

İkinci problemin GA'daki 500 döngüsünün 10 tekrarı sonucu elde edilen minimum maliyet değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

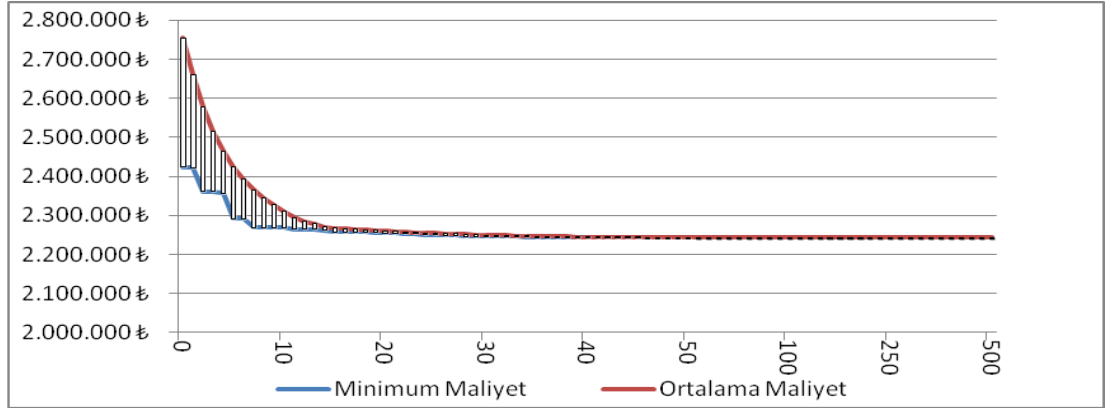
Çizelge 4.3. İkinci problemin çözümünden elde edilen minimum maliyet değerleri

Tekrar Numarası	Minimum Maliyet Değerleri (TL)
1	2.244.060
2	2.243.415
3	2.244.060
4	2.244.355
5	2.244.060
6	2.243.710
7	2.243.415
8	2.243.415
9	2.243.415
10	2.244.355

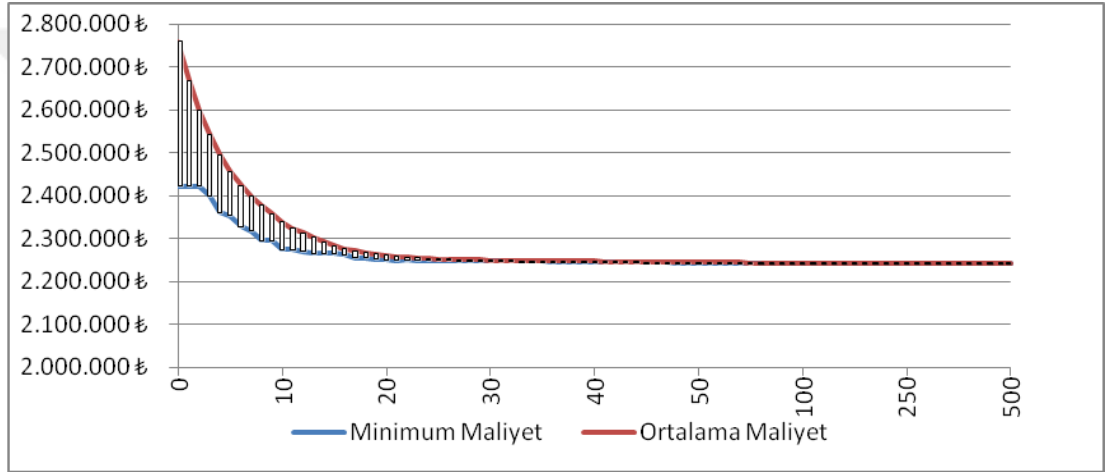
İkinci problemdeki her tekrar sonucu kayıt altına alınan ortalama ve minimum maliyet değerleri Şekil 4.11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 ve 20'de gösterilmektedir. Grafiklerde ortalama ve minimum maliyet değerleri arasındaki fark döngü sayısının ilerlemesine bağlı olarak azalmakta ve sıfırlanmaktadır.



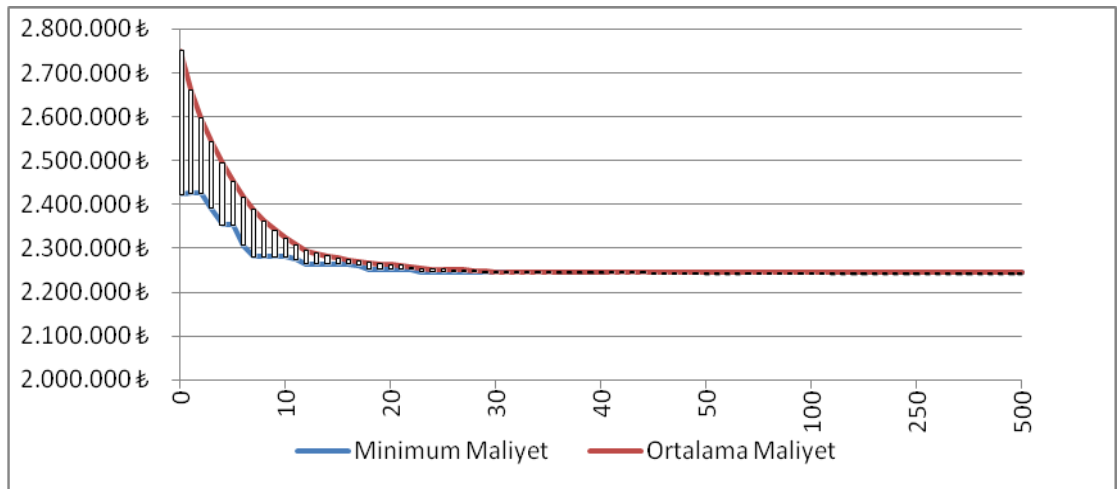
Şekil 4.11. Problem 2 tekrar 1 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



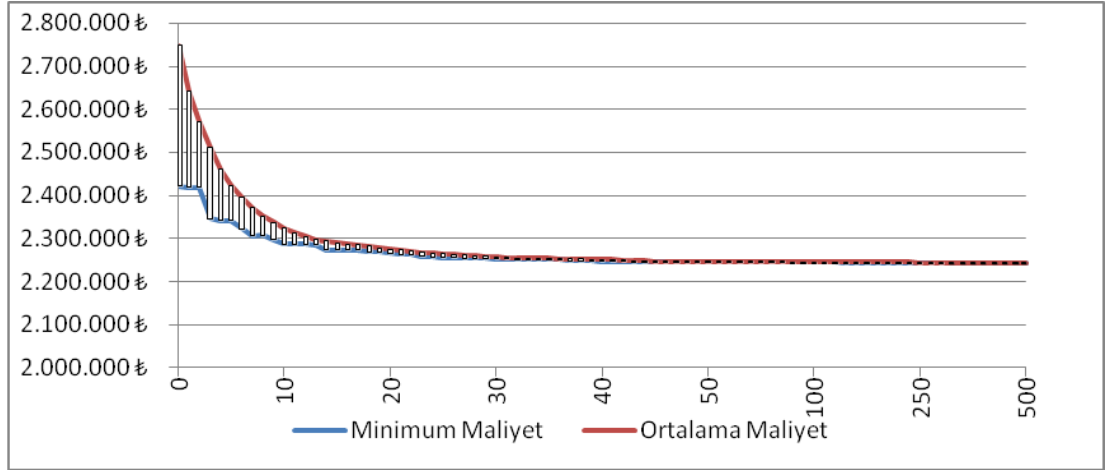
Şekil 4.12. Problem 2 tekrar 2 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



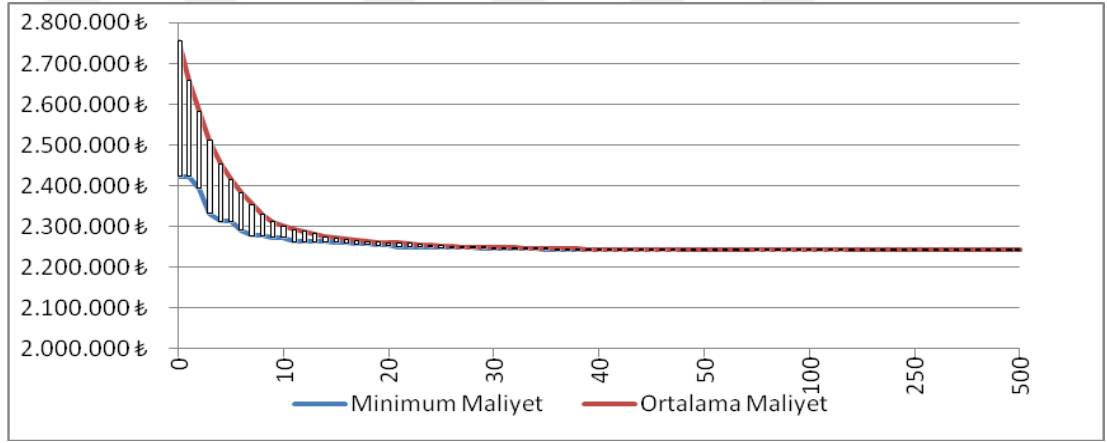
Şekil 4.13. Problem 2 tekrar 3 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



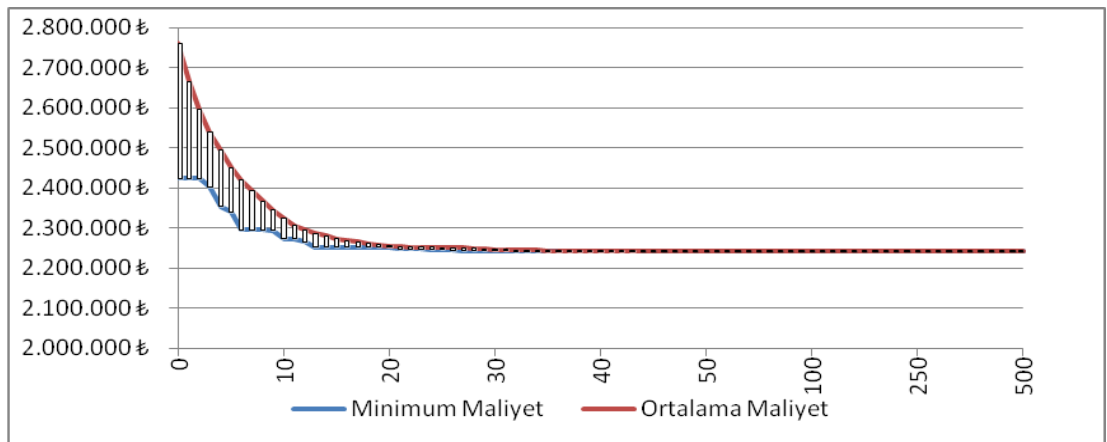
Şekil 4.14. Problem 2 tekrar 4 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



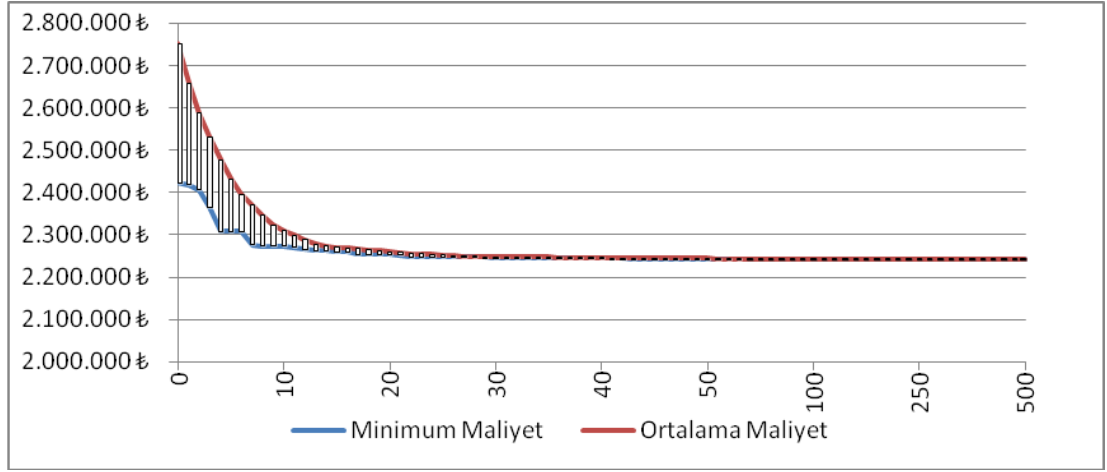
Şekil 4.15 Problem 2 tekrar 5 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



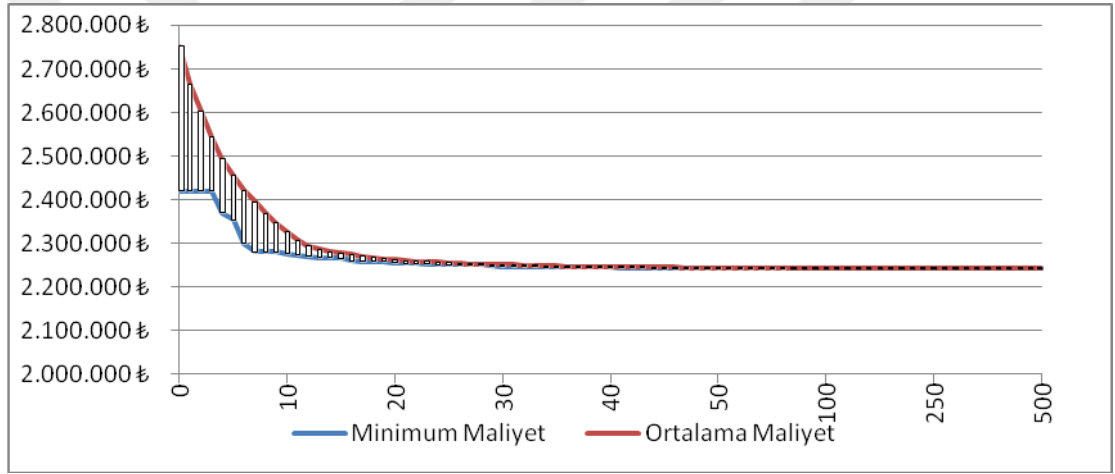
Şekil 4.16. Problem 2 tekrar 6 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



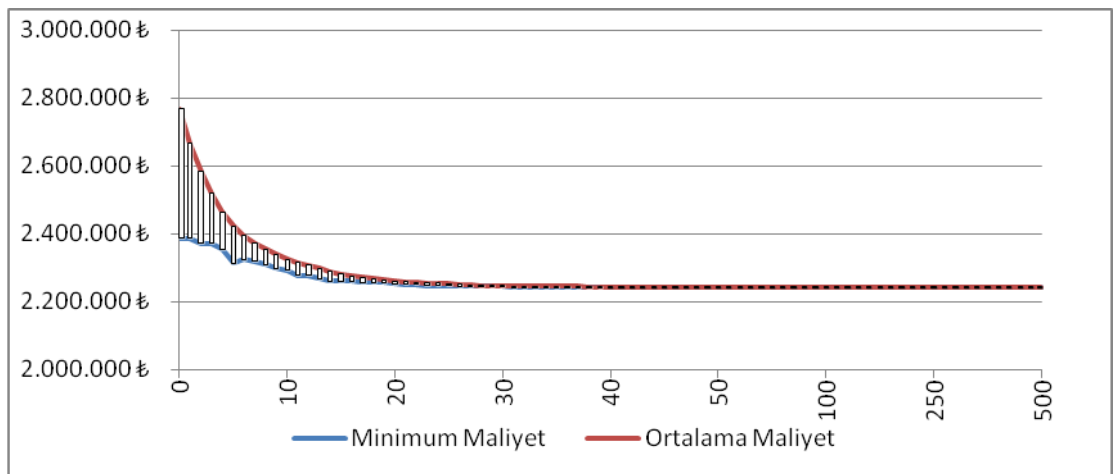
Şekil 4.17. Problem 2 tekrar 7 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



Şekil 4.18. Problem 2 tekrar 8 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



Şekil 4.19. Problem 2 tekrar 9 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması



Şekil 4.20. Problem 2 tekrar 10 en iyi çözüm ve popülasyon ortalaması

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada geliştirilen hesap cetveli uygulaması konut inşaatlarında kat sayısına göre insan müdahalesi olmayacak biçimde iş programını oluşturup yapım alternatiflerini belirleyebilmektedir. GA'nın çözümü için geliştirilen makro kodlaması, makul süreler içerisinde düşük maliyetli yapım planının belirlenmesi ve bu uygulamanın kolay kullanılabilirliği bakımından yüklenicilere ekonomik katkı sağlamaktadır.

Planlama mühendisleri en uygun süre ve maliyetle projenin tamamlanması için proje maliyetlerini kontrol altında tutarak planlama ve takip yapmaktadır. Planlama ve takip aşamasında öngörülmeleyen durumların ortaya çıkması veya başka projeler için tekrarlanan hesaplar zaman ve enerji açısından büyük kayıplara yol açmaktadır. Bu çalışmada otomatikleştirilen hesap cetveli uygulamasına veri girişı veya değışimi yapılarak sistemden hızla sonuç alınabilmektedir. Sonuçların hızlı bir şekilde alınması ekonomik açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır. Proje yönetiminde profesyonellerin kullandığı programların dışında kolay oluşturulabilir ve kullanılabilir bir sistemin varlığı sektör içindeki tüm aktörlere rekabet açısından eşit şanslar yaratmaktadır.

Zaman-maliyet ödünleşim probleminin çözümüne yönelik literatürde çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, ZMÖP'ün çözümü ileri düzeyde teorik bilgi gerektiren inşaat sektörünün uygulayabilmesi çok mümkün olmayan akademik düzeyde yapılmıştır. Bu nedenle inşaat sektöründe yer alan herhangi bir müteahhidin bu çözüm yolunu kullanmasının zor olduğu görülmektedir. Bu çalışmada çözümün hesap cetveli üzerinde oluşturulan sistem tarafından araştırılması planlama mühendislerinin yanı sıra sıradan bir müteahhidin de rahatlıkla kullanımı açısından önem taşımaktadır. Böylelikle yeni başlayacak inşaat işlerinde veya iş programına uygun devam edilmeyen işlerde; para akışındaki problemler, hakediş ve fiyat farkı ödemeleri ve işin zamanında bitirilmemesi durumunda oluşacak gecikme cezaları gibi mali kayıpları önlemek adına hızlandırma yapılabilir. İşin kalan bölümündeki iş kalemleri için oluşturulan yapım alternatiflerinin değerlendirilmesi noktasında da ZMÖP ve bu çalışmada geliştirilen çözüm yöntemi fayda sağlar. Yapım işlerinin

daha avantajlı maliyet ve süre dengesinde tamamlanması müteahhidin mali durumunun iyileşmesini sağlayacaktır.

Artan rekabet şartlarıyla birlikte ZMÖP'ün çözümü günümüzde önemini ciddi derecede artırmıştır. Yapılan çalışmalarda birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada problemlerin çözümünde kullanılan GA yöntemi sonucunda elde edilen en düşük maliyet değeri ve yapım alternatifleri seçenekleri kayıt altına alınmıştır. GA ile en düşük maliyetli yapım alternatifinin elde edilmesi kesin değildir ancak araştırma bulguları bölümünde gösterilen minimum ve ortalama maliyet değerleri grafiği incelendiğinde önemli maliyet düşüşünün sağlandığı görülmektedir. Arama uzayının ilk probleme göre daha büyük olması nedeniyle ikinci problemdeki tekrarlardan elde edilen çözüm değerlerinin farklılaştığı ve daha düşük maliyet değerlerine yakınsadığı görülmüştür. Problem için en uygun maliyet değerleri aranırken GA uygulaması her tekrar 500 döngü olacak şekilde 10 kez tekrarlanmıştır. Her tekrarın ilk ve son döngülerinde elde edilen minimum maliyet değerleri arasındaki farkın ortalaması ilk problem için 146.581 TL; ikinci problem için 173.813 TL'dir. İlk problem için minimum maliyet değeri 164.260 TL azalarak 2.249.810 TL; ikinci problem için minimum maliyet değeri 180.995 TL azalarak 2.243.415 TL olmuştur. Dolayısıyla, bu çalışmada oluşturulan hesap cetveli uygulaması ve 2017 yılı fiyatlarının kullanılmasıyla işçilik maliyetinden elde edilen tasarrufun, net karı önemli ölçüde artırabileceği ve maliyette kayda değer bir iyileşme elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

ZMÖP'ün çözümünde kullanılan GA'nın birey sayısı, çaprazlama ve mutasyon oranlarını, farklı verilerin çözüme performans olarak geri dönüşü araştırılarak oluşturuldu. Hesap yükü, hesap süresi ve optimum sonuç değerleri göz önüne alındı. Birey sayısı seçiminde, 19 aktivite kullanılan her iki problem için 100 olmasına karar verildi. karar aşamasında 50 ve 100 bireylerin performansı göz önüne alındığı zaman yakınsama kararlılığı ve hesap yükü açısından 100 bireyin uygun olduğu analiz edildi. Yaklaşık olarak aktivite sayısının 5 katı civarında seçilen ilk birey sayısı daha uygun sonuçlar vermektedir. Çaprazlama oranında ise hesap yükü ve optimum sonuç açısından iyi performans gösteren %70 değeri tayin edildi. Mutasyon oranının farklı birey sayısı ve çaprazlama oranlarında değişken performans gösterdiğinden hesap yükü açısından orta derece olan %10 değeri alınmıştır. GA'nın her döngüsünde

Çaprazlama operat6r6 70, mutasyon operat6r6 10 yeni birey oluşturmakta b6ylece d6ng6 başına 80 yeni bireyin maliyet değerinin hesaplanması gerekmektedir. Toplamda, her tekrarda uygulanan 500 d6ng6 sonucunda her iki problem içinde 40.000 maliyet değeri hesabı yapılmıştır. Birinci problemdeki alternatif 6z6m yolu sayısının 274 milyardan; ikinci problemde ise 19 trilyondan fazla olduğu g6z 6n6ne alındığında GA'nın hesap y6k6ne g6re sunduğu optimum ve yakın optimum sonuçlar uygundur.



6. KAYNAKLAR

- Afruzi, E. N., Najafi, A. A., Roghanian, E., and 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 and Operations Research*, Vol. **50**, pp. 80-96, DOI: 10.1016/j.cor.2014.04.003.
- Albayrak, G. and Özdemir, İ. (2016). "Yapı Projelerinin Süre-Maliyet Optimizasyonunda Metasezgisel Algoritma Kullanımı." *ADYU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (2016)39-49.
- Aminbakhsh, S., Sönmez, R. and Bilir, M. (2016)." Tamsayılı Doğrusal Programlama Yöntemiyle Kesikli Zaman-Maliyet Ödünleşim Probleminin Optimal Pareto Çözümü." 4 . *Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, 3 – 5 Kasım 2016.
- Ammar, M. (2011). Optimization of project time-cost trade-off problem with discounted cash flows. *Journal of Construction Engineering and Management*, **137** (1), pp.65-71.
- Anagnostopoulos, K. P. and Kotsikas, L. (2010). "Experimental evaluation of simulated annealing algorithms for the time–cost trade-off problem." *Applied Mathematics and Computation*, Vol. **217**, No. 1, pp. 260-270, DOI: 10.1016/j.amc.2010.05.056.
- Arikan F. and Gungor Z. (2001). "An application of fuzzy goal programming to a multi objective project network problem". *Fuzzy Sets and Systems* **119**, 49-58, 2001.
- Barber, T. J. and Boardman, J. T. (1988). "Knowledge-based project control employing heuristic optimisation." *IEE Proceedings*, Vol. **135**, No. 8, pp. 529-538, DOI: 10.1049/ip-a-1.1988.0083.
- Bettemir, (2009), "*Optimization of time-cost-resource trade-off problems in project scheduling using meta-heuristic algorithms*" Doctoral dissertation, Middle East Technical University
- Bettemir, Ö. H. (2010). "Experimental design for genetic algorithm simulated annealing for time cost trade-off problems." *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)* Vol.3, Issue 1(2011)15-26
- Bettemir, Ö. H. and Birgönül, M. T. (2016). " Network Analysis Algorithm for the Solution of Discrete Time-Cost Trade-off Problem." *KSCE Journal of Civil Engineering*, (2017) **21**(4):1047-1058 DOI 10.1007/s12205-016-1615-x
- Braysy O. (2001), *Local Search and Variable Neighborhood Search Algorithms for The Vehicle Routing Problem With Time Windows*, PH D Thesis.

- Cha, H. S. and 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*, Vol. **19**, No. 4, pp. 841-852.
- Chassiakos, A. P. and Sakellariopoulos, S. P. (2005). Time-cost optimization of construction projects with generalized activity constraints. *Journal of Construction Engineering and Management*, **131** (10), pp.1115-1124.
- Chen, P. H. and Weng, H. (2009). A two-phase GA model for resource-constrained project scheduling. *Automation in Construction*, **18** (4), pp.485-498.
- Cheng, M. Y. and Tran, D. H. (2016). "An efficient hybrid differential evolution based serial method for multimode resource-constrained project scheduling." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. **20**, No. 1, pp. 90-100.
- Chiu, Y. S. P. and 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*, Vol. **45**, No. 7, pp. 987-991, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2004.10.015.
- Eshtehardian, E., Afshar, A., and Abbasnia, R. (2009). "Fuzzy-based MOGA approach to stochastic time–cost trade-off problem." *Automation in Construction*, Vol. **18**, No. 5, pp. 189-198, 2009
- Feng, C. W., Liu, L., and Burns, S. A. (1997). "Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems." *Journal of Computing in Civil Engineering*, **11**(3), pp.184-189.
- Feng, C. W., Liu, L., and Burns, S. A. (2000). Stochastic construction time-cost trade-off analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **14** (2), pp.117-126.
- Fulkerson, D. R. (1961). "A network flow computation for project cost curves." *Management Science*, Vol. **7**, No. 2, pp. 167-178, DOI:10.1287/mnsc.7.2.167.
- Fung R.Y.K. , Tang J. ve Wang D. (2001), "Extension Of A Hybrid Genetic algorithm For Nonlinear Programming Problems With Equality And Inequality Constraints", *Computers & Operations Research*, Volume: **29**, Issue: 3, s. 261-274.
- Geem, Z. W. (2010). "Multiobjective optimization of time-cost trade-off using harmony search." *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. **136**, No. 6, pp. 711-716, DOI: 10.1061/(ASCE) CO.1943-7862.0000167.
- Ghoddousi, P., Eshtehardian, E., Jooybanpour, S., and Javanmardi, A. (2013). "Multi-mode resource-constrained discrete time–cost-resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm." *Automation in Construction*, Vol. **30**, pp. 216-227, DOI: 10.1016/j.autcon.2012.11.014.

- Goyal, S. K. (1975). "A note on a simple CPM time-cost tradeoff algorithm." *Management Science*, Vol. **21**, No. 6, pp. 718-722, DOI:10.1287/mnsc.21.6.718.
- Hegazy, T. (1999). "Optimization of construction time-cost trade-off analysis using genetic algorithms." *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. **26**, No. 6, pp. 685-697, DOI: 10.1139/l99-031.
- Hegazy, T. and Ersahin, T. (2001). Simplified Spreadsheet solutions. II: Overall schedule optimization. *Journal of Construction Engineering and Management*, **127** (6), pp.469-475.
- Hooshyar B, Rahmani A, Shenasa M. (2008). "A Genetic algorithm to time cost trade off in project scheduling." *IEEE Congress on Evolutionary Computation*; 2008.
- Iranmanesh H, Sikandari MR, Allahverdiloo M. (2008). "Finding pareto optimal front for multimode time, cost quality tradeoff in project scheduling. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 2008; **40**, 346-350.
- Jebaseeli, M. E. and Dhayabaran, D. P. (2008). " An Algorithm to Solve Fully Fuzzy Time Cost Trade off Problems." *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, Volume **4**, Issue 2, March 2015
- Kandil A. and El-Rayes K. (2005). "Parallel computing framework for optimizing construction planning in large-scale projects." *Journal of Computing in Civil Engineering* 2005; **19** (3), 304–312.
- Kandil A. and El-Rayes K. (2006). "Parallel genetic algorithms for optimizing resource utilization in large-scale construction projects." *Journal of Construction Engineering and Management* 2006; **132** (5), 491-498.
- Kang, N., Son, J. and Lee, S. (2015). "New Time-Cost Trade-Off Model Considering the Sequence of Alternatives Between Activities." *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*/May 2015/386
- Kasaeian A, Reza O, Afshar A. (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;.
- Ke, H., Maa, W., Ni, Y. (2009). "Optimization Models and a GA Based Algorithm for Stochastic Time-Cost Trade Off" *Applied Mathematics and Computations* **215**, 308-313.
- Ke, H. (2014). "Uncertain random time-cost trade-off problem." *Journal of Uncertainty Analysis and Applications*, 2014, **2**:23 <http://www.juaa-journal.com/content/2/1/23>

- Kelley Jr, J. E. and Walker, M. R. (1959). "Critical-path planning and scheduling." *In Proc. of eastern joint IRE-AIEE-ACM computer conference Association for Computing Machinery* December 1-3,1959, Vol. **1**, pp. 160-173.
- Kelley Jr, J. E. (1961). "Critical-path planning and scheduling: Mathematical basis." *Operations Research*, Vol. **9**, No. 3, pp. 296-320, DOI:10.1287/opre.9.3.296.
- Khang, D. B. and Myint, Y. M. (1999). "Time, cost and quality trade-off in project management: A case study." *International Journal of Project Management*, Vol. **17**, No. 4, pp. 249-256, DOI: 10.1016/S0263-7863(98)00043-X.
- Kim, J., Kang, C., and 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*, Vol. **30**, No. 2, pp. 264-272, DOI: 10.1016/j.ijproman. 2011.05.004.
- Koo, C., Hong, T., and Kim, S. (2015). "An integrated multi-objective optimization model for solving the construction time-cost trade-off problem." *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. **21**, No. 3, pp. 323-333, DOI: 10.3846/13923730.2013.802733.
- Lee, H. S., Roh, S., Park, M. S., and Ryu, H. G. (2010). "Optimal option selection for finishing works of high-rise building." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. **14**, No. 5, pp. 639-651.
- Leu, S. S. and Yang, C. H. (1999). GA-based fuzzy optimal model for construction scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, **125** (5), pp.420-427.
- Leung, A. W., ve Tam, C. M. (1999a). Models for assessing hoisting times of tower cranes. *Journal of construction engineering and management*, **125**(6), 385-391.
- Leung, A. W., ve Tam, C. M. (1999b). Prediction of hoisting time for tower cranes for public housing construction in Hong Kong. *Construction Management & Economics*, **17**(3), 305-314.
- Liu, L., Burns, S., and Feng, C., "Construction Time-Cost Trade-Off Analysis using LP/IP Hybrid Method". *J. Constr. Eng. Manage.*, **121**(4), 446-454, 1995.
- Liu, S. S. and Wang, C. J. (2008). "Resource-constrained construction project scheduling model for profit maximization considering cash flow." *Automation in Construction*, Vol. **17**, No. 8, pp. 966-974, DOI: 10.1016/j.autcon.2008.04.006.
- Monghasemi, S., Nikoo, M. R., Fasaee, M. A. K., and 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*, Vol. **42**, No. 6, pp. 3089-3104, DOI: 10.1016/j.eswa.2014.11.032.

- Moussourakis, J. and Haksever, C. (2004). Flexible Model for time/cost tradeoff problem. *Journal of Construction Engineering and Management*, **130** (3), pp.307-314.
- Mungle, S., Benyoucef, L., Son, Y. J., and 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*, Vol. **26**, No. 8, pp. 1953-1966, DOI: 10.1016/j.engappai.2013.05.006.
- Rahimi M, Iranmanesh H. (2008) "Multi-objective particle swarm optimization for discrete time cost quality trade-off problems." *World Applied Sciences Journal* 2008; **4**(2), 270-276.
- Rostami, M., Moradinezhad, D., and Soufipour, A. (2014). "Improved and competitive algorithms for large scale multiple resourceconstrained project-scheduling problems." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. **18**, No. 5, pp. 1261-1269.
- Sakellariopoulos, S. and Chassiakos, A.P. (2004). " Project time–cost analysis under generalised precedence relations." *Advances in Engineering Software*, **35** (2004) 715–724
- Senouci, A. and El-Rayes, K. (2009). Time-Profit trade-off analysis for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, **135** (8), pp.718-725.
- Shapira, A., ve Glascock, J. D. (1996). Culture of using mobile cranes for building construction. *Journal of construction engineering and management*, **122**(4), 298-307.
- Shapira, A., Lucko, G., and Schexnayder, C. J. (2007). Cranes for building construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, **133**(9), 690-700.
- Siemens, N. (1971). "A Simple CPM Time-Cost trade off algorithm." *Management Science*, Vol. **17**, No. 6, pp. B354-B363, DOI:10.1287/mnsc.17.6.B354.
- Siemens, N. and Gooding, C. (1975). "Reducing project duration at minimum cost: A time-cost tradeoff algorithm." *Omega*, Vol. **3**, No.5, pp. 569-581, DOI: 10.1016/0305-0483(75)90030-4.
- Sönmez R, Bettemir Ö. H. (2012). "A hybrid genetic algorithm for the discrete time-cost trade-off problem." *Expert Systems with Applications* 2012; **39**(13), 11428-11434.
- Tam, C. M., Leung, A. W., ve Liu, D. K. (2002). Nonlinear models for predicting hoisting times of tower cranes. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **16**(1), 76-81.

- Tareghian HR, Taheri SH. A. (2007). "Solution procedure for the discrete time, cost and quality tradeoff problem using electromagnetic scatter search." *Applied Mathematics and Computation* 2007; **190** (2), 1136-1145.
- Tavana, M., Abtahi, A. R., and 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*, Vol. **41**, No. 4, pp. 1830-1846, DOI: 10.1016/j.eswa.2013.08.081.
- Yang, I. T. (2007). "Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis." *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. **133**, No. 7, pp. 498-505, DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:7(498).
- Zhang, H. and Xing, F. (2010). "Fuzzy-multi-objective particle swarm optimization for time–cost–quality tradeoff in construction." *Automation in Construction*, Vol. **19**, No. 8, pp. 1067-1075, DOI:10.1016/j.autcon.2010.07.014.
- Zhang, Y. and Thomas Ng, S. (2012). "An ant colony system based decision support system for construction time-cost optimization." *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. **18**, No. 4, pp.580-589, DOI: 10.3846/13923730.2012.704164.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tugay YÜCEL

Doğum Yeri ve Tarihi: MALATYA - 14.08.1989

Adres: Mimarsinan Mahallesi. 133. Sokak. Umut Apt. No: 5 / 12.
Atakum / SAMSUN

E-Posta: tugay.yucel@teias.gov.tr - tgyycl@gmail.com

Lisans: İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği

Yüksek Lisans: -

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Teiaş 10. Bölge Müdürlüğü (Kasım 2017)

Yayın Listesi:

Bettemir, Ö.H., Yücel, T. 2017. Zaman Maliyet Ödünleşim Probleminin Hesap Cetveli Uygulaması İle Optimum Çözümü. Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi. Ekim 6-7, 2017. SAMSUN. 423-435