



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İNŞAAT PROJELERİNDE HARMONİ ARAMA
YAKLAŞIMIYLA BİR PERFORMANS MODELİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Mohammad Lemar ZALMAI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Ekrem MANİSALI

Kasım, 2015

İSTANBUL

Bu çalışma 16/11/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:



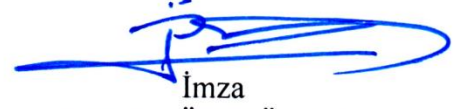
İmza

Prof. Dr. Ekrem MANİSALI (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



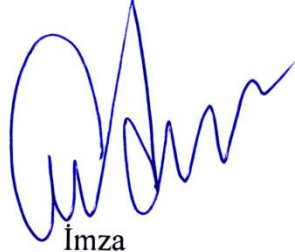
İmza

Doç. Dr. Ümit IŞIKDAĞ
Mimar Sinan Üniversitesi
Enformatik Bölümü



İmza

Doç. Dr. Ömer ÖZKAN
İstanbul Medeniyet Üniversitesi
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi



İmza

Yard. Doç. Dr. Cemil AKÇAY
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



İmza

Yard. Doç. Dr. Ömer GİRAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterlięinin 50827 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Çalışma konumun belirlemede ve çalışmamın her aşamasında destek ve görüşlerini esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Ekrem MANİSALI'ya, tezimin oluşmasında bana her zaman destek veren, değerli eleştiri ve önerileri ile çalışmamın şekillenmesinde beni yönlendiren ve tezimin yazımı esnasında teknik desteğini esirgemeyen değerli hocam Araş. Gör. Osman Hürol TÜRKAİN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca HA yöntemi ile ilgili hiçbir bilgisini benden esirgemeyen değerli hocam Dr. Rasim TEMÜR'e, tezimin veri toplama aşamasında birim fiyat analizine yönelik desteğini esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Cemil AKÇAY'a, ve hayatımın her evresinde olduğu gibi yüksek lisans çalışmamın süresince de gerek maddi gerek manevi teşvikleri ile her zaman yanımda yer alan değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu araştırma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Merkezi tarafından desteklenmiştir. İ.Ü BAP birimi tüm kurum yetkililerine ayrıca teşekkür ederim.

Kasım, 2015

Mohammad Lemar ZALMAI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. ADAM-SAAT DEĞERLERİ	3
2.1.1. Adam-Saat Kavramının Tanımı	4
2.1.2. Adam-Saat Değerlerinin Elde Edilmesi	5
2.2. CPM (KRİTİK YOL YÖNTEMİ)	6
2.2.1. Kritik Yol Yöntemi (CPM)'in Adımları	6
2.2.2. Ok Tipi Şebeke Diyagramının Çizilmesi	7
2.2.2.1. İleri-Geri Hesaplamalar ile Başlama Bitiş Zamanlarının Bulunması ...	11
2.2.2.2. Faaliyetlerin Bolluklarının Hesaplanması	12
2.2.2.3. Kritik Faaliyetler ve Kritik Yolun Gösterilmesi - Proje Süresinin Bulunması	13
2.2.3. Kutu Tipi Şebeke Diyagramının Çizilmesi	14
2.2.3.1. Kutu Diyagram Uygulaması	15
2.3. SÜRE-MALİYET TAVİZ VERME	16
2.3.1. Faaliyet Süresi ile Maliyeti Arasındaki İlişki	17
2.3.2. Proje Süresi ile Maliyeti Arasındaki İlişki	19
3. MALZEME VE YÖNTEM	21
3.1. AMAÇ	21
3.2. OPTİMİZASYON	21
3.2.1. Optimizasyonun Tarihsel Gelişimi	23
3.2.2. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması	26

3.2.3. Optimizasyonun Özellikleri	26
3.3. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARININ SINIFLANDIRILMASI	28
3.3.1. Matematiksel Programlama Modelleri.....	29
3.3.2. Sezgisel Metodlar.....	30
3.3.2.1. Sezgisel Algoritmalara Gerek Duyulmasının Sebepleri.....	31
3.3.3. Meta-Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri	32
3.3.3.1. Meta-Sezgisel Yöntemlerin Özellikleri	32
3.4. OPTİMİZASYON MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI	33
3.5. HARMONİ ARAMA METODU	34
3.5.1. HA (Harmoni Arama) Modeli.....	37
3.6. UYGULAMA PROJESİ (İNŞAAT KAZI VE TEMEL YAPIM İŞİ)	46
3.6.1. Uygulama Projesinin CPM Şebekesi ve Faaliyetlerin Metrajları	48
3.6.2. Uygulama Projesindeki Hesap Detayları	49
3.6.3. Faaliyetlerin Pozlarına Göre Özet Detayları	54
3.6.4. Uygulama Projesi Modelinin MATLAB Kodları ve Kısaca Açıklamaları....	59
3.6.4.1. Proje Süresi ve Proje Maliyetinin Elde Edilmesi.....	59
3.6.4.2. HA Modelinin Kodları ve İstenilen Süre-Maliyet Çiftlerinin Elde Edilmesi	62
3.6.4.3. Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Farklı İterasyon Sayılarına Göre 3 Boyutlu Çiziminin Kodları.....	64
3.7. PARETO ÇÖZÜMÜ	66
4. BULGULAR	68
4.1. UYGULAMA PROJESİNİN SÜRE-MALİYET EĞRİLERİ.....	69
4.1.1. Uygulama Projesinin HA Modelinden Çıkan İlk Çözüm Kümesi.....	69
4.1.2. Uygulama Projesinin HA'nın 50 İterasyonla İki Boyutlu Pareto Süre-Maliyet Grafiği	70
4.1.3. Uygulama ProjesininHA'nın 100 İterasyonla İki Boyutlu Pareto Süre-Maliyet Grafiği	71
4.1.4. Uygulama Projesinin HA'nın 1000 İterasyonla İki Boyutlu Pareto Süre-Maliyet Grafiği	72
4.1.5. Uygulama ProjesininHA'nın 5000 İterasyonla İki Boyutlu Pareto Süre-Maliyet Grafiği	74
4.1.6. HA'nın Uygulama Projesinin Süre-Maliyet Eğrilerine Göre İterasyon Sayısının İrdelenmesi	75
4.1.7. HA'nın Uygulama Projesinin Süre-Maliyet Eğrilerine Göre HMCR (HA'nın Dikkate Alma Oranının) İrdelenmesi	77

4.1.8. HA'nin Uygulama Projesinin Süre-Maliyet Eğrilerine Göre HMS (HA Belleğinin Kapasitesi) İrdelenmesi	78
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	79
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	86
EK 1. BAY 15.010/3B Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları.....	86
EK 2. BAY 15.010/4B Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları.....	87
EK 3. BAY 14.1714/1 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları	87
EK 4. BAY 14.1717 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları.....	88
EK 5. BAY 15.140/İB-1 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları	88
EK 6. BAY 16.001 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları.....	89
EK 7. BAY 18.465/2 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları	89
EK 8. BAY 18.467/2 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları	90
EK 9. BAY 18.468/3 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları	90
EK 10. BAY 19.101/MK Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları	91
EK 11. BAY 21.016 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları.....	91
EK 12. BAY 21.001/02 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları.....	92
EK 13. BAY 21.017/2 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları	93
EK 14. BAY 23.015 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları.....	93
EK 15. BAY 16.059/1 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları	94
ÖZGEÇMİŞ.....	95

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Hemen Önceki (Öncül) ve Sonraki Faaliyetler.	7
Şekil 2.2: Birden Fazla Faaliyetin Bir Düğümde Toplanması ve Bir Düğümde Çıkması.	8
Şekil 2.3: Aynı Düğümde Çıkan İki Faaliyetin Başka Bir Düğümde Toplanamaması.	8
Şekil 2.4: Proje Başlangıcında ve Bitişinde Tek Düğüm Gösterimi.	8
Şekil 2.5: Kukla Faaliyet.	9
Şekil 2.6: Örnek Projeye Ait Şebeke Diyagramı.	9
Şekil 2.7: CPM’de İleriye Doğru Hesaplamalar.	12
Şekil 2.8: CPM’de Geriye Doğru Hesaplamalar.	12
Şekil 2.9: Toplam Bollukların Gösterilmesi.	13
Şekil 2.10: Projenin Kritik Yolu ve Süresi.	14
Şekil 2.11: Bir Faaliyet İçin Lineer Süre-Maliyet Taviz verme.	17
Şekil 2.12: Bir Faaliyet İçin Lineer Olmayan Süre-Maliyet Taviz vermenin Gösterimi.	18
Şekil 2.13: Bir Faaliyet İçin Kesikli Süre-Maliyet Taviz Vermenin Gösterimi.	19
Şekil 2.14: Proje Süre-Maliyet İlişkisi.	20
Şekil 3.1: Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması.	26
Şekil 3.2: Optimizasyon Algoritmalarının Sınıflandırılması	28
Şekil 3.3: Müzik İyileştirme ile Mühendislik Optimizasyonu Arasındaki benzeşimi (Lee ve Geem, 2005).	35
Şekil 3.4: Harmoni Arama Metodunun Akış Şeması (Geem , 2004).	37
Şekil 3.5: Harmoni Belleği Matrisi.	39
Şekil 3.6: HM (Harmoni Belleğinin) Başlangıç Matrisi.	41
Şekil 3.7: Birinci İterasyonda HM Matrisinden Seçilmiş Değerler.	42
Şekil 3.8: İkinci İterasyonda HM Matrisinden Seçilmiş Değerler.	43

Şekil 3.9: Birinci İterasyondan Sonra HM Matrisi.....	44
Şekil 3.10: İkinci İterasyondan Sonra HM Matrisi.	44
Şekil 3.11: 1. ve 2. İterasyondan Sonra HM Matrisinin Son Hali.	45
Şekil 3.12: Temel Plan Görünüşü.	46
Şekil 3.13: A-A Kesiti.	46
Şekil 3.14: B-B Kesiti.....	47
Şekil 3.15: Radye Temel Detayları.	47
Şekil 3.16: Uygulama Projesinin CPM Ok Tipi Diyagramı.	49
Şekil 3.17: Uygulama Projesinin CPM Kutu Tipi Diyagramı.	49
Şekil 3.18: Çözüm Vektörü Adayları Arasındaki Baskınlık Tercihi (1. Çeşit).	66
Şekil 3.19: Çözüm Vektörü Adayları Arasındaki Baskınlık Tercihi (2. Çeşit).	66
Şekil 3.20: Pareto Süre-Maliyet Çözüm Seti.	67
Şekil 4.1: Uygulama Projesinin İlk İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.....	69
Şekil 4.2: Uygulama Projesinin HA'nın 50 İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.	70
Şekil 4.3: Uygulama Projesinin HA'nın 100 İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.	71
Şekil 4.4: Uygulama Projesinin HA'nın 1000 İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.	72
Şekil 4.5: Uygulama Projesinin HA'nın 5000 İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.	74
Şekil 4.6: Uygulama Projesinin Farklı İterasyon Sayılarına Göre Süre-Maliyet Grafikleri.	75
Şekil 4.7: Uygulama Projesinin Farklı HMCR Değerlerine Göre Süre-Maliyet Grafikleri.....	77
Şekil 4.8: Uygulama Projesinin Farklı HMS Sayılarına Göre Süre-Maliyet Grafikleri.	78

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Örnek Proje Faaliyetlerinin Öncelik ve Süre Bligisi.	9
Tablo 2.2: Kutu Diyagramında Faaliyetler Arasındaki İlişkilerin Gösterimi.....	15
Tablo 3.1: Yöntemin Müzikteki Unsurları ile Mühendislik Unsurları Arasındaki Kıyaslaması.	36
Tablo 3.2: Proje Kapsamındaki Faaliyetlerin Metrajı ve Alternatif Pozları.....	48
Tablo 3.3: Bayındırlık Bakanlığının Birim Fiyat Analizi Tablosunun Örneği.....	50
Tablo 3.4: Kalıp Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.	52
Tablo 3.5: Kalıp Faaliyetinin Farklı Pozlarının Ekip Hızları (Adam-Saat).	52
Tablo 3.6: Kazı Faaliyetinin Farklı Pozlarının Ekip Hızları (Adam-Saat).....	54
Tablo 3.7: Kazı Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.	54
Tablo 3.8: Dolgu Faaliyetinin Pozlarının Ekip Hızları (Adam-Saat).....	54
Tablo 3.9: Dolgu Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.....	55
Tablo 3.10: Grobeton Faaliyeti Pozunun Birim Hızı (Adam-Saat).....	55
Tablo 3.11: Grobeton Faaliyeti Pozunun Özet Detayları.	55
Tablo 3.12: Su Yalıtımı Faaliyetinin Farklı Pozlarının Birim Hızları (Adam-Saat).	56
Tablo 3.13: Su Yalıtımı Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.	56
Tablo 3.14: Yalıtım Şapı Faaliyeti Pozunun Birim Hızı (Adam-Saat).	56
Tablo 3.15: Yalıtım Şapı Faaliyeti Pozunun Özet Detayları.....	57
Tablo 3.16: Kalıp Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.	57
Tablo 3.17: Kalıp Faaliyetinin Farklı Pozlarının Birim Hızları (Adam-Saat).....	57
Tablo 3.18: Demir Yapılması Faaliyeti Pozunun Birim Hızı (Adam-Saat).	58
Tablo 3.19: Demir Yapılması Faaliyetinin Pozuna Göre Özet Detayları.....	58
Tablo 3.20: Beton Dökülmesi Faaliyeti Pozunun Birim Hızı (Adam-Saat).....	58

Tablo 3.21: Beton Dökülmesi Faaliyetinin Pozuna Göre Özet Detayları.	58
Tablo 4.1: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nin İlk İterasyonla Pareto Sonucu.	69
Tablo 4.2: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nin 50 İterasyonla Pareto Sonucu.....	70
Tablo 4.3: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nin 100 İterasyonla Pareto Sonucu.....	71
Tablo 4.4: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nin 1000 İterasyonla Pareto Sonucu.....	73
Tablo 4.5: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nin 5000 İterasyonla Pareto Sonucu.....	74
Tablo 4.6: Uygulama Projesinin Farklı İterasyon Sayıları ile HA Çözümleri.	76

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler Açıklama

₺	: TL (Türk Lirası)
T	: Time (Süre)
C	: Cost (Maliyet)

Kısaltmalar Açıklama

ABA	: Ateş Böceği Algoritması
BAY	: Bayındırlık Bakanlığı
BTA	: Benzetilmiş Tavlama Algoritması
CPM	: Critical Path Method (Kritik Yol Yöntemi)
EF	: Early Finish (En Erken Bitiş Süresi)
ES	: Early Start (En Erken Başlama Süresi)
FF	: Finish to Finish (Bitiş-Bitiş)
FS	: Finish to Start (Bitiş-Başlangıç)
GA	: Genetik Algoritma
HA	: Harmoni Arama
HM	: Harmony Memory (Harmoni Belleği)
HMCR	: Harmony Memory Considering Rate (Harmoni Belliğini Dikkate Alma Oranı)
HMS	: Harmony Memory Size (Harmoni Belleğinin Büyüklüğü)
HÖF	: Hemen Önceki Faaliyet
KKA	: Karınca Kolonisi Algoritması
LF	: Late Finish (En Geç Bitme Süresi)
LS	: Late Start (En Geç Başlama Süresi)
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
SB	: Serbest Bolluk
SF	: Start to Finish (Başlangıç-Bitiş)
SMTV	: Süre-Maliyet Taviz Verme
SS	: Start to Start (Başlangıç-Başlangıç)
TB	: Toplam Bolluk
YAK	: Yapay Arı Kolonisi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT PROJELERİNDE HARMONİ ARAMA YAKLAŞIMIYLA BİR PERFORMANS MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mohammad Lemar ZALMAI

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ekrem MANİSALI

İnşaat yönetiminde proje maliyeti ve proje süresi, projenin ana faktörlerindendir. Gerçek hayattaki projelerde, proje maliyeti ve tamamlanma süresi arasındaki trade-off (taviz verme) ilişkisi ve bilinmeyen çevre etkileri karar vericilerin değerlendirilmesi gereken unsurlarındandır.

Planlamacılar, iş programını yaparken faaliyetlerin tamamlanma süresi ve maliyetini göz önünde bulundururlar. Proje süresini kısaltmak için ek kaynak tahsis edilerek faaliyetlerin süreleri azaltılabilir, ancak bu projede ek maliyetler doğurur. Bu nedenle, proje süresi ve toplam maliyeti arasında taviz verme sağlanarak proje için en uygun iş programı hazırlanır. Süre-maliyet taviz verme problemleri genellikle kesiklidir ve her faaliyet için belirli sayıdaki süre-maliyet çiftlerinin değerlendirilmesiyle toplam maliyet en aza indirgenerek çözülür. Klasik metotların ve paket programların süre-maliyet taviz verme problemlerine çözüm getiremediği durumlarda Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu gibi sezgisel üstü yöntemlere başvurulmaktadır. Bu çalışmaların çoğunda, proje değerleri deterministik olarak kabul edilmiştir ve fitness değeri CPM (Kritik Yol Metodu) hesaplamaları içermektedir. Halbuki çoğu inşaat projeleri stokastik süreçlerdir.

Bu çalışmada, bir projenin faaliyetleri Türkiye şartlarına göre, T.C Bayındırlık bakanlığının birim fiyat analizleri verilerine istinaden hangi yöntemlerle yapılabilmesi, ne hızda yapılması ve bunların toplam maliyete etkisi ne olduğu araştırılıp elde edilen verilerle süre-maliyet taviz verme optimizasyonu, Harmoni Arama

metodunu kullanarak çok amaçlı yapılmıştır. Bu modelin nasıl çalışacağını göstermek üzere bir örnek uygulama detaylı olarak çözülmüştür. Örnek çözümün yanı sıra gerçek bir inşaat projesi verileri üzerinde de uygulanmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

Kasım 2015, 108 sayfa

Anahtar kelimeler: İnşaat sektörü, CPM (kritik yol yöntemi), çok amaçlı optimizasyon, Harmoni Arama yöntemi, süre-maliyet taviz verme.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

A PERFORMANCE MODEL DEVELOPMENT IN CONSTRUCTION PROJECTS USING HARMONY SEARCH APPROACH

Mohammad Lemar ZALMAI

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ekrem MANİSALI

Project cost and project duration are the main factors in construction management. In real-life projects, both the trade-off between the project cost and the project completion time, and the uncertainty of the environment are considerable aspects for decision-makers.

Planners, when they prepare time schedule of a project, consider the duration of activities and costs. For reducing the project duration, we can reduce the activities' durations by allocating additional resources, but this incurs additional costs in project. Therefore, the optimum time schedule for the project is provided by ensuring the trade-off between project time and total cost. Time-cost trade-off problems are usually intermittent and will be solved with minimizing the total cost by evaluating the time-cost of a certain number of pairs for each activity.

In the situations that classical methods and software packages are not able to solve the time-cost trade-off problems, the meta-heuristic methods such as Genetic Algorithms, Particle Swarm Optimization and Ant Colony Optimization can be used. Most of these studies consider deterministic project values and include CPM (Critical Path Method) calculations for fitness value calculation. However, most construction projects are stochastic processes.

In this study, different methods and speeds of the main activities are searched according to Turkey's construction conditions and construction works analysis of unit price data published by the Ministry of Public Works of the Republic of Turkey, and accordingly,

the effects on the project total cost. A multi objective time-cost trade off optimization is done with obtained data by using Harmony Search optimization method. A sample project is solved to demonstrate how to operate this model. In addition, the model is implemented in a real construction project and the conclusions are interpreted.

November 2015, 108 pages

Keywords: Construction industry, CPM (critical path method), multi objective optimization, Harmony Search method, tim cost trade-off.

1. GİRİŞ

İnşaat projelerinde etkili bir iş programı yapılması projenin sağlıklı bir şekilde yürütülmesini sağlar. İş programı yapılırken proje faaliyetlerinin süreleri, maliyetleri ve kaynakların verimli bir şekilde tahsis edilmesi dikkate alınır. Projenin erken bitirilmesi teşvikinden veya fırsat maliyetinden yararlanılabilir ya da sürmekte olan bir projede öngörülen iş planının gerisinde kalındığı durumlarda kaynak miktarı arttırılabilir, fazla mesai kullanılabilir veya farklı bir yapım tekniği uygulanabilir. Bu proje süresinin kısaltma yaklaşımları aynı zamanda ek maliyetler de getirir. Bu nedenle proje iş programında kritik yol metodundan yararlanılarak süre ve maliyet arasında taviz verme yapılmaktadır. Süre-maliyet taviz verme problemleri farklı süre-maliyet veri setlerini değerlendirerek optimum iş programını bulmayı amaçlamaktadır.

Bir projeyi hem süre hemde maliyet açısından minimum kaynakla tamamlamak, proje planlaması için kritik bir faktördür. Ancak, tamamlanma hızı maliyete ilişkili olma eğiliminden dolayı (Örneğin; genellikle eğer daha fazla işçi istihdam olunuyorsa süre tasarrufu yapılabilir), süre ve maliyet arasındaki ilişkiyi süre maliyet taviz verme eğrisi denir. Gerçek hayat projelerinde karar vericiler için, süre-maliyet taviz verme analizi, proje planlama ve kontrolünün en önemli kavramlarından biridir.

Süre-maliyet taviz verme problemlerinin ilk uygulamalarında, süre-maliyet arasındaki ilişki sürekli kabul edilerek yapılmıştır. Ama kullanılan kaynakların ayrık değerlerden oluşmasından dolayı problem ayrık veri setlerinin değerlendirilmesi ile ayrık süre-maliyet taviz verme problemleri olarak pratikte kullanılmıştır. Süre-maliyet taviz verme problemleri, pek çok farklı metod ile çözülebilmektedir. Temelde, tam çözümü arayan klasik metotlar ve tam veya yaklaşık sonucu bulmaya çalışan sezgisel üstü yöntemler bu tür problemlere uygulanmıştır. Klasik yöntem olarak karışık tamsayı programı birçok süre-maliyet taviz verme problemine uygulanmıştır (Sonmez ve Bettemir, 2012). Öte yandan, değişken sayısının daha fazla olduğu problemlerde klasik optimizasyon yöntemlerinin verimliliği düşebilir ve optimum sonuca yaklaşımda sıkıntılar

yaşanabilir. Sezgisel üstü yöntemler, klasik yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda optimum sonuca veya optimuma yakın sonuca ulaşmak için geliştirilmiştir.

Genetik Algoritma, ayrık süre-maliyet problemlerine uygulanan en bilinen sezgisel üstü optimizasyon yöntemidir (Sonmez ve Bettemir, 2012; Zheng ve diğ., 2005). Bununla beraber pek çok diğer sezgisel üstü algoritma, süre-maliyet taviz verme probleminde Genetik Algoritma'nın yerel optimum değerine takılmasından dolayı daha iyi sonuca ulaşmıştır (Elbeltagi ve diğ., 2005; Xiong ve Kuang, 2008; Afshar ve diğ., 2009). Karınca Kolonisi algoritmasını ayrık süre-maliyet taviz verme problemine uygulamıştır. Benzer şekilde (Yang, 2007) ve (Zhang ve Li, 2010) Parçacık Sürü Optimizasyonu ve (Geem, 2010) Harmoni Arama algoritmalarını bu probleme uygulamışlardır.

2. GENEL KISIMLAR

Her projenin özellikle teklif hazırlama olmak üzere tüm aşamalarındaki planlama çalışmalarına hakim olan, belirlenmesi ve takip etmesi zorunlu olan üç ana unsur bulunmaktadır. Birbiriyle aynı anda ve devamlı biçimde etkileşen bu kavramlar; süre, maliyet ve kalitedir. İşgücü verimliliği ise, her üçünü de etkileme potansiyeline sahip olan ve bunların birbirleri arasındaki ilişkileri de gözönüne alınması gereken çok önemli bir kavramdır.

Bu çalışmada işçi verimliliği ve performansının inşaat yönetiminde en önemli iki etken olan proje süresi ve proje maliyeti üzerinde etkisi araştırılmıştır.

Bu bölümde tez konusu ile ilgili bazı proje planlama ilkeleri ve önemli kavramları özetlenmiştir, ayrıca literatür taramaları da yer almaktadır;

2.1. ADAM-SAAT DEĞERLERİ

Faaliyet seviyesinde yapılan kaynak atama kararları bir projenin bütün süre ve maliyetini kontrol etmektedir. Kaynak faktörü kendi içerisinde; işgücü, malzeme ve ekipman olarak üçe ayrılmaktadır. Bu çalışmada söz konusu kaynaklardan üzerinde durulan işgücünün süre ve maliyet bazlı tahminleri yapılırken yararlanılabilecek tek araç, adam-saat ya da adam-gün olarak adlandırılan verimlilik oranlarıdır. Şöyle ki, her biri üretim miktarına dayanan; proje boyunca istihdam edilecek işgücü ihtiyacını, bu işçilerin ne kadar süre çalıştırılacağını ve çalışmadan doğan maliyetlerin tespitinde bu değerler inşaat firmaları için bir temel oluşturmaktadır.

Verimlilik oranları vasıtasıyla elde edilen işgücü çalışma süreleri, tümevarım yöntemiyle aynı zamanda optimum proje süresini de ortaya çıkarmaktadır. Doğaldır ki bu süre, ihaleyi açan işverenin istekleri doğrultusunda da belirlenebilmektedir. Fakat bu durumda bile, tüm dengeli yöntemlerle her bir faaliyet için ihtiyaç duyulan süre, yine bu oranlar yardımıyla, maliyet ve kapasite kavramları da göz önüne alınarak

hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, her faaliyetin tüm pozları için ilgili pozun ekibindeki performansı minimum olan işçinin hızına göre, ekibin adam-gün hesabı yapılmıştır.

2.1.1. Adam-Saat Kavramının Tanımı

İşgücü verimliliği ya da verimlilik oranı; belli bir faaliyeti, belirlenmiş bir süre içerisinde gerçekleştirmek için gerekli iş saatleri ya da günleri cinsinden girdinin, yine aynı süre içerisinde başarılan iş miktarı cinsinden çıktıya oranı olarak ölçmekte ve genellikle birim çıktı başına düşen girdi miktarı olarak bilinmektedir (Hanna ve diğ., 1999; Thomas ve Sanvido, 2000). Örneğin, 5 günde 125 m^3 beton yerleştirilen bir şantiyedeki işgücü verimliliği $0,04 \text{ gün/m}^3$ 'tür. İşgücü verimliliğini hesaplamanın, karşılaştırma amacına daha uygun olduğu için inşaat sektöründeki planlama mühendislerince tercih edilen daha yaygın diğer yolu ise, bu çalışmada da ifade edilen şekliyle, yukarıdaki tanımın tam tersi olan, birim zamanda üretilen toplam fiziksel çıktının, üretim aşamasında kullanılan süre cinsinden işgücü girdisine bölünmesidir. (Proverbs ve diğ., 1999; Goodrum ve diğ., 2002). Böylelikle, yukarıdaki örnek; $125\text{m}^3/5 \text{ gün} = 25 \text{ m}^3/\text{gün}$, şeklinde değişecektir.

İnşaat sektöründe çıktı değerleri heterojen bir yapıya sahip olmakla birlikte, yine de m, m^2 , m^3 , kg, ton ve adet gibi belirli birimlerle gösterilebilmektedirler. Çıktının fiziksel birimler ile ölçülmesindeki temel amaç, üretim süreci ve ürüne ait bilgilerin, kendine özgü nedenlerle değişim gösterebilen fiyat kavramı dışındaki bir ölçekle standart bir duruma getirilmek istenmeleridir. Girdi kavramı ise genel verimlilikte; işgücü, sermaye, enerji ve malzemeyi kapsarken; işgücü verimliliğinde hem ortalama işçi sayısını, hem de ortalama saat veya gün miktarını içermektedir. Söz konusu her iki tanımda pay ve paydada yer alan çıktı ve girdi değerleri birbirinin cinslerine de çevrilip kullanılabilirler ki, yukarıda bahsedilen işçi miktarı-süre-maliyet döngüsü ancak üretim miktarı üzerinden sağlanan bu dönüştürme işlemleriyle gerçekleştirilebilmektedir. Yani, belirli sürede belirli sayıda işçinin yaptığı imalat miktarı, veya belirli sürede belirli miktardaki imalat yapmak için gerekli işçi sayısı, ya da belirli miktardaki imalatı yapmak için belirli sayıda işçinin çalışması gereken süre olarak, bu düşüncede verimlilik sabit kabul edilmektedir. Örneğin; 1 işçi 1 günde 8 m^2 kalıp işi yapabiliyor ve 80 m^2 kalıp imalatı yapılacak ise, bu iş 5 işçi ile 2 günde tamamlanabileceği gibi, 2 işçi ile 5 günde de tamamlanabilir sonucuna varılmaktadır. Adam-saat'ler birim iş için bir işçinin harcadığı

süreyi gösterdiğinden, yapılması gereken iş miktarıyla o iş kalemine ait adam-saat değeri çarpılarak o iş için gereken toplam süre bulunur.

Örnek: Yapılması gereken 200 m’lik yarım tuğla duvar işinin olduğunu varsayalım. Yarım Tuğla Duvar iş kaleminin olduğu satırdan bu kaleme ait ortalama adam-saat değeri okunur. 200 m ile bu değer çarpılarak bu işi tamamlanma süresi elde edilir.

İş kalemine ait adam-saat değeri: 1.52 saat-m

Yapılacak işin miktarı: 200 m

Gereken süre: $1.52 \text{ saat/m} \times 200 \text{ m} = 304 \text{ saat}$.

Bir işçinin bir günde kaç saat çalıştırılacağı göz önünde bulundurularak bu işin kaç adet işçi ile kaç günde tamamlanacağı saptanır. Bu noktada karar verme, süre ve maliyet faktörleri karşılaştırmalı olarak tespit edilir.

2.1.2. Adam-Saat Değerlerinin Elde Edilmesi

İnşaat planlamacıları veya proje yöneticileri bir iş programı yapmaya başladıkları zaman, öncelikle proje için gerekli olan bütün faaliyetleri tanımlayıp listelenmektedirler. Daha sonra, o işi tamamlamak için mevcut olan kaynaklara, tahsis edilen bütçeye ve üretim miktarına bağlı olarak beklenen olası faaliyet sürelerini analitik yöntemler yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu aşamada yararlanılan adam-saat değerlerine ulaşmak için planlama mühendislerinin; mevcut inşaat teknolojisi hakkında deneyimli ve belli bir bilgi birikimine sahip, ekipman ve makinelerin gerçek performanslarını işgücüsüyle birlikte düşünebilen, ve aynı zamanda işgücü performans ve gereksinimlerini etkileyen faktörler hakkında geniş tecrübeye sahip kişiler olmaları gerekmektedir.

Birçok firma bu konunun üstesinden gelmek için ayrıca; önceki projelerden benzetme yapma, danışman şirketlerden yardım alma, yeterince bilgi sahibi olan ilgili taşeronlarla doğrudan etkileşim içinde olma, tecrübeye dayalı kişisel öngörü yapma, ya da tüm bunların veya bazılarının sentezini kullanmaktadır. Türkiye’de işgücünün ayrı ayrı her bir faaliyet için girdi değerlerini gösteren verimlilik oranlarıyla ilgili mevcut kullanımda olan halihazırdaki tek yazılı kaynak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Analizleridir.

Günümüzde rekabet koşullarından bu değerlerin sabit kalmayıp belli bir standart sistem içinde bir elde toplanarak hem şirket bazından hem de sektör çapında bir veri tabanı şeklinde bulunması ve belirli aralıklarla yenilenmesi gerekmektedir. Bu konu, firmalar ile üniversitelerin oluşturacağı ortak projeler çerçevesinde ele alınmalıdır.

2.2. CPM (KRİTİK YOL YÖNTEMİ)

Çizelgeleme; bir projenin faaliyetlerin zamamlaması ve sıra değerlendirmesi olarak tanımlanabilir, ki bu da projenin tamamlanma tarihi belirlemesini kolaylaştırmaktadır. (Mubarak, 2010).

Çizelgeleme sırasında, Ağ analizi çeşitli planlama yöntemlerin genel bir terimidir, her zaman yararlanılır. (Lock, 2007).

En yaygın çizelgeleme ve ağ analiz tekniklerinden biri olan kritik yol yöntemi (CPM), ağ üzerinden uzun yolun belirlenmesini gerektirir. Bu yol projeyi tamamlamak için gereken en kısa proje süresini tanımlanmaktadır (Kerzner, 2009).

2.2.1. Kritik Yol Yöntemi (CPM)'in Adımları

CPM, bir projeye ait tüm faaliyetlerin, süreler ve faaliyetler arasındaki ilişkiler dikkate alınarak, bir şebeke üzerinde gösterildiği, ileri-geri hesaplamalar ile faaliyetlerin başlangıç ve bitiş zamanlarının, bolluklarının hesaplanabildiği, proje süresini ve kritik faaliyetleri gösteren basit ve etkili bir metottur.

CPM ile bir projenin süresinin hesaplanabilmesi için faaliyetlerin öncelik ilişkileri ve deterministik-kesin sürelerle ihtiyaç vardır. CPM'de şebeke üzerinde en uzun yolu oluşturan faaliyetler dizisi, kritik yol olarak adlandırılır. Kritik yol üzerinde bulunan faaliyetlerin bolluğu bulunmamaktadır (sıfırdır). Bu sebeple kritik yol, proje süresini göstermektedir.

CPM tekniğinde sırasıyla şu adımlar gerçekleştirilir;

1. Faaliyetlerin öncelik ilişkileri dikkate alınarak şebeke diyagramı çizilir. Bu çalışmada, hem faaliyetlerin oklarda gösterildiği diyagramlar (Ok tipi diyagramı), hemde faaliyetlerin kutular içinde gösterildiği diyagramlar (Kutu tipi diyagramı) kullanılmıştır.

2. Faaliyetlerin süreleri dikkate alınarak, şebeke üzerinde ileri ve geri hesaplamalar yapılır. Tüm faaliyetlerin En erken başlama (Early Start – ES), En erken bitiş (Early Finish – EF), En geç başlama (Late Start – LS) ve En geç bitiş (Late Finish – LS) zamanları bulunur.
3. Faaliyetlerin toplam bollukları hesaplanır.
4. Projede kritik faaliyetler ve kritik yol gösterilerek, proje süresi bulunur.

2.2.2. Ok Tipi Şebeke Diyagramının Çizilmesi

Şebeke diyagramı çizilirken faaliyetlerin öncelik ilişkileri dikkate alınmaktadır. Buna göre şu adımlar uygulanır;

Tüm faaliyetler oklarla gösterilir. Buna göre öncül faaliyet ilişkisi olmayan ilk faaliyet ya da faaliyetler bir düğümden çıkartılarak soldan sağa doğru çizilir.

Öncelik ilişkileri dikkate alınarak çizilen her faaliyetten sonra (araya bir düğüm koyarak) yeni bir faaliyet çizilir.

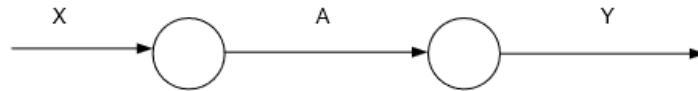
Bir düğümden birden çok faaliyet çıkabilir. Yine aynı şekilde bir düğüme farklı iki ya da daha çok faaliyet girebilir. Fakat aynı düğümden çıkan iki faaliyet bir düğüme toplanamaz.

Aynı düğümden çıkan birden çok faaliyet sonraki bir faaliyetin öncülü ise, gösterimde kukla faaliyet kullanılır.

Sonraki faaliyeti olmayan faaliyetler son bir düğüme toplanır.

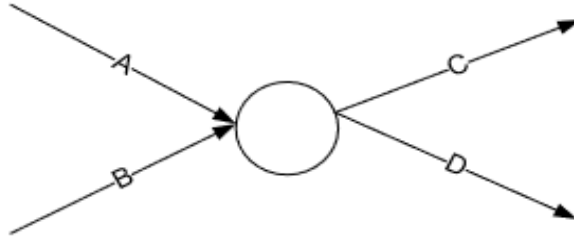
Şebeke çizimi örneğinden önce şu gösterimleri incelemekte yarar var.

- a) A faaliyetinin öncül (hemen önceki) faaliyeti X'dir. Y'nin ise öncül faaliyeti A'dır. X'ten hemen sonraki faaliyet A faaliyeti, A'dan sonraki faaliyet Y faaliyetidir.



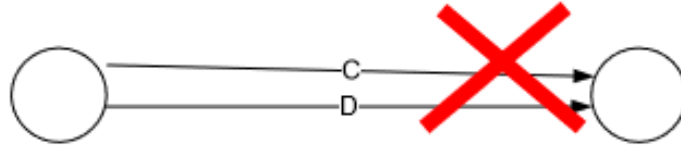
Şekil 2.1: Hemen Önceki (Öncül) ve Sonraki Faaliyetler.

- b) Birden çok faaliyet aynı düğüme toplanabilir. Aynı şekilde aynı düğümden birden çok faaliyet çıkabilir.



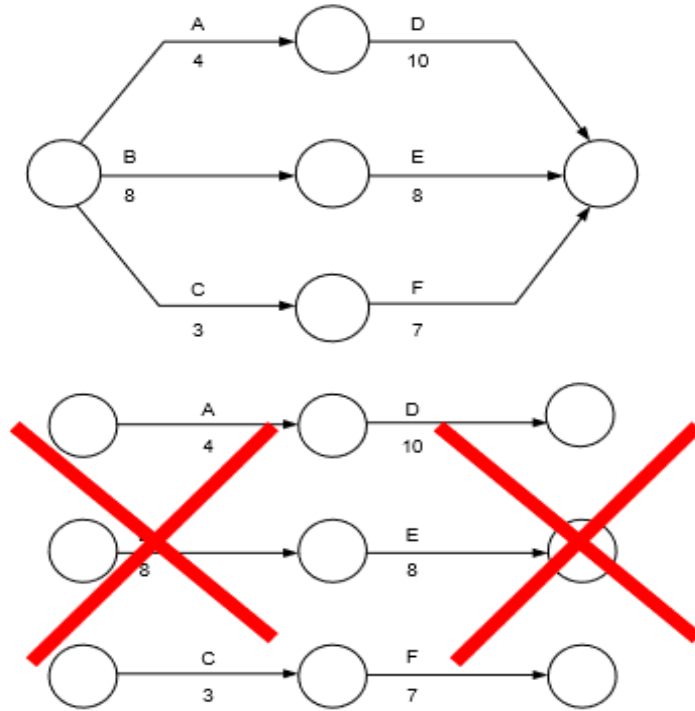
Şekil 2.2: Birden Fazla Faaliyetin Bir Düğümde Toplanması ve Bir Düğümünden Çıkması.

c) Aynı düğümden çıkan iki ya da daha çok faaliyet bir düğümden toplanamaz.



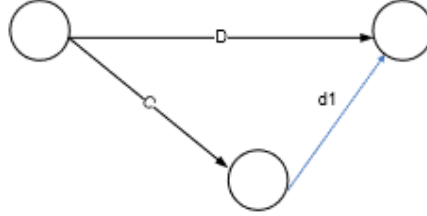
Şekil 2.3: Aynı Düğümden Çıkan İki Faaliyetin Başka Bir Düğümden Toplanamaması.

d) Proje başlangıcındaki faaliyetler (öncül faaliyeti olmayanlar) bir tek düğümden çıkar. Aynı şekilde son faaliyetler (Sonraki faaliyeti olmayanlar) son bir düğümden toplanır (Bu hesaplamalarda kolaylık sağlamaktadır). (Şekil 2.4)



Şekil 2.4: Proje Başlangıcında ve Bitişinde Tek Düğüm Gösterimi.

e) Aynı düğümden çıkan iki ya da daha çok faaliyet bir düğüme toplanamaz. Bu nedenle bu tür durumlarda gerçekte olmayan kukla (dummy) faaliyetler ile gösterim yapılır (kesikli çizgi ile). (Şekil 2.5)



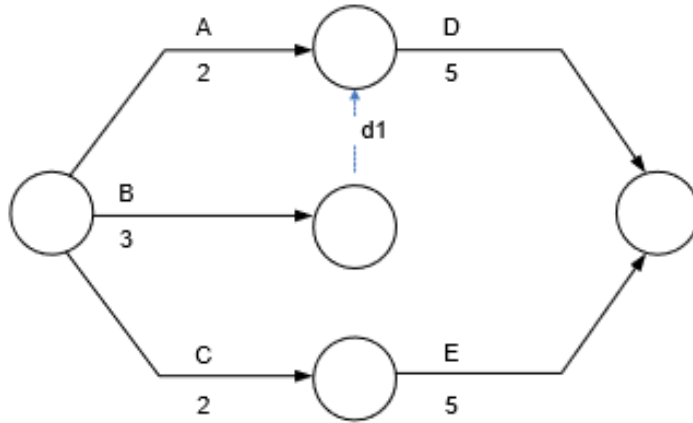
Şekil 2.5: Kukla Faaliyet.

Şimdi bir örnek projeyi ele alalım. Proje faaliyetlerine ait bilgiler şunlar olsun;

Tablo 2.1: Örnek Proje Faaliyetlerinin Öncelik ve Süre Bligisi.

Faaliyetler	HÖF (Hemen Önceki Faaliyet)	Süre (Gün)
A	--	2
B	--	3
C	--	2
D	A,B	5
E	C	5

Buna göre şebeke aşağıdaki gibi çizilmelidir.



Şekil 2.6: Örnek Projeye Ait Şebeke Diyagramı.

Burada şunlara dikkat edilmelidir;

- ✓ A, B ve C faaliyetinin öncülü olmadığı için aynı düğümden çıkan ilk faaliyetler A,B ve C olacaktır (HÖF listesinde bu faaliyetlerin öncülü olmadığı görülmektedir).

- ✓ D faaliyetinin öncülü A ve B faaliyetleridir. A ve B aynı düğümden çıkmış olduğu için aynı düğümden toplanamaz. Bu nedenle burada kukla faaliyet (dummy-d1) kullanılmıştır.
- ✓ D ve E faaliyetlerinden sonra bir faaliyet yoktur (D ve E hiç bir faaliyetin öncülü değildirler. Yani D ve E den sonra başka bir faaliyet gelmeyecektir. D ve E' nin HÖF listesinde olmadıklarına dikkat ediniz). Bu durumda son düğüme bağlanacak faaliyetler D ve E olmalıdır.

Öncüllük İlişkileri ;

Çizelgeleme, sıralamadan farklı olarak faaliyetlerin hangi sırada gerçekleştirilecekleri bilgisi dışında bu faaliyetlerin ne zaman başlayıp ne zaman biteceği bilgisini de içerir. Çizelgelenen faaliyetlerinin kullandığı kaynaklar kısıtlı olabildiği gibi faaliyetler arasında öncüllük ilişkileri de olabilir. Öncüllük ilişkileri teknolojik bir gereksinimi yansıttığı gibi, tamamen yönetsel bir kararın sonucu da olabilirler.

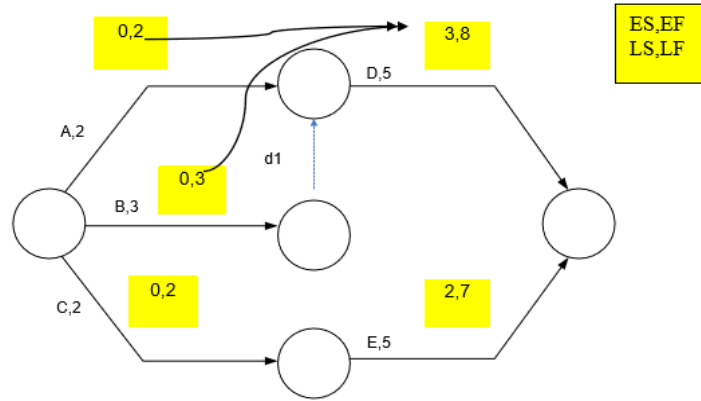
Genel olarak başlangıç-bitiş faaliyet ilişkileri zaman bazında faaliyetler arasındaki öncüllük ilişkilerini belirler. Bir faaliyet, öncül faaliyetlerinin hepsi bitmeden başlayamaz. Genellikle kabul edilen bir faaliyetin bütün öncülleri tamamlanınca hemen başlayabileceğidir. Ancak uygulamada farklı durumlar söz konusu olabilmektedir. Örneğin, eşzamanlı (concurrent) tasarım faaliyetlerinde proje süresini kısaltmak için bazı faaliyetlerin kısmen paralel yürütülmesi istenir. Bir faaliyet sonucu elde edilen bozulabilir bir malzemeyi kullanacak olan bir faaliyetin malzeme hazır olduktan sonra belirli bir süre içinde başlaması istenebilir. Bu değişik durumları modelleyebilmek için genelleştirilmiş öncüllük ilişkileri (generalized precedence relations) tanımlanmıştır.

Bunlar; Başlangıç-Bitiş (SF), Başlangıç-Başlangıç (SS), Bitiş-Bitiş (FF) ve Bitiş-Başlangıç (FS) tipi öncüllük ilişkileridir. Bütün bu öncüllük ilişkileri için geçerli olmak üzere, en az bekleme süresi (minimal time lag) ve en çok bekleme süresi (maximal time lag) tanımlanmıştır. Örneğin, bir faaliyetin başlaması için diğer bir faaliyetin en azından belirli bir süre önce başlamış olması isteniyorsa, bu bir SS ilişkisidir ve en az bekleme süresi ile modellenir. Bir faaliyetin başlaması için diğer faaliyetin başlamasından sonra belirli bir süreden fazla geçmemiş olması gerekiyorsa, bu bir FF ilişkisidir ve en çok bekleme süresi ile modellenir.

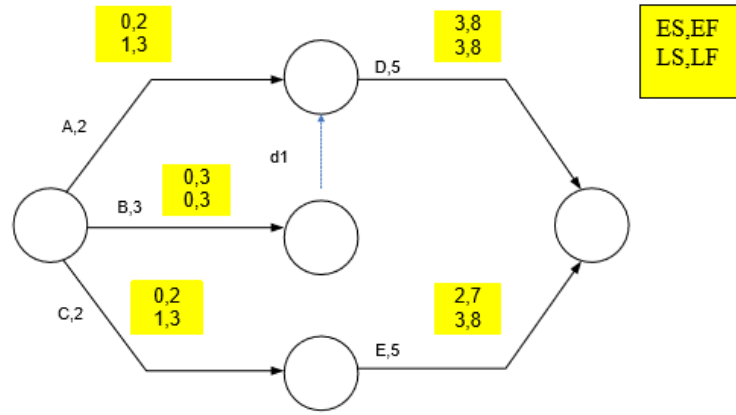
2.2.2.1. İleri-Geri Hesaplamalar ile Başlama Bitiş Zamanlarının Bulunması

Faaliyetlerin en erken başlama (ES), en erken bitiş (EF), en geç başlama (LS) ve en geç bitiş (LF) olmak üzere dört başlama ve bitiş zamanı vardır. Şebeke diyagramı çizildikten sonra ileri geri hesaplamalar ile bu başlama ve bitiş zamanları hesaplanır. Bunun için aşağıdaki adımlar izlenir.

- Öncelikle ileri doğru hesaplama yapılır. Buna göre Birinci faaliyetten başlayarak öncelikle ES ve EF zamanları bulunur.
- Bir faaliyetin birden çok öncül faaliyeti varsa, bunlardan en büyük EF zamanına sahip olan faaliyetin EF'si, ilgili faaliyetin ES'si olacaktır. Çünkü bir faaliyetin başlayabilmesi için kendisinden hemen önceki faaliyetlerin tamamlanmış olması gereklidir.
- Tüm faaliyetlerin ES ve EF değerlerinin hesaplanması ile ileri doğru hesaplama biter ve geriye doğru hesaplama başlar.
- Son düğüme bağlı faaliyetlerden en büyük EF değerine sahip faaliyet kritik faaliyettir. Bu süre proje tamamlanma süresidir. Bu nedenle son düğüme bağlanan tüm faaliyetlerin LF'si son düğüme bağlanan faaliyetlerden en büyük EF zamanı olacaktır.
- Faaliyetlerin LF zamanlarından faaliyet süreleri çıkartılarak LS zamanları bulunur.
- Bir faaliyetten hemen sonra birden çok faaliyet varsa, bu faaliyetin LF'si, kendisinden sonra gelen faaliyetlerden en küçük LS zamanına sahip faaliyetin LS'si olacaktır. Çünkü kendisinden sonra gelen faaliyetlerin gecikmemesi için en küçük değere sahip başlama zamanı dikkate alınmalıdır.
- Tüm faaliyetlerin ES, EF, LS, LF zamanlarının hesaplanması sonucunda hesaplama işlemi biter. Buna göre ES ve LS zamanları ile EF ve LF zamanları aynı olan faaliyetler kritik faaliyetler ve bu faaliyetlerin oluşturduğu yol kritik yoldur. Kritik faaliyetlerin planlanan süreleri ile gerçekleşen sürenin farklı olması proje süresinin değişmesine neden olur.



Şekil 2.7: CPM'de İleriye Doğru Hesaplamalar.



Şekil 2.8: CPM'de Geriye Doğru Hesaplamalar.

Yukarıdaki Şekil 2.8'de gösterilen ileri hesaplamalarda D faaliyetinin ES'sini bulmak için kendisinden önce gelen iki faaliyet olan A ve B faaliyetlerinin EF'lerine (2 ve 3) bakılır. En büyük olan EF zamanı (3) D nin ES'sidir. Çünkü D nin başlayabilmesi için A ve B'nin her ikisinde tamamlanmış olması gerekmektedir. Geriye hesaplamalarda ise bir faaliyetin öncelikle LF'si aranır. Faaliyetin LF'si kendisinden sonra gelen faaliyetlerden en küçük olan LS zamanıdır.

2.2.2.2. Faaliyetlerin Bolluklarının Hesaplanması

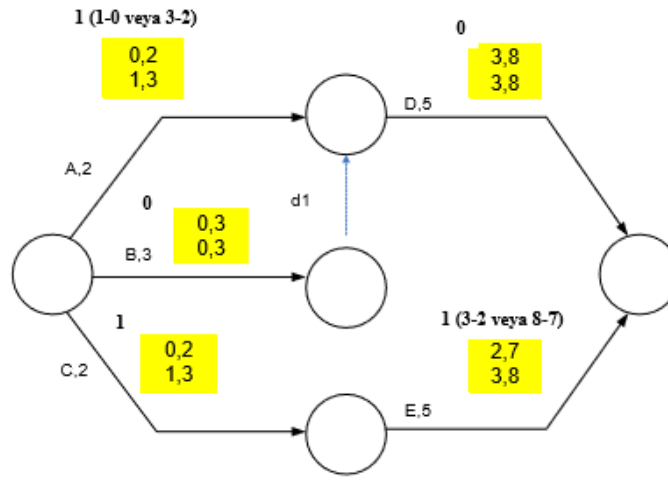
Faaliyetler için iki tür bolluk vardır. Bunlar Toplam Bolluk (Total Float) ve Serbest Bolluktur (Free Float). Toplam Bolluk, proje süresinin uzamasına neden olmadan, bir faaliyetin geciktirilebileceği maksimum süredir.

Nadir olarak kullanılan Serbest Bolluk ise kendisinden hemen sonra gelen bir faaliyetin en erken başlama zamanını geciktirmeyecek bolluktur. Bu çalışma kapsamında bolluk

kelimesi ile toplam bolluk ifade edilmektedir. Bolluğun (Toplam Bolluğun) hesaplanması şu şekildedir;

TB (Toplam Bolluk) = $LS_i - ES_i$ (i. faaliyetin en geç başlama zamanı – i. faaliyetin en erken başlama zamanı) ya da TB (Toplam Bolluk) = $LF_i - EF_i$ (i. faaliyetin en geç bitiş zamanı – i. faaliyetin en erken bitiş zamanı)

Buna göre örnek proje faaliyetlerinin bollukları, aşağıda Şekil 2.9.'de başlama ve bitiş zamanlarının sol üstünde gösterilmiştir.

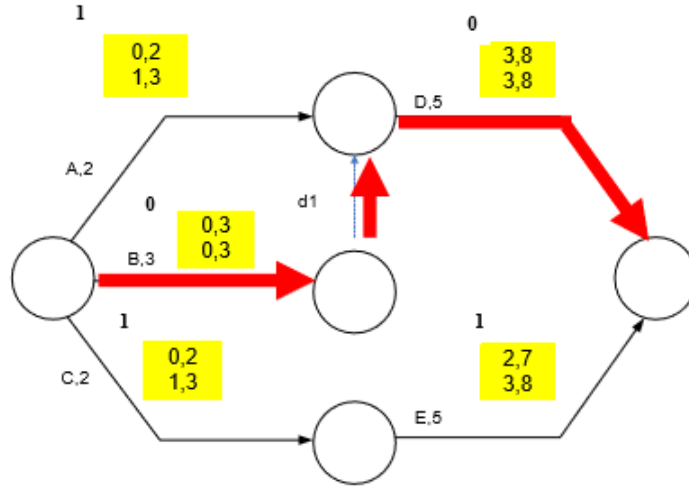


Şekil 2.9: Toplam Bollukların Gösterilmesi.

2.2.2.3. Kritik Faaliyetler ve Kritik Yolun Gösterilmesi - Proje Süresinin Bulunması

CPM hesaplamalarında son adımda, toplam bolluğu 0 olan faaliyetlerin oluşturduğu yol kritik yol olarak gösterilir. Bu gösterimde kritik yolun diğer yollardan kolaylıkla ayırt edilebilmesi için kritik yol renkli bir ok ile (ya da koyu şekilde) çizilmiştir.

Kritik yol projedeki en uzun yoldur ve toplam proje süresini vermektedir. Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin bollukları 0 olduğu için kritik yol üzerindeki faaliyetlerin (kritik faaliyetlerin) herhangi birindeki uzama projenin gecikmesine neden olur. Bir projede bir kritik yol olabileceği gibi birden çok kritik yol da bulunabilir. Aşağıda diğer adımlarda gösterilen örneğin kritik yolu ve proje süresi gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Projenin Kritik Yolu ve Süresi.

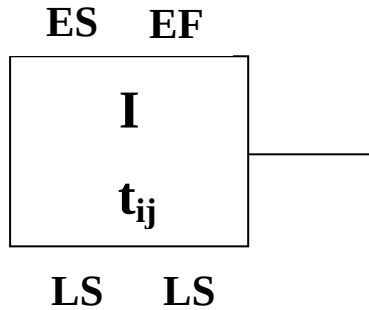
2.2.3. Kutu Tipi Şebeke Diyagramının Çizilmesi

Kutu tipi diyagramında faaliyetler kutu içinde gösterilmektedir. Kutular arası çizgiler faaliyetler arasında ilişkiyi göstermektedir.

Ok tipi diyagrama nazaran daha kolay bir yöntemdir. Ok tipi diyagramında kullanılan dummylerin bu yöntemde kullanılmaması daha üstünlüğüdür.

Çözüm tekniği olarak Ok tipi diyagramına çok benzeyen kutu diyagramlarında, bir inşaat işinin planının çıkartılması ve birbirini izleyen rutin faaliyetlerin kontrolü çok kolay olmaktadır. Kutu diyagramında faaliyet tanımları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Burada;



I : Faaliyetin tanımı (adı, no'su, v.s)

t_{ij} : Faaliyetin süresi.

ES : Faaliyetin en erken başlama zamanı.

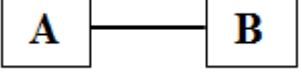
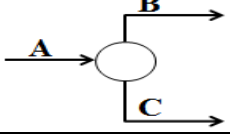
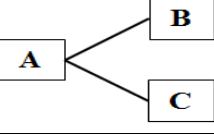
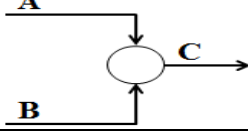
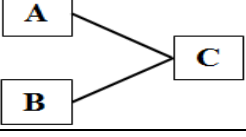
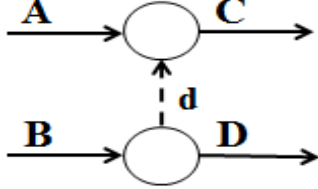
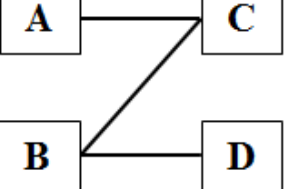
EF : Faaliyetin en erken tamamlanma zamanı.

LS : Faaliyetin en geç başlama zamanı.

LF : Faaliyetin en geç tamamlanma zamanı.

Kutu tipi diyagramında faaliyetler arasında ilişkileri ve Ok tipi diyagramına kıyaslaması ise aşağıdaki Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2: Kutu Diyagramında Faaliyetler Arasındaki İlişkilerin Gösterimi.

Faaliyetler Arasındaki İlişki	Ok Tipi Diyagramında	Kutu Tipi Diyagramında
1. A faaliyeti tamamlandıktan sonra B faaliyeti başlar		
2. A tamamlandıktan sonra B ve C beraber başlarlar.		
3. A ve B tamamlandıktan sonra C faaliyeti başlar.		
4. B'den sonra D, A ve B'den sonra C faaliyeti başlar.		

2.2.3.1. Kutu Diyagram Uygulaması

En Erken Başlama ve Tamamlanma Zamanlarının Bulunması:

(1) İlk faaliyetin en erken başlama zamanı $ES_A = 0$ dır.

(2) Herhangi bir faaliyetin en erken başlama zamanı:

$$ES_j = \max (EF_i)$$

(3) Herhangi bir faaliyetin en erken tamamlanma zamanı;

$$EF_j = \max (ES_j) + t_i' \text{ dir.}$$

En Geç Başlama ve Tamamlanma Zamanlarının Bulunması;

(1) Son faaliyetin en geç tamamlanma zamanı $LF_K = EF_K$ dır.

(2) Herhangi bir faaliyetin en geç tamamlanma zamanı;

$$LF_i = \min (LS_j) \text{ dir.}$$

(3) Herhangi bir faaliyetin en geç başlama zamanı;

$$LS_i = \min (LF_i) - t_i' \text{ dir.}$$

➤ $ES_i = LS_i$ veya $EF_i = LF_i$ ise faaliyet kritiktir.

➤ $LS_i - ES_i$ veya $LF_i - EF_i$ bolluğu verir.

2.3. SÜRE-MALİYET TAVİZ VERME

İnşaat projelerinin hem süre hem maliyet azaltılması bugünün pazar odaklı ekonomisinde çok önemlidir. İnşaat projelerinin süre ve maliyet arasındaki bu ilişkiyi süre-maliyet taviz verme (time-cost trade-off) kararları denir, ki bu kavram inşaat yönetimi literatüründe yaygın olarak araştırılmıştır. Süre-maliyet taviz verme kararları çok karmaşık ve her bir faaliyet için uygun inşaat yöntemi seçimini gerekir. Aslında, belirli bir süre içinde bir projenin çizelgelemesi mümkün olmadığı ve kritik yol yöntemi sınırlamalarından birini aştığı durumlarda, süre-maliyet taviz verme çok önemli bir yönetim aracıdır.

Proje çizelgelemesinde faaliyet süreleri ek kaynaklar tahsis edilerek azaltılabilir. Süre-maliyet taviz verme problemi toplam maliyet ve proje süresi arasındaki uzlaşmayı ele alır. Problemin kesikli versiyonu mod (mode) diye tabir edilen, belirli sayıda süre-maliyet çiftleri varsayar ve her faaliyet için bir mod seçer.

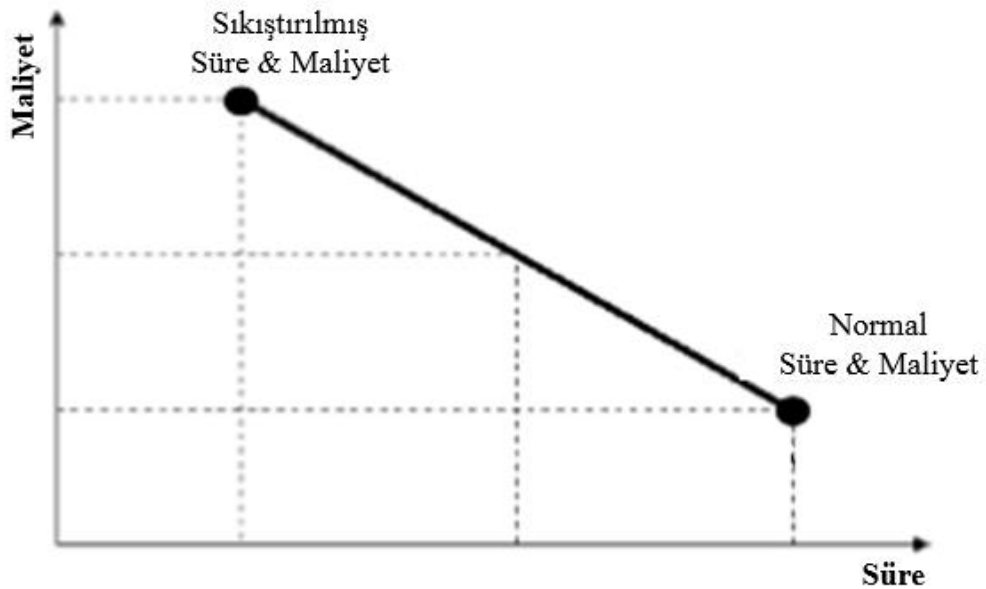
Bir faaliyetin gerçekleştirilme süresi ile kullanılan kaynaklar arasında bir ilişki vardır. Genel olarak, birim zaman içinde daha çok kaynak kullanımının maliyeti yükseltmesi, faaliyet süresini ise azaltması beklenir. Bu öngöründen hareketle, bu uygulamayı süre-maliyet taviz verme (time-cost trade-off) şeklinde modelleyebiliriz. Kullanılan kaynağın ayrık veya sürekli olmasından bağımlı olarak maliyet-süre taviz verme ayrık veya sürekli bir işlev olarak ifade edilir. Ayrık işlev durumunda, işlevin her bir süre-maliyet çiftine karşı gelen noktası bir mod (mode) olarak nitelendirilir. Bir veya daha fazla sayıda faaliyeti birden fazla moda sahip proje çizelgeleme problemleri çok modlu (multi-mode) problemler olarak nitelendirilirler. Diğer bir taviz verme türü kaynaklar arasındaki taviz vermedir (resource-resource trade-off). Burada bir faaliyetin süresi sabittir ancak değişik kaynakların değişik kullanımları söz konusudur. Örneğin bir kanal açma faaliyetinin bir kazı makinası, bir operatör ve iki düz işçi yerine aynı süre içinde on altı düz işçi tarafından yapılması gibi. Proje yönetiminin uygulamalarında genellikle birden fazla projenin aynı kaynak havuzundan yararlanılarak yönetimi söz konusudur. Bu tür problemler, çok projeli (multi-project) çizelgeleme problemleri olarak nitelendirilir.

2.3.1. Faaliyet Süresi ile Maliyeti Arasındaki İlişki

Genel olarak, bir faaliyeti tamamlamak için faaliyetin süresi ile direkt maliyeti arasındaki bir taviz verme vardır. kaynakları daha ucuz olanlar, faaliyeti tamamlamak için daha büyük süreye ihtiyaç duyarlar. bir faaliyetin süresini kısaltmak için, normalde direk maliyetini artıracaktır, ki bu maliyet işgücü, ekipman ve malzemenin maliyetini içermektedir. Bu kavram dağıtılan kaynakların miktarı ile faaliyetin süresi ters ilişkili anlamına gelmemektedir. dolayısıyla 16 hafta içinde bir işçi tarafından yapılabilir iş miktarı, otomatik olarak, bir hafta içinde 16 işçi ile yapılabilir varsayımı asla yapılmamalı.

Bir faaliyetin süresi ve direkt maliyetleri arasındaki olası ilişkinin basit bir gösterimi Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

Proje tamamlanma tarihine referans bir tarih verilmeden sadece bu faaliyeti yalnız olarak gözönüne alındığında, yönetici tarafından asgari direkt maliyet ile faaliyetin imal süresi seçilsin, bu süre faaliyetin normal süresi olarak adlandırılır. Diğer uçta, yönetici faaliyetin minimum tamamlanma süresini seçebilir ama bu durumda maliyet maksimum olur. Bu süreye faaliyetin sıkıştırılmış süresi denir.

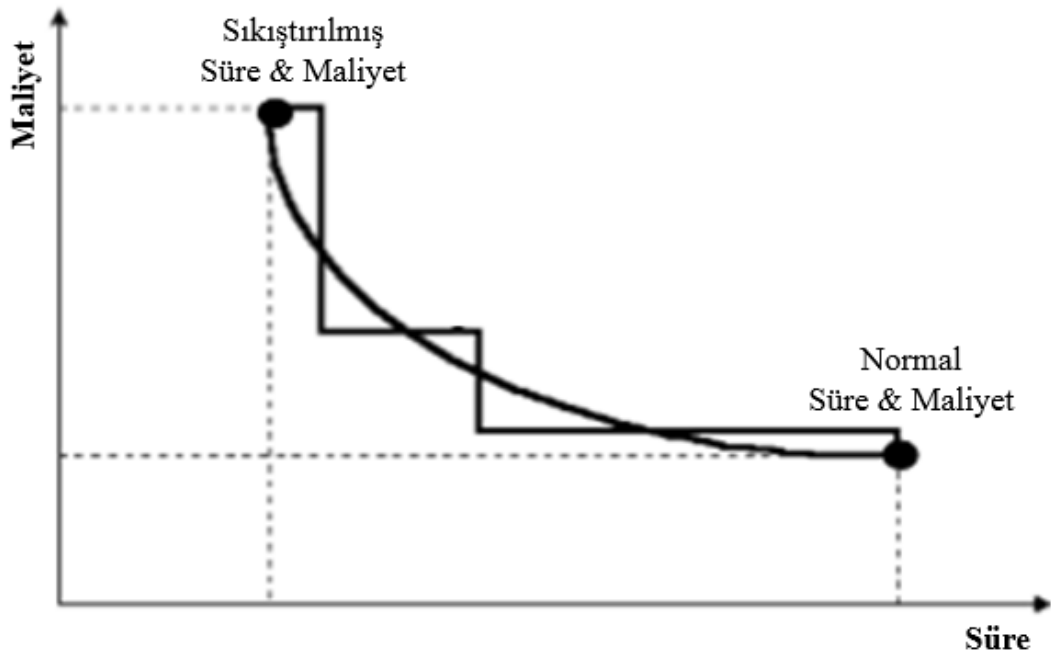


Şekil 2.11: Bir Faaliyet İçin Lineer Süre-Maliyet Taviz verme.

Bu iki nokta arasında Şekil 2.11'de gösterilen doğrusal ilişki, herhangi bir ara süresi de tercih edilebilir olduğunu göstermektedir. Bazı ara noktalar bu faaliyet için süre ve maliyet arasındaki ideal veya optimum taviz verme temsil etmesi mümkündür. Normal noktası (alt noktası) ile sıkıştırılmış noktasını (üst noktası) bağlayan çizginin eğimi faaliyetin maliyet eğimi denir. Bu çizginin eğimi normal ve sıkıştırılmış noktaların koordinatlarını bilerek matematiksel olarak hesaplanabilir.

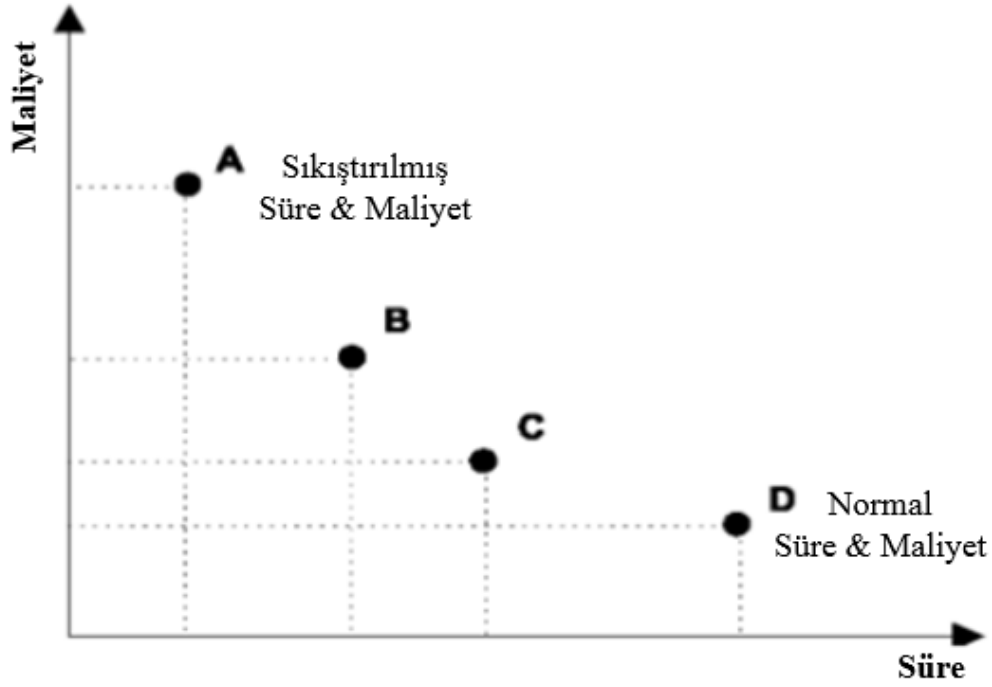
Maliyet Eğimi = (sıkıştırılmış maliyeti - normal maliyet) / (normal süresi - sıkıştırılmış süresi)

Şekil 2.11, 2.12 ve 2.13 de gösterildiği gibi, bir faaliyeti tamamlamak için gereken en az direkt maliyete, normal maliyet (asgari maliyet) denir ve bu maliyete karşılık gelen süreye, normal süresi denir. Faaliyeti tamamlamak için gerekli en kısa süreye sıkıştırılmış süresi denir ve karşılık gelen maliyetine de sıkıştırılmış maliyeti denir.



Şekil 2.12: Bir Faaliyet İçin Lineer Olmayan Süre-Maliyet Taviz vermenin Gösterimi.

Normalde, bir planlamacı tahminlerini ve proje çizelgelemesini en az maliyetli opsiyonlarla başlatıyor.



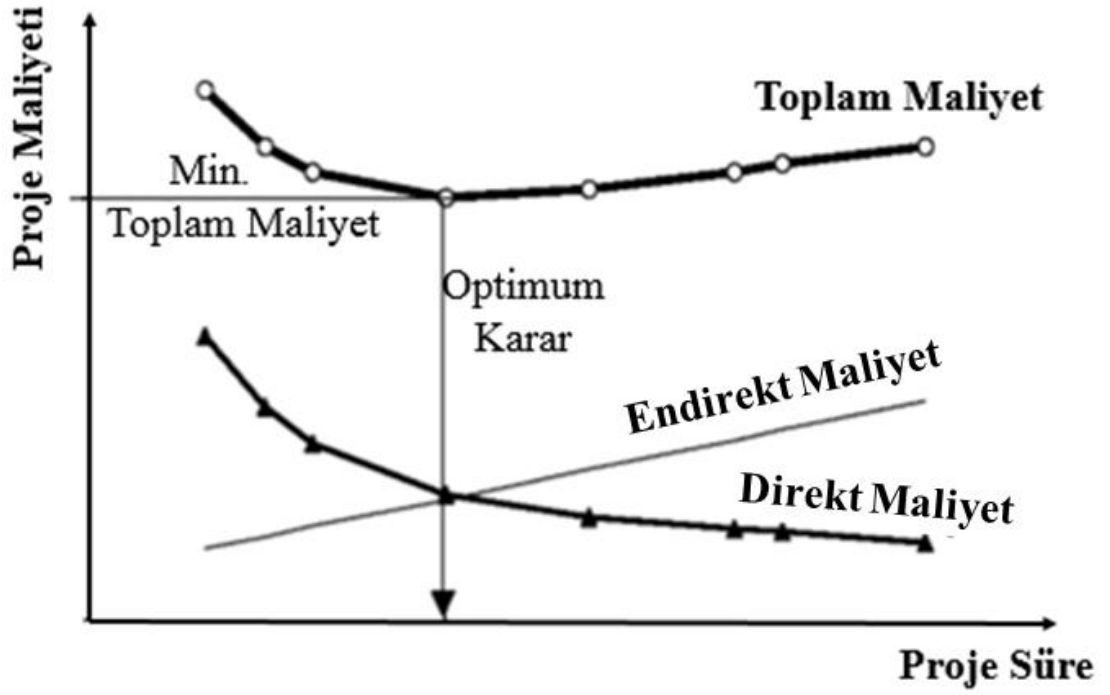
Şekil 2.13: Bir Faaliyet İçin Kesikli Süre-Maliyet Taviz Vermenin Gösterimi.

2.3.2. Proje Süresi ile Maliyeti Arasındaki İlişki

Toplam proje maliyeti, direkt maliyetleri ve projenin faaliyetleri yerine getirmek için gereken endirekt maliyetleri ikisini içermektedir. Proje için direkt maliyetler malzeme, işçilik, ekipman ve taşeron maliyetleri içerir. Diğer taraftan, endirekt maliyetler ise, belirli faaliyetle ilgisi olmayan ve hatta bazı durumlarda belirli proje ile ilgili olmayan gerekli maliyetlerdir.

Eğer bütün faaliyetler minimum direkt maliyet sürelerine göre çizelgelenirse, bu durumda projenin tamamlanma süresi çok uzun olur ve dolayısıyla gecikmeden dolayı çok ciddi ve önemli cezalar gerçekleşebilir. Böylece, planlamacılar proje süresini kısaltmak için süre-maliyet taviz verme analizi denilen yöntemle kritik yolu üzerindeki bazı faaliyetleri seçerek süresini kısaltmaktadır.

Projenin direkt maliyeti faaliyetlerin direkt maliyetlerinin toplamına eşittir, dolayısıyla projenin direkt maliyeti proje süresinin kısaltılması ile artmaktadır. Öte yandan, projenin endirekt maliyetleri, proje süresinin kısaltılması ile azalmaktadır. Genellikle endirekt maliyetler proje süresi ile lineer bir fonksiyondur. Şekil 2.14' te projenin direkt ve endirekt maliyetleri arasındaki ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Proje Süre-Maliyet İlişkisi.

Projenin toplam süre-maliyet grafiğinin Şekil 2.14’te gösterildiği gibi, direkt ve endirekt maliyet değerleri birlikte toplayarak belirlenmektedir. Optimum proje süresi, en az proje maliyetine sonuçlanan proje süresi olarak tespit edilebilmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. AMAÇ

Bu çalışmada, bir bina inşaat projesinde faaliyetlerin günlük çıktılarının Harmoni Arama Metodunda değerlendirilerek performans bileşenleri olan süre ve maliyet üzerinde en uygun çözüm modelinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu model bina tipi inşaat projeleri için uygulanmaktadır. Projedeki faaliyetlerin süresi ve maliyeti Bayındırlık bakanlığı birim fiyat analizi tabloların verilerine göre belirlenmektedir.

Süre ve maliyet analizi inşaat projelerin planlaması ve kontrolunda en önemli unsurlarındandır. İnşaat planlamacıları uygun iş gücü sayısı, ekipman, yöntemler de dahil olmak üzere bir projenin faaliyetleri gerçekleştirmek için farklı kaynaklar ve teknolojilerin arasında seçme kararlarına karşı karşıyadırlar. Bu kararlar sonuçta bir projenin süresini ve maliyetini belirleyecektir.

Günümüz inşaat sektöründe en önemli kavramlardan birisi de inşaat faaliyetlerinin farklı hızlarda yapıldığında toplam maliyete ne kadar etki ettiği. Bu çalışmanın ana amacı ise, bir projedeki faaliyetlerin farklı yapılış biçimleri ve hangi teknolojilerle yapılabilmesi tespit edilerek, her bir yapılış biçimi, süre ve maliyet açısından gözönüne alınarak daha önce kurmuş olduğumuz HA optimizasyonu modeline göre, projenin en uygun süre-maliyet çiftlerinin bulunmasıdır.

3.2. OPTİMİZASYON

Optimizasyon, bir sistemde varolan kaynakların (işgücü, süre, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara ulaşmayı sağlayan bir çalışmadır (Gass, 2000).

İnsanoğlu yüzyıllardır bilinçli ya da bilinçsiz olarak yaptığı işlerin tümünde her zaman en iyiyi yapmayı planlamış ve istemiştir. Bu çabalar, bazen bir işçinin belirli bir kuvvetle maksimum yükü kaldırabilmesi, bazen de uçaklardaki sürtünmenin minimuma

indirgenmesi olarak karşımıza çıkmıştır. Yadsınamaz bir gerçektir ki, her zaman bir eniyileme çabası var olmuştur. Ünlü matematikçi Leonhard Euler'in ifadesiyle doğada maksimum ya da minimum duyusunun bulunmadığı hiç bir olay yoktur. Bir matematik sözlüğü optimizasyon (eniyileme) kavramını, bir probleme en iyi mümkün çözüm bulma süreci olarak tanımlamaktadır. Matematikte, bu süreç genellikle bir fonksiyonun değerinin verilen kısıtlar altında maksimize ya da minimize edilmesinden oluşur.

Optimizasyonda modelleme ve çözümleme iki önemli bileşen olarak nitelendirilmektedir. Modelleme gerçek yaşamda karşılaşılan problemin matematiksel olarak ifade edilmesi; çözümleme ise bu modeli sağlayan en iyi çözümün elde edilmesini kapsamaktadır. Optimizasyon teknolojisinin gelişiminde araştırmacılar öncelikli olarak modellemeyle ilgilenmişlerdir. Bu alandaki ilk çalışmalar Leontief tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nin dış ticaretini ve ekonomik yapısını modellemek amacıyla yaptığı yayınlarıdır (Leontief, 1933; 1936). Rus matematikçisi Kantorovich üretim planlamasında en sıklıkla karşılaşılan problemlerin modellenmesine ve elde edilebilecek en iyi sonuçları bulma metodlarını anlattığı makalesiyle modern üretim sistemlerinde optimizasyona olan ihtiyacı ortaya koymuştur (Kantorovich, 1939). Fakat Kantorovich'in bu çalışması batılı bilim insanları tarafından uzun süre sonra fark edilmiştir (Kantorovich, 1960). Kantorovich, üretim sistemlerinin performansının arttırımına yönelik dokuz farklı optimizasyon problemi tanımlamış ve bu problemlerin çözümüne yönelik olarak her problem için farklı çözüm algoritması geliştirmiştir. Öte yandan, (Kantorovich ve Gavurin, 1940) ulaşım sektörünün verimliliğini arttırmaya yönelik modelleme çalışmaları da yapmışlardır. Ayrıca, ekonomi alanında optimum kapasite kullanımına yönelik özellikle ulaştırma sistemlerinde modelleme çalışmaları yapılmıştır (Koopmans, 1949; Koopmans, 1951; Koopmans ve Reiter, 1951; Koopmans, 1957; Koopmans ve Bausch, 1959). Bu modelleme çalışmaları bilim dünyası tarafından kabul görmüş ve Leontief 1973 yılında Nodel Ekonomi Ödülünü almıştır, Kantorovich ve Koopmans ise 1975 yılında Nobel Ekonomi Ödülü'nü paylaşmışlardır (Nobel, 2006).

Optimizasyon modellerinin özellikle ekonomik sistemlerde kullanılması ve üretim/dağıtım sistemlerinde karşılaşılan problemlerin birçoğunun optimizasyon problemi olarak modellenmesine rağmen optimizasyon modellerinin teorik özelliklerinin araştırılması ve genel çözüm algoritmalarının geliştirilmesi halen devam

etmektedir. Optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik olarak ilk önemli çalışma Dantzig tarafından yapılmış ve simpleks algoritması geliştirilmiştir (Dantzig, 1949a). Nobel Ekonomi ödülünü 1975 yılında alan Koopmans, Dantzig'in çalışmalarının önemine inanmış ve Dantzig'in bu ödüle ortak olması gerektiğini Nobel ödül komitesine belirtmiştir. Fakat bu çağrısına cevap alamamış ve Nobel ödülünün üçte birlik kısmını Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü'nde (International Institute for Applied Systems Analysis-ILASA) George Dantzig adına kurulan burs programına bağışlamıştır (Gass ve Assad, 2004). Koopmans, optimizasyon projelerinde modelleme ve çözüm geliştirme çalışmalarının birlikte yürütülmesi gerekliliğine inanmış ve bu konunun önemini Nobel Ödülü'nü aldığının açıklanmasından hemen sonra yaptığı bu jestle ifade etmiştir.

Optimizasyon teknolojisi, karar verme süreçlerini hızlandırmakta ve karar kalitesini arttırmakta kullanılarak gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin etkin, doğru ve gerçek zamanlı çözümünde yararlanılmaktadır (Winston, 2003). Optimizasyon, ekonomik açılardan getirdiği kazançların yanında müşteri, işveren ve çalışanların tercih ve kısıtlarının karar sürecinde yer almasında ve sistemde yer alan kaynakların kalitesinin yükseltilmesinde de etkin bir şekilde başvurulan bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Optimizasyon teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen projelerin anlatıldığı Interfaces dergisi 1971 yılında yayın hayatına geçmiş ve düzenli olarak uygulamalı projeler için geliştirilen modeller, çözüm yöntemleri ve sonuçları yayınlanmaktadır (INFORMS, 2015). Bu derginin her yıl yayınlanan Ocak ayı sayısı bir önceki yılda tamamlanan en başarılı uygulamaları detaylarıyla tanıtmaktadır.

Birçok temel bilimde karşılaşılan problemlerin çözümünde; endüstriyel, finansal ve servis sistemlerinin performanslarının eniyilenmesinde sık sık kullanılan optimazsyon teknolojisi bir projede kullanıldığında genelde modelleme ve çözümleme ön plana çıkmaktadır (Hillier ve Lieberman, 2005).

3.2.1. Optimizasyonun Tarihsel Gelişimi

Bir işin en iyi yolun seçilerek başarılması fikri uygarlık tarihi kadar eskidir. Örneğin, Yunan tarihçisi Herodotus'a göre, Mısırlılar Nil nehrinin her yıl taşması sonucu arazi sınırlarının yeniden belirlenmesi ve yeni sınırlara göre vergilendirme işleminin en iyi

yolla yapılabilmesi için çaba sarfetmişlerdir. Bu çabalar, ölçme ve karar verme aracı olarak düzlem geometrisinin temel kavramlarının oluşturulmasına yol açmıştır (Byron ve Gottfried 1973).

Mısırlılar, Nil nehrinin bahar dönemlerindeki yıllık taşmalarında nehir kıyısından toplu halde uzaklaşıp sular çekildiğinde yine büyük topluluklar halinde geri dönüyorlardı. Çekilme işlemi çok kısa sürede yapılamamaktaydı. Bunun için günlerce önceden halk uyarılmalıydı. Bu amaçla, Mısırlılar en iyi çekilme zamanını hesaplayabilmek için bir tür takvim bile geliştirmişlerdi. Söz konusu takvimi de sayma ve geometri konusundaki birikimlerini kullanarak yapmışlardı (Roger, 1997).

Newton ve Leibniz tarafından Kalkülüs'ün (Calculus) 17. yüzyılda geliştirilmesi optimizasyon teorisinin gelişiminde önemli bir kilometre taşı olmuştur. Kalkülüs, hem matematiksel bir fonksiyonun hem de fonksiyon oluşturabilen bağımsız değişkenlerin maksimum veya minimum cinsinden optimal koşullarının elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Kalkülüs'ün kullanımı düzgün-davranışlı fonksiyonlarla sınırlandırılmıştır. Ancak, Kalkülüs uygulamalarında karşılaşılan cebirsel problemlerin çözümü bazen güç olabilmektedir. Dolayısıyla, Kalkülüs pragmatik anlamda gerçek dünya problemlerinin optimizasyonunda yeterli ve güçlü bir araç olamamaktadır (Byron ve Gottfried, 1973).

J. L. Lagrange'ın 1788 yılında Lagrange çarpanları yöntemini bilim dünyasının hizmetine sunması önemli bir adım olmuştur. 1939'da W. Karush'un kısıtlandırılmış problemler için optimallik koşullarını bulması optimizasyon teorisinde yeni bir atılım olmuştur. II. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla 1942'de İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri'nin Yöneylem Araştırması gruplarını oluşturması, optimizasyon dünyası için bir dönüm noktası olmuştur. Sezgisel optimizasyon araçlarından olan yapay sinir ağları 1943'de W. McCulloch ve W. Pitts tarafından çalışıldı. Ertesi yıl ise, J. Von Neumann ve O. Morgenstern tarafından Oyun Teorisi ve Ekonomik Davranış adlı eserle oyun kuramı tanıtıldı (Saul ve Gass, 2002).

II. Dünya Savaşı'ndan sonra yeni sınıf optimizasyon teknikleri geliştirildi. Söz konusu teknikler daha karmaşık problemlere başarıyla uygulandı. Bunda, yüksek hızlı dijital bilgisayarların geliştirilmesi ve optimum değerlerin elde edilmesi için nümerik

tekniklere matematiksel analizin uygulanması son derece etkili olmuştur. Nümerik teknikler Kalkülüs'ün bir takım zorluklarını ortadan kaldırmıştır (Byron ve Gottfried, 1973).

Lineer programların çözümü için Simplex yöntem 1947'de G.B. Dantzig tarafından geliştirildi. Bu, optimizasyon dünyasında gerçekten bir devrim sayılmaktadır. R. Bellman 1950'de dinamik programlama modelini ve çözümünü geliştirdi. 1951'de H. Kuhn ve A. Tucker daha önce Karush'un önerdiği kısıtlandırılmış problemler için optimallik koşullarını tekrar formüle ederek doğrusal olmayan programlama modelleri üzerinde çalıştılar. Yine aynı yıl, J. Von Neumann, G. Dantzig ve A. Tucker primal-dual lineer programlama modellerini geliştirdiler. Yine önemli bir katkı 1955'de stokastik programlama adı altında G. B. Dantzig tarafından yapıldı. Kuadratik programlama 1956'da M. Frank ve P. Wolfe tarafından geliştirildi. 1958'deki önemli bir katkı R. Gomory tarafından tamsayılı programlama olarak adlandırıldı. A. Charnes ve W. Cooper şans kısıtlı programlama modellerini 1959'da optimizasyon dünyasına armağan ettiler. 1960'da sezgisel optimizasyon araçlarından birisi olan yapay zeka ve yöneylem araştırması ilişkilerini içeren çalışmalar yapıldı. Hedef programlama modeli yine A. Charnes ve W. Cooper tarafından 1965 yılında geliştirildi. 1975'de çok amaçlı karar verme teorisinin temelleri M. Zeleny, S. Zionts, J. Wallenius, W. Edwards ve B. Roy tarafından atıldı. L. Khachian tarafından lineer programlama modellerinin çözümü için farklı bir algoritma olan elips yöntemini 1979'da geliştirildi.

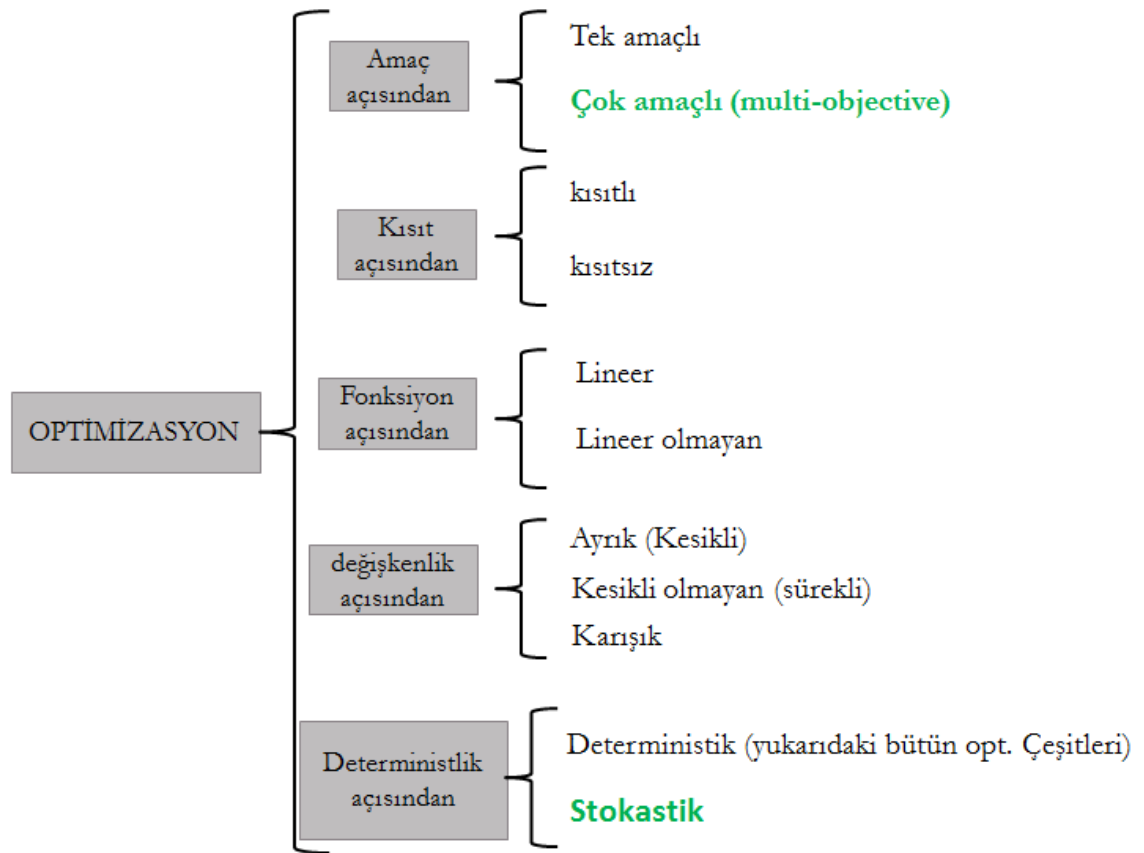
1984'te, N. Karmarkar lineer programlama için alternatif bir çözüm algoritması olan iç nokta algoritmasını geliştirdi. 1992'de J.H. Holland tarafından bir sezgisel optimizasyon tekniği olarak kabul edilen genetik algoritma geliştirildi. Çağdaş optimizasyon dünyasında da her geçen gün artan bir ivmeyle önemli katkılar yapılmakta ve bilimin hizmetine sunulmaktadır (Çetin, 2004).

Optimizasyon modelleri yukarıda da belirtildiği gibi matematiksel teknikleri kullanmaktadır. Daha özel anlamda, optimizasyon modelleme geleneksel olarak matematik programlama olarak adlandırılmaktadır (Samuel ve Bodily, 1998). Diğer bir ifadeyle, matematik programlama, optimizasyon modelinin kurulması ve çözümün elde edilmesi işlemine verilen genel isimdir. Geçmişten gelen bir gelenekle günümüzde de

matematik programlama ve optimizasyon kavramları eşanlamlı olarak kullanılmaktadır (Çetin, 2004).

3.2.2. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması

Belirli sınırlamaları sağlayacak şekilde bilinmeyen parametre değerlerinin bulunmasını içeren herhangi bir problem, optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon problemleri yapılarına göre aşağıdaki Şekil 3.1’de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3.1: Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması.

Bu tez kapsamında ele alınan problem, amaç açısından çok amaçlı (multi-objective) ve deterministik açısından ise, stokastik optimizasyon problemidir.

3.2.3. Optimizasyonun Özellikleri

Optimizasyon belirli şartlar altında en uygun çözümü bulmak olarak algılanmaktadır. O halde her optimizasyon analizinde, incelenen bir problemin bir amacı olacaktır. Amaç, sistem veya sistemlerin geliştirilmesidir. Bu amaç, o kadar gereklidir ki, bir sistemi

geliştirebilmek için en az bir çözümün o sistem için elde edilebilir olması gerekir. Diğer bir ifade ile bir sistem için girdilerin belirlenmesi sureti ile biz, sonuçlanan çıktılarını bulabiliriz. Eğer bu sistem mümkün değilse, sistemi dizayn edemeyiz, çalıştıramayız veya kontrol edemeyiz, sonuç optimizasyondan uzaklaşmak olur.

Eğer sistem bütün yönleriyle tarif edilmiş, girdilerin özellikleri belirlanmışse sonuç sabittir. Mesela, silindir bir kürenin çapı ve yükseklikleri verilmişse silindirin hacmi kesinlikle bilinir. Bu sebeple, girdilerden bir tanesi değişken olmadıkça sistemde bir gelişme sağlanamaz. Bir sistem tam olarak belirlenmiş girdilerle tarif edilmişse, bu sisteme Tarif Edilmemiş Sistem denir ve prensip olarak sonsuz sayıda çözümü vardır. Bu husus bir analizde, optimizasyon kullanılmadan önce, gerekli bir şarttır. Yani girdilerden en az bir tanesinin kesin olarak tarif edilmemiş olması gerekir.

Normal olarak herhangi bir problem için tek bir cevap bulunmaz. Bu sebeple verilen bir problemde muhtemel çözümler seti arasında en iyi çözümün seçilmesi gerekir. Bu amaca hangi ölçüde ulaşılabilir? Öncelikle problemin amacı ortaya konulmalıdır. Amaç bir problemde diğerine değişir, fakat amaç; endüstriyel problemler için hem ekonomik hem de teknik olabilir. Teknik amaç veya amaçlar ise, bir makineden maksimum verimi almak, maksimum dayanma gücünü sağlamak, minimum enerji kullanımını sağlamak, maksimum hızı sağlamak, minimum alanı elde edebilmek v.b. olabilir. Bu sebeple normal olarak bir çok endüstriyel optimizasyon çalışmasının ekonomiklik çerçevesi içerisinde yürütülme mecburiyeti vardır. Böyle bir ekonomiklik çalışmasında sonuçlar kantitatif hale getirilmediği sürece alternatiflerin seçimi mümkün olmayabilir. Bunun için bütün problemler kantitatif sonuç verecek biçimde formüle edilmelidir.

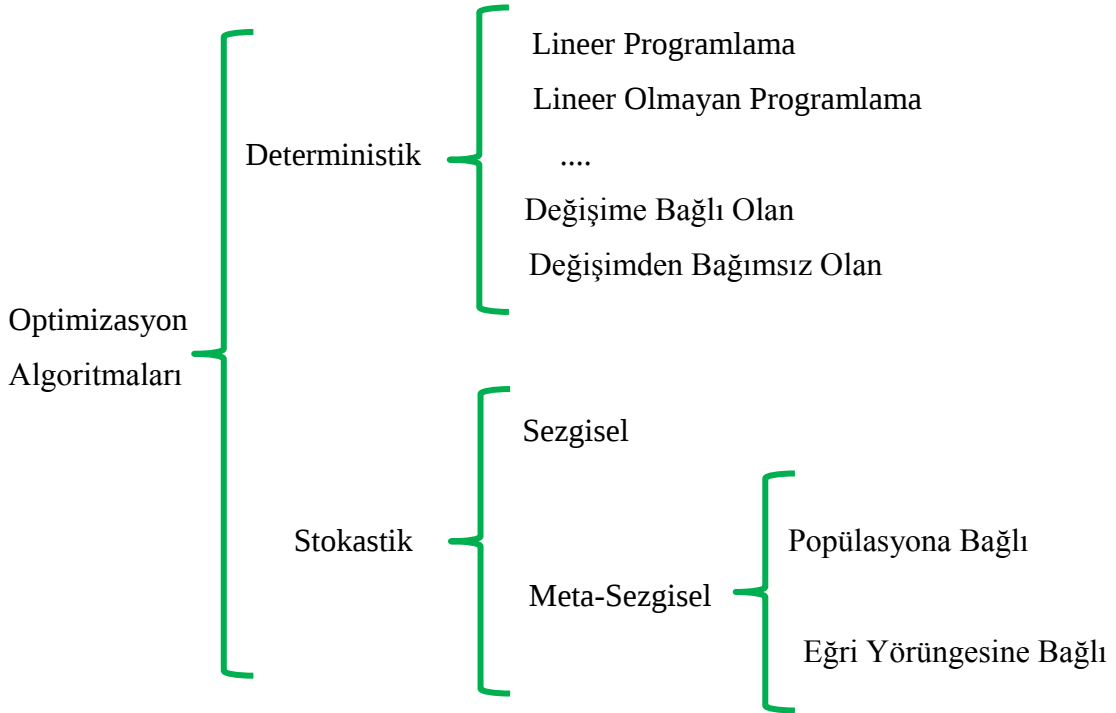
Alternatiflerle ilgili önemli bir karakteristik yön bunların genellikle çatışması veya zıt etkilerinin bulunmasıdır. Mesela, bir mamul emek yoğun sermaye ile üretilirse, yatırım tutarı düşük olacak, işçilik giderleri yüksek olacak fakat elde edilen mamulün kalitesi belli bir marjda dalgalanacağı için kalite birliği sağlanamayacaktır. Bu da rekabette önemli bir dezavantajdır. Buna karşılık aynı mamul bilgisayar bağlantılı otomasyonla üretiliyorsa bu kez kalite yükselecek yatırım tutarı artacak, fakat işçilik giderleri düşük olacaktır. Muhtemelen maliyetlerde bir artış olacaktır. Bunlardan hangi sistemin

seçileceği kantitatif rakamlara dayalı olarak ekonomik açıdan mukayese edilerek yapılacaktır.

Burada önemli bir nokta da kısıtlılık halleridir. Optimizasyonun verilen şartlar içerisinde en iyi sonuca ulaşmak olduğunu hatırlamalıyız. Verilen şartlar altında en iyi sonuç burada mutlak iyidir. Buna kısıtlılık durumlarının namüsaıt olmasından dolayı her zaman ulaşamaz.

3.3. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARININ SINIFLANDIRILMASI

Optimizasyon problemleri genel olarak deterministik ve stokastik olarak iki ana kategoride ele alınır. Deterministik yaklaşım, bilinen parametreleri göz önüne alarak klasik yöntemlerle çözüm yöntemidir ve tasarımda oluşabilecek değişkenler (varyasyonlar) dikkate alınmaz. Bir varyasyon durumunda yaklaşım yetersiz kalacaktır. Stokastik yaklaşım ise değişkenlerin (varyasyonların) dikkate alındığı yöntemdir.



Şekil 3.2: Optimizsyon Algoritmalarının Sınıflandırılması

Optimizasyonun söz konusu olmadığı böylesi modellerde sadece uygun bir çözümün varlığı yeterli olmaktadır.

Matematiksel programlama yöntemleri, süre-maliyet taviz verme problemlerini matematiksel modellere dönüştürüp doğrusal programlama, tamsayı programlama ya da dinamik programlama yöntemleri ile çözmektedir. Kelly süre-maliyet taviz verme problemlerini, süreçlerinde süre-maliyet ilişkileri lineer olarak varsayıp formüllendirmiştir (Kelly, 1961). (Hendrickson ve Au, 1989) gibi diğer bazı yaklaşımlarda da süre-maliyet taviz verme problemin çözümünde lineer programlama kullanılmıştır. Doğrusal programlama yaklaşımları, lineer süre-maliyet ilişkilerine sahip olan problemler için uygundur, ancak ayırık süre-maliyet ilişkilerine sahip olan problemler için başarısızdır. (Meyer ve Shaffer, 1963) ve (Patterson ve Huber, 1974) lineer ve ayırık ilişkileri olan süre-maliyet problemlerini karmaşık tamsayı programlamayı kullanarak çözmüşlerdir.

Burns ve arkadaşları 1996'da bir karışık yaklaşım elde etmiştir,

- 1) Doğrusal programlamayı kullanarak, trade-off (taviz verme) eğrisine bir alt sınır bulmak.
- 2) Tamsayı programlamayı kullanarak, istenilen süre için kesin çözümü bulmak. (Robinson, 1975; Elmagraby, 1993; ve De Et, 1995) karışık olmayan ağlara veya paralel alt ağlarına ayrılabilme kabiliyetine sahip olan ağların özel bir kategorisi için süre-maliyet taviz verme problemini çözmek amacıyla dinamik programlamayı kullanmışlardır.

3.3.2. Sezgisel Metodlar

Sezgisel yöntemler genellikle matematiksel titizlikten yoksun, yaklaşık hesap kurallarına dayanmaktadır. Onlar iyi çözümler sunar, ancak optimaliteyi garanti etmemektedir. Örneğin; Fondahl metodu (Fondahl, 1961), Prager yapısal modeli (Prager, 1963), Siemens'in etkin maliyet eğimi modeli (Siemens, 1971) ve Moselhi'in yapısal sertlik metodu (Moselhi, 1993). Sezgisel algoritmalar, herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için doğal fenomenlerden esinlenen algoritmalarlardır. Bu algoritmaların, çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispat edilememektedir. Yani sezgisel algoritmalar yakınsama özelliğine sahip olmaktadır, ama kesin çözümü garanti edememektedir ve bu kesin çözümün yakınlarında bir çözüm

garanti edebilmektedir. Anlaşılabilirlik yönünden sezgisel algoritmaların karar verici açısından çok daha basit olabilmesinden, optimizasyon problemlerinin kesin çözümü bulma işleminin tanımlanamadığı bir yapıya sahip olmasından ve öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olarak kullanılabilirliğinden sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Karaboğa, 2011). Sezgisel yöntemlerin daha az hesaplama avantajından yararlanabilirsiniz, çünkü diğer yöntemlere göre çok daha az hesaplama süresi ile iyi çözümler bulabilmektedir.

Sezgisel yöntemler ikiye ayrılabilir:

- 1) Seri Sezgisel Arama Yöntemleri, bu yöntemlerde süreçler ilk önce önem sırasına göre sıralanıp, planlama prosedürü boyunca değerlerini muhafaza etmektedir.
- 2) Paralel Sezgisel Yöntemler; bu yöntemlerde prosedürün her planlaması yapıldığında, sürecin önem sırası güncellenmektedir. Örneğin; (Bell ve Han, 1991; Kahattab ve Choobineh, 1991; ve Boctor, 1993). Bu sezgisel aramalar iyi çözümler sunmaktadır; ancak, performansı probleme bağlıdır ve iyi çözümlerin elde etmesini garanti etmez.

3.3.2.1. Sezgisel Algoritmalara Gerek Duyulmasının Sebepleri

Sezgisel algoritmaların optimizasyon problemlerinde kullanılmasına ihtiyaç duyulmasının birçok sebebi vardır. Aşağıda bu sebeplerden birkaçı kısaca anlatılmaktadır;

- a) Optimizasyon problemi, kesin çözümü bulma işleminin tanımlanmadığı bir yapıya sahip olabilir.
- b) Anlaşılabilirlik açısından sezgisel algoritmalar karar verici için çok daha basit olabilir.
- c) Sezgisel algoritmalar öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olabilir.
- d) Matematik formülleriyle yapılan tanımlamalarda genellikle gerçek dünya problemlerinin en zor tarafları ihmal edilir.
- e) Model parametrelerini belirleme aşamasında kullanılan verinin hatalı olması sezgisel yaklaşımın üretebileceği alt optimal çözümden daha büyük hatalara sebep olabilir.

3.3.3. Meta-Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri

Meta-sezgisel (üst-sezgisel) yöntemler çözüm uzayını etkin bir şekilde aramayı sağlayacak temel sezgisel yöntemleri birleştirmeye çabalayan yeni yaklaşık yöntemlerin geliştirilmesidir. Metasezgisel, arama uzayının yüksek kaliteli çözümlerini kapsayan bölgelerinde aramayı gerçekleştirmek için probleme özgü sezgisellere rehberlik etmek amacıyla tasarlanan genel amaçlı sezgisel yöntemlerdir (Dorigo ve Stutzle, 2004).

Üst-sezgisel algoritmalar, sezgisel algoritmalar üzerinde çalışan bir karar mekanizmasıdır. Yani bir problem için üç farklı yöntem kullanabileceğimizi ve bu yöntemlerin hepsinin farklı amaçlardan avantajlı olan sezgisel algoritmalar olduğunu düşünelim. Bu sezgisel yöntemlerden hangisinin seçileceğinin seçilmesine meta-heuristic (sezgi üstü) algoritma ismi verilir.

Günümüzde pek çok alanda çözüm için birden fazla yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemler probleme göre iyileştirilmiştir. Ancak bir problem için birden fazla olan çözüm yöntemleri arasında seçim yapma ihtiyacı bu yolla ortadan kaldırılmış olur. Basitçe bir sezgi üstü algoritma bu algoritmalar arasında seçim yapmakta ve en başarılı olanı çalıştırmaktadır. Algoritma seçimine karar veren bu mekanizma ise çoğu zaman istatistiksel verilere dayanarak çalışmaktadır.

3.3.3.1. Meta-Sezgisel Yöntemlerin Özellikleri

- Meta-sezgisel yöntemler, arama süresince rehberlik eden stratejilerdir.
- Amaç, en iyi ya da en iyiye yakın çözümleri bulmak için arama uzayını hızlı bir şekilde araştırmaktır.
- Meta-sezgisel yöntemler, basit ve yerel arama algoritmalarından karmaşık öğrenme proseslerine kadar geniş bir yelpazeyi içermektedir.
- Meta-sezgisel algoritmalar, yaklaşık algoritmalar ve genellikle deterministik değildir.
- Arama uzayındaki yerel en iyi tuzaklardan kurtulmak için çeşitli mekanizmaları kullanırlar.
- Meta-sezgisel yöntemler, probleme özgü değildirler.
- Meta-sezgisel yöntemler, üst seviye stratejiler tarafından kontrol edilen sezgisellerde probleme özgü bilgi kullanımına izin verirler.

- İleri seviye meta-sezgisel yöntemler, aramaya rehberlik etmesi amacıyla arama sırasında elde edilen bilgiyi (hafızayı) kullanırlar.
- Meta-sezgisel yöntemlerin en önemli özelliği; çeşitlendirme (diversification) ve yoğunlaşma (intensification) arasındaki dinamik dengeyi oluşturmalarıdır.

Kısacası, Meta-sezgisel yöntemler farklı metodlar ile arama uzayının araştırılması için yüksek seviye stratejilerdir. Mühendislik problemlerinde en çok kullanılan ve meşhür sezgisel üstü yöntemler ise, Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Karınca Kolonisi Algoritması (KKA), Harmoni Arama (HA), Yapay Arı Kolonisi (YAK), Benzetilmiş Tavlama Algoritması (BTA) ve Ateş Böceği Algoritması (ABA) v.s algoritmalarıdır. Bu tez kapsamında Harmoni Arama metodu kullanılmış ve detaylı olarak anlatılmıştır.

3.4. OPTİMİZASYON MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

Modeller, temel bilimlerde ve mühendislikte yoğun olarak kullanılan, büyük kapsamlı bir sistemin tüm özelliklerini yansıtacak daha küçük boyutlardaki yapılardır. Modeller, genelde sistemin temel özelliklerini yansıtacak ve modelin kullanım amaçlarını gerçekçi olarak içerecek detaylar bulunur. Örneğin, tasarım aşamasında olan bir uçağı düşündüğümüz zaman, uçağın aero-dinamik yapısını incelerken gerçek uçak yerine uçağın modeli kullanılarak rüzgâr tüneli deneyleri yapılır. Tarımda ise bir bitkinin tüm özellikleri incelenip bitkinin veriminde iyileştirme çalışmaları yapılırken, bitkinin modelleri laboratuvar ortamında değişik parametrelere göre değerlendirilip sonuçlar analiz edilir. Optimizasyon modelleri ise sistemin işleyişini ve özelliklerini yansıtan, sistemin içindeki ve çevresindeki diğer sistemlerle olan etkileşimleri kapsayan matematiksel ifadelerden oluşmaktadır (Williams, 1999). Aşağıda da görüldüğü gibi, bu matematiksel ifadeler sistemin ölçülebilen özelliklerini belirleyen parametreler, en iyi sonuçları verecek karar değerlerini belirleyen değişkenlerden, sistemin eniyilenecek performans ölçütünden ve sistemin özelliklerini ve sınırlarını belirleyen kısıtlardan oluşmaktadır:

$$\begin{aligned}
 \max \quad & z = f(x, y) \\
 \text{k.s.} \quad & g(x, y) = 0 \\
 & h(x, y) \leq 0 \\
 & x \in \mathbb{R}^n \\
 & y \in \{0, 1, 2, \dots, m\}
 \end{aligned}$$

Yukarıdaki optimizasyon probleminde sistemin performans ölçütü (amaç fonksiyonu) $z=f(x,y)$ ile ifade edilmiş ve karar değişkenleri x ve y 'nin bu ölçütü ençoklayacak değerlerinin bulunması hedeflenmektedir. Sistemin özellikleri ise $g(x,y)$ eşitliği ve $h(x,y)$ eşitsizlikleri (kısıtlar) belirlemektedir. Ayrıca, karar değişkenleri iki türlü ifade edilmiştir: n boyutlu uzayda herhangi bir reel değeri alabilen sürekli değişkenler (x) ve herhangi bir tamsayı değeri alabilen tamsayılı değişkenler (y). Optimizasyon modellerini içerdikleri karar değişkenlerinin, amaç fonksiyonunun ve sistem kısıtlarının özelliklerine göre sistem parametrelerinin bilinen sabit değerlere aldığı durumlarda aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (NEOS, 2006). Eğer bir optimizasyon probleminde y değişkenleri yer almıyorsa ve $f(x)$, $g(x)$ ve $h(x)$ fonksiyonları doğrusalsa o problem bir doğrusal programlama problemi olarak tanımlanır. Bir optimizasyon probleminde y değişkenleri yer almıyorsa ve $f(x)$, $g(x)$ ve $h(x)$ fonksiyonların herhangi birisi doğrusal değilse o problem bir doğrusal olmayan programlama problemidir. Optimizasyon problemlerinde y değişkenleri yer alıyorsa $f(x,y)$, $g(x,y)$ ve $h(x,y)$ fonksiyonlarının doğrusal olması durumunda problem tamsayı karışık doğrusal programlama problemi, $f(x,y)$, $g(x,y)$ ve $h(x,y)$ fonksiyonlarından herhangi birisinin doğrusal olmaması durumunda ise tamsayı karışık doğrusal olmayan programlama elde edilir.

3.5. HARMONİ ARAMA METODU

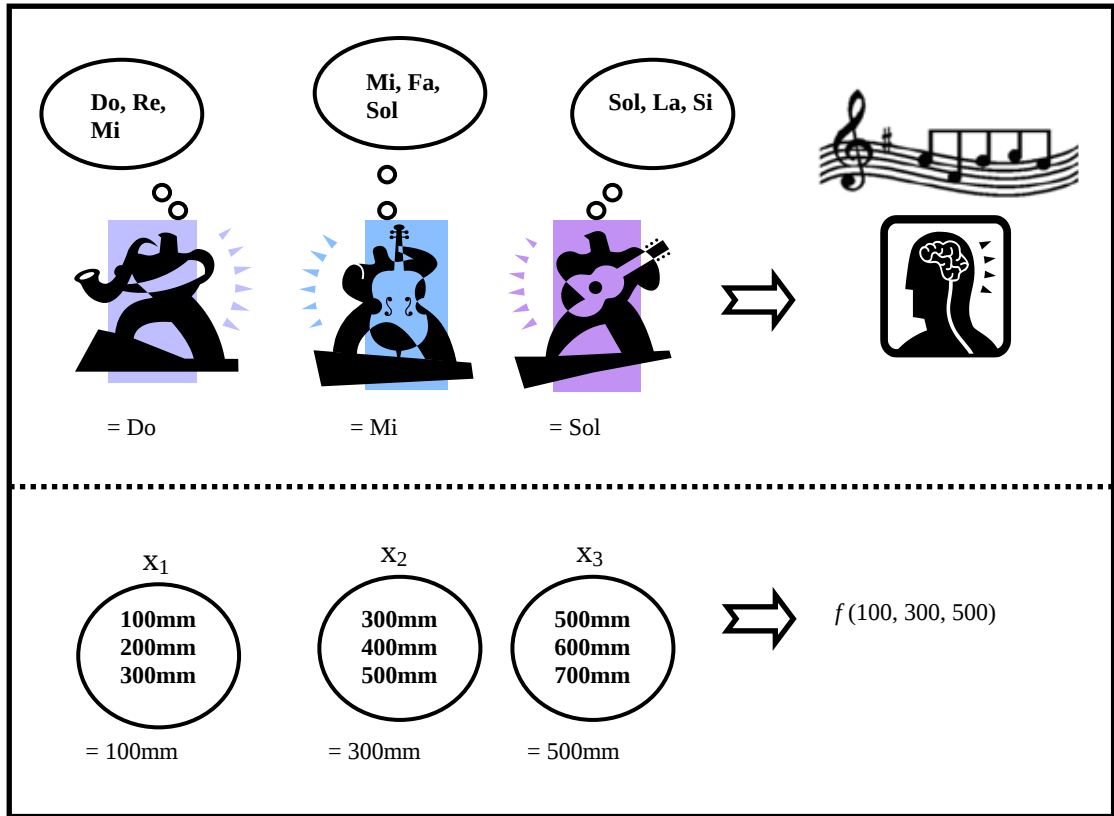
Harmoni (ahenk, uyum) Arama (HA), Geem ve diğerleri tarafından, var olan algoritmaların daha az sayıda iterasyon adımıyla çözülmesi amacıyla, 2001 yılında geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir. Geem'in ifadesiyle müzisyen doğaçlamasına benzetim ile üretilen bir sezgisel algoritmadır (Geem ve diğ., 2001). Başka bir deyişle Harmoni Arama, müzik tabanlı bir meta-sezgisel (meta-heuristic) optimizasyon yöntemidir.

Meta-Sezgisel HA optimizasyon tekniği, bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile harmonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır (Geem ve diğ., 2001). HA tekniğinde orkestra, tüm orkestra elemanlarının birbirleri ile harmonik açıdan uyumlu bir şekilde çalmaları ile en estetik melodiyi elde edebilirken

optimizasyon modellerinde sonuç, amaç fonksiyonunun en iyi çözüme giderek yaklaşması ile elde edilebilmektedir.

Harmoni Arama yöntemi günümüze kadar çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Geem ve diğerleri tarafından yapılan araç rotalama problemi uygulaması (Geem, 2005a), yine Geem tarafından 2006 yılında yapılan boru hattı tasarımı; Gil-Lopez ve diğerleri tarafından 2009 yılında yapılan çok kullanıcı algılama problemi uygulaması, Landa-Torres ve arkadaşları tarafından yapılan erişim noktası yerleşim problemi uygulaması (Landa ve diğ., 2012).

Harmoni Arama (HA) yönteminin uygulandığı alanlardan biri olan araç rotalama problemi ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında çalışılmıştır. Daha sonra birçok çalışma ile geliştirilen problem, aracın, belirli bir noktadan başlayıp, kullanıcıları belirli sırayla ziyaret edip bu noktaya dönmesi için güzergâhlar oluşturulmasıyla ilgilidir. Geem, 2005 yılında yaptığı Okul Taşıtı Rotalama Problemi çalışmasında, HA'yı bu probleme uygulamış ve türetilmiş bilgi veya herhangi bir önemli varsayım yapmaksızın optimuma yakın çözümler bulunduğunu belirtmiştir.



Şekil 3.3: Müzik İyileştirme ile Mühendislik Optimizasyonu Arasındaki benzeşimi (Lee ve Geem, 2005).

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi müzikte uygun ahengi yakalamak için geliştirilen yöntemi ile mühendislik problemlerinde optimum çözüme ulaşmak için yapılan işlemlerin arasındaki benzeşimi gösterilmektedir. Örneğin uygun bir ahengi oluşturmak için elimizde 3 enstrüman var ve bu enstrümanların her birinden hangi sesi çıkartmak gerekir sorusuna cevap olarak enstrümanlardan sırasıyla (Do, Mi ve Sol) opsiyonları seçilmiştir. Aynı şekilde 3 değişkene bağlı olan bir fonksiyonu minimize etmek için değişkenlerin hangi değerlerini seçmek gerektiği sorusuna cevap f (100, 300, 500) verilmiştir.

Bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları melodilerle gerçek optimizasyon problemleri arasındaki bağlantının nasıl olduğu Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Yöntemin Müzikteki Unsurları ile Mühendislik Unsurları Arasındaki Kıyaslaması.

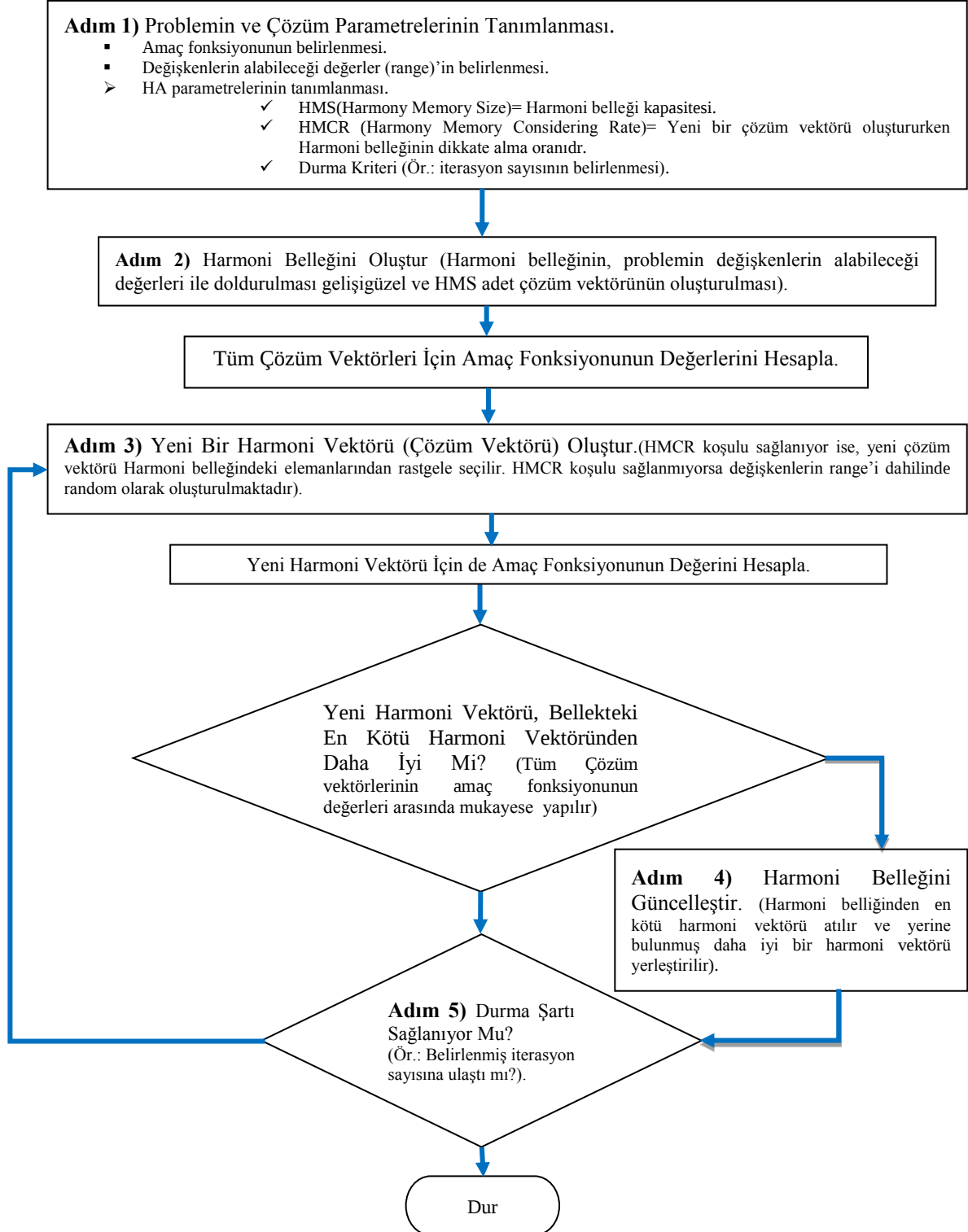
Kıyaslama Faktörleri	
Müzik	Mühendislik
▪ Müzik Enstrümanları	▪ Karar Değişkenleri
▪ Ses Yükseklik Düzeyi	▪ Değişkenlerin Alabileceği Değer Aralığı (Range)
▪ Güzel Duygu	▪ Amaç Fonksiyonu
▪ Tecrübe	▪ Bellek Matrisi
▪ Pratik	▪ İterasyon
▪ Harmoni	▪ Çözüm Vektörleri

Bu yöntemin başlıca avantajları:

- Karar değişkenleri için özel bir başlangıç çözümü tanımlanmasına gerek duyulmaması.
- Birden çok çözümle, optimizasyon işlemine devam edildiği için, en iyi çözümün birden çok yönde aranması ve bu sayede yerel çözümlerden kurtulabilmesi.
- Optimizasyon işleminde sürekli değişkenler kullanılabildiği gibi ikili (binary) değer alan değişkenlerin de kullanılabilesidir.

3.5.1. HA (Harmoni Arama) Modeli

HA yöntemi beş adımdan oluşmaktadır ve akış şeması aşağıdaki gibidir. HA yönteminin adımları daha kolay anlaşılabilmesi için daha sonra detaylı bir şekilde bir örnek üzerinde anlatılmıştır.



Şekil 3.4: Harmony Arama Metodunun Akış Şeması (Geen , 2004).

Örnek Uygulama: x 'in (0 ile 3) ve y 'nin (0 ile 5) değer aralığı içinde;

$F(x,y) = (x-2)^2 + (y-3)^2$ fonksiyonunu minimum yapan x ve y değerlerini bulunuz.

Min. $F(x,y) = (x-2)^2 + (y-3)^2 = ?$

1. Adım) Problemin ve Çözüm Parametrelerinin Tanımlanması:

Problemin çözümünde kullanılacak amaç fonksiyonu ve fonksiyona ait değişkenler aşağıdaki denklemdeki gibi tanımlanır:

$$\begin{array}{ll} \text{Amaç Fonksiyonu} & f(x) \\ \text{Değişkenler, } x_i \in X_i, & i = 1, 2, \dots, N \end{array} \quad (3.1)$$

Burada $f(x)$ amaç fonksiyonunu, x_i fonksiyonun değişkenleri, X_i değişkenlerin alabileceği değer aralığını, N ise fonksiyonda yer alan değişken sayısını ifade etmektedir. Harmoni Arama yönteminin optimizasyon problemini çözmek için ihtiyaç duyduğu; harmoni belleği kapasitesi (HMS= Harmony Memory Size), Harmoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR= Harmony Memory Considering Rate) ve maksimum iterasyon sayısı parametreleri bu adımda tanımlanır.

Örnek uygulamanın verilerine göre;

Amaç fonksiyonu $\Rightarrow \min. F(x,y) = (x-2)^2 + (y-3)^2$

Range(x)=(0,3)

Range(y)=(0,5)

HMS=4 çözüm vektörlerinden oluşmuş olsun.

HMCR=0.9 olsun. (yeni bir çözüm vektörü oluştururken %90 ihtimalle Harmoni belleğinin içindeki çözüm vektörlerinden birini seçsin.

İterasyon Sayısı=100 olsun.

% Amaç fonksiyonunun tanımlanması ve çözüm vektörlerine göre amaç fonksiyonunun hesaplanması.

```
function [ output ] = ornek_fitness( input )
```

```
    output=(input(1)-2)^2+(input(2)-3)^2;
```

```
end
```

% Problemin ve Harmoni Algoritmasının parametrelerinin tanımlanması

```
clear;
```

```
hms=4;
```

```
range=[3,5];
```

% Yeni bir çözüm vektörü oluştururken %90 ihtimalle Harmoni belleğinin içindeki elemanlarından seçilsin ve %10 ihtimalle Harmoni belleğinin dışında rastgele oluşturulsun (HMCR koşulu sağlanıyor ise, yeni çözüm vektörü Harmoni belleğindeki elemanlarından rastgele seçilir. HMCR koşulu sağlanmıyorsa değişkenlerin range'i dahilinde random olarak oluşturulmaktadır).

```
p_random=.1;
p_memory=.9;
```

Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, HMS, HMCR ve iterasyon sayısı parametrelerinin, algoritmanın performansında tetikleyici rol almasıdır. HMS, HMCR parametreleri için sırasıyla 10-50, 0.7-0.95 aralığındaki değerlerin ve iterasyon sayısının 100 ve üzeri seçilmesi önerilmektedir (Geen, 2004). Bu tez kapsamında HMS, HMCR ve iterasyon sayısı parametreleri için Geen'in önerdiği değer aralıkları örnek uygulama projesi verileri üzerinde denetlenmiştir. Örnek uygulama projesi farklı HMS, HMCR ve iterasyon sayılarına göre çözülmüş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. Adım) Harmoni Belleğinin Oluşturulması:

Harmoni belleği, tüm çözüm vektörlerinin ve her iterasyon sonucu amaç fonksiyonunun aldığı değerlerin saklandığı bellektir. Harmoni belleği adı verilen matris tamamı rastgele üretilmiş değişken değerleriyle doldurulur ve bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \vdots \\ f(x^{HMS-1}) \\ f(x^{HMS}) \end{bmatrix}$$

Şekil 3.5: Harmoni Belleği Matrisi.

Burada;

x_1^1  Harmoni belleğindeki 1. çözüm vektöründeki amaç fonksiyonunun birinci değişkenin değeridir.

x_N^1  Harmoni belleğindeki 1. çözüm vektöründeki amaç fonksiyonunun N. inci değişkenin değeridir.

x_1^{HMS}  HMS, Harmoni belleğinin kapasitesini temsil etmektedir, dolayısıyla bir Harmoni belleğinde HMS değerine kadar çözüm vektörü bulunmaktadır. Buradaki ifade Harmoni belleğindeki sonuncu çözüm vektöründeki amaç fonksiyonunun birinci değişkeninin değerini göstermektedir.

x_N^{HMS}  Harmoni belleğindeki sonuncu çözüm vektöründeki amaç fonksiyonunun N.inci değişkeninin değerini göstermektedir.

$f(x^1)$  Harmoni belleğindeki 1.inci çözüm vektörünün değerlerine göre, amaç fonksiyonunun aldığı değeri temsil etmektedir.

$f(x^{HMS})$  Harmoni belleğindeki sonuncu çözüm vektörünün değerlerine göre, amaç fonksiyonunun aldığı değeri temsil etmektedir.

Örneğin;

% Bu örnekte HM (Harmoni Belleği) Matrisin boyutları [4x2] dir, yani satır sayısı 4 ve kolon sayısı 2'dir. Çünkü HMS (çözüm vektörü sayısı) 4 ve amaç fonksiyonunun değişken sayısı 2'dir.

```
HM=zeros(4,2);
fit_vekt=zeros(1,2);
```

```
for j=1:hms
for i=1:2
    HM(j,i)=randi([1,range(i)],1,1);
end
end
```

% Fitness değerlerinin hesaplanması

```
for i=1:2
    fit_vekt(i)=ornek_fitness(HM(i,:));
end
```

```
disp(fit_vekt);
```

Örneğin başlangıç HM (Harmoni Belleği) aşağıdaki gibidir;

HM =

2	0
1	2
0	3
3	1

	1. Değişken	2. Değişken	Amaç Fonksiyonu
	x	y	F(x,y)
1. Çözüm Vektörü	2	0	9
2. Çözüm Vektörü	1	2	2
3. Çözüm Vektörü	0	3	4
4. Çözüm Vektörü	3	1	5

Şekil 3.6: HM (Harmoni Belleğinin) Başlangıç Matrisi.

3. Adım) Yeni Harmoni Oluşturulması:

Bu adımda, harmoni belleğinde bulunan değerler de kullanılarak yeni bir harmoni oluşturulur. Yeni harmoni vektörünün elemanları HMCR olasılığına göre ya harmoni belleğinin elemanları kullanılarak ya da ikinci adımda olduğu gibi X_i değer aralığında rastgele bir değerle oluşturulur. Bu amaçla öncelikle 0 ile 1 arasındaki değerlerden rastgele bir sayı üretilir. Üretilen bu sayı, 0 ile 1 arasındaki bir değere sahip olan HMCR olasılığını sağlıyorsa yeni vektör elemanı harmoni belleği içindeki elemanların arasından seçilir. Rastgele üretilen sayı HMCR olasılığını sağlamıyorsa yeni vektör elemanı harmoni belleğinden değil değişkenlerin alabileceği değer aralığı içerisinde rastgele bir değer olarak belirlenir.

$$x_i' = \begin{cases} x_i' \in \{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \dots, x_i^{HMS}\} & \text{HMCR olasılığı durumu} \\ x_i' \in X_i & (1 - \text{HMCR}) \text{olasılığı durumu} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, \quad (3.2)$$

Örneğin;

% Harmoni belliğini iyileştirmek amacıyla bu adımda yeni bir harmoni çözüm vektörü oluşturacağız. Bu çözüm vektörü ilk başta belirlediğimiz HMCR olasılığına göre ya rastgele Harmoni belliğinin içindeki elemanlarından seçilir, ya ki değişkenlerin alabileceği değer aralığı içerisinde rastgele bir vektör olarak oluşturulur.

```
for defa=1:100

ynew=zeros(1,2);

for i=1:2
if rand<.1
    ynew(i)=randi([1,range(i)],1,1);
else

    r_indis=randi([1,2],1,1);
    ynew(i)=HM(r_indis,i);

end
end
ynew_fit=ornek_fitness(ynew);
```

Öncelikle 0 ile 1 arasındaki değerlerden rastgele bir sayı üretilir. Örneğin bu rastgele sayı 0.6 olsun. $0.6 > 0.1$ olduğundan dolayı ynew (yeni oluşturulan çözüm vektörü rastgele değil belki harmoni belleğindeki değerleri kullanarak oluşturulmuş olur.

	1. Değişken	2. Değişken	Amaç Fonksiyonu
	x	y	F(x,y)
1. Çözüm Vektörü	2	0	9
2. Çözüm Vektörü	1	2	2
3. Çözüm Vektörü	0	3	4
4. Çözüm Vektörü	3	1	5

Şekil 3.7: Birinci İterasyonda HM Matrisinden Seçilmiş Değerler.

Dolayısıyla ynew= [1 2] olur.

İkinci iterasyonda ynew çözüm vektörü, x için Harmoni belleğinin bir çözüm vektörünün değerini ve y için başka bir çözüm vektöründen değer çekmiş olabilir.

Şekil 3.7’de gösterildiği gibi x değeri 1.çözüm vektöründen ve y değeri 3. çözüm vektöründen seçilmiştir.

	1. Değişken	2. Değişken	Amaç Fonksiyonu
	x	y	F(x,y)
1. Çözüm Vektörü	1	2	2
2. Çözüm Vektörü	1	2	2
3. Çözüm Vektörü	0	3	4
4. Çözüm Vektörü	3	1	5

Şekil 3.8: İkinci İterasyonda HM Matrisinden Seçilmiş Değerler.

Dolayısıyla Şekil 3.7’ye göre ynew= [2,3] olarak seçilmiştir.

4. Adım) Harmoni Belleğinin Güncelleştirilmesi:

Bu adımda ilk önce yeni oluşturulan çözüm vektörün değerlerine göre amaç fonksiyonu hesaplanır. Daha sonra bulunmuş bu değer bellekteki çözüm vektörlerin amaç fonksiyonu değerleri ile mukayese edilir. Eğer yeni oluşturulan çözüm vektörün amaç fonksiyon değeri bellekteki amaç fonksiyonunun değerlerine göre daha iyi ise, yeni oluşturulan harmoni çözüm vektörü, bellekte yer alan en kötü amaç fonksiyonu değerine sahip olan harmoni vektörünün yerini alır ve en kötü çözüm vektörü bellekten silinir. Bu şekilde Harmoni belleğinde git gide daha iyi çözüm vektörleri yerleştirilmiş olur.

Örneğin;

% Bu aşamada ynew bellekteki çözüm vektörlerine göre daha iyi ise bellekteki en kötü çözüm vektörünün yerine ynew yerleştirilir. Değilse tekrar yeni bir çözüm vektörü üretilir.

```
for i=1:2
```

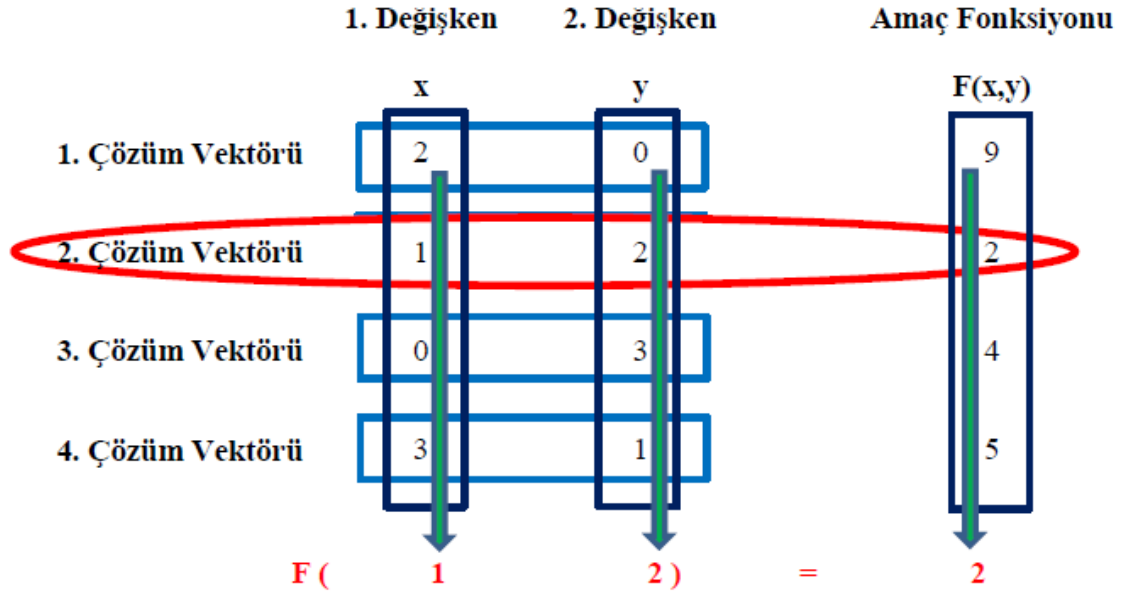
```
if ynew_fit<fit_vekt(i)
    HM(i,:)=ynew;
    fit_vekt(i)= ynew_fit;
    disp(ynew_fit);
```

```

break;
end
end
disp(HM);
end

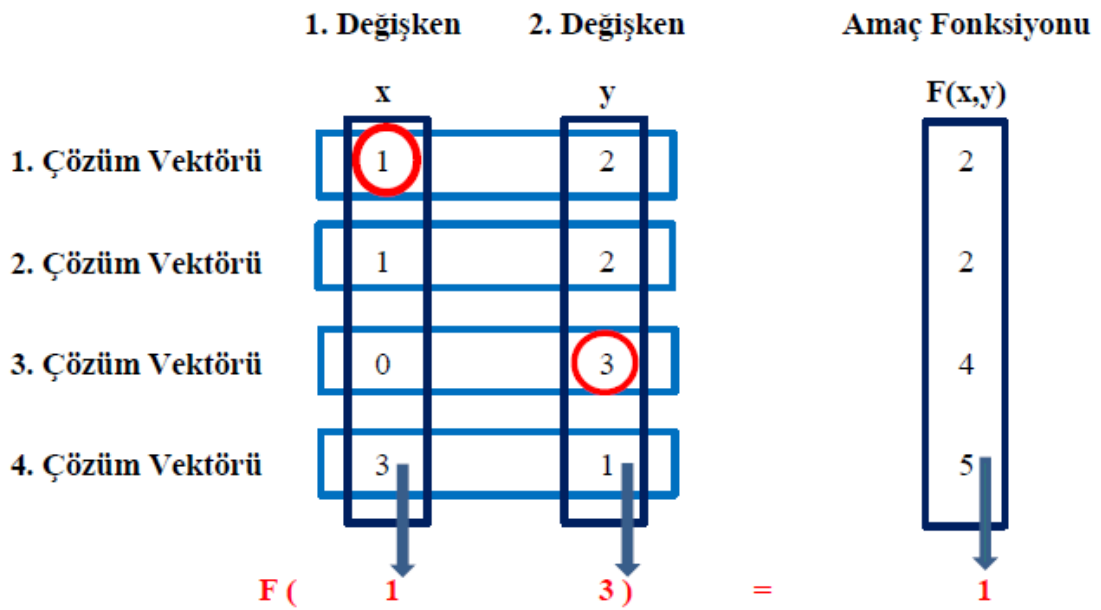
```

Örneğin; Bir önceki adımda 1. ve 2. iterasyon sonucunda oluşturulan yeni çözüm vektörlerini dikkate alırsak;



Şekil 3.9: Birinci İterasyondan Sonra HM Matrisi.

Yeni oluşturulmuş olan Harmoni çözüm vektörü [1 2] bellekteki en kötü çözüm vektörü olan [2 0] yerini alır.



Şekil 3.10: İkinci İterasyondan Sonra HM Matrisi.

Bu iki güncelemeden sonra Harmoni belleğindeki son hali aşağıdaki gibidir;

	1. Değişken	2. Değişken	Amaç Fonksiyonu
	x	y	F(x,y)
1. Çözüm Vektörü	1	2	2
2. Çözüm Vektörü	1	2	2
3. Çözüm Vektörü	0	3	4
4. Çözüm Vektörü	1	3	1

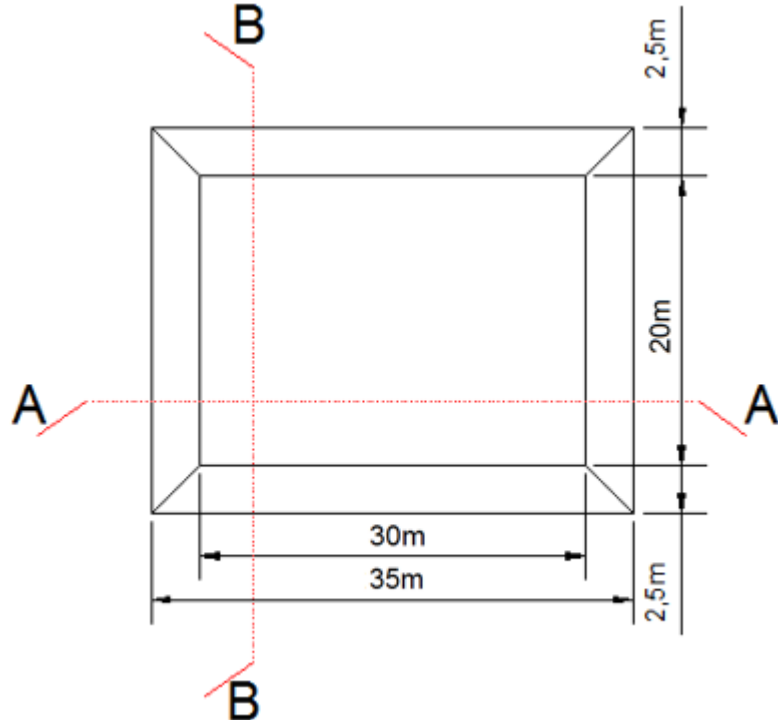
Şekil 3.11: 1. ve 2. İterasyondan Sonra HM Matrisinin Son Hali.

5. Adım) Durma Koşulu Gerçekleşinceye Kadar 3. ve 4. Adımların Tekrar Edilmesi:

Bu adımda, problem için tanımlanan durma şartı kontrol edilir. Şartın sağlanması durumunda çözümleme sona erer ve Harmoni belleğinde yer alan en iyi vektör nihai çözüm olarak kabul edilir. Durma şartının sağlanmaması durumunda ise 3. ve 4. adımlar tekrar edilir.

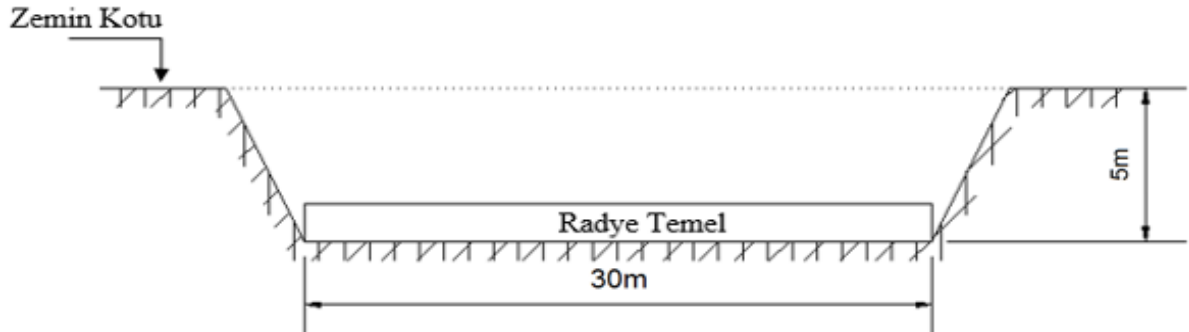
3.6. UYGULAMA PROJESİ (İNŞAAT KAZI VE TEMEL YAPIM İŞİ)

Bu çalışma kapsamındaki kurulan model, modele girilen girdiler ve modelden çıkan sonuçları ve bulguları aşağıdaki temel kazı ve yapım projesi üzerindeki örnek uygulama ile adım adım anlatılmaktadır.

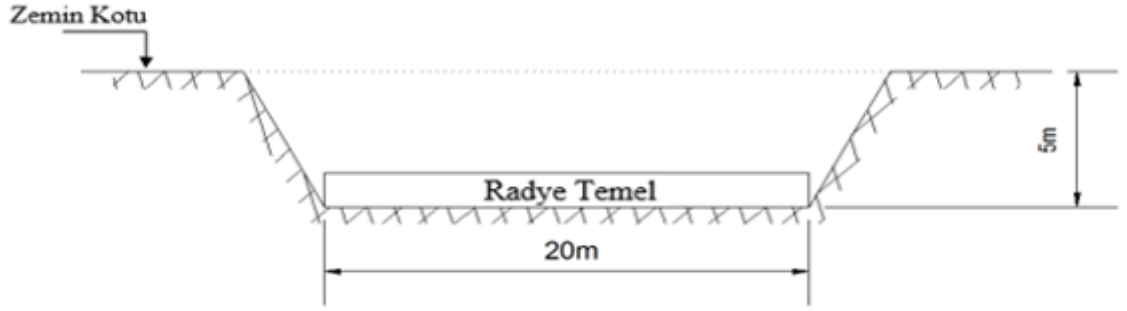


Şekil 3.12: Temel Plan Görünüşü.

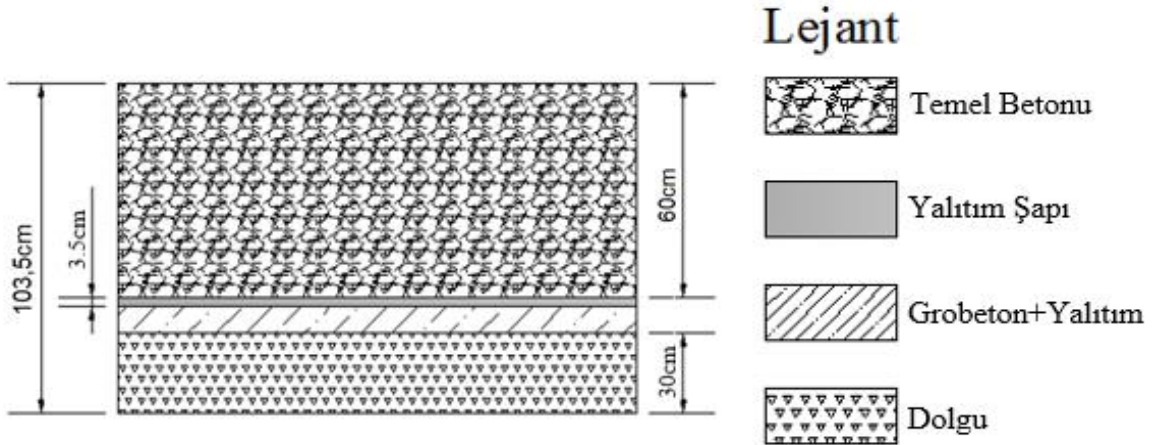
Yukarıdaki plan görünüşü verilen proje, bir bina inşaatın radye temel kazı ve yapım projesidir. Kazı detayları Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'teki A-A kesiti ve B-B kesitinde verilmektedir. Radye temel detayları ise, Şekil 3.15'te verilmektedir.



Şekil 3.13: A-A Kesiti.



Şekil 3.14: B-B Kesiti.



Şekil 3.15: Radye Temel Detayları.

Projedeki gruplarına göre sıralanması aşağıdaki gibi olacaktır.

- Kazı işleri yapılacaktır.
- Dolgu yapılacaktır.
- Temel işleri yapılacaktır.

Proje şartnamesine göre ilk etapta kazı yapılacaktır. Kazı alanı ve yüksekleri projenin vaziyet planı ve kesitlerinde verilmektedir. Ardından 30 cm stabilize malzeme serilecektir. 10 cm grobetondan sonra su yalıtımı serilecektir ve ardından 3.5 cm yalıtım şapı atılacaktır. Temel işlerinde kalıp, demir ve beton işleri yapılacaktır.

Zemin tipi yumuşak kayadır.

Şantiyenin günlük endirekt maliyeti 100 TL olarak belirlenmiştir.

Bu bilgilere istinadan projenin en uygun süre-maliyet çiftlerine ulaşmaya çalışılacaktır.

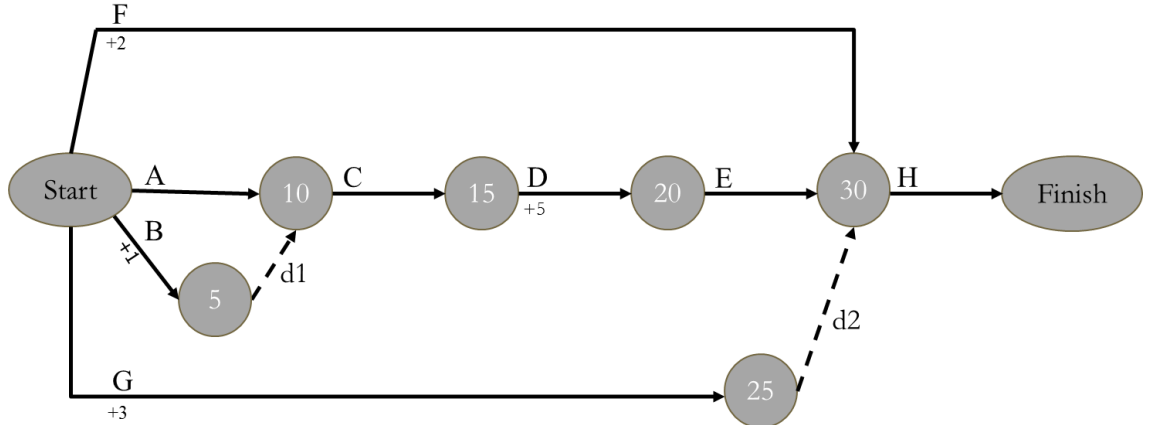
3.6.1. Uygulama Projesinin CPM Şebekesi ve Faaliyetlerin Metrajları

İlk önce projenin inşaat iş kalemleri çıkartılmıştır. Faaliyetler arasındaki ilişkileri tanımlanmıştır. Projenin CPM şebekesi çizilmiştir ve yapılacak işlerin metrajları çıkartılmıştır.

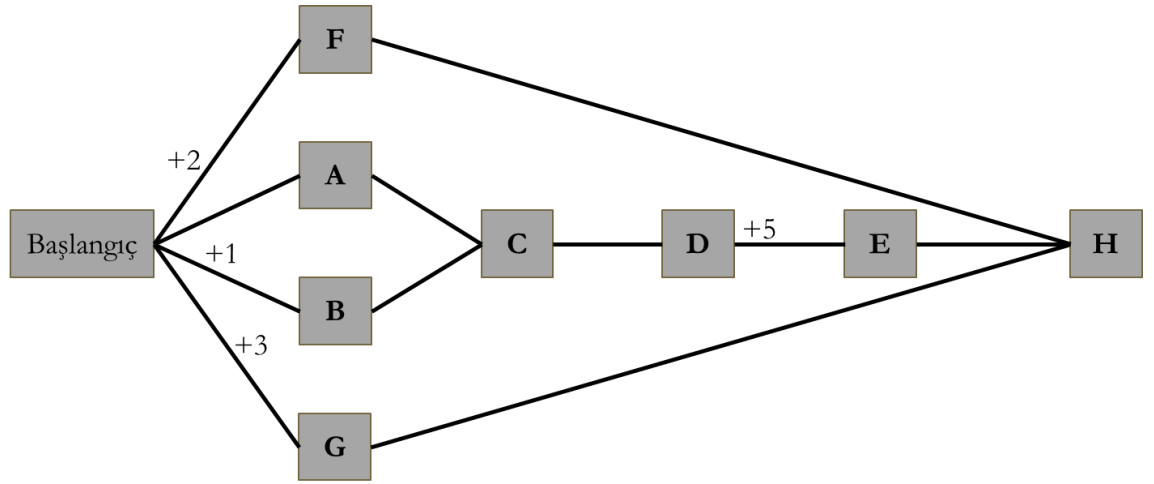
Daha sonra projedeki her bir faaliyeti hangi teknikler ve farklı yapılış biçimleri ile yapılabilmesi araştırılmıştır ve buna göre her bir faaliyet için, Bayındırlık Bakanlığının Birim Fiyat Analizi kitabındaki benzer pozları çıkartılmıştır. Son olarak faaliyetlerin ilgili pozlarından yola çıkarak, HA metodu yardımıyla proje süresi ve maliyetini bulmaya çalışılmıştır.

Tablo 3.2: Proje Kapsamındaki Faaliyetlerin Metrajı ve Alternatif Pozları.

No.	Faaliyet Kodu	Faaliyetin İsmi	Faaliyetin HÖF'ü	Yaklaşık Metrajı	Faaliyetin Alternatif Pozları (BAY2012)'ye göre
1	A	Kazı Yapılması	-	4000 m ³	(15.010/3B),(15.010/4B)
2	B	Dolgu Yapılması	A	180 m ³	(14.1714/1), (14.1717) (15.140/İB-1)
3	C	Grobeton Atılması	B	60 m ³	(16.001)
4	D	Temel Su Yalıtımı	C	600 m ²	(18.465/2), (18.467/2), (18.468/3)
5	E	Yalıtım Şapı Atılması (3.5cm)	D	600 m ²	(19.101/MK)
6	F	Temel Kalıp Yapılması	E	60 m ²	(21.001/02), (21.016), (21.0172)
7	G	Temel Donatının Hazırlanması ve Yerleştirilmesi	E	20 ton	(23.015)
8	H	Temel Beton Dökülmesi	F,G	360 m ³	(16.059/1)



Şekil 3.16: Uygulama Projesinin CPM Ok Tipi Diyagramı.



Şekil 3.17: Uygulama Projesinin CPM Kutu Tipi Diyagramı.

3.6.2. Uygulama Projesindeki Hesap Detayları

Bu aşamada ilk önce projedeki her bir faaliyetin hangi teknikler ve farklı yapılış biçimleri ile yapılabilmesi araştırılmaktadır. Bunden dolayı bu çalışmada, her faaliyet için Bayındırlık bakanlığının birim fiyat analizi kitabındaki, o faaliyet ile ilgili bütün pozlar gözden geçirilmiş ve benzer pozlar listelenmiştir. Benzer pozlardan kastımız aynı işi yapan fakat işin birim maliyeti veya işin yapım hızı açısından farklılık gösteren pozlar tespit edilerek seçilmiştir.

Örneğin Tablo 3.4'e istinadan, betonarme kalıp işini örnek verecek olursak, kalıp işi için üç benzer poz (21.001/02, 21.016 ve 21.017/2) tespit edilmiştir. Bu pozların hepsi düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı için belirlenmiştir ve aynı işi yapmaktadır. Halbuki pozların ekip hızı ($m^2/saat$) açısından sırasıyla 1.22, 0.67 ve 0.5 $m^2/saat$ olarak

farklılık göstermektedir. Aynı şekilde birim maliyeti açısından da sırasıyla 30.04 TL, 59.66 TL ve 33.71 TL olarak farklılık göstermektedir.

Benzer pozlar seçildikten sonra, seçilmiş pozlar ile ilgili işimize yarayacak bazı önemli bilgiler Bayındırlık bakanlığının birim fiyat analizi tablolarının detay kısmından alınmıştır. (Bayındırlık bakanlığının birim fiyat analizi tablosunun örneği, Tablo 3.3'te gösterilmiştir.)

Tablo 3.3: Bayındırlık Bakanlığının Birim Fiyat Analizi Tablosunun Örneği.

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No : 21.001/02	Analizin Adı : AHŞAPTAN DÜZ YÜZEYLİ BETON VE BETONARME KALIBI YAPILMASI	Ölçü Birimi M2			
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.104/3	AHŞAP DOĞRAMA İMALAT ATELYESİ	AD	0,000001392	260.000,00	0,36
03.161	FORKLİFT (4 TON 40 HP)	AD	0,0000002904	44.750,00	0,01
04.112	ELEKTRİK ENERJİSİ	kWh	0,144	0,40	0,06
04.109	MAZOT (MOTORİN)	KG	0,017904	3,74	0,07
04.031	SU	M3	0,006	5,50	0,03
04.116/1	YAĞ BAZLI KALIP AYIRICI (AHŞAP-PLASTİK)	KG	0,1	2,75	0,28
04.270	ÇİVİLER (TS 155)	KG	0,1	1,95	0,20
04.152	ÇAM KERESTESİ 2.SINIF	M3	0,0123	665,00	8,18
01.404	OPERATÖR MAKİNİST	SA	0,00144	9,25	0,01
01.017	DÜLGER USTASI	SA	0,012	7,90	0,09
01.008	DOĞRAMACI USTASI	SA	0,036	7,90	0,28
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	0,5744	5,75	3,30
01.209	MARANGOZ USTA YARDIMCISI	SA	0,762	5,90	4,50
01.009	MARANGOZ USTASI	SA	0,822	7,90	6,49
Karsız Toplam					24,03
% 25,0 Kar ve Genel Giderler					6,01
Toplam Tutar					30,04
Proje ve şartnamesine göre; iç yüzeyleri rendelenmiş ve yağlanmış II. sınıf çam kerestesinden düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması, sökülmesi, bu işler için gerekli tahta, mesnet, kadronlar, kuşaklar, destekler, çivi, tel, benzeri gereçler, malzeme ve zayıtı ile işçilik, iş yerinde yatay-düşey taşıma, yükleme-boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı: ÖLÇÜ : Kalıp gören yüzler projesinden veya yerinde ölçülerek hesaplanır. Boşluk hacmi çıkarılmayan imalat deliklerinin çevre kalıpları ölçüye dâhil edilmez. Deliğin kalıp tarafındaki yüzünden delik boşluğu çıkarılmaz.					

Analiz tablolarından alınan bilgiler şunlardır; Poz numarası, pozun tanımı, ölçü birimi, bir ekibin eleman sayısı, tüm işçilerin birim hızı (ölçü birimi/saat) ve işin birim maliyetidir. Bu tez kapsamında tüm işçiler düz işçi olarak kabul edilmiştir.

Bu bilgilere istinadan işin miktarı belli ise, işin süresi ve maliyeti elde edilecektir. Bunların nasıl elde edilmesi ise, aşağıda gösterilmiştir. Örnek olarak kalıp işi verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır (Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'in verilerine göre). Diğer bütün faaliyetlerin hesap detay tabloları bu hesaplamalara benzer şekilde yapılmıştır.

İlk aşamada tüm faaliyetlerin bütün alternatif pozları için ayrı ayrı bir ekibin ortalama günlük üretim miktarları hesaplaması amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için her bir faaliyetin ilgili pozların analiz tablolarının verileri ışığında, ilgili pozların ekip hızları hesaplanmıştır. Daha sonra ekibin günlük çalışma saat miktarı dikkate alınarak, her bir poz için bir ekibin günlük yapabileceği ortalama üretim miktarı belirlenmiştir.

Uygulama projemizde her bir faaliyet için ekip sayısı minimum 1, ve maksimum 3 olarak kabul edilmiştir. Ekip sayısı seçimi ise her bir poz için 1 ile 3 arasında random olarak seçilecektir.

Tablo 3.4: Kalıp Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.

KALIP	No.	Poz No	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (m ² /saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (m ² /gün)
	1	21.001/02	AHŞAPTAN DÜZ YÜZEYLİ BETON VE BETONARME KALIBI YAPILMASI	m ²	60	1,22	30,04	100	9,76
	2	21,016	KAL.YÜZEY TAHT. BİRLEŞT. PLAST. MAD. KULL. DÜZ YÜZEYLİ ÇIPLAK BETON, B. A. KALIBI	m ²	60	0,67	59,66	100	5,36
	3	21,017/2	PVC ESASLI MELZEME İLE YAPILAN DÜZ YÜZEYLİ ÇIPLAK BETON VE BETONARME KALIBI	m ²	60	0,5	33,71	100	4

Tablo 3.5: Kalıp Faaliyetinin Farklı Pozlarının Ekip Hızları (Adam-Saat).

Poz No	Düz İşçi	Marangoz Ustası	Operatör Makinist	Dülger Ustası	Doğramacı Ustası	Marangos Usta Yrd.	Pozun Ekip Hızı
21.001/02	0,5744	0,822	0,00144	0,012	0,036	0,762	1,22
21,016	1,5	1,5	-	-	-	-	0,67
21,0172	2	1,5	-	-	-	-	0,5

Yukarıdaki Tablo 3.4 ve 3.5'te görüldüğü gibi ilk önce kalıp faaliyetinin alternatif pozları için, pozların ekip hızları bulunmuştur. (21.001/02 için 1.22 m²/saat, 21.016 için 0.67 m²/saat ve son olarak 21.0172 için 0.5 m²/saat) olarak bulunmuştur. Tablo 3.4'te görüldüğü gibi kalıp faaliyeti pozlarının bazı analiz bilgileri yer almaktadır.

Yukarıdaki Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'teki hesaplamaları yapmamızın amacı ise, her bir poz için ilgili pozun bir ekibin ortalama günlük üretim miktarını (m²/gün) bulmaktır. Çünkü daha sonra bu bilgi ve diğer bazı verilerin yardımı ile Harmoni Aarama yöntemini kullanarak projemiz için optimum süre-maliyet çiftleri bulmaya çalışılacaktır.

Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'teki değerler aşağıdaki işlemler yardımıyla elde edilmiştir;

Bir Pozun Ekip Hızı= Tüm işçi tiplerinin minimum hızı.

Örnek: Kalıp işinin 21.001/02 poz no.lu verilere göre;

Bir Pozun Ekip Hızı = $1/0.822 = 1.22 \text{ M}^2/\text{Saat}$

Bir Ekibin Gün. Ort. (Pozun bir ekibinin günlük ortalama üretim miktarıdır) Birim/Gün:
Bir günde bir ekibin ortalama yapabileceği üretim miktarıdır.

Bir Ekib. Gün. Ort.(Birim/Gün)= PozunEkip Hızı (Birim/Saat) *8(Saat)

Örnek: Tablo 3.4 kalıp işi 21.001/02pozun verilerine göre;

Bir Ekib. Gün. Ort.(Birim/Gün)= $1.22 * 8 = 9,76 \text{ M}^2/\text{Gün}$

Bir Pozun Ekip Sayısı: Uygulama Projemizde 1 ile 3 arasında random olarak seçilecektir.

3.6.3. Faaliyetlerin Pozlarına Göre Özet Detayları

Tablo 3.6: Kazı Faaliyetinin Farklı Pozlarının Ekip Hızları (Adam-Saat).

Poz No.	Düz İşçi	Erbab İşçi	Lağımçı (Ateşleme Ustası)	Formen	Yağcı	Operatör Makinist	Pozun Ekip Hızı
15.010/3B	0,04	0,028	0,07	0,0168	0,035	0,0504	19,80
15.010/4B	0,4	-	-	0,0312	0,065	0,0936	10,68

Tablo 3.7: Kazı Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.

Kazı Yapılması	No.	Poz No.	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (m ³ /saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (m ³ /gün)
	1	15.010/3B	MAKİNE İLE PATLAYICI MADDE KULLANILARAK HER DERİNLİKTE YUMUŞAK KAYA KAZILMASI	m ³	4000	19,80	14,75	100	316,8
	2	15.010/4B	MAKİNE İLE PATLAYICI MADDE KULLANILMADAN HER DERİNLİKTE YUMUŞAK KAYA VEYA BATAK VE BALÇIK KAZILMASI	m ³	4000	10,68	10,43	100	256,32

Tablo 3.8: Dolgu Faaliyetinin Pozlarının Ekip Hızları (Adam-Saat).

Poz No.	Düz İşçi	Operatör Makinist	Yağcı	Formen	Pozun Ekip Hızı
14.1714/1	1	0,0144	0,01	0,0048	1
14.1717	3,5	-	-	-	0,29
15.140/İB-1	1,5	0,0202	0,014	0,0067	0,67

Tablo 3.9: Dolgu Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.

Dolgu Yapılması	No.	Poz No	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (m³/saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (m³/gün)
	1	14.1714/1	KAZI MALZEMESİNDEN MAKİNA İLE HENDEK VE TEMEL DOLGUSU YAPILMASI	m ³	90	1	6,49	100	24
	2	14.1717	ARİYETTEN ALINAN TOPRAKLA HENDEK VE TEMEL DOLGUSU YAPILMASI	m ³	90	0,29	18,6	100	27,84
	3	15.140/İB-1	STABİLİZE (08.008) MALZEME İLE HENDEK,TEMEL DOLGUSU YAPILMASI	m ³	90	0,67	9,33	100	16,08

Tablo 3.10: Grobeton Faaliyeti Pozunun Birim Hızı (Adam-Saat).

Poz No.	Düz İşçi	Betoncu Ustası	Makinist	Makinist Yardımcısı	Pozun Ekip Hızı
16.001	8	0,5	0,72	0,15	1,39

Tablo 3.11: Grobeton Faaliyeti Pozunun Özet Detayları.

Grobeton	No.	Poz No.	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (m³/saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (m³/gün)
	1	16.001	150 DOZLU DEMİRSİZ BETON	m ³	30	1,39	115,19	100	33,36

Tablo 3.12: Su Yalıtımı Faaliyetinin Farklı Pozlarının Birim Hızları (Adam-Saat).

Poz No.	Düz İşçi	Yalıtımcı Usta Yard.	Yalıtımcı Ustası	Pozun Ekip Hızı
18.465/2	0,2	0,35	0,35	2,5
18.467/2	0,2	0,3	0,3	2,5
18.468/3	0,2	0,4	0,4	2,5

Tablo 3.13: Su Yalıtımı Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.

SU YALITIMI	No.	Poz No.	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (m ² /saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (m ² /gün)
	1	18.465/2	3MM KALINLIKTA ELASTOMER ESASLI CAM TÜLÜ TAŞ. 3 MM.KAL.ELAS.ESAS.POLY.KEÇE TAŞ.POL.BİT. ÖRT.İKİ KAT SU YAL. YAPILMASI	m ²	600	2,86	28	100	68,64
	3	18.467/2	4MM VE 3MM KALINLIKTA ELASTOMER ESASLI POLYESTER KEÇE TAŞ. POL.BİT.ÖRT.İKİ KAT. SU YALITIMI YAPILMASI	m ²	600	3,33	32,95	100	79,92
	5	18.468/3	2.5 MM. PVC ESASLI JEOMEMBRAN DÜZTİP MALZ. SU YALITIMI YAPILMASI	m ²	600	2,5	24,24	100	60

Tablo 3.14: Yalıtım Şapı Faaliyeti Pozunun Birim Hızı (Adam-Saat).

Poz No.	Düz İşçi	Sıvacı Ustası	Pozun Ekip Hızı
19.101/MK	1,023	1,3	0,77

Tablo 3.15: Yalıtım Şapı Faaliyeti Pozunun Özet Detayları.

Şap Atılması	No.	Poz No.	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (m ² /saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (m ² /gün)
	1	19.101	HARÇ İÇİNE KARIŞAN MADDELERLE YALITIM ŞAPI YAPILMASI.	m ²	600	0,77	18,66	100	30,8

Tablo 3.16: Kalıp Faaliyetinin Pozlarına Göre Özet Detayları.

KALIP	No	Poz No.	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (m ² /saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (m ² /gün)
	1	21.001/02	AHŞAPTAN DÜZ YÜZEYLİ BETON VE BETONARME KALIBI YAPILMASI	m ²	180	1,22	30,04	100	19,52
	2	21,016	KAL.YÜZEY TAHT.BİRLEŞT.PLAST.MAD.KULL. DÜZ YÜZEYLİ ÇIPLAK BETON, B.A. KALIBI	m ²	180	0,67	59,66	100	26,8
	3	21,0172	PVC ESASLI MELZEME İLE YAPILAN DÜZ YÜZEYLİ ÇIPLAK BETON VE BETONARME KALIBI	m ²	180	0,5	33,71	100	20

Tablo 3.17: Kalıp Faaliyetinin Farklı Pozlarının Birim Hızları (Adam-Saat).

Poz No.	Düz İşçi	Marangoz Ustası	Operatör Makinist	Dülger Ustası	Doğramacı Ustası	Marangos Usta Yrd.	Pozun Ekip Hızı
21.001/02	0,5744	0,822	0,00144	0,012	0,036	0,762	1,22
21,016	1,5	1,5	-	-	-	-	0,67
21,0172	2	1,5	-	-	-	-	0,5

Tablo 3.18: Demir Yapılması Faaliyeti Pozunun Birim Hızı (Adam-Saat).

Poz No.	Düz İşçi	Soğuk Demirci Ustası	Soğuk Demirci Usta Yardımcısı	Pozun Ekip Hızı
23.015	35	25	35	0,029

Tablo 3.19: Demir Yapılması Faaliyetinin Pozuna Göre Özet Detayları.

Demir Yapılması	No	Poz No.	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (ton/saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (ton/gün)
	1	23.015	ø 14-28 MM KALIN NERVÜRLÜ ÇELİĞİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	ton	20	0,029	2280	100	0,696

Tablo 3.20: Beton Dökülmesi Faaliyeti Pozunun Birim Hızı (Adam-Saat).

Poz No.	Düz İşçi	Betoncu Ustası	Makinist Yardımcısı	Pozun Ekip Hızı
16.059/1	0,3	0,15	0,05	3,33

Tablo 3.21: Beton Dökülmesi Faaliyetinin Pozuna Göre Özet Detayları.

Beton Dökülmesi	No.	Poz No.	Tanımı	Birim	Miktarı	Pozun Ekip Hızı (m ³ /saat)	Pozun Birim Maliyeti	Şantiye Günlük Genel Giderleri	Bir Ekibin Ort. Günlük Üretim Miktarı (m ² /gün)
	1	16.059/1	BS.30 HAZIR BETON	m ³	360	3,33	108,5	100	79,92

3.6.4. Uygulama Projesi Modelinin MATLAB Kodları ve Kısaca Açıklamaları

3.6.4.1. Proje Süresi ve Proje Maliyetinin Elde Edilmesi

```
function [ time,cost] = fitness_harmony( kromozom )

% 1. faaliyet: Başlangıç Faaliyeti
% 2. faaliyet: Kazı Yapılması
% 3. faaliyet: Stabilize Malzeme Serilmesi (Dolgu Yapılması)
% 4. faaliyet: Grobeton
% 5. faaliyet: Su Yalıtımı
% 6. faaliyet: Yalıtım Şapı
% 7. faaliyet: Temel Kalıbı
% 8. faaliyet: Temel Demiri
% 9. faaliyet: Temel Beton
% Şantiye alanı 600 m2'dir.

miktar=[0 4000 180 60 600 600 60 20 360];

gunluk_ort={ [0],[158.4 85.44],[8 2.32 5.36],[11.12] ...
             [22.88 26.64 20],[2.31],[9.76 5.36 4],[0.23],[26.64]};

for i=1:9
    gunluk_ortalama_2{i}=gunluk_ort{i}.*kromozom(i+9);
end

sabit_maliyetler={ [0],[100 100],[100 100 100],[100],[100 100 100],
                  [100],[100 100 100],[100],[100]};

direkt_maliyet={ [0],[14.75 10.43],[6.49 18.6 9.33],[115.19] ...
                 [28 32.95 24.24],[18.66],[30.04 59.66 33.71],[2280],[108.5]};

indisler=kromozom;

boyut=length(miktar);
sabit_maliyet_vek=zeros(1,boyut);
direkt_maliyet_vek=zeros(1,boyut);

sure=zeros(1,boyut);
for i=1:boyut

    vek1=gunluk_ortalama_2{i};
    sabit_maliyet_vek(i)=sabit_maliyetler{i}(indisler(i));
    direkt_maliyet_vek(i)=direkt_maliyet{i}(indisler(i));
    sure(i)=gun_sayisi_(miktar(i),vek1(indisler(i)));

end

maliyet=sure.*sabit_maliyet_vek+miktar.*direkt_maliyet_vek;

% CPM hesaplamaları.

HOF(boyut,boyut)=0;
m_es{boyut}=[];
m_ls{boyut}=[];
es(boyut)=0;
ef(boyut)=0;
```

```

ls(boyut)=0;
lf(boyut)=0;

ileri_h(boyut)=0;
ileri_b(boyut)=0;
geri_h(boyut)=0;
geri_b(boyut)=0;

HOF(1,2)=1;
HOF(1,3)=1;
HOF(1,7)=1;
HOF(1,8)=1;
HOF(2,4)=1;
HOF(3,4)=1;
HOF(4,5)=1;
HOF(5,6)=1;
HOF(6,9)=1;
HOF(7,9)=1;
HOF(8,9)=1;

sum_hof=sum(HOF(:,1:boyut));
x=find(sum_hof==0);
ef(x)=es(x)+sure(x);

% CPM ileri hesap yapılması

ileri_h(x)=1;
for k=1:boyut
for i=1:boyut
if (ileri_h(i)==1&&ileri_b(i)==0)
for j=1:boyut

if HOF(i,j)==1
if i==1&&j==3
m_es{j}(end+1)=ef(i)+1;
elseif i==1&&j==7
m_es{j}(end+1)=ef(i)+2;
elseif i==1&&j==8
m_es{j}(end+1)=ef(i)+3;
elseif i==3&&j==4
m_es{j}(end+1)=ef(i)+5;
else
m_es{j}(end+1)=ef(i);
end

if length(m_es{j})==sum_hof(j)
es(j)=max(m_es{j});
ef(j)=es(j)+sure(j);
ileri_h(j)=1;

end

end
end
end
end
ileri_b(i)=1;
end

```

```

ps=max(ef);
HSF=HOF;
sum_hsf=sum(HSF(:,1:boyut));
x=find(sum_hsf==0);
lf(x)=ls(x)+sure(x);

% CPM geri hesap yapılması

geri_h(x)=1;
for k=1:boyut
for i=1:boyut
if(geri_h(i)==1&&geri_b(i)==0)
for j=1:boyut

if HSF(i,j)==1
if i==1&&j==2
m_ls{j}(end+1)=lf(i)+1;
else
m_ls{j}(end+1)=lf(i);
end

if length(m_ls{j})==sum_hsf(j)
ls(j)=max(m_ls{j});
lf(j)=ls(j)+sure(j);
geri_h(j)=1;

end
end
end

geri_b(i)=1;

end
end
end

lf=ps-ls;
ls=lf-sure;
ls;

% Proje süresi ve proje maliyeti yukarıdaki hesaplamalar yardımıyla
bulunmaktadır.

time=ps;
cost=sum(maliyet);
end

% Gün Sayısı

function [ gun ] = gun_sayisi_(miktar,ort_miktar)

if (miktar==0&& ort_miktar==0)
gun=0;
else
gun=ceil(miktar/ort_miktar);
end
end

```

3.6.4.2. HA Modelinin Kodları ve İstenilen Süre-Maliyet Çiftlerinin Elde Edilmesi

```

clear all;

%Harmony Memory Size(harmoni belleğinin boyutu)= 50 seçilmiştir. Yani
harmoni matrisinin satır sayısı ya da çözüm sayısı 50 seçilmiştir.

%p_memory %90 seçilmiştir, yani harmoni belleğini iyileştirmek
amacıyla yeni oluşturulan çözüm kümesi %90 ihtimalle Harmoni
belleğinin elemanlarından seçilir.

%P_random %10 seçilmiştir yani harmoni belleğini iyileştirmek amacıyla
yeni oluşturulan çözüm kümesi eğer Harmoni belleğinden seçilmez ise,
problemin çözüm sınırları içinde Harmoni belleğinin dışında rastgele
olarak seçilir.

%Range= Her faaliyetin poz sayısı (faaliyetin range'i ya da alınabilecek
değerleri) çözüm sınırları olarak seçilmiştir.

Clear;
hms=50;
size=18;
p_random=0.1;
p_memory=0.9;

range(1)=1;
range(2)=2;
range(3)=3;
range(4)=1;
range(5)=3;
range(6)=1;
range(7)=3;
range(8)=1;
range(9)=1;
range(10)=3;
range(11)=3;
range(12)=3;
range(13)=3;
range(14)=3;
range(15)=3;
range(16)=3;
range(17)=3;
range(18)=3;

HM=zeros(hms,size);

for j=1:hms
for i=1:size
    HM(j,i)=randi([1,range(i)],1,1);
end
end

fit_vek_x(hms)=0;
fit_vek_y(hms)=0;
for i=1:hms
    [fit_vek_x(i),fit_vek_y(i)]=fitness_harmony08(HM(i,:));
end

```

```

% modelin durdurma şartı olarak iterasyon sayısı, 1000 seçilmiştir.
for defa=1:1000
    ynew=zeros(1,size);
    for i=1:size
        if rand<.1
            ynew(i)=randi([1,range(i)],1,1);
        else
            r_indis=randi([1,hms],1,1);
            ynew(i)=HM(r_indis,i);
        end
    end

    [ynew_fitx,ynew_fity]=fitness_harmony08(ynew);

    for i=1:hms
        if ynew_fitx<fit_vek_x(i)&& ynew_fity<=fit_vek_y(i) || ynew_fitx<= ...
            fit_vek_x(i)&& ynew_fity<fit_vek_y(i);
            HM(i,:)=ynew;
            fit_vek_x(i)= ynew_fitx;
            fit_vek_y(i)= ynew_fity;
            break;
        end
    end

    HM_u=unique(HM,'rows');

    clear size;
    [x,y]=size(HM_u);
    size_unique=x;

    uniq_fit_vek_x(size_unique)=0;
    uniq_fit_vek_y(size_unique)=0;

    for i=1:size_unique

        [uniq_fit_vek_x(i),uniq_fit_vek_y(i)]=fitness_harmony08(HM_u(i,:));
    end

    non_pareto=[];

```

```

for i=1:size_unique
for j=1:size_unique
if uniq_fit_vek_x(i)<uniq_fit_vek_x(j)&&uniq_fit_vek_y(i)<= ...
uniq_fit_vek_y(j)||uniq_fit_vek_x(i)<=uniq_fit_vek_x(j)&&uniq_fit_vek_
y (i)<uniq_fit_vek_y(j)
non_pareto(end+1)=j;
end
end
end

non_pareto=unique(non_pareto);
non_pareto=sort(non_pareto);

% aşağıdaki süre maliyet çiftleri (pareto_x ve pareto_y) değerleri,
Pareto çözümü(en uygun çözüm kümeleri)'ni temsil etmektedir.

total_index=1:size_unique;
pareto_set=setdiff(total_index,non_pareto);
pareto_x=uniq_fit_vek_x(pareto_set);
pareto_y=uniq_fit_vek_y(pareto_set);

% amaçlanan çözümler (pareto süre-maliyet çiftleri) grafikte kırmızı
renkte gösterilmektedir. Pareto haricindeki diğer bütün çözümler yeşil
renkte gösterilmektedir.

plot(pareto_x,pareto_y, '.');
plot(uniq_fit_vek_x,uniq_fit_vek_y, 'b.')
hold on;
plot(pareto_x,pareto_y, 'r.');
```

3.6.4.3. Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Farklı İterasyon Sayılarına Göre 3 Boyutlu

Çiziminin Kodları.

```

load('deneme50.mat')
X{1}=pareto_x;
Y{1}=pareto_y;

load('deneme100.mat')
X{2}=pareto_x;
Y{2}=pareto_y;

load('deneme1000.mat')
X{3}=pareto_x;
Y{3}=pareto_y;

load('deneme5000.mat')
X{4}=pareto_x;
Y{4}=pareto_y;
```

```

load('deneme10000.mat')
X{5}=pareto_x;
Y{5}=pareto_y;

Size=length(X);

for i=1:Size
indis=ones(1,length(X{i})).*i;
yyy=Y{i};
[xxx,iii]=unique(X{i});
yyy=yyy(iii);

    [xx,ii]=sort(xxx);
    yy=yyy(ii);
    iii=ones(length(xx),1).*i;
    plot3(indis,X{i},Y{i},'.');
    plot3(indis,X{i},Y{i},'.',iii,xx,yy);

    hold on;
end

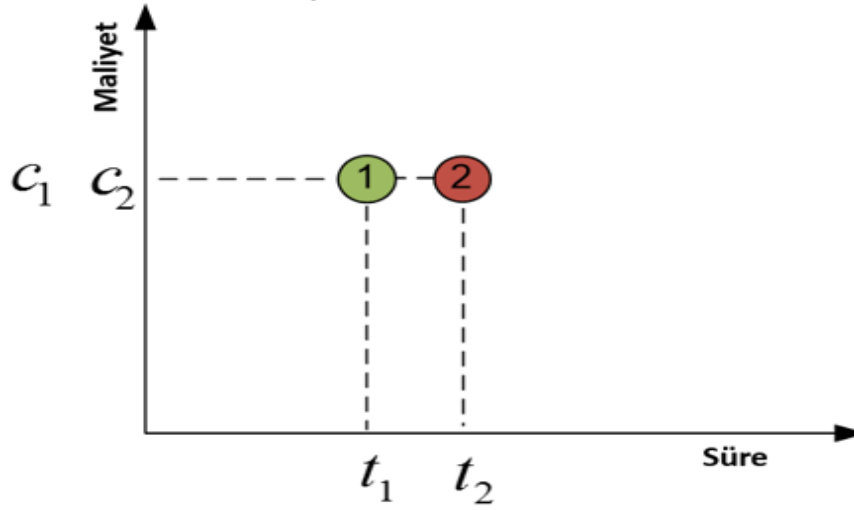
```

3.7. PARETO ÇÖZÜMÜ

Çok amaçlı (Multi-objective) optimizasyon problemlerinde eğer 1 aday başka bir adaydan daha iyi ise, aday 1 kesinlikle aday 2'ye baskındırdenilmektedir, ve çözüm tercihi sebebidir.

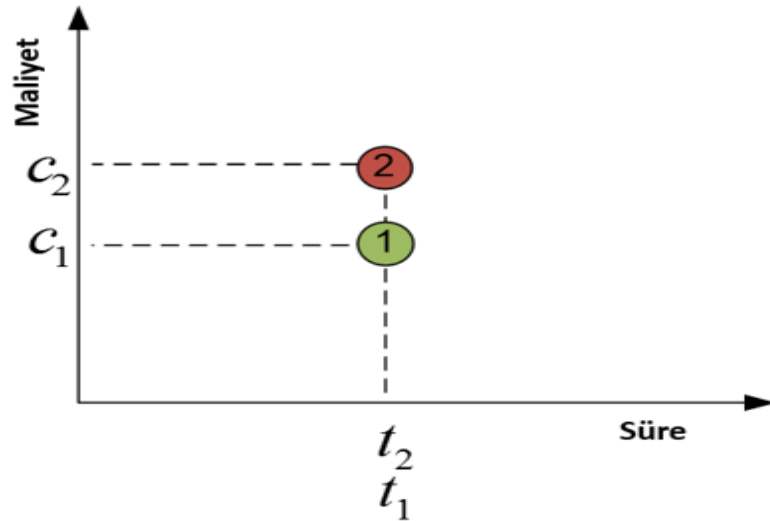
Bu tez kapsamındaki uygulama projesinin çözüm adayları arasında iki çeşit baskınlık tercihi vardır;

1. Çeşit: Şekil 3.18'de gösterildiği gibi eğer $c_1 \leq c_2$ ve $t_1 < t_2$ ise, aday 1 aday 2'ye baskındır.



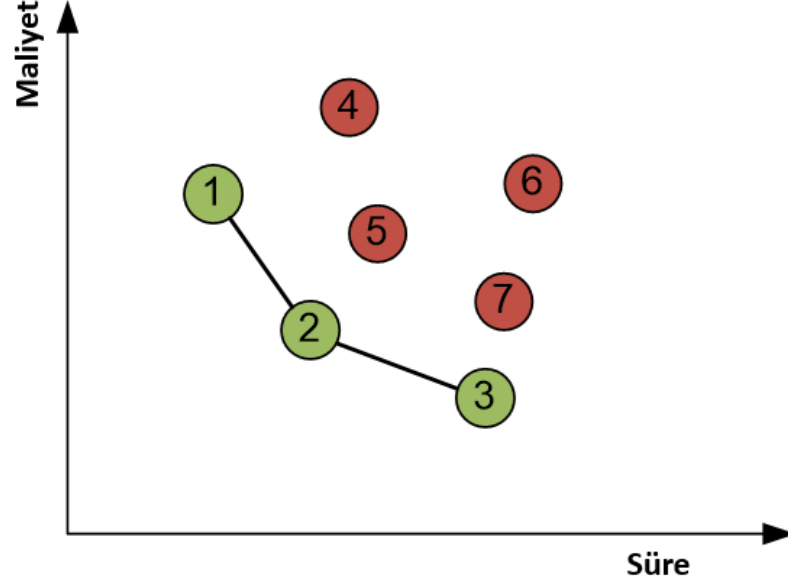
Şekil 3.18: Çözüm Vektörü Adayları Arasındaki Baskınlık Tercihi (1. Çeşit).

2. Çeşit: Şekil 3.19'de görüldüğü gibi eğer $c_1 < c_2$ and $t_1 \leq t_2$ ise, aday 1 aday 2'ye baskındır.



Şekil 3.19: Çözüm Vektörü Adayları Arasındaki Baskınlık Tercihi (2. Çeşit).

Yukarıdaki 2 baskınlık tercihimizden dolayı pareto çözüm seti (en uygun çözümlerin seti) aşağıdaki Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Burada bareto çözümlerimiz yeşil ile gösterilen 1, 2 ve 3 nolu çözümlerdir.



Şekil 3.20: Pareto Süre-Maliyet Çözüm Seti.

4. BULGULAR

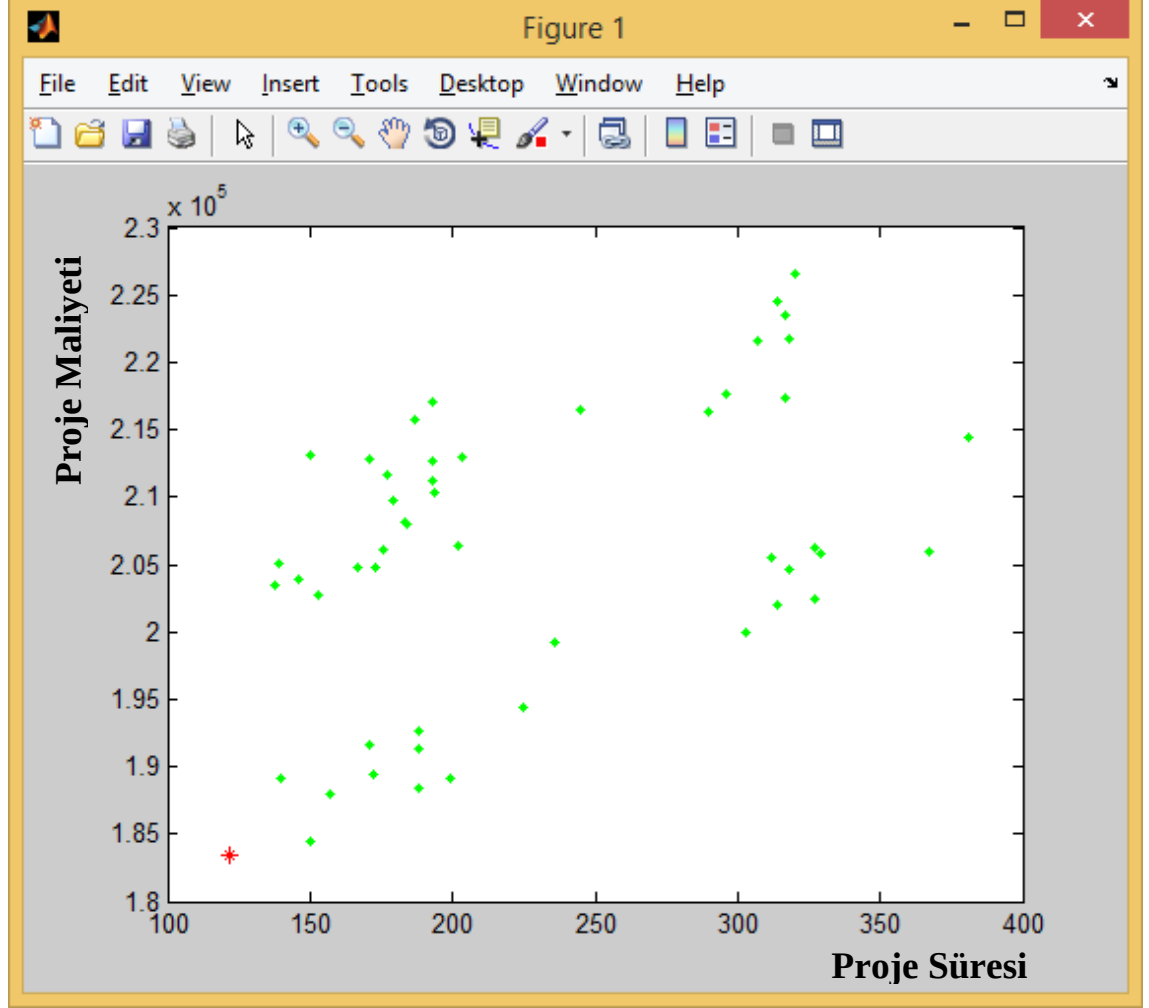
İnşaat projelerinin süresinin kısaltılması maliyetleri düşürebileceğinden hem işveren hem de müteahhit açısından önemlidir. Ancak, projelerin hızlandırılması ek maliyetlere neden olmakta ve sadece belirli bir sınıra kadar toplam maliyetleri düşürebilmektedir. İnşaat yönetiminde büyük önem taşımakta olan, süre ve maliyet arasındaki bu taviz vermenin analizi, süre-maliyet taviz verme (SMTV) optimizasyonu olarak adlandırılmaktadır. Mevcut ticari yazılımlar ve literatürde önerilen yöntemler kesikli süre-maliyet taviz verme probleminin çözümü için son derece sınırlı çözümler üretebilmektedir.

Bu doğrultuda, bu tezde T.C Bayındırlık bakanlığının birim fiyat analizleri verilerine göre işçilerin performansı göz önüne bulundurularak her faaliyet için adam-saat hesabı yapılmıştır. Bir faaliyetin adam saat hesabını yapmak için, ilk önce ilgili pozların ekip hızları bulunmuştur. Sonra pozların ekip hızların göre bir ekibin ortalama günlük üretim miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca ekip sayısı 1 ile 3 arasında program tarafından rastgele seçilecektir.

Daha sonra Matlab derleyici programı yardımıyla yazmış olduğumuz programda her faaliyetin farklı pozları için ayrı ayrı toplam günlük adam-saat hesabı (tüm ekiplerin toplam ortalama günlük üretim miktarı) hesaplanıp sonra faaliyetin maliyet hesaplanması yapılmıştır, bu verilerin ışığında her faaliyetin pozlarına göre ayrı ayrı toplam proje süresi ve maliyetinin hesaplanması yapılmıştır. Sonunda projedeki tüm faaliyetlerin bütün opsiyonları dikkate alınarak Harmoni Arama Yöntemi yardımıyla etkin bir süre-maliyet taviz verme optimizasyon modeli kurulmuştur. Modelin kodları Matlab derleyici yardımıyla programlanmıştır. Tezin bölüm 3.5.3 kısmında verilen faaliyetlerin pozlarına göre özet detayları tabloların verileri programa girdi olarak girilmiştir. Modelden çıkan sonuç ise, pareto süre maliyet çözüm eğrileridir.

4.1. UYGULAMA PROJESİNİN SÜRE-MALİYET EĞRİLERİ

4.1.1. Uygulama Projesinin HA Modelinden Çıkan İlk Çözüm Kümesi



Şekil 4.1: Uygulama Projesinin İlk İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.

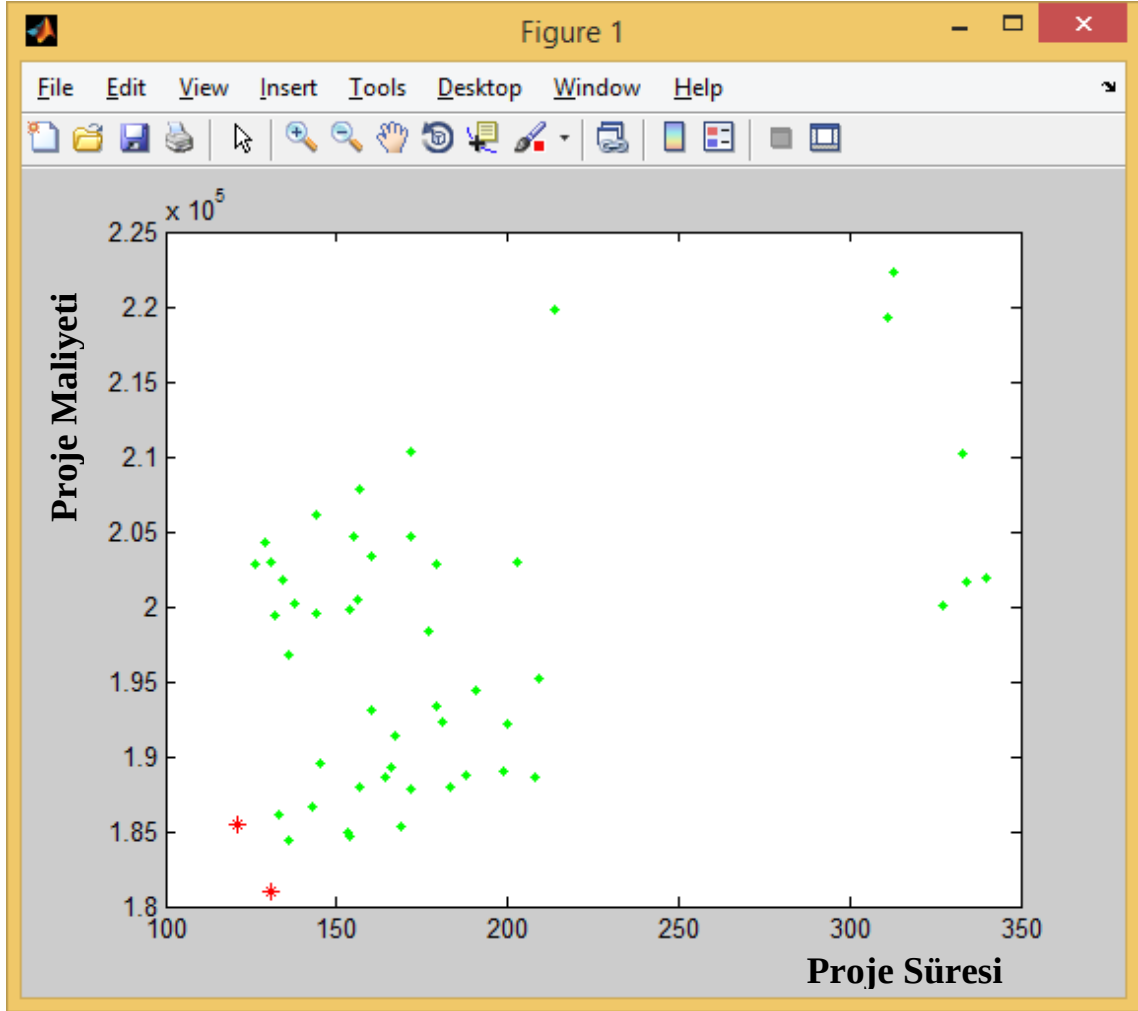
Tablo 4.1: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nın İlk İterasyonla Pareto Sonucu.

Proje Süresi	Proje Maliyeti	Faaliyetlerin Opsiyonları															
		Kazı		Dolgu		Grobeton		Yalıtım		Şap		Kalıp		Demir		Beton	
		Poz No	Ekip Sayısı	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.
122	183380 ₺	2	3	1	3	1	2	1	3	1	3	3	1	1	2	1	2

Yukarıdaki Şekil 4.1 ve Tablo 4.1'de gösterildiği gibi ilk iterasyonla çıkan sonuç kümeleri arasında sadece bir tanesi pareto çözümüdür.

4.1.2. Uygulama Projesinin HA'nın 50 İterasyonla İki Boyutlu Pareto Süre-Maliyet Grafiği

HMS=50, HMCR=0.9 ve İterasyon Sayısı= 50



Şekil 4.2: Uygulama Projesinin HA'nın 50 İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.

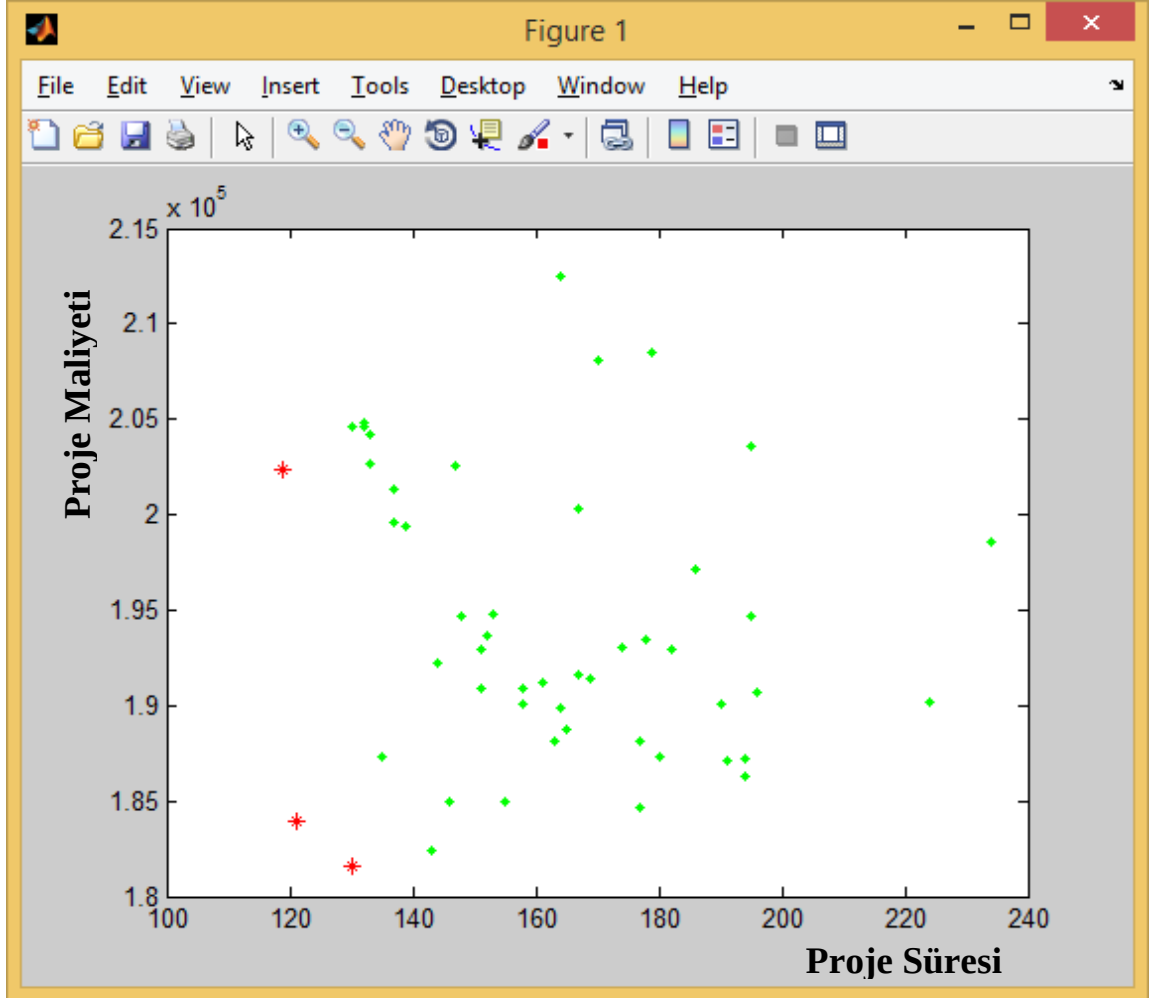
Yukarıdaki Şekil 4.2'de ve detayları aşağıdaki Tablo 4.2'de gösterildiği gibi 50 iterasyon sayısı ile 2 tane pareto çözümü bulunmuştur ve ilk iterasyon ile çıkan çözüm kümesinden daha iyidir.

Tablo 4.2: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nın 50 İterasyonla Pareto Sonucu.

Proje Süresi	Proje Maliyeti	Faaliyetlerin Opsiyonları															
		Kazı		Dolgu		Grobeton		Yalıtım		Şap		Kalıp		Demir		Beton	
		Poz No	Ekip Sayısı	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.
121	185428 ₺	2	3	1	2	1	2	2	3	1	3	1	1	1	2	1	3
131	181020 ₺	2	2	1	3	1	2	3	3	1	3	3	3	1	2	1	2

4.1.3. Uygulama Projesinin HA'nın 100 İterasyonla İki Boyutlu Pareto Süre-Maliyet Grafiği

HMS=50, HMCR=0.9 ve İterasyon Sayısı= 100



Şekil 4.3: Uygulama Projesinin HA'nın 100 İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.

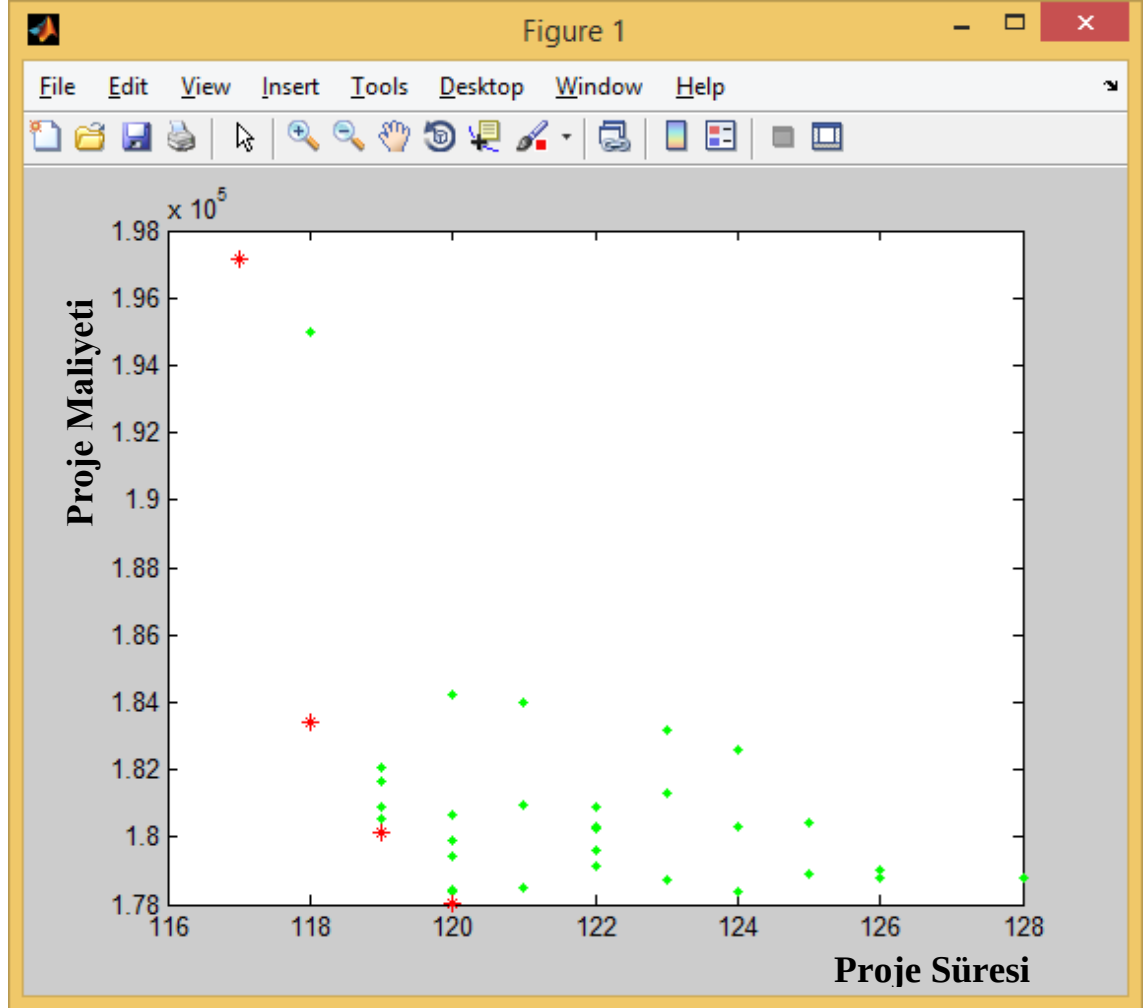
Yukarıdaki Şekil 4.3'de ve detayları aşağıdaki Tablo 4.3'te gösterildiği gibi 100 iterasyon sayısı ile 3 tane pareto çözümü bulunmuştur ve 50 iterasyon ile çıkan çözüm kümesinden çok farklı ve daha iyidir.

Tablo 4.3: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nın 100 İterasyonla Pareto Sonucu.

Proje Süresi	Proje Maliyeti	Faaliyetlerin Opsiyonları															
		Kazı		Dolgu		Grobeton		Yalıtım		Şap		Kalıp		Demir		Beton	
		Poz No	Ekip Sayısı	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.
119	202390 ₺	1	2	1	3	1	2	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2
121	183902 ₺	2	3	1	3	1	2	3	3	1	3	1	3	1	1	1	3
130	181630 ₺	2	3	3	2	1	2	3	3	1	3	3	3	1	2	1	2

4.1.4. Uygulama Projesinin HA'nın 1000 İterasyonla İki Boyutlu Pareto Süre-Maliyet Grafiği

HMS=50, HMCR=0.9 ve İterasyon Sayısı= 1000



Şekil 4.4: Uygulama Projesinin HA'nın 1000 İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerin Grafiği.

Yukarıda Şekil 4.4'te görüldüğü gibi temel yapım işi olan uygulama projemiz için kırmızı renkte gösterilen 4 farklı pareto çözümü bulunmuştur. Bu çözümler daha önce gösterildiği 50 ve 100 iterasyondan çıkan sonuçlara göre gayet iyi çözümlerdir. Daha büyük ve faaliyet sayısı fazla olan projelerde pareto çözüm sayısı daha fazla olur. Projemizdeki faaliyetlerin sayısı ve faaliyetlerin alternatif poz sayısı da çok az olması nedeniyle ayrıca faaliyet miktarları da az olduğundan sadece 4 farklı optimum çözüm bulunmuştur. Bu dört pareto çözümü ve çözüm vektörleri aşağıdaki Tablo 4.4'te detaylı olarak verilmiştir.

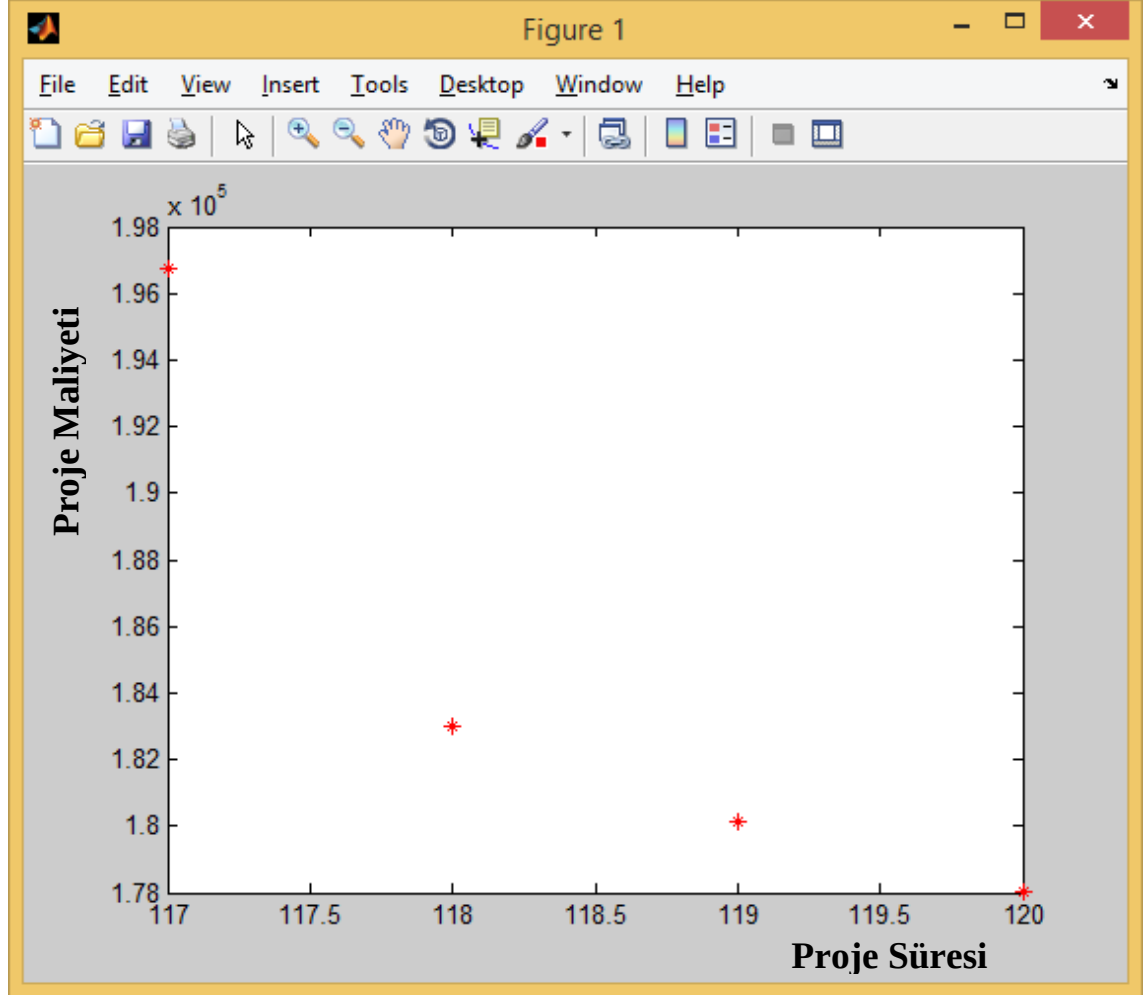
Tablo 4.4: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nın 1000 İterasyonla Pareto Sonucu.

Proje Süresi	Proje Maliyeti	Faaliyetlerin Opsiyonları															
		Kazı		Dolgu		Grobeton		Yalıtım		Şap		Kalıp		Demir		Beton	
		Poz No	Ekip Sayısı	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.	p	Ek. S.
117	196738 ₺	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
118	183218 ₺	2	3	1	3	1	3	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3
119	180158 ₺	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
120	178002 ₺	2	3	1	3	1	3	3	3	1	3	1	3	1	3	1	3

Yukarıdaki Şekil 4.4'te gösterilen grafikte, uygulama projemizin gerçekleştirilebilmesi için farklı proje süresi veya proje maliyetinin kısıtlarına göre, en uygun süre-maliyet çiftleri bulunmuştur. Projemizin süre veya maliyet kısıtına göre istediğimiz çözümü seçebiliriz. Örneğin uygulama projemiz bir devlet projesi olup süre kısıtı bizim için daha önemli olsun, ve projenin maksimum 119 günde bitirilmesi isteniyor ise, en uygun çözüm (119 gün, 180158 TL)'dir. Grafiğe göre bu çözüm noktasından önceki tüm süre-maliyet çiftleri seçilebilir ve uygun çözümlerdir. Fakat (119 gün ,180158 TL)'den sonraki çözümler maliyeti daha az olduğuna rağmen uygun çözümler değildir, çünkü bu çözümlerde proje süresi 119 günden daha fazladır. Aynı şekilde tersini de düşünebiliriz.

4.1.5. Uygulama Projesinin HA'nın 5000 İterasyonla İki Boyutlu Pareto Süre-Maliyet Grafiği

HMS=50, HMCR=0.9 ve İterasyon Sayısı= 5000



Şekil 4.5: Uygulama Projesinin HA'nın 5000 İterasyonla Çıkan Pareto Süre-Maliyet Çiftlerinin Grafiği.

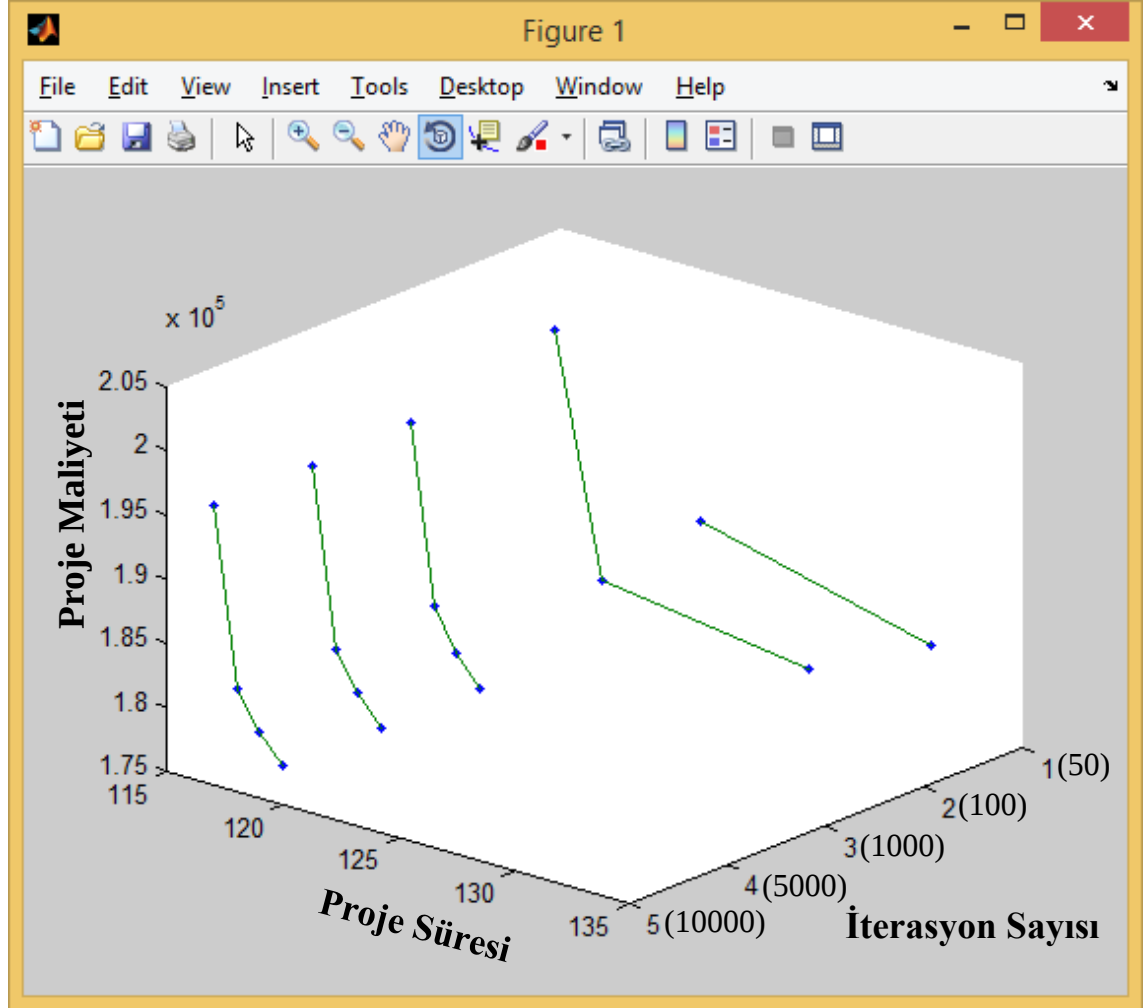
Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'i mukayese ettiğimizde 5000 iterasyonla çıkan pareto sonuçları ile 1000 iterasyonla çıkan pareto sonuçları arasında hiçbir fark yoktur.

Tablo 4.5: Temel Yapım İşlerinin 8 Faaliyeti için HA'nın 5000 İterasyonla Pareto Sonucu.

Proje Süresi	Proje Maliyeti	Faaliyetlerin Opsiyonları															
		Kazı		Dolgu		Grobeton		Yalıtım		Şap		Kalıp		Demir		Beton	
		Poz No	Ekip Sayısı	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.	p .	Ek. S.
117	196738 ₺	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
118	183218 ₺	2	3	1	3	1	3	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3
119	180158 ₺	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
120	178002 ₺	2	3	1	3	1	3	3	3	1	3	1	3	1	3	1	3

4.1.6. HA'nin Uygulama Projesinin Süre-Maliyet Eğrilerine Göre İterasyon Sayısının İrdelenmesi

HMS=50, HMCR=0.9 ve İterasyon Sayısı= 50, 100, 1000, 5000 ve 10000



Şekil 4.6: Uygulama Projesinin Farklı İterasyon Sayılarına Göre Süre-Maliyet Grafikleri.

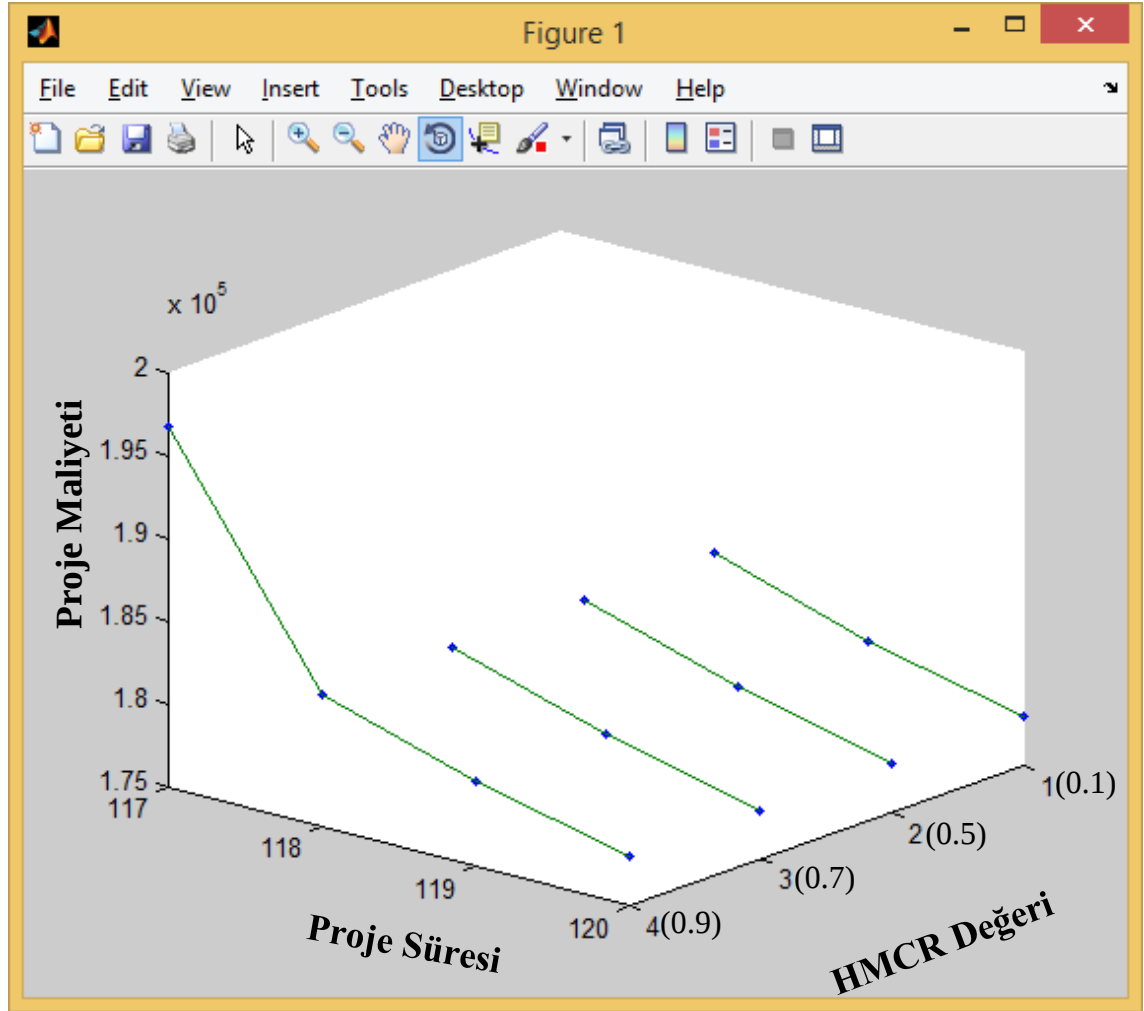
Yukarıdaki Şekil 4.6'de farklı iterasyon sayıları ile projenin pareto çözümlerine ulaşmaya çalışıp aralarındaki farkı gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.4.'te gösterildiği gibi 1000 iterasyon sayısı ile en uygun çözüme ulaşılmıştır. 1000, 5000 ve 10000 iterasyon sayıları ile çözülmüş projenin süre-maliyet çiftleri birebir aynıdır. Aşağıdaki Tablo 4.6'de verileri mukayese ettiğimizde en kötü çözümler 50 ve 100 iterasyon sayısı ile elde edilmiştir. 1000 ve üzeri iterasyon sayıları ile ulaştığımız çözümler çok iyi ve ideal çözümlerdir. Dolayısıyla bizim problemimiz 1000 iterasyon sayısı ile en uygun çözüme ulaştığı için, uygulama projemizin iterasyon sayısı 1000 olarak seçilmiştir.

Tablo 4.6: Uygulama Projesinin Farklı İterasyon Sayıları ile HA Çözümleri.

Çözüm No.	İterasyon Sayısı	Çözüm Vektörü (Faaliyetlerin Opsiyonları)																Amaç Fonksiyonu	
		Kazı		Dolgu		Grobeton		Yalıtım		Şap		Kalıp		Demir		Beton		Proje Süresi	Proje Maliyeti
		Poz No.	Ekip Sayısı	p.	Ek S.	p.	Ek S.	p.	Ek S.	P.	Ek S.	p.	Ek S.	p.	Ek S.	p.	Ek S.		
1. Çözüm	50	2	3	1	2	1	2	2	3	1	3	1	1	1	2	1	3	121	185428 ₺
	100	1	2	1	3	1	2	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	119	202390 ₺
	1000	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	117	196738 ₺
	5000	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	117	196738 ₺
	10000	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	117	196738 ₺
2. Çözüm	50	2	2	1	3	1	2	3	3	1	3	3	3	1	2	1	2	131	181020 ₺
	100	2	3	1	3	1	2	3	3	1	3	1	3	1	1	1	3	121	183902 ₺
	1000	2	3	1	3	1	3	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	118	183218 ₺
	5000	2	3	1	3	1	3	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	118	183218 ₺
	10000	2	3	1	3	1	3	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	118	183218 ₺
3. Çözüm	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	2	3	3	2	1	2	3	3	1	3	3	3	1	2	1	2	130	181630 ₺
	1000	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	119	180158 ₺
	5000	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	119	180158 ₺
	10000	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	119	180158 ₺
4. Çözüm	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1000	2	3	1	3	1	3	3	3	1	3	1	3	1	3	1	3	120	178002 ₺
	5000	2	3	1	3	1	3	3	3	1	3	1	3	1	3	1	3	120	178002 ₺
	10000	2	3	1	3	1	3	3	3	1	3	1	3	1	3	1	3	120	178002 ₺

4.1.7. HA'nin Uygulama Projesinin Süre-Maliyet Eğrilerine Göre HMCR (HA'nın Dikkate Alma Oranının) İrdelenmesi

HMS=50, HMCR=0.9, 0.7, 0.5, 0.1 ve İterasyon Sayısı= 1000

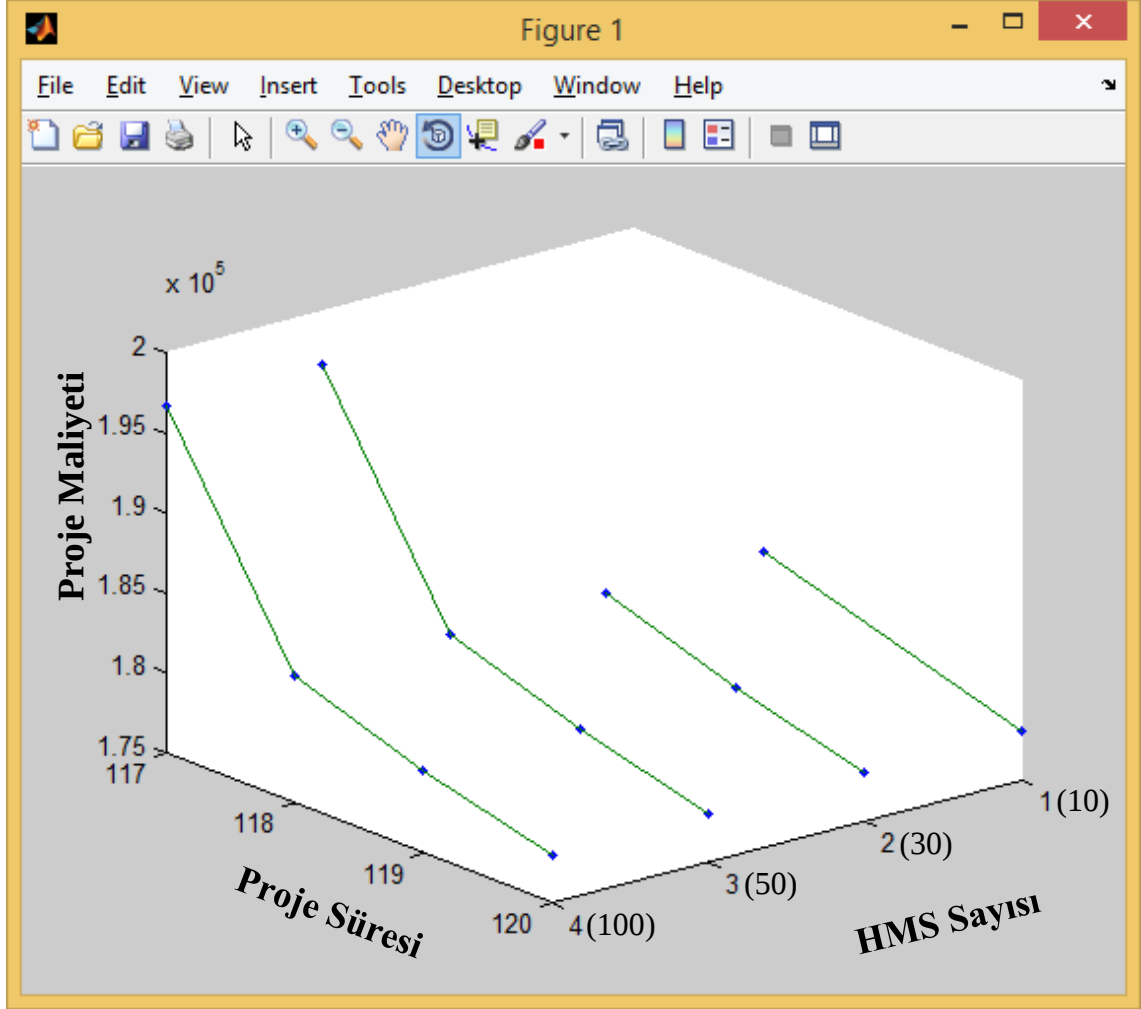


Şekil 4.7: Uygulama Projesinin Farklı HMCR Değerlerine Göre Süre-Maliyet Grafikleri.

Yukarıdaki Şekil 4.7’de gösterildiği gibi 1000 iterasyon sayısı ile uygulama projemizi %10, %50, %70 ve %90 HMCR (Harmoni Bellği Dikkate Alma Oranı) değerleri ile çözdüğümüzde, hepsinin pareto süre-maliyet çiftleri aynı ve en uygun çözümlerdir. Fakat pareto süre-maliyet çiftlerinin sayısında farklılık gösterilmektedir. Uygulama projemizi 0.9 ve üzeri HMCR değerleri ile çözdüğümüzde elde ettiğimiz pareto sonuçların sayısı maksimuma ulaşır. Dolayısıyla Uygulama projemizin HA modelinin HMCR değeri, 0.9 olarak uygun görülmüştür.

4.1.8. HA'nin Uygulama Projesinin Süre-Maliyet Eğrilerine Göre HMS (HA Belleğinin Kapasitesi) İrdelenmesi

HMS=10, 30, 50, 100 HMCR=0.9 ve İterasyon Sayısı= 1000



Şekil 4.8: Uygulama Projesinin Farklı HMS Sayılarına Göre Süre-Maliyet Grafikleri.

Yukarıdaki Şekil 4.8’de gösterildiği gibi 1000 iterasyon sayısı ile uygulama projemizi 10, 30, 50 ve 100 HMS (Harmoni Belleğinin Kapasitesi) sayılarına göre çözdüğümüzde hepsinin pareto süre-maliyet çiftleri aynı ve en uygun çözümlerdir. Fakat pareto süre-maliyet çiftlerinin sayısında farklılık gösterilmektedir. Uygulama projemizi 50 ve üzeri HMS sayısı ile çözdüğümüzde elde ettiğimiz pareto sonuçların sayısı maksimum olur. Dolayısıyla uygulama projemizin HA modelinin HMS sayısı 50 seçilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İnşaat sektöründe uygulama esnasında, özellikle işverenleri ve müteahhitleri zorlayan en önemli sorunların başında proje süresi ve proje maliyeti gelmektedir. Söz konusu bu iki değer birbiri ile ters orantılı olarak değişmektedir. Örnek verecek olursak, bir şantiyede vinç sayısının artması proje süresini kısaltmakta, fakat proje maliyetini artırmaktadır.

Maliyet değerlerini etkileyen en önemli unsurlarından bir tanesi, projenin endirekt maliyetidir. Söz gelimi projenin devamında doğrudan bir katkısı olmayıp, fakat proje devam ettikçe harcanan paralara endirekt maliyet denilmektedir. Çok amaçlı optimizasyon ortamında hem proje süresi hemde proje maliyetinin azaltılması amaçlanmaktadır.

İnşaat projelerinde bir çok faaliyet için gerek ek-mesai gerek ise farklı bir teknoloji ile yapılması sebebiyle faaliyetlerin yapım hızları değişebilmektedir. Dolayısıyla faaliyet süreleri değişmektedir. Yapım tekniği değiştiği için, faaliyet maliyetleri de değişebilmektedir. Böylece toplam süre ve toplam maliyet optimizasyonunda, planlamacıların karşısına çözülmesi güç kombinasyon problemi ortaya çıkmaktadır. Tezin araştırma kısmında anlatılmış olan meta-sezgisel yöntemlerle yaklaşık çözüme hızlı bir şekilde ulaşılabilmektedir.

Söz konusu bu tez çalışmasında, Türkiye şartlarına göre ve T.C. Bayındırlık bakanlığı inşaat birim fiyat analizi verilerine istinadan, her faaliyet için uygun ve sürekli güncellenebilecek süre-maliyet değerleri elde edilerek, faaliyetlerin farklı pozlarının ekip hızları ve maliyetlerini göz önünde bulundurarak, çok amaçlı süre-maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Kurulan model gerçek bir inşaat projesi verileri üzerinde uygulanmış ve beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca kurulan model piyasadaki diğer inşaat projelerine uygun olarak güncellenebilecek şekildedir. Bunun yanı sıra modelden iyi sonuç alabilmek için model parametrelerin önerilen değerleriirdelenmiş ve ispatlanmıştır.

Bu çalışmanın diğerk bir özelliğı ise, faaliyetlerin süreleri T.C Bayındırlık bakanlığı inşaat birim fiyat analizi verilerine istinadan bulunmuştur. Halbuki normalde, faaliyetlerin süreleri tahmini ve tecrübeye dayalı olarak belirlenmektedir, ki bu da herkese göre farklılık göstermektedir. Ayrıca, faaliyetlerin farklı yapılış biçimleri göz önünde bulundurarak uygulama projesi için farklı çözümler önerilmiş ve verileri, çözümler arasında kolayca karşılaştırma yapılabilir biçimde tablolar halinde verilmiştir. Halbuki normalde, her faaliyet için başka yapılış biçimleri arasında herhangi bir kıyaslama yapılmadan, bir yapılış biçimi seçilir ve ona göre tek bir proje süresi ve proje maliyeti tahmin edilir. Dolayısıyla normalde süre veya maliyet kısıtı önemine göre en iyi çözümler göz arda edilmektedir.

Uygulama projemiz için, HA modelimizden 4 farklı çözüm çıkmıştır. Bu çözümler arasındaki süre ve maliyet farkı, projedeki 3 faaliyetin (Kazı, Yalıtım ve Kalıp faaliyetlerinin) alternetif çözümleri veya opsiyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu faaliyetlerin arasında proje maliyetine en çok etkileyen faaliyet, kazı faaliyeti ve süresine ise en çok etkileyen faaliyet, yalıtım faaliyetidir.

Gelecekte, projenin içeriğı genişletilerek inşaat piyasasında uygulanabilecek çok amaçlı optimizasyon yapan bir planlama yazılımının geliştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Afshar, A., Ziaraty, A. K., Kaveh, A. ve Sharifi, F., 2009, Nondominated archiving multicolony ant algorithm in time–cost trade-off optimization, *Journal of construction engineering and management*, Vol. 135, No. 7, 668–674.
- Akçalı, Ü., 2015, *T.C Bayındırlık bakanlığının inşaat birim fiyat analizleri I ve II*, Şafak Matbaacılık, Ankara, ISBN: 978-975-00802-7-2.
- Bell, C. E. and Han, J. 1991, A new heuristic solution method of resource constrained project scheduling problems, *Naval research logistics (NRL)*, 38, 315–331.
- Boctor, F. F., 1993, Heuristic for scheduling projects with resource restrictions and several resource-duration modes, *The international journal of production research*, 31, 2547–2558.
- Burns, S., Liu, L., and Feng, C., 1996, The Lp/Ip hybrid method for construction time-cost trade-off analysis, *Construction management and economics*, 14, 265–276.
- Byron S. Gottfried, Joel Weisman, 1973, *Introduction to optimization theory*, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Dantzig, G. B. ve Wood, M., 1949, Programming of inter-dependent activities ı general discussion, *Econometrica*, 17(3-4), 193-199.
- De, P., Dunne, E. J., and Wells, C. E., 1995, The discrete time-cost trade off problem revisited, *European journal operational research*, 81, 225–238.
- Düzakın ve Demircioğlu, 2009, Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri, *Çukurova üniversitesi İİBF dergisi*, 68-87.
- Elbeltagi, E., Hegazy, T. ve Grierson, D., 2005, Comparison among five evolutionary based optimization algorithms, *Advanced engineering informatics*, Vol. 19, 43-53.
- Elmagraby, S. E., 1993, Resource allocation via dynamic programming in activity networks, *European journal operational research*, 64, 199–215.
- Eyüp Çetin, 2004, *Stokastik programlama yöntemiyle bir portföy optimizasyonu modelinin geliştirilmesi*, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı.
- Fondahl, j. W., 1961, A non-computer approach to the critical path method for the construction industry, Technical report No. 9, Stanford University Department of Civil Engineering Stanford, USA.

- Gass, S. I. ve Assad, A. A., 2004, *Annotated timeline of operations research: an informal history*, Springer-Verlag, ISBN: 1-4020-81112-X, New York.
- Geem vd., 2001, A new heuristic optimization algorithm, harmony search, *Simulation SAGE journals (transactions of the society for modeling and simulation international)*, 60-68.
- Geem vd., 2005a, Application of harmony search to vehicle routing, *American journal of applied sciences*, 1552-1557.
- Geem vd., 2009, Music-inspired harmony search algorithm. studies in computational intelligence, *American society of civil engineers (ASCE)*.
- Geem Z. W., 2005b, School bus routing using harmony search, *Genetic and evolutionary computation conference (GECCO 2005)*. Washington, D.C. USA.
- Geem z. W., june 2010, Multiobjective optimization of time-cost trade-off using harmony search, *American society of civil engineers (ASCE)*.
- Gil-Lopez vd., 2009, A novel heuristic algorithm for multiuser detection in synchronous CDMA wireless sensor networks, *Ultra modern telecommunications & workshops*, 1-6.
- Goodrum, P.M., Haas, C.T. ve Glover, R. W., 2002, The divergence in aggregate and activity estimates of us construction productivity, *Construction management and economics*, 20, 415-423.
- Hanna, A. S., Russell, J. S., Gotzision, T. W. ve Nordheim, 1999, Impact of change orders on labor efficiency for mechanical construction, *Journal of construction engineering and management*, 125(3), 176-184.
- Henderickson, C. and Au. T., 1989, *Project management for construction*, Prentice-Hall, United Kingdom.
- Hillier, F. S. ve Lieberman, G. J., 2005, *Introduction to operations research*, 8nd ed., McGraw Hill, New York.
- INFORMS Interfaces dergisi web sitesi, <http://pubsonline.informs.org/>, [Ziyaret tarihi: 25 Eylül 2015].
- Kahattab, M. and Choobineh, F., 1991, A new approach for project scheduling with limited resource, *The international journal of production research*, 29, 185–198.
- Kantorovich, L. V., 1960, Mathematical methods in the organization and planning of production, *management science*, 6 ,366–422 (İngilizce).
- Karaboğa, D., *Yapay zekâ optimizasyon algoritmaları*, 2011, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.

- Kelly, j. E., 1961, Critical path planning and scheduling: mathematical basis, *Operations research*, 3, 167–179.
- Kerzner, H., 2009, *Project management: A systems approach to planning, scheduling and controlling*, John Wiley & Sons, New York.
- Koopmans, T. C., 1949, Optimum utilization of the transportation system, *Proceedings of the international statistical conferences*, 5, 136-145.
- Koopmans, T. C., 1957, *Three essays on the state of economic science*, McGraw- Hill, New York.
- Koopmans, T. C. ve Bausch, A. F., 1959, Selected topics in economics involving mathematical reasoning, *SIAM Review (Society for industrial and applied mathematics)*, 2, 79-148.
- Koopmans, T. C. ve Reiter, S., 1951, Activity analysis of production and allocation, *The economic journal*, 222-259, New York.
- Landa-Torres vd., 2012, A novel grouping harmony search algorithm for the multiple-type access node location problem, *Expert systems with applications*, 10, 25-27.
- Lee ve Geem, 2004, A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering, *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 3902-3933.
- Leontief, W. W., 1936, Quantitative input and output relations in the economic system of the united states, *Review of economic statistics*, 18, 105-125.
- Leontief, W.W., 1933, The use of indifference curves in the analysis of foreign trade, *The quarterly journal of economics*, 47, 493-503.
- Lock, D., 2007, *Project management*, 9nd Ed., Gower, USA, ISBN: 978-0566087721.
- MANİSALI, E. 2000, *İleri proje yönetimi ders notları*, İ.Ü İnşaat Mühendisliği, 27-33.
- Meyer, W. L. and Shaffer, L. R., 1963, *Extensions of the critical path method through the application of integer programming*, Department of civil engineering University of Illinois, Urbana.
- Moselhi, O., 1993, Schedule compression using the direct stiffness method, *Canadian journal of civil engineering*, Ottawa, 20, 65–72.
- Mubarak, S., 2010, *Construction project scheduling and control*, John Wiley & Sons, USA.
- Nobel ödülü web sitesi, <http://nobelprize.org/economics/laureates/>, [Ziyaret tarihi: 15 Eylül 2015].

- Patterson, J. H. and Huber, D., 1974, A horizon-varying, zero-one approach to project scheduling, *Management science*, 20, 990–998.
- Prager, W., 1963, A structural method of computing project cost polygons, *Management science*, 9, 394–404.
- Proverbs, D. G., Holt, G. D. ve Olomolaiye P. O. 1999, Construction resource/method factors influencing productivity for high rise concrete construction, *Construction management and economics*, 17, 577-587.
- Rasim, T. ve Tanrıverdi, S. C., 2013, Ulaştırma talep tahmin modellerinde Harmoni Arama yöntemi uygulaması, *International science and technology conference*, Rome, June 25 – 27, 1-3.
- Robinson, D. R., 1975, A dynamic programming solution to cost-time trade off for CPM, *Management science*, 22, 158–166.
- Roger, C., 1997, *The history of mathematics: a brief course*, John Wiley & Sons Inc., Canada.
- Samuel, E. and Bodily, V. D., 1998, *Quantitative business analysis: text and cases*, McGraw-Hill, USA.
- Saul, I. Gass, October 2002, Great moments in history, *OR/MS Today magazine*, 29, 31.
- Siemens, N., 1971, A simple CPM time-cost tradeoff algorithm, *Management science*, 17(6), 354-363.
- Sonmez, R. ve Bettemir, Ö. H., 2012, A hybrid genetic algorithm for the discrete time–cost trade-off problem, *Expert systems with applications*, Vol. 39, 11428-11434.
- Thomas, H.R ve Sanvido, V. E., 2000, Role of the fabricator in labor productivity, *Journal of construction engineering and management*, 126(5), 358-365.
- Winston, W. L., 2003, *Operations research: applications and algorithms*, 4nd Ed., International Thomson Publishing, Belmont, Canada.
- Xiong, Y. ve Kuang, Y., 2008, Applying an ant colony optimization algorithm-based multiobjective approach for time-cost trade-off, *Journal of construction engineering and management*, Vol. 134, No. 2, 153-156.
- Yang, I. T., 2007, Pareto archived PSO optimization for time-cost tradeoff analysis, *Proceedings of IEEE congress on evolutionary computation*, Singapore, 3329-3334.
- Zhang, H. ve Li, H., 2010, Multi-objective particle swarm optimization for construction time-cost tradeoff problems, *Construction management and economics*, Vol. 28, No. 1, 75-88.

Zheng, D. X. M., Ng, S. T. ve Kumaraswamy, M. M., 2005, Applying pareto ranking and niche formation to genetic algorithm-based multiobjective time–cost optimization, *Journal of construction engineering and management*, Vol. 131, No. 1, 81–91.

EKLER

T.C. Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Analizleri kitabından tezimde kllanılan tüm pozların birim fiyat analiz verileri aşağıdaki eklerde verilmiştir. Tezimde kullandığım uygulama projesindeki faaliyetlerin pozları ile ilgili veriler, bu analiz tabloların verilerinden alınmıştır.

EK 1. BAY 15.010/3B Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
15.010/3B	MAKİNE İLE PATLAYICI MADDE KULLANILARAK HER DERİNLİKTE YUMUŞAK KAYA KAZILMASI				M3
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.017	KOMPRESÖR (210 CFM LİK KOMRESÖR+HORTUM VE TABANCA LAR)	AD	0,00001918	30.500,00	0,58
01.502	ERBAB İŞÇİ	SA	0,028	4,50	1,26
01.403	MAKİNİST	SA	0,0168	5,95	1,00
01.011	LAĞIMCI (ATEŞLEME USTASI)	SA	0,07	5,85	0,41
03.001	EKSKAVATÖR VE DRAGLINE TİPİ MAKİNALAR 100 HP (1 yd3)	AD	0,000004795	148.000,00	0,71
04.109	MAZOT (MOTORİN)	KG	0,5985	3,77	2,26
01.408	YAĞCI	SA	0,035	4,40	0,15
01.404	OPERATÖR MAKİNİST	SA	0,0504	6,85	0,35
04.105	KAPSÜL (ADI)	AD	3	0,62	1,86
04.104	KATRANLI FİTİL	MT	2	0,46	0,92
04.101	JEL DİNAMİT	KG	0,07	6,46	0,45
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	0,04	4,25	1,70
Karsız Toplam					11,80
			% 25,000	Kar ve Genel Giderler	2,95
Toplam Tutar					14,75
Yumuşak kayalık zeminde lağım deliklerinin açılması, patlayıcı maddelerle doldurulup sıkıştırılması patlatılması, gerekli güvenlik tedbirlerinin alınması, kayaların sökülmesi ve kazılması, taşıtlara yüklenmesi, 25 metreye kadar taşınması, depo, imla veya sedde yerinde boşaltılması, serilmesi veya imalat, inşaat yapıldıktan sonra kazı yerinde kalan boşlukların doldurulması, kazılan yerin taban ve yan cidar-larının ve depo veya dolgunun kabaca düzeltilmesi için yapılan her türlü malzeme ve zayıtı, işçilik, araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m³ kazı fiyatı:					
ÖLÇÜ : Kazının hacmi kazı projesi üzerinden hesaplanır.					
NOT :Bu birim fiyata su zammı, iksa, 25 metre dışındaki taşıma, sulama ve sıkıştırma bedelle-ri dâhil değildir. Ayrıca derinlik zammı bedeli ödenmez.					

EK 2. BAY 15.010/4B Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
15.010/4B	MAKİNE İLE PATLAYICI MADDE KULLANILMADAN HER DERİNLİKTE YUMUŞAK KAYA VEYA BATAK VE BALÇIK KAZILMASI				M3
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.007	TRAKTÖR RİPPER (TD 25 VEYA EMSALİ 185 HP + RİPPER)	AD	0,00000513	240.000,00	1,23
03.001	EKSKAVATÖR VE DRAGLINE TİPİ MAKİNALAR 100 HP (1 yd3)	AD	0,000004795	148.000,00	0,71
04.109	MAZOT (MOTORİN)	KG	0,9285	3,77	3,50
01.409	FORMEN	SA	0,0312	8,60	0,27
01.408	YAĞCI	SA	0,065	4,40	0,29
01.404	OPERATÖR MAKİNİST	SA	0,0936	6,85	0,64
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	0,4	4,25	1,70
Karsız Toplam					8,34
% 25,000			Kar ve Genel Giderler		2,09
Toplam Tutar					10,43
Yumuşak kayalık veya bataklık ve balçık zeminin patlayıcı madde kullanılmadan kazılması, taşıtlara yüklenmesi, 25 metreye kadar taşınması, depo, imla veya sedde yerinde boşaltılması, serilmesi veya imalat, inşaat yapıldıktan sonra kazı yerinde kalan boşlukların doldurulması, kazılan yerin taban ve yan cidar-larının ve depo veya dolgunun kabaca düzeltilmesi için yapılan her türlü malzeme ve zayıyatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m³ kazı fiyatı:					
ÖLÇÜ : Kazının hacmi kazı projesi üzerinden hesaplanır.					
NOT : Bu birim fiyata su zammı, iksa, 25 metre dışındaki taşıma, sulama ve sıkıştırma bedelle-ri dâhil değildir. Ayrıca derinlik zammı bedeli ödenmez.					

EK 3. BAY 14.1714/1 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
14.1714/1	KAZI MALZEMESİNDEN MAKİNA İLE HENDEK VE TEMEL DOLGUSU YAPILMASI				M3
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.005/1	EKSKAVATÖR BEKO TAKRİBEN 125 HP (3/4 - 15/8 Yd3)	AD	0,00000137	200.000,00	0,27
04.109	MAZOT (MOTORİN)	KG	0,12824	3,77	0,48
01.409	FORMEN	SA	0,0048	8,60	0,04
01.408	YAĞCI	SA	0,01	4,40	0,04
01.404	OPERATÖR MAKİNİST	SA	0,0144	6,85	0,10
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	1	4,25	4,25
Karsız Toplam					5,19
	% 25,000	Kar ve Genel Giderler		1,30	
Toplam Tutar					6,49
Hendek kenarındaki kazı veya hendek kenarına getirilmiş dolgu malzemesinin hendek veya temel kenarından makina ile alınması, doldurulacağı yere konulması, hendek veya temel içine, kök, ot, kesek ve taşlardan temizlenmesi, 20 cm tabakalar halinde el ile serilerek sulanması ve tokmakanması, üst satırlarının tesviye ve tanzimi için her türlü masraflar malzeme ve zayıyatı, alet, edevat, hendek içindeki yatay ve düşey taşıma ve işçilik giderleri ile yüklenici karı ve genel giderleri dahil, (Yalnız, dolgu malzemesinin hendek kenarına kadar taşınması, ve bu taşımaya ait yükleme boşaltma bedeli hariç) hendek kenarındaki kazı malzemesinin makina ile hendek ve temel dolgusu yapılmasının; 1 m3 fiyatı:					
ÖLÇÜ: Dolgu boşluğu üzerinden ölçülen metreküp cinsinden hacmidir.					

EK 4. BAY 14.1717 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
14.1717	ARİYETTEN ALINAN TOPRAKLA HENDEK VE TEMEL DOLGUSU YAPILMASI				M3
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	3,5	4,25	14,88
Karsız Toplam					14,88
% 25,000 Kar ve Genel Giderler					3,72
Toplam Tutar					18,60
Toprağın ariyetten alınıp, ot, kesek ve taşlardan temizlenmesi, taşıtlara yükleme ve boşaltılması, 20 cm tabakalar halinde serilerek sulanması ve tokmakanması, üst satırlarının tesviye ve tanzimi için, her türlü masraflar, malzeme ve zayiatı, alet, edevat ve işçilik giderleri ile yüklenici karı ve genel giderleri dahil, (Yalnız, toprağın taşıma bedeli hariç) ariyetten alınan toprakla hendek ve temel dolgusu yapılmasının; 1 m3 fiyatı.					
ÖLÇÜ: Dolgu boşluğu üzerinden ölçülen metreküp cinsinden hacmidir.					

EK 5. BAY 15.140/İB-1 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
15.140/İB-1	STABİLİZE(08.008)MALZEME İLE HENDEK,TEMEL DOLGUSU YAPILMASI				M3
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.001	EKSKAVATÖR VE DRAGLINE TİPİ MAKİNALAR 100 HP (1 yd3)	AD	0,000001918	148.000,00	0,28
04.109	MAZOT (MOTORİN)	KG	0,14364	3,77	0,54
01.409	FORMEN	SA	0,00672	8,60	0,06
01.408	YAĞCI	SA	0,014	4,40	0,06
01.404	OPERATÖR MAKİNİST	SA	0,0202	6,85	0,14
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	1,5	4,25	6,38
Karsız Toplam					7,46
% 25,000 Kar ve Genel Giderler					1,87
Toplam Tutar					9,33
08.008 Poz No'lu birim fiyat tarifindeki esaslar ve şartlar dahilinde hazırlanmış ve konulacağı yerin kenarına figüre edilmiş stabilize malzemenin, hendek veya temel kenarından alınarak hendek veya temel tabanı içine konulması, kök, ot, kesek ve taşlardan temizlenmesi, 20 cm'lik tabakalar halinde elle serilmesi, tokmakanarak sıkıştırılması, üst satırların tesviye ve tanziminin yapılması için gerekli her türlü yükleme, boşaltma ve figüre bedeli, yüklenici karı ve genel giderleri dahil, (Yalnız, stabilize malzemenin ocaktan iş yerine kadar taşınması hariç) stabilize malzeme ile hendek ve temel dolgusu yapılmasının; 1 m3 fiyatı.					
ÖLÇÜ: Stabilize dolgu yapılan hendek ve temel kazı kesitlerinin tasdikli proje veya atasmanlardaki boyutları üzerinden hesaplanmış hacimden, dolgu kesiti içindeki boru ve sınav imalatların dış hacimleri düşüldükten sonra kalan metreküp cinsinden miktardır.					

EK 6. BAY 16.001 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
16.001	150 DOZLU DEMİRSİZ BETON				M3
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.027	VİBRATÖR (2,5 HP GÜÇ, 9-16 YD3/SAAT KAPASİTELİ)	AD	0,00004095	1.400,00	0,06
01.405	MAKİNİST YARDIMCISI	SA	0,15	4,80	0,72
03.024	BETONİYER (MOTORU İLE TAKRİBEN 250 LİTRELİK)	AD	0,0000865	5.000,00	0,43
04.109	MAZOT (MOTORİN)	KG	0,32325	3,77	1,22
01.403	MAKİNİST	SA	0,72	5,95	4,28
04.031	SU	M3	0,5	4,58	2,29
04.008	PORTLAND ÇİMENTOSU (TORBALI) (TS EN 197-1 CEM I 32,5 N)	TON	0,15	105,00	15,75
04.006/B	KUM (Tuvenan,elenmiş,yıkanmış)(08.003)	M3	0,5	23,80	11,90
04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	0,78	23,80	18,56
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	8	4,25	34,00
01.015	BETONCU USTASI	SA	0,5	5,85	2,93
Karsız Toplam					92,15
% 25,000 Kar ve Genel Giderler					23,04
Toplam Tutar					115,19
0,500 m³ elenmiş kum (Poz No: 08.003-08.009/1), 0,780 m³ elenmiş çakıl (Poz No: 08.003-08.009/1), 0,100 m³ su ve 150 kg çimentonun el ya da betoniyer ile karıştırılması, yerine konması, sıkıştırılması, gerektiğinde sulanması, soğuk ve sıcaktan korunması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zıyatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 150 dozlu demirsiz betonun 1 m³ fiyatı					
ÖLÇÜ : Projedeki boyutlar üzerinden hesaplanır.					

EK 7. BAY 18.465/2 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
18.465/2	TAŞ.POL.BİT. ÖRT.İKİ KAT SU YAL.□				M2
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.107/1	LİKİT PETROL GAZI (LPG)	KG	0,4	3,74	1,50
04.626/4A	3 mm. ELASTOMER POLYESTER KEÇE TAŞIYICILI ÖRTÜ	M2	1,15	7,70	8,86
04.626/3B	3.0 mm. ELASTOMER CAM TÜLÜ ÖRTÜLER	M2	1,15	5,70	6,56
04.611	ASFALT EMÜLSİYONU (TS 113)	KG	0,4	1,32	0,53
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	0,2	4,25	0,85
01.210	YALITIMCI USTA YARDIMCISI	SA	0,35	4,40	1,76
01.010	YALITIMCI USTASI	SA	0,35	5,85	2,34
Karsız Toplam					22,40
% 25,000 Kar ve Genel Giderler					5,60
Toplam Tutar					28,00
Onaylanmış detay projesine uygun, ahşap mala perdahlı olarak hazırlanmış beton yüzeyin iyice temizlenmesi ve kuru durumda iken astar olarak m2 ye en az 0,400 kg sarf edilecek biçimde soğuk uygulamalı asfalt sürülmesi, astar kuruduktan sonra şalımo alevi ile örtü polimer asfaltını alevlendirmeden elastomer esaslı polimer bitümlü 3mm kalınlığında cam tülü taşıyıcılı örtünün, ek yerlerinin en az 10 cm bindirilerek yapıştırılması, ikinci kat olarak elastomer esaslı polimer bitümlü 3mm kalınlığında polyester keçe taşıyıcılı örtünün, ek yerleri en az 10 cm bindirilerek yapıştırılması, inşaat yerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme zıyatı, işçilik araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı					
ÖLÇÜ : Meyilli yüzey üzerinden ölçülür.					
NOT :Yalıtım örtüleri için gerekli koruma önlemleri alınmalı ve bedelleri kendi pozundan ödenmelidir.					

EK 8. BAY 18.467/2 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
18.467/2	KAT. SU YALITIMI YAPILMASI				M2
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.107/1	LİKİT PETROL GAZI (LPG)	KG	0,4	3,74	1,50
04.626/4G	4 mm. ELASTOMER POLYESTER KEÇE TAŞIYICILI ÖRTÜ	M2	1,15	9,15	10,52
04.626/4A	3 mm. ELASTOMER POLYESTER KEÇE TAŞIYICILI ÖRTÜ	M2	1,15	7,70	8,86
04.611	ASFALT EMÜLSİYONU (TS 113)	KG	0,4	1,32	0,53
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	0,2	4,25	0,85
01.210	YALITIMCI USTA YARDIMCISI	SA	0,3	4,40	1,76
01.010	YALITIMCI USTASI	SA	0,3	5,85	2,34
Karsız Toplam					26,36
% 25,000 Kar ve Genel Giderler					6,59
Toplam Tutar					32,95
Onaylanmış detay projesine uygun, ahşap mala perdahlı olarak hazırlanmış beton yüzeyin iyice temizlenmesi ve kuru durumda iken astar olarak m2 ye en az 0,400 kg sarf edilecek biçimde soğuk uygulamalı asfalt sürülmesi, astar kuruduktan sonra şalümo alevi ile örtü polimer asfaltını alevlendirmeden elastomer esaslı 3mm kalınlığında polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtünün, ek yerlerinin en az 10 cm bindirilerek yapıştırılması, ikinci kat olarak elastomer esaslı 4mm kalınlığında polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtünün ek yerleri en az 10 cm bindirilerek yapıştırılması, inşaat yerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme zıyatı, işçilik araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m ² fiyatı:					
ÖLÇÜ : Meyilli yüzey üzerinden ölçülür.					
NOT : Yalıtım örtüleri için gerekli koruma önlemleri alınmalı ve bedelleri kendi pozundan ödenmelidir.					

EK 9. BAY 18.468/3 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
18.468/3	2.5 MM. PVC ESASLI JEOMEMBRAN DÜZTİP MALZ. SU YALITIMI YAPILMASI				M2
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.627/A3	PVC ESASLI JEOMEMBRAN,DÜZ TİP, 2.5 mm HER RENKTE	M2	1,15	12,50	14,38
04.112	ELEKTRİK ENERJİSİ	kWh	0,2	0,32	0,06
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	0,2	4,25	0,85
01.210	YALITIMCI USTA YARDIMCISI	SA	0,4	4,40	1,76
01.010	YALITIMCI USTASI	SA	0,4	5,85	2,34
Karsız Toplam					19,39
% 25,000 Kar ve Genel Giderler					4,85
Toplam Tutar					24,24
Tasdikli projesine göre su yalıtımı tatbik olunacak beton yüzeyin iyice temizlenmesi ve 2,50 mm kalınlığında PVC esaslı jeomembran düz tip her renk malzeme ile m ² ye en az 1,15 m ² malzeme sarfı ile birbiri üzerine en az 10 cm bindirmeli olarak ısı kaynağıyla yapıştırılarak döşenmesi, inşaat yerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme zıyatı, işçilik araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m ² fiyatı:					
ÖLÇÜ : Kaplama yapılan yüzeyler hesaplanır.					

EK 10. BAY 19.101/MK Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
19.101/MK	HARÇ İÇİNE KARIŞAN MADDELERLE YALITIM ŞAPİ YAPILMASI.				M2
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.002/2B	KUM (Tuvenan,elenmiş,yıkanmış)(08.009/1)(MAKİNA İLE TEMİN)	M3	0,035	8,27	0,29
04.613/A	HARÇTA SU GEÇİRİMSİZLİK KATKISI	KG	0,42	1,50	0,63
04.031	SU	M3	0,0091	4,58	0,04
04.008	PORTLAND ÇİMENTOSU (TORBALI) (TS EN 197-1 CEM I 32.5 N)	TON	0,014	105,00	1,47
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	1,023	4,25	4,35
01.012	SVACI USTASI	SA	1,3	5,85	7,61
Karsız Toplam					14,39
% 25,000 Kar ve Genel Giderler					3,60
Toplam Tutar					17,99
Tecrit yapılacak sathın temizlenmesi, derzlerin ayıklanıp yıkanması, 1 m³ harç'a (1 m³ kum, 400 kg- çimento) 12 kg- katkı maddesi kullanılarak elde edilen harçla ortalama 3,50 cm kalınlıkta ve iki aşamada olmak üzere teknik şartnameye uygun yalıtım şapı yapılması, su-lanması, her türlü malzeme ve zayıflık, işçilik, iş yerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m2 fiyatı: ÖLÇÜ : Tecrit yapılan bütün sathlar projesinden ölçülür. NOT : 1) İdarenin yazılı izni ile uygulanır. 2) Kullanılacak gereçlerin orijinal ambalajlı olması, laboratuvar raporu bulunması şarttır.					

EK 11. BAY 21.016 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
21.016	KAL.YÜZEY TAHT.BİRLEŞT.PLAST.MAD.KULL. DÜZ YÜZEYLİ ÇIPLAK BETON, B.A. KALIBI				M2
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.270	ÇİVİLER (TS 155)	KG	0,3	1,95	0,59
04.151	ÇAM KERESTESİ 1.SINIF	M3	0,0242	1.100,00	26,62
04.110/1	YANMIŞ YAĞ	KG	0,1	0,36	0,04
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	1,5	5,75	8,63
01.009	MARANGOZ USTASI	SA	1,5	7,90	11,85
Karsız Toplam					47,73
% 25,000 Kar ve Genel Giderler					11,93
Toplam Tutar					59,66
Çıplak beton ve betonarme kalıbı yapım işleri için idarece gerekli görüldüğünde onaylanmış projelerine göre rendelenmiş birinci sınıf 8–10 cm genişliğinde ve temiz kalınlığı, en az 15 mm olan tahtaların aralarına plâstik madde konularak içine dökülecek betonun suyunu sızdırmayacak şekilde birleştirilmesi suretiyle kalıp yüzeyinin teşkili, rendelenmiş yüzeyinin yağlanması, dakikada 8000–12000 devirli vibratöre dayanacak şekil-de takviye edilmesi, kalıbın sökülmesi, tekrar kullanılmak üzere kalıp yüzeyinin temizlenmesi, bu işler için lü-zumlu her türlü kereste, çivi bağlantı malzemesi, plâstik (veya kauçuk) madde ve zayıflık ile işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı: ÖLÇÜ : Kalıp gören yüzler projesinden veya yerinde ölçülerek hesaplanır. Boşluk hacmi çıkartılmayan imalât deliklerinin çevre kalıpları ölçüye dâhil edilmez.Deliğin kalıp tarafındaki yüzünden delik boşluğu çıkartılmaz. NOT : Kalıptan çıkan malzeme müteahhide aittir.					

EK 12. BAY 21.001/02 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
21.001/02	AHŞAPTAN DÜZ YÜZEYLİ BETON VE BETONARME KALIBI YAPILMASI				M2
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.104/3	AHŞAP DOĞRAMA İMALAT ATELYESİ	AD	0,000001392	260.000,00	0,36
3.161	FORKLİFT (4 TON 40 HP)	AD	0,0000002904	44.750,00	0,01
04.112	ELEKTRİK ENERJİSİ	kWh	0,144	0,40	0,06
04.109	MAZOT (MOTORİN)	KG	0,017904	3,74	0,07
04.031	SU	M3	0,006	5,50	0,03
04.116/1	YAĞ BAZLI KALIP AYIRICI (AHŞAP-PLASTİK)	KG	0,1	2,75	0,28
04.270	ÇİVİLER (TS 155)	KG	0,1	1,95	0,20
04.152	ÇAM KERESTESİ 2.SINIF	M3	0,0123	665,00	8,18
01.404	OPERATÖR MAKİNİST	SA	0,00144	9,25	0,01
01.017	DÜLGER USTASI	SA	0,012	7,90	0,09
01.008	DOĞRAMACI USTASI	SA	0,036	7,90	0,28
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	0,5744	5,75	3,30
01.209	MARANGOZ USTA YARDIMCISI	SA	0,762	5,90	4,50
01.009	MARANGOZ USTASI	SA	0,822	7,90	6,49
Karsız Toplam					24,03
	% 25,000	Kar ve Genel Giderler			6,01
Toplam Tutar					30,04
Proje ve şartnamesine göre; iç yüzeyleri rendelenmiş ve yağlanmış II. sınıf çam kerestesinden düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması, sökülmesi, bu işler için gerekli tahta, mesnet, kadronlar, kuşaklar, destekler, çivi, tel, benzeri gereçler, malzeme ve zayıyatı ile işçilik, iş yerinde yatay-düşey taşıma, yükleme-boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m ² fiyatı:					
ÖLÇÜ:					
Kalıp gören yüzler projesinden veya yerinde ölçülerek hesaplanır. Boşluk hacmi çıkarılmayan imalat deliklerinin çevre kalıpları ölçüye dâhil edilmez. Deliğin kalıp tarafındaki yüzünden delik boşluğu çıkarılmaz.					
NOT:					
1) Kalıp iskelesi ayrıca ödenir.					
2) Kalıptan çıkan malzeme müteahhide aittir.					

EK 13. BAY 21.017/2 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
21.017/2	PVC ESASLI MELZEME İLE YAPILAN DÜZ YÜZEYLİ ÇIPLAK BETON VE BETONARME KALIBI				M2
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.168/1	18 MM KALINLIĞINDA PVC ESASLI KALIP MALZEMELERİ	M2	0,0231	24,50	0,57
04.270	ÇİVİLER (TS 155)	KG	0,2	1,95	0,39
04.152	ÇAM KERESTESİ 2.SINIF	M3	0,004	665,00	2,66
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	2	5,75	11,50
01.009	MARANGOZ USTASI	SA	1,5	7,90	11,85
Karsız Toplam					26,97
		% 25,000	Kar ve Genel Giderler		6,74
Toplam Tutar					33,71
Çıplak beton ve betonarme kalıbı yapım işleri için idarece gerekli görüldüğünde onaylanmış projelerine göre 18 mm kalınlığında PVC esaslı kalıp malzemesini betonun suyunu sızdırmayacak şekilde kalıp yüzeyi teşkili, dakikada 8000-12000 devirli vibratöre dayanacak şekilde takviye edilmesi, kalıbın sökülmesi, tekrar kullanılmak üzere kalıp yüzeyinin temizlenmesi, bu işler için lüzumlu her türlü malzemeve zayıatı ile işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m ² fiyatı:					
ÖLÇÜ : Kalıp gören yüzler projesinden veya yerinde ölçülerek hesaplanır. Boşluk hacmi					
çıkartılmayan imalat deliklerinin çevre kalıpları ölçüye dâhil edilmez.Deliğin kalıp tarafındaki yüzünden delik boşluğu çıkartılmaz.					
NOT :1) Düz yüzeyli kalıpların yüzlerinde betona zarar vermeyecek ve kalıbın kolaylıkla çıkarılmasına mani olmayacak girinti, çıkıntı profil ve benzeri ilavelerle, desen teşkil etmek istenildiği takdirde bunun için kullanılacak ve kalba tespiti yapılacak malzeme ve işçilik toplam tutarı projesine göre fiyat tutanağı tanzimi suretiyle ayrıca ödenir.					
2) Kalıptan çıkan malzeme müteahhide aittir.					

EK 14. BAY 23.015 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
23.015	ø 14-28 MM KALIN NERVÜRLÜ ÇELİĞİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ				TON
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
04.254	BETON ÇELİK ÇUBUĞU NERVÜRLÜ ø 14-32 mm. (S420, B420B-C, B500B-C)	KG	1.100	1,25	1.375,00
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	35	4,25	148,75
01.219	SOĞUK DEMİRCİ USTA YARDIMCISI	SA	35	4,40	154,00
01.019	SOĞUK DEMİRCİ USTASI	SA	25	5,85	146,25
Karsız Toplam					1.824,00
		% 25,000	Kar ve Genel Giderler		456,00
Toplam Tutar					2.280,00
Nervürlü beton çelik çubuğunun detay projesine göre kesilip bükülerek hazırlanması yeri-ne konması, bağlanması için demir, bağlama teli ve gerekli her türlü malzeme ve zayıatı, inşaat yerindeki yük-leme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 ton fiyatı:					
ÖLÇÜ :1) Betonarme detay resimlerine göre kroşeler ile birlikte demirin boyu ölçülür.					
2) Çelik çubukların ağırlıkları aşağıdaki cetvelden alınır.					
3) Projede gösterilmeyen çelik çubuklar ve ekler hesaba katılmaz.					
4) Cetveldeki (m) ağırlıkları hesaba esastır. Bağlama teli, çelik çubuk sıraları arasında kullanılacak çelikler ve zayıat analizde dikkate alındığından, ayrıca ödeme yapılmaz.					

EK 15. BAY 16.059/1 Pozun Birim Fiyat Analizi Detayları

Analiz Format No :1	İNŞAAT İŞ KALEMLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİ				
İş Kalemi / İş Grubu No :	Analizin Adı :				Ölçü Birimi
16.059/1	BS.30 HAZIR BETON				M3
Poz No:	GİRDİLER ¹	Ölçü	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.027	VİBRATÖR (2,5 HP GÜÇ, 9-16 YD3/SAAT KAPASİTELİ)	AD	0,00001365	1.400,00	0,02
04.109	MAZOT (MOTORİN)	KG	0,01275	3,77	0,05
01.405	MAKİNİST YARDIMCISI	SA	0,05	4,80	0,24
04.045	BS.30 HAZIR BETON HARCİ	M3	1	82,50	82,50
04.031	SU	M3	0,4	4,58	1,83
01.501	DÜZ İŞÇİ (İNŞAAT İŞÇİSİ)	SA	0,3	4,25	1,28
01.015	BETONCU USTASI	SA	0,15	5,85	0,88
Karsız Toplam					86,80
% 25,000			Kar ve Genel Giderler		21,70
Toplam Tutar					108,50
Yıkılmış, elenmiş ve/veya kırılmış granülometrik agregası ile TS'ye uygun, projesinde öngörülen mukavemeti sağlayacak şekilde hazırlanmış B.... evsafındaki hazır beton harcının satın alınması, transmiksere yüklenmesi, döküm yerine beton pompası ile basılması, serilmesi, vibratör ile sıkıştırılması, gerektiğinde sulanması, soğuktan, sıcaktan ve diğer dış tesirlerden korunması, gerekli ve yeter sayıda deney için numune alınması ve gerekli deneylerin yapılması, her türlü işçilik, malzeme ve zayıatı, makina, araç, gereç ve laboratuvar giderleri, işyerindeki her türlü yatay ve düşey taşımalar, yükleme ve boşaltmalar ile müteahhit kârı ve genel giderler dahil yerinde dökülmüş 1 m³ beton fiyatı:					
ÖLÇÜ :					
Projedeki boyutlar üzerinden hesaplanır.					
NOT :					
1. İdarenin yazılı izni ile uygulanır.					
2. Hazır betonlar "TSEK" belgeli üreticilerden temin edilecektir.					
3. Hazır beton harcı içindeki çimento miktarlarının hesabında, Birim Fiyat Listesinin sonundaki Hazır Beton Harçlarına ait Çimento girdi					

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Mohammad Lemar ZALMAI
Uyruğu	Afganistan
Doğum tarihi, Yeri	26.04.1988 Kabul (Kabil)
Telefon	05066881030
E-mail	lemar_zalmai07@hotmail.com
Web adres	www.zalmaiconstruction.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı / Yüksek lisans	2015
Lisans	İ.Ü Mühendislik Fakültesi/İnşaat Mühendisliği bölümü	2012
Lise	İsteqlal Lisesi (Fransız Lisesi) Kabil	2006

Makaleler / Bildiriler

Time Cost Trade Off Optimization Using Harmony Search and Monte-Carlo Method. (ACE 2014)
