



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT PROJELERİNDE META-SEZGİSEL YAKLAŞIMLA
SÜRE-MALİYET-KALİTE OPTİMİZASYONU

Setenay IŞIKYILDIZ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Cemil AKÇAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

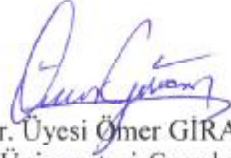
İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 16.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Dr. Öğr. Üyesi Cemil AKÇAY (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı DEMİR
Sakarya Üniversitesi
Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Henüz ders aşamasında iken uygulamalı optimizasyon dersini önererek hayata bakış açımın değişmesine vesile olan, değerli tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen saygı değer hocam Sayın Prof. Dr. Ekrem MANİSALI'ya, genetik algoritma konusunda bilgilerini her daim paylaşan, yardımları sayesinde çok yol katettiğim Sayın Hocam Araş. Gör. Dr. Osman Hürol TÜRKAKIN'a, en başından beri bana güvenerek cesaret veren, tezimin tüm aşamalarında destek ve değerli bilgilerini esirgemeyen saygı değer danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemil AKÇAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini hep hissettiğim sevgili aileme, yoğun çalışma hayatında yüksek lisans yapmama imkan tanıyan değerli yöneticim Sayın Osman ATAŞ'a, özellikle en az benim kadar emek sarfederek fedakarlıkta bulunan Canım Annem Ayşe ÖZBEK'e, uzun ve yorucu çalışmalarımı anlayışla karşılayarak annelerine destek olmak için tatil günlerinde bile benimle beraber ders çalışan Yavrularım Nefin ve Enes'e, yüksek lisans süreci boyunca desteğini ve anlayışını hiç esirgemeyen aynı zamanda meslektaşım olan Sevgili Eşim Mehmet Emre IŞIKYILDIZ'a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Temmuz 2019

Setenay IŞIKYILDIZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. PROBLEMİN TANIMI	1
1.2. TEZİN AMACI VE ÖNEMİ	1
1.3. TEZDE İZLENEN YOL	2
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. PROJE VE ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1.1. Proje Yaşam Döngüsü	6
2.2. PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİ.....	7
2.2.1. Çubuk Diyagramlar (Bar/ Gantt Charts)	7
2.2.2. CPM - Kritik Yol Yöntemi.....	9
2.2.2.1. Şebeke Çizimi	11
2.2.2.2. İleri-Geri Hesaplama Yöntemiyle Başlangıç ve Bitiş Zamanlarının Bulunması	12
2.2.3. PERT Yöntemi	13
2.2.4. Kutu Diyagramları	16
2.2.5. Denge ve Devre Diyagramları	17
2.3. GENETİK ALGORİTMA	18
2.3.1. Literatür Araştırması.....	18
2.4. OPTİMİZASYON.....	21
2.4.1. Optimizasyonun Tarihsel Serüveni	21
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	23
3.1. OPTİMİZASYON PROBLEMLERİ.....	23
3.1.1. Optimizasyon Problemi Formülasyonu	23

3.1.2.	Optimizasyon Problemlerinin Gruplandırılması	24
3.1.3.	Optimizasyon Problemlerinin Çözüm Şekli	25
3.1.3.1.	<i>Tek-Amaçlı Optimizasyon Problemi Çözüm Yöntemleri</i>	25
3.1.3.2.	<i>Çok-Amaçlı Optimizasyon Problemi Çözüm Yöntemleri</i>	28
3.1.3.3.	<i>Pareto Cephesi</i>	29
3.2.	SEZGİSEL METOTLAR	32
3.3.	META-SEZGİSEL METOTLAR.....	34
3.4.	GENETİK ALGORİTMA	36
3.4.1.	Genetik Algoritmanın Temel Kavramları.....	36
3.4.1.1.	<i>Kromozom (DNA Dizileri)</i>	36
3.4.1.2.	<i>Gen</i>	37
3.4.1.3.	<i>Toplum Büyüklüğü</i>	37
3.4.1.4.	<i>Uygunluk Değeri (fi) ve Uygunluk Fonksiyonu</i>	37
3.4.1.5.	<i>Uygun Olanların Seçilmesi</i>	37
3.4.2.	Genetik İşlemler ve Genetik Parametreler.....	41
3.4.2.1.	<i>Üreme</i>	42
3.4.2.2.	<i>Çaprazlama</i>	42
3.4.2.3.	<i>Mutasyon</i>	46
3.4.3.	Genetik Algoritmanın Sonlandırma Koşulu	48
3.4.4.	Genetik Algoritma Aşamaları ve Akış Şeması.....	50
3.4.4.1.	<i>Genetik Algoritma Aşamaları</i>	50
3.4.4.2.	<i>Genetik Algoritma Akış Şeması</i>	50
3.4.5.	Genetik Algoritmanın Avantajları ve Dezavantajları	51
3.4.6.	Genetik Algoritmanın Diğer Metotlarla Karşılaştırılması.....	52
3.4.7.	Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları	53
3.4.8.	Genetik Algoritmayı Kullanma Nedenleri	54
4.	BULGULAR	56
4.1.	MATEMATİKSEL MODEL VE UYGULAMA	56
4.1.1.	Probleme Ait Kalite Verileri.....	59
4.2.	PROBLEM ÇÖZÜMÜ	64
4.2.1.	Uygunluk Fonksiyonu Hesabı	65
4.2.2.	Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	65
4.3.	VAKA ÇALIŞMASI 1	67
4.3.1.	Uygulama Projesine Ait 50 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri	67

4.3.2.	Uygulama Projesine Ait 100 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri	70
4.3.3.	Uygulama Projesine Ait 500 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri	74
4.3.4.	Uygulama Projesine Ait 1000 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri	79
4.4.	VAKA ÇALIŞMASI 2	86
4.4.1.	Genetik Algoritma ile Çözüm.....	88
4.4.1.1.	<i>50 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri.....</i>	89
4.4.2.2.	<i>100 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri.....</i>	92
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	97
KAYNAKLAR.....		102
EKLER		106
EK 1.	MATLAB PROGRAM KODU	106
ÖZGEÇMİŞ		111

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Tezde izlenen yol.....	3
Şekil 2.1: Proje yaşam döngüsü (PMI, 2008).	7
Şekil 2.2: CPM örnek şebeke çizimi.....	13
Şekil 2.3: Pert faaliyet süreleri tahminleri.....	15
Şekil 2.4: Kutu diyagramı ifadeleri.....	16
Şekil 2.5: Kutu diyagramı ile CPM işlem tanımları gösterimi.	16
Şekil 2.6: Denge ve devre diyagram gösterimi.	17
Şekil 3.1: Tek amaçlı optimizasyon problemlerinin genel gruplandırılması (Collette ve Siarry, 2003).....	27
Şekil 3.2: Pareto optimal cephede arama hedefleri (Deb, 2001).....	30
Şekil 3.3: İdeal pareto çözümleri (Deb, 2001).	31
Şekil 3.4: Pareto cephesi gösterimi, baskılanan ve baskılanamayan çözümler (Afruzi, Roghanian, Nejafi, Mazinani, 2013).	32
Şekil 3.5: Tek noktalı çaprazlama işlemi.	43
Şekil 3.6: GA akış şeması.	51
Şekil 4.1: Vaka-1 için CPM şebekesi.....	58
Şekil 4.2: Uygulama projesine ait akış şeması.....	64
Şekil 4.3: Vaka-1'e ait 50 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet-süre grafiği.	68
Şekil 4.4: Vaka-1'e ait 50 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet grafiği.	68
Şekil 4.5: Vaka-1'e ait 50 popülasyonlu çözümün kalite-süre grafiği.....	69
Şekil 4.6: Vaka-1'e ait 50 popülasyonlu çözümün maliyet-süre grafiği.....	69
Şekil 4.7: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet-süre grafiği.	71
Şekil 4.8: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet grafiği.	71

Şekil 4.9: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün süre-maliyet grafiği.....	72
Şekil 4.10: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün kalite-süre grafiği.....	72
Şekil 4.11: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet-süre grafiği.	74
Şekil 4.12: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün süre-maliyet grafiği.....	75
Şekil 4.13: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet grafiği.	75
Şekil 4.14: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün kalite-süre grafiği.....	76
Şekil 4.15: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet-süre grafiği.	79
Şekil 4.16: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün maliyet-süre grafiği.....	80
Şekil 4.17: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün kalite-süre grafiği.....	80
Şekil 4.18: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet grafiği.	81
Şekil 4.19: Genel iş akıl diyagramı (İşçioğlu, 2011).	87
Şekil 4.20: Vaka-2 için CPM şebekesi.....	87
Şekil 4.21: Vaka-2' ye ait 50 popülasyonlu çözümün süre-maliyet-kalite grafiği.	89
Şekil 4.22: Vaka-2' ye ait 50 popülasyonlu çözümün süre-maliyet grafiği.....	90
Şekil 4.23: Vaka-2' ye ait 50 popülasyonlu çözümün süre-kalite grafiği.....	90
Şekil 4.24: Vaka-2' ye ait 50 popülasyonlu çözümün maliyet-kalite grafiği.	91
Şekil 4.25: Vaka-2' ye ait 100 popülasyonlu çözümün süre-maliyet-kalite grafiği.	93
Şekil 4.26: Vaka-2' ye ait 100 popülasyonlu çözümün süre-maliyet grafiği.....	93
Şekil 4.27: Vaka-2' ye ait 100 popülasyonlu çözümün süre-kalite grafiği.....	94
Şekil 4.28: Vaka-2' ye ait 100 popülasyonlu çözümün maliyet-kalite grafiği.	94

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Gantt diyagramı.....	8
Tablo 2.2: CPM öncelik tablosu.....	11
Tablo 3.1: Turnuva seçim yöntemine göre uyumlu kromozomların seçilmesi (Yeo ve Agvei, 1998).....	39
Tablo 3.2: Çaprazlama çeşitleri ve örnekleri (Bolat ve diğ., 2004).....	45
Tablo 3.3: Mutasyon çeşitleri ve örnekleri (Bolat ve diğ., 2004).....	47
Tablo 4.1: Vaka-1 için aktivite isimleri.....	56
Tablo 4.2: Vaka-1 için problem uygulama verileri 1-2.....	57
Tablo 4.3: Vaka-1 için problem uygulama verileri 2-2.....	57
Tablo 4.4: Vaka-1 için probleme ait kalite kriterleri.....	61
Tablo 4.5: Vaka-1 için asma tavan kalite bileşenleri.....	62
Tablo 4.6: Vaka-1 için probleme ait kalite veri tabanı.....	63
Tablo 4.7: Vaka-1 için birey genlerindeki süre matrisi.....	65
Tablo 4.8: Vaka-1 için birey genlerindeki maliyet matrisi 1-2.....	66
Tablo 4.9: Vaka-1 için birey genlerindeki maliyet matrisi 2-2.....	66
Tablo 4.10: Vaka-1 için birey genlerindeki kalite matrisi.....	66
Tablo 4.11: Vaka-1'e ait 50 popülasyonlu çözümün pareto değerleri.....	70
Tablo 4.12: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün pareto değerleri.....	73
Tablo 4.13: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 1-2.....	77
Tablo 4.14: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 2-2.....	78
Tablo 4.15: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 1-4.....	82
Tablo 4.16: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 2-4.....	83
Tablo 4.17: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 3-4.....	84

Tablo 4.18: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 4-4.	85
Tablo 4.19: Vaka-2 için aktivite isimleri.....	86
Tablo 4.20: Vaka-2 için problem uygulama alternatifleri.	88
Tablo 4.21: Vaka-2 için birey genlerindeki süre matrisi.	88
Tablo 4.22: Vaka-2 için birey genlerindeki maliyet matrisi.....	88
Tablo 4.23: Vaka-2 için birey genlerindeki kalite matrisi.....	89
Tablo 4.24: Vaka-2'ye ait 50 popülasyonlu çözümün pareto değerleri.....	92
Tablo 4.25: Vaka-2'ye ait 100 popülasyonlu çözümün pareto değerleri.....	95
Tablo 5.1: Vaka-1'e ait popülasyon değerlendirmeleri.	99
Tablo 5.2: Vaka-2'e ait popülasyon değerlendirmeleri.	100

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
t	: Faaliyet süresi
ES	: En erken başlangıç zamanı
LS	: En geç başlangıç zamanı
EF	: En erken sonlanma zamanı
LF	: En geç sonlanma zamanı
FF	: Serbest bolluk
TF	: Toplam bolluk
a	: En iyimser süre
b	: En kötümser süre
m	: En yüksek olasılıklı süre

Kısaltmalar	Açıklama
CPM	: Kritik yol yöntemi
PERT	: Program değerlendirme ve inceleme tekniği
HOF	: Hemen önceki faaliyet
GA	: Genetik algoritma
CSS	: Yüklü sistem araştırması
CBO	: Çarpışan gövde optimizasyonu
RICS	: Uzman ölçümcülerin asil enstitüsü
KKPÇ	: Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme
KKPÇP	: Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi
SGS	: Çizelge Oluşturma Şeması

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT PROJELERİNDE META-SEZGİSEL YAKLAŞIMLA SÜRE-MALİYET-KALİTE OPTİMİZASYONU

Setenay IŞIKYILDIZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Cemil AKÇAY

Projelerin başarıya ulaşması, belli bir zaman diliminde planlanan işlerin belirli bir finansman dahilinde hedeflenen kalite değerine ulaşılarak bitirilmesiyle mümkün olmaktadır. Aktivitelerin planlanan gün ve maliyette bitirilebilmesi projeler için büyük öneme sahip olmakla birlikte, kalite değeri de anılan iki etken kadar öneme sahiptir. Büyük projelerde aktivite sayıları ve aktivitelerin sahip olduğu alternatiflerin sayısı arttıkça projenin planlama aşaması daha önemli olmaktadır. Her bir aktivite ve aktivite alternatifleri için çok sayıda farklı proje süresi, proje maliyeti ve buna bağlı olarak kalite değerleri söz konusu olmaktadır. Alternatiflere göre proje süresi kısılırken, kullanılan ekipmanlar veya ekip sayısının artırılmasına bağlı olarak maliyet artabilmektedir. Benzer olarak, kalite arttığı zaman maliyet artarken, proje süresinin kısılması kaliteyi de menfi yönde etkilemektedir. Bu itibarla, bu üç etkenin etkileşimi kaçınılmaz olmaktadır. Projenin en kısa sürede, optimum maliyetle ve uygun kalite değerinde bitirilmesi amacıyla alternatifler içinden hedeflenen nitelikler kapsamında seçim yapılması gerekmektedir. Buna karşın, aktivite ve alternatifler çoğaldıkça insan eli ile tüm ihtimallerin değerlendirilmesi olanak dışı olmaktadır.

Sunulan çalışma kapsamında incelenen problem yapısı için çok amaçlı ve çok alternatifli bir optimizasyonun uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında sunulan optimizasyon; meta-sezgisel yöntemler ve genetik algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Çok amaçlı çok alternatifli genetik algoritma, incelenen problem yapısı için uygulanmış ve hedeflenen başarıya büyük oranda ulaşılmıştır. Tek bir çözüm yerine çözümler kümesi denilen pareto

görüntüleri elde edilerek proje şartları kapsamında istenilen alternatifin seçilmesi mümkün olmuştur. İki adet vaka, farklı popülasyon değerlerinin uygulanmasıyla çözümlenerek sonuçlar irdelenmiştir. Son olarak, literatürde yer alan ve bulanık mantık yöntemiyle elde edilen ikinci vakaya ait verilerin GA ile elde edilen verilerle kıyaslaması yapılmıştır.

Temmuz 2019, 124. sayfa.

Anahtar kelimeler: süre-maliyet-kalite optimizasyonu, meta sezgisel, genetik algoritma



SUMMARY

M.Sc. THESIS

TIME-COST-QUALITY OPTIMIZATION WITH META-HEURISTIC APPROACH IN CONSTRUCTION PROJECTS

Setenay IŞIKYILDIZ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cemil AKÇAY

The success of the prepared projects is possible by completing the planned works within a specified time frame by reaching the targeted quality value within a certain financing. While the completion of the activities on the planned duration and cost is of great importance for the projects, the quality value is as important as the two factors mentioned. The planning stage of the project becomes more important as the number of activities and the number of alternatives that the activities have increases in large projects. For each activity and activity alternatives, there are many different project times, project costs and accordingly quality values. According to the alternatives, while the duration of the project is shortened, the cost may increase depending on the number of equipment or teams used. Similarly, when increasing the quality, the cost increases, and the shortening of the project duration affects the quality negatively. Thereby, the interaction of these three factors is inevitable. In order to complete the project as soon as possible, at an optimum cost and at an appropriate quality value, alternatives must be selected within the scope of targeted qualities. However, as the activities and alternatives increase, it is impossible to evaluate all possibilities with the human hand.

In the scope of the presented study, it was concluded that a multi-purpose and multi-alternative optimization is appropriate for the problem structure examined. Optimization presented in the

study; meta-heuristic methods and genetic algorithms. The multipurpose multi-alternative genetic algorithm has been applied to the problem structure examined and the achievement of the target has been achieved to a great extent. Instead of a single solution, it was possible to select the desired alternative under the project conditions by obtaining pareto images called a set of solutions. Two cases were solved by applying different population values and the results were examined. Finally, the data of the second case obtained by fuzzy logic method in the literature were compared with those obtained with GA.

July 2019, 124. pages.

Keywords: time-cost-quality optimization, meta-heuristic, genetic algorithm



1. GİRİŞ

1.1.PROBLEMİN TANIMI

Bir projenin asıl amacı planlanan işleri istenilen zaman, maliyet ve kalitede bitirebilmektir. İnşaat projeleri belli bir düzen ve model içinde gerçekleşen yüzlerce aktiviteden oluşmaktadırlar. Bu aktiviteler birbirlerine bir sıraya göre bağlanmıştır. Her aktivitenin birden çok maliyet, zaman ve kalite alternatifi olabilmektedir. Proje ne kadar büyükse bu alternatifler arasında seçim yapmak da o kadar zor olmaktadır. Binlerce farklı zaman, maliyet ve kalite seçeneği çıkabilmektedir. Proje için ayrılan zaman ve kaynak miktarını öngörmek imkansız hale gelmektedir. En az süre, en az maliyet ve en yüksek kalitede uygulanmak istenen projeler için bu üç değeri de karşılayan bir nokta yoktur. Maliyet azalırken proje süresi uzayabilmekte veya kalite düşebilmektedir. Proje süresi kısalmışken kalitenin düşmemesi için maliyetin artması gerekmektedir. Bu kriterlerin hepsinin istenilen şekilde bulunması olanaksızdır. Bunun yerine projelerin özelliklerine göre proje yöneticisi tarafından bu özelliklerden birine ağırlık vermek istenebilmektedir. Bir projede yüzlerce aktivite ve buna bağlı her bir aktivite için farklı süre, maliyet ve kalite seçenekleri mevcut olmaktadır. Bunların arasından sağlıklı bir seçim yapmak oldukça zor olmaktadır. Algoritmalar sayesinde binlerce alternatif içinden istediğimiz sonuca ulaşmak mümkün olabilmektedir. Projelerin hangi özelliğinin daha çok önem taşıdığı belirlenerek buna göre proje ilerleyişi şekillendirilebilmektedir.

1.2. TEZİN AMACI VE ÖNEMİ

Bir inşaat projesi için 3 tane çok önemli etken vardır. Bunlar kalite, maliyet ve süre kavramlarıdır. Optimizasyon problemlerinden olan maliyet ve sürenin en aza indirilmesi için literatürde çok fazla sayıda çalışma yapılmış ve proje uygulamalarında faydası çokça görülmüştür. Bu tez kapsamında maliyet ve süre kavramına kalite de dahil edilerek optimizasyon problemi çözümü için genetik algoritma alternatifi uygulanmıştır.

2011 yılında İşçioğlu'nun yapmış olduğu çalışmada, bir konut projesine ait değişik proje süresi, maliyet ve kalite değerlerine sahip farklı yapım metotları için bulanık mantık sistemi uygulanarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

Zhang ve diğ. (2013) yaptıkları araştırmada birleştirilmiş bir optimizasyon modeli üzerinde çalışmışlardır. Süre-maliyet ve kalite-süre sistemine dayanan bir birleştirilmiş modeli uygulamışlardır.

Kaveh ve diğ. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarda CSS ve CBO uygulayarak süre-maliyet problemlerinin çözümünde kullanılması için yeni metasezgiseller geliştirmişlerdir.

2015 yılında Pathak ve Srivastava, süre ve maliyet optimizasyonu uygulamaları için bulanık ortamda proje planlayıcılarının kullanabileceği bir teknik geliştirmişlerdir.

Bingöl ve Polat 2015 yılında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, taşeron seçiminde süre, maliyet, kalite optimizasyonu için parçacık sürü optimizasyonunu uygulamışlardır.

Literatür incelendiğinde süre-maliyet optimizasyonuna dair çokça çalışmayla karşılaşılmaktadır fakat süre-maliyet-kalite değerleriyle çalışılan optimizasyon örnekleri kısıtlı kalmaktadır.

Bu tez kapsamında proje planlama, optimizasyon problemleri, meta-sezgiseller ve genetik algoritma incelenmiştir. Çok amaçlı çok alternatifli bir problem olan projelerde süre, maliyet ve kalite optimizasyonu için 2 tane vaka farklı popülasyon değerleri denenerek çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Vaka-2 daha önce bulanık mantık yöntemiyle çözülen bir tezden (İşçioğlu, 2011) alınıp GA ile farklı popülasyon değerleriyle çözülmüş ve bulanık mantık yöntemindeki sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

1.3. TEZDE İZLENEN YOL

Bu tez çalışmasında izlenen yol Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

1. Bölüm Giriş	Problemin tanımı ve tezin amacının anlatılması
2. Bölüm Genel Kısımlar	Proje, planlama teknikleri, genetik algoritma ve optimizasyon için literatür taraması
3. Bölüm Malzeme ve Yöntem	Optimizasyon problemleri, sezgisel metotlar, meta-sezgisel metotlar ve genetik algoritma işleyişi
4. Bölüm Bulgular	Çok amaçlı ve çok alternatifli iki vakanın GA ile farklı popülasyon değerleriyle çözümü
5. Bölüm Tartışma ve Sonuç	Vaka-1 için GA'da farklı popülasyon değerleriyle çözümlerin karşılaştırılması, daha önce bulanık mantıkla çözülen vaka-2'nin GA'da farklı popülasyon değerleriyle çözüm sonuçlarının ve bulanık mantık çözüm sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 1.1: Tezde izlenen yol.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. PROJE VE ÖZELLİKLERİ

Proje belirli bir süre içerisinde, birbiriyle ilişkili amaç ve hedeflere sahip olan, uygulanması sonucunda çeşitli ürünlerin elde edildiği bir çalışmadır.

Bir projenin istenilen kalite ve maliyetle planlanan zamanda başlaması ve bitmesi gereklidir. Proje kapsamı nettir. Projede kullanılacak kaynaklar daha önceden belirlenen proje süresine uygun olmalıdır. Projenin riskleri kontrol altında tutulmalıdır. Tüm bunlar için etkili bir planlama ve yönetim tekniği kullanılmalıdır.

Proje yönetimi uluslararası bir meslek kuruluşu olan RICS'in tanımına göre, işverenin isteklerini karşılayacak kalite, maliyet ve sürenin mümkün olabilmesi için projenin tüm aşamalarında planlama kontrolü olarak tanımlanır. Proje yönetimi ile ilgili literatürde bazı tanımlamalar yer almaktadır:

Proje yönetimi Tutunji (2010)'ye göre; belirli hedef ve amaçları karşılamak için belirli kapsam ve kısıtlar sınırlarında, projelerin nihayete ermesi için izleme, örgütlenme, planlama, kaynak denetleme ve kontroller bütünüdür.

Projelerin büyüklüğüne göre, projeleri kontrol altında tutma ve planlama becerisi, çok önemli bir durum olmaktadır. Proje yöneticisi, karşılaşılan sorunlarda karar verme ve problem çözme ve sürecini basitleştirmek adına önemli ve yoğun miktarda veriyi doğru ve vakit kaybetmeyecek bir şekilde kontrol altına alabilmek için, tam entegre bir kontrol ve bilgi sistemi geliştirmelidir. Proje yöneticisi, bu amaçlara ulaşmak adına, geniş bir araçlar setine ihtiyaç duymaktadır; organizasyon şemaları, iş alt kırılım yapıları, çubuk diyagramlar, kaynak histogramları ve nakit akış tabloları üretir (Burke, 2003).

Projelerin farklı tanımlamalarını etkin bir şekilde irdelemek Klein (2000)'a göre, daha kapsamlı bir perspektif olarak vuku bulmasını sağlamaktadır:

- Bütçe için ekipmanların ve insan kaynaklarının uygun şekilde kullanılması gerekir. Projeyi gerçekleştirmek için var olan kaynaklar kısıtlıdır.

- Projelerin uygulanması sırasında çeşitli belirsizlikler oluşabilmektedir. Bunların başında, kaynakların performansındaki değişiklik durumları, eksik veya hatalı verilerle beraber tecrübeden kaynaklı ileriye dönük olaylarda yeterli şekilde öngörülemeyen olaylar olabilmektedir.
- Projelerde, alt faaliyetin gerçekleştirilmesi gereken süreler sınırlandırılmıştır. İstenilen amaca ulaşıldığında proje son bulmaktadır.
- Projeler aynı zamanda yürütülen başka projelerle etkileşim halinde olabilmektedir. Bir projeyi tamamlayabilmek için farklı kurum ve kuruluşların çeşitli bölümlerinin işbirliği gerekebilmektedir.
- Bir projede alt faaliyetlerin gerçekleşmesi sırasında özenli bir koordinasyon oluşturmayı gerektirecek kadar karmaşık haller olabilmektedir. Her proje rutin değil kendi içinde benzersizdir.

Tutunji (2010)'e göre projelerin bazı genel özellikleri şöyledir:

- Projeler aşamalardan oluşmaktadırlar
- Projelerin sahip olduğu çeşitli amaç ve hedefleri vardır
- Projelerin zamana ve kaynağa dair kısıtlamaları mevcuttur
- Projelere bazı değerler biçilebilmektedir
- Projeler hayal ürünü değil gerçekçi olmak zorundadır
- Faaliyetler ve yönetim için oluşturulmuş gruplar bulunmaktadır

Projelere ait belli başlı temel özellikleri Burke (2003) şöyle belirtmektedir:

- Kendine has ve tekrarı olmayan aktivitelerden oluşması
- Projelerin bir başlangıç ve bitiş noktası olmakla beraber aralarında çeşitli etkileşimler bulunan proje yaşam döngüsüne sahip olması
- Belirli bir başlama ve bitiş noktası olması

- Sorumluluğun tek kişiye ait olması (örn. Proje yöneticisi)
- Değiştirilebilir ve geliştirilebilir ekibin oluşturulması, gerekli takım rollerinin tanımlanması
- Çeşitli bölümlerde bulunan ve koordinasyonla ihtiyaç duyulan kaynakların aktif edilmesi
- Bağlantılı bir nakit akışına sahip bütçe

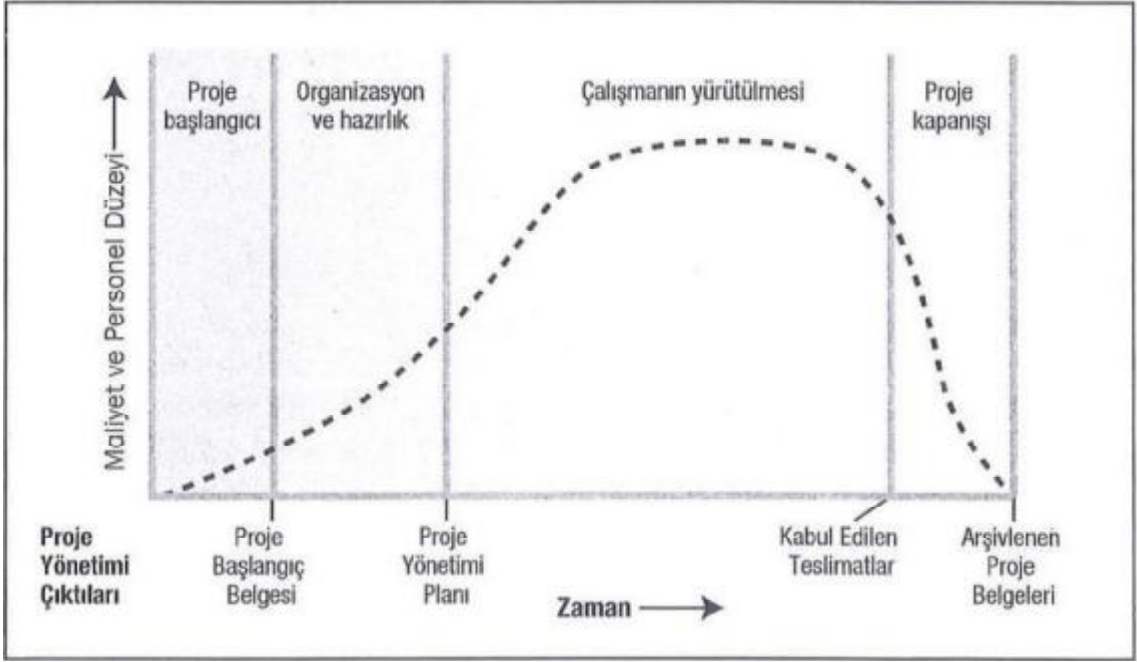
Projelerin sahip olduğu genel özellikleri ve karmaşık yapılarından dolayı, çok hassas ve özenle yönetilmesi gerekmektedir. Bu özellikler göstermektedir ki, projelerin yürütülmesi için kapsamlı yönetime ihtiyaç duymaktadırlar. Bir proje, başladığı günden itibaren proje sonuna kadar planlanmaya ve denetlenmeye ihtiyaç duymaktadır.

İnşaat projesi, isminden de anlaşıldığı üzere bir şeyi yapmak için, bina etmek için uygulanan projelerdir. Türk Dil Kurumu sözlüğünde inşaat kelimesi, yapım, yapma işi olarak yer almaktadır. Yapımı süren bina olarak da yazmaktadır sözlükte. Daha doğrusu bina yapım işleri olarak inşaat kelimesi dilimizde özdeşleşmiş olsa da, fiil kökü inşaadır (Yılmaz, 2018).

Projeye ait tüm ortakların projeden farklı beklentileri oluşmaktadır. İşveren için, beklediği kaliteye ait en uygun fiyat öncelik oluşturabilirken; yüklenici firma projeyi gerçekleştirdiği zamana ve maliyete önem vermektedir. Proje yönetimi bilgi ve tecrübeye dayanırken araç ve tekniklerin, gereksinim halinde uygun olarak kullanılması da önemlilik arz etmektedir. Projelerin amaçlanan sonuçlara ulaşabilmeleri için faaliyetlerinin planlanıp programlanarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

2.1.1. Proje Yaşam Döngüsü

Şirketler daha iyi bir yönetim için, projeleri bazı safhalara ayırmışlardır. Projeler kendine has ve karmaşık yapısı yüzünden bazı riskleri de bünyelerinde barındırmaktadır. Genelde projeler başlangıç aşamasından bitim aşamasına kadar benzer bölümlerden geçmektedir. İnşaat projelerinin hedeflenen zamanda ve planlanan kaynaklarla bitirilmesi rekabet açısından önemlidir. Bu şartlardan ötürü uygun proje planlama teknikleriyle etkin bir proje yönetimi kaçınılmaz olmaktadır.



Şekil 2.1: Proje yaşam döngüsü (PMI, 2008).

Proje yöneticileri, yapı projelerinde sınırlı bir zaman ve bütçe kısıtlaması dahilinde proje ilerlediği için bir denge kurmak zorundadırlar. Çoğunlukla projelerde kullanılan kaynakların kısıtlı olması sebebiyle faaliyet süre ve ilişkilerinde revizeler yapılarak denge oluşturulmaya çalışılmaktadır. Mesela bir faaliyette çalışan işçi sayısı çoğaldıkça faaliyet sürelerinin azalması, bununla paralel faaliyetlerdeki işçi sayısının düşmesi ile bu faaliyetlerin sürelerinin artması durumu meydana çıkmaktadır. Proje yöneticisinin almış olduğu kararlar neticesinde projenin durumunun etkilenmesi zaman maliyet optimizasyonunu önemli bir proje yönetimi haline getirmektedir.

2.2. PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİ

2.2.1. Çubuk Diyagramlar (Bar/ Gantt Charts)

Planlama tekniği olarak kullanılan ilk metot özelliğini taşımaktadır. Amerikalı bir mühendis olan Henry GANTT, 1900 yılında bu metodu geliştirmiştir. Yatay çubukların zamanı gösterdiği

Tablo 2.1’de Grant diyagramı gösterilmiştir.

Gantt diyagramları, dezavantajlarının yanı sıra kullanım kolaylığı ve basit oluşu sebebiyle sadece bazı küçük ve orta ölçekli projeler için kullanılabilirler.

2.2.2. CPM - Kritik Yol Yöntemi

Kritik yol yöntemi, projenin toplam süresini tahmin etmekte kullanılan 1957 yılında Remington Rand’dan J.E.Kelly ve Du Pont’dan M.R.Walker tarafından geliştirilen bir şebeke analizidir. Bu sistemin ilk geliştirilme amacı kimya fabrikalarında bakım için oluşacak durmaların programlanması ve projenin mümkün olan en kısa sürede sona ermesidir. Şebeke diyagramı üzerindeki kritik olan faaliyetlerin saptanması ve kaynakların bu kritik faaliyetlere yeniden atanması mantığına dayanmaktadır.

Bir projenin planlama ve denetimi için tüm bilgileri tek bir yerde toplayarak, projenin tamamlanması için gereken aktivitelerin sıra ve süreleri ile aralarındaki bağlantıları gösteren bir yönetim aracıdır.

Bir problemi tanımlarken faaliyetler arası ilişkiler organize edilmelidir. Aktiviteler arasındaki ilişkiler ve kaynaklar programın kısıtlarını oluşturmaktadır. Bir aktivitenin başlayabilmesi için kendinden önceki aktivitenin bitmiş olması gerekmektedir. Projelerde aktivitelerin sayısı çok olduğu için aralarındaki sıralama da karmaşıktır. CPM tekniği bu karmaşıklığı anlaşılır hale getirmektedir.

CPM’e ait bazı kavramlar şöyledir:

- Kritik Faaliyet : Tamamlanmasındaki herhangi bir gecikmenin tüm projenin bitişini geciktireceği faaliyet.
- Kritik Olmayan Faaliyet
- Faaliyet süresi : t
- Kritik Yol : Herhangi birisinin gecikmesinin tüm projeyi geciktireceği birbirine bağlı faaliyetler dizisi.
- En Erken Başlangıç Zamanı : ES

- En Geç Başlangıç Zamanı : LS
- En Erken Sonlanma Zamanı : EF
- En Geç Sonlanma Zamanı : LF
- Serbest bolluk : FF
- Toplam bolluk : TF

$$TF = LS - ES \quad FF = LF - EF \quad (2.1)$$

Eğer bir faaliyetin toplam bolluğu sıfır ise o faaliyetin ertelenmesi projenin bitiş zamanını öteleyecektir. Sıfır toplam boşluğa sahip bir faaliyet Kritik Faaliyettir. Başlangıç düğümünden bitiş düğümüne kadar tüm kritik faaliyetleri içeren yola Kritik Yol denmektedir.

Faaliyetlerin kritik olma şartları şu şekildedir:

1. Bir faaliyetin kritik faaliyet olabilmesi için başlangıç ve bitiş düğümlerinin her ikisinin de $ES=LS$ ve $EF=LF$ zamanları eşit olmalıdır
2. Kritik yol, başlangıç düğümünden başlar ve bitiş düğümünde biter. En az bir tane kritik yol bulunmaktadır
3. Kritik yol birden fazla olabilir
4. Kritik yolun uzunluğu yatırım süresini verir
5. Toplam bolluğu sıfır olan faaliyetler kritik faaliyetlerdir

Kritik olmayan faaliyetler, belirli zaman aralıkları içinde tamamlandığı takdirde yatırımın toplam süresini değiştirmeyen faaliyetlerdir. Bu tür faaliyetlere bolluğu olan faaliyetler denir

Bolluklar;

- 1- Faaliyetlerin kritik olup olmadığını ve esnekliğini hesaplamada,
- 2- Malzeme, ekipman ve gider gibi kaynakların en uygun bir biçimde kullanılmasına yardımcı olmadığında,

3- Optimum yatırım süresinin hesaplanmasında,

4- Faaliyet sürelerinin revize edilmesinde, ekip büyüklüğü veya ekip sayısının değiştirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

2.2.2.1. Şebeke Çizimi

İş programı oluşturulurken önce şebekenin önemli faaliyetlerini içine alan ana şebeke oluşturulur.

- Hangi işler (faaliyetler) bu faaliyetten bağımsız olarak yapılabilir ve bu faaliyetin başlamasından evvel bitirilmelidir?
- Hangi işler bu faaliyetle paralel olarak başlayabilir?
- Hangi işler bu faaliyetin bitiminden sonra başlamalıdır?

Tablo 2.2'de CPM'e ait bir öncelik şartları gösterilmektedir.

Tablo 2.2: CPM öncelik tablosu.

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

Bu üç sorunun yanıtı sıra ile tam olarak şebekede görünüyorsa, ana şebekedeki önemli faaliyetler kendi içinde parçalanarak kademe kademe daha detaylı şebekelere geçilir. Konuyu daha anlaşılabilir bir ifade ile belirtmek gerekirse;

- İşlerin bağımsız parçalara bölünmesi,

- Hangi faaliyetlerin birbirini izlediklerinin tespiti,

Faaliyetlerin kronolojik bir tarzda, aralarındaki bağıntı ve ilişkilerde göz önünde bulundurularak şemalandırılması gerekmektedir.

2.2.2.2. İleri-Geri Hesaplama Yöntemiyle Başlangıç ve Bitiş Zamanlarının Bulunması

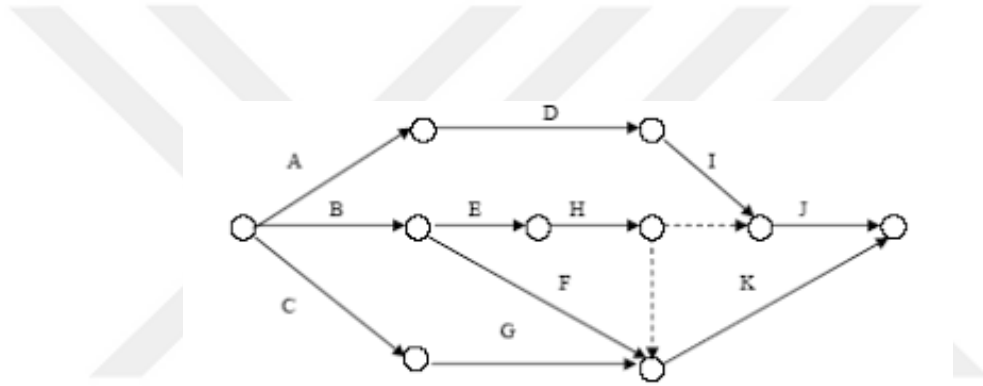
Faaliyetlere ait en erken başlama zamanı (ES), en geç başlama zamanı (LS) ve en erken bitiş zamanı (EF), en geç bitiş zamanı (LF) olmak üzere iki tane başlangıç ve iki bitiş zamanı mevcuttur. Şebekeye ait diyagram çiziminden sonra ileri geri hesaplamalar yapılarak başlama ve bitiş zamanları bulunmaktadır. Bu işlemler için sırası ile şu yöntemler uygulanır.

- İlk önce ileri hesap yöntemi uygulanır. Bu adımda ilk faaliyetten başlayarak en erken başlangıç ve en erken bitiş zamanı hesaplanır.
- Bir faaliyete ait birden fazla hemen önceki faaliyetleri mevcutsa, bu faaliyetlerden en büyük en erken bitiş zamanına sahip faaliyetin en erken bitiş zamanı, o faaliyetin en erken başlangıç zamanı olarak alınır. Bir faaliyetin başlama şartı kendisinden hemen önceki faaliyetlerin bitirilmiş olmasını gerektirmektedir.
- Bütün faaliyetlere ait en erken başlama zamanı ve en erken bitiş zamanının bu yöntemle bulunmasıyla ileri doğru hesaplama aşaması tamamlanır ve geriye doğru hesaplama aşamasına geçilmektedir.
- Son düğüme bağlı olan faaliyetlerden en büyük en erken bitiş süresine sahip faaliyet kritik faaliyet olmaktadır. Proje bitim zamanını göstermektedir. Son düğüme bağlanan bütün faaliyetlere ait en geç bitirme süresi, son düğüme bağlanan faaliyetlerden en büyük en erken bitirme zamanını oluşturmaktadır.
- Faaliyetlere ait en geç bitiş sürelerinden faaliyet süreleri çıkartılmak koşulu ile en geç başlama zamanları bulunmaktadır.
- Bir aktiviteden hemen sonra gelen birden fazla aktivite mevcutsa, bu aktivitelerin en geç bitiş zamanı, aktiviteden sonra gelen aktivitelerden en küçük en geç başlama zamanına sahip aktivitenin en geç başlama zamanı olarak hesaplanacaktır. Kendisinden sonra gelecek olan

aktivitelerin gecikme yaşamaması için en küçük değere sahip başlama zamanı dikkate alınarak işlem yapılmaktadır.

▪ Bütün aktivitelere ait ES, EF, LS, LF sürelerinin bulunmasıyla hesaplama bitmektedir. Bu hesap sonucunda aynı ES ve LS sürelerine sahip aktiviteler ile aynı EF ve LF sürelerine sahip aktivitelere kritik aktiviteler ve bu aktivitelerin oluşturduğu yola kritik yol denilmektedir. Kritik aktivitelere ait planlanan süreleriyle gerçekleşen sürelerinin birbirinden farklı değerler alması proje süresinde değişikliğe sebep olmaktadır.

Şekil 2.2’de örnek bir CPM şebeke çizimi görülmektedir.



Şekil 2.2: CPM örnek şebeke çizimi.

2.2.3. PERT Yöntemi

1950’li yılların sonuna doğru Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Yöntemi (Program Evaluation and Review Technique-PERT), Polaris füzelerinin geliştirilmesinde Amerikan donanmasının çalışmaları sonucu ortaya çıkmıştır. Füze programını gerçekleştirmek için Amerikan donanması ile birlikte bir ekip kurulmuş ve istatistiksel, matematiksel teknikler kullanarak projenin planlama, değerlendirme, kontrol safhaları üzerinde incelemeler yapılarak bu teknik geliştirilmiştir. Bu teknik sayesinde Polaris Projesi’ne 2 sene kazandırılmıştır. Türkiye ‘de Keban Barajı ve Boğaz Köprüsü projelerinde uygulanmıştır.

PERT, faaliyet süre tahminlerinde belirsizlik olması durumunda kullanılmaktadır.

PERT üretimdeki gecikmeleri ve aksamaları en az seviyeye indiren işin bütününe parçalarını eş zamanlayan, projelerin tamamlanmasını hızlandıran bir yöntemdir.

1956–1958 yıllarında birbirlerinden bağımsız olarak geliştirilmelerine rağmen pek çok ortak özellik taşıyan iki yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler “Program Değerlendirme ve İnceleme Tekniği (PERT)” ve “Kritik Yol Yöntemi (CPM)”dir. Her iki yöntem de programlanan işle ilgili faaliyetlerin bir ağ veya grafik üzerinde çizilmesi temeline dayanmaktadır. Her iki yöntem de sadece bir defaya mahsus uygulanacak uzun süreli projeleri programlamak için geliştirilmiştir. İki yöntem arasındaki en büyük fark, PERT tekniğinin faaliyetlerin zamanlarını iyimser, kötümser ve olası zaman tahminleri ile belirlenebilecek rasgele değişkenler olarak alması, CPM tekniğinde ise faaliyet zamanlarının belirlenebilir olduğunun kabul edilmiş olmasıdır.

CPM : Deterministik

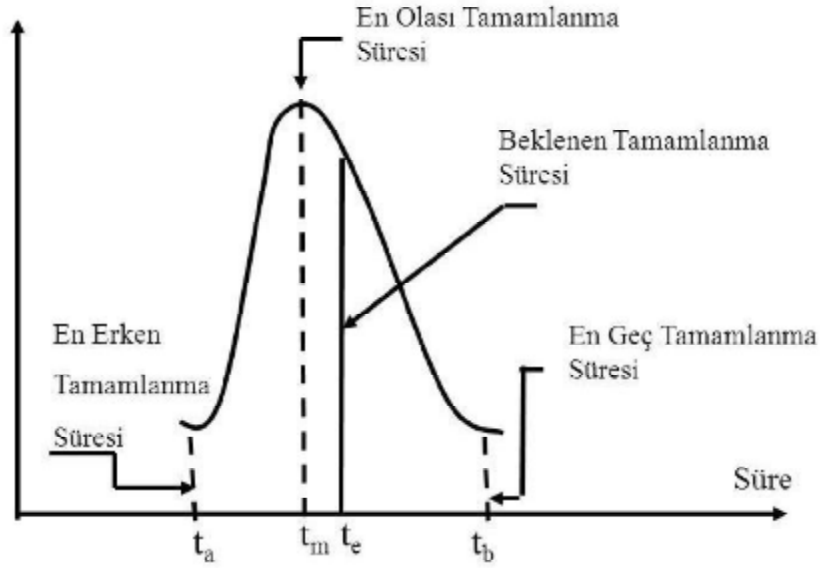
PERT : Rassal değişkene bağlı

CPM, faaliyet sürelerini deterministik (önceden belirlenmiş ve kesin) olarak kabul ederken, PERT bu sürelerin olasılıklı olduğunu kabul etmektedir.

CPM yönteminde faaliyetlerin süreleri kesin olarak bilinmektedir. Ama uygulamada bunu kesin olarak bilmek imkansız olmaktadır. Faaliyetlerin süreleri kesin olarak bilinmezse olasılıklı zamanlar oluşur. Bu durumda PERT uygulanır. PERT analizi geliştirilirken kesin bilinmeyen faaliyet süreleri bir olasılık dağılımı olarak varsayılmıştır. Kritik yola da olasılıklı kritik yol adı verilmiştir. Faaliyet süreleri 3 gruba ayrılmıştır.

1. En iyimser süre: Her şey istenildiği gibi gittiğinde faaliyetin en çabuk tamamlanacağı süredir. (a) ile gösterilir.
2. En kötümser süre: En kötü duruma göre faaliyetin bitirilme süresidir. (b) ile gösterilir.
3. En yüksek olasılıklı süre süre: Faaliyetin ortalama ne kadar sürede bitirilebileceğini gösteren süredir. (m) ile gösterilir.

Şekil 2.4’ de PERT faaliyet süreleri için tahmin eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.3: Pert faaliyet süreleri tahminleri.

Her faaliyetin beklenen süresi ve varyansı aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\text{Ortalama} = x = (a+4m+b)/6 \quad (2.2)$$

$$\text{Varyans} = s^2 = (b-a / 6)^2 \quad (2.3)$$

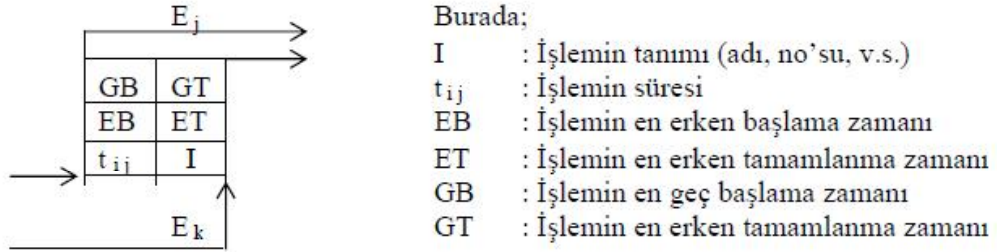
Varyans değeri büyükse belirsizlik derecesi büyük olur. Faaliyetin belirlenen sürede tamamlanması belirsizlik gösterir.

PERT her faaliyetin beklenen ortalama zamanını belirleyerek projedeki kritik yolu hesaplayabilmektedir. Projenin birçok yolu olabilir. Bu yollar içinde en yüksek beklenen ortalama zamanı ve varyansı veren yol kritik yoldur. Projenin beklenen süresi ve varyansı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

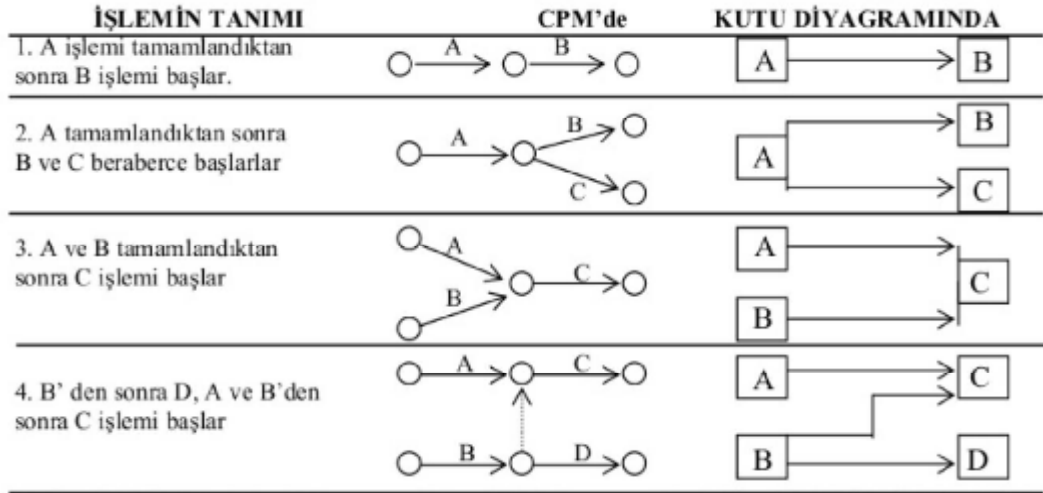
$$\mu = \sum x \text{ ve Varyans} = \sigma^2 = \sum s^2 \text{ dir.} \quad (2.4)$$

2.2.4. Kutu Diyagramları

Bir inşaat projesine ait planların takibinde CPM tekniği ile çok benzer bir yöntemdir. Kutu diyagramının ait bazı ifadeler Şekil.2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Kutu diyagramı ifadeleri.



Şekil 2.5: Kutu diyagramı ile CPM işlem tanımları gösterimi.

Kutu diyagramı ile CPM birbirine çok benzemekle beraber bazı gösterim farklılıkları vardır. Şekil 2.5'de bunlar kıyaslanmaktadır.

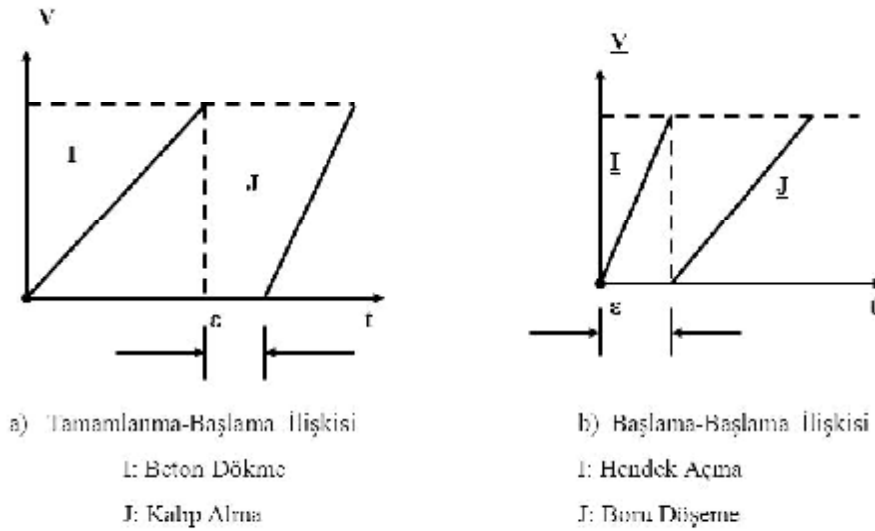
2.2.5. Denge ve Devre Diyagramları

Denge ve devre diyagramları, faaliyet sayıları az ve belirli zamanlarda tekrarlanan alışıla gelen işlemlere sahip projelerde uygulanmaktadır. Çoğunlukla baraj, demiryolu, toplu konut, baraj gibi projelerde kullanılmaktadırlar.

Tren istasyonlarında kullanılan hareket cetvellerine benzetilmektedirler. Yatayda iş süresi, düşeyde ise aynı birime sahip faaliyet miktarı gösterilmektedir. Bu teknik CPM ile birleştirilerek kullanılmaktadır.

Bu teknikte;

- x eksenini, işin süresini
- y eksenini, yapılacak işin miktarını
- İşlem doğrularının eğimi, faaliyetlerin hızlarını göstermektedir.



Şekil 2.6: Denge ve devre diyagram gösterimi.

Faaliyetler arasında ilişki bağlarının olması sayesinde ve iki boyutlu olması sebebiyle faaliyet çizgisinin eğimi ($V/t=\text{miktar/zaman}$) hesaplanarak faaliyetlerin gerçekleşme hızı tespit edilebilmektedir. Hız değişiminin zaman ve konumlarını bulunabilmektedir.

2.3. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemidir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü aramaktadırlar.

2.3.1. Literatür Araştırması

GA kullanımı ile alakalı literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Algoritmalar kullanılarak local veya global optimum sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

Genetik algoritma uygulanarak bir soruna dair sonuç oluşturma aşamasında ihtimal dahilindeki çözümler popülasyonu meydana getirmektedir. İmkân dahilinde ortaya çıkan çözümler sonradan doğal evrimsel ilerlemede karşımıza çıktığı gibi rekombinasyona ve mutasyona uğramaktadırlar. Bu olay nihayetinde evrimde gerçekleştiği şekliyle yeni bireyler meydana gelir ve bu oluşan bireylerle akış devam ederek yeni kuşakta yinelenmektedir. Olası her bir bireye bir uygunluk değeri verilerek uygun bulunan bireylere çiftleşme şansı daha fazla tanınmış olmakla beraber uyumlu çiftlerden oluşan çözümlerin çoğalması sağlanmaktadır. Bu süreç Darwin'ne ait olan en iyinin hayatta kalması ilkesine göre çalışmaktadır (Çizer, 2018).

Vanhoucke ve diğ. (2001); incelemelerinde, erken-geç ceza maliyetleriyle odaklanmış KKPÇP'leri ele almışlardır. Araştırmada tüm faaliyetlerin süresi, bir derece erken ve geç ceza maliyetleri ve yenilenebilir kaynak ihtiyaçları gibi değişkenlerin değişmediği düşünülmüştür. Deneyimin hedefi, odaklanmış erken-geç ceza maliyetlerini en aza indirerek projeyi çizelgelemektir. Özellikle tam zamanlı denemeler açısından problemin bu özellikler ile çizelgelenmesi, denemenin mahiyetini fazlalaştırmaktadır. Araştırmacılar oluşturdukları algoritmayı rastgele oluşturulan problem takımı üzerinde deneyerek etkili sonuçlara ulaşmışlardır.

Hartmann (2001), incelemesinde her faaliyeti çok aşamalı olan proje çizelgeleme problemini değerlendirmiş ve proje bitirme süresini en aza indirgeyen hedefi için bir algoritma

oluşturmuştur. Faaliyet listesi ve faaliyetlere atanan aşamalar esas alınarak genetik kodlama, oluşturulmuştur. Standart örnek problemlere ait testler yapan araştırmacılar, oluşturdukları algoritmanın farklı sezgisel metotlarla ulaşılan sonuçları geride bırakarak optimum proje bitirme zamanına çok yaklaşık sonuçlara ulaştığını gözlemlemiştir.

Wang ve Lu (2002), KKPÇP'lere yönelik oluşturdukları algoritmayı, literatürde rastlanılan karşılaştırmalı bir örnek üzerinde deneyerek incelemiştir. 20 faaliyetten oluşan örnek problemin proje tamamlanma süresi; kritik yol yöntemiyle veya kaynak limiti göz ardı edilerek, 32 gün olarak uygulanmıştır. Problemin çözümü, MS Project 2000 programı ile 49 gün olarak hesaplanırken, araştırmacılar kendi algoritmaları ile sonuca 46 gün olarak ulaşmışlardır. Algoritmanın çalışma süresi 2–3 saniyeden 6–7 saniyeye arttırıldığında proje bitirme süresi 43 gün olarak çözümlenmiştir.

Kılıç ve diğ. (2004), risk altında proje çizelgeleme problemine dair GA üzerine kurulu sezgisel çözüm yaklaşımlarını incelemiştir. Probleme her faaliyete ait tanımlanmış ve gerçekleştiğinde, sadece ait olduğu faaliyetlerin süresini etkileyen riskler yer almaktadır. Kaynak limitlerinin yer almadığı varsayılmış ve iki amacı en iyiye ulaştırmak için algoritma kullanılmıştır. Tahmin edilen proje süresini ve dört bileşenden oluşan beklenen toplam maliyeti en aza indirmek amacına ulaşılmaya çalışılmıştır. Genel giderler, işçilik maliyeti, risk azaltıcı önlemlerin maliyeti ve gecikme maliyeti, maliyet bileşenlerini oluşturmaktadır.

Artigues ve diğ. (2003), KKPÇP'leri statik ve dinamik bakımdan değerlendirmektedirler. Dinamik ortamdaki bir KKPÇP'nin, başlangıç konumunda mevzu bahis olan parametrelerdeki farklılaşmalarına uyum sağlayabilmesi hedefiyle yeni bir algoritma oluşturmuşlardır. Bu iki şekilde meydana gelmektedir. İlk olarak, farklılaşma olduğunda projenin yeniden çizelgelenmesi, ikinci olarak ise cari çizelgede değişimi yansıtarak kısmi farklılaşma uygulanmasıdır. Bu çalışmada değişim; beklenmeyen bir faaliyetin meydana gelmesi şeklinde ele alınmaktadır. Beklenmeyen bu faaliyetin, statik ve dinamik KKPÇP'lere, proje bitirme vaktini optimum hale getirecek şekilde eklemek için, ekleme tekniği oluşturmuşlardır.

Kolisch ve Hartmann (2005), değerlendirmelerini birlikte oluşturdukları ve yayınladıkları araştırmalarında, literatürde fazlaca bulunan KKPÇP'lere yönelik sezgisel yöntemleri özetlemek ve sınıflara ayırmayı benimsemiştir. Araştırmacılar, bundan böyle özetlenen ve sınıflandırılan sezgisel çalışma sonuçlarının, daha sonra yapılacak çalışmaların karşılaştırılması

ve irdelenmesinde kullanılarak nitelikli tartışmaların ve araştırmaların yapılmasına önayak olmaya çalışmaktadırlar.

Debels ve diğ. (2003), sezgisel incelemelerinde revize edilmiş rastgele anahtar temsilini kullanmışlardır. Faaliyetlerin öncüllük ilişkileri baz alınmadan uygulandığında, öncelik kuralları uygunluğunu sağlamak için, seri SGS kullanarak faaliyetlerin RK (random key-rastgele anahtar) değerini dizi sıra değerleri ile değiştirerek öncelik kıstasına uygunluğuna ulaşılmıştır. Literatürde j30, j60 ve j90 olarak isimlendirilen, 30, 60 ve 90 faaliyetli projeler değerlendirilmiştir. Algoritmanın, j30 problem kümesi için yerel çözümüne kısa zamanda ulaştığı gözlemlenmiştir. Daha büyük problemler kümesi olan j60 ve j90 problemleri için, diğer algoritmalarla kıyaslanabilir nitelikte sonuçlara ulaşılmıştır.

Kim ve diğ. (2005), çözümü zor problem olarak tanımlanan KKPCP'lerin çözümü için bulanık mantık denetleyicisi (fuzzy logic controller) ile birlikte melez bir GA belirtilmiştir. Problemin amaç fonksiyonu, proje bitirilme vaktini ve toplam geç kalma cezasını en küçüklemek olarak belirtilmiştir. Bu sebepten ötürü, probleme alışlageldik en iyileme (optimizasyon) metotları ile denemek fazlasıyla güç olacaktır. Bu çalışmada problem çözümüne dair belirtilen yeni yaklaşım, bulanık mantık denetleyicisi ile genetik operatörlerin belirlenmesi hedefine dayanmaktadır. İncelemeler neticesinde ulaşılan bulgular, bu varsayımın geleneksel GA ve uyarlanmış GA'lardan elde edilen sonuçlardan daha iyisine ulaşıldığını göstermektedir.

Ke ve Liu (2004); çalışmalarında proje çizelgeleme sorununu, faaliyetlerin stokastik faaliyet süreli olduğu ve her bir faaliyetin bitirilme sınırını aşmayacak olduğu varsayılarak değerlendirilmiştir. Değişik yönetim gereçlerini karşılayabilecek şekilde çizelgeleme problemini çözmek için, üç farklı stokastik metodu geliştirilmiştir. Benzetim ve GA modelleri birleştirilerek (integrated) melez ve akıllı bir algoritma (hybrid intelligent algorithm) oluşturulması denenmiştir. Algoritmanın etkinliğini belirtmek için bazı sayısal örnekler oluşturularak kullanılmıştır. Çalışma sonucu ulaşılan bulgular, melez ve akıllı algoritmanın proje çizelgeleme problemlerinde etkin bir metotla kullanılabileceğini göstermektedir.

Mendes ve diğ. (2005), çalışmalarında kromozomları herhangi bir şekilde anahtar ile gösterilmektedirler. Çizelgelenecek faaliyetler, sezgisel öncelik kuralları uygulanarak oluşturulmaktadır.

Debels ve Vanhoucke (2005), incelemelerinde GA'nın alışlageldik başlangıç toplumu yerine iki değişik başlangıç toplumu oluşturarak genetik işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Her iki toplum da seri SGS ile meydana gelmektedir. Toplumlardan biri ileriye doğru çizelgeleme, diğeri de geriye doğru çizelgeleme metodu uygulanarak oluşturulmuştur. Toplumlar, faaliyet listesi tarzında gösterilmektedir. Seri SGS ile çizelgeleme sırasında toplumun biri, diğeri toplumun bilgisinden faydalanarak değiştirilmektedir. İnceleme sonuçları, şu ana kadar uygulanan sezgisel algoritmalarla kıyaslandığında en iyisi olarak değerlendirilmektedir.

Mohammadi 2011 yılında yapmış olduğu çalışmasında, çok amaçlı genetik algoritma kullanarak süre-maliyet optimizasyonu ile aynı zamanda yerel pareto optimali arayan bir yöntem sunmuştur.

Issa ve Eid 2013 yılında gerçekleştirmiş oldukları incelemelerinde, genetik algoritma kullanarak bir inşaat projesinde uygulanmak üzere belirli bir süre kıstasına sahip olan, en düşük maliyetle değişik kalite değerlerine ulaşılabilen bir yöntem geliştirmişlerdir.

2.4. OPTİMİZASYON

Verilen amaç veya amaçlar doğrultusunda belirli kısıtlamalar dahilinde en uygun çözümün elde edilme sürecine optimizasyon denilmektedir.

Modelleme ve çözümlenme olmak üzere optimizasyon tabanında iki alt elemandan meydana gelmektedir. Reel dünyada karşımıza çıkan bir problemin matematiksel olarak ifade edilmesi modelleme olarak tanımlanmaktadır. Modele ait değişik metotlar kullanılarak en iyi çözüme ulaşmaya da çözümlenme denilmektedir (Kaya ve Fırlalı, 2016).

2.4.1. Optimizasyonun Tarihsel Serüveni

(Gottfried ve Joel, 1973), uygarlık tarihi boyunca bir işin en iyi yolunun seçilmesi hep önem arz etmiştir. Yunan tarihçi Herodotus, Nil nehrinin her yıl taşması sebebiyle Mısırlıların arazilerinin sınırlarını her sene tekrardan belirlediklerini ve yeni belirlenen sınırlara göre vergilendirmeleri tekrar düzenlemek için en iyi yolu araştırdıklarını belirtmiştir. Bu araştırmalar sonucu, düzlem geometrisinin asıl aracı olan ölçme ve karar verme kavramlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

(Roger, 1997), nil nehrinin bahar zamanında yıllık taşkınlarında Mısırlılar nehir kenarlarından toplu şekilde ayrılıp, suların çekilmesinden sonra kalabalık topluluklar şeklinde tekrar dönüyorlardı. Bu gel gitler hemen olmadığı için zaman gerekiyordu. Bu taşınma için halkın çok önceden hazırlanması gerekiyordu. Mısırlılar bu taşınmalar için en iyi zamanını hesaplayabilmek adına takvim icat etmişlerdir. Mısırlılar bu takvimi geometri ve sayma hakkında tecrübelerini değerlendirerek oluşturmuşlardır.

(Samuel ve Bodily, 1998), optimizasyon modelleri matematiksel teknikleri kullanmaktadır. Optimizasyon modelleme geleneksel olarak matematik programlama adıyla anılmaktadır.

(Gass, 2002), 1788'te, J. L. Lagrange'ın, Lagrange çarpanları metodunu bilim dünyasına kazandırması değerli bir ilerleme olmuştur. W. Karush'un sınırlandırılmış problemler için optimallik şartlarını hayata geçirmesi optimizasyon teorisinde 1939'da yeni bir gelişme olmuştur. Optimizasyon dünyası için 1942'de II. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri'nin Yöneylem Araştırması ekiplerini oluşturması bir dönüm noktası haline gelmiştir. 1943'de W. Mc Culloch ve W. Pitts tarafından sezgisel optimizasyon araçlarından yapay sinir ağları çalışılmıştır. Bir sonraki sene, J. Von Neumann ve O. Morgenstern Oyun Teorisi ve Ekonomik Davranış adlı çalışmalarıyla oyun kuramını tanıtmışlardır.

(Çetin, 2004), lineer programlama için 1984'te, N. Karmarkar alternatif bir çözüm algoritması olan iç nokta algoritmasını oluşturmuştur. Genetik algoritma 1992'de J.H. Holland tarafından bir sezgisel optimizasyon tekniği olarak oluşturulmuştur. Her gün artarak modern optimizasyon dünyasında önemli ilerlemeler olmakta ve bilimin dünyasına katkı sağlanmaktadır.

(Çetin, 2004), matematik programlama, optimizasyon modelinin oluşturulması ve sonucun elde edilmesiyle adlandırılan bir isimdir. Matematik programlama ve optimizasyon kavramları genellikle eş anlamlı olarak kullanılmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. OPTİMİZASYON PROBLEMLERİ

Hayatlarını devam ettirebilmek adına insanlar karşlarına çıkan sorunları model gibi algılayarak bu modelleri çözmeleri gerektiğinin farkına varmışlardır. Olağan hayatımızda uygulamakta olduğumuz bu yöntemler bilgisayar teknolojisinin ileri seviyelere gelmesiyle ve matematik bilimi ile etkileşimli olması nedeniyle bilim dünyasında yer bulmuştur. İlk önceleri matematiksel modeller doğrusal olup az değişken ihtiva ederken, bilimin gelişmesiyle beraber reel hayat sorunlarının daha karmaşık yapıya sahip olması sebebiyle doğrusal olmayan modeller oluşturulmuş ve bu modellerin çözümlenebilmesi için optimizasyon terimi oluşturulmuştur.

Bir sorun için belirli şartlar altında imkan dahilindeki seçenekler içinden en iyi olanını seçmeyi hedefleyen optimizasyon; bugünlerde rekabetin artması, teknolojinin hızla ilerlemesi ve ihtiyaç olan ortak kaynakların sınırlı hale gelmesi ile meydana çıkan karmaşık sistemlerin çözümünde klasik yöntemlerin uygulanma güçlüğü sebebiyle fazlasıyla önemli bir rol oynamaktadır.

En iyi sonuca ulaşmak anlamına gelen optimizasyonda amaçlanan hedefe optimizasyon teknikleri sayesinde ulaşılır. Optimizasyon teknikleri sayesinde çözümün en iyi çözüm olması hedeflenir ve bu sonuca “Optimum Çözüm” adı verilir.

Genel anlamda optimizasyonda istenen hedef maksimum karın ve minimum maliyetin elde edilmesi için üretim miktarını sınırlandırmaktadır. Endüstri kesimlerinde inşaattan, tekstile, mimarlıktan, otomotive birçok alanda optimizasyon uygulama alanları mevcuttur.

3.1.1. Optimizasyon Problemi Formülasyonu

Optimizasyon problemlerinde ilk önce karar parametreleri veya karar değişkenleri de denen tasarım parametreler setinin ifadelendirilmesi sağlanmalıdır. Parametrelere bağlı olarak amaç fonksiyonunu (maksimizasyon/minimizasyon) ve fonksiyonu sınırlayan kısıtlar oluşturulmaktadır. Eşitlik ve eşitsizlik biçimdeki kısıtlar formülasyon içerisinde bulunabileceği gibi, parametrelerin alamayacağı değerleri de ifade edebilmektedirler.

(Bhatti, 2000), maliyet fonksiyonu ile kısıtların matematiksel formülasyonu şu şekilde ifade edilmektedir:

n değişkenli $x = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ vektörü tanımlanırsa,

x_i : i. Parametrenin değerini

Maliyet fonksiyonu $f(x)$,

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.1)$$

$$h_j(x) = h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad 1 \leq j \leq p \quad (3.2)$$

biçiminde ifade edilen p tane eşitlik kısıtına ve

$$g_i(x) = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, \quad 1 \leq i \leq m \quad (3.3)$$

biçiminde ifade edilen m adet eşitsizlik kısıtını ihtiva edebilmektedir.

Optimizasyon problemlerinde şartları sağlayan, olabilecek tüm çözümlerin bulunduğu alan çözüm için araştırma yapılabilecek olan uygun çözüm alanı olarak düşünölmektedir. Bu alan dahilinde bulunan optimum çözüm amaç fonksiyonunu sağlayan en iyi değer olmaktadır.

3.1.2. Optimizasyon Problemlerinin Gruplandırılması

Collette, Y. ve Siarry, P., (2003), değişik optimizasyon problemlerini ihtiva ettikleri karakteristik özellik türlerine göre aşığıdaki gibi gruplandırmışlardır:

- Karar değişkeni türlerine göre 3'e ayrılmaktadır;
 - ✓ Birbirine bağlı olmayan nesnelere optimal olarak düzenlenmesi, sınıflandırılması, sıralanması ve tercih edilmesi problemi: Tam sayılı (tamsayı veya ayrık) optimizasyon problemleri
 - ✓ Tasarım değişkenlerinin ve parametrelerinin sahip olduğu değerlerin daimi olduğu problem: Sürekli gerçek sayılı (sürekli) optimizasyon problemleri
 - ✓ Sonu olan büyüklük sayılar setinin permütasyonları (kombinatoryal) optimizasyon problemleri
- Karar değişkeni sayısına göre 2'ye ayrılmaktadır;
 - ✓ Çok değişken ihtiva eden optimizasyon problemleri

- ✓ Tek değişken ihtiva eden optimizasyon problemleri
- Problem tipine göre 2'ye ayrılmaktadır;
 - ✓ Kısıtsız optimizasyon problemleri
 - ✓ Kısıtlı optimizasyon problemleri
- Amaç fonksiyonu türüne göre 3'e ayrılmaktadır;
 - ✓ Şayet optimizasyon problemi lineer amaç ve kısıt fonksiyonlarını ihtiva ederken bu kısıtlardan herhangi bir nonlinear ise problem: Karar değişkenlerine bağlı doğrusal olmayan programlama problemi
 - ✓ Şayet optimizasyon problemi lineer amaç ve kısıt fonksiyonlarını ihtiva ediyorsa problem: Karar değişkenlerine bağlı lineer programlama problemi
 - ✓ Karar değişkenlerine bağlı olarak ikinci dereceden denklem fonksiyonu

3.1.3. Optimizasyon Problemlerinin Çözüm Şekli

(Deb, K., 2004), optimizasyon problemi modelinin fiziksel yapısı şayet sadece bir adet amaç fonksiyonu ihtiva ediyorsa ve sonuç olarak tek bir optimum çözüm oluşuyorsa problem tek-amaçlı optimizasyon problemi şeklinde ifade edilmektedir. Amaç fonksiyon sayısı birden fazla ise ve sonuç olarak birden fazla optimum çözüm ortaya çıkaran problem ise çok amaçlı optimizasyon problemi şeklinde ifade edilmektedir. Gerçek hayatta karşımıza çıkan problemlerde genellikle birden fazla amaç fonksiyonu ihtiva edildiği için çok amaçlı optimizasyon problemi olmaktadır.

Optimizasyon problemlerini gruplandırđımız gibi bu problemlerin çözümleri için de çeşitli özelliklere sahip metotları da gruplandırmaktayız. Optimizasyon problemlerini tek-amaçlı ve çok-amaçlı optimizasyon problemleri için türetilmiş çözüm yöntemleri şeklinde gruplandırabiliriz.

3.1.3.1. Tek-Amaçlı Optimizasyon Problemi Çözüm Yöntemleri

Collette ve Siarry tarafından 2003 yılında optimizasyon problemleri için oluşturulan çözüm metotlarından tek amaçlı optimizasyon problemleri için çözüm metotları Şekil 3.1'de

gösterildiği hali ile kendi aralarında gruplandırılabilir. Tek amaçlı optimizasyon problemi çözüm yöntemlerinin gruplandırma şekli şöyledir:

Doğrusal olmayan metotlar: Global ve yerel olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Global: Meta sezgisel ve klasik olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılmaktadır;

- ✓ Meta sezgisel: Sonuca ulaşılabileceği varsayılan meta sezgisel yapı üzerinden çözüm oluşturulur.
- ✓ Klasik: Optimizasyon dahilinde kurulum algoritmaları konveks fonksiyon çalıştırıldığında global optimuma ulaşılmasına imkan sunmaktadır.

Yerel: Amaç fonksiyonuna göre türevli türevsiz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır;

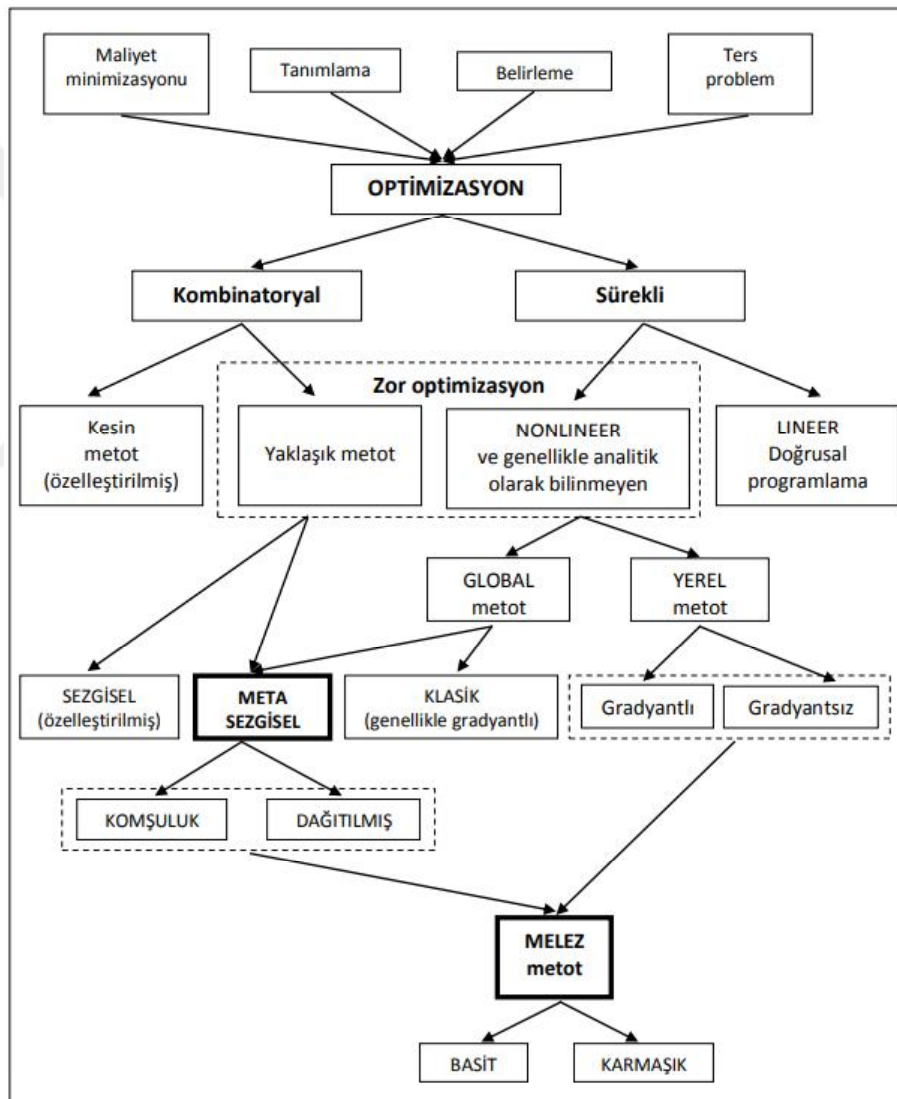
- ✓ Amaç fonksiyonu türevli: Optimuma ulaşılabilmesi için türevler kullanılmaktadır. Genelde sürekli optimizasyon problemlerine kullanılan bu metotlar, problem için her daim global optimuma ulaşmayı sağlayamayıp bazı durumlarda yerel optimumda kalmaktadırlar.
- ✓ Amaç fonksiyonu türevsiz: Farklı metotların birlikte kullanılması ile uygulanmaktadır.
 - Yapıcı metotlar: Yapıcı metotlarda çözüm için, bir değişkenin ardı sıra bir başka değişkene ait çözüm bulunması ile oluşturulabilir. Bu oluşum sırasında kullanıcının değişkenleri değiştirmesi engellenmektedir.
 - Stokastik metotlar: Stokastik metotlar rassal bir proses aslına dayanmaktadırlar.

Yaklaşık metotlar: Tek amaçlı optimizasyon problemleri için uygun çözüm tekniği sunan yaklaşık metotlar sezgisel ve meta sezgisel olarak ikiye ayrılmaktadırlar;

- ✓ Sezgisel metotlar: Sezgisel metotlar problemlerin tipine göre özel olarak bir çözümü hedefleyerek oluşturulmuşlardır. Hangi tipe ait problem için oluşturuldukları o problemi çözüm için uğraşmaktadırlar.
- ✓ Meta sezgisel metotlar: Meta sezgisel metotlar benzetilmiş tavlama algoritmasındaki metalin tavlama davranışına yakın bir şekilde doğal yaşamın bir kopyası gibi hareket edebilecek olan bir prensibi esas almaktadırlar. Meta sezgisel algoritmalar uygulandıkları her tür problem için fazlasıyla iyi sonuçlar elde edebilmektedirler.

Kesin metotlar: Bu metotlar çözüm uzayında global optimumu aramaktadırlar. Global optimumun muhakkak bulunabildiği çok sayıda problem için çözüm geliştirmektedirler. Araştırma uzayının fazla geniş olduğu problem tipleri için uygun kullanıma sahip değildir.

Şekil 3.1’de tek amaçlı optimizasyon problemlerinin genel gruplandırılmasına dair bir çizim gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Tek amaçlı optimizasyon problemlerinin genel gruplandırılması (Collette ve Siarry, 2003).

Tek amaçlı optimizasyon problemleri Şekil 3.1'e göre kombinatorial optimizasyon ve sürekli optimizasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kombinatorial optimizasyonun çözümünde zor problemlerle karşılaşıldığında problem için mümkün bir tarzda özelleştirilmiş yaklaşık metotlar uygulanmaktadır. Sürekli optimizasyonda ise problem tipleri doğrusal ve doğrusal olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal olmayan optimizasyonda pragmatik çözüm genellikle yerel metodu kullanmakta iken amaç fonksiyonunun türevleri ile çözüme varılmaktadır. Yerel minimumun çok fazla olduğu durumlarda bir çözüm prosedüründe global metot uygulanır ve klasik global optimizasyon metotlarına en iyi seçim olan meta sezgisel yöntem kullanılmaktadır.

Meta sezgiseller kendi içlerinde birim zamanda tek bir çözüm üreten komşuluk ilişkisine dayalı (tabu arama, benzetimli tavlama, ...vb) ve ayrıca tüm popülasyon dahilinde usta bir şekilde yönetilebilen paralel çözümler oluşturulan dağıtılmış temelli metotlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Son aşamada, herhangi bir meta sezgisel ile birleştirilerek bir yerel arama metodu ile beraber melez yapılar oluşturulabilmektedir.

3.1.3.2. Çok-Amaçlı Optimizasyon Problemi Çözüm Yöntemleri

(Atlas, 2008), çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözüm aşamalarında uygulanacak olan yöntemleri karar vericiden alınacak olan tercih bilgisi ve bu tercih bilgilerinin alınma zamanı esas olarak belirlemektedir. Bu gruplandırmaya bir de tercih bilgisinin hiç olmadığı durumlar ilave edildiğinde çok amaçlı optimizasyon problemleri için oluşturulan çözüm yöntemleri dörde bölünebilmektedir.

Sonsal tercih bilgisini kullanan yöntemler: Tercih aşamasının çözüm sürecinden sonra uygulandığı bu yaklaşımlarda, bir probleme ait tüm etkin çözümlere ulaşılmasını hedeflemektedir. Karar vericiye var olan tüm çözümlerin sunulduğu ve karar vericiden etkin çözümlerden birisini tercih etmesi istendiği bu metotlar çözüm seçeneklerinin çoğaltılmasıyla uğraşmaktadır. Çözümlerin karar vericinin tercihlerinden bağımsız olması en önemli avantajıdır. Algoritmalarının, çok fazla reel problemin bu metotla çözülmek için fazla büyük olması, karmaşık olması ve karar vericinin çok sayıda çözüm içinden tercih yapmak zorunda olması gibi dezavantajları da vardır. Çoklu meydana gelen yaklaşımlar, dinamik çok amaçlı programlama, çok amaçlı genetik algoritmalar, ulaşılabilir küme tekniği ve benzer doğrusal yaklaşımı çözüm aşamalarının sonunda tercih durumunu uygulayan metotlardır.

Önsel tercih bilgisini kullanan yöntemler: Çok amaçlı optimizasyon uygulamalarında en çok uygulanan metot, karar vericinin tercihlerini önceden belirlemesine bağlı olan bu metottur. Bu tarz tercih bilgisinin çözüm aşamasının başında belirtildiği yaklaşımlar sayesinde optimum çözümlere yaklaşmak veya ulaşmak daha kısa sürede ve daha kolay sağlanabilmektedir. Bu yöntemi kullanmanın en büyük dezavantajı belirsizlik durumunda tercih yapmak zorunda kalan bir kullanıcının tercih bilgisini belirlemede ortaya çıkan güçlük olabilmektedir. Önsel tercih bilgisini uygulayan metotlar: ağırlıklandırma tekniği, çok amaçlı ayrışım tekniği, doğrusal olmayan metot, bulanık mantık yöntemi, değer fonksiyonu, hedef programlama, , kabul edilebilirlik fonksiyonu, ardışık sıralama tekniği ve sınırlandırılmış amaçlar yöntemleridir.

Adımsal geliştirimli tercih bilgisini kullanan yöntemler: Tercih değerlerinin çözüm aşamalarıyla beraber uygulandığı metotlarda, kullanıcı çözümün tüm aşamalarında tercih yapabilmektedir. Şu demek oluyor ki çözüm prosesinde karar verici ve çözümün aşamaları daima etkileşim halinde bulunmaktadır. Bilgisayarın oluşturduğu aday çözümü kullanıcıya sunan bu metotlar şayet kullanıcı çözümü kabul ederse son bulmaktadır. Diğer halde karar verici çözümü beğenmezse bilgisayar kullanıcıya bir önceki çözümden daha iyi durumda bir çözüm oluşturmaktadır. Karar verici oluşan çözümü beğenene kadar veya daha iyi bir çözüme ulaşmaya kadar devam eden bu süreç çok amaçlı grafik teorisi, kısıtlama tekniği, hiyerarşik ayrıştırma tekniği, STEM tekniği, parametre uzayı araştırma tekniği, rassal arama tekniği, yerel geliştirme tekniği, vektör-şebeke tekniği, pareto sınırlı haritalar ve STEUER tekniğinden oluşmaktadır.

Tercih bilgisinin kullanılmadığı yöntemler: Karar vericiden tercih bilgisinin istenmediği bu yöntemlerde aslında kullanıcı veya problemi modelleyen tarafından üstü kapalı bir tercih dikte edilmektedir. Tercih bilgisinin istenmediği durumlar ideal uzaklık minimizasyonu metodu, maksimum etkinlik prensibi ve min-maks formülasyonu ve küresel ölçüt metodudur.

3.1.3.3. Pareto Cephesi

Genelde çok amaca sahip problemlerde, hedefler aralarında çakışmakta ve tüm hedefleri en iyi sonuca ulaştıran tek bir çözüm gerçekleşmemektedir. Bunun gibi zamanlarda, kullanıcının sonuçlar içinde yapacağı seçim önem arz etmekte olup, bütün çözüm uzayına hakim uygun sonuçlara erişilmesinde pareto optimal verimli bir şekilde çalıştırılabilmektedir. Çok amaçlı

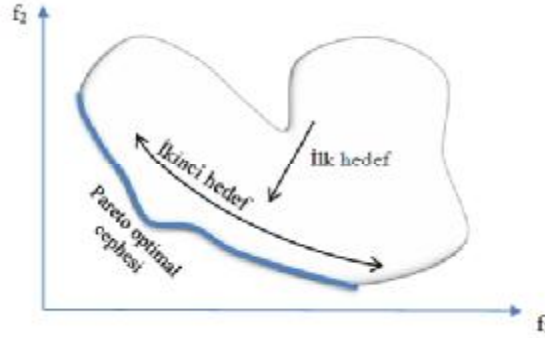
optimizasyon problemlerinde tavsiye edilen pareto optimal uygulanmasıdır (Kaya ve Fığlalı, 2016).

Birden daha fazla amaç fonksiyonunu ihtiva etmek ‘‘optimumluk’’ kavramını farklılaştırır, çünkü çok amaca hizmet etmek isteyen problemlerde hedef global optimizasyonda yer alan gibi tek bir çözüme erişmek değil, çözümler içinde ödünleşimi mümkün kılmaktır (Coello, Veldhuizen, Lamont, 2002).

Çok amaca sahip optimizasyonlarda birden fazla amaç bulunmaktadır;

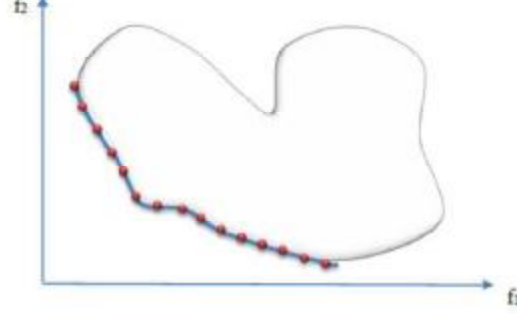
- Pareto optimal çözümlerine imkan dahilinde yakın çözümler bulmak
- Pareto cephesinde daha önce erişilmemiş elden geldiği kadar çeşitli çözümlere ulaşmak

İlk amaç pareto cephesine yönelik bir aramayı hedeflerken ikinci amaç Şekil 3.2’de gösterildiği gibi pareto optimal cephesince inceleme hedeflemektedir (Deb, 2001).



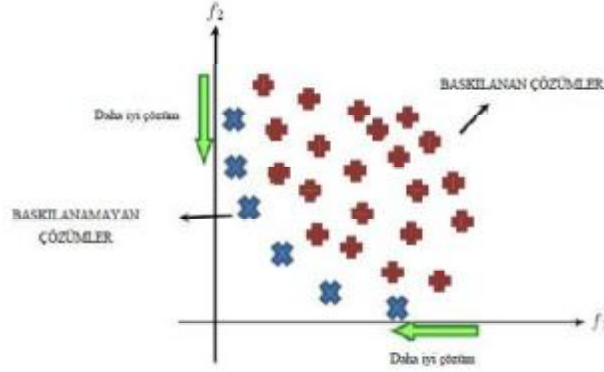
Şekil 3.2: Pareto optimal cephede arama hedefleri (Deb, 2001).

Çeşitlilik ihtiva eden bir çözüm kümesi tüm pareto yüzeyini tekdüze olacak şekilde kaplayan bir çözümleri ifade eder. Çeşitli olmanın derecesi, fazla çözümlerin yayılması ve çözümler arasındaki görece mesafe şeklinde olarak ayrılabilir (Zitzler, Deb, ve Thiele, 2000). Şekil 3.3’te istenilen bir pareto grafiği yer almaktadır.



Şekil 3.3: İdeal pareto çözümleri (Deb, 2001).

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin hedefi çoklu ve birbiriyle çelişen hedefler içinde en iyi ödünleşime ulaşmaktır. Bu tarz problemlerin bütün amaçlarını kapsayarak en iyi duruma ulaşmaya çalışan birden fazla çözüm mevcut olacaktır ve bu çözümler birbirine üstünlük kuramayacaktır. Bu sebepten ötürü optimum çözümde olduğu gibi tek bir en iyi sonuç tercih etmek imkan dahilinde olmamaktadır. Bu yüzden pareto cephesi şeklinde adlandırılan, diğer çözümlere göre üstün olan daha iyi çözümler grubu yapılabilmektedir. Uygun çözümler içerisinde pareto cephesinde bulunan çözümler, diğer çözümlerden baskı almayan çözümlerken diğer çözümlerin baskın geldiği ve elenmiş olan çözümler baskılanmış çözümler şeklinde nitelendirilmektedirler. Pareto optimal cephe yüzeyindeki hiçbir çözüm diğer çözümlere baskınlık gösteremediğinden, bu çözümlere ait amaç fonksiyonunun eşit düzeyde sağlandığı sayılmaktadır (Afshar, Kaveh ve Shoghli, 2007).



Şekil 3.4: Pareto cephesi gösterimi, baskılanan ve baskılanamayan çözümler (Afruzi, Roghanian, Nejafi, Mazinani, 2013).

Şekil 3.4’de f_1 için süre ve f_2 için maliyet dersek, aynı süreye denk gelen çözümler içinde en az maliyete sahip çözümlerin, aynı maliyete denk gelen çözümler içinde ise daha az süreye sahip çözümlerin diğer çözümlere göre baskın olduğu ve pareto çözümü şeklinde tanımlanabileceğini görmekteyiz. Pareto çözümlerinin arasında optimallik bakımından bir karşılaştırma ve üstünlük kurmak imkan dahilinde değildir. Projenin bitim süresi ya da nakit akışları dikkate alınarak inşaat projelerinde projeye ait bir gün ve maliyet tercih edilebilmektedir. Uygulanan proje ait seçilen süre ve maliyet çözümü optimum olarak kabul edilebilmektedir.

3.2. SEZGİSEL METOTLAR

Sezgisel metotlar çoğunlukla matematiksel titizliğe sahip olmayıp, yaklaşık hesap prensibine göre hareket etmektedirler. İyi çözümler sunmakla beraber optimaliteyi garantileyememektedirler. Sezgisel algoritmalar, herhangi bir hedefe ulaşmak veya bir amacı başarmak için doğal fenomenlerden esinlenen algoritmalarıdır. Bu algoritmaların, çözüm uzayında optimum çözüme yakınsamaları ispat edilememekle beraber kesin çözüme yakın bir çözüm garanti edebilmektedirler. Buna rağmen kesin çözümü garanti edememektedirler. Sezgisel yöntemler diğer yöntemlere göre daha az hesaplama süresiyle daha iyi çözümlere ulaşabilmektedir.

Sürekli Optimizasyon ve Sezgisel Teknikler: Ayrık optimizasyon problemlerine oranla daha kolay çözüme ulaşılabilen sürekli optimizasyon problemlerinin avantajı, çözümün komşularına daha kolay bir şekilde ulaşılabilmesiyle ortaya çıkan serbest hareket özelliğidir. Sürekli optimizasyonda iyi bir çözüme yakınsama olayı ayrık optimizasyon şartlarına göre daha kolay oluşmaktadır. Tüm bu özelliklere rağmen literatürde sürekli optimizasyon problemleri çok az sayıda incelenmiştir. Karınca kolonisi optimizasyonu ve tabu arama yöntemlerinin genel olarak sürekli optimizasyon problemlerinde kullanılmadığı bilinmektedir.

Ayrık Optimizasyon ve Sezgisel Teknikler: Bu problem tipleri çoğunlukla literatürde yer alan tabu arama, genetik algoritmalar, karınca kolonisi optimizasyonu, parçacık sürü optimizasyonu gibi sezgisel tekniklerle çözülebilmektedir. Sıralama, çizelgeleme, rotalama, programlama gibi örneklendirilebilen problemlerin hepsi ayrık optimizasyon problemleridir. Ayrık optimizasyon problemlerinde çözümün ne şekilde temsil edileceği ve çözümün komşu çözümünün tercih edilme sıkıntıları yaşanıyor olsa da bu problem türü ile yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Sezgisel yöntemler ikiye ayrılabilir;

Sezgisel algoritmaların optimizasyon problemlerinde uygulanmasının çeşitli nedenleri mevcuttur. Bunlardan bazıları şöyledir;

- Sezgisel algoritmalar anlaşılabilirlik bakımından kullanıcı açısından çok daha basit olabilmektedir
- Optimizasyon problemi, kesin çözüme ulaşma işleminin tanımlanmadığı bir sistemi ihtiva etmektedir
- Sezgisel algoritmalar öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olabilir
- Matematik formülleriyle oluşturulan tanımlamalarda çoğunlukla reel dünya problemlerinin en zor kısımları göz ardı edilebilmektedir
- Model parametrelerini belirleme sürecinde oluşturulan verinin hatalı olması sezgisel metotların üretebileceği alt optimal çözümden daha büyük yanıtlara neden olabilmektedir

3.3. META-SEZGİSEL METOTLAR

Meta sezgisel (üst-sezgisel) yöntemler çözüm uzayını etkili bir biçimde taramaya imkan verecek temel sezgisel yöntemleri birleştirmeye uğraşan yeni yaklaşık yöntemlerin oluşturulmasıdır. (Dorigo ve Stutzle, 2004), meta sezgiseller, arama uzayının yüksek kaliteli çözümlerini ihtiva eden alanlarında aramayı gerçekleştirmek için probleme has sezgisellere liderlik etmek sebebiyle oluşturulan genel amaçlı sezgisel yöntemlerdir. Üst sezgisel algoritmalar, sezgisel algoritmaların üstünde çalışan bir karar verme sistemidir. Diğer bir deyişle bir problem için üç farklı metot uygulayabileceğimizi ve bu metotların tümünün değişik amaçlardan avantajlı olan sezgisel algoritmalar olduğunu varsayalım. Bu sezgisel yöntemlerden hangisinin tercih edileceğinin karar verilmesine meta heuristic (sezgi üstü) algoritma adı verilmektedir.

Çeşitli alanlarda çözüm için çeşitli sayılarda fazlaca yöntemler oluşturulmuş ve bu yöntemler problem durumuna göre revize edilmiştir. Fakat bir problem için birden fazla olan çözüm metotları arasında tercih yapma durumuna bu sayede gerek kalmamış olmaktadır. Basit bir şekilde bir sezgi üstü algoritma var olan algoritmalar arasında tercih yapmakta ve en başarılı olanı uygulamaktadır. Hangi algoritmanın seçileceğine karar veren bu sistem genellikle istatistiksel bilgilere göre çalışmaktadır.

Meta sezgisel yöntemlerin bazı özellikleri şöyledir;

- Meta sezgisel yöntemler, probleme özgü özelliğe sahip değildirler
- Meta sezgisel yöntemler, arama aşamalarına rehberlik eden stratejilerdir
- İleri seviye meta sezgisel metotlar, arama boyunca ulaşılan bilgileri hafızasında tutarak kullanmaktadır
- Çeşitlendirme ile yoğunlaşma arasındaki dinamik dengeyi sağlamak meta sezgisel yöntemlerin en önemli özelliği olmaktadır
- Basit ve yerel arama algoritmaları dahil karmaşık öğrenme proseslerine kadar geniş bir alana sahip olmaktadırlar

- Meta sezgisel algoritmalar, yaklaşık özelliğe sahip algoritmalar ve çoğunlukla deterministik değillerdir
- Arama uzayındaki yerel en iyi tuzaklardan kurtulmak amacıyla değişik mekanizmaları kullanmaktadırlar
- Üst seviye stratejiler tarafından kontrol edilen sezgisellerde probleme has veri kullanımına müsaade etmektedirler
- Amaç, arama uzayını hızlı bir şekilde araştırarak en iyi ya da en iyiye yakın çözümlere ulaşabilmektir

Literatürde yer alan ve optimizasyon problemlerinin çözümünde genellikle kullanılan meta sezgisel teknikler tabu arama, karınca koloni optimizasyonu, genetik algoritma, yapay sinir ağları ve parçacık sürü optimizasyonudur. Çözüm buldukları optimizasyon probleminin türlerine göre bu yöntemler performans bakımından çeşitlilik göstermektedirler.

Meta-sezgiseller için farklı metotlar uygulanarak arama uzayının araştırılmasını sağlayan yüksek seviye stratejilerdir diyebiliriz. Mühendislik problemlerinde sıkça uygulanan sezgisel üstü yöntemler;

- ✓ parçacık sürü optimizasyonu
- ✓ karınca kolonisi algoritması
- ✓ genetik algoritma
- ✓ harmoni arama
- ✓ benzetilmiş tavlama algoritması
- ✓ yapay arı kolonisi
- ✓ ateş böceği algoritması v.s algoritmalarıdır.

Bu tezde genetik algoritma metodu incelenmiş ve probleme uygulanmıştır.

3.4. GENETİK ALGORİTMA

Bu tez kapsamında genetik algoritma kullanılmasının sebebi, genetik algoritmanın problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretmesidir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Bu da inşaat projelerinde bizim işimize yaramaktadır. Farklı yollar için farklı maliyetleri ve kalite değerlerini kıyaslamamıza yardımcı olmaktadır. Bu sayede istediğimiz sonuç için farklı verileri kullanmamızı sağlamaktadır.

Var olan kaynak limitleri çoğunlukla işçi, bütçe veya kaynakla ilgilidir. Birleşim sözcüğünün ifade ettiği sadece kısıtlı miktardaki opsiyonel sonucun varlığıdır. Kombinasyon optimizasyonu, güzel ifadelendirilmiş bir problemde bir ya da daha fazla optimal çözüme ulaşma çabasıdır. Pazarlama, üretim, stok kontrolü vb gibi birçok yönetim alanında bu tarz sorunlar meydana gelmektedir (Okul, Aksu, Orman, 2019).

3.4.1. Genetik Algoritmanın Temel Kavramları

Bu başlık içinde, GA'nın temel kavramları anlatılmaya çalışılmıştır.

3.4.1.1. Kromozom (DNA Dizileri)

GA, problemin çözüm (kromozom) seçeneklerini ihtiva eden çözüm kümesi ile başlatılmaktadır. Her bir kromozom, ifade ettiği çözüme dair verileri ihtiva etmektedir. Bu veriler bir dizi halinde kodlanmaktadır.

Verilerin anlam bütünlüğü içermesi bakımından, önceden belirlenen bir sisteme göre kodlamanın oluşturulması. GA'nın ilk zamanlardaki kullanımlarında, kromozom kodlamasının ikili sayı (binary) sistemine göre oluşturulduğu gözlemlenmektedir. İkili sayı sistemine göre uygulanan bir kromozomda, her bir bit, çözümün bir karakteristiğini ifade etmekte (Chan ve diğ., 2005) ve bilgisayar tarafından daha kolay ve seri bir biçimde işleme tabii tutulmaktadır (Kurt ve Semetay, 2001). Karar değişkenlerinin tamsayı veya reel değer aldığı problemlerde, ikili tetrikte kodlanan kromozomlarda bitlerden oluşmuş bir alt dizi, çözümün bir karakteristiğini ifade etmektedir.

3.4.1.2. Gen

Gen, bir bireyin kalıtsal hususiyetlerinden herhangi birini barındıran parçadır. Bu sebepten ötürü kalıtımın fiziksel ve işlevsel esası olmaktadır. Her gen, spesifik bir işlev barındıran kromozomların belli konumunda yer alan değerlerden oluşmaktadır.

Genlerin bir sıra şeklinde dizilmesiyle meydana gelen genler dizisine “kromozom” adı verilmektedir. Bu sayede bir kromozomda, problemdeki karar değişkenlerinin her birinin birlikte bir dizi şeklinde yer aldığı anlaşılmaktadır (Şen, 2004).

Algoritmanın başlangıç aşamasında, kromozomlara yerleştirilmesine karar verilen genlerin bulunduğu sıranın GA işlemleri sırasında kesinlikle değiştirilmemesi sağlanmalıdır.

3.4.1.3. Toplum Büyüklüğü

Tüm GA kullanıcıları tarafından toplum büyüklüğünün ne kadar olacağını saptamak, fazlasıyla değerli bir süreçtir. Toplum büyüklüğü, ya da farklı bir söyleyişle kromozom veya birey sayısı, GA'nın başarısını veya optimum sonuca ulaşım süresini etkileyen önemli faktörler arasındadır.

3.4.1.4. Uygunluk Değeri (f_i) ve Uygunluk Fonksiyonu

Var olan toplumda yer alan iyi karakterlere sahip kromozomların bir sonraki düzey için uygulanacak yeni topluma iletilmesi, belirlenen kriterlere bağlı olarak değerlendirilerek oluşturulmaktadır. Uygunluk fonksiyonu neticesinde oluşan uygunluk değeri GA'da f_i ile yapılmaktadır.

Birtakım incelemeciler, her bir kromozom için direkt bir uygunluk değeri belirlerken, bir kısmı da uygunluk değerini hesaplamak için bir fonksiyon kullanmaktadırlar (Chan ve diğ., 2005).

Toplumdaki tüm bireylere ait uygunluk verileri algoritmanın hazırlık sürecinde belirlenen uygunluk fonksiyonu ile geliştirilmektedir. Bu sayede f_i , f_n olmak üzere n adet uygunluk değeri n elemanlı toplum için hesaplanmaktadır.

3.4.1.5. Uygun Olanların Seçilmesi

En iyi uygunluk değerini ihtiva edenlerden bir kısmı başlangıç toplumundaki kromozomlar arasından, yeni topluma iletilmekte, bir kısmı da ebeveyn olarak tercih edilmektedir. Seçim

prensibi “yetenekli olanın hayatta kalması” ilkesine bağlı olarak uygulanmaktadır. Yeni toplumun geri kalan diğer kromozomları, ebeveyn olarak tercih edilen bireylerde kullanılan genetik işlemler ile geliştirilmektedir. Seçilme ve yeni topluma katılma şansı daha fazla olanlar uygunluk değeri en iyi olanlar olmaktadır.

Rulet çarkı, ilk olarak Holland tarafından meydana getirilmiş bir metottur. Toplumdaki bütün bireylerin uygunluk değeri, f_i olarak hesaplanmaktadır. Bireylere ait uygunluk değeri hepsini toplamak şartı ile toplumun uygunluk değeri ortaya çıkmaktadır. Bireyin seçilme olasılığı, her bireyin uygunluk değeri toplumdaki uygunluk değeriyle bölünmesiyle ortaya çıkmaktadır.

$$F_i = \frac{f_i}{\sum_j f_j}$$

(3.4)

Bireyler rulet çarkında, seçilme olasılıkları (F_i) değeri yer bulabilmektedirler. Bu sayede rulet çarkında yüksek olasılık değeri ile ifade edilen bireylerin tercih edilme ihtimalleri çoğalmaktadır. Bu nedenle, uygunluk değeri bireylerin seçilme ihtimalleri (F_i) olarak uygulanmaktadır.

Turnuva seçim yöntemi, basitliği ve uygunluğu bakımından en sık kullanılanıdır. Turnuva seçim metodunda, öncelik olarak toplumu meydana getiren kromozomlardan bir kısmı, belli özelliklere göre tercih edilmektedir. Daha sonra, bu kromozomlar kıyaslama yapılarak içlerinde uygunluk değeri fazla olan bir kromozom yeni topluma iletilmek için tercih edilmektedir. Bu sayede yeni meydana gelen toplum, bir önceki toplumda bulunan kötü bireylerinden temizlenmeye çalışmaktadır. Optimum çözüme hızlı ulaşması bakımından önemli bir metottur.

Turnuva seçim yönteminde, yerine koyarak veya yerine koymayarak gelişi güzel tercih edilerek t tane bireyden meydana getirilerek oluşturulan gruba turnuva genişliği denilmektedir

(Bolat ve diğ., 2004). Bu grupta yer alan en iyi birey yeni topluma iletilmektedir. Bu uygulama kullanıcı tarafından önceden belirlenen işlem adedi kadar tekrar yapılmaktadır.

Uygunluk değeri belirlenen ve gelişi güzel tercih edilen t adet bireye, 1 den başlamak suretiyle sıra numarası verilmektedir. Daha sonra, sıra numaralarının alt ve üst kısıtları dahilinde olmak üzere, rastgele sayılar oluşturulur. Tablo 3.1’de 1 ve 2. sütunlarda bulunan sıra numarası ve rastgele sayılardan faydalanarak oluşturulan iki bireyin uygunluk değerleri kıyaslanmakta ve en uyumlu olan birey tercih edilmektedir. Bu sayede bireylerin içinden en az uyumlu olanlar elenerek optimuma yaklaşım seri hale getirilmektedir.

Tablo 3.1: Turnuva seçim yöntemine göre uyumlu kromozomların seçilmesi (Yeo ve Agvei, 1998).

Sıra No	Rastgele Sayılar	Uygunluk Değeri (f_i - Maliyet)	Seçilenler
1	6	10222 \$	1
2	3	13667 \$	3
3	1	9886 \$	3
4	8	12443 \$	4
5	7	11563 \$	7
6	2	14788 \$	2
7	4	10587 \$	7
8	5	13213 \$	5

Örnekte de görüldüğü gibi, sıra no’ su 6 olan bireyin maliyeti en fazla olduğundan en uyumsuz bireydir. Sıra no’ su 3 olan birey ise en uyumlu olanıdır. 6 numaralı kromozom sadece kendisi ile kıyaslandığı durumda yaşama şansına sahip olacaktır. Benzer şekilde, 3 numaralı birey sadece kendisi ile kıyaslansaydı, sağ kalanlar arasında tekrarlı bir şekilde seçilemeyecekti. Buna rağmen 3 numaralı birey, turnuva seçim yöntemine göre yaşamını garantilemektedir. İkinci en uyumlu birey 1 numaralı kromozomdur. 1 numaralı birey, 3 numaralı ile kıyaslandığında daha az uyumlu olduğundan seçilemeyecektir. 2 no’ lu birey oldukça uyumsuz olmasına rağmen,

kendisinden daha uyumsuz olan 6 no' lu bireyle kıyaslandığından yaşama şansına sahip olmaktadır.

GA uygulamalarında sıklıkla uygulanan seçim yöntemlerinden hiçbiri şu ana kadar literatürde en iyi seçim taktiği olarak onay görmemektedir. Bu sebepten ötürü, bazı araştırmacıların çalışmalarında bu seçim stratejilerinden bir karma meydana getirdikleri görülmektedir. Mesela, çözümü zor (global optimum çözümü olmayan) optimizasyon problemlerinde, rulet çarkı ve elitist stratejinin bir arada kullanıldığı bir GA çalışması oluşturulmuştur (Nakamura ve diğ., 2005).

Türkakın ve Manisalı (2014) çalışmalarında büyük popülasyona sahip problemlerde kullanmak için orijinal rulet çarkından farklı olarak 2 farklı rulet çarkına sahip genetik algoritma denemişlerdir. Bunlardan birisi aynı klasik genetik algoritmadaki gibi çalışmakta iken ve diğeri ise zayıf olan kromozomları elemek için çalışmaktadır.

Birtakım GA incelemelerinde ise, uyumlu ve uyumsuz ebeveynlerinin tercih edilme şekliyle meydana getirilen yeni toplumlarda en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bu var olanlar haricinde, yeni metotlar üretilerek seçme işlemi ve seçilen ebeveynlerden meydana getirilecek yeni birey sayısı tanımlanmaktadır.

GA'nın yapısı sebebiyle, yeni topluma iletilen en iyi bireyler, toplumlar arasındaki değiş tokuşu göstermek sebebiyle belirli sayıda sabitlenmektedir. Toplum büyüklüğü sabit tutulan GA'larda, genetik işlemlerden faydalanılarak geliştirilecek birey sayısı, k;

$$k = \text{Toplum büyüklüğü (n)} - \text{aktarılan uyumlu birey sayısı} \quad (3.5)$$

kadardır.

Gelişi güzel ya da yukarıda bahsedildiği gibi seçim stratejileriyle oluşturulan ve eşlenen bireylerden (ebeveynlerden) k adet yeni birey meydana gelmektedir. Bu sayede, bir bireyin, tekrarlı bir biçimde ebeveyn oluşumuna olan faydası kontrol altında tutulabilmektedir. Bu hedefe ulaşmak amacıyla uygulanan metotlardan bir tanesi belirgin (deterministik) örnekleme tekniğidir. Diğeri ise uyumlu (iyi) ve uyumsuz (kötü) kromozomları eşlemek şeklindedir.

Pratikte bir takım çalışmalarda, N kromozoma sahip bir toplumda, uyumlu (iyi) ve uyumsuz (kötü) kromozomlar yarı yarıya ayrıştırılmaktadır. İyi ve kötü kromozom sayıları, N_{iyi} ve $N_{kötü}$ olmak üzere,

$$N_{iyi} = N_{kötü} = N/2 \quad (3.6)$$

olacak şekilde oluşturulmaktadır. GA çalışmalarında N_{iyi} sayısını, ilerleyen bölümlerde anlatılan çaprazlama oranına bağlı kalacak şekilde oluşturmak daha mantıklı olacaktır. Çaprazlama oranı, P_c ' ye bağlı olarak N_{iyi} sayısı,

$$N_{iyi} = P_c N \quad (3.7)$$

ile hesaplanmaktadır. Çaprazlama oranının $P_c = 0,50$ olacak biçimde iyi ve kötü kromozomların yarı yarıya bölündüğü görülmektedir (Haupt ve Haupt, 2004).

Toplumun daha iyi hale getirilmesi için, toplumun sahip olduğu bireylerin kendi içlerinde eşlenerek GA işlemlerinin gelişmesi güzel kullanılması gerekmektedir. Bu seviyede uygulanabilecek farklı yöntemler uygulanabilmektedir. Bu metotlardan bazıları şöyledir:

- N_{iyi} tane iyi kromozomları olduğu hali ile bırakmak ve $N_{kötü}$ tane kötü kromozomlar içinden gelişmesi güzel seçerek eşleşme yapmak.
- Bu tarz ayrımlara girmeden kromozomlar içinden sıralı eşleşme yapmak (Şen, 2004).

Yukarıda yer almayan ve uygulamaya dair geliştirilmiş olan daha çeşitli sezgisel metotlar da kromozomların eşlenmesinde uygulanabilmektedir.

3.4.2. Genetik İşlemler ve Genetik Parametreler

Her bir yeni toplum meydana getirme döneminin başında, algoritmanın üzerinde genetik işlemler oluşturacağı kromozomlar belirlenmektedir. Bu sebepten ötürü seçme olayı, GA uygulamalarında önemli bir yer edinmektedir.

Problemlerin çoğunun çözümünde iyi sonuçlara ulaşan GA, üç asıl genetik işlemin kullanılmasıyla neticelendirilmektedir. Bu işlemler üreme, çaprazlama ve mutasyondur. Yeni toplumun meydana getirilmesi, uyumlu kromozomların iyi özelliklerini oluşturulan topluma iletilmesi, toplumların bir öncekilerden değiştirilerek ve çözüm uzayında değişik noktalara

ulaşılması hedefiyle oluşturulan işlemler; GA'ların vazgeçilemeyecek parçaları olan genetik işlemlerdir. Bu hedeflere ulaşmak için, seçilen ebeveyn kromozomlara ve bu kromozomlardan elde edilen yeni kromozomlara bu işlemler uygulanmaktadır.

Genetik işlemler, genetik parametre olarak tanımlanan, toplum büyüklüğü, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı biçiminde dizilebilen parametrelerden fazla şekilde etkilenebilmektedir. Genetik parametreler, genetik işlemler için bir kısıt belirleme niteliğine sahiptirler. Bu sebeple genetik parametreler genetik işlemlerin etkin olmasıyla alakalı olarak büyük etkiye sahiptirler.

3.4.2.1. Üreme

Uygunluk prensiplerine sahip bir kromozomun niteliklerinin, yeni jenerasyona iletilmesine olanak sağlayan işleme üreme denilmektedir. Uygun olarak belirlenen kromozom çifti, yeni toplumun bir ve ya daha fazla sayıda kromozomunun meydana gelmesine imkan tanıyabilmektedir. Ebeveyn olarak isimlendirilen bu kromozom çiftinin nitelikleri, üreme neticesinde yeni topluma iletmeye uğraşmaktadır. Üreme işleminden sonra yeni kromozomlar üzerinde sürekli bir biçimde işlem yapılmaması ve yeni oluşan toplumda yeni bireylerin ebeveynlerinin birer kopyası olmasını engel olmak için çaprazlama ve gerekli durumlarda mutasyon işlemleri yapılmaktadır.

3.4.2.2. Çaprazlama

Çaprazlama, biyolojik evrimsel süreçte olduğu gibi, ebeveynlerde var olan genlerin yeni oluşturulan bireylere iletilmesidir (Kurt ve Semetay, 2005; Bolat ve diğ., 2004). Olay, ebeveyn olarak belirlenen kromozomlar üzerinde gelişi güzel belirlenen konum veya konumlarda, verilerin çapraz bir biçimde yer değiştirilmesi şekliyle oluşmaktadır. Bu sayede ebeveynlere ait genlerin yeni bireylere (çocuklara) aktarılarak kalıtsallaştırılması sağlanmakta, kromozomlar içindeki genetik veri daimi olarak güncellenmektedir.

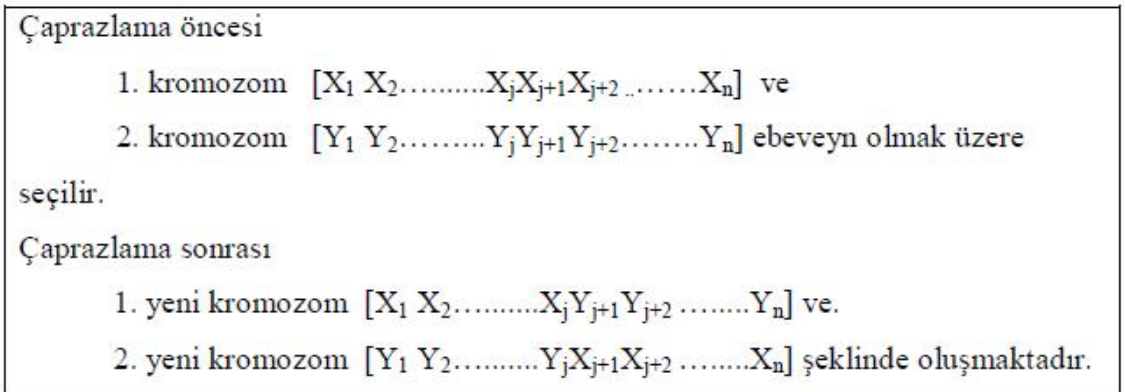
Çaprazlama işlemi, toplumda var olan kromozomların belirli bir kısmına uygulanmaktadır. Çaprazlama oranı adı verilen bu oran, algoritmanın başlangıç aşamasında veya her yeni toplumu geliştirmeden önce tanımlanmaktadır. Bu sayede belirlenen ebeveyn kromozomlar, çaprazlama oranı düzeyinde yeni bireyler geliştirmek için çaprazlanmaktadır.

Çaprazlama oranının düşük olacak şekilde tanımlanması durumunda ise, değişime maruz kalacak kromozom sayısı azalacak ve bunun sonucunda algoritma yavaşlayarak çözüme ulaşması zaman alacaktır.

Çaprazlama oranının yüksek belirlenmesi, toplumda değişime maruz kalan kromozom sayısının fazlalaşacağını başka bir tabirle, yeni kromozom sayısının çoğalacağını ifade etmektedir (Kahvecioğlu, 2004). Gerektiğinden fazla olarak tanımlandığı zamanlarda, hali hazırda toplumda var olan iyi kromozomların bir sonraki topluma iletilmemesi riskini taşıdığı bilinmektedir.

Toplumda N tane üye mensubu varsa, Pc çaprazlama oranını göstermek üzere, PcN tane üye çaprazlama için belirlenmelidir (Şen, 2004). Bu üyelerin belirlenmeleri, tüm üyelerin içerisinde gelişmiş güzel bir biçimde oluşturulabileceği gibi, uyumluların tercih edilme metotları (elitist strateji, rulet çarkı gibi) uygulanarak da olabilmektedir.

Çaprazlama işlemi ebeveyn olarak belirlenen iki kromozomun, çaprazlama konumundan başlayarak kromozomdaki karakter veya karakterleri yer değişikliğinde bulunabilmektedir. Bu sayede ebeveynin genlerinden meydana gelen iki yeni birey oluşturulmaktadır. Şekil 3.5'te verilen çaprazlama örneği, j konumunda tek noktalı çaprazlamayı göstermektedir.



Şekil 3.5: Tek noktalı çaprazlama işlemi.

Problemin türüne göre uygulanması gereken dört değişik çaprazlama operatörü bulunmaktadır (Bolat ve diğ., 2004) :

- Tek noktalı çaprazlama
- İki noktalı çaprazlama
- Çok noktalı çaprazlama
- Tekdüze (Uniform) çaprazlama

Tek noktalı çaprazlamada, gelişi güzel belirlenen kromozom çiftinde, çaprazlama yapılacak alan rastgele belirlenerek çaprazlama uygulanmalıdır.

İki noktalı çaprazlamada, kromozom eşleri iki değişik bölgeden kesilerek üç parçaya bölünmektedir. Parçalara karşılıklı olacak şekilde yer değişikliği yapılarak çaprazlama uygulanmaktadır. Çaprazlama tek bir parçaya yapılırsa iki yeni kromozom elde edilmektedir. Rastgele seçilen iki parçaya yapılırsa, dört yeni kromozom oluşmaktadır. Çaprazlama üç parçaya da yapılırsa altı yeni kromozom oluşmuş olmaktadır.

Çok noktalı çaprazlama yöntemi ise, iki nokta çaprazlama mantığıyla çalışmaktadır. Daha fazla nokta bulunduğu için kromozomlar daha fazla parçalara bölünmektedir. Parçalar, çiftler arasında karşılıklı olacak şekilde değiştirilerek yeni kromozomlar oluşturulmaktadır. Bu çaprazlama metodunda da çok sayıda yeni kromozom oluşturulabilmektedir. Eğer parça adedi n tane ise, n^2 kadar yeni kromozom oluşturulabilmektedir (Şen, 2004).

Çok noktalı çaprazlama yöntemleri sayesinde oluşturulabilecek kromozomların hepsini oluşturmak veya kullanmak mecburiyeti yoktur. Bazıları, gelişi güzel bir belirlemeyle yeni topluma iletilebilmektedir veya sadece, kromozomlar arasında oluşturulan sayıda parçalara çaprazlama yapılarak, yeni meydana gelen birey sayısı kontrol altında tutulabilmektedir.

Tekdüze (Uniform) çaprazlama sistemi, kromozomda gelişi güzel belirlenen bitlerin karşılıklı olmak üzere yer değiştirmesi kriterine dayanmaktadır. Gelişi güzel değişimi oluşturmak amacıyla, kromozomların bit sayısına eşit uzunlukta çaprazlama maskesi uygulanmaktadır. Maske, ikili sayı sisteminde gelişi güzel bir şekilde meydana getirilen bir dizi olmaktadır. Tekdüze çaprazlama, çaprazlama maskesinin alakalı geni yerine, birinci ve ikinci kromozoma

denk düşen genlerin kopyalanması sistemiyle oluşmaktadır. Tekdüze çaprazlamada birinci kromozom, maskede 1 kodunun olduğu alana, 1. Kromozomda karşılık bulan gen kopyalanırken; 0 (sıfır) kodu olduğu alana ikinci kromozomdaki karşılığı kopyalanarak yapılmaktadır. İkinci kromozom da aynı biçimde yapılmaktadır. Bu kromozom için, maskedeki 1'lerin yerine ikinci kromozomdan, sıfırların yerlerine de birinci kromozomdaki karşılıkları getirilerek oluşturulmaktadır (Bolat ve diğ., 2004).

Tekdüze çaprazlama yöntemi, yeni geliştirilen kromozomlardaki tüm genlerin, ebeveyn kromozomlardan taşınma ihtimali denkliliği kriterine göre oluşmaktadır. İkili sayı sisteminde ve tekdüze çaprazlama metodunda yapılan maske yerine, 0–1 arasında gelişmiş güzel ihtimal değerlerinden gelişen diziler uygulanabilmektedir. Çaprazlamayla yapılan kromozomun geni, olasılık değeri 0,5'ten düşük ise anneden, 0,5'ten büyük ise babadan gelmektedir.

Bahsedilen çaprazlama operatörleri, Tablo 3.2'de örneklendirilmiştir.

Tablo 3.2: Çaprazlama çeşitleri ve örnekleri (Bolat ve diğ., 2004).

Çaprazlama öncesi seçilen kromozomlar:			
1.kromozom : [0010101100]			
2.kromozom : [0111110000]			
Çaprazlama çeşitlerine göre oluşan kromozomlar:			
Tek noktalı çaprazlama	İki noktalı çaprazlama	Çok noktalı çaprazlama	Tekdüze çaprazlama maske: [0011011000]
[0010100000]	[0011111100]	[0011010000]	[0011110100]
[0111111100]	[0110100000]	[0110111100]	[0110101000]

Yapılan incelemelerde, tekdüze çaprazlama yönteminin tek ve iki noktalı çaprazlamadan daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. İki noktalı çaprazlamanın da tek noktalı çaprazlamaya göre daha etkili çalıştığı gözlemlenmiştir (Haupt ve Haupt, 2004). Tekdüze çaprazlamanın öteki çaprazlama yöntemlerini kapsayan genel bir durumu olması bunda etken rol oynamaktadır.

3.4.2.3. Mutasyon

GA'da uygulanan mutasyon, doğal genetik mutasyon fikrine dayanarak meydana gelmiştir. Kromozomların başkalaştırılması veya değiştirilmesi için yapılan bir operatördür (Chan ve diğ., 2005). Çaprazlama işlemiyle oluşturulamayacak değişiklikleri yapmak hedefiyle oluşturulmaktadır. Bu sayede ebeveynlerden meydana gelen bireylerin, daha önceki bireyleri temsil etmesinin önüne geçilerek, çözüme daha seri bir biçimde ulaşma imkânı mümkün olabilmektedir (Kurt ve Semetay, 2001).

Problemin tipine bağlı olarak aşağıdaki mutasyon operatörlerinden bir tanesi tercih edilebilmektedir (Bolat ve diğ., 2004):

- Ters çevirme
- Yer değişikliği
- Ekleme
- Karşılıklı değişim

Mutasyon tiplerinin, ikili sistemde kodlanan bir kromozomda kullanılmasına dair örnekler Tablo 3.3'de bulunmaktadır.

Ters çevirme mutasyonunda, gelişmiş güzel bir alt dizi belirlenmekte ve alt dizideki genlerin sıraları bütünüyle ters döndürülerek olduğu yere tekrar yerleştirilmektedir. Yer değişikliği mutasyonunda, gelişmiş güzel bir alt dizi tercih edilmekte ve gelişmiş güzel bir alana yerleştirilmektedir. Karşılıklı değişim mutasyonunda da gelişmiş güzel belirlenen iki genin konumları değiştirilmektedir. Eklemede ise gelişmiş güzel belirlenen parça yine gelişmiş güzel belirlenen bir yere yerleştirilmektedir (Bolat ve diğ., 2004).

Her hangi bir yerde uygulanan bir genetik değişim kesinlikle geri alınamaz veya değiştirilemez (Mitchell, 1999). Mutasyonun bu niteliği sebebiyle bir takım iyi kromozomların zarar görmemesi göz önüne alınmalıdır. Ebeveynlerin kromozom tipleri benzediği bazı zamanlarda mutasyon gerçekleştirilebilmektedir (Chan ve diğ., 2005).

Tablo 3.3: Mutasyon çeşitleri ve örnekleri (Bolat ve diğ., 2004).

Mutasyon öncesi seçilen kromozom: [0111000101]			
Mutasyon sonrası oluşan kromozom:			
Ters çevirme	Yer değişikliği	Ekleme	Karşılıklı değişim
[0100110101]	[0101011100]	[0101000101]	[0011010101]

Mutasyon, çaprazlama işleminin devamında olan bir işlemdir ve bir bireyde geliş güzel değişime imkan vererek yeni birey gelmesini mümkün kılmaktadır. Belirli mutasyon oranlarına göre, kromozomlarda kimi genlerin konumlarıyla oynanarak veya genleri farklılaştırılarak yapılmaktadır.

P_m mutasyon oranı ve ℓ kromozom uzunluğunu göstermek üzere, aşağıda sunulan formül sonucu olan “tamsayı” değeri;

$$\ell \cdot P_m \approx \text{tamsayı} \quad (3.9)$$

bir kromozomda sol baştan hangi karakterde mutasyon uygulanacağını seçmek için kullanılmaktadır (Şen, 2004).

Mutasyon oranı (P_m), algoritmanın başlama sürecinde veya her jenerasyonun başlangıcında oluşturulmaktadır. Bir toplumda yaklaşık olarak $(P_m \cdot N \cdot \ell)$ tane karakterde mutasyon oluşmaktadır. N toplum büyüklüğü ve ℓ kromozom uzunluğunu ifade etmektedir. GA'nın bütünüyle geliş güzel olmasını engellemek için mutasyon oranının çok yüksek tutulmaması gerekir.

Mutasyon ile farklılaşmaya uğrayan bir gende (değişkende), λ gen uzunluğunu göstermek üzere, tahmin edilen değişim; $E(G)$,

$$E(G) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^{\lambda} \frac{1}{2^i}$$

(3.10)

formülü ile hesap edilmektedir ve değişken değerinde çok fazla bir farklılaşmaya sebep olmamaktadır. Mesela gen uzunluğu $\lambda=4$ bit ise

$$E(G)=1/4(0.5+0.25+0.125+0.0675) \quad (3.11)$$

$$=0.23563$$

kadar bir farklılaşma tahmin edilmektedir. Bu sayede mutasyonla çözüm uzayı dışındaki değişik alanlara sıçrayarak, algoritmanın daha incelikli araştırma yapması imkan dahilinde olmaktadır. Pratik çalışmalarda, algoritmanın bütünüyle gelişi güzel olmasının önüne geçmek sebebiyle mutasyon oranı, P_m değerinin 0,01 ile 0,001 aralığında uygulandığı görülmektedir (Şen, 2004).

3.4.3. Genetik Algoritmanın Sonlandırma Koşulu

GA'nın net olmayan taraflarından bir tanesi sonlandırma sürecidir. GA'da var olan evrim sürecinden dolayı, kesin çözüme ulaşıp ulaşılamayacağı kestirilememektedir. Fakat en iyi çözüme sürekli bir şekilde yaklaşıldığı düşünülmektedir (Uçaner ve Özdemir, 2002). Daha iyi olarak belirlenen bu toplumdaki çözüm kümesinin daha iyi çözümlere ulaşması Darwin'in evrim sürecini yansıtmaktadır. Bu süreç, istenilen çözüm oluşuncaya kadar veya istenilen tekrarlama (iterasyon, jenerasyon) sayısına gelene kadar devam etmektedir.

Sıklıkla uygulanan sonlandırma kriteri olan jenerasyon (iterasyon) sayısı, problemin tipi ve çözüm uzayının büyüklüğü olmak üzere iki faktörle belirlenmektedir (Chan ve diğ., 2005).

GA'nın sonlandırılması hakkında farklı bir değerlendirme de, jenerasyonlarda ulaşılan çözümler arasında bir değişiklik oluşmadığında veya önceden seçilen bir değere yakınsadığında sonlandırılmasıdır (Haupt ve Haupt, 2004; Kahvecioğlu, 2004).

Önceden seçilen bir değere yakınsadığında sonlandırılması durumu ise genellikle pratikte mümkün olmayan bir durumdur. Fakat test etmek için, çözümü önceden bilinen problemlerde uygulanabilmektedir.

GA'yı sonlandırmak için uygulanabilecek en iyi tercihler;

- belirlenen en iyi kromozom, bilinen en iyi çözüme erişildiğinde,
- jenerasyonlarda yenilemeli bir biçimde, en iyi kromozom aynı olduğunda,
- belirlenen istatistiksel değerlere ulaşıldığında (toplum maliyet ortalaması, standart sapması),
- belirlenen jenerasyon sayısı bitirildiğinde,
- jenerasyon sonuçları bakımından bir farklılık olmadığında,
- optimuma yakın bir değere ulaşıldığında

şeklinde olmaktadır (Haupt ve Haupt, 2004).

GA'nın karar değişkenlerinin çözüm uzayında gezinti zamanında, amaç fonksiyonunda farklı bilgileri gözden geçirmesini kısıtlandırmak sebebiyle, değişik kriterler tavsiye edilmektedir.

Uygulamalarda uygulanan sonlandırma kriterlerinden bir tanesi de, peş peşe yapılan toplumların en iyi amaç fonksiyonu değerleri arasında, bağıl (göreceli) bir değişikliğin olmadığı durumudur. Algoritmada geliştirilen toplumların, daha iyi çözümlere ulaşip ulaşamadığı bağıl hata değeri α ile değerlendirilmektedir. Toplumların en iyi amaç fonksiyonu verileri H_1 ve H_2 arasındaki bağıl hata, aşağıda sunulan formül ile hesap edilmektedir.

$$\alpha = 100 \frac{|H_1 - H_2|}{H_2}$$

(3.12)

Eğer $\alpha < 5$ ise GA işlemlerini sonlandırılmaktadır. Diğer türlü, yeni toplumlar ve bu toplumlar içinde genetik işlemlerle çözüm uzayında değişik bölgelere erişmeye çabalamaktadırlar (Şen, 2004). Eğer algoritma iyi bir çözüme yaklaşma yapmıyorsa, GA parametrelerinde farklılaşma uygulanabilir. Toplum büyüklüğü, çaprazlama yöntemi, mutasyon oranı veya kromozomun kodlama sistemi gibi parametrelerin farklılaştırılması ile GA tekrar uygulanır (Haupt ve Haupt, 2004)

3.4.4. Genetik Algoritma Aşamaları ve Akış Şeması

Toplum olarak adlandırılan bir çözüm, başka bir deyişle kromozom kümesiyle algoritmalar başlamaktadır. İyi olan başlangıç toplumundan faydalanarak, uygunluk düzeyine göre belirlenen çözümlerden yeni ve daha iyi bir toplum meydana getirilmektedir.

3.4.4.1. Genetik Algoritma Aşamaları

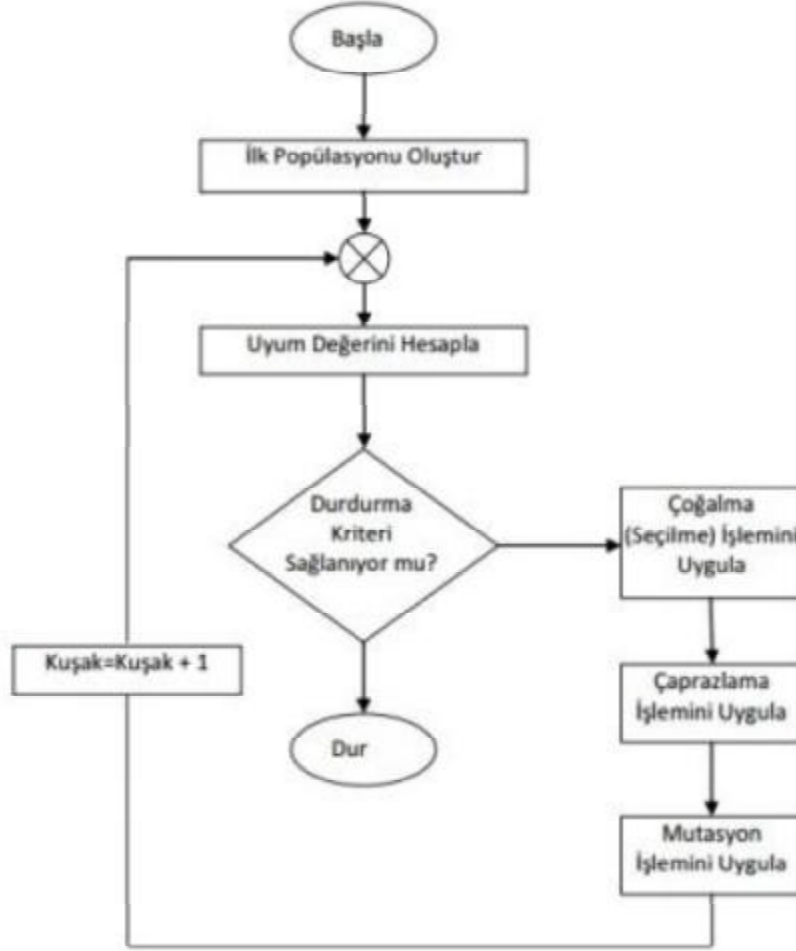
Basit bir GA, başlangıç toplumu düşünülerek, aşağıda belirtildiği gibi dört aşamadan meydana gelmektedir:

1. İki ebeveynin, seçme fonksiyonu kullanılarak seçilmesi.
2. Çaprazlama işlemi yapılarak ebeveynlerin mutasyona uğramış olan çocuğunun diğer bir ifadeyle yeni bireyin oluşturulması.
3. Yeni bireyin bir sonraki jenerasyonda yer alması.
4. Bir sonraki toplumun ihtiva ettiği üye sayısı, r gibi bir sayıdan küçükse, adım 1'den başlamak suretiyle işlemlere devam edilmesi.

Sonuç olarak söylemek gerekirse GA'lar, seçilen başlangıç çözüm (kromozom) kümesinde genetik işlemlerin gerçekleştirilmesi ile meydana gelen yeni kromozom kümelerinde, amaç fonksiyonunun farklı verilerini gözden geçirme işleminden oluşmaktadırlar.

3.4.4.2. Genetik Algoritma Akış Şeması

GA'lar başlangıç toplumunda gerçekleştirilecek her bir genetik işlemlere ait kararların verilmesi ve yöntemlerin önceden oluşturulması şartıyla uygulanmaktadırlar. Algoritmalarda Şekil 3.6'daki akış şemasında da belirtildiği gibi olaylar sırasına göre gerçekleşmektedirler.



Şekil 3.6: GA akış şeması.

3.4.5. Genetik Algoritmanın Avantajları ve Dezavantajları

GA'nın başarısında uygunluk fonksiyonunun etkili ve hassas çalışması fazlasıyla önemli bir yer edinmektedir (Bolat ve diğ., 2004). Uygunluk fonksiyonları, kromozomları problemin nicelikleri biçimine getirmekte ve bu şekilde hesap etme veya inceleme yapılmaktadır.

Alışlagelmiş optimizasyon uygulamaları başarıyı yakalayamadığında, GA'nın sunduğu faydalar merak konusu olmuş ve hayret verici sonuçlar sunmuştur. GA uygulanmasının belli başlı faydaları aşağıda sunulmaktadır (Haupt ve Haupt, 2004):

1. GA'nın sürekli veya kesikli değişkenler ihtiva eden optimizasyon problemlerinde optimum neticeler sunması

2. İkincil veriye ihtiyaç duyulmaması
3. Fazla sayıdaki değişkenleri ihtiva eden modellerde kullanılabilmesi
4. Çözümleri geniş çözüm uzaylarında aynı zamanlı bir biçimde taraması
5. Fazlasıyla karışık maliyet ve kar fonksiyonlarının değişkenlerini optimize olacak şekilde sunabilmesi
6. Kodlanan değişkenlerde optimizasyonun uygulanması
7. Üretilen, deneysel bilgilerle veya analitik fonksiyonlar ile kullanılabilmesi

GA'nın başarısı, genlerde kodlanan verinin, genetik işlemler ve özellikle çaprazlama ile genlerin daima değişik kombinasyonlarda bir araya gelmesi ve bunlar arasından en başarılı sonucu sunanların tercih edilmesi esasına dayanmaktadır.

Başka bir sakınca, GA'nın bir fonksiyonu sürekli olarak hesap etmesidir. Uygunluk fonksiyonu, (jenerasyon sayısı x toplum büyüklüğü) adedi kadar hesap edilmek zorunluluğundadır.

GA'nın bir diğer sakıncası da; en iyi çözümün var olan çözümler içinden tercih edilmesi sebebiyle, göreceli olmasıdır. Bu sebeple, erişilen çözümün en iyi çözüm olup olmadığının bilinmesine imkân tanımaz. Dolayısıyla GA'lar en iyi çözümün nasıl olacağını tahmin edilememesi durumunda kullanılmaktadır (Şen, 2004).

3.4.6. Genetik Algoritmanın Diğer Metotlarla Karşılaştırılması

GA'nın en iyileme problemlerindeki üstünlükleri ele alındığında, bilhassa karmaşık optimizasyon problemlerinin çözüm aşamasında hangi sebeple daha iyi ortaya çıkmaktadır (Kahvecioğlu, 2004):

1. GA'lar parametrelerle çalışmak yerine parametre kümesinin kodlanmasıyla çalışmaktadırlar. En iyileme problemlerinde $f(x)$ amaç fonksiyonunu, x parametresi; sonlu uzunluğa sahip bir dizi şeklinde kodlanmaktadır. Bu kod kümesiyle en iyilemeye ulaşılmaya çalışılmaktadır.

2. GA tek bir noktayı veya yönü değil, noktalar kümesi içerisinde yer alan en iyi veriyi bulmaya çalışmaktadır. Algoritma sahip olduğu bu özelliği sayesinde, araştırma sırasında her defasında daha iyi sonuçlara erişmesini garanti altına almaktadır.

3. GA'lar amaç fonksiyonu haricinde ek verilere gerek duymazlar. Başarılı bir inceleme yapılması, her bir dizinin (kromozomun) irdelenebileceği bir amaç fonksiyonun belirlenmesine dayanmaktadır. Bu sayede performansını ilerletebilmektedir.

4. GA'lar kati olan kurallar yerine ihtimale dayanan kurallardan faydalanmaktadır. Gelişi güzel seçim metodu kullanılarak, inceleme uzayının diğer bir yüzüne bakmayı uygulamaktadırlar.

3.4.7. Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları

GA, her alanda kapsamlı bir şekilde uygulamaya mümkün bir yapıya sahiptir. Matematik, bilgisayar bilimi, tıp, ziraat, robot bilim, mühendislik ve işletme vb. alanlarda GA uygulama örnekleri mevcuttur.

Otomatik Programlama: GA'lar spesifik hedefli bilgisayar programlarının iyileştirilmesinde, ağ sıralanması (sorting networks) ve hücreli hareketliler (cell automata) gibi hesaba bağlı sistemlerin oluşumunda uygulanmaktadır.

Optimizasyon: GA'lar iş-atölye planlamaları, devre şemaları (circuit layout), sayısal ve birleştirici (combinatorial) optimizasyon problemlerini kapsayan değişik bölümlerde uygulanmaktadır.

Evrim ve Öğrenme (Evolution and Learning): Kişisel ve nesilden nesile aktarılan öğrenmenin aralarında ne şekilde bir etkilenme olduğunu incelemekte kullanılmaktadır.

Yapay Zeka ile Öğrenme (Machine Learning): GA'lar sınıflayıcı sistemlerin (classifier system) kuralları veya sembolik üretim modellerini, sinir ağlarının ağırlıkları, robotlara ait algılayıcılar gibi yapay zekayı kullanarak öğrenmenin değişik niteliklerini ilerletmekte kullanılmaktadır. GA'lar protein yapısını önceden kestirmek ve hava durumu gibi gruplandırma ve öngörüye sahip yapay zeka ile öğrenme sistemlerinde kullanılmaktadır.

Sosyal Sistemler: GA'lar böcek kolonileri içindeki sosyal davranışın zamanla evrimi ve daha kaba şekilde çok temsilcili (multi agent) mekanizmalarda işbirliği ve iletişimin ilerletilebilmesi gibi değişik sosyal metotların evrimsel taraflarını incelemekte kullanılmaktadırlar.

Ekonomik: GA'lar yenilik yaratma (innovation) mevzuatının modellenmesinde, ekonomik pazarların geliştirilmesinde ve teklif verme stratejilerinin ilerletilmesinde kullanılmaktadırlar.

Toplum Genetiği (Population Genetics): GA'lar, üreme yoluyla yeni toplumlara iletilen ve ebeveynlerden aktarılan kalıtsal özelliklerin evrimsel tarafının incelenmesinde kullanılmaktadırlar.

Bir takım araştırmacılar GA'yı bulanık mantık yöntemiyle beraber uygulayarak, belirsizliklerin üstesinden gelmeye uğraşmışlardır. Tedarik zincirinde talep dalgalanmaları sebebiyle belirsizliklerin giderilmesi uygulaması bunun için bir örnek olabilmektedir (Chan ve diğ., 2005).

3.4.8. Genetik Algoritmayı Kullanma Nedenleri

GA'lar başlangıç çözüm kümesinden itibaren, sonraki tekrarlanmalarında gelişmiş güzel farklılaşım ile yeni çözüm kümeleri geliştirmekte ve en iyi çözüm, bu kümeler dahilinde gelişmiş güzel aranmaktadır. Bu niteliği sayesinde GA'lar, uygunluk fonksiyonunu en iyileyen çözümlere seri bir şekilde ulaşmakta ve diğer optimizasyon algoritmalarının yeterli olmadığı durumlarda, karmaşık problemlerin çözümünde etkin olduğu gözlenmektedir.

Bilhassa kaynak limitli proje çizelgeleme tipi problemlerde faaliyet sayıları bakımından herhangi bir sınır yaşanmamakta; bu sebepten ötürü, çözümü zor olan bu gibi problemlerde algoritmayı uygulama ihtiyacı oluşmaktadır.

GA'ların, aşağıda bahsedilen şartlardan biriyle karşılaşıldığında, uygulanması yararlı ve verimli olacaktır:

- Araştırma bölgesi büyük, karışık ve idrak edilmesi zayıf
- Konuya dair veriler az veya var olan veriler inceleme bölgesini küçültmede yeterli olamıyorsa
- Deterministik metotlarla çözüm zor ve uzun uğraşlar neticesinde ulaşılabiliyorsa

- Alışlagelmiş metotlardan faydalanarak geliştirilen programlar yeterli olmuyorsa
- Problemin modelini oluşturmak için gerekli veriler elde edilemiyorsa

GA'nın kullanım sebepleri, yetersiz şartlardan değil GA'nın sahip olduğu niteliklerinden dolayıdır. Bunlar (Çetin, 2002):

- GA, doğada bulunan evrimsel süreci esas alan bir arama metodudur. Bir veri kümesinden özel bir veriyi arayıp bulmak için uygulanmaktadır.
- GA'lar bilhassa kullanıcı konunun kesin uzmanı olmadığı durumlarda fazlasıyla yardımcı olmaktadır. GA'lar kendi bölgelerinde inceleme ve o bölgeden bilgiye ulaşma özelliğine sahiptirler.
- GA'lar, inceleme için yeni ve daha iyi sonuçlar geliştirmenin yanında hazır olan potansiyel sonuçları irdelemek için de şekillendirildiklerinden dolayı diğer seçenekler için fazlasıyla imkan sağlamaktadırlar.
- GA'lar sıradan metotların çok uzun sürede yapacakları işleri kısa bir zaman zarfında çok açık değilse de yeterli düzgünlükte yapabilmektedirler.
- Zor problemleri çözüme ulaştırmada etkili olmaktadır
- Optimizasyon problemlerinde fazlasıyla verim sağlamaktadırlar
- Problem çözümü sırasındaki verimliliği, başka araştırma (sıralı ya da rastgele) metotlarından daha fazla öne çıkarmaktadır

4. BULGULAR

4.1. MATEMATİKSEL MODEL VE UYGULAMA

Bu tezde Sorrentino'nun (2013) çalışmasında incelenen çok amaçlı optimizasyon problemine dair genetik algoritma uygulamasından ilham alınmıştır. Matlab kodu yazılarak incelenen problem, gerçek bir yapı projesinin verilerinden alınmıştır.

Bu tez kapsamında incelemesi yapılan problem 15 ana aktiviteden oluşmaktadır. Uygulaması yapılan matlab kodu deneme amaçlı olduğu için ana aktivitelerin alt katmanları hesaba katılmadan sadece ana aktivitelerle problem uygulanmıştır. Bu 15 aktivitenin neler olduğu Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Vaka-1 için aktivite isimleri.

Aktivite numaraları	Aktivite isimleri
1	yer teslimi
2	mobilizasyon
3	hafriyat
4	temel
5	betonarme işleri
6	desant ve planşe
7	duvar işleri
8	şap
9	ısıtma tesisatı
10	sıhhi tesissat
11	seramik
12	kapı ve pencere işleri
13	sıva işleri
14	asma tavan
15	satın boya

Probleme ait aktivite numaraları, hemen önceki faaliyet numaraları ve her faaliyet için en fazla beş alternatif içeren birbirinden farklı süre-maliyet- yüzde olarak kalite değerleri Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te gösterilmektedir.

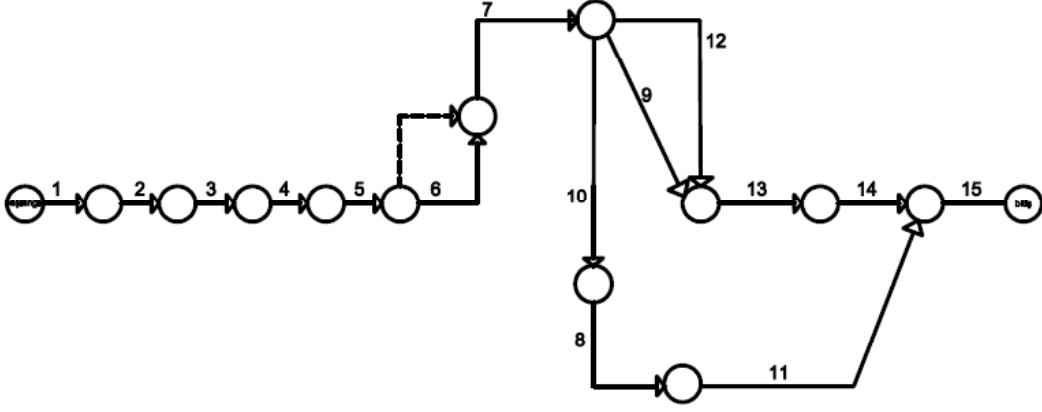
Tablo 4.2: Vaka-1 için problem uygulama verileri 1-2.

AKTİVİTE	HOF	1. ALTERNATİF			2. ALTERNATİF		
		SÜRE	MALİYET	KALİTE %	SÜRE	MALİYET	KALİTE %
1	-	1	-	-	-	-	-
2	1	7	20.000	80	5	24.500	70
3	2	15	300.000	80	17	285.000	95
4	3	10	350.000	70	8	380.000	80
5	4	88	1.150.000	70	86	1.200.000	60
6	5	40	400.000	85	43	370.000	95
7	5-6	34	300.000	70	31	325.000	80
8	10	15	120.000	80	17	100.000	90
9	7	30	320.000	75	33	300.000	80
10	7	20	390.000	90	18	410.000	80
11	8	25	260.000	70	27	240.000	95
12	7	15	300.000	70	12	340.000	80
13	9-12	55	190.000	80	57	170.000	70
14	13	33	270.000	75	29	360.000	80
15	11-14	15	70.000	80	17	70.000	90

Tablo 4.3: Vaka-1 için problem uygulama verileri 2-2.

AKTİVİTE	HOF	3. ALTERNATİF			4. ALTERNATİF			5. ALTERNATİF		
		SÜRE	MALİYET	KALİTE %	SÜRE	MALİYET	KALİTE %	SÜRE	MALİYET	KALİTE %
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2	14	320.000	85	12	330.000	70	-	-	-
4	3	12	315.000	90	-	-	-	-	-	-
5	4	93	1.000.000	80	82	1.500.000	90	-	-	-
6	5	36	440.000	80	-	-	-	-	-	-
7	5-6	38	275.000	80	29	348.000	90	-	-	-
8	10	12	145.000	70	-	-	-	-	-	-
9	7	26	352.000	70	29	347.000	90	-	-	-
10	7	22	370.000	70	25	330.000	60	16	459.000	50
11	8	21	290.000	85	-	-	-	-	-	-
12	7	10	400.000	60	18	280.000	80	19	275.000	95
13	9-12	49	275.000	90	59	150.000	60	-	-	-
14	13	35	280.000	70	38	250.000	60	27	400.000	90
15	11-14	12	100.000	70	18	65.000	50	-	-	-

Uygulanan probleme ait bilgiler eşliğinde Şekil 4.1’de CPM şebekesi gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Vaka-1 için CPM şebekesi.

Bu tez kapsamında incelenen örnek problemde bulunan 15 aktivite için her aktivitenin süre, maliyet ve kalite değerine karşılık gelen en fazla beş alternatif mevcuttur. Bu alternatifler içinden rasgele birer alternatif seçildiğinde farklı süre, maliyet ve kalite bileşenleri meydana gelmektedir. Bu tarz bir problemi çözmek çok amaçlı optimizasyon problemleri için genetik algoritma uygulanması yerinde bir çalışma olacaktır.

Zaman-maliyet-kalite optimizasyon problemlerinde kalite, zaman ve maliyetin her birinin aynı derecede öneme sahip olması araştırmacıları çok amaçlı optimizasyon problemleri üzerine yoğunlaşmaya yöneltmiştir. Projede meydana gelen revizeler, işin ilerleyişini etkileyen unsurlar projenin farklı sürelerde bitirilmesi ihtimalini ortaya çıkarabilmektedir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde sadece bir tane optimum çözüme ulaşmak imkan dahilinde değildir. Her süre için minimum maliyet ve maksimum kalitenin belirlenmesi gerekmektedir. Aynı şekilde

maksimum kalite değerleri için minimum süre ve minimum maliyet verileri de önem arz etmektedir. Projenin maliyet hesabı da bunlardan geri kalan bir durumda değildir.

Bu tez kapsamında incelenen örnek problemde proje bitim süresinin 300 gün ve 4.100.000TL maliyet ve ortalama kalitenin %90 olarak bitmesi ile proje bitim süresinin 200 gün ve 4.100.000 TL maliyet ve ortalama kalitenin %82 olarak bitmesi birbiri ile kıyaslandığında hangi seçeneğin elzem olacağına dair kesin bir kanaat oluşmamaktadır. Aynı şekilde proje bitim süresinin 250 gün ve 4.100.000TL maliyet ve ortalama kalitenin %90 olarak bitmesi ile 300 gün ve 3.500.000 TL maliyet ve ortalama kalitenin %90 olarak bitmesinin hangi durum için avantajlı olacağı değişkenlik arz etmektedir. Proje yöneticisi tarafından şartlar değerlendirilerek hangi kritere ağırlık verilmesi gerektiğine karar verilmesi gerekmektedir.

Bu problemin çözümünde yüzlerce proje bitim süresine karşılık her biri için farklı maliyet değerleri ve kalite ortalamaları oluşmaktadır. Maliyetin ve proje süresinin en az değere sahip olduğu aynı zamanda ortalama kalitenin en yüksek değer aldığı bir durum yoktur. Bundan dolayı birbirine baskın gelemeyen çözümler mevcuttur. Çözümlerden her biri bir diğerine baskın olamamakta yani bu çözümlerden birine optimum çözüm demek mümkün olamamaktadır. Çözümler kümesi pareto cephesi denen nondominated çözümleri barındırmaktadır.

4.1.1. Probleme Ait Kalite Verileri

Bu tezde incelenen çok amaçlı optimizasyon probleminde, aktivitelerin gerçekleştirildiği proje süresinin ve maliyetin minimum olduğu buna bağlı kalitenin maximum olduğu pareto çözüm kuşağının bulunduğu bölgeyi bulmak asıl amacı oluşturmaktadır. Her aktivitenin birden fazla uygulanabilecek alternatif süreleri ve maliyetleri vardır. Kalite oranları da bu alternatiflere bağlı olarak değişmektedir.

Bir proje uygulamasının başında, alternatif uygulamalar arasında, karar verme sürecinde süre ve maliyet ilişkisi nasıl etkili bir rol alıyorsa kalite de aynı şekilde kararlarda etkili olmaktadır. Projelerde süre, maliyet ve kalite; birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Kalite ile ilgili dikkate alınabilecek değerlendirme kriterleri aşağıda verilmiştir:

- işe başlama zamanı

- işi vaktinde bitirme
 - sahip olunan kalite standart belgeleri
 - kullanılan ekipmanlar
 - iş süresi boyunca uygulanan iş güvenliği kuralları
 - iş süresi boyunca meydana gelen iş kazaları
 - ekip içi çalışma prensibi
 - çevreye verilen rahatsızlık
 - iş bitiminden sonra ortaya çıkan sorunların miktarı
 - iş bitiminden sonra ortaya çıkan sorunların giderilme yöntem ve hızı
- Tez kapsamında yapılan uygulamada inşaat firması tarafından alt yüklenicilerin kalite değerlendirilmesi ile ilgili ağırlıklı oran ortalaması için aşağıdaki tablo kullanılmıştır.

Tablo 4.4: Vaka-1 için probleme ait kalite kriterleri.

KALİTE		
	Kriterler	Ağırlık Oran(%)
1	Sahip olunan kalite standardı belgeleri	5
2	Kullanılan ekipman (Teknoloji- Yenilik)	5
3	Teknik Personel kapasitesi	5
4	İşe zamanında başlama	10
5	İşi süresinde bitirme	10
6	Verilen Talimatlara uyma	5
7	İş güvenliği kurallarına uyma	5
8	İş Kazası Yaşanması	20
9	Ramak Kala Olaylarının yaşanması	5
10	Paydaşlarla iletişim	5
11	Çevre duyarlılığı	5
12	Kabul eksiklik miktarı	5
13	Sorunları giderme yöntem ve hızı	5
14	Şantiye araç gereç kullanımı	5
15	Malzeme zayıtı	5
	TOPLAM	100

Alt yükleniciler her projede yaptıkları işle ilgili yukarıdaki Tablo 4.4'te verilen kriterler çerçevesinde yüklenici teknik personeli tarafından değerlendirilmektedir. Yapılan değerlendirme sonucunda alt yüklenici kalite puanları ortaya çıkmakta ve bu puanlama diğer işlerde alt yüklenici seçiminde kullanılmaktadır.

Örnek olarak Tablo 4.5'te asma tavan alt yüklenicisi ile ilgili kalite değerlendirme tablosu verilmiştir. Diğer iş kalemleri ile ilgili de benzer şekilde kalite puanları elde edilmiştir.

Tablo 4.5: Vaka-1 için asma tavan kalite bileşenleri.

Asma Tavan Kalite Bileşenleri		puan %		1. alternatif	2. alternatif	3. alternatif	4. alternatif	5. alternatif
1	Sahip olunan kalite standardı belgeleri	5%	puanı	85	75	95	85	95
			yüzelik değeri	4,25	3,75	4,75	4,25	4,75
2	Kullanılan ekipman (Teknoloji-Yenilik)	5%	puanı	90	80	95	75	90
			yüzelik değeri	4,5	4	4,75	3,75	4,5
3	Teknik Personel kapasitesi	5%	puanı	80	90	90	70	95
			yüzelik değeri	4	4,5	4,5	3,5	4,75
4	İşe zamanında başlama	10%	puanı	60	90	55	75	90
			yüzelik değeri	6	9	5,5	7,5	9
5	İşi süresinde bitirme	10%	puanı	75	75	60	60	85
			yüzelik değeri	7,5	7,5	6	6	8,5
6	Verilen Talimatlara uyma	5%	puanı	75	80	70	55	85
			yüzelik değeri	3,75	4	3,5	2,75	4,25
7	İş güvenliği kurallarına uyma	5%	puanı	75	85	65	55	95
			yüzelik değeri	3,75	4,25	3,25	2,75	4,75
8	İş Kazası Yaşanması	20%	puanı	55	80	60	55	80
			yüzelik değeri	11	16	12	11	16
9	Ramak Kala Olaylarının yaşanması	5%	puanı	90	80	50	50	95
			yüzelik değeri	4,5	4	2,5	2,5	4,75
10	Paydaşlarla iletişim	5%	puanı	90	80	70	50	95
			yüzelik değeri	4,5	4	3,5	2,5	4,75
11	Çevre duyarlılığı	5%	puanı	90	80	85	50	95
			yüzelik değeri	4,5	4	4,25	2,5	4,75
12	Kabul eksiklik miktarı	5%	puanı	90	80	80	60	95
			yüzelik değeri	4,5	4	4	3	4,75
13	Sorunları giderme yöntem ve hızı	5%	puanı	90	70	70	50	95
			yüzelik değeri	4,5	3,5	3,5	2,5	4,75
14	Şantiye araç gereç kullanımı	5%	puanı	90	80	80	70	95
			yüzelik değeri	4,5	4	4	3,5	4,75
15	Malzeme zayıtı	5%	puanı	65	70	80	40	100
			yüzelik değeri	3,25	3,5	4	2	5
toplam kalite değeri %				75	80	70	60	90

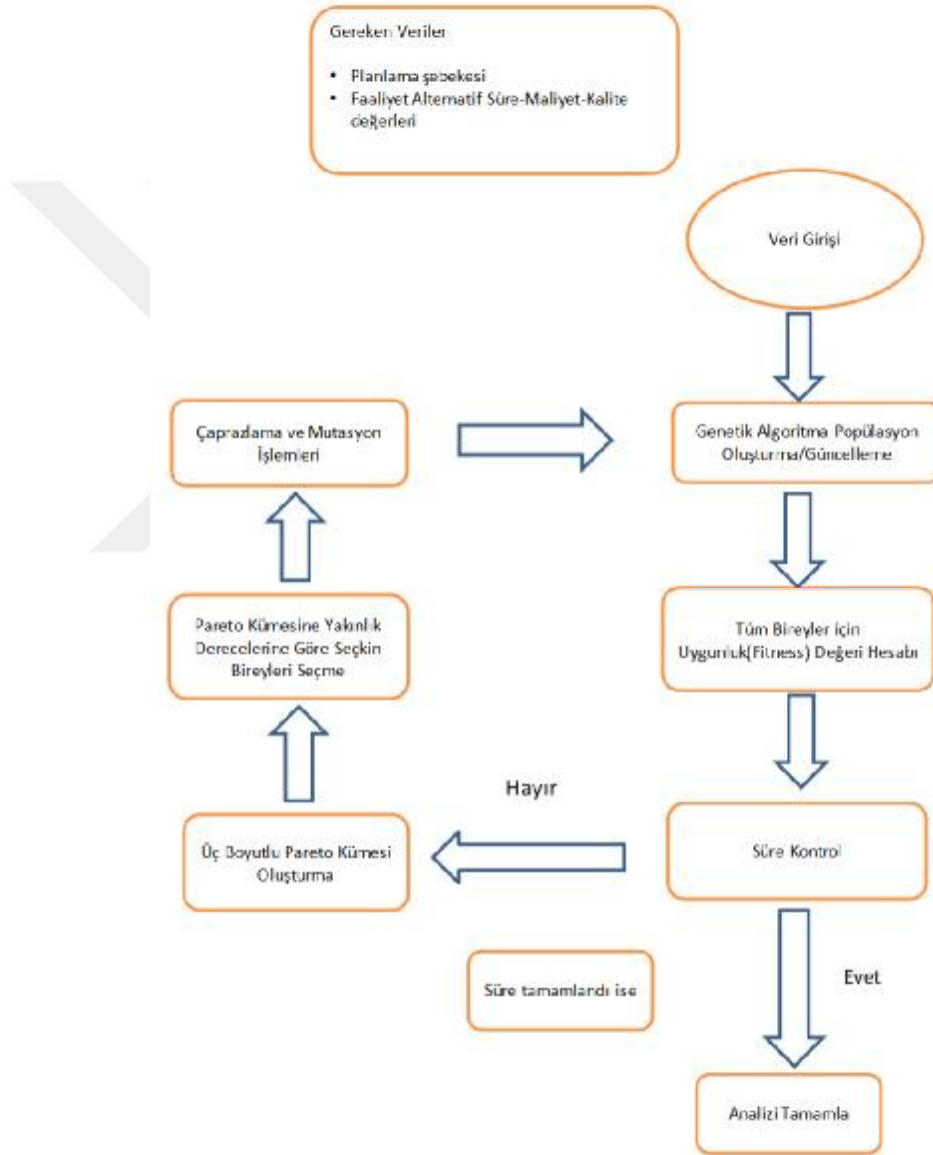
Bu tezde kullanılan problem için yer alan alternatiflere ait kalite değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: Vaka-1 için probleme ait kalite veri tabanı.

AKTİVİTE NUMARASI	AKTİVİTE ADI	1.alternatif	2.alternatif	3.alternatif	4.alternatif	5.alternatif
		KALİTE %	KALİTE %	KALİTE %	KALİTE %	KALİTE %
1	yer teslimi	-	-	-	-	-
2	mobilizasyon	80	70	-	-	-
3	hafriyat	80	95	85	70	-
4	temel	70	80	90	-	-
5	betonarme işleri	70	60	80	90	-
6	desant ve planşe	85	95	80	-	-
7	duvar işleri	70	80	80	90	-
8	şap	80	90	70	-	-
9	ısıtma tesisatı	75	80	70	90	-
10	sıhhi tesissat	90	80	70	60	50
11	seramik	70	95	85	-	-
12	kapı ve pencere işleri	70	80	60	80	95
13	sıva işleri	80	70	90	60	-
14	asma tavan	75	80	70	60	90
15	satın boya	80	90	70	50	-

4.2. PROBLEM ÇÖZÜMÜ

Bu tezde incelenen örnek problem çözümü için çok amaçlı çok alternatifli optimizasyon problemlerine uygun olacak bir şekilde genetik algoritma kodu uygulanmıştır.



Şekil 4.2: Uygulama projesine ait akış şeması.

Şekil 4.2’de uygulama projesine ait akış şemasının ilerleyişi gösterilmiştir.

Çaprazlama oranı genellikle literatürde 0,70 – 1 arasında, mutasyon oranı ise 0,01 – 0,1 arasında yer almaktadır. Bu tezde uygulanan problem çözümü için çaprazlama oranı 1, mutasyon oranı 0.05 olarak kullanılmıştır. Genetik algoritma sistemi için başlangıç popülasyonu 50, 100, 500 ve 1000 bireyden meydana gelecek şekilde oluşturulmuştur.

4.2.1. Uygunluk Fonksiyonu Hesabı

Bu tezde uygunluk fonksiyonu olarak CPM ileri-geri hesaplamaları her bir kromozom için matlab kodu ile oluşturulmuştur. Tüm kromozomların oluşturduğu alternatiflere ait toplam proje süresi, toplam maliyet ve ortalama kalite bilgileri hesaplanmıştır. Tüm aktivitelerin uygulanması şartı ile aktivitelere ait hemen önceki faaliyetler, hemen sonraki faaliyetler ve kritik yol hesabı uygunluk fonksiyonu içinde yer almaktadır. Uygunluk fonksiyonu kodu Ek.1’de yer almaktadır.

4.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Genel olarak meta sezgisel algoritmalar kullanılarak geliştirilen çözümlerde başlangıç popülasyonu; ya diğer sezgisellerin çıktılarından oluşan çözümle başlamakta veya random olarak seçilmektedir. Bu tezde irdelenen süre-maliyet-kalite optimizasyonu probleminde başlangıç popülasyonu rassal olarak üretilmektedir.

Kromozomlar vektör olarak tanımlanmakta ve popülasyon matrisi elde edilmektedir. Rassal başlangıç popülasyonundaki her bir gene karşılık gelen maliyet, süre ve kalite matrisleri matlapta ayrı ayrı olacak şekilde yapılmıştır. Süre matrisi Tablo 4.7’de, maliyet matrisi Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da, kalite matrisi Tablo 4.10’da gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Vaka-1 için birey genlerindeki süre matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	7	15	10	88	40	34	15	30	20	25	15	55	33	15
2	1	5	17	8	86	43	31	17	33	18	27	12	57	29	17
3	1	5	14	12	93	36	38	12	26	22	21	10	49	35	12
4	1	5	12	12	82	36	29	12	29	25	21	18	59	38	18
5	1	5	12	12	82	36	29	12	29	16	21	19	59	27	18

Tablo 4.8: Vaka-1 için birey genlerindeki maliyet matrisi 1-2..

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	20.000	300.000	350.000	1.150.000	400.000	300.000	120.000
2	0	24.500	285.000	380.000	1.200.000	370.000	325.000	100.000
3	0	24.500	320.000	315.000	1.000.000	440.000	275.000	145.000
4	0	24.500	330.000	315.000	1.500.000	440.000	348.000	145.000
5	0	24.500	330.000	315.000	1.500.000	440.000	348.000	145.000

Tablo 4.9: Vaka-1 için birey genlerindeki maliyet matrisi 2-2.

	9	10	11	12	13	14	15
1	320.000	390.000	260.000	300.000	190.000	270.000	70.000
2	300.000	410.000	240.000	340.000	170.000	360.000	70.000
3	352.000	370.000	290.000	400.000	275.000	280.000	100.000
4	347.000	330.000	290.000	280.000	150.000	250.000	65.000
5	347.000	459.000	290.000	275.000	150.000	400.000	65.000

Tablo 4.10: Vaka-1 için birey genlerindeki kalite matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	80	80	70	70	85	70	80	75	90	70	70	80	75	80
2	0	70	95	80	60	95	80	90	80	80	95	80	70	80	90
3	0	70	85	90	80	80	80	70	70	70	80	60	90	70	70
4	0	70	70	90	90	80	90	70	90	60	80	80	60	60	50
5	0	70	70	90	90	80	90	70	90	50	80	95	60	90	50

Projeye ait faaliyetlerin alternatif değerleri olan süre, maliyet ve kalite verileri için ayrı ayrı matrisleri matlabda oluşturulmuştur. Projede yer alan faaliyetler için önceki faaliyetler belirlenmiş ve bunların ileri geri hesapları yapılarak uygunluk fonksiyonu matlabda uygulanmıştır. Oluşabilecek her proje süresi için faaliyetlerin süre, maliyet ve kalite alternatifleri içinden farklı değerler seçmesini sağlayacak başlangıç popülasyon değerleri matlabda genetik algoritma kullanarak uygulanmıştır. Oluşan çözüm kümesinin grafiği matlab tarafından çizdirilmiştir. Her proje süresi için oluşan çözümlere ait süre, maliyet ve kalite alternatiflerinin yer aldığı ayrıntılı tablo matlab tarafından oluşturulmuştur. Her proje süresi için öncelik değerleri korunarak yeni bir CPM çizelgesi oluşturulmuştur.

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra, oluşan pareto görüntüsü kadar kromozomun her birine ait alternatif bileşenlerine sahip birer proje süresi oluşmaktadır. Her bir projenin kendine has farklı bir toplam süresi, toplam maliyet değeri ve ortalama kalite yüzdesi mevcuttur.

Durdurma kriterini yerine getirip getirmediği kontrol edilerek analizi durdurmak mümkün olmaktadır. Belirlenen bir amaç fonksiyonu değerine yakınsama, belirli bir sürenin dolması, iterasyon sayısı veya daha iyi bir çözüm üretmeyen iterasyon sayısı durdurma kriteri olarak kullanılabilir. Bu tezdeki uygulamada süre durdurma kriteri olarak uygulanmıştır.

Bu işlemler iterasyon sayısı süresince tekrar uygulandıktan sonra oluşan değerler yakın optimum veya optimum değerler olabilmektedirler. Meta-sezgisel yöntemler optimum sonucu garanti edememekte ama kafi sürelerde optimuma yakın çözümler sunmayı garanti edebilmektedirler.

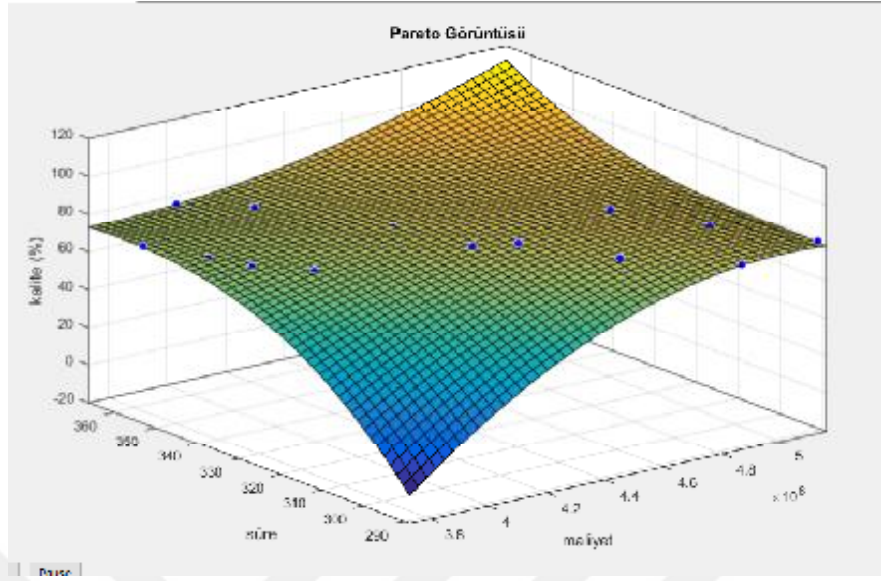
Genetik algoritma, oluşturduğu çözümleri her iterasyonda daha iyileyerek ya da bir önceki iterasyondaki iyi çözümleri devam eden iterasyona elitizm yöntemiyle ileterek optimum sonuca varmayı hedeflemektedir. Her bir jenerasyon, başlangıç popülasyonu kadar olmak üzere yeni bir birey oluşturmakta ve çözümler bu popülasyon dahilinde araştırılmaktadır.

Bu tez kapsamında 4.1’de ayrıntılı bir şekilde tanımlanan uygulama problemine ait veriler matlabda uygunluk fonksiyonu kodu yazılarak GA’da çalıştırılmış ve probleme ait başlangıç popülasyon değerleri değiştirilerek pareto görüntüleri ile opsiyonlu çözümler matlab tarafından oluşturulmuştur.

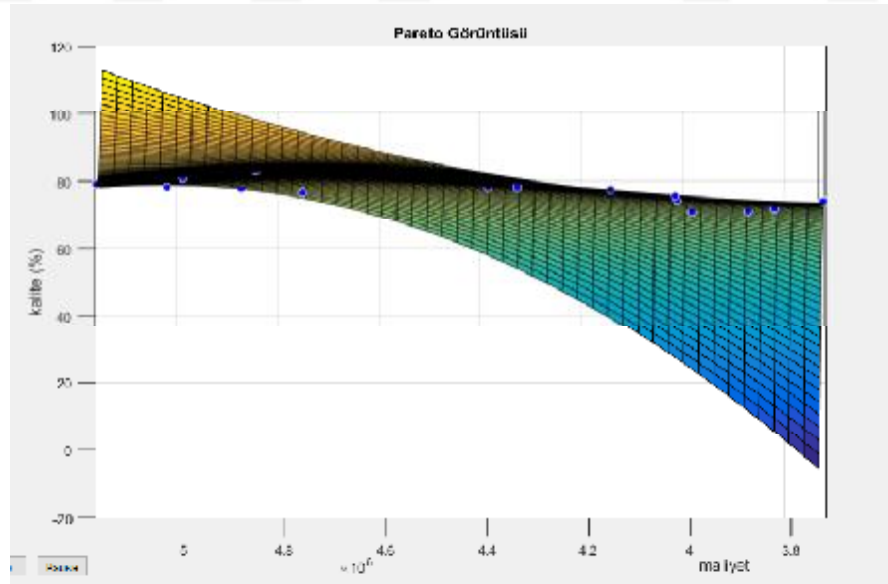
4.3.VAKA ÇALIŞMASI 1

4.3.1. Uygulama Projesine Ait 50 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri

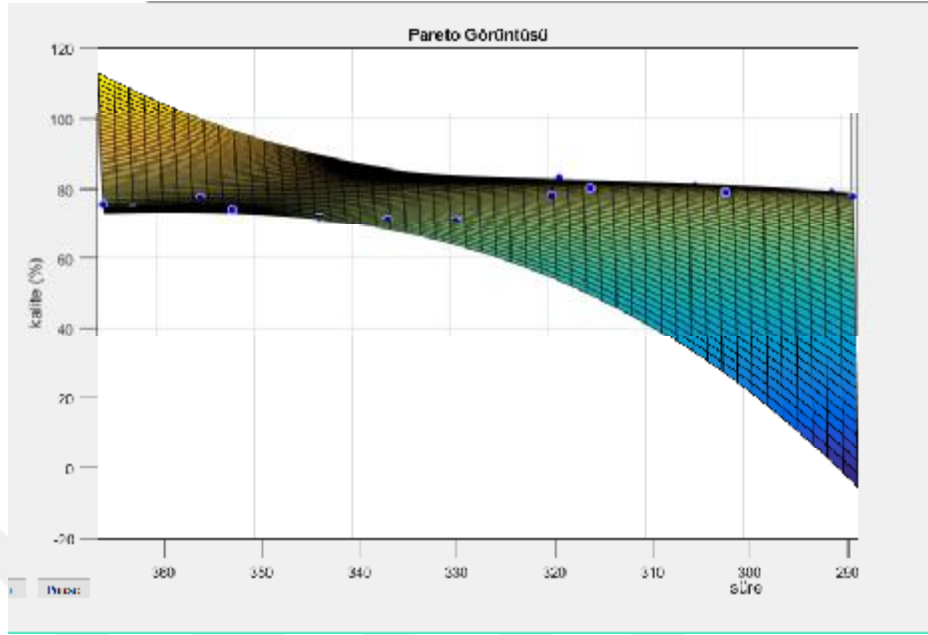
Başlangıç popülasyon değeri 50 olacak şekilde veriler sisteme girilip genetik algoritma çalıştırılmıştır. 103 nesil oluşmuştur ve 18 tane pareto görüntüsü kaydedilmiştir.



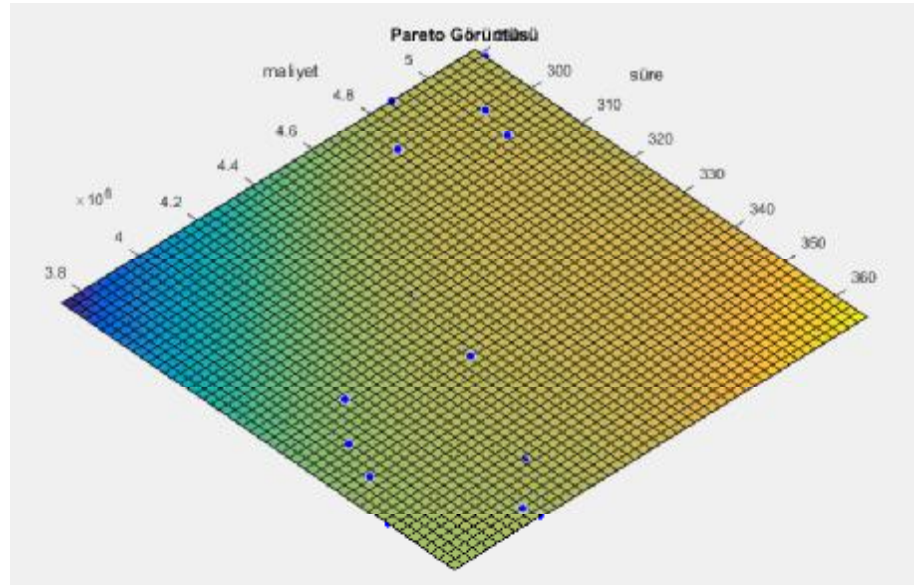
Şekil 4.3: Vaka-1'e ait 50 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet-süre grafiği.



Şekil 4.4: Vaka-1'e ait 50 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet grafiği.



Şekil 4.5: Vaka-‘e ait 50 popülasyonlu çözümün kalite-süre grafiği.



Şekil 4.6: Vaka-1’e ait 50 popülasyonlu çözümün maliyet-süre grafiği.

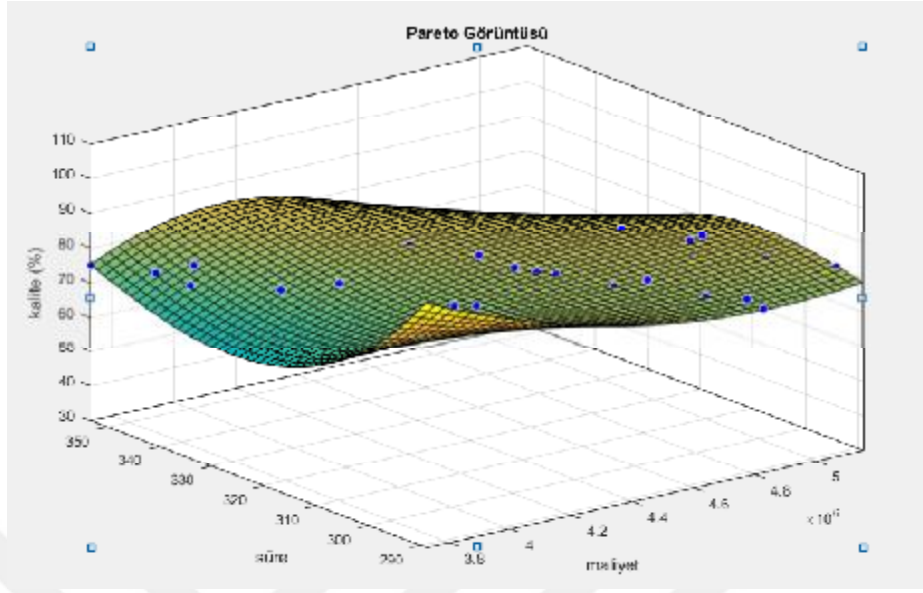
Şekil 4.1’de 50 başlangıç popülasyon değeri için oluşan pareto görüntüsü kalite, maliyet ve süre olacak şekilde üç boyutlu hali ile görünmektedir. Tablo 4.1’de ise oluşan 18 adet pareto görüntüsüne ait projeyi oluşturan faaliyet opsiyonları görüntülenmektedir.

Tablo 4.11: Vaka-1’e ait 50 popülasyonlu çözümün pareto değerleri.

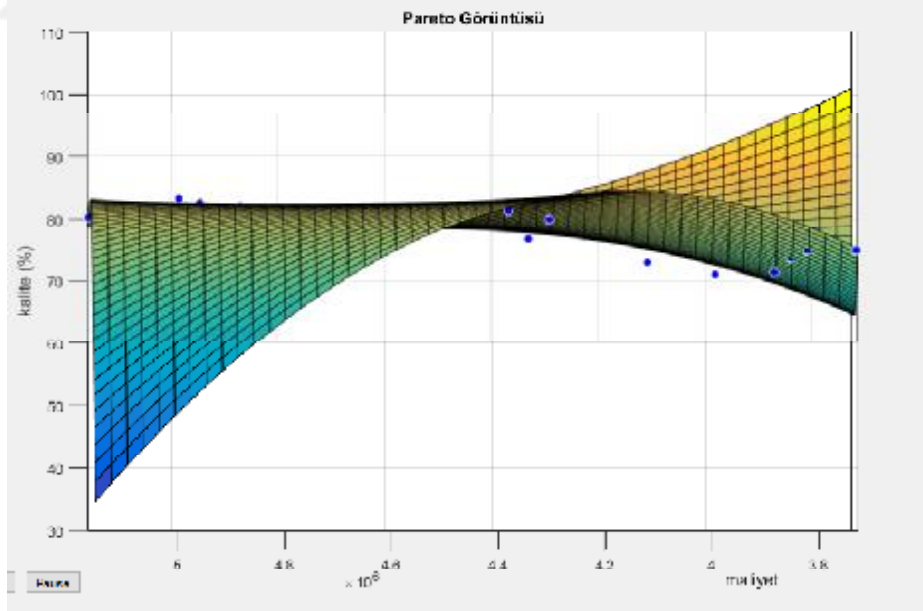
Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	319	4.848.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	2	1	2	5	3	2	2
2	289	4.873.001,00	78,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	2	2	5	3	5	3
3	353	3.733.001,00	74,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	4	4	4	2
4	297	4.753.001,00	76,67	1	1	4	2	4	3	4	2	3	2	2	5	3	3	3
5	305	4.990.001,00	81,00	1	1	2	3	4	3	4	2	3	2	2	5	3	2	2
6	302	4.640.001,00	79,00	1	1	3	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
7	356	4.154.501,00	77,67	1	2	2	3	3	2	3	2	2	3	2	4	3	4	2
8	291	5.160.001,00	79,00	1	1	3	2	4	3	4	2	3	2	2	5	3	5	3
9	316	4.490.001,00	80,33	1	1	2	3	3	3	4	2	3	2	2	5	3	2	2
10	366	4.029.501,00	75,67	1	2	2	3	3	2	3	2	2	3	2	4	4	4	2
11	363	4.024.501,00	74,33	1	2	3	3	3	2	3	2	2	4	2	4	4	4	2
12	299	5.020.001,00	78,33	1	1	3	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	3	3
13	320	4.390.001,00	78,33	1	1	2	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	4	3
14	337	3.880.001,00	71,33	1	1	4	2	3	2	3	2	3	4	2	4	4	4	3
15	330	3.990.001,00	71,00	1	1	4	2	3	3	3	2	3	3	2	4	4	4	3
16	344	3.828.001,00	72,00	1	1	4	2	3	2	3	2	2	4	2	4	4	4	3
17	291	5.160.001,00	79,00	1	1	3	2	4	3	4	2	3	2	2	5	3	5	3
18	335	4.334.501,00	78,33	1	2	2	3	3	2	4	2	4	3	2	4	3	3	3

4.3.2. Uygulama Projesine Ait 100 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri

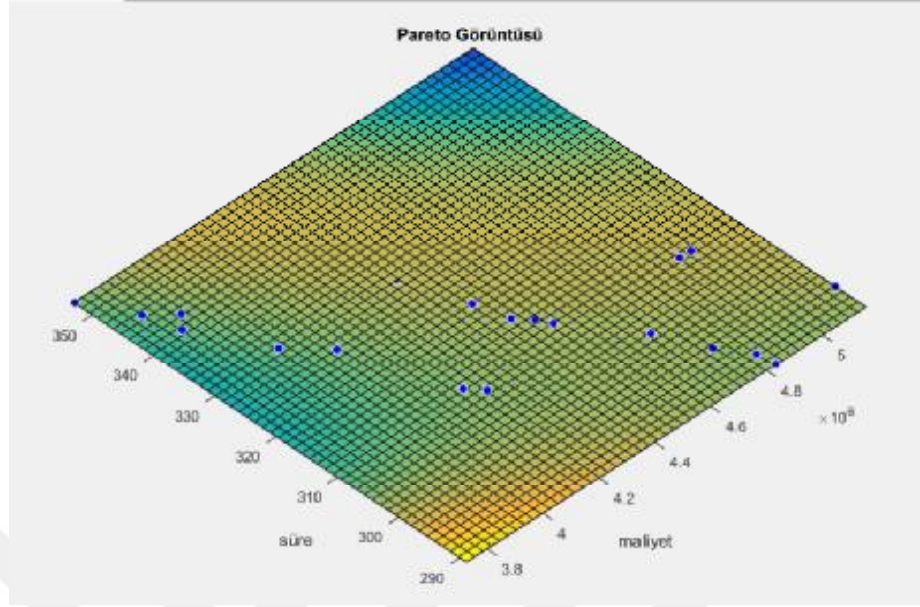
Başlangıç popülasyon değeri 100 olacak şekilde veriler sisteme girilip genetik algoritma çalıştırılmıştır. 105 nesil oluşmuştur ve 35 tane pareto görüntüsü kaydedilmiştir.



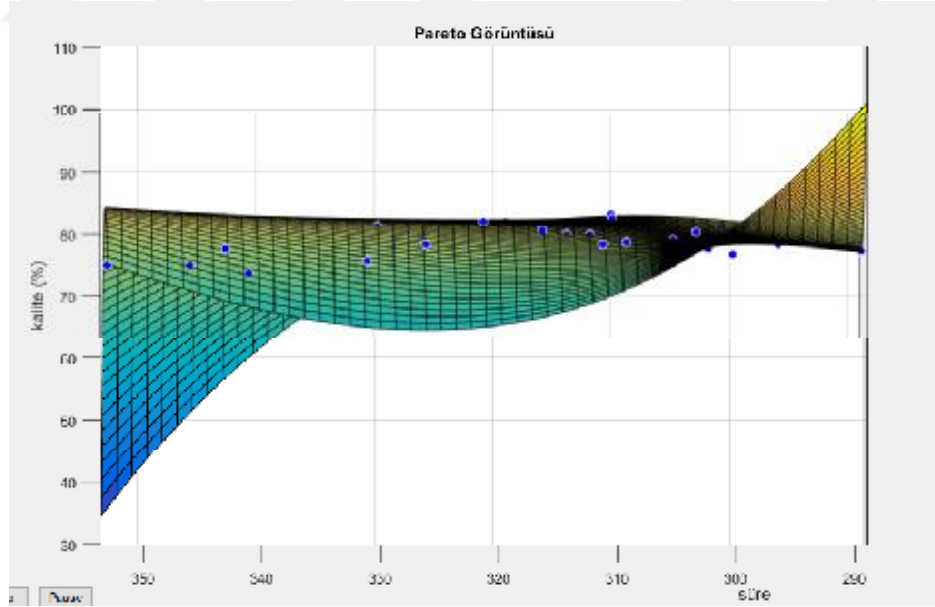
Şekil 4.7: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet-süre grafiği.



Şekil 4.8: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet grafiği.



Şekil 4.9: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün süre-maliyet grafiği.



Şekil 4.10: Vaka-1'e ait 100 popülasyonlu çözümün kalite-süre grafiği.

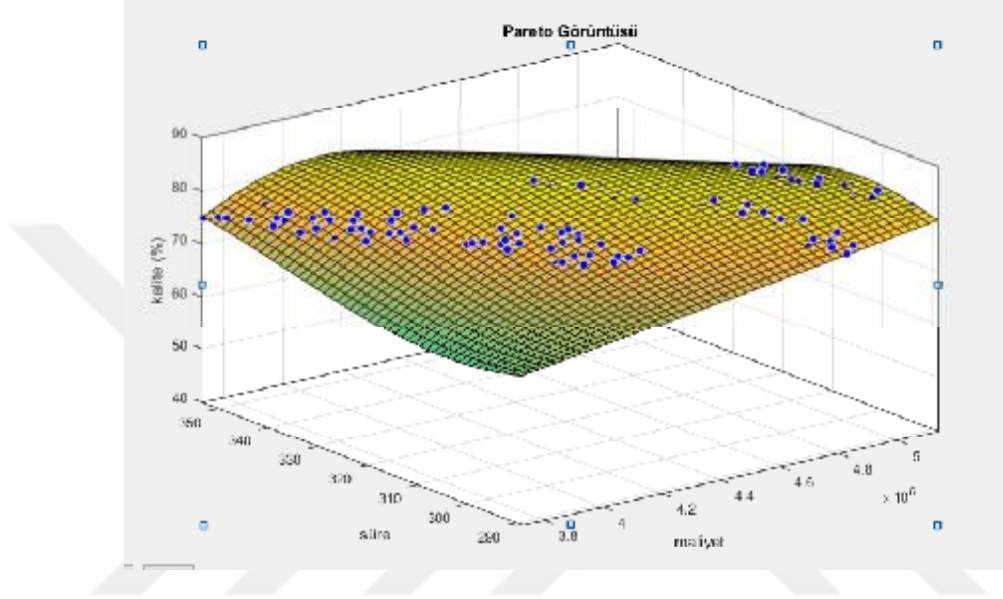
Şekil 4.7’de 100 başlangıç popülasyon değeri için oluşan pareto görüntüsü kalite, maliyet ve süre olacak şekilde üç boyutlu hali ile görünmektedir. Tablo 4.12’de ise oluşan 35 adet pareto görüntüsüne ait projeyi oluşturan faaliyet opsiyonları görüntülenmektedir.

Tablo 4.12: Vaka-1’e ait 100 popülasyonlu çözümün pareto değerleri.

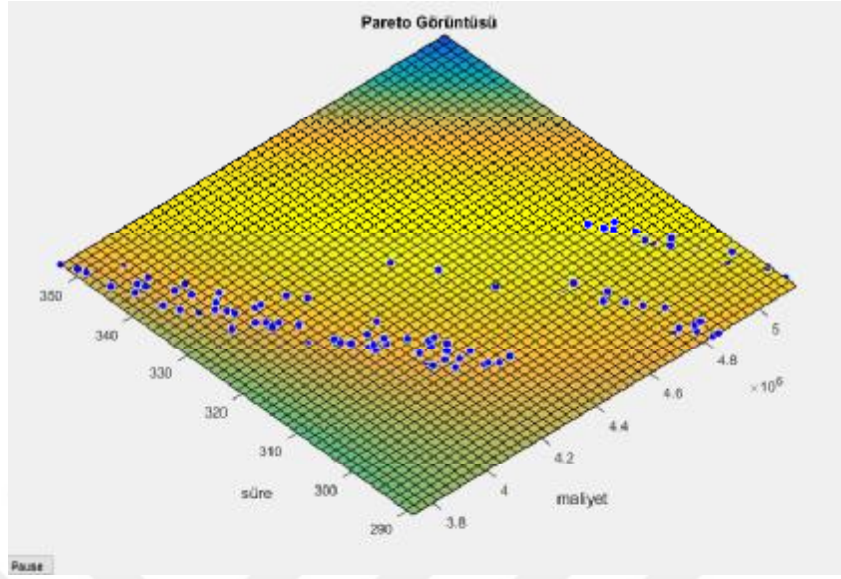
Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	310	4.990.001,00	83,33	1	1	3	3	4	2	4	2	4	2	2	5	3	5	2
2	289	4.833.001,00	77,33	1	1	4	2	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
3	353	3.728.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	4	2
4	321	4.450.001,00	82,00	1	1	3	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
5	292	4.828.001,00	78,67	1	1	4	2	4	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3
6	305	4.615.001,00	79,00	1	1	3	2	3	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3
7	309	4.238.001,00	78,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	2
8	341	3.850.001,00	73,67	1	1	4	3	3	2	3	2	3	3	2	5	4	4	3
9	294	5.155.001,00	80,33	1	1	3	2	4	3	4	2	4	2	2	5	3	5	3
10	346	3.820.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	3	3	2	5	4	4	2
11	294	5.155.001,00	80,33	1	1	3	2	4	3	4	2	4	2	2	5	3	5	3
12	310	4.950.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
13	332	4.300.001,00	80,00	1	1	3	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	4	2
14	330	4.377.001,00	81,33	1	1	3	3	3	2	3	2	4	3	2	5	3	5	2
15	337	3.880.001,00	71,33	1	1	4	2	3	2	3	2	3	4	2	4	4	4	3
16	312	4.545.001,00	80,00	1	1	3	2	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	3
17	303	4.693.001,00	80,33	1	1	4	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	3
18	296	4.763.001,00	78,33	1	1	4	2	4	2	4	2	3	3	2	5	3	5	3
19	346	3.820.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	3	3	2	5	4	4	2
20	311	4.198.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	3	2	5	3	5	3
21	300	4.333.001,00	76,67	1	1	4	2	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
22	289	4.833.001,00	77,33	1	1	4	2	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
23	316	4.480.001,00	80,67	1	1	3	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	3
24	307	4.595.001,00	78,00	1	1	3	2	3	3	4	2	3	3	2	4	3	5	2
25	301	5.045.001,00	80,67	1	1	3	2	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	3
26	314	4.520.001,00	80,00	1	1	3	2	3	2	4	2	3	3	2	5	3	5	2
27	330	3.990.001,00	71,00	1	1	4	2	3	3	3	2	3	3	2	4	4	4	3
28	326	4.078.001,00	78,33	1	1	4	2	3	2	4	2	4	3	2	5	3	4	2
29	320	4.115.001,00	73,00	1	1	4	2	3	3	3	2	3	3	2	4	3	4	3
30	331	3.975.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	3	3	2	5	3	4	3
31	353	3.728.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	4	2
32	296	4.763.001,00	78,33	1	1	4	2	4	2	4	2	3	3	2	5	3	5	3
33	343	3.893.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	3	2	5	3	4	2
34	319	4.877.001,00	82,00	1	1	3	3	4	2	3	2	4	3	2	5	3	5	2
35	302	4.620.001,00	77,67	1	1	3	2	3	3	3	4	2	3	2	5	3	5	3

4.3.3. Uygulama Projesine Ait 500 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri

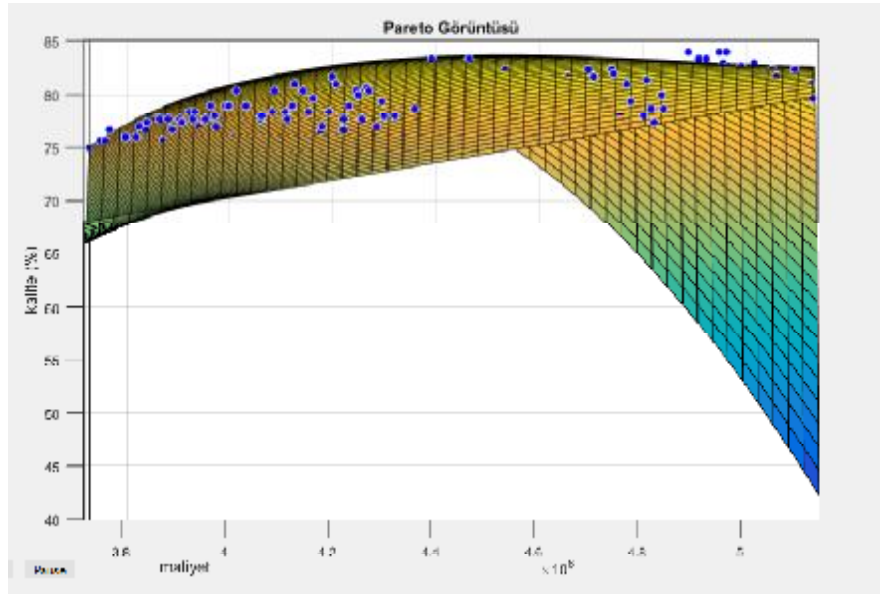
Başlangıç popülasyon değeri 500 olacak şekilde veriler sisteme girilip genetik algoritma çalıştırılmıştır. 102 nesil oluşmuştur ve 175 tane pareto görüntüsü kaydedilmiştir.



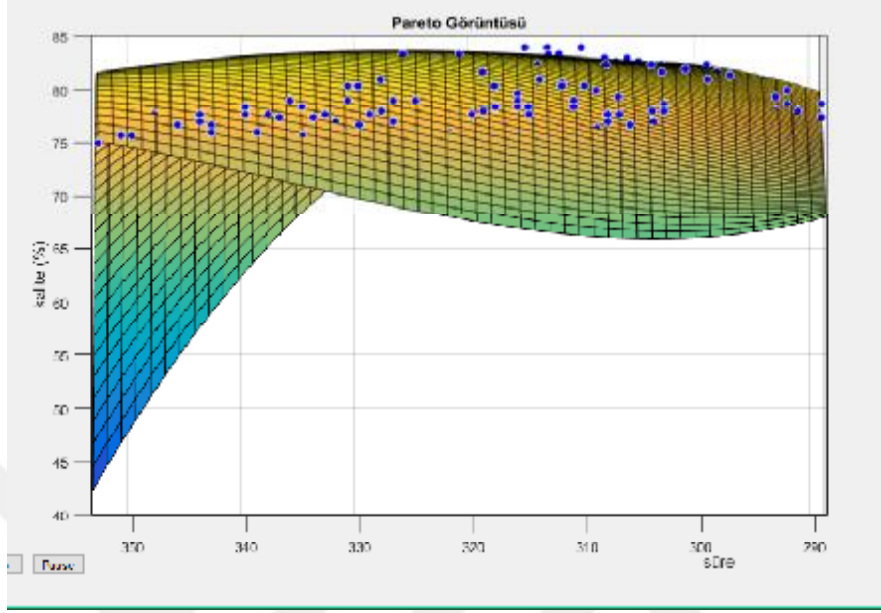
Şekil 4.11: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet-süre grafiği.



Şekil 4.12: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün süre-maliyet grafiği.



Şekil 4.13: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet grafiği.



Şekil 4.14: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün kalite-süre grafiği.

Şekil 4.11'de 500 başlangıç popülasyon değeri için oluşan pareto görüntüsü kalite, maliyet ve süre olacak şekilde üç boyutlu hali ile görünmektedir. Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'de ise oluşan 175 adet pareto görüntüsüne ait projeyi oluşturan faaliyet opsiyonları görüntülenmektedir.

Tablo 4.13: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 1-2.

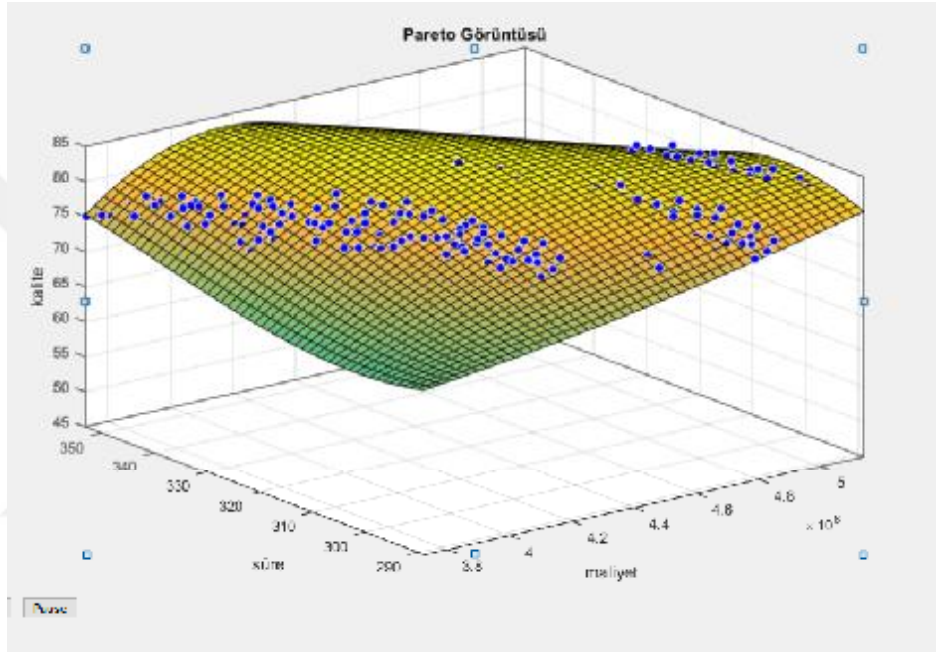
Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	320	4.065.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	2	2	3	4	2	5	3	2	2
2	327	4.003.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	4	4	2	5	3	3	2
3	322	3.983.001,00	73,33	1	1	4	3	3	3	4	2	3	4	2	5	4	3	3
4	335	3.935.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	2	2	4	3	2	5	1	3	2
5	344	3.825.001,00	77,00	1	1	4	3	3	2	3	2	4	4	2	5	2	3	2
6	351	3.748.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	4	2
7	343	3.838.001,00	76,67	1	1	4	3	3	1	3	2	2	3	2	5	2	1	2
8	329	3.956.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	4	2	2	4	2	5	3	3	1
9	334	3.911.001,00	77,33	1	1	4	3	3	1	4	2	2	3	2	5	2	1	2
10	291	4.813.001,00	78,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3
11	328	3.976.001,00	78,00	1	1	4	3	3	2	4	2	1	4	2	5	3	3	2
12	313	4.915.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
13	318	4.148.001,00	80,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	2	2
14	312	4.930.001,00	83,33	1	1	3	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
15	308	4.188.001,00	77,00	1	1	4	3	3	1	4	2	3	4	2	5	3	5	3
16	330	3.893.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	2	1	2
17	314	4.093.001,00	73,00	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	4	1	3	3
18	338	3.840.001,00	73,67	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	4	3	3
19	297	4.453.001,00	75,00	1	1	4	2	2	1	4	2	3	4	2	5	3	5	3
20	337	3.841.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	4	2	5	2	1	2
21	303	4.328.001,00	78,00	1	1	4	2	3	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3
22	298	4.738.001,00	79,33	1	1	4	3	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	2
23	296	5.110.001,00	81,00	1	1	3	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
24	295	4.533.001,00	75,33	1	1	4	2	2	3	4	2	3	2	2	5	3	2	3
25	313	4.955.001,00	84,00	1	1	2	3	4	2	4	2	4	2	2	5	3	5	2
26	342	3.800.001,00	74,33	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	2	4	1
27	319	4.068.001,00	78,00	1	1	4	3	3	1	4	2	3	3	2	5	3	1	2
28	300	4.658.001,00	78,33	1	1	4	3	4	2	4	2	3	4	2	5	3	5	3
29	292	4.828.001,00	78,67	1	1	4	2	4	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3
30	332	4.335.001,00	82,00	1	1	2	3	3	2	4	2	4	2	2	5	3	3	2
31	294	5.135.001,00	81,00	1	1	3	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
32	305	5.000.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
33	304	4.748.001,00	82,33	1	1	4	2	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
34	310	4.970.001,00	84,00	1	1	3	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
35	321	4.470.001,00	83,33	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
36	306	4.213.001,00	75,67	1	1	4	2	3	1	4	2	3	4	2	5	3	2	3
37	315	4.895.001,00	84,00	1	1	2	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
38	293	4.768.001,00	78,00	1	1	4	3	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
39	341	3.810.001,00	73,00	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	4	4	3
40	299	4.778.001,00	81,00	1	1	4	2	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
41	311	4.143.001,00	74,00	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	5	3	4	3
42	348	3.858.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	2	2	5	2	3	2
43	307	4.975.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
44	316	4.128.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	3	5	2
45	299	5.105.001,00	82,33	1	1	3	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
46	324	4.415.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
47	310	4.950.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
48	326	4.395.001,00	83,33	1	1	2	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
49	307	4.610.001,00	80,33	1	1	3	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
50	321	4.450.001,00	82,00	1	1	3	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
51	339	3.820.001,00	76,00	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	2	1	2
52	350	3.758.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	3	2
53	289	4.853.001,00	78,67	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
54	302	4.678.001,00	79,67	1	1	4	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	2	3
55	292	4.848.001,00	80,00	1	1	4	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
56	340	3.923.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	3	2	2	3	2	5	3	3	2
57	353	3.728.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	4	2
58	323	4.430.001,00	82,67	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
59	317	4.525.001,00	82,33	1	1	2	3	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	2
60	309	4.590.001,00	80,33	1	1	3	3	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	3
61	346	3.768.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	1	2
62	289	4.833.001,00	77,33	1	1	4	2	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
63	331	4.016.001,00	80,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	1	2	5	3	3	2
64	308	4.965.001,00	83,00	1	1	2	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	2	2
65	311	4.545.001,00	81,00	1	1	3	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
66	336	3.965.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	3	2	4	3	2	5	1	2	2
67	325	3.953.001,00	72,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	4	2	5	4	4	3
68	309	4.183.001,00	76,33	1	1	4	2	3	2	4	2	3	4	2	5	3	2	3
69	326	4.375.001,00	82,00	1	1	2	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	2	2
70	312	4.565.001,00	81,33	1	1	3	2	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
71	317	4.063.001,00	72,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	4	1	4	3
72	306	5.025.001,00	83,00	1	1	2	3	4	3	4	2	4	2	2	5	3	5	2
73	345	3.788.001,00	74,33	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	3	3
74	303	4.368.001,00	78,67	1	1	4	2	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	3
75	316	4.500.001,00	82,00	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
76	304	4.308.001,00	78,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	2	2	5	3	5	3
77	300	4.338.001,00	75,67	1	1	4	2	3	3	4	2	3	3	2	4	3	5	3
78	315	4.895.001,00	84,00	1	1	2	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
79	296	5.110.001,00	81,00	1	1	3	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
80	334	3.855.001,00	73,67	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	2	1	3	2
81	304	4.293.001,00	77,00	1	1	4	2	3	1	4	2	3	3	2	5	3	5	3
82	333	3.931.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	4	2	2	4	2	5	2	2	2
83	308	4.228.001,00	77,67	1	1	4	3	3	1	4	2	3	3	2	5	3	5	3
84	303	4.713.001,00	81,67	1	1	4	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
85	337	3.841.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	4	2	5	2	1	2
86	307	4.263.001,00	77,67	1	1	4	2	3	2	4	2	3	3	2	5	3	5	3
87	303	5.060.001,00	82,33	1	1	3	3	4	3	4	2	4	2	2	5	3	5	2
88	315	4.103.001,00	75,67	1	1	4	2	3	2	4	2	3	4	2	5	3	3	3</

Tablo 4.14: Vaka-1'e ait 500 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 2-2.

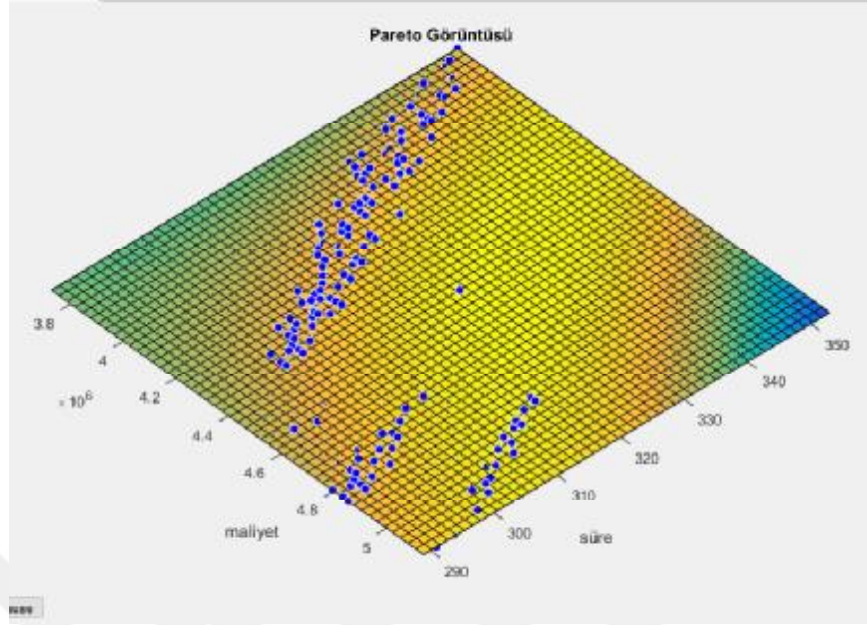
Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
89	305	5.000.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
90	301	4.753.001,00	82,00	1	1	4	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
91	314	4.213.001,00	81,00	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
92	295	5.075.001,00	80,33	1	1	3	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
93	296	4.763.001,00	78,33	1	1	4	2	4	2	4	2	3	3	2	5	3	5	3
94	328	4.130.001,00	81,00	1	1	4	3	3	2	3	2	4	2	2	5	3	5	2
95	312	4.253.001,00	80,33	1	1	4	2	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
96	329	4.350.001,00	82,00	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	3	2
97	306	4.575.001,00	79,67	1	1	3	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
98	297	4.453.001,00	75,00	1	1	4	2	2	1	4	2	3	4	2	5	3	5	3
99	312	4.930.001,00	83,33	1	1	3	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
100	329	3.935.001,00	72,33	1	1	4	3	3	3	3	2	3	4	2	4	2	3	3
101	312	4.273.001,00	80,67	1	1	4	3	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	2
102	334	3.855.001,00	73,67	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	4	2	1	3
103	342	3.800.001,00	74,33	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	2	4	1
104	291	5.140.001,00	79,67	1	1	3	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
105	331	3.996.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	2	3	2	5	3	3	2
106	303	4.693.001,00	80,33	1	1	4	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	3
107	293	4.788.001,00	79,33	1	1	4	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
108	316	4.500.001,00	82,00	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
109	346	3.768.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	1	2
110	307	4.303.001,00	79,33	1	1	4	3	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	3
111	311	4.238.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	2	2	5	3	5	3
112	308	4.703.001,00	82,33	1	1	4	3	4	2	4	2	4	2	2	5	3	5	2
113	310	4.278.001,00	80,33	1	1	4	2	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
114	353	3.728.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	4	2
115	315	4.158.001,00	78,33	1	1	4	3	3	1	4	2	3	3	2	5	3	2	2
116	335	3.873.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	2	4	2
117	318	4.088.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	3	2	2
118	305	4.628.001,00	79,67	1	1	4	3	4	2	4	2	3	4	2	5	3	5	2
119	344	3.865.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	3	2	4	3	2	5	2	3	2
120	309	4.590.001,00	80,33	1	1	3	3	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	3
121	308	4.663.001,00	81,67	1	1	4	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
122	318	4.475.001,00	82,00	1	1	3	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
123	322	4.013.001,00	76,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	4	3	3	1
124	351	3.748.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	4	2
125	293	4.768.001,00	78,00	1	1	4	3	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
126	299	4.648.001,00	77,00	1	1	4	3	4	1	4	2	3	4	2	5	3	2	3
127	319	4.203.001,00	81,67	1	1	4	3	3	2	4	2	4	2	2	5	3	5	2
128	327	3.978.001,00	77,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	3	4	2
129	294	5.135.001,00	81,00	1	1	3	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
130	338	3.905.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	3	2	4	4	2	5	2	2	2
131	307	4.975.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
132	310	4.950.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
133	320	4.520.001,00	82,67	1	1	2	2	3	2	4	2	4	2	2	5	3	5	2
134	309	4.258.001,00	80,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
135	329	3.950.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	2	2	3	3	2	5	2	3	3
136	320	4.008.001,00	73,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	4	2	4	2	3	3
137	306	4.228.001,00	76,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	3	2	5	3	2	3
138	315	4.118.001,00	77,67	1	1	4	3	3	1	4	2	3	4	2	5	3	2	2
139	332	3.943.001,00	77,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	3	2	5	2	3	2
140	316	4.068.001,00	75,67	1	1	4	3	3	1	4	2	3	4	2	5	3	3	3
141	316	4.168.001,00	79,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	3	2	5	3	5	2
142	312	4.133.001,00	75,00	1	1	4	2	3	1	4	2	3	4	2	5	3	3	3
143	295	4.533.001,00	75,33	1	1	4	2	2	3	4	2	3	2	2	5	3	2	3
144	311	4.198.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	3	2	5	3	5	3
145	339	3.820.001,00	76,00	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	2	1	2
146	325	4.036.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	2	4	2	5	3	2	2
147	333	3.931.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	4	2	2	4	2	5	2	2	2
148	324	4.415.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
149	341	3.810.001,00	73,00	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	4	4	3
150	350	3.758.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	3	2
151	291	4.813.001,00	78,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3
152	343	3.798.001,00	76,00	1	1	4	3	3	1	3	2	2	4	2	5	2	1	2
153	316	4.113.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	4	4	2	5	3	2	3
154	301	4.753.001,00	82,00	1	1	4	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
155	345	3.788.001,00	74,33	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	3	3
156	289	4.853.001,00	78,67	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
157	302	4.678.001,00	79,67	1	1	4	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	2	3
158	321	4.470.001,00	83,33	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
159	313	4.915.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
160	298	5.070.001,00	81,67	1	1	3	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
161	340	3.883.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	3	3	2
162	305	4.668.001,00	80,33	1	1	4	3	4	2	4	2	3	3	2	5	3	5	2
163	348	3.858.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	2	2	5	2	3	2
164	330	4.090.001,00	80,33	1	1	4	3	3	2	3	2	4	2	2	5	3	2	2
165	303	4.328.001,00	78,00	1	1	4	2	3	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3
166	336	3.860.001,00	74,33	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	2	3	3
167	297	4.818.001,00	81,33	1	1	4	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
168	314	4.540.001,00	82,33	1	1	3	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
169	304	4.293.001,00	77,00	1	1	4	2	3	1	4	2	3	3	2	5	3	5	3
170	296	4.723.001,00	77,67	1	1	4	2	4	2	4	2	3	4	2	5	3	5	3
171	318	4.148.001,00	80,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	2	2
172	323	4.430.001,00	82,67	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
173	299	5.105.001,00	82,33	1	1	3	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
174	292	4.848.001,00	80,00	1	1	4	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
175	300	5.045.001,00	81,67	1	1	3	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2

4.3.4. Uygulama Projesine Ait 1000 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri

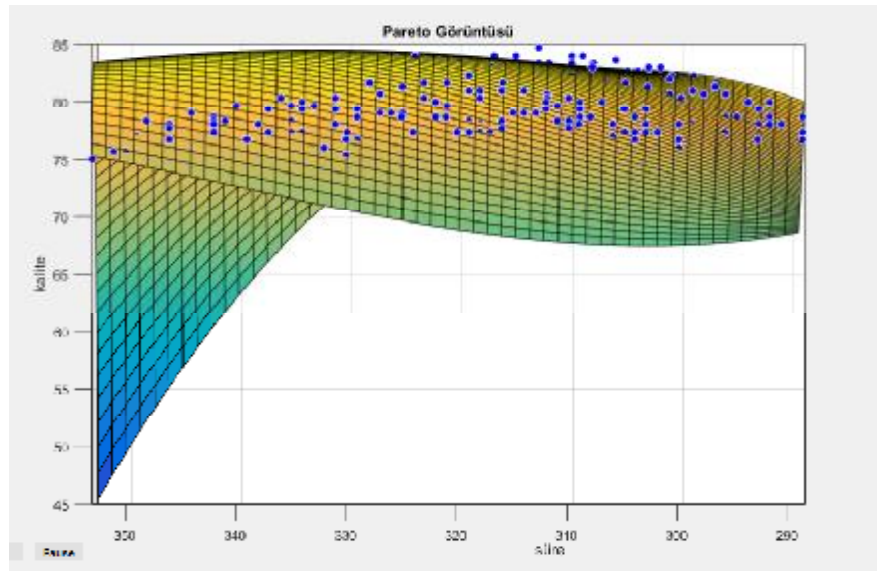
Başlangıç popülasyon değeri 1000 olacak şekilde veriler sisteme girilip genetik algoritma çalıştırılmıştır. 91 nesil oluşmuştur ve 350 tane pareto görüntüsü kaydedilmiştir.



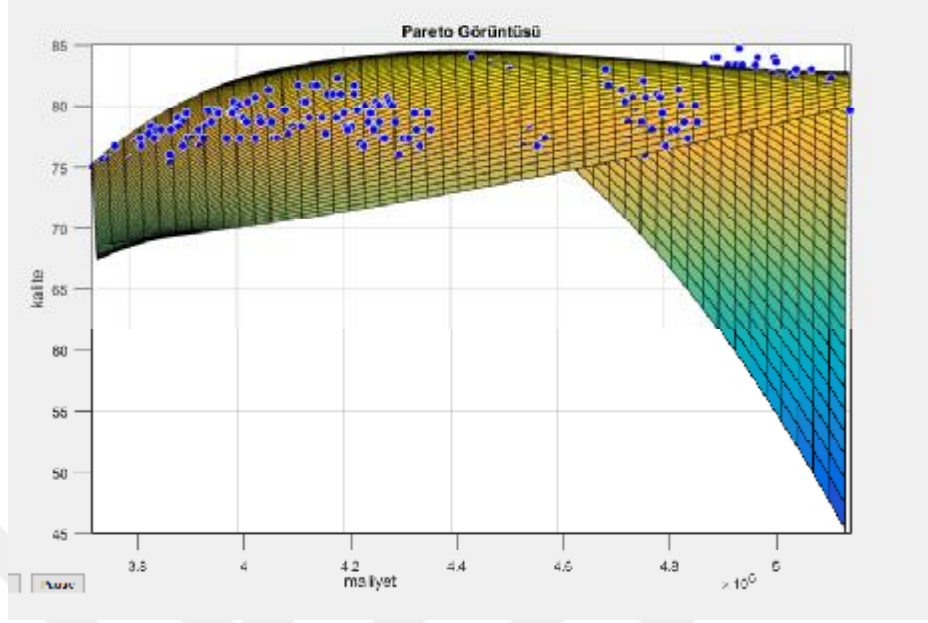
Şekil 4.15: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet-süre grafiği.



Şekil 4.16: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün maliyet-süre grafiği.



Şekil 4.17: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün kalite-süre grafiği.



Şekil 4.18: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün kalite-maliyet grafiği.

Şekil 4.15'te 1000 başlangıç popülasyon değeri için oluşan pareto görüntüsü kalite, maliyet ve süre olacak şekilde üç boyutlu hali ile görünmektedir. Tablo 4.15, Tablo 4.16, Tablo 4.17 ve Tablo 4.18'de ise oluşan 350 adet pareto görüntüsüne ait projeyi oluşturan faaliyet opsiyonları görüntülenmektedir.

Tablo 4.15: Vaka-1'e ait ait 1000 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 1-4.

Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	325	3.940.001,00	72,33	1	1	4	1	3	2	2	2	3	4	2	4	2	1	3	
2	316	4.088.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	3	2	1	
3	344	3.798.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	2	2	4	2	5	2	4	2		
4	351	3.748.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	4	2	
5	299	5.105.001,00	82,33	1	1	3	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2	
6	317	4.872.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	2	2	4	1	2	5	3	2	2	
7	300	4.333.001,00	76,67	1	1	4	2	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3	
8	320	3.998.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	3	1	1	
9	326	4.006.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	1	3	2	5	3	1	2	
10	319	4.163.001,00	81,00	1	1	4	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2	
11	308	4.165.001,00	75,33	1	1	4	3	3	3	2	2	3	4	2	5	3	2	3	
12	328	4.372.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	2	2	4	1	2	5	3	2	2	
13	298	4.423.001,00	74,67	1	1	4	2	2	3	4	2	3	4	2	5	3	2	1	
14	323	4.116.001,00	80,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	3	2	5	3	5	2	
15	302	4.640.001,00	79,00	1	1	3	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3	
16	303	4.348.001,00	79,33	1	1	4	2	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3	
17	307	4.610.001,00	80,33	1	1	3	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
18	311	4.133.001,00	76,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	5	3	1	2	
19	321	4.143.001,00	81,67	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2	
20	343	3.808.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	3	3	
21	296	5.110.001,00	81,00	1	1	3	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
22	313	4.093.001,00	76,00	1	1	4	2	3	2	4	2	3	4	2	5	3	1	3	
23	329	3.986.001,00	79,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	3	2	5	3	1	2	
24	289	4.833.001,00	77,33	1	1	4	2	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3	
25	307	4.673.001,00	81,67	1	1	4	3	4	1	4	2	4	1	2	5	3	2	2	
26	298	4.738.001,00	79,33	1	1	4	3	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	2	
27	315	4.895.001,00	84,00	1	1	2	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2	
28	311	4.198.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	3	2	5	3	5	3	
29	312	4.930.001,00	83,33	1	1	3	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2	
30	335	3.958.001,00	79,67	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	2	3	2	
31	321	4.083.001,00	79,67	1	1	4	3	3	2	4	2	4	4	2	5	3	2	2	
32	293	4.768.001,00	78,00	1	1	4	3	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3	
33	294	5.135.001,00	81,00	1	1	3	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3	
34	295	4.513.001,00	76,00	1	1	4	2	2	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3	
35	313	4.178.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	2	3	
36	324	3.975.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	2	2	3	4	2	5	3	1	2	
37	330	3.893.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	3	2	1	2
38	304	4.268.001,00	77,33	1	1	4	3	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3	
39	307	4.648.001,00	81,00	1	1	4	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	2	2	
40	309	5.000.001,00	84,00	1	1	2	2	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2	
41	307	4.975.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
42	321	4.440.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
43	289	4.853.001,00	78,67	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3	
44	291	5.140.001,00	79,67	1	1	3	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3	
45	310	4.605.001,00	81,67	1	1	3	2	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2	
46	310	4.940.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
47	314	4.510.001,00	81,67	1	1	2	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
48	289	4.793.001,00	76,67	1	1	4	2	4	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3	
49	350	3.758.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	3	2	
50	301	4.733.001,00	80,67	1	1	4	3	4	3	4	2	4	3	2	5	3	5	2	
51	349	3.808.001,00	77,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	3	2	5	1	4	2	
52	331	3.923.001,00	78,00	1	1	4	3	3	2	2	2	2	4	2	5	3	1	2	
53	303	5.010.001,00	82,33	1	1	2	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
54	326	4.395.001,00	83,33	1	1	2	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2	
55	336	3.990.001,00	80,33	1	1	4	3	3	2	3	2	4	1	2	5	3	3	2	
56	334	3.960.001,00	79,33	1	1	4	3	3	2	3	2	4	3	2	5	3	1	2	
57	292	4.828.001,00	78,67	1	1	4	2	4	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3	
58	318	4.475.001,00	82,00	1	1	3	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
59	342	3.815.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	3	2	4	4	2	5	2	1	2	
60	318	4.173.001,00	81,00	1	1	4	3	3	1	4	2	4	1	2	5	3	2	2	
61	311	4.545.001,00	81,00	1	1	3	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
62	300	5.045.001,00	81,67	1	1	3	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
63	342	3.881.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	1	2	5	2	4	2	
64	294	4.823.001,00	80,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2	
65	337	3.825.001,00	74,33	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	4	2	1	1	
66	346	3.768.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	1	2	
67	308	4.663.001,00	81,67	1	1	4	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2	
68	293	4.788.001,00	79,33	1	1	4	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3	
69	303	5.040.001,00	83,00	1	1	3	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2	
70	305	4.635.001,00	80,33	1	1	3	2	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3	
71	298	4.525.001,00	77,33	1	1	4	2	2	3	2	2	4	1	2	5	3	5	3	
72	309	4.238.001,00	78,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	2	
73	302	5.070.001,00	83,00	1	1	2	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2	
74	321	4.058.001,00	78,67	1	1	4	2	3	2	4	2	4	4	2	5	3	1	2	
75	297	4.818.001,00	81,33	1	1	4	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2	
76	302	4.253.001,00	75,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	5	3	2	3	
77	302	4.313.001,00	77,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3	
78	295	4.748.001,00	78,67	1	1	4	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3	
79	305	4.263.001,00	77,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	5	3	5	2	
80	333	3.991.001,00	79,67	1	1	4	3	3	2	4	2	2	1	2	5	2	2	2	
81	294	4.763.001,00	78,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	4	2	5	3	5	2	
82	340	3.943.001,00	79,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	1	2	5	3	3	2	
83	310	4.278.001,00	80,33	1	1	4	2	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3	
84	292	4.848.001,00	80,00	1	1	4	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3	
85	330	3.933.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	3	2	5	2	1	2	
86	342	3.855.001,00	78,00	1	1	4	3	3	2	3	2	4	3	2	5	2	1	2	
87	310	4.970.001,00	84,00	1	1	3	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2	
88	306	5.005.001,00	83,67	1	1	2	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5		

Tablo 4.16: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 2-4.

Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
89	312	4.193.001,00	79,33	1	1	4	3	3	3	4	2	4	4	2	5	3	5	2
90	291	4.813.001,00	78,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3
91	306	4.248.001,00	78,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3
92	316	4.213.001,00	81,67	1	1	4	3	3	1	4	2	4	1	2	5	3	5	2
93	309	4.258.001,00	80,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
94	300	4.293.001,00	76,00	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
95	339	3.818.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	2	2	2	4	2	5	2	1	2
96	298	4.463.001,00	76,00	1	1	4	2	2	3	4	2	3	4	2	5	3	5	2
97	310	4.148.001,00	76,33	1	1	4	3	3	1	4	2	3	4	2	5	3	2	3
98	312	4.233.001,00	80,00	1	1	4	3	3	3	4	2	4	3	2	5	3	5	2
99	308	4.683.001,00	83,00	1	1	4	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
100	314	4.153.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	4	4	2	5	3	5	3
101	305	4.323.001,00	79,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
102	341	3.888.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	2	2	2	1	2	5	2	3	2
103	346	3.833.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	1	2	4	2	1	2
104	324	4.435.001,00	84,00	1	1	2	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
105	304	4.228.001,00	76,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
106	304	4.678.001,00	80,33	1	1	4	3	4	1	4	2	3	1	2	5	3	2	2
107	301	4.753.001,00	82,00	1	1	4	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
108	298	4.758.001,00	80,67	1	1	4	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
109	309	4.243.001,00	79,33	1	1	4	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	2	3
110	308	4.600.001,00	81,00	1	1	2	2	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
111	324	4.415.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
112	300	4.718.001,00	80,33	1	1	4	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	3
113	298	4.698.001,00	78,67	1	1	4	3	4	3	4	2	3	4	2	5	3	5	2
114	300	4.353.001,00	78,00	1	1	4	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
115	313	4.935.001,00	84,67	1	1	2	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
116	311	4.218.001,00	79,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	3
117	304	4.288.001,00	78,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
118	318	4.023.001,00	73,00	1	1	4	2	3	1	4	2	3	4	2	4	2	1	3
119	319	4.183.001,00	82,33	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
120	317	4.888.001,00	84,00	1	1	2	3	4	2	4	2	2	1	2	5	3	5	2
121	331	3.985.001,00	79,33	1	1	4	3	3	2	3	2	3	1	2	5	3	1	2
122	303	4.713.001,00	81,33	1	1	4	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	2	2
123	330	3.870.001,00	75,33	1	1	4	3	3	2	2	2	3	4	2	5	2	1	1
124	346	3.848.001,00	78,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	2	2	5	2	1	2
125	293	4.493.001,00	74,67	1	1	4	2	2	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
126	297	5.100.001,00	81,67	1	1	2	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
127	320	4.500.001,00	83,33	1	1	2	2	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
128	307	4.283.001,00	80,00	1	1	4	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
129	348	3.838.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	3	2	2	1	2	5	2	3	2
130	328	4.388.001,00	83,33	1	1	2	3	3	2	4	2	2	1	2	5	3	5	2
131	313	4.915.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
132	295	4.453.001,00	74,00	1	1	4	2	2	3	4	2	3	4	2	5	3	2	3
133	295	5.075.001,00	80,33	1	1	3	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
134	299	4.778.001,00	81,00	1	1	4	2	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
135	301	4.693.001,00	80,00	1	1	4	3	4	3	4	2	4	4	2	5	3	5	2
136	327	3.933.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	2	3	3
137	325	4.053.001,00	81,33	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	1	2
138	316	4.188.001,00	81,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
139	293	4.728.001,00	77,33	1	1	4	3	4	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
140	308	4.965.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
141	297	4.428.001,00	75,33	1	1	4	3	2	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
142	310	4.158.001,00	77,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	1	3
143	306	4.223.001,00	77,00	1	1	4	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	1	3
144	315	4.128.001,00	79,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	1	2
145	322	4.058.001,00	80,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	1	2
146	305	4.995.001,00	82,67	1	1	2	3	4	1	4	2	4	1	2	5	3	5	3
147	304	5.030.001,00	82,67	1	1	2	2	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
148	303	4.303.001,00	77,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	1
149	322	3.980.001,00	73,33	1	1	4	3	3	3	2	2	3	4	2	5	2	3	3
150	301	5.035.001,00	82,33	1	1	2	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
151	314	4.078.001,00	75,33	1	1	4	3	3	1	4	1	3	4	2	5	3	1	3
152	305	4.628.001,00	79,67	1	1	4	3	4	2	4	2	3	4	2	5	3	5	2
153	296	4.723.001,00	78,67	1	1	4	3	4	3	4	2	4	4	2	5	3	5	3
154	310	4.208.001,00	78,33	1	1	4	3	3	1	4	2	3	1	2	5	3	2	3
155	332	3.870.001,00	76,00	1	1	4	3	3	2	2	2	3	4	2	5	2	1	2
156	335	3.865.001,00	74,00	1	1	4	2	3	2	3	2	3	4	2	5	4	1	1
157	306	4.575.001,00	79,67	1	1	3	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
158	293	4.553.001,00	76,67	1	1	4	2	2	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
159	353	3.728.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	4	2
160	305	4.688.001,00	81,67	1	1	4	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
161	319	4.028.001,00	77,33	1	1	4	3	3	1	4	2	3	4	2	5	3	1	2
162	325	4.036.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	4	2	5	3	2	2	2
163	296	4.783.001,00	80,67	1	1	4	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
164	302	4.703.001,00	80,33	1	1	4	3	4	1	4	2	4	1	2	5	3	2	3
165	299	4.405.001,00	74,67	1	1	4	3	2	3	2	2	3	4	2	5	3	5	3
166	318	4.123.001,00	80,33	1	1	4	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	1	2
167	308	4.965.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
168	296	4.568.001,00	77,33	1	1	4	2	2	3	4	2	4	2	2	5	3	5	3
169	310	4.148.001,00	76,33	1	1	4	3	3	1	4	2	3	4	2	5	3	2	3
170	338	3.873.001,00	78,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	3	1	2
171	328	4.110.001,00	81,67	1	1	4	3	3	2	3	2	4	1	2	5	3	5	2
172	328	3.955.001,00	76,67	1	1	4	3	3	1	3	2	3	4	2	5	3	1	2
173	337	3.901.001,00	79,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	1	2	5	2	1	2
174	303	4.303.001,00	77,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	1
175	340	3.943.001,00	79,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	1	2	5	3	3	2
176	292	4.803.001,00	78,00															

Tablo 4.17: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 3-4.

Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
177	334	3.911.001,00	77,33	1	1	4	3	3	1	4	2	2	3	2	5	2	1	2
178	313	4.990.001,00	81,67	1	1	2	2	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	2
179	305	4.995.001,00	82,67	1	1	2	3	4	1	4	2	4	1	2	5	3	5	3
180	309	4.570.001,00	81,00	1	1	3	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
181	295	4.453.001,00	74,00	1	1	4	2	2	3	4	2	3	4	2	5	3	2	3
182	327	4.003.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	4	4	2	5	3	3	2
183	335	3.938.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	4	3	2	5	2	3	2
184	317	4.068.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	3	2	5	3	1	3
185	327	4.030.001,00	80,67	1	1	4	3	3	2	2	2	4	1	2	5	3	1	2
186	312	4.233.001,00	80,00	1	1	4	3	3	3	4	2	4	3	2	5	3	5	2
187	315	4.095.001,00	76,33	1	1	4	3	3	2	2	2	3	4	2	5	3	2	3
188	296	4.528.001,00	76,67	1	1	4	2	2	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3
189	328	4.372.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	2	2	4	1	2	5	3	2	2
190	324	3.975.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	2	2	3	4	2	5	3	1	2
191	318	4.023.001,00	73,00	1	1	4	2	3	1	4	2	3	4	2	4	2	1	3
192	342	3.800.001,00	74,33	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	2	4	1
193	312	4.273.001,00	80,67	1	1	4	3	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	2
194	317	4.505.001,00	83,00	1	1	2	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
195	315	4.530.001,00	82,00	1	1	2	2	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
196	289	4.793.001,00	76,67	1	1	4	2	4	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
197	334	3.911.001,00	77,33	1	1	4	3	3	1	4	2	2	3	2	5	2	1	2
198	302	4.703.001,00	80,33	1	1	4	3	4	1	4	2	4	1	2	5	3	2	3
199	324	4.435.001,00	84,00	1	1	2	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
200	299	4.538.001,00	78,00	1	1	4	2	2	3	4	2	4	2	2	5	3	5	1
201	318	4.063.001,00	77,33	1	1	4	2	3	2	4	2	3	4	2	5	3	1	2
202	295	5.075.001,00	80,33	1	1	3	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
203	306	4.203.001,00	75,67	1	1	4	2	3	3	4	2	3	3	2	5	3	1	3
204	313	4.178.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	2	3
205	312	4.253.001,00	80,33	1	1	4	2	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
206	346	3.768.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	1	2
207	314	4.540.001,00	82,33	1	1	3	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
208	309	4.238.001,00	78,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	2
209	298	4.758.001,00	80,67	1	1	4	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
210	332	4.315.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	3	2
211	303	4.328.001,00	78,00	1	1	4	2	3	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3
212	293	4.533.001,00	75,33	1	1	4	2	2	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
213	289	4.853.001,00	78,67	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
214	308	4.663.001,00	81,67	1	1	4	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
215	322	3.980.001,00	73,33	1	1	4	3	3	3	2	2	3	4	2	5	2	3	3
216	293	4.493.001,00	74,67	1	1	4	2	2	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
217	329	3.925.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	5	3	1	1
218	297	4.818.001,00	81,33	1	1	4	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
219	337	3.825.001,00	74,33	1	1	4	3	3	2	3	2	3	4	2	4	2	1	1
220	346	3.833.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	1	2	4	2	1	2
221	318	4.173.001,00	81,00	1	1	4	3	3	1	4	2	4	1	2	5	3	2	2
222	317	4.872.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	2	2	4	1	2	5	3	2	2
223	293	4.728.001,00	77,33	1	1	4	3	4	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
224	294	4.823.001,00	80,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
225	331	4.016.001,00	80,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	1	2	5	3	3	2
226	300	4.718.001,00	80,33	1	1	4	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	3
227	342	3.895.001,00	78,67	1	1	4	3	3	2	3	2	4	2	2	5	2	1	2
228	304	4.288.001,00	78,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
229	291	4.753.001,00	76,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	4	2	5	3	2	3
230	353	3.728.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	4	2
231	309	5.000.001,00	84,00	1	1	2	2	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
232	319	4.465.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
233	323	3.965.001,00	74,00	1	1	4	2	3	2	2	2	3	4	2	5	2	1	3
234	350	3.758.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	4	3	2
235	309	4.198.001,00	78,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	4	2	5	3	5	2
236	315	4.128.001,00	79,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	1	2
237	305	4.688.001,00	81,67	1	1	4	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
238	344	3.885.001,00	79,00	1	1	4	3	3	2	3	2	4	1	2	5	2	3	2
239	306	4.575.001,00	79,67	1	1	3	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
240	334	3.960.001,00	79,33	1	1	4	3	3	2	3	2	4	3	2	5	3	1	2
241	301	4.693.001,00	80,00	1	1	4	3	4	3	4	2	4	4	2	5	3	5	2
242	319	4.098.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	3	3
243	300	4.353.001,00	78,00	1	1	4	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
244	325	3.973.001,00	75,33	1	1	4	3	3	3	4	2	3	4	2	5	2	3	2
245	327	3.933.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	2	3	3
246	323	3.965.001,00	74,00	1	1	4	2	3	2	2	2	3	4	2	5	2	1	3
247	321	4.470.001,00	83,33	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
248	316	4.188.001,00	81,00	1	1	4	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
249	310	4.605.001,00	81,67	1	1	3	2	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
250	314	4.213.001,00	81,00	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
251	302	4.633.001,00	78,33	1	1	4	3	4	3	4	2	4	3	2	5	3	1	3
252	307	4.648.001,00	81,00	1	1	4	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	2	2
253	309	4.243.001,00	79,33	1	1	4	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	2	3
254	303	5.040.001,00	83,00	1	1	3	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
255	307	4.610.001,00	80,33	1	1	3	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
256	325	4.013.001,00	78,67	1	1	4	3	3	2	4	1	4	4	2	5	3	1	2
257	308	4.683.001,00	83,00	1	1	4	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
258	322	4.038.001,00	78,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	3	2	5	3	1	2
259	310	4.940.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
260	308	4.258.001,00	78,67	1	1	4	2	3	3	4	2	4	4	2	5	3	5	2
261	344	3.798.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	2	2	2	4	2	5	2	4	2
262	318	4.103.001,00	78,00	1	1	4	2	3	2	4	2	3	3	2	5	3	1	2
263	298	4.423.001,00	74,67	1	1	4	2	2	3	4	2	3	4	2	5	3	2	1
264	348	3.838.001,00																

Tablo 4.18: Vaka-1'e ait 1000 popülasyonlu çözümün pareto değerleri 4-4.

Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
265	318	4.063.001,00	77,33	1	1	4	2	3	2	4	2	3	4	2	5	3	1	2
266	301	4.733.001,00	80,67	1	1	4	3	4	3	4	2	4	3	2	5	3	5	2
267	304	4.678.001,00	80,33	1	1	4	3	4	1	4	2	3	1	2	5	3	2	2
268	334	4.000.001,00	80,00	1	1	4	3	3	2	3	2	4	2	2	5	3	1	2
269	312	4.930.001,00	83,33	1	1	3	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
270	294	5.135.001,00	81,00	1	1	3	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
271	320	3.998.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	3	1	1
272	335	3.865.001,00	74,00	1	1	4	2	3	2	3	2	3	4	2	5	4	1	1
273	318	4.475.001,00	82,00	1	1	3	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
274	339	3.818.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	2	2	4	2	5	2	1	2	2
275	296	5.110.001,00	81,00	1	1	3	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
276	321	4.440.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
277	305	4.323.001,00	79,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
278	293	4.768.001,00	78,00	1	1	4	3	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
279	332	3.870.001,00	76,00	1	1	4	3	3	2	2	2	3	4	2	5	2	1	2
280	314	4.078.001,00	75,33	1	1	4	3	3	1	4	1	3	4	2	5	3	1	3
281	323	4.136.001,00	81,67	1	1	4	3	3	2	4	2	2	1	2	5	3	5	2
282	335	3.903.001,00	77,33	1	1	4	3	3	1	3	2	2	4	2	5	3	1	2
283	294	4.763.001,00	78,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	4	2	5	3	5	2
284	336	3.850.001,00	75,33	1	1	4	3	3	1	3	2	3	4	2	5	2	1	2
285	310	4.643.001,00	82,33	1	1	4	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
286	328	4.388.001,00	83,33	1	1	2	3	3	2	4	2	2	1	2	5	3	5	2
287	317	4.888.001,00	84,00	1	1	2	3	4	2	4	2	2	1	2	5	3	5	2
288	311	4.545.001,00	81,00	1	1	3	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
289	306	4.248.001,00	78,00	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3
290	306	4.223.001,00	77,00	1	1	4	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	1	3
291	313	4.935.001,00	84,67	1	1	2	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
292	315	4.895.001,00	84,00	1	1	2	3	4	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
293	330	3.893.001,00	76,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	2	1	2
294	297	5.100.001,00	81,67	1	1	2	2	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
295	300	5.045.001,00	81,67	1	1	3	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
296	305	4.628.001,00	79,67	1	1	4	3	4	2	4	2	3	4	2	5	3	5	2
297	289	4.833.001,00	77,33	1	1	4	2	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
298	336	3.990.001,00	80,33	1	1	4	3	3	2	3	2	4	1	2	5	3	3	2
299	324	4.415.001,00	82,67	1	1	2	3	3	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
300	291	4.813.001,00	78,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3
301	291	5.140.001,00	79,67	1	1	3	2	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
302	349	3.808.001,00	77,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	3	2	5	1	4	2
303	293	4.553.001,00	76,67	1	1	4	2	2	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
304	310	4.158.001,00	77,67	1	1	4	3	3	3	4	2	3	1	2	5	3	1	3
305	333	3.991.001,00	79,67	1	1	4	3	3	2	4	2	2	1	2	5	2	2	2
306	319	4.183.001,00	82,33	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	2
307	310	4.278.001,00	80,33	1	1	4	2	3	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
308	306	5.005.001,00	83,67	1	1	2	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
309	298	4.738.001,00	79,33	1	1	4	3	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	2
310	292	4.803.001,00	78,00	1	1	4	2	4	3	4	2	3	3	2	5	3	5	1
311	302	4.313.001,00	77,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3
312	325	3.940.001,00	72,33	1	1	4	1	3	2	2	2	3	4	2	4	2	1	3
313	292	4.828.001,00	78,67	1	1	4	2	4	3	4	2	4	3	2	5	3	5	3
314	346	3.848.001,00	78,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	2	2	5	2	1	2
315	313	4.915.001,00	83,33	1	1	2	3	4	2	4	2	4	3	2	5	3	5	2
316	312	4.273.001,00	80,67	1	1	4	3	3	3	4	2	4	2	2	5	3	5	2
317	296	4.568.001,00	77,33	1	1	4	2	2	3	4	2	4	2	2	5	3	5	3
318	342	3.855.001,00	78,00	1	1	4	3	3	2	3	2	4	3	2	5	2	1	2
319	303	4.348.001,00	79,33	1	1	4	2	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
320	293	4.788.001,00	79,33	1	1	4	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	3
321	307	4.975.001,00	82,67	1	1	3	3	4	2	4	2	3	1	2	5	3	5	2
322	341	3.888.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	2	2	2	1	2	5	2	3	2
323	338	3.873.001,00	78,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	3	1	2
324	304	4.268.001,00	77,33	1	1	4	3	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
325	298	4.525.001,00	77,33	1	1	4	2	2	3	2	2	4	1	2	5	3	5	3
326	295	4.513.001,00	76,00	1	1	4	2	2	3	4	2	3	1	2	5	3	2	3
327	316	4.088.001,00	77,67	1	1	4	3	3	2	4	2	3	4	2	5	3	2	1
328	307	4.283.001,00	80,00	1	1	4	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
329	315	4.070.001,00	75,33	1	1	4	2	3	2	2	2	3	4	2	5	3	1	3
330	326	4.395.001,00	83,33	1	1	2	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
331	351	3.748.001,00	75,67	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	4	2
332	301	5.035.001,00	82,33	1	1	2	3	4	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
333	325	4.053.001,00	81,33	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	1	2
334	310	4.208.001,00	78,33	1	1	4	3	3	1	4	2	3	1	2	5	3	2	3
335	321	4.143.001,00	81,67	1	1	4	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
336	331	3.985.001,00	79,33	1	1	4	3	3	2	3	2	3	1	2	5	3	1	2
337	337	3.841.001,00	77,33	1	1	4	3	3	2	4	2	2	4	2	5	2	1	2
338	317	4.505.001,00	83,00	1	1	2	3	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	2
339	303	5.010.001,00	82,33	1	1	2	3	4	3	4	2	3	1	2	5	3	5	2
340	308	4.600.001,00	81,00	1	1	2	2	3	3	4	2	4	1	2	5	3	5	3
341	300	4.333.001,00	76,67	1	1	4	2	3	3	4	2	3	3	2	5	3	5	3
342	305	4.263.001,00	77,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	5	3	5	2
343	300	4.293.001,00	76,00	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	5	3	5	3
344	343	3.808.001,00	75,00	1	1	4	3	3	2	3	2	2	4	2	5	2	3	3
345	329	3.946.001,00	78,67	1	1	4	3	3	2	4	2	2	4	2	5	3	1	2
346	316	4.113.001,00	78,33	1	1	4	3	3	2	4	2	4	4	2	5	3	2	3
347	323	4.430.001,00	82,67	1	1	3	3	3	2	4	2	4	1	2	5	3	2	2
348	311	4.133.001,00	76,33	1	1	4	2	3	3	4	2	3	4	2	5	3	1	2
349	299	4.778.001,00	81,00	1	1	4	2	4	2	4	2	4	1	2	5	3	5	3
350	299	4.405.001,00	74,67	1	1	4	3	2	3	2	2	3	4	2	5	3	5	3

Başlangıç popülasyon değerleri 50’den başlayarak 100, 500 ve en son olarak da 1000 olarak uygulanmıştır. Başlangıç popülasyon değeri 50 olarak alındığında ortaya çıkan çözüm kümesi değerlerinin çok az sayıda olduğu gözlemlenmiştir. 50 popülasyon ile çözümde 18 pareto görüntüsü, 100 popülasyon ile çözümde 35 pareto görüntüsü, 500 popülasyon ile çözümde 175 pareto görüntüsü ve 1000 popülasyon ile çözümde 350 pareto görüntüsü kaydedilmiştir. Başlangıç popülasyon değeri arttırıldıkça ortaya çıkan çözüm alternatiflerinin sayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Popülasyon sayısının arttırılmasıyla 1000 popülasyondan sonra çözüm tekrarıyla karşılaşıldığı ve zaman kaybına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Alternatif çözümlerin çoğalması için ve en etkili sonuçlara etkili sürelerde ulaşmak için optimum olarak 15 aktivite ve 5 alternatifli problem için 1000 popülasyon değerinde kalınmasına karar verilmiştir. Çözüm sayısının artması proje yöneticisinin seçim ihtiyacına yönelik olarak olumlu bir durum oluşturmaktadır. Bazı faaliyetlere az zaman ayırmak bazılarını daha fazla süre tanımak isteyen proje yöneticisi için avantaj sağlamaktadır.

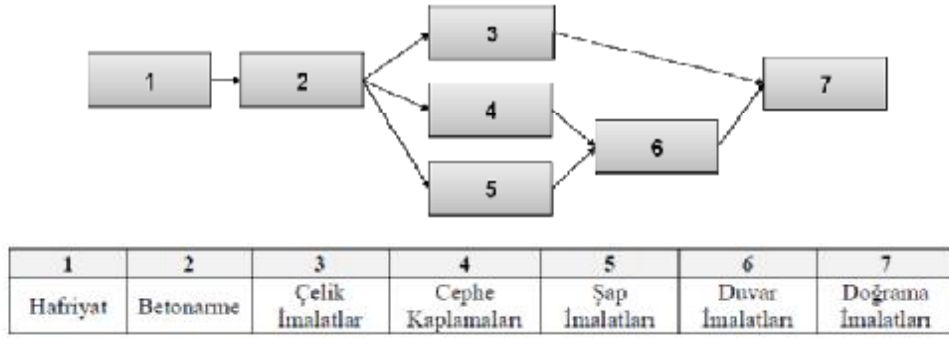
4.4. VAKA ÇALIŞMASI 2

İşçioğlu’nun (2011) “Bulanık Mantık Çözümleme Yöntemi ile Bir Konut Projesinde Süre-Maliyet-Kalite Optimizasyonu” tezinde yer almakta olan bulanık mantık yöntemi ile çözdüğü problem bu tezde genetik algoritma ile çözülmüştür. Problem İstanbul’da bulunan A+ kalite standartlarına sahip bir konut projesinin bilgilerini içermektedir. Probleme 7 aktivite ve her aktiviteye ait en fazla 3 alternatif bulunmaktadır. Probleme ait aktiviteler Tablo 4.19’da yer almaktadır.

Tablo 4.19: Vaka-2 için aktivite isimleri.

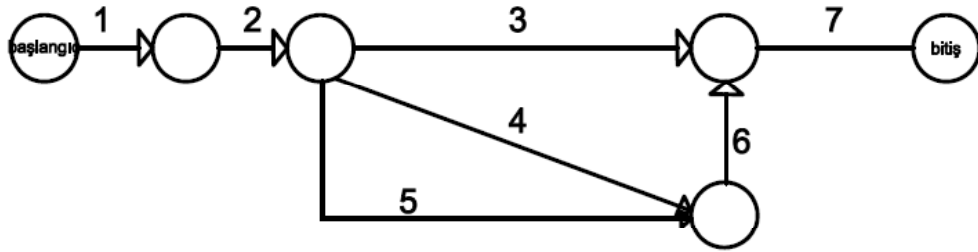
Aktivite numaraları	Aktivite isimleri
1	hafriyat
2	betonarme işleri
3	çelik imalatlar
4	cephe kaplamaalrı
5	şap imalatları
6	duvar imalatları
7	doğrama imalatları

Vaka 2’ye ait olan Genel İş akış diyagramı (İşçioğlu, 2011) Şekil 4.19’da yer almaktadır.



Şekil 4.19: Genel iş akış diyagramı (İşçioğlu, 2011).

Probleme ait CPM şebekesi iş akış diyagramı ve öncelik koşulları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Şekil 4.20’de bu şebeke gösterilmektedir.



Şekil 4.20: Vaka-2 için CPM şebekesi.

Probleme ait faaliyet öncelikleri sırası, süre, maliyet ve kalite opsiyonlarının yer aldığı bilgiler Tablo 4.20’de gösterilmektedir.

Tablo 4.20: Vaka-2 için problem uygulama alternatifleri.

AKTİVİTE	HOF	1. ALTERNATİF			2. ALTERNATİF			3. ALTERNATİF		
		SÜRE	MALİYET	KALİTE %	SÜRE	MALİYET	KALİTE %	SÜRE	MALİYET	KALİTE %
1	-	3	180.000,00	90,00	2	198.000,00	100,00	10	108.000,00	60,00
2	1	70	177.600,00	90,00	90	110.400,00	55,00	-	-	-
3	2	42	62.400,00	80,00	30	78.000,00	85,00	52	52.000,00	75,00
4	2	15	145.600,00	90,00	25	80.000,00	80,00	35	60.000,00	55,00
5	2	7	39.600,00	85,00	14	27.600,00	50,00	-	-	-
6	4-5	10	266.164,00	85,00	20	226.660,00	70,00	25	178.090,00	60,00
7	3-6	14	312.032,00	90,00	20	254.996,00	65,00	-	-	-

4.4.1. Genetik Algoritma ile Çözüm

Bulanık mantık yöntemiyle çözülen problem bu tez kapsamında incenelip uygulanan çok amaçlı çok bilinmeyenli genetik algoritma yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Vaka 2 problemine ait matlabda süre, maliyet ve kalite matrisleri oluşturulmuştur.

Tablo 4.21: Vaka-2 için birey genlerindeki süre matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7
1	3	70	42	15	7	10	14
2	2	90	30	25	14	20	20
3	10	90	52	35	14	25	20

Tablo 4.21'de vaka 2'ye ait süre matrisi ve Tablo 4.22'de maliyet matrisi yer almaktadır.

Tablo 4.22: Vaka-2 için birey genlerindeki maliyet matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7
1	180.000	177.600	62.400	145.600	39.600	266.164	312.032
2	198.000	110.400	78.000	80.000	27.600	226.660	254.996
3	108.000	-	52.000	60.000	-	178.090	-

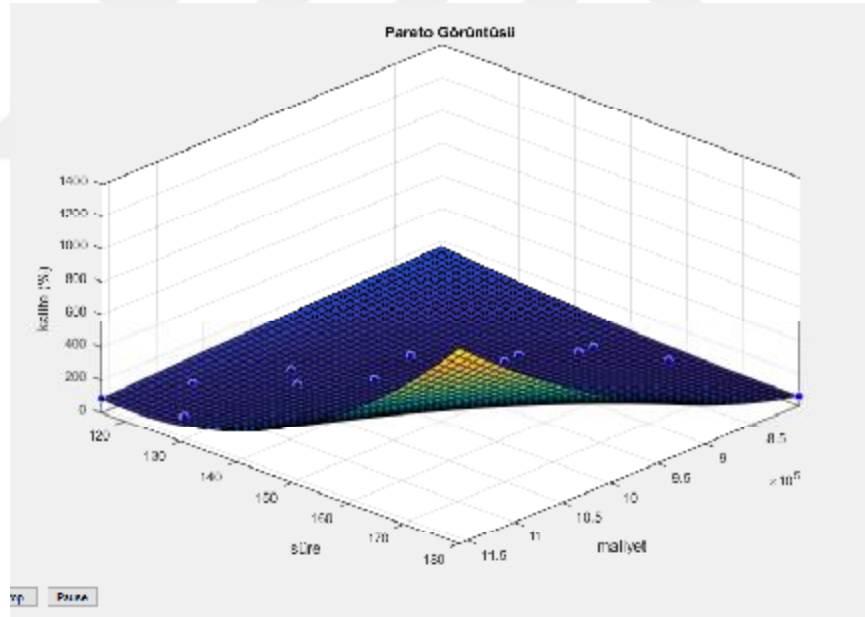
Tablo 4.23: Vaka-2 için birey genlerindeki kalite matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7
1	90	90	80	90	85	85	90
2	100	55	85	80	50	70	65
3	60		75	55		60	

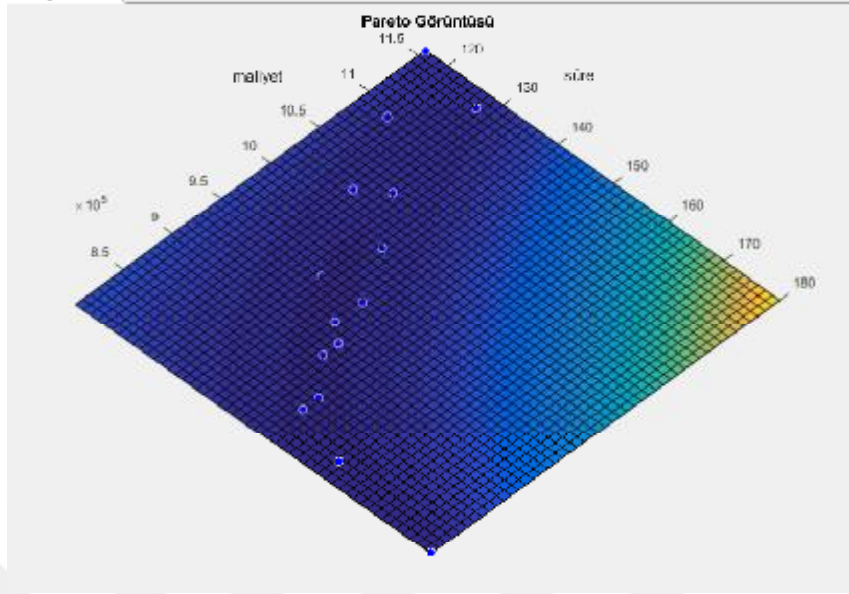
Tablo 4.23’de kalite matrisi bulunan problem 50 ve 100 popülasyon ile matlabda çözülmüştür.

4.4.1.1. 50 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri

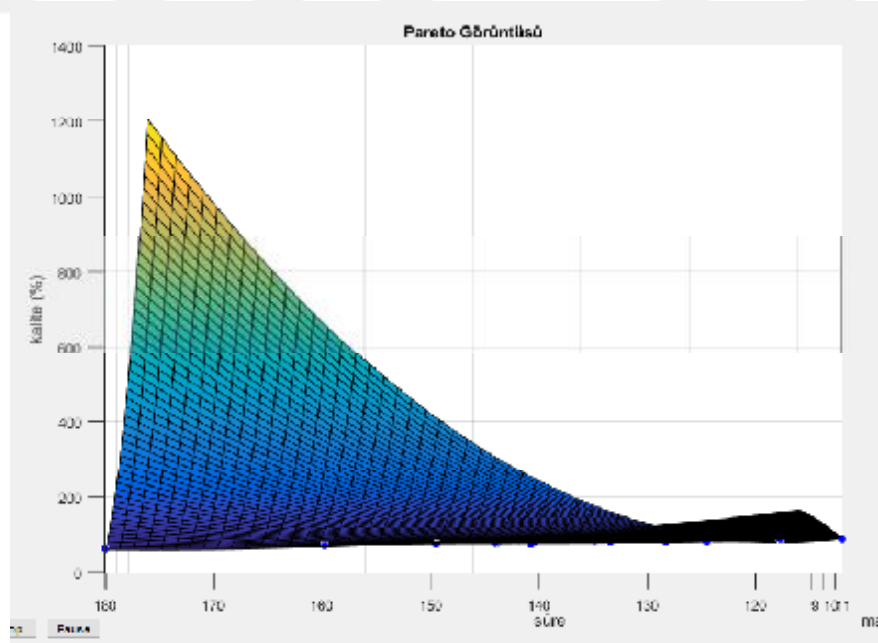
Başlangıç popülasyon değeri 50 olacak şekilde veriler sisteme girilip genetik algoritma çalıştırılmıştır. 106 nesil oluşmuştur ve 20 tane pareto görüntüsü kaydedilmiştir.



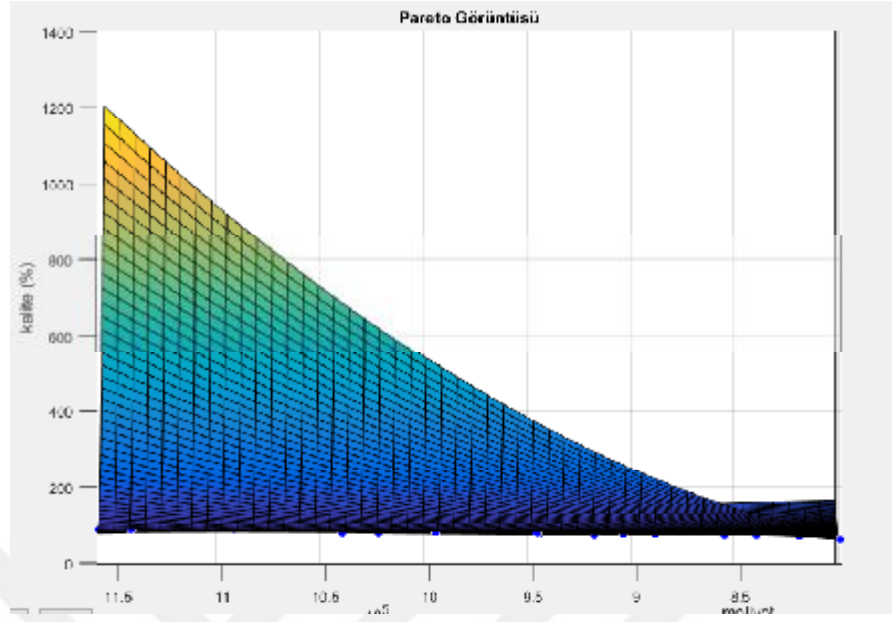
Şekil 4.21: Vaka-2’ ye ait 50 popülasyonlu çözümün süre-maliyet-kalite grafiği.



Şekil 4.22: Vaka-2' ye ait 50 popülasyonlu çözümün süre-maliyet grafiği.



Şekil 4.23: Vaka-2' ye ait 50 popülasyonlu çözümün süre-kalite grafiği.



Şekil 4.24: Vaka-2' ye ait 50 popülasyonu çözümün maliyet-kalite grafiği.

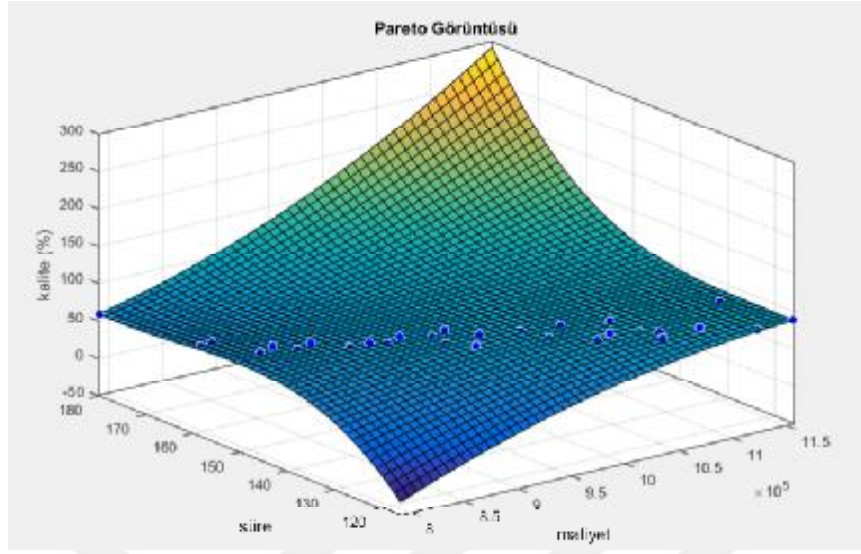
Şekil 4.21'de 50 başlangıç popülasyon değeri için oluşan pareto görüntüsü kalite, maliyet ve süre olacak şekilde üç boyutlu hali ile görünmektedir. Tablo 4.24'te ise oluşan 18 adet pareto görüntüsüne ait projeyi oluşturan faaliyet opsiyonları görüntülenmektedir.

Tablo 4.24: Vaka-2'ye ait 50 popülasyonlu çözümün pareto değerleri.

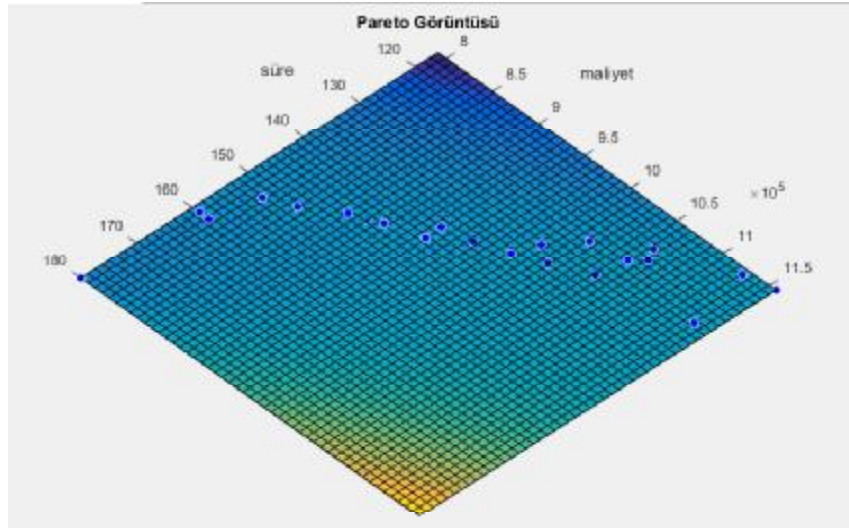
Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası						
				1	2	3	4	5	6	7
1	116	1.156.996,00	89,29	2	1	2	1	1	1	1
2	180	801.486,00	60,71	3	2	1	3	2	3	2
3	128	1.141.396,00	88,57	2	1	1	1	1	1	1
4	121	1.091.396,00	87,86	2	1	2	2	1	1	1
5	127	1.022.360,00	79,29	2	1	2	2	2	1	2
6	160	820.686,00	70,71	3	1	1	3	1	3	2
7	142	918.686,00	75,00	2	1	1	2	2	3	2
8	135	944.360,00	78,57	3	1	2	2	1	1	2
9	150	856.286,00	75,00	3	1	2	2	1	3	2
10	131	1.039.892,00	80,71	2	1	2	2	2	2	1
11	137	994.856,00	82,14	2	1	2	2	1	2	2
12	145	904.856,00	76,43	3	1	2	2	1	2	2
13	121	1.091.396,00	87,86	2	1	2	2	1	1	1
14	142	946.286,00	80,71	2	1	2	2	1	3	2
15	145	889.256,00	75,71	3	1	1	2	1	2	2
16	150	840.686,00	74,29	3	1	1	2	1	3	2
17	160	820.686,00	70,71	3	1	1	3	1	3	2
18	180	801.486,00	60,71	3	2	1	3	2	3	2
19	137	994.856,00	82,14	2	1	2	2	1	2	2
20	116	1.156.996,00	89,29	2	1	2	1	1	1	1

4.4.2.2. 100 Popülasyon ile Oluşan Süre-Maliyet-Kalite Bileşen Değerleri

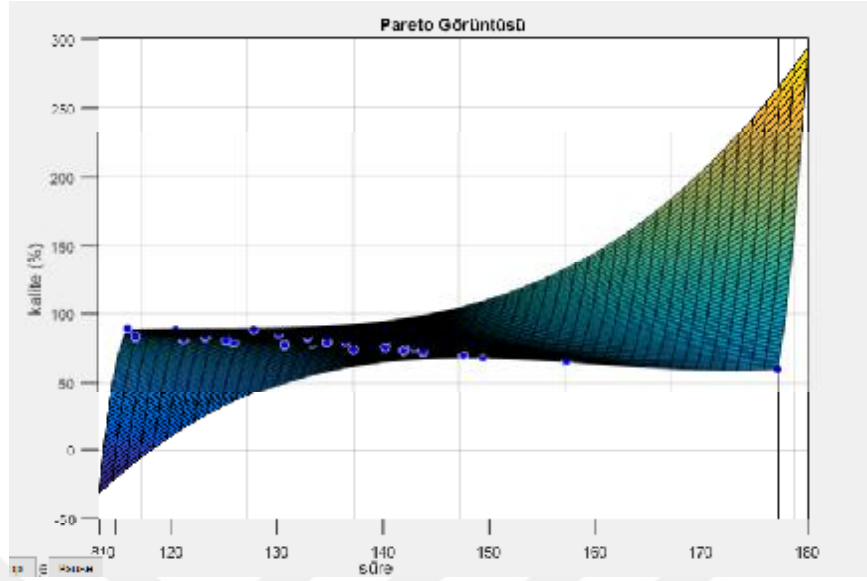
Başlangıç popülasyon değeri 100 olacak şekilde veriler sisteme girilip genetik algoritma çalıştırılmıştır. 102 nesil oluşmuştur ve 35 tane pareto görüntüsü kaydedilmiştir.



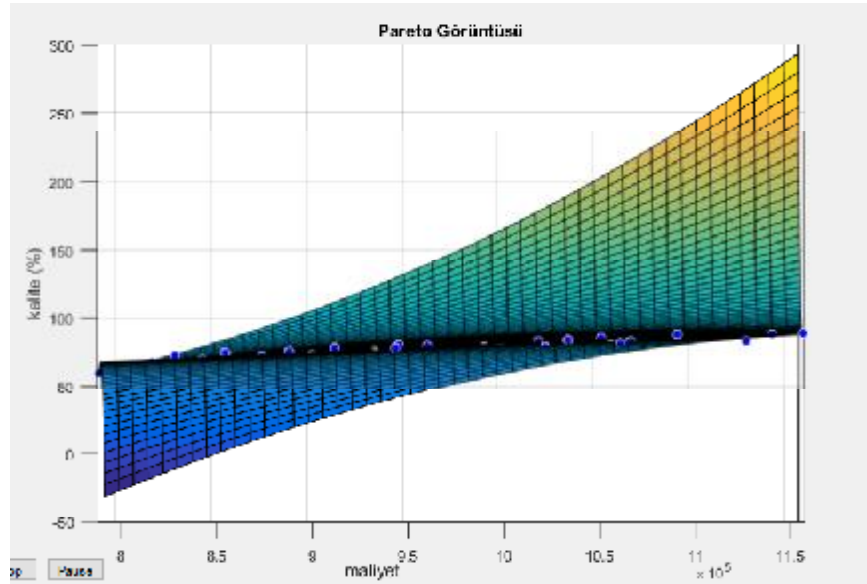
Şekil 4.25: Vaka-2' ye ait 100 popülasyonlu çözümün süre-maliyet-kalite grafiği.



Şekil 4.26: Vaka-2' ye ait 100 popülasyonlu çözümün süre-maliyet grafiği.



Şekil 4.27: Vaka-2' ye ait 100 popülasyonlu çözümün süre-kalite grafiği.



Şekil 4.28: Vaka-2' ye ait 100 popülasyonlu çözümün maliyet-kalite grafiği.

Şekil 4.25’de 100 başlangıç popülasyon değeri için oluşan pareto görüntüsü kalite, maliyet ve süre olacak şekilde üç boyutlu hali ile görünmektedir. Tablo 4.25’te ise oluşan 35 adet pareto görüntüsüne ait projeyi oluşturan faaliyet opsiyonları görüntülenmektedir.

Tablo 4.25: Vaka-2’ye ait 100 popülasyonlu çözümün pareto değerleri.

Pareto sırası	Süre	Maliyet	Kalite %	Faaliyet Numaraları ve Ait Oldukları Alternatif Sırası						
				1	2	3	4	5	6	7
1	121	1.091.396,00	87,86	2	1	2	2	1	1	1
2	180	791.086,00	60,00	3	2	3	3	2	3	2
3	116	1.156.996,00	89,29	2	1	2	1	1	1	1
4	160	808.686,00	65,71	3	1	1	3	2	3	2
5	152	818.286,00	68,57	3	1	3	2	2	3	2
6	150	856.286,00	75,00	3	1	2	2	1	3	2
7	146	875.322,00	72,14	3	1	3	2	2	3	1
8	117	1.126.996,00	82,86	1	1	2	1	2	1	1
9	142	946.286,00	80,71	2	1	2	2	1	3	2
10	138	961.256,00	80,00	1	1	1	2	1	2	2
11	131	1.051.892,00	85,71	2	1	2	2	1	2	1
12	134	1.018.760,00	83,57	2	1	1	2	1	1	2
13	136	991.322,00	79,29	2	1	2	2	2	3	1
14	145	889.256,00	75,71	3	1	1	2	1	2	2
15	127	1.034.360,00	84,29	2	1	2	2	1	1	2
16	144	901.322,00	73,57	3	1	2	2	2	3	1
17	139	934.292,00	74,29	3	1	1	2	2	2	1
18	142	934.286,00	75,71	2	1	2	2	2	3	2
19	146	875.322,00	72,14	3	1	3	2	2	3	1
20	127	1.022.360,00	79,29	2	1	2	2	2	1	2
21	132	999.886,00	77,14	2	1	2	1	2	3	2
22	122	1.061.396,00	81,43	1	1	2	2	2	1	1
23	180	791.086,00	60,00	3	2	3	3	2	3	2
24	116	1.156.996,00	89,29	2	1	2	1	1	1	1
25	144	913.322,00	78,57	3	1	2	2	1	3	1
26	150	844.286,00	70,00	3	1	2	2	2	3	2
27	142	946.286,00	80,71	2	1	2	2	1	3	2
28	135	944.360,00	78,57	3	1	2	2	1	1	2
29	126	1.056.922,00	80,71	2	1	2	1	2	3	1
30	160	798.286,00	65,00	3	1	3	3	2	3	2
31	128	1.141.396,00	88,57	2	1	1	1	1	1	1
32	124	1.066.996,00	83,57	3	1	2	1	1	1	1
33	152	830.286,00	73,57	3	1	3	2	1	3	2
34	121	1.091.396,00	87,86	2	1	2	2	1	1	1
35	117	1.126.996,00	82,86	1	1	2	1	2	1	1

Başlangıç popülasyon değerleri vaka-1’de olduğu gibi 50’den başlatılarak çözülmüştür. 50 popülasyon ile çözümde 20 pareto görüntüsü, 100 popülasyon ile çözümde 35 pareto görüntüsü kaydedilmiştir. Vaka-2 ‘de de başlangıç popülasyon değeri arttırıldıkça ortaya çıkan çözüm alternatiflerinin sayısının da arttığı gözlemlenmiştir fakat vaka-2’ye ait aktivite sayısı ve problem alternatifleri daha az olduğu için sonuçların tekrara gitmesi daha erken popülasyon değerlerinde görülmüştür. Aktivite sayısı 7 ve alternatif sayısı 3 olan bir problem için 100 popülasyon ile uygulamanın ideal olduğu gözlemlenmiştir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Uygulama bakımından inşaat piyasasında en önemli problemlerin başında proje süresi ve proje maliyeti yer almaktadır. Bu tez kapsamındaki incelemelerde önemli olan bu iki faktörle beraber kalite değerleri de dahil edilmiştir. Proje süresi ve proje maliyeti genellikle birbirleriyle ters orantılı olarak değişmektedirler. Sürenin kısalması için ekip sayısının artırılması gerekeceği için maliyet de artacaktır. Aynı zamanda süre kısalmasıyla beraber kalite değerlerinde düşme meydana gelme ihtimali de vardır. Diğer taraftan kalitenin artması maliyeti de arttıracaktır. Bu üç etkenin birbirleriyle etkileşimleri oldukça karmaşıktır. Proje süresinin ve maliyetin en aza indirilmesi amaçlanırken kalite değerinin de en üst noktada olması istenmektedir. Bu üç etken göz önüne alındığında bir projeyi oluşturan faaliyetler arttıkça ve bu faaliyetlere ait süre, maliyet ve kalite alternatifleri çoğaldıkça optimum çözümü bulmak daha da zorlaşmaktadır.

Çok amaçlı çok alternatifli optimizasyon probleminde proje süresinin ve maliyetin azaltılması ve bununla beraber kalite değerinin artması hedeflenmektedir.

İnşaat projelerinde belli sıralamaya göre gerçekleştirilen faaliyetler bütünü proje süresini oluşturmaktadır. Bu faaliyetlerin her birinin değişik süre, maliyet ve kalite değerlerine sahip birçok alternatifi olabilmektedir. Farklı teknolojilerle uygulaması yapılan bir faaliyete ait süre ve maliyet değerleri de farklılık arz edecektir. Bununla beraber kalite de değişiklik gösterecektir. Tüm bu faaliyet alternatiflerinin içinde proje planlaması yapmak karmaşık bir hal almaktadır. Yüzlerce hatta binlerce seçenek oluşmaktadır ve proje büyüklüğüne bağlı olarak seçeneklerin sayıları çok daha büyük değerler alabilmektedir. Tüm alternatifleri atlamamak ve verimli bir seçim yapabilmek adına meta sezgisel algoritmalarından yardım almak kaçınılmaz bir hal almaktadır.

Bu tezdeki çalışmada vaka-1’de gerçek bir inşaat projesine ait süre-maliyet-kalite ödünleşim problemi irdelenmiş ve çözülmüştür. Vaka-2’de daha önce İşçioglu’nun (2011) “Bulanık Mantık Çözümleme Yöntemi ile Bir Konut Projesinde Süre-Maliyet-Kalite Optimizasyonu” tezinde yer alan ve bulanık mantık yöntemi ile çözülen bir problem çözülmüştür. Çok amaçlı çok alternatifli optimizasyon problemini çözmek için evrimsel tabanlı meta sezgisellerden genetik algoritma matlab kodu yazılarak kullanılmıştır.

Bu tezde incelenen problemlerde uygulanan GA' da popülasyon büyüklüğünün pareto değerine etkisi de incelenmiştir. Popülasyon sayısındaki artışla beraber pareto görüntülerinde de artış gözlemlenmiştir. İterasyon sayısı kısıtlar arasında yer almazken süre kısıtı oluşturulmuştur. Mutasyon değeri GA uygulamalarının genelinde olduğu gibi 0,05 olarak kullanılmıştır.

Vaka-1'de çözülen probleme ait popülasyon sonuçları karşılaştırıldığında; süre bakımından en kısa süre ve en az maliyete sahip değer 100 ve 1000 popülasyonlu uygulamada olduğu görülmektedir. En düşük maliyet açısından bakıldığında tüm popülasyonlarda aynı değere sahip en düşük maliyet ve buna bağlı proje süresi yakalanmıştır fakat bu maliyet ve süreye bağlı kalite değeri 50 popülasyonda yakalanamamış kalite değeri diğer popülasyonlara göre düşük kalmıştır. Kalite açısından değerlendirildiğinde en yüksek kalite değeri 1000 popülasyonla uygulanan durumda gerçekleşmiştir. 3 kriter de dikkate alındığında bu problem için en uygun sonuçlara 1000 popülasyon ulaşabilmiştir. Vaka-1 için Tablo 5.1'de popülasyon karşılaştırmaları yer almaktadır.

Tablo 5.1: Vaka-1'e ait popülasyon değerlendirmeleri.

50 Popülasyon ile Çözüm				
	pareto sırası	süre	maliyet	kalite (%)
en kısa süre	2	289	4.873.001,00	78,00
en uzun süre	10	366	4.029.501,00	75,67
en düşük maliyet	17	353	3.733.001,00	74,00
en yüksek maliyet	3	291	5.160.001,00	79,00
en düşük kalite	15	330	3.990.001,00	71,00
en yüksek kalite	1	319	4.848.001,00	83,33
100 Popülasyon ile Çözüm				
	pareto sırası	süre	maliyet	kalite (%)
en kısa süre	2	289	4.833.001,00	77,33
en uzun süre	31	353	3.728.001,00	75,00
en düşük maliyet	3	353	3.728.001,00	75,00
en yüksek maliyet	11	294	5.155.001,00	80,33
en düşük kalite	27	330	3.990.001,00	71,00
en yüksek kalite	1	310	4.990.001,00	83,33
500 Popülasyon ile Çözüm				
	pareto sırası	süre	maliyet	kalite (%)
en kısa süre	53	289	4.853.001,00	78,67
en uzun süre	114	353	3.728.001,00	75,00
en düşük maliyet	57	353	3.728.001,00	75,00
en yüksek maliyet	104	291	5.140.001,00	79,67
en düşük kalite-1	71	317	4.063.001,00	72,33
en düşük kalite-2	100	329	3.935.001,00	72,33
en yüksek kalite-1	25	313	4.955.001,00	84,00
en yüksek kalite-2	34	310	4.970.001,00	84,00
en yüksek kalite-3	37	315	4.895.001,00	84,00
1000 Popülasyon ile Çözüm				
	pareto sırası	süre	maliyet	kalite (%)
en kısa süre-1	24	289	4.833.001,00	77,33
en kısa süre-2	43	289	4.853.001,00	78,67
en kısa süre-3	48	289	4.793.001,00	76,67
en uzun süre	159	353	3.728.001,00	75,00
en düşük maliyet	159	353	3.728.001,00	75,00
en yüksek maliyet	44	291	5.140.001,00	79,67
en düşük kalite	1	325	3.940.001,00	72,33
en yüksek kalite	115	313	4.935.001,00	84,67

Tablo 5.2: Vaka-2'e ait popülasyon değerlendirmeleri.

50 Popülasyon ile Çözüm				
	pareto sırası	süre	maliyet	kalite (%)
en kısa süre	1	116	1.156.996,00	89,29
en uzun süre	2	180	801.486,00	60,71
en düşük maliyet	2	180	801.486,00	60,71
en yüksek maliyet	1	116	1.156.996,00	89,29
en düşük kalite	2	180	801.486,00	60,71
en yüksek kalite	1	116	1.156.996,00	89,29
100 Popülasyon ile Çözüm				
	pareto sırası	süre	maliyet	kalite (%)
en kısa süre	3	116	1.156.996,00	89,29
en uzun süre	2	180	791.086,00	60,00
en düşük maliyet	2	180	791.086,00	60,00
en yüksek maliyet	3	116	1.156.996,00	89,29
en düşük kalite	2	180	791.086,00	60,00
en yüksek kalite	3	116	1.156.996,00	89,29

Tablo 5.2'de bulunan vaka-2'de çözülen probleme ait popülasyon sonuçlarına bakıldığında; süre açısından en kısa süre ve en az maliyete sahip değerler 50 ve 100 popülasyonlu her iki uygulamada da aynı kalite değerlerini de alabilmişlerdir. En düşük maliyet kriterini 100 popülasyonlu uygulama bulabilmiştir. Kalite durumu değerlendirildiğinde her iki popülasyon da aynı süre, maliyet ve kalite değerlerine ulaşmıştır. 3 kriter de göz önünde bulundurulduğunda her ne kadar bazı sonuçlar aynı da olsa 100 popülasyonla yapılan uygulamanın daha etkin sonuçlara ulaştığı gözlenmiştir.

Vaka-2'nin bulanık mantık yöntemiyle çözülen sonuçları ile genetik algoritma ile çözülen sonuçlarını mukayese etmek gerekirse; en düşük maliyet 791.086,00 TL ve en yüksek kalite değerleri 89,29 olarak her iki yöntem için de aynı olmaktadır. Projeyi en kısa sürede bitirme değerleri ise bulanık mantıkta 111 gün iken genetikte 116 gün olarak yer almaktadır.

Bu tez inceleme amacına çoğunlukla ulaşarak, proje yöneticisinin oluşturması mümkün olmayacak kadar çok sayıda süre, maliyet ve kalite kombinasyonunu oluşturmuştur. İncelemeler sonucunda gözlenmiştir ki bu probleme ait tek bir çözüm yoktur. Aynı anda en kısa

proje süresi, an az maliyet ve en fazla kalite değerini sağlayan bir çözüm mümkün olmamaktadır. Pareto cephesi boyunca oluşan çözümler kümesi oluşmaktadır. En doğru çözüm, proje yöneticisinin istekleri doğrultusunda değişmektedir. Oluşan çözümler kümesi içinden süre, maliyet ve kalite değerlerinin hangisi öncelik arz ediyorsa veya parça parça projeyi oluşturan faaliyetlere ait hangi faaliyet için hangi kriter öncelik oluşturuyorsa ona göre bir seçim yapma şansı proje yöneticisine sunulmaktadır.

Bundan sonraki araştırmalarda pareto cephesinde oluşan binlerce hatta çok daha fazla sayıdaki çözümler farklı bir yöntemle gruplandırılabilirler. Kendi içlerinde ayrıca faaliyetler de farklı seçim önceliği açısından değerlendirilebilecek şekilde gruplandırılabilir. Buna dair bir yazılım geliştirilip inşaat sektöründe aktif olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Afruz, E.N., Roghanian, E., Nejafi, A., Mazinani, M., 2013, A Multi-Mode Resource-Constrained Discrete Time-Cost Trade off Problem Solving Using An Adjusted Fuzzy Dominance Genetic Algorithm, *Scientia Iranica*, E, 20(3), 931-944.
- Afshar, A., Kaveh, A., Shoghli, O.R., 2007, Multi-Objective Optimization of Time-Cost-Quality, *Asian Journal of Civil Engineering*, Building and Housing, 8(2), 113-124.
- Artigues, C., Philippe, M., Stephane, R., 2003, Insertion Techniques for Static and Dynamic Resource-Constrained Project Scheduling, *European Journal of Operational Research*, 149(2), 249-267.
- Bhatti, M.A., 2000, Practical Optimization Methods with Mathematica Applications, *Springer-Verlag*, New York, Inc.
- Bingol, B.N., Polat, G., 2015, Time-Cost-Quality Trade-off Model for Subcontractor Selection Using Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm, *In: Raidén, A B and Aboagye-Nimo, E (Eds) Procs 31st Annual ARCOM Conference, 7-9 September 2015, Lincoln, UK, Association of Researchers in Construction Management*, 13-22.
- Bolat, B., Osman, E., İmsak, E.C., 2004, Mühendislik Uygulamalarında Genetik Algoritma ve Operatörlerin İşlevleri, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 2004/4, 264-271.
- Burke, R., 2003, Project Management Planning and Control Techniques, *West Sussex: Wiley Chichester*.
- Chan, F.T.S., Chung, S.H., Wadhwa, S., 2005, A Hybrid Genetic Algorithm for Production and Distribution, *The International Journal of Management Science*, Omega 33, 345-555.
- Coello, C.C., Veldhuizen, D.V., Lamont, G.B., 2002, Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems, *New York: Springer Science + Business Media*.
- Collette, Y. ve Siarry, P., 2003, Multiobjective Optimization Principles and Case Studies, *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg.
- Çetin, E., 2004, *Stokastik Programlama Yöntemiyle Bir Portföy Optimizasyonu Modelinin Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, İstanbul, İ. Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı.
- Çetin, N., 2002, *Genetik Algoritma*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çizer, E.B., 2018, *Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Kredi Risk Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deb, K., 2001, Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms, *John Wiley*, Chichester, UK.

- Deb, K., 2004, Optimization for Engineering Design: Algorithms and Examples, *Prentice Hall*, New Delhi, India.
- Debels, D., Reyck, B.D., Leus R., Vanhoucke M., 2003, A Hybrid Scatter Search/Electromagnetism Meta-Heuristic for Project Planning, *Vierick Leuven Gent Management School Working Paper*, (25).
- Debels, D., Vanhoucke, M., 2005, A Bi-Population Based Genetic Algorithm for the Resource Constrained Project Scheduling Problem, *Vierick Leuven Gent Working Paper*, (8).
- Dorigo, M. ve Stützle, T., 2004, Ant Colony Optimization, *Massachusetts Institute of Technology*, The MIT Press.
- Fıǧlalı, A., Engin, O., 2002, *Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Artırılmasında Deneysel Tasarımın Uygulanması*, <https://www.mmo.org.tr/temmuz-agustos-eylul-2002/makale/makale-akis-tipi-cizelgeleme-problemlerinin-genetik-algoritma-ile>, [Ziyaret tarihi: Şubat 2018].
- Gass, S.I., 2002, Great Moments in History, *OR/MS Today Magazine*, 29, 31.
- Gottfried, B.S. ve Joel W., 1973, Introduction to Optimization Theory, *Prentice Hall Inc.*, New Jersey.
- Hartmann, S., 2001, Project Scheduling with Multiple Modes: A Genetic Algorithm, *Annals of Operations Research*, 102, 111-135.
- Haupt, R.L., Haupt, S.E., 2004, Practical Genetic Algorithms, Hoboken, New Jersey: John Wiley, Sons, Inc.
- Hindi, S.K., Yang, H., Fleszar, K., October 2002, An Evolutionary Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(5).
- İşçioǧlu, Y., 2011, *Bulanık Mantık Çözümleme Yöntemi ile Bir Konut Projesinde Süre-Maliyet-Kalite Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Issa, U.H., Eid, M.A., 2013, An Application of Genetic Algorithms to Time-Cost-Quality Trade-off in Construction Industry, *Civil and Environmental Research*, 3(12), 11-19.
- Kahvecioǧlu, A., 2004, Onarılabılır Elemanlara Önleyici Bakımın Etkisi ve Optimizasyonu, *Mühendis ve Makine*, 45(531), 43-51.
- Kaveh, A., Khanzadi, M., Alipour, M., Rajabi, Naraky, M., 2015, CBO and CSS Algorithms for Resource Allocation and Time-Cost Trade-off, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 59(3), 361-371.
- Kaya, S., Fıǧlalı, N., 2016, Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı, *Social Sciences Research Journal*, 5(2), 2147-5237.

- Ke, H., Liu, B., 2004, Project Scheduling Problem with Stochastic Activity Duration Times, *Applied Mathematics and Computation*, In Press, Corrected Proof.
- Kılıç, M., Ulusoy, G., Sivrikaya, Şerifoğlu, F., 2004, Risk Altında Proje Çizelgelemeye İki Amaçlı Genetik Algoritma Yaklaşımı, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi*, 15-18 Haziran YA/EM 2004.
- Kim, K.W.Y.S., Yoon, J.M., Gen, M., Yamazaki, G., 2005, *Hybrid Genetic Algorithm with Adaptive Abilities for Resourceconstrained*.
- Klein, R., 2000, Scheduling of Resource-Constrained Projects, *Kluwer Academic Publishers*, Boston.
- Kolisch, R., Hartmann, S., 2005, Experimental Investigation of Heuristics for Resource-Constrained Project Scheduling: An update, *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof.
- Kurt, M. Ve Semetay, C., 2001, *Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları*, <https://www.mmo.org.tr/ekim-2001/makale/genetik-algoritma-ve-uygulama-alanlari>, [Ziyaret tarihi: Mart 2018].
- Mendes, J.J., M., Gonçalves, J.F., Resende, M.G.C., 2005, Random Key Based Genetic Algorithm for The Resource Constrained Project Scheduling Problem, *AT&T Labs Research Technical Report TD-6DUK2C*, June 2005.
- Mohammadi, G., 2011, Using Genetic Algorithms to Solve Industrial Time Cost Trade off Problems, *Indian Journal of Science and Technology*, (10), 1273-1278.
- Nakamura, M., Yamashiro, N., Gong, Y., Matsumura, T., Onaga, K., 2005, Iterative Parallel Genetic Algorithms Based on Biased Inital Population, *IEICE Trans, Fundamentals*, April 2005, E(88-A), (4), 923-929.
- Okul, Ş., Aksu, D. ve Orman, Z., 2019, *Investigation of Artificial Intelligence Based Optimization Algorithms*, Journal of Istanbul Sabahattin Zaim University Natural Sciences Institute, 1(1).
- Pathak, B.K., Srivastava, S., 2015, Effects of Project Uncertainties on Nonlinear Time-Cost Trade off Profile, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 12(4), 79-100.
- Roger, C., 1997, The History of Mathematics: A Brief Course, *John Wiley*, Sons Inc., Canada.
- Samuel, E., ve Bodily, V.D., 1998, Quantitative Business Analysis: Text and Cases, *McGraw-Hill*, USA.
- Sorrentino, M., 2013, Genetic Algorithms for Construction Time-Cost-Quality Trade-Off: A Road Project Case Study, *Construction Management*, 2, 163-176.
- Şen, Z., 2004., Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri, *Su Vakfı*, İstanbul.

- Şerifoğlu, F.S., Ulusoy, G., 2002, Çok İşlemcili İşlerin, Çok Katmanlı Paralel İşlemcili Akış Atölyelerinde Çizelgelenmesi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 13(4), 19-25.
- Taşkın, Ç., 2003, *Araç Rotalama Problemlerine Genetic Algoritma Yaklaşımı ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Tutunji, T.A., 2010, *Week 7 Project Management Lecture Note*, Jordan: Philadelphia University.
- Türkakin, O.H., Manisali, E., 2014, An Efficient Genetic Algorithm Method For Large Population Solutions, *15th EU/ME Workshop: Metaheuristic and Engineering*, 23-25 Mart 2014 İstanbul, Türkiye, 185-187.
- Uçaner, M.E., Özdemir, O.N., 2002, Genetic Algoritmalar ile İçme Suyu Şebekelerinde Ek Klorlama Optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 157-170.
- Vanhoucke, M., Demeulemeester, E., Herroelen, W., 2001, An Exact Procedure for The Resource Constrained Weighted Earliness-Tardiness Project Scheduling Problem, *Annals of Operations Research*, 102, 179-196.
- Wang, P.Y., Lu, M., 4-5 November 2002, Genetic Algorithm Optimized Resource Activity Critical Path Method, *Proceedings of the First Conference on Machine Learning and Cybernetics*, (4), 1978-1982.
- Yeo, M.F., Agyei, E.O., 1998, Optimising Engineering Problems Using Genetic Algorithms, *Engineering Computations*, 15(2), 268-280.
- Yılmaz, M., 2018, *İnşaat Projelerinde Hasılat Paylaşımı Modelinde Maliyetlerin Hesaplanamsı ve Muhasebeleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Zamani, M.R., December 2001, A High-Performance Exact Method for The Resourceconstrained Project Scheduling Problem, *Computers & Operations Research*, 28 (14), 1387-1401.
- Zhang, L., Du, J. ve Zhang, S., 2013, A Solution to Time-Cost-Quality Trade-off Problem in Construction Projects Based on Immune Genetic Particle Swarm Optimization, *ASCE Journal of Management in Engineering*.
- Zitzler, E., Deb, K., Thiele, L., 2000, Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results, *Evolutionary Computation Journal*, 8(2), 125-148.

EKLER

EK 1. MATLAB PROGRAM KODU

Bu tezde uygulanan probleme ait uygunluk fonksiyon hesaplaması için yazılan matlab kodu şu şekilde yer almaktadır:

```
function y = feng_fitness_func(x)
```

```
x=round(x);
```

```
load HOF.mat;  
load AT.mat;  
load AC.mat;  
load kalite.mat;
```

```
boyut=length(AT);
```

```
sure=zeros(1,boyut);  
maliyet=zeros(1,boyut);  
kalite_=zeros(1,boyut);
```

```
for i=1:boyut
```

```
    sure(i)=AT{i}(x(i));  
    maliyet(i)=AC{i}(x(i));  
    kalite_(i)=kalite{i}(x(i));  
end
```

```
step_time=1;
```

```
boyut=length(sure);
```

```
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;
```

```
clear m_es;
clear m_ls;
clear es;
clear ef;
clear ls;
clear lf;
clear ileri_h;
clear ileri_b;
clear geri_h;
clear geri_b;
```

```
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;
```

```
sum_hof=sum(HOF(:,1:boyut));
```

```
x=find(sum_hof==0);
```

```
ef(x)=es(x)+sure(x);
```

```

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
                    m_es{j}(end+1)=ef(i);
                    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
            ileri_b(i)=1;
        end
    end
end

```

```
ps=max(ef);
```

```
HSF=HOF';
sum_hsf=sum(HSF(:,1:boyut));
```

```
x=find(sum_hsf==0);
```

```
lf(x)=ls(x)+sure(x);
```

```

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
                    m_ls{j}(end+1)=lf(i);
                    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;

```

```
current_day=0;
```

```
es_act_daily=zeros(1,boyut);
es_act_cum=zeros(1,ps/step_time);
```

```

ls_act_daily=zeros(1,boyut);
ls_act_cum=zeros(1,boyut);

time_project=[];

step_number=1;

cum_cost_es=0;
cum_cost_ls=0;

while current_day<=ps

    current_day=current_day+step_time;

    if current_day > ps
        break;
    end

    es_act_daily=zeros(1,boyut);
    ls_act_daily=zeros(1,boyut);

    for act=1:boyut

        if(es(act)<current_day&&ef(act)>=current_day)
            es_act_daily(act)=maliyet(act)*step_time/sure(act);
        end

        if(ls(act)<current_day&&lf(act)>=current_day)
            ls_act_daily(act)=maliyet(act)*step_time/sure(act);
        end

    end

    daily_cost_es=sum(es_act_daily);
    cum_cost_es(end+1)=cum_cost_es(end)+daily_cost_es;

    daily_cost_ls=sum(ls_act_daily);
    cum_cost_ls(end+1)=cum_cost_ls(end)+daily_cost_ls;

    step_number=step_number+1;

end

```

```
y(1)=ps;           % proje süresi  
y(2)=sum(maliyet); % toplam maliyet  
y(3)=1/mean(kalite_); % ortalama kalite
```

```
end
```



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Setenay IŞIKYILDIZ
Doğum Yeri	Çorum
Doğum Tarihi	30.07.1984
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	setenay.reman@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	29.02.2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	