

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENETİK ALGORİTMA VE MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE BİR
İNŞAAT PROJESİNDE ALT YÜKLENİCİ SEÇİMİNE İLİŞKİN SÜRE
MALİYET KALİTE OPTİMİZASYONU VE RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış KAPLAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı İşletmesi Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENETİK ALGORİTMA VE MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE BİR
İNŞAAT PROJESİNDE ALT YÜKLENİCİ SEÇİMİNE İLİŞKİN SÜRE
MALİYET KALİTE OPTİMİZASYONU VE RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Barış KAPLAN
(501111103)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı İşletmesi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gül POLAT TATAR

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111103 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Bariş KAPLAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GENETİK ALGORİTMA VE MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE BİR İNŞAAT PROJESİNDE ALT YÜKLENİCİ SEÇİMİNE İLİŞKİN SÜRE MALİYET KALİTE OPTİMİZASYONU VE RİSK DEĞERLENDİRMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Gül POLAT TATAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ekrem MANİSALI**
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Esin ERGEN PEHLEVAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2014**

Canım kardeşim Gizem Kaplan'a,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının ilk fikir aşamasından tamamlanmasına dek, değerli vakitlerini benden hiç esirgemedi her zaman yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Gül Polat Tatar'a, aldığım her derste bana yeni bilgiler katan İTÜ Yapı İşletmesi hocalarıma, ilk günden bu yana bana her konuda sabırla destek olan sevgili eşim Melek Kaplan'a, bugünlere gelebilmemde en büyük pay sahibi olan annem Sevim Kaplan'a ve babam Halil Kaplan'a, iş hayatının temposu içinde yüksek lisans eğitimime devam edebilmem için bana izin veren sayın yöneticilerim Erkan Beşiroğlu, İlke Bozkurt, Dilek Metin ve Kubilay Ensari'ye, okulda bulunduğum zamanlarda işyerinde beni idare eden tüm çalışma arkadaşlarıma, sektörel paylaşımlarımızla ufukumuzu birlikte genişlettiğimiz İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü 2007 lisans mezunu yakın dostlarıma ve lojistik yardımları için eski dostum Murat Anbarcı'ya teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2014

Barış KAPLAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Yöntem	2
1.3 İçerik.....	2
2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ALT YÜKLENİCİ SEÇİMİ.....	5
2.1 İnşaat Sektöründe Alt Yüklenici Kullanımı	5
2.2 Alt Yüklenici Kullanılmasının Sebepleri	5
2.3 Alt Yüklenicilerin Sorumlulukları	6
2.4 Alt Yüklenicilik Sisteminin İşleyişi	6
2.5 Alt Yüklenici Kullanımının Getirdiği Sorunlar	7
2.6 Alt Yüklenici Yönetimi Prensipleri.....	8
2.7 Alt Yüklenici Seçimi	9
3. SÜRE MALİYET KALİTE OPTİMİZASYONU.....	13
3.1 İnşaat Projelerinde Süre Yönetiminin Önemi	13
3.2 İnşaat Projelerinde Maliyet Yönetiminin Önemi	14
3.3 İnşaat Projelerinde Kalite Yönetiminin Önemi	15
3.4 İnşaat Projelerinde Süre Maliyet Kalite Optimizasyonu	16
4. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE BELİRSİZLİKLER VE RİSKLER.....	19
4.1 Kavramlar.....	19
4.2 İnşaat Projelerindeki Belirsizlikler ve Riskler.....	21
4.2.1 İhaleye hazırlık riskleri	22
4.2.2 Politik riskler	22
4.2.3 Pazar riskleri	23
4.2.4 Finansal riskler	23
4.2.5 Doğal felaketler	23
4.2.6 Kültürel riskler	23
4.2.7 Firma riskleri	24
4.2.8 İnşaat riskleri.....	24
4.2.9 Tasarım riskleri	25
4.2.10 Sözleşme riskleri	25
4.2.11 Hukuki riskler	25
4.2.12 Çevresel riskler	26
4.3 İnşaat Sektöründe Risk Yönetimi.....	26
4.3.1 Riskleri belirleme	27

4.3.1.1 Risklerin tanımlanması.....	27
4.3.1.2 Risklerin değerlendirilmesi	27
4.3.2 Risk analizi yöntemleri.....	28
4.3.2.1 Risk primi.....	28
4.3.2.2 Monte Carlo simülasyonu	29
4.3.2.3 Karar ağacı analizi.....	29
4.3.2.4 Yapay sinir ağları	30
4.3.2.5 Bulanık mantık	31
4.3.2.6 Mülakatlar	31
4.3.2.7 Beyin fırtınası.....	31
4.3.2.8 Duyarlılık analizi.....	32
4.3.2.9 Beklenen parasal değer analizi	33
4.3.2.10 Delfi tekniği.....	33
4.3.2.11 SWOT analizi	33
4.3.2.12 Başa baş analizi	34
4.3.2.13 Korelasyon ve regresyon analizi	34
4.3.2.14 Balık kılçığı diyagramı.....	35
4.3.2.15 Karar analizi	36
4.3.2.16 CPM (critical path method).....	37
4.3.2.17 PERT (project evaluation and review technigue)	37
4.3.2.18 Senaryo analizi	38
4.3.2.19 Araç - sonuç zinciri	38
4.3.3 Riske karşı stratejiler.....	39
4.3.3.1 Riskten kaçınma	40
4.3.3.2 Riski azaltma	40
4.3.3.3 Riski üstlenme	40
4.3.3.4 Riski devretme.....	41
5. GENETİK ALGORİTMA.....	43
5.1 Genetik Algoritmanın Tarihsel Gelişimi	43
5.2 Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları	44
5.3 Genetik Algoritma Kullanılmasının Sebepleri	45
5.4 Genetik Algoritmanın Uygulanması.....	46
5.4.1 Kavramlar.....	46
5.4.1.1 Kromozom ve gen	46
5.4.1.2 Toplum büyüklüğü	46
5.4.1.3 Kodlama	47
5.4.1.4 Uygunluk değeri ve uygunluk fonksiyonu	48
5.4.2 Genetik işlemler ve parametreler	48
5.4.2.1 Başlangıç toplumunun oluşturulması	48
5.4.2.2 Ebeveynlerin seçilmesi.....	49
5.4.2.3 Üreme	50
5.4.2.4 Çaprazlama.....	50
5.4.2.5 Mutasyon	51
5.4.2.6 Sonlandırma	52
5.4.3 GA aşamaları.....	52
5.5 Genetik Algoritmanın Güçlü ve Zayıf Yönleri	53
5.6 İnşaat Mühendisliği Alanında GA ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	54
6. MONTE CARLO SİMÜLASYONU	57
6.1 Monte Carlo Simülasyonunun Tarihsel Gelişimi	57
6.2 Monte Carlo Simülasyonunun Uygulama Alanları	58

6.3 Monte Carlo Simülasyonunun Kullanılmasının Sebepleri	58
6.4 Monte Carlo Simülasyonunun Uygulanması	59
6.5 Monte Carlo Simülasyonunun Güçlü ve Zayıf Yönleri	62
6.6 İnşaat Mühendisliği Alanında MCS ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	62
7. VAKA ÇALIŞMASI	65
7.1 Kapsam.....	65
7.2 Modelin Oluşturulması.....	65
7.2.1 Aktiviteler ve iş programı	65
7.2.2 Alt yüklenici verileri	67
7.2.3 Alt yüklenici dizilimi	68
7.2.4 Proje verileri ve kabuller	69
7.3 Optimizasyon Senaryoları	70
7.4 Risk Faktörü Eklenmesi	74
8. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ.....	87

KISALTMALAR

YSA	: Yapay Sinir Ağları
CPM	: Critical Path Method
PERT	: Project Evaluation and Review Technique
GA	: Genetik Algoritma
MCS	: Monte Carlo Simülasyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 7.1 : Aktivite listesi.....	66
Çizelge 7.2 : Aktiviteler arası ilişki türleri	66
Çizelge 7.3 : Alt yüklenici verileri	67
Çizelge 7.4 : Örnek bir kromozom	68
Çizelge 7.5 : CPM yol alternatifleri.....	69
Çizelge 7.6 : Toplam süreyi minimize eden proje senaryoları	73
Çizelge 7.7 : Toplam maliyeti minimize eden proje senaryoları.....	73
Çizelge 7.8 : Toplam kaliteyi maksimize eden proje senaryoları.....	74
Çizelge 7.9 : 1 numaralı alt yüklenici alternatiflerinin olasılıksal verileri	75
Çizelge 7.10 : 2 numaralı alt yüklenici alternatiflerinin olasılıksal verileri	75
Çizelge 7.11 : 3 numaralı alt yüklenici alternatiflerinin olasılıksal verileri	76
Çizelge 7.12 : Senaryo 1 için alt yüklenici dizilimi.....	77
Çizelge 7.13 : Senaryo 2 için alt yüklenici dizilimi.....	77
Çizelge 7.14 : Senaryo 3 için alt yüklenici dizilimi.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Alt yüklenici seçim süreci	9
Şekil 3.1 : Yeni sözleşme yöntemlerinin karar almaya etkisi.....	17
Şekil 4.1 : Risk bileşenleri ve risk oluşumu	20
Şekil 4.2 : Belirsizlik ve zaman arasındaki ilişki.....	21
Şekil 4.3 : Risk olasılık-etki haritası.....	28
Şekil 4.4 : Karar ağacı modeli	30
Şekil 4.5 : Örnek balık kılçığı diyagramı.....	36
Şekil 4.6 : Araç-sonuç zinciri şeması	38
Şekil 4.7 : Risk iyileştirme süreci	39
Şekil 5.1 : Farklı kodlama şekilleri.....	47
Şekil 5.2 : Başlangıç toplumu	49
Şekil 5.3 : Tek noktalı çaprazlama	50
Şekil 5.4 : Çok noktalı çaprazlama	51
Şekil 5.5 : Mutasyon operasyonu	52
Şekil 5.6 : Genetik algoritmaların akış şeması	53
Şekil 6.1 : Deterministik optimizasyon modeli	59
Şekil 6.2 : Stokastik optimizasyon modeli	60
Şekil 6.3 : Monte Carlo yöntemine ilişkin akış şeması	61
Şekil 7.1 : CPM ok diyagramı	67
Şekil 7.2 : Evolver araç çubuğu	70
Şekil 7.3 : Evolver’da model oluşturulması	71
Şekil 7.4 : Evolver modeline kısıtların girilmesi	71
Şekil 7.5 : Evolver optimizasyon ayarları.....	72
Şekil 7.6 : @Risk araç çubuğu	74
Şekil 7.7 : Senaryo 1 için @Risk sonuçları	77
Şekil 7.8 : Senaryo 2 için @Risk sonuçları	78
Şekil 7.9 : Senaryo 3 için @Risk sonuçları	79

GENETİK ALGORİTMA VE MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE BİR İNŞAAT PROJESİNDE ALT YÜKLENİCİ SEÇİMİNE İLİŞKİN SÜRE MALİYET KALİTE OPTİMİZASYONU VE RİSK DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

İnşaat sektöründe alt yüklenici kullanımı, yaygın olarak uygulanmaktadır. Çeşitli sorunları da beraberinde getiren bu sistemde, alt yüklenici seçimine dikkat edilmeli ve alt yüklenici yönetimine özen gösterilmelidir. İnşaat firmaları, günümüzün rekabet koşulları altında inşaat projelerini; en kısa sürede, en az maliyetle ve mümkün olan en kaliteli şekilde tamamlamaya çalışmaktadır. Bu da, bu kıstasların optimize edilmesini gerektirmektedir. Ayrıca, inşaat sektörünün barındırdığı belirsizlik ve riskler iyi analiz edilmeli ve risklere karşı izlenecek stratejiler belirlenmelidir.

Bu çalışmada; Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu yöntemleri kullanılarak gerçek bir lojistik merkezi inşaatı projesinde, alt yüklenici seçimine ilişkin bir süre maliyet kalite optimizasyonu ve risk değerlendirmesi modeli oluşturulmuştur. İlk bölümde; tez çalışması hakkında özet bilgi verilmiş ve çalışmanın amacı, kapsamı, yöntemi ve içeriği ile ilgili genel bilgi verilmiştir. İkinci bölümde; inşaat sektöründe alt yüklenici seçimi olgusu ele alınmıştır. İnşaat sektöründe alt yüklenici kullanımı ile ilgili bilgi verilmiştir. Alt yüklenici kullanılmasının sebepleri aktarılmıştır. Alt yüklenicilerin sorumlulukları anlatılmış ve alt yüklenicilik sisteminin işleyişi açıklanmıştır. Alt yüklenici kullanımının getirdiği sorunlar üzerinde durulmuş ve alt yüklenici yönetimi ile ilgili uyarılarda bulunulmuştur. Alt yüklenici seçimi ile ilgili yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde; inşaat sektöründe süre, maliyet ve kalite yönetiminin önemi vurgulanmıştır. İnşaat projelerinde gözlemlenen ve tezin vaka çalışması bölümünde kullanılan maliyet tipleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde; inşaat sektöründe karşılaşılan belirsizlikler ve riskler anlatılmıştır. Risk yönetimi kapsamında; risklerin belirlenmesi ve analiz edilmesi ile, risklere karşı geliştirilecek olan stratejiler hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde; Genetik Algoritmanın tarihçesi, uygulama alanları ve faydalı olduğu koşullar özetlenmiştir. Genetik Algoritmanın uygulama metodolojisi ve aşamaları gösterilerek, yöntemin avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. İnşaat mühendisliği alanında GA ile ilgili yapılmış çalışmalar sıralanmıştır. Altıncı bölümde, Monte Carlo Simülasyonu yönteminin tarihsel gelişimi aktarılmış, yöntemin uygulama sahaları hakkında bilgi verilmiştir. Yöntemin kullanılmasını gerektiren sebepler ve uygulama detayları açıklanmıştır. MCS'nun güçlü ve zayıf yönleri belirtilerek, inşaat sektöründeki kullanımları özetlenmiştir. Yedinci bölümde; gerçek bir inşaat projesine ilişkin vaka çalışmasına yer verilmiştir. Çalışmanın kapsamı hakkında genel bilgi verilerek, modelin nasıl oluşturulduğu açıklanmıştır. Aktivite, iş programı ve proje verileri kabulleri kurgusu yapılmış; temin edilen alt yüklenici verileri, belirtilen yazılımlara girilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Son bölümde; yapılan çalışmaya ilişkin sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

Projede kullanılması gereken optimum alt yüklenici diziliminin belirlenmesinde, GA ile çalışan Evolver yazılımı kullanılmıştır. Optimizasyon çalışmasında yer alan süre, maliyet ve kalite verilerine, MCS ile çalışan @Risk yazılımı yardımıyla risk faktörü etkisi eklenmiştir. Simülasyon sonuçlarında; toplam proje süresi, maliyeti ve kalitesi değerlerinde olumlu ve olumsuz sapmalar olabileceği gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçların, alt yüklenici seçimi ile ilgili farklı bir yaklaşım oluşturması beklenmektedir. Süre, maliyet ve kalite kriterleri arasındaki değişimlerin daha iyi yorumlanacağı düşünülmektedir. Risk ve belirsizliklere karşı önlem alınması için, bir farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır. GA ve MCS yöntemleri ile çalışan sektörel yazılımların; gerçek bir inşaat projesi optimizasyonu ve risk değerlendirmesi modelinde kullanılmasının, Türk inşaat sektörü akademik literatürüne katkıda bulunacağı düşünülmüştür. Bu çalışma; aktivite listesinin genişletilmesi, daha fazla alt yüklenici alternatifi eklenmesi, karar verme kriterlerinin artırılması ve çözümlerin daha gelişmiş yazılımlarla yapılması sayesinde ileriki akademik araştırmalarda daha da geliştirilebilecektir.

**TIME COST QUALITY OPTIMIZATION AND RISK EVALUATION
ABOUT SELECTING SUBCONTRACTORS IN A CONSTRUCTION
PROJECT BY USING GENETIC ALGORITHM AND MONTE CARLO
SIMULATION
SUMMARY**

Contractors choose to work with subcontractors in most of the construction projects because of various reasons. A good management of the subcontractors which have several responsibilities in different work items, is an important issue for the success of the project. Although using subcontractors bring some problems, contractors have the chance to reduce these problems when they select the right companies.

Completing the construction projects; on time, within the specified budget and at a required quality level is the owners' main demand. It is getting more important to optimize time, cost and quality criteria under the competitive market conditions of the recent years. Contractors should be careful about these criteria when selecting subcontractors which work as solution partners during the most of the project period.

In addition, risk factors should be considered and a risk management strategy should be built in construction projects which have so many stakeholders, uncertainties and activities.

In this research; by using Genetic Algorithm and Monte Carlo Simulation methods, a time cost quality optimization and risk evaluation model about selecting subcontractors in a real construction project is configured.

In determining the research subject process, the suitability of the subject for the professional business issues is considered. During the literature searching, many contemporary studies about the subject have been found. A case study has been taken about a real construction project. So, research constraints are minimized and the capacity for gathering data is maximized.

In determining the scope, level of detail is optimized for the aim of the study. For example; to reduce the number of the activities, subcontractor based work packages are used instead of detailed work program which is made of hundreds of activities. Data for time, cost and quality are assigned to these work packages.

Modelling which is one of the ampiric research methods is chosen as a methodology. A real construction project in Samandıra İstanbul is used for modelling. Examining the company documents and making an interview with the technical office manager of the company are implemented as data gathering methods.

In the first chapter, a brief information about the research is given. The aim, scope and method of the research are described.

In the second chapter, subcontractor selection in construction industry is considered. Information about the usage of subcontractors in construction industry is given. The reasons for using subcontractors are sorted as; to reduce the overhead, construction, material and investment costs, to decrease the uncertainty and risk level, to minimize

the supervision problems and the flexibility to work in different countries. The responsibilities of subcontractors are sorted as; supplying materials and machines, implementing new technology, work standardization, cooperation with other shareholders and sharing the technical knowledge. The phases of subcontracting system are explained as; tendering phase, contracting phase, construction-supervision phase and progress payment-final account phase. The problems brought by using subcontractors are examined as; loss of supervision, new uncertainties, time problems, sub-subcontractors, quality failures, uncompleted activities, unsuitable material usage and material damages and losses. The principles of subcontractor management are described as; making prequalification evaluation, clarifying the demands, privacy of tenders, well-balanced contracts, making the work program together, knowing their staff, fair relationships, weekly meetings, periodic performance evaluation, attention to hygiene, maintenance and work safety and paying them on the right time. Previous researches about subcontractor selection in construction industry are summarized.

In the third chapter, the importance of time management, cost management and quality management in construction industry is emphasized. Types of costs in construction projects which are also used in the case study of the research are given as; direct and indirect costs. Time cost quality optimization is explained and new contracting methods via this issue are shown. Previous researches about time cost quality optimization in construction industry are summarized.

In the fourth chapter, the terms of uncertainty and risk are given. The reasons of the uncertainties and the risks encountered in construction industry are described as; having big budgets and many cost codes, long time projects, many shareholders and complex organizations, large work programs made up of many activities, natural conditions, critical quality levels and vulnerability to cultural, political and legal effects. Tendering risks, political risks, market risks, financial risks, natural risks, cultural risks, company risks, construction risks, design risks, contract risks, legal risks and environmental risks are given as the types of risks in construction industry. Risk management process is explained with the following phases; identification of risks, evaluation of risks, analysis of risks and generating a risk attitude. Risk analysis methods are listed. The strategies which should be developed against risks are sorted as; avoiding risks, reducing risks, accepting risks and transferring risks.

In the fifth chapter; the history of Genetic Algorithm method is explained. Fields of application are listed as; optimization problems, programming and information systems, mechanical learning applications, economical and social systems modelling, financial models, marketing strategies and production problems. The conditions in which Genetic Algorithm method is used are summarized as; when the research field is large and the subject is complex, when the data about the subject is insufficient, when the solution is difficult by deterministic methods, when the common software products are insufficient and when the data for modelling can not be reached. The terms which are used in Genetic Algorithm are described. The methodology and implementation steps of Genetic Algorithm are presented as; generating the initial population, choosing the parent chromosomes, reproduction, cross-over, mutation and termination. The advantages and disadvantages of the method are described. Previous researches about Genetic Algorithm in the field of civil engineering are given.

In the sixth chapter, general information about Monte Carlo Simulation method is presented. Historical development of Monte Carlo Simulation method is described. Fields of application of the method are explained as; manufacturing systems design, assembly line balancing, work force planning, material transportation systems, generating new military weapons and tactics, purchase order planning in inventory systems, design of communication systems and message protocols, design and operation of highways, airports, metro lines and harbours, determining the number and the locations of the ambulances, determining the locations of the fire stations and the number of their equipments, analysis of financial and economical systems, design of distribution channels, detection of the hardware and software necessities for the computer systems, management games and space fly simulations. The reasons for using Monte Carlo Simulation and the details of the implementation of the method are summarized. Strengths and weaknesses of it presented and previous studies in the field of civil engineering are given.

In the seventh chapter, there is a case study about a real logistic center construction project owned by one of the biggest healthcare holdings of Turkey. A time cost quality optimization and risk evaluation model about selecting subcontractors by using Genetic Algorithm and Monte Carlo Simulation is generated. General information about the project is presented. To gather time, cost and quality data of the subcontractors of the project, the documents of the company are examined and an interview is set with the technical office group manager. Main work packages of the master work schedule of the project are determined. Relationships between the activities are listed and CPM arrow diagram are created. Some assumptions are made to complete the model. To find the optimal subcontractor combinations under different constraints by Genetic Algorithm, Evolver software of The Decision Tools Suite by Palisade Corporation is used. To add the risk effect to the problem, @Risk software of the same company is used.

In the last chapter, conclusions and recommendations are given.

It is seen that Evolver software can be used to find the optimal subcontractor combination for the activities of the project. The software has generated an optimal solution among thousands of combinations which can not be solved manually. The important point is to describe the project constraints correctly. There is not a solution in which the results for time, cost and quality are all advantageous, so the project manager should make a decision among the possible solutions.

At the beginning of construction projects; total project duration is given in the work schedule, total project cost is calculated in the project budget and quality acceptance criteria is described in technical specifications. However, the results for these criteria can be different at the end of the project. For this reason, a risk effect is added to the model by using @Risk software. According to simulation results, it is seen that total time, cost and quality values can deviate from their initial values.

From the point of construction industry, it is expected that the results of this research will help contractors to set up an effective subcontractor selection system. Furthermore, the model will give a chance to contractors to understand the tradeoff between time, cost and quality. Another aim of the study is to increase the awareness level of the companies about uncertainties and risks.

In terms of academic field, Genetic Algorithm and Monte Carlo Simulation methods are implemented in a time cost quality optimization and risk evaluation problem. A multi criteria decision making model is created by using industrial software products.

It is thought that this research will be contributinal to Turkish construction industry literature.

The model generated in this research can be improved in further academic studies by increasing the number of activities, the number of subcontractor alternatives and the number of decision criteria. Using more sophisticated software products will be advisable as the technology level increases.

1. GİRİŞ

İnşaat projelerinin büyük bölümünde yüklenici firmalar, alt yükleniciler ile çalışmaktadırlar. Bunun çeşitli sebepleri vardır. İnşaat projelerinin değişik kalemlerinde çeşitli sorumluluklar üstlenen alt yüklenicilerin yönetimi, projenin başarısı için önemli bir konudur. Alt yüklenici kullanımı çeşitli sorunları da beraberinde getirmesine rağmen, doğru firmalar seçildiğinde bu sorunlar en aza indirgenir.

İnşaat projelerinin; hedeflenen zamanda, belirlenen bütçe sınırları içinde ve kabul edilebilecek kalite düzeyinde tamamlanması işverenlerin en temel talebidir. Son yıllarda inşaat sektöründe artan rekabet ortamı, inşaat projelerinde süre, maliyet ve kalite optimizasyonu konusunu daha da önemli kılmaktadır. Yüklenici firmaların; imalat kalemlerinin büyük bölümünde çözüm ortağı olarak kullandıkları alt yüklenicilerinin seçiminde süre, maliyet ve kalite kriterlerine dikkat etmeleri gerekmektedir.

Bunun yanında; çok fazla paydaşın, belirsizliğin ve aktivitenin olduğu inşaat projelerinde risk unsurunun göz önünde bulundurulması ve bir risk yönetimi stratejisi uygulanması gereklidir.

1.1 Amaç

Bu çalışmada; Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu yöntemleri kullanılarak gerçek bir lojistik merkezi inşaatı projesinde, alt yüklenici seçimine ilişkin bir süre maliyet kalite optimizasyonu ve risk değerlendirmesi modeli oluşturulması amaçlanmıştır.

Örnek olarak seçilen inşaat projesindeki alt yüklenicilerin süre, maliyet ve kalite verileri ile değerlendirilmesine, her iş paketi için en uygun alt yüklenicinin seçilerek optimal bir iş akışı oluşturulmasına ve seçilen iş akışı için bir risk değerlendirmesi yapılmasına çalışılmıştır.

Araştırma sonucunda; alt yüklenicilerden alınan tekliflerdeki süre, maliyet ve kalite verileri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu yöntemlerinin bir inşaat projesindeki optimizasyon ve risk değerlendirme probleminde kullanılması ve alt yüklenici seçiminde dikkat edilmesi gereken kıstasların ortaya konması hedeflenmektedir.

1.2 Yöntem

Araştırma konusunun seçiminde, profesyonel iş yaşamındaki konulara uygunluğa dikkat edilmiştir. Yapılan literatür taramasında konuyla ilgili pek çok güncel araştırma bulunmuştur. Gerçek hayatta da takip edilen örnek bir inşaat projesi seçilerek, araştırma kısıtları minimuma indirilmiş ve veriye ulaşım kapasitesi arttırılmıştır.

Araştırma konusunun kapsamı belirlenirken; detay düzeyi, amaca ulaşmaya yetecek kadar geniş ve konuyu dağıtmayacak kadar dar seçilmiştir. Örneğin; detaylı iş programında yer alan tüm aktivitelerin kullanılması yerine, alt yüklenici bazında oluşturulan iş paketlerinden faydalanılmıştır. Süre, maliyet ve kalite verileri bu paketlerle ilişkilendirilmiştir.

Metodoloji olarak, ampirik araştırma yöntemlerinden modelleme seçilmiştir. Modelleme yapılırken, İstanbul Samandıra’da hayata geçirilen gerçek bir lojistik merkezi inşaatı projesinden faydalanılmıştır.

Veri toplama yöntemleri olarak; şirket dokümanlarının incelenmesi ve mülakat metotları kullanılmıştır. İş paketlerindeki süre ve maliyet verileri için, iş programı ve alt yüklenici teklifleri değerlendirilmiştir. Alt yüklenicilerin kalite puanlarının elde edilmesi içinse, firmanın teknik ofis grup yöneticisi ile bir mülakat gerçekleştirilmiştir.

1.3 İçerik

İlk bölümde; tez çalışması hakkında özet bilgi verilmiş ve çalışmanın amacı, kapsamı, yöntemi ve içeriği ile ilgili genel bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde; inşaat sektöründe alt yüklenici seçimi olgusu ele alınmıştır. İnşaat sektöründe alt yüklenici kullanımı ile ilgili bilgi verilmiştir. Alt yüklenici kullanılmasının sebepleri aktarılmıştır. Alt yüklenicilerin sorumlulukları anlatılmış

ve alt yüklenicilik sisteminin işleyişi açıklanmıştır. Alt yüklenici kullanımının getirdiği sorunlar üzerinde durulmuş ve alt yüklenici yönetimi ile ilgili uyarılarda bulunulmuştur. Alt yüklenici seçimi ile ilgili yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde; inşaat sektöründe süre, maliyet ve kalite yönetiminin önemi vurgulanmıştır. İnşaat projelerinde gözlemlenen ve tezin vaka çalışması bölümünde kullanılan maliyet tipleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde; inşaat sektöründe karşılaşılan belirsizlikler ve riskler anlatılmıştır. Risk yönetimi kapsamında; risklerin belirlenmesi ve analiz edilmesi ile, risklere karşı geliştirilecek olan stratejiler hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde; Genetik Algoritmanın tarihçesi, uygulama alanları ve faydalı olduğu koşullar özetlenmiştir. Genetik Algoritmanın uygulama metodolojisi ve aşamaları gösterilerek, yöntemin avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. İnşaat mühendisliği alanında GA ile ilgili yapılmış çalışmalar sıralanmıştır.

Altıncı bölümde, Monte Carlo Simülasyonu yönteminin tarihsel gelişimi aktarılmış, yöntemin uygulama sahaları hakkında bilgi verilmiştir. Yöntemin kullanılmasını gerektiren sebepler ve uygulama detayları açıklanmıştır. MCS'nun güçlü ve zayıf yönleri belirtilerek, inşaat sektöründeki kullanımları özetlenmiştir.

Yedinci bölümde; gerçek bir inşaat projesine ilişkin vaka çalışmasına yer verilmiştir. Çalışmanın kapsamı hakkında genel bilgi verilerek, modelin nasıl oluşturulduğu açıklanmıştır. Aktivite, iş programı ve proje verileri kabulleri kurgusu yapılmış; temin edilen alt yüklenici verileri, belirtilen yazılımlara girilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Son bölümde; yapılan çalışmaya ilişkin sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ALT YÜKLENİCİ SEÇİMİ

2.1 İnşaat Sektöründe Alt Yüklenici Kullanımı

İnşaat sektöründe, üretim şantiyede yapılır ve çok çeşitli işlerin birlikte yapılmasını gerektirir. Yüklenici birçok uzmanla birlikte çalışmak zorunda kalır. İnşaat sektöründe talebin belirsiz olması ve sürekli olmaması, geleceğe ait kararlar alınabilmesini zorlaştırır. Firmanın sürekli olarak uzman ya da işçi çalıştırması, makine satın alması, talepten gelen belirsizlikler vb. zorunluluklar risk kaynaklarıdır. Bunun yanında makinelerin sürekli kullanılmaması; hem boş kalmalarına, hem de zamanla yıpranmalarına neden olur. Buradan da anlaşıldığı gibi, inşaat sektörü çok çeşitli bileşenleri olan karmaşık bir sektördür. İmalat sektörüne göre farklılıklar gösterir. Her iki sektörü karşılaştırdığımızda elde ettiğimiz farklılıklar, inşaat firmalarını alt yüklenici kullanmaya iten nedenleri de vermiş olur [1].

Alt yüklenici, ana yüklenicinin üstlendiği işin belli bir bölümünü yapmak için sözleşme imzalayan organizasyondur. Sektörde çok yoğun bir kullanıma sahip olan uzman ve ticari alt yüklenicilerin kullanımı, inşaat sektöründe projenin toplam değerinin yüzde 90'ına kadar çıkabilmektedir [2].

2.2 Alt Yüklenici Kullanılmasının Sebepleri

İnşaat projelerinde yüklenici firmaların çözüm ortağı olarak alt yükleniciler kullanmasının çeşitli sebepleri vardır. Küçük'ün (1995) yaptığı çalışmaya göre; inşaat sektöründe alt yüklenici kullanımı, aşağıdaki yararları sağlamak için gerçekleşir [3].

- Genel masrafların düşük olabilmesi,
- İnşaat, malzeme ve yatırım masraflarının düşük tutulabilmesi,
- İş almadaki belirsizliklere cevap verilebilmesi,
- Denetleme sorunlarının azaltılabilmesi,
- Farklı coğrafyalarda rahatlıkla iş yapabilme esnekliğinin sağlanabilmesi,

2.3 Alt Yüklenicilerin Sorumlulukları

Alt yükleniciler, genelde karışık ve büyük olan inşaat organizasyonları içinde belirli sorumluluklar üstlenerek çalışmaktadır. Küçük (1995) alt yüklenicinin sorumluluğunu; üzerine aldığı işi anlaşmasında belirlenen zaman, maliyet ve kalitede bitirmek, diğer çalışanlarla uyum içerisinde olmak, kendi işçi ve alt yüklenicilerinin denetimini yapmak, doğacak her türlü sorunun üstesinden gelirken genel yükleniciye yardımcı olmak şeklinde tanımlamıştır [3].

Küçük (1995) yaptığı çalışmada alt yüklenicilerin üstlendiği sorumlulukları;

- İşin faaliyet alanını genişletme/daraltma,
- Malzeme sağlama,
- Makine sağlama,
- Yönetim/denetim imkanı sağlama,
- Doğrudan iş verme ve makinenin sürekli sahibi olma,
- Genel yükleniciyle tek-bağımsız ilişki kurma,
- Yeni tekniklerin geliştirilmesi ve kullanılması,
- İşin standartlaştırılması,
- Birden fazla projenin yönetilmesi,
- Karar vermenin merkezileşmesi/merkezden uzaklaşması,
- Diğer firmalarla iş birliği yapılması,
- Teknik bilginin yayılması

olarak sıralamıştır [3].

2.4 Alt Yüklenicilik Sisteminin İşleyişi

Alt yüklenicilik sistemi, inşaat sektörünün değişmez bir parçası durumundadır. Özkul'a (1996) göre, Türk inşaat sektöründe alt yüklenici firmalar yaygın kullanımı ile taşeron olarak bilinmektedirler ve yapım organizasyonlarında taşeron firmalar çoğunlukla direkt olarak ana yüklenici firma ile sözleşme ilişkisi ile taraf olmaktadır. Ülkemizde inşaat projelerinin gerçekleştirilme sürecinde ana yüklenici firma-taşeron firma ilişkileri genellikle dört temel safhada gerçekleşmektedir.

- Taşeron firma seçimi (teklif verme safhası)
- Sözleşme safhası

- İmalat izleme ve kontrol safhası
- Hakediş ve kesin hesap safhası

Bu safhalar birbirinden ayrı gözükmeyle birlikte, gerçekte aralarında ardıcılık ve eş zamanlılık ilişkisi bulunmaktadır. Ayrıca; ana yüklenici firma büyüklüğü, taşeron firma büyüklüğü, projenin türü, niteliği ve büyüklüğü, bu safhaların oluşumuna ve niteliğine etki etmektedir [4].

2.5 Alt Yüklenici Kullanımının Getirdiği Sorunlar

İnşaat sektörü alt yüklenici kullanmakla, karşı karşıya olduğu sorunlara yeni bir boyut getirmiş olur. Bu bir taraftan; genel masrafları azaltıp esneklik sağlama ve/veya kaynak kazanımının belirsizliklerine üretim tamponu olma, diğer taraftan; üretimin ilerleyen kısımları üzerinde biraz denetim kaybetme arasındaki ikilemdir. Bundan dolayı, alt yüklenicilik davranışındaki değişkenler, kısmen de olsa, inşaat firması tarafından izlenen olası bir strateji çıktısı gibi ortaya çıkmaktadır. İnşaat sektörü bir ölçüde karşı karşıya olduğu belirsizlikleri paylaşmakta iken, diğer taraftan yeni belirsizliklerle de karşı karşıya kalmaktadır [1].

Özkul (1996) yaptığı çalışmada, alt yüklenicilerden kaynaklanan sorunları; süre, maliyet ve kalite kıstaslarına göre düzenlemiştir. İnşaat sektöründe ürün ve üretimin nitelikleri gereği, şantiye örgüt yapısı içerisinde her imalat kaleminde farklı türde taşeron firmaların belli bir iş programına bağlı olarak öncelik-sonralık ve eş zamanlılık ilişkisi içinde çalışmak zorunda olmaları, projede olası süre uzamalarına neden olmaktadır. Taşeron firmaların ana yüklenici gibi davranma eğilimi sonucu, işi başka taşeron firmalarla yürütme yolunu seçmesi, ana yüklenici firmanın projede süre uzamaları yaşamasında etken olmaktadır. Teklif aşamasında işi kazanabilmek için fiyatı düşük tutan taşeron firmalar, işi aldıktan sonra proje süresinde karı arttırmak için maliyetleri düşürme yoluna gitmektedirler. Bu ise kalitede performans düşüklüklerine neden olmaktadır. Taşeron firmalarda ticari kazanç endişesi, kalite bilincinin gelişmesini engellemektedir. Taşeron firmaların maliyet artışlarına etkileri; hatalı ve eksik imalatlar, yanlış malzeme kullanımı, malzeme hasarları ve kayıpları şeklinde kendini göstermektedir [4].

Yüklenici firmalar, alt yüklenici kullanımının getirdiği sorunları aşabildikleri oranda başarılı olabilmektedirler.

2.6 Alt Yüklenici Yönetimi Prensipleri

İnşaat projelerindeki aktivite sayısının ve paydaş sayısının çok olması, alt yüklenici yönetiminin etkin biçimde yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Thomas ve Flynn (2011) alt yüklenicilerin düzgün biçimde yönetilebilmesi için bir prensipler bütünü oluşturmuştur. Thomas ve Flynn'e (2011) göre, kişilerin yönetimi için, aşağıdaki prensiplere uyulmalıdır [5]:

- Projenin iş programının oluşturulmasına tüm alt yükleniciler dahil edilmelidir.
- Alt yüklenicilere adil davranılarak, güvenilir bir ilişki tesis edilmelidir.
- Bir alt yüklenicinin verdiği teklif, diğer alt yüklenicilere deklare edilmemelidir.
- İhale öncesi toplantılarda tüm tarafların mutabakatı aranmalıdır.
- Alt yükleniciye işini zamanında bitirebilmesi için mümkün mertebe yardımcı olunmalıdır.
- Alt yüklenicinin işi periyodik olarak gözlemlenmeli, işçileri ile tanışılmalıdır.
- İhale kesinleşmeden önce yapılacak toplantıda, talepler alt yükleniciye anlatılmalıdır.
- Alt yüklenici yetkilisi ile düzenli olarak bireysel toplantılar yapılmalıdır.

Thomas ve Flynn'e (2011) göre, işin yönetimi için, aşağıdaki prensiplere uyulmalıdır [5]:

- Lider alt yüklenici tanımlaması yapılmalıdır.
- Adil ve dengeli bir alt yüklenicilik sözleşmesi oluşturulmalıdır.
- İş programı sunuşu ve değişiklik emri kaydı oluşturulmalıdır.
- Alt yüklenicilere zamanında ödeme yapılmalıdır.
- Alt yüklenicilere; iş tecrübeleri, iş güvenliği durumları ve finansal koşulları açısından ön yeterlilik değerlendirmesi yapılmalıdır.
- Alt yükleniciler ile haftalık iş güvenliği toplantıları yapılmalıdır.
- Alt yüklenicilerin performansı, belirli aralıklarla değerlendirilmelidir.
- Alt yüklenicilerin temizlik ve bakıma dikkat etmesi sağlanmalıdır.
- Alt yüklenicilerin iş güvenliği uygulamalarına uygun şekilde çalışması sağlanmalıdır.

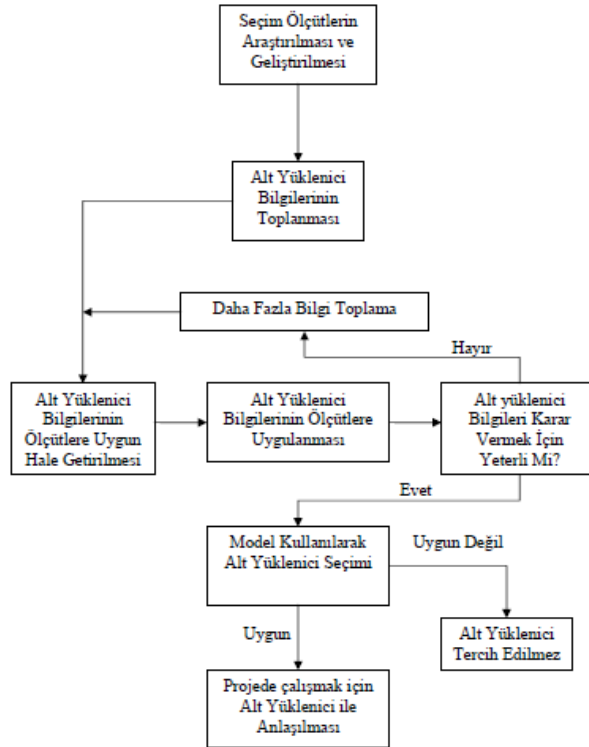
- Koordinasyon çizimlerinin oluşturulmasına önem verilmelidir.
- Sözleşme esaslarına uyulması sağlanmalıdır.
- Önerilen her değişiklik emri, tüm alt yükleniciler tarafından gözden geçirilmelidir.
- Alt yükleniciler ile topluca düzenli toplantılar yapılmalıdır.

Bu prensiplere uyulduğu takdirde, çok sayıda alt yüklenicinin birlikte uyumlu bir şekilde çalışması sağlanabilir.

2.7 Alt Yüklenici Seçimi

İnşaat projelerindeki iş paketleri için doğru alt yükleniciler ile çalışmak, inşaat firmalarının her zaman dikkat ettiği bir olgudur. Projenin; hedeflenen sürede, bütçelenen maliyeti içinde ve beklenen kalite düzeyinde tamamlanması, büyük ölçüde alt yüklenicilerin performansına bağlıdır. Bunun farkında olan inşaat firmaları, birlikte çalışacakları alt yüklenicileri seçerken belirli kıstaslara dikkat etmektedir.

Köseokur (2007) yaptığı çalışmada alt yüklenici seçim süreci için Şekil 2.1'deki iş akış diyagramını oluşturmuştur [2]:



Şekil 2.1 : Alt yüklenici seçim süreci [2].

Köseokur'a (2007) göre; alt yüklenici seçimi, bir işin ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayabilecek, rekabet gücü ve yetenekleriyle diğer adaylara üstünlük sağlayacak alt yüklenicinin belirlenmesi işidir. Günümüzde inşaat sektöründe çoğu ana yüklenici sadece yönetim ve koordinasyon aktivitelerine yoğunlaşıp, diğer işler için alt yükleniciler kullanmayı tercih etmişlerdir. Bu da alt yüklenicilerin kullanımını arttırmış ve seçimini önemli bir hale getirmiştir. Alt yüklenici seçiminin temelini, bireylerin veya bireylerden oluşan grupların niceleyici ve niteleyici yüklenici bilgilerini analiz etmesi oluşturur.

Köseokur (2007) alt yüklenici seçimini etkileyen ölçütleri; fiyat, sağlık ve güvenlik, finansal durum, kaynakların durumu, zaman, geçmiş tecrübe ve uzman görüşü olarak belirlemiştir. Bu ölçütleri yapay sinir ağları yönteminde kullanarak, alt yüklenici puanlarını üretmiştir. [2].

Demirci'nin (2009) yaptığı çalışmada, inşaat sektöründeki yüklenicilerin performanslarının değerlendirilebilmesi için web tabanlı, çevrimiçi ve objektif kıstaslara dayanan bir değerlendirme sistemi tasarlanmıştır. Kıstasların tespiti ve bu kıstasların ağırlık oranlarının belirlenmesi amacıyla yatırımcı bir kamu kuruluşunda anket uygulaması yapılmıştır. Söz konusu kamu kuruluşunda performans değerlendirmesine dair yapılan çalışma sistematığı esas alınarak, kıstaslar ve alt kıstaslar belirlenmiştir [6].

Hartmann, Ling ve Tan (2009) tarafından yapılan çalışmada, Singapur'daki yüklenici firmaların alt yüklenici seçimlerini etkileyen kıstasların önem düzeylerini belirlemek için bir model geliştirilmiştir. Pazarlama üzerine yapılmış çalışmalardan hareketle, yüklenici firmalara belirlenen kıstaslar için puanlamalar yaptırılmıştır. Yüklenici firmaların seçimlerinden hareketle, kıstaslar önemliden önemsiz doğru; fiyat, kalite, işbirliği ve teknik yeterlilik olarak sıralanmıştır. Düşük performanslı olsa dahi, ucuz ve daha önceden çalışılmış alt yüklenicilerin tercih edildiği belirlenmiştir [7].

Eom, Yun ve Paek (2008) Kore'de faaliyet gösteren 100 adet alt yükleniciden sağlanan performans ve finans verileri ile, bir alt yüklenici değerlendirme ve yönetim çerçevesi oluşturmuştur. Sistemin bileşenleri olarak; vizyon ve strateji, amaçlar, 4 adet kategori, 15 adet değerlendirme kıstası ve 25 adet alt yüklenici indisi gibi veri tiplerini seçmiştir. Verileri; mülakatlar, anketler ve istatistiksel analizler ile destekleyerek alt yüklenicilerin işletme karnelerini oluşturmuştur. En önemli alt

yüklenici değerlendirme kıstaslarının; finansal yeterlilik, hizmet kalitesi, etkin saha yönetimi, sürdürülebilir büyüme ve değer yaratma olduğunu belirtmiştir [8].

Evman (1999) yaptığı çalışmada, Analitik Hiyerarşi Prosesinden yararlanmıştır. En uygun alt yüklenici seçimi, bir problem olarak ele alınmış ve anılan problem, seçim işlemini gerçekleştirirken dikkate alınacak ana ve alt kıstasların hiyerarşik yapısını ifade eden bir model ile formüle edilmiştir. Problemin çözümü, Analitik Hiyerarşi Prosesini bilgisayar ortamında uygulayan Expert Choice yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Modelde yer alan öznel kıstaslarda oylamacıların görüşlerine başvurulmuştur. Oylamacılar, alt yüklenici adaylarını, daha önce birlikte gerçekleştirdikleri işlerdeki performanslarına dayanarak puanlamışlardır. Nesnel kıstaslara ait veriler ise, her alt yüklenici adayı için tespit edilip modele aktarılmıştır. Son olarak, Expert Choice yazılımından elde edilen sonuçlara yer verilerek alt yüklenici puanları oluşturulmuştur [9].

3. SÜRE MALİYET KALİTE OPTİMİZASYONU

3.1 İnşaat Projelerinde Süre Yönetiminin Önemi

Gerek gayrimenkul geliştirme, gerekse taahhüt işleri açısından; her inşaat projesinin belirli bir tamamlanma süresi vardır. Yapılan yatırım; para kazandırmaya veya hizmet vermeye, inşaat projesinin tamamlanmasıyla birlikte başlar. Bu da, günümüzün rekabetçi inşaat piyasasında süre kavramını daha önemli kılmaktadır. Süre kavramı düşünülmeden yapılan bir projede, proje yönetimi olgusundan bahsedilemez.

İşçioğlu'na (2011) göre süre yönetimi; görevlerin, projenin veya amaçlanan hedeflerin tamamlanabilmesi için o işi verimli ve hızlı bir şekilde yapabilecek yeteneklerden, ekipmanlardan veya tekniklerden yardım alarak zamanı yönetmektir. Bu yönetim, planlama, amaçlandırma, delege etme, analiz etme, izleme, organize etme, zamanlama ve önem derecesi belirleme gibi çok geniş bir aktivite kapsamına sahiptir. Süre yönetimi sistemi; işlemlerin, ekipmanların, tekniklerin ve metodların bir kombinasyonu olarak dizayn edilir. Genellikle, projenin tamamlanma süresini ve kapsamını belirlediği için süre yönetimi herhangi bir projenin gelişiminde çok önemli bir rol oynamaktadır [10].

Gökyiğit'in (2013) ortaya koyduğu çalışmaya göre; inşaat projelerinin en önemli bileşenleri olan işgücü, ekipman, malzeme, araçlar ve parayı proje süresince randımanlı şekilde kullanmak adına verimli çalışan bir zaman yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Projenin istenilen kalitede, zamanda ve öngörülen bütçe içinde tamamlanabilmesi için doğru planlama ve programlama işlemlerinin yapılması gerekliliği ortadadır. Süre yönetiminin esas bileşenleri olan çizelgelerin geliştirilmesi, takip ve tatbik edilmesi ve tüm bunların düzenli bir şekilde raporlanması inşaat proje yönetiminin süre yönetimi işlevinin taşıdığı iş kalemleridir [11].

Proje tamamlanma süresinin önemi, inşaat taahhüt sözleşmelerinde yer alan maddi ceza ve ödül hükümlerinden anlaşılabilir. Bu tip sözleşmelerde; taahhüt süresinin aşılması halinde belirli bir ceza, taahhüt süresinden önce tamamlanmalarda belirli bir ödül öngörülmektedir. Bu bağlamda; inşaat projelerinin başarı kistaslarından birisi, süreyi minimize edebilmek olacaktır.

3.2 İnşaat Projelerinde Maliyet Yönetiminin Önemi

Her inşaat projesine, belirli bir bütçe oluşturularak başlanır. İnşaat projesi bünyesinde görev alan tüm paydaşların ortak amacı; maliyetlerini minimuma indirerek, karlarını arttırmaktır.

Yükleniciler açısından; toplam proje maliyeti, direkt (dolaysız) maliyetler ile endirekt (dolaylı) maliyetlerin toplamından oluşmaktadır [12].

Direkt (dolaysız) maliyetler; şantiyede projenin yapımı ile doğrudan ilişkili olarak, işçilik, malzeme, makine/ekipman ve alt yüklenicilere ilişkin harcamaları kapsarlar [12].

Kısa tanımı ile direkt maliyetlerin dışında kalan maliyetler endirekt (dolaylı) maliyetlerdir. Bu maliyetler aşağıdaki gibi sıralanabilir [12]:

- Yönetim maliyeti,
- Servis maliyeti,
- Yemek ve çay ocakları,
- Şantiye tesisinin temizlik ve bakımı,
- Koruma hizmetleri,
- İş güvenliği,
- Servis araçları,
- Şantiye işletme ve sosyal tesislerinin kurulması / mobilizasyon,
- Şantiye personel saha içi taşıma araçları ve işletme maliyeti,
- Şantiyenin sökülmesi, kaldırılması ve taşınması (demobilizasyon),
- Üretime dönük olmayan makine bakımları,
- Teminat mektuplarının masrafları,
- Finansman masrafları,
- Zorunlu ve isteğe bağlı sigortaların masrafları,
- Gümrük masraf ve vergileri,

- İhale masrafları,
- Şirket merkezinden gelen genel masraflar

Endirekt maliyetlerin, projenin başlangıç aşamasında net olarak hesaplanması zordur. Bu sebeple genel olarak, proje bütçesi içinde belirli bir yüzde olarak tanımlanırlar veya proje süresinin bir fonksiyonu olarak proje bütçesine eklenirler.

Maliyet yönetimi kategorisi; proje yöneticisinin tüm projeyi kapsayan bir maliyet yönetim sistemi ve bu işe tahsis edilmiş proje ekibi ile gerçekleşen maliyetlerin proje süresi boyunca yönetilmesi, kontrol edilmesi ve takip edilmesi hususunda yapması gereken çalışmaların esaslarını teşkil etmektedir [11].

Bu bağlamda; inşaat projelerinin başarı kıstaslarından birisi de, maliyeti minimize edebilmek olacaktır.

3.3 İnşaat Projelerinde Kalite Yönetiminin Önemi

Gökyiğit'e (2013) göre, projenin kalite hedefleri için düzenlenen prosedürler ve politikalar için planlanan, düzenlenen, tatbik ve takip edilen, dosyalanan sistemin yönetimi kalite yönetimi olarak adlandırılmaktadır. Kalite yönetimi; projenin istenen standartlarda, şartnamelerde öngörüldüğü şekilde test edilip incelenmesi ve sertifikasyon işlemiyle derecelendirilmesidir [11].

İşçioğlu'nun (2011) yaptığı çalışmaya göre bir projenin kalitesi, müşterinin kullanım amacına uygun olarak tamamlanmış olan en optimize sonuçla ölçülebilir. İnşaat planlaması belirli bir kalite standardında olmalı ve kalite kontrolün de bu amaca uygun bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca kaliteye gereğinden çok önem vermek kaynak kullanımını ve süreyi arttıracak gibi, genellikle bitiş takvimi üzerinde negatif bir etkisi olmaktadır. Elbette ki sürenin minimize edilmesi inşaat işinde verimliliği arttırmaktadır. Ancak, işlerin hızlanması kalite kontrolü zorlaştırmaktadır. Bu iki olgu arasında yumuşak bir geçiş yapılmalı ve planlama buna uygun ilerlemelidir. Kalite bazen süre ve maliyetin gerisinde kalmakta ve işin daha ucuz ve daha hızlı ilerlemesi için göz ardı edilmektedir [10].

İnşaat projelerinde kalitenin ölçülmesi, süre ve maliyetin ölçülmesine nazaran daha zor ve daha sübjektif olabilmektedir. Yapılan imalatların, teknik şartnamelerde tanımlanan kıstaslara uygunluk dereceleri, genel olarak puanlandırılmamaktadır. Ancak, bazı ana yüklenici firmalar, çalıştırdıkları alt yükleniciler için geçmiş

tecrübelerine dayanarak puanlama yapmakta ve alt yüklenicilerin imalat kaliteleri için veri havuzu oluşturmaktadırlar. Oluşturulan bu kurumsal hafıza ana yüklenicilere, gelecekteki projelerde seçecekleri alt yükleniciler hakkında bilgi sağlamaktadır.

Tüm bu veriler ışığında; kalitenin maksimize edilmesi de, inşaat projelerinin başarı kistaslarından birisi durumundadır.

3.4 İnşaat Projelerinde Süre Maliyet Kalite Optimizasyonu

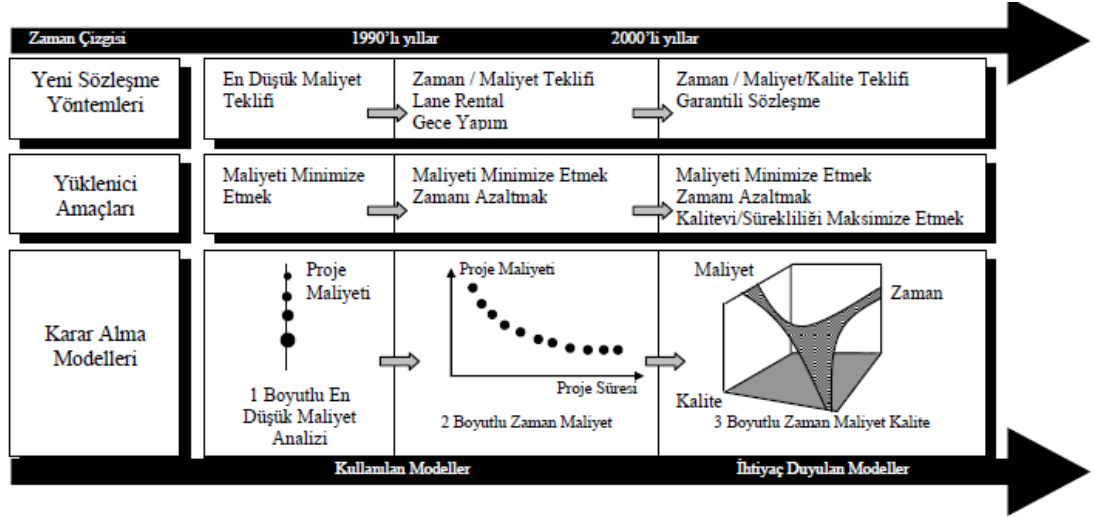
İnşaat projelerinde karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerin birden çok alternatifi olabilmektedir. Ancak, bu yöntemlerin içinde her zaman mutlak en iyi çözüm bulunamayabilmektedir. Çözüm alternatiflerine ait süre, maliyet ve kalite verilerinin en az biri olumlu veya olumsuz çıkabilmektedir. Örneğin; bir iş paketi için teklif veren alt yüklenicilerden birinin süre ve maliyet verileri olumluyken, diğerinin iş yapma kalitesi yüksektir. Ya da, birinin süre ve kalite verileri olumluyken, diğeri belirgin ölçüde ucuz teklif vermiş olabilir.

İnşaat projelerindeki aktivite ve alt yüklenici sayısının fazlalığı düşünüldüğünde, oluşabilecek çözüm alternatifleri için binlerce kombinasyon oluşabilmektedir. Alternatiflere ait süre, maliyet ve kalite kistaslarını değerlendirerek, hangi kombinasyonun en doğru çözüm olacağına karar vermek, bir optimizasyon problemi meydana getirmektedir.

Türkay'a (2006) göre optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet enazaltılması, kâr ençoklanması, kapasite kullanımının enyükseltilmesi ve verimliliğin ençoklanması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır [13].

Günümüzde inşaat projelerinin planlanmasında ve kontrolünde süre-maliyet-kalite değişiminin analizi inşaat proje yönetiminin en önemli konularından biri haline gelmiştir. Süre ve maliyeti minimum yapmaya çalışırken kalitenin maksimumda tutulmaya çalışılması ve süre ile maliyet arasındaki ters yönlü ilişki inşaat projelerinin yönetilmesini iyice karmaşıktırmaktadır. Süre-maliyet-kalite arasındaki bu karmaşık ilişkinin tam olarak tanımlanması için proje yöneticileri bu üç kistasın ortak analizini yaparak optimum çözümü bulmaya çalışmaktadırlar. İki

boyutlu süre-maliyet değişim analizinden üç boyutlu süre-maliyet-kalite değişim analizine geçiş Şekil 3.1’de gösterilmiştir [14].



Şekil 3.1 : Yeni sözleşme yöntemlerinin karar almaya etkisi [14].

İnşaat sektöründe süre-maliyet-kalite optimizasyonu yapılması amaçlı çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

İşçioğlu (2011) tarafından yapılan çalışmada, gerçek bir konut projesinde farklı yapım metotları ile oluşan değişik süre, maliyet ve kalite değerleri, bulanık mantık yöntemi ile optimize edilmiştir. Elde edilen veriler üzerinden, projenin en uygun değerli iş akış şeması oluşturulmuştur [10].

Karaman ve Kale'nin (2007) yaptıkları çalışmada, örnek bir projeye ilişkin aktivite bazında alternatif süre-maliyet ve kalite değerleri tanımlanmıştır. Maksimum kalite altında süre ve maliyet arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve süre-maliyet-kalite fonksiyonlarının aynı anda çözümlenmesiyle projeye ilişkin optimum sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Süre-maliyet-kalite fonksiyonlarının aynı anda çözümlenmesi için bulanık hedef programlama tekniklerinden faydalanılmıştır. Projeye ilişkin optimum değerlerin eşit ve farklı hedef fonksiyonlarının ağırlıkları için değiştiği görülmüştür [14].

Jie ve Ming (2009) lojistik hizmetler yönetiminde, kaynakların dağıtılmasının daha objektif bir yaklaşımla yapılmasını amaçlayan bir çalışma yapmıştır. Bu sebeple; gerçek bir lojistik firmasının süre, maliyet ve kalite verileri alınarak kaba kümeler teorisi ile geliştirilmiş olan analitik hiyerarşi prosesi metodu kullanılmıştır. Bu şekilde bir, çok amaçlı derecelendirme ve optimizasyon metodu geliştirilmiştir [15].

San Cristobal (2009) istenilen kalite, süre ve maliyet hedeflerine ulaşılmasını sağlayan bir 0-1 tamsayı programlama modeli geliştirmiştir. Bu model gerçek bir karayolu inşaatı projesine uygulanmıştır. Aktivitelerin en uygun kaynak kullanım tipleri için optimal bir çözüm bulunmuştur [16].

Heravi ve Nezhad'ın (2012) çalışmasında süre, maliyet ve kalite açısından optimal kaynak kullanımını amaçlayan bir grup karar verme yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır. Uygulamalı örnek olarak gerçek bir baraj inşaatı analiz edilmiştir. Sürelerin ve maliyetlerin tahmini için Monte Carlo Simülasyonundan, kalite değerlendirmesi içinse Bulanık Basit Ağırlıklı Toplama Sistemi kullanılmıştır. Grup karar verme aşaması Borda-OWA metodu ile sonuçlandırılmıştır [17].

Zhang, Du ve Zhang (2013) tarafından yapılan çalışmada, geliştirilmiş süre-maliyet ve kalite-süre modellerine dayanılarak bir birleştirilmiş optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Geleneksel maliyet-süre modeli, ödül ve cezalar da göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Sistemin güvenilirliği için yeni bir kalite performans indisi modeli kurgulanmıştır. Örnek olarak gerçek bir 3 katlı ofis binası inşaatı projesi seçilmiştir. Karar aşamasında uygun çözümlerin kıyaslanabilmesi için sözleşmedeki süre, maliyet ve kalite değerleri kullanılmıştır. Bu yöntemle optimal süre, maliyet ve kalite değerleri elde edilmiştir [18].

El-Rayes ve Kandil (2005) yaptıkları çalışmada, model kurulum aşamasında karar değişkenleri ve optimizasyon hedeflerini belirlemişlerdir. Kalite nicelleştirme aşamasında belirlenen kalite kıstaslarına göre skortlama yapmışlardır. Örnek bir otoyol inşaatı projesi için süre-maliyet-kalite optimizasyonunu, Genetik Algoritma metodu kullanarak gerçekleştirmişlerdir [19].

Görüleceği üzere, inşaat sektöründe süre-maliyet-kalite optimizasyonu yapılabilmesi için, farklı yöntemler denenebilmektedir.

4. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE BELİRSİZLİKLER VE RİSKLER

İnşaat sektörü; doğası gereği, bünyesinde birçok belirsizlik ve risk unsuru bulundurmaktadır. Bu durumun sebepleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- İnşaat projeleri; çok fazla maliyet kaleminin olduğu, büyük bütçeli projelerdir.
- İnşaat projeleri; diğer sektörlerdeki projelerle kıyaslandığında, uzun süren projelerdir.
- İnşaat projeleri; içinde çok fazla paydaş bulunan kompleks organizasyonlardır.
- İnşaat projeleri; birbirlerini etkileyebilen binlerce aktiviteden oluşan iş programlarına sahiptir.
- İnşaat projelerinde doğa koşulları ile mücadele söz konusudur.
- İnşaat projelerindeki imalatlar hata kaldırmayacak kadar ciddi olduğundan, her zaman belirli bir kalite standardının üzerinde olmalıdır.
- İnşaat projelerinin başarısı, projelerin bulunduğu ülkelerin kültürel, siyasi ve hukuki durumundan etkilenmektedir.

Bu unsurları doğru anlayabilmek için, öncelikle kavramların doğru anlaşılması gerekmektedir.

4.1 Kavramlar

Uğur'a (2006) göre kesinlik durumu, yalnızca karar tarafından kapsanan süre zarfı içinde ne olacağı kesin olarak söylenebiliyorsa mevcuttur. Bu durumla, doğal olarak, inşaat endüstrisinde pek sık karşılaşılmaz [20].

Kuşan (2009); risk sözcüğünün kişiler ve sektörler için farklı anlamlar içermesinin, çoğu zaman farklı biçimlerde yorumlanmasına ve tanımlanmasına neden olduğunu belirtmektedir. Mühendisler, tasarımcılar ve yükleniciler riske teknik bir

perspektiften bakarken; yatırımcılar ve bankacılar ise ekonomik ve finansal açıdan bakmakta, öte yandan sağlıkçılar, çevreciler ve kimya mühendisleri ise güvenli ve çevresel bir perspektiften değerlendirmeyi tercih etmektedirler. Bu yüzden, risk genellikle ölçümü çok zor olan bir özet kavram olarak görülmektedir. Genel bir tanım olarak risk için “belirli faaliyetlerin sonuçlarının önceden tahmin edilemediği zaman oluşan belirsizlik durumudur” denilebilir. Bu belirsizliğin etkisi genellikle olumsuz bir durum yani tehlike olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla belirsizliğin nedeni olan risklerin olumsuz etkilerinden zarar görmemek için olasılıklar göz önüne alınarak, önlemler almaya yönelik, çalışma ve planlama faaliyetleri düzenlenmektedir. [21]

Gürer’in (2008) yaptığı çalışmaya göre belirsizlik, kişilerin tercihleri nedeniyle ortaya çıkabilecek sonuçlara ilişkin kesin bir olasılık atfedemedikleri bir durumdur. Örneğin, oyun kuralların bilindiği durumlarda olası sonuçlar ve bunlara ait riskler hesaplanabilirken kuralların bilinmediği hallerde belirsiz bir durum söz konusudur. Bu nedenle, belirsizlik riskin hesaplanamadığı bir durumu ifade eder [22].

Fırsat kavramı Kaya’ya (2010) göre; belirsizlik durumunda kar veya fayda sağlama olasılığı olan, riskin olumlu ifadesi olarak da değerlendirilebilir. Amaç; bir proje de belirsizliği riskten uzaklaştırıp, fırsata yaklaştırmaktır. Bu proje risk yönetiminde değişmeyen amaç olarak görülür. Bu, biraz ileri görüşlülük ve ustalıkla halledilebilir. Maalesef çoğu zaman riskler önemsenmedikleri için, fırsatlar da değerlendirilmemiş olur [23].

Akyıldız (2010), risk ve belirsizlik kavramlarının karıştırılıp birbirinin yerine kullanılması durumunun sıklıkla söz konusu olduğunu belirtmiştir. En yalın deyişle, kesin olmayan bir durum nasıl belirsiz demekse, riskli durumda da olayın meydana geleceği kesin değildir ve riskli olay belirsizlik içerir. Diğer bir deyişle risk, belirsizliğin olduğu durumlarda vardır [24].

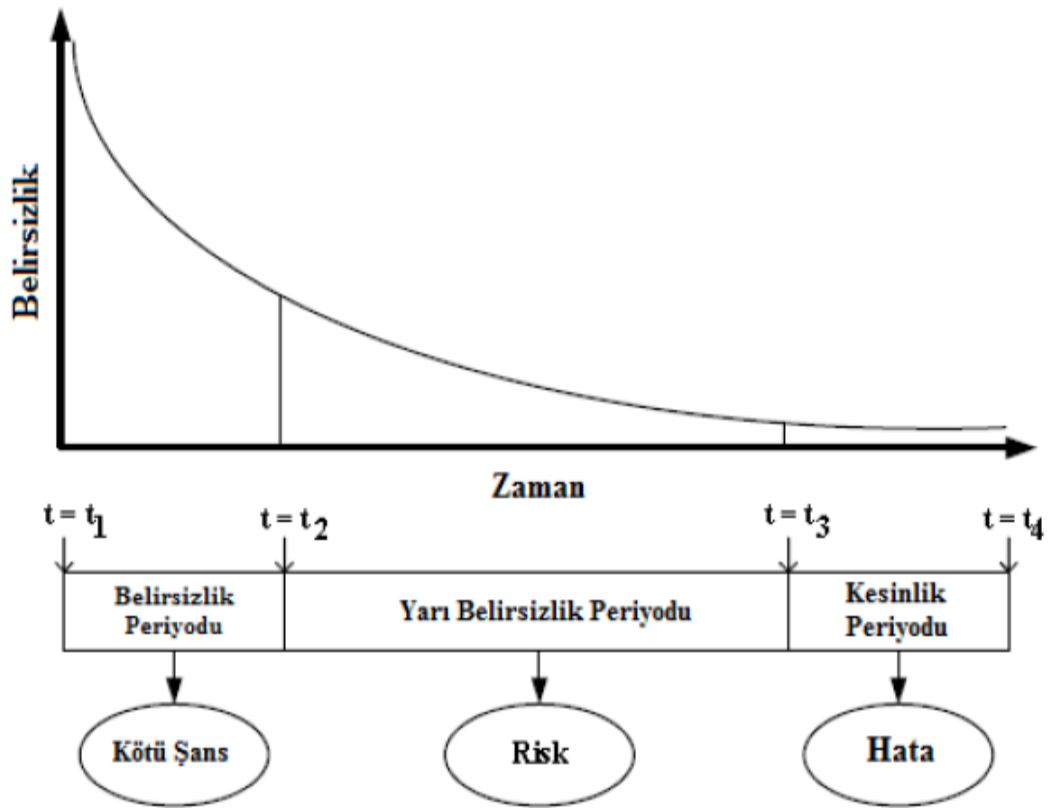
Risk bileşenleri ve risk oluşumu Şekil 4.1’de aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [24].



Şekil 4.1 : Risk bileşenleri ve risk oluşumu [24].

Düzcan (2010) belirsizliğin, bilgi kazanıldıkça zamanla azalan ve azaldıkça gelecekte olabilecek potansiyel olayların (risklerin) kontrolünü arttıran bir durum olduğunu belirtmiştir [25].

Düzcan'a (2010) göre, belirsizlik zaman içerisinde azalmaktadır. Projenin başında proje sonuçları hakkında yeterli bilgi olmadığı için belirsizlik fazladır. Bu süreçte karşılaşılan kötü durumlar kötü şans olarak adlandırılmaktadır. Zaman içerisinde bilgi kazanıldıkça, belirsizlik azalır ve riskle sonuçlanabilecek bu periyoda yarı belirsizlik periyodu denir. Şekil 4.2'de projelerdeki belirsizlik ve risklerin aşamaları gösterilmiştir [25].



Şekil 4.2 : Belirsizlik ve zaman arasındaki ilişki [25].

Görüldüğü üzere; kavramların doğru anlaşılması, inşaat projelerindeki belirsizlik ve risklerin doğru anlaşılması ve yorumlanması için gereklidir.

4.2 İnşaat Projelerindeki Belirsizlikler ve Riskler

İnşaat projelerinde karşılaşılan belirsizlikler ve riskler için yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde, aşağıdaki şekilde gruplanabilmektedir.

4.2.1 İhaleye hazırlık riskleri

İhaleye hazırlık süreci, firma ihale bölümünün tecrübesi, hazırlık dönemindeki iş yoğunluğu, hazırlık süresinin yeterliliği gibi içsel faktörlerle birlikte, ihale dokümanlarının kalitesi ile ilgili riskleri de barındırmaktadır. İhale süreci risk faktörleri şu şekilde sıralanabilir [25]:

- Projenin detay pafta ve mahal listelerinin karışıklığı
- Tasarım (statik-mimari-elektrik-mekanik) detaylarında veya teknik şartnamelerde hata ve belirsizlikler
- İhale sürecinde hazırlanan zemin etüdü raporlarının yetersizliği
- İhaleye hazırlık süresi yetersizliği ya da iş yoğunluğunun fazlalığı
- İhale dokümanlarında eksik bilgilendirme ya da belirsizlikler (işin kapsamı, kilit tarihler, sözleşme türü, vb.)
- İhale departmanının benzer projelere ilişkin tecrübe noksanlığı
- Projenin yapılacağı bölgede malzeme ve işçilik birim fiyatlarına yönelik piyasa araştırmasının yetersiz yapılması
- Projenin yapılacağı bölgede mobilizasyon ve şantiye genel giderleri için gerekli bütçe analizinin gerçekçi olmaması
- Projenin yapılacağı bölge için geçerli inşaat teknik şartnameleri ve standartlarının bilinmemesi
- Şantiye sahası ziyareti ve mevcut durum tespiti konularında eksik çalışma

4.2.2 Politik riskler

Politik riskler projenin hayata geçirildiği ülkede, ülkenin politik yapısı, devlet ilişkileri ve yönetimi bazında sınıflandırılabilir. Bunlardan ülkenin politik yapısı;

- Devamlılığın sağlanamaması,
- Politik yozlaşma,
- Dil, etnik köken ve din çerçevesinde bölünme ortamı,
- Irkçılık ve ayrılıkçı çatışma ortamı

gibi risk unsurlarını içerebilir [26].

Devlet ilişkileri ve yönetimi anlamında ise aşağıda sıralanan riskler yabancı yatırımcılar için dikkate alınması gereken unsurlardır [26].

- Hükümetlerin yabancı yatırımcılara karşı mesafeli duruşu,
- Yatırımlarda yerel kaynakların kullanılması ile ilgili zorunluluklar

4.2.3 Pazar riskleri

Pazarın işletmeler üzerindeki olumsuz etkileri pazar riski olarak nitelendirilmektedir. Söz konusu riskler daha çok alıcı, satıcı ve rekabet çevresinden ortaya çıkmaktadır. İşletme kendisine mal satanlar ve mal alanlar davranışlarından etkilenmektedir [27].

4.2.4 Finansal riskler

Finansal riskleri kısaca, aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [25]:

- Hakedişlerin alınmasında yaşanabilecek aksaklıklar (işverenin mali gücü)
- Sözleşme kurundaki dalgalanmalar
- Ödeme koşullarının proje ilerleyişine uygun olmayışı (Avans miktarı, nakit akısındaki kısıtlamalar)
- Kredi kaynağı bulunması ve bulunan kaynağın maliyeti (vade koşulları, yüksek faiz)
- Yüksek enflasyon riski

4.2.5 Doğal felaketler

Su baskını, deprem, kasırga ya da hortum gibi doğal afetler öngörülemez risk kaynaklarıdır. Bu risk kaynakları yüklenicinin kapasite ve kontrolünü aşar düşüncesiyle mal sahibi tarafında üstlenilegelmiştir. Sigorta uygulamasının yaygınlaşmasıyla mal sahipleri bu risk kaynaklarına karşı daha yumuşak bir tutum sergilerken, yükleniciler de bu riskleri paylaşma eğilimindedirler [23].

4.2.6 Kültürel riskler

Kültürel yapıya bağlı olarak gündeme gelebilecek riskler, ülke yapısı ve ülkenin çalışma kültürü kaynaklı olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir [26]:

Ülke yapısına bağlı kültürel riskler;

- Dil sorunu,
- İnanç (din) kaynaklı gündeme gelebilecek sorunlar,
- Ülke halkının yabancı yatırımcı ve çalışanlara karşı olumsuz tavrı,
- Günlük yaşamdaki alışkanlıkların farklılığı,

- Irk ve/veya cinsiyete bağılı ayrımcılık gibi özetlenebilir [26].

Projenin gerçekleştirildiğı ülkenin çalışma kültürüne bağılı olarak gündeme gelebilecek riskler ise;

- Yönetim ve hiyerarşi alanındaki farklılıklar,
- Rüşvet ve kayırmacılık,
- Kanunsuz iş yapma alışkanlıkları olarak değerlendirilebilir [26].

4.2.7 Firma riskleri

Firma riskleri olarak; firmanın büyüklüğü, teknolojik ihtisası, ekipman kapasitesi, kalifiye eleman kapasitesi, öz sermayesi, yönetim etkinliğı, kesin kabul yaptırdığı benzer iş sayısı, ticari kredi hacmi ve firmanın yöresel etken ve koşullara alışkanlığı şeklinde sıralanabilir [25].

Şahıs işletmelerinde en büyük risk, işletme sahibinin ölmesi veya çalışma yeteneğini yitirmesi halinde işleri kimin üstleneceğidir. Kolektif ve komandit ortaklıklarda ise risk, ortaklar arasında anlaşmazlık çıkmasıdır. Anonim ve limitet işletmelerde en önemli risk, faaliyet düzeyine uygun bir sermaye yapısının oluşturulmasıdır. Kooperatif işletmelerde ise en büyük risk ortakların ödeme gücü ve yeteneğı ile profesyonel yönetim eksikliği oluşturmaktadır [27].

4.2.8 İnşaat riskleri

İnşaat işinin sahada fiilen yapılmasına yönelik her türlü risk, inşaat riskleri kapsamında değerlendirilmiştir. Bu riskler,

- Projenin yapılacağı bölgede, şartname ve projeye uygun malzeme ve ekipman teminindeki problemler
- Firmanın işin yapılacağı bölgede taşeron ve tedarikçilerle irtibatının olmaması
- Firma çalışanlarının projede kullanılacak yeni inşaat teknolojileri/makine ve ekipmanlar konusunda tecrübesizliğı
- Çalışılacak taşeronlardan (varsa) kaynaklanabilecek gecikme riski
- İklim koşullarından kaynaklanabilecek gecikme riski
- Hatalı imalattan kaynaklanabilecek gecikme riski
- Talep edilen teslim süresinin, projenin kapsamı için yetersizliğı
- Firmanın mevcut makine parkı, proje için yetersiz oluşu

- Yükleniciye ait olan inşaat izinleri, ruhsatları gibi resmi makamlarla muhatap olunan konularda firmanın yetersiz donanım ve ilişkiye sahip olması
- İş programı ve planlamanın projenin yapılacağı bölgeye ve kullanılacak işgücüne/taşeron kapasitesine uygun olarak yapılmaması

olarak detaylandırılmıştır [25].

4.2.9 Tasarım riskleri

şener'e (2012) göre tasarım kaynaklı riskler; tamamlanmamış tasarım, kusurlu veya hatalı tasarım, hatalar ve unutulanlar gibi riskleri barındırmaktadır [27]. Bunun yanında tasarımlar üzerinde çok fazla revizyon olması, projedeki risk unsurunu arttırmaktadır.

4.2.10 Sözleşme riskleri

Sözleşme ile ilgili risk kaynakları; izin ve ruhsat konuları, sözleşme yetersizliği ve sorumluluk paylaşımı hususlarını kapsamaktadır. İzin ve ruhsat konularındaki risk kaynakları, paylaşılmış risk kaynaklarıdır ve taraflar kendi sorumluluk alanlarına giren konulardan sorumlu olurlar [23].

4.2.11 Hukuki riskler

Yatırımın gerçekleştiği ülkedeki hukuki mevzuat şu riskleri barındırmaktadır [26].

- Hukuki sistemdeki farklılıklar ve karmaşıklıklar,
- Mevzuatın sık sık değişime uğraması,
- Kanunların yaptırım gücünün kısıtlı olması,
- Kanunların yorumlanmasında gündeme gelen farklılıklar,
- Kamu yatırımlarında ihale sürecinin yeterince şeffaf olmaması,
- Anlaşmazlıkların   z m  için güvenilir ortamın sağlanamaması ve bu sürecin yavaş işlemesi,
- İşin inşası için gerekli izinlerin temininde karşılaşılan zorluklar,
- Seyahat ve vize kısıtlamaları,
- Malzeme ve hammadde temininde mevzuattan kaynaklanan kısıtlama ve gecikmeler,
- Muhasebe mevzuatından kaynaklanan problemler.

4.2.12 Çevresel riskler

Çevresel risk kaynakları, inşaat sanayinde karşılaşılan en yeni risk kaynağı gruplarından biridir. İlgili kanunların sık sık değişmesi sebebiyle politik risk kaynakları ile aynı kapsamda da ele alınabilirler. Öte yandan çevresel risk kaynakları; ekolojik zarar, kirlilik, atık temizleme gibi konuları da kapsamaktadır. Çevresel risk kaynakları ile ilgili sorumluluk, saha araştırması yapma ve tasarım evresinde mal sahibindedir. Yapım evresine gelindiğinde ise sorumluluk, yükleniciye geçmektedir. Bu risk kaynağı, daha iyi bir saha incelemesi yapılarak değerlendirilir ve yüklenicinin bu konudaki sorumluluğu sözleşmede açıkça, yüklenici bu durum için risk payı öngörmelidir [23].

4.3 İnşaat Sektöründe Risk Yönetimi

Bünyesinde bu denli riskler bulunduran bir sektörde risk yönetimi yapılmalıdır. Ancak, inşaat projelerinde risk yönetimi uygulanmasının avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

İnşaat projelerinde risk yönetimi yapılmasının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [23].

- Karar vermede sistematik ve mantıksal bir yaklaşım sağlar.
- Karmaşık karar sorunlarında seçeneklerin ayrıntılı bir analizi olanaklı kılar.
- Karar vericinin risk ve belirsizlikle gerçekçi bir biçimde karşı karşıya gelmesini sağlar.
- Örgüt içinde iletişime yardımcı olur.
- Bir karar sorunu için ne kadar bilgi toplanacağını karar vericiler tarafından belirlenmesini sağlar.
- Karar vermede yargı ve sezgiyi ön plana çıkartır.

İnşaat projelerinde risk yönetimi yapılmasının dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir [23].

- Maliyeti yüksektir. Zaman ve para kaybına yol açar.
- Uzun zaman alır. Bu nedenle güvenlik önlemlerinin alınması gecikebilir.

- Yöneticiler risk analizinin sonuçlarını yorumlamada güçlük çekerler.
- Olasılık hesaplamalarını elde etmede bazen güçlükler olabilir.

4.3.1 Riskleri belirleme

4.3.1.1 Risklerin tanımlanması

Bir risk kaynağının analiz edilip değerlendirilebilmesi için tanımlanmış olması gerekir. Tanımlama, bir inşaat projesi ile ilgili belli önemdeki risk kaynaklarının, sistematik ve devamlı olarak ortaya konması ve sınıflandırılması çalışmasıdır. Risk kaynaklarını belli gruplar içinde tanımlamak daha kolaydır. Amaç, hangi tip risk olaylarıyla karşılaşılacağını anlamaya çalışmaktır. İnşaat alanında çok çeşitli ve farklı yapıda olan risk kaynakları vardır ve risk kaynakları doğru belirlenmeli ki doğru çözümler üretilebilsin [27].

Risk kaynaklarına dair pek çok sınıflandırma bulunmaktadır. Risk kaynakları;

- Kontrol edilemeyen ya da kontrol edilebilen,
- Öngörülemeyen ya da tahmin edilen,
- Yapım kaynaklı ya da sözleşme kaynaklı,
- Statik ya da dinamik,
- İçsel ya da dışsal,
- Kazanç getiren ya da kayba sebep olan,
- Finansal ve ekonomik,
- Politik ve çevresel,
- Sözleşmesel ve yasal,
- Yapım ve tasarımla ilgili olanlar gibi pek çok şekilde sınıflandırılmaktadırlar [27].

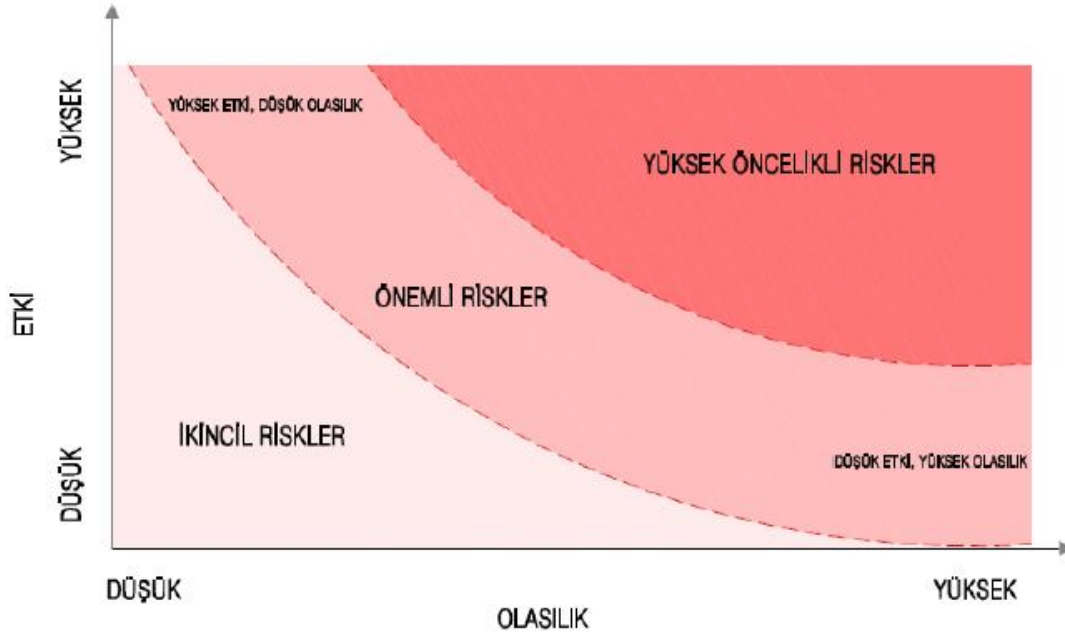
4.3.1.2 Risklerin değerlendirilmesi

İlhan (2010); riskin değerlendirilmesinde amaçlananın, tanımlanan risklerin etkilerini ve olasılıklarının tespit edilmesi olarak belirtmiştir. Bu amaçla, aşağıdaki aşamalardan oluşan bir değerlendirme metodu önermiştir [26]:

- Projenin özelliklerine bağlı olarak risk öncelik sırasına konulması,
- Riskin gündeme gelme sıklığının belirlenmesi,

- Riskin etkilerinin belirlenmesi,
- Riskin olasılığı ve etkisinin birlikte ele alınıp, olası sonuçların ortaya konması

Şekil 4.3'te bir risk olasılık-etki haritası gösterilmiştir [26].



Şekil 4.3 : Risk olasılık-etki haritası [26].

4.3.2 Risk analizi yöntemleri

Risk yönetim sistemlerinde, “Risk Tanımlaması” ve “Risk Sınıflandırması” aşamalarından sonra gelen bölüm “Risk Analizi” bölümüdür. Risk Analizi, hem niceliksel risk ölçümlerini hem de niteliksel risk değerlendirme tekniklerini kapsar [24]. Risk yönetimi ancak ve ancak yapılan çalışmalar sonucunda bir karar alınır ve eyleme dönüşür ise bir sonuç verir. Bu sebepten bir karar alınacağı zaman açık ve net olunmalıdır. Bu kararların alınmasında da özel metotlar vardır [27]. Bu yöntemler aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir.

4.3.2.1 Risk primi

Risk priminin bütün kullanım alanlarını kapsayan tek ve eksiksiz bir tanımı yoktur ve bu nedenle de teklif verme sürecindeki en anlaşılamayan, yorumlanamayan ve uygulanmayan fiyat bileşenidir. En basit şekilde, risk primi teklif verme sürecinde tanımlanması zor veya mümkün olmayan işleri hesaba katma amacıyla ana fiyata

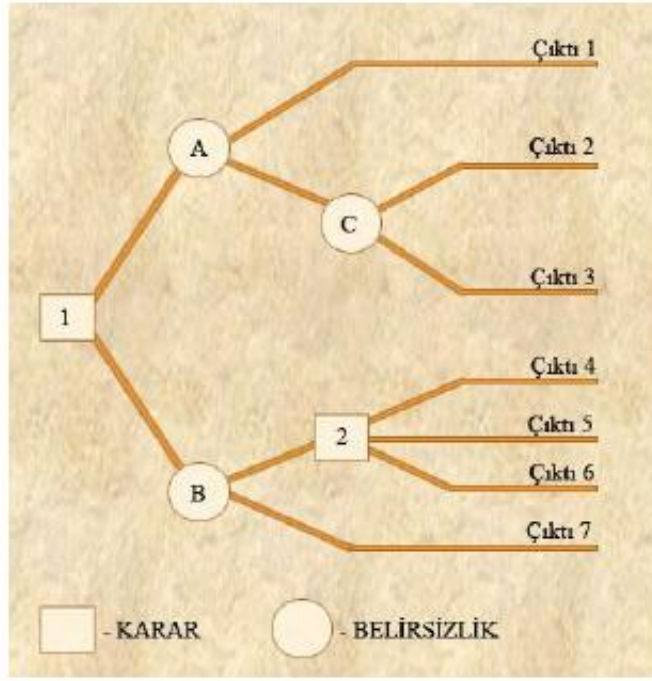
eklenen miktar olarak tanımlanabilir. Yükleniciler teklif verme sürecinde olası riskleri göz önünde tutarak risk primi miktarını belirlemelidir. Uygun risk primi miktarının belirlenmesi ise uluslararası pazarda başarılı olmanın can alıcı noktalarından biridir. Çok riskli projelerde risk primi için düşük pay ayrılması önemli kayıplara neden olabilir. Tam tersine, yüksek risk primleri de ihalenin kazanılma şansını düşürebilir [25].

4.3.2.2 Monte Carlo simülasyonu

İnşaat projelerinde 1970’li yıllardan bu yana kullanılagelen Monte Carlo Simülasyonu, değişkenlerin olasılık dağılımlarıyla modellenebileceği varsayımına dayalı bir stokastik benzetim tekniğidir. Sonuç ürünün bir veya birkaç olaydan değil de, çok sayıda farklı olaydan ve onların kombinasyonundan etkilendiği durumda monte carlo benzetim yönteminin kullanılması daha doğru olur. Bu yöntemin diğerlerinden farkı, olayların olasılık dağılımların değil, daha da derine inerek bu olayları oluşturan etkenlerin olasılık dağılımlarından işe başlamasıdır. Bu etkenlerin olasılık dağılımlarına uygun olarak yapılan değişken seçme işlemi birçok kez tekrarlanır ve her hesaplanan gösterge için bir olasılık dağılımının şekillendiği görülür. Bir olasılık analizi tekniği olan monte carlo simülasyonunda, risklerin etkileri göz önünde bulundurularak, parametrelerin alabileceği tüm değerler hesaplamalara dahil edilmektedir. Monte carlo simülasyonunda bir projedeki değişkenler, olasılık dağılımlarıyla modellendikten sonra, Rassal Sayı Türetimiyle, her deneme yanılmada, dağılımlardan birer değer seçilmek suretiyle proje sonucu (maliyet/süre/ekonomik gösterge) hesaplanmaktadır. Bu işlemin pek çok kez tekrar edilmesi sonucunda istenen parametrenin (maliyet/süre/ekonomik gösterge) olasılık dağılımı elde edilmektedir. Böylece, karar verme yetkisindeki kişi, tek bir değer yerine, olasılık dağılımını göz önünde bulundurarak risklerin etkisi hakkında bilinçlenmekte ve proje hakkında daha fazla bilgi sahibi olarak uygun kararı verebilmektedir [23].

4.3.2.3 Karar ağacı analizi

Adı şeklinden gelmekte olan bu teknikte, karar noktaları ve olasılık değerleri birbiri ardına ağaç gibi gelmektedir. Şekil 4.4’te basit bir karar ağacı örneği yer almaktadır. Dikdörtgen kutu karar noktası olmakla birlikte dairesel olanlar ise olasılık değerlerini ifade etmektedir [24].



Şekil 4.4 : Karar ağacı modeli [24].

Karar noktaları için takip edilecek yol karar vericiye bağlı olarak belirlenmektedir. Bununla birlikte, olasılık noktaları için aynı şey söylenemez, çünkü olasılık noktaları farklı şanslar barındıran dallara ayrılmaktadır. Karar ve olasılıkla şekillendirilmiş her bir dal sonunda farklı stratejiler ortaya koymakta ve farklı beklenen değerler oluşturmaktadır. Karar vericiler işte bu farklı beklenen değerler üzerinden karar vermektedirler. Parasal bir hedef için alternatifin daha büyük bir beklenen değerinin olması, onun karar verici tarafından seçilmesi için uygun bir durum oluşturmaktadır [24].

4.3.2.4 Yapay sinir ağları

Genel anlamda YSA (Yapay Sinir Ağları), beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra; bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını ihtiva eder [20].

4.3.2.5 Bulanık mantık

Araştıracının incelediği olay ya da mekanizma sadece kesin kurallı, çıkarımlarında kabul ve varsayımlar olan denklemler yerine, onların tamamlayıcısı olarak mevcut ilgili sözel ve oldukça belirsiz bilgiler de göz önünde tutularak modellenenir. Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanmalarının genel sebebi, gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olması nedeniyle bu olayların belirgin denklemlerle tanımlanarak kontrol altına alınmasında yaşanan güçlölüdür. Bulanık mantık, geleneksel olasılık teorisi ile karıştırılmamalıdır. Olasılık teorisi, bir kümedeki olayın olabilirliğini ölçerken, bulanık mantık ise olayın o kümeye aidiyet derecesini (üyelik derecesi) ölçmektedir. Klasik bir kümede herhangi bir eleman bir kümenin ya içinde ya da dışında iken, bulanık mantık yaklaşımında bir eleman kümenin kısmen içinde ve kısmen dışında olabilir [25].

4.3.2.6 Mülakatlar

Projede tanımlanan risklerin olasılığını ve etkisinin büyüklüğünü belirlemede mülakat teknikleri kullanılır. Uzmanlar ile yapılacak mülakatlar sonucunda beklenen en kötü ve en iyi proje maliyet ve bitişlerinin saptanması gibi konularda yargılara varılabilir [21].

4.3.2.7 Beyin fırtınası

Basit anlamda, bir grup insanın yaratıcı bir şekilde düşünerek fikir üretmesi tekniğidir. Beyin fırtınası, mevcut bazı kural ve teknikleri kullanarak yeni fikirlerin teşvik edilmesi ve oluşturulması yöntemidir. Beyin fırtınasının sağladığı yararları şu şekilde sıralamak mümkündür [23]:

- Üretkenliği teşvik eder,
- Kısa süre içerisinde birçok fikrin üretilmesini sağlar,
- Problemi genele yayar ve ekipteki tüm bireylerin problem ile aynı düzeyde ilgilenmesini sağlar,
- Paylaşımı geliştirir,
- Diğer problem çözme metotlarına girdi teşkil eder,
- Uygun çalışma ortamı yaratır,
- Çalışanların sorumluluk bilincini geliştirir,
- Çalışanların iletişimini iyileştirir.

Beyin fırtınasına tüm bireylerin etkin, üretken ve yaratıcı bir şekilde katılabilmesi için koyulmuş bazı kurallar mevcuttur. Bu kuralların uygulanması ve oturumun bu kurallar doğrultusunda gerçekleşmesini oturum yöneticisi sağlar. Burada amaç, eşitliğin sağlanması ve bireylerin motivasyonudur. Bu temel kurallar aşağıda sıralanmıştır [20]:

- Yönetici oturuma geçmeden önce, katılımcıların ortama ısınmasını sağlamak amacıyla güncel bir sohbet konusu açar. Üyelerin motivasyonunun sağlanmasıyla birlikte oturuma geçilebilir,
- Öncelikle üzerinde beyin fırtınası yapılacak konu ortaya koyulur,
- 4-15 katılımcıdan oluşan bir grup, beyin fırtınası oturumu için idealdir,
- Takım üyelerinin aktif katılımı sağlanır,
- Üretilen fikirler, paylaşım esnasında yorumlanmaz,
- Üyeler fikirlerini sırayla söylerler ve bu fikirler harfiyen not edilir,
- Üretilen fikirlerin tüm bireyler tarafından anlaşılması sağlanır; fikirler netleştirilir,
- Aynı mesajı veren fikirler birleştirilir ve tek bir “sonuç fikir” oluşturulur,
- Değerlendirme bütün üyelerin katılımıyla yapılabileceği gibi oluşturulacak bir değerlendirme ekibiyle de yapılabilir,
- Her üye ve her fikir eşit değere sahiptir,
- Belirli bir zaman sınırı olmalıdır,
- Üretilen fikirler gereksiz olarak nitelendirilmez. Fikirlerin oylama yoluyla eliminasyonuna gidilir,
- Çok sayıda fikir üretilmeye çalışılmalıdır. Bu aşamada öneri kalitesi değil, öneri miktarı önemlidir,
- Her birey, aklında kaç fikir olursa olsun sırası geldiğinde yalnız bir fikir önermelidir,
- Beyin fırtınası bir turda herkes pas deyince biter,
- Beyin fırtınası oturumunda mutlaka bir sonuç elde edilme şartı aranmaz. Bu durumda sonuca ulaşmak için yeni bir seans tertip edilmesi gerekir.

4.3.2.8 Duyarlılık analizi

Duyarlılık analizi, risk analizinin en basit şeklidir. Ekonomik değerlendirmede belirsizliğin hesaba katılması için geliştirilmiş bir tekniktir. Duyarlılık analizi ortaya

ıkması muhtemel olayların olasılıklarının belirlenemediği durumlarda karar verme problemlerinin çözümünde uygulanabilir. Diğer değerlendirme yöntemlerini tamamlayıcı bir teknik olarak geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Duyarlılık analizi esas olarak risk değerşkenlerinden birinin değerşiminin tüm proje üzerindeki etkisini saptar. Her risk bireysel olarak düşünölür. İşletme için kritik olabilecek risklerin değerlendirilmesinde kullanılır. Ancak duyarlılık analizi alternatiflerin sıralanması için herhangi bir kural oluşturmamaktadır. Bir alternatifin sıralanması için ekonomik performansının önemli değerşkenlerdeki olası değerşiklikler karşısında ne kadar duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşımda ilk önce değerlendirmenin sonucu üzerinde en fazla etkisi olabilecek kritik değerşkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra bu kritik değerşkenlerin her birinin sırası ile değerşim aralıkları bulunmakta ve değerlendirmenin sonucu üzerindeki etkileri analiz edilmektedir [23].

4.3.2.9 Beklenen parasal değer analizi

Beklenen parasal değer analizi, proje için öngörölün senaryoların gerçekleşmesi ya da gerçekleşmemesi olasılıklarına göre ortalama sonucun hesaplanmasında kullanılan istatistiksel bir metottur. Bu metot uygulanırken, genellikle risklerin beklenen mali değerleri negatif, fırsatların beklenen mali değerleri pozitif olarak adlandırılır. Her bir senaryonun oluşma olasılığı, bu olasılık için öngörölün değerin çarpılması ve bunların toplamı ile beklenen mali değer hesaplanabilir [21].

4.3.2.10 Delfi tekniği

Bu yöntem, uzmanların fikir birliğine ulaşmasını sağlayan bir yoldur. Bu tekniğe proje risk uzmanları birey olarak değer de, grup olarak katılırlar. Önemli riskler hakkında bilgi temin etmek için bir anket hazırlanır. Sonuçlar özetlenir ve daha ileri yorumlar alınmak üzere tekrar uzmanlara dağıtılır. Bu işlem birkaç kez tekrarlandıktan sonra bir uzlaşmaya varılır. Delfi yöntemi, bilgi toplamadaki yanlı ve taraflı tutumu azaltır ve çıkan sonuçlardan dolayı katılanların tesir altında kalmasını engeller [22].

4.3.2.11 SWOT analizi

SWOT analizi sırf inşaat sektöründe değer çok geniş yelpazede ve farklı sektörlerde kullanılan bir risk yönetim analiz metodudur. SWOT analizinde 4 olumlu olumsuz ana temel unsur farklı olarak incelenmektedir ve birbirlerine olan üstünlükleri

incelenmektedir. SWOT analizi sayesinde sırf iç riskler değil harici bütün riskler de ortaya konur ve eğer olumlu yönler olumsuzları aşıyor ise pozitif bir yönelme çıkartır. SWOT analizinde temel başarı, doğru soruyu sorup, bu soruya doğru cevabı verebilmekte yatmaktadır. SWOT analizi genel itibari ile bir matris içerisinde gösterilir. Her 4 temel unsurdan biri bir hücrede gösterilir ve 2'ye 2 bir dörtgen oluşturulur [27].

SWOT analizinin ilk bölümü projenin güçlü yanlarını belirtmektir. Bu bölüm SWOT adının içinde S, yani Strength'ten gelir. İkinci bölümde ise olumsuz koşullar listelenir. Bu bölüm temel olarak projenin zayıf olduğu konuları listeler. Adını da SWOT içerisinde W'dan, yani Weakness kelimesinden alır. Üçüncü bölüm projenin doğuracağı fırsatları listeler. O ile ifade edilir ve İngilizce anlamı Opportunity olan kelimeden gelir. Dördüncü ve son bölüm ise projenin ne tür risk ve tehditlerle karşılaşabileceğini ifade eder. Adı da yine tehdit anlamına gelen İngilizce kelime Threats'ten gelir [27].

4.3.2.12 Başa baş analizi

Bu yöntem duyarlılık analizinin bir uygulamasıdır. Bir projenin çekici olup olmadığını gösteren anahtar değişkenlerin ölçülmesinde kullanılabilir. Bir proje için sermaye girişi ve ilk sermaye çıkışıyla birlikte kritik getiri oranını, sermaye maliyetini, enflasyon oranını, iskonto oranını ve 3 yıllık kira yenilemesindeki yeni kirayı; yıllık enflasyon oranının %2 fazlasına göre ayarlamayı incelemek, başa baş analizine basit bir örnek olabilir. Getiri oranı, gelecek nakit alışlarıyla başlangıç sermaye maliyetini eşitleyen uygun oranı bularak hesaplanır. Net bugünkü değer kıstası yalnız gelecek iskonto edilmiş nakit akışlarının bugünkü değeri, eğer başlangıç sermaye maliyetine eşit veya sermaye maliyetinden büyükse projenin yüklenmeye değer olduğunu ifade eder. Bu analiz, baş başa oranını test etmek üzere; her keresinde bir tanesini ele almak kaydıyla diğer önemli değişkenlere de uygulanabilir. Örneğin, enflasyon oranı, iskonto oranı ve işletme giderleri değiştirilerek, getiri oranının baş başa noktasına etkisi kontrol edilebilir [20].

4.3.2.13 Korelasyon ve regresyon analizi

İki veya daha çok sayıda değişken arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı, eğer varsa bu ilişkinin derecesinin saptanması istatistikte sık araştırılan konulardan biridir.

İstatistik anlamda iki değişken arasındaki ilişki, değerlerinin karşılıklı değişimleri arasında bir bağıllık seklindedir. X değişkeninin değerleri değişirken buna bağlı olarak Y değişkeninin değerleri de aynı veya zıt yönde değişiyorsa, bu iki değişken arasında bir ilişki olduğu söylenebilir. Korelasyon analizi, serbest ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişki düzeyini veya derecesini ölçen analizdir. Regresyon, bilinen değerlerden yararlanılıp bilinmeyen durumların tahmin edilmesinde kullanılan bir tekniktir. [25]

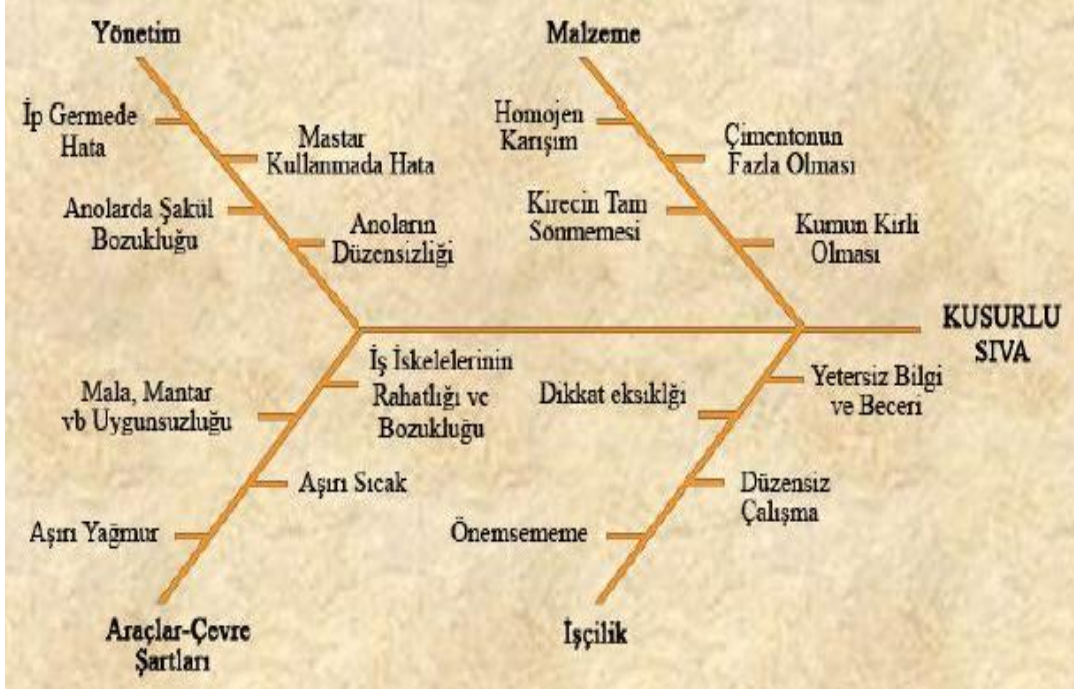
Diğer rakiplerin etkilerinin tek tek irdelenmesinin ve tanınmayan rakiplerin kar marjı yaklaşımlarının netleştirilmesinin güç olduğu durumlarda; daha önce girilmiş ihalelerdeki maliyet, teklif fiyatı ve ihaleyi alan bedellerden yararlanılarak uygun teklif bedeli belirlenmesi yapılabilir. Bunun için her ihale için hesaplanan firma maliyet değerleri ile aynı ihaleyi alan bedeller arasında doğrusal regresyon analizi yapılabilir. Belli miktarda maliyet – ihale alan bedel ikilisi için oluşturulacak lineer bir ilişki ve elde edilebilecek bir doğru denklemi yardımı ile, yeni bir ihale için hesaplanan maliyete karşılık gelecek ihaleyi alabilecek değer belirli hata oranları içinde tahmin edilebilir [20].

4.3.2.14 Balık kılçığı diyagramı

Balık kılçığı diyagramı, bir risk ve faktörleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Örneğin, kusurlu bir imalatın oluşmasında etken olan malzeme, işçilik, yönetim, araçlar ve çevre şartları gibi faktörleri içerir. Diyagramın oluşturulmasında izlenilecek yöntem şu şekildedir [24]:

- Risk karakteristiklerinin belirlenmesi
- Belirlenen karakteristiklerden bir tanesinin seçilmesi, kâğıdın sağ tarafına yazılması ve soldan sağa doğru sırt kılçığının çizilmesi
- Karakteristiğin bir dörtgen içine alınması ve risk karakteristiğini etkileyen ana nedenlerin büyük kılçıklar olarak dikdörtgen içine alınması
- Büyük kılçıkları (ana nedenleri) etkileyen nedenlerin (ikincil nedenler) orta kılçıklar olarak ve orta kılçıkları etkileyen nedenlerin (üçüncül nedenler) ise küçük kılçıklar olarak yazılması
- Her faktöre bir etki gücü verilmesi ve önemli faktörlerin işaretlenmesi
- Varsa diğer gerekli bilgilerin kaydedilmesi

Balık kılçığı diyagramı hazırlanırken nedenler, önce küçük kılçıklardan orta kılçıklara ve daha sonra orta kılçıklardan büyük kılçıklara doğru ilerleyecek şekilde sistematik bir şekilde düzenlenmelidir. Şekil 4.5'te, kusurlu bir sıva imalatı ile ilgili olarak düzenlenmiş bir balık kılçığı diyagramı görülmektedir [24].



Şekil 4.5 : Örnek balık kılçığı diyagramı [24].

4.3.2.15 Karar analizi

Karar analizi, karar alma süreci ile ilgilidir. Hem karar alma sürecine bir yaklaşım, hem de risk ve belirsizlik durumlarında karar almaya yol gösterebilecek bir teknikler bütünüdür. Bu kararlar belli bir alanı etkileyen uzun vadeli, stratejik veya kısa vadeli kararlar olabilir. Yeni bir gayrimenkul piyasasına girme veya yeni bir imar planı geliştirme şansının açığa çıkarılması için çıkan fırsatlar olabilirler. Beklenen bir zorlukla başa çıkmak için kullanılabilir veya kriz kararları olabilir. Karar analizi bir dizi aşamayı takip eder [23]:

- Problemin bilincine varılması ve yapılandırılması,
- Muhtemel sonuçların değerleri ve belirsizlikleri konusunda değer biçilmesi,
- Optimum seçimin belirlenmesi,
- Kararın uygulamaya konması.

4.3.2.16 CPM (critical path method)

Kritik yol metodu olarak da Türkçeleştirilen CPM metodu, gerek risk yönetim metodu gerekse de sadece proje yönetim metodu olarak çok sık kullanılan ve çok önemli bir yol oynayan bir planlama metodudur. CPM metodu bir projenin omurgası gibidir. Bir projenin başından sonuna en kritik noktaların, eylemlerin gözlemlendiği yaşayan bir organizma gibidir. CPM metodu kullanılarak oluşturulmuş bir karar ve uygulama ağacı içerisinde kritik bir hal almış eylemler zaman içerisinde farklı koşulların gelişmesi ile değişerek, proje ekibinin dikkatini her daim canlı tutacaktır. Değişen şartlar ve değişen kritik uygulamalar proje ekibinin olaylar daha olmadan yaşanabilecek sıkıntıları görmesini ve projenin ilerleyişini, en önemlisi sonucunu değiştirip etkileyebilecek olan olaylar ile ilgili önlemler alınmasını sağlamaktadır [27].

4.3.2.17 PERT (project evaluation and review technigue)

PERT, proje değerlendirme ve gözden geçirme (Project Evaluation and Review Technique) tekniği, CPM yönteminden bağımsız geliştirilmesine karşın hemen hemen aynıdır. PERT tekniği, faaliyet sürelerinin belirsiz olduğunu dolayısıyla proje tamamlanma süresinin de belirsizlik taşıdığını varsayar. Bu özelliği ile PERT'i CPM'den ayıran temel nokta faaliyet sürelerinin probabilistik olmasıdır, özellikle daha önceden hiç yapılmamış projelerde faaliyetlerin süreleri tam olarak bilinemez. Bu projeleri planlamak ve kontrol etmek için PERT tekniği kullanılır. PERT tekniği, süreleri tam bilinmeyen faaliyetleri ele alması ve olasılık hesaplarının kullanılması nedeniyle, kapsamı CPM yöntemine göre daha geniştir. Olaylardan hareket ederek proje analizini yapan bu tekniğin kullandığı üç zaman aşağıda tanımlanmıştır [20]:

İyimser zaman (a) : Faaliyetin yapılmasından hiçbir aksilik olmadığı durumda faaliyetin en erken tamamlanabileceği süredir. Faaliyetin bu sürede tamamlanma olasılığı çok düşüktür [20].

En muhtemel zaman (m) : Her şeyin beklendiği gibi gitmesi durumunda ortaya çıkan süredir. Faaliyetin bu sürede gerçekleşme olasılığı çok yüksektir [20].

Kötümser zaman (b) : Bütün koşulların elverişsiz olması durumunda bir faaliyetin en geç tamamlanabileceği süredir. Faaliyet bu süre sonunda %100 tamamlanır. Fakat bu sürenin gerçekleşme olasılığı çok düşüktür [20].

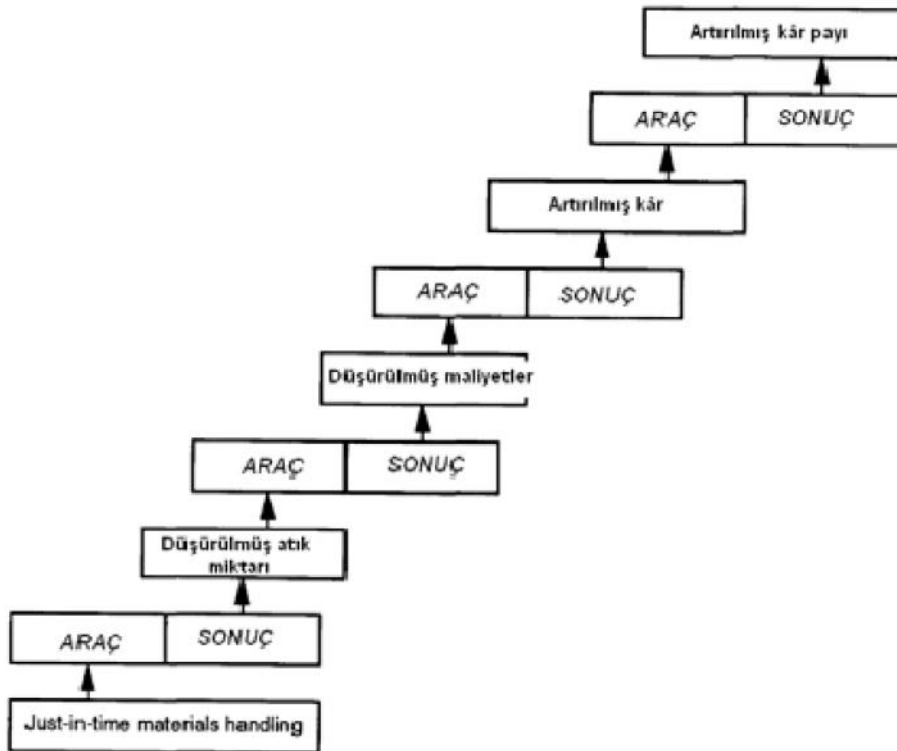
Buna göre, bu tekniğin kullanılabilmesi için gerekli olan beklenen aktivite süreleri, $(a+4m+b)/6$ formülü ile hesaplanmaktadır.

4.3.2.18 Senaryo analizi

Senaryo analizi, alternatif opsiyonlar test edilirken kullanılmaktadır. Opsiyonlar, değişik senaryolar olarak düzene sokulmakta ve değerlendirilmektedir. Fakat senaryolar en olası, en iyimser ve en kötümser tahminler üzerinden hazırlanmalıdır. Ayrıca, sadece anahtar değişkenler kendi değerleriyle tanımlanmaktadır. Senaryo analizi ayrıca optimizasyon amacı ile de kullanılabilir [24].

4.3.2.19 Araç - sonuç zinciri

Araç - sonuç zinciri, bir amaçlar zincirini açık hale getirmek ve bu sayede bir grup karar noktasını tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir. Bir karar alıcı için amaç olanın, daha yüksek seviyede yer alan bir karar alıcının daha yüksek bir amaca ulaşması için araç olarak kullanıldığı gerçeğine dayalıdır. Analiz, Şekil 4.6'da gösterildiği gibi bir araçlar sonuçlar zinciri şeması oluşturularak gerçekleştirilir [23].



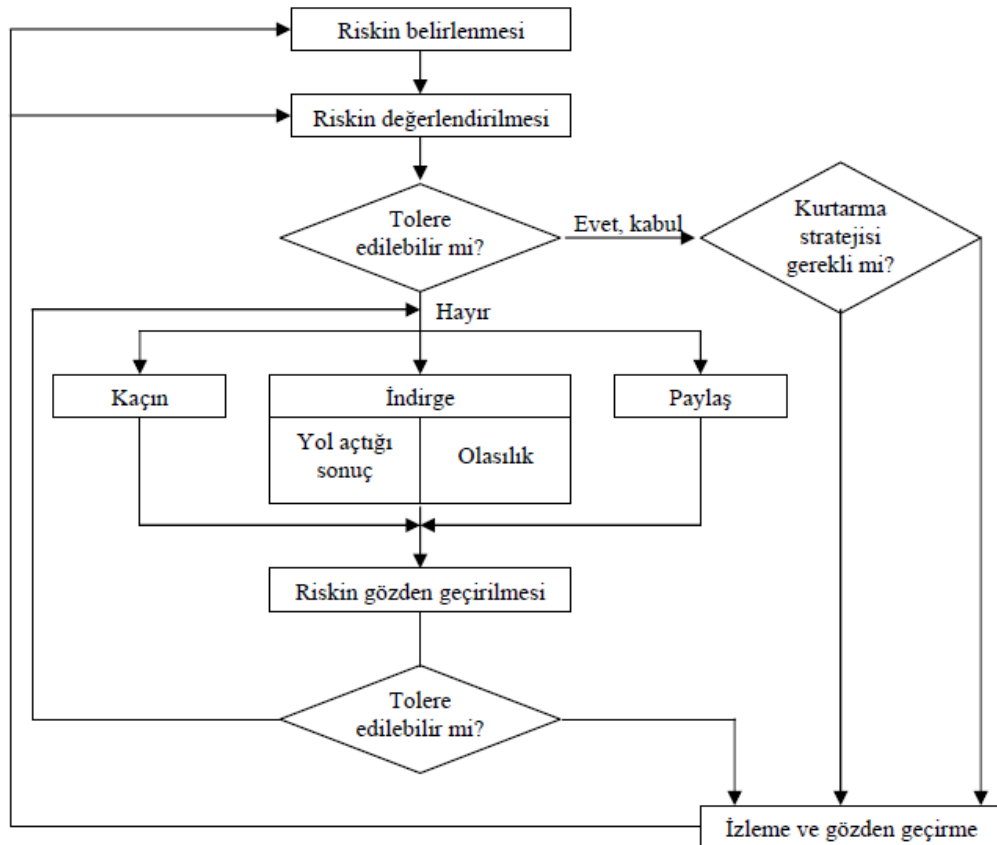
Şekil 4.6 : Araç-sonuç zinciri şeması [23].

Araç sonuç zincirinin hiyerarşik yapısı, zincirin basamak basamak, aracın daha yüksek bir amacı elde etmek üzere daha alt seviyede çalıştığını gösterecek şekilde

sunulması ile ortaya konmuştur. Araç sonuç zinciri, sadece sıralamayı belirtir. Bunun yanında riskin; en olabilir, en iyi ve en kötü sonuçları da hesaba katılarak ele alınması gereklidir. Araç sonuç zinciri her zaman kullanılan tekniklerin daha kurallı bir biçimde sunumudur, ancak amaçların ve bunların hiyerarşik konumlarının düzenli bir şekilde tasnif edilmesini ve kaydını teşvik eder. Bunun yanında araç ile sonuç arasında yer alan boşluğunda doldurulmasını sağlar [23].

4.3.3 Riske karşı stratejiler

Projede tanımlanan riskler için uygulanan nitel veya nicel analizler sonrasında, bazı riskler hiçbir önlem alınmadan kabul edilebilirken, bazı risklerin iyileştirilmesi ve risk tepki planının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada verilecek olan karar belki de risk yönetiminin en zor aşamalarından biridir [21]. Stratejiler risk kaynağının yapısına ve sonuçlarına bağlıdır. İyileştirme stratejisinin amacı, finansal etkiyi en aza indirmek ve risk kaynağının kontrol altına alınabilmesidir [27]. Risk iyileştirme süreci Şekil 4.7’de gösterilmektedir [21].



Şekil 4.7 : Risk iyileştirme süreci [21].

Buna göre, riske karşı izlenebilecek stratejiler aşağıdaki gibidir.

4.3.3.1 Riskten kaçınma

Kaçınma genelde uygulanan stratejilerden biridir ve risk kaynağının sebep olabileceği potansiyel kayıplardan kurtulma yoludur. Örneğin, istikrarlı olmayan bir ülkedeki proje ihalesine katılmayarak yüklenici, politik ve ekonomik risk kaynaklarından kaçınmış olur. Riskli durumun meydana gelme olasılığı çok fazla ve etkisi çok ağır ise kaçınma en iyi çözüm olabilir. Öte yandan, riskten kaçınan yüklenici birtakım fırsatları da kaçırmış olmaktadır. Mal sahibinin riskten kaçınıp tüm risk kaynaklarını yükleniciye devretmesi ise yüklenicinin kendini güvenceye almak için proje teklif bedelini artırmasına sebep olmaktadır. Risk kaynaklarına karşı hiçbir önlem almayan mal sahibi karşısında yüklenici, riskli durumların ortaya çıkması halinde oluşacak potansiyel kayıplardan bu şekilde korunmaya çalışmaktadır [23].

4.3.3.2 Riski azaltma

Riskin azaltılması dört ana kategori içinde incelenebilir. İlk olarak eğitim ve çalışanları potansiyel risklere karşı uyarmak konusu üzerine alınan özel eğitimler gelir. İkinci olarak kaybın olabilirliğini azaltmak için alınan fiziksel koruma önlemleri gelir. Örneğin, bir yüklenici bağımsız bir kalite güvence şirketini tutarak tüm projelerinde ikinci kontrolü gerçekleştirmesini isteyebilir. Bu pahalı bir seçenek olsa da hataların gözden kaçma ihtimalini düşürür. Üçüncü olarak tutarlılığın sağlanması ve insanların “ya gerçekleşirse ne olur?” sorularını sormaları için belli sistemler gerekir. Son olarak ise insanları ve mülkü korumak için fiziksel koruma önlemleri gerekir. Bir binada tipik bir risk azaltılması vakası, yangın söndürme tesisatının kurulumu ile gözlemlenir. Yönetmelikler yangın söndürme tesisatını zorunlu kılmaya da müşteri muhtemel bir yangından kaynaklanacak hasar ile yaşayabileceği kaybı düşürme ihtiyacı hissederek yangın söndürme tesisatı için para ayırabilir [20].

4.3.3.3 Riski üstlenme

Risk tutma önemli iyileştirme stratejilerden bir diğeridir. Bu iyileştirme stratejisinde de riskin etkisi kabullenmiş olunmaktadır. Risk tutma, genelde mal sahibi tarafından uygulanan ve uygulanması gereken bir stratejidir. Örneğin projenin diğer taraflarına üstlenemeyecekleri risk kaynaklarını devretmek her durumda mal sahibinin aleyhine

olmaktadır. Bu sebeple mal sahibi belli risk kaynaklarının sorumluluğunu kendisi üstlenir [27].

4.3.3.4 Riski devretme

Riskin sigorta, sözleşme, teminat vb. gibi unsurlar kullanılarak başkalarına devredilmesi durumudur. Risk transferinde önemli olan, riski üstlenen tarafın riskin sorumluluğu taşıyabilecek kapasitede olmasıdır. Zira transfer edilen riski üstlenen taraf bu sorumluluğu yerine getiremez ise bütün projenin bu durumdan etkilenmesi gündeme gelebilecektir. İnşaat sektöründe risk transferi genellikle aşağıdaki taraflar arasında gerçekleştirilmektedir [26]:

- İşverenden yükleniciye,
- Yükleniciden altyükleniciye,
- İşveren ve/veya yüklenici ve/veya altyükleniciden sigorta kuruluşlarına,
- İşveren ve/veya yükleniciden garantörlere

5. GENETİK ALGORİTMA

Genetik Algoritma, deterministik yöntemlerle çözümü zor veya imkânsız olan problemlerin, evrimsel aşamalardan geçirilerek çözülmesini sağlayan bilgisayar programıdır. Karmaşık, kısıt sayısı fazla, amaç fonksiyonu kurulamayan ve kesin çözüm yöntemi olmayan optimizasyon problemleri GA'nın ilgi alanına girmektedir. GA'lar, çözümü zor optimizasyon problemlerinde, kesin çözüm olmasa bile yaklaşık bir çözümü kısa sürede bulma özelliğine sahiptir [28].

GA en iyi çözümü, doğal seleksiyon ve doğal genetik aşamalara benzetim yapılmış stokastik bir arama yöntemi ile bulmaktadır. Algoritma, kromozom adı verilen ve rastgele çözüm kümelerinden oluşan bir toplum ile başlar. Başlangıç toplumu daha sonraki üremelerde elde edilen başarılı kromozomlar ile sürekli değişime uğramaktadır. GA'larda değişim, problemin çözüm alternatiflerini artırmak açısından önemlidir. Böylece çözüm uzayı genişletilerek, amaçlanan en iyi çözümü bulma olasılığı artırılmaktadır [28].

GA'lar rastgele örneklenen çözüm uzayı ile çalışmaya başlamaktadır. Doğal evrimsel süreç de olduğu gibi; başlangıçta rastgele seçilebilen veriler üzerinde üreme, çaprazlama ve mutasyon şeklinde üç temel işlem yapılmaktadır. Temel işlemler, belirsiz (deterministik olmayan) işlemlerdir, sezgisel ya da rastgele olma özelliği taşımaktadırlar. Dolayısıyla GA'lar sezgisel ve stokastik yöntemler olarak kabul edilmektedir [28].

5.1 Genetik Algoritmanın Tarihsel Gelişimi

Genetik algoritmanın tarihi gelişimini genetiğin oluşum süreci ile birlikte ele almak gereklidir. Gen terimi 1900'lü yıllara kadar kullanılmamasına rağmen, gen üzerine ilk çalışmalar 1800'lü yıllarda Gregor Mendel'in daha iyi ürünler elde etmek ve gelişim süreçlerini incelemek için farklı bezelye türlerini melezlemesiyle başlamıştır. Aynı dönemlerde İngiliz Charles Darwin tarafından, toplanan bitki ve hayvan fosilleri yardımıyla; kalıtların, bugünkü türlerin varlığını temsil ettiği kanısına

varılmıştır. Darwin'in yaptığı çalışmalar sonucunda, hayatta kalabilen türlerin öncekilerle benzerlik teşkil ettiği belirlenmiş, bununla birlikte hayatta kalabilen türlerin güçlü özelliklere sahip olduklarından hayatta kalabildikleri savı ortaya konulmuştur. Darwin'in temel prensip olarak belirlemiş olduğu bu teorem evrimsel gelişimin de esasını oluşturmuştur [29].

Darwin'in ortaya koyduğu evrimsel gelişimin temel prensibinin günlük yaşamda birçok alanda gözlemlenmesinin bir sonucu olarak da ortaya çıktığı söylenebilen genetik algoritmanın, ilk çalışmaları Holland (1975) tarafından yapılmıştır. Machine Learning üzerinde çalışan Holland, tek bir çözümün iyileştirilmesi yerine bir çözüm kümesinin içinden evrim teorisinin operatörlerini kullanarak, evrim teorisinin mantığını oluşturan güçlü olan çözümün sonraki nesillere iyileştirilerek aktarıldığı bir yöntem geliştirmiştir. Geliştirdiği yöntemin adını 1975 yılında yayımladığı kitapla birlikte Genetik Algoritma olarak belirlemiştir [29].

Holland tarafından ortaya konulan genetik algoritmanın, bir inşaat mühendisi olan David E. Goldberg'in doktora tezinin sonuçlandırılmasına kadar, araştırmacılar tarafından uygulanabilirliğinin pek mümkün olmadığı ve yarar sağlayabilecek bir yaklaşım biçimi olmadığı düşünülmekteydi [29].

Genetik algoritmayı çok sayıda kollara ayrılmış gaz borularında, gaz akışını düzenleyen ve kontrol eden bir uygulama alanında kullanan Goldberg, bu çalışmasıyla birlikte Holland tarafından Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek ortaya koyulan genetik algoritmanın uygulanabilirliğini de göstermiştir [29].

Temel ilkelerin oluşturulmasıyla birlikte gelişim sürecine başlayan karmaşık problemlere evrimsel çözüm oluşturmayı hedefleyen genetik algoritma konusu günümüze kadar bir çok alanda uygulama alanı bulmuş ve genetik algoritma üzerine düzenlenen çeşitli konferanslar aracılığıyla da çok çeşitli problemlerin çözümlenmesinde kullanıldığı gözlenmiştir [29].

5.2 Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları

Karmaşık problemleri hızlı ve optimale yakın olarak çözebilen genetik algoritmalar, çeşitli problem tiplerine uygulanabilmektedir. Büyük çözüm uzaylarının geleneksel yöntemlerle taranması hesaplama zamanını arttırmaktadır. Ancak bu tip problemlere, genetik algoritmalar ile kısa sürede, kabul edilebilir çözümler bulunabilmektedir.

Genetik algoritmalar özellikle çözüm uzayının geniş, süreksiz ve karmaşık olduğu problem tiplerinde başarılı sonuçlar vermektedir. Genetik algoritmaların uygulama alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir [30]:

- Optimizasyon problemleri
- Otomatik programlama ve bilgi sistemleri
- Mekanik öğrenme uygulamaları
- Ekonomik ve Sosyal Sistem Modelleri
- Finansal modellemeler
- Pazarlama stratejileri
- Üretim problemleri

5.3 Genetik Algoritma Kullanılmasının Sebepleri

Yapıları gereği, genetik algoritmaların etkili oldukları koşullar mevcuttur.

Genetik algoritmalar başlangıç çözüm kümesinden başlayarak, sonraki yinelemelerinde rastgele değişimle yeni çözüm kümeleri oluşturmakta ve en iyi çözüm, bu kümeler içerisinde rastgele aranmaktadır. [28].

Bu özelliği nedeniyle genetik algoritmalar, uygunluk fonksiyonunu eniyileyen çözümleri hızlı bir şekilde aramakta ve diğer optimizasyon algoritmalarının yetersiz kaldığı, karmaşık problemlerin çözümünde etkili olduğu bilinmektedir. Özellikle kaynak kısıtlı proje çizelgeleme gibi problemlerde faaliyet sayıları açısından herhangi bir kısıt yaşanmamakta; bu nedenle de, çözümü zor olan bu tarz problemlerde algoritmayı kullanma ihtiyacı doğmaktadır [28].

Genetik algoritmaların kullanımı, aşağıda belirtilen koşullardan biriyle karşı karşıya kalındığında faydalı ve etkili olacaktır [28]:

- Araştırma alanı geniş, karmaşık ve anlaşılması zayıfsa
- Konu hakkında bilgi az ya da mevcut bilgiler araştırma alanını daraltmada yetersiz kalıyorsa
- Deterministik yöntemler ile çözüm zor ve uzun hesaplamalar sonunda elde ediliyorsa.
- Geleneksel yöntemlerden yararlanarak hazırlanan paket programlar yetersiz kalıyorsa.
- Problemin modelini kurmak için gereken bilgilere ulaşamıyorsa

GA'yı kullanma ihtiyacı, yukarıda belirtilen koşullar dışında da görülmektedir. Aşağıda sıralanan GA'yı kullanım nedenleri, yetersiz koşullardan kaynaklanmayıp GA'nın özelliklerinden kaynaklanan nedenlerdir [28]:

- GA, doğadaki evrimsel süreci temel alan bir arama yöntemidir. Bir veri grubundan özel bir veriyi aramak ve bulmak için kullanılmaktadır.
- GA'lar özellikle araştırmacı kesin konu uzmanı olmadığı zamanlarda çok yardımcı olmaktadır. Çünkü GA'lar kendi alanlarını araştırma ve o alandan bilgi edinmede yeteneklidirler.
- GA'lar, değerlendirme için yeni ve daha iyi sonuçlar üretmenin yanı sıra var olan potansiyel sonuçları değerlendirmek için de tasarlandıklarından dolayı başka alternatifler için büyük yardım sağlamaktadırlar.
- GA'lar klasik yöntemlerin çok uzun zamanda yapacakları işleri kısa bir sürede çok net olmasa da yeterli doğrulukta yapabilmektedirler.
- Çözümü zor problemleri çözmede etkili olmaktadır.
- Optimizasyon problemlerinde oldukça etkili olmaktadır.
- Problem çözümündeki kullanışlılığı, algoritmayı diğer araştırma (sıralı ya da rastgele) yöntemlerinden daha fazla öne çıkarmaktadır.

5.4 Genetik Algoritmanın Uygulanması

5.4.1 Kavramlar

5.4.1.1 Kromozom ve gen

GA terminolojisinde, problemin değişkenlerinin her birine gen adı verilmektedir. Genlerin bir dizi halinde arka arkaya sıralanması ile meydana gelen genler dizisine kromozom adı verilir. Her bir kromozom bir birey olarak adlandırılır. GA'ların ilk aşaması, değişkenler dizisini temsil eden kromozomun oluşturulmasıdır. Eğer bir sorunun n adet gen değişkeni varsa, kromozom n adet gen elemanı olan bir diziden oluşur [31].

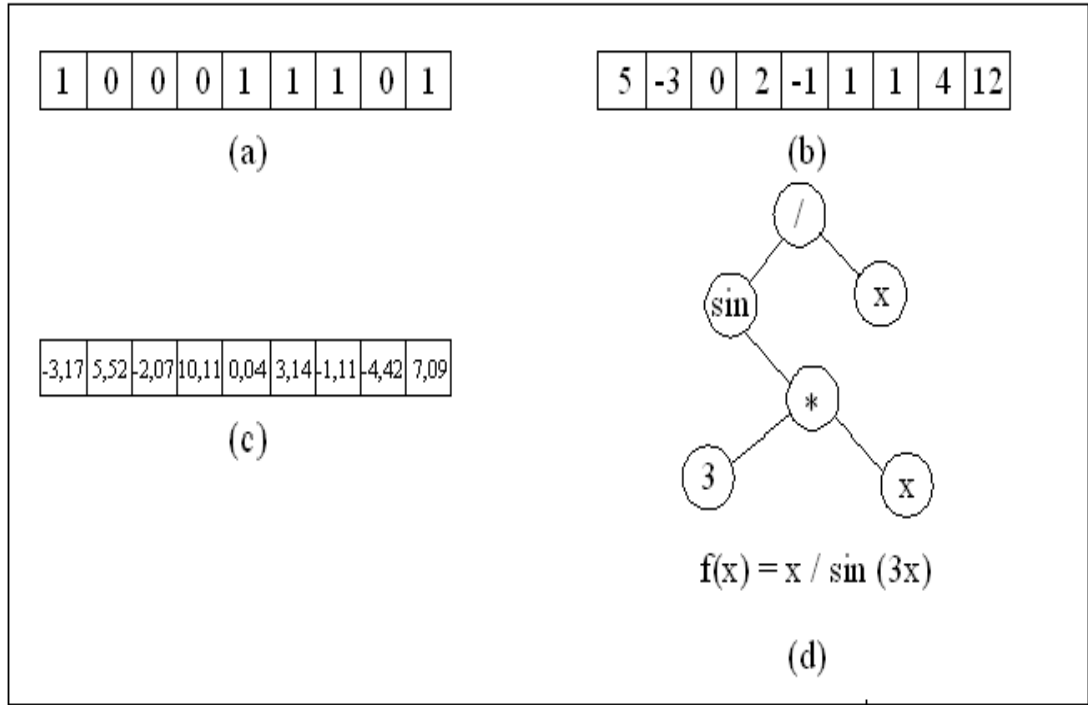
5.4.1.2 Toplum büyüklüğü

Toplum büyüklüğünün ne olacağını belirlemek, tüm GA kullanıcıları açısından oldukça önemli bir aşamadır. Toplum büyüklüğü, başka bir deyişle kromozom ya da birey sayısı, GA'nın başarısını ya da optimum sonuca erişim süresini etkileyen önemli unsurlardan biridir. Toplum büyüklüğünün gereğinden küçük alınması, GA

arama tekniğinin dar bir çözüm uzayında uygulanması anlamını taşımaktadır. Dar çözüm uzayı ise, problemin optimum çözümünün çözüm uzayı dışında kalma ihtimalini artıracaktır. Gereğinden büyük alınması ise, GA'nın anlamlı sonuçlara geç ulaşmasına ve yavaş çalışmasına neden olacaktır. Büyük toplumda çözüm uzayı daha iyi örneklenebileceğinden arama daha etkin yapılırken, arama süresi artacaktır [28].

5.4.1.3 Kodlama

GA'da karmaşık yapıların gösteriminde ilk ve en çok kullanılan gösterim şekli (0,1) alfabesini kullanan iki tabanlı sayı dizisidir. Doğrudan iki tabanlı kodlama en yaygın kullanılan kodlama tekniğidir. İkili kodlamanın yeterli olmadığı, ya da çok uzun iki tabanlı sayı dizileri olduğu durumlarda tam sayılı kodlama kullanılmaktadır. Tam sayılı kodlamada her bir genin değeri pozitif ve negatif tam sayılardan oluşmaktadır. Tam sayılı kodlama, birleşim problemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Daha ileri bir kodlama şekli olan ondalıklı kodlamada ise, genler ondalıklı sayılardan oluşmaktadır. GA'da zaman zaman kullanılan bir diğer gösterim şekli de dallar halinde gösterimdir. Bu gösterim şeklinde, bireyler kromozomlar yerine dallar halinde kodlanır. Diğer gösterim şekillerinden temel farkı, dallarda hem elemanların, hem de elemanlara uygulanacak işlemcilerin gösterilmesidir [32]. Bahsedilen kodlama şekilleri Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 : Farklı kodlama şekilleri [32].

5.4.1.4 Uygunluk değeri ve uygunluk fonksiyonu

Mevcut toplumda bulunan iyi özelliklere sahip kromozomların bir sonraki aşama için kullanılacak yeni topluma aktarılması, belirlenen kıstaslar dâhilinde değerlendirilerek yapılmaktadır [28].

GA'da uygunluk değerlendirmesi, bir uygunluk fonksiyonu sonucu elde edilen uygunluk değeri ile yapılmaktadır. Toplumu oluşturan bireylere ait uygunluk değerlerinin belirlenmesi için genellikle bir fonksiyona ihtiyaç duyulmaktadır. Uygunluk fonksiyonları, türev ya da başka analitik işlemler gerektirmezler ve istenilen şekilde oluşturulabilirler [28].

Bazı araştırmacılar, her bir kromozoma doğrudan bir uygunluk değeri atarken, bazıları da uygunluk değerini bir fonksiyon kullanarak hesaplamaktadırlar. Algoritmanın hazırlık aşamasında belirlenen uygunluk fonksiyonu ile toplumdaki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır. Böylece n elemanlı toplumda n adet uygunluk değeri hesaplanmaktadır [28].

Bireylerin uygunluk değerlerine göre üreme, çaprazlama ya da mutasyon işlemleri uygulanmaktadır. Çünkü kromozomların kalitesi, uygunluk değerlerine göre ölçülmektedir. Uygunluk değeri en iyi olan kromozom, problemin optimum çözümünü veren kromozomdur. Uygunluk değeri yüksek bireylerin seçilerek, yeni oluşturulacak topluma aktarılması, GA'nın gücünü oluşturan başlıca faktörlerden biridir [28].

5.4.2 Genetik işlemler ve parametreler

Genetik algoritma prosesinde; başlangıç toplumunun oluşturulması, ebeveynlerin seçilmesi, üreme, çaprazlama, mutasyon ve sonlandırma işlemleri vardır.

5.4.2.1 Başlangıç toplumunun oluşturulması

GA ile optimizasyon işleminde ilk olarak verilen toplum büyüklüğü kadar başlangıç çözümü oluşturulmaktadır. Örnek olarak, optimizasyon işlemindeki karar değişkenlerinin sayısının n , toplum büyüklüğünün m ve her bir karar değişkeni için gerekli bit sayısının k olması durumunda $n \times k$ adet bitten oluşan m adet kromozom uniform dağılıma uygun olarak rastgele üretilmektedir. Optimizasyon işleminde, her bir karar değişkeninin kromozomlarla ifade edilişi ve oluşturulan başlangıç toplumu Şekil 5.2'de verilmektedir [33].

	x_1				x_2					x_{n-1}				x_n			
1	0	1	1	0	0	1	1	1		1	1	0	1	1	0	1	1
2	0	1	0	0	1	0	1	1		0	1	0	1	1	1	0	0
3	1	0	0	1	1	1	0	0		0	1	1	0	0	1	1	0
$\vdots$	$\vdots$				$\vdots$					$\vdots$				$\vdots$			
$m-2$	1	1	1	0	0	1	0	1		0	0	1	0	1	1	0	0
$m-1$	0	1	1	0	0	0	1	1		1	0	0	1	1	0	0	1
m	1	1	0	1	1	0	0	1		0	0	0	1	1	0	0	0

Şekil 5.2 : Başlangıç toplumu [33].

5.4.2.2 Ebeveynlerin seçilmesi

Genetik algoritmalarda her popülasyon üyesindeki değişkenlere rastgele başlangıç değerleri verildikten sonra fonksiyon değerleri, yani uygunluk değerleri hesaplanır. Bu uygunluk değerlerine göre popülasyon üyeleri yeni ve daha uygun bir popülasyon oluşturmak için genetik algoritma işlemlerine girmeden önce birbirleriyle bir çift oluşturacak şekilde eşlenirler. Elitizm ise belirli sayıdaki en uygun kromozomun yani popülasyon üyesinin bir sonraki popülasyona hiç değişmeden aktarılmasıdır. Bundaki amaç; genetik algoritmaların rastgele araştırma tekniği olmasından dolayı, oluşabilecek yeni popülasyonun eskisine göre daha elverişsiz değerler içerebilecek olmasıdır. Bundan dolayı, bir önceki popülasyonun en uygun değerleri popülasyonun verimliliğini korumak için değişmeden aktarılırlar. Bu yöntem ilk defa De Jong (1975) tarafından bulunmuştur. Elitizm ve seçme her iterasyon için yapılır [34].

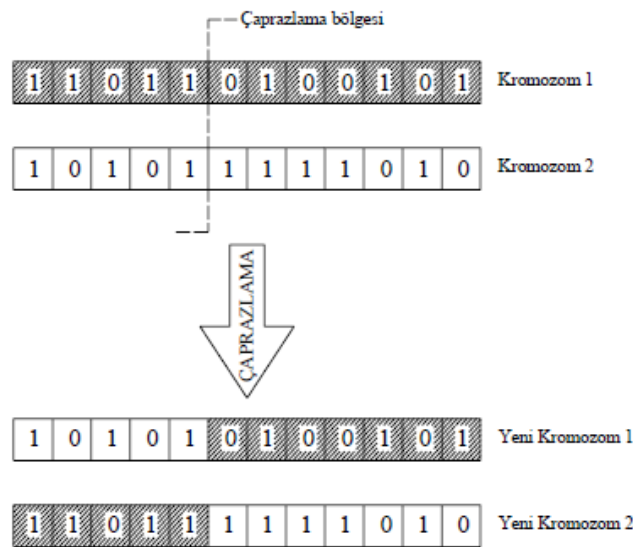
Seçim yöntemleri içinde en basit ve en kolay uygulanabilir nitelikteki yöntem, rulet-çemberi yöntemidir. Rulet-çemberi yöntemi durağan bir yöntemdir ve şu tekniği içermektedir: Tüm fertler bir çizgi üzerinde birbirine bitişik bölümler şeklinde dizilirler. Bununla birlikte her bir ferde ilişkin bölümün uzunluğu, onun uygunluk değeri kadar olur. Rastgele sayı üretilir ve rastgele sayı hangi bölüm içine denk gelirse, o bölümün ait olduğu fert seçilir. İşlem, eşleşecek popülasyonun gerekli adedine ulaşıncaya dek sürdürülür. Bu teknik, üzerinde bölümleri olan rulet-çemberine benzediği için bu şekilde adlandırılmıştır. Bu teknikte, ebeveynler uygunluk değerlerine göre seçilirler. Kromozomlar ne kadar iyiye, seçilme şansları o kadar yüksektir. Bir kromozom birden fazla seçilebilir [35].

5.4.2.3 Üreme

Üreme, uygunluk kıstaslarına uyan bir kromozomun özelliklerinin, yeni jenerasyona aktarılmasını sağlayan işlemdir. Uygun olarak seçilen kromozom çifti, yeni toplumun bir ya da daha fazla kromozomunun oluşumuna katkıda bulunabilmektedir. Ebeveyn olarak adlandırılan bu kromozom çiftinin özellikleri, üreme sonucunda yeni topluma aktarılmaya çalışılmaktadır. Üreme işlemi sonrasında yeni kromozomlar üzerinde tekrarlı bir şekilde işlem yapılmaması ve yeni toplumda yeni bireylerin ebeveynlerinin birer kopyası olmasını engellemek amacıyla çaprazlama ve gerekirse mutasyon işlemleri uygulanır [28].

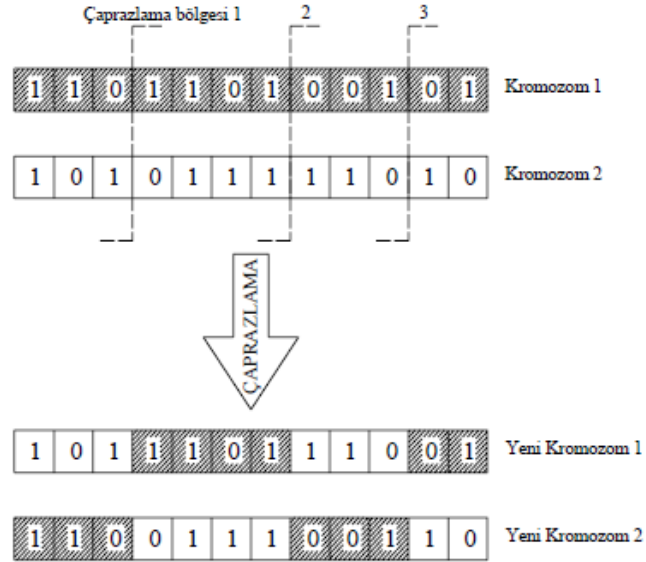
5.4.2.4 Çaprazlama

Mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama, genellikle verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen aile çeşitlerine uygulanmaktadır. GA'nın performansını etkileyen önemli parametrelerden biri olan çaprazlama operatörü doğal popülasyonlardaki çaprazlamaya karşılık gelmektedir. Çaprazlama operatörü ile topluluktan rast gele seçilen iki bireyin belirli bölümleri karşılıklı değiştirilerek, arama uzayında yeni noktalar verecek yeni iki farklı birey elde edilmektedir. GA ile problemlerin çözümünde, tek noktalı ve çok noktalı çaprazlama yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. İkili kod dizisi üzerinde, tek ve çok noktalı basit çaprazlama operasyonu gen alışverişi Şekil 5.3'te ve Şekil 5.4'te verilmiştir [36].



Şekil 5.3 : Tek noktalı çaprazlama [36].

Tek noktalı çaprazlamada, rastgele bir çaprazlama noktası seçilmekte ve eşleşen iki bireyin bu kesme noktasından sonraki bölümleri yer değiştirilerek yeni iki birey elde edilmektedir. İki noktalı çaprazlamada ise, tek noktalı çaprazlamadan farklı olarak rastgele iki farklı kesme noktası seçilmekte ve eşleşen bu bireylerin kesme noktaları arasındaki bölgelerinin yer değiştirmesi ile yeni bireyler elde edilmektedir.

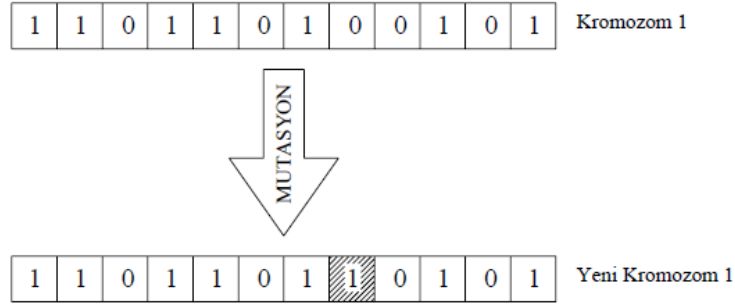


Şekil 5.4 : Çok noktalı çaprazlama [36].

5.4.2.5 Mutasyon

Seçim ve çaprazlama işlemleri sonucu ortaya çıkan bireyler, aslında en iyi ya da en iyiye yakın çözüme yakın bireylerdir. Çaprazlama işleminde bireylerdeki ifadelerin belli kısmının rastgele yer değiştirilmesi sırasında, kimi özellikler kaybolabilmektedir. Bunun sebebi bireylerin içerdiği kromozomların hangilerinin daha yararlı olduğunun bilinmemesidir. Kromozomları rastgele bölmek, bazı durumlarda yararlı olan kromozomların da yer değiştirmesi anlamına gelebilmektedir. Böyle bir durumda bireyler körelmektedir. Gerçek çözüme yakın çözümler elde edilebilmektedir; ancak en iyi çözüm bulunamamaktadır. Tüm bu sebeplerden ötürü, GA içerisinde üçüncü işlemci olan Mutasyon İşlemi yapılmaktadır. Mutasyon işlemi ile topluluk (yığın) içinde seçim işleminde kaybolan bireyler yerine yeni bireyler oluşturulur. Mutasyon işleminde bireylerdeki kromozomlar belli bir olasılık ile yeniden atanarak topluluk (yığın) içerisinde çeşitlilik sağlanmış olur. Böylece bireyler içerisinde daha faydalı yeni özellikler bulunabilmesi ihtimali artmış olur. GA, mutasyon işlemi ile birlikte çok daha hızlı

çalışarak en iyi çözümü elde edebilmektedir [37]. Şekil 5.5'te bir ikili kod dizisi üzerinde mutasyon operasyonu gösterilmektedir [36].



Şekil 5.5 : Mutasyon operasyonu [36].

5.4.2.6 Sonlandırma

Yerel en iyi noktalarına ulaşınca sonlanan basit komşuluk arama yöntemlerinin aksine, GA'nın arama yöntemleri teorik olarak sonsuza dek arama yapabilir. Uygulamada bir sonlandırma ölçütü kullanmak gereklidir. Sonlandırmada kullanılan yöntemler, incelenecek nüfus sayısını sınırlama, bilgisayar saatini sınırlama ve nüfus çeşitliliğini inceleyip, belirli bir eşiğin altına düştüğünde sonlandırma şeklindedir [32].

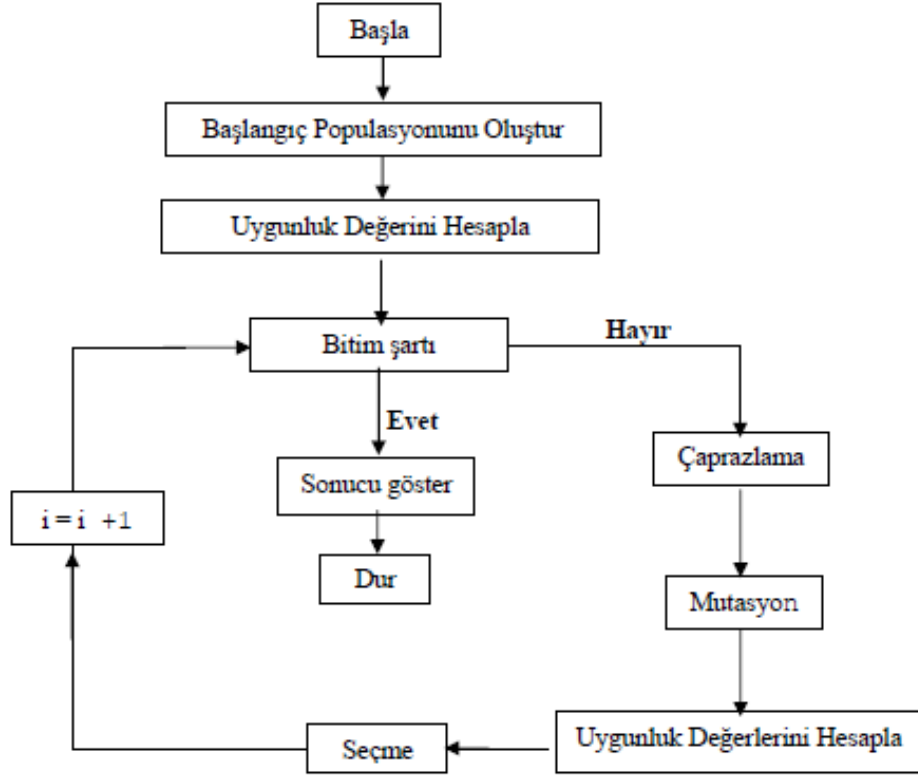
5.4.3 GA aşamaları

Genetik algoritmanın uygulama aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir [38].

- Başlangıç: Problemin karar değişkenlerinin şifrelendiği n adet kromozom içeren bireylerle başlangıç topluluğunun oluşturulması.
- Uyumluluk: Her kromozom için işlevin uygunluk (amaç) değerlerinin bulunması.
- Seçim: Bireylerin uygunluk değerlerine göre turnuva, rulet tekerleği gibi seçme operatörlerinden problemin yapısına uygun olanının seçilmesi işlemi.
- Çaprazlama: Uygunluk değeri iyi olan bireyler eşleştirilerek bu bireylerden yeni bireyler oluşturulması.
- Mutasyon (rakam değişimi): Mutasyon olma olasılığına göre seçilen herhangi bir bireyin kromozomlarındaki bir bitin değiştirilmesi işlemi.
- Elitizm: Mevcut topluluktaki uygunluk değeri en iyi olan bireyin olduğu gibi yeni topluluk havuzuna aktarılması.

- Yeni topluluk havuzu: Yeni oluşan bireylerin bir havuza alınması, eski bireylerin (ebeveynlerin) öldürülerek havuzdan atılması.
- Sonuç: Topluluktaki en iyi bireyin temsil ettiği değer istenilen sonucu veriyorsa algoritmanın sona erdirilmesi.
- Döngü: 2. adıma geri dönülerek yeni jenerasyona başlanması.

Bu aşamalar şematik olarak Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Genetik algoritmaların akış şeması [30].

5.5 Genetik Algoritmanın Güçlü ve Zayıf Yönleri

Genetik algoritmanın, eniyileme sorunlarının çözülmesindeki güçlü yönleri şunlardır [39]:

- Kesikli veya sürekli değişkenlerle en iyileme yapılabilir,
- Türev alma işlemine gerek yoktur,
- Çözüm uzayında aynı anda geniş bir alanda çok sayıda noktadan araştırmaya başlanır,
- Çok fazla sayıda değişkenle eniyileme işlemleri yapılabilir,

- Paralel hesaplamalara çok uygundur,
- Çok fazla uç (en büyük ve en küçük, ekstrem) değeri olan hedef fonksiyonları durumunda bile eniyileme yapabilir,
- Yerel (lokal) en küçüklemeleri sıçrayarak aşabilir,
- Sadece mutlak (global) en iyi çözümü değil, en iyi çözümlerin listesini bile verebilir,
- Karar değişkenlerini kodlayarak eniyilemeyi kodlama dünyasında yapar,
- Genetik sayı sistemine göre üretilen sayılarla çalışır. Bunlar deney verileri veya analitik fonksiyonlar olabilir,

Genetik algoritmanın bazı mahsurları da şunlardır [39]:

- GA'larda belirsizlik yöntemleri kullanılır ve algoritmanın işleyişinde belirginlik yoktur. Bunun sonucunda genetik algoritma modeli değişik defalarca kullanılıncaya birbirinden biraz farklı olan sonuçlar verebilir. Halbuki; doğrusal, dinamik veya eğrisel (doğrusamaz) örgün eniyileme yöntemlerinin hepsi belirgin yöntemlerdir. İşleyişlerinde rastgelelik yoktur ve vardıkları sonuçlar aynı sorun ve şartlar altında hep aynıdır.
- En iyi çözümün bilinen çözümler arasında göreceli olmasıdır. Ulaşılan çözümün en iyi olup olmadığının kontrol edilmesine izin vermeyebilir. Bu nedenle, genetik algoritmalar çözümün kesinlikle ne olabileceğinin bilinmemesi durumunda kullanılır. Doğal olarak, evrim algoritmaları en iyi çözüm için ne zaman duracaklarını bilemezler. Bir durma kistası belirlenmelidir.
- Klasik eniyileme yöntemlerinde bir yön veya sistematik izin takip edilmesi gerekmesine karşı, genetik algoritma karar uzayını tamamen rastgele olarak tarar.

5.6 İnşaat Mühendisliği Alanında GA ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Toklu, Arditi ve Çotuk (2005), klasik planlama yöntemlerinde; ağ hazırlanmasında, aktivite sürelerinin belirlenmesinde, kaynak dağılımı ve dengelenmesinde ve tekrar eden aktivitelerin programlanmasında karşılaşılan problemleri ve çözümlerini ele almıştır. Örnek bir köprü inşaatı projesinde bir genetik algoritma geliştirilmiştir.

Kromozomlar, aktivitelerin başlangıç tarihlerinden oluşturulmuştur. Bilinen çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin yanında; başlangıca yapıştırma operatörü, sola sıkıştırma operatörü ve az değişim operatörü adlı yeni operatörler tanımlanmıştır. Projenin en uygun iş programı elde edilmiştir [40].

Que (2002); örnek bir iş programındaki aktivitelerin süre ve maliyet değerlerini kullanarak, proje tamamlanma tarihinin bulunmasına yardımcı olacak bir yaklaşım ortaya koymuştur. Aktivitelerden kurulu kromozomlar oluşturularak, genetik algoritma operatörlerine tabi tutulmuştur. Aktiviteler arası ilişkiler, gecikmeler, takvimler, kısıtlar, kaynaklar ve ilerlemeler gibi parametreler göz önünde bulundurularak, yaklaşımın reele yakın olmasına çalışılmıştır [41].

Uygunoğlu ve Yurtcu'nun (2006) çalışmasında; genetik algoritmalar hakkında bilgi verilmiştir. Genetik algoritmaların çalışma prensibi şematik bir anlatım ile aktarılmıştır. Algoritma kurulumunda dikkat edilmesi gereken noktalar özetlenmiştir. İnşaat mühendisliğinde genetik algoritmalar ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmuştur [42].

Senouci ve Eldin'in (2004) ortaya koyduğu çalışmada; inşaat projelerinde kaynak dengelemeye ilişkin bir model sunulmuştur. Hibrit GA modeli kullanılarak; çeşitli ilişki türleri, çoklu ekip stratejileri ve süre-maliyet değişimleri hesaba katılmıştır. Kaynak kısıtları dahilinde toplam inşaat maliyetini minimize eden bir optimizasyon yapılmıştır. Model, süre-maliyet ve süre-kaynak ilişkilerini göz önünde bulundurmaktadır. Süre ve maliyeti optimize ederken kaynak dengeleme de yapan bu model, geleneksel kritik yol metodu yaklaşımını tamamlayıcı niteliktedir [43].

Paksoy (2007), Delphi 6 kullanarak kaynak kısıtlı proje çizelgelemeye yönelik olarak bir genetik algoritma hazırlamıştır. Geliştirilen sezgisel algoritma ile parametrik olarak verilebilen toplum sayıları ve iterasyonlar sonucunda, minimum proje süresine sahip çizelge tespit edilebilmektedir. Algoritma; literatürde bulunan dört veri kümesi üzerinde, toplam 2040 çizelgeleme problemi ile test edilmiştir. Her bir veri kümesinin ortalama standart sapması hesaplanarak, literatürde yayınlanmış olan diğer çalışmalarla karşılaştırılmaktadır. Elde edilen proje bitirme sürelerinin tatmin edilebilir düzeyde olduğu gözlenmiştir [28].

6. MONTE CARLO SİMÜLASYONU

Simülasyon, kuramsal ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden-sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait değişimlerin bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir [44].

Bir simülasyon yöntemi olan Monte Carlo yöntemi de, olasılık teorisi üzerine kurulu bir sistemdir. İstatistiksel ve matematiksel tekniklere dayanarak oluşturulmuştur. Bu sayede bir deney veya çözülmesi gereken fiziksel bir olay gelişigüzel sayılar defalarca kullanılarak bilgisayar ortamında canlandırılıp çözülmektedir. Analitik sonuçların kolayca elde edilemediği oldukça karmaşık sistemlerin davranışının anlaşılmasında kolaylık sağlamaktadır [45].

6.1 Monte Carlo Simülasyonunun Tarihsel Gelişimi

Monte Carlo Simülasyon tekniğinin ortaya çıkışı ilginç bir tesadüfe dayanır. Teknik, 1946 yılında Stanislaw (Stan) Ulam isimli bilim adamının 52 adet kağıtla oynanan soliter oyunundan esinlenmesi ile başlar. Oyunu başarıyla bitirmek için şansını hesaplamaya başlayan Ulam, pek çok deneme yapmış ve sonunda gerçekten oynayıp vakit kaybetmek yerine başarı şansını hesaplamak için çözüme götürecek pratik bir metot kullanma fikri üzerinde yoğunlaşmıştır. Daha sonra ise buna benzer bir tekniği nötron difüzyonunda ve diğer matematiksel fizik konularında kullanılabileceği fikrini meslektaşı John Von Neumann ile paylaşması ve 1947 Mart'ında Los Alamos Scientific Laboratory'deki çalışmaları Monte Carlo metodunun ve modern anlamda simülasyonun miladı kabul edilir. İlk olarak nükleer silah geliştirilmek için kullanılan bu yöntem, adını çıktığı noktadan, yani Ulam'ın kağıt oyunuyla yaptığı denemeden alır. 2. Dünya Savaşı sürerken büyük bir gizlilik içinde yürütülen bu çalışmaya adını veren, kumarhaneleriyle ünlü Monaco'nun Monte Carlo şehridir. Bu yöntemin, aslında bir şans oyununa çözüm arama veya rassal örneklemeyle ilgili olmasına

rağmen çok daha önemli etkiler doğurması da ilginçtir. Bazı yazarlara göre de Monte Carlo yöntemi kabaca nümerik değerler üreten bir yöntemden ileriye gidememiştir. Esas olarak bilgisayarlarla bir ilgisinin olmamasına rağmen, modern bilgisayarların gelişmesiyle bu nümerik ve simülasyona dayalı oyunlara ilgi artmıştır. [46].

6.2 Monte Carlo Simülasyonunun Uygulama Alanları

Monte Carlo simülasyon metodu çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Fizik, kimya, matematik, biyoloji, tıp, mühendislik ve hatta sosyal bilimlerde çeşitli modellemeleri yaparken bu yöntemle başvurulur. Bu yüzden simülasyonun uygulama alanları oldukça geniştir. Bu alanları şu şekilde sıralayabiliriz [47]:

- Üretim sistemlerinin tasarım ve analizi
- Montaj hattı dengeleme
- İşgücü planlaması
- Malzeme taşıma sistemleri
- Yeni askeri silah ve sistem taktiklerinin saptanması
- Bir envanter sistemindeki sipariş planlarının incelenmesi
- İletişim sistemlerinin ve bunlar için gerekli mesaj protokollerinin tasarımı
- Otoyollar, havaalanları, metrolar ve limanların tasarım ve işletimi
- Ambulans bulundurma noktalarının ve araç sayılarının saptanması
- Yangın söndürme istasyonlarının yerlerinin ve buralarda bulundurulması gerekli minimum araç sayılarının saptanması
- Finansal veya ekonomik sistemlerin analizi
- Dağıtım kanallarının tasarımı
- Bir bilgisayar sisteminin donanım ve yazılım gereksinimlerinin belirlenmesi
- İşletme yöneticilerinin eğitilmesi (işletme oyunları/firma benzetimi)
- Alınacak riskleri minimize etmek için uzay uçuşları denemeleri

6.3 Monte Carlo Simülasyonunun Kullanılmasının Sebepleri

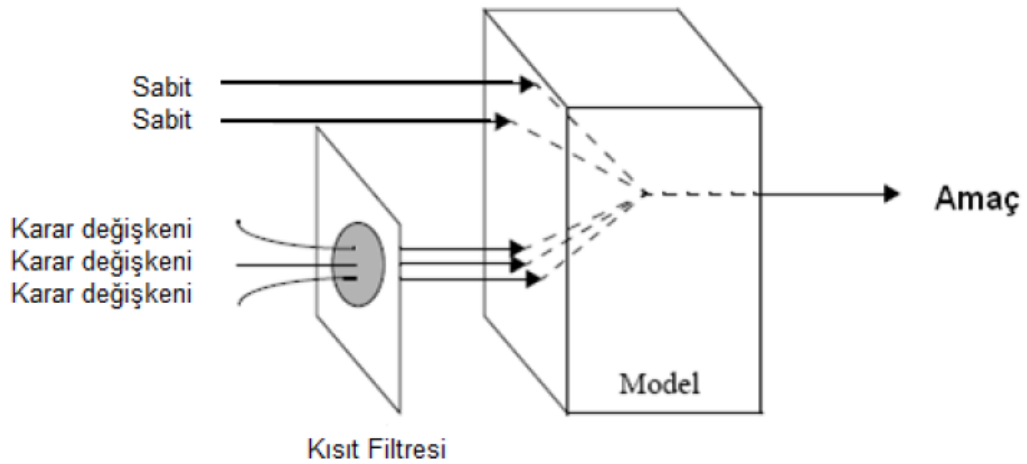
Monte Carlo metodu bir teori değildir, ama problemi çözmek için bir metodolojidir. Burada akla gelen sorulardan biri "Monte Carlo metodu ne zaman faydalıdır?"

sorusudur. Aşağıdaki şartlardan biri veya birkaçı bulunduğu zaman simülasyona başvurulmalıdır [48].

- Ya problemin tam bir matematik formülasyonu mevcut değildir veya matematik modeli analitik metotla çözümü henüz bulunamamıştır.
- Analitik metotlar çözüm için elverişlidir, ancak matematik metotlar çok karmaşıktır.
- Analitik çözümler vardır ve kullanılabilir ama problem üzerinde çalışanlarda bu bilgiler yoktur.
- Belirli parametrelerin tahmin edilebilmesi için simülasyon tek yol olabilir.
- Deneme yapma açısından simülasyon tek yol olabilir.
- Sistemlerin veya süreçlerin davranış karakteristiklerini ortaya koymak zaman gerektirebilir.

6.4 Monte Carlo Simülasyonunun Uygulanması

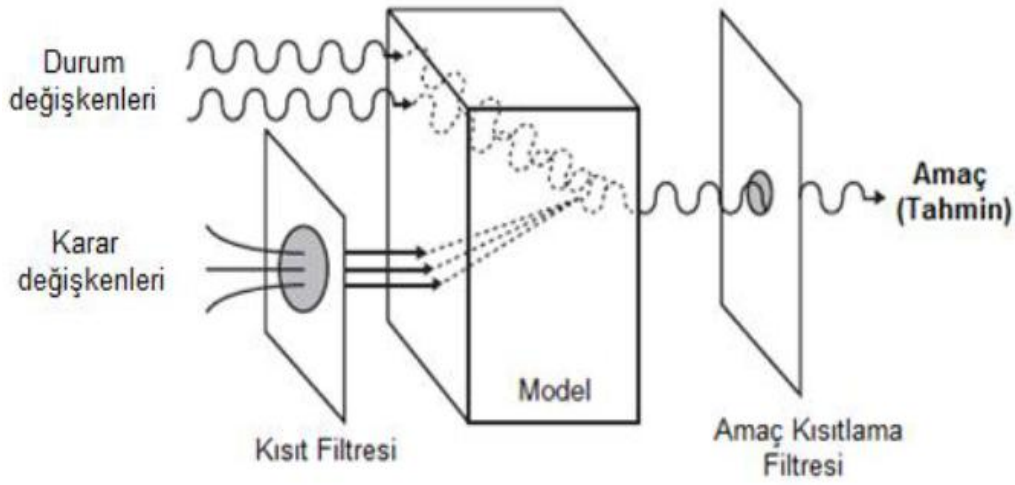
Eğer problem basit ve durum değişkenlerinin değerleri tam olarak biliniyorsa, optimizasyon modelindeki tüm girdiler sabit ise, model deterministik olacaktır. Şekil 6.1’de deterministik bir optimizasyon modeli görülmektedir [49].



Şekil 6.1 : Deterministik optimizasyon modeli [49].

Ancak birçok durumda deterministik bir model, karar verme probleminin içerdiği tüm karmaşıklığı açıklayamayabilir. Bir modeldeki bazı girdiler belirsiz ve dolayısıyla sadece olasılık dağılımları ile tanımlanabiliyor ise karar değişkenlerinin seçilen çözüm kümesi için amaç fonksiyonu değerlerinin olasılık dağılımı elde edilebilir. En az bir tane rastgele parametre içeren bu tür modeller ise stokastik

optimizasyon modeli olarak adlandırılır. Şekil 6.2’de stokastik bir optimizasyon modeli görülmektedir [49].



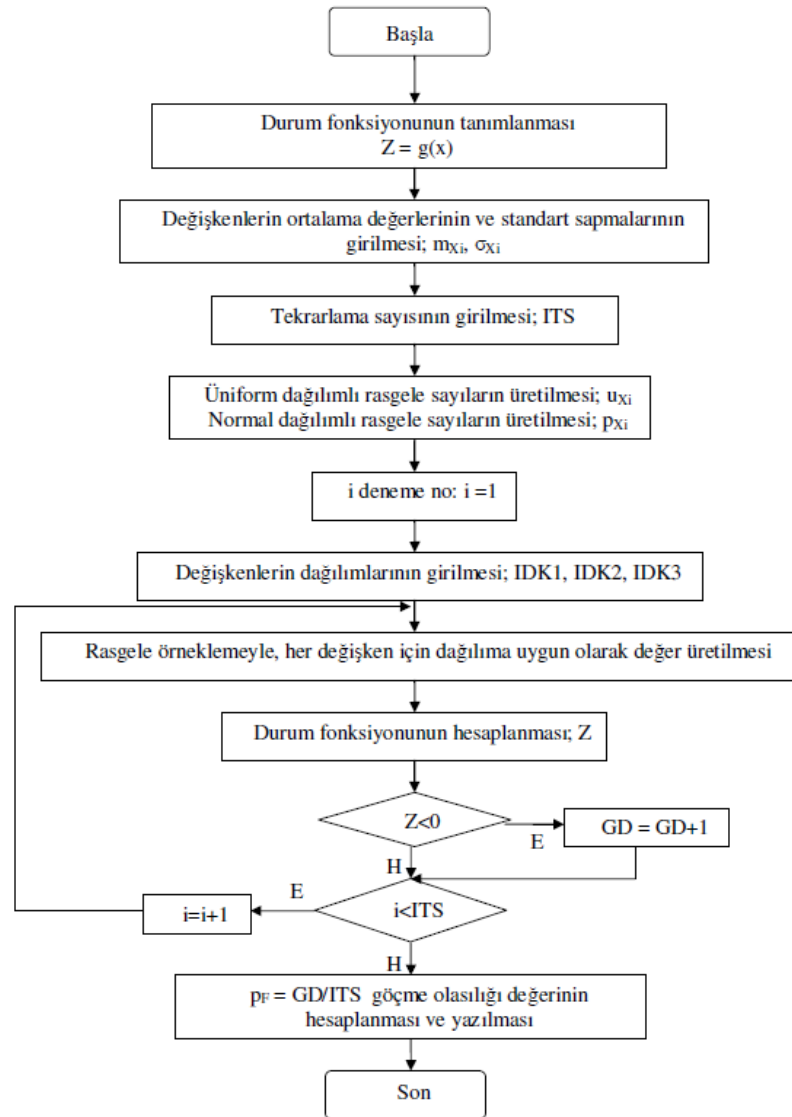
Şekil 6.2 : Stokastik optimizasyon modeli [49].

Monte Carlo yöntemi, istatistiksel deneyler yardımıyla, karmaşık problemlere matematiksel çözümler aramada kullanılabilecek ideal bir simülasyon tekniğidir. Bu yöntemi diğer sayısal analiz yöntemlerinden ayıran özellik, Monte Carlo tekniğinin eldeki problemin çözümünü oluşturmak için rastgele örnekleme metodunu kullanması ve uygun olasılık dağılımlarına dayanarak değişkenler üzerine stokastik bir model kurmasıdır. Bu sebeple, varılan sonuç her zaman problemin sayısal çözümünün istatistiksel bir tahmini olacaktır [50].

Bir matematik veya fizik problemini çözmede Monte Carlo yöntemi kullanıldığında, dikkat edilmesi gereken iki nokta olduğu görülür. Birincisi, olasılık dağılımı hakkında uygun bir seçim yapılmalıdır. Ne tür bir olasılık dağılım fonksiyonu kullanılacağı genellikle problemin fiziksel davranışı ile ilgilidir [50]. En yaygın olarak kullanılan dağılımlar; düzgün dağılım, üçgensel dağılım, normal dağılım, Poisson dağılımı ve beta, dağılımıdır [51]. İkinci önemli nokta, uygun rastgele sayıların üretilmesidir. Bilgisayar yardımıyla üretilen rastgele sayılara, yalancı rastgeleler adı verilir. Bu şekilde elde edilen bir rastgele sayı seti, belli periyotlarla kendini tekrarlar ve bu durum çözümü aranan problem için istenmeyen bir sonuç meydana getirebilir [50]. Özkan (2010), rassal sayı üretme yöntemlerini; zar atma yöntemi, kare ortaları yöntemi, lineer benzerlik yöntemi ve çarpımsal benzerlik yöntemi olarak özetlemiştir [52].

Monte Carlo yönteminin amacı düzgün dağılımdan gelişigüzel değişkenler elde etmek ve bunları uygun bir şekilde ilgilenilen dağılıma taşımaktır. Monte Carlo analizindeki giriş parametreleri, giriş değişkenlerinin dağılımının yapısına dayanan gelişigüzel sayı üreticileri ile verilir. Bu işlem çok defa tekrarlanır ve sonuçlar sistemin performansının bir istatistiksel yapısını belirlemek için analiz edilir. Analizin duyarlılığı simülasyonda kullanılan denemelerin sayısına bağlıdır. Deneme sayısı arttıkça duyarlılık artar. Monte Carlo yöntemi istatistiksel bir yöntem olduğundan dolayı ulaşılan sonuçlar ortalama çözümlerdir ve beklenen değerler için tam olarak kesin bir sonuç elde edilmesi zordur [45].

Menteş'in (2009) yaptığı çalışmada oluşturulan Monte Carlo simülasyonun akış şeması, Şekil 6.3'teki gibi gösterilmiştir [53].



Şekil 6.3 : Monte Carlo yöntemine ilişkin akış şeması [53].

6.5 Monte Carlo Simülasyonunun Güçlü ve Zayıf Yönleri

Monte Carlo Simülasyonunun avantajları şunlardır [47]:

- Simülasyon esnek bir çözüm yöntemidir.
- Diğer modellere kıyasla anlaşılması daha kolaydır.
- Aşamalı olarak uygulayabilme imkanı vardır.
- Klasik çözüm yöntemlerinin kullanılamadığı büyük karmaşık problemlerin çözümünde oldukça etkilidir.
- Bir başka yöntemde incelenmesi olanaksız olan koşullar ve kısıtlar simülasyon ile rahatça modellenebilir.
- Sonuçları ancak aylar, yıllar sonra alınabilecek durumlarda simülasyon ile çok kısa sürede analiz edilebilir.
- Simülasyon, modellenen sistemi değiştirmeden yeni fikir ve politikaların model üzerinde rahatça uygulamasına olanak verir.
- Kullanıcı simülasyonu istenen zamanda durdurup yeniden başlatabildiğinden, deney koşullar üzerinde tam bir kontrole sahiptir.

Simülasyonun dezavantajları ise şunlardır [47]:

- İyi bir simülasyon modelini geliştirmek vakit alıcı ve pahalıdır.
- Optimum çözüm üretme garantisi yoktur. Bir çeşit deneme-yanılma yöntemidir.
- Modellemede ve verilerin analizinde yapılacak hatalar, yanlış sonuçlara yol açabilir.
- Her simülasyon modeli kendine özgüdür.
- Uygulamasındaki kolaylıklar nedeniyle analitik çözümlerin göz ardı edilmesine neden olabilir.

6.6 İnşaat Mühendisliği Alanında MCS ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Özmaden (2010) yaptığı çalışmada, yapı maliyetlerinin MCS ile tahmin edilmesi için bir model oluşturmuş ve çok katlı toplu konut projelerinin inşaat maliyetlerini ve bina tanımlayıcı özelliklerini kullanmıştır. Simülasyona girilen bina özellikleri, yapıların projelerinden hesaplanan; toplam yapı maliyetleri, son kat tavan yükseklikleri, cephe alanları, cephe boşluk alanları, dolu cephe alanları, tip kat alanları, toplam kat sayıları, ortalama daire alanları, toplam daire alanları, toplam kat

alanları, toplam daire sayıları vb. parametreler arasından seçilmiştir. Matematiksel modelin kurulabilmesi için Regresyon Analizi ile yapılan incelemeler ile verilerin kendi aralarındaki ve toplam maliyet ile ilişkileri incelenmiş ve Monte Carlo Simülasyon ile tahmini yapı maliyeti oluşturulmuştur. Çıkan sonuçlar incelendiğinde; MCS'nun bu alandaki çalışmalarda, mevcut yöntemlere göre daha verimli tahminler için avantaj sağlayacağı belirtilmiştir ve farklı yapı tipleri için de benzer araştırmaların yapılmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur [54].

Menteş (2009), göçme olasılığının tahmin edilmesinde kullanılan yöntemleri açıklamış ve MCS hakkında bilgi vermiştir. Matlab 7.0 yazılımı ile çeşitli mühendislik problemleri çözülmüş ve çözüm sonuçları ikinci moment yaklaşımı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çözümlemelerde, değişkenler arasındaki korelasyonun etkisi de göz önüne alınmıştır. Karmaşık sistemlerin göçme olasılığının tahmininde, MCS'nun etkinliği ve başarısı ortaya konmuştur [53].

Günay (2012), yapısal sistemlerin güvenilirliğinin kesin değerler ile ifade edilmesinin zorluğundan bahsetmiştir. Bu sebeple, sistemin güvenilirliğinin bir aralık değeriyle ifade edilmesi gerekliliğini vurgulamıştır. Bu bağlamda; yedi adet yapısal problem, MCS yöntemine göre çözülmüştür. Rastgele değişkenler arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı kabul edilmiştir. Bu çözümlerde Matlab 7.8 yardımıyla hazırlanan bir yazılımdan faydalanılmıştır. Bulunan sonuçlar, birbirleriyle ve referans kaynaklardaki sonuçlarla karşılaştırılarak simülasyon yönteminin etkinliği test edilmiştir. Sonuç olarak; yapı sistemlerinin güvenilirliğinin hesabında, İkinci Moment yönteminin ve MCS'nun birlikte kullanılmasının en uygun yaklaşım olduğu belirtilmiştir [55].

Aydemir'in (2011) çalışmasında; kolon eğilme momenti kapasitesini etkileyen parametrelerin istatistik dağılımları dikkate alınarak, bu parametrelerdeki belirsizliklerin eğilme momenti kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla; malzeme dayanımları, kesit boyutları ve farklı beton davranış modellerinin kullanıldığı analitik moment eğrilik ilişkilerinin deneysel sonuçlarla gözlenen değişkenlikleri Monte Carlo benzeşim yöntemi ile sayısal olarak modellenmiştir. Hazırlanan bir yazılım ile; eksenel yük düzeyi, boyuna donatı oranı, yanal donatı mekanik indeksi, beton sınıfı, donatı sınıfı, donatı düzeni ve kesit boyutları farklı olan kolon kesitleri için kolon moment kapasitesindeki değişimler belirlenmiştir. Kolon moment kapasitesinin; Monte Carlo benzeşimi yardımıyla moment-eğrilik

analizlerinden saptanmasının güçlüğünden hareketle, tasarım aşamasında belirli olan karakteristik özellikler (malzeme dayanımları, kesit boyutları vb.) yardımıyla pratik bir biçimde belirlenmesi için iki farklı yöntem önerilmiştir. Kolon moment kapasitesinin tahminine yönelik çeşitli yönetmelik yaklaşımları ile çalışmada önerilen yöntemler; Monte Carlo benzeşim yöntemi sonuçları ve çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış olan deneysel sonuçlar yardımıyla karşılaştırılmıştır [56].

Çalık'ın (2005) yaptığı çalışmada, limanların fizibilite etüdü için bir ekonomik analiz modeli olarak geliştirilen LİMFİZ'in, Mersin Limanı'na uygulanması gerçekleştirilmiştir. Limanın yük trafiği yapay sinir ağları alt modeli ile tahmin edilmiştir. Limanın yükleme ve boşaltma işlemlerinden elde edilmesi beklenen yıllık gelir bulunmuştur. Limanın; geçmişe dönük yük bilgileri, gayri safi milli hasıla, nüfus ve çalışmadığı gün sayısı verileri belirlenmiştir. Yapay sinir ağları yardımıyla, limanda 2030 yılına kadar oluşacak yük hacmi tahmini yapılmış ve kapasite kullanımı belirlenmiştir. Bu amaçla, MCS ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanan yeni bir model geliştirilmiştir. Monte Carlo metodu ile finansal değişkenlere çeşitli olasılık dağılımlarından rastsal olarak değerler atanmış ve işletmenin yükleme boşaltma etkinlikleri için olasılık dağılımlarından rastsal gelir tahminleri yapılmıştır. Limanın işletilmesi sırasında, birçok değişkenin her birinin 30.000 deneme sonucunda oluşturacağı frekans dağılımlarından elde edilen sonuçlar limandan beklenen gelirin tespitinde kullanılmış ve yıllık beklenen gelir hesaplanmıştır [57].

7. VAKA ÇALIŞMASI

7.1 Kapsam

Bu tez çalışmasında, Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu yöntemleri kullanılarak bir inşaat projesinde alt yüklenici seçimine ilişkin süre maliyet kalite optimizasyonu ve risk değerlendirmesi modeli oluşturulmuştur.

Vaka analizi için, Türkiye'nin en büyük sağlık gruplarından birinin İstanbul Samandıra'da hayata geçirdiği gerçek bir lojistik merkezi inşaatı projesinden faydalanılmıştır.

Projenin master iş programına ait iş paketleri belirlenerek, CPM ok diyagramı oluşturulmuştur.

Alt yüklenicilere ilişkin süre, maliyet ve kalite verilerinin toplanma aşamasında; şirket dokümanları incelenmiştir ve teknik ofis grup yöneticisi ile mülakat yapılmıştır.

Farklı kısıtlar altında optimal alt yüklenici dizilimlerinin Genetik Algoritma yöntemi ile bulunabilmesi için, Palisade Corporation firmasının The Decision Tools Suite paketinde yer alan Evolver adlı yazılımdan faydalanılmıştır. Kullanılan verilere risk faktörü etkisinin yansıtılabilmesi için ise, yine aynı firmanın aynı paketinde yer alan @Risk isimli yazılım kullanılmıştır [58].

7.2 Modelin Oluşturulması

7.2.1 Aktiviteler ve iş programı

Bu tez çalışmasının genel amacı; alt yüklenici seçimlerine ilişkin bir optimizasyon modeli kurmaktır. Bu sebeple; projenin iş programında yer alan yüzlerce aktivitenin kullanılması yerine, her bir alt yükleniciye ait master iş paketleri belirlenmiş ve aktivite olarak bu iş paketleri kullanılmıştır. Oluşturulan aktiviteler ve kodları Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 : Aktivite listesi.

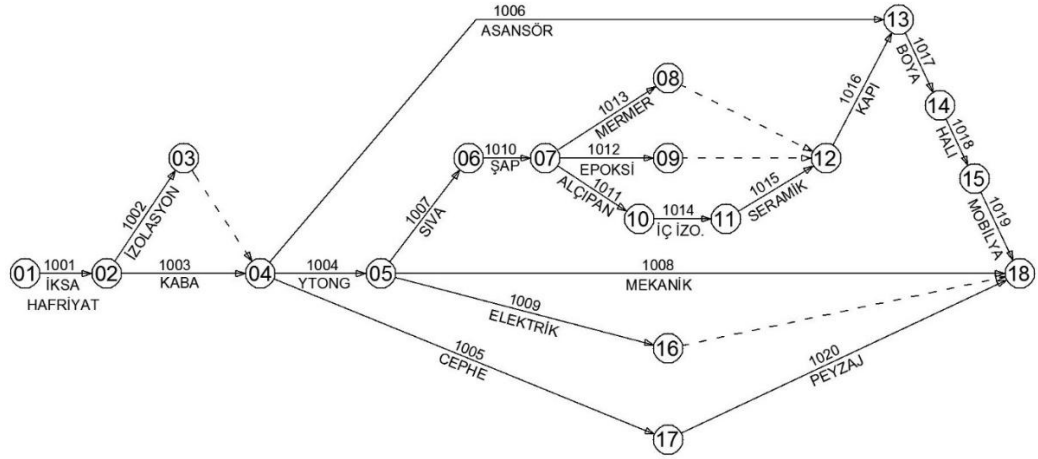
AKTİVİTE ADI	AKTİVİTE KODU
İksa & Hafriyat İşleri	1001
İzolasyon İşleri	1002
Kaba İnşaat	1003
Ytong Duvar İmalatları	1004
Dış Cephe İşleri	1005
Asansör Montajı	1006
Sıva İşleri	1007
Mekanik İşleri	1008
Elektrik İşleri	1009
Şap İmalatları	1010
Alçıpan İşleri	1011
Epoksi Kaplama İşleri	1012
Mermer Kaplama İşleri	1013
İç Mekan İzolasyon İşleri	1014
Seramik İşleri	1015
Kapı Montaj İşleri	1016
Boya İşleri	1017
Halı İmalatları	1018
Mobilya ve Vitrifiye İşleri	1019
Peyzaj İşleri	1020

Daha sonra; alt yüklenicilerin atanacağı iş paketlerinin işlem sıraları belirlenmiş ve aralarındaki ilişki türleri, işlem kolaylığı açısından Çizelge 7.2'deki gibi tablolaştırılmıştır.

Çizelge 7.2 : Aktiviteler arası ilişki türleri.

ÖNCÜL AKTİVE KODU	ÖNCÜL AKTİVE ADI	İLİŞKİ TÜRÜ	ARDIL AKTİVE KODU	ARDIL AKTİVE ADI
1000	Proje Başlangıcı	FS	1001	İksa & Hafriyat İşleri
1001	İksa & Hafriyat İşleri	FS	1002	İzolasyon İşleri
1002	İzolasyon İşleri	SS	1003	Kaba İnşaat
1003	Kaba İnşaat	FS	1004	Ytong Duvar İmalatları
1003	Kaba İnşaat	FS	1005	Dış Cephe İşleri
1003	Kaba İnşaat	FS	1006	Asansör Montajı
1004	Ytong Duvar İmalatları	FS	1007	Sıva İşleri
1004	Ytong Duvar İmalatları	FS	1008	Mekanik İşleri
1005	Dış Cephe İşleri	FS	1020	Peyzaj İşleri
1006	Asansör Montajı	FS	1017	Boya İşleri
1007	Sıva İşleri	FS	1010	Şap İmalatları
1008	Mekanik İşleri	SS	1009	Elektrik İşleri
1009	Elektrik İşleri	FS	1030	Proje Bitiş
1010	Şap İmalatları	FS	1011	Alçıpan İşleri
1010	Şap İmalatları	FS	1012	Epoksi Kaplama İşleri
1010	Şap İmalatları	FS	1013	Mermer Kaplama İşleri
1011	Alçıpan İşleri	FS	1014	İç Mekan İzolasyon İşleri
1012	Epoksi Kaplama İşleri	FS	1016	Kapı Montaj İşleri
1013	Mermer Kaplama İşleri	FS	1016	Kapı Montaj İşleri
1014	İç Mekan İzolasyon İşleri	FS	1015	Seramik İşleri
1015	Seramik İşleri	FS	1016	Kapı Montaj İşleri
1016	Kapı Montaj İşleri	FS	1017	Boya İşleri
1017	Boya İşleri	FS	1018	Halı İmalatları
1018	Halı İmalatları	FS	1019	Mobilya ve Vitrifiye İşleri
1019	Mobilya ve Vitrifiye İşleri	FS	1030	Proje Bitiş
1020	Peyzaj İşleri	FS	1030	Proje Bitiş

Belirlenen aktiviteler arası ilişki türleri kullanılarak, Şekil 7.1’deki, projeye ait CPM ok diyagramı oluşturulmuştur.



Şekil 7.1 : CPM ok diyagramı.

7.2.2 Alt yüklenici verileri

Aktivitelere ait; süre, maliyet ve kalite verilerinin temini için, şirketin teknik ofis grup yöneticisi ile bir mülakat gerçekleştirilmiştir. Projeye ait detaylı iş programı verileri ve alt yüklenici teklifleri ile, şirketin alt yüklenici veri tabanındaki kalite değerlendirmeleri incelenmiştir. Her aktivite için teklif veren alt yükleniciler ve bu alt yüklenicilere ait süre, maliyet ve kalite verileri Çizelge 7.3’te toplanmıştır.

Çizelge 7.3 : Alt yüklenici verileri.

ALT YÜKLENİCİ ALTERNATİFİ		ALTERNATİF 1			ALTERNATİF 2			ALTERNATİF 3		
AKTİVİTE		SÜRE (GÜN)	MALİYET (TL)	KALİTE (%)	SÜRE (GÜN)	MALİYET (TL)	KALİTE (%)	SÜRE (GÜN)	MALİYET (TL)	KALİTE (%)
İksa & Hafriyat İşleri	1001	90	2.700.800	74%	95	2.680.700	70%	100	2.590.000	68%
İzolasyon İşleri	1002	60	369.700	79%	68	362.500	77%	72	354.800	75%
Kaba İnşaat	1003	120	3.269.500	71%	130	3.190.800	69%	140	3.050.900	65%
Ytong Duvar İmalatları	1004	30	185.400	87%	33	180.200	86%	35	173.600	83%
Dış Cephe İşleri	1005	120	912.200	90%	125	889.900	85%	130	877.400	80%
Asansör Montajı	1006	90	554.400	85%	95	550.800	83%	100	549.600	80%
Sıva İşleri	1007	30	236.400	72%	33	233.700	70%	36	231.900	69%
Mekanik İşleri	1008	120	1.268.500	77%	130	1.270.200	85%	135	1.310.000	95%
Elektrik İşleri	1009	120	1.039.500	82%	125	1.090.100	89%	130	1.100.700	93%
Şap İmalatları	1010	20	267.200	70%	27	262.900	75%	32	259.600	78%
Alçıpan İşleri	1011	50	395.500	88%	55	390.400	92%	60	388.200	94%
Epoksi Kaplama İşleri	1012	20	175.700	74%	18	172.200	68%	15	168.400	65%
Mermer Kaplama İşleri	1013	15	123.000	77%	14	120.800	72%	13	118.600	69%
İç Mekan İzolasyon İşleri	1014	15	88.800	86%	13	92.200	91%	12	95.000	94%
Seramik İşleri	1015	20	148.300	88%	18	152.600	91%	16	155.000	95%
Kapı Montaj İşleri	1016	15	142.900	79%	16	137.700	75%	19	136.300	68%
Boya İşleri	1017	45	225.500	81%	42	230.000	77%	35	232.100	73%
Halı İmalatları	1018	20	281.200	95%	25	278.600	90%	30	265.800	87%
Mobilya ve Vitrifiye İşleri	1019	20	1.386.300	87%	26	1.340.100	82%	32	1.288.400	79%
Peyzaj İşleri	1020	60	175.500	91%	55	180.200	85%	50	182.000	82%

Burada; her bir aktivite için birbirinden farklı 3'er adet alt yüklenici alternatifi mevcut olup, toplamda $20 * 3 = 60$ adet alt yükleniciden bahsedilmektedir. Her bir alt yüklenici yalnızca bir adet iş paketine teklif vermiştir. Her aktivitenin sahip olduğu alt yüklenici alternatifleri, kendine hastır ve başka bir aktivitede gözlemlenmemektedir.

Tablo incelendiğinde, herhangi bir aktivite için teklif veren üç adet alt yüklenicinin; süre, maliyet ve kalite verilerinin en az birinin olumlu veya olumsuz olduğu görülmüştür. Örneğin; 1015 numaralı Seramik İşleri aktivitesinde 1 numaralı alt yükleniciden 3 numaralı alt yükleniciye doğru geçerken, süre verileri olumlu bir şekilde azalmaktadır. Ancak, maliyet verileri olumsuz bir şekilde artmaktadır. Bunun yanında, kalite skorlarının ise belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Süre ve kalite kıstaslarındaki olumlu durumlar, maliyet kıstasındaki olumsuz durumdan daha baskın mıdır? İşte, ilgili kıstaslardaki bu durum bir optimizasyon problemini ortaya çıkarmaktadır.

7.2.3 Alt yüklenici dizilimi

Alt yüklenici verileri tablosunda görüleceği gibi, 20 adet aktivitenin her birinde 3'er adet alt yüklenici alternatifi bulunmaktadır. Bu da; 320, yani 3.486.784.401 adet farklı alt yüklenici kombinasyonu oluşturmaktadır. Yaklaşık 3,5 milyon adet kombinasyonun tek tek oluşturularak kıyaslanması mümkün değildir. Bu sebeple, bu problemde Genetik Algoritma metodu ile çalışan bir yazılım olan Evolver kullanılmıştır. Evolver, ayrık (discrete) değişkenler için de kullanılabilirdiğinden dolayı tercih edilmiştir.

Her bir aktivite için seçilen alt yüklenici alternatifi bir gen olarak, aktivite sırasına göre bu genlerin yan yana dizilimi de bir kromozom olarak Microsoft Excel yazılımına tanımlanmıştır. Evolver yazılımı, Microsoft Excel tabanlı çalıştığından dolayı; modelin kurulmasında, kısıtların oluşturulmasında ve hesaplamalarda büyük kolaylık sağlamıştır. Excel'de oluşturularak Evolver'da çözümü aranan örnek bir kromozom Çizelge 7.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4 : Örnek bir kromozom.

AKTİVİTE NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Σ SÜRE	Σ MALİYET	Σ KALİTE
ALT YÜKLENİCİ NO	1	2	1	3	2	1	1	1	2	3	3	1	2	3	1	1	2	3	1	2			

7.2.4 Proje verileri ve kabuller

Her bir aktivite için seçilen alt yüklenicilere ait süre, maliyet ve kalite verilerinin entegrasyonu; toplam proje süresini, toplam proje maliyetini ve toplam proje kalitesini meydana getirmektedir.

Toplam proje süresi, CPM ok diyagramındaki kritik yol üzerinde yer alan aktivitelerin sürelerinin toplamı olacaktır. Bu bağlamda, diyagram üzerinde oluşabilecek 14 adet farklı yol alternatifi, aktivite numaralarına göre Çizelge 7.5'te toplanmıştır.

Çizelge 7.5 : CPM yol alternatifleri.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001
1002	1003	1002	1003	1002	1003	1002	1003	1002	1002	1002	1002	1003	1003
1006	1006	1005	1005	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004
1017	1017	1020	1020	1008	1008	1009	1009	1007	1007	1007	1007	1007	1007
1018	1018							1010	1010	1010	1010	1010	1010
1019	1019							1013	1012	1011	1013	1012	1011
								1016	1016	1014	1016	1016	1014
								1017	1017	1015	1017	1017	1015
								1018	1018	1016	1018	1018	1016
								1019	1019	1017	1019	1019	1017
										1018			1018
										1019			1019

Evolver yazılımının aktivitelere atadığı alt yüklenici alternatiflerine bağlı olarak; bu 14 adet farklı yol, farklı farklı değerler almaktadır. Microsoft Excel üzerinde bu 14 adet farklı yolun maksimumu seçtirilerek toplam proje süresi bulunmaktadır. Modelleme yapılırken ilgili projenin taahhüt süresinin 500 iş günü olduğu kabul edilmiştir. Evolver yazılımına girilen kısıtların oluşturulmasında buna dikkat edilmiştir.

Toplam proje maliyetinin hesabında aşağıdaki denklem oluşturulmuştur ve Microsoft Excel'e tanımlanmıştır.

$$TPM = DIRM + ENDM + CEZA - ÖDÜL$$

Burada;

TPM: Toplam proje maliyetidir.

DIRM: Alt yüklenicilerin yaptıkları malzemeli işçilik imalatları için oluşan direkt maliyetlerdir. Doğrudan, hangi alt yüklenicilerin seçildiği ile ilgilidir.

ENDM: Projede çalışılan her bir gün için 500 TL’lik indirekt maliyet olduğu kabul edilmiştir. Proje süresi, bu maliyet kaleminin belirleyicisidir.

CEZA: Proje taahhüt süresi olarak kabul edilen 500 günün üzerine çıkan her bir proje senaryosu için günlük 1000 TL para cezası öngörülmüştür.

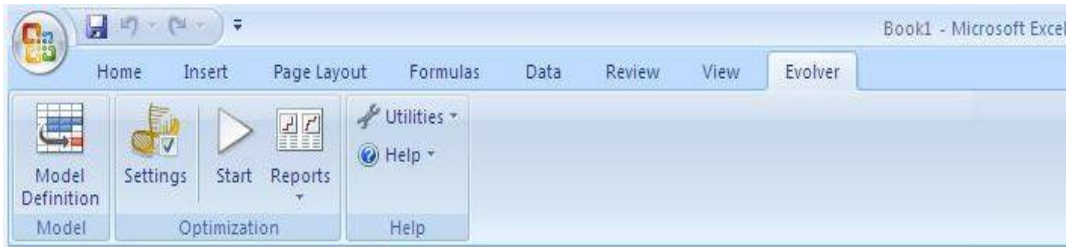
ÖDÜL: Proje taahhüt süresi olarak kabul edilen 500 günden daha erken tamamlanan her bir proje senaryosu için günlük 750 TL erken tamamlanma primi olduğu kabul edilmiştir.

Böylelikle; toplam maliyet, aynı zamanda toplam sürenin de bir fonksiyonu durumuna gelmiştir. Evolver yazılımının aktivitelere atadığı alt yüklenici alternatiflerine bağlı olarak, toplam maliyet denkleminin bileşenleri optimum çözüm kümesine göre Microsoft Excel üzerinde şekillenmektedir.

Toplam proje kalitesi skorunun oluşturulmasında ise; Evolver yazılımının aktivitelere atadığı alt yüklenici alternatiflerine bağlı olarak oluşan kalite değerlerinin aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Modellemede, toplam proje kalitesi için kabul kistasının minimum %80 olduğu kabul edilmiştir. Evolver yazılımına girilen kısıtlarda buna dikkat edilmiştir.

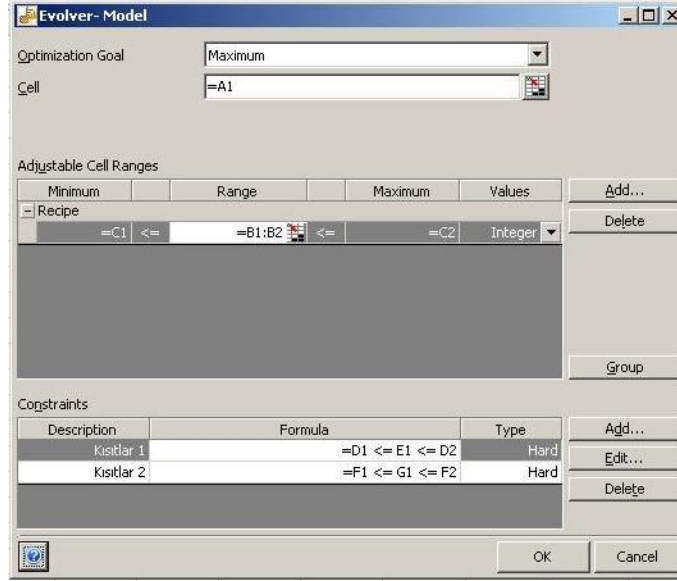
7.3 Optimizasyon Senaryoları

Evolver yazılımı; bir adet optimizasyon hedefi tanımlanabilir ve sınırsız adette kısıt girilebilir, Microsoft Excel üzerinde seçilen hücrelerde genetik algoritma ile optimizasyon yapabilmektedir. Evolver çalıştırdıktan sonra Excel üzerinde Şekil 7.2’deki araç çubuğu belirlemektedir.



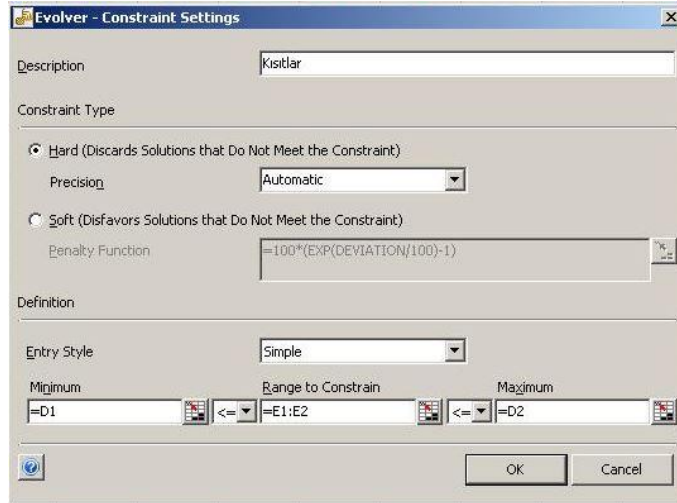
Şekil 7.2 : Evolver araç çubuğu.

Modelin oluşturulması bölümünde açıklanan veriler; Microsoft Excel üzerinde tanımlandıktan sonra, Evolver’da yer alan ve Şekil 7.3’te gösterilen optimizasyon modeli oluşturulmaya başlanmıştır.



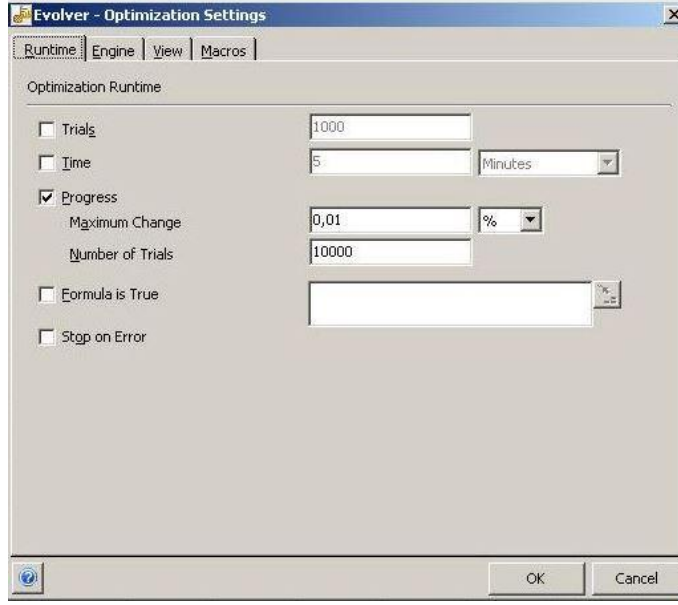
Şekil 7.3 : Evolver’da model oluşturulması.

Evolver yazılımı; sınırsız adette kısıt girişine izin vermesine rağmen, yalnızca bir adet optimizasyon hedefi tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Bu hedefi; ilgili kısıtlar çerçevesinde mümkün olan maksimum değere, minimum değere veya istenilen bir değere yaklaştırmaktadır. Kısıtlar Şekil 7.4’teki gibi girilmektedir.



Şekil 7.4 : Evolver modeline kısıtların girilmesi.

Yazılımın bu özellikleri göz önünde bulundurularak; projenin toplam süre, toplam maliyet ve toplam kalite değerleri için ayrı ayrı optimizasyon çözümleri yapılmıştır. Optimizasyonu yapılan kısıtasın dışında kalan diğer iki kistas, alabilecekleri farklı değerlere göre yazılıma kısıt girdileri olarak tanıtılmıştır. Her senaryo için, Şekil 7.5’teki optimizasyon ayarlarına 10.000 adet deneme sayısı girilmiştir.



Şekil 7.5 : Evolver optimizasyon ayarları.

Bu çözümlerin yaptırılması için, kullanılacak olan kısıtların minimum ve maksimum değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Maliyet kısıtlarının alabileceği minimum değer; maksimum taahhüt süresi olan 500 günü ve minimum kalite talebi olan %80'i sağlayan 13.738.700 TL olarak Evolver'da bulunmuştur. Maliyet kısıtlarının alabileceği maksimum değeri bulmak için ise; süre ve kalite kısıtı olmadan Evolver'da maksimum maliyet çözümü aranmıştır ve 14.298.500 TL bulunmuştur. Optimizasyon çözümleri, bu iki maliyet değeri arasında 100.000 TL'lik aralıklar oluşturularak aranmıştır.

Süre kısıtlarının alabileceği minimum değeri bulmak için; maliyet ve kalite kısıtı olmadan Evolver'da minimum süre çözümü aranmıştır ve 458 gün bulunmuştur. Süre kısıtlarının alabileceği maksimum değer ise, proje taahhüt süresi olan 500 gündür. Optimizasyon çözümleri, bu iki süre değeri arasında 10 günlük aralıklar oluşturularak aranmıştır.

Kalite kısıtlarının alabileceği minimum değer, talebi olan %80'dir. Kalite kısıtlarının alabileceği maksimum değeri bulmak için ise; süre ve maliyet kısıtı olmadan Evolver'da maksimum kalite çözümü aranmıştır ve %84 bulunmuştur. Optimizasyon çözümleri, bu iki kalite değeri arasında %1'lik aralıklar oluşturularak aranmıştır.

Kısıt aralıklarının belirlenmesinden sonra sırasıyla; toplam proje süresinin minimize edildiği, toplam proje maliyetinin minimize edildiği ve toplam proje kalitesinin

maksimize edildiği proje senaryoları Evolver’da oluşturulmuştur. Senaryoların sonuçları, aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir.

Belirlenen maliyet ve kalite kısıtları Evolver’a girilerek, toplam süreyi minimize eden proje senaryoları Çizelge 7.6’daki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 7.6 : Toplam süreyi minimize eden proje senaryoları.

MALİYET VE KALİTE KISITLARINA GÖRE MİNİMUM PROJE SÜRESİ		KALİTE > %80	KALİTE > %81	KALİTE > %82	KALİTE > %83	KALİTE > %84
MALİYET < 13.738.700	SÜRE	500	-	-	-	-
	MALİYET	13.736.100	-	-	-	-
	KALİTE	80,3%	-	-	-	-
MALİYET < 14.000.000	SÜRE	474	478	478	-	-
	MALİYET	13.996.100	13.973.500	13.976.400	-	-
	KALİTE	80,8%	81,3%	82,1%	-	-
MALİYET < 14.100.000	SÜRE	464	468	478	485	-
	MALİYET	14.078.700	14.089.100	14.057.500	14.093.250	-
	KALİTE	80,6%	81,4%	83,0%	83,1%	-
MALİYET < 14.200.000	SÜRE	458	458	458	468	-
	MALİYET	14.143.200	14.191.600	14.195.600	14.167.700	-
	KALİTE	80,5%	82,0%	82,3%	83,2%	-
MALİYET < 14.298.500	SÜRE	458	458	458	458	473
	MALİYET	14.122.900	14.150.700	14.155.100	14.261.600	14.273.050
	KALİTE	81,5%	81,8%	82,2%	83,1%	84,1%

Belirlenen süre ve kalite kısıtları Evolver’a girilerek, toplam maliyeti minimize eden proje senaryoları Çizelge 7.7’deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 7.7 : Toplam maliyeti minimize eden proje senaryoları.

SÜRE VE KALİTE KISITLARINA GÖRE MİNİMUM PROJE MALİYETİ		KALİTE > %80	KALİTE > %81	KALİTE > %82	KALİTE > %83	KALİTE > %84
SÜRE < 458	SÜRE	458	458	458	458	-
	MALİYET	14.097.100	14.106.100	14.159.200	14.240.100	-
	KALİTE	80,2%	81,1%	82,1%	83,1%	-
SÜRE < 470	SÜRE	470	469	468	470	-
	MALİYET	13.996.200	14.041.950	14.117.600	14.219.400	-
	KALİTE	80,1%	81,2%	82,0%	83,1%	-
SÜRE < 480	SÜRE	479	480	479	480	478
	MALİYET	13.994.550	13.995.100	14.088.650	14.166.600	14.274.900
	KALİTE	80,2%	81,2%	82,0%	83,1%	84,1%
SÜRE < 490	SÜRE	490	488	489	486	485
	MALİYET	13.808.700	13.852.300	13.987.550	14.188.300	14.254.950
	KALİTE	80,1%	81,1%	82,0%	83,1%	84,1%
SÜRE < 500	SÜRE	500	498	499	497	500
	MALİYET	13.729.600	13.826.500	13.969.250	14.069.650	14.171.300
	KALİTE	80,2%	81,1%	82,0%	83,0%	84,1%

Belirlenen süre ve maliyet kısıtları Evolver’a girilerek, toplam kaliteyi maksimize eden proje senaryoları Çizelge 7.8’deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 7.8 : Toplam kaliteyi maksimize eden proje senaryoları.

SÜRE VE MALİYET KISITLARINA GÖRE MAKSİMUM PROJE KALİTESİ		SÜRE < 458	SÜRE < 470	SÜRE < 480	SÜRE < 490	SÜRE < 500
MALİYET < 13.738.700	SÜRE	-	-	-	488	500
	MALİYET	-	-	-	13.873.100	13.736.900
	KALİTE	-	-	-	81,1%	80,6%
MALİYET < 14.000.000	SÜRE	-	-	480	488	500
	MALİYET	-	-	13.983.800	13.977.300	13.990.800
	KALİTE	-	-	81,7%	82,5%	82,5%
MALİYET < 14.100.000	SÜRE	-	468	480	490	500
	MALİYET	-	14.084.200	14.093.000	14.095.800	14.066.800
	KALİTE	-	82,4%	82,4%	82,8%	83,1%
MALİYET < 14.200.000	SÜRE	458	468	479	485	496
	MALİYET	14.196.700	14.194.900	14.199.450	14.198.050	14.184.600
	KALİTE	82,6%	82,9%	83,3%	83,6%	83,8%
MALİYET < 14.298.500	SÜRE	458	468	480	490	490
	MALİYET	14.266.000	14.271.900	14.277.500	14.284.500	14.284.500
	KALİTE	83,5%	83,9%	84,3%	84,6%	84,6%

Proje senaryolarını içeren tablolarda görüleceği gibi; süre, maliyet ve kalite kısıtlarının tamamının en olumlu değerini içeren bir çözüm kümesi yoktur. Örneğin; proje süresinin kısaltılması için, fazladan oluşacak olan maliyete katlanılması gerekmektedir. Ya da; maliyetin düşürülmesi isteniyorsa, kaliteden ödün verilmesi gerekebilmektedir. Bu aşamada, proje yöneticisinin bu senaryolar arasından bir karar vermesi gerekmektedir.

7.4 Risk Faktörü Eklenmesi

Yapılan kabule göre; projedeki karar vericiler, optimizasyon senaryolarından 3 adedinin kendi proje şartlarına uygun olabileceğini belirlemişlerdir. Bundan hareketle, örnek olarak seçilen 3 adet senaryo için MCS analizi yapılmıştır.

Alt yüklenicilere ait süre, maliyet ve kalite verilerine; risk faktörü etkisi eklenmiştir. Bunun için, Monte Carlo Simülasyonu ile çalışan @Risk isimli yazılımdan faydalanılmıştır. @Risk'in Excel üzerinde çalıştığı araç çubuğu Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



Şekil 7.6 : @Risk araç çubuğu.

Bir önceki bölümde yer alan alt yüklenici verileri tablosundaki; süre, maliyet ve kalite değerleri, deterministik veriler idi. Bu bölümde ise; bu değerlerin, üçgensel dağılıma uygun olacak şekilde %10 artış veya %5 azalış gösterebileceği olasılığı kabul edilmiştir. Bu bağlamda; her alt yüklenici için önceki bölümde belirlenen değerler, ilgili aktivitenin en olası değeri olarak alınmıştır ve olasılıksal değerleri içeren yeni alt yüklenici verileri Çizelge 7.9, Çizelge 7.10 ve Çizelge 7.11'e işlenmiştir.

Çizelge 7.9 : 1 numaralı alt yüklenici alternatiflerinin olasılıksal verileri.

AKTİVİTE		1 NUMARALI ALT YÜKLENİCİ ALTERNATİFLERİ								
		SÜRE VERİLERİ			MALİYET VERİLERİ			KALİTE VERİLERİ		
		MIN	EN OLASI	MAX	MIN	EN OLASI	MAX	MIN	EN OLASI	MAX
İksa & Hafriyat İşleri	1001	86	90	99	2.565.760	2.700.800	2.970.880	70%	74%	81%
İzolasyon İşleri	1002	57	60	66	351.215	369.700	406.670	75%	79%	87%
Kaba İnşaat	1003	114	120	132	3.106.025	3.269.500	3.596.450	67%	71%	78%
Ytong Duvar İmalatları	1004	29	30	33	176.130	185.400	203.940	83%	87%	96%
Dış Cephe İşleri	1005	114	120	132	866.590	912.200	1.003.420	86%	90%	99%
Asansör Montajı	1006	86	90	99	526.680	554.400	609.840	81%	85%	94%
Sıva İşleri	1007	29	30	33	224.580	236.400	260.040	68%	72%	79%
Mekanik İşleri	1008	114	120	132	1.205.075	1.268.500	1.395.350	73%	77%	85%
Elektrik İşleri	1009	114	120	132	987.525	1.039.500	1.143.450	78%	82%	90%
Şap İmalatları	1010	19	20	22	253.840	267.200	293.920	67%	70%	77%
Alçıpan İşleri	1011	48	50	55	375.725	395.500	435.050	84%	88%	97%
Epoksi Kaplama İşleri	1012	19	20	22	166.915	175.700	193.270	70%	74%	81%
Mermer Kaplama İşleri	1013	14	15	17	116.850	123.000	135.300	73%	77%	85%
İç Mekan İzolasyon İşleri	1014	14	15	17	84.360	88.800	97.680	82%	86%	95%
Seramik İşleri	1015	19	20	22	140.885	148.300	163.130	84%	88%	97%
Kapı Montaj İşleri	1016	14	15	17	135.755	142.900	157.190	75%	79%	87%
Boya İşleri	1017	43	45	50	214.225	225.500	248.050	77%	81%	89%
Halı İmalatları	1018	19	20	22	267.140	281.200	309.320	90%	95%	105%
Mobilya ve Vitrifiye İşleri	1019	19	20	22	1.316.985	1.386.300	1.524.930	83%	87%	96%
Peyzaj İşleri	1020	57	60	66	166.725	175.500	193.050	86%	91%	100%

Çizelge 7.10 : 2 numaralı alt yüklenici alternatiflerinin olasılıksal verileri.

AKTİVİTE		2 NUMARALI ALT YÜKLENİCİ ALTERNATİFLERİ								
		SÜRE VERİLERİ			MALİYET VERİLERİ			KALİTE VERİLERİ		
		MIN	EN OLASI	MAX	MIN	EN OLASI	MAX	MIN	EN OLASI	MAX
İksa & Hafriyat İşleri	1001	90	95	105	2.546.665	2.680.700	2.948.770	67%	70%	77%
İzolasyon İşleri	1002	65	68	75	344.375	362.500	398.750	73%	77%	85%
Kaba İnşaat	1003	124	130	143	3.031.260	3.190.800	3.509.880	66%	69%	76%
Ytong Duvar İmalatları	1004	31	33	36	171.190	180.200	198.220	82%	86%	95%
Dış Cephe İşleri	1005	119	125	138	845.405	889.900	978.890	81%	85%	94%
Asansör Montajı	1006	90	95	105	523.260	550.800	605.880	79%	83%	91%
Sıva İşleri	1007	31	33	36	222.015	233.700	257.070	67%	70%	77%
Mekanik İşleri	1008	124	130	143	1.206.690	1.270.200	1.397.220	81%	85%	94%
Elektrik İşleri	1009	119	125	138	1.035.595	1.090.100	1.199.110	85%	89%	98%
Şap İmalatları	1010	26	27	30	249.755	262.900	289.190	71%	75%	83%
Alçıpan İşleri	1011	52	55	61	370.880	390.400	429.440	87%	92%	101%
Epoksi Kaplama İşleri	1012	17	18	20	163.590	172.200	189.420	65%	68%	75%
Mermer Kaplama İşleri	1013	13	14	15	114.760	120.800	132.880	68%	72%	79%
İç Mekan İzolasyon İşleri	1014	12	13	14	87.590	92.200	101.420	86%	91%	100%
Seramik İşleri	1015	17	18	20	144.970	152.600	167.860	86%	91%	100%
Kapı Montaj İşleri	1016	15	16	18	130.815	137.700	151.470	71%	75%	83%
Boya İşleri	1017	40	42	46	218.500	230.000	253.000	73%	77%	85%
Halı İmalatları	1018	24	25	28	264.670	278.600	306.460	86%	90%	99%
Mobilya ve Vitrifiye İşleri	1019	25	26	29	1.273.095	1.340.100	1.474.110	78%	82%	90%
Peyzaj İşleri	1020	52	55	61	171.190	180.200	198.220	81%	85%	94%

Çizelge 7.11 : 3 numaralı alt yüklenici alternatiflerinin olasılıksal verileri.

AKTİVİTE		3 NUMARALI ALT YÜKLENİCİ ALTERNATİFLERİ								
		SÜRE VERİLERİ			MALİYET VERİLERİ			KALİTE VERİLERİ		
		MIN	EN OLASI	MAX	MIN	EN OLASI	MAX	MIN	EN OLASI	MAX
İksa & Hafriyat İşleri	1001	95	100	110	2.460.500	2.590.000	2.849.000	65%	68%	75%
İzolasyon İşleri	1002	68	72	79	337.060	354.800	390.280	71%	75%	83%
Kaba İnşaat	1003	133	140	154	2.898.355	3.050.900	3.355.990	62%	65%	72%
Ytong Duvar İmalatları	1004	33	35	39	164.920	173.600	190.960	79%	83%	91%
Dış Cephe İşleri	1005	124	130	143	833.530	877.400	965.140	76%	80%	88%
Asansör Montajı	1006	95	100	110	522.120	549.600	604.560	76%	80%	88%
Sıva İşleri	1007	34	36	40	220.305	231.900	255.090	66%	69%	76%
Mekanik İşleri	1008	128	135	149	1.244.500	1.310.000	1.441.000	90%	95%	105%
Elektrik İşleri	1009	124	130	143	1.045.665	1.100.700	1.210.770	88%	93%	102%
Şap İmalatları	1010	30	32	35	246.620	259.600	285.560	74%	78%	86%
Alçıpan İşleri	1011	57	60	66	368.790	388.200	427.020	89%	94%	103%
Epoksi Kaplama İşleri	1012	14	15	17	159.980	168.400	185.240	62%	65%	72%
Mermer Kaplama İşleri	1013	12	13	14	112.670	118.600	130.460	66%	69%	76%
İç Mekan İzolasyon İşleri	1014	11	12	13	90.250	95.000	104.500	89%	94%	103%
Seramik İşleri	1015	15	16	18	147.250	155.000	170.500	90%	95%	105%
Kapı Montaj İşleri	1016	18	19	21	129.485	136.300	149.930	65%	68%	75%
Boya İşleri	1017	33	35	39	220.495	232.100	255.310	69%	73%	80%
Halı İmalatları	1018	29	30	33	252.510	265.800	292.380	83%	87%	96%
Mobilya ve Vitriye İşleri	1019	30	32	35	1.223.980	1.288.400	1.417.240	75%	79%	87%
Peyzaj İşleri	1020	48	50	55	172.900	182.000	200.200	78%	82%	90%

@Risk yazılımı süre, maliyet ve kalite kıstaslarına ait; en olası değerleri, %10 arttırılmış değerleri ve %5 azaltılmış değerleri “RiskTriang” formülü ile işleyerek üçgensel dağılıma uygun rassal sonuçlar üretmektedir. Bu sonuçlar, Excel üzerinde yazılım her çalıştırıldığında farklı sonuçlar üretebilmektedir.

Projedeki risk etkisinin rakamsal olarak ortaya konulabilmesi için, Evolver yardımıyla bulunan proje senaryoları tablolarından birer adet senaryo seçilmiştir. Her senaryo için; @Risk’in ürettiği olasılıksal alt yüklenici verileri, Evolver’da bulunmuş olan alt yüklenici dizilimi ile eşleştirilerek 10.000’er adet iterasyon içeren simülasyonlar çalıştırılmıştır. Simülasyonların sonucunda; Evolver’dan gelen deterministik toplam süre, maliyet ve kalite değerleri ile @Risk’in ürettiği stokastik değerler kıyaslanmıştır.

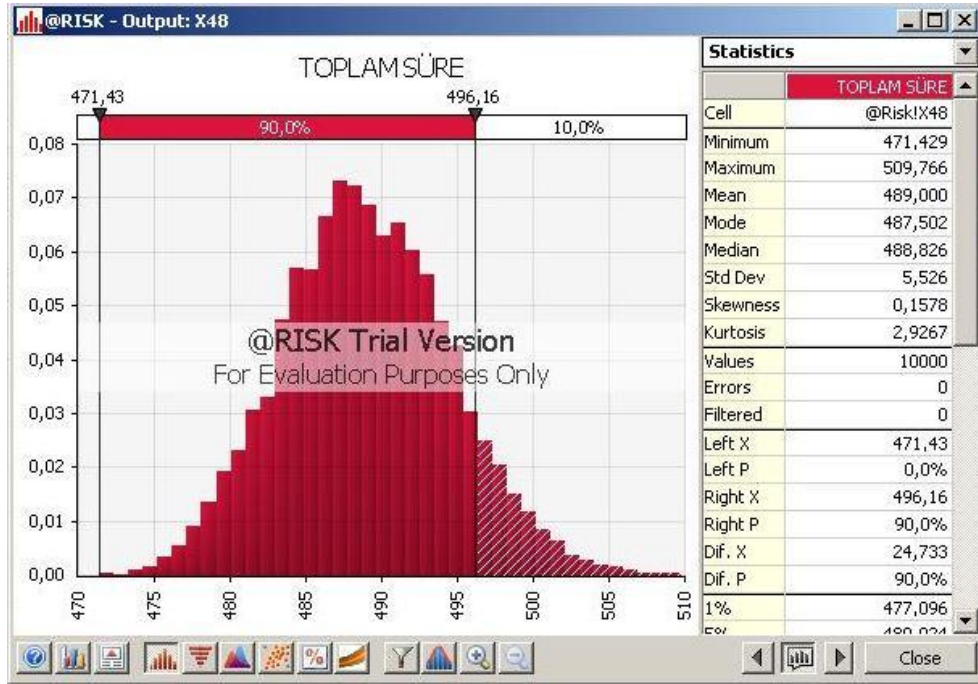
@Risk; yazılımın içinde bulunan “RiskTarget” formülü aracılığıyla süre, maliyet ve kalite kıstasları için Evolver’dan taşınan deterministik değerlerin oluşabilme olasılıklarını hesaplamaktadır. “RiskPercentile” formülü ile, istenilen bir güven aralığında süre, maliyet ve kalite kıstasları için olması en muhtemel değeri bulmaktadır. Ayrıca, aynı güven aralığında oluşan belirsizlik miktarını da göstermektedir. Seçilen senaryolar ve bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Toplam süreyi minimize eden proje senaryolarından; maliyet<14.200.000 TL ve kalite>%81 kısıtları ile oluşturulan çözüm, Senaryo 1 olarak belirlenmiştir. Senaryo 1 için Evolver’dan taşınan alt yüklenici dizilimi Çizelge 7.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.12 : Senaryo 1 için alt yüklenici dizilimi.

AKTİVİTE NO	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020
ALT YÜKLENİCİ NO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	3	1	1	2

Senaryo 1 için oluşturulan @Risk sonuçlarına göre; Evolver'dan taşınan toplam süre değeri olan 480 günün oluşabilme olasılığı %4,93'tür. %90 güven aralığında, toplam proje süresinin 496 gün olacağı tahmin edilmiştir. Yani, 16 günlük bir belirsizlik payı öngörülmüştür. Yazılımın Senaryo 1 için ürettiği sonuçlar Şekil 7.7'deki gibidir.



Şekil 7.7 : Senaryo 1 için @Risk sonuçları.

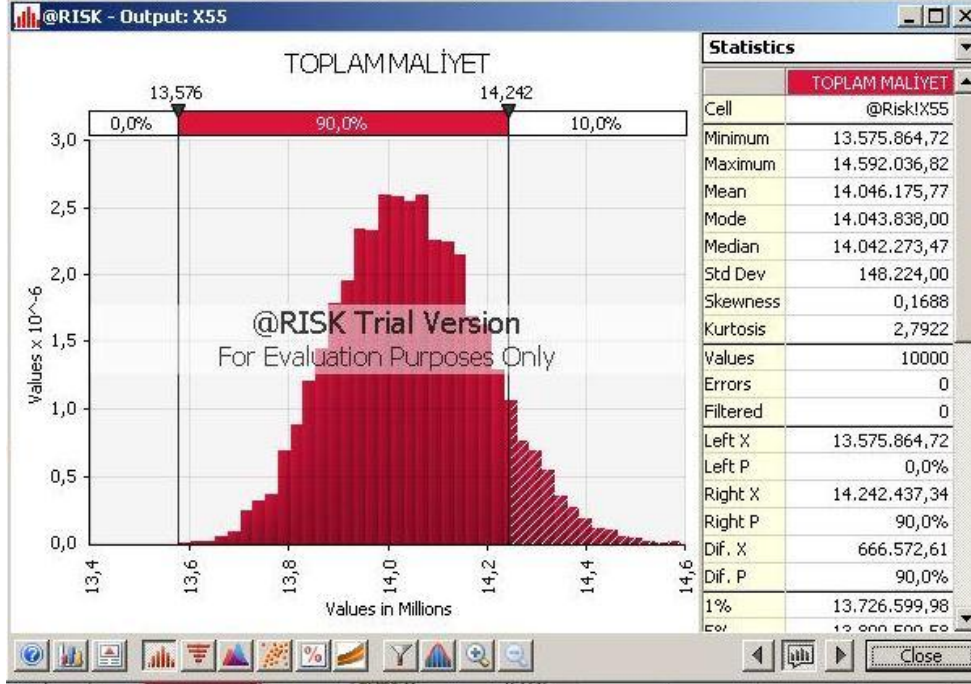
Senaryo 1'in stokastik sonuçları; toplam proje süresinin deterministik sonuçlara kıyasla daha çok olabileceğini göstererek, proje için daha olumsuz bir durum tahmin etmiştir.

Toplam maliyeti minimize eden proje senaryolarından; süre<490 gün ve kalite>%80 kısıtları ile oluşturulan çözüm, Senaryo 2 olarak belirlenmiştir. Senaryo 2 için Evolver'dan taşınan alt yüklenici dizilimi Çizelge 7.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.13 : Senaryo 2 için alt yüklenici dizilimi.

AKTİVİTE NO	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020
ALT YÜKLENİCİ NO	3	3	3	1	3	3	1	2	1	1	1	3	1	2	3	2	3	1	1	1

Senaryo 2 için oluşturulan @Risk sonuçlarına göre; Evolver'dan taşınan toplam maliyet değeri olan 13.808.700 TL'nin oluşabilme olasılığı %4,85'tir. %90 güven aralığında, toplam proje maliyetinin 14.242.437 TL olacağı tahmin edilmiştir. Yani, 433.737 TL'lik bir belirsizlik payı öngörülmüştür. Yazılımın Senaryo 2 için ürettiği sonuçlar Şekil 7.8'deki gibidir.



Şekil 7.8 : Senaryo 2 için @Risk sonuçları.

Senaryo 2'nin stokastik sonuçları; toplam proje maliyetinin deterministik sonuçlara kıyasla daha az olabileceğini göstererek, proje için daha olumlu bir durum tahmin etmiştir.

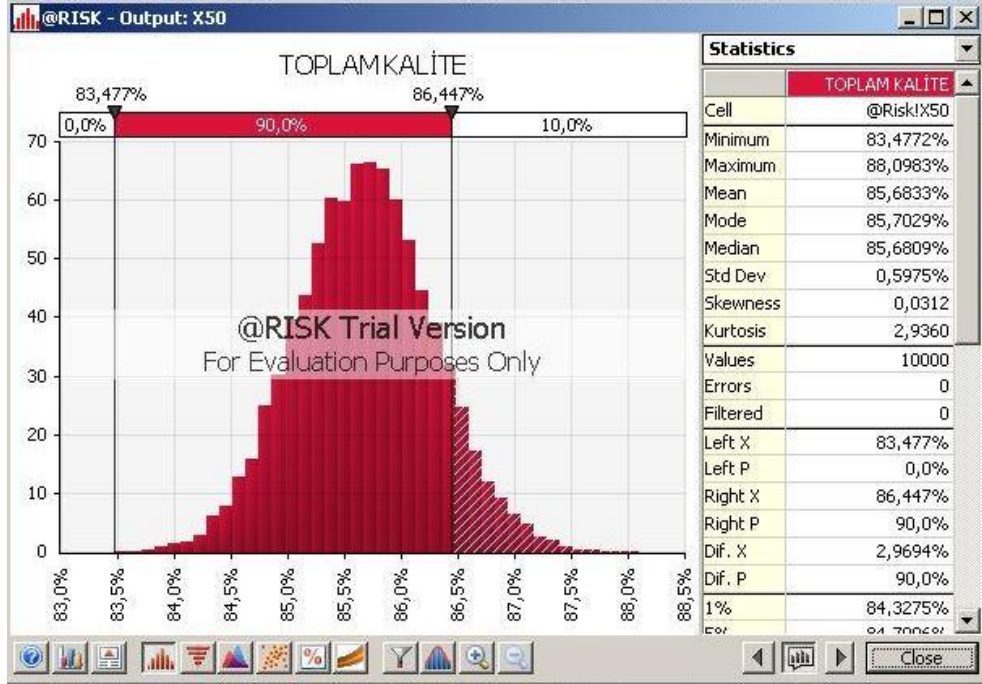
Toplam kaliteyi maksimize eden proje senaryolarından; süre<480 gün ve maliyet<14.298.500 TL kısıtları ile oluşturulan çözüm, Senaryo 3 olarak belirlenmiştir. Senaryo 3 için Evolver'dan taşınan alt yüklenici dizilimi Çizelge 7.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.14 : Senaryo 3 için alt yüklenici dizilimi.

AKTİVİTE NO	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020
ALT YÜKLENİCİ NO	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	1	1	3	3	1	1	1	1	1

Senaryo 3 için oluşturulan @Risk sonuçlarına göre; Evolver'dan taşınan toplam kalite değeri olan %84,3'ün oluşabilme olasılığı %0,87'dir. %90 güven aralığında, toplam proje kalitesinin %86,4 olacağı tahmin edilmiştir. Yani, %2,1'lik bir

belirsizlik payı öngörülmüştür. Yazılımın Senaryo 3 için ürettiği sonuçlar Şekil 7.9'daki gibidir.



Şekil 7.9 : Senaryo 3 için @Risk sonuçları.

Senaryo 3'ün stokastik sonuçları; toplam proje kalitesinin deterministik sonuçlara kıyasla daha çok olabileceğini göstererek, proje için daha olumlu bir durum tahmin etmiştir.

Çalışmada kullanılan bilgisayar yazılımlarının gerçekten doğru sonuçlar üretip üretmediğinin kontrolü; yazılım kodları üzerinden yapılamamış olsa da, üretilen sonuçların birbirleriyle olan tutarlılıkları değerlendirilerek gerçekleştirilmiştir.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

İnşaat sektöründe alt yüklenici kullanımı, yaygın olarak devam edecektir. Önemli olan, alt yüklenici seçiminde dikkatli olunması ve etkin bir alt yüklenici yönetimi süreci geliştirebilmektir.

Gittikçe zorlaşan rekabet koşulları altında inşaat projeleri; en kısa sürede, en az maliyetle ve mümkün olan en kaliteli şekilde tamamlanmak zorundadır. Bu kısıtların, bir proje yönetimi çerçevesi içinde optimize edilmesi gerekmektedir.

Aynı zamanda, proje başarısı için inşaat sektörünün barındırdığı belirsizlik ve riskler iyi belirlenmeli ve analiz edilmelidir. Firmalar; proje özelinde karşılaşılabilecek risklere karşı izleyecekleri stratejileri, risk unsurları gerçekleşmeden oluşturmalarıdır.

Projede kullanılması gereken optimum alt yüklenici diziliminin belirlenmesinde, GA ile çalışan Evolver yazılımının kullanılabileceği görülmüştür. İlgili yöntem ve yazılım, manuel olarak çözülemeyecek binlerce kombinasyon arasında optimal bir çözüm üretmiştir. Kullanılan yazılımda önemli olan husus, proje kısıtlarının doğru belirlenmesidir. Süre, maliyet ve kalite kısıtlarının tamamının en olumlu değerini içeren bir çözüm kümesi olamayacağı için, bu noktada proje yöneticisinin ilgili çözümler arasından bir karar vermesi gerekmektedir.

İnşaat projelerinin başlangıcında oluşturulan; iş programındaki sürelerin, bütçedeki maliyetlerin ve teknik şartnamelerdeki kalite düzeylerinin proje sonunda sapmaya uğradığı vurgulanmıştır. Bundan hareketle; optimizasyon çalışmasında yer alan bu verilere, MCS ile çalışan @Risk yazılımı yardımıyla risk faktörü etkisi eklenmiştir. Simülasyon sonuçlarında; toplam proje süresi, maliyeti ve kalitesi değerlerinde olumlu ve olumsuz sapsmalar olabileceği gözlemlenmiştir.

İnşaat sektörü açısından; bu çalışmada elde edilen sonuçların, ihale teklif süreçlerinde yüklenici firmaların alt yüklenici seçim planlaması yapmalarını kolaylaştırması beklenmektedir. Ayrıca, devam eden inşaat projelerinde alt yüklenici yönetimi olgusunun; süre, maliyet ve kalite çerçevesi açısından daha iyi

yorumlanmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Bunların yanında, inşaat sektöründeki risk ve belirsizliklere karşı önlem alınması için, bir farkındalık oluşturulmaya çalışılmıştır.

Akademik açıdan ise; Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu yöntemleri, inşaat projeleri optimizasyonu ve risk değerlendirmesinde kullanılmıştır. Sektörel yazılımlar da kullanılarak, 3 kistaslı bir çoklu karar verme yöntemi oluşturulmuştur. Konunun; gerek gerçek bir inşaat projesini örnekleme, gerekse alt yüklenici seçim kistasları ile harmanlanmasının Türk inşaat sektörü literatürüne katkıda bulunacağı düşünülmüştür.

Vaka çalışmasında kurulan model; ileride yapılacak olan yeni akademik çalışmalarda daha da geliştirilebilir niteliktedir. Çalışmanın bir adım daha ileri taşınabilmesi için problemin niteliğine göre; aktivite listesinin genişletilmesi, daha fazla alt yüklenici alternatifi eklenmesi, karar verme kistaslarının arttırılması ve çözümlerin daha gelişmiş yazılımlar ile yapılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

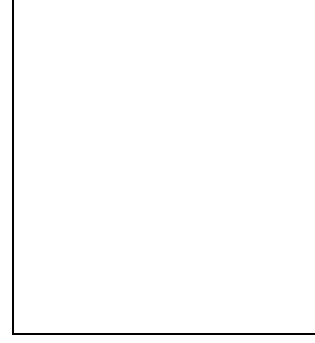
- [1] **Kasapoğlu, E.** (1992). İnşaat Sektöründe Alt Yüklenici Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] **Köseokur, H.** (2007). İnşaat Sektöründe Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Alt Yüklenici Seçimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] **Küçük, M. A.** (1995). İnşaat Sektöründe Alt Yüklenici Davranışları, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] **Özkul, S.** (1996). Türkiye’de İnşaat Sektöründe Alt Yüklenicilik Sisteminin İşleyişinde Ana Yüklenici Firma Alt Yüklenici Firma İlişkilerinde Şantiye Örgüt Yapısı İçerisinde Yaşanan Sorunlar, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] **Thomas, H. R. ve Flynn C. J.** (2011). Fundamental Principles of Subcontractor Management. *ASCE Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 16, 106-111.
- [6] **Demirci, G.** (2009). İnşaat Projeleri İhalelerinde Yüklenici/İstekli Yeterlilik Değerlendirme Sistemi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] **Hartmann, A., Ling, F. Y. Y. ve Tan, J. S. H.** (2009). Relative Importance of Subcontractor Selection Criteria: Evidence from Singapore. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 135, 826-832.
- [8] **Eom, C. S. J., Yun, S. H. ve Paek, J. H.** (2008). Subcontractor Evaluation and Management Framework for Strategic Partnering. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 134, 842-851.
- [9] **Evman H. S.** (1999). Alt Yüklenici Seçimi Açısından Uluslararası Anahtar Teslimi Bir İhalenin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] **İşçioğlu, Y.** (2011). Bulanık Mantık Çözümleme Yöntemi ile Bir Konut Projesinde Süre – Maliyet – Kalite Optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] **Gökyiğit, E.** (2013). Türk İnşaat Sektöründe 4 Boyutlu (4D) Modellemenin Uygulanabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] **Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi** (2014). MIM 802 Şantiye Yönetimi Ders Notları.
- [13] **Türkay, M.** (2006). Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metodları, Koç Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

- [14] **Karaman, E. ve Kale, S.** (2007). Bulanık Hedef Programlama Yöntemi ile Süre-Maliyet-Kalite Eniyilemesi, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi.
- [15] **Wu, J. ve Ming, X.** (2009). A Case Study of Time-quality-cost Tradeoff in Logistics Service Management Based on Rough Sets Theory, *International Conference on Transportation Engineering 2009*.
- [16] **Cristobal, J. R. S.** (2009). Time, Cost, and Quality in a Road Building Project. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 135, 1271-1274.
- [17] **Heravi, G. ve Nezhad, S. F.** (2012). A Group Decision Making for Stochastic Optimization of Time-Cost-Quality in Construction Projects. *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering*.
- [18] **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*.
- [19] **El-Rayes, K. ve Kandil A.** (2005). Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 131, 477-486.
- [20] **Uğur, L. O.** (2006). İnşaat Sektöründe Riskler ve Risk Yönetimi, Türkiye Müteahhitler Birliği, Seminer Notları.
- [21] **Kuşan, H.** (2009). İnşaat Projelerinde Risklerin Bulanık Mantık Modeli ile Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] **Gürer, E. E.** (2008). Türkiye İnşaat Sektörü için Bir Risk Yönetim Modeli, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23] **Kaya, Ö.** (2010). Türk İnşaat Sektöründe Risk Analizi ve Yönetiminin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] **Akyıldız, B.** (2010). Anahtar Teslim-Sabit Fiyat Sözleşme Usulünce Alınan Bir Projenin Risk Değerlendirilmesinin Yapılması için Metot Önerisi ve Örnek Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] **Düzcan, M.** (2010). Uluslararası İhalelerde Risk Priminin Saptanmasında Bulanık Mantık Yaklaşımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] **İlhan, C.** (2010). Anahtar Teslimi Mühendislik-Satınalma-Yapım Sözleşmelerde Bir Risk Yönetimi Sistematiği Geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] **Şener, B.** (2012). İnşaat Şirketlerinde Riskin Algılanması ve Risk Azaltıcı Tedbirler, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28] **Paksoy, S.** (2007). Genetik Algoritma İle Proje Çizelgeleme, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [29] **Doğan, S.** (2006). İçme ve Kullanma Suyu Şebekelerinin Genetik Algoritmayla Boyutlandırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [30] **Polat, A.** (2006). Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Çok Amaçlı Optimizasyonu, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [31] **Karlı, N.** (2010). Akıllı Ulaşım Sistemleri için Yapay Bağışıklık Sistemleri ve Genetik Algoritma ile Yeni Stokastik En Kısa Yol Algoritmalarının Geliştirilmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [32] **Dündar, S.** (2009). Demiryolu Trafik Kontrolü Probleminin Genetik Algoritmalarla Çözümü, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [33] **Ayvaz, M. T.** (2008). Heterojen Bir Akiferde Pompaj Kuyu Karakteristiklerinin Genetik Algoritma ile Belirlenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [34] **Erdoğan, Y. S.** (2007). Genetik Algoritmalar Kullanılarak Sonlu Eleman Güncellemesi Yöntemiyle Hasar Tespiti ve Parametre Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35] **Akoğlu, K.** (2006). Konteyner Limanının Depolama Sahasının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [36] **Erdal, M.** (2007). Kısıtlı Kaynak Koşullarında Yapı Projelerinin Genetik Algoritma ile Programlanması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [37] **Kısıklı, C.** (2009). İçme Suyu Şebekelerinde Kayıp ve Kaçakların Genetik Algoritma Yöntemi ile Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [38] **Çetinkaya, E.** (2006). Genetik Algoritma Yöntemi ile Borulu Sulama Şebekelerinin En İyilenmesinde Ceza İşlevinin Uygulanması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39] **Şeker, T.** (2008). Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [40] **Toklu, Y. C., Arditi, D. ve Çotuk, T. A.** (2005). Alışılmış Yöntemlerle İş Planlamasında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, 3. *Yapı İşletmesi Kongresi, İzmir*.
- [41] **Que, B. C.** (2002). Incorporating Practicability into Genetic Algorithm-Based Time-Cost Optimization. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 128, 139-143.
- [42] **Uygunoğlu, T. ve Yurteu, Ş.** (2006). Yapay Zeka Tekniklerinin İnşaat Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.
- [43] **Senouci, A. B., Eldin, N. N.** (2004). Use of Genetic Algorithms in Resource Scheduling of Construction Projects. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 130, 869-877.
- [44] **Dayanç, C.** (2011). Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB) Risk Analizi ile Performans Tahmini, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [45] **Yıldız, N.** (2011). Pozitronların Bakır Ortamdan Geçiş Olasılıklarının Monte Carlo Yöntemi İle İncelenmesi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [46] **Ustaoglu, M.** (2008). Monte Carlo Simülasyonu Yaklaşımıyla Kuyruk Teorisinin İncelenmesi ve Otomotiv Sektörü Üzerine Bir Uygulama, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [47] **Tandoğan, M.** (2009). Monte Carlo Metodu ile İnce Filmlerde Kristal Yapının Oluşmasının İncelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [48] **Budak, G.** (1992). X-Işını Floresans Tekniğinde Dairesel Numunelerde Şiddet Dağılımının Ölçülmesi ve Monte Carlo Yaklaşımı, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [49] **Taşar, E.** (2010). Monte Carlo Stokastik Optimizasyonu ile Optimal Saklama Payı Seviyesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [50] **Balos, Y.** (2010). Topraktaki Radyonüklitler için Etkin Doz Dönüşüm Katsayılarının Monte Carlo Yöntemi ile Hesaplanması, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [51] **Dawson, P. J.** (1997). A Hierarchical Approach to the Management of Construction Project Risk, University of Nottingham.
- [52] **Özkan, O.** (2010). Monte Carlo Simülasyonu ile Varyans Risk Primi Hesaplaması, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [53] **Menteş, K.** (2009). Yapısal Sistemlerin Göçme Olasılığının Monte Carlo Yaklaşımı ile Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [54] **Özmaden, M. Ş.** (2010). Çok Katlı Yapılarda Bina Tanımlayıcı Özellikleri Kullanılarak Monte Carlo Simülasyon Yöntemi ile Maliyet Tahmini, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [55] **Günay, S.** (2012). Yapısal Güvenilirliğin Simülasyon Yöntemi ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [56] **Aydemir, C.** (2011). Betonarme Kolonların Eğilme Momenti Kapasitelerinin Dayanım Fazlalığı ve Malzeme Özelliklerindeki Belirsizlikler Dikkate Alınarak Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [57] **Çalık, İ.** (2005). Yapay Sinir Ağları ve Monte Carlo Benzeşimi ile Mersin Limanının Yük Trafığı ve Gelir Tahmini, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [58] **Url-1** <http://www.palisade.com/decisiontools_suite>, alındığı tarih: 15.04.2014.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Barış KAPLAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Balıkesir, 19.05.1984

Adres: Çamlık Mahallesi, Ümraniye/İstanbul

E-Posta: bariskaplan@yahoo.com

Lisans: İnşaat Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi (2007)

Yüksek Lisans : Yapı İşletmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi (2014)