



**İNŞAAT PROJELERİNDE META-SEZGİSEL
ALGORİTMALAR İLE SÜRE-MALİYET-KALİTE
ÖDÜNLEŞİM PROBLEMLERİNİN OPTİMİZASYONU**

Moslem NOORI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNŞAAT PROJELERİNDE META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE SÜRE-
MALİYET-KALİTE ÖDÜNLEŞİM PROBLEMLERİNİN OPTİMİZASYONU**

Moslem NOORI
0000-0002-5501-8203

Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT PROJELERİNDE META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE SÜRE- MALİYET-KALİTE ÖDÜNLEŞİM PROBLEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Moslem NOORI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN (İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa)

Günümüzde iş dünyasında çok sayıda inşaat şirketinin bulunması ve inşaat sektörünün yatırımlarının genelde büyük projeler olması nedeniyle yoğun bir rekabet ortaya çıkmıştır. İnşaat projeleri gittikçe daha karmaşık ve uygulaması daha zor olmaktadır. Bu nedenle yöneticilerin projeleri en küçük ayrıntısına kadar planlayabilmesi gerekmektedir. Uygulamaların karmaşıklığı ve sınırlı kaynaklar nedeniyle inşaat şirketlerinin ana hedefleri olan projelerde süre ve maliyeti planlanan düzeylerde tutmaktır. Son yıllarda proje paydaşlarının talepleri ile proje uygulama kalitesinin de sözleşmelerde yer alması dikkat çekici bir durumdur. Proje yöneticilerinin temel endişelerinden biri projeleri en kısa sürede, yüksek kalitede ve yüksek kar elde etmek için en düşük maliyetle projeyi tamamlamaktır. Bu nedenle süre, maliyet ve kalite dengelenmesi hem projeyi başarıyla sonuçlandırmak ve hem de rekabet için çok önemli rol oynamaktadır.

İnşaat projelerinde süre, maliyet ve kalite arasında karmaşık bir ilişki ve tümleşik NP-hard bir problem oluşmaktadır. Söz konusu faktörler arasında seçim oldukça zordur. Son yıllarda karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek ya da çözüme en yakın sonuca ulaşmak için algoritmalar geliştirilmektedir. Optimizasyon problemlerinin en olası ve optimum çözümlerine ulaşmak için sosyal hayattan ya da doğal sistemler ile benzerlikleri olan doğadan türetilen meta-sezgisel algoritmalar daha fazla ilgi görmektedir. Bu tez kapsamında inşaat projelerindeki süre- maliyet- kalite ödünleşim problemine en yakın çözüm elde etmek için yeni ve güçlü meta-sezgisel algoritmalarından biri olan guguk kuşu arama algoritması kullanılmıştır. Tez çalışmasında guguk kuşu arama algoritması ile en iyi ya da en yakın sonuçları en kısa sürede elde etmek amaçlanmıştır. Sonuçlar tez hedeflerine ulaşıldığını göstermektedir. Tez çalışması sonuçlarında elde edilen çözümler diğer algoritma çözümleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnşaat projeleri, Optimizasyon, Süre, maliyet ve kalite ödünleşimi, Meta-sezgisel algoritmalar, Guguk kuşu arama algoritması

2021, viii + 106 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

OPTIMIZATION OF TIME-COST-QUALITY TRADE-OFF PROBLEMS USING META-HEURISTIC ALGORITHMS IN CONSTRUCTION PROJECTS

Moslem NOORI

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan SAĞIROĞLU

Second Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ömer GİRAN (Istanbul University-Cerrahpasa)

Today, an intense competition has arisen due to the fact that there are many construction companies in the business world and the investments of the construction sector are generally large projects. Construction projects are increasingly complex and more difficult to implement. Therefore, managers must be able to plan the project down to the smallest detail. Due to the complexity of implementations and limited resources, it is to keep time and cost at the planned levels in projects, which are the main goals of construction companies. It is remarkable that the demands of the project stakeholders and the quality of project implementation have also been included in the contracts in recent years. One of the main concerns of project managers is to complete the project in the shortest time, with high quality and the lowest cost to achieve high profits. For this reason, balancing time, cost and quality plays a very important role both for the successful completion of the project and for competition.

In construction projects, a complex relationship between time, cost and quality and an integrated NP-hard problem occurs. It is very difficult to choose among the factors in question. In recent years, algorithms have been developed to solve complex and optimization problems or to reach the closest solution to the solution. In order to reach the most possible and optimum solutions of optimization problems, meta-heuristic algorithms derived from social life or nature, which have similarities with natural systems, attract more attention. Within the scope of this thesis, one of the new and powerful meta-heuristic algorithms, the cuckoo search algorithm, has been used to obtain the closest solution to the time-cost-quality trade-off problem in construction projects. In the thesis, it was aimed to obtain the best or the closest results in the shortest time with the cuckoo search algorithm. The results show that the thesis objectives have been accomplished. The solutions obtained in the results of the thesis were compared with other algorithm solutions.

Key words: Construction projects, Optimization, Time cost and quality trade-off, Meta-heuristic algorithms, Cuckoo search algorithm

2021, viii + 106 pages.

TEŞEKKÜR

Hayatın diğer aşamalarını başarıyla tamamlama başarısını bana verdiği için Allah’a şükür ederim. Bu araştırmayı Allah’ın lütfu ve ilgisiyle tamamladım ve bana bir şekilde yardımcı olan tüm sevdiklerime teşekkür etmeyi borçlu ve görevim olarak görüyorum.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini paylaşmaya esirgemeyen değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU teşekkürlerimi sunarım.

Öncelikle değerli hocamdan ikinci danışman olarak kabul ettiği için şükranlarımı sunarım. Yüksek lisans tez aşama boyunca değerli zamanını ayırıp kıymetli tavsiyelerini ve bilgilerini esirgemeyen ikinci tez danışmanım değerli hocam sayın Dr.Öğr. Üyesi Ömer GİRAN teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında beni her zaman destekleyen ve özellikle öğrenim döneminde bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve hayatımın tüm başarıları iyi dualarıyla elde ettiğim sevgili anne ve babama şükranlarımı sunarım. Allah’tan sevgili anneme, babama ve kardeşlerime sağlığı, mutluluğu ve gönül rahatlığı dilerim.

Moslem NOORI

27/04/2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Proje	5
2.2. Proje Yönetimi	6
2.3. İnşaat Proje Yönetimi.....	10
2.4. Proje Süre Yönetimi.....	11
2.4.1. Proje Planlama Teknikleri.....	12
2.4.2. Proje Planlama Tekniklerinin Avantajları.....	13
2.4.3. Şebeke Diyagramı	14
2.4.4. Kritik Yol Metodu (CPM).....	14
2.5. Proje Maliyet Yönetimi.....	17
2.6. Proje Kalite Yönetimi	21
2.6.1. Kalite Yönetim Süreçleri.....	23
2.6.2. Kalite Ölçümü	23
2.7. Kalite Kontrolü.....	24
2.8. Kalite Maliyetleri	24
2.9. Süre-Maliyet Ödünleşimi	25
2.10. Süre-Maliyet- Kalite Ödünleşimi.....	31
2.11. Kaynak Araştırması.....	36
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	42
3.1. Optimizasyon	42
3.1.1. Sezgisel Yöntemler	43
3.1.2. Matematiksel Yöntemler	43
3.1.3. Evrimsel Algoritmalar.....	43
3.2. Optimizasyon Modellemesinin Aşamaları	44
3.3. Optimizasyon Problemleri	45
3.4. Optimizasyon Algoritmaları.....	48
3.4.1. Deterministik Optimizasyon Algoritmaları	49
3.4.2. Stokastik Optimizasyon Algoritmaları.....	49
3.5. Meta-sezgisel Yöntemi	50
3.5.1. Meta-sezgisel Algoritmaların Özellikleri.....	53
3.5.2. Meta-sezgisel Algoritmaların Sınıflandırılması.....	54

3.6. Guguk Kuşu Arama.....	55
3.6.1. Guguk Kuşları ve Eşsiz Yaşam Biçimi.....	56
3.6.2. Guguk Kuşu Arama Algoritması	56
3.6.3. Guguk Kuşu Arama Algoritmasının Adımları ve Kodlama	58
3.7. Araştırmada Yer Alan Adımlar	59
3.8. Optimizasyon Modelinin Oluşturulması.....	61
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	67
4.1. Birinci Vaka Çalışması	67
4.2. İkinci Vaka Çalışması	77
5. SONUÇ	83
KAYNAKLAR	85

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

<i>C</i>	Cost
<i>Q</i>	Quality
<i>T</i>	Time

Kısaltmalar Açıklama

AHP	Analytic Hierarchy Process
AOA	Activity on Arrow
AON	Activity on Node
CPM	Critical Path Method
CS	Guguk kuşu arama algoritması (Cuckoo Search)
DE	Differential Evolution
DICS	Discrete Integer Cuckoo Search
DPSO	Discrete Particle Swarm Optimization
DTCT	Discrete Time Cost Trade off
DTCTP	Discrete Time Cost Trade off problem
ER	Evidential Reasoning
FCGA	Fuzzy Clustering-based Genetic Algorithm
GA	Genetic Algorithm
GERT	Graphical Evaluation and Review Technique
IHS	Improved Harmony Search
MADS	Mesh Adaptive Direct Search
MCDM	Multi Criteria Decision Making
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MOABCDE	Multiple Objective Artificial Bee Colony with Differential Evolution
MOGA	Multi Objective Genetic Algorithm
MOPSO	Multi Objective Particle Swarm Optimization
MOCS	Multi Objective Cuckoo Search
NP-Hard	Non-Polynomial Hard
NSGA-II	The Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm
PMBOK	The Project Management Body of Knowledge
PDM	Precedence Diagram Method
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PSO	Particle Swarm Optimization
ICB	IPMA Competence Baseline
TCT	Time Cost Trade-off
TCQT	Time Cost Quality Trade-off
TKY	Toplam Kalite Yöntemi
WBS	Work Breakdown Structure
QFD	Quality Function Deployment

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Proje yönetimine genel bakış	8
Şekil 2.2. Proje bileşenlerin dengesi	9
Şekil 2.3. Proje planlama teknikleri	13
Şekil 2.4. AOA ve AON diyagramları	15
Şekil 2.5. Farklı inşaat maliyetlerinin özetlenmesi	20
Şekil 2.6. Kalite maliyetleri ve uygunluk kalitesi arasındaki ilişkisi	25
Şekil 2.7. Süre-maliyet ilişkilerinin türleri.....	26
Şekil 2.8. Aktivite için doğrusal süre, maliyet ödünleşiminin gösterimi.....	27
Şekil 2.9. Aktivite için lineer olmayan süre-maliyet ödünleşimin örneği.....	27
Şekil 2.10. Bir aktivite için ayrık süre-maliyet ödünleşimin örneği	28
Şekil 2.11. Proje süre-maliyet ilişkisi	28
Şekil 2.12. Dolaylı maliyet-süre ilişkisi.....	29
Şekil 2.13. Yeni sözleşme yöntemlerinin karar almaya etkisi	32
Şekil 2.14. Süre, maliyet ve kalite grafikleri	34
Şekil 2.15. Projenin kalite -süre ilişkisi	34
Şekil 3.1. Optimizasyon problemlerinin dalları	46
Şekil 3.2. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması	48
Şekil 3.3. Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması	49
Şekil 3.4. Guguk kuşundan yumurta taklidi.....	55
Şekil 3.5. Guguk kuşunun ilk ev sahibi yuva konumları	59
Şekil 3.6. Süre-maliyet-kalite ödünleşim optimizasyon modeli	62
Şekil 3.7. Model uygulama akış şeması.....	65
Şekil 3.8. Uygulama CPM şebekesi.....	66
Şekil 4.1. Vaka-2 uygulama CPM şebekesi.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Kritik yol yönteminin avantajları ve dezavantajları.....	16
Çizelge 4.1. Başlangıç parametreleri	67
Çizelge 4.2. Uygulama verileri	68
Çizelge 4.3. Uygulama verileri	68
Çizelge 4.4. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif	69
Çizelge 4.5. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar.....	70
Çizelge 4.6. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar.....	71
Çizelge 4.7. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar.....	72
Çizelge 4.8. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar.....	73
Çizelge 4.9. El-Rayes ve Kandil'in Sonuçları	74
Çizelge 4.10. Basitleştirilmiş model Mahmoud Mohamed El Bassuony'nin sonuçları ..	74
Çizelge 4.11. Yashar Armaghani'nin GA-SA sonuçları	75
Çizelge 4.12. Mongle ve ark.2013 makalesinin sonuçları	75
Çizelge 4.13. Vaka-1 sonuçlarını diğer algoritmalar ile kıyaslaması	76
Çizelge 4.14. Vaka-2 için birinci alternatifleri.....	77
Çizelge 4.15. Vaka-2 için ikinci alternatifleri.....	78
Çizelge 4.16. Vaka-2 için üçüncü alternatifleri	78
Çizelge 4.17. Sözel terimler için kalite değerleri	79
Çizelge 4.18. Vaka-2 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar.....	79
Çizelge 4.19. Vaka-2 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar.....	80
Çizelge 4.20. Vaka-2 için CS algoritma ile farklı iterasyonlarda optimum çözümler	81
Çizelge 4.21. Vaka-2 sonuçlarını diğer algoritmalar ile kıyaslaması	82

1. GİRİŞ

Günümüzde inşaat sektörü, yüksek talep gören ve en çok ihtiyaç duyulan sektörler arasında yer almaktadır. Hemen hemen her ülkede ekonominin büyük bir kısmını inşaat sektörü oluşturmaktadır. İnşaat firmalarının ve müteahhitlerin sayısı gittikçe daha fazla olmaktadır. İnşaat projelerinin ihalelerine katılan ve davet edilen firmalar arasında rekabet her geçen gün daha şiddetli olmaktadır. Firmaların ihalelerde sundukları fiyat tekliflerindeki küçük farklılıklar neticeyi değiştirebilmektedir. Bu nedenle proje yöneticileri projeyi en küçük ayrıntısına kadar planlayabilmeli ve proje en kısa sürede, minimum maliyetle ve en iyi kalitede yapılmalıdır. Bu ise firmaların karının minimum olmasına sebep olur. Ayrıca projenin uygulanması sırasındaki risk yüksektir. Proje yöneticileri iş programı yapılırken kaynakları uygun şekilde tahsis edip, en iyi kararı seçmeye çalışmaktadırlar. Bu hedeflere ulaşmak için doğru yaklaşımı seçmek esastır. En yaygın yaklaşımlardan biri ödünleşim tekniğini kullanmaktır.

Paydaşlar ve işverenler tarafından projelerin minimum maliyet ile en kısa sürede yapılması istenir. Projenin süresi ne kadar az ise proje maliyeti o kadar yüksek olacaktır. Projenin aktivitelerini hızlandırmak için daha fazla insan gücü, daha verimli ekipman ve dolayısıyla daha fazla maliyet gerekmektedir. Bu nedenle teknoloji ve doğru yöntemleri kullanarak projenin süresi ve maliyeti arasında bir denge oluşturulması amaçlanır. Süre-maliyet dengesini çözmek için kritik yol yöntemi önerilen ilk çözümdür. Önerilen yöntemle en kısa tamamlanma süresi hesaplanır ve kritik aktivitelerin kritik yol analizi yapılır. Ayrıca süre-maliyet denge analizi için bir çerçeve sağlamaktadır. Bu yöntemde, aktivite için mevcut maksimum süre harcadığı süreye eşitse o aktiviteye kritik yol denilir ve ertelenmesi tüm projenin gecikmesine neden olmaktadır (Kelley ve Walker 1959). Projenin başarısını ölçmek için kalite en önemli faktörlerinden biridir. Proje maliyetini arttırarak proje aktivitelerini tamamlamak için gereken süreyi azaltmak kaliteyi etkileyebilmektedir. Dolayısıyla bu yöntemde kalite boyutu dikkate alınmadığı için eski yöntemler yeterli değildir. Yöntemi geliştirmek için birçok çaba gösterilmiştir. Çabaların çoğu, proje süresini azaltma algoritmasını iyileştirmeye veya süre ile maliyet arasında doğrusal bir ilişki varsayımını serbest bırakmaya odaklanmıştır (Khang ve Myint 1999).

1996 yılında Babu ve Souresh tarafından ilk kez süre ve maliyet kriterlerinin her bir aktivite kalitesine ve dolayısıyla projenin nihai kalitesine etkili olacağı tartışılmıştır. Böylece proje yönetimi araştırmalarında süre-maliyet-kalite dengesi ortaya çıkmaktadır. Araştırmalara göre projelerin aktiviteleri normal bir sürede yapıldığında kabul edilebilir bir kalite elde edilmektedir. Ancak acele ve erken bitirme nedeniyle süre kısaltıldığında kalite düşmektedir. Son yıllarda inşaat projelerinde, projelerin hem süresini ve maliyetini en aza indirmek hem de kalitesini en üste yükseltmek için çeşitli yöntemler sunulmaktadır. Proje uygulama yöntemlerinin seçiminde kalitenin bir optimizasyon kriteri olarak görülmesi son zamanlarda ciddi bir ilgi görmektedir. Müşteri ve paydaş memnuniyeti için proje kalitesi en önemli konulardan biridir ve projenin başarı oranı proje paydaşlarının memnuniyetine ve kalitesine bağlıdır. Bu nedenle paydaşların ihtiyaçlarını karşılamak için süre- maliyet denge modellerine kalite boyutunun eklenmesi çok önemlidir. Böylece projenin kalitesini artırmaya yönelik yeni mühendislik sözleşmeleri ortaya çıkmıştır (Golchin 2016).

Günümüzün rekabetçi dünyasında, projeleri mümkün olan en kısa sürede, minimum maliyetle ve maksimum kalitede tamamlama çabası vardır. Her inşaat projesinin aktiviteleri için farklı süre, maliyet ve kalite seçenekleri mevcut olmaktadır. İnşaat projelerinde süre-maliyet-kalite dengelenmesi çok karmaşık bir ilişkiye neden olmaktadır ve oldukça zordur. Mühendislikte pek çok optimizasyon problemi, matematiksel programlama ve benzeri gibi geleneksel optimizasyon yöntemleriyle çözülebilecek olanlardan daha karmaşıktır ve çözümleri oldukça zordur. Ana zorluklardan biri bu hedeflere ulaşmak için doğru yaklaşımı seçmektir. Bu durumda en yaygın yaklaşımlardan biri dengeleme tekniğini kullanmaktır. Bu nedenle bu tür problemler akıllı yöntemler ile çözülmeye çalışılmaktadır. Optimizasyon problemleri için bu akıllı yöntemlerden biri meta-sezgisel algoritmalarıdır. Meta-sezgisel yöntemler genel olarak sosyal hayattan ya da doğadan ilham alan algoritmalarıdır. Meta-sezgisel yöntemlerde şimdiye kadar birçok algoritmalar önerilmiştir ve önerilen algoritmaların sayısı gittikçe artmaktadır. Bu çalışmada, inşaat projelerindeki kilit rolüne göre maliyet, kalite ve süre faktörlerinin dengesinin araştırılması ve optimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, özellikle inşaat projelerinde proje faaliyetlerinin optimum süre, maliyet ve kalite kombinasyonunu bulmak için uygun bir yaklaşımın seçilmesi bu çalışmanın amaçları arasındadır. Bu

araştırmada en güçlü ve en hızlı meta-sezgisel yöntemlerden olan guguk kuşu arama algoritması kullanılmıştır.

Guguk kuşu arama (Cuckoo Search) (CS) algoritması Yang ve Deb tarafından 2009 yılında önerilmiştir. Başlangıçta sürekli optimizasyon problemlerini ve çok modlu fonksiyonları çözmek için tasarlanmış bir meta-sezgisel arama algoritmasıdır. Guguk kuşu arama algoritmasının, birçok sayısal test fonksiyonunun genel bir optimumunu bulmada Genetik Algoritma (GA) ve Particle Swarm Optimization (PSO) gibi diğer algoritmalarından üstün olduğu gösterilmiştir. Guguk Kuşu Arama Algoritması (CS) mühendislik optimizasyon problemleri uygulamalarında, etkin çözümler ürettiği gözlemlenmiştir (Yang ve Deb, 2009; Yang, 2010). CS, iki parametreye sahip olduğu için daha az karmaşık ve potansiyel olarak daha genel bir algoritmadır. Diğer algoritmalarından daha ince ayar yapmak için daha az kontrol parametresine sahiptir. Ayrıca, belirli bir sorun için kontrol parametrelerinin ince ayarına gerek yoktur. Bu nedenle CS, NP-hard açısından zor optimizasyon sorunları için daha genel ve sağlamdır (Yang ve Deb 2009). CS'nin farklı optimizasyon problemlerindeki birçok uygulaması, ümit verici etkinliğini göstermiştir. Örneğin hem yay tasarımı hem de kaynaklı kiriş tasarım problemleri için literatürdeki mevcut çözümlerden daha iyi çözümler elde etmiştir (Yang ve Deb, 2010). Guguk kuşu arama optimizasyonu aynı zamanda şirketler için optimizasyon ve uygulamalar alanında bir çözümdür (Yang ve diğerleri, 2012).

Literatürde yer alan araştırmalar CS'nin diğer algoritmalar ile kıyasladığında daha hızlı ve daha az tekrarlama ile en uygun sonuçlara ulaştığını göstermiştir. CS çeşitli alanlarda ve çeşitli problemleri çözmek için uygulanmıştır. Kafes yapılarının optimizasyon problemleri (Gandomi ve ark. 2012) ve diğer bazı yapı optimizasyon problemleri (Gandomi ve ark. 2013) için kullanılmıştır. Roozitalab ve Asgharizadeh (2013) makalesinde garanti süresini belirleyerek gelir elde etmek ve müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkarmak için guguk kuşu algoritmasını kullanmıştır. Ayrıca Kaveh ve Bakhshpoori (2011) tarafından çelik yapısal optimizasyon problemlerinde de kullanılmıştır. Son yıllarda guguk kuşu arama algoritması çeşitli problem alanlarında ilgi görmektedir.

Jati ve ark. (2012) makalesinde CS'nin ayrık problemlerdeki potansiyelini araştırmıştır. Elde edildiği sonuçlara göre guguk kuşu basit TSP (Travelling Salesman Problem) örneklerinde çok iyi performans göstermiştir. Ancak diğer bazı örneklerde yerel optimum çözümlere hapsolabileceği görülmüştür.

Walton ve ark. (2011)'nin makalesinde değiştirilmiş CS (modified cuckoo search algorithm) (MCS) sunulmuştur. Araştırmada modifikasyonların etkilerini test etmek için üç değişik optimizasyon kıyaslama fonksiyonu kullanmıştır ve elde ettiği sonuçlara göre değiştirilmiş guguk kuşu algoritması bazı örneklerde CS'den ve diğer algoritmalarından da daha iyi performans göstermiştir. MCS algoritmasında yerel optimum çözümlere hapsolmaması için adım boyutu için yeni formülasyon kullanılmıştır. Dolayısıyla çok sayıda boyutta gerçek global minimuma yüksek bir yakınsama oranı göstermiştir. Değiştirilmiş guguk kuşu algoritmasının üstün performansı, global olarak arama yapmaya devam ederken aynı anda yerel bir aramayı iyileştirme kabiliyetinden kaynaklanmaktadır. Bu yüksek yakınsama oranı, gradyan içermeyen optimizasyonların iyi bilinen avantajlarıyla birleştirildiğinde, MCS'nin pratik mühendislik optimizasyon problemleri için çekici bir teknik haline gelebileceği açıktır. Araştırmada sunulan çalışma sonuçlara göre, değiştirilmiş guguk kuşu algoritmasının çeşitli fonksiyonlar ve boyutlar üzerinde etkin olduğu gösterilmektedir.

Yang ve Deb (2013) araştırmasında guguk kuşu arama algoritmasını çok amaçlı optimizasyon problemlerini ve yapısal mühendislikte karşılaşılan tasarım problemlerini çözmek için yeniden formüle etmiştir. Çalışmaya göre yöntemin ayrık problemler için uygun ve iyi sonuç verdiği görülmektedir. Sonuçlara göre, MOCS'nin (Multi-Objective Cuckoo Search) etkili ve birçok amaçlı optimize edici olduğu gösterilmektedir. Diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında, guguk kuşu arama neredeyse çalışmada ele alınan tüm test problemleri için iyi performans göstermiştir.

Guguk kuşu arama algoritmasının hem ilham kaynağı hem de algoritmanın kendisi açısından iyileştirmek ve geliştirmek için araştırma yapılabilir (Ouaarab ve ark. 2013).

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Proje

Proje kavramının çeşitli tanımları vardır. Proje kavramı için farklı organizasyonlar, farklı iş alanları, farklı standartlar ve farklı kişiler farklı tanımlamalar yapmıştır. Bu araştırmada mühendislik proje yönetim standartlarında proje tanımının nasıl yapıldığı incelenmiştir. Proje, başlangıcı ve bitişi belli olan belirli bir amacı, kapsamı, bütçesi olan ve bir kere gerçekleştirilen faaliyetlere denilmektedir.

PMBOK (2017) 6. baskıya göre, proje benzersiz bir ürün, hizmet veya sonucu oluşturmak için üstlenilen geçici bir çaba olarak tanımlanır. PRINCE2 standart kitabına göre proje üzerinde anlaşma var olan bir ticari duruma uygun olarak bir veya daha fazla ticari ürün üretmek amacıyla geçici bir organizasyon oluşturulur. ICB standardına göre ise proje, kalite standartları ve gerek gereksinimleri ile tanımlanan çıktıları elde etmek için süre ve maliyet ile sınırlanmış bir işlem olarak tanımlanır. ISO-21500'ye göre ise bir proje, proje hedeflerine ulaşmak için gerçekleştirilen başlangıç ve bitiş tarihlerine sahip koordineli ve kontrollü faaliyetlerden oluşan benzersiz bir süreç kümesinden oluşur.

Süre, maliyet ve kaynak kısıtlamaları da dahil olmak üzere belirli gereksinimlere uygun bir hedefe ulaşmak için üstlenilmiş başlangıç ve bitiş tarihlerini içeren koordineli ve kontrollü faaliyetlerden oluşan benzersiz bir süreçtir (Lester 2017).

Her projenin farklı aşamaları vardır ve bu aşamalar kendi özelliklerine uygun kararlar gerektirmektedir. En yaygın proje aşamaları olarak başlama, planlama, denetim ve proje bitirme sayılabilir. Her projenin kendi özellikleri vardır. Ancak birçok projenin bazı temel özellikleri ortaktır. Farklı kişiler ve farklı kuruluşlar tarafından proje özellikleri tanımlanmıştır. Yöntem açısından literatürde yer alan projelerin bazı ortak özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Projelerin aşamaları
- Projelerin önceden belirlenmiş hedefleri
- Projedeki sınırlı kaynaklar

- Projenin zamanında başlanması ve bitirilmesi
- Projelerin maliyeti
- Projelerin riskleri
- Projedeki sorumlu kişinin belirlenmesi
- Proje kapsamı
- Projelerin insan kaynağı
- Proje sonucu

Kaynak, kısıt ve aktivite kriterleri genel olarak projelerde ortaktır ve her projede mevcuttur. Aktivitelerin proje olarak kabul edilebilmesi için aşağıdakilerden en az biri sağlanmalıdır.

- Bir farklılık yaratmalı
- Problemlerin çözümünü etkilemeli
- Taraflar sözleşmeyi sağlamalı
- Stratejik planlara ulaşılmalı

2.2. Proje Yönetimi

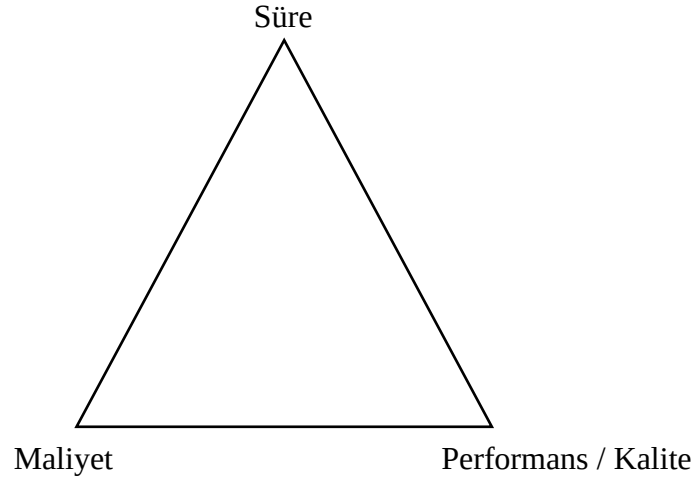
Proje yönteminin çeşitli tanımları farklı yayınlarda ve birçok standartta yayınlanmaktadır. Proje yönteminin tek bir kelime ile özü tanımlanabilirse bu “sorumluluk” olacaktır. Proje aktivitelerinin ihtiyaçlarını karşılamak için bilim, yetenek, araç ve tekniklerin kullanılması proje yöntemi olarak tanımlanır (PMBOK 2017). Proje yöntemi bir projenin yol haritasıdır (Albayrak 2009; Yıldırım 2018). Projenin tüm cephelerinin planlaması, gözlenmesi ve kontrolü projede karşılaştırılan süre, maliyet ve kalite kriterleri dahil olan proje hedeflerine ulaşılması için motivasyon olarak tanımlanır. Memnun edici bir sonuç üretmek ve projenin başarılı olması için genel yöntem ve insan yetenekleri ile birlikte proje yöneticisinin belirlenen süre, maliyet ve kaliteyi en etkili şekilde etkinleştirmesini sağlayan bir takım yöntem ve teknik geliştirilmektedir (Lester 2017). Proje yönetimi, projeyi başından sonuca ulaşana kadar denetlemeye denilmektedir. Proje aşamaları olan, başlangıç, planlama, uygulama, denetleme ve proje bitene kadar kontrol edilmelidir. İnşaat projeleri, çok karmaşık projelerdir ve günümüzde inşaat projelerini yönetmek daha zor olmaktadır. Projelerin süreçleri aynı olsa da her inşaat projesi benzersizdir. Bir inşaat

projesinin başarılı bir şekilde yönetilmesi için projenin kaynakları iyi bir şekilde dengelenmeli veya seviyelenmelidir. Kaynak seviyelendirme, kaynakları yönetmek için kullanılan birinci araçlardan biridir (Giran ve ark. 2017).

Projelerde üç temel boyut olan süre, maliyet ve kalite proje verimlilik faktörlerini temsil etmektedir. Proje yönetimi, projelerin etkili, verimli ve uygun bir şekilde uygulanmasını sağlar. Proje yönetimi, belirlenen proje yönetim süreçlerinin uygun bir şekilde uygulanması ve entegrasyonu ile gerçekleştirilir. Projelerin başarısını ölçmek için projenin üç unsuru olan süre, maliyet ve performans veya kalite kriterleri proje yöntemini tanımlamak için kullanılmaktadır. Proje yöneticilerinin en büyük sorunlarından biri proje süresini, maliyetini ve kalitesini uyumlaştırmaktır. Bir inşaat projesinin başarısını ölçmek için proje yönteminde İron üçgeni kullanılmaktadır. Proje süresi, maliyeti ve performansı birbiri ile ilişkili ve birbirini etkileyen değişkenlerdir.

Proje yöntemi, firmaların sağ kalması için gerekli stratejik bir yetenek olarak görülecektir. Proje yöntemin yeteneği, bir projede sözleşmeyi kazanmak ve kaybetmek arasındaki farkı belirleyebilir. Şekil 2.1’de proje yönteminin, yönetmek ve şirket kaynaklarını kontrol etmek için belirli bir faaliyet üzerinde süre, maliyet ve performans dahilinde tasarlandığını göstermektedir. Süre, maliyet ve performans projede tek kısıtlama olarak kabul edilmiştir. İron üçgeninde performansın, kalite, kapsam veya teknoloji anlamı olabilir (Kerzner 2017).

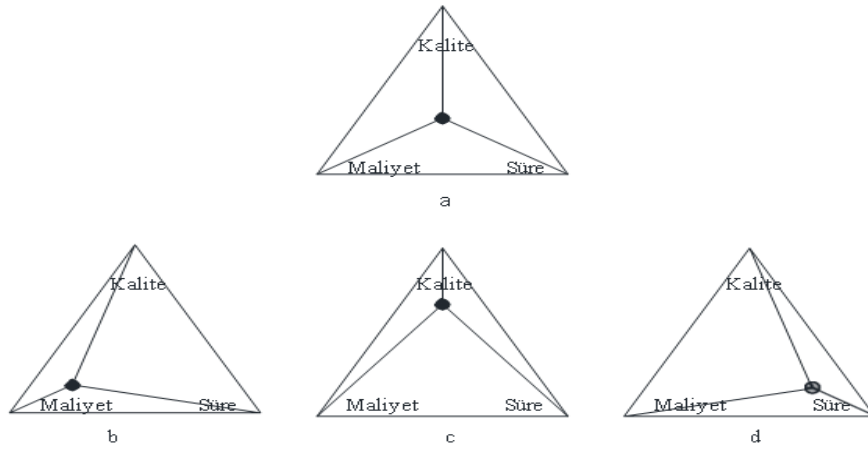
Proje çizelgeleme ve kapsamını korurken, projenin rekabetçi ve çelişkili hedefler kalitesi-süresi ve maliyeti arasında bir denge kurmaya çalışmaktadır. Proje bileşenleri projenin her aşamasında sürekli birbirleri ile iletişimde ve birbirlerini etkilemektedir. Aşağıdaki Şekil 2.1’de gösterilen çizelgelemenin üç yönü ve aralarındaki dengenin doğası birçok araştırmaya çalışma konusu olmuştur.



Şekil 2.1. Proje yönetimine genel bakış (İron üçgeni)

Kalite-maliyet-süre kriterlerinin dengelenmesi projenin başarılı olması için önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla projelerde dengelemeye proje yöneticileri tarafından daha fazla dikkat edilmelidir (Albayrak 2009). Ancak kamu ihalelerinde maliyet, süre ve kalite arasında sadece maliyet kriterine önem verilmektedir. Diğer iki kriterin dikkate alınmaması projeyi olumsuz etkileyebilmektedir (Akçay 2003).

Her projede maliyet, süre ve kaliteyi içeren bir sistem uygulanmaktadır. Tüm bu kısıtlamalar işlevseldir. Çünkü birindeki değişiklik diğerlerinde de değişikliğe neden olabilmektedir. Bazı kaynaklarda her projenin dört unsuru olduğu yani her projenin hedef (Kapsam), süre, kalite ve maliyet unsurlarını içereceği gösterilmektedir. Hedef (Kapsam) kriterinin iron üçgeninin merkezinde olduğu varsayılmaktadır. Maliyet, süre ve kalite üçgenin her bir tarafında temsil edilmektedir. Genellikle işveren projenin hedefini, kalitesini ve tamamlanma tarihini kontrol eder. Proje yöneticisi ise kaynakları, maliyetleri ve proje zamanlamasını kontrol eder. Kaynaklar, genel olarak insan gücünü, makine, malzeme ve sınırlı ekipmanı içermektedir (Dehgha ve ark. 2009). İnşaat projelerinin başarılı bir şekilde bitirilmesi için proje yöneticilerinin görevi projeyi minimum süre içinde bitecek şekilde kaynakları dengelemektir. Günümüzde proje kaynaklarını dengelemek için geliştirilmiş akıllı teknolojiler kullanılmaktadır (Giran ve ark. 2017).



Şekil 2.2. Proje bileşenlerin dengesi (Yıldırım 2018)

Şekil 2.2’de proje bileşenleri arasındaki dengeyi gösterilmektedir. Süre-kalite-maliyet değişkenler bir projenin başarı faktörleri olarak bilinir. Bu değişkenler birbirine bağlı ve ilişkilidir. Şekil 2.2’de proje bileşenlerinin arasındaki ilişkileri açıklanmaktadır (Yıldırım 2018). Şekil 2.2.a’da projede her üç değişkenin denge hali gösterilmektedir. Bir projeyi böyle denge halinde tutmak çok zor veya neredeyse imkânsızdır. Şekil 2.2.b’de denge noktası maliyet bileşenine kaymıştır. Projede maliyet bileşeni söz konusu olduğunda diğer iki kriter değişken olacaktır. Projenin maliyeti tercih edildiğinde proje süresi uzayacak ve proje kalitesinin de düşmesine sebep olacaktır. Şekil 2.2. c’de projenin denge noktasının kalite bileşenine kayması görülmektedir. Proje kalitesin en üst seviyede olması tercih edildiğinde sürenin uzun ve maliyetin daha fazla olması kabul edilmiş olacaktır. Şekil 2.2. d’de projenin denge noktası süre bileşenine kaymıştır. Projenin kısa sürede tamamlanması tercih edildiğinde proje maliyetinin daha fazla ve kalitenin daha az olduğu bir üretim kabul edilmiş olacaktır.

Proje yönetiminin ilkeleri

- Projenin amacını belirlemek
- Proje amacı için gereken araçlar seçmek
- Planlamalara göre kaynakları akıllıca tahsis etmek
- Projenin tüm aşamaları kontrol etmek

2.3. İnşaat Proje Yönetimi

İnşaat yönetimi ve proje yönetimi yakından bağlantılıdır. Bu iki yöntem arasında pek fark olmasa da yine de bir takım kilit farklılıklar mevcuttur. Günümüzde inşaat sektörü en çok talep gören sektörlerden biri olarak bilinmektedir. Bu nedenle proje yöneticileri hem iş programını hem de projeyi en küçük ayrıntısına kadar planlayabilmelidir ve projenin maliyetini ve kalitesini kontrol edebilmelidir. İnşaat yönetimi, inşaat sürecinin başından sonuna kadar genel olarak planlanması, koordinasyonu ve kontrolüdür. Bu tür bir yönetimin amacı, bireylerin ihtiyaçlarını bütçe ve planlamaya göre karşılayan ve kabul edilebilir kalite, güvenlik ve risk taşıyan bir proje meydana getirmektir.

Proje yönetimi, projenin planlanmasını, izlenmesini ve kontrolünü içermektedir. Projenin planlaması, iş tanımını, iş miktarının belirlenmesini ve gerekli olan kaynakların tahminini içermektedir. Başarılı proje yönetimi, projenin zamanında, bütçe dahilinde ve proje şartnamelerine uygun olarak tamamlanmasının sağlanmasıdır (Babu ve Suresh 1996). Programlama, yöneticilerin projeyi zamanında yürütmesini sağlamak için projeyi içeren aktivitelerin süresinin belirlenmesidir. Proje planlaması için bilinmesi gereken bazı adımlar aşağıda sıralanmaktadır (Elbeltagi 2010).

- Projelerin aktivite çizelgelemesini bilmek
- Projelerin tamamlanma süresini bilmek
- Proje kaynaklarını yerinde ve doğru zamanda bulundurmak
- Projelerin nakit akışını belirlemek
- Projelerin planı geç tamamlanmaya yol açılacağını gösteriyorsa düzeltmek
- Projelerin geç tamamlanması durumunda oluşacak cezayı değerlendirmek
- Projelerin tamamlanma süresi üzerindeki değişiklikler emirlerinin etkisini değerlendirmek
- Proje gecikmesinin ve sorumlu tarafların değerini belirlemek

Projenin iş programı, proje maliyeti, projede uygulanacak esas sistemler, incelenecek prosedürler ve proje kapsamı gibi işlemler inşaat proje yönetim planında belirlenmektedir. İnşaat proje yönetim planının temel bileşenleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Kuruoğlu ve Sorguç 2007).

- Projenin tanımı
- Proje yönetimin bilgi sistemi
- İş programı
- Proje dokümanlarının listesi
- Proje maliyet analizi
- Proje ekiplerinin mesuliyetleri, vazifeleri ve yetkileri
- İletişim protokolü
- Kalite yönetimindeki yaklaşım
- Sözleşme iş kapsamı
- Organizasyon şeması
- Sahaya yerleşme ve yerleşme planı

2.4. Proje Süre Yönetimi

Süre, inşaat projelerinde en değerli kaynaklardan biridir. Günümüzde piyasada inşaat firmaları arasında rekabeti arttırdığı için süre kavramı daha fazla önem taşımaktadır. İnşaat projelerini planlamak için proje süre yöntemi projenin temel kavramlarından biri olarak bilinmektedir. İnşaat projelerinin süre yönetimi için planlama en basit yol olarak bilinmektedir. Planlama, inşaat sektöründe çok önemli bir yönetim aracıdır.

Proje süre yönetiminin amacı bir inşaat projesini yetenek, ekipman ve teknikleri kullanarak proje faaliyetlerini daha hızlı ve daha verimli olacak şekilde yönetmektir (İşçioğlu 2011). İnşaat proje süresi, inşaat süresi ve sözleşme süresi olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. İnşaat süresi hafta sonları ve tatil günleri dışında toplam iş günü sayısını tanımlamaktadır. Sözleşme süresi ise tüm tatil günleri ve hafta sonları dahil olmak üzere yüklenici ve proje sahibi arasındaki sözleşmede tanımlanan süreyi kapsamaktadır (Williams 2008). Proje çizelgeleme veya proje süre yöntemi, projenin zamanında tamamlanmasını yönetmek için gerekli süreçleri içermektedir. Bu süreçler aşağıda sıralanmaktadır (PMBOK 2017).

1. Plan çizelgeleme yöntemi: Başlangıç tasarımından sürekli geliştirmeye ve programın uygulanmasına ve kontrolüne kadar proje yönetimi için gerekli tüm politikaları, prosedürleri ve belgeleri belirten süreçtir. Bu süreç projenin ihtiyaçlarına

ve projenin resmiyet dercesine bağılı olarak çok ayrıntılı olabilir. Ancak en önemli avantajı planlama yönetiminin tarafını netleştirmesidir.

2. Aktivitelerin tanımı: Bir projenin çıktılarını üretmek için iş dökümü yapısı (WBS) tekniğı kullanılarak projenin küçük bölümlere ayrılıp, her bölümün bir ekip üyesine atanmasıdır.

3. Faaliyetlerin sıralanması: Belirlenen faaliyetlerin listesini dikkatle gözden geçirildiğı ve bu şekilde faaliyetlerin arasındaki ilişkilerin tanımlandığı bir süreçtir.

4. Faaliyet sürelerinin tahmini: Bireysel faaliyetler için gereken kaynakların türünün ve miktarının (insan gücü, makine, ekipman, malzeme ve diğere ihtiyaçlar) tahmin edilerek, faaliyetin bitirilmesi için gereken çalışma süresinin tahmin edilmesidir. Bu sürecin en önemli avantajı süre ve maliyetin daha iyi bir şekilde tahmin edilmesidir.

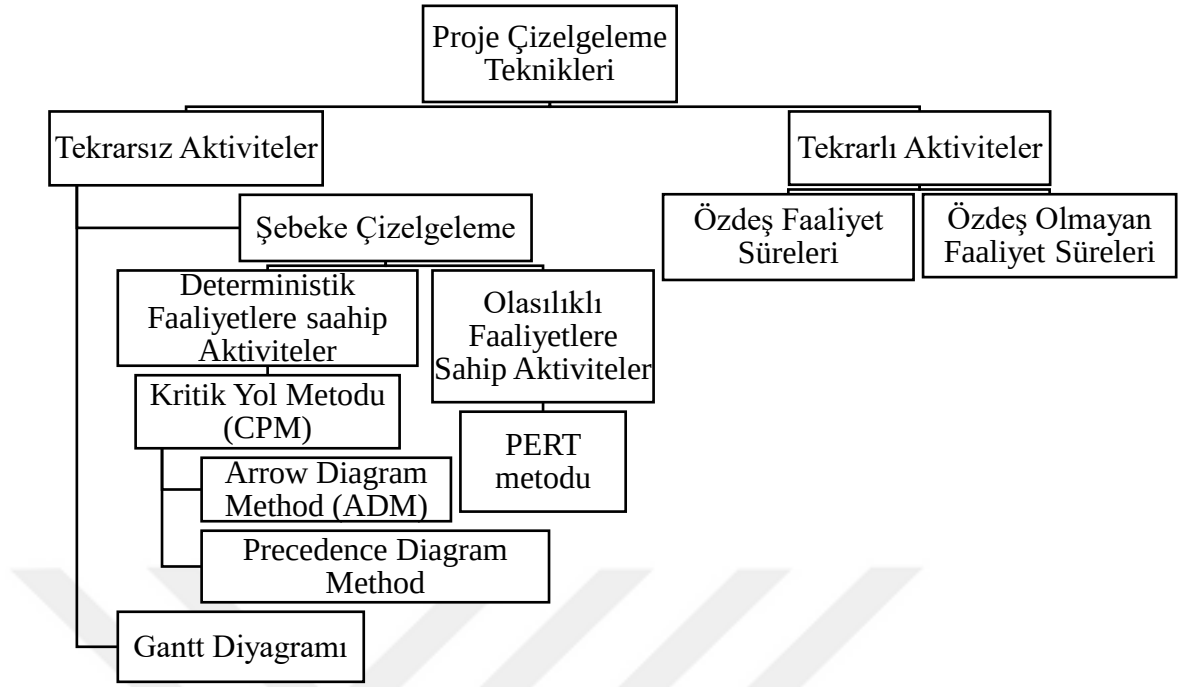
5. Çizelge geliştirme: İlişkili kaynakları, süreleri ve kısıtlamaları uygun bir zamanlama tekniğı kullanarak bir projenin zamanlamasını geliştirmek için entegre edildiğı süreçtir.

6. Program kontrolü: Proje çizelgesini güncellemek ve çizelge temel değışikliklerini yönetmek için proje faaliyetlerinin durumunu izleme işlemidir.

2.4.1. Proje Planlama Teknikleri

Yönetim ve yöneticiler, projelerdeki karmaşıklıkları iyi bir şekilde çözmek için sürekli yeni ve daha iyi kontrol yöntemleri aramaktadır. Proje teslim tarihi firmalar arasında rekabetçi özelliklerden biridir. Firmalar ve yöneticiler hem teknik hem de maliyet verilerini müşterilere sunmak için daha iyi metotları inceleyerek tercih etmektedir. Proje çizelgeleme yöntemleri, proje yöneticilerin hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilmektedir. Proje zamanlama yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kerzner 2017).

- Çubuk grafikleri
- Şebeke diyagramı
- Ağlar
- Grafiksel değerlendirme ve inceleme tekniğı
- Denge çizgisi
- Öncelik diyagram yöntemi



Şekil 2.3. Proje planlama teknikleri (Aziz 2014)

2.4.2. Proje Planlama Tekniklerinin Avantajları

Ağ planlama yöntemleri aşağıdaki avantajları içermektedir (Kerzner 2017).

- En uzun yolu belirler
- Risk analizinin planlamasına yardımcı olurlar
- Araştırmaları kolaylaştırır
- Raporlama için temel yapıyı oluşturur
- Yönetimin programları kontrol etmesini sağlar
- Planlama ve tahminlerin temelini oluşturur
- Yönetimin süre ve maliyet amaçlarını elde edebilmek için kaynakların nasıl kullanılacağına karar vermesine yardımcı olur
- Yönetimin alternatifleri değerlendirmesine yardımcı olurlar

İnşaat projelerinin programlamasında yaygın olarak kullanılan çeşitli yöntem ve teknikler vardır. İnşaat projelerinde zamanlama geliştirme metotlarından en yaygın ve en çok bilineni şebeke diyagramıdır.

2.4.3. Şebeke Diyagramı

Şebeke diyagramı oklardan ve düğüm noktalardan oluşan çizelge olarak tanımlanmaktadır. Şebeke diyagramlarına dayalı olarak iş programı, CPM ve PERT metodu olarak sınıflanmaktadır. Bu tez çalışmasında projenin kritik yolu ve toplam süresini bulabilmek için kritik yol metodu kullanılmıştır.

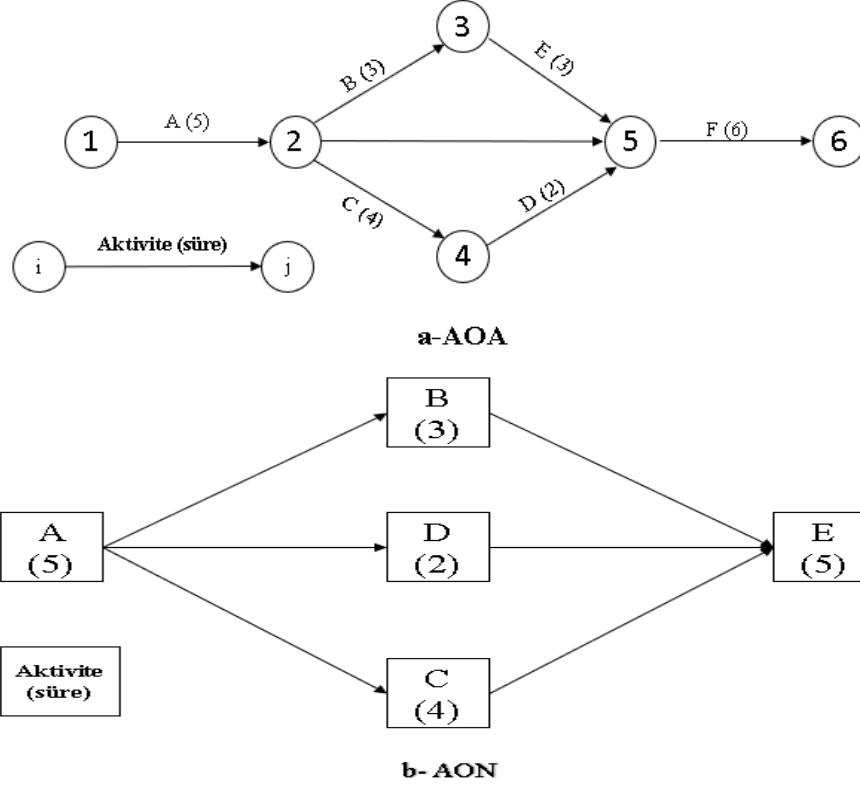
2.4.4. Kritik Yol Metodu (CPM)

Kritik yol tekniği günümüzde inşaat sektöründe en yaygın kullanılan ve bilinen bir tekniktir. Kritik yol yöntemi, planlamada etkin ve başarılı bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Kritik yol yöntemi, projenin başından sonuna kadar aktivitelerin dizisidir. CPM, projelerin planlaması ve programlaması arasındaki ayrımı yapar. Planlama, gerçekleştirilecek faaliyetlerin belirlenmesi olarak ifade edilir ve çizelgeleme, projenin her etkinliği için zaman çizelgesinin sunulmasını ifade eder.

Kritik yol yöntemi için, proje şebekeleri için sistematik bir zamanlama yöntemi denilmektedir (Elbeltagi 2010). Kritik yol, proje yönetimi için geliştirilmiş temel bir sayısal teknik olarak tanımlanmaktadır. Deterministik aktivitelerin toplam zamanları ve her aktivitenin normal süreleri belirlendiğinde kritik yol projeyi bitirmek için minimum zamanı belirlemektedir (Babu ve Suresh 1996). Kritik yol metodu projelerin en kısa sürede tamamlanması ve projelerin faaliyetlerinin başlangıç ve bitiş sürelerini hesap etmektedir. İnşaat projelerinin kritik yol çizelgelemesinde, kritik faaliyetleri ve toplam süreyi bulabilmek için birçok program ve çeşitli algoritmalar vardır (Elbeltagi 2010).

Kritik yol metodu projelerin aktiviteleri için erken ve geç, başlangıç ve bitiş süreleri (LF, LS, EF, ES), aktivitelerin toplam ve serbest bolluk (TF, FF) ve kritik faaliyetleri belirlemek için etkili bir yöntemdir. Kritik yol metodu ok üzerindeki aktivite diyagramları (AOA) veya düğüm noktaları üzerindeki aktivite diyagramları (AON) ile temsil edilebilir. Ancak AOA ve AON şebekelerinin planlama süreleri farklıdır (ElBassuony 2016). Her iki proje şebekesinde (AON ve AOA) projelerin kritik faaliyetleri, kritik süreleri hakkında bilgi görsel olarak sağlanmaktadır. AOA şebekesinde aktiviteler iki öncelik arasında ok ile gösterilmektedir. Olaylar düğüm ile gösterilmekte olup kukla faaliyetler süre ve

maliyet tüketmez. AON'da ise her aktivite bir düğüm noktası ile gösterilmekte ve öncelikler arasındaki mantıksal ilişkiler oklar ile gösterilmektedir (Değirmenci 2008).



Şekil 2.4. AOA ve AON diyagramları (Değirmenci 2008)

Proje için süre-maliyet ödünleşim eğrisinin kullanımında ve geliştirilmesinde CPM analizi çok önemli rol oynamaktadır. Çünkü proje süresindeki küçük değişiklikler proje akışını büyük ölçekte etkileyebilmektedir (Panagiotakopoulos 1977). Kritik yol yöntemi, sadece inşaat projeleri için en kısa zamanda tamamlanma süresini ve kritik aktiviteleri hesaplamakta mükemmel bir yol değil, aynı zamanda maliyet-süre ödünleşimini analiz etmek için de bir çerçeve sağlamaktadır (Kerzner 2017). Projelerin süre-maliyet ödünleşim analizleri ile tamamlama tarihini en iyi şekilde seçmek için gerekli verileri CPM yöntemi sağlamaktadır. Kritik yol metodu uygulanırken aşağıdaki gibi özetlenebilecek birkaç adım vardır

- Projelerin aktivitelerini tanımlamak ve listelemek.
- Aktivitelerin arasındaki ilişkiler için bir şebeke diyagramı oluşturmak
- Aktivitelerin kritik ve kritik olmayan ilişkilerinin yollarını belirlemek

- Proje aktivitelerinin zamanlarını belirlemek
- Aktivitelerin maliyet ve kaynaklarını belirlemek
- Aktiviteler için beklenen tamamlanma ve yürütme süresini belirlemek
- En kritik yollar için alternatifler bulmak veya tasarlamak
- Proje kontrolünde kullanmak

Literatürde yer alan CPM yönteminin bazı avantajları ve dezavantajları (Hinze 2004), (ELBassuony 2016), (Adeli ve ark. 1997) ve (Hegazy ve ark. 2010) taraflarından Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi özetlenmektedir.

Çizelge 2.1. Kritik yol yönteminin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
İnşaat sektöründe çok kullanılır.	Çalışmanın sürekliliğini garanti etmez.
Birbirine paralel yürütülebilen faaliyetler değerlendirilebilir.	Tekrarlayan ve tekrarlanmayan faaliyetler arasında temsil farkı yoktur.
Her bir faaliyet için başlangıç ve bitiş tarihleri ve bolluk süreleri belirlenebilir.	Gecikmeleri gidermek için düzeltici önlemler almak biraz zordur.
Proje yönetim için kontrolü kolaylaştırır.	Projenin ilerlemesini izlemek zordur.
Daha iyi ve detaylı planlamayı mümkün kılar.	Çoklu ekip stratejileri için uygun değildir.
Ardışık ilişki içinde olan faaliyetlerin zaman çizelgesinin belirlenmesine yardımcı olacaktır.	CPM dinamik bir kontrol cihazı olarak kullanılmaz.
Projedeki en kritik unsurları tanımlar.	CPM süre tahminleri istatistiksel analize dayanmaz.

2.5. Proje Maliyet Yönetimi

Projenin süre yönetimi kritik yol tekniği ile hesaplandıktan sonra projenin toplam maliyet hesabı yapılmaktadır. İnşaat projelerine genelde belli bir bütçe düşünülerek başlanmaktadır. Günümüzde inşaat firmaları ve paydaşlar daha fazla kar elde edebilmek için projenin bütçesini en aza indirmeye çalışmaktadır. İnşaat projelerinin yönetiminde, süre, kalite ve maliyet unsurları arasında proje maliyet yönetimi en değerli ve en önemli konulardan biridir. Proje maliyet yönetimi, inşaat sektöründe süre yönetiminin yanında firmalar arasındaki rekabette ve ihaleyi kazanma noktasında büyük rol oynamaktadır. Günümüzde proje maliyet yönetimi, doğru ve daha kapsamlı bir şekilde kaynak planlaması, bütçeleme, maliyet kontrolü ve maliyet tahmini dahil olmak üzere proje yöneticileri ve paydaşlar için temel endişelerinden biri haline gelmekte olup bu endişeler inşaat projelerini de içermektedir. İnşaat projelerinde maliyet yönetiminin en önemli kısmı çalışma sırasında maliyet kontrolüdür. İnşaat projeleri için inşaat döneminde optimizasyon yöntemi ile maliyet yönetimi uygun bir model tasarlanmalıdır. İnşaat projelerinde maliyet yönetimi için doğru ve eksiksiz bir modelin kullanılması müteahhitlerin ve proje yöneticilerinin temel ihtiyaçlarından biridir. Maliyet yönetim sürecinin ana görevi mümkün mertebe en yüksek kalite ve en düşük maliyette ürün ve hizmetleri sağlamak için doğru yapıyı oluşturmaktır. Maliyet yönetiminin sistemi aşağıdaki hedefleri takip eden planlama ve kontrol sistemidir (Dehghan 2009).

- Mevcut bütçe ile katlanılan maliyetleri kontrol etme.
- Gerekli nakiti tahmin etme.
- Kullanılan kaynakların etkinliğini kontrol etme.

Yukarıdaki açıklamaya göre, maliyet yönetimi için genel model ve standart süreç beş aşamaya ayrılabilir.

1. İş dökümü yapısı oluşturma (WBS)
2. Proje öğelerini ve faaliyetlerin satırlarını belirleme
3. Faaliyetlerin zamanlamasını sağlama
4. Her faaliyet için maliyet tahmin etme
5. Projenin toplam maliyetini tahmin etme

İnşaat projelerinde maliyet analizinde toplam maliyetin optimum yapılması ve maliyet planlaması amaçlanmaktadır. İnşaat projelerinde maliyetlerin artışını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler belirlenerek maliyet yönetimi süreci daha iyi uygulayabilir duruma getirilebilir. Bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Zayıf organizasyon yapısı
- Bitkin ve eski ekipman
- Standart olmayan malzemeler
- Proje kontrol sistemlerinin eksikliği
- Maliyetlerin kontrolü ve izlenmesi için gereksiz tasarruf
- Maaşların ödemesinde yetersiz ve yanlış sistem kullanma
- Nakliye sistemi olmaması
- Maliyet tasarımında uygun olmayan tasarruf

2.5.1. İnşaat Maliyet Türleri

İnşaat projelerinde inşaat yapım maliyeti genel olarak direkt maliyetler ve endirekt maliyetler olmak üzere iki kategoriye ayrılır.

1. Direkt (Doğrudan) Maliyetler: İnşaat projelerin içindeki faaliyetlerin çalışmasını gerçekleştirmek için yapılan kaynak giderleri doğrudan harcamaları kapsamaktadır. İnşaat projelerinde direkt maliyetler, taşeron (alt yüklenici), malzeme, makine (ekipman) ve işçiliklerin maliyetlerini içermektedir. Projenin toplam direkt maliyeti, projeyi oluşturan tüm aktivitelerin doğrudan maliyetlerinin toplamına eşittir (Que 2002). Faaliyetlerin hızını arttırmak için daha fazla kaynak tahsis edilmesi doğrudan maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Proje aktivitelerinin direkt maliyeti saha koşulları, kullanılan kaynak verimliliği ve yapım yöntemi gibi şartlara bağlıdır. Genellikle inşaat projelerinde toplam direkt maliyetler projenin toplam maliyetlerin yüzde 70 ile 90'ına karşı gelir. Her inşaat projesinde doğrudan maliyet çok önemlidir ve bu araştırmada da doğrudan maliyet önemli bir unsurdur. Proje aktivitelerinin doğrudan maliyetini tahmin etmek için uygulanacak bazı önemli adımlar aşağıda gösterilmektedir (Hegazy 2002).

- Sözleşme belgelerini analiz etmek.
- Saha koşullarını analiz etmek

- Proje için ayrıntılı WBS gerçekleştirmek
- WBS elemanlarının sayılarını çıkarmak
- Tedarikçilerden ve alt yüklenicilerden gelen teklifleri analiz etmek
- Kaynakların üretim oranını tahmin etmek
- Proje zamanlamasını değerlendirmek
- Doğrudan maliyeti toplamak

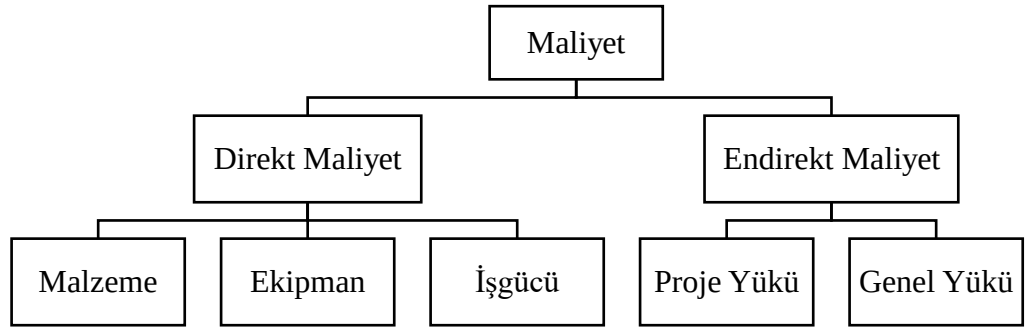
2. Endirekt (Dolaysız) Maliyetler: Dolaysız maliyet doğrudan para ödenmeyen ve varlık değerinde bir düşüş olarak gösterilen bir maliyettir.

Kaynak masraflarına projenin yönetimi ve yürütülmesi için ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bunları tek bir aktivite yüklenemez. Zamanla ilişkisine göre iki kategoriye sınıflandırmaktadır (ELBassupny 2016).

- a) Zamana bağlı: Projelerin süresine bağlıdır. Yani süre ne kadar uzun olursa dolaylı maliyet artar. Elektrik ve diğer kamu hizmetleri, kira ve maaşlar bu türe örnek olarak verilebilmektedir.
- b) Zamandan bağımsız :Proje süresine bağlı değildir. Vergiler ve sigorta giderleri bu kategorinin örnekleridir.

Endirekt maliyetler iki kategoriye ayrılmaktadır.

- Proje yükü (Project overhead): Proje yük maliyetleri tek bir projeden alınabilecek maliyetlerin hesaplanmasıdır ve proje bütçesinin bir kısmı olacaktır. Proje Yüğü maliyetlerine örnekleri olarak, personel maaşları, malzemeler, izinler (izin belgeleri gibi), danışmanlar ve çizimler verilebilir.
- Genel yük (General overhead): Proje genel yük maliyetleri şirketin genel ofisinde mevcut olan ancak belirli bir proje için ücretlendirilmeyen maliyetlerin payı olmaktadır. Ofis kirası, sarf malzemeleri, vergiler, reklam, sigorta, faiz, işgücü yükü, yasal ücretler, faturalar, kamu hizmetleri ve maliyetleri şirket tarafından tüm projeler için yapılan genel masraflar bu kategorinin örnekleridir.



Şekil 2.5. Farklı inşaat maliyetlerinin özetlenmesi (Hegazey 2002)

Genel olarak projelerin dolaylı masraflarının başlangıçta tahmin edilmesi zordur. Bu maliyetin doğru bir şekilde hesaplanması imkânsız veya çok zor olabilir. Bu nedenle proje maliyetinin belli bir oranı olarak tanımlanır. Projenin dolaylı maliyetini kapsayan harcamalardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yönetim maliyeti
- Servis maliyeti
- Genel yönetim
- Araçlar
- Maaşlar
- İşletme maliyeti
- Personel taşıma araçları
- Çay ve yemek
- İş güvenliği
- İhale masrafları
- Makine bakımları
- Sigorta masrafları
- Finansman masrafları
- Vergiler
- Yasal masraflar
- Hizmet maliyetleri (elektrik, telefon, su vb.)
- İdari masraflar
- Şirket genel masrafları
- Şantiye tesisinin temizlik ve bakımı

2.6. Proje Kalite Yönetimi

Kalite yöntemi, inşaat projelerinde projenin üç temel unsurundan biridir. Diğer unsurlar olan maliyet yönetimi ve süre yönetimi gibi projenin en önemli konularından ve en değerli kaynaklarından biridir. Proje yönetim bilgisi açısından kalite, projenin en önemli alanlarından biri olarak yöneticiler tarafından ciddi bir şekilde ele alınmaktadır. İnşaat sektörüne ülke bütçesinin büyük bir kısmının tahsis edilmesi nedeniyle kalite yönetimine devletler tarafından son derece önem verilmektedir. Günümüzde piyasada ve inşaat sektöründe kalite yönetimi, maliyet yönetimi ve süre yönetiminin yanında inşaat firmaları arasındaki rekabet açısından çok önemli bir unsur olarak rol oynamaktadır. Günümüzde doğal afetler nedeniyle devletler tarafından kalite daha fazla önemsenmeye başlanmıştır. İnşaat firmalarına kaliteye dikkat etmeleri hususunda daha fazla baskı ve kontrol yapılmaktadır. Günümüzde inşaat sektöründe firmaların ihale kazanabilmelerinde kalite yönetimi büyük bir rol oynamaktadır.

İnşaat sektöründe, düşük uygulama kalitesi, inşaatta çalışma ortamı, insan gücünde dikkat eksikliği ve yeniden yapıma maliyetleri gibi sorunlar kalite yönetim sisteminin oluşturmaya yol açmaktadır (Harischian ve ark 2007). Proje kalite yönetimi, paydaşların hedeflerine ulaşması için proje planlama, yönetilme ve kontrol edilme konularında kalite politikasını birleştirmeye yönelik süreçleri içerir. Proje kalite yönetimi, projelerin prosedürlerini ve politikalarını kullanarak kuruluşun kalite sistemini uygun şekilde uygular ve sürekli süreç iyileştirme faaliyetlerini destekler. Genellikle projelerin başarısızlık maliyetlerine kalitesizlik maliyeti de denilmektedir. Kalite planlaması diğer planlama süreçlerine paralel olarak yapılmalıdır (PMBOK 2017).

Kalite, birçok araştırmacı tarafından işveren ve müşteri memnuniyetinin bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir (Pollack-Johnson ve Liberatore 2006). İnşaat sistemini daha etkili, daha iyi hale getirmek, güçlendirmek, işverenlerin ihtiyaçlarını karşılamak, müşteri memnuniyetini arttırmak, projenin uygulamadaki yeniden çalışma faaliyetlerini azaltmak ve ekonomik faydaları artırmak amacıyla inşaat projelerinde kalite yönetiminin uygulanmasına ve uygun bir kalite yönetim modelinin oluşturularak kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Saemi ve Khazaei 2016). İnşaat sektöründe kalite yöntemi ve kalite çalışmaları son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bazı ülkelerde

tüm proje ana yüklenicilerinin kalite yönetim sertifikası alması gerekmektedir (Aoieong ve ark 2002). Kalitenin, inşaat ve diğer sektörler arasındaki farkı, inşaatla herhangi bir şey ters gitmesi durumunda çoğu zaman düzeltilememesidir. Kalite, malzeme eksikliği, tasarım değişiklikleri, bütçe eksikliği ve maliyet tahminindeki hatalardan etkilenmektedir. Bunların dışında kaliteyi etkileyen diğer faktörler, uygunsuz planlama, belirsiz değerlendirme standartları ve çizelgeleme problemleri olarak sayılabilir. Bu nedenle kalite inşaatla belirsiz ve ölçümü zor bir parametre olarak bilinmektedir (Alharbi 2020). Proje kalite yönetimi, proje süreçleri, proje ekibi, ürünler ve proje tamamlanması yoluyla projenin ilk tanımı dahil olmak üzere projenin tüm aşamalarını ve bölümlerini içermektedir. Proje yöneticisinin sorumluluğu, tasarım ve portföy alanındaki toplam proje kalite yönetiminin bir parçası olarak tanımlanmaktadır. Kalite yönetimi, her projede tüm proje ekibi üyelerinin katılımına dayanmaktadır. Kalite projenin temellerinden biri olarak ele alınmalıdır. Çekirdek organizasyon, projenin politikalarını, hedeflerini ve kalitatif sorumluluklarını belirlemektedir. Bunun birlikte kalitenin standart uygulama prosedürleri, kalite planlaması, kontrol kriterleri ve kalite yönetim sisteminin diğer yönleri gibi yollar ile nasıl uygulanması gerektiği belirlenmektedir. Proje kalite yönetimindeki kriz alanları, proje, tasarım veya portföy ile çekirdek organizasyon arasındaki temas noktalarını içermektedir. Kaliteyi ihmal etme riski, proje, tasarım veya portföy amaçlarına ulaşmamaktadır. Proje kalite doğrulaması, kalite kontrol ve ürün denetimi gibi prosedürler ile yapılmaktadır. Gerekirse ürün doğrulamak için ölçekli modeller ve diğer numune örnekleri kullanılabilir (Ranjbar. A. 2012).

Genel olarak inşaat projelerinde aşağıdakiler kalite anlamına gelmektedir (Alharbi 2020).

- Projenin ürün kalitesi
- Projede kullanılan ekipman kalitesi
- Projenin yönetim kalitesi
- Yapının kalitesi ve kontrolü
- Projeden müşteri memnuniyeti
- İnşaatla kalite, müşterinin istediği bütçe, zamanlama ve tanımlanmış kapsamın toplamı olarak denilmektedir.

Kalite hakkında daha iyi bir anlayışa ulaşabilmek için farklı bakış ve kullanım açısıyla incelenmesi gerekmektedir. Kaliteyi incelemek için aşağıdaki üç kullanımın sınırları içinde olmaktadır (Rad ve Khosrowshahi 1998).

- a) Üretim kalitesi: Burada temel amaç iç ihtiyaçların karşılanmasıdır.
- b) Ürün kalitesi: Burada öncelikle müşteri memnuniyetine değeri verilmektedir.
- c) Süreç kalitesi: Burada amaç ilk seferde doğru yapmaktır.

2.6.1. Kalite Yönetim Süreçleri

Kalite yöntemi aşağıda tanımlanan üç ana süreci içermektedir (PMBOK 2017).

1. Kalite Yönetim Planlama: Proje ürün çıktıları için gereklilikleri ve standartları belirlemek ve projenin nasıl uygunluk göstereceğini belgeleme süreci olarak tanımlanmaktadır.
2. Kaliteyi Yönetme: Proje organizasyonu kalite politikalarında kalite yönetim planını içeren kalite faaliyetlerinin yürütülmesi ve dönüştürülmesi süreci olarak tanımlanmaktadır.
3. Kalite Kontrolü: Projenin performansı ve gerekli değişiklikleri değerlendirmek için kalite faaliyetlerini yürütme sonuçlarını izleme ve kaydetme süreci olarak tanımlanmaktadır. Projenin en sonunda elde edilmiş çıktıların eksik, kusurlu veya müşteri beklentisi sağlanmış olup olmadığını belirleyen bir süreçtir.

2.6.2. Kalite Ölçümü

Projenin maliyet, süre ve kalite unsurları arasında kalitenin modellenmesi ve kesin olarak ölçülmesi çok zor veya neredeyse imkânsızdır. Tüm yöneticiler, projenin kalitesinin kontrolünün gerekli olduğu ve kaliteyi sağlamak için denetimlerin yapılması gerektiği hususunda hemfikirdir.

Kalite ölçümü, gerçekçi olmayan bir kavramdır ve inşaat sektöründe aşırı derecede karmaşık bir süreç olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle inşaat projelerinin kalitesini ölçmek için birçok yaklaşım teknikleri vardır (Johnson ve Liberatore 2006). İnşaat projelerindeki kaliteyi arttırmanın ve projenin yüksek kalitesini gösterebilmenin tek yolu ölçmektir ve bu yeterince basit görünmektedir. Ancak inşaat kalitenin ölçülmesi çok

zor görünmektedir. İnşaat sırasında kaliteyi ölçen inşaat kalite oranıdır. İnşaat tamamlandıktan sonra kalitenin uzun vadeli etkisi talep veya gizli hata oranı ile ölçülmektedir. Bu oranlar kalitenin raporlanmasına ve sınıflandırılmasına dayanmaktadır (Dorgan 2016).

Kalite yönetim programının başarısını değerlendirmek, kalitenin ve başarısızlık maliyetlerinin ölçülmesi ve kalite iyileştirmesinin ölçülmesi için en etkili yollardan biri kalite maliyet ölçümü olarak tanımlanmaktadır. Bunun için bazı araştırmacılar kalite maliyetlerini ölçmek ve izlemek için yaklaşımlar sunmaktadır (Aoieong ve ark 2002). Projenin kalite güvencesinde uygulanan ölçüm teknikleri hala belirsiz kalsa da daha iyi ve daha sağlam sonuçlar elde etmek için yeni tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde yapılan çalışmaları ve kullanılan malzemeleri değerlendirerek devam eden bir projenin kalitesini ölçmek ve kalite raporları almak bir projenin kalitesini görmenin en iyi yoludur (Alharbi 2020).

2.7. Kalite Kontrolü

Tüm proje yöneticileri, inşaat sektöründe kalite kontrolünün gerekli olduğu ve kaliteyi güvenlik altına almak için denetimlerin yapılması gerektiği konusunda hemfikirdir.

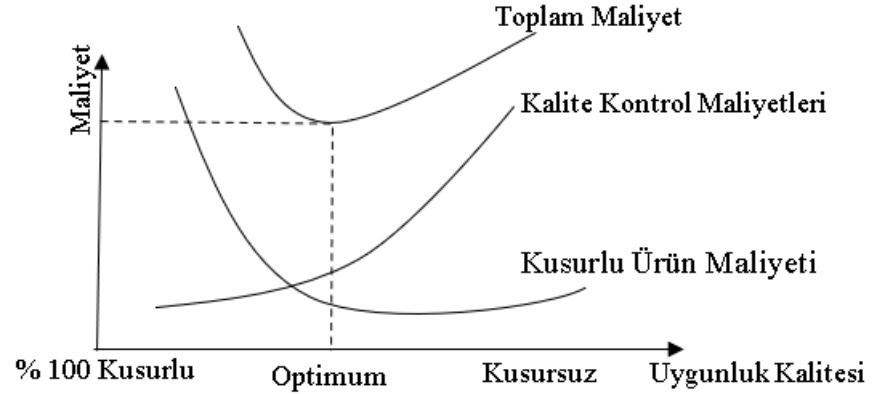
İnşaat projelerinde, tüm projenin kalite performansını ve aktivitelerin kalitesini ölçmek için yöneticilerin deneyimi yerine pratik ve sayısal bir ölçüm gereklidir (Khang ve Myint 1999). Müteahhitler proje kalitesini sağlamak için aşağıdaki şartları dikkate almalılardır.

1. Proje kalitesini şartnameye göre bitirmek
2. Anlaşmaya göre gerekli malzemeleri sağlamak
3. Çalışmadan önce şartnameler ile karşılaştırmak için tüm malzemelerin laboratuvar testlerini yapmak

2.8. Kalite Maliyetleri

Kalite maliyetleri henüz yeterince anlaşılmamışsa da kalite maliyetleri ile ilgili çalışmalarda ele alınabilecek sistemler önemli bir yere sahiptir. Toplam Kalite Yönetimi (TKY)'ne göre kalite ne kadar yüksek ve kusursuz ise maliyet o kadar düşük olur. Kalite maliyetleri aşağıda sıralanabilmektedir (Küçük 2005).

- Ölçme maliyeti
- Hatalı üretim maliyeti
- Kusurlu ürünlerin iç maliyeti
- Kusurlu ürünlerin dış maliyetleri
- Önlem maliyetleri



Şekil 2.6. Kalite maliyetleri ve uygunluk kalitesi arasındaki ilişkisi (Kul 2010)

Şekil 2.6’de görüldüğü gibi toplam kalite maliyetini en aza indirmek için hataların değerlendirilmesi ve önleme harcamalarının maliyetlerinin ölçülebilmesi için optimizasyon sorunu gibi bir problem ortaya çıkmaktadır. Faktörlerin değişikliği nedeniyle oluşan toplam kalite maliyet eğrisinin minimum noktasında optimum uygunluk kalitesi elde edilmektedir (Kul 2010).

2.9. Süre-Maliyet Ödünleşimi

İnşaat projelerinde süre-maliyet en önemli endişe duyulan ilişkilerden biridir (Ng ve Zhang 2008). Süre-maliyet kriterleri ilişkilidir. Ancak birbirine karşı koyucu kriterlerdir. Günümüzde bu iki kriter proje başarısında büyük bir rol oynamaktadır (Aminbakhsh 2018). İnşaat projelerinin maliyeti ve süresi birbirilerine göre etkilenmektedir. Projenin tüm aşamalarında, projenin başarısını veya başarısızlığını etkilemektedir. Genel olarak proje aktivitesinin zamanında düşüş olduğunda direkt maliyeti (ekipman, işçilik, malzeme) artmaktadır. İnşaat projelerindeki aktivitelerin tamamlama süresi direkt maliyeti ile ilişkilidir. Bir başka ifadeyle bir aktivitenin süresi ve maliyeti arasında ters orantılı bir ilişki olduğu sayılmaktadır (ELBaasuny 2016). Süre ve maliyet, proje yaşam

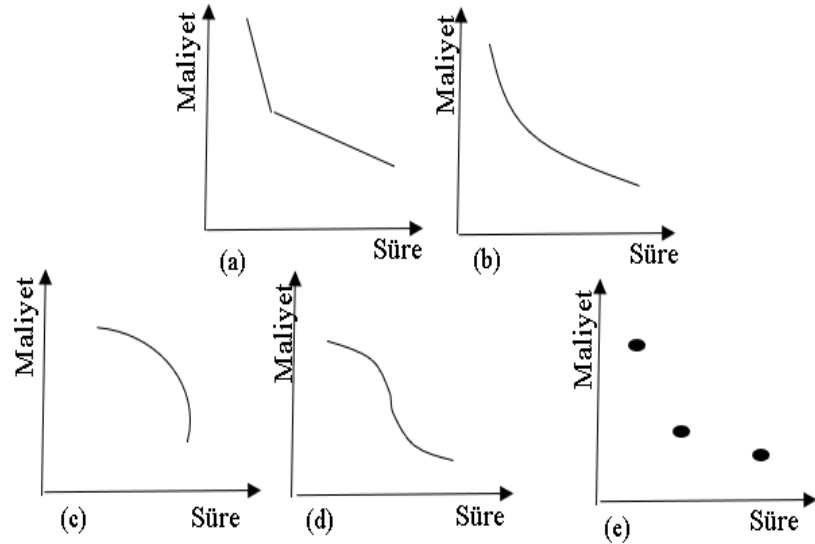
döngüsünün ilk aşamasında projenin fizibilitesini belirlemektedir ve planlama aşamalarında ve tasarımın sonucuna da önemli bir etkisi vardır (Golzarpoor 2012).

İnşaat projeleri için süre-maliyet ödünleşim kararları çok karmaşıktır ve her proje görevi için uygun bir inşaat yöntemi seçilmesi gerekmektedir (Elbeltagi 2010). Ayrık maliyet-süre ödünleşim sorunları, tüm proje faaliyetleri için çift maliyet ve süre seçeneği sayılarak çözümlenebilmektedir (Tatar 2016). İnşaat projelerinde iki farklı sebep nedeniyle ayrık süre ve maliyet tercih edilmektedir.

1. İnşaat projeleri pratik açısından daha uygundur.
2. Süre ve maliyet ilişkisini modellemek için uygundur (Tareghian ve Taheri 2007).

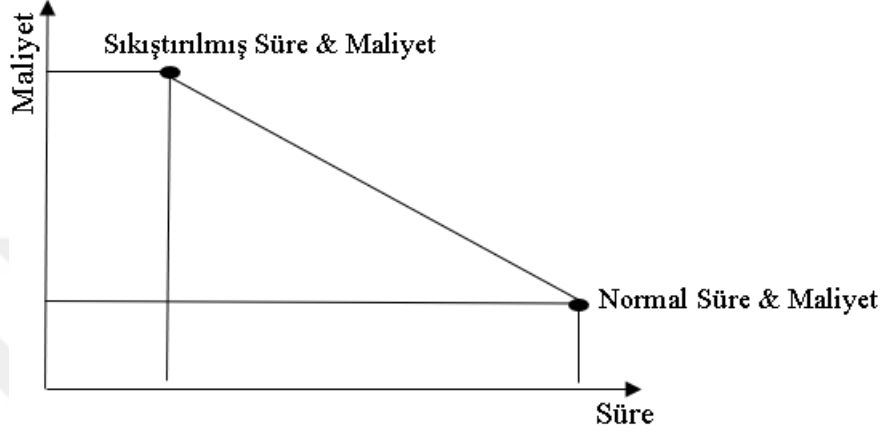
Yang (2005) tarafından yapılan araştırmada süre ve maliyet ilişkileri için aşağıda Şekil 2.7’de gösterildiği gibi çeşitli fonksiyonlar sunulmaktadır.

- a) Parçalı doğrusal
- b) İçbükey
- c) Dışbükey
- d) Dışbükey ve içbükey kombinasyonu
- e) Ayrık



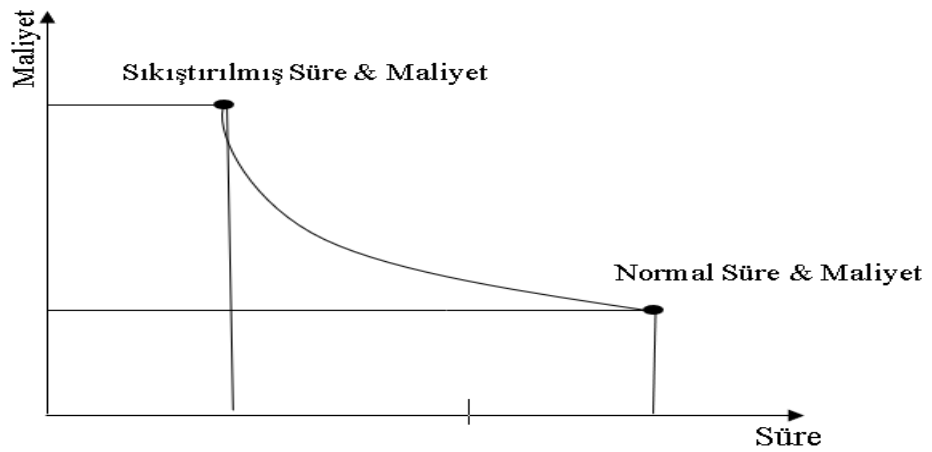
Şekil 2.7. Süre-maliyet ilişkilerinin türleri

Geleneksel olarak hem süre-maliyet analizleri ve hem de süre-maliyet kalite analizleri dışbükey eğri olarak belirlenmektedir (İşçioğlu 2011). Bu araştırmada süre-maliyet-kalite ödünleşim analizinde ilişki ayrı bir eğri olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.8’de maliyet-süre arasında bir doğrusal ilişkiyi göstermektedir. Süre artınca direkt maliyeti azalmaktadır.

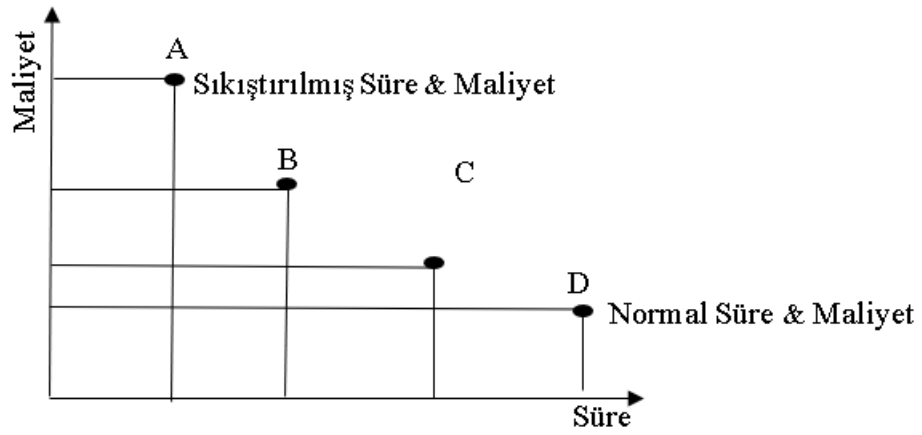


Şekil 2.8. Aktivite için doğrusal süre, maliyet ödünleşiminin gösterimi

İnşaat projelerinde bir aktivite daha fazla hızlandırılmaya çalışırsa, günlük hızlanma maliyette artışa sebep olacaktır. Şekil 2.9’da gerçekçi doğrusal olmayan süre ve maliyet arasındaki ilişki gösterilmektedir (Aminbakhsh 2018).

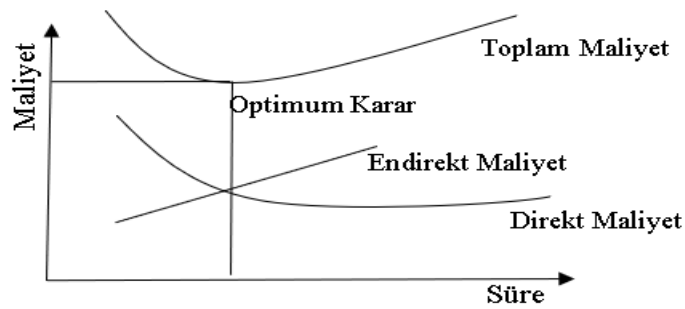


Şekil 2.9. Aktivite için lineer olmayan süre-maliyet ödünleşimin örneği



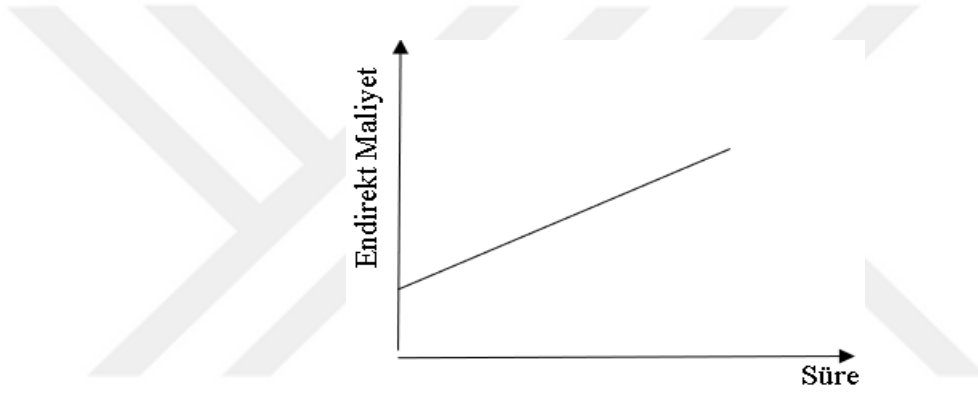
Şekil 2.10. Bir aktivite için ayırık süre-maliyet ödünleşimin örneği

Şekil 2.10'da gösterildiği gibi aktivitelerin süre-maliyet (doğrudan maliyet) ilişkileri doğrusal veya eğrisel ve sürekli veya ayırık olarak ayrılabilir. İnşaat projelerinde toplam süre sınırlandırılmasına (son teslim tarihi) bazı zamanlarda uyulmaz ve bu dezavantajı bertaraf etmek için süre- maliyet ödünleşim analizi geliştirilmektedir (Hegazy 2002). İnşaat projelerinde süre-maliyet ödünleşiminin amacı, projelerin toplam maliyeti ve toplam süresi ile bir dengeye ulaşabilmektir. Bu denge, daha hızlı ve iyi bir optimizasyon kullanılarak aktivitelerin optimum seçimi ile elde edilebilmektedir. Projenin süresini azaltmak için hızlandırılabilir aktivitelerin ve maliyeti en aza indirilebilmek için gevşetilebilecek aktivitelerin seçilmesi gerekmektedir. Proje faaliyetinin süresini minimuma düşürmek için yüksek verimli kaynaklar veya değişik inşaat yöntemleri kullanılarak bazı faaliyetlerin süresi indirilmelidir. Diğer taraftan projenin toplam maliyetini en aza düşürmek için ucuz veya çok pahalı olmayan kaynaklar ve faaliyetlerin süresi daha uzun gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2.11. Proje süre-maliyet ilişkisi (Hegazy 2002)

Şekil 2.11’de gösterildiği gibi proje toplam süre ve maliyet ilişkisini belirlemek için endirekt ve direkt maliyet değerleri toplanarak elde edilebilir. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi en uygun proje süresi ile projenin optimum toplam maliyeti belirlenebilmektedir. İnşaat projelerinde direk maliyet, tüm aktivitelerin toplam direkt maliyetine eşittir ve proje süresinde düşüş olması direkt maliyetin artmasına sebep olacaktır. Ancak inşaat projelerinde süre ve endirekt maliyet hemen hemen doğrusal bir ilişkiye sahiptir. Yani proje süresini minimuma indirmek endirekt maliyetin azalmasına sebep olacaktır (Elbeltağı 2010). Dolaylı maliyetler, süreye bağlı ve süreden bağımsız türlerden oluşmaktadır. Dolaylı maliyetler, proje başlangıcında daha hızlı artacaktır ve daha sonra sabit bir eğimde kalacaktır (Aminbakhsh 2018).



Şekil 2.12. Dolaylı maliyet-süre ilişkisi (Aminbakhsh 2018).

Şekil 2.12’de projenin süre ve dolaylı maliyeti arasında doğrusal bir ilişki gösterilmektedir. Proje süresinin hızlandırılması dolaylı maliyette düşüşe sebep olmaktadır. Projelerde süre ve maliyet kriterleri arasında, sadece minimum maliyet dikkate alındığında proje çizelgelemesi çok uzun olacaktır. Dolayısıyla projede gecikmeye neden olabilmektedir. Bu nedenle yöneticiler hem minimum maliyeti elde etmek hem de proje süresini kısaltmak için süre-maliyet ödünleşim analiz yöntemini kullanarak projenin süresi ve maliyeti arasında dengeli ve optimum bir çözüm bulmayı amaçlarlar.

İnşaat projelerinde, aktivitelerin süresi aşağıdaki eylemlerden biri ile azaltılabilmektedir (Elbeltağı 2010).

- Birden fazla çalışma mesai uygulamak

- Çalışma saatlerini uzatmak
- Ek kaynakları kullanmak
- Tatil günleri ve hafta sonlarında çalışmak
- Malzeme ile daha hızlı montaj teknikleri kullanmak
- Alternatif inşaat yöntemleri kullanmak
- Proje verimliliğinin yükselmesi için teşvik ödemeleri yapmak

Genel olarak yükleniciler projeyi erken bitirmek veya hızlandırmak ile başka bir projeye erken başlamak, gecikme cezalarından, olumsuz iklimlerden kaçınmak, nakit akışını iyileştirmek gibi diğer faktörlerden faydalanmayı amaçlamaktadırlar. Çoğu proje karı artırmak için hızlandırılmaktadır. Ancak projeyi hızlandırmak yalnızca bir seviyeye kadar karlı olabilmektedir. İnşaat sanayi enstitüsüne göre projenin hızlandırılması için 90'dan fazla teknik vardır. Mübarek (2010) hızlandırma tekniklerinden bazılarını özetlemiştir.

- Taraflar arasındaki iletişimin bozulmasını önlemek
- Proje yönetimi ve denetimini iyileştirmek ve geliştirmek
- Proje çizelgelemesinin eksiklerini veya hatalarını gözden geçirmek ve değerlendirmek
- Ek insan kaynakları tahsis etmek
- Hızlı izlemeyi uygulamak
- Fazla çalışma mesaisi kullanmak
- Daha verimli inşaat yöntemleri kullanmak
- İşgücü ve personel için teşvikleri belirlemek
- İşgücünün boyutunu artırmak
- Daha hızlı kurulum işlemleri ile malzemeleri kullanmak

Son zamanlarda süre-maliyet ödünleşim problemleri çok kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Araştırmacılar problemlerin farklı yönlerini incelemiştir. Bu problemlerin farklı yönleri genel olarak üç kategoriye ayrılarak incelenmektedir (Golzarpoor 2012).

1. Aktivitelerin deterministik (belirli) veya belirsiz özellikleri
2. Objektif (amaç) fonksiyonunun tek amaçlı veya çok amaçlı olması
3. Problemleri çözmek için kullanılan çözüm yöntemleri

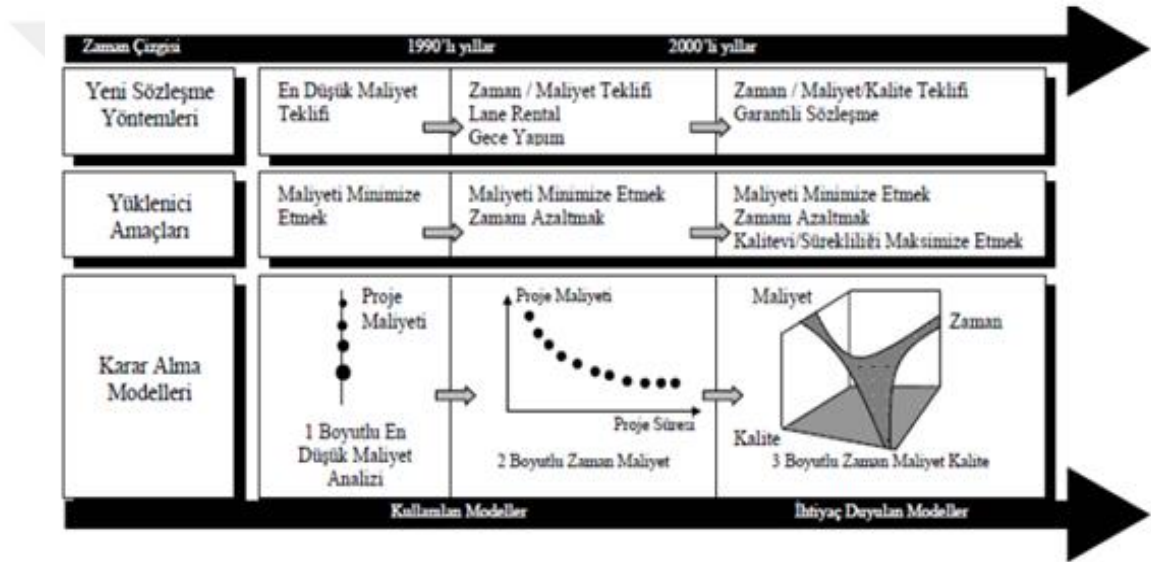
2.10. Süre-Maliyet- Kalite Ödünleşimi

Bu çalışmada, inşaat projelerinde önemli role sahip olan maliyet, kalite ve süre faktörlerinin dengesinin incelenmesi ve optimize edilmesi amaçlanmaktadır. Projenin maliyeti, kalitesi ve süresi hakkında optimizasyon yöntemi ile sayısal cevaplar bulunması hedeflenmektedir. İnşaat firmaları ve işverenler daha fazla kar elde etmek için süre-maliyet faktörlerinin optimizasyonunu modelleyerek optimize etmeye çalışmaktadırlar. Ancak inşaat projelerinin tüm performansı süre, maliyet ve kalite ilişkilerine bağlıdır. Literatür incelemelerinde en çok süre ve maliyet kriterleri incelenmiştir. Ancak daha az dikkat çeken hususlardan biri de projenin kalitesidir.

İnşaat projelerinin süresini ve maliyetini minimuma düşürürken kalitesini artırmak genellikle eşleşmeyen, farklı hedefleri takip etmektir (Jafarnejad ve Akbarpour 2010). İnşaat projelerinde süre-maliyet-kalite arasında ilişki vardır ve projenin başarılı olabilmesi için bu faktörler dengeli olmalıdır. Bu üç faktörden biri eksik veya biri (özellikli kalite) analize dahil değilse proje ihalesine ve projenin son başarısına olumsuz etkili olabilmektedir. Genelde projelerin süre ve maliyet analizlerinde her aktivitenin tüm kaynak faydalanma seçenekleri için kalitenin aynı olduğunu sayılmaktadır. Günümüzde böyle düşünmek doğru değildir. Süre, kalite ve maliyet ödünleşim analizinin temel amacı, projenin toplam süresini ve toplam maliyetini en aza indirirken proje kalitesini en üst düzeye çıkarmak ve optimum çözüme ulaşmaya çalışmaktır (ElBassuony 2016).

Yapılan çalışmalarda matematiksel planlama alanında projenin en önemli unsurları olan süre, kalite ve maliyet üzerinde birçok model gerçekleştirilmiştir (Alikhanzadeh ve ark 2015). İnşaat projelerinde projenin hem faaliyetleri hem de alt yüklenici sayısı fazla olduğunda alternatifleri çözebilmek birçok kombinasyona sebep olabilmektedir. Kombinasyonlar arasında optimum çözümü bulmak için bir optimizasyon problemi oluşturulmaktadır (Kaplan 2014). Projelerin süre, kalite ve maliyet optimizasyon sorunlarını çözebilmek için en çok matematiksel modelleme yöntemi kullanılmaktadır (Karaman ve kale 2007).

Gönümüzde inşaat projelerin kalitesini en üst düzeye çıkarmak için yeni sözleşme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. İnşaat projelerinde zamanla yeni sözleşmeler ve proje yüklenici amaçları projenin üç temel unsuru olan süre-kalite-maliyet için optimizasyon analizinden en uygun çözümünü bulmak için yeni modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu modelleri çözmek için farklı yöntemler kullanmaya çalışılmaktadır. Şekil 2.13’de inşaat projelerinde süre-maliyet analizinin zamanla gelişmiş bir üç boyutlu süre-maliyet–kalite ödünleşim analizine değişimi gösterilmektedir. Şekilde inşaat süresi, maliyeti, kalitesinin birçok hedeflerini optimize edebilen gelişmiş kaynak kullanım modelleri için yeni ve acil ihtiyaçlar gösterilmektedir (Raves ve Kandil 2005).



Şekil 2.13. Yeni sözleşme yöntemlerinin karar almaya etkisi (Karaman ve kale 2007).

Bu sistemin temel amacı, proje maliyetini ve süresini en aza indirmek ve aynı zamanda kalitesini en üst düzeye çıkarmak için kaynak kullanımını optimize etmek isteyen tipik inşaat planlamacılarına pratik bir destek sağlamaktır. Kalitenin ölçümü, projenin toplam kalitesindeki kriterler ve özelliklerle ölçülebilir. Planlanan kalite, planlanan iş, tamamlanan iş ve iş süresince kazanılan kalite olarak ölçülebilir (İşçioğlu 2011). Gelişmelerinin tipik inşaat projelerinin planlanmasında uygulanması aşağıdaki güçlü vaatte bulunmaktadır (ELrazek ve ark 2010; İşçioğlu 2011).

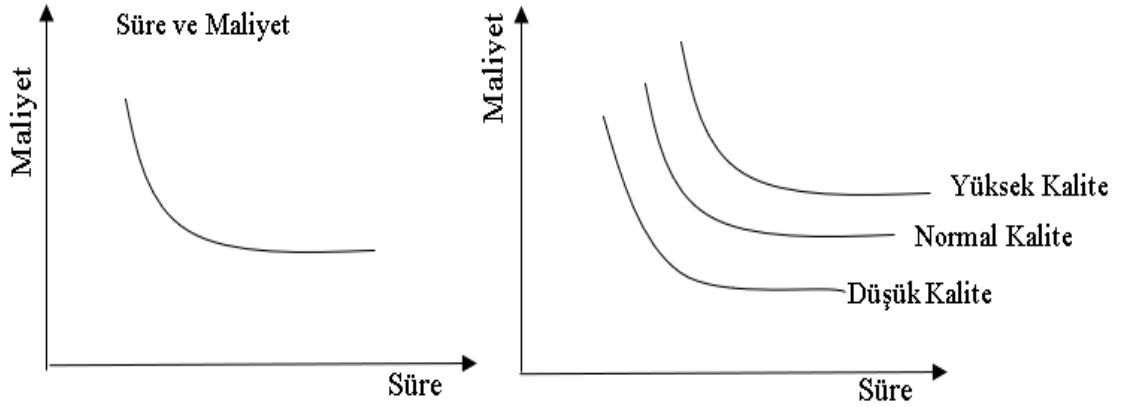
- 1) Tipik inşaat projelerinde kaynak kullanım verimliliğini artırmak.
- 2) İnşaat süresinin kısaltılması

- 3) İnşaat maliyetini en aza indirmek (doğrudan maliyet artı dolaylı maliyet)
- 4) Yeni inşaat projelerinin kalitesini artırmak.

Babu ve Suresh (1996), makalesinde ilk defa projelerde toplam maliyet ve süre yanında kalitenin etkisini incelemiştir. Genelde inşaat projelerinde projenin kalitesini ortalama olarak kabul etmektedir. Ortalama hesabı üç farklı fonksiyon ile hesaplanmaktadır.

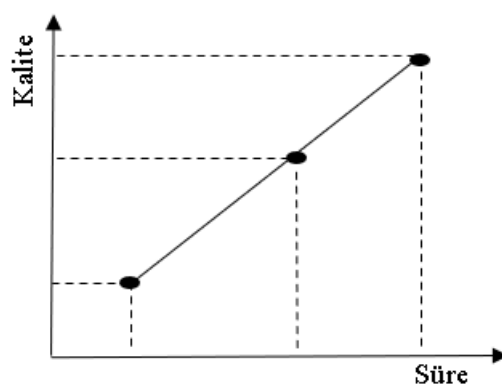
1. Aritmetik ortalama
2. Geometrik ortalama
3. Minimum fonksiyonu

Bu araştırmada, proje yöneticisi için ilk aşamada inşaatın zamanında tamamlanması en önemli hedef olmaktadır. Yöneticiler ve mühendisler, kalite performansını projelerin planlamasına diğer iki faktör olan süre ve maliyet gibi dahil etme olasılığıyla ilgilenmektedir. Kalite-maliyet-süre ödünleşim ilişkileri doğru ve uygun grafikler ile gösterildiğinde mühendisler ve yöneticilere uygun ödünleşim kararları vermelerinde yardımcı olabilecektir. Süre ve kalite arasındaki ilişkinin doğrusal varsayılması daha problemlidir. Projelerin kalitesini, süresini ve maliyetini analiz etmek için bir model oluşturarak geliştirilmeye çalışılmıştır. Modeldeki süre-maliyet-kalite arasında biri için en uygun çözüm bulmaya çalışılırken diğer ikisi istenen seviyeler veya sınırlar ile kısıtlanmaktadır. Proje maliyeti, kalite ve tamamlanma süresi arasındaki doğrusal ilişkiye dayanmaktadır. Ödünleşim analizleri metodolojinin tanımlanması ve başarılı bir şekilde uygulanmasıyla kolaylaştırılmaktadır. Süre-maliyet ödünleşim problemlerinin analizlerinde kalite de dikkate alınmalıdır. Bu araştırmada, ödünleşimleri hesaba katmak için optimizasyon modelleri geliştirilmektedir. Projenin aktivite süresi azaldıkça kalitesinde düşüş olacağı varsayılmaktadır. Ancak inşaat projelerinde her zaman böyle olmayacaktır.



Şekil 2.14. Süre, maliyet ve kalite grafikleri (İşçioğlu 2011)

Proje kriterleri arasındaki ilişkilerin en basit hali doğrusal ilişkilerdir. Ancak Şekil 2.14'te görüldüğü gibi sürekli durumda içbükey eğridir. Yukarıdaki Şekil 2.14'de görüldüğü gibi kalite arttıkça proje maliyetinin de artması öngörülmektedir. Proje süresinin uzaması proje kalitesinin yükselmesine sebep olmaktadır (Pollack-Johnson ve Liberatore 2006).



Şekil 2.15. Projenin kalite -süre ilişkisi (Kul 2010)

Şekil 2.15'de projenin tamamlanma süresi azaldığında hem projenin kalitesinde düşüş görülmekte hem de proje maliyeti daha fazla olabilmektedir. Proje kalitesini yükseltmek ek maliyetlere, ek masraflara sebep olmaktadır (Kul 2010).

Literatürde yer alan süre-maliyet ödünleşim ve süre-maliyet-kalite ödünleşim incelenmelerine göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilmektedir (ELBassuony 2016).

1. TCT (Time Cost Trade-off) ve TCQT (Time Cost Quality Trade-off) araştırmaları karşılaştırıldığında, inşaat projelerinin TCQT'sine odaklanan araştırmalar TCT'a odaklanan araştırmalara kıyasla daha az rapor edilmektedir.
2. Deterministtik TCT ve TCQT ile kıyaslandığında raporlanan araştırmalarda, inşaat projelerinin TCT ve TCQT analizlerine belirsizlik dahil etmektedir.
3. Ödünleşim problemleri, sürekli ve ayrık olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Ayrık ilişkiler inşaat projeleri için daha uygun ve ilgilidir. Ayrık ilişkiler, yürütme seçeneklerinin kalite, süre, maliyet arasındaki ilişkileri daha uygun ve ilgili olarak tanımlanabilmektedir. Ayrık ilişkiler diğer sürekli ilişkilere de uygulanabilmektedir.

2.11. Kaynak Araştırması

Literatürde süre-maliyet- kalite ödünleşim problemlerinde optimum çözüm elde etmek için çeşitli araştırmalarda en iyi ve güncel optimizasyon yöntemleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır.

Akbari (2020) makalesinde, programlama algoritmasının verimliliğini artırmak için ilk popülasyon COA (Cuckoo Optimization Algorithm) fonksiyonu ve GA (Genetic Algorithm) operatörlerinde önemli değişiklikler sunmuştur. Heterojen dağıtım sistemlerinde verimli çizelgeleme algoritmaları tasarlarlarken en önemli konulardan biri, yürütme süresinin kısaltılmasıdır. Guguk kuşu arama ve genetik algoritmaları daha az tekrar ile optimum bir programlamaya veya en az bir süreye ulaşmak için kullanılmaktadır. Makalede, en son önerilen meta-sezgisel algoritmaların sonuçları diğer sezgisel algoritmalar ile karşılaştırılmıştır.

Lakshminarayanan ve Kaur (2018) araştırmasında optimum bir bakım çizelgesi oluşturmak ve Np-hard optimizasyon problemleri çözmek için ayrık tamsayı guguk kuşu arama algoritmasını önermiştir. Guguk kuşu arama algoritmasının eşleştirilmesi ve basitleştirmesi için iki kontrol parametresi vardır. Birincisinde yuva sayısı 'n' ile gösterilir ve ikincisinde ise adım boyutu ölçeklendirme faktörü " α " ile gösterilmektedir. Ayrık guguk kuşu arama algoritması ve diğer algoritmalar ile IEEE RTS test sistemi olarak denilen iki test yapılmıştır. En son elde edilmiş sonuçlar DICS sonuçları ve diğer algoritmaların sonuçları ile karşılaştırmıştır. Sonuçlara göre, DICS diğer algoritmalarından daha iyi performans göstermiştir.

Shadkam ve Bijari (2014) araştırmasında guguk kuşu arama algoritmasının verimliliğini rastrigin fonksiyonu kullanarak ateşböceği ve yapay arı kolonisi gibi algoritmalar ile değerlendirip, elde ettiği sonuçları kıyaslamıştır. Guguk kuşu arama algoritmasının kıyaslamasında maliyet fonksiyonlarını değerlendirmiştir. Sonuçlara göre yüksek boyutlu test fonksiyonunda, ateşböceği algoritmasının ve yapay arı kolonisi algoritmalarının global optimalin yakın bir değerine bile yaklaşamadığını görmüştür. Guguk kuşu arama algoritmasının yalnızca 35 iterasyonla global minimumu bulduğu belirtilmiştir. Guguk

kuşu algoritmasının diğer algoritmalara göre daha güçlü ve daha hızlı bir algoritma olduğu sonucuna varılmıştır.

Khoe ve Hatamloo (2014) araştırmasında çeşitli makalelerde sunulan, guguk kuşu algoritmasının çeşitli problemleri çözmede yüksek verimliliğini ve sonuçlarını göstermiştir. Elde edilmiş sonuçlar incelenerek inşaat mühendisliği, endüstri, enerji santralleri ve hastalık gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan diğer evrimsel optimizasyon yöntemlerine göre üstünlük elde edilmiştir. Makalelerin incelemesinden elde edilmiş sonuçlara göre guguk kuşu arama algoritmasının daha hızlı, yerel noktalara yakalanma olasılığı çok düşük, yüksek doğruluk, değişken nüfusla arama ve yüksek boyutlu optimizasyon problemlerini hızlı bir şekilde çözme becerisinden bahsedilmiştir.

Kanagaraj ve ark. (2014) araştırmasında, problem kısıtlamaları, tamsayı, ayrık ve sürekli değişkenler gibi karışık değişkenleri içeren mühendislik tasarım optimizasyon problemlerini çözmek için etkili bir guguk kuşu arama algoritması ve genetik algoritma sunmuştur. Araştırmada, 13 kıyaslama fonksiyonu ve üç tasarım optimizasyon problemi değerlendirilmektedir. Sonuçlar, kısıtlı tasarım optimizasyon problemleri için son algoritmalara göre rekabetçi performans göstermektedir.

Mahmoudi ve ark. (2013) araştırmasında ikili guguk kuşu arama algoritması ve diğer ikili GA, PSO algoritmalarından elde edilmiş sonuçları kıyaslamıştır. Guguk kuşu arama algoritması kullanılarak ikili optimizasyon problemlerini çözmek için yeni bir fikir önerilmiştir. Guguk kuşu arama algoritması genel olarak sürekli problemler için planlanmıştır. Ancak bu makalede, ayrık ve ikili yapıdaki sorunlara uygulanmaktadır. Elde edilmiş sonuçlara göre ikili guguk kuşu arama algoritması diğer algoritmalarından daha hızlı yakınsamış ve daha iyi optimal nokta elde etmede iyi performans göstermiştir.

Rajabioun (2011) tarafından sürekli doğrusal olmayan problemler için guguk kuşu arama algoritması sunulmuştur. Araştırmada gerçek bir problem uygulamasında Np-hard optimizasyon problemleri ile başa çıkma yeteneği denenmiştir. Test edilmiş beş kıyaslama sonucuna göre guguk kuşu arama algoritması diğer GA, PSO algoritmalarından daha hızlı yakınsama ve global optimal optimizasyonlarda daha

uygunluk ve üstünlük göstermiştir. Ancak diğer meta-sezgisel algoritmalar gibi guguk kuşu arama algoritması da bazı optimizasyon problemleri için uygundur.

Jeunet ve Orm (2020) çalışmasına göre kalite, projelerin başarısında çok önemli olmasına rağmen proje çizelgeme problemlerinde çok az veya neredeyse hiç dikkate alınmamıştır. İnşaat projelerinde daha yüksek kalite, daha uzun işlem süresi ile ilişkilidir. Projenin hızlandırılması için fazla mesai ve geçici ek insan gücü kullanılmıştır. Proje'nin kalitesinin ve verimliliğin artırması aynı zamanda geçici iş ve fazla mesaiyi optimize etmek için MILP (Mixed Integer Linear Programming) geliştirilmiştir. Proje döneminde her faaliyet için sürekli, geçici ve fazla mesai işçilerinin sayısı en aza indirilmeye çalışmıştır. Bir projeyi gerçekleştirmek için homojen ve statik verimlilikte tek-yetenekli işgücü planlama problemi bir MILP formülasyonu geliştirilmiştir. Araştırmada üç aşama incelenmiştir. İlk olarak kalite ve işgücü kullanımı arasında doğrudan bir ilişki formüle edilmiştir. İkinci olarak proje verimlilik kayıpları dikkate alınmıştır. Üçüncü aşamada modelin süre-maliyet-kalite için optimum çözümü elde etmek için incelenmesi yapılmıştır.

Liu ve ark. (2020) araştırmasında, inşaat projelerinin boyut ve maliyet açısından gittikçe daha büyük ve karmaşık olduğunu belirtmişlerdir. Projenin süre ve maliyetlerinde tasarruf etmek için inşaat çizelgelemesi geliştirilmiş bir optimizasyon aracı incelenmiştir. Ancak büyük ölçekli inşaat projelerindeki süre-maliyet ödünleşim problemini çözmek için sadece çok az araştırma görülmektedir. Bu çalışmada inşaat çizelgelemesinin büyük ölçekli ayrık süre- maliyet ödünleşim problemini çözmek için semiyotik organizma arama algoritma (DSOS) versiyonu sunulmaktadır. Bu geliştirme arama aşamasının iyileştirmesine ve erken durgunluğun önlenmesine yardımcı olmaktadır. Sonuçlara göre DSOS'un sağlamlık ve optimum sapma seviyeye çok yakın çözümler elde edilebileceği uygun bir yöntemdir. DSOS yöntemi diğer meta-sezgisel yöntemlere göre çoğu durumda daha iyi performans göstermektedir.

Işıkyıldız (2019) araştırmasında süre, maliyet ve kalite optimizasyon problemlerini meta-sezgisel yöntem kullanarak çözmüştür. Çok amaçlı ve çok alternatifli genetik algoritma yöntemi uygulanarak süre ve maliyet en aza indirilmeye ve kalitede en üst seviyeye

ulaşılmaya çalışılmıştır. Projenin her faaliyeti için çok alternatifli optimizasyon problemi için en uygun çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Araştırmanın sonunda genetik algoritma ikinci vaka verileri bulanık mantık yöntemi ile kıyaslanmıştır.

ElBassuony (2016) çalışmasında inşaat projelerinin performansında süre, maliyet ve kalite ilişkilerini dikkate almıştır. Bu çalışmada hem süre, maliyet ödünleşim hem de ayrıık süre, maliyet, kalite ödünleşim problemlerinin analizleri ve etkinlikleri araştırılmıştır. Süre-maliyet-kalite ödünleşimini modellemek için Microsoft Excel programı ile üç farklı model geliştirilmiştir. Kalitenin ölçüm yaklaşımları araştırılmış ve en uygun yaklaşımlar geliştirilen süre-kalite-maliyet modelinde kullanılmıştır. Çalışmada Evolver programı ve kendi geliştirdiği optimizasyon araçları kullanılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Aminbakhsh ve Sonmaz (2016) tarafından ayrıık süre, maliyet ödünleşim problemlerine uygun bir çözüm bulmak için araştırma yapılmıştır. Bu makalede küçük, orta ve büyük ölçekli projelerin ayrıık süre-maliyet-kalite ödünleşim problemleri için daha etkili ayrıık parçacık sürüsü optimizasyonu (DPSO) yöntemi kullanılmıştır. DPSO yöntemi daha çok orta ve büyük ölçekli projelerin optimizasyon problemleri için hem çözüm kalitesi hem de hesaplama süresi açısından en son yöntemlerden daha iyi performans göstermiştir. Bu çalışmada proje süre-maliyet dengelenmesi için ilk kez 650 aktiviteyi PSO algoritma ile çözüp, yüksek kaliteli çözümler elde etmiştir. PSO algoritmasının, büyük boyutlu projelerin süre-maliyet dengelenmesi ve planlanması için sağlam bir yöntem olduğu çıkarımını yapmıştır.

Monghasemi (2015) araştırmasında ayrıık süre-maliyet-kalite problemlerine uygun çözüm bulmak ve karar vericiler için en uygun projeyi seçmek için çok amaçlı optimizasyon modelleri GA ve geliştirilmiş İHS algoritmaları kullanmıştır. DTCQTP'lerin pareto optimumu çözümlerini sıralamak için üç farklı ER, PROMETHEE ve TOPSIS yaklaşımları kullanılmıştır. GA ve İHS algoritmalarından hangisinin optimizasyon modelleri için daha verimli olduğunu belirlemek için karşılaştırmıştır. Bu iki algoritmanın karşılaştırılmasında İHS algoritmasının daha verimli, daha yüksek performanslı ve genetik algoritma yönteminden daha hızlı bir algoritma olduğu gösterilmiştir.

Araştırmada üç yaklaşım da birbiri ile kıyaslanmıştır. TOPSİS yöntemi daha basit ve diğer iki yaklaşımdan etkili değildir. Elde edilmiş sonuçlara göre PROMETHEE yaklaşımı ER yaklaşımından daha karmaşık bir yöntemdir. Araştırmada tüm sonuçlarda ER yaklaşımı daha yüksek güvenliğe sahip çözümleri sıralamaktadır.

Monghasemi ve ark. (2014) tarafından çok kriterli karar verme (MCDM) yaklaşımları proje yöneticilerinin en optimum pareto çözümler arasında en uygun çözümü seçmelerine yardımcı olabilmesi için araştırılmıştır. Ayrık süre-maliyet ödenleşim problemleri için en iyi pareto çözümünü belirlemek için ilk kez ER yaklaşımı uygulanmıştır. En optimum çözümler ER yaklaşımı kullanılarak sıralanmıştır. Bu araştırmada bir karayolu projesinin optimum çözümünü belirlemek için geliştirilmiş çok amaçlı bir genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Araştırmadan elde edilmiş sonuçlar ER yaklaşımının diğer MCDM yöntemlerinden daha güçlü ve proje çizelgelemesi açısından daha pratik çözümler ürettiğini ortaya koymuştur. DTCQTP'lerin çözülmesinde kullanılmış ER yaklaşımından son derece verimli performans ve uygun çözümler elde edilmiştir.

Tran ve ark. (2014) araştırmasında inşaat projelerinde süre-maliyet-kalite değişkenlerini dikkate almıştır. Süre-maliyet-kalite ödünleşim optimizasyonu inşaat projelerinde genel proje başarısını, verimliliğini ve etkililiğini arttırmak için gereklidir. Bu araştırmada optimizasyon probleminin uygun çözümünü elde edebilmek için geliştirmiş hibrit algoritması uygulanmıştır. DE operatörlerin MOABC algoritma yöntem işlemlerinde kullanılarak yakınsama hızını ve çözüm doğruluğunu daha fazla geliştireceği elde edilmiştir. Makalede MOABCDE algoritması diğer dört algoritma ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre geliştirilmiş algoritması verimlilik, etkinliğinin doğruluğu, özelliklerin çeşitliliği ve memnuniyet derecesi açısından daha iyi performans göstermiştir. MOABCDE modeli diğer yaklaşımlardan daha iyi pareto cephesi oluşturmuştur.

Mungle ve ark. (2013) yaptığı araştırmada projede kalite de dikkate alınmıştır. Son yıllarda devletler inşaat projelerinin kalitesini artırmak için yeni sözleşme yöntemlerini kullanmaya teşvik etmektedirler. İnşaat projelerinin süre, maliyet ve kalite ödünleşim sorunlarını çözmek için bulanık kümelenmeye dayalı genetik algoritma (FCGA) yaklaşımı başarıyla uygulanmıştır. İnşaat faaliyetlerinin kalite yaklaşımını

değerlendirmek için AHP tekniği kullanılmıştır. Bu çalışmada üç test vakası için CSMOPSO, MOGA ve SPEA-II gibi diğer çok amaçlı optimizasyon yaklaşımlarının performans analizi araştırılmıştır. FCGA'nın performans analizi yakınsama derecesinin, çeşitlilik ve hız bakımından her üç test vakasında daha iyi performans elde edilmiştir.

Sultan Panah ve Hoseini (2012) araştırmasında inşaat projelerinin kalitesini QFD yöntemi ile değerlendirip incelemiştir. QFD yöntemi, müşterilerin düşüncelerine dayanmaktadır. İnşaat projelerinin kalitatif değerlendirmesi için de en uygun yöntemlerden biridir. QFD'nin iki stratejik ve operasyonel yaklaşımı kullanılmıştır. Stratejik yaklaşımda kaliteyi daha fazla makro kavramı ele alınmaktadır. Üretim ve hizmet sürecinin yönetim düzeyine kadar gelişimi göz önünde bulundurulmaktadır. Bu amaçlara ulaşabilmek araştırma iki aşamada yapılmıştır. İlk aşamada AHP yöntemi ve QFD yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Bina kalitesinin 16 bileşeni ile konut inşaat projelerinde yer alan tasarımcı, yönetici ve konut organizasyonu faktörleri arasındaki ilişkiler ve bu üç faktörün her birinin proje kalitesini iyileştirme rolü incelenmektedir. İkinci aşamada uygulanan konut projelerinin ideal duruma uygunluk düzeyi belirlenmektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre konut projelerinin optimal inşaatında yukarıda bahsedilen üç faktörün rolünün neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Ayrıca konut projelerinde kalite endeksi yüzde 53 civarında elde edilmektedir.

Liberatore ve Johnson (2009) çalışmasında süre-maliyet-kalite ödünleşim sorunlarını incelerken projenin planlamasında ve zamanlamasında kalitenin dikkate alınmasını sağlayan bir matematiksel programlama modeli sunmuştur. Modelde süre, maliyet ve kalite arasındaki ödünleşimleri göstermek için oluşturulan kalite seviye eğrilerinin nasıl adapte edileceği gösterilmiştir. Süre-maliyet-kalite modelindeki seviye eğrileri proje yöneticileri tarafından karar vermek için kullanılabilir. Böylece belli bir durum için daha iyi ve daha uygun kararlar verilebilir. Bu izo-eğriler süre ve maliyet arasındaki doğrusal olmayan bir ilişkiyi tasvir etmektedir. Proje yöneticilerinin proje aktiviteleri arasındaki ilişkileri değerlendirmeleri ve uygun bir karar almaları için kalite faktörü önemli bir rol oynamaktadır. İnşaat projelerinde kalite dikkate alınmazsa, yöneticilerin uygun olmayan kararlarına sebep olacaktır. Böylece projenin performansı ve başarısı etkilenecektir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Optimizasyon

Optimizasyon, yapısal tasarımda çok önemli ve belirleyici bir faaliyettir. Optimizasyon, bir problemin birçok olası alternatif çözümleri arasındaki en iyi veya en uygun çözümün bulunmaya çalışılmasıdır. Fizik, kimya ve mühendislik gibi birçok bilim dalında optimizasyon çok önemlidir. Bu alanlardaki araştırmacılar, farklı süreçler oluşturmak için optimum tasarımları kullanmakla ilgilenmektedir. Optimizasyonun amacı, problemin sınırlamaları ve ihtiyaçları dikkate alınarak kabul edilebilir en yakın veya en iyi cevabı bulmaktır. Optimizasyon alanını daha iyi ve daha temelde anlamak için öncelikle optimizasyon problemleri hakkında doğru ve yeterli bilgiye sahip olmak gerekmektedir.

Optimizasyon teknolojisi daha hızlı ve kaliteli karar verme imkânı sağlayarak karmaşık problemler için doğru ve en hızlı şekilde çözüm bulmaya yöneliktir (Winston 2003). Projelerde karmaşık problemler veya yeni problemler ortaya çıktığında mühendisler tarafından öne sürülen yeni fikirler optimizasyon ile daha da geliştirilerek çözülmektedir (Huapt ve Ellen Huapt 2004). Optimizasyon kavramı, bir fonksiyonun parametreleri arasında fonksiyonu en aza indiren veya en üst düzeye çıkaran değerleri aramaktır. Bunun için tüm uygun çözümlere ve bu değerlerin en iyi değerine optimum çözüm denilir. Optimizasyon algoritmaları hem maksimizasyon hem de minimizasyon problemlerini kapsar. Optimizasyon, kaynak tahsisi, zamanlama, kararlar vb. yönünde birçok uygulamaya sahiptir. Optimizasyon her zaman birçok sorunla karşı karşıyadır. Optimizasyon sorunlarını çözmek için eski yöntemler ve sayısız hesaplama çabası gerekmektedir. Meta sezgisel algoritmalar bu sorunu bir dereceye kadar çözmüştür. Bu algoritmalar, neredeyse en uygun çözüme yakın çözümler bulurlar.

Optimizasyon problemleri için farklı çözümler olabilir. Bu çözümleri kıyaslama ve optimum çözümü seçmek için amaç bir fonksiyon ile tanımlanmaktadır (Razani ve ark 2013). Optimizasyon, belirlenmiş bir alanı dikkate alarak bir amaç fonksiyonunun mevcut en iyi veya en uygun değerlerini bulma işlemidir (Ng ve Zhang 2008). Son zamanlarda projelerde, özellikle inşaat projelerinde, süre, maliyet ve kaynaklar sınırlı olduğu için optimizasyonun uygulanması daha da önem kazanmaktadır (Yang 2013). Genel olarak

optimizasyon problemlerini çözmek için birçok yöntem vardır. Aşağıda optimizasyon teknikleri üç kategoride sınıflandırılmıştır (ELbassouny 2016).

1. Sezgisel yöntemler
2. Matematiksel yöntemler
3. Evrimsel algoritmalar

3.1.1. Sezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemler, yüklenicilerin ve karar vericilerin optimum çözümü bulmak için belli kurallara dayanan bilgisayar dışı yaklaşımlardır. Sezgisel yöntemler, uygulamalarda çok sade olduğu için diğer optimizasyon yöntemlerinden daha fazla tercih edilmektedir. Ancak sezgisel yöntemlerin karmaşık ve çok amaçlı problemleri çözme potansiyeli azdır (Zhang ve ark 2004). Bu yöntemlerde, matematiksel titizlik kurallarının dikkati yoktur. Diğer yöntemlerden daha az hesaplama çabasıyla iyi çözümler sunabilmektedir ancak en uygun çözümü garanti edemez ve doğrusal bir ilişkiye sahiptir (Feng ve ark 2000).

3.1.2. Matematiksel Yöntemler

Matematiksel yöntemler, sezgisel yöntemler ile karşılaştırma yapıldığında hesaplama verimliliğinin, sağlamlığının ve doğruluğunun daha iyi olduğu görülmektedir. Matematiksel yöntemler, tam sayılı programlama, doğrusal programlama ve dinamik programlama olarak üç başlık altında incelenmektedir.

3.1.3. Evrimsel Algoritmalar

Evrimsel algoritmalar, büyük ölçekli problemler için optimum veya en uygun çözümleri bulmak için geliştirilmiş yöntemlerdir. Evrimsel algoritmaların içinde yaygın olarak kullanılan birçok teknik bulunmaktadır. Evrimsel algoritmaların temel avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Sivanandam ve Deepa 2008).

- Dinamik değişikliklere karşı sağlam olmak: Geleneksel optimizasyon yöntemleri, ortamdaki dinamik değişikliklere karşı dayanıklı değildir ve bir çözüm sağlamak için tam bir yeniden başlatma gerektirir. Aksine, evrimsel hesaplama çözümleri değişen koşullara uyarlamak için kullanılabilir.

- Geniş uygulanabilirlik: Evrimsel algoritmalar, fonksiyon optimizasyon problemleri olarak formüle edilebilecek herhangi bir probleme uygulanabilir.
- Diğer yöntemlerle melezleme: Evrimsel algoritmalar, daha geleneksel optimizasyon teknikleriyle birleştirilebilir.
- Çözümü olmayan sorunları çözer: Evrimsel olmanın avantajıyla algoritmalar, çeşitli sorunların ele alınmasını içerir.

3.2. Optimizasyon Modellemesinin Aşamaları

Optimizasyon problemlerinde, model oluşturma ve çözümü en önemli adımlardır. Optimizasyon süreci formülasyon, modelleme, optimizasyon ve problem çözme olmak üzere genellikle dört aşamada gerçekleştirilmektedir.

- Formülasyon (problemi formüle etme): Bu aşamada, genel bir yapı ile birlikte bir karar problemi tanımlanır. Bu genel yapı kesin olmayabilir. Ancak girdi ve çıktı faktörlerini ve probleminin amaçlarını içeren sorunun durumunu belirtmektedir. Genel olarak birçok optimizasyon problemi için problem şeffaflığı ve yapılandırması çok zor ve karmaşık bir görev olabilmektedir.
- Problemi modelleme: Bu aşamada, problem için genel bir matematiksel model oluşturulmaktadır ve bu adımda, problem bir veya daha fazla optimizasyon modeline bölünebilmektedir.
- Problem optimizasyonu: Bu aşamada, problem modellemeden sonra probleme iyi bir çözüm elde edilir. Bu çözüm optimal olabilir veya optimal olmayabilir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken nokta, yani elde edilmiş çözümden kastımızın, çözümün gerçek probleme göre değil, modele göre tasarlanmış bir çözüm olduğunu anlamaktır. Formülasyon ve modelleme sırasında gerçek problemde değişiklikler olabilir ve yeni problem gerçek problemden çok farklı olabilir.
- Problemi belirlemek: Elde edilmiş çözüm karar verici tarafından incelenerek kabul edilebilir ise kullanılır. Çözüm kabul edilemez ise optimizasyon modeli veya algoritması geliştirilmeli ve optimizasyon süreci tekrarlanmalıdır.

Optimizasyon sürecinin ilk adımı, optimizasyon için uygun bir model oluşturmaktır. Modelleme, amaçları, değişkenleri ve kısıtlamalarını belirleme ve matematiksel olarak temsil etme işlemidir (Jadarian 2019).

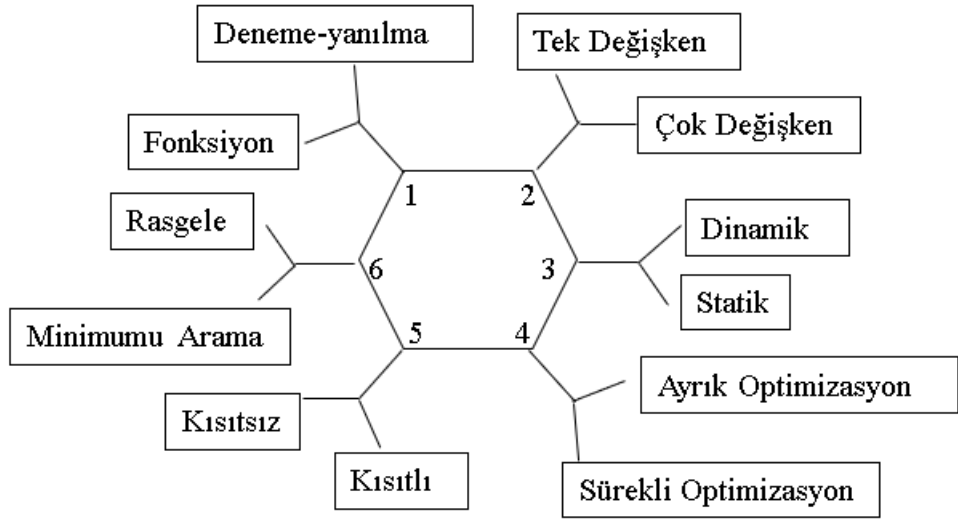
- Amaç: Minimize ve maksimize edilmesi gereken sistem performansının ölçümüdür.
- Değişkenler (bilinmeyenler): Optimizasyon modelinde uygun değerlerin bulunabileceği bileşenlerdir. Değişkenler ile modelin formülleri belirlenmektedir. Değişkenler doğru bir şekilde belirlendiğinde problem için doğru bir cevap bulunabilir (Özken 2005).
- Kısıtlamalar: Değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren ve böylece değişkenler için izin verilen değerleri belirleyen işlevlerdir.

Optimizasyon sürecindeki ikinci adım, optimize edilecek problemin tipini veya sınıflandırmasını belirlemektir. Optimizasyon problemlerin türünü belirledikten sonra problemin tanım kümesi (domain) ve ihtiyaçlarına bağlı olarak optimum veya en yakın çözümü bulmaktır. Yukarıda belirtildiği gibi optimizasyonun ikinci adımında problemin türü belirlenecektir. Optimizasyon probleminin optimum değerlerini bulmak için optimizasyon algoritmaları önemli paya sahiptir (Jadarian 2019). Araştırmanın aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Özken 2005).

- a) Problemleri tanımlamak
- b) Model oluşturmak
- c) Modeli çözümlemek
- d) Modeli doğrulamak
- e) Sonuçları tartışmak ve açıklamak

3.3. Optimizasyon Problemleri

Optimizasyon problemleri aşağıdaki Şekil 3.1’de görüldüğü gibi altı dala ayrılmaktadır. Bu altı optimizasyon dalının birbirlerini dışlama zorunluluğu yoktur. Yani ayrık optimizasyon problemleri kısıtlı veya kısıtsız olabilir. Ayrıca bazıları tek parametrelili bazıları da çok parametrelili olabilmektedir (Huapt ve Ellen Huapt 2004).



Şekil 3.1. Optimizasyon problemlerinin dalları

Yukarıdaki optimizasyon kategorileri literatürde yer alan kaynaklarda (Huapt ve Ellen Huapt 2004) aşağıdaki gibi kısaca tanımlanmaktadır.

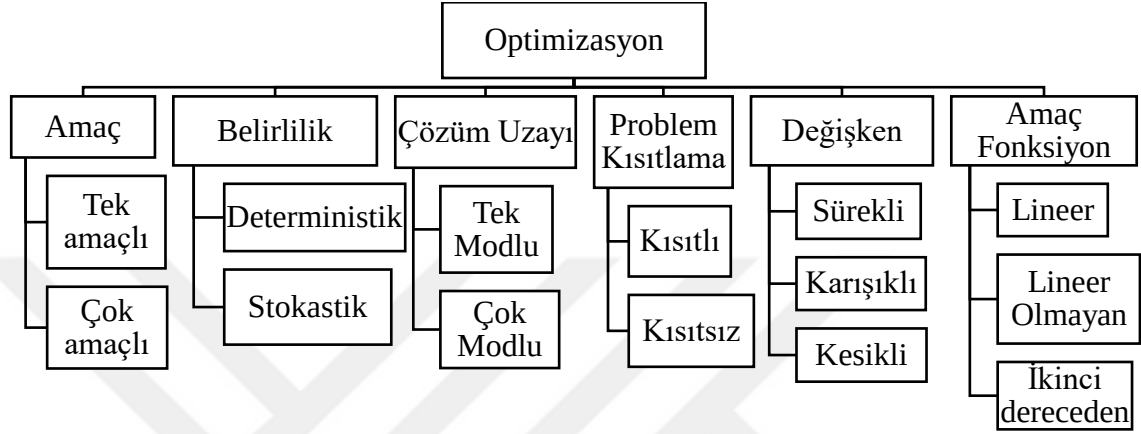
1. Deneme-yanılma ve Fonksiyon optimizasyonları: Bu optimizasyon, veri üreten işlemler hakkında fazla bilgi sahibi olmadan verileri etkileyen değişkenleri ayarlamaya çalışmaktadır. Bu yaklaşımı hem deneme açısından deneyciler hem de çeşitli matematiksel yöntemleri optimum çözüme ulaştırdığı için teorisyenler sevmektedir.
2. Tek veya çok değişken yaklaşımları: Problemler değişkenlerin işlem karmaşıklığına göre tek değişkenli ve çok değişkenli olarak ayrılmaktadır. Optimizasyon problemlerinde bir değişken (amaç fonksiyon) olduğu zamanda tek boyutlu optimizasyon denilir. Eğer birden fazla değişken varsa çok boyutlu optimizasyon denilmektedir. Optimizasyon problemlerinde boyut ne kadar fazla ise optimizasyon o kadar zor olacaktır.
3. Dinamik ve statik optimizasyonlar: Dinamik optimizasyonda, çıktıların fonksiyonu zamana bağlıdır. Ancak zaman eklenen boyut dinamik çözme zorluğunu arttırmaktadır. Statik optimizasyonda ise çıktılar zamana bağlı değildir ve en uygun çözüm için statik problemi çözmek zordur.
4. Ayrık ve sürekli optimizasyonlar: Optimizasyonlar, ayrık veya sürekli optimizasyon değişkenleri ile ayırt edilmektedir. Bu değişken tipine göre ayrık ve

sürekli olarak ayrılmaktadır. Sürekli optimizasyonların sonsuz sayıda giriş ve çıkış değerleri alabilmesi mümkündür ve en az değerlerini bulmak için uygun optimizasyondur. Ayrık optimizasyon, kombinatorial optimizasyon olarak da bilinir. Kombinatorial optimizasyonları sınırlı (sonlu) değerlerde uygundur ve listede bir seri görevden sıralanmadan karar vermek için en iyi optimizasyondur. Kombinatorial optimizasyon, genellikle çözülmesi zor olan sorunları ele alan bir optimizasyon dalıdır. Genellikle geniş bir cevap alanında verimli bir şekilde inceleyerek çözmeye çalışan bir optimizasyon dalıdır ve problemde en iyi cevaba ulaşılabilir. Bu sorunlar, ayrık uzay ile ilgilidir. Problemlerin ayrıklaştırılması üç kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar algoritmanın sürekli yapısı ile ayrık problemleri çözmek, algoritmalarda tamsayı vektörleri görüntüleyerek ayrık problemleri çözmek ve ikili algoritmalarla ayrık problemleri çözmektir. Ayrık problemleri çözmenin önemi nedeniyle her üç kategoride de gün geçtikçe daha hızlı yöntemler sunulmaktadır.

5. Kısıtlı ve kısıtsız: Değişkenler, genellikle (özellikle pratik problemlerde) sınırlıdır veya kısıtlamaları vardır. Kısıtlı denklemler optimizasyon durumlarına göre eşit veya eşit olmayabilir. Bu yüzden kısıtlama tasarımlarda belli bir alanı belirlemektedir. Kısıtsız değişkenler, herhangi bir sayı değeri alır ve sayısal optimizasyonda iyi bir şekilde çalışmaktadır. Kısıtlı bir değişken, genellikle değişkenlerin dönüştürülmesi yoluyla kısıtsız bir değişkene dönüşür. Sınırsız optimizasyonun amacı, değişkenler üzerinde herhangi kısıtlama olmaksızın amaç fonksiyonunu en az veya en üste ulaştırmaktır.
6. Rasgele (random) ve minimumu arama optimizasyonları: Optimizasyon algoritmaları arasında bazıları ilk başta değişken değerleri kümesinden başlayarak maliyeti minimuma indirmeye çalışmaktadır. Arama yöntemi daha hızlı ve başarılıdır. Random optimizasyonlar, çözüm kümelerini bulmak için olasılıklardan yararlanmaktadır. Random arama diğer optimizasyonlardan daha yavaş bir yöntemdir.

3.3.1. Optimizasyon Problemlerin Sınıflandırılması

Optimizasyon problemleri farklı problemlerin özelliklerine göre aşağıdaki kategorilere sınıflanabilmektedir (Collette ve Siarry 2003).



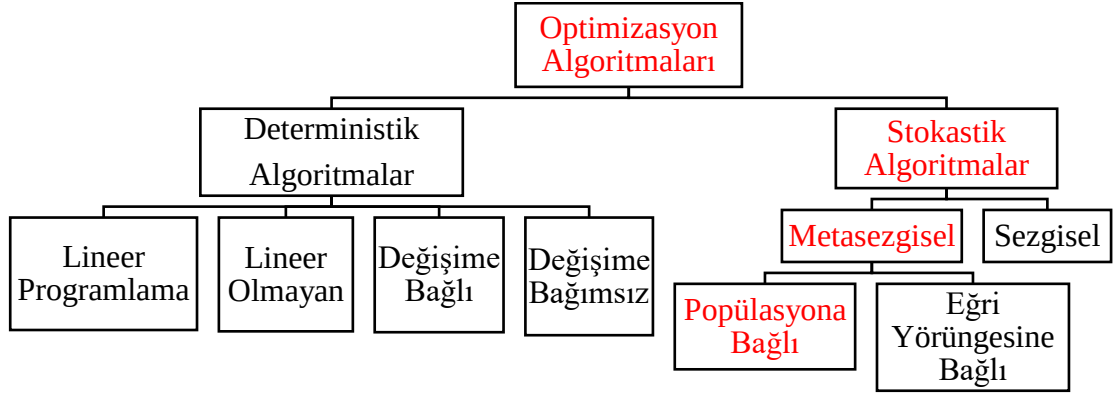
Şekil 3.2. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması (Uysal 2018)

Aşağıdaki Şekil 3.2’ de optimizasyon problemlerinin sınıflandırması daha detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Şekil 3.2’deki özelliklerden ne kadar fazla eklenirse problemin zorluk derecesi o kadar yükselmektedir (Uysal 2018).

3.4. Optimizasyon Algoritmaları

Literatürde problemlere optimum çözüm bulabilmek için pek çok geliştirilmiş optimizasyon algoritma yöntemleri kullanılmaktadır. Kalite-Süre- Maliyet optimizasyon sorunları bilgisayar ve sayısal yöntemler ile çözülebilmektedir.

Optimizasyon algoritmaları, iki ana gurup olarak sınıflandırılmaktadır (Yang 2013).



Şekil 3.3. Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması

3.4.1. Deterministik Optimizasyon Algoritmaları

Deterministik algoritmalar, problem klasik teknikler ile çözülmektedir ve değişkenler dikkate alınmamaktadır. Bir çözümde diğerine geçmek için belirli kurallara sahip olan algoritmalar. Deterministik algoritmalar daima aynı çözüm aynı sayıda amaç fonksiyonu ile elde edilir (Qing 2009). Deterministik optimizasyon belli bir amaca ulaşmak için çok hassas bir yol izler ve optimizasyon modelin çözüm bulma yolunu tekrar tekrar izleyebilmektedir (Uysal 2018). Deterministik algoritmalar, son zamanlarda başarısızlık vakaları ve zayıf yönler daha fazla ortaya çıkmaktadır. Deterministik algoritmaların çoğu matematiksel olarak zariftir ve çoğu sadece sürekli parametreler için geçerlidir. Deterministik yöntemin başarısı için iyi başlangıç noktaları çok önemlidir ve zayıf başlangıç başarısızlığa yol açabilir veya verimliliği olumsuz etkileyebilir. Deterministik yöntem boyut açısından iki sınıfa ayrılmaktadır (Qing 2009).

- Tek boyutlu deterministik algoritmalar
- Çok boyutlu deterministik algoritmalar

3.4.2. Stokastik Optimizasyon Algoritmaları

Olasılıksal geçiş kuralları ile doğası gereği stokastik olan algoritmalar. Bu algoritmalar nispeten yenidir ve deterministik algoritmaların sahip olmadığı belirli özellikler nedeniyle popülerlik kazanmaktadır. Stokastik optimizasyonlar tasarımdaki değişkenleri dikkate almaktadır. Stokastik algoritmalar esas olarak geleneksel optimizasyon algoritmaları ve evrimsel algoritmalar olarak sınıflandırılır. Stokastik

algoritmalar, optimizasyon modelinin en son elde edildiği çözümün yolunu tekrar izlememektedir (Uysal 2018). Stokastik algoritmaların pek çok özellikleri vardır. Bazı özellikleri aşağıda tartışılmıştır (Qing 2009).

1. Rastgelelik

Stokastik algoritmaların rastgelelik nedeniyle sonuçları tahmin edilmez. Stokastik optimizasyonların optimum çözüm sonuç başarısı garanti edilmez ama başarısızlık yüzdesi çok azdır.

2. Basitlik ve kolaylık

Stokastik algoritmalar matematiksel olarak deterministik optimizasyonlardan daha basit bir yöntem olarak bilinmektedir. Stokastik algoritmalarda daha iyi performans elde etmek için parametrelerin ayarlanmasının çok zor olduğu bilinmektedir ve bunun o kadar basit olmadığı anlaşılmaktadır.

3. Verimlilik

Stokastik algoritmalarda, en yakın çözümü elde etmek için amaç fonksiyon değerlendirmeleri deterministik algoritmalarından daha fazla gerekmektedir. Başka bir deyişle sayısal olarak daha az verimli veya daha pahalı bir optimizasyon algoritmasıdır.

4. Sağlamlık

Stokastik optimizasyon algoritmaları genel olarak büyük bir arama alanı içinde yarı optimum bir çözümü bulabilir ama deterministik optimizasyon genelde bu durumda başarısız olmaktadır.

5. Çok yönlülük (değişkenlik)

Stokastik algoritmalarda optimizasyon problemlerine kısıtlama getirilmesinde zorlanılmamaktadır. Stokastik algoritmaların çoğu hem ayrık hem sembolik optimizasyon parametrelerine uygulanabilmektedir ve çok yönlü algoritmalarlardır.

3.5. Meta-sezgisel Yöntemi

Son yıllarda en önemli ve ümit verici araştırmalardan biri doğadan esinlenen üst-sezgisel algoritmalar olmaktadır. Bu yöntemlerin sosyal hayat veya doğal sistemler ile benzerlikleri vardır. Üst-sezgisel yöntemler, çeşitli problemlerde birkaç değişiklik ile aynı probleme spesifik ve özel çözümler sağlayabilen genel algoritmik bir çerçevedir. Meta-sezgisel algoritmalar, genel olarak problemi bilmeden makul hız ve doğruluk ile bir

sorunu çözebilmektedir. Meta-sezgisel algoritmalar, karmaşık problemlerde kısa sürede makul ve uygun bir cevaba ulaşabilmek için önemli bir yöntemdir. Bunlar, geniş arama uzayı ve küresel optimum çözüme ulaşma yeteneği ile etkilidir. Meta-sezgisel ve evrimsel algoritmalar, çok çeşitli problemlere uygulanabilen, probleminden bağımsız tekniklerdir.

Sezgi üstü ve sezgisel algoritmalar doğadan ilham alarak geliştirilmiştir. Bazı yöntemler Darwin evrim teorisinden etkilenmiştir. (Yang 2010). Üst-sezgisel yöntem, altı değişik kategori (kimya, sosyal, sürü, fizik, müzik ve biyoloji) tabanlı olarak değerlendirilmektedir (Aykol ve Alataş 2012). Meta-sezgisel algoritmalar sezgisel algoritmalar ile kıyaslandığında daha yüksek düzeyli bir algoritma tekniğidir. Üst-sezgisel algoritmalar çözüm alanında rasgele arama yaparak optimizasyon problemini çözer (Aminbakhsh 2018). Hemen hemen tüm modern meta-sezgisellerin gücü, doğadaki en iyi özelliği taklit etmelerinden gelmektedir. Özellikle biyolojik sistemler, milyonlarca yıl içinde doğal seçimlerden evrimleşmiştir. Meta-sezgisel algoritmaların en uygun olanı seçimi ve çevreye uyumlu olması iki önemli özelliğidir. Sayısal olarak, modern meta-sezgisel algoritmalar yoğunlaştırma ve çeşitlendirme olmak üzere iki önemli özelliği sahiptir. Bunlar, bir meta-sezgiselliğin davranışını büyük ölçüde belirleyen iki güçtür. Bu iki özellik bir açıdan zıttırlar ama aynı zamanda birbirlerini tamamlamaktadırlar (Blum ve Roli 2003). Yoğunlaştırma, mevcut en iyi çözümleri araştırmayı ve en iyi adayları veya çözümleri seçmeyi amaçlarken, çeşitlendirme algoritmanın arama alanını verimli bir şekilde keşfedebilmesini sağlamaktadır (Yang ve Deb 2009).

Gerçek dünyadaki problemlerin çoğu yüksek karmaşıklığa, doğrusal olmayan kısıtlamalara, birbirine bağlı değişkenlere ve geniş bir çözüm yelpazesine sahiptir. Karmaşık optimizasyon problemlerini belli bir sürede çözme yeteneği ile teknik uygulama sağlar. Meta-sezgisel algoritmalar bu tekniklerden biridir. Bu algoritmalar, makul bir sürede mantıklı ve iyi çözümler sağlayan optimizasyon yöntemleridir. Günlük yaşam ve başarmayı planlamak da dahil olmak üzere hayatın hemen hemen tüm alanlarında amaç fonksiyonun konusunu en aza indirme veya maksimize etme hedefine ulaşmak için bir dizi değerli değişken elde etmeyi sağlamaktadır. Endüstriyel kontrolden tasarım mühendisliğine kadar birçok alanda optimizasyona ihtiyaç duyulmaktadır.

Üst-sezgisel yöntemler, optimizasyon algoritma yöntemleri arasında en zengin ve başarılı yöntemlerdir ve istatistiksel verilere dayanarak optimum çözüm bulmaya çalışırlar (Yıldırım 2018). Üst-sezgisel algoritmalar karmaşık ve düzensiz optimizasyon sorunlarını çözmek için uygun bir yöntemdir (Onar ve ark. 2016). Sezgi üstü algoritmalar, optimizasyon problemlerini çözmek için farklı çözüm uzaylarında daha fazla optimizasyon yöntemleri yaratmaktadırlar (Işıkyıldız 2019). Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, meta-sezgisel yöntemlerin sayısını ve uygulamalarını artırmaktadır. Bu nedenle meta-sezgisel yöntemler, geleneksel yöntemlerden daha fazla mühendislik problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Meta-sezgisel yöntemler, karmaşık problemlere kolaylıkla uygulanabilir ve kolay bir şekilde sonuca ulaştırmaktadır (Giran ve ark. 2017). Üst-sezgisel algoritmalar çeşitli kombinatoriyal problemlerine uygulanabilirler. Aynı zamanda sürekli optimizasyon problemlerine de uyarlanabilmektedirler (Collette ve Siarry 2003). Bu yöntemin algoritmaları kombinatoriyal problem (NP-Hard) problemlerin çözümünde çok iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. Üst-sezgisel algoritmalar en çok ayrık optimizasyon problemlerini çözmek için oluşturulmaktadır (Solnon ve Bridge 2005). Üst-sezgisel optimizasyon algoritmalarında, optimum çözüm arama uzayı iki aşamadan oluşturulur (Talbi ve ark 2016).

- Çeşitlendirme süreci. Tüm çözüm uzayını araştıran süreçtir.
- Yoğunlaşma süreci. Optimal çözüm etrafında olması beklenen küçük bir uzayda yoğunlaşır.

Üst-sezgisel optimizasyon algoritmalarında, optimum çözüm ve rastsallık (randomizasyon) bileşenleri vardır ve bu bileşenlerin iyi kombinasyonu global çözümü elde etmeyi sağlamaktadır (Yang 2010).

- Optimum çözüm (en iyi çözüm). Çözümlerin optimum çözüm seviyeye yaklaşması veya yakınlaşması sağlanmaktadır.
- Rastsallık (Randomizasyon). Çözümlerin lokal bir optimuma takılmasını önler ve aynı zamanda çeşitliliğini artırmaktadır.

3.5.1. Meta-sezgisel Algoritmaların Özellikleri

Literatürde yer alan (Berberoğlu 2019), (Işıkyıldız 2019), (Yıldırım 2018), (Collette ve Siarry 2003) araştırmalarda meta-sezgisel algoritmaların temel özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

- Meta-sezgisel yöntemlerin temel amacı, en uygun veya en yakın çözümleri bulmak yerine arama alanında etkili ve verimli bir şekilde bulmaktır.
- Meta-sezgisel algoritmalar çözüm bulma süresince rehberlik eden politika ve stratejilerdir.
- Çözüm alanında hızlı bir şekilde en yakın çözümü bulabilmektedir.
- Meta-sezgisel algoritmalar basit yerel arama yöntemlerinden karmaşık öğrenme süreçlerine kadar çeşitlilik göstermektedir.
- Arama deneyimleri boyunca çözümler hafızada (bellek biçiminde) tutulur.
- Arama alanında yerel çözümlere takılmazlar.
- Aramada kullanılan çözüm sayısı başlangıçta belirlenir.
- Çözüm bulma süresince ulaşılmış bilgileri rehberlik olarak kullanır.
- Geniş bir yelpazeyi içermektedir.
- Problemin türüne bağlı değildir.
- Arama alanındaki lokal tuzaklardan kaçmak için farklı teknikler uygulanır.
- Meta-sezgisel algoritmalar yaklaşık ve belirsiz bir yöntem olarak bilinir.
- Amaç fonksiyonu kullanılır.
- Analogilerden ilham alırlar. Fizik (bezetim tavlama), biyoloji (genetik algoritma, tabu arama), Etoloji (karınca kolonisi, parçacık sürüsü)
- Kökenleri kombinasyoneldir.
- Meta-sezgisel yöntemlerin önemli bir noktası yoğunlaşma ve çeşitlendirme arasındaki dinamik denge oluşturma özelliğine sahip olmasıdır. Bu iki faktör arasında denge kurmak çok önemlidir. Çünkü bir yanda hareketi daha iyi cevapların bulunduğu arama alanına götürür ve diğer tarafta arama alanında daha önce keşfedilen veya daha kötü sonuçlar içeren bölümünde daha fazla zaman kaybetmez.

Yukarıdaki meta-sezgisel algoritmaların özellikleri arasında çözümlerin hafızada tutulması en önemli özellik olarak söylenebilir (Canayaz 2015). Yöntemin parametrelerini ayarlama zorluk ve yüksek hesaplama süresi meta-sezgisel algoritmaların dezavantajları olarak bilinmektedir (Collette ve Siarry 2003).

3.5.2. Meta-sezgisel Algoritmaların Sınıflandırılması

Meta sezgisel algoritmaların sınıflandırması ve tanımlamasının farklı yolları vardır. Ayrım yapmak için seçilen özelliklere bağlı olarak her biri belirli bir bakış açısından sınıflandırma mümkündür. Meta-sezgisel algoritmaları sınıflandırmanın en önemli yolları kısaca özetlenmektedir (Blum ve Roli 2003).

- Doğadan esinlenen ve doğadan olmayan
- Popülasyona dayalı ve tek noktalı arama
- Dinamik ve statik amaç fonksiyonu
- Çeşitli bölge yapıları
- Bellek kullanımı ve belleksiz yöntemler.

Son yıllarda meta-sezgisel algoritmalar, araştırmacıların odaklandığı yöntemlerden biridir. Araştırmalara göre şimdiye kadar çoğu aynı yolu ve aynı modeli takip edip birçok meta-sezgisel algoritmalar önermişlerdir. Meta-sezgisel algoritmaların türlerini belirlemek, araştırma için en iyi algoritmayı seçme konusunda yardımcı olacaktır. Son yıllarda araştırmacılar yapay zekâ ile problemleri çözmeye ilgi göstermektedir. Dolayısıyla meta-sezgisel algoritmalar gittikçe daha yeni ve daha güçlü yöntemler olarak ortaya çıkmaktadır. Genel olarak meta-sezgisel algoritmalar özelliklerine bağlı olarak Şekil 3.3'de görüldüğü gibi iki kategoriye ayrılmaktadır. İlk kategori yerel aramaya dayalı yöntemlerdir. Bu yöntemlerde her tekrarda sadece bir cevap üretilir ve o cevap iyileştirilmeye çalışılmaktadır. İkinci kategoride ise her yinelemede çok sayıda cevap üretilir ve her tekrarda bu cevaplar değiştirilip yeni cevaplar üretilmektedir.

Bu araştırmada, süre, kalite ve maliyet optimizasyon problemlerinin çözümü için guguk kuşu arma optimizasyon algoritması kullanılmaktadır.

3.6. Guguk Kuşu Arama

Guguk kuşu arama algoritması, 2009 yılında Xin-she Yang ve Suash Deb tarafından geliştirilen bir optimizasyon algoritmasıdır (Yang ve Deb, 2009). Guguk kuşu arama optimizasyon algoritması, guguk kuşu denilen bir kuşun yaşamından ilham alan yeni bir bilinçli arama yöntemidir. Diğer evrimsel algoritmalar gibi, ilk popülasyon guguk kuşu yumurtaları ile başlar ve bu optimizasyonda popülasyon, guguk kuşlarından oluşmaktadır. Olgun guguk kuşlarının hayatta kalma çabası, guguk kuşu optimizasyon algoritmasının temelini oluşturmaktadır. Bu guguk kuşu popülasyonu, ev sahibi kuşun yuvalarına bıraktıkları birçok yumurtaya sahiptir. Ancak yumurtlama için daha iyi koşullara sahip bir alana göç ederler. Guguk kuşunun yumurtaları, ev sahibi kuşlar tarafından tespit edilmez ve yok edilmezse, yetişkin guguk kuşlarına dönüşürler. Yetişkin guguk kuşları, çevresel özelliklerin etkisi altında yaşam ve üretim için en uygun ortamı bulma umuduyla gruplar halinde göç ederler. Bu algorithmada, optimal ortam, optimizasyon probleminin amaç fonksiyonunda "Global Optimum" olacaktır. Bu algoritma şu ana kadar çeşitli optimizasyon senaryolarında ve gerçek dünya uygulamalarında iyi performans göstermiştir (Rajabioun 2011; Jadarian 2019). Yeni bir guguk kuşuna sahip olma olasılığını artırmak ve ev sahibi kuşların yumurtaları terk etme olasılığını azaltmak için guguk kuşları (dişi, erkek ve genç) çeşitli stratejiler kullanmaktadır (Sorenson 2005). Guguk kuşu arama algoritması, guguk kuşunun yumurtasını bırakmak için en iyi ev sahibi yuvayı bulma konusundaki akıllı arama stratejisini simüle etmektedir. Şekil 3.5’de üç farklı ülkede, üç farklı yuvaya bırakılan üç farklı guguk kuşu yumurtasını göstermektedir. Siyah oklar, üç yuvanın her birindeki guguk kuşunun yumurtasını göstermektedir (Lakshminarayanan ve Kur 2018).



Şekil 3.4. Guguk kuşundan yumurta taklidi

3.6.1. Guguk Kuşları ve Eşsiz Yaşam Biçimi

Guguk kuşları, sadece çıkardıkları güzel sesler nedeniyle değil, agresif üreme stratejileri nedeniyle de büyüleyici kuşlardır (Yang ve Deb 2009). Kuşların çoğunun yaşam tarzı benzerdir. Kuşlar yumurtalarını yuvalarına bırakırlar. Çoğu kuş bırakılan yumurtaları hem farklı avcılardan korumak ve yumurtalarını güvenli bir yerde tutmak için, hem de yavrularını yetiştirmek ve onlar bağımsız hale gelene kadar bakımları için yuvaları için uygun bir yer bulmaya çalışırlar. Bazı kuşlar yumurtalarına bakmak ve onları beslemek için kurnazlık yaparlar. Bu tür kuşlara " Brood Parasite " denir. Guguk kuşları, bu kuşların en bilinen ve meşhur türüdür. Guguk kuşlarının davranışları gizlilik, sürpriz ve hızı içermektedir. Guguk kuşları başlangıçta iyi bir yuva bulurlar. Başka bir kuşun yumurtalarından birini kendi yumurtaları ile değiştirip başka bir bölgeye kaçarlar. Guguk kuşları Şekil 3.5’de görüldüğü gibi rengi ve deseni kendi yumurtalarına çok benzeyen bir kuş türü bulmak için çeşitli yuvaları izlemektedirler. Bazı guguk kuşları yumurtalarını yalnızca belirli ev sahibi kuş türlerinin yuvalarına bırakırlar. Bununla birlikte, birçok ev sahibi kuş, guguk kuşunun yumurtalarını kendi yumurtalarından ayırt etmeyi de öğrenmektedir. Böyle bir durumda ya guguk kuşu yumurtaları yuvadan dışarı atılır veya kuş yuvasını terk edip başka bir yerde tekrar yuva yapar. Guguk kuşları yumurtalarını ev sahibi kuşun yumurtalarıyla değiştirme sürecini sürekli olarak geliştirmektedirler. Bununla beraber, ev sahibi kuşlar da sürekli olarak guguk kuşunun yumurtalarını kendi yumurtalarından ayırt etmenin yollarını bulmaktadırlar. Bazı guguk kuşu türleri göçmendir. Bu tür kuşlar yılın belirli zamanlarında belirli yerlere uçmaktadır. Bu guguk kuşları genellikle yılın daha soğuk mevsimlerinde daha sıcak bölgelere uçarlar. Beslenme kaynaklarına erişmek, büyümek ve uygun çevre koşullarını bulmak için göçmektedirler. Göçen guguk kuşları, hayatta kalmak için yaşam koşullarını değerlendirip en iyi yetiştirme ortamı yakınında yaşamaktadır. Sonra guguk kuşları topluluğu oluşturulur (Rajabioun 2011).

3.6.2. Guguk Kuşu Arama Algoritması

Guguk kuşu optimizasyon algoritması kapsamlı ve çok hızlı bir algoritma olarak bilinmektedir. Popülasyona ve organizmaların davranışına dayanan meta-sezgisel algoritmalarından biridir. Günümüzde guguk kuşu arama fonksiyon optimizasyonu,

mühendislik optimizasyonu, görüntü işleme, zamanlama, planlama, özellik seçimi, tahmin ve gerçek dünya uygulamalarının hemen hemen her alanında uygulanabilmektedir. Çok değişik problemleri çözmek için guguk kuşu algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma, guguk kuşunun nasıl yumurta bıraktığına ve doğduğuna dayanmaktadır. Guguk kuşları yumurtalarını yumurta yaşama oranının maksimum olduğu bir ortama bırakmaktadır. Guguk kuşu algoritması çeşitli alanlarda optimizasyon problemlerinde kullanılır ve yerel optimizasyonlardan kaçma konusunda yüksek bir yeteneğe sahiptir. Diğer evrimsel algoritmalar gibi, guguk kuşu algoritmasına da başlangıçta bir guguk kuşu popülasyonu oluşturarak başlanılmaktadır. Son on yılda, guguk kuşu algoritması çeşitli alanlardaki problemleri optimize etmek için başarıyla uygulandı. Guguk kuşu arama optimizasyon algoritmasının basitliğini tanımlamak için aşağıdaki idealleştirilmiş üç kural özetlenmektedir (Yang and Deb, 2009; Yang, 2010).

1. Guguk kuşu her seferde bir yumurta bırakır ve yumurtasını rastgele seçilen bir yuvaya bırakmaktadır. Guguk kuşunun her bir yumurtası bir çözümü temsil etmektedir ve bir yuvada saklanmaktadır.
2. Yüksek kaliteli yumurtalara sahip en iyi yuvalar (çözümler) sonraki nesillere aktarılacaktır. Guguk kuşu, yumurtalarının hayatta kalma oranını en üst düzeye çıkarmak için yumurtaları koymak için en uygun yuvayı aramaktadır. Böylece sadece konakçı kuş yumurtalarına daha çok benzeyen yüksek kaliteli yumurtalar (optimum değere yakın en iyi çözümler) gelişme (yeni nesil) ve olgun guguk kuşu olma fırsatına sahip olur.
3. Mevcut konakçı yuvaların sayısı sabittir ve konakçı bir, $p_a \in [0, 1]$ olasılığı ile yabancı bir yumurtayı (optimal değerden daha kötü çözümler) keşfedebilmektedir. Kuş tarafından yumurta fark edilirse yumurta atılır veya yuva terk edilir ve yeni bir yere tamamen yeni bir yuva yapılır. Aksi takdirde, yumurta olgunlaşır ve bir sonraki nesil yaşar. Bir guguk kuşunun bıraktığı yeni yumurtalar (çözümler), mevcut en iyi çözümler etrafında Levy uçuşlarının yuvasını seçmektedir.

Guguk kuşu arama algoritması ile ayrık optimizasyon problemlerini çözmek için, kuşların barınma pozisyonlarını süreklilikten daha çok ayrık olarak değiştirmek gerekmektedir. Bunu yapmanın en basit yolu guguk kuşunun yaşam alanını tanımlamaktır (Jadarian

2019). Kuşların habitatu (konaklama), üremesi ve yumurtlaması guguk kuşu arama algoritmalarının temelidir. Guguk kuşu algoritması, ilk popülasyon ile başlar ve problemi çözmek için popülasyon durumunun belli olması çok önemli rol oynamaktadır. Bu ilk durumlar sırayla takip edilir ve bu sıraya yetişme ortamı denir (Rajabioun 2011).

Problem için n boyutlu ortam. Habitat = $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

Habitatın uygunluğu, $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ kar fonksiyonunun değerlendirilmesi ile elde edilir.

F_p amaç fonksiyonu ifade edilmektedir.

$$\text{Maliyet fonksiyonu} = F_p(\text{ortam}) = F_p(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Bir maksimizasyon problemi için, bir çözümün kalitesi veya uygunluğu amaç fonksiyonunun değeriyle orantılı olabilir. Diğer uygunluk biçimleri, genetik algoritmalarındaki uygunluk fonksiyonlarına benzer şekilde tanımlanabilmektedir. Basit olması için bir yuvadaki her yumurta bir çözümü temsil etmektedir ve her yuvada yumurta sayısı fazla olduğunda problem daha karmaşık hale gelmektedir. Guguk kuşu arama algoritmasında, bir guguk kuşu Le'vy uçuşları aracılığıyla yeni bir yuva aramaktadır. Paul Le'vy tarafından isimlendirilen Le'vy uçuşları, bir güç kanunu dağılımına uyan adım uzunlukları ile karakterize edilen bir rastgele yürüyüş modelini temsil eder. Bazı bilimsel çalışmalar, avcılar tarafından av aramanın tipik olarak Le'vy uçuşlarının aynı özelliklerini izlediğini göstermiştir. Le'vy uçuşları, optimizasyonda ve bilimin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu strateji, yoğunlaştırma ve çeşitlendirme arasındaki dengeyi kontrol etmede önemli bir role sahip Le'vy uçuşları ile geliştirilmiştir (Yang ve Deb 2009).

3.6.3. Guguk Kuşu Arama Algoritmasının Adımları ve Kodlama

Bu bölümde CS algoritmasının adımları detaylı olarak anlatılmaktadır. Guguk kuşunun ev sahibi yuvası, bakım çizelge dizisi x_i 'yi temsil edecektir. Algoritma, "n" sayıda guguk kuşu ve "n" konak yuvası ile uygulanmaktadır. Her guguk kuşu Şekil 3.5'da gösterildiği gibi başlangıç yuvasında " x_i " ($i=1,2,\dots,n$) bulunmaktadır (Lakshminarayanan ve Kaur 2018).

Guguk kuşu 1, ev sahibi yuvasında x_1

Guguk kuşu 2, ev sahibi yuvasında x_2

Guguk kuşu i , ev sahibi yuvasında x_i

.

.

.

.

.

.

Guguk kuşu n , ev sahibi yuvasında x_n

Şekil 3.5. Guguk kuşunun ilk ev sahibi yuva konumları (Lakshminarayanan ve Kur 2018)

"n" guguk kuşları, yumurtalarını bırakacak en uygun ev sahibi yuvayı bulana kadar yeni ev sahibi yuvaları bulup değerlendiren bir dizi global ve yerel uçuş yapmaktadır. Bu yuvaları paralel olarak geliştirmeye çalışmaktadır (Lakshminarayanan ve Kur 2018).

3.7. Araştırmada Yer Alan Adımlar

Bu araştırmada yer alan adımlar aşağıdaki gibidir

a) Popülasyon: Her ev sahibi yuvası x_i guguk kuşu algoritmasının başlangıç parametreleri Çizelge 4.1’de gösterildiği gibi başlatılmaktadır.

b) Lévy Uçuş

Levy uçuşu Paul Pierre Levy tarafından sunulmaktadır. Birçok çalışma, hayvanların ve böceklerin uçuş davranışlarının Levy uçuşlarının tipik özelliklerini göstermiştir. Yiyecek arama modelleri gibi insan davranışları üzerine yapılan araştırmalar da Levy uçuşlarının tipik özelliğini gösterilmektedir. Işık bile Levy uçuşlarıyla ilişkilendirilebilmektedir (Yang ve Deb 2009; Ouaarab ve ark. 2013). Levy uçuşuyla yeni bir yuva elde etmek veya yeni bir yumurta bırakmak guguk kuşu algoritmasının temel anahtarıdır. Guguk kuşunun levy uçuşunu kullanması basit ve verimli olmasını sağlamaktadır (Zhou ve ark. 2014). Daha sonra guguk kuşları daha uygun ev sahibi yuvaları bulmak için arama sürecine başlar. Her guguk kuşu "i" aşağıda gösterildiği gibi ayrık Levy / Global Uçuş denklemini yaparak ilk yuva x_i ’den yeni ana yuva (x_i

yeni)' ye uçmaktadır. Denklemden 3.1 gibi guguk kuşunun "i" yeni ana yuva " x_{ij}^{yeni} " e ulaşmak için yaptığı uçuş uzunluğu veya adım boyutudur. Çeşitli araştırmalar, göçebe avcı-toplayıcı toplumdaki avlanma stratejisi de dahil olmak üzere birçok hayvan ve böceğin yiyecek arama stratejisinin, Levy dağılımına benzer bir arama yolu kullandığını göstermektedir.

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \alpha \cdot \oplus \text{Levy}(\lambda) \quad (3.1)$$

$$X_{ij}^{yeni} = X_{ij} + \alpha \cdot s (X_{ij} - X_{en iyi}) \quad (3.2)$$

Levy dağılım fonksiyonu s. $s = \frac{U}{V^{1/\beta}}$ (3.3)

U ve V, aşağıdaki tanımlanmış denklemlerde normal dağılımlardan elde edilir.

$$U \sim N(0, \sigma_u^2) \quad (3.4)$$

$$V \sim N(0, \sigma_v^2) \quad (3.5)$$

Hem U hem de V için normal dağılımın ortalamasıdır. σ_u^2 ve σ_v^2 için standart sapma U ve V tarafından aşağıdaki denklemlerden elde edilir.

$$\sigma_u = \left\{ \frac{\Gamma(1 + \beta) * \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left[\frac{(1 + \beta)}{2}\right] * \beta * 2^{\frac{(\beta-1)}{2}}}\right\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.6)$$

$$\sigma_v = 1 \quad (3.7)$$

Burada, (Γ) gama fonksiyonu belirtir. (β) değeri aralıktan alınabilen sabit parametredir. Bu çalışmada $\beta = \frac{3}{2}$ kullanılmaktadır. ' α ', adım boyutu ölçeklendirme faktörüdür. Adım boyutu ölçeklendirme faktörü eldeki problemlere göre belirlenmektedir. Sürekli alan problemleri için adım boyutu ölçekleme faktörü genellikle çok küçük tutulur. Böylece

çözümler tasarım alanının dışına atlamaz. Ayrık kombinatoriyal NP-zor problem için ölçekleme faktörü sürekli alandan daha yüksek tutulur. Çünkü büyük arama alanını keşfetmek için daha büyük bir adım boyutu gereklidir. Ayrıca, ölçeklendirme faktörü küçükse levy uçuşunu yuvarlarken, guguk kuşu yeni ana makine yuva konumuna güncellenmeyebilir (Lakshminarayanan ve Kur 2018).

3.8. Optimizasyon Modelinin Oluşturulması

Bu tezde inşaat projelerinin süresi ve maliyeti minimum yapılırken kalitesini de maksimuma çıkarmak için çok amaçlı optimizasyon modelinin geliştirilmesi sunulmaktadır. Literatürde yer alan Feng ve ark. (1997), Elbeltagi ve ark. (2005) ve Ng ve Zhang (2008) araştırmalarında bir karayolu projesinin iki boyutlu süre-maliyet ödünleşim analizi üzerine çalışmışlardır. Şekil 3.7’de gösterdiği gibi El-Rayes ve Kandil (2005), Zhang ve Xing (2010), Armaghani (2014), Mungle ve ark. (2013) ve Elbassuony (2016) araştırmalarında karayolu projesini geliştirerek üç boyutlu süre-maliyet-kalite ödünleşim analizi üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada geliştirilen optimizasyon modeli doğruluk ve verimliliklerini göstermek için literatürde tanıtılan vaka çalışmalarını uygulanmaktadır.

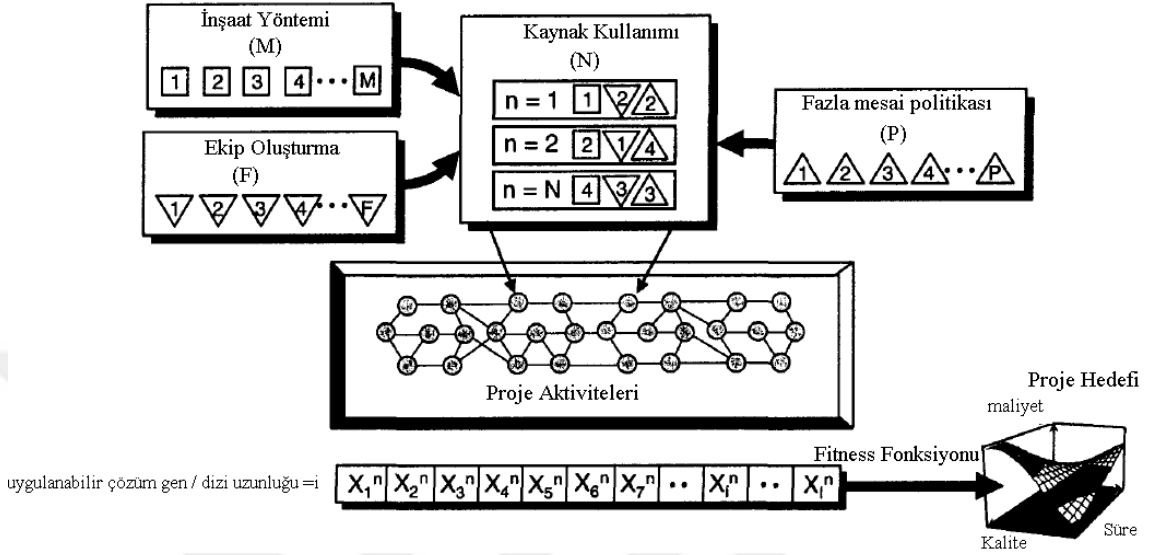
Optimizasyon modeli beş ana başlıkta geliştirilmiştir. Bu beş görev aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

a. Modelleme Karar Değişkenleri:

Karayolu proje modeli için her bir aktivitenin süresi, maliyeti ve kalitesi, üzerinde etkisi olabilecek tüm ilgili karar değişkenleri dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Şekil 3.7’de karar değişkenleri gösterilmektedir.

- İnşaat yöntemi(M), Kullanılabilecek farklı malzeme ve yöntem türlerinin mevcudiyetini gösterir.
- Ekip oluşturma (F), inşaat ekipleri için uygun boyutları ve gruplaşmayı temsil eder.
- Ekipman fazla mesai politikası (P), mevcut fazla mesai saatlerini ve gece mesailerini temsil eder.

Şekil 3.6'de gösterildiği gibi optimizasyon modelinin karmaşıklığını kontrol etmek için mevcut model yukarıdaki üç ana karar değişkenini kaynak kullanımı (N) adında bir karar değişkeninde birleştirmektedir (El-Rayes ve Kandil 2005).



Şekil 3.6. Süre-maliyet-kalite ödünleşim optimizasyon modeli (El-Rayes ve Kandil 2005)

Yukarıdaki Şekil 3.6 'e göre karayolu projesindeki problem (inşaat planlamacılarının karşılaştığı en büyük zorluk) her bir faaliyet için mevcut uygulanabilir alternatifler bölümünden optimal bir kaynak kullanımı seçeneğini seçmektir. Bu araştırmadaki optimizasyon model, planlayıcılara optimum kaynak kullanım planlarını belirlemek için bu geniş çözüm alanını araştırmanın zorlu görevinde yardımcı olmak için tasarlanmıştır.

b. Optimizasyon Hedeflerin Formülasyonu

Karayolu projesinin inşaat süresini ve maliyetini minimuma indirmek aynı zamanda kaliteyi maksimuma çıkarmak için optimizasyon modeli formüle edilmektedir. Karayolu projesinin performansını etkileyen süre-maliyet-kalite faktörlerini ölçmek ve proje performansının değerlendirmesini sağlamak için aşağıdaki üç denklemde gösterildiği gibi üç ana amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Araştırmanın amaç fonksiyonu Matlab yazılım uygulamasında ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir. Dikkate alınan ilk hedef, toplam proje süresinin en aza indirilmesidir. Bu hedef aşağıdaki ifadeler ile hesaplanabilir.

$$\text{Proje süresi} = \sum_{i=1}^I T_i^n \quad (3.8)$$

N= kaynak kullanımı

T = kritik yoldaki faaliyet süresi (El-Rayes ve Kandil 2005).

Dikkate alınan diğer bir hedef, toplam proje maliyetinin en aza indirilmesidir. Bu hedef aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$\text{Proje maliyeti} = \sum_{i=1}^I [(M_i^n + D_i^n * R_i^n) + (B_i^n)] \quad (3.9)$$

M_i= kaynak kullanımını kullanarak faaliyetin malzeme maliyeti

D_i= kaynak kullanımı kullanılarak faaliyet süresi

R_i = aktivitesindeki kaynak kullanımının para / gün cinsinden günlük maliyet oranı

B_i = eğer varsa, kaynak kullanımı için alt yüklenici maliyeti (El-Rayes 2001).

Dikkate alınan üçüncü ve son hedef, projenin genel kalitesinin maksimum edilmesidir.

Bu hedefin değerini hesaplamak için aşağıdaki ifade kullanılabilir. Genel olarak proje kalitesi, normalde ağırlıklı bir yaklaşımla tüm faaliyetler için kalitenin toplanmasıyla aşağıdaki şekilde elde edilir (Zhang ve Xing 2010).

$$\text{Proje kalitesi} = \sum_{i=1}^n W_i * Q_i \quad (3.10)$$

Formülde n, aktivite sayısıdır. Q_i, proje kalitesidir ve W_i aktivitenin ağırlığıdır. Bu araştırmada aktivite ağırlığı tüm proje kalitesinin performansına eşit alınmıştır.

c) İnşaat Projesinin Kalitesini Ölçmek

Bir inşaat projesinin performansını kesin sayılarla ölçmek ve değerlendirmek oldukça zordur. Özellikle proje kalitesi kesin sayılar yerine kesin olmayan veya belirsiz veriler cinsinden toplanabilir ve kaydedilebilir. Kalite, bir projenin tüm performansını ve

başarılı olarak tamamlanmasını etkilemektedir. Kalitenin ölçülmesi ve tahmin edilmesi iki zorluktan kaynaklanmaktadır (El-Rayes ve Kandil 2005).

- Her kaynak kullanım seçeneğinin, aktivite kalitesi üzerindeki etkisini ölçmenin zorluğu.
- Projenin genel kalitesini sağlamak için aktivite düzeyinde kalite performansını bir araya getirmenin karmaşıklığı.

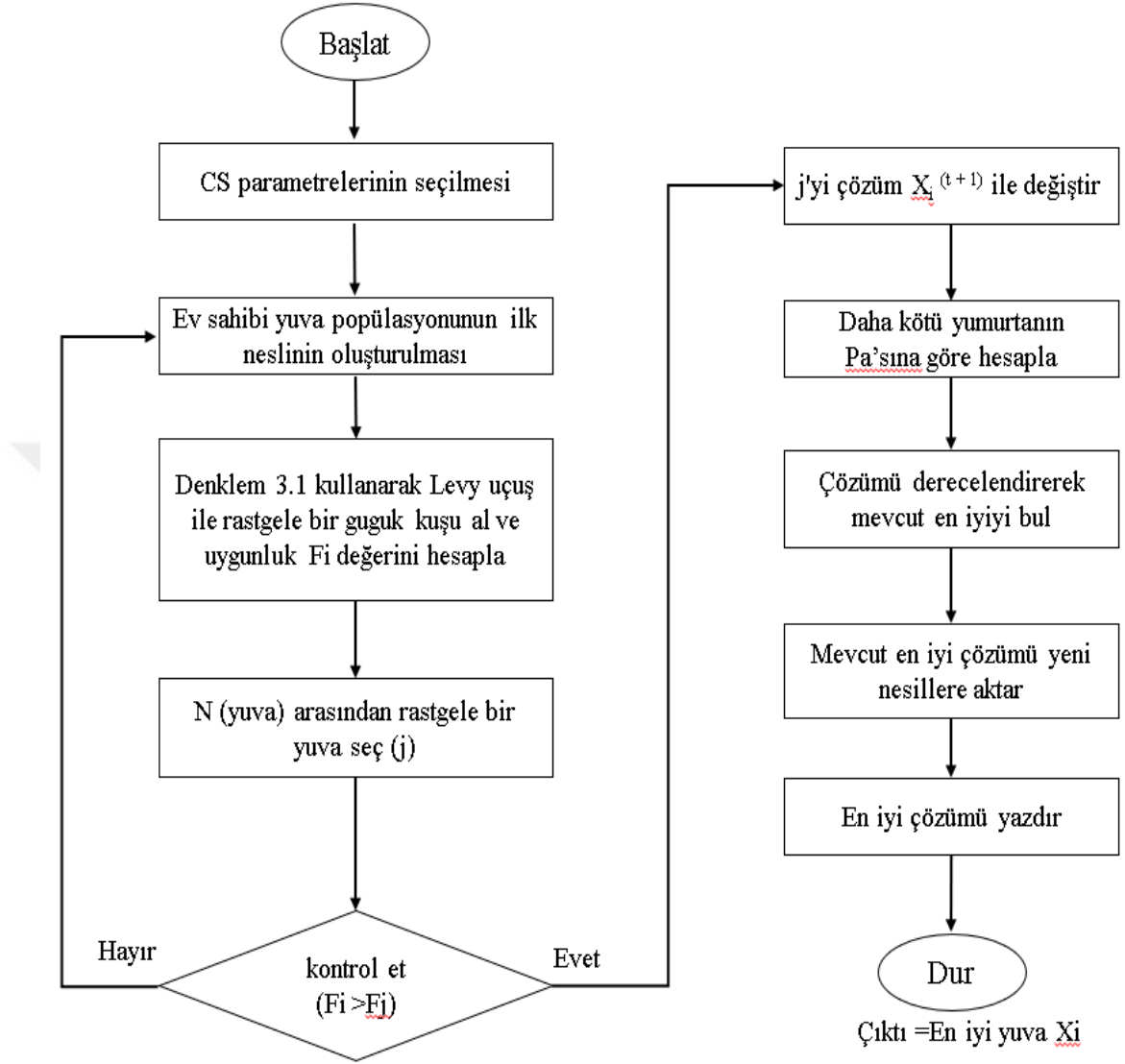
Karayolu inşaat proje kalitesini ölçmek için El-Rayes ve Kandil (2005) tarafından QBS geliştirilmiştir. Proje kalitesinin ölçülmesini kolaylaştırmak için denklem 3.10 kullanılmaktadır. Denklem 3.10'de verilen kalite amaç fonksiyonu basit ağırlıklı bir yaklaşım kullanarak projede genel bir kalite sağlamak için tüm faaliyetler için tahmini kalitenin toplanmasını sağlar. Kalite açısından değerlendirilen her faaliyet için planlayıcıların iki tür ağırlık belirlemesini gerektirmektedir.

d) Model Uygulaması

Bu araştırmadaki model üç ana aşamada uygulanmaktadır (El-Rayes ve Kandil 2005).

1. Başlatma aşaması. Bu aşamanın amacı, mevcut modeldeki optimizasyon prosedürünü başlatmaktır. Kaynak kullanım seçeneği problemi için çözümlerin bir başlangıç kümesini üretmektir.
2. Fitness fonksiyonunu değerlendirme. Üretilen çözümün uygunluğu her çözümün maliyetini, süresini ve kalitesini hesaplayan amaç fonksiyonu ile değerlendirilmektedir. Bu aşamada yukardaki üç denkleme kullanarak proje süresini, maliyetini ve kalitesini hesaplamaktadır. Her çözüm için tanımlanan üç uygunluk fonksiyonunu değerlendirir.
3. Popülasyon aşaması. Bu aşamanın amacı, çözümlerin birbirini takip eden nesiller boyunca uygunluğunu iyileştirmeyi amaçlayan popülasyon oluşturmaktır.

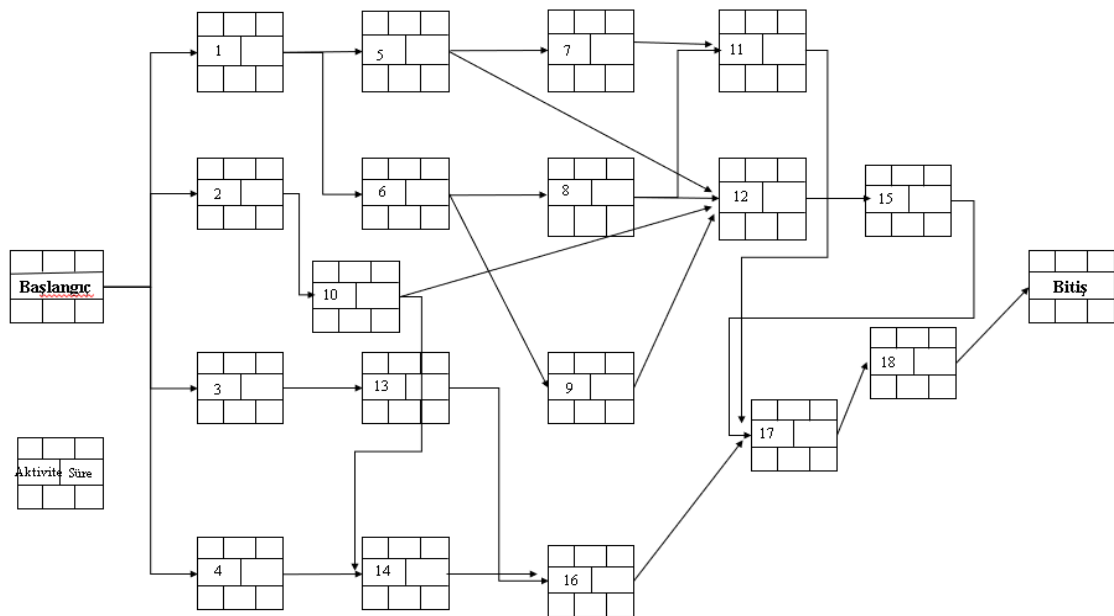
Bu üç aşamayı hesaplama prosedürü ayrıntılı olarak Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Model uygulama akış şeması

e) Model Testi ve Doğrulama

Araştırmada optimizasyon modelinin verimliliğini ve yeteneklerini göstermek için bir karayolu projesi analiz edilmektedir. Bu çalışmada önerilen guguk kuşu algoritmasının verimliliğinin doğrulanmasını için 18 aktiviteye sahip olan bir karayolu projesi kullanılmaktadır. Araştırmada kullanılan karayolu projesinin orijinal verileri ilk olarak Feng ve ark. (1997) tarafından inşaat süre-maliyet ödünleşim analizinde incelemiştir. Kalite verileri El-Rayes ve Kandil (2005) makalesinden alınmaktadır. Proje örneği Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi 18 aktivite ve alternatiflerinden oluşmaktadır. Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi kaynak kullanım seçeneğinde bazı aktiviteler beş alternatif, bazıları üç veya bir alternatifte sahiptir. Projenin planlaması için Şekil 3.9’da gösterildiği gibi aktivitelerden yaklaşık 3 milyar kombinasyon üretilmektedir. Bu kombinasyonların her biri proje süresi, maliyeti ve kalitesi gibi proje performansı üzerinde benzersiz bir etkiye yol açar. Buradaki temel zorluk, inşaat süresi, maliyeti ve kalitesi arasında optimum ve hassas bir denge kuran çözümler bulmak için bu geniş arama alanını araştırmaktır. Geliştirilen optimizasyon modelini kullanarak bu geniş çözüm alanından uygun ve optimum çözüm elde etmeye çalışılmaktadır.



Şekil 3.8. Uygulama CPM şebekesi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Süre-maliyet-kalite problemleri, proje yönetiminde önemli bir araştırma alanıdır ve son yıllarda TCQD optimizasyon problemleri birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bu bölümün amacı, süre-maliyet- kalite ödünleşim problemine en yakın veya optimum bir çözüm bulmak için çok amaçlı optimizasyon modeli sunmaktır. Optimizasyon probleminin çözümünde projenin tamamlama süresi en aza indirilmeye, toplam maliyet optimum değere düşürülmeye ve kalitesi en üste çıkarılmaya çalışılmaktadır. Projedeki aktivitelere ait süre, maliyet ve kalite alternatifleri kombinasyon olarak üretilmektedir. Söz konusu optimizasyon problemi guguk kuşu arama algoritma optimizasyonu ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatürde aynı problemi farklı algoritmalar ile çözen çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında guguk kuşu arama algoritması MATLAB R2020a ile kodlanmış ve Intel Core i7 CPU bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Guguk kuşu arama algoritması güçlü ve hızlı bir algoritma olduğu için ortalama olarak bir dakikadan daha kısa bir sürede en uygun ya da en yakın çözümlere ulaşılabilmiştir. Guguk kuşu arama algoritmasının performansında parametre ayarları, uygun bir başlangıç, çözüm kalitesi, arama alanı, keşif oranları çok önemli bir rol oynamaktadır. Başlangıç parametresinin uygun bir değerini bulmak için bir deneme yanılma deneyi yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada guguk kuşu algoritmasının başlangıç parametreleri Çizelge 4.1’de gösterildiği gibi alınmıştır.

Çizelge 4.1. Başlangıç parametreleri

N	25
Pa	0,25
Max-iterasyon	5000

4.1. Birinci Vaka Çalışması

Bu tez kapsamında, vaka-1 için 18 faaliyetten oluşan gerçek bir ulaşım projesi üzerinde çalışmıştır. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’te projenin 18 ana faaliyetleri, hemen önceki faaliyetleri ve alternatiflerini göstermektedir. Projenin uygulama verileri El-Rayes ve Kandil (2005) makalesinden alınmıştır.

Çizelge 4.2. Uygulama verileri

Aktivite	HÖF	HÖF sayısı	1. Alternatif			2. Alternatif		
			Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)
1	–	0	14	2400	100	15	2150	90
2	–	0	15	3000	98	18	2400	87
3	–	0	15	4500	100	22	4000	80
4	–	0	12	45000	99	16	35000	74
5	1	1	22	20000	100	24	17500	93
6	1	1	14	40000	95	18	32000	76
7	5	1	9	30000	97	15	24000	70
8	6	1	14	220	95	15	215	83
9	6	1	15	300	100	18	240	97
10	2,6	2	15	450	94	22	400	79
11	7,8	2	12	450	96	16	350	72
12	5,8,9,10	4	22	2000	99	24	1750	89
13	3	1	14	4000	99	18	3200	73
14	10,4	2	9	3000	100	15	2400	79
15	12	1	16	3500	100	–	–	–
16	14,13	2	20	3000	97	22	2000	89
17	11,15,16	3	14	4000	98	18	3200	73
18	17	1	9	3000	98	15	2400	75
Fn	18	0	–	–	–	–	–	–

Çizelge 4.3. Uygulama verileri

3. Alternatif			4. Alternatif			5. Alternatif		
Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)
16	1900	86	21	1500	75	24	1200	63
20	1800	81	23	1500	77	25	1000	60
33	3200	62	–	–	–	–	–	–
20	30000	59	–	–	–	–	–	–
28	15000	77	30	10000	61	–	–	–
24	18000	59	–	–	–	–	–	–
18	22000	61	–	–	–	–	–	–
16	200	75	21	208	68	24	120	61
20	180	81	23	150	71	25	100	63
33	320	63	–	–	–	–	–	–
20	300	61	–	–	–	–	–	–
28	1500	70	30	1000	62	–	–	–
24	1800	60	–	–	–	–	–	–
18	2200	63	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–
24	1750	81	28	1500	72	30	1000	67
24	1800	62	–	–	–	–	–	–
18	2200	63	–	–	–	–	–	–

4.1.1. Vaka-1 Sonuçları ve Analizi

Çizelge 4.4’de gösterildiği gibi süre-maliyet-kalite için optimum çözümlere sahip üç çözüm vurgulanmıştır. Çizelge 4.4’de gösterildiği gibi 25 çözüm vardır ve 25 çözüm CS algoritmada 25 yuva sayısını gösterilmektedir. Bu 25 çözümden en yakın çözümler arasında minimum proje süresi 104 gün maliyet ise 167820 dolar ve maksimum kalitesini yüzde 98 gösterilmektedir. İkinci çözümde en iyi çözümler arasında minimum proje süresi ve birinci çözüme göre daha düşük maliyet ve kalite olarak görülmektedir. Proje süresini minimuma indirmek ve maksimum kalite ana öncelikse birinci çözüm seçilir. Proje maliyetinin minimuma indirilmesi öncelikse 10. çözüm uygun bir çözüm olabilir. Proje süresi 118 gün ve yüzde 81 kalite ile uygun bir alternatiftir.

Çizelge 4.4. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif

Çözüm	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)	En uygun alternatif planı																									
1	104	167820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	104	158820	97	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	118	119540	81	1	4	3	3	3	3	1	3	2	1	3	1	3	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	1
11	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	104	168820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 4.5’de gösterildiği gibi süre-maliyet-kalite için farklı iterasyon sayısında optimum çözümlere sahip beş çözüm vurgulanmıştır. En yakın çözümler arasında minimum proje süresi 117 gün maliyet ise 156158 dolar ve maksimum kalitesini yüzde 88 olarak hesaplanmaktadır. Proje maliyetinin minimuma indirilmesi durumunda on dördüncü çözümün minimum maliyeti ve on altıncı çözümün bize maksimum kaliteyi sağlayabilir. Proje önceliklerine göre en uygun alternatifler çözümler arasından seçilebilmektedir.

Çizelge 4.5. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar

Çözüm	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)	En uygun alternatif planı																			
1	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
2	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
3	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
4	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
5	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
6	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
7	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
8	126	137558	85	5	5	3	2	2	2	2	4	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1		
9	113	136840	85	1	2	2	3	3	1	3	3	2	1	1	3	1	3	1	4	1	1		
10	135	110540	78	2	3	1	3	3	3	3	3	2	1	2	2	3	2	1	5	2	3		
11	137	112815	78	2	1	1	3	3	3	3	2	5	2	2	3	3	2	1	4	1	2		
12	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
13	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
14	136	110120	82	2	4	3	3	4	3	2	1	1	2	1	4	1	1	1	2	1	2		
15	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
16	119	157420	91	1	1	1	2	1	1	1	5	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2		
17	136	119208	81	3	1	1	3	2	3	2	4	5	2	1	3	2	1	1	3	2	1		
18	127	125015	82	2	4	2	2	1	3	2	2	5	1	2	2	3	3	1	1	1	1		
19	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
20	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
21	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
22	119	150070	87	1	1	3	2	1	1	2	5	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
23	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		
24	113	156670	89	1	1	3	2	1	1	1	5	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1		
25	117	156158	88	1	1	3	2	1	1	1	4	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2		

Çizelge 4.6’de gösterildiği gibi süre-maliyet-kalite için farklı iterasyon sayısında optimum çözümlere sahip sekiz çözüm vurgulanmıştır. Çizelgede en yakın çözümler arasında üç farklı proje tamamlanma süresi görünmektedir. Çizelge 4.6’deki sonuçlar arasında minimum proje süresi 122 gündür. Bu proje sürede farklı maliyet ve kalite alternatifleri gösterilmektedir. Proje minimum maliyeti dördüncü çözümde 108645 ve maksimum kalite ise ikinci çözümde %83 gösterilmektedir. Proje yönetici, tercihine bağlı olarak en uygun seçim yapabilmektedir.

Çizelge 4.6. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar

Çözüm	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)	En uygun alternatif planı																	
1	129	109455	81	2	1	3	3	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
2	122	114505	83	2	1	3	2	4	3	3	2	2	1	2	1	1	2	1	5	1	1
3	122	114655	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
4	122	108645	80	2	1	3	3	4	3	3	2	3	1	2	1	2	2	1	5	1	1
5	122	114505	83	2	1	3	2	4	3	3	2	2	1	2	1	1	2	1	5	1	1
6	122	114505	83	2	1	3	2	4	3	3	2	2	1	2	1	1	2	1	5	1	1
7	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
8	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
9	129	106655	78	2	2	3	3	4	3	3	2	2	2	2	1	3	2	1	5	1	1
10	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
11	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
12	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
13	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
14	124	115205	82	2	1	2	2	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1
15	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
16	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
17	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
18	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
19	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
20	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
21	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
22	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
23	122	118100	83	2	3	1	3	2	3	2	3	1	1	2	2	2	2	1	5	1	1
24	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1
25	129	114455	82	2	1	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	5	1	1

CS algoritma ile elde edilmiş Optimizasyon sonuçları Çizelge 4.7’de gösterildiği gibi birkaç optimal uygulama senaryosu içermektedir. Karar vericilerin tercihinine veya proje hedeflerine bağlı olarak toplam proje süresi, maliyeti ve kalitesi senaryolardan en uygun seçim yapabilmektedir. Her senaryo için projenin faaliyetleri ve ilgili proje toplam süresi, doğrudan maliyet ve kalite için bir dizi uygulanma seçeneği sağlanmaktadır.

Çizelge 4.7. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar

Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)	En uygun alternatif planı																	
106	152570	95	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	152570	95	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	152570	95	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	153570	95	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
105	150800	93	1	1	1	1	4	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
106	156070	96	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
105	150800	93	1	1	1	1	4	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
105	149550	92	1	1	1	1	4	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	158570	96	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1

Çizelge 4.8’de gösterildiği gibi vaka-1 farklı iterasyonlara boyunca CS algoritma ile elde edilmiş sonuçları arasında proje süresi, maliyeti ve kalitesine göre en uygun veya optimum çözümleri seçilmiştir. Çizelge 4.8’de gösterildiği gibi süre-maliyet-kalite için farklı iterasyonlardan seçilmiş optimum çözümler arasında minimum proje süresine (104)

vurgulanmıştır. Vurgulanmış proje süresi farklı maliyetler arasında minimum maliyet ise 140470 dolar ve maksimum kalitesini yüzde 98 olarak hesaplanmaktadır. Tüm optimum çözümler arasında minimum maliyet 106656 dolar olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.8. Vaka-1 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar

Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)	En uygun alternatif planı																	
104	167820	98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
104	150320	95	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
104	140470	89	1	1	1	3	3	1	2	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1
104	147020	92	1	1	1	2	3	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
105	148820	95	1	1	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
105	149550	92	1	1	1	1	4	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1
106	156070	96	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
106	146570	93	1	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
107	149260	94	1	1	1	3	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	5	1	1
107	141740	91	1	1	1	3	4	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	5	1	1
108	155820	96	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
109	132470	87	2	3	3	3	2	2	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
109	142010	86	3	1	3	3	1	1	3	1	2	1	3	1	1	3	1	2	1	1
110	138760	85	3	1	3	3	3	1	2	1	2	1	3	1	1	3	1	3	1	1
111	132120	85	2	2	3	2	3	2	3	1	1	1	2	2	3	1	1	2	1	1
113	149460	92	1	2	1	3	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2
114	146820	96	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
114	134415	90	1	1	3	1	2	3	3	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
114	130755	83	3	1	3	3	3	2	2	2	2	1	3	1	1	3	1	3	1	1
116	145670	93	1	1	1	3	1	2	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
116	149765	91	1	3	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
117	146760	96	1	1	1	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
118	140955	86	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1
118	137590	85	2	2	2	3	3	2	1	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
119	146700	95	1	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
119	114960	84	3	1	3	3	3	3	3	1	2	1	3	1	1	2	1	3	1	1
120	132555	84	2	2	2	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2
122	131670	92	1	1	1	3	1	3	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
124	128210	86	2	1	2	2	1	3	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
126	124090	84	1	1	1	3	2	3	1	3	2	1	3	1	3	1	1	5	1	3
126	109990	81	1	2	1	3	4	3	2	3	2	1	3	1	3	1	1	5	1	3
127	108300	80	2	4	3	3	4	3	3	3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3
129	116630	80	3	3	2	2	3	3	3	3	3	1	1	2	3	3	1	2	1	2
129	106655	78	2	2	3	3	4	3	3	2	2	2	2	1	3	2	1	5	1	1

Çizelge 4.9’da El-Rayes ve Kandil (2005)’nin çalışmasında aynı uygulama örneği için elde edilmiş optimum çözümleri görülmektedir. Çizelge 4.10’da El-El-Bassuony (2016)’nin çalışmasında aynı uygulama örneği için elde edilmiş optimum çözümleri görülmektedir. Çizelge 4.11’de Armaghani (2014)’nin çalışmasında aynı uygulama örneği için elde edilmiş optimum çözümleri görülmektedir. Çizelge 4.12’de Mongle ve ark. (2013)’nin çalışmasında aynı uygulama örneği için elde edilmiş optimum çözümleri görülmektedir.

Çizelge 4.9. El-Rayes ve Kandil (2005) makalesinin Sonuçları

En uygun alternatif planı																	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)
1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	104	166320	95
1	5	3	3	4	3	3	5	1	1	3	1	3	2	1	5	1	114	105470	71
2	3	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	115	141620	90
2	5	1	3	4	2	3	3	1	1	1	1	3	1	1	5	1	109	121350	77
1	5	1	3	4	3	3	5	1	1	2	1	3	2	1	5	3	124	104620	72

Çizelge 4.10. Basitleştirilmiş model El Bassuony (2016) araştırmanın sonuçları

En uygun alternatif planı																	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)
3	5	3	3	4	3	3	5	3	1	2	4	3	3	1	5	1	129	103700	70
1	5	3	3	4	3	3	5	1	1	3	1	3	3	1	5	1	114	105270	71.55
1	2	2	1	3	1	3	4	1	1	2	1	3	3	1	3	1	104	150358	84.28
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	104	168820	97.6
1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	104	153820	93.7

Çizelge 4.11. Armaghani (2014) araştırmanın GA-SA sonuçları

En uygun alternatif planı																		Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)
1	4	1	3	4	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	114	115930	80.46
1	5	3	3	4	3	3	2	1	1	1	2	3	2	1	3	1	1	116	111415	74.75
1	1	1	3	3	1	3	1	1	1	2	1	3	1	1	2	1	1	104	140680	81.21
1	4	1	1	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	114	140430	83.83
1	4	2	3	4	3	3	1	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	114	113230	78
1	2	2	3	4	1	3	3	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	105	134580	79.08

Çizelge 4.12. Mongle ve ark. (2013) makalesinin sonuçları (FCGA)

En uygun alternatif planı																		Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)
3	4	3	3	4	3	3	4	1	1	1	1	3	2	1	4	1	1	104	168480	85.66
1	1	2	2	3	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	104	160860	83.16
1	3	1	2	3	1	2	3	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	114	113118	79.67
2	3	2	2	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	4	1	1	123	111355	69.6
3	2	1	3	3	3	2	3	1	1	1	1	1	2	1	3	1	1	119	140815	79.6

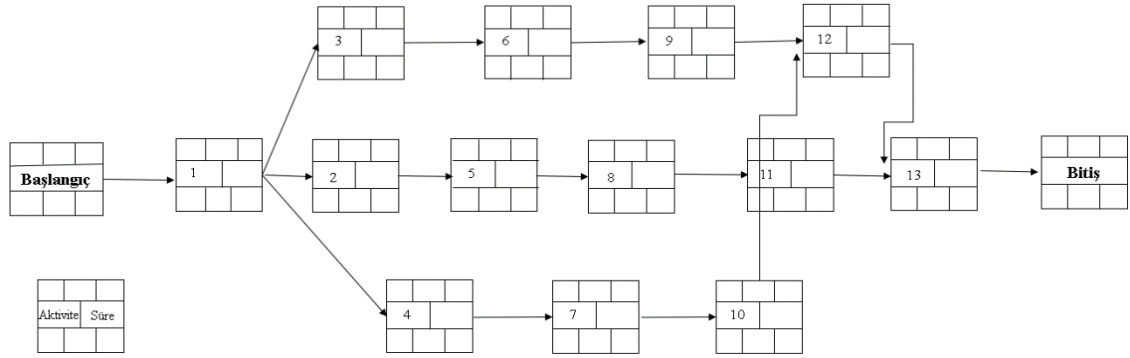
Optimizasyon modeli CS algoritma ile elde edilmiş sonuçları doğrulamak için Çizelge 4.13’de gösterilen aynı uygulama örneği literatürde bildirilenlerle karşılaştırmıştır. CS algoritma modeli ile tatmin edici sonuçlar elde edildiği açıktır. Elde edilmiş sonuçlar, ortalama performans değerleri maliyet ve özellikle kalite açısından literatür sonuçlarından daha iyidir. Örneğin minimum proje süresini (104) dikkate alındığında maksimum kalite değeri %98 ve minimum maliyet değeri 140470 elde edilmiştir ve literatür sonuçlara göre maliyet ve kalite açısından daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 4.13. Vaka-1 sonuçlarını diğer algoritmalar ile kıyaslaması

Algoritma	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (%)
CS	104	168820	98
	104	167820	98
	104	166320	98
	104	140470	89
	104	150320	95
	109	132470	87
	109	129905	83
	114	146820	96
	114	131670	92
	124	108415	79
	134	103670	76
GA	104	166320	95
	109	121350	77
	114	105470	71
	115	141620	90
	124	104620	72
FCGA	104	168480	85.667
	104	160860	83.167
	114	113118	79.67
	119	140815	79.6
	123	111355	69.6
GA-SA	104	140680	81.21
	114	140430	83.83
	114	115930	80.46
	114	110930	74.33
	105	132845	77.75
	105	151500	83.04
	109	147920	82.71
	109	127568	77.5
	124	112415	73.54
	116	111415	74.75
Basitleştirilmiş model	104	168820	97.63
	104	153820	93.70
	104	150358	84.28
	114	105270	71.55
	129	103700	70.05

4.2. İkinci Vaka Çalışması

Zhang ve Xing (2010) makalesinde süre-maliyet-kalite optimizasyon problemi PSO algoritma ile çözdüğü optimizasyon problemi bu çalışmada CS algoritma ile çözülmüştür. Proje aktiviteleri arasındaki öncelik ilişkileri Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Vaka-2 uygulama CPM şebekesi

Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da probleme ait 13 aktivite ve her aktivite için üç süre ve maliyet değeri vardır. Ancak kalite performansı sözel olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 4.14. Vaka-2 için birinci alternatifleri

Aktivite	HÖF	HÖF sayısı	Süre (Gün)			Maliyet (\$)			Kalite (Sözel)		
1	-	0	26	28	30	16	18	20	0.9	1	1
2	1	1	40	42	46	160	170	180	0.9	1	1
3	1	1	40	45	50	165	175	185	0.9	1	1
4	1	1	39	44	49	160	170	180	0.9	1	1
5	2	1	36	38	40	124	134	144	0.9	1	1
6	3	1	46	50	54	180	190	200	0.9	1	1
7	4	1	38	40	42	130	140	150	0.9	1	1
8	5	1	83	85	87	210	220	230	0.9	1	1
9	6	1	87	90	93	230	240	250	0.7	0.9	1
10	7	1	83	85	87	220	230	240	0.7	0.9	1
11	8	1	18	20	22	110	120	130	0.7	0.9	1
12	9,10	2	20	22	24	120	130	140	0.9	1	1
13	11,12	2	22	25	28	59	65	71	0.9	1	1

Çizelge 4.15. Vaka-2 için ikinci alternatifleri

Aktivite	Süre (Gün)			Maliyet (\$)			Kalite (Sözel)		
1	23	25	27	19	20	22	0.7	0.9	1
2	35	37	39	180	190	200	0.6	0.8	0.9
3	38	40	43	190	200	210	0.4	0.6	0.7
4	36	38	42	190	200	210	0.4	0.6	0.7
5	32	34	36	154	164	174	0.6	0.8	0.9
6	40	42	44	220	230	240	0.4	0.6	0.7
7	33	35	37	160	170	180	0.7	0.9	1
8	80	82	84	240	250	250	0.6	0.8	0.9
9	82	84	86	250	260	270	0.6	0.8	0.9
10	78	80	82	240	250	260	0.6	0.8	0.9
11	16	18	20	135	145	155	0.4	0.6	0.7
12	14	17	20	135	145	150	0.4	0.6	0.7
13	20	22	24	70	75	80	0.7	0.9	1

Çizelge 4.16. Vaka-2 için üçüncü alternatifleri

Aktivite	Süre (Gün)			Maliyet (\$)			Kalite (Sözel)		
1	17	19	21	20	22	24	0.6	0.8	0.9
2	30	33	36	210	220	230	0.2	0.4	0.6
3	32	35	38	215	225	235	0.2	0.4	0.6
4	30	33	36	210	220	230	0.2	0.4	0.6
5	28	30	32	210	220	230	0.2	0.4	0.6
6	33	36	39	260	270	280	0.2	0.4	0.6
7	28	30	32	175	180	185	0.6	0.8	0.9
8	73	75	77	260	275	290	0.4	0.6	0.7
9	76	78	80	280	300	320	0.4	0.6	0.7
10	74	76	78	270	280	290	0.4	0.6	0.7
11	14	16	18	150	160	170	0.2	0.4	0.6
12	12	14	16	155	165	175	0.2	0.4	0.6
13	13	15	17	75	80	85	0.6	0.8	0.9

Yukarıdaki Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da Zhang ve Xing (2010) tarafından sunulan farklı süre, maliyet ve kalite verileri gösterilmektedir. Kalite performansı sözel olarak tanımlanmaktadır. Bu tür terimler Zhang ve Xing (2010) tarafından orijinal olarak sunulan Çizelge 4.17’de gösterildiği gibi üç iyimser, büyük olasılıkla ve kötümser kalite değeriyle temsil edilebilir.

Çizelge 4.17. Sözel terimler için kalite değerleri

Sözel Açıklama	Kalite (Sözel)	Kalite (Sözel)	Kalite (Sözel)
En yüksek	0.9	1	1
Çok yüksek	0.7	0.9	1
Yüksek	0.6	0.8	0.9
Orta	0.4	0.6	0.7
Düşük	0.2	0.4	0.6
Çok düşük	0	0.2	0.4
En düşük	0	0	0.2

4.2.1. Vaka-2 Sonuçları ve Analizi

İkinci vaka çalışma modülü, proje yönetici ve müttehitlerin tercihinine göre optimum veya optimum inşaat senaryosunu elde etmek için optimizasyon modülüdür.

Çizelge 4.18. Vaka-2 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar

Çözüm	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (Sözel)	En uygun alternatif planı													
1	228	2288	1	1	2	1	2	1	3	3	2	2	1	2	2	2	3
2	232	2296	1	3	2	2	1	2	3	1	2	2	2	3	2	1	1
3	238	2321	1	3	3	3	3	1	3	1	3	2	2	2	3	1	2
4	235	2303	1	1	1	3	2	3	3	1	3	2	1	2	2	3	1
5	222	2254	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	3	1	2	1	3
6	230	2319	1	2	3	1	1	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3
7	227	2283	1	1	2	2	1	1	1	3	2	3	3	1	1	3	2
8	231	2268	1	1	1	3	2	1	2	1	1	2	1	3	2	2	2
9	221	2258	1	1	1	1	3	3	2	1	2	1	2	1	1	2	1
10	225	2284	1	2	3	2	3	3	3	1	1	1	2	1	1	1	3
11	227	2278	1	1	2	3	3	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2
12	231	2309	1	2	3	2	1	1	1	3	2	1	3	3	3	3	2
13	231	2308	1	1	3	2	1	1	3	2	3	2	2	3	3	1	2
14	234	2334	1	2	3	1	3	3	3	2	3	3	1	2	2	3	3
15	234	2339	1	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	2	1
16	224	2276	1	3	3	1	1	2	1	1	3	1	3	3	2	1	1
17	234	2303	1	1	1	2	1	3	3	2	1	3	2	2	2	3	1
18	223	2244	1	2	3	2	1	1	2	1	3	1	2	1	1	1	1
19	230	2276	1	3	2	3	2	2	1	3	2	1	1	1	1	3	3
20	229	2281	1	3	2	1	2	1	2	2	2	3	1	3	1	2	3

Çizelge 4.19’da gösterildiği gibi farklı optimum veya değişik uygulama alternatifleri gösterilmektedir. Proje yöneticinin tercihine veya proje hedeflerine bağlı olarak toplam proje süresi, maliyeti ve kalitesi senaryolardan en uygun seçim yapılabilmektedir. Her senaryo için projenin faaliyetleri ve ilgili proje toplam süresi, doğrudan maliyet ve kalite için bir dizi uygulanma seçeneği sağlanmaktadır. Çizelge 4.19’de gösterildiği gibi süre-maliyet-kalite için iterasyon sayısında optimum çözümlere sahip iki çözüm vurgulanmıştır. Çizelge 4.19’da en yakın çözümler arasında minimum proje süresi 221 gün maliyet ise 2241 dolar ve kalite terimi de en yüksek olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.19. Vaka-2 için CS algoritma ile elde edilmiş optimum çözümler ve alternatif planlar

Çözüm	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (Sözel)	En uygun alternatif planı															
1	234	2311	1	3	1	1	2	3	3	2	2	3	1	3	2	2	3		
2	228	2283	1	1	1	2	1	3	1	2	3	2	1	3	2	3	2		
3	239	2321	1	3	1	3	2	3	3	2	2	3	2	1	2	2	3		
4	234	2331	1	3	3	3	3	3	3	1	2	2	2	2	1	2	1		
5	233	2291	1	3	1	1	1	3	2	2	2	3	1	3	3	1	2		
6	236	2286	1	3	1	3	2	1	3	1	2	2	2	2	1	3	1		
7	236	2324	1	2	3	3	3	1	3	2	3	1	2	2	3	2	1		
8	234	2286	1	3	2	1	1	1	3	3	1	2	3	1	2	3	1		
9	231	2304	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	3	3	3	2	2		
10	229	2308	1	1	2	2	2	3	1	1	2	1	3	3	3	3	1		
11	234	2276	1	3	2	3	1	1	2	1	2	2	3	1	1	3	3		
12	235	2321	1	3	2	3	3	2	3	2	3	1	3	1	2	2	2		
13	237	2333	1	1	2	3	3	1	3	1	3	3	2	3	2	3	3		
14	223	2273	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	3	2	1	3	1		
15	228	2241	1	3	2	3	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	3		
16	228	2331	1	3	3	1	2	3	1	3	3	2	3	3	2	2	2		
17	221	2276	1	3	2	1	3	3	1	2	3	1	3	1	1	1	2		
18	231	2309	1	2	3	2	2	3	1	3	1	3	2	1	3	1	2		
19	228	2274	1	2	3	1	3	1	2	2	2	1	1	1	2	3	1		
20	225	2258	1	1	1	1	2	1	2	1	3	3	3	1	1	2	1		

Çizelge 4.20’de gösterildiği gibi süre-maliyet-kalite optimizasyon sonuçları üç farklı iterasyonlardan elde edilmiş ve dört bölümde Çizelge4.20’de optimum çözümleri özetlemiştir. Çizelge 4.20’de gösterildiği gibi süre-maliyet-kalite için dört farklı iterasyon sayısında optimum çözümleri elde edilmiştir. En yakın çözümler arasında minimum proje süresi 199 maliyet ise 2086 ve kalite terimi de en yüksek olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.20. Vaka-2 için CS algoritma ile farklı iterasyonlarda optimum çözümler

1. optimum çözümler			2. optimum çözümler			3. optimum çözümler		
Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (Sözel)	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (Sözel)	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (Sözel)
220	2271	1	215	2454	1	229	2284	1
243	2210	1	210	2335	1	240	2368	1
230	2366	1	248	2277	1	242	2173	1
216	2346	1	236	2241	1	224	2353	1
238	2240	1	242	2212	1	231	2232	1
241	2273	1	235	2235	1	228	2406	1
229	2309	1	220	2171	1	240	2311	1
230	2289	1	224	2150	1	243	2356	1
237	2338	1	218	2320	1	223	2324	1
239	2198	1	221	2382	1	224	2317	1
229	2443	1	232	2218	1	227	2274	1
245	2104	1	229	2244	1	226	2294	1
199	2264	1	222	2193	1	211	2324	1
223	2358	1	222	2329	1	222	2333	1
231	2374	1	231	2281	1	237	2340	1
221	2355	1	223	2308	1	234	2295	1
210	2297	1	233	2190	1	225	2343	1
234	2257	1	210	2306	1	215	2345	1
219	2375	1	235	2314	1	257	2193	1
230	2456	1	213	2220	1	232	2252	1
227	2404	1	223	2399	1	243	2169	1
245	2257	1	235	2229	1	217	2459	1
221	2383	1	238	2278	1	229	2376	1
229	2414	1	220	2367	1	243	2390	1
238	2210	1	220	2344	1	242	2086	1

Süre-Maliyet-Kalite ödünleşim optimizasyon modeli CS tarafından sağlanan optimum çözüm sonuçları doğrulamak için Çizelge 4.21’de gösterilen aynı uygulama örneği için literatürde bildirilenlerle karşılaştırıldı. CS algoritma modeli ile tatmin edici sonuçlar elde edildiği açıktır. Elde edilmiş sonuçlar, ortalama performans değerleri maliyet ve kalite açısından literatür sonuçlarından daha iyidir. Örneğin CS optimizasyon model ile proje sürelerini (199,213,238) dikkate alındığında kalite terimi en yüksek ve bazı çözümlerde maliyet açısından da minimum değeri elde edilmiştir ve literatür sonuçları ile kıyaslandığında genel olarak maliyet ve kalite açısından daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 4.21. Vaka-2 sonuçlarını diğer algoritmalar ile kıyaslaması

Kaynaklar	Süre (Gün)	Maliyet (\$)	Kalite (Sözel)
Zhang ve Xing (PSO)	185	1999	0.73
	199	2111	0.88
	213	2223	0.94
ELBassuony (2016) GA	228	2076	0.87
	199	2481	0.6
	220.167	2116	0.83
	238	2077	0.925
CS	199	2264	1
	204	2319	1
	213	2220	1
	228	2241	1
	220	2213	1
	234	2102	1
	238	2206	1
	242	2086	1

5. SONUÇ

Tez çalışmasının temel amacı, maliyet ve sürenin en aza indirilmesi ve projenin kalitesinin en üst düzeye çıkarılmasıdır. Söz konusu amaca uygun model oluşturulup oluşturulmadığının test edilebilmesi için model 18 aktiviteden ve alternatiflerden oluşan bir gerçek karayolu projesine uygulanmıştır. Geliştirilen modelleri doğrulamak ve verimliliklerini göstermek için literatür yer alan ikinci vaka çalışmasına da uygulandı. Bu araştırmada karayolu inşaat projelerinde süre-maliyet-kalite planlamasının NP-Hard problemi için parazitik üreme davranışına dayanan doğadan ilham alan Guguk kuşu arama algoritması kullanılmıştır. Tez çalışmasında guguk kuşu arama algoritma adımları ve NP-Hard problemleri verimliliği doğrulama ile ilgili ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Guguk kuşu arama optimizasyonun belirli bir problem ile eşleştirilmesini basitleştiren iki parametresi bulunmaktadır. Bu nedenle guguk kuşu algoritması diğer meta sezgisel algoritmalarından daha güçlü ve daha üstündür. Bu araştırmada CS algoritması, optimum çözüme daha az iterasyon ve daha hızlı bir şekilde yakınsayarak ulaşmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda CS algoritmanın verimliliğini ve doğruluğunu değerlendirmek için diğer algoritmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalarda CS algoritmasının çoğunlukla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tez çalışmasında kaynak taraması, TCQT problemlerinin üç kategorisi olan süre-maliyet-kalite unsurları dikkate alınarak gösterilmiştir. Proje yönetiminde, proje performansının iyi ve projenin başarılı olması için süre-maliyet-kalite faktörleri önemli bir araştırma alanı olduğu için ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Süre, maliyet, kaliteyi dengelemek için guguk kuşu arama algoritması kullanılmış ve aynı problemi kullanarak farklı algoritmalar ile yapılmış çalışmalar ile mevcut model karşılaştırılmıştır. CS algoritması ile literatürde yer alan diğer algoritmaların sonuçları kıyasladığında CS algoritması istenilen optimum çözümlere daha erken, daha etkin ulaştığı görülmüştür. Ayrıca CS algoritmasının diğer algoritmalara göre uygulaması daha kolay bir algoritma olduğu görülmüştür. Elde edilen optimum çözümlerin kaybolmasını önlemek için her iterasyonda daima en iyi çözüm saklanmış ve alternatif planları bu çalışmada sunulmuştur. CS algoritması diğer meta-sezgisel algoritmalara göre daha hızlı ve daha iyi doğruluğa sahip olup aynı zamanda kod

yazma basitliği sayesinde daha karmaşık ve yüksek boyutlu problemlerde kullanılabilir. İleriki alışmalarda CS algoritmasında iyileştirmeler yapılarak daha yüksek bir başarıya ulaşılabilir.



KAYNAKLAR

Abd El Razek, R.H., Diab, A.M., Hafez, S.M., Aziz, R.F. 2010. Time-cost-quality trade-off software by using simplified genetic algorithm for typical repetitive construction projects. *World academy of science, engineering and technology*,

Akbari, M., 2020. Hybrid approach based on cuckoo optimization algorithm and genetic algorithm for task scheduling. *Evolutionary Intelligence*, pp.1-17.

Alikhanzadeh. V., Kazmi., Iagzain, M. 2015. Optimizing Cost –Time –Quality trade-off in Construction project management under influence of material and labor selection.

Aminbakhsh, S. 2018. Heuristic and exact methods for the large-scale discrete time-cost trade-off problems Doctoral dissertation, *Ph. D. thesis*, Dept. of Civil Engineering, Middle East Technical University. Ankara

Aminbakhsh, S., Sonmez, R. 2016. Discrete particle swarm optimization method for the large-scale discrete time-cost trade-off problem. *Expert systems with applications*, 51, pp.

Adeli, H., Karim, A. 1997. Scheduling cost optimization and neural dynamics model for construction. *Journal of construction engineering and management*, 123(4), pp. 450

Albayrak, B. 2009. Proje Yönetimi ve Analizi. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Akyol, S., Alataş, B. 2012. Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları, *Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi*, 36-50. Nevşehir.

Aoieong, R.T., Tang, S.L., Ahmed, S.M. 2002. A process approach in measuring quality costs of construction projects: model development. *Construction Management & Economics*, 20(2), pp.179-192.

Akçay, C. 2003. İnşaat Mühendisliğinde Fuzzy Lojik Uygulama Örnekleri. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Aziz, R.F. 2014. RPERT Repetitive-projects evaluation and review technique. *Alexandria Engineering Journal*, 53(1), pp.81-93.

Babu, A.J.G., Suresh, N., 1996. Project management with time, cost, and quality considerations. *European journal of operational research*, 88(2), pp.320-327.

Berberoğlu, N. 2019. Zaman-maliyet ödünleşim problemlerinin çözümü için yeni değiştirmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımları. *Yüksek lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz teknik üniversitesi. Trabzon.

Blum C. and Roli A., (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison, *ACM Comput. Surv.*, **35**, 268- 308.

Can ayaz, M. 2015. Cırcır Böceği Algoritması: Yeni Bir Meta-Sezgisel Yaklaşım ve Uygulamaları, *Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü. Malatya.

Collette, Y., Siarry, P. 2003. Multi objective Optimization Principles and Case Studies, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Construction Industry Institute, 1998. Concepts and methods of schedule compression. Austin TX. *Construction Industry Institute*, University of Texas.

Uysal, Ç. 2018. İnşaat projelerinde zaman maliyet ödünleşim probleminin evrimsel tabanlı meta-sezgisel algoritmalarla optimizasyonu, İstanbul üniversitesi. *Yüksek lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Değirmenci, G. 2008. The budget constrained discrete time-cost trade-off problem in project networks, *Master's thesis*, Middle east technical university, Ankara.

Elbeltagi, E., Hegazy, T. and Grierson, D., 2005. Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. *Advanced engineering informatics*, 19(1), pp.43-53.

ELBassuony, M. 2016. Time-cost-quality trade-off analysis for construction projects. The American university in cairo, *Master's thesis*.

El-Rayes, K., Kandil, A. 2005. Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction. *Journal of construction Engineering and Management*, 131(4), pp.477-48.

Feng, C.W., Liu, L., Burns, S.A. 2000. Stochastic construction time-cost trade-off analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14(2), pp.117-126.

Feng, C.W., Liu, L. and Burns, S.A., 1997. Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems. *Journal of computing in civil engineering*,

Gandomi AH, Yang X-S, Alavi AH 2013. Cuckoo search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems. *Eng Comput* 29(1):17–35

Gandomi AH, Talatahari S, Yang X-S, Deb S, 2012. Design optimization of truss structures using cuckoo search algorithm. In: *The structural design of tall and special*.

Giran, O., Temur, R. and Bekdaş, G., 2017. Resource constrained project scheduling by harmony search algorithm. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(2), pp.479-487.

Golzarpour, B. 2012. Time-cost optimization of large-scale construction projects using constraint programming. *Master's thesis, University of Waterloo*.

Haupt, R.L., Ellen Haupt, S. 2004. Practical genetic algorithms.

Hegazy, T., Menesi, W. 2010. Critical path segments scheduling technique. *Journal of construction and management*, 136 (10), pp. 1087-1085.

Hegazy, T. 2002. Computer-Based construction project management. Ontario Prentice.

Hinze, J.W. 2010. Construction planning and scheduling. 4th edition.

Işıkıldız, S. 2019. İnşaat projelerinde meta sezgisel yaklaşımla süre maliyet kalite optimizasyon, İstanbul üniversite, *Yüksek lisans tezi*, Fen bilimleri enstitüsü İstanbul.

İşçioğlu, Y. 2011. Bulanık mantık çözümleme yöntemi ile bir konut projesinde süre-maliyet-kalite optimizasyonu, İstanbul teknik üniversite, *Yüksek lisans tezi*, Fen bilimleri enstitüsü, Ankara.

Jati, G.K. and Manurung, H.M., 2012. Discrete cuckoo search for traveling salesman problem. In 2012 7th International Conference on Computing and Convergence Technology (ICCCT) (pp. 993-997). IEEE.

Jeunet, J., Oram, M.B. 2020. Optimization temporary work and overtime in the Time Cost Quality Trade-off problem. *European journal of operational research*, 284(2), pp.

Kaveh A, Bakhshpoori T, Ashoory M 2012. An efficient optimization procedure based on cuckoo search algorithm for practical design of steel structures. *Int J Optim.*

Kaplan, B. 2014. Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu ile Bir İnşaat Projesinde Alt Yüklenici Seçimine İlişkin Süre Maliyet Kalite Optimizasyonu ve Risk Değerlendirmesi, *Yüksek lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karaman, E., Kale S. 2007. Bulanık Hedef Programlama Yöntemi ile Süre-Maliyet-Kalite Eniyilemesi. *Yapı Dünyası Dergisi*:49-55.

Khang, D. B., Myint, Y. M. 1999. Time, cost and quality trade-off in project management: a case study. *International Journal of Project Management*, 17(4), 249-2.

Kelley Jr, J.E., Walker, M.R. 1959. Critical-path planning and scheduling. In Papers presented at the December 1-3, 1959, *Eastern joint IRE-AIEE-ACM computer conference* pp. 160-173.

Kerzner, H. 2017. Project management: a systems approach to planning, scheduling and controlling. John Wiley and sons.

Kul, H. 2010. İnşaat projelerinde doğrusal programlama yöntemiyle süre-kalite-maliyet optimizasyonu, *Yüksek lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya.

Kuruoğlu, M., Sorguç, D. 2007. İnşaat (Proje) Yönetiminin Hizmet ve Uygulama Standardı, *Maya Basın Yayın*, 3. Baskı, sf. 22, İstanbul.

Küçük E. 2005. Yeni üretim ortamında genel üretim maliyetleri ve Kayseri'deki bazı uygulamalara ilişkin Bir Araştırma, Erciyes Üniversitesi *İİBF Dergisi*, Sayı:25.

Lester, A. 2017. Project management planning and control. Managing engineering, construction and manufacturing projects to PMI, APM and BSI standards.

Liberatore, M. J., Pollack-Johnson, B. 2009. Quality, time and cost trade-offs in project management decision making. *In PíCMET09- 2009 Portland International Conference on management of Engineering and technology* pp. 1323- 1329 IEEE.

Lakshminarayanan, S. and Kaur, D., 2018. Optimal maintenance scheduling of generator units using discrete integer cuckoo search optimization algorithm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 42, pp.89-98.

Liu, D., Li, H., Wang, H., Qi, C., Rose, T. 2020. Discrete symbiotic organisms search method for solving large-scale time-cost trade-off problem in construction scheduling. *Expert Systems with Applications*, 148, p.113230.

Mahmoudi, S., Rajabioun, R. and Lotfi, S., 2013. Binary cuckoo optimization algorithm. nature. *Islamic Azad University, Roudsar-Branch*

Mungle, S., Benyoucef, L., Son, Y.J., Tiwari, M. k. 2013. A fuzzy clustering-based genetic algorithm approach for time-cost-quality trade off problems. A case study of highway construction project. *Engineering applications of artificial intelligence*, 26 (8).

Monghasemi, S., Nikoo, M. R., Fasaee, M. A. K., Adamowski, J. 2015. A novel multi criteria decision making model for optimizing time-cost-quality tradeoff problems in construction projects. *Expert systems with applications*, 42(6), pp. 3089- 3104

Mubarak, S. 2010. Construction Project Scheduling and Control. John Wiley

Ng, S. T., Zhang, Y. 2008. Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(9).

Ouaarab, A., Ahiod, B., Yang, X.S., 2014. Discrete cuckoo search algorithm for the travelling salesman problem. *Neural Computing and Applications*, 24(7-8), pp.1659.

Özken, Ş. 2005. Yöneylem Araştırması, Nicel Karar Teknikleri. Nobel Yayın

Panagiotakopoulos, D. 1997. A CPM time-cost computational algorithm for arbitrary activity cost functions. *INFOR: Information systems and operational research*, 15 (2).

Pollack-Johnson, B., Liberatore, M. J. 2006. Incorporating quality considerations into project time/cost tradeoff analysis and decision making. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 53(4), 534-542.

Project Management Institute (PMI), 2017. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Pennsylvania, USA: PMI. USA.

Que, B. C. 2002. Incorporating practicability into genetic algorithm-based time-cost optimization. *Construction Engineering and Management*, 128 (2), 139–143

Qing, A. 2009. Differential Evolution: Fundamentals and Applications in Electrical.

Rad, H.N., Khosrowshahi, F. 1998. Quality measurement in construction Project. *In ARCOM 14th Annual conference* pp. 389-97.

Shadkam, E. and Bijari, M., 2014. Evaluation the efficiency of cuckoo optimization algorithm. *arXiv preprint arXiv:1405.2168*.

Siemens, N. 1971. A Simple CPM Time-Cost Trade-off Algorithm. *Management Science*, 17(6), B354-B363.

Solnon, C., Bridge, D. 2005. An ant colony optimization meta-heuristic for subset selection problems. *Rapport de recherche*.

Payne RB, Sorenson MD, 2005. The cuckoos, vol 15. Oxford University Press, USA

Tareghian, H. R., Taheri, S. H. 2007. A solution procedure for the discrete time, cost and quality tradeoff problem using electromagnetic scatter search. *Applied Mathematics and Computation*, 190, 1136-1145.

Sivanandam, S.N. Deepa 2008. Introduction to Genetic Algorithms, Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg.

- Stashevsky, S., Elizur, D. 2000.** The Effect of Quality Management and Participation In Decision-Making on Individual Performance, *Journal of Quality Management*, 5, 53.
- Tatar, A.C. 2016.** A Mixed integer programming method for integrated discrete time-cost trade-off and manpower resource leveling problem, *Master's thesis*, Middle East Technical University, Ankara.
- Talbi, E. G., Amodeo, F. Y. L. 2016.** Metaheuristics for Production Systems, Springer. *International Publishing*, Switzerland.
- Tran, D.H., Cheng, M.Y., Cao, M.T. 2015.** Hybrid multiple objective artificial bee colony with differential evolution for time-cost-quality trade off problem. *Knowledge-based systems*, 74, pp. 176-186.
- Walton, S., Hassan, O., Morgan, K. and Brown, M.R., 2011.** Modified cuckoo search: a new gradient free optimisation algorithm. *Chaos Solitons & Fractals*, 44(9).
- Williams, T.M. 2008.** How do organizations learn lessons from projects – and do they? *IEEE Transactions in Engineering Management* 55(2), 248-266
- Winston, W. L. 2003.** Operations research: applications and algorithms, 4nd Ed., *International Thomson Publishing*, Belmont, Canada.
- Yang, X.-S. 2010.** An Introduction with Metaheuristic Applications. *Engineering Optimization Hoboken*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Yang, T. 2005.** Chance-Constrained Time–Cost Tradeoff Analysis Considering Funding Variability. *Construction Engineering and Management*, 131(9), 1002–1012.
- Yang, X. S., Gandomi, A. H., Talatahari, S., Alavi, A. H. 2013.** Metaheuristics in Water, *Geotechnical and Transport Engineering*, Elsevier Publications, London.
- Yang, XS, Deb. S. 2009.** Cuckoo search via le'vy flights. In: Nature & biologically inspired computing, 2009. NaBIC 2009. *World congress on, IEEE*, pp 210–214

Yang, X-S. and Deb, S. 2010. ‘Engineering optimization by cuckoo search’, *Int. J. Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, Vol. 1, No. 4, pp.330–343.

Yang X-S, Deb S, Karamanoglu M, He X 2012. Cuckoo search for business optimization applications.

Yıldırım. H. 2018. Genetik algoritma ve bulanık mantık yaklaşımı ile inşaat projelerinde süre-maliyet optimizasyon modeli. *Yüksek lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Öztaş, A., Güzelsoy, S.S., Tekinkuş, M. 2007. Development of quality matrix to measure the effectiveness of quality management systems in Turkish construction industry. *Building and Environment*, 42(3), pp.1219-1228.

Zalmai, Mohammad Lemar 2015. İnşaat projelerinde harmoni arama yaklaşımıyla bir performans modelinin geliştirilmesi, *Yüksek lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul üniversitesi.

Zhang, H. and Xing, F., 2010. Fuzzy-multi-objective particle swarm optimization for time–cost–quality tradeoff in construction. *Automation in Construction*, 19(8), pp.1067.

Zheng, D.X., Ng, S.T., Kumaraswamy, M.M. 2004. Applying a genetic algorithm-based multi objective approach for time-cost optimization. *Journal of Construction Engineering and management*, 130(2), pp.168-176.

Zhou, Y., Ouyang, X. and Xie, J., 2014. A discrete cuckoo search algorithm for travelling salesman problem. *International Journal of Collaborative Intelligence*, 1(1).