



**T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
DOKTORA PROGRAMI**

**ESNEK ÖNCÜL KISITLI HİBRİT PROJE ÇİZELGELEME
PROBLEMLERİNİN OPTİMİZASYONUNDA MODEL ÖNERİSİ:
MÜZE TASARIM ALANINDA BİR UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

Semih VERGİ

Danışman: Doç. Dr. Emre ASLAN

TOKAT-2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Emre ASLAN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Esnek Öncül Kısıtlı Hibrit Proje Çizelgeleme Problemlerinin Optimizasyonunda Model Önerisi: Müze Tasarım Alanında Bir Uygulama” adlı doktora tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../...

Semih VERGİ

JÜRİ KABUL VE ONAY

Semih VERGİ tarafından hazırlanan “**Esnek Öncül Kısıtlı Hibrit Proje Çizelgeleme Problemlerinin Optimizasyonunda Model Önerisi: Müze Tasarım Alanında Bir Uygulama**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 18.07.2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Üye (Başkan) :

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

İTHAF

**Eşim Özge AYDINER VERGİ'ye
ve yaşam sevincimizi kümülatif olarak pekiştiren kızım Gülce'ye**

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi, tecrübe ve sabrıyla, her zaman nezaketle yanımda olan değerli danışmanım Doç. Dr. Emre Aslan'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Bilimsel bakış açımı geliştirmemde katkı sağlayan yapıcı eleştirileriyle desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Adem Tüzemen'e; tez çalışmama kıymetli görüşleriyle katkıda bulunan Doç. Dr. Murat Fatih Tuna, Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Barış ve Dr. Öğr. Üyesi Selim Çam hocalarıma saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi bu süreçte de sabırları, destekleri ve emekleriyle her daim yanımda olan, en büyük motivasyon kaynağım kıymetli ailem Arife Vergi, Fethi Vergi, Fatih Vergi, Özge Aydınlar Vergi, Nuray Geçgel ve Sabire Türkuğur'a gönülden teşekkür ederim.

Ayrıca süreç boyunca desteklerini esirgemeyen değerli iş arkadaşlarım İsmihan Kaya Hatip ve Kubilay Altıntaş'a teşekkür ederim.

ÖZET

ESNEK ÖNCÜL KISITLI HİBRİT PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN OPTİMİZASYONUNDA MODEL ÖNERİSİ: MÜZE TASARIM ALANINDA BİR UYGULAMA

Vergi, Semih

Doktora, İşletme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Emre ASLAN

Ağustos 2025, xii + 131 sayfa

Günümüz müzecilik anlayışında ziyaretçi beklentilerinin değişmesi, teknolojik gelişmelerin sergileme tekniklerine entegrasyonu ve sunum yaklaşımlarındaki yenilikler, müze tasarım alanında faydalanılacak disiplinler arası uzmanlık gerekliliğini artırmıştır. Bu bağlamda bilimsel yöntemlerden faydalanma ihtiyacı önem kazanmaktadır. Bu araştırmada, müze tasarım alanında faaliyet gösteren bir işletmenin karşılaştığı esnek öncül kısıtlarına sahip, kaynak kısıtlı ve hibrit yapıda bir proje çizelgeleme problemi ele alınmış ve matematiksel modelleme ile çözüm elde edilerek proje tamamlanma süresinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Araştırma kapsamında 19 farklı etkinliğin (Activity) süreleri, görevli ekipler, esnek ve katı öncül ilişkileri ve dinamik kısıtlar dikkate alınmıştır.

Problemin karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) yöntemiyle makul bir süre içinde çözülebileceği tespit edilerek, Python programlama dilinde CPLEX çözümleyicisi kullanılmıştır. Modelin çözümüne ilişkin ulaşılan optimal sonuç 104.768 iterasyon ile tamamlanmıştır. Modelinin temel özellikleri incelendiğinde, toplamda 7.668 değişken ve 23.774 kısıttan oluştuğu tespit edilmiştir. Bu değişkenlerden 7.629'u ayrık türde (0-1, binary) olup, problemin karmaşıklığını artıran önemli bir unsur olarak dikkat çekmektedir. Uygulama probleminin verilerinin elde edildiği müze tasarım alanında firma yetkilileri tarafından belirlenen 260 günlük proje tamamlanma süresi, model çözümüyle 171 güne düşürülerek optimal çözüm elde edilmiştir. Uygulama problemine özgü kısıtların dinamik yapısından kaynaklı uygun bir yöntem olmasa da bu kısıtların bir kısmını ihlal ederek modelin performansını kıyaslamak adına Kritik Yol Yöntemi (CPM) uygun bulunmuştur. CPM ile yapılan hesaplamalar sonucunda tamamlanma süresi 197

gün olarak elde edilmiştir. Model sonucu, belirlenen hedef süreye kıyasla %34,23, CPM sonucuna göre %13,19 daha başarılı bir sonuç elde etmiştir. Ayrıca model sonuçları CPM sonuçları ile kıyaslandığında, kaynakların iş yükü etkinliğinde %15,16 oranında iyileştirme yapıldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar araştırmanın, müze tasarım alanında karşılaşılan gerçek bir operasyonel problemin başarıyla çözülerek özgün bir katkı sunduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Araştırma problemi, problem kısıtları ve problem verilerinin yapısı gereği esnek öncül kısıtlı hibrit proje çizelgeleme problemi olarak nitelendirilmiştir. Probleme ilişkin hem matematiksel model sonuçları hem de CPM sonuçları ağ diyagramı ve gantt diyagramı yardımıyla gösterim yöntemi olarak sunulmuştur. Matematiksel modele ilişkin sonuçların ağ diyagramı yardımıyla gösteriminde, ayrıca *Ve/Veya* öncelik kısıtlamaları (And/Or Precedence Constraints) yönteminin çizim tekniklerinden faydalanılmıştır. Araştırma probleminin bu yapısı ve dinamik kısıtları, araştırmayı literatürdeki başka araştırmalardan ayırtıran önemli bir husustur.

Anahtar Kelimeler: Proje Çizelgeleme Problemleri, Matematiksel Modelleme, Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Müze Tasarımı, Esnek Öncül Kısıtları

ABSTRACT

A MODEL PROPOSAL FOR THE OPTIMIZATION OF HYBRID PROJECT SCHEDULING PROBLEMS WITH FLEXIBLE PRECEDENCE CONSTRAINTS: AN APPLICATION IN THE MUSEUM DESIGN INDUSTRY

Vergi, Semih

Doctorate's Degree , Department of Business Administration

Advisor: Associate Professor Emre ASLAN

August 2025, xii + 131 pages

The evolving expectations of museum visitors, the integration of technological advancements into exhibition techniques, and innovations in presentation approaches have significantly increased the need for interdisciplinary expertise in the museum design. Within this context, the necessity of employing scientific methods has become evident. This study addresses a resource-constrained hybrid project scheduling problem with flexible precedence constraints faced by a company operating in the museum design industry. The primary objective is to minimize the total project completion time through the development and solution of a mathematical model.

The model incorporates 19 distinct activities, each characterized by specific durations, assigned expert teams, flexible and strict precedence relations, and dynamic constraints. The problem is formulated as a Mixed-Integer Linear Programming (MILP) model and solved using the CPLEX solver within the Python programming environment. The optimal solution was obtained after 104,768 iterations. The resulting model consists of 7,668 variables and 23,774 constraints, of which 7,629 are binary variables highlighting the computational complexity of the problem.

Based on real-world data provided by stakeholders in the museum design industry, the initially planned 260-day project duration was reduced to 171 days in the optimal solution. To benchmark the performance of the proposed model, the Critical Path Method (CPM) was also applied, although not fully suitable due to the dynamic nature of some constraints. The CPM approach yielded a total project duration of 197 days. The optimization model outperformed the target duration by 34.23% and the CPM result by

13.19%. Moreover, a 15,16% improvement was observed in resource workload efficiency when compared to the CPM outcome.

The study characterizes the problem as a hybrid project scheduling problem with flexible precedence constraints, shaped by the unique structure of the constraints and the data. Both mathematical and CPM-based solutions are visualized using activity network diagrams and Gantt charts. For the mathematical model, And/Or Precedence Constraints were particularly illustrated using appropriate diagrammatic techniques. The dynamic and complex nature of the constraints distinguishes this research from others in the existing literature and demonstrates its contribution to the field.

Keywords: Project Scheduling Problems, Mathematical Modeling, Mixed-Integer Linear Programming, Museum Design, Flexible Precedence Constraints

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
Etik Sözleşme.....	i
İthaf.....	ii
Teşekkür	iii
Özet	iv
Abstract.....	vi
İçindekiler.....	viii
Tablolar Listesi	x
Şekiller Listesi	xi
Kısaltmalar	xii
 GİRİŞ	 1
 BÖLÜM I: MÜZECİLİK.....	 6
1.1. Müze Türleri ve Değişen Müzecilik Anlayışı	7
1.2. Müzecilikte Güncel Eğilimler ve Yaklaşımlar	8
1.3. Müze Tasarımı ve Müze Tasarımında Önemli Faktörler	11
 BÖLÜM II: PROJE YÖNETİMİ.....	 15
2.1. Proje Yönetiminde Kullanılan Yöntemler	16
2.1.1. CPM ve PERT.....	17
2.1.1.1. CPM Hesaplama Adımları	19
2.1.1.2. PERT Hesaplama Adımları.....	20
2.1.2. Sezgisel Yöntemler	22
2.1.3. Meta Sezgisel Yöntemler	23
2.1.4. Matematiksel Programlama	24
2.1.4.1. Matematiksel Programlamanın Temel Kavramları.....	24
2.1.4.2. Matematiksel Programlama Türleri	25
2.1.4.3. Matematiksel Programlama Süreci ve Çözüm Yöntemleri.....	26
2.2. Proje Çizelgeleme ve Çizelgeleme Problemleri.....	28
2.2.1. Proje Çizelgeleme Problemlerinin Gösteriminde Kullanılan Yöntemler ..	30
2.2.1.1. Gantt Diyagramları	30
2.2.1.2. Ağ Diyagramı.....	33
2.2.1.3. Ve/Veya Öncelik Kısıtlamaları	34
2.3. Müze Tasarımında Proje Yönetiminin Önemi	37
2.4. Literatür Taraması	39
 BÖLÜM III : MATERYAL VE YÖNTEM	 48
3.1. Araştırma Verileri	48
3.1.1. Verilere İlişkin Kısıtlar	57
3.2. Problemin Tanımı.....	62
3.3. Araştırmanın Amacı ve Önemi	65
3.4. Araştırmanın Yöntemi.....	67
3.5. Çizelge Probleminin Modellenmesi ve Uygulama	68
3.5.1. Parametreler	69

3.5.2. Karar Değişkenleri	71
3.5.3. Amaç Fonksiyonu	73
3.5.4. Kısıtlar.....	73
BÖLÜM IV: BULGULAR.....	76
4.1. Matematiksel Modele Yönelik Bulgular	76
4.2. CPM Yöntemine Yönelik Bulgular.....	90
4.3. Matematiksel Modelleme ve CPM Bulgularının Kıyaslanması.....	97
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	104
KAYNAKÇA.....	111
EKLER	122
EK 1. Matematiksel Modele İlişkin Python Programı Kod Çıktısı	122
EK 2. Python Model Çözüm Çıktısı	128

TABLolar LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 2.1: <i>Ve/Veya</i> Öncül İlişkisi Kriterleri	35
Tablo 3.1: Etkinliklere Yönelik Semboller ve Atanan Ekipler.....	54
Tablo 3.2: Etkinliklere İlişkin Planlanan Süreler ve Öncül İşlemler	55
Tablo 3.3: Katı Öncül İlişkileri.....	58
Tablo 3.4: Esnek Öncül İlişkileri.....	59
Tablo 3.5: Öncülleriyle Koordineli Başlatılacak Etkinliklerin Uzama Süreleri	60
Tablo 3.6: Etkinliklerin Koordineli Yürütülmesine İlişkin Olgunlaşma Süreleri	61
Tablo 4.1: Model Çözümüne Yönelik Sonuçlar	78
Tablo 4.2: Model Çözümünde Esnekliğe Uğrayan Etkinliklere İlişkin Bilgiler	80
Tablo 4.3: Etkinlik Bekleme-Boşluk Süresi	86
Tablo 4.4: CPM Çözümüne Yönelik Sonuçlar	91
Tablo 4.5: Matematiksel Model ve CpmYönteminin Başlangıç ve Bitiş Sürelerinin Kıyaslanması	97
Tablo 4.6: Ekipler Bazında Süre ve Etkinlik Bilgileri.....	100
Tablo Ek 1: Matematiksel Modele İlişkin Python Programı Kod Çıktısı.....	122
Tablo Ek 2: Python Model Çözüm Çıktısı.....	128

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 1.1: Trt Yayıncılık Tarihi Müzesi Planı.....	14
Şekil 2.1: Gantt Şeması Örneği.....	32
Şekil 2.2: Ağ Diyagramı Örneği	33
Şekil 2.3: Ve/Veya Öncelik Kısıtlı Basit Görev Diyagramı	36
Şekil 2.4: Ve/Veya Öncelik Kısıtlı Alt Görev Sistemi	37
Şekil 3.1: Temel Operasyonel işlemlerin Tamamlanma Süreleri ve Öncelik Sıralamaları	49
Şekil 3.2: Hedef Süreye İlişkin Gantt Diyagramı	56
Şekil 4.1: Model Sonuçlarına Göre Oluşturulan Gantt Diyagramı.....	81
Şekil 4.2: Ve/Veya Öncelik Kısıtlamaları Diyagramı Yardımıyla Modelin Şematik Gösterimi	84
Şekil 4.3: B,G, I Etkinlikleri İçin <i>Veya</i> (Or) Görev Sistemi.....	87
Şekil 4.4: E, F, H Etkinliği İçin <i>Veya</i> (Or) Görev Sistemi	88
Şekil 4.5: P Etkinliği İçin <i>Veya</i> (Or) Görev Sistemi.....	89
Şekil 4.6: S Etkinliği İçin <i>Veya</i> (Or) Görev Sistemi	89
Şekil 4.7: CPM Çözümüne Yönelik Oluşturulan Gantt Diyagramı.....	92
Şekil 4.8: CPM Çözümüne Yönelik Oluşturulan Şematik Gösterim.....	95
Şekil 4.9: Yöntem Kıyaslamalarına Göre Kaynak Kullanım Eğrisi	102

KISALTMALAR

AR	Artırılmış Gerçeklik
CPM	The Critical Path Method (Kritik Yol Yöntemi)
ÇM	Çok Modlu
DP	Doğrusal Programlama
EF	Early Finish (Erken Bitiş)
ES	Early Start (Erken Başlangıç)
GAMS	General Algebraic Modeling System
ICOM	International Council of Museums
KKPÇP	Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi
KTP	Karma Tam Sayılı Programlama
LF	Geç Bitiş
LS	Geç Başlangıç
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MIP	Mixed Integer Programming
NEOS	Network-Enabled Optimization System
NLP	Non Linear Programing
NP-HARD	Non-Deterministic Polynomial-Time Hard
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PÇP	Proje Çizelgeleme Problemleri
PMI	Project Management Institute
PSPLIB	Project Scheduling Problem Library
s.	Sayfa
ss.	Sayfa sayısı
TE	Beklenen Süre
TP	Tam Sayılı Programlama
TRT	Türkiye Radyo Televizyon Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VR	Sanal Gerçeklik
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
MIT	Massachusetts Institute of Technology

GİRİŞ

Proje yönetiminde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri, bir dizi faaliyetin kaynaklar, kısıtlar vb. değişkenler açısından uygun bir biçimde çözümlenerek mümkün olan en kısa sürede tamamlanmasıdır. Bu yönü ile proje yönetiminde kullanılan araçlar önem arz etmekte olup en önemli etkenlerden biri de operasyonların planlanmasında ortaya çıkan çizelgeleme problemlerinin verimli bir şekilde aşılmasıdır. Proje çizelgeleme problemlerinin çözümü ile bir projenin belirli görevleri arasındaki sıralamayı, süreyi ve kaynak kullanımının optimize edilmesi amaçlanmaktadır. Günümüz iş dünyasında operasyonel işlemlere ilişkin alternatiflerin veya kısıtların artması ile proje yönetiminde başarı sağlamak ise karmaşık ve dinamik bir hal almaktadır. (Kurt, 2006, s. 2; Kolaylıoğlu, 2006, s. 2; Project Management Institute 2017).

Bu çalışmada ele alınan problem, ana faaliyet konusu müze tasarımı ve restorasyon yapım işleri olan; ulusal ve uluslararası platformlarda birçok müze, galeri ve sergi alanı tasarlamış, restorasyon ve yapım işlerinin uygulamasını sağlamış bir firmadan elde edilen verilerle hali hazırda karşılaşılan gerçek bir hayat problemlerine dayanmaktadır. Firma tarafından elde edilen bilgiler ayrıca araştırmacı tarafından yerinde incelenerek verilere ve sürece ilişkin tutarlılık olup olmadığı gözlem yoluyla teyit edilmiştir.

Firma tarafından karşılaşılan probleme yönelik elde edilen verilerde, firmanın üstlendiği işlemlerde, uygulama kısmında bahsedilecek olan 5 temel operasyonun bulunduğu tespit edilmiştir. Bu operasyonlardan müze tasarım işlemleri açısından en kapsamlı olan ve projenin uygulanmasında temel rol üstlenen, iç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması operasyonel işlemi ele alınmıştır.

Araştırma verileri incelendiğinde, proje çizelgeleme problemlerinde karşılaşılan esnek öncül kısıtlı hibrit proje çizelgeleme problemlerinden bir örnek teşkil ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Ele alınan proje çizelgeleme problemi, müze tasarım alanında temel operasyonlardan biri olan iç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması işleminde sürece bağlı 19 farklı etkinlik (activity) bulunmaktadır. Araştırmada gerçekleştirilecek işlem faaliyetleri anlam kargaşasına yer vermemek adına etkinlik olarak nitelendirilip bu şekilde anılmıştır.

Her bir etkinlik için belirli bir başlangıç ve bitiş süresine sahip kesin planlanan süreler bilinmektedir. Gerçekleştirilecek bu etkinliklerin öncül etkinlikleri bulunmakta ve belirlenen ekipler tarafından tamamlanabilmektedir. Atanan ekipler çizelgeleme probleminde kaynak olarak ortaya çıkmaktadır. Müze tasarımı, inşaat sektörü veya mimari uygulamaların yapım işlerinden farklı olarak birçok disiplinin ve uzmanlık gerektiren kültürel yetkinliklerle ilgili işlemlerin koordineli yürütülmesini gerekli kılan bir sektördür. Bu sebeple problemde etkinlikleri üstlenen ekipler kendi alanlarında uzmanlık derecesine sahip olan personellerden oluşmaktadır.

Ayrıca probleme yönelik ortaya çıkan belirli kısıtlar bulunmaktadır. Etkinliklere ilişkin bilinen öncül ve ardıl işlemlerin firma yetkililerinin önceki proje çalışmalarından edindiği deneyimler sonucunda oluşturduğu ve etkinliklerin genel işleyiş ihtiyacını karşılayacak biçimde hazırlandığı bilinmektedir. Araştırma verileri ve proje yönetimindeki süreç incelendiğinde; bazı etkinliklerin koordineli yürütülmesi, esnetilmesi ya da kesintiye uğratılamayacak katı işlemlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra ekiplerin üstlendiği etkinliklerde aynı anda birden fazla etkinliği yürütememesi, etkinlikleri birden fazla paralel yürütme işlemine uğramaması vb. kısıtlar olduğu problemin yapısında tespit edilmiştir. Proje çizelgeleme probleminde karşılaşılan verilerin yapısı, kısıtların ve kaynakların özelliği gereği hibrit yapıda bir çizelgeleme problemi olduğu durumunu teyit eder niteliktedir. Bu esnetilebilir öncüllük ilişkileri ise araştırma problemini literatürde karşılaşılan problemlerden ayıran özgün durumlardan biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Müze tasarım alanında gerçekleştirilen projeler uzmanlık isteyen faaliyetler olarak ön plana çıkmakta ve genellikle gerçekleştirilen projeler kamu ihalelerine yönelik uygulamalar olmaktadır. Sektörde rakip firmaların maliyetleri hemen hemen benzer olması sebebiyle firmalar için projelerin tamamlanma sürelerinin önem arz ettiği sektör öncülerinin kanaatleri sonucunda ortaya çıkmıştır. Tamamlanma sürelerinin kısaltılması hem sıkı şartlara bağlanmış ihale şartnamelerinin karşılanmasına ve yaşanabilecek gecikmeler neticesinde ağır yasal yükümlülüklerden kaçınılmasına, hem de firmaların başkaca proje ve fırsatlarda ekiplerini etkin biçimde kullanmasına olanak vermektedir. Bu sebeple firma yetkilileri problem özelinde tamamlanma sürelerini kısaltmayı hedeflediğinden çalışmada ele alınan proje çizelgeleme problemine yönelik amaç fonksiyonu tamamlanma sürelerinin minimize edilmesi üzerine belirlenmiştir. Bu

doğrultuda araştırmada ele alınan probleme yönelik firma yetkilileri tarafından tamamlanma süresinin 260 gün belirlenmesine karşın bilimsel yöntemlerle bu sürenin daha da kısılacağı ön görülmektedir.

Bu çalışmada incelenecek olan esnek öncül kısıtlı hibrit proje çizelgeleme problemlerinin karmaşık ve dinamik yapısından kaynaklı olarak CPM veya MS Project benzeri bir yöntem/yazılımla adaptif bir çözüm bulmak iteratif karmaşıklık bakımından mümkün değildir. Bu nedenle probleme özgü bir matematiksel model geliştirilerek esnek yapıda çözüm üretilmesi ihtiyacı olduğu düşünülmektedir. Etkinliklerin önceliklere yönelik tekrar sıralanması, hangi sürecin hangi süre aralığında gerçekleşeceğini hesaplanması, bu etkinliklerin kaynaklar(ekipler) tarafından hangi önceliklerle belirlenmesi gerektiği ve bu denemelerin hesaplama iterasyonlarının çokluğu araştırmacıyı matematiksel programlama yardımıyla çözümün gerçekleştirilmesinin tutarlı olacağı sonucuna ulaştırmıştır. Problemin karmaşık yapısı ve veriler ölçüsünde çözüm yöntemine ilişkin problemin karma tam sayılı doğrusal programlama yöntemi özelliği taşıdığı tespit edilmiştir. Bu ölçüde matematiksel model kurularak Python programlama dili kullanılarak CPLEX çözümleyicisi yardımıyla çözüm elde edilmiştir.

Özellikle problemde kısıt ve kaynakların dinamik yapısından kaynaklı olarak, problem verilerinin çözümüne yönelik iteratif yapının üstel olarak artış göstermesi ve optimumu arama ihtiyacı problem çözümünde araştırmacıyı bilgisayar destekli bir program yardımıyla çözüme sevk etmiştir. Bu doğrultuda problemin çözümüne ilişkin kurulan matematiksel modelde; toplamda 7.668 değişken olması, bu değişkenlerin 7.629'unun ikili değişken (0-1) olması, 23774 adet doğrusal kısıt bulunması, 3720 dal (branching node) ile çözümün gerçekleşmiş olması, çözüm alanında yüksek derecede yapısal sınırlama olduğunu ve karmaşıklığının yüksek seviyede olduğunu göstermektedir. Ayrıca model çözümünde, 104.768 simplex iterasyonu gerçekleşmesi çözüm uzayının geniş yapıda olduğunu ön plana çıkarmaktadır. Bu yönüyle Python programının esnetilebilir yapısı ve programın çözümleme adımlarında kullanmış olduğu başarı gösteren teknikler yardımıyla araştırmada kullanımı uygun görülmüştür. Ayrıca çözümleme tekniklerinde aynı anda farklı çözüm yollarını test ederek hem optimal çözüme ulaşmayı kolaylaştırması hem de çözümleme süresini minimize etmesi bakımından CPLEX çözümleyicisi kullanmanın optimal çözüm için katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

Ele alınan proje çizelgeleme probleminin modellenmesi gerçekleştirilip Python programı yardımıyla çözümlenmesi sonrasında Kritik Yol Yöntemi(CPM) yardımıyla sonuçların kıyaslanması hedeflenmiştir. CPM araştırma probleminin gerekliliklerini karşılamaktan uzak olsa dahi bazı kısıtlar göz ardı edilmiş ve sonuç elde edilmiştir. CPM yöntemi, hesaplama yönteminden ziyade ağ diyagramı ve gantt diyagramıyla gösterime bir alt yapı oluşturması sebebiyle hesaplanmıştır. Bu durumun sebebi, matematiksel modelle elde edilen optimal çözümün, CPM'in bazı kısıtları göz ardı ederek elde ettiği sonuçla uzaklık derecesinin araştırmadan faydalanacak araştırmacılar tarafından daha iyi muhakeme edebilmesini sağlamak amacıyla. CPM'in kıyas yöntemi olarak seçilmesinin nedeni problemin verilerinin özelliğinden kaynaklanmakta olup daha detaylı bilgiler materyal ve yöntem bölümünde sunulmuştur.

Gerçekleştirilen çözüm sonuçları araştırmanın bulgular bölümünde ağ diyagramı yardımıyla da görsel olarak sunulmuştur. Önemli hususlardan birisi de matematiksel model çözümünde problemin kısıtları ölçüsünde bazı öncelik kısıtlamalarında esneklikler gerçekleşmiş olup, bazı etkinlikler öncül ve ardıl olmasına rağmen belirli süreçlerde koordineli yürütme işlemi gerçekleştirmiş olmasıdır. Bu nedenle matematiksel modele ilişkin sonuçları geleneksel ağ diyagramı ile görselleştirmek mümkün olmadığından *Ve/Veya (And/Or)* öncelik kısıtlamalarına yönelik diyagram ile gösterimi yapılmıştır. Literatürde bu yöntem ve diyagram ile ilgili yabancı kaynakların azlığı, türkçe tez çalışmalarında ise bulunmayışı gerçekleştirilen araştırmanın orijinalliğini ortaya koyan başka bir etmendir.

Ayrıca araştırmanın proje çizelgeleme problemlerine yönelik geliştirilen model ve çözüm önerileriyle sektöre önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Özellikle müze tasarımı gibi disiplinlerarası bir alanda uygulanabilir çözüm yöntemlerinin ortaya konulması, bu alandaki hem araştırmacılara hem de sektörde halihazırda çalışmakta olan uzmanlara yeni bir bakış açısı kazandıracağı düşünülmektedir.

Doktora tezi dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde araştırmanın ele almış olduğu müzecilik sektörü hakkında temel bilgiler, kavramlar ve müzeciliğin değişen anlayışı hakkında bilgiler yer almaktadır. İkinci bölümde proje yönetimi, proje çizelgeleme problemleri ve teze konu olan proje çizelgeleme problemlerinde kullanılan yöntem ve teknikler üzerinde durulup, literatürde karşılaşılan benzer araştırmalar

hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde probleme yönelik materyal ve yöntem hakkında bilgiler yer verilmiş olup problemin özellikleri ve modelin çözümüne yönelik uygulama kısmının adımları yer almaktadır. Dördüncü bölümde ise matematiksel modele ve CPM yöntemine ilişkin bulgulara yer verilmiştir.

Bu bilgilerin yanı sıra matematiksel model ve CPM ile elde edilen bulgular, ağ diyagramı ve gantt diyagramı yardımıyla görsel şekilde sunulmuştur. Gantt diyagramı ve ağ diyagramı gösterim tekniği olarak kullanılmış olup, CPM ve Model hesaplamalarına ilişkin sonuçları yansıtmaktadır.



BÖLÜM I: MÜZECİLİK

Müzecilik (museumology), müzelerin doğasını, işlevlerini ve toplumsal rollerini inceleyen çok yönlü bir akademik disiplin olarak tanımlanmaktadır. Bu disiplin, yalnızca müzelerin kuramsal temellerini değerlendirmekle kalmayıp, aynı zamanda müzeciliğin pratik uygulamalarını da ele alarak müzelerin bilgi paylaşımındaki öne çıkan rollerini de ortaya koymaktadır. Müzeciliğin bir disiplin olarak şekillenmesi, müzelerin tarihsel süreçte yalnızca koleksiyonların ve envanterlerin sergilendiği alanlar olmasından ziyade, toplumun kültürel mirasını koruma ve aktarma misyonunu üstlenen eğitimsel ve toplumsal kurumlara dönüşümünü sağlamaktadır (Mairesse ve Desvallées, 2010, s. 7).

Bir müze, genel olarak kar amacı gütmeyen, kamu yararını gözeten ve topluma çeşitli hizmetler sunmayı hedefleyen bir kurum olarak ifade edilmektedir. Bu tanım, müzelerin hem maddi hem de manevi kültür varlıklarını içeren çok yönlü bir işlevselliğe sahip olduğu kanaatini ortaya çıkarmaktadır. Uluslararası Müzeler Konseyi (International Council of Museums), müzeleri, insanlığın hem maddi hem de manevi mirasını toplamak, korumak, araştırmak, sergilemek ve bu mirası toplumla paylaşmak üzere faaliyet gösteren sürdürülebilir kurumlar olarak tanımlamaktadır. Bu bağlamda müzeler, yalnızca birer koleksiyon merkezi olmaktan öte, bilgi üretimini ve paylaşımını destekleyen dinamik platformlar olarak işlev görmektedir (ICOM, 2010).

Müzeler, kültürel mirasın korunması ve sonraki nesillere aktarılması konusunda kritik bir rol üstlenmektedir. Bu süreç, yalnızca geçmişe ait eserlerin fiziksel olarak korunmasını değil, aynı zamanda bu eserlerin taşıdığı anlamların, barındırdığı hikayelerin ve toplumun ortak hafızasındaki yerlerinin devamlılığını sağlamayı içermektedir. Toplumla ilişki kurma ve kültürel değerleri koruma misyonunu benimseyen müzeler, kültürel mirasın sürekliliğini temin eden platformlar olarak önemli bir işlevi yerine getirmektedir. Bu bağlamda müzeler, bireylerin ve toplulukların kimliklerini anlamalarına, kültürel farkındalıklarını geliştirmelerine ve geçmiş ile gelecek arasında bir bağ kurmalarına, kendi öz ve üst kimlikleri arasında bir köprü oluşturmalarına katkı sunmaktadır (Ateşoğulları, 2022, s. 39-42).

Modern müzecilik anlayışı, müzeleri toplumsal fayda sağlayan birer eğitim ve iletişim merkezi olarak konumlandırmaktadır. Bu anlayış çerçevesinde müzeler,

bireylerin eleştirel düşünme becerilerini geliştiren, toplumsal farkındalık oluşturan ve ziyaretçilere kültürel anlamda zenginleştirici bir deneyim sunan alanlar olarak değerlendirilmektedir. Küreselleşme ile birlikte yerel kültürlerin korunması ve bu kültürlerin küresel bağlamda yeniden yorumlanması süreçlerinde müzelerin benzersiz bir köprü görevi üstlendiği düşünülmektedir. Kültürel mirasın korunması, paylaşılması ve toplum nazarında sürdürülebilir hale getirilmesi müzelerin bu rolü sayesinde daha da güçlü bir şekilde meydana gelmektedir (Yavuz, 2017, s. 12).

Bu bağlamda müzecilik disiplini, müzelerin yalnızca koleksiyonları koruma ve sergileme işlevini değil, aynı zamanda toplumu eğitme, kültürel kimlikleri destekleme ve toplumsal değişime katkı sağlama misyonunu da kapsamaktadır. Bu kapsamda müzeler, geçmişin mirasını geleceğe taşıyan, toplumsal bağları güçlendiren ve bireylerin kültürel farkındalıklarını artıran kurumsal yapılar olarak ön plana çıkmaktadır. Müzecilik disiplini ise bu süreçleri analiz ederek, müzelerin kültürel ve toplumsal işlevlerini bilimsel bir zeminde değerlendirmektedir.

1.1. MÜZE TÜRLERİ VE DEĞİŞEN MÜZECİLİK ANLAYIŞI

Müze türleri, toplumsal ve kültürel işlevleri çerçevesinde çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Temel müze türleri arasında sanat müzeleri, tarih müzeleri, bilim müzeleri, doğa tarihi müzeleri, etnografya müzeleri ve tematik müzeler bulunmaktadır. Bu müzeler; sanat eserlerini, tarihî belgeleri, bilimsel bilgileri, doğal örnekleri ve etnik mirasları koruyarak toplumun bilgiye erişimini sağlamaktadır. Örneğin, sanat müzeleri resim, heykel gibi eserleri sergilerken, bilim ve teknoloji müzeleri ziyaretçilerin bilimsel konulara dair bilgi edinmesini amaçlamaktadır. Etnografya müzeleri ise belirli toplumların geleneksel yaşam biçimlerini tanıtarak kültürel farkındalığı artıran bir müze türü olarak ön plana çıkmaktadır (American Alliance of Museums, 2023).

Yeni müzeoloji kavramı, 1980'lerde müzelerin sosyal ve disiplinler arası rollerini vurgulayan bir düşünce biçimi olarak Fransız teorisyenlerce ortaya atılmıştır. Bu yeni bakış açısı, müzelerin yalnızca koleksiyon odaklı değil, aynı zamanda toplumsal ve yerel gelişime katkı sağlayan kurumlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Yerel mirasın korunması, sosyal etkileşimin teşvik edilmesi ve ziyaretçilerin katılımını öncelik haline getiren yeni müzeler bu düşüncenin birer yansıması olarak ortaya çıkmaktadır. Ekomüzeler, sosyal müzeler ve kültürel merkezler gibi farklı müze türlerinin

ortaya çıkması, bu paradigmanın pratik yansımalarını göstermektedir. Yeni müzecilik anlayışında, müze deneyiminin yalnızca bilgi iletimi ile sınırlı kalmayıp, ziyaretçilerin katılımını artıran bir iletişim ortamı yaratma amacı da güdülmemektedir. Bu bağlamda, müzeler "görüşler platformu," "sosyal sorumluluk" ve "kültürel güçlenme" gibi kavramlarla yeniden tanımlanarak, sosyal birer etkileşim alanı olarak düşünülmektedir. Museografya ise, müzeolojinin belirlediği bu hedefleri gerçekleştirme ve uygulamaya koyma sürecini ifade etmektedir. Museografya, müze içindeki mekânları koruma, sergi düzenleme, sahne tasarımı gibi teknik uygulamaları kapsayarak, müze deneyimini daha görsel ve duysal bir hale getirmeyi hedefleyen bir açısı ile ortaya çıkmaktadır (Harrison, 2012, s. 87; ICOM, 2010).

Bu dönüşüm, müzelerin toplumun sosyo-kültürel ihtiyaçlarına yanıt veren ve aynı zamanda yerel gelişim süreçlerine katkı sunan kurumlar olarak rolünü pekiştirmektedir. Bu bağlamda, müzelerin işlevleri genişletilmekte, önceleri kıymetli envanterleri sergileme ve topluma ulaştırma gibi misyonları olan müzelerin tasarım anlayışı değişerek doğal ortamından alınarak sergilenen envanterlerin aynı düzende tekrar doğal ortamına uygun koşul, şart ve sergileme alanlarının sağlanması temel anlayışlardan biri olmaktadır. Ayrıca ziyaretçi deneyimi için bu doğal ambiyansın kurulması hedeflenirken; sunulan bilgi metinlerinin, ortam aydınlatmalarının, tamamlayıcı parçaların ve dekoratif tasarımların yeni gelişen teknolojik imkanlarla koordineli bir biçimde sunulması hedeflenmektedir. Son yıllarda dijitalleşme, sosyal katılım ve toplumsal işlevler müzecilik alanında büyük değişiklikler yaratmıştır. COVID-19 pandemisinin ardından müzelerin çevrimiçi erişim sağlaması büyük önem kazanmış, böylece sanal sergiler yaygınlaşmıştır. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde, çevrimiçi sunumlar ve dijital katılım olanakları sayesinde müzeler halkla bağlarını güçlendirmiştir. Örneğin, müzelerin %28'i düşük gelirli aileler için "Museums for All" gibi programlarla erişimi artırmaktadır (American Alliance of Museums, 2023; Harrison, 2012, s. 95).

1.2. MÜZECİLİKTE GÜNCEL EĞİLİMLER VE YAKLAŞIMLAR

Müzecilik, geçmişin koruma ve geleceğe aktarma sorumluluğunu üstlenen bir disiplin olarak, toplumsal ve teknolojik değişimlerle birlikte sürekli dönüşüm geçirmektedir. Günümüzde müzeler, yalnızca kültürel mirası koruma ve sergileme işlevlerini yerine getiren yapılar olmanın ötesine geçerek, teknolojik yeniliklerle

zenginleştirilmiş, toplumsal katılımı önceleyen ve sürdürülebilirlik hedeflerini gözeterek çok boyutlu mekânlar haline gelmiştir. Bu dönüşüm, müzecilik anlayışının temel dinamiklerini ve bu dinamiklerin ziyaretçi deneyimlerine olan etkisini yeniden değerlendirme gerekliliğini doğurmuştur (Sandell, 2017, s. 142).

Müzecilikte dijitalleşme, son yıllarda öne çıkan en güçlü eğilimlerden biridir. Özellikle sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) ve dijital arşivleme gibi teknolojiler, müzelerin ziyaretçilere sunduğu deneyimleri dönüştürmektedir. Ziyaretçilerin fiziksel olarak müzeye erişemediği durumlarda bile, dijital platformlar sayesinde koleksiyonlara erişim sağlanabilmekte ve bu durum müzelerin erişilebilirliğini küresel ölçekte artırmaktadır. Örneğin, COVID-19 pandemisi sırasında birçok müze, çevrimiçi sergiler düzenleyerek koleksiyonlarını daha geniş kitlelerle buluşturmayı başarmıştır (Parry, 2020, s. 266-272). Bunun yanı sıra, dijital teknolojilerin müzelerdeki eğitim programlarına entegrasyonu, özellikle genç ziyaretçiler için öğrenme süreçlerini daha ilgi çekici hale getirmektedir. Örneğin, Smithsonian Enstitüsü gibi kurumlar artırılmış gerçeklik uygulamaları ve dijital rehberlik sistemleri ile ziyaretçilerin sergilerle daha kişiselleştirilmiş bir şekilde etkileşim kurmasını sağlamak amacıyla çalışmalar yürütmektedir (Smithsonian Institution, 2020). Dijitalleşmenin sağladığı bu yenilikler, müzelerin hem kültürel hem de eğitsel rollerini güçlendiren bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Bir diğer önemli eğilim ise sürdürülebilirlik anlayışıdır. Çevre dostu uygulamalar, müze tasarım ve yönetiminde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Enerji tüketiminin azaltılması, karbon ayak izinin düşürülmesi ve sergi alanlarında çevreye duyarlı malzemelerin kullanımı, müzelerin uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektedir. Örneğin, Londra'daki Doğa Tarihi Müzesi, enerji verimliliği sağlamak amacıyla yenilikçi iklimlendirme sistemlerini kullanarak bu sayede karbon ayak izini önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir (Natural History Museum, 2021). Bu yaklaşım, hem finansal kaynakların verimli kullanılması hem de çevresel sorumlulukların yerine getirilmesi açısından müzeler için stratejik bir öncelik haline gelmiştir.

Toplumsal katılımın artırılması, müzecilikte güncel yaklaşımlar arasında ayrı bir öneme sahiptir. Müzeler, toplumların kültürel çeşitliliğini yansıtmanın yanı sıra, farklı topluluklarla etkileşim kurarak sosyal kapsayıcılığı artırma hedefi taşımaktadır. Bu

bağlamda, müzeler yalnızca eserleri sergilemekle kalmamakta, aynı zamanda çeşitli toplulukların ihtiyaçlarına yönelik sunumlar ve programlar düzenleyerek birer sosyal alan işlevi görmektedir (Black, 2012, s. 63). Örneğin, belirli dönemlere ilişkin kültürel mirası ön plana çıkaran sergiler, müzelerin toplumsal bağları güçlendirmedeki rolünü ortaya koymaktadır. Türkiye özelinde, Göbeklitepe ve Troya Müzesi gibi projeler, hem kültürel mirasın korunmasını hem de ziyaretçi katılımını artırmayı amaçlayan başarılı örnekler arasında yer almaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022).

Ziyaretçi deneyimine verilen önem, müzecilikteki diğer dönüşümleri destekleyen bir unsurdur. Günümüzde ziyaretçilerin müzelerle olan etkileşimi, yalnızca pasif bir izleyici olmaktan çıkarak aktif bir katılımcı olma yönünde değişim göstermektedir. İnteraktif sergi tasarımları ve dijital rehberlik uygulamaları, ziyaretçilerin bireysel ilgi alanlarına göre deneyimlerini şekillendirmelerine olanak tanımaktadır. Örneğin, artırılmış gerçeklik uygulamaları ile ziyaretçilere geçmişteki bir tarihi olayı canlandırma imkânı sunan projeler, deneyimsel öğrenmeyi artırarak müze ziyaretlerini daha anlamlı hale getirmektedir (Marty, 2021, s. 131). Ülkemizde de özellikle Panaroma 1453 Tarih Müzesi ve Gaziantep Panaroma 25 Aralık Müzesi ulusal anlamda iyi bir örnek teşkil etmektedir.

Kültürel mirasın korunmasında yenilikçi teknolojilerin rolü de günümüz müzeciliğinde dikkat çeken bir diğer konudur. Özellikle üç boyutlu tarama ve modelleme teknolojileri, eserlerin dijital ortamda korunmasını mümkün kılmakta ve bu sayede fiziksel eserlerin zarar görme riskini azaltmaktadır. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) dijital koruma projeleri, savaşlar veya doğal afetler nedeniyle zarar gören eserlerin yeniden yapılandırılması konusunda başarılı örnekler sunmaktadır (UNESCO, 2020). Bu projeler, teknolojinin kültürel mirasın sürdürülebilirliği üzerindeki etkisini göstermesi açısından oldukça önemlidir.

Ülkemizde müzecilik kavramı da, küresel eğilimlerin ve yerel dinamiklerin etkisiyle son yıllarda önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Özellikle 2000’li yıllardan itibaren, müzeler yalnızca koleksiyonların sergilendiği mekânlar olmaktan çıkarak, eğitim, kültürel diyalog ve toplumsal katılımın desteklendiği çok boyutlu kurumlar haline gelmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) 2022 yılı verilerine göre, Türkiye’deki müze sayısı 2005 yılında 270 iken, 2022 yılında bu rakam 530’a ulaşmıştır; bu artış,

ülkede müzecilik alanına verilen önemin giderek arttığını göstermektedir (TÜİK, 2022). Ayrıca, 2022 yılında Türkiye genelinde müzeleri ziyaret eden kişi sayısı yaklaşık 40 milyon olarak kaydedilmiştir. Bu durum, müzelerin kültürel ve turistik çekim merkezi olarak öneminin arttığını ortaya koymaktadır. Özellikle, özel müze sayısındaki artış ve bu müzelerin toplumla daha yakın ilişki kurmayı hedefleyen faaliyetleri, müzecilik anlayışındaki değişimin en belirgin göstergelerindendir. Bunun yanı sıra, Göbeklitepe, Troya Müzesi ve Zeugma Mozaik Müzesi gibi yenilikçi müze projeleri, hem yerel hem de uluslararası ziyaretçilerin ilgisini çekmekte ve Türkiye'nin kültürel mirasın korunmasındaki rolünü güçlendirmektedir. Bu dönüşüm, Türkiye'de müzeciliğin yalnızca eserlerin korunması ve sergilenmesi bağlamında değil, aynı zamanda toplumsal katılım, kültürel etkileşim ve eğitim süreçlerini destekleyen bir araç olarak yeniden konumlandığını göstermektedir (Gökçe, 2024, s. 64-65).

Müzecilikteki güncel eğilimler, toplumsal ve teknolojik değişimlerin bir sonucu olarak müzelerin rolünü yeniden tanımlamaktadır. Dijitalleşme, sürdürülebilirlik, topluluk odaklı yaklaşımlar ve ziyaretçi deneyimine verilen önem, müzelerin yalnızca geçmişi koruma işlevini yerine getiren yapılar olmaktan çıkarak, geleceği şekillendiren aktif merkezler haline gelmesini sağlamaktadır. Bu dönüşüm, müzeciliğin gelecekteki yönelimleri açısından kritik bir yol haritası olarak görülmesinde önem arz etmektedir.

1.3. MÜZE TASARIMI VE MÜZE TASARIMINDA ÖNEMLİ FAKTÖRLER

Müze tasarımı, yalnızca fiziksel bir mekânın düzenlenmesini değil, aynı zamanda bu mekânın toplumsal ve kültürel işlevlerinin vurgulanmasını amaçlamaktadır. Müze alanlarının etkili bir şekilde tasarlanması, ziyaretçilerin öğrenme, etkileşim ve estetik deneyimlerini derinleştirdiğini düşündürmektedir. Tasarım, nesnelerin sergilenme biçimlerinden mekansal düzenlemelere, teknolojik entegrasyonlardan ziyaretçi akışlarına kadar birçok unsuru kapsar. Bu bileşenler bir araya gelerek ziyaretçilerin sergilenen eserlerle anlamlı bağlar kurmalarını sağlar ve müzeyi daha geniş toplumsal bir amaca hizmet eden bir kurum hâline getirmektedir (Pastore, 2020, s. 178-182). ICOM'un müze mimarisine yönelik tanımı, sergileme, önleyici koruma, eğitim, araştırma, ziyaretçi ağırlama ve yönetim gibi müze işlevlerinin bir arada ele alınarak mekansal çözümler geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda müze mimarisi, sanat eserlerinin

veya kültürel varlıkların yalnızca sergilendiği bir alan olmanın ötesine geçerek, toplumsal bilinç ve eğitim hedeflerine hizmet eden bir yapıya dönüşmektedir. Bu yeni tanım, müzelerin çok amaçlı kullanımını destekleyen alanlara olan ihtiyacı da gözler önüne sermektedir. Günümüz müzeciliği, teknolojinin rolünü artırarak artırılmış gerçeklik gibi dijital öğelerle deneyimi zenginleştirmekte, bu da özellikle genç nesillerin müzelerle daha fazla etkileşim kurmasını sağlamaktadır (ICOM, 2022).

Müze tasarımında dikkate alınması gereken çeşitli faktörler, ziyaretçilerin ilgisini çekerek deneyimlerini zenginleştirirken aynı zamanda koleksiyonların korunmasını ve müze işlevlerinin etkin bir şekilde yürütülmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Müze tasarımında dikkate alınması gereken temel unsurlar arasında erişilebilirlik, mekânın işlevsel dağılımı, doğal ve yapay ışık kaynaklarının uygun kullanımı, iklimlendirme sistemleri ve ziyaretçi akışının düzenlenmesi gibi faktörler öne çıkar. Bu faktörler, müzelerin sadece estetik değer taşıyan yapılar olarak değil, aynı zamanda toplumun çeşitli kesimlerine hitap eden ve bilgi paylaşımını kolaylaştıran işlevsel alanlar olarak tasarlanmasını sağlamaktadır (Ambrose ve Paine, 2006, s. 206-235). Son yıllarda, sürdürülebilirlik de müze mimarisinde öncelikli bir ilke haline gelmiş olup, enerji tasarruflu aydınlatma sistemleri, geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı gibi uygulamalarla desteklenmektedir (Schubert, 2009, s. 45). Müze tasarımında başlıca önemli unsurlar şunlardır (Thompson, 1992, s. 172-183; Kandemir ve Uçar, 2015, s. 32-38; Piacente, 2022, s. 25-38):

Müze Misyonu ve Amacı: Müze tasarımında ilk adım, kurumun ana misyonu ve hedeflerini netleştirmektir. Müze, tarih, bilim, sanat veya kültürel bilgi sağlama amacıyla kurulan bir eğitim merkezi olarak mı hizmet verecek? Bu temel hedef, sergilenecek eserlerin türünden mekân düzenine kadar birçok tasarım kararını etkiler. Amaca uygun bir düzenleme, ziyaretçilere anlamlı bir deneyim sunar ve kurumsal vizyonu destekler.

Hedef Kitle Analizi: Ziyaretçilerin demografik özellikleri, sosyo kültürel yapısı, algı ve beklentileri göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, tasarlanan müzenin teması göz önünde bulundurularak çocuklar ve yetişkinler için farklı etkileşim seviyeleri ve bilgilendirme yöntemleri gerekebilir. Çeşitli yaş gruplarına hitap edebilmek adına, hem etkileşimli hem de statik sergiler içeren esnek bir tasarım tercih edilmelidir.

Dolaşım ve Erişilebilirlik: Müze alanı, ziyaretçilerin rahatça erişim sağlayabileceği bir düzen içinde tasarlanmalıdır. Sergi alanlarında uygun dolaşım akışı sağlanarak, ziyaretçilerin mekân içinde rahatlıkla hareket edebileceği akslar sağlanır. Bu akslar müzelerin teması ve sunmak istediği bilginin ziyaretçi algılarında karşılık bulması için bütünleşik şekilde tasarlanması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Nitekim müzelerin vermek istediği mesajlar bulunmaktadır. Bu durumda birbirinden anlamca bağımlı sergi alanlarıyla mümkün olmaktadır.

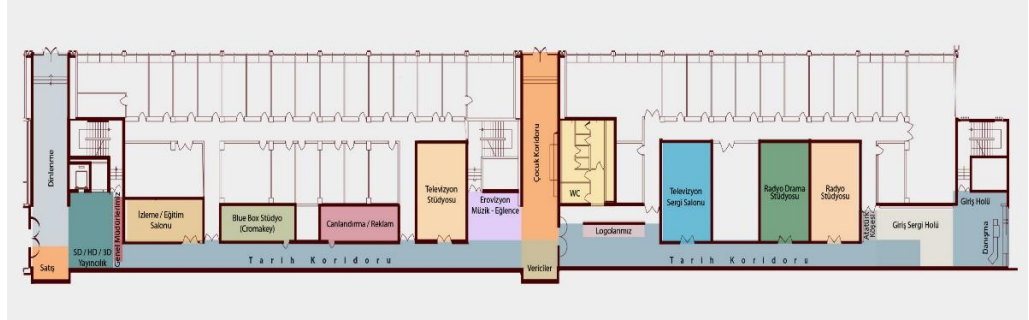
Aydınlatma ve Atmosfer: Aydınlatma, sergilerin atmosferini belirleyen ve sergilenen eserlerin görünürlüğünü artıran önemli bir faktördür. Doğal ışık kullanımı, enerji tasarrufu sağlarken, eserin korunmasına zarar vermeyecek şekilde kontrollü olmalıdır. Teknolojik çözümlerle hem enerji verimliliği sağlanabilir hem de sergi alanında istenilen estetik etki yaratılabilir.

Etkileşim: Müzelerde yer alan ve ziyaretçilerin etkileşim kurabilecekleri öğeler, ziyaretçilerin müze deneyimini daha ilgi çekici hale getirmektedir. Örneğin, artırılmış gerçeklik (AR) ve dokunmatik ekranlar gibi teknolojiler, ziyaretçilerin aktif katılımını teşvik eder. Bu tür interaktif alanlar, ziyaretçilerin ilgisini çekmek için tercih edilmektedir.

Sürdürülebilirlik: Sürdürülebilirlik de modern müzecilik tasarımında önem kazanmaktadır. Müze yapımında çevre dostu malzemeler, su tasarrufu sağlayan sistemler ve enerji verimliliği sağlayan teknolojiler kullanılmaktadır. Bu unsurlar, müzenin çevresel etkisini azaltırken uzun vadeli işletme maliyetlerini de düşürmektedir.

Bu önemli faktörlerin gerekliliklerinin yerine getirilmesinde yaşanan sıkıntılar ise tasarım açısından karşılaşılan sorunlar olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin, oluşturulacak müzenin misyon ve amacına yönelik olarak kullanılacak binanın yeni bir yapı olması veya tarihi eser niteliği taşıyan eski bir yapı olması önem arz etmektedir. Nitekim koruma altında bulunan tarihi binalarda binaların eser özelliklerini muhafaza edebilmek için fiziki değişiklikleri yapabilme olasılığı daha kısıtlı olduğundan tasarım esnekliği sınırlanmaktadır. Bu durum ise dolaşım ve erişilebilirlik, sergi alanlarının bütünleşik bir yapıda etkinliğinin sağlanması ve sürdürülebilirlik gibi faktörlerin verimli bir şekilde tamamlanması açısından önemli sorun ve güçlüklerle karşılaşılmasına sebebiyet verebilmektedir (Falk ve Dierking, 2000, s. 45; Schubert, 2009, s. 60).

Şekil 1.1' Türkiye Radyo Televizyon Kurumu (TRT) Yayıncılık Tarihi Müzesi'ne yönelik örnek bir müze planına yer verilmiştir.



Şekil 1.1. Trt Yayıncılık Tarihi Müzesi Planı

Kaynak: Trt Yayıncılık Tarihi Müzesi, Erişim 19 Ağustos 2024

Şekil 1.1'de genel itibariyle kanaat oluşturacak bir müze planını içermektedir. Plan Trt Yayıncılık Tarihi Müzesi'ne ait bir plandır. Müze planlarının gelişimi, değişen müzecilik anlayışına paralel olarak tarih boyunca önemli dönüşümler geçirmiştir. Geleneksel olarak koleksiyonları koruma ve sergileme odaklı tasarlanan müze yapıları, günümüzde ziyaretçi deneyimini önceliklendiren, interaktif ve çok işlevli mekanlara evrilmiştir. Modern müze planları, ziyaretçilerin koleksiyonlarla etkileşim içerisinde olmayı sağlayacak akıcı gezi akışları ve farklı disiplinlere yönelik destekleyici alanlar sunarak, hem fiziksel hem de dijital sergileme tekniklerine uygun çözümler içerebilmektedir.

Bu bağlamda bilimsel çalışmalar ve sektörde gerçekleştirilen uygulamalar göstermektedir ki; müzelerin anlatmak istedikleri hikayelerinden, ulaşmak istedikleri hedef kitlenin özelliklerine, uygulama aşamasında kullanılan sergileme tekniklerinden, uygulama sonrası ziyaretçi deneyimlerinin planlanmasına kadar bütün süreçlerin koordineli bir biçimde ele alınması, müzelerin sürdürülebilirliğini etkileyen etmenlerdir. Bu sebeple müze tasarımlarına yönelik faktörler henüz planlama aşamasına geçmeden titizlikle irdelenmesi gereken ve uygulama pratiğinde bütüncül olarak değerlendirilmesi önem arz eden hususlardır.

BÖLÜM II: PROJE YÖNETİMİ

Proje, belirli bir amacı gerçekleştirmek için belirlenmiş bir zaman aralığında ve belirli bir bütçe çerçevesinde tamamlanması planlanan bir dizi faaliyetin gerekliliklerinin yerine getirildiği bir süreçtir. Planlanan her proje, belirli bir ihtiyacı karşılamayı hedeflediğinden projelerin kendine özgü problemlerinin üstesinden gelme ihtiyacı doğmaktadır. Büyük ölçekli projelerin etkin bir şekilde yönetilmesi, zaman ve kaynakların doğru bir şekilde tahmin edilmesini gerektirir. Başarılı bir projenin, belirlenen zaman, maliyet, kaynak ve performans kısıtları içinde hedeflere ulaşması gerekmektedir (Krajewski ve Malhotra, 2022, s. 272-275; Burke, 2013, s. 5).

Proje yönetimi, belirli hedeflere ulaşmak amacıyla tasarlanan, planlanan ve uygulanan faaliyetlerin koordinasyonunu içeren çok yönlü bir disiplindir. Bu alan, sınırlı kaynakların etkili bir şekilde kullanılmasını sağlayarak zaman, maliyet, kalite, kapsam ve risk gibi faktörlerin dikkatle yönetilmesini gerektirir. Dolayısıyla, stratejik bir yaklaşım benimseyen proje yönetimi, işletmelerin ve organizasyonların hedeflerini gerçekleştirmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Kerzner, 2017, s. 35).

Proje yönetimi, bir projenin başlangıcından tamamlanmasına kadar tüm süreçleri kapsayan bir planlama, organizasyon ve kontrol disiplindir. Bu süreç, planlama, organizasyon, kaynak yönetimi, kontrol ve sonuçların değerlendirilmesi gibi aşamalardan oluşur ve projelerin başarıya ulaşmasında kritik bir rol oynar. Proje yönetimi sürecinde, kaynakların etkili kullanımı, risklerin yönetimi, zaman çizelgelerinin oluşturulması, bütçe kontrolü ve proje takibi gibi unsurların doğru bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşır. Bu unsurların uyum içinde uygulanması, projelerin zamanında ve maliyet etkin bir şekilde tamamlanmasını sağlayarak işletmelerin stratejik hedeflerine ulaşmasına katkıda bulunur (Heizer vd., 2017, s. 62-65). Proje yönetimi süreci, aşağıdaki alt başlıklar altında incelenebilir:

Proje Planlama: Bu aşamada, proje yöneticisi projenin hedeflerini, kapsamını, bütçesini ve zaman çizelgesini belirler. Ayrıca proje ekibinin ve paydaşların rolleri ve sorumlulukları tanımlanır. Bu aşamada proje yöneticisi, kaynakları, insan gücünü ve bütçeyi optimize etmek için proje takvimini ayarlar. (PMI, 2017, s. 89)..

Kaynak Planlama: Kaynak yönetimi, projenin ihtiyaç duyduğu tüm insan gücü, malzeme, teknoloji ve finansal kaynakların etkili bir şekilde tahsisini ve kullanımını içerir. Bu aşama, kaynakların optimum seviyede kullanılması için dikkatli bir planlama gerektirir (Lock, 2018, s. 123). Proje yöneticisi, proje için gerekli kaynakları (insan gücü, ekipman, malzeme, bütçe) planlar ve yönetir. Bu aşama, projenin bütçesi ve zaman çizelgesi ile uyumlu olacak şekilde gerçekleştirilir.

Risk Yönetimi: Projenin yapılması sırasında karşılaşılabilecek risklerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve yönetimi bu aşamada gerçekleştirilir. Risk yönetimi, projenin başarısı için son derece önemlidir ve proje yöneticisi, riskleri minimize etmek için uygun önlemler alır.

İlerleme Kontrolü: Proje ilerlemesi düzenli olarak takip edilir ve kaydedilir, proje faaliyetleri düzenli olarak izlenir ve sapmalar belirlenerek gerekli düzeltici önlemler alınır. Bu aşama, hedeflerden sapma riskini en aza indirmek için sürekli bir kontrol ve değerlendirme döngüsü içerir (Meredith vd., 2017, s. 210). Proje yöneticisi, proje takvimine uyulup uyulmadığını, bütçenin tutulduğunu ve proje hedeflerine ne kadar yaklaşıldığını değerlendirir.

Proje Değerlendirmesi: Proje tamamlandıktan sonra bir değerlendirme yapılır, projenin başlangıçta belirlenen hedeflerine ulaşip ulaşmadığı kontrol edilir. Bu süreç, projenin başarısını ölçmek ve gelecekteki projeler için öğrenilen dersleri belirlemek açısından önemlidir. Bu aşamada elde edilen veriler, organizasyonun bilgi tabanını zenginleştirir ve proje yönetimi süreçlerinin sürekli iyileştirilmesine katkı sağlar (Schwalbe, 2015, s. 412).

2.1. PROJE YÖNETİMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Proje yönetiminde kullanılan araçlar ve teknikler, projenin her aşamasında kullanılarak proje planlama, kaynak yönetimi, takım yönetimi, ilerleme izleme ve kalite kontrolü gibi unsurları etkin bir şekilde yönetmek için kullanılan metodolojilerdir. Bu araçlar ve teknikler, proje yöneticileri tarafından doğru bir şekilde uygulandığında, proje yönetiminde başarılı sonuçlar elde edilmesine yardımcı olabilir. Bu nedenle, proje yönetimi araçları ve teknikleri, projelerin başarılı bir şekilde tamamlanması için kritik öneme sahiptir. Proje yönetiminde kullanılan teknik ve yöntemler karşılaşılan

problemlerin özgün bir hal alışı ve teknolojik olanakların gelişmesi ile de artarak çeşitlenmektedir. Bu bağlamda temel yöntem ve teknikler kullanım sıklıklarına göre aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Heizer ve Render, 2017, s. 60-67):

- CPM (Critical Path Method)
- PERT (Program Evaluation and Review Technique)
- Proje planlama yazılımları (MS Project, Primavera, vb.)
- Risk yönetimi teknikleri (SWOT analizi, Monte Carlo Simülasyonu, vb.)
- Toplantılar (status toplantıları, proje planlama toplantıları, vb.)
- İletişim araçları (e-posta, telefon, video konferans, vb.)
- İşbirliği araçları (SharePoint, Dropbox, Google Drive, vb.)

2.1.1. CPM ve PERT

Proje yönetiminde yaygın olarak kullanılan iki önemli tekniktir. Her iki yöntem de projelerin planlanması, çizelgelenmesi ve kontrolüne yardımcı olmak üzere tasarlanmış şebeke tabanlı modellerdir (Heizer, Render, 2017, s. 67).

CPM, 1950'lerin sonunda DuPont Şirketi ve Remington Rand tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, özellikle üretim ve inşaat projelerindeki faaliyetlerin zaman planlamasında büyük kolaylık sağlamıştır. CPM, faaliyetlerin tamamlanması için gereken sürelerin kesin olarak bilindiği projelerde kullanılır. Bu yöntem, faaliyetler arasındaki bağımlılıkları ve zaman gereksinimlerini analiz ederek, bir projeyi zamanında tamamlamak için hangi faaliyetlerin kritik olduğunu belirler. CPM, kritik yol üzerindeki faaliyetlerin gecikmesi durumunda projenin tamamlanma süresinin doğrudan etkileneceğini varsayar. Kritik yolun dışında kalan faaliyetlerin belirli bir esnekliğe sahip olabileceği öngörülür. Bu özellik, CPM'nin etkin zaman yönetimi sağlamasına olanak tanır. CPM yöntemi, büyük ölçekli inşaat projelerinden mühendislik projelerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmıştır (Moder vd., 1983, s. 128).

PERT, 1958'de Amerikan Donanması tarafından Polaris Füze Programı'nın planlaması için geliştirilmiştir. PERT, proje faaliyetlerinin sürelerinin belirsiz olduğu durumlarda kullanılır. CPM'nin aksine, PERT yöntemi olasılıksal bir yaklaşımla faaliyet sürelerini değerlendirmeye dayanmaktadır. (Malcolm vd., 1959, s. 646-649). Bu yöntemde, her bir faaliyet için üç farklı süre tahmini yapılır:

- **İyimser süre (optimistic time):** En kısa sürede tamamlanabileceği tahmin edilen süre.
- **Kötümser süre (pessimistic time):** En uzun sürede tamamlanabileceği tahmin edilen süre.
- **En olası süre (most likely time):** Faaliyetin tamamlanmasının en olası süresi.

Bu tahminler kullanılarak, her faaliyet için beklenen süre hesaplanır ve projenin tamamlanma süresi ile ilgili olasılıklar belirlenir.

CPM ve PERT yöntemlerinin ortak aşamaları mevcuttur, bu aşamalar aşağıda şu şekilde sıralanmıştır (Heizer vd., 2017, s. 68):

- **Faaliyetlerin Tanımlanması:** Proje kapsamında gerçekleştirilecek tüm faaliyetler belirlenir ve listelenir.
- **Faaliyetler Arası İlişkilerin Belirlenmesi:** Her bir faaliyetin hangi sırayla ve hangi diğer faaliyetlere bağlı olarak gerçekleştirileceği belirlenir.
- **Ağ Diyagramının Çizilmesi:** Belirlenen faaliyetler ve ilişkileri, düğüm ve oklar kullanılarak diyagram üzerinde görselleştirilir.
- **Zaman Tahminlerinin Eklenmesi:** Her bir faaliyetin tahmini süreleri diyagrama eklenir.
- **Kritik Yolun Belirlenmesi:** Projenin tamamlanması için en uzun süreyi gerektiren faaliyetler dizisi, yani kritik yol, belirlenir.

CPM ve PERT proje yönetiminde farklı ihtiyaçlara yönelik kullanılan etkili yöntemlerdir. CPM, faaliyet sürelerinin belirgin olduğu inşaat, mühendislik ve üretim sektörlerinde, kritik faaliyetlerin belirlenmesi ve kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesi için öne çıkar; özellikle bina inşaatı gibi projelerde hızlı ve kesin sonuçlar sunar. Öte yandan, PERT, belirsiz sürelerin söz konusu olduğu araştırma ve geliştirme projeleri ile savunma ve uzay endüstrisi gibi karmaşık projelerde planlama ve risk yönetimi açısından büyük avantaj sağlar. Bu yöntemlerin her biri, projelerin doğasına uygun stratejik bir yaklaşım sunarak etkinlik ve verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Farklı kullanım

alanlarında sonuç verme değerleri değişse dahi bu iki yöntemin ortak özellikleri aşağıda şöyle sıralanmıştır:

- Faaliyetlerin sıralanması ve bağımlılıkların belirlenmesi.
- Ağ diyagramı ile faaliyetlerin görselleştirilmesi.
- Zaman ve kaynak planlamasının yapılması.
- Proje yönetimi sırasında gerekli revizyonların kolayca uygulanabilmesi.

2.1.1.1. CPM Hesaplama Adımları

CPM, faaliyet sürelerinin kesin olarak bilindiği durumlarda kritik yolun belirlenmesi için kullanılmaktadır. CPM hesaplama adımları aşağıda sıralanmıştır (Panneerselvam, 2012, s. 275-280):

- **Adım 1:**

Ağ Diyagramının Oluşturulması: Projeyi oluşturan tüm görevler (faaliyetler) ve bu görevler arasındaki bağımlılıklar belirlenir. Görevler, bir ağ diyagramında düğümler ve oklar ile görselleştirilir.

- **Adım 2:**

Erken Başlangıç (ES) ve Erken Bitiş (EF) Zamanlarının Hesaplanması: Erken zamanlar, ağ diyagramında soldan sağa doğru ilerleyerek hesaplanmaktadır.

Erken Başlangıç (ES): Bir faaliyetin başlayabileceği en erken zaman.

$$ES = \max(EF_{\text{öncüller}}) \quad (2-1)$$

Erken Bitiş (EF): Faaliyetin tamamlanabileceği en erken zaman.

$$EF = ES + \text{Süre} \quad (2-1)$$

- **Adım 3:**

Geç Başlangıç (LS) ve Geç Bitiş (LF) Zamanlarının Hesaplanması: Geç zamanlar, ağ diyagramında sağdan sola doğru ilerleyerek hesaplanır:

Geç Bitiş (LF): Bir faaliyetin en geç tamamlanabileceği zaman.

$$LF = \min(LS_{\text{ardılar}}) \quad (2-3)$$

Geç Başlangıç (LS): Bir faaliyetin en geç başlayabileceği zaman

$$LS = LF - \text{Süre} \quad (2-4)$$

- **Adım 4:**

Toplam Esneklik (Float) Hesaplaması: Toplam esneklik, bir faaliyetin kritik yol dışındaki zamanını ifade eder:

$$Float = LS - ES = LF - EF \quad (2-5)$$

- **Adım 5:**

Kritik Yolu Belirlenmesi: Toplam esnekliği sıfır olan faaliyetlerden oluşan yol, kritik yol olarak belirlenir. Kritik yol, projenin en uzun tamamlanma süresini temsil eder.

2.1.1.2. PERT Hesaplama Adımları

PERT tekniği, faaliyet sürelerinin belirsiz olduğu durumlarda olasılıksal yaklaşımlar kullanmaktadır. Pert tekniğine göre hesaplama adımları sıralanmıştır (Heizer vd., 2017, s. 77).

- **Adım 1:**

Üç Süre Tahmininin Belirlenmesi: Her bir faaliyet için üç farklı süre tahmini yapılır.

- İyimser Süre (a):
Faaliyetin en kısa sürede tamamlanabileceği durum.
- En Olası Süre (m):
Faaliyetin tamamlanma ihtimalinin en yüksek olduğu süre.
- Kötümser Süre (b):
Faaliyetin en uzun sürede tamamlanabileceği durum.

- **Adım 2:**

Beklenen Sürenin (TE) Hesaplanması: Beklenen süre, üç tahminin ağırlıklı ortalaması kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$TE = (a + 4m + b) / 6 \quad (2-6)$$

- **Adım 3:**

Varyans (σ^2) Hesaplaması: Her bir faaliyet için varyans, iyimser ve kötümser süreler kullanılarak hesaplanır:

(2-7)

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2$$

- **Adım 4:**

Ağ Diyagramının Oluşturulması: Faaliyetler ve bağımlılıklar bir ağ diyagramında görselleştirilir. Her faaliyet için beklenen süre (TE) kullanılmaktadır.

- **Adım 5:**

Kritik Yolun ve Proje Süresinin Belirlenmesi: CPM yöntemiyle benzer şekilde erken ve geç zamanlar hesaplanmaktadır. Kritik yol, beklenen süreleri (TE) dikkate alarak belirlenir.

- **Adım 6:**

Proje Süresi İçin Belirsizlik Analizi: Projenin toplam süresinin beklenen değeri ve standart sapması hesaplanır:

- Projenin Toplam Süresi (TE_proje): Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin beklenen sürelerinin toplamını ifade eder.

Standart Sapma (σ_{proje}): Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin varyanslarının karekökü.

(2-8)

$$\sigma_{proje} = \sqrt{\sum_{kritik\ yol} \sigma^2}$$

- **Adım 7:**

Olasılık Hesaplamaları: T, hedef süreyi temsil eder ve standart normal dağılım tablosu kullanılarak tamamlanma olasılığı belirlenir. Projenin belirli bir sürede tamamlanma olasılığı, Z değeri kullanılarak bulunur:

(2-9)

$$Z = \frac{T - TE_{proje}}{\sigma_{proje}}$$

2.1.2. Sezgisel Yöntemler

Proje yönetim süreçlerinde çözüm uzaylarının üstel olarak artış gösterdiği karmaşık yapıda kombinatorial problemlerle karşılaşmak mümkün olabilmektedir. Özellikle büyük veri kümelerinin varlığı bu tip problemlerde polinom zamanda optimumu arama sürecini zorlu hale getirebilir. Bu yapıya sahip problemler Non-deterministic Polynomial-time hard (NP-Zor) sınıfında nitelendirilmektedir. NP-Zor problemlerin çözümünde, Dal-Sınır Yöntemi, Doğrusal Programlama vb. kesin çözüm yöntemleriyle optimumu elde etmek hem zamansal sınırlar açısından hem de maliyet açısından imkansız hale gelebilir. Bu durumlarda tercih edilen önemli yöntemlerden biri de sezgisel (heuristic) yöntemlerdir. Sezgisel yöntemler, optimal çözüme ulaşmayı garanti etmemekle birlikte, pratik olarak kabul edilebilir sürede optimuma yakın sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Eğer karmaşık yapıdaki bir problemin optimal çözümü mümkün görünmüyorsa, polinom zamanda elde edilen bir sezgisel sonuç bir takım kısıtlar feda edilerek en iyi sonuç olarak nitelendirilebilmektedir. Sezgisel yöntemler bir bakıma optimuma ulaşmanın zorlu olduğu süreçlerde en iyi yakınsama olarak ifade edilir (Marti ve Reinelt, 2011, s. 18; Kılıç, 2023, s. 18-19).

Sezgisel yöntemler arasında sıkça kullanılan algoritmalar, benzetimli tavlama (Simulated Annealing), tabu arama (Tabu Search), tepe tırmanma (Hill Climbing) algoritması olarak gözlemlenmektedir. Bu yöntemlerin genellikle gezgin satıcı problemleri, atama problemleri ve çizelgeleme problemleri gibi karmaşık problemlerde uygulandığına sıkça rastlanmaktadır. Sezgisel yöntemlerin genel çalışma stratejisine göre; başlangıç olarak rastgele veya kabul edilebilir bir sonuç üretilir, sonrasında çözüm uzayında kabul edilebilir sonucun etrafında yoğunlaşarak elde edebilecek en iyi sonuç tekrar edene dek çözüm tekrarlanır. İterasyon sayısı arttıkça elde edilen sonuçta iyileme yapılamıyorsa yöntem en iyi sonucu çıktı olarak verir. Bu durum belirli problemlere pratik çözümler sunsa dahi sezgisel yöntemlerin tek çözüme dayalı olması ve parametrelerin değişmesiyle beraber paralel sonuçlara ulaşamaması yönteme getirilen bir eleştiri olarak görülmektedir. Bu bağlamda yöntemin optimalite garantisi edememesi, probleme özgü çözümler elde ettiğinden genelleştirilememesi, parametre ayarlarında yaşanan zorluklar ve yerel optimuma takılma riski bakımından yöntemin zayıf özellikleri olarak nitelendirilmektedir. Bu zayıf yönler araştırmacıları sezgisel yöntemlerin meta sezgisel yöntemler veya farklı algoritmalarla hibrit olarak kullanılarak çözüm uzayını

genişletecek daha kararlı ve yüksek kalitede çözümler elde etme arayışına sevk etmiştir (Aslan, 2018, s. 58; Crainic ve Toulouse, 2003, s. 475-477; Desale vd. 2015, s. 298-299).

2.1.3. Meta Sezgisel Yöntemler

Meta sezgisel yöntemler; karmaşık yapıda zorlu bir problemi çözmek amacıyla tasarlanan, sezgisel algoritmaların parametrelerini optimize etmek veya performanslarını artırmak üzere geliştirilen, doğa temelli ya da geçmiş verilerin bilgilerine dayalı bir optimizasyon süreci ifade etmektedir. Bu yöntemler farklı alanlarda geniş bir uygulama alanına sahip olup, araştırmacılar tarafından karmaşık problemleri çözme noktasında yoğun ilgi görmekte ve kullanılmaktadır. Meta sezgisel yaklaşımlar, genellikle sezgisel algoritmaların etkinliğini artırmak ve çözüm kalitesini iyileştirmek için kullanılabilir. Bu yöntemlerin bilgisayar bilimleri, mühendislik, ekonomi, tıp gibi birçok farklı disiplinde geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır ve esneklikleri ile verimli çözüm sağlayıcı olarak kabul edilmektedir (Glover ve Kochenberger, 2006, s. 1-6).

Meta sezgisel yöntemler, çeşitli kategorilere ayrılabilir. Doğadan ilham alan yöntemler arasında genetik algoritmalar, karınca kolonisi optimizasyonu ve gri kurt algoritması vb. teknikler bulunurken, doğadan ilham almayanlar arasında benzetimli tavlama ve tabu arama gibi yöntemler yer almaktadır. Ayrıca, amaç fonksiyonlarının dinamik veya statik olmasına göre de sınıflandırılabilirler. Komşuluk yapısına dayalı yöntemler, mevcut bir çözüm etrafındaki potansiyel çözümleri keşfederken, değişken komşuluk yapısına sahip yöntemler daha esnek bir arama stratejisi benimsemektedir. Hafıza kullanımı da önemli bir belirleyici özellik olarak meta sezgisel yöntemlerde ayırt edici bir unsurdur. Örneğin genetik algoritma vb. yöntemler, geçmiş bilgileri kullanarak çözüm arama sürecini iyileştirmeye yönelik çalışmaktadır. Ayrıca, tek çözüme dayalı meta sezgisel yöntemler genellikle bireysel çözümleri optimize etmeyi amaçlarken, toplum tabanlı yöntemler (örn. karınca kolonisi optimizasyonu) bir grup ajan arasında etkileşimlerden faydalanmaktadır (Blum ve Roli, 2003, s. 269; Onan, 2013, s. 115).

Proje yönetimi ve çizelgeleme gibi alanlarda, problemin doğası ve meta sezgisel yöntemlerin sağladığı avantajlar, yöntemlerin uygulanabilirliğini artıran önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu alanda sıklıkla kullanılan meta sezgisel yöntemler arasında Benzetimli Tavlama, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Tabu Arama ve Genetik Algoritmalar bulunmaktadır. Meta sezgisel yöntemlerin proje

yönetimi ve çizelgeleme süreçlerinde uygulanması, yapılan deneyler ve gerçek dünya uygulamaları ile doğrulanmış ve bu yöntemlerin bu alanda önemli bir potansiyel taşıdığı gözlemlenmiştir (Burke ve Kendall, 2005, s. 5; Kolisch ve Hartmann, 2006, s. 23-27; Vanhoucke, 2012, s. 4).

2.1.4. Matematiksel Programlama

Matematiksel programlama, belirli bir hedefe ulaşmak için karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar arasındaki ilişkilerin matematiksel modellerle ifade edilmesini sağlayan bir tekniktir. Bu yöntem, kaynakların etkin tahsisini gerektiren problemlerde optimal çözümler sunmaktadır. Operasyonel araştırma ve karar bilimleri disiplinleri içerisinde önemli bir yere sahip olan matematiksel programlama, farklı sektörlerde geniş bir uygulama alanına sahiptir (Hillier ve Lieberman, 2015, s. 123-130). Matematiksel programlama, üretim planlaması, lojistik, enerji yönetimi, finans ve sağlık hizmetleri gibi çok çeşitli alanlarda uygulanabilmektedir. Örneğin, bir lojistik problemde araç rotalarının optimize edilmesi, tam sayılı programlama ile çözülebilir. Benzer şekilde, bir portföy optimizasyon problemi, karma tam sayılı programlama teknikleri kullanılarak analiz edilebilmektedir (Panneerselvam, 2012, s. 310-315).

2.1.4.1. Matematiksel Programlamanın Temel Kavramları

Matematiksel programlama, üç temel bileşen üzerine inşa edilir: karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar. Karar değişkenleri, modelde optimize edilmesi gereken unsurları ifade eder. Örneğin, bir üretim planlama problemde, her bir ürün türünden ne kadar üretileceğini temsil eder. Amaç fonksiyonu, optimize edilmek istenen bir amacı tanımlar. Bu genellikle maliyetin minimize edilmesi veya kârın maksimize edilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Kısıtlar ise sistemin fiziksel ve kaynak sınırlamalarını ifade eden matematiksel ifadelerden oluşur. Kısıtlar, çözüm alanını belirler ve modelin gerçek hayat koşullarına uygunluğunu sağlar (Winston, 2004, s. 200-205).

- **Karar Değişkenleri:** Modelin çözülmesi gereken temel unsurlarıdır. Örneğin, bir üretim problemi için karar değişkenleri, her bir ürün türünden ne kadar üretileceğini ifade edebilir.
- **Amaç Fonksiyonu:** Belirli bir amacı en üst düzeye çıkarmak (maksimizasyon) veya en aza indirmek (minimizasyon) için kullanılan matematiksel bir ifadedir.

Örneğin, bir şirketin toplam kârını maksimize etmek veya üretim maliyetlerini minimize etmek.

- **Kısıtlar:**Karar değişkenleri üzerinde sınırlar koyan matematiksel ifadelerdir. Kısıtlar, genellikle kaynakların sınırlı olduğu durumları veya sistemin fiziksel gerçeklerini ifade eder. Örneğin, iş gücü, malzeme veya zaman kısıtları gibi ifadeleri temsil etmektedir.
- **Çözüm Alanı:**Karar değişkenlerinin tüm kısıtları sağladığı değerlerden oluşan bölgeye çözüm alanı denir. Çözüm alanı içinde bulunan ve amaç fonksiyonunu optimize eden bir nokta, optimal çözüm olarak adlandırılmaktadır.

2.1.4.2. Matematiksel Programlama Türleri

Matematiksel programlama, farklı problem türlerine yönelik çeşitli yaklaşımlar içermektedir. Bunlar arasında doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, tam sayılı programlama ve dinamik programlama öne çıkmaktadır. Bu programlama türlerine ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir (Bazaraa vd., 2010, s. 50-55):

Doğrusal Programlama (Linear Programming - LP): Amaç fonksiyonu ve kısıtların doğrusal olduğu problemlerin çözümü için kullanılır. Örneğin, bir üretim planlama problemini optimize etmek için doğrusal programlama kullanılabilir. Standart doğrusal programlama modeli şu şekilde ifade edilir:

$$\text{Amaç Fonksiyonu: (Mak. / Min.) } Z = c^1x^1 + c^2x^2 + \dots + c_nx_n \quad (2-10)$$

$$\text{Kısıtlar: } a^{11}x^1 + a^{12}x^2 + \dots + a^{1n}x_n \leq b^1, \dots, x_i \geq 0 \quad (2-11)$$

Bu notasyonda, $c_1, c_2, \dots, c_n$ katsayıları amaç fonksiyonundaki değişkenlerin birim katkılarını temsil ederken, $x_1, x_2, \dots, x_n$ karar değişkenlerini ifade eder. Kısıtlarda yer alan $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}$ ise her bir karar değişkeninin kısıt üzerindeki etkisini gösterir.

Doğrusal Olmayan Programlama (Nonlinear Programming - NLP): Amaç fonksiyonu veya kısıtların doğrusal olmadığı durumlarda kullanılan bir tekniktir. Örneğin, enerji tüketimini optimize etmek için karmaşık matematiksel modeller gerekebilir.

Tam Sayılı Programlama (Integer Programming - IP): Karar değişkenlerinin tam sayı değerler aldığı durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Örneğin, bir lojistik problemi için araçların sayısını optimize etmek gösterilebilir.

Karma Tam Sayılı Programlama (Mixed Integer Programming - MIP): Hem tam sayı hem de sürekli değişkenlerin bulunduğu problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Dinamik Programlama: Karar problemlerini aşamalara bölerek çözen bir yöntemdir. Her aşama, bir önceki aşamaya bağlı olarak çözülür. Örneğin, tedarik zinciri optimizasyonu bu yöntemle ele alınabilmektedir.

2.1.4.3. Matematiksel Programlama Süreci ve Çözüm Yöntemleri

Matematiksel programlama, kaynakların etkin bir şekilde kullanılması gereken tüm alanlarda karar verme süreçlerini destekleyen güçlü bir araçtır. Özellikle günümüzde artan karmaşıklık ve belirsizliklerle başa çıkmak için matematiksel modelleme ve optimizasyon tekniklerinin önemi daha da artmıştır. Bu yöntemlerin doğru bir şekilde uygulanması, organizasyonların hedeflerine daha hızlı ve etkili bir şekilde ulaşmalarını sağlamaktadır. Matematiksel programlama süreci, bir problemin tanımlanması ile başlar. Bu aşamada, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar belirlenir. Daha sonra, problem matematiksel terimlerle ifade edilir ve uygun bir çözüm yöntemi seçilir.

Matematiksel programlama, belirli bir hedefe ulaşmak için kaynakların en iyi şekilde tahsis edilmesini sağlayan matematiksel modeller üzerine kuruludur ve çözüm yöntemleri, modelin türüne göre çeşitlilik gösterir. Doğrusal programlama problemleri genellikle simpleks yöntemi gibi algoritmalarla çözülürken, doğrusal olmayan programlama problemleri kısıtlı optimizasyon algoritmaları ve türev tabanlı yaklaşımlar kullanılarak analiz edilebilmektedir (Bazaraa vd., 2010, s.75-80). Tam sayılı programlama problemleri, dal-sınır (branch-and-bound) ve kesme düzlemi (cutting plane) gibi yöntemlerle ele alınır (Wolsey, 1998, s. 115-120). Dinamik programlama, zaman içinde kararların ardışık olarak verildiği problemlerde etkili bir yöntem sunarken, stokastik programlama, belirsizliklerin olduğu durumlarda olasılık dağılımlarını dikkate almaktadır (Bellman ve Kalaba, 1957, s. 749-751). Bu yöntemlerin her biri, modelin yapısına ve probleme özgü gereksinimlere göre seçilerek en uygun çözümün elde edilmesini sağlar. Örneğin, doğrusal programlama problemleri için Simpleks yöntemi

sıkça kullanılmaktadır. Son aşamada ise çözümün uygulanabilirliği değerlendirilir ve duyarlılık analizi yapılabilir. Aşağıda programlama süreci için adımlar verilerek çözümleri için sıklıkla kullanılan programlama yazılımları belirtilmiştir (Hillier ve Lieberman, 2015, s. 150-155).

- **Problemin Tanımlanması:** Karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar net bir şekilde belirlenir.

- **Modelleme:** Problem, matematiksel terimlerle ifade edilir. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar uygun matematiksel ifadelerle modellenir.

- **Çözüm Yönteminin Belirlenmesi:** Problem türüne uygun bir çözüm yöntemi seçilir. Örneğin, doğrusal programlama problemleri için simpleks yöntemi kullanılır.

- **Çözüm:** Optimizasyon teknikleri kullanılarak model çözülür.

- **Sonuçların Analizi:** Çözümün uygulanabilirliği denetlenir ve duyarlılık analizi yapılabilir.

Matematiksel modellerin çözümü için kullanılabilecek farklı bilgisayar programlarından bazılarına aşağıda değinilmiştir:

1. **LINDO ve LINGO:** Özellikle doğrusal ve doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümü için etkili yazılımlardır. LINDO, kullanıcıların problemlerin çözüm süreçlerini etkileşimli olarak yönetmesine olanak tanırken, LINGO daha kapsamlı bir modelleme ve çözümleme platformu sunar. Bu yazılımlar, özellikle küçük ve orta ölçekli üretim planlaması veya lojistik problemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Kullanıcı dostu arayüzleri ve hızlı çözümleme kapasiteleri, bu yazılımları eğitim ve akademik çalışmalar için ideal hale getirmektedir (İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Erişim 4 Kasım 2024)
2. **CPLEX:** IBM tarafından geliştirilen CPLEX, karmaşık ve büyük ölçekli problemlerin çözümü için tercih edilen güçlü bir araçtır. CPLEX, doğrusal ve doğrusal olmayan programlama ile tam sayılı modellerde hızlı çözümler sunar. Ayrıca paralel işlem yeteneği sayesinde büyük veri setleri üzerinde etkin performans sergiler. CPLEX, havacılık sektörü gibi karmaşık planlama gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, uçak rotalarının

optimizasyonu veya birden fazla kısıtı olan personel planlama problemleri gibi durumlarda etkili çözümler sunar (İBM, Erişim 9 Kasım 2024)

3. **GAMS (General Algebraic Modeling System):** Büyük ölçekli matematiksel modellerin çözümü için özel olarak tasarlanmış olan GAMS, endüstriyel ve akademik projelerde sıklıkla kullanılan bir sistemdir. GAMS, enerji yönetimi, tedarik zinciri optimizasyonu ve lojistik planlama gibi alanlarda güçlü bir araçtır. Örneğin, enerji sektöründe elektrik üretim ve dağıtım sistemlerinin planlanması için kapsamlı modeller oluşturulabilir. GAMS'in sunduğu çözüm motorları, kullanıcıların farklı çözüm tekniklerini denemesine olanak tanır ve bu, özellikle karmaşık problemlerin çözüm süreçlerini hızlandırır (GAMS, Erişim 7 Temmuz 2024).
4. **MATLAB ve PYTHON:** MATLAB ve Python, genel amaçlı programlama ortamları olmalarına rağmen, optimizasyon problemleri için zengin kütüphaneler sunar. MATLAB, özellikle mühendislik ve simülasyon projelerinde tercih edilirken, Python açık kaynaklı yapısı sayesinde geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmektedir. Python, lojistik optimizasyonu, tedarik zinciri modelleme ve portföy yönetimi gibi çeşitli alanlarda çözümler sunar. Bu yazılımlar, esnek yapıları ve geniş topluluk desteği sayesinde hem akademik hem de endüstriyel kullanıma uygundur (Massachusetts Institute of Technology (MIT), Erişim 20 Ağustos 2024, Python, Erişim 25 Nisan 2025)

2.2. PROJE ÇİZELGELEME VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Proje çizelgeleme, belirli bir projenin başlangıç ve bitiş zamanlarını, gerekli kaynakları ve görevler arasındaki ilişkileri planlayarak proje süreçlerinin düzenlenmesi sürecidir. Bu çizelgeleme süreci, projenin zamanında, bütçeye uygun şekilde ve belirlenen kalite standartlarına uygun olarak tamamlanmasını sağlamak için önemlidir (Kerzner, 2017: 410). Proje çizelgeleme, görevlerin mantıksal sırasını belirlemeyi, önceliklerin oluşturulmasını ve her bir görevin hangi kaynaklarla gerçekleştirileceğini ortaya koymayı içermektedir. Proje yöneticileri için bu süreç, projeyi yönetilebilir parçalara ayırarak karmaşıklığı azaltmayı sağlamaktadır (Lock, 2018, s. 215).

Proje çizelgeleme problemleri ise bu sürecin temel zorluklarıdır ve çoğunlukla kaynak kısıtları, süre tahminlerinin belirsizliği, görevler arasındaki bağımlılıkların

karmaşıklığı gibi faktörlerden kaynaklanır. Özellikle, kaynakların sınırlı olduğu projelerde belirli görevlerin zamanında tamamlanabilmesi için doğru kaynakların doğru görevlere yönlendirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, bazı görevler belirli sırayla yapılmak zorunda olduğundan, bu bağımlılıkların iyi bir şekilde yönetilmesi gereklidir (Meredith vd., 2017, s. 298). Literatürde sıklıkla karşılaşılan proje çizelgeleme problemi türleri aşağıda sıralanmıştır.

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP): Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, belirli öncüllük ilişkileri olan ve sınırlı kaynaklarla tamamlanması gereken faaliyetlerin zamanlanmasını ifade eder. Bu problemde amaç, projeyi minimum sürede tamamlamak için faaliyetlerin en uygun sırayla planlanmasıdır. Özellikle inşaat, üretim ve mühendislik projelerinde yaygın olarak karşılaşılan bu tür problemler, faaliyetlerin birbiriyle olan bağımlılıklarını ve kaynak sınırlamalarını dikkate alır (Ulusoy, 2002, s. 95).

Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (ÇM-KKPÇP): Çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri, her faaliyetin birden fazla gerçekleştirme modu olduğu durumları kapsar. Her mod farklı süre ve kaynak gereksinimlerine sahiptir. Bu tür problemler, mod seçimlerini optimize ederek proje süresi, maliyet ve kalite dengesini sağlamak amacı taşır. ÇM-KKPÇP, genellikle üretim ve enerji sektörlerinde kullanılan detaylı planlama süreçlerinde karşılaşılmaktadır (Atlı, 2021, s. 5).

Belirsizlik Altında Proje Çizelgeleme Problemleri: Bu tür problemler, faaliyet süreleri, maliyetler ve kaynak mevcudiyeti gibi unsurların belirsiz olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Belirsizlik altında proje çizelgeleme, risklerin değerlendirilmesini ve belirsizliklerin proje üzerindeki etkilerinin en aza indirilmesini hedefler. Bu tür problemlerde genellikle bulanık mantık ve olasılıksal modeller kullanılmaktadır (Atlı, 2021, s. 7).

Çok Amaçlı Proje Çizelgeleme Problemleri: Proje süresi, maliyet, kalite ve kaynak kullanımının optimize edilmesi gerektiği durumlarda karşılaşılan problemlerdir. Bu tür problemler, birden fazla hedefin aynı anda ele alınmasını gerektirir. Örneğin, bir projeyi en düşük maliyetle tamamlamak hedeflenirken aynı zamanda kalite standartlarını

karşılama önemli olabilmektedir. Bu dengeyi sağlamak için çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanabilmektedir (Kamışlı Öztürk ve Sağır Özdemir, 2005, s. 55).

Kaynak Dengeleme Problemleri: Proje süresinin sabit olduğu durumlarda kaynakların dengeli bir şekilde kullanılmasını sağlayan problemleri kapsamaktadır. Amaç, proje boyunca kaynak kullanımındaki dalgalanmaları azaltarak daha sürdürülebilir ve verimli bir kaynak yönetimi sağlamaktır. Bu problemler genellikle inşaat ve lojistik sektörlerinde yaygın olarak görülmektedir (Dede ve Orozbaev, 2019, s. 50).

Çok Becerili Proje Çizelgeleme Problemleri: Farklı beceri setlerine sahip kaynakların tahsisini optimize etmeyi amaçlayan problemlerdir. Proje faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için doğru becerilere sahip ekiplerin görevlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Özellikle yazılım geliştirme, mühendislik ve Ar-Ge projelerinde sıkça karşılaşılmaktadır (Bettemir ve Çakmak, 2021, s. 96).

2.2.1. Proje Çizelgeleme Problemlerinin Gösteriminde Kullanılan Yöntemler

Proje çizelgeleme, bir projenin zamanında, bütçeye uygun ve belirlenen kalite standartlarında tamamlanmasını sağlamak için önemli bir süreçtir. Çizelgeleme problemlerinde kullanılan teknikler, proje süresinin, kaynakların ve maliyetin optimize edilmesini amaçlar. Bu teknikler, genellikle farklı problemler için özelleştirilmiş çözümler sunar ve hem klasik hem de modern yöntemleri içermektedir (Krajewski ve Malhotra, 2022, s. 342-347) Literatürde, çizelgeleme problemlerinin çözümüne yönelik birçok teknik geliştirilmiş olup, bu teknikler arasında matematiksel modeller, sezgisel yöntemler ve meta-sezgisel algoritmalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşağıda, proje çizelgeleme problemlerine yönelik çözümlerin gösteriminde kullanılan ve araştırmada da istifade edilmiş olan gantt diyagramları, ağ diyagramları ile *Ve/Veya* öncelik kısıtlarına yönelik gösterim şekilleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.2.1.1. Gantt Diyagramları

Çizelgeleme türleri arasında en çok kullanılan yöntemlerden biri olan gantt diyagramları, görevlerin başlangıç ve bitiş tarihlerini zaman çizelgesi üzerinde göstermektedir. Görevlerin birbirine göre sıralarını ve tahmini sürelerini görselleştirme avantajı sağlayabilmektedir (Kerzner, 2017, s. 375). Gantt şeması, projelerin planlanması ve izlenmesinde kullanılan görsel bir araçtır. 1910'lu yılların başında Amerikalı mühendis

Henry L. Gantt tarafından geliştirilmiştir. Bu şema, projedeki görevlerin başlangıç ve bitiş tarihlerini, sürelerini ve birbirleriyle olan ilişkilerini yatay çubuklar şeklinde gösterir. İlk olarak Birinci Dünya Savaşı sırasında Amerika Birleşik Devletleri tarafından geniş kapsamlı olarak kullanılmış ve daha sonra Sovyetler Birliği tarafından da benimsenmiştir. Kişisel bilgisayarların yaygınlaşmasıyla birlikte, gantt şemalarının kullanımı için dijital çözümler geliştirilmiş ve proje yönetiminde önemli bir yer edinmiştir.

Gantt şeması, projelerin planlanması ve yönetiminde kullanılan etkili bir görselleştirme aracıdır. Bu şema, görevlerin zamanlamasını ve ilişkilerini yatay çubuklar aracılığıyla gösterme imkanı sayesinde proje sürecinin daha anlaşılır ve takip edilebilir olmasını sağlamaktadır. Gantt şeması oluşturma süreci, belirli aşamaları içerir ve her bir aşama, projenin başarılı bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunur. Bu aşamalar aşağıda şu şekilde sıralanmıştır (Heizer vd., 2017, s. 607-608; Krajewski ve Malhotra, 2022, s. 542-543):

1. Görevlerin Belirlenmesi: İlk adım, proje kapsamında gerçekleştirilecek tüm görevlerin detaylı bir şekilde tanımlanmasıdır. Bu süreçte, projenin ana hedefleri doğrultusunda yapılacak işler belirlenir ve bu işler daha küçük alt görevlere ayrılır. Görevlerin net bir şekilde tanımlanması, projenin planlama ve uygulama aşamalarında karşılaşılabilecek belirsizlikleri en aza indirilmesini hedeflemektedir.

2. Sürelerin Tahmini: Her bir görevin tamamlanma süresinin tahmin edilmesi, projenin zaman çizelgesinin oluşturulmasında kritik bir rol oynar. Bu tahminler, geçmiş projelerden elde edilen veriler veya uzman görüşleri kullanılarak yapılabilmektedir. Belirsizliklerin olduğu durumlarda, iyimser, kötümser ve en olası sürelerin dikkate alındığı olasılıksal yaklaşımlar tercih edilmektedir (Kerzner, 2017, s. 390).

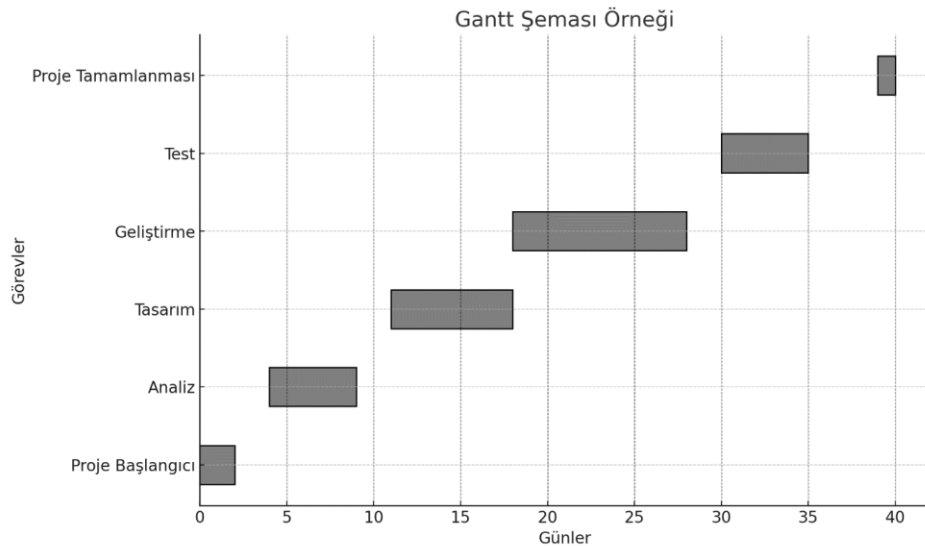
3. Görevlerin Sıralanması ve Bağımlılıkların Belirlenmesi: Görevler arasındaki ilişkilerin ve sıralamanın belirlenmesi, projenin akışının doğru bir şekilde planlanmasını sağlar. Bazı görevler, diğerlerinin tamamlanmasını beklemek zorunda olabilir. Bu tür bağımlılıklar, "Başlangıç-Bitiş" veya "Bitiş-Başlangıç" gibi ilişki türleriyle ifade edilir. Görevler arasındaki bağımlılıkların belirlenmesi, projenin kritik yolunun hesaplanmasına olanak tanımaktadır (Lock, 2018, s. 220).

4. Zaman Çizelgesinin Oluşturulması: Görevlerin başlangıç ve bitiş tarihleri belirlenerek bir zaman çizelgesi oluşturulur. Projenin başlangıç tarihi esas alınarak her

bir görev için tahmini zaman aralıkları belirlenir. Bu süreçte, kritik yol analizi kullanılarak proje süresi boyunca tamamlanması gereken en uzun yol belirlenir. Zaman çizelgesinde, görevlerin zamanlaması ile birlikte projenin önemli süreçlerini ifade eden zaman aralıklarının da tespit edilmesine olanak tanımaktadır (Meredith vd., 2017, s. 255).

5. Gantt Şemasının Görselleştirilmesi: Zaman çizelgesine uygun olarak, gantt şeması görsel bir formatta hazırlanır. Her bir görev, başlangıç ve bitiş tarihlerini temsil eden yatay çubuklarla ifade edilir. Bu çubukların uzunluğu, görevlerin süresini; başlangıç ve bitiş noktaları ise zamanlamasını gösterir. Ayrıca, görevler arasındaki bağımlılıklar, oklar veya bağlantı çizgileriyle ifade edilerek görev ilişkileri görsel olarak vurgulanabilmektedir.

6. İzleme ve Güncelleme: Projenin uygulanması sırasında, gantt şeması düzenli olarak güncellenir. Gerçekleşen görev süreleri ve başlangıç-bitiş tarihleri, planlanan zaman çizelgesi ile karşılaştırılarak şemaya işlenir. Bu aşamada, sapmalar ve gecikmeler tespit edilir ve gerekli düzeltici önlemler alınır. Gantt şeması, proje ilerleyişinin izlenmesi ve kontrol edilmesi açısından önemli bir araçtır (Larson ve Gray, 2014, s. 460). Şekil 2.1 yardımıyla Gantt Şeması'na ilişkin bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.1. Gantt Şeması Örneği

Gantt şeması, projelerin planlanması, zamanlanması ve izlenmesi süreçlerini görselleştiren güçlü bir araçtır. Görevlerin belirlenmesi, sürelerin tahmini, bağımlılıkların tanımlanması, zaman çizelgesinin oluşturulması ve şemanın görselleştirilmesi gibi

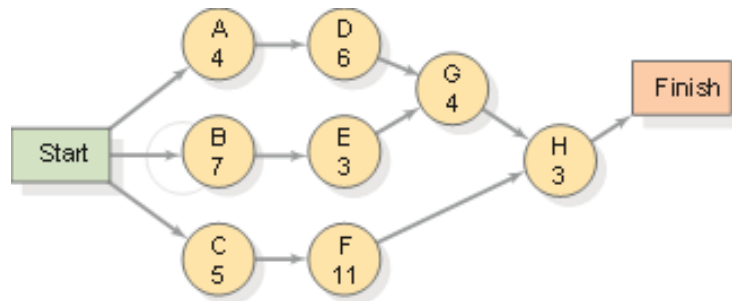
aşamalar, gantt şemasının temel unsurlarını oluşturmaktadır. Şema, projedeki görevlerin genel durumunu hızlı bir şekilde değerlendirme imkânı sunar ve proje yönetiminde stratejik kararların alınmasını destekler. Bu yöntem, inşaat, yazılım geliştirme, üretim ve Ar-Ge projeleri gibi birçok farklı sektörde başarıyla kullanılmaktadır.

2.2.1.2. Ağ Diyagramı

Ağ diyagramı, proje yönetiminde faaliyetlerin sıralamasını ve ilişkilerini görsel olarak temsil eden bir araçtır. Bu diyagramlar, projedeki görevlerin başlangıç ve bitiş noktalarını, sürelerini ve birbirleriyle olan bağımlılıklarını göstererek, projenin planlanması, izlenmesi ve kontrolünde önemli bir rol oynar. Ağ diyagramına ilişkin diyagram oluşturma adımları aşağıda belirtilmiştir (Kerzner, 2017, s. 412):

- Faaliyetlerin Tanımlanması: Proje kapsamında gerçekleştirilecek tüm faaliyetler belirlenir ve listelenir.
- Faaliyet Sıralamasının Belirlenmesi: Her bir faaliyetin hangi sırayla ve hangi diğer faaliyetlere bağlı olarak gerçekleştirileceği belirlenir.
- Ağ Diyagramının Çizilmesi: Belirlenen faaliyetler ve ilişkileri, düğüm ve oklar kullanılarak diyagram üzerinde görselleştirilir.
- Zaman Tahminlerinin Eklenmesi: Her bir faaliyetin tahmini süreleri diyagrama eklenir.
- Kritik Yolun Belirlenmesi: Projenin tamamlanması için en uzun süreyi gerektiren faaliyetler dizisi, yani kritik yol, belirlenir.

Şekil 2.2. yardımıyla 8 faaliyetten oluşan örnek bir ağ diyagramı aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2.2. Ağ Diyagramı Örneği

Kaynak: Krajewski ve Malhotra, 2022

Ağ diyagramları, proje yöneticilerine faaliyetlerin önceliklerini, bağımlılıklarını ve zamanlamalarını Şekil 2.2'deki gibi net bir şekilde görme imkanı sunar. Bu sayede, kaynakların etkin kullanımı ve olası gecikmelerin önlenmesi sağlanır (Meredith vd., 2017, s. 260).

2.2.1.3. *Ve/ Veya Öncelik Kısıtlamaları*

Çizelgeleme problemlerinde öncül etkinlikler, bir faaliyet ya da işlemin başlangıcından önce kesinlikle tamamlanması gereken işlemleri ifade etmektedir. Bu tür öncüllük durumlarında faaliyetler birbirlerine bağlı işlemler olup mevcut faaliyetin başlayabilmesi için belirli süreçlerin gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu geleneksel sınırların yanı sıra bazı problemlerde işlemlere ilişkin öncüllerin bu denli katı durumlarda olmadığını ve işlemlerin tamamlanmasında bazı öncüllerin esnetilebileceğini, hatta bazı öncüllerin işlem süreci içerisinde atlanabileceğini Gillies (1993) tarafından *Ve/Veya Öncelik Kısıtlamaları* (And/Or Precedence Constraints) modeli ile ileriye sürülmüştür.

Geleneksel çizelgeleme yaklaşımlarında, bir görevin başlayabilmesi için bütün öncüllerin tamamlanması gerekmektedir. Yöntem bu tip görevleri *Ve* (And) görevi olarak tanımlamaktadır. Ancak bazı durumlarda bir görevin öncüllerinden biri yada birkaçının tamamlanması görevin başlayabilmesi için yeterli olanak tanımaktadır. Bu tür görevler yönetime göre *Veya* (Or) görevleri olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda bazı öncüllerin alt görevlerinden bir kısmı tamamlandığında ardıl görevin başlayabilmesi de *Veya* görevlerinin tanımına girmektedir. *Ve/Veya* öncelik kısıtları modeli, klasik çizelgeleme problemlerini genişleterek daha karmaşık bağımlılıkları ve esnek görev başlangıçlarını modellemeyi hedeflemektedir. Örneğin, bir araç montaj hattında şase üzerinde kaynak puntalama işlemi ve civata montajından oluşan iki farklı görev olduğunu varsayalım. Geleneksel olarak öncüllük ilişkilerini ele aldığımızda kaynak puntalama işlemi civata montaj işleminin öncülü olarak ön plana çıkmaktadır. Kaynak işleminin tamamen tamamlanması sonucu civata montaj işleminin başlaması uygunsa bu kaynak işleminin *Ve* öncül kısıtlı olduğunu göstermektedir. Ancak dört adet kaynak punta işlemi ve dört adet civata montaj işlemi varken birinci kaynak işlemi bittikten sonra civata montaj işlemi biten kaynak işleminin üzerinde çalışmaya başlama durumunda olursa bu faaliyetin *Veya* öncül kısıtlı olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayıma göre, kaynak işleminin alt görevi

olan dört farklı bölgeden birinci işlem tamamlandığında civata montaj işleminde aynı şase üzerinde tamamlanan bölgeden başlama olasılığı oluşabilmektedir. (Gillies, 1993, s. 1-5).

Tablo 2.1 yardımıyla *Ve/Veya* öncül ilişkilerine yönelik karşılaştırmalı bilgiler sunulmuştur.

Tablo 2.1. *Ve/Veya* Öncül İlişkisi Kriterleri

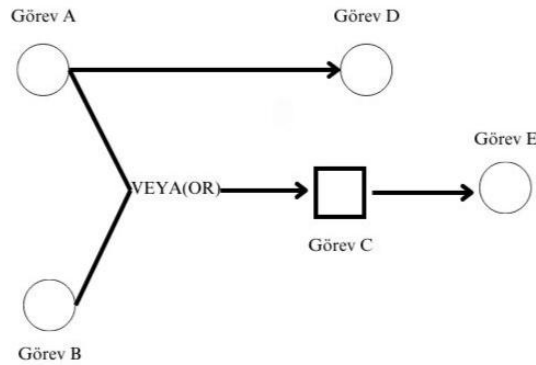
Kriter	Veya (Or) Öncül İlişkisi	Ve (And) Öncül ilişkisi
Öncüllerin Tamamlanma Gerekliliği	Öncüllerin bir kısmının tamamlanması yeterlidir.	Öncüllerin tamamen tamamlanması gereklidir.
Esneklik	Görevler, öncüllerin tamamlanma sırasına esnek şekilde bağlıdır.	Görevler, katı bir öncelik sırasına bağlıdır.
Toplam Süre	Görevler paralel çalışabileceği için süre kısalabilmektedir.	Görevler ardışık çalışır, Toplam süre uzayabilir.

Veya öncelik kısıtlamaları, iki temel model ile sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar, atlamasız (unskipped) ve atlamalı (Skipped) modellerdir. Atlamasız *Veya* görevlerinde görev başlamak için bir yada birden çok işlemin gerçekleşmesini beklemektedir. Örneğin, robotik montaj hattında dört kaynak işleminden herhangi biri veya birkaçı tamamlandığında civata montaj işleminin aynı çalışma hattının üzerinde işleme başlayabilmesi gibi durumlar mevcut olabilmektedir. Ancak bu tür modellerde geride kalan işlemlerinde sırasıyla gerçekleştirilip süreç bittiğinde bütün görevlerin tamamlanmış olması gerekmektedir. Atlamalı *Veya* görevlerinde ise öncül görevler içerisinden tamamlanacak olan seçilip, bazı öncül görevler göz ardı edilerek tamamen devre dışı bırakılabilir. Örneğin, bir aritmetik işlemi gerçekleştirmek için birden fazla hesaplama işlem sırası olduğu durumlarda, öncül işlemlerden herhangi birinin yada birkaçının gerçekleştirilmesi ile diğer işlemler göz ardı edilerek işleme devam edilebilir. Bu tür işlemlerde süreç hafızası devreye girmektedir. Yapılan bir hesaplama sistem içerisinde hafızaya alınmış ise süreçte bu hesaplama işleminin tekrar yapılmasına gerek duyulmaksızın atlanabilmesi mümkündür. Her iki durumda da belirli görevlerin zamanında tamamlanması ve çizelgelemenin tüm gereksinimlerinin karşılanması hedeflenmektedir (Gillies, 1993, s. 18-21; Möhring vd., 2004, s. 393-396).

Ve/Veya öncelik kısıtlamalarına sahip görev sistemlerinin çizelgelenmesinde oluşturulacak diyagram için uygulama adımları aşağıda şöyle sıralanmıştır:

1. **Görevlerin ve Önceliklerin Tanımlanması:** Tüm görevler ve öncüller açıkça belirlenir. Her görev bir düğümle temsil edilmektedir.
2. **Diyagramın Oluşturulması:** Görevler düğümlerle, öncelikler ise bağlantılarla temsil edilmektedir
 - *Ve* Görevleri: Bir görevin başlaması için tüm öncüller tamamlanmalıdır. Bu bağımlılık düz oklarla gösterilmektedir.
 - *Veya* Görevleri: Bir görevin başlaması için bir yada birkaç öncülün tamamlanması yeterlidir. Bu bağımlılık kutulu oklarla gösterilir.
3. **Zamanlama Kısıtlarının Belirlenmesi:** Her görev düğümüne zamanlama kısıtları ile ilgili şu bilgiler eklenir:
 - Başlangıç zamanı
 - İşlem süresi
 - Bitirme zamanı
4. **Diyagramın Tamamlanması:** Tüm görevler ve öncüllük bağımlılık ilişkileri bir araya getirilerek görsel bir şekilde gösterilir.

Şekil 2.3. yardımıyla basit bir görev diyagramı sunulmuştur.

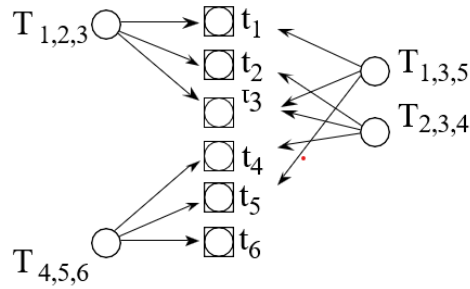


Şekil 2.3. *Ve/Veya* Öncelik Kısıtlı Basit Görev Diyagramı

Şekil 2.3'te *Ve* (and)/ *Veya* (or) öncelik kısıtlarına göre beş farklı görevin bulunduğu basit bir diyagram örneği gösterilmiştir. Diyagramda D görevinin öncülü A görevi, E görevinin öncülü ise C görevidir. Bu iki görevin bağımlılıkları öncül işlemlerinin tamamlanması durumunu ifade ettiğinden *Ve* (and) öncül ilişkili olduğunu

göstermektedir. C görevi ise A görevi veya B görevinden herhangi biri tamamlandıktan sonra başlama esnekliğine sahiptir. Bu bağımlılık ise *Veya* (or) öncül ilişkisini ifade etmektedir.

Şekil 2.4 yardımıyla *Ve/Veya* öncelik kısıtlarına yönelik alt görev sistemine değinilmiştir.



Şekil 2.4. *Ve/Veya* Öncelik Kısıtlı Alt Görev Sistemi

Kaynak: Gillies, 1993

Şekil 2.4'te ifade edilen bilgilerin yanı sıra bir T görevinin alt görevleri bulunabilmekte ve bu alt görevler *Veya* öncelik kısıtlamalarının içerisinde atlamasız (unskipped) öncelikler olabilmektedir. Bu gibi durumlarda şekilde belirtildiği üzere T işleminin içerisinde bulunan görevlerin diyagramın kullamına uygun şekilde kare biçiminde bağımlılıklarla gösterilmesi gerekmektedir. Karmaşık görev sistemlerini modellemek ve çizelgelemeye yönelik algoritmaları geliştirmek üzere kullanılan *Ve/Veya* (And/Or) öncelik kısıtlamaları, özellikle gerçek zamanlı sistemlerde problemin karmaşıklığını artırsa da, görevlerin esnek şekilde tanımlanmasına ve çizelgelenmesine olanak tanımaktadır. Bu bilgiler neticesinde gerçekleştirilen esnekliklerin özellikle; çok işlemcili paralel sistemler, robotik montaj hatları, gerçek zamanlı çizelgeleme sistemleri ve üretim planlaması gibi çizelgeleme problemlerinde gerçek uygulamalara daha gerçekçi modeller uyarlanabileceği düşüncesini güçlendirmektedir (Gillies, 1993, s. 18-21).

2.3. MÜZE TASARIMINDA PROJE YÖNETİMİNİN ÖNEMİ

Müze tasarımı, yalnızca bir bina inşa etme süreci değil, aynı zamanda kültürel mirası yansıtan, ziyaretçi deneyimini zenginleştiren ve toplumla etkileşim içinde olmayı

amaçlayan çok boyutlu bir projedir. Bu nedenle, müze tasarımı proje yönetimi, teknik süreçlerin koordinasyonundan çok daha fazlasını ifade edebilmektedir. Tasarım, inşaat, sergi planlaması ve toplumsal katılım hedeflerinin bir araya getirildiği bu projelerde, bütüncül bir yönetim yaklaşımı gereklidir. Özellikle, müze projelerinin başarısı, stratejik planlama ve uygulama süreçlerinin etkinliğine bağlıdır (Salazar, 2018, s. 1-3; Sandell, 2017, s. 112).

Müze tasarımı kullanılan proje yönetimi teknikleri arasında stratejik planlama, risk yönetimi ve süreç yönetimi gibi yöntemler bulunur. Proje yönetimi kapsamında kullanılan GANTT, CPM, PERT ve Agile (Çevik) de müze projelerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yöntemler, projenin tamamlanma süresini belirleyen kritik faaliyetlerin tanımlanmasında ve proje takvimindeki olası gecikmeleri minimize edilmesinde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Müze tasarımı projelerinde kullanılan proje yönetimi yöntemlerinden biri de Entegre Proje Yönetimi Yaklaşımı (Integrated Project Delivery, IPD)'dir. Bu yöntem, projeye dahil olan tüm paydaşların, özellikle mimarlar, mühendisler, sergi tasarımcıları ve küratörler gibi uzmanların erken aşamalardan itibaren projeye katılmasını sağlar. Bu sayede, projede alınan kararların uyumluluğu ve etkinliği artırılır. Müze tasarımlarında ayrıca BIM (Building Information Modeling) teknolojisi kullanıldığı gözlemlenmektedir. Bu dijital teknoloji, tasarım süreçlerinin dijital ortamda modellenmesini ve simülasyonlarla analiz edilmesini sağlar. Örneğin, Rijksmuseum yenileme projesinde BIM, tasarım ve inşaat süreçlerinin koordinasyonunda kritik bir rol oynamış ve enerji verimliliği hedeflerine ulaşılmasını desteklemiştir. Ayrıca Londra Doğa Tarihi Müzesi'nde proje yönetim süreçlerinde yenilikçi uygulamalar, enerji maliyetlerini düşürürken koleksiyonların korunmasını sağlamıştır (Highsmith, 2020, s. 57; Mann, 2019, s. 12-30; Fischer, 2017, s. 97-99, Cascone vd., 2024, s. 4-5; Natural History Museum, 2021).

Proje yönetiminin diğer bir önemi, maliyet ve zaman yönetiminde ortaya çıkmaktadır. Müze tasarımı projeleri genellikle yüksek bütçeler gerektirir ve zaman kısıtlamaları ile karşı karşıyadır. Bu noktada, proje yönetimi süreçlerinin iyi tanımlanmış olması, kaynakların etkin kullanılmasını sağlar. Özellikle ihtiyaçlar doğrultusunda belirlenen proje yönetim tekniklerinin kullanımı, projelerdeki öncelikli faaliyetlerin tanımlanmasını ve gereksiz gecikmelerin önlenmesini mümkün kılmaktadır (PMI, 2021, s. 95; Salazar, 2018, s. 6-8; McGuinness, 2018, s. 15-20). Müze tasarımı projelerinde

sürdürülebilirlik de kritik bir faktördür. Çevre dostu malzeme kullanımı, enerji verimliliği ve karbon ayak izinin azaltılması gibi hedefler, müze tasarımının modern gereklilikleri arasında yer alır. Bu bağlamda, proje yönetimi, sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesini destekler. Örneğin, Smithsonian Enstitüsü tarafından gerçekleştirilen renovasyon projelerinde, enerji tasarrufu sağlayan yenilikçi çözümler entegre edilmiştir (Smithsonian Institution, 2020).

Müze tasarımı projelerinde proje yönetimi, yalnızca süreci kontrol etmekle kalmaz, aynı zamanda müzenin uzun vadeli başarısını şekillendiren bir araçtır. Proje yönetiminin etkili bir şekilde uygulanması, müzenin estetik, işlevsel ve toplumsal hedeflere ulaşmasını sağlayabilmektedir. Bu nedenle, müze tasarımı projelerinde proje yönetimi, yalnızca teknik bir gereklilik değil, aynı zamanda stratejik bir zorunluluktur. Bu yöntemler, müze tasarımı projelerinde hem zaman yönetimini hem de estetik ve işlevsellik dengesini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Tasarım sürecinin karmaşıklığı göz önünde bulundurulduğunda, proje yönetimi yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda proje süreçlerinde stratejik bir rehber olarak ön plana çıkmaktadır.

2.4. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür bölümü iki grupta ele alınmıştır. İlk grupta araştırmaya konu olan probleme benzer özellikler barındıran araştırmalarda gerçekleştirilen farklı çalışmalara değinilmiştir. İkinci grupta ele alınan araştırmalar ise araştırma probleminde ele alınan matematiksel programlama yöntemleriyle çözümlenen çalışmalara yer verilmiştir. Değinilen araştırmalar tarih sıralamasına göre, araştırmaya konu olan araştırma probleminin yapısına, araştırma probleminin türüne, problemin veri özelliklerine ve çözüm yöntemlerinin benzerliklerine göre ilişkili araştırmalardan örnekler teşkil etmektedir.

Araştırma problemine benzer, farklı yöntemlerle gerçekleştirilen çalışmalara aşağıda değinilmiştir:

Kolisch (1996) tarafından hazırlanan “Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation” başlıklı makalede, seri ve paralel kaynak kısıtlı proje çizelgeleme yöntemlerinin teorik ve hesaplamalı açılardan yeniden değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın bulguları, paralel yöntemlerin çözüm

hızında avantaj sağladığını, seri yöntemlerin ise daha küçük ölçekli projelerde daha etkili sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Kolisch ve Sprecher (1997) tarafından gerçekleştirilen “*PSPLIB—A Project Scheduling Problem Library: OR Software—ORSEP Operations Research Software Exchange Program*” başlıklı çalışmada, proje çizelgeleme problemleri için bir standart kütüphane olan PSPLIB tanıtılmıştır. Çalışmanın sonuçları, kütüphanenin proje yönetimi algoritmalarının doğruluğunu değerlendirme ve karşılaştırma açısından önemli bir kaynak olduğunu göstermiştir.

Kolisch ve Hartmann (1999) tarafından yazılan “Heuristic algorithms for the resource-constrained project scheduling problem: Classification and computational analysis” başlıklı çalışmada, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde kullanılan sezgisel algoritmaların sınıflandırılması ve performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın sonuçları, öncelik kurallarının küçük projelerde etkin olduğunu, meta-sezgisel yöntemlerin ise büyük projelerde daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur.

Hartmann ve Kolisch (2000) tarafından gerçekleştirilen “*Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem*” başlıklı çalışmada, güncel sezgisel yöntemler deneysel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, tabu arama ve genetik algoritmaların büyük projelerde daha başarılı olduğunu, öncelik kurallarının ise küçük projelerde hızlı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Alver (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, proje çizelgeleme problemleri ve KKÇP hakkında detaylı tanımlamalar ve problem özelliklerine değinilmiştir. Araştırmada, 480 farklı çizelgeleme problemine yönelik karınca kolonisi optimizasyonu detaylı bir biçimde incelenmiştir. Araştırmada incelenen her bir problemin algoritma sonuçları optimal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Eldemir'in (2015) gerçekleştirdiği çalışmada, genetik algoritmalar ve tabu arama yöntemlerinin proje çizelgeleme problemlerindeki performansları analiz edilmiştir. Çalışmanın bulguları, genetik algoritmaların karmaşık projelerde daha kısa sürelerde çözüm ürettiğini, tabu arama yönteminin ise küçük projelerde daha yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir.

Kaya (2013) tarafından hazırlanan “*Sıra Bağımlı Kurulum Zamanlarına Sahip Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri İçin Genetik Algoritma*” başlıklı çalışmada, genetik algoritmaların farklı problem boyutlarındaki etkinliği test edilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, algoritma kurulum zamanlarını %25 oranında azaltmış ve projelerin tamamlanma sürelerini optimize etmiştir.

Maghsoudlou vd. (2016) tarafından hazırlanan çalışmada meta sezgisel yöntemlerden istilacı yabancı otlar optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Çalışma, maliyet, süre ve kalite hedeflerinin dengelenmesini amaçlamış ve %25’e kadar süre tasarrufu sağlamıştır.

Tirkolae vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, enerji farkındalığına sahip akış tipi üretim çizelgeleme problemleri incelenmiştir. Çalışma, enerji tüketimini %18 oranında azaltmış ve üretim sürelerini %12 oranında iyileştirmiştir.

Van Eynde ve Vanhoucke (2020) tarafından gerçekleştirilen “*Resource-Constrained Multi-Project Scheduling: Benchmark Datasets and Decoupled Scheduling*” başlıklı çalışmada, kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemleri için yeni bir veri seti önerilmiştir. Çalışma, tekil proje çizelgeleme yöntemlerinin çoklu projelere uyarlanmasını değerlendirmiş ve mevcut yöntemlerin performansını artırmak için ayrıık çizelgeleme yaklaşımlarını incelemiştir.

Shuvo vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi (RCPSP) için hibrit bir meta-sezgisel yöntem önerilmektedir. RCPSP, üretim ve yönetim sistemleri başta olmak üzere iş atama, akış tipi çizelgeleme, planlama ve kablosuz iletişim gibi çeşitli alanlarda uygulama alanı bulan, NP-zor derecesine sahip klasik bir optimizasyon problemi ele alınmıştır. Söz konusu araştırmada, kimyasal reaksiyon optimizasyonu (Chemical Reaction Optimization) algoritması ile genetik algoritmanın entegre edildiği ve “CRO-GA” olarak adlandırılan bir hibrit yaklaşım geliştirilmiştir. Bu öncelik tabanlı seçim operatörü, uygun çözümlerin çoğalmasını teşvik ederek küresel optimuma daha hızlı ulaşmayı sağladığı ifade edilmektedir. Deneysel bulgular, önerilen CRO-GA algoritmasının, literatürde yer alan bazı sezgisel yöntemlere kıyasla daha düşük ortalama sapma ile daha kısa sürede daha başarılı çözümler ürettiğini göstermektedir. Ancak, araştırmacılar CRO-GA algoritmasının uzun süreli projelerde görece yavaş yakınsama gösterdiğini ve gelecekte

başlangıç popülasyonlarının daha etkin belirlenmesi ile parametre ayarlamalarının CRO'nun başarımını artırabileceğini ifade etmişlerdir

Krivulin ve Gubanov (2024) tarafından hazırlanan çalışmada, zamansal kısıtları olan proje çizelgeleme problemleri için yeni çözümler geliştirilmiştir. Çalışmada, "başlangıç-başlangıç", "başlangıç-bitiş" ve "bitiş-başlangıç" gibi zamansal kısıtlar altında, proje tamamlanma süresinin ve faaliyetlerin başlangıç zamanlarının maksimum mutlak sapmasının minimize edilmesi hedeflenmiştir. Önerilen yöntem, tıbbi bir merkezdeki aşı projesinin optimal çizelgelenmesi gibi uygulamalarla test edilmiştir.

Thiruvady vd. (2024) tarafından yapılan "An Efficient Merge Search Matheuristic for Maximising the Net Present Value of Project Scheduling" başlıklı çalışmada, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri için net bugünkü değeri maksimize eden bir birleştirme arama meta sezgisel algoritması geliştirilmiştir. Araştırmada, algoritma paralel karınca kolonisi optimizasyonu ile entegre edilmiş ve bilinen benchmark problemlerinde mevcut en iyi algoritmalarla daha üstün performans göstermiştir.

Türk (2025) gerçekleştirdiği tez araştırmasında, gemi inşa alanında tek ve çok amaçlı kaynak kısıtlı PÇP için çözüm önerileri sunmuştur. Araştırmada, işgücü tahsisi için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım sunulmuş, işçi sayısı, iş istasyonları ve beceri türleri içinse deney tasarımı uygulanmıştır. Çalışma araştırmanın yapıldığı alanda montaj ve üretim aşamalarına odaklanmış; maliyet, iş yükü dengesizliği ve tamamlanma sürelerine yönelik çok amaçlı çözüm önerisi sunmuştur. Tersane çelik işleme departmanında gerçekleştirilen özgün verilere dayanan bu araştırma, ele alınan üretim safhalarının genişletilmesi ve test senaryolarının yeni yöntemlerle uygulanmasını araştırmacılara öneri olarak sunmuştur.

Birinci grupta yer alan makale ve tez araştırmaları incelendiğinde, genel olarak karmaşık projelerin çözümünde sezgisel algoritmalar ve meta sezgisel yöntemlere başvurulduğu gözlemlenmektedir. Bu yöntemler içerisinde ise, genetik algoritma, tabu arama gibi yöntemlerin sıkça kullanıldığına ve araştırma özelinde başarılı sonuçların elde edildiği sonucuna ulaşılmaktadır. Ancak araştırmaların birçoğunda Kolisch ve Sprecher (1997) tarafından geliştirilen belirli proje çizelgeleme problemlerine örnek oluşturan *PSPLIB* hazır veri setlerinin sıkça kullanıldığı tespit edilmiştir. Literatürde PÇP içerisinde

sektörlere yönelik gerçek yaşamda karşılaşılan orijinal problemlere ilişkin araştırmaların azlığı dikkat çekmektedir.

Literatür bölümünün ikinci grubunda araştırma problemine benzer PÇP üzerine gerçekleştirilen matematiksel modelleme yöntemleriyle çözüm elde edilmeye çalışılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir:

Moselhi ve Hassanein (2003), doğrusal projelerin zamanlamasını optimize etmek amacıyla, iki durum değişkenli ve N-aşamalı dinamik programlama formülasyonunu, bir dizi sezgisel kuralla birleştiren bir model sunmuşlardır. Bu model, kaynak odaklı olup, tekrarlayan ve tekrarlamayan faaliyetleri içermekte ve proje süresini, toplam maliyeti veya her ikisinin birleşimini optimize etmeyi hedeflemektedir. Önerilen model, farklı proje senaryolarında uygulanmış ve sonuçlar, modelin etkinliğini ve esnekliğini göstermiştir.

Ipsilandis (2007), doğrusal tekrarlayan projelerin zamanlama kısıtları için, proje süresi, kaynakların boşa kalma süreleri ve birim teslim süreleri gibi maliyet unsurlarını dikkate alan çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Bu model, minimum süre veya maksimum kaynak sürekliliğini iyileştirmenin yanı sıra alternatif zamanlama seçenekleri bakımından da öneriler sunmaktadır. Araştırmada modelin uygulanması ile, farklı önceliklere sahip projelerde esnek ve optimizasyon sağlanmış çizelgeleme çözümleri sağlandığı ileri sürülmektedir.

Berthold vd. (2010), kaynak kısıtlı proje zamanlama problemini çözmek için, tam sayılı programlama ve kısıt programlama tekniklerini tek bir dallanma ve sınırlandırma şemasında birleştiren hibrit bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yöntem, doğrusal gevşetme ve çatışma analizi gibi teknikleri kullanarak daha iyi alt sınırlar elde etme konusunda başarılı sonuçlar göstermiştir. Önerilen yaklaşım ile, karmaşık proje çizelgeleme problemlerinde etkin ve verimli çözümler sunulduğu ileri sürülmektedir.

Pamay (2011) tarafından gerçekleştirilen tez çalışmasında, doğrusal programlama tabanlı çözümler geliştirilerek kaynak kısıtlı çoklu proje yönetimindeki süre planlamasının optimizasyonu amaçlanmıştır. Araştırmada, ağırlıklı erkenlik ve geçlik maliyetlerinin minimize edilmesi hedeflenmiş ve doğrusal programlama modelinin performansı test edilmiştir. Araştırmada temel amaç, dinamik proje çizelgeleme

ortamlarını modellemek ve mevcut proje portföyüne yeni projeler eklenirken oluşabilecek çizelge değişikliklerinin maliyetlerini en aza indirmek olarak belirtilmiştir.

Szmerekovsky ve Venkateshan (2012), düzensiz zaman-maliyet değiş tokuşları içeren proje zamanlama problemleri için tam sayılı bir programlama formülasyonu sunmuşlardır. Bu model, projelerin toplam maliyetini minimize etmeyi hedeflerken, faaliyetlerin farklı zaman-maliyet kombinasyonlarını ve bu kombinasyonların proje planlaması üzerindeki etkilerini dikkate almaktadır. Modelin uygulanması, projelerin maliyet ve süre dengesi açısından optimize edilmesine katkı sağlamıştır.

Biruk ve Jaśkowski (2017) gerçekleştirdikleri araştırmada inşaat projelerinde kaynak kısıtları altında çizelgeleme problemlerine karma tam sayılı bir model ile çözüm önerisi sunmuşlardır. Araştırma kurulan matematiksel model ile kaynak atamalarını gerçekleştirip tamamlanma sürelerini minimize etmeye odaklanmıştır. Kurulan matematiksel model Lingo programı yardımıyla çözüme ulaştırılmıştır. Araştırmacılar tamamlanma süresinde optimal çözümün 35 günde gerçekleştiği bir örneği ele almışlar, daha karmaşık yapıda olan problemler için popüler çözümleyicilerden faydalanılabileceğine dair öneriler sunmuşlardır.

Chitra ve Halder (2017) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, bir inşaat şirketinde proje tamamlanma sürelerinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Lindo programı yardımıyla, karşılaşılan doğrusal programlama problemine bir model geliştirilerek çözüm elde edilmiştir. Araştırmada CPM tekniği problemin kritik yolunun bulunması için kullanılmıştır. Sonuç olarak model çözümü, belirlenen hedef süreye kıyasla %17 daha düşük tamamlanma süresine ulaşmıştır.

Atlı'nın (2018) gerçekleştirdiği “Bulanık Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri” başlıklı çalışmada, belirsizliklerin proje yönetimine etkisi incelenmiş ve bulanık mantık kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, belirsizliklere yönelik yapılan çözümlemelerin proje hatalarını %40 oranında azalttığını ve planlamanın doğruluğunu artırdığını göstermektedir.

Kurt, P. A. (2018) tarafından hazırlanan “Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi: Bir Yazılım Firmasında Uygulama Çalışması” başlıklı tezde, kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemleri doğrusal programlama tabanlı bir modelle ele alınmıştır. Çalışma, bir yazılım firmasındaki eşzamanlı yürütülen projeler

üzerinde uygulanmıştır. Doğrusal karar modelleri, CPLEX çözücüsü kullanılarak optimize edilmiş ve projelerin toplam süreleri ile kaynak kullanım etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, doğrusal programlama yönteminin projelerde %15'e varan zaman tasarrufu ve kaynak verimliliği sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, çözüm yönteminin ölçeklenebilirliği ve büyük projelerdeki uygulanabilirliği vurgulanmıştır.

Coşkun vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen araştırmada paralel makine çizelgeleme problemleri üzerine bir matematiksel model geliştirilmiştir. Araştırmacılar plastik rezervuar üretimi gerçekleştiren bir firmadan elde ettikleri veriler ve probleme özgü kısıtlara yönelik geliştirdikleri matematiksel modeli literatürde benzerlik gösteren üç farklı modeli temel alarak hazırlamışlardır. Model Cplex yardımıyla kodlanarak Python programlama dilinde entegre edilmiştir. Python yardımıyla elde ettikleri çözüm çıktılarını Gantt diyagramı ve iş emirleri dosyalarına çevrilmesini sağlamışlardır.

Alhassan vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'da bulunan bir inşaat şirketinden elde edilen verilerle proje tamamlanma sürelerinin minimize edilmesine yönelik araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada; CPM, PERT ve doğrusal programlama teknikleri kullanılmıştır. Doğrusal programlama yardımıyla proje tamamlanma süresi en küçüklenmeye çalışılmış ve araştırma sonucunda 79 günlük tamamlanma süresi 40 güne düşürülmüştür.

Çorumlu vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen *"Proje Çizelgelemede Bulanık Doğrusal Programlama İle Yeni Bir Yöntem Önerisi: Yazılım Projesinde Uygulama"* başlıklı çalışmada, faaliyet sürelerindeki belirsizliklerin proje tamamlanma süresine etkisi incelenmiştir. Araştırmacılar, bulanık doğrusal programlama temelli bir yöntem geliştirerek, bu yöntemi gerçek bir yazılım projesi üzerinde uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar, üyelik derecelerinin azalmasıyla proje tamamlanma sürelerinin kısaldığını göstermektedir.

Öztürk Görgülü (2024) gerçekleştirdiği araştırmada, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerini (RCPSPP) özellikle çok modlu yapı çerçevesinde ele almış, literatürdeki mevcut çalışmaları sistematik biçimde inceleyerek alanın genel durumu ve araştırma boşlukları hakkında bilgiler sunmuştur. Bu boşluklara yanıt olarak, sürekli zamanlı iki yeni karma tamsayı doğrusal programlama (MILP) modeli geliştirilmiş; bu

modeller, ayırık zaman aralıklarına bağlı kalmadan dinamik çizelgeleme imkânı sunmuş ve özellikle kaynak akışına dayalı model, literatürdeki benzerlerine kıyasla daha yüksek çözüm kalitesi ve hesaplama verimliliği sağladığı ifade edilmiştir. Matematiksel modellerin yanında, her faaliyeti başlangıç ve bitiş olaylarıyla tanımlayan yeni bir olay tabanlı sezgisel yöntem geliştirilmiş ve bu yöntem, düşük hesaplama süresi ile etkili çözümler ürettiği vurgulanmıştır.

Dinçkurt Biçer (2024) gerçekleştirdiği tez çalışmasında, bir traktör firmasına ait elde edilen verilerden faydalanarak firmanın gerçekleştirdiği Ar-ge çalışmalarının çizelgelenmesinde tamamlanma sürelerinin minimize edilmesine ve fazla mesai durumlarının önüne geçilmesine odaklanılmıştır. Araştırmacı, altı farklı kaynağa yönelik karşılaşılan çizelgeleme probleminde, ağırlıklı hedef programlama modeli geliştirmiştir. Oluşturulan model Cplex çözümleyicisi kullanılarak çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde; pratikte 45 günlük gecikme süresi ile karşılaşılan çizelgeleme sürecinde gecikme durumunun yaşanmaması temin edilmiş, araştırmada 126 adam*gün olarak ifade edilen fazla mesai durumu ise 110 adam*gün fazla mesai sonucuna ulaşarak en küçüklenmiştir. Bu durum gerçekleştirilen modelde fazla mesai olarak ifade edilen kaynak kullanımının %12,69 oranında iyileştirildiğini ortaya koymaktadır.

Wallrath vd. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tamamlanma süresinin (makespan) minimize edilmesine yönelik akış tipi hatlarda çizelgeleme problemlerinde geçerli eşitsizlikler incelenmiştir. Araştırmada, bu eşitsizliklerin üç yaygın modellemekten ikisine; doğrusal sıralama (linear-ordering) ve zaman indeksli (time-indexed) modellere entegre edilmesinin, Taillard test problemleri üzerinde çözücü performansını olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir. Ayrıca, makine değişim sürelerini içeren akış hattı problemlerinde doğrusal sıralama modellerine uyarlanabilen eşitsizliklerin hesaplama avantajları sağladığı ortaya konmuştur. LP sınırları üzerinden yapılan analizlerle, popüler ancak zayıf olan bağlantı kısıtlarının neden yetersiz kaldığı açıklanmış ve bu eşitsizliklerin eklenmesinin modelin gücünü artırdığı belirtilmiştir.

Araştırmacıların bu çalışmalarda geliştirdikleri yöntemlerle kaynak kısıtlarını çözümlemeyi, başlangıç ve bitiş sürülerini minimize etmeyi, proje sürelerini kısaltmayı ve proje maliyetlerini azaltmayı hedefleyerek optimum veya optimuma yakın sonuçlar elde etmeyi ön görmüşlerdir. Gerçekleştirilen çalışmalar genellikle proje sürelerinin

kısaltılması, maliyetlerin azaltılması, kaynak kullanımının artırılması ve belirsizliklerin etkilerinin tamamlanma sürelerinin üzerinde etkisini minimize etmeye odaklandığı gözlemlenmektedir. Matematiksel modellemelerin bu etkenler üzerinde gerçekleştirilen optimizasyonlarla başarılı sonuçlar elde ettiği gözlemlenmektedir.



BÖLÜM III : MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. ARAŞTIRMA VERİLERİ

Araştırma verileri, ana faaliyet konusu müze tasarımı, restorasyon ve tasarım uygulama işleri olan bir firmadan, firma yetkililerinin görüş ve önerileri ve araştırmacının proje sürecinde gözlem yolu ile teyit ettiği gerçek bir tasarım probleminde karşılaşılan özgün veriler ve kısıtları içermektedir.

Ele alınan projenin tamamlanmasına yönelik 5 temel operasyon bulunmaktadır. Müze tasarım sürecinde genel olarak benzer olan bu operasyonlar aşağıda şöyle sıranamıştır:

1. İnşaat ve Restorasyon
2. Elektrik Tesisatı
3. Makine Tesisatı
4. Peyzaj
5. İç Mimari Tasarımı ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması

Proje İnşaat ve Restorasyon süreci ile başlayacak olup bu safhada müzenin kurulumunun yapılacağı mekân restorasyonu ve inşaat işleri belirlenen tasarım ölçüsünde tamamlanacaktır. İkinci safha olana Makine tesisatı sürecinde tasarıma uygun bir şekilde bina içerisindeki ısıtma ve iklimlendirme sistemleri, su tesisatı sistemleri vb. makine teçhizatları ve tesisatına yönelik temin ve düzenleme işlemleri yapılacak olup, üçüncü safhada projeye uygun elektrik tesisatı işlemleri gerçekleştirilecektir. Dördüncü aşamada müze binasına uygun çevre ve peyzaj düzenlemesi yapılarak son aşama olan İç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması işlemine geçilecektir. Bu işlemler ayrı ayrı operasyonel süreçler barındırmakta olup her bir süreç belirli proje çizelgeleme problemi barındırmaktadır. Doktora tezi çalışmasında bu süreçler içerisinde en kapsamlı çizelgeleme sürecine sahip olarak ön plana çıkan iç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması sürecine ilişkin operasyonel süreç ele alınarak bu sektörde karşılaşılan bir gerçek hayat problemine çözüm üretilmesi hedeflenmiştir.

Projeye yönelik müze tasarımında gerçekleştirilen temel operasyonel işlemlere ilişkin planlanan süreler ve akış bilgileri Şekil 3.1 yardımıyla aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Temel Operasyonel işlemlerin Tamamlanma Süreleri ve Öncelik Sıralamaları

Projenin planlanan teslim süresi 545 gün olarak belirlenmiştir. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere projenin tamamlanma süresinde temel operasyonel işlemlerden, restorasyon, makine tesisatı, elektrik tesisatı ve peyzaj işlemleri iş akışında öncelik sıralaması bakımından iç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması işinden önce yapılacak olup, araştırmada ele alınacak sürece ilişkin operasyonel işlemler firma yetkilileri tarafından 260 gün olarak belirlenen bir tamamlanma süresine sahiptir.

İç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması işleminin tamamlanmasına yönelik 19 farklı etkinlik bulunmaktadır. Bu etkinlikler aşağıda sıralanarak genel itibarıyla iş tanımlamaları aşağıda verilmiştir:

1. Müze İçerik Araştırmalarının Yapılması: Müze sergi alanlarının oluşturulmasına yönelik olarak, belirlenen temaya ilişkin araştırmalar olarak ifade edilmektedir. Bu doğrultuda hem yerel hem ulusal kaynaklardan faydalanılacaktır. İçerik araştırma kapsamında, sergi ve sunum alanlarında yer alması tasarlanan tüm bilgi, belge, görsel ve objelerin teminine yönelik çalışmalar yapılacaktır, sergilenecek belge, görsel ve objelere yönelik araştırma, devlet kurumlarının arşivlerinden, kütüphanelerden, bilimsel kaynak ve makalelerden faydalanılarak gerçekleştirilecektir.

2. İçeriklerin Oluşturulması Ve Metinlerin Yazılması: Araştırma sürecinde toplanan bilgi, belge ve görsellerin konulara göre derlenmesi ve tasnifinin yapılmasını

belirtmektedir. Tasnifleri tamamlanmış görsel ve belgelerin sergi ve sunum alanlarına yönelik uygun formatlarda taranması, dijital ortama aktarılması, rötuşlanması, toplanan tüm görsel ve objelerin arşivlenmesi ve konservasyonu ile sergi ve sunum alanlarında yer alacak tüm bilgilerin konunun uzmanı bilim insanlarına hazırlanması, özetlenmiş ve doğrulanmış metinlerin yazılması, kontrollerinin ve tashih okumalarının yapılması yüklenici tarafından yapılacaktır. Yüklenici son okumaları yapılmış içeriklerin onayını uzmanlardan ve müze tasarımı için oluşturulan danışma kurulundan almakla yükümlüdür.

3. Video Prodüksiyon Senaryolarının Yazılması: Müzede gösterimi yapılacak video prodüksiyonlarına yönelik içerik araştırmaları ve senaryo yazımları ifade etmektedir. Belirlenen tema ve yardımcı bilgiler ışığında hazırlanacak olan video görsellerin senaryolarının hazırlanmasını ifade eden süreçtir. Yüklenici, hazırlanmış senaryoların onaylarını prodüksiyon aşamasından önce danışma kurulundan görüş almakla yükümlüdür.

4. İngilizce İçerik İçin Videoların Ve Teknolojik Sunumların Deşifrelerinin Ve Tercümelerinin Yapılması: Müzede yer alacak tüm teknolojik sunumların ve video (sözlü tarih videoları hariç) senaryolarının deşifrelerinin yapılması ve İngilizce çevirilerinin gerçekleştirilmesini ifade eden süreçtir.

5. Pano Metinlerinin Oluşturulması ve İngilizce Tercümelerinin Yapılması: Müze genelinde bulunan müze araştırmacıları tarafından gerçekleştirilen tüm görsel panolarda yer alacak metinlerin oluşturulması ve İngilizce çevirilerinin gerçekleştirilmesini ifade eden süreçtir.

6. Sözlü Tarih Video Çekimlerinin Yapılması: Müzenin temasında belirlenen araştırma alanlarının gelişimini, önemli yer tutan mekanları, olayları anlatan sözlü tarih çalışmalarının yapıldığı süreci ifade etmektedir. Video prodüksiyonlarından hariç olarak sergi alanlarında belirlenen içeriklere yönelik alanında uzman kişilerin bilgi sundukları video görselleri ifade etmektedir.

7. Sözlü Tarih Video Kurgularının Yapılması: Sözlü tarih video çekimlerine yönelik 3'er dakikalık videolar hazırlanmak üzere senaryoların ve genel itibari ile değinilecek metinlerin belirlenmesini ifade etmektedir. Ayrıca hazırlanacak olan videoların çekim yerleri, çekimlere dahil edilecek kişi veya kurumlara yönelik porganizasyon planlamaları bu etkinliği yapacak birim tarafından hazırlanmaktadır. Bu

süreçte metinlerin yazılması işlemini yürüten birimden onay alınıp sözlü tarih videolarının kurgu işlemi bu doğrultuda yürütülmektedir.

8. Görsel Panoların Grafik Tasarımlarının Ve Uygulamalarını Yapılması:

Müze genelinde yer alacak tüm panolardaki görsellerin, içerik metnlerinin ve resim altı açıklamalarının hazırlanmasının ardından tamamlanacak müzenin kurumsal kimlik standartlarına göre grafik pano uygulamalarının uygun formatlarda tasarlanarak metin panolarının ve metinleri destekleyici çizimlerin hazır hale getirilmesi gerçekleştirilecektir. Görsel pano grafik tasarımları çerçevesinde, içerik- görsel eşleştirmeleri yapılacak, araştırma aşaması sonucunda temin edilmiş görsellerin yeterli olmaması durumunda görselleri temin edilemeyen konulara yönelik olarak gerekli temsili çizim ve grafikler hazırlanması sürecini ifade etmektedir. Pano metinleri hazırlanırken sözlü tarih videolarında belirtilen bilgilerden farklı metinlerin düzenlenmesi ve grafik tasarımların bu bölümde hazırlanan içeriklerle çakışmaması bu sürecin göz önünde bulundurduğu bir aşamadır.

9. Baskı İmalatlarının Yapılması Ve Yerine Uygulanması İşleri: Müze genel konsept ve kurgusu doğrultusunda oluşturulan tasarımların arka plan baskı uygulamaları gerçekleştirilecektir. Panolara teknik çizimler doğrultusunda sözlü tarih video kurgularını destekler nitelikte ve ön plana çıkaran baskı montajları işlemlerini ifade etmektedir.

10. Yönlendirmelerin ve Yardımcı Baskı Unsurlarının İmalat ve Montaj İşleri: Müze içerisinde ziyaretçilerin sergi alanlarına kolaylıkla ulaşmasını sağlayacak yönlendirme levhalarının tasarımı, pano ve metinlerde bulunan yardımcı baskı işlemlerinin imalat ve montajı işlerini içermektedir.

11. Müze Sergileme Elemanları İmalat ve Uygulamalarının Yapılması: Sergilenecek eserlerin korunması ve sunulması için vitrin, stant gibi sergileme elemanları tasarlanır, üretilir ve monte edilir. Bu süreçte estetik, dayanıklılık ve işlevsellik kriterleri göz önünde bulundurulur.

12. Ünitelerin İmalat ve Montajının Yapılması: Bilgi noktaları, dinlenme alanları ve personelin kullanımına yönelik stant, banko alanı gibi işlevsel üniteler tasarlanarak üretilir ve müze alanlarına monte edilir.

13. Mobilyaların İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları: Sergi alanlarında kullanılacak mobilyalar tasarlanır ve üretilir. Bu mobilyalar, alanın estetik ve

fonksiyonel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde hazırlandığı gibi, teknolojik sunum uygulamaları ve oyun platformlarının yerleştirilmesi için hazırlanan dekorları da kapsamaktadır.

14. Dekor, Canlandırma ve Maketlerin İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları: Müzenin genel teması ve içeriği doğrultusunda dekoratif öğeler, maketler ve canlandırmalar hazırlanır ve gerekli alanlara vitrin bölümlerine yerleştirilmesini içermektedir. Bu çalışmalar, ziyaretçilerin müze deneyimini zenginleştirmeyi hedefler.

15. Aydınlatma Elemanları: Müze sergi alanlarının doğru şekilde aydınlatılabilmesi için özel aydınlatma elemanları tasarlanır ve uygulanır. Bu elemanlar, sergilenen objelerin vurgulanmasını ve ziyaretçilerin mekânı daha iyi deneyimlemesini sağlar.

16. Video Prodüksiyonları: Prodüksiyonları içeren; video görseller, üç boyutlu uygulamalar, simülasyon uygulamaları ve simülatörlere yönelik teknik işlemlerin hazırlık, yapım ve teslim işlemlerini ifade etmektedir. Müzede gösterimi yapılacak görsel prodüksiyonların çekimleri tamamlanır. Bu videolar, müzenin genel temasını destekleyecek şekilde tasarıma uygun bölümlerde gösteriminin yapılması için hazırlanır.

17. Teknolojik ve Elektronik Sunum Uygulamaları: Dokunmatik ekranlar, projeksiyonlar gibi teknolojik öğeler müzede kullanıma sunulur. Bu sunumlar, ziyaretçilere interaktif bir deneyim sağlar.

18. Yazılımların Oluşturulması: Müze içerisindeki teknolojik uygulamalar için gerekli yazılımlar geliştirilir. Bu yazılımlar; interaktif sunumlar, ziyaretçi yaş gruplarına göre hitap eden farklı oyun ve platformları kapsamaktadır. Ziyaretçi deneyimini desteklemek ve sergilenen içeriklerin erişilebilirliğini artırmak amacıyla gerçekleştirilen dokunmatik ekran arayüzleri vb. teknolojik cihazların altyapı yazılımları bu ekip tarafından gerçekleştirilmektedir.

19. Dokunmatik Bilgisayarların ve Projeksiyonların Yazılım Entegrasyonu: Dokunmatik bilgisayarlar ve projeksiyon sistemlerinin kurulumunda ve elektrik hatlarında sorunlarının bulunup bulunmadığı denetlenir. Teknik olarak uygunluk varsa, ilgili yazılımlarla cihazlar entegre edilerek müzede pano metinlerini destekleyici ölçüde daha detaylı bilgi almak isteyen ziyaretçilerin kullanıma sunulur.

Yukarıda açıklamaları yapılan 19 farklı etkinliğin tamamlanmasını üstlenen 7 farklı ekip bulunmaktadır. Bu ekipler uzmanlık alanlarına yönelik işlemleri üstlenmektedir. Müze tasarımı oluşturulan ekipler şu şekilde sıralanmıştır:

1. Müze Araştırmacıları
2. Medya Ekibi
3. Grafik Tasarım Ekibi
4. Reklam ve Baskı Ekibi
5. Heykel ve Diaroma Ekibi
6. Teknik Ekip
7. Yazılım Ekibi

Müze tasarımı görev alan ekiplerin, görev tanımlarına uygun olarak yüksek düzeyde uzmanlık ve tecrübe sahibi olmaları gerekmektedir. Müze tasarımı, multidisipliner bir yaklaşım gerektirir ve her ekibin niş bir alanda uzmanlaşmış olması, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için kritik öneme sahiptir. Örneğin, müze araştırmacıları tarihsel içeriklerin doğruluğunu ve bağlamını sağlarken, medya ekibi ve grafik tasarım ekipleri görsel materyalleri estetik ve işlevsel bir şekilde sunmaktan sorumludur. Reklam ve baskı ekibi, müze içerisinde görsel baskıların, yönlendirmelerin ve müze içerisinde birleştirici olan dijital sıvama ve arka plan baskılarının yapımı ve uygulanması işlemlerini gerçekleştirir. Heykel ve diorama ekibi, tasarım ve sunuşla ilgili algı ve gerçekçilik boyutunu derinleştirmek için heykel ve dioromaların (Bir anın veya kompozisyonun ölçeklendirilmiş heykel ve maketler yardımıyla modellenmesi) tasarımını, yapımını ve sunuş kurulumunu gerçekleştirir. Teknik ekipler, müzenin yapısal ve dekoratif bileşenlerinin işler hale gelmesini sağlamakla görevli olup, müze içerisinde dekorların kurulması, video prodüksiyon ve yazılım ekibinin uygulama yapabilmesi için mobilya ve ünitelerin kurulması, aydınlatma elemanları ve teknolojik cihazların kurulumu ve kontrolü gibi teknik işlemlerin yürütülmesini sağlamaktadır. Yazılım ekipleri ise interaktif sunumlar, alt yaş grubu için tasarlanan oyunlar ve dijital içerikler için gerekli altyapıyı sağlamaktadır. Uzman ekiplerin müze tasarımıdaki rolü, literatürde de vurgulanmaktadır. Falk ve Dierking (2000), müze tasarımı görev alan ekiplerin disiplinler arası bir iş birliği çerçevesinde çalıştığını ve her bir ekibin kendi uzmanlık alanında bilgi ve beceri sahibi olmasının, müze ziyaretçilerinin deneyimini doğrudan etkilediğini belirtmiştir.

Tablo 3.1’de araştırmada ele alınacak probleme yönelik etkinliklere, ekiplere ve modelde kullanılacak sembollere ilişkin bilgilere değinilmiştir.

Tablo 3.1. Etkinliklere Yönelik Semboller ve Atanan Ekipler

Etkinlik Sembolleri	Etkinlik Açıklaması	Etkinliklerin Atandığı Ekipler
A	Müze İçerik Araştırmalarının Yapılması	Müze Araştırmacıları
B	İçeriklerin Oluşturulması ve Metinlerin Yazılması	Müze Araştırmacıları
C	Video Prodüksiyon Senaryolarının Yazılması	Medya Ekibi
D	İngilizce İçerik İçin Videoların ve Teknolojik Sunumların Deşifrelerinin ve Tercümelerinin Yapılması	Müze Araştırmacıları
E	Pano Metinlerinin Yazılması ve İngilizce Tercümelerinin Yapılması	Müze Araştırmacıları
F	Sözlü Tarih Video Çekimlerinin Yapılması	Medya Ekibi
G	Sözlü Tarih Video Kurgularının Yapılması	Medya Ekibi
H	Görsel Panoların Grafik Tasarımlarının ve Uygulamalarının Yapılması	Grafik Tasarım Ekibi
I	Görsel Panoların Baskı İmalatlarının Yapılması ve Yerine Uygulanması İşleri	Reklam ve Baskı Ekibi
J	Yönlendirmelerin ve Yardımcı Baskı Unsurlarının İmalat ve Montaj İşleri:	Reklam ve Baskı Ekibi
K	Müze Sergileme Elemanları İmalat ve Uygulamalarının Yapılması	Teknik Ekip
L	Ünitelerin İmalat ve Montajının Yapılması	Teknik Ekip
M	Mobilyaların İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları	Teknik Ekip
N	Dekor, Canlandırma ve Maketlerin İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları	Heykel ve Diaroma Ekibi
O	Aydınlatma Elemanlarının Montajı	Teknik Ekip
P	Video Prodüksiyon Uygulamalarının Yapılması	Medya Ekibi
R	Teknolojik ve Elektronik Sunum Uygulamaları	Teknik Ekip
S	Yazılımların oluşturulması	Yazılım Ekibi
T	Dokunmatik Bilgisayarların ve Projeksiyonların Yazılım Entegrasyonu	Teknik Ekip

Tablo 3.1’de görüldüğü üzere “Etkinliklerin Atandığı Ekipler” sütununda ekiplerin hangi operasyonel etkinlik işlemini üstlendiğine yönelik bilgiler verilmiştir. “Etkinlik” sütununda ise matematiksel modelde çözüm kolaylığı sağlaması açısından etkinlikler A ile T arasında alfabetik biçimde sembolleştirilmiştir. Bu aşamadan sonraki çözüm ve tablolarda etkinlikler sembolleri ile ifade edilmiştir

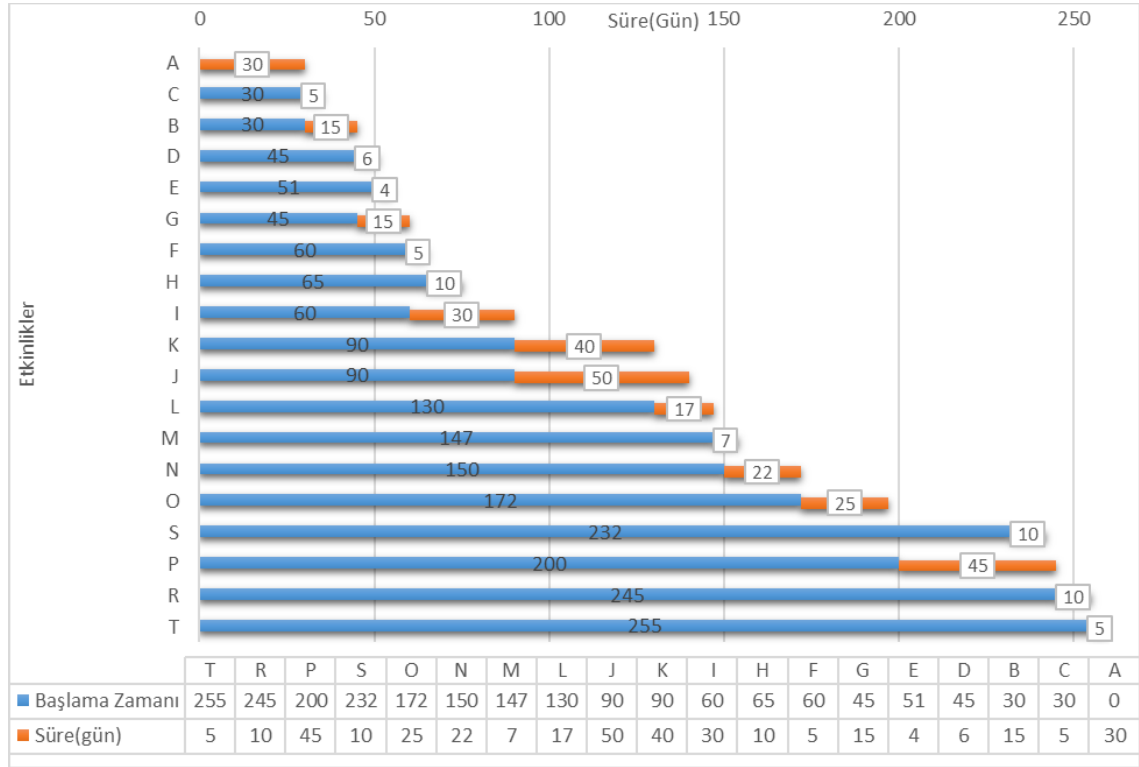
Tablo 3.2’de etkinliklere yönelik işlemleri üstlenen ekipler, bilinen planlama süreleri ve klasik öncüllük ilişkileri verilmiştir. Planlanan süreler ve öncüllük ilişkileri firma yetkililerinin görüşleri ile tanımlanmıştır.

Tablo 3.2. Etkinliklere İlişkin Planlanan Süreler ve Öncül İşlemler

Etkinlik	Etkinliklerin Atandığı Ekipler	Planlanan Süreler Süre	Öncül Etkinlikler
A	Müze Araştırmacıları	30	-
B	Müze Araştırmacıları	15	A
C	Medya Ekibi	5	A
D	Müze Araştırmacıları	6	C
E	Müze Araştırmacıları	4	C, D
F	Medya Ekibi	5	E
G	Medya Ekibi	15	B
H	Grafik Tasarım Ekibi	10	F
I	Reklam Ve Baskı	30	B, G
J	Reklam Ve Baskı	50	B, H
K	Teknik Ekip	40	B
L	Teknik Ekip	17	K
M	Teknik Ekip	7	J, L
N	Heykel Ve Diorama Ekibi	22	I, K
O	Teknik Ekip	25	N
P	Medya Ekibi	45	O
R	Teknik Ekip	10	P
S	Yazılım Ekibi	10	M, N
T	Teknik Ekip	5	R, S

Tablo 3.2’de görüldüğü üzere etkinliklere ilişkin planlanan süreler bilinmektedir. Bu süreler firmanın daha önceden deneyim sahibi olduğu projelerin tamamlanma sürelerine ve ihalelerin teknik şartnamelerine yönelik olarak hesaplanıp firma yetkilileri tarafından belirlenmiştir. Firmanın halihazırda devam eden ya da başlangıç tarihi belirli olan projeleri olduğundan bu süreler kesin süreler olarak hesaplanmıştır. Ayrıca etkinliklerin bağlı olduğu öncül etkinlikleri verilmiştir. Örneğin içeriklerin oluşturulması ve metinlerin yazılması (B) etkinliğinin müze araştırmacıları tarafından tamamlanabilmesi için müze içerik araştırmalarının yapılması (A) işleminin tamamlanabilmesi gerekmektedir veya dekor, canlandırma ve maketlerin imalat bilgileri ve sergi alanlarına dağılımları (N) işleminin başlangıç işlemine geçebilmesi için görsel panoların baskı imalatlarının yapılması ve yerine uygulanması işleri (I) etkinliği ve müze sergileme elemanları imalat ve uygulamalarının yapılması (K) etkinliğinin tamamlanabilmesi gerekmektedir.

Proje başlangıcından önce hedef süre 260 gün olarak proje yöneticileri tarafından belirlenmiştir. Bu süreler, proje başlangıcında ihale şartnameleri ve firmanın mevcut projelerindeki meşguliyet durumlarına göre oluşturulmaktadır. Araştırmaya konu esnek öncüllük ilişkileri tanımlanmadan önce proje yöneticileri tarafından oluşturulan hedef süreye yönelik işleyişi gösteren gantt diyagramı Şekil 3.2 yardımıyla verilmiştir.



Şekil 3.2. Hedef Süreye İlişkin Gantt Diyagramı

Şekil 3.2’de etkinliklerin verilerine yönelik proje başlangıcında gerçekleşmesi planlanan hedef süreye yönelik firmanın belirlemiş olduğu proje sürecine ilişkin etkinlik sıralaması ve başlama zamanları gantt diyagramı yardımıyla verilmiştir. Her ne kadar proje başlangıcında yeterli süreler olduğu varsayılrsa dahi uygulama pratiğinde firmaların başka projeleri de yüklenme olasılığı vb. durumlara yönelik proje tamamlanma sürelerinin minimize edilmesi önem arz eden huslara dönüşebilmektedir. Bu doğrultuda firma yetkilileri ile yapılan görüşmelerde, etkinlik koordinasyonları ile sürecin yeniden tasarlanması ve bilimsel yöntemlerin kullanılması ile tamamlanma sürelerinin düşürülmesinin mümkün olabileceği düşüncesi ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda süreçler firma yetkilileri ile tekrar incelenerek etkinliklerin yapısı, öncüllük kısıtları ve paralel

yürütülebilir etkinliklerle ilgili tanımlamalar tekrar yapılarak başlık 3.1.1’de bu tanımlamalara ilişkin bilgiler detaylı olarak sunulmuştur.

3.1.1.Verilere İlişkin Kısıtlar

Proje yönetimi, projelerin belirlenen zaman, maliyet ve kalite hedeflerine ulaşmasını sağlamak için çeşitli kısıtlar çerçevesinde yürütülür. Proje yöneticileri, genellikle kaynak yetersizliği, zaman baskısı, bütçe sınırları ve paydaş beklentileri gibi temel kısıtlarla karşılaşmaktadır (Kerzner, 2017: 220). Bu kısıtlar, projenin kapsamını, etkinliklerin sıralamasını ve karar alma süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Özellikle müze tasarımı gibi çok disiplinli projelerde, kısıtların daha da karmaşık hale gelerek karşılaşılan çizelgeleme problemlerinin zorluk seviyelerini artırabilmektedir. Müze tasarımı projelerinde; yaratıcı çözümler üretme gerekliliği, fiziksel alan sınırlamaları, belirli tematik veya tarihi doğruluk standartları, teknolojik entegrasyon gereksinimleri ve farklı uzman ekipler arasındaki koordinasyon gibi özgün kısıtlar ortaya çıkabilmektedir. Bu tür projelerde, tasarım süreçlerinin belirlenen hedeflere ulaşması, kısıtların dikkatlice analiz edilmesi ve yönetilmesiyle mümkün olmaktadır (Falk ve Dierking, 2000, s. 85). Doktora tezine konu olan çizelgeleme probleminin de kendine has özellikleri ve kısıtları bulunmaktadır. Bu bölümde problemin özgün yapısına/kısıtlarına ilişkin bilgiler verilmiştir.

Araştırma probleminin yapısı gereği; farklı projelerde de karşılaşıldığı üzere klasik öncüllük ilişkisini aşan, bazı öncül etkinliklerin esnetilebilir düzeyde, bazı öncül etkinliklerin ise katı düzeyde ve esnetilebilmesi ya da kesintiye uğratılması mümkün olmayan etkinliklerden meydana geldiği tespit edilmiştir.

Tablo 3.3’te araştırma problemine özgü, öncül etkinlik tamamlanmadan başlaması mümkün olmayan katı öncüllük ilişkileri verilmiştir.

Tablo 3.3. Katı Öncül İlişkileri

Etkinlik	Katı Öncül (Öncül Olarak Kesinlikle Tamamlanması Gereken Etkinlikler)
B	A
C	A
D	C
I	B
J	B, H
K	B
L	K
M	J-L
N	I-K
O	N
R	P
T	R

Tablo 3.3'te belirtildiği üzere etkiliklere yönelik katı öncelik ilişkileri listelenmiştir. Bu işlemlerde, etkinliklerin birden fazla öncülü olabileceği için her bir etkinlik için katı işlem niteliği taşıyan etkinlikler ayrıca tanımlanmıştır. Örneğin, müze araştırmacıları tarafından yürütülen içeriklerin oluşturulması ve metinlerin yazılması (b) etkinliği ile medya ekibi tarafından yürütülen video prodüksiyon senaryolarının yazılması (c) etkinliği için, yine müze araştırmacıları tarafından yürütülen müze içerik araştırmalarının yapılması (A) etkinliği, B ve C işlemlerinin başlatılabilmesi için mutlaka tamamlanması gereken ve kesintiye uğratılamayacak bir etkinliktir. Bu durumun nedeni, A etkinliği sırasında müzenin temasıyla ilgili gerekli bilgilerin toplanması, tasnif edilmesi ve metin içeriği için yeterli bilgi ve donanımın ulaşılması gerekliliğidir. Böylelikle, müze araştırmacıları tarafından içeriklerin oluşturulması ve metinlerin yazılması ile medya ekibi tarafından içeriklere yönelik video prodüksiyonlarının hazırlanması gibi sonraki etkinliklerin tamamlanması mümkün hale gelebilmektedir. Tabloda belirtilen diğer etkinlikler içinde öncüllük bağı kuvvetli olduğundan ve firma yetkililerinin bu işlemlere ara verilmesine imkân vermediğinden kesintiye uğratmak mümkün değildir.

Katı öncül ilişkilerinin aksine öncüllük bağı çok kuvvetli olmayan öncüllük ilişkilerine ise esnek öncüllük ilişkileri olarak tanımlanmakta olup, Tablo 3.4'te probleme ilişkin bu öncül görevlerine yer verilmiştir.

Tablo 3.4. Esnek Öncül İlişkileri

Etkinlik	Esnek Öncül (Ardıl ile Koordineli Yürütülebilir)
E	C-D
F	E
G	B
H	F
I	G
P	O
S	M-N
T	S

Tablo 3.4’te ise belirtilen etkinlikler için esnetilebilir ve koordineli şekilde yürütülebilir işlemler belirtilmiştir. Esnetilebilir işlemlerde öncüllük kuvvetinin katı etkinliklerdeki gibi kuvvetli olmadığı ve ekipler tarafından yürütülen bu etkinliklerde belirli ölçülerde koordineli yürütülebilecek durumda olan etkinliklerin varlığı ön plana çıkmaktadır.

Tablo 3.3 açıklamasında katı öncüllere ilişkin yapılan açıklamaların aksine esnek öncüllük durumlarında öncül ve ardıl etkinlikler birtakım kısıtlar çerçevesinde koordineli yürütülebilmektedir. Örneğin, G etkinliğinin esnek öncülü B etkinliği olup bu etkinliğin öncülü tamamlanmadan belirli şartlar altında öncül etkinliğinin yürütüldüğü esnada başlayabilmesi mümkündür. Bu şartlarla ilgili daha detaylı tanım Tablo 3.6 açıklamasında belirtilmeye çalışılmıştır.

Koordineli yürütülecek olan işlemlerde ara verilen ve üstlenilen işler aynı ekipler tarafından gerçekleştirilecekse hem diğer etkinliğin gerçekleştirilme süresi hem de bir işlemin yarıda bırakılması sebebiyle teknik ya da hazırlık aşamalarında iş yükünün artması sebebiyle etkinlik sürelerinin uzama durumları söz konusu olabilmektedir. Bu sebeple gerçekleşen sürelerle yönelik süre uzaması aşağıda Tablo 3.5 yardımıyla verilmiştir.

Tablo 3.5. Öncülleriyle Koordineli Başlatılacak Etkinliklerin Uzama Süreleri

Etkinlik	Etkinlik Uzama Süresi	Öncül	Öncül Uzama Süresi
E	1 Gün	C	1 Gün
E	1 Gün	D	1 Gün
F	2 Gün	E	-
G	-	B	-
H	2 Gün	F	-
I	-	G	-
P	-	O	-
S	-	M	-
S	1 Gün	N	-
T	-	S	1 Gün

Tablo 3.5’te belirtilen süre uzamaları, eğer bir işlemin öncülü tamamlanmadan başlayıp belirli bir süre etkinliğin öncülü ile beraber koordineli ilerlemesi sağlanacaksa gerçekleşmektedir. Bu durum etkinliklerin koordineli yürütülme işleminin öncesinde hazırlık işlemlerinden kaynaklı veya etkinlik tamamlanma süreçlerindeki süre uzamalarını ifade etmektedir. Örneğin, video prodüksiyon senaryolarının yazılması (C) medya ekibi tarafından yapılmakta olup, müze araştırmacıları tarafından üstlenilecek ingilizce içerik için videoların ve teknolojik sunumların deşifrelerinin ve tercümelerinin yapılması (D) ve pano metnlerinin yazılması ve ingilizce tercümelerinin yapılması (E) etkinliğinin alt yapısını oluşturmaktadır. Video prodüksiyonlarında bulunan senaryolar Pano metnleri ve teknolojik sunumlarda kullanılacak video görsel ve kiosklardaki bilgilerle birbirini destekler niteliktedir. Bu sebeple “E” etkinliği için “C” ve “D” etkinliklerinden birinde esnek öncelik sağlanıyorsa hazırlanan çalışmaların ekipler tarafından birbirine sunulması ve etkinlik öncesi görev çizelgelerinde değişiklik olmasına sebebiyet verileceğinden bu etkinliğin süresinde 1’er günlük süre uzaması gerçekleşmektedir. Bu veriler firmanın deneyimlerine dayanarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.6’da ise etkinliklere ilişkin olgunlaşma sürelerine ilişkin veriler sunulmaktadır. Olgunlaşma süreleri bir etkinlik için esnek öncül ilişkisinin ortaya çıkması durumunda ardıl etkinliğin başlama yapabilmesi için öncül etkinlikte geçmesi gereken süreyi ifade etmektedir.

Tablo 3.6. Etkinliklerin Koordineli Yürütülmesine İlişkin Olgunlaşma Süreleri

Etkinlik	B	C	D	E	F	G	M	N	O	S
Olgunlaşma Süresi (Gün)	2	4	4	1	1	5	3	4	4	2

Etkinliklerin bilinen planlanan sürelerinin içinde ardılı ile koordineli yürütölme durumlarında, öncül etkinlikler için başlangıçtan sonra gerçekleşen olgunlaşma süreleri bulunmaktadır. Bu bilgiler Tablo 3.5’te verilen esnetilebilir işlemlere ait olgunlaşma sürelerini belirtmektedir, zira diğer etkinlikler katı işlemlere ait olduğundan ve koordineli yürütme işlemine uğratılmadığından bu tabloda esnek işlemlere ait olan olgunlaşma sürelerinin harici değerler anlam içermeyeceğinden tabloda sunulmamıştır. Olgunlaşma süreleri, bir etkinliğin başlangıcı yapıldığı süreden itibaren en erken paralel yürütmenin gerçekleştirilme süresini ifade etmektedir. Olgunlaşma sürelerinin sebebi; bir etkinliğin esnek öncüllük ilişkisine sahip olsa dahi öncül etkinliğinde kesinlikle tamamlanması gereken süreyi veya başlangıç yapılabilmesi için öncül etkinliğinde belirli bir iş süresinin tamamlanma gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Örneğin sözlü tarih video kurgularının yapılması (G) etkinliği öncülü olan içeriklerin oluşturulması ve metinlerin yazılması (B) etkinliği ile koordineli yürütülebilir. Ancak bu paralel yürütme gerçekleşecekse B etkinliğinde metinlerin hazırlanması içerisinde de alt görevler olabilmekte ve müze araştırmacılarının iki günlük süre içerisinde G etkinliğinin yapılabilmesi için medya ekibinin gerekli metinleri elde etmesi gerekmektedir. Bu yüzden olgunlaşma süreleri önem arz etmektedir. Aynı şekilde, etkinlik I için koordineli yürütme gerçekleşecekse “G” işleminin 5 günlük işlem süresi tamamlanması gerekmektedir. Bu etkinlikte 5 günlük süre tamamlanmadan önce I ardılı için G öncülü koordineli yürütme gerçekleştiremez. Çizelgeleme problemi açısından 5 günlük süre geçtikten sonra kısıtların yapısı göz önünde bulundurularak 15 günlük tamamlanma süresinin 10 günlük süresinde herhangi bir gün paralel yürütme sağlanabilmesi mümkündür.

Gerçekleştirilen araştırmayı literatürde bulunan diğer araştırmalara kıyasla özgün yapan bir diğer hususta bu bağlamda değinilen bilgilerdir. Örneğin *Ve/Veya Öncelik Kısıtlamaları* ile ilgili literatürde yapılan araştırmalar (Bkz. Lee vd. 2012) etkinliklerin

alt görevlerini kısımlara ayırırken (G1, G2, G3 vb.) ve bu alt görevlerde de esneklikler sağlanırken aynı katı öncelik gibi alt görevlerin tüm sürelerinin tamamlanması gerekmektedir. Gerçekleştirilen araştırmada oluşturulan model, olgunlaşma süresi geçtikten sonraki süreyi de esnek bırakmakta ve kısıtların uygunluğuna göre olgunlaşma süresi geçtikten sonra koordineli başlatmayı herhangi bir iş gününde uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Örneğin, I etkinliği G etkinliği ile koordineli yürütülecekse G etkinliğinin olgunlaşma süresi olan 5 gün dikkate alınıp I etkinliği G etkinliğinin 5. Günü ile G etkinliğinin tamamlandığı 15. gün arasında herhangi bir gün başlatılabilir. Bu durum problemin karmaşıklığını ve iterasyon sayısını daha da artırmaktadır. Bu karmaşıklığa rağmen verilecek bu karar, araştırmada sunulan modelin optimal çözümüne bırakılmış bir değişken olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu bilgilerin yanı sıra, araştırma probleminin hibrit yapıda olmasını sağlayan diğer kısıtlar aşağıda sıralanmıştır:

- Ekipler aynı anda birden fazla etkinlik yürütemezler (reklam ve baskı ekibi gibi istisna ekipler hariç).
- Bir etkinlik esnek yapıda olsa dahi öncül etkinlik tamamlanmadan ardıl etkinliğin tamamlanması mümkün değildir.
- Bir etkinlik birden fazla esnekliğe uğratılamaz.

Belirtilen kısıtların ortaya çıkmasının sebebi, müze tasarımı görevlendirilen ekiplerin uzman kadrolar olması sebebiyle ekip kapasitesinin artırılma, fazla mesai vb. durumlarının olmamasından kaynaklı olarak paralel süreçlerde yüklendikleri etkinlikler dışında başka işlemlerle ilgilenemeyecek olmasıdır. Etkinliklerde meydana gelen diğer kısıtlar ise, bir etkinlik öncülü ile koordineli yürütülse dahi iş akışı bakımından öncül etkinliğin daha önce tamamlanması ve ardıl etkinliğin tamamlanma işlemleri için zemin oluşturması gerekmektedir. Ayrıca proje yöneticileri koordinasyon bakımından karışıklığa sebebiyet vermemek adına bir etkinliğe ancak bir defaya mahsus esnek öncüllük ilişkisi tanımlanabileceğini uygun görmüşlerdir.

3.2. PROBLEMİN TANIMI

Araştırmaya konu çizelgeleme probleminde, ana faaliyet konusu müze tasarımı ve restorasyon olan bir firmanın deneyimlerine ve projelerde karşılaştığı problemlere ilişkin

bilgiler göz önünde bulundurularak gerçekleştirmiş olduğu bir proje referans alınarak benzer yapı ve özelliklerde firma yetkilileri tarafından oluşturulmuş bir süreç ele alınmaktadır. Bu projede; 5 temel operasyonel süreç olduğu, bu süreçler içerisinde “İç Mimari Tasarımı ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması” sürecine ilişkin 19 farklı iş tanımı olduğu, farklı uzmanlıklar gerektiren bu işlemlerin 7 farklı ekip tarafından gerçekleştirileceği, işlemlerin kesin planlanan sürelerinin bulunduğu, işlemlere yönelik kesintiye uğratılamayacak katı işlemlerin ve koordineli yürütülmeye olanak sağlayacak esnek tipte işlemlerin varlığı bilinmektedir. Ayrıca esnekliğe uğratılacak işlemlerde uzama süreleri ile etkinliklerin koordineli yürütülmesi işleminden önce olgunlaşma sürelerinin varlığı bilinmektedir. Ayrıca firma yetkililerinin projenin ihale şartnamelerinde bulunan teslim sürelerini göz önünde bulundurarak bu operasyonel sürecin kesin tamamlanma süresini 260 gün olarak belirlediği bilinmektedir.

Doktora tezine konu olan problem, yapısına göre literatürde aşağıdaki özelliklerle sınıflandırılmıştır:

1. **Kaynak Kısıtları:** Araştırmada mevcut etkinlikleri üstlenen 7 farklı ekip bulunmaktadır. Bu ekipler görevleri dışında herhangi bir etkinlik üstlenemeyeceği için problemde kaynak olarak ortaya çıkmakta ve araştırma probleminin kaynak kısıtlı bir proje çizelgeleme problemi (KKPÇP) sınıfına dahil olduğunu göstermektedir. Kaynak kısıtlı projelerde, belirli görevlerin sınırlı kaynaklarla tamamlanması hedeflenmektedir (Kolisch ve Hartmann, 1999: 366).
2. **Faaliyetlerin Öncüllük İlişkileri:** Belirtilen öncül-bağımlılık ilişkileri, faaliyetlerin sıralamasını tanımlar ve öncelik kısıtlı proje çizelgeleme problemi (Precedence-Constrained RCPSP) kapsamında ele alınmaktadır.
3. **Ve/Veya Öncelik Kısıtlı İşlemler:** Problemin verilerine dayanarak, bazı faaliyetlerin öncüllük yapısının katı, bazı öncül ilişkilerinin ise esnek olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda problemin yapısının *Ve/Veya* (And/Or) öncelik kısıtları modeline büyük ölçüde uygun olduğu düşüncesini ortaya çıkarmaktadır. Bu tür problemlerde özellikle, bir görevin başlaması için tüm öncüllerinin tamamlanması gerektiğinde "*Ve*" kısıtı, öncüllerinden herhangi birinin tamamlanması yeterli olduğunda ise "*Veya*" kısıtı uygulanmaktadır. Bu tür kısıtlar, proje zamanlama problemlerinin modellenmesinde daha esnek ve

gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır. Örneğin, Gillies ve Liu (1993), *Ve/Veya* öncelik kısıtlarıyla görevlerin zamanlanması üzerine yaptıkları çalışmada bu kısıtların uygulanabilirliği ile ilgili algoritmaları ileriye sürmüşlerdir. Ayrıca, Möhring vd. (2004), *Ve/Veya* öncelik kısıtlarıyla zamanlama problemlerinin çözümüne yönelik verimli algoritmalar geliştirmişlerdir.

4. **Esnek Öncelik Kısıtlı İşlemler:** Araştırma probleminin veri ve süreçlerine göre; öncüllük kısıtlamalarında katı diye tabir ettiğimiz, öncül etkinlik tamamlanmadan ardıl etkinliklerin başlamasının yapılamayacağı öncüllük ilişkileri ve araştırmada esnek öncüller olarak değinilen öncülü tamamlanmadan koordineli olarak başlangıç yapabilen ardıl ilişkilerini ifade etmektedir. Bu durum yapısal olarak literatürde değinilen “*Ve, Veya Öncelik Kısıtlamaları*” (And/Or Precedence Constraints) problemlerine benzer özellikler taşısa da birtakım özellikler açısından bu tip problemlerden ayrılmaktadır. Literatürde *Ve, Veya* problemleri genel itibarıyla mevcut etkinlikleri alt görevlere ayırmakta (Örn. A etkinliği için; A1, A2, A3 veya Aa, Ab, Ac vb.), sonrasında bu alt görevleri *Ve/Veya* görevleri olarak değerlendirmekte ama alt görevlerinde sürelerini sabit kabul ederek alt görevlerin sürelerinin de tamamlanmasını temin etmektedir. Araştırma probleminin özelliklerinden birini teşkil eden esnek öncelik kısıtlamalarında ise alt görevler etkinliğin olgunlaşma süresine göre belirlenip olgunlaşma süresi sonrası öncül etkinliğin tamamlanma süresi gerçekleşene kadar ardıl etkinliğin başlaması da herhangi bir güne denk gelebilecek şekilde esnek olarak bırakılmaktadır. Pratikte bu tip problemlerle güncel hayat içerisinde sıklıkla karşılaşılmasına rağmen literatürde değinilmediği farkedilmiştir. Müze tasarım alanında karşılaşılan bu probleme ilişkin yeni bir kısıta ilişkin tanımlamalar yapılmaya çalışılmıştır.

Probleme ilişkin veriler dikkate alındığında, problemin proje çizelgeleme literatüründe “Esnek Öncül Kısıtlı Hibrit Proje Çizelgeleme Problemleri (Flexible Precedence Constrained Hybrid Project Scheduling Problems)” olarak adlandırılan bir sınıfa ait olabileceği belirlenmiştir. Hibrit bir yapıya sahip olan bu tür sistemler, esneklik ve optimizasyon açısından daha karmaşık modeller gerektirmektedir. Bu tür bir model, müze tasarımı gibi çoklu ekiplerin yer aldığı projelerde, esneklik ve optimizasyon gereksinimlerini karşılamak için uygundur. Literatürde bu tür problemler, genellikle

genetik algoritmalar, tabu arama ve doğrusal programlama teknikleri ile çözülmekte olduğu gözlemlenmektedir

3.3. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Son yıllarda, dünyada ve ülkemizde özel statüde bulunan müzelerin sayısında gözle görülür bir artış yaşanmış ve bu durum, müze tasarımının ayrı bir uzmanlık alanı olarak gelişmesine olanak sağlamıştır. TÜİK verilerine göre, 2022 yılında ülkemizde toplam müze sayısı 555'e ulaşmış olup, bu müzelerin 341'i özel statüde yer almaktadır. Aynı yıl toplam müze ziyaretçi sayısı ise 45.822.525 olarak kaydedilmiştir (TÜİK, 2022). Özel statüde hizmet veren müzelerin sayıca yüksek olması, sektördeki araştırmacılar ve nitelikli personel için ihtiyaç duyulan kaynakların geliştirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Ancak literatürde, özellikle yerli ve yabancı kaynak sayısının sınırlı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu araştırmada, müze tasarım alanında karşılaşılan bir gerçek hayat problemine dayalı özgün bir matematiksel model geliştirilmiştir. Çalışma, hem bu alanda araştırma yapan bilim insanlarına hem de sektörde faaliyet gösteren uzmanlara kaynak sunabilecek yeni bir model sunmayı hedeflemektedir. Müze tasarımının kendine özgü dinamikleri ve kısıtları sebebiyle, gantt şeması, CPM gibi geleneksel proje çizelgeleme tekniklerinin bu tür problemlerde yetersiz kalabildiği ya da esnetilerek uygulanamadığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda geliştirilen model, yalnızca özgün bir yaşam problemine çözüm sunmakla kalmayıp, sektörde karşılaşılan diğer problemlere de uyarlanabilir bir çözüm önerisi sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışmanın, bu yönleriyle hem sektörel uygulamalara hem de akademik literatüre önemli bir katkı sunma potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir.

Nitekim bu doktora tezine ilişkin veriler incelendiğinde, proje yöneticilerinin araştırmada ele alınan operasyonel sürece yönelik tamamlanma süresini 260 gün olarak belirlemesine karşın, firmanın halihazırda devam eden projelerinin olduğu veya yeni ihale süreçlerini değerlendirebileceği varsayımı ile etkinliklerin başlama ve tamamlanma süreçlerinin yeniden sıralamasının yapılması ile tamamlanma sürelerinin daha da kısaltılacağı düşünülmektedir. Genel itibarıyla işletmeler açısından maliyetlerin minimizasyonu ve kâr hedeflerinin maksimizasyonu önem arz etse dahi, araştırmaya konu sektör incelendiğinde; şu anki konjonktürde rakiplerin azlığı ve rekabet ortamının sert olmadığı, rakip firmaların da maliyetlerin benzer seviyede olduğu, bu alanda faaliyet

gösteren firmalar açısından tamamlanma sürelerinin daha ön planda olduğu gözlemlenmektedir. Çünkü genel itibariyle kamu sektöründe yüklenici olan bu firmaların, teslim sürelerinde yaşayacakları gecikmelerden ötürü ağır ihale şartnameleri gereği büyük yükümlülükler altına girdikleri ve tamamlanma sürelerini minimize ederek problemde kaynak olarak ele aldığımız ekiplerin projelerde geçirdikleri süreleri iyi yöneterek başka projelere yönlendirebilmelerini sağlamak amacı güdülmektedir. Bu yetkinlikte daha çok fırsatı değerlendirmeyi ve dolaylı olarak hem iş gücünü hem de kısıtlı zamanı verimli kullanarak kâr maksimizasyonunu etkili biçimde gerçekleştirme olanağı sağlamaktadır. Bu açıdan doktora tezinde ele alınan problemin özgünlüğü ve gerçek bir yaşam problemine çözüm sunma hedefi çalışmanın önemini ve orijinalliğini ön plana çıkarmaktadır.

Bu durumların yanı sıra pratik yaşamda karşılaşma olanağı yüksek olan ama literatürde yeni bir tanımlama olan esnek öncelik ilişkileri ile ilgili dinamik bir problem ele alınarak problemde karşılaşılan diğer kısıtlarla uyumlu bir yapıda model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model ise Python programlama dilinin Pyomo eklentisi vasıtasıyla NEOS (Network-Enabled Optimization System) sunucuları yardımıyla optimal çözüm elde edilmiştir. NEOS sunucuları optimizasyon problemlerinin çözümleyicilerine ücretsiz erişim sağlayan internet tabanlı istemci-sunucu uygulamasıdır. Sunucu, Wisconsin-Madison Üniversitesi'ndeki Wisconsin Keşif Enstitüsü tarafından yönetilmektedir. Çözücüler yüksek performanslı makinelerden oluşan bir kümede çalışmaktadır. Yüksek performanslı işlemcileri sayesinde optimizasyon problemlerine kısa sürede çözümleme sonucu üretmektedir (NEOS, Erişim 25 Mayıs 2025)

Araştırmaya konu olan problemin yapısı itibariyle literatürde zor olarak nitelendirilmesine rağmen, NEOS sunucuları yardımıyla kısa süre de optimal çözüm elde etmiştir. Çözüm için NEOS sunucularından faydalanmak, ayrıca problemin çözümünde modelin çalıştırıldığı bilgisayar işlemcisine ek yük yüklenmemesini ve çözüm için sunucularının yüksek işlemci yeteneğini kullanarak hızlı çözüm elde edilmesini sağlamıştır. Bu yönleriyle de araştırmanın orijinalliği dışında, araştırmadan faydalanacak kişilere kullanıcı dostu bir programlama senaryosu sunması yönünden önemi ön plana çıkmaktadır.

3.4. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Doktora tezine konu olan proje çizelgeleme probleminde matematiksel model kurularak optimal çözüm elde edilmiştir. Problemin yapısı ve çözüm yöntemi açısından Doğrusal Programlama yöntemlerinden Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yöntemi (MILP - Mixed Integer Linear Programming) kapsamına girmektedir.

Doğrusal programlama (DP), belirli bir amaç fonksiyonunu en iyilemek (maksimize veya minimize etmek) için doğrusal kısıtlar altında karar değişkenlerinin en uygun değerlerini belirlemeyi amaçlayan bir matematiksel modelleme tekniğidir. Bu yöntem, üretim planlaması, kaynak tahsisi ve lojistik gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Bazaraa vd., 2010, s. 120-125). DP'nin temel varsayımları arasında, tüm ilişkilerin doğrusal olması ve karar değişkenlerinin kesirli değerler alabilmesi yer almaktadır (Hillier ve Lieberman, 2015, s. 140-145).

Ancak, gerçek dünya problemlerinde bazı karar değişkenlerinin yalnızca tam sayı değerler alması gerekebilir. Bu tür durumlar, Tam Sayılı Programlama (TP) olarak adlandırılır. TP, tüm karar değişkenlerinin tam sayı olduğu tamamen Tam Sayılı Programlama ve sadece bazı değişkenlerin tam sayı olduğu Karma Tam Sayılı Programlama (KTP) olarak ikiye ayrılır. KTP, doğrusal programlamanın esnekliğini tam sayılı programlamanın kesinliğiyle birleştirerek hem tam sayı hem de kesirli değişkenleri içeren problemleri çözmeyi hedefler (Bertsimas ve Tsitsiklis, 1997, s. 175-180).

KTP, özellikle proje çizelgeleme, üretim planlaması ve kaynak tahsisi gibi alanlarda karşılaşılan karmaşık problemlerin modellenmesinde etkilidir. Araştırmanın problemine ilişkin oluşturulacak modellemeye; hem tam sayılı hem de binary (ikili değişken veya 0-1 değişkeni) karar değişkenlerinin varlığı, esnek öncül ilişkili işlemler için tanımlanmış doğrusal kısıtların bulunması ve amaç fonksiyonun doğrusal yapıda olması sebebiyle KTP olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür problemler hem tam sayı hem de ayrık değişkenlerin varlığı nedeniyle KTP'nin kapsamına girmektedir (Winston, 2004, 320-325).

Araştırma konusu probleme yönelik oluşturulan karma tam sayılı doğrusal programlama modeli Python programlama dilinin Pyomo eklentisi yardımıyla çözülmüştür. Pyomo, optimizasyon modelleme için tasarlanmış bir dil olup Python tabanlı olarak kullanılmaktadır. Bu yazılım dili, kullanıcıların doğrusal ve doğrusal

olmayan programlama problemlerini tanımlamalarına olanak tanıyarak geniş bir çözümleyici yelpazesıyla uyumlu olarak kullanılabilmektedir. Bu özellik, Pyomo'yu karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için güçlü bir araç haline getirmektedir. Bu bağlamda, Pyomo'nun MILP problemlerindeki rolü, esnek modelleme yetenekleri ve çeşitli çözümleyicilerle entegrasyonu sayesinde önemli bir yer tutmaktadır (Warner, 2022, s. 24-25). Yazılım kodlarında CPLEX çözücüsü kullanılarak bu karmaşık problemde optimal çözüm bulunması hedeflenmiştir. Problemin, esnek öncül ilişkili işlemleri aynı anda ele alması, kaynak kısıtlarını ve iş sıralarını içermesi ile karmaşıklığı yüksek seviyededir. Pyomo kodunda kullanılan çözüm motoru, CPLEX olarak belirtilmiştir çünkü; CPLEX, özellikle KTP problemleri için dallanma-sınırlandırma (Branch-and-Bound), dallanma-kesme (Branch-and-Cut) gibi yöntemler kullanarak çözüm uzayını daraltmayı hedeflerken daha esnek ve çözüme ilişkin süreçte daha geniş bir model türü sunmaktadır (Brooke vd., 1998, s. 12-15).

Ayrıca matematiksel modelin elde ettiği sonuçları kıyaslama yapabilmek üzere çizelgeleme problemlerinde sıklıkla kullanılan ve genel kabul görmüş yöntemlerden biri olan CPM yöntemi ile çözüm sonucu ayrıca elde edilmiştir. Kıyaslama yöntemi olarak PERT yerine CPM ile çözüm elde edilmesinin sebebi; Pert Yöntemi etkinliklerin Olası En Kısa Süre (optimistic), Olası En Muhtemel Süre (most likely) ve Olası En Uzun Süre (pessimistic) verilerine ihtiyaç duymasıdır. Buna karşın CPM kesin ve deterministik veri ile çalışmaktadır. Nitekim araştırma verileri de planlanan kesin sürelerle dayanmakta olup CPM ile veri yönünden paralellik göstermektedir. CPM tüm etkinlik sürelerini sabit ve bilinir olarak kabul ederek sabit sürelerle kritik yolu ve toplam proje süresi hesaplamaktadır. Nitekim doktora tezine konu olan probleme ilişkin veriler CPM yöntemine uygun olduğundan bu yöntem tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra model çözümü ile elde edilen ve CPM yöntemi ile elde edilen sonuçlar, gantt diyagramı ve ağ diyagramı yardımı ile şematik biçimde ifade edilmiştir. Bu durum her iki yöntemin araştırmadan faydalanacak araştırmacılar tarafından daha iyi anlaşılabilmesi ve yorumlanabilmesi adına gerçekleştirilmiş olup, diyagramlar uygulama ve bulgular adımıyla sunulmuştur.

3.5. ÇİZELGE PROBLEMİNİN MODELLENMESİ VE UYGULAMA

Bu bölümde araştırmaya konu olan esnek öncül kısıtlı hibrit proje çizelgeleme problemine yönelik verilerin karma tam sayılı doğrusal programlama yöntemiyle

matematiksel model kurulmasına ve elde edilen sonuçların, kritik yol yöntemiyle de ayrıca elde edilen bulgularla kıyaslanmasını içermektedir. Bu bölüm, elde edilen her iki sonuç için de gantt diyagramı ve ağ diyagramı hazırlanarak şematik görsel sonuçlarını kapsamaktadır.

3.5.1. Parametreler

Matematiksel modelleme sürecinde parametreler, modele dışarıdan sağlanan sabit değerler olarak tanımlanır ve modelin belirli bir bağlamda çalışmasını sağlamaktadır. Parametreler, modelin dinamik yapısını oluşturur ve gerçek dünya problemlerinin soyutlanmış bir şekilde ifade edilmesine olanak tanır. Genellikle karar değişkenlerinin değerlerini optimize etmek için kullanılırlar ve modelin sınırlarını belirlerler. Parametreler, statik değerlere sahip oldukları için modelin çözüm sürecinde değişmezler ve genellikle problemle ilgili dışsal verilerden türetilirler. Bu nedenle, doğru parametrelerin seçimi, modelin geçerliliği ve uygulanabilirliği açısından kritik öneme sahiptir (Bazaraa vd., 2010, s. 85-90; Hillier ve Lieberman, 2015, s. 180-185.).

İndisler

e : Etkinlikleri ifade eden indistir.

e' : Öncül etkinlikleri ifade etmektedir.

g : Günleri ifade eder. Planlama periyodu boyunca günleri temsil eder ve G (Planlama Günleri) kümesi içinde yer alır.

b : Ekipleri ifade eden indistir. Modelde B (Ekipler) kümesi içindeki herhangi bir ekibi temsil eder.

q : Ekiplerin aynı zaman periyodu içerisinde yüklenebilecekleri etkinlik sayısını ifade eder.

b' : İstisnai ekipleri temsil eder (q olarak belirtilen rakamsal ifadeden istisna olan ekiplerdir).

İndislerde kullanılan küçük harfler herhangi bir elemanı gösterirken büyük harfler tek işi göstermektedir. Örneğin $x_a, a \in E$ küme içindeki herhangi bir a etkinliği için x değerini ifade etmekten, x_A ise A etkinliği için x değerini ifade etmektedir.

Küme ve Parametreler

I : Etkinliklerin kümesi.

- t_e : e etkinliğinin planlanan bitiş süresi.
- O_e : e etkinliğinin başlayabilmesi için kesinlikle bitmesi gereken katı etkinlikler kümesi.
- Y_e : e etkinliğinin başlayabilmesi için koordineli başlatılacak esnek etkinlikler kümesi.
- $GY_{e,e'}$: e etkinliğinin başlayabilmesi için esnekliğe uğrıtılacak e' etkinliğinin olgunlaşma süresi.
- $CY_{1e,e'}$: e etkinliğinin, e' etkinliği bitmeden başlatılması durumunda e etkinliğinde artacak olan süre.
- $CY_{2e,e'}$: e etkinliğinin, e' etkinliği bitmeden başlatılması durumunda e' etkinliğinde artacak olan süre.
- S_e : e etkinliğinin başlama zamanı.
- F_e : e etkinliğinin bitiş zamanı.
- B : ekiplerin kümesi.
- B_e : e işini yapan ekip.
- I_b : b ekibinin yapabildiği işler kümesi.
- G : Planlama günleri kümesi ($G = \{1, 2, \dots, \sum_e t_e\}$).
- M : Yeteri kadar büyük bir sayı.

Küme ve parametrelere ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir.

- **Etkinlikler Kümesi (I):** Bu parametre, modellenen projede gerçekleştirilecek tüm etkinlikleri temsil eder. Her etkinlik, belirli bir sürede tamamlanmak üzere planlanır ve diğer etkinlikler arasındaki ilişkiler bu küme üzerinden tanımlanır.

- **Planlanan Bitiş Süresi (t_e):** Her bir etkinliğin tamamlanması için tahmin edilen süreyi ifade eder. Bu süre, modelde zaman yönetimini ve toplam proje süresini optimize etmek için kritik bir parametredir.

- **Katı Öncelik İlişkileri (O_e):** Bir etkinliğin başlayabilmesi için tamamlanması gereken diğer öncül etkinlikleri ifade eder. Bu parametre, etkinliklerin sıralanmasını ve önceliklerini belirleyerek, bağımlılıkların modellenmesini sağlar.

- **Esnek Öncelik İlişkileri (Y_e):** Başka bir etkinlik sırasında esnekliğe uğrayabilecek öncül etkinlikleri ifade eder. Bu, esneklik gerektiren durumlarda işlerin nasıl yönetileceğini tanımlamak için kullanılır.

- **Geçiş Süresi ($GY_{e,e'}$):** Bir etkinlik başlamadan önce, esnekliğe uğrayacak başka bir etkinlikte ne kadar süre çalışması gerektiğini ifade eder. Bu parametre, koordineli iş süreçlerinde bekleme sürelerini optimize etmeye yardımcı olur. Olgunlaşma süresini ifade eder.

- **Etkinlik Süresi Artışları ($CY_{1e,e'}$, $CY_{2e,e'}$):** Bir etkinliğin öncül etkinlik tamamlanmadan başlaması durumunda, sürenin ne kadar artacağını ifade eder. Bu parametreler, koordineli işler arasındaki etkileri modellemek için kullanılır. $CY_{1e,e'}$ koordineli başlatılacak etkinliklerde etkinlik (ardıl) için artan süreyi ifade ederken, $CY_{2e,e'}$ ise öncül etkinlikte artan etkinlik süresini ifade etmektedir.

- **Başlama/Bitiş Zamanları (S_e, F_e):** Her etkinliğin başlayabileceği veya tamamlanabileceği en erken ve en geç zamanları temsil eder. Bu parametreler, proje sürelerini sıkıştırma veya genişletme durumlarında kullanılır.

- **Ekiplerin Kümesi (B):** Projede görev alacak ekipleri tanımlar. Her ekibin belirli bir uzmanlık alanı vardır ve bu parametre, kaynak yönetimi için önemlidir.

- **Ekip-Etkinlik Uyumu (B_e, I_b):** Her ekibin hangi işleri yapabileceğini ve hangi işlerin hangi ekipler tarafından gerçekleştirildiğini belirler. Bu parametreler, kaynakların etkin kullanımını sağlamak için kullanılır.

- **Planlama Günleri (G):** Proje süresince kullanılabilir günleri ifade eder. Bu, tüm etkinliklerin zamanlamasının yapılacağı zaman çerçevesini belirlemektedir.

- **Yeterince Büyük Bir Sayı (M):** Matematiksel modellerde kullanılan bir teknik parametredir. Genellikle koşullu kısıtları modellemek ve karar değişkenlerini ilişkilendirmek için kullanılır.

3.5.2. Karar Değişkenleri

Karar değişkenleri, amaç fonksiyonun optimize edilebilmesi için farklı değerler alabilen model bileşenleridir. Bu değişkenler, modelin amaç fonksiyonunu maksimize etmek veya minimize etmek için kısıtlar çerçevesinde değerler alabilmektedir. Karar

değişkenleri, genellikle modelin çözümünden doğrudan elde edilen sonuçları ifade eder ve çözüm sürecinde modelin dinamik bileşenlerini oluşturur. Doğru tanımlanan karar değişkenleri, modelin esnekliğini artırmakta etkili olup, gerçek dünya problemlerine uygun çözümler sunmaktadır (Hillier ve Lieberman, 2015, s. 190-195).

$$x_{e,g} = \begin{cases} 1, & e \text{ etkinliği } g \text{ günü yapılmaya devam eder} \\ 0, & \text{diğer hallerde} \end{cases}, e \in I, g \in G \quad (3-1)$$

$$z_{e,e'} = \begin{cases} 1, & e \text{ etkinliği koordineli olarak } e' \text{ bitmeden başlar} \\ 0, & \text{diğer hallerde} \end{cases}, e, e' \in I, e' \in Y_e \quad (3-2)$$

$$s_e: \quad e \text{ etkinliğinin yapılmaya başladığı gün. } e \in I, s_e \in G \quad (3-3)$$

$$f_e: \quad e \text{ işinin bittiği gün. } e \in I, f_e \in G \quad (3-4)$$

(e etkinliği $[s_e, f_e]$ zaman aralığında yapılmaktadır.)

$X_{e,g}$: Etkinlik-Zaman Atama Değişkeni

- Bu karar değişkeni, e işinin g gününde yapılıp yapılmadığını ifade eder.
- Bu değişken, işlerin hangi günlerde aktif olduğunu belirlemek ve toplam proje süresini optimize etmek için kullanılır.

$Z_{e,e'}$: Koordineli Etkinlik Değişkeni

- e işinin, e' işi tamamlanmadan önce başlatılıp başlatılmadığını ifade eder.
- Bu değişken, koordineli işlemlerin yönetilmesi ve etkinliklerin esnek şekilde planlanması için modelde kritik bir rol oynar.

s_e : Etkinliklerin Başlama Günü

- e etkinliğinin en erken hangi gün başlayacağını ifade eden bir tam sayılı değişkendir.
- Bu değişken, işlerin zamanlama planını optimize etmek ve tüm işlerin birbirine olan bağımlılıklarını modellemek için kullanılır.

f_e : Etkinliklerin Bitiş Günü

- e etkinliğinin tamamlanacağı günü ifade eden bir tam sayılı değişkendir.

- Bu değişken, toplam proje süresinin minimize edilmesi için önemlidir ve genellikle amaç fonksiyonunda doğrudan yer alır.

3.5.3. Amaç Fonksiyonu

Matematiksel modellerde amaç fonksiyonu, modelin çözüm sürecinde optimize edilmesi gereken hedefi ifade eder. Genellikle, bu hedef ya maliyeti minimize etmek ya da kârı, verimliliği veya faydayı maksimize etmek şeklinde belirlenmektedir. Amaç fonksiyonu, modelin genel yapısını belirleyen temel unsurdur ve tüm karar değişkenleri bu fonksiyona göre optimize edilmektedir (Hillier ve Lieberman, 2015, s. 14). Nitekim çalışmada gerçekleştirilecek amaç fonksiyonu da toplam tamamlanma süresini minimize etmek üzere kurulmuştur.

(3-5)

$$\min z = \sum_{e \in I} f_e$$

Amaç fonksiyonu tüm etkinlikler için tamamlanma süresinin minimize edilmesini ve bu sayede proje tamamlanma süresinin en kısa zamanda optimize edilmesini hedeflemektedir.

3.5.4. Kısıtlar

Matematiksel modellerde kısıtlar, karar değişkenlerinin alabileceği değerler üzerinde sınırlamalar getirir. Bu sınırlamalar, problem için gerçek dünya koşullarını modele yansıtarak çözülebilirliği sağlar. Aşağıda verilen kısıtlar, proje çizelgeleme probleminde iş sıralaması, zamanlama, kaynak tahsisi ve etkinlik öncelikleri gibi unsurları matematiksel olarak ifade etmektedir. Her bir kısıt, belirli bir amacı gerçekleştirmek için modele eklenmiştir.

1. Bütün etkinlikler yapılmalıdır.

$\forall e \in I$ için

$$f_e > 0, s_e \geq 0 \quad (3-6)$$

Formül 3-6'da ifade edilen kısıt, f_e etkinliğin bitiş zamanı, s_e ise başlama zamanı olup her bir değerin pozitif değer aldığını ve s_e değerinin başlangıç noktasını temsil etmektedir.

2.

$$\forall e \in I \text{ için} \quad (3-7)$$

$$f_e = s_e + t_e + \sum_{e' \in Y_e} CY_{1e,e'} \times z_{e,e'} + \sum_{e' \in Y'_e} CY_{2e,e'} \times z_{e',e}$$

Formül 3-7'de tanımlanan kısıt, her etkinliğin toplam süresinin belirtilen planlanan süre (t_e) ve esnekliğe bağlı öncül artış sürelerini içermesi gerektiğini ifade eder. Etkinlik sürelerinin eksiksiz tamamlanması sağlanır. her etkinliğin tamamlanma süresini olgunlaşma ve esnek ilişkilere bağlı süre uzatmalarıyla birlikte tanımlar. $z_{e,e'}$ değişkenleri de 0-1 ayrık değişkenler olduğundan $CY_{1e,e'}$ ve $CY_{2e,e'}$ değerlerinin hesaplamalarının yapılması modelin seçimine bırakılmıştır.

3.

$$\forall e, e' \in I, e' \in Y_e \text{ için} \quad (3-8)$$

$$s_e \geq s_{e'} + GY_{e'}$$

Formül 3-8, eğer bir etkinlikte esnek öncüllük kısıtı uygulanacaksa her ardıl etkinliğin başlamadan önce öncül etkinliklerin olgunlaşma süresini tamamlamış olmasını temin etmektedir.

4.

$$\forall e, e' \in I, e' \in Y_e \text{ için} \quad (3-9)$$

$$s_e \geq f_{e'} - BigM \times z_{e,e'} \quad (0-1)$$

Formül 3-9, esnek öncül kısıtlarında z değişkeninin aktif olup olmamasına göre ardıl etkinliğin ne zaman başlayacağını kontrol eden kısıttır. Ayrıca bu ifade, $z_{e,e'} = 0$ ise öncül etkinliğin bitmeden ardıl etkinliğin başlayamayacağını temin etmektedir.

5.

$$\forall e \in I, \forall g \in G \text{ için}$$

Bu maddede belirtilen kısıtlar, zaman çizelgesinde x değişkeni ile başlama/bitiş zamanlarının uyumlu olmasını temin etmektedir.

a.

$$BigM \times (1 - x_{e,g}) \geq s_e - g \quad (3-10)$$

Formül 3-10, etkinlik başlangıç zamanı ile gün ilişkisinin kurulduğu kısıttır

b.

$$BigM \times (1 - x_{e,g}) \geq g - f_e + 1 \quad (3-11)$$

Formül 3-11, etkinlik bitiş zamanı ile gün ilişkisinin kurulduğu kısıttır.

c.

$$(3-12)$$

$$\sum_{g \in G} x_{e,g} = f_e - s_e$$

Formül 3-12 etkinliğin planlanan süresini düzenlemeye yaramaktadır. Başlangıç ve bitiş süreleri arasındaki farkı etkinliğin planlanan süresi olarak modele entegre etmeye yarayan kısıttır.

6.

$$\forall g \in G, \forall b \in B \setminus b' \text{ için} \quad (3-13)$$

$$\sum_{e \in I_b} x_{e,g} \leq q$$

Formül 3-13, ekiplerin üstlendikleri etkinlikleri düzenleyen kısıttır. Ekipler aynı anda q 'dan fazla etkinlik üstlenip yürütemezler. Ancak istisna kümesi tanımlanmış olup bu kümedeki ekipleri kısıt dışı bırakır. İstisna kümesinde bulunan ekipler aynı anda q ifadesinde fazla etkinlik yürütme kabiliyetine sahip kaynaklardır (Bu araştırmada istisnai ekipler dışında bulunan ekipler aynı anda birden fazla etkinlik yürütemeyeceği için $q = 1$ olarak belirlenmiştir).

7.

$$\forall g \in G, \forall e, e' \in I, e' \in O_e \text{ için}$$

$$s_e \geq f_{e'} \quad (3-14)$$

Formül 3-14, bir etkinliğin başlamadan önce öncüllerinin kesinlikle tamamlanması gerektiğini temin eden kısıttır.

BÖLÜM IV: BULGULAR

Bu bölümde, kurulan modelin Pyomo programında elde edilen çözüm sonuçları, verilere ilişkin yapılan hesaplamalar ve CPM sonuçları yer almaktadır. Her iki yönteme ait sonuçların, görsel bir veri sunulup daha iyi anlaşılabilmesi adına gantt diyagramı ve ağ diyagramı yardımıyla şematik bir gösterimi sunulmuştur. Diyagramlar hesaplama adımlarından ziyade çizim tekniği olarak kullanılmıştır.

4.1. MATEMATİKSEL MODELE YÖNELİK BULGULAR

Modelin sağlanan Pyomo çözüm çıktısı incelenerek, karma tam sayılı programlama probleminin çözümünde kullanılan yönteme ilişkin modelin yapısı, çözümleme yöntemleri ve nihai sonuçlara yönelik analizlere aşağıda değinilmektedir.

Model Özellikleri ve Yapılandırması: Oluşturulan model çıktılarının temel özellikleri incelendiğinde, toplamda 7.668 karar değişkeni ve 23.774 kısıttan oluştuğu tespit edilmiştir. Araştırma problemindeki bu değişkenlerin; 7.629'u 0-1 (binary) değişken, 39'u tam sayılı (integer) değişken olarak ortaya çıkmıştır.

Çözümleme Süreci ve Yöntemleri: Modelin çözüm süreci, Python programlama dilinde Pyomo eklentisi ile hazırlanarak NEOS sunucularından faydalınılmış ve IBM ILOG CPLEX 22.1.2. çözümleyicisi ile optimize edilmiştir. Pyomo'da yazılan kod NEOS sunucuları ile entegre edildiğinden modele ilişkin problem çözümlenmek üzere NEOS sunucularına gönderilip pyomo tarafından sonuç beklenip, sonuç alındığında çıktının raporlanmasına ilişkin kurulmuştur. Bu sayede iterasyon sayısına oranla çözüm hızı yüksek olup, kullanıcı bilgisayar işlemcisine yük bindirmeden araştırma problemindeki gibi zorlu problemlerin hızla çözümlenmesi hedeflenmiştir.

Nihai Çözüm ve Performans: Model çözümleme sürecinde, nihai tam sayılı çözüm değerine göre 171.günün sonunda işlemleri tamamlayarak bitirmiştir. Bu çözüm optimal çözüm olarak rapor edilmiştir. Hem mutlak hem de göreceli boşluk değerlerinin sıfır olması, çözümün doğruluğunu ve optimal olduğunu kanıtlamaktadır. Model proje tamamlanma süresini minimize ettiği gibi, etkinliklerin ayrı ayrı sıralanmasında da kısıtları göz önünde bulundurarak en hızlı tamamlanma süresini temin etmiştir.

Model, CPLEX çözücüsü yardımıyla 104.768 simplex iterasyonu ve 3.720 dal (branching node) ile optimal çözüme ulaşmıştır. Çözümleme yapılan bilgisayarın işlemci özellikleri, Intel Core Ultra 7 155H 16C/22T; 24MB L3; E-CORE Max 3.80GHZ P-CORE Max 4.80GHZ' dir. İşlem süresi ise Neos sunucularının işlem yoğunluğuna göre 5 ila 15 dakika arası sürmektedir. Model, kaynak atama, zamanlama ve öncüllük yapılarını birlikte ele alan entegre bir çizelgeleme problemidir. Karar değişkeni sayısı, kısıt yoğunluğu ve çözüm ağacının derinliği göz önüne alındığında, model zor düzeyde bir MILP problemidir. CPLEX çözücüsünün optimum çözüme ulaşabilmiş olması, modelin doğru kurulduğunu ve çözümleyicinin yeterli donanımda çalıştığını göstermektedir.

Araştırma Problemi Zorluğunun Değerlendirilmesi: Karma tam sayılı programlama (MILP) modellerinde zorluk düzeyi, değişken sayısı, kısıt sayısı, karar değişkenlerinin türü (ikili, tam sayılı), çözüm ağacındaki dallanma düğümü sayısı ve çözüm süresi gibi kriterlere göre değerlendirilmektedir. Özellikle literatürde, 0-1 değişkenlerinin bin ve katları üzerinde olması, iterasyon sayısının yüksek seviyede olması ve dallanma düğüm sayısının çokluğu arama uzayının genişlemesine ve problemin çözüm seviyesinin üstel olarak arttığına işaret etmektedir (Erzurum ve Bettemir, 2017, s. 452, Wolsey, 2020, s. 104). Araştırma probleminde; ikili değişken sayısının 7.000'in üzerinde olması, 23.774 adet doğrusal kısıt bulunması, 3.720 dal (branching node) ile çözümün gerçekleşmiş olması, çözüm alanında yüksek derecede yapısal sınırlama olduğunu, karmaşıklığının yüksek seviyede olduğunu göstermektedir. Ayrıca model çözümünde, 104.768 simplex iterasyonu gerçekleşmesi ise çözüm uzayında önemli bir arama gerçekleştirdiğini ortaya koymaktadır.

Model sonuç çıktıları, çözüm sürecinin etkinliğini ve kullanılan yöntemlerin problemin karmaşıklığına karşın kısa sürede elde edilen optimal çözümle modelin başarısını açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca çözümleme boyunca herhangi bir teknik sorun rapor edilmemiş ve optimal sonuç raporlanmıştır. Bu durum modelin yapılandırılması ve parametre ayarlarının doğru bir şekilde optimize edildiği sonucunu vermektedir.

Model çözüm çıktısının değerlendirilmesiyle birlikte Tablo 4.1 oluşturularak aşağıda proje sürecine yönelik sonuç tablosu verilmiştir. Modelin performansı ve elde

edilen sonuçlar, karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde izlenebilecek yöntemler açısından değerli bir referans niteliği taşıdığı fikrini ön plana çıkarmıştır.

Tablo 4.1. Model Çözümüne Yönelik Sonuçlar

Etkinlik	Başlama Önceliği	Süre (gün)	Erken Başlama Zamanı	Erken Bitiş Zamanı
A	-	30	0	30
C	A	5	30	35
B	A	15	30	45
G	B	15	35	50
D	C	6	45	51
E	C, D	4	51	55
F	E	7	52	59
H	F	12	53	65
I	B, G	30	45	75
K	B	40	45	85
L	K	17	85	102
N	I, K	22	85	107
J	B, H	50	65	115
O	N	25	107	132
M	J, L	7	132	139
S	M, N	10	135	145
P	O	45	111	156
R	P	10	156	166
T	R, S	5	166	171

Tablo 4.1’de yer alan veriler, matematiksel modelin Python yazılımı ile çözülmesi sonucu elde edilen proje planlamasını detaylı bir şekilde sunmaktadır. Bu tablo, her bir etkinliğin başlangıç önceliği, süresi, erken başlama ve erken bitiş zamanlarını ortaya koyarken, projenin toplam süresi ve kritik yol üzerinde ilerleyen faaliyetlerin sıralaması hakkında da sayısal bir ifade sağlamaktadır. Model, A etkinliğinden başlayarak T etkinliğine kadar toplamda 171 gün içinde tüm etkinliklerin tamamlanmasını hedeflemiş ve bu süre içinde kritik yol olarak sırasıyla A, B, K, N, O1 (Esnek öncül ilişkisinden kaynaklı O etkinliğinin 4 günlük periyodunu ifade etmektedir.), P, R, T etkinlikleri belirlenmiştir. Kritik yol üzerindeki bu sıralama, toplam proje süresini belirleyen ve herhangi bir gecikmenin proje tamamlanma süresini doğrudan etkileyebileceği etkinliklerden oluşmaktadır.

Tablo 4.1’de verilen bilgilere göre, başlangıç etkinliği olan A, 30 günlük bir sürede (0-30 gün arası) tamamlanmakta ve hem B hem de C etkinliklerinin başlama noktalarını tanımlamaktadır. Bu bağlamda, B etkinliği 30. günde başlayarak 15 günlük

bir sürede (30-45 gün arası), C etkinliği ise aynı anda başlayıp 5 gün sürede (30-35 gün arası) tamamlanmaktadır. Kritik yolun devamında, B etkinliğinden sonra sırasıyla 40 gün süren K etkinliği (45-85 gün arası) ve 22 gün süren N etkinliği (85-107 gün arası) gelmektedir. K ve N etkinlikleri arasındaki bağıntı, projenin ilerlemesindeki kritik bağlantı noktalarını oluşturmaktadır. Kritik yola tekabül eden O etkinliği sırasında ise etkinlikleri koordineli başlatma durumu söz konusu olmuş, esnek öncüllük işlemi gerçekleştiğinden O etkinliğinin 4 günlük kısmı kritik yol içerisinde yer aldıktan sonra (O etkinliği O1 ve O2 olarak ayrılmıştır), kritik yol P etkinliği ile devam etmiştir. P etkinliği 111. gün başlamış 45 günlük tamamlanma süreci sonrasında R ve T etkinlikleri tamamlanarak kritik yol sonlanmıştır

Model, kaynakların etkili kullanımı ve esneklik sağlanması için kritik olmayan etkinliklerde bazı düzenlemeler yapmıştır. Örneğin, I etkinliği (B ve G öncül ilişkili) kritik yolun dışında yer almakta ve toplamda 30 gün sürede (45-75 gün arası) tamamlanmaktadır. Benzer şekilde, J etkinliği (B ve H öncül ilişkili) 50 günlük süresiyle (75-125 gün arası) kritik olmayan ancak uzun süreli etkinliklerden biridir. Bu durum, projenin toplam süresini etkilemese de kaynak tahsisi açısından önemli kararların alınmasına katkı sağlamıştır. Ayrıca, 25 günlük O etkinliği (107-132 gün arası) ve bunu takip eden P etkinliği gibi etkinliklerin süreleri, projenin toplam zaman çizelgesine doğrudan katkı sağlamaktadır.

Modelin çözümleme sürecinde esneklik sağlanan etkinlikler, Tablo 4.1 verileri incelendiğinde dikkat çekmektedir. Örneğin, E etkinliği (C ve D öncül ilişkili), C etkinliğinin tamamlanmasından hemen sonra başlamış ve 4 gün içinde tamamlanmıştır (51-55 gün arası). Bu süreçte, D etkinliğinin tamamlanma zamanına göre başlama zamanı yeniden yapılandırılmıştır. Model, bu tür düzenlemeleri gerçekleştirirken, ekiplerin aynı anda birden fazla etkinlik üstlenemeyeceği gibi temel kısıtları göz ardı etmemiştir.

Modelin yalnızca etkinlik sürelerini değil, aynı zamanda öncül ilişkileri de etkin bir şekilde optimize ettiği görülmektedir. Bu süreç, modelin hem zamanlama doğruluğunu artırdığını hem de kaynak kullanımında daha etkin bir dağılım sağladığını ortaya koymaktadır. Proje süresine yönelik yapılan bu iyileştirmeler, modelin farklı sektörlerde ve karmaşık proje koşullarında uygulanabilirliğini ve belirsizlikler altında dirençli bir sonuç verebileceğini düşündürmektedir.

Bu bağlamda Tablo 4.1’deki veriler, proje planlamasında matematiksel modelin nasıl bir optimizasyon sağladığını sayısal olarak ortaya koymaktadır. Kritik yol üzerindeki etkinliklerin sürelerinin sabit tutulması ile toplam proje süresinin 171 günde tamamlanması sağlanırken, kritik olmayan etkinliklerde de esneklik sağlanarak kaynakların verimli bir şekilde kullanımı hedeflenmiştir. Proje yönetimi açısından etkinliklerin süre ve öncelik ilişkilerinin dengelenmesiyle Tablo 4.1’de elde edilen sonuçlar, modelin hem süre optimizasyonu hem de kaynak planlaması uygulanabilirlik açısından başarılı biçimde model tarafından koordine edildiği tespit edilmiştir.

Kısıtlara yönelik elde edilen sonuçlarda ise model esnetilebilir olan etkinliklerin bazılarında uzama sürelerini ve olgunlaşma sürelerini göz önünde bulundurarak birtakım esneklikler yapmıştır. Esneklik yapılan etkinlikler Tablo 4.2’de belirtilmiştir. Model bu esneklikleri yaparken; etkinliklerin koordineli yürütülme işlemi bir kereden fazla yapılamaz ve ekipler aynı anda birden fazla etkinlik üstlenemez kısıtlarını da göz ardı etmemiştir. Ayrıca proje tamamlanma süresi minimize edilirken diğer etkinliklerde de en küçükleme yapıldığından etkinlik başlangıçlarında proje süresi içerisinde bir sıkılaştırma söz konusudur. Bu durum ise uygulama pratiğinde kaynakları daha verimli kullanmak açısından bir avantaj sağlamaktadır.

Tablo 4.2 yardımıyla proje sürecinde esneklik yapılan öncüller ve öncülleri ile koordineli yürütülen etkinliklere yönelik bilgiler verilmiştir.

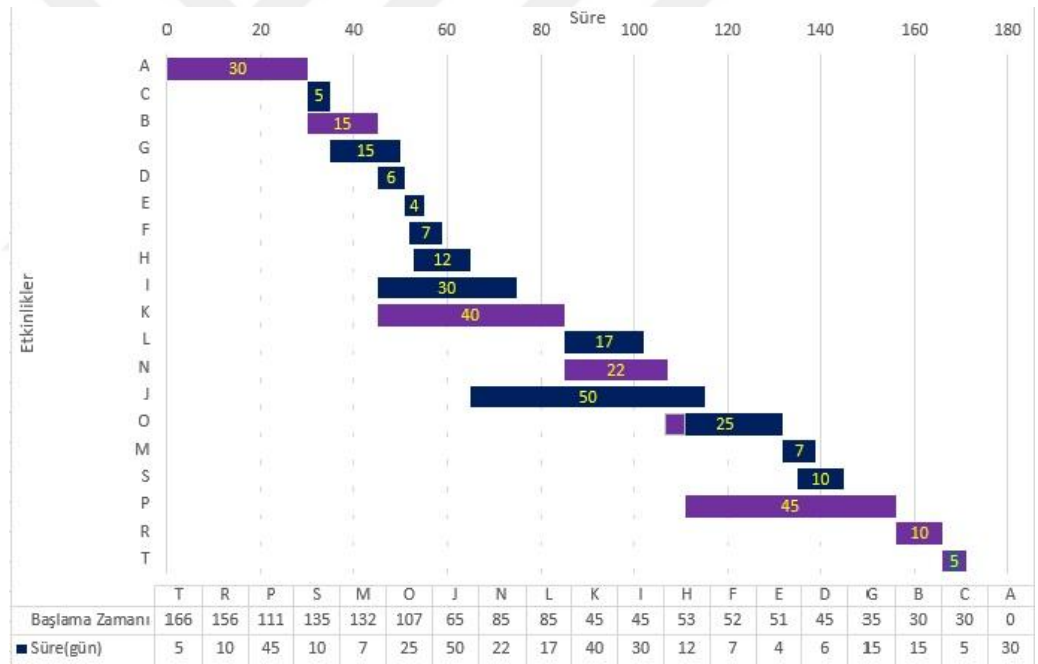
Tablo 4.2. Model Çözümünde Esnekliğe Uğrayan Etkinliklere İlişkin Bilgiler

Etkileyen Etkinlik (Ardıl)	Etkilenen Etkinlik (Öncül)	Olgunlaşma Süresi (Beklenen)	Olgunlaşma Süresi (Gerçekleşen)
F	E	1	1
G	B	2	5
H	F	1	1
I	G	5	10
P	O	4	4
S	M	3	3

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere model F, G, H, I, P ve S etkinliklerinde esneklik meydana getirerek bu etkinliklerin başlangıç sürelerini öne çekmiş ve bu etkinliklerin öncülleri olan sırasıyla E, B, F, G, O ve M etkinlikleri tamamlanmadan koordineli yürütme sağlamıştır. Model bu kararı alırken; etkinliklerin olgunlaşma sürelerini

beklemiş ve toplam süre uzamalarını göze almıştır. Koordineli yürütme durumunda minimum olgunlaşma sürelerini ele alırken problemin diğer kaynak kısıtlarını da göz önüne alarak başlatma süresi belirlenmiştir. Örneğin, G etkinliğinin başlayabilmesi için B etkinliğinin olgunlaşma süresi 2 gün olmasına rağmen kaynak kullanımında çakışma yaşanmaması için gerçekleşen olgunlaşma süresi 5 gün olarak atanmıştır. Yine aynı şekilde I etkinliği için G etkinliğinin koordineli başlatılması 5. günden 10. güne çekilmiştir. Ayrıca etkinlikler koordineli yürütülse dahi öncül etkinliklerin tamamlanma süresinin bağlı bulunduğu etkinliği daha önce gerçekleştirerek işlem öncelikleri ile ilgili bir diğer problem kısıtını sekteye uğratmamıştır.

Şekil 4.1’de matematiksel model sonuçlarının gantt diyagramı yardımıyla oluşturulan görsel aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1. Model Sonuçlarına Göre Oluşturulan Gantt Diyagramı

Şekil 4.1’de sunulan gantt diyagramı, matematiksel modelin çözümünden elde edilen proje planını zamansal olarak görselleştirmektedir. Bu diyagram, projede yer alan her bir etkinliğin başlama ve bitiş sürelerini, dolayısıyla zamansal olarak işgal ettiği dönemleri detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Projenin toplam süresi, son işlem olan T etkinliğinin 171. günde tamamlanmasıyla sonuçlanmaktadır. Proje, herhangi bir öncülü olmayan A etkinliği ile başlayarak 30 günlük bir süreyi (0-30 gün arası) kapsamış, 166.

gün başlayıp 171. Gün tamamlanan T etkinliği ile proje sonuçlandırılmıştır. Projeye ilişkin sürecin kritik yolu, diyagramda açık renkli çubuklarla ifade edilmiştir. Kritik yol, projede herhangi bir gecikmenin proje süresine doğrudan etki edeceği etkinliklerin en uzun yolunu tanımlamaktadır. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere kritik yol sırasıyla A, B, K, N, O1 (O etkinliğinin koordineli yürütmeden dolayı ağ diyagramında O1 olarak ifade edilen 4 günlük kısmını kapsamaktadır), P, R, T etkinliklerinden oluşmaktadır ve bu yol, projenin toplam süresi olan 171 günü belirleyen temel etkinliklerdir.

Şekil 4.1 yardımıyla kritik yol üzerindeki etkinlikler incelendiğinde, projede başlangıç etkinliği olan A etkinliği, 0. günde başlamış ve 30 günlük bir sürede tamamlanmıştır. Ardından, B etkinliği A’nın bitimini takiben 30. günde başlatılmış ve 15 gün süresince sürerek 45. günde sona ermiştir. Kritik yol üzerinde ilerleyen bir diğer etkinlik olan K etkinliği, B’nin bitimiyle 45. günde başlamış, 40 gün süresince devam etmiş ve 85. günde tamamlanmıştır. K etkinliğini takiben, N etkinliği aynı günde başlamış (85. gün) ve 22 gün süresince devam ederek 107. günde bitmiştir. Kritik yolun devamında yer alan O etkinliği, esnek öncüllük ilişkisine sahip bir işlem olarak tanımlanmakla birlikte, yalnızca 4 günlük kısmı (O1 olarak nitelendirilen esnek öncül) kritik yol üzerinde yer almakta ve bu süreç 107-111. günler arasında bulunmaktadır. O1 sürecinin tamamlanmasını takiben, P etkinliği 111. günde başlamış, 45 gün sürerek 156. günde sona ermiştir. R etkinliği, P’nin hemen ardından 156. günde başlamış ve 10 gün içerisinde (156–166 gün arası) tamamlanmıştır. Son olarak, T etkinliği 166. günde başlatılmış, 5 gün sürerek 171. günde tamamlanmış ve bu sayede proje süreci tamamlanmıştır.

Kritik yol dışında kalan etkinlikler analiz edildiğinde, belirli dönemlerde paralel ve ardışık işlem yapılarına sahip etkinliklerin yürütüldüğü gözlemlenmektedir. Bu tür yapıların, proje süresine doğrudan değil, ancak kaynak kullanımı açısından dolaylı katkı sağladığı değerlendirilmektedir. Örneğin, A etkinliğinin tamamlandığı 30. günde, hem B hem de C etkinlikleri paralel olarak başlatılmıştır. C etkinliği 5 gün sürmüş ve 35. günde tamamlanmıştır. C’nin tamamlanmasının ardından D etkinliği 10 günlük bekleme süresi (Lag Time) tanımlayarak 45. günde başlamış, 6 gün sürerek 51. günde tamamlanmıştır. Takip eden E etkinliği, 51–55 günleri arasında 4 günlük süreyle gerçekleştirilmiş, ardından F etkinliği 52. günde başlamış ve 7 gün içinde (52-59 günleri) tamamlanmıştır. Bu süreci izleyen H etkinliği, 53–65 günleri arasında 12 gün süresince yürütülmüştür. Ayrıca B etkinliğinin tamamlandığı 45. günden sonra, G etkinliği (15 gün, 45–60) ve I

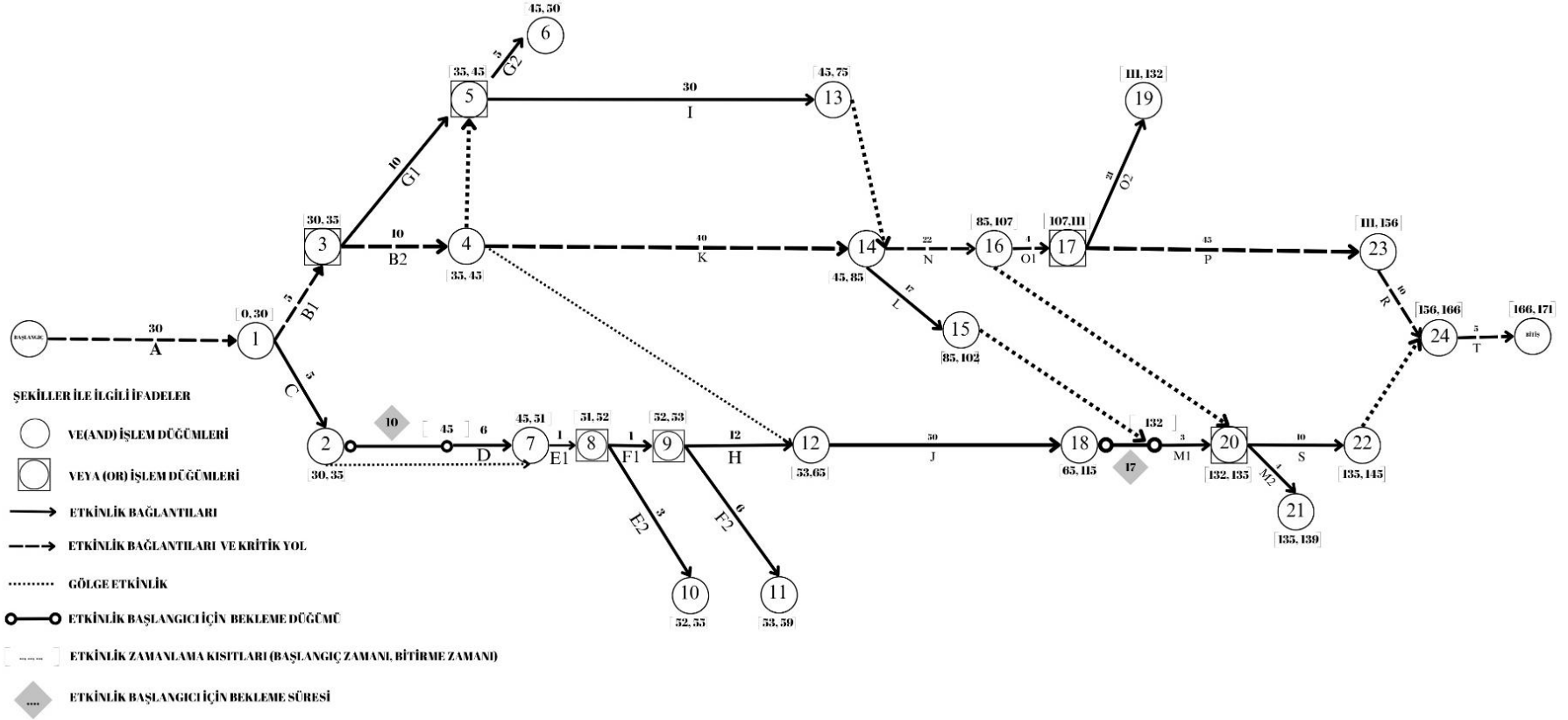
etkinliği (30 gün, 45–75) paralel şekilde yürütülmüş, J etkinliği ise 65–115 günleri arasında 50 gün süresince srmştır. J etkinliği kritik olmayan ancak uzun süreli bir etkinliği temsil etmektedir. İlerleyen süreçte, L (85–102, 17 gün), M (132–139, 7 gün) ve S (135–145, 10 gün) etkinlikleri ardışık ve kısmen paralel biçimde yrtlmştır.

şekil 4.1, aynı zamanda etkinlikler arasındaki bağıntıları ve her bir etkinliğin zamansal koordinasyonunu görsel olarak ifade etmektedir. Kritik yol dışında kalan etkinliklerde gecikmelerin proje tamamlanma süresine etkisi sınırlı olsa da, bu etkinliklerde yapılan düzenlemelerin önceden belirtildiği zerer kaynak kullanımı açısından önemli bir etken olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle paralel işlemler, belirli etkinliklerin aynı anda yürütülmesiyle kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasına imkan tanımıştır. Ancak bu süreçte, model tarafından getirilen kısıtlar doğrultusunda herhangi bir etkinliğin birden fazla koordineli işleme maruz bırakılamayacağı ve bir ekibin aynı anda birden fazla etkinlik üstlenemeyeceği (reklam ve baskı ekibi hariç) gibi kurallar dikkate alınmıştır.

şekil 4.1 ve Tablo 4.1 birlikte değerlendirildiğinde, proje planlamasının detaylı bir matematiksel modelleme ile optimize edildiği görülmektedir. Kritik yol üzerindeki etkinliklerin zamanlama açısından sabit tutulması, toplam proje süresini etkileyen en önemli faktör olarak öne çıkarken; paralel ve ardışık işlemler sayesinde kaynak kullanımının optimize edilmesi, proje süresi boyunca etkinliklerin koordinasyonunu sağlamıştır. Bu bağlamda, projenin toplam süresi olan 171 gün içinde hem zamansal hem de operasyonel olarak uygulanabilir bir planlama yapılmıştır.

Paralel olarak yürütülen etkinliklerin daha dengeli bir şekilde planlanması ve modelin bu doğrultuda optimize edilmesi sonucunda, projede yaşanabilecek gecikme olasılığı azaltılmıştır (Oransal olarak verilen bilgiler Başlık 4.3'te daha detaylı olarak ağıklanacaktır). Etkinliklerin eş zamanlı yrtldğu dönemlerde kaynakların etkin bir şekilde yönlendirilmesi, proje gecikmelerinin önüne geçilmesini sağlamıştır.

şekil 4.2 czme yönelik bulguların *Ve/Veya* ncelik kısıtlamalarına yönelik oluşturulan diyagramı göstermektedir. Diyagram matematiksel model czmnn iyi anlaşılabilmesi adına hesaplamadan ziyade görsel bir örnek oluşturulması için oluşturulmuştur.



Şekil 4.2. Ve/Veya Öncelik Kısıtlamaları Diyagramı Yardımıyla Modelin Şematik Gösterimi

Şekil 4.2 yardımıyla modele ilişkin çözüm ağ diyagramı yardımıyla gösterilmiştir. Şekil 4.1 gantt diyagramı yardımıyla modele ilişkin değinilemeyen hususlar Şekil 4.2 yardımıyla açıklanmıştır. *Ve/Veya* (And/Or) öncelik kısıtlamalarına uygun görev sisteminde 19 etkinliğe ilişkin proje süreci 24 faaliyet düğümünün ardından tamamlanmıştır. *Veya* (Or) işlem düğümleri koordineli başlatılan etkinlikleri ifade etmektedir. İşlem süreçleri boyunca birbirine bağlı etkinlikler oklarla gösterilip kesikli oklar sürecin kritik yolunu ifade etmektedir. İşlem düğümlerinin bulunduğu yerlerde parantez içerisinde ifade edilen süreler etkinliklerin zaman kısıtlarını ifade etmekte olup “Başlangıç Zamanı” ve “Bitiş Zamanı” yer almaktadır. Bu süreler, düğümden önceki etkinliklerin bitirme gününü ve ardıl etkinliğin de başlama gününü ifade etmektedir. Okların altında yer alan semboller etkinlik sembolleri olup, okların üzerinde yer alan rakamsal ifadeler ise etkinliklerin kesin sürelerini ifade etmektedir. Ayrıca model sonucunda bazı etkinliklerin bekleme süreleri (Lag Time) meydana gelmiştir. Model bu süreleri aynı süreç içerisinde işlemde bulunan diğer etkinliklere ve kaynakların kullanımına uygun olarak optimize etmeyi hedefleyerek oluşturmuştur. Bu bekleme süreleri ise şekilde ifade edilen “Etkinlik Başlangıcı İçin Bekleme Düğümü” ve “Etkinlik Başlangıcı İçin Bekleme Süresi” ifadeleriyle tanımlanmıştır. Bu süreler etkinliklerin sürelerinde artış meydana getiren süreler olmayıp, ekiplerin de proje başında olmasını gerektirmediği sürelerdir. Model bu süreleri etkinliklerin başlaması için; olgunlaşma sürelerini, ekiplerin yüklendikleri etkinliklerin çakışmama durumunu ve öncül olan etkinliklerin tamamlanma gerekliliği üzerine oluşturmuştur.

Tablo 3.1’de yer alan bilgilere ve şekil 4.2’de bulunan etkinliklerin akış planına göre, Tablo 3.1’de yer alan etkinlik atamaları ve Tablo 4.1’de sunulan erken başlama ve bitiş zamanlarına göre, müze araştırmacılarının proje başlangıcından itibaren çalışmaya başladığı ve 55. güne kadar projeye kesintisiz olarak ilgilendiği belirlenmiştir. Bu zaman zarfında A (0–30), B (30–45), D (45–51) ve E (51–55) etkinliklerinde kaynak olarak görev üstlenmişlerdir. Medya ekibi ise projenin ilk olarak 30. günden 35. güne kadar olan sürecinde (C etkinliği), ardından 35. günden 50. güne kadar olan süreçte (G etkinliği), 52. günden 59. güne kadar olan süreçte (F etkinliği) ve son olarak 111. günden 156. güne kadar olan süreçte (P etkinliği) görev almıştır. Medya ekibi projenin farklı evrelerinde dört ayrı periyotta görev üstlenmiştir. Grafik tasarım ekibi, projeye 53. günde başlamış ve 65. günde tamamlanan H etkinliği kapsamında 12 gün boyunca görev yapmıştır. Reklam ve baskı ekibi, 45. günden 75. güne kadar olan süreçte (I etkinliği) ve 65. günden

115. güne kadar olan süreçte (J etkinliği) aktif olmuştur. Bu iki etkinlik doğrultusunda bu ekibin toplamda 80 günlük bir zaman diliminde projeye katkı sunduğu görülmektedir. Heykel ve diorama ekibi, projede yalnızca 85. günden 107. güne kadar olan süreçte yürütülen N etkinliğinde yer almıştır. Bu kapsamda 22 günlük bir süre boyunca çalışmışlardır. Yazılım ekibi, S etkinliği kapsamında 135. günden 145. güne kadar olan 10 günlük periyotta görev almıştır. Teknik ekip, proje kapsamında en çok etkinlikte yer alan ekip olarak öne çıkmaktadır. Bu ekip, ilk olarak 45. günden 85. güne kadar olan süreçte K etkinliğinde, ardından 85. günden 102. güne kadar L etkinliğinde, 107. günden 132. güne kadar O etkinliğinde, 132. günden 139. güne kadar M etkinliğinde, 156. günden 166. güne kadar R etkinliğinde ve son olarak 166. günden 171. güne kadar T etkinliğinde görev almıştır. Böylece teknik ekibin projeye ilgilenmesi gereken sürelerin hem geniş bir zaman dilimine yayıldığı hem de toplam sürenin büyük bir bölümünü kapsadığı belirlenmiştir. Ekiplerin görev süresi dışında kalan dönemlerde başka projelerde görevlendirilebileceği ve bu sayede proje kaynaklarının daha verimli kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Bu durum, proje yönetiminde kaynak esnekliği ve zaman planlaması açısından stratejik avantajlar sağlayabilmektedir.

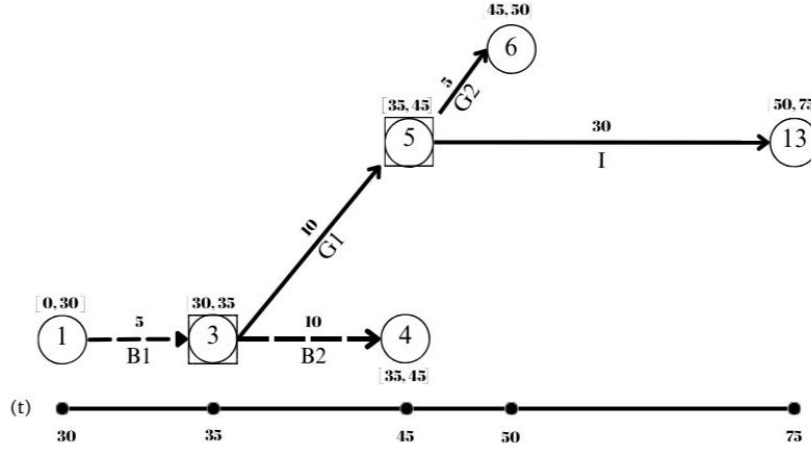
Modelin ulaştığı sonuca göre bazı etkinliklerde bekleme süreleri meydana gelmiştir. Tablo 4.3'te boşluk sürelerle ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 4.3. Etkinlik Bekleme-Boşluk Süresi

Etkinlik	Üstlenen Ekip	Bekleme- Boşluk Süresi (Lag Time)	Düğüm Aralığı
D	Müze Araştırmacıları	10	2-7
M	Teknik Ekip	17	18-20

Model çözümüne ilişkin Tablo 4.1'de verilen sonuçlara yönelik Tablo 4.3 oluşturulmuştur. Model kritik yol üzerinde yer alan etkinlikler dışında kalan bazı etkinlikler üzerinde kaynak kısıtında çakışma yaşanmaması için bekleme sürelerinin oluşmasını göze almıştır. Örneğin, Tablo 4.3'te görüldüğü üzere D etkinliği başlamadan önce 10 günlük bir bekleme süresi mevcuttur. Bu durumun sebebi D etkinliğinin tamamlanmasını üstlenecek müze araştırmacılarının aynı süreç içerisinde B etkinliğini yürütmesidir. B etkinliğinin diğer etkinlikler için daha önemli bir faaliyet olması ve kritik yol üzerinde bulunması modelin bu süreç içerisinde bekleme süresine karar vermesine yardımcı olmuştur. Aynı şekilde M etkinliğinin sürecinde de teknik ekibin aynı dönemde O etkinliğini üstlenmiş olmasından kaynaklı bekleme-boşluk süresi meydana gelmiştir.

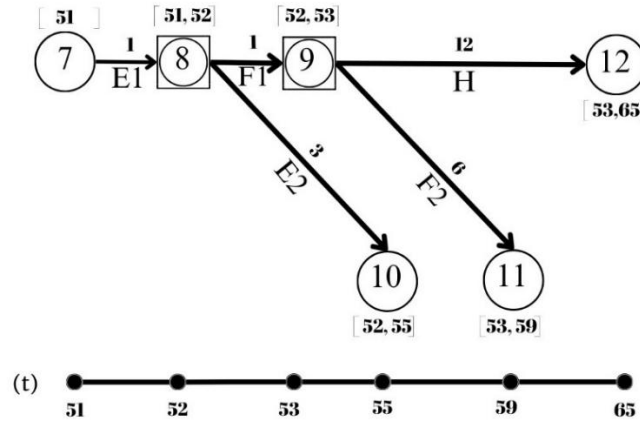
Şekil 4.2’de verilen diyagrama ait *Veya* (Or) görevlerinin yer aldığı bölümler Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 yardımıyla ayrıntılı olarak aşağıda şu şekilde belirtilmiştir:



Şekil 4.3. B,G, I Etkinlikleri İçin *Veya* (Or) Görev Sistemi

Şekil 4.3’te sunulan görev sistemi Şekil 4.2’de verilen diyagrama ait bir bölümü ifade etmektedir. Kavramsal çerçevede sunulan bilgilere göre çizilen görev sisteminde; B, G ve I etkinliklerinin süreçleri yer almıştır. 30. Ve 75. gün süre aralığında yer alan etkinlikler *Veya* (Or) öncelik kısıtlamalarının ilk sürecini göstermektedir. Tablo 4.2’ye göre, I etkinliğinin öncülleri B ve G etkinlikleri, G etkinliğinin öncülü ise B etkinliği olarak ön plana çıkmaktadır. Bu sürece ilişkin modelin çözüm elde ettiği esnetilebilir etkinliklerden Şekil 4.3’te görüldüğü üzere G etkinliğinin başlangıç yaptığı nokta B etkinliğinin 5. gününe tekabül etmektedir. Bu durum B etkinliğinin B1 ve B2 oklarıyla ayrılmasına ve 1. düğümden 3. düğüme, 3.düğümünden ise 4.düğüme yatay oklarla ifade edilmesine olanak sağlamıştır. Bu ifadeler neticesinde, projenin 30. gününde B etkinliği başlamış, 3. düğümün olduğu 35. günde G etkinliği B etkinliğiyle koordineli başlayarak devam etmiştir. 4. ve 5. düğümün olduğu 45. günde B etkinliğinin B2 bölümü ve G etkinliğinin G1 bölümü tamamlanmıştır. Bu noktada 5. düğümün olduğu 45. günde I etkinliği başlamış, 5 günlük sürenin ardından G etkinliğinin ikinci bölümü tamamlanarak 6. Düğümden sonuçlanmıştır I etkinliği ise koordineli başladığı G öncülünün G1 bölümünün tamamlandığı 5. düğümden 13. düğüme kadar 30 günlük bir sürede 75. gün tamamlanmıştır. Bu etkinlikler koordineli bir biçimde yürütülse de problem verilerine göre herhangi bir süre uzamasına maruz kalmadıkları için planlanan süreleri Tablo 3.2’de belirtilen sürelerle aynı doğrultuda gerçekleşmiştir.

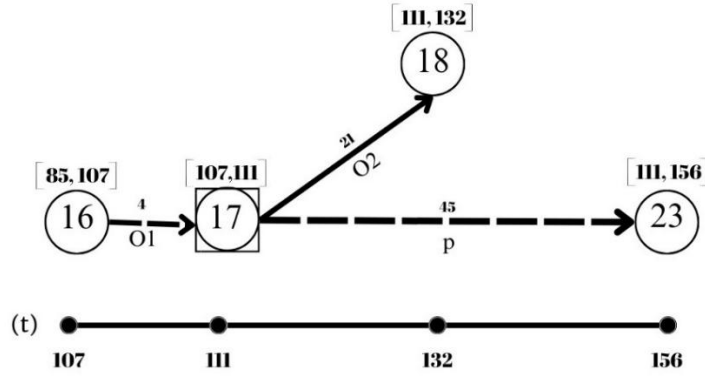
Şekil 4.4' te E, F ve H etkinlikleri ile ilgili *Veya* (Or) görev sistemine ilişkin bilgilere yer verilmiştir.



Şekil 4.4. E, F, H Etkinliği İçin *Veya* (Or) Görev Sistemi

Şekil 4.4 ağ diyagramında 7 ile 12. Düşüm arasındaki etkinlikleri ifade etmektedir. F etkinliğinin öncülü E etkinliği, H etkinliğinin öncülü ise F etkinliğidir. Her iki etkinlikte öncülleri ile birlikte koordineli başlatma söz konusu olmuştur. E ve F etkinliklerinin öncül olarak olgunlaşma süresi 1 gün olduğundan model bu olgunlaşma süresini dikkate alıp; F etkinliğini 8. Düşümde 52. gün başlatmış, F etkinliğinin F1 bölümü tamamlandığında ise H etkinliğini başlatmıştır. Bu esneklik tanımlandığından dolayı model Tablo 3.5'te belirtilen etkinlik uzama sürelerini dikkate alarak etkinliklerin planlanan sürelerini yeniden güncellemiştir. Bu doğrultuda, F etkinliğinin planlanan süresi 5 günden 7 güne, H etkinliğinin planlanan süresi ise 10 günden 12 güne çıkmıştır. Model bu süre uzamalarını proje tamamlanma süresinin minimize edilmesini ve etkinlik süreçlerinin en küçüklenmesini hedeflediğinden göze almıştır.

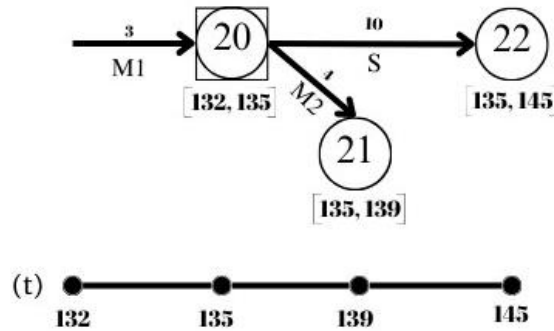
Şekil 4.5 te ise P etkinliğinde ve öncülü olan O etkinliğinde meydana gelen koordineli başlatma işleminin etkilerine yönelik açıklamalar verilmiştir.



Şekil 4.5. P Etkinliği İçin Veya (Or) Görev Sistemi

Şekil 4.5'te yer alan görev sistemine göre, projenin 107. ve 136. günleri arasındaki süreç yer almaktadır. P etkinliği öncülü olan O etkinliğinin O1 bölümünün tamamlandığı 17. düğümde 111. gün başlayarak O2 bölümü ile 21 gün koordineli ilerlemiş ve 156. günde tamamlanmıştır. Projenin krititik yolu üzerinde bulunan önemli bir süreci ifade eden 16. Ve 23. düğüm arasındaki bu süreçte, O etkinliğinin O1 bölümü ve P etkinliği kritik yol üzerinde yer almaktadır.

Şekil 4.6 yardımıyla S etkinliği ve öncülü olan M etkinliği ile ilgili süreç hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 4.6. S Etkinliği İçin Veya (Or) Görev Sistemi

Proje süreci içerisinde Veya (Or) öncelik kısıtlamalarına göre işlem gerçekleştiren son etkinlik ise S etkinliğidir. Şekil 4.6'da görüldüğü üzere projenin 132. Ve 145. gün aralığında S etkinliği öncülü olan M etkinliğinin M1 bölümü tamamlandığında 20. düğümün olduğu 132. gün başlamış ve M2 bölümüyle 4 gün koordineli ilerlemiş ve 145. günde tamamlanmıştır. Model bu esneklik işleminden dolayı veriler ve kısıtlar neticesinde, öncül veya ardıl etkinlikte herhangi bir süre uzaması işlemi gerçekleştirmemiştir.

Şekillerle ifade edilen bilgiler bağlamında, B, E, F, G, O, M etkinliklerinde *Veya* (Or) görevleri meydana gelip ardıl etkinlikleri ile koordineli yürütüldükleri dönemler ortaya çıkmıştır. Model bu süreçleri düzenlerken ekiplerin farklı görevlerinde çakışmalar olmamasını ve Tablo 3.3'te katı işlem olarak ön plana çıkan *Ve* (And) öncelik kısıtlı işlemlerin etkilenmemesini sağlamıştır. Bu çözüm Şekil 4.4'te ifade edilen boşluk süreleri (Lag Time) meydana getirirse de projenin tamamlanma sürecindeki amaç fonksiyonunu optimal şekilde gerçekleştirmeyi garanti etmiştir.

4.2. CPM YÖNTEMİNE YÖNELİK BULGULAR

Problem verileri ve kısıtları CPM yönteminin olanakları neticesinde hesaplamalar yapılmıştır. CPM yönteminin hesaplama adımları aşağıda sunulmuştur.

Erken Başlama Zamanı (ES)

En erken başlama zamanı bir etkinlik için Formül 4-1 yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$ES_i = \max\{EF_j | j \in \text{Öncül işlemler}\} \quad (4-1)$$

- ES_i : Etkinlik i'nin başlama zamanı,
- EF : Etkinlik j'nin bitiş zamanı,
- Öncül İşlemler: i etkinliğinin bağlı olduğu işlemler.

Eğer bir etkinliğin öncül işlemi yoksa, $ES_i = 0$

Erken Bitiş Zamanı (EF)

En erken bitiş zamanı şu şekilde hesaplanır:

$$EF_i = ES_i + Süre_i \quad (4-2)$$

- EF_i : Etkinlik i'nin en erken bitiş zamanı,
- ES_i : Etkinlik i'nin en erken başlama zamanı,
- $Süre_i$: Etkinlik i'nin gerçekleşme süresi.

Erken başlama zamanı ve erken bitiş zamanı süreleri Formül 4-1 ve Formül 4-2 yardımıyla hesaplanıp, Tablo 4.4 oluşturulmuştur. Tablo oluşturulurken hesaplamaların

tutarlı olabilmesi için, başlama önceliği sütununda Tablo 3.2'den farklı olarak etkinliklerin zamansal koşullarının yanı sıra etkinliklerin aynı ekip tarafından üstlenildiği etkinliklerde çakışma yaşanmaması kısıtına dikkat edilmiştir. Bu durumun sebebi, verilere ilişkin kısıtlar çerçevesinde bir ekip üstlendiği etkinlikler dışında aynı zaman içerisinde başka bir etkinlik yürütemez ve ekipler aynı süre içerisinde birden fazla etkinlik üstlenemezler kısıtıdır. Yine Tablo 3.2'de bulunan bilgilere göre; müze araştırmacıları ekibinin A, B, D ve E etkinliklerini üstlendiği, medya ekibinin C, F, G ve P etkinliklerini üstlendiği, grafik tasarım ekibinin H etkinliğini üstlendiği, reklam ve baskı ekibinin I etkinliğini üstlendiği, heykel ve diorama ekibinin K ve N etkinliklerini üstlendiği, teknik ekibin J, L, M, O, R ve T etkinliğini üstlendiği, yazılım ekibinin ise S etkinliğini üstlendiği görülmektedir. Bu sebeple kritik yol yöntemi ile ilgili hesaplar yapılırken öncelik sıralamaları dikkate alındığı gibi ekiplerin üstlendiği etkinlikler sırasında kendi üstlendikleri etkinliklerin de öncelik sıralamaları dikkate alınmıştır.

Tablo 4.4. CPM Çözümüne Yönelik Sonuçlar

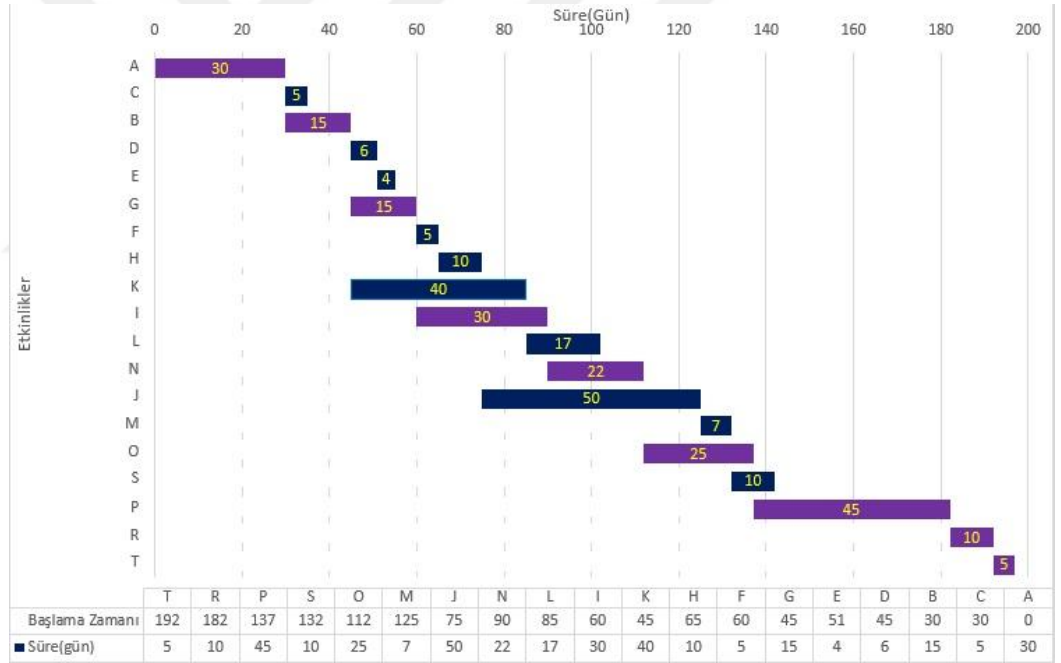
Etkinlik	Başlama Önceliği	Süre (gün)	Erken Başlama Zamanı	Erken Bitiş Zamanı
A	-	30	0	30
C	A	5	30	35
B	A	15	30	45
D	C	6	45	51
E	C, D	4	51	55
G	B	15	45	60
F	E	5	60	65
H	F	10	65	75
K	B	40	45	85
I	B, G	30	60	90
L	K	17	85	102
N	I, K	22	90	112
J	B, H	50	75	125
M	J, L	7	125	132
O	N	25	112	137
S	M, N	10	132	142
P	O	45	137	182
R	P	10	182	192
T	R, S	5	192	197

Tablo 4.4'te etkinlikler erken bitiş sürelerinin önceliğine göre sıralanmıştır. Projenin bitişini sağlayan T etkinliği 192.günde başlayarak proje 197.günde sonlanmıştır. Projenin kritik yolu sırasıyla A, B, G, I, N, O, P, R, T olarak gerçekleşmiştir.

CPM hesaplamalarına yönelik oluşturulan Tablo 4.4'e yönelik problemin verilerine ilişkin esnetilebilir ve koordineli başlatılabilecek etkinliklerin değerleri sabit kabul edilerek her etkinlik katı işlem olarak değerlendirilmiştir. Bunun sebebi,

esnetilebilir etkinliklerde her bir farklı değer için ayrı hesaplamanın yapılması gerektiği ve deneme işlemlerinin üstel olarak artışından kaynaklı iterasyon sayısının fazlalığıdır. İterasyon sayısının fazlalığı çözüm sürecinin zaman alması ve optimal sonucu arama hedefinin ulaşılabilir olmaktan uzaklaşması zorluğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle CPM gibi yöntemlerin araştırmaya konu olan karmaşık problemlerde problemin dinamiklerini yeterli düzeyde karşılanmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durumlara rağmen modelin çözüm sonucunun kıyaslanması adına CPM yöntemi ile çözüm üretilerek Şekil 4.7’de gantt diyagramı yardımıyla sonuçlar görselleştirilmiştir. Yine Şekil 4.1’e ait açıklamada belirtildiği üzere gantt diyagramı CPM sonuçlarını görselleştirmek adına çizim tekniği olarak kullanılmıştır.

Şekil 4.7’de Tablo 4.4’te elde edilen verilere göre oluşturulan gantt diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.7. CPM Çözümüne Yönelik Oluşturulan Gantt Diyagramı

Şekil 4.7’de CPM’e göre yapılan hesaplamalara ilişkin sonuçlar gantt diyagramı yardımıyla verilmiştir. Şekil 4.1’de yapılan açıklamalara yönelik olarak Şekil 4.7’de de yatay eksen süreyi ifade ederken dikey eksen etkinlikleri ifade etmektedir. Dikey eksen etkinliklerin tamamlanma sürelerinin önceliğine göre sıralama yapılmıştır. Açık renkteki yatay çubuklar projenin kritik yolunu ifade etmektedir.

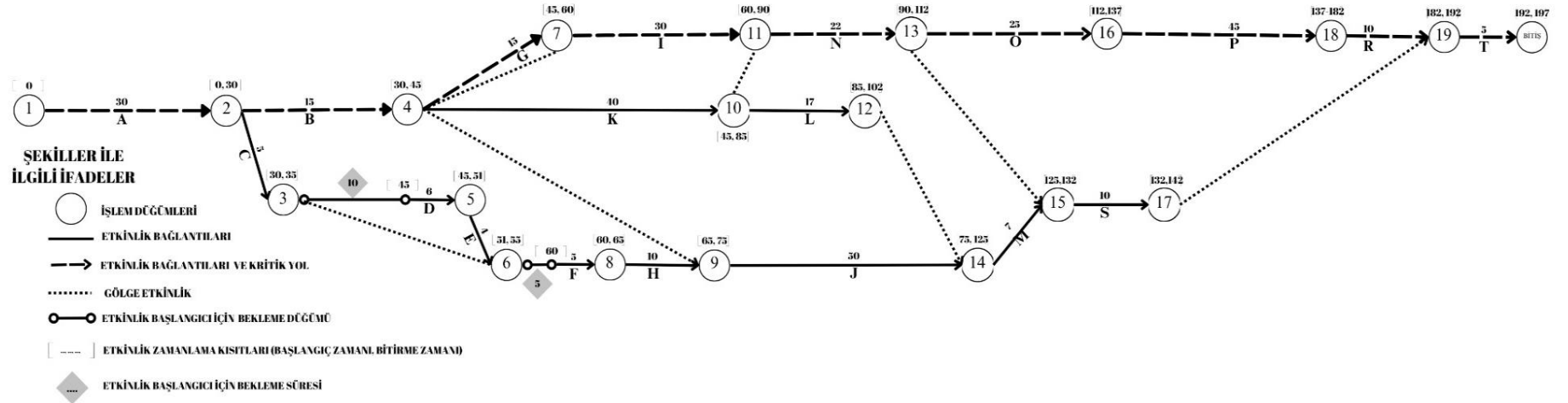
Şekil 4.7 incelendiğinde, ilk etkinlik olan A etkinliği ile projenin başladığı ve T etkinliğinin bitişi ile 197 günde projenin tamamlandığı görülmektedir. A etkinliğinin gerçekleştiği 30.güne kadar, R ve T etkinliğini gerçekleştiği 182.gün ve 197.gün arası bu etkinliklerden başka etkinliklerin üstlenilmediği, bu etkinliklerin dışında kalan süreç içerisinde diğer etkinliklerin paralel olarak üstlenilebildiği görülmektedir. Özellikle D, G ve K etkinliklerinin başladığı 45.günden H etkinliğinin tamamlandığı 75.güne kadar olan sürecin en yoğun işlem üstlenildiği dönem olduğu tespit edilmiştir. Bu dönemde D, E, G, F ve H etkinliklerinin paralel dönemde üstlenilip tamamlandığı ve K ile I etkinliklerinin de başlangıcı yapıldığı görülmektedir.

Proje başlangıç etkinliği olan A işinin 0. günde başlayıp 30. günde sona erdiği görülmektedir. A etkinliğini takiben C ve B etkinlikleri paralel olarak 30. günde başlamaktadır. C etkinliği 35. günde, B etkinliği ise 45. günde tamamlanmaktadır. C'nin ardından D etkinliği 45. günde başlamış ve 51. günde bitmiştir. C ve D etkinliklerinin tamamlanmasını takiben E etkinliği 51. günde başlayıp 55. günde sonlanmıştır. E etkinliğinden sonra F etkinliği 60. günde başlayıp 65. günde bitmektedir. F'yi takip eden H etkinliği 65. günde başlayarak 75. günde tamamlanmaktadır. B etkinliğini takip eden G etkinliği 45. günde başlamış ve 60. günde bitmiştir. Aynı şekilde, B etkinliğini takiben başlayan K etkinliği 45. günde başlayıp 85. günde tamamlanmıştır. G etkinliğinin bitimi ve B etkinliğinin tamamlanmasının ardından I etkinliği 60. günde başlamış ve 90. günde tamamlanmıştır. K etkinliğini takiben L etkinliği 85. günde başlamakta ve 102. günde tamamlanmaktadır. I ve K etkinlikleri tamamlandıktan sonra başlayan N etkinliği 90. günde başlamakta ve 112. günde sonlanmaktadır. B ve H etkinliklerinin tamamlanması ile başlayan J etkinliği 75. günde başlamakta ve 125. günde sona ermektedir. J ve L etkinliklerinin tamamlanması ile başlayan M etkinliği 125. günde başlayıp 132. günde tamamlanmıştır. N etkinliğinin bitimini takiben başlayan O etkinliği 112. günde başlayarak 137. günde sonlanmıştır. M ve N etkinliklerinin tamamlanması sonucunda başlayan S etkinliği 132. günde başlayarak 142. günde bitmektedir. O etkinliğini takip eden P etkinliği 137. günde başlayıp 182. günde sona ermektedir. P etkinliğinin ardından gelen R etkinliği 182. günde başlayarak 192. günde sonlanmakta; M ve N'den gelen S ile birlikte, R ve S'nin ardından başlayan T etkinliği 192. günde başlamakta ve proje 197. günde tamamlanmaktadır.

Şekil 4.7'de projenin kritik yolu, A , B, G, I, N, O, P, R, T şeklindedir. Kritik yol açık renkteki çubuklarla ifade edilmiştir. Bu yol boyunca herhangi bir boşluk (Lag Time)

bulunmamaktadır. Kritik yol üzerinde bulunmayan etkinliklerdeki boşluk süreler ise Şekil 4.8 yardımıyla daha detaylı şekilde ifade edilmiştir.





Şekil 4.8. CPM Çözümüne Yönelik Oluşturulan Şematik Gösterim

Şekil 4.8’de CPM hesaplamalarına yönelik sonuçlar ağ diyagramı yardımıyla şematik gösterime dönüştürülmüştür. Matematiksel modelin çözümüne ilişkin hazırlanan Şekil 4.2’nin kıyaslanması için oluşturulan Şekil 4.8’de de aynı biçimde şekiller ile ilgili ifadeler yer almıştır. Projenin başlangıcından bitişine kadar olan süreçle ilgili kesikli oklar projenin CPM çözümüne göre kritik yolunu ifade etmektedir. Sürekli oklar ise etkinlik bağlantılarını ifade eder. Etkinliklere ilişkin başlama zamanları ve bitirme zamanları ifade edilmiştir.

A etkinliği sonrası proje B ve C etkinlikleri üzerinden iki kola ayrılmıştır. B etkinliği üzerinden devam eden süreç G ve K etkinlikleriyle dallanmıştır. G etkinliği üzerinden devam eden süreç ise projenin kritik yolunu oluşturan önemli süreçlerden biridir. Kritik yol olarak belirlenen A, B, G, I, N, O, P, R ve T etkinliklerine ait işlem düğümlerinin 1, 2, 4, 7, 11, 13, 16, 18 ve 19. düğümler olduğu belirlenmiştir. Bu düğümlere yönelik erken başlama süreleri sırasıyla 30, 45, 60, 90, 112, 137, 182, 192 ve 197 olarak gerçekleşmiştir. Projede kaynak etkinliğinin en yüksek olduğu süreç; B etkinliğinin tamamlandığı, D, G, K etkinliğin ise başlamış olduğu 45. gün ve L etkinliğinin tamamlandığı 112. gün arasındaki 67 günlük süreçtir. Bu süreçte D, E, F, G, H, K, I, L etkinlikleri tamamlanmış olup, N ve J etkinliklerinin ise devam eden sürecinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Kritik yol dışında kalan ama projenin önemli bir sürecini oluşturan C etkinliği üzerinden devam eden süreçte ise D, E, F, H, J, M ve S etkinlikleri tamamlanmıştır. Bu süreç içerisinde D ve F etkinliklerinde boşluk süreler (Lag Time) meydana gelmiştir. Bu durumun sebebi; kaynak kısıtlarından dolayı olup, problemin yapısında bir ekibin birden fazla etkinlik üstlenememesi sebebiyledir. Nitekim D etkinliğinin öncülü olan C etkinliği 35. gün tamamlanmış olsa dahi, müze araştırmacıları ekibinin aynı süreçte B etkinliğini üstlenmesi ve B etkinliğinin 45. günde tamamlanmasından kaynaklıdır. Aynı şekilde F etkinliğinin öncülü olan E etkinliğinin 55. günde bitmesine karşın medya ekibinin G etkinliği görevde bulunması sebebiyle 5 günlük boşluk süre meydana gelmiştir.

4.3. MATEMATİKSEL MODELLEME VE CPM BULGULARININ KİYASLANMASI

Araştırmaya konu olan proje çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik iki farklı yöntemle sonuç elde edilmiş ve aralarında tamamlanma süreleri açısından ciddi farklar olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleşen farklara yönelik bilgiler aşağıda Tablo 4.5 ile sunulup yorumlanmıştır.

Tablo 4.5, proje kapsamında matematiksel model ve CPM yöntemleri kullanılarak elde edilen başlangıç ve bitiş sürelerini karşılaştırmaktadır.

Tablo 4.5. Matematiksel Model ve CpmYönteminin Başlangıç ve Bitiş Sürelerinin Kıyaslanması

Etkinlik	Matematiksel Model Sonuçları		CPM Sonuçları	
	Başlangıç Süresi	Bitiş Süresi	Başlangıç Süresi	Bitiş Süresi
A	0	30	0	30
B	30	45	30	45
C	30	35	30	35
D	45	51	45	51
E	51	55	51	55
F	52	59	60	65
G	35	50	45	60
H	53	65	65	75
I	45	75	60	90
J	65	115	90	140
K	45	85	45	85
L	85	102	85	102
M	132	139	140	147
N	85	107	90	112
O	107	132	112	137
P	111	156	137	182
R	156	166	182	192
S	135	145	147	157
T	166	171	192	197

Matematiksel model esnekliğe dayalı olarak daha etkin bir kaynak ve süre yönetimi sağlarken, CPM yöntemi daha geleneksel ve katı bir yaklaşım sunmaktadır. Tablo 4.5 incelendiğinde, her iki yöntemin projeyi planlama biçimi arasında belirgin benzerlikler ve bazı farklılıklar bulunduğu görülmektedir. Matematiksel model ve CPM yöntemleri arasında, özellikle projenin erken aşamalarındaki etkinliklerde sürelerin büyük ölçüde benzer olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin, A, B ve C etkinlikleri her iki yöntemde de aynı başlangıç ve

bitiş sürelerine sahiptir. A etkinliği 0. günde başlayarak 30. günde tamamlanırken, B ve C etkinlikleri sırasıyla 30-45 ve 30-35 günleri arasında tamamlanmaktadır. Bu benzerlik, projenin başlangıç aşamasında iki yöntemin de aynı kısıtlar ve kaynak kullanımı varsayımlarını benimsemiş olabileceğini göstermektedir. Ancak, proje ilerledikçe yöntemlerin süre planlamasındaki farklılıklar daha belirgin hale gelmektedir.

Tablo 4.5'e göre, A, B, C, D, E ve K etkinliklerinin her iki yöntemle de aynı zamanlarda başladığı ve bittiği tespit edilmiştir. Bu durum, söz konusu etkinliklerin öncül ilişkilerinin ve kaynak kullanım koşullarının her iki yöntemde de benzer şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, F, G, H, I, J, M, N, O, P, R, S ve T etkinliklerinde matematiksel modelin sunmuş olduğu esnek öncelik kısıtlarından kaynaklı olarak başlama ve bitiş sürelerinde farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle G etkinliği matematiksel modelde 35. günde başlayıp 50. günde tamamlanırken, CPM yönteminde bu etkinlik 45. günde başlamış ve 60. günde sona ermiştir. Bu fark, kaynak sınırlamaları veya esnek öncüllük ilişkilerinin model içerisinde optimize edilmesinden kaynaklıdır. Benzer şekilde, F etkinliği modelde 52–59 günleri arasında gerçekleşmişken, CPM yöntemi bu etkinliği 60–65 günlerine atamıştır. Bu durum matematiksel modelde, etkinliğin ardılları olan H ve J etkinliklerinin daha erken başlamasına olanak sağlamıştır.

I etkinliği, Matematiksel Model'de daha erken (45. gün) başlamakta ve 75. günde tamamlanmaktadır; buna karşılık CPM yönteminde daha geç (60–90 gün) zaman diliminde yer almaktadır. Bu, I etkinliğine bağlı olan J etkinliğinin de daha erken başlamasını sağlamış ve J etkinliği 65. günde başlayıp 115. günde tamamlanmıştır. Buna karşın CPM'de J etkinliği 90–140 günleri arasında yer almaktadır. Aynı şekilde, ardıl etkinlik olan M etkinliği modelde daha erken tamamlanmış (132–139 gün), ancak CPM sonuçlarında 140–147 günleri arasında çizelgelenmiştir.

Bir diğer önemli etkinlik olan P etkinliğinin modelde 111–156 günleri arasında yer alması, CPM'de ise bu sürenin 137–182 günlerine atanmasıdır. Bu uzama, R ve T etkinliklerini de geciktirmiştir. Matematiksel Model'de T etkinliği 166. günde başlamış ve 171. günde sona ermiştir; CPM'de ise 192–197 günleri arasında yer alarak projenin genel süresini uzatmıştır.

Tablo 4.5'e göre, matematiksel model proje tamamlanma süresini CPM yöntemine kıyasla daha erken sürede 26 gün farkla tamamlandığı tespit edilmiştir. Bu durumda projenin tamamlanma süresi yüzdesel olarak ise %13,19 $((197-171)/197*100)$ oranında azalmıştır. Matematiksel Model'in bazı etkinlikleri daha erken başlatıp bitirebildiği, kaynak kısıtlarını ve esnek öncüllükleri daha etkin bir şekilde değerlendirerek toplam proje süresini düşürdüğü anlaşılmaktadır. CPM yöntemi, sabit öncüllük yapısına ve kaynak kısıtlarını dikkate almamasına bağlı olarak daha uzun bir proje süresiyle sonuçlanmıştır. Bu da çizelgeleme problemlerinde kaynak sınırlı optimizasyon modellerinin klasik yöntemlere göre daha verimli sonuçlar verebileceğini göstermektedir.

Matematiksel model sonuçlarında CPM'e göre, etkinlik başına ortalama başlama süresi farkı 10,95 olarak hesaplanmıştır. Bu durum modelin proje tamamlanma sürecinde bütün etkinliklerin başlangıç sürelerinin fark toplamalarının alınıp etkinlik sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu hesaplama sonucunda, matematiksel modelin CPM yöntemine kıyasla etkinlik başına neredeyse 11 gün erken başlatma yaptığını ifade edebilir. Hesaplamalar aşağıda verilen Formül 4-3 yardımıyla elde edilmiştir.

Ortalama Başlama Süresi Farkı (OBSF)

(4-3)

$$\bar{\Delta S} = \frac{1}{|E|} \sum_{e \in E} (Se^{CPM} - Se^{MM})$$

ΔS	: Başlangıç süresi farkı
Se^{MM}	: Matematiksel Model yöntemine göre e'nin başlangıç süresi
Se^{CPM}	: CPM yöntemine göre etkinlik e' nin başlangıç süresi
E	: Etkinlikler Kümesi

Matematiksel model ve CPM yöntemi arasındaki en temel fark, proje etkinliklerinin sıralanması ve kaynak kullanımına yönelik stratejilerde yatmaktadır. Matematiksel model, projenin erken ve orta aşamalarında daha yoğun bir planlama yaparak kaynakların verimli kullanımını sağlamak ve etkinliklerin toplam sürelerini kısaltmaktadır. CPM yöntemi ise

daha geleneksel bir yaklaşımı benimsemektedir. Ancak bu durum projenin toplam tamamlanma süresinin uzamasına yol açmıştır. Özellikle benzer sürelerde ilerleyen bazı etkinliklere karşın, farklılıkların yoğunlaştığı etkinlikler, matematiksel modelin projeyi genel anlamda daha esnek bir şekilde yönettiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, matematiksel modelin karmaşık projelerde daha etkili bir planlama aracı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.6 ile ekiplere yönelik süre bilgilerinin karşılaştırmaları verilmiştir.

Tablo 4.6. Ekipler Bazında Süre ve Etkinlik Bilgileri

Ekipler	Üstlendiği Etkinlikler	Ekiplerin Projede Bulunma Süreleri (Gün)	
		Matematiksel Model Çözümü	CPM Çözümü
Grafik Tasarım Ekibi	H	53-65	65-75
Heykel ve Diaroma Ekibi	N	85-107	90-112
Medya Ekibi	C, F, G, P	30-50, 52-59, 111-156	30-35, 45-65, 137-182
Müze Araştırmacıları	A, B, D, E	0-55	0-55
Reklam ve Baskı Ekibi	I, J	45-115	60-140
Teknik Ekip	K, L, M, O, R, T	45-102, 107-139, 156-171	45-102, 112-137, 140-147, 182-197
Yazılım Ekibi	S	135-145	147-157

Tablo 4.6’da değinilen verilere göre, müze araştırmacıları, proje kapsamında A, B, D ve E etkinliklerini üstlenmiştir. Matematiksel model sonuçlarına göre bu ekip, projede 0-55 gün arasında aktif rol oynarken, CPM yöntemine göre de benzer şekilde 0-55 gün olarak hesaplanmıştır. Medya ekibi, projede C, F, G ve P etkinliklerinden sorumlu olan en önemli ekiplerden biridir. Matematiksel model, bu ekibin projede aktif olduğu süreyi boşluklar olma kaydıyla 30-156 gün arasında belirlemiştir. CPM yönteminde ise bu süre 30-182 gün arasında hesaplanmıştır. Matematiksel model ve CPM yöntemi, bu ekibin projede kesintisiz bulunma durumunda 3 ayrı süreçte bulunma durumu belirlemiştir. Bunun yanı sıra, teknik ekibin üstlendiği etkinliklerde model 3 farklı süreçte teknik ekibi projede bulundururken, CPM de dört ayrı süreç aralığında kaynak ataması yapılmıştır. Özellikle uzun süreli etkinliklerde matematiksel modelin kaynakları daha verimli planladığı ve süreleri optimize ettiği açıkça görülmektedir. Bu durum matematiksel modelin esnek öncelik kısıtlamalarına cevap verir yapısından kaynaklanmaktadır. Bu durum yoğun iş yükü olan ekipler için daha etkili bir zaman yönetimi sağlandığını ortaya koymaktadır.

Grafik tasarım ekibi, projede yalnızca H etkinliği ile yer almakta ve proje sürecinde sınırlı bir görev üstlenmektedir. Matematiksel model bu ekip için 53-65 gün arasında bir çalışma süresi belirlerken, CPM yöntemi 65-75 gün arasında bir süre öngörmüştür.

Reklam ve baskı ekibi, proje kapsamında I etkinliği ile görevlendirilmiştir. Matematiksel model sonuçlarına göre bu ekip, projede 45-75 gün arasında görev alırken, CPM yönteminde bu süre 60-90 gün olarak belirlenmiştir. Matematiksel model, bu ekibin görev süresini 15 gün önce tamamlayarak projede avantaj sağlamıştır. Bu süre farkı, matematiksel modelin proje planlamasında ekiplerin görevlerini daha erken başlatma ve bitirme stratejisi izlediğini ortaya koymaktadır. Matematiksel model ile CPM yönteminin bu ekip üzerindeki farkı, %33 oranında bir süre tasarrufu sağlandığını göstermekte ve modelin genel verimliliği artırma yeteneğini kanıtlamaktadır.

Heykel ve diorama ekibi, yalnızca N etkinliği üzerinden projeye katkı sunmakta olup, etkinlik süresinin tahmini projeye etkisi bakımından farklılık göstermektedir. Matematiksel model çözümünde bu ekip 85–107 günleri arasında projeye entegre edilirken, CPM yönteminde bu süre 90–112 günleri aralığında hesaplanmıştır. Böylece matematiksel model, bu ekibin çalışmasına ortalama 5 gün erken başlama ve 5 gün erken tamamlama öngörerek toplamda 10 günlük zaman avantajı sağlamıştır. Bu durum, özellikle kaynak planlamasında sıkıştırma stratejilerinin matematiksel modelle daha etkin biçimde gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.

Reklam ve baskı ekibi, I ve J etkinliklerinden sorumlu olup, matematiksel model bu ekip için 45–115 günleri arasında bir süre öngörürken, CPM yöntemi bu süreyi 60–140 gün olarak belirlemiştir. Matematiksel model, bu ekip için 15 gün erken başlama ve 25 gün erken tamamlama olmak üzere toplamda 40 günlük bir fark yaratmıştır. Bu, yaklaşık %28,5'lik bir süre tasarrufu anlamına gelmektedir ve modelin, özellikle ardışık ve geniş zaman dilimine yayılan görevlerde, etkinlikleri sıkıştırarak kaynakları daha verimli kullandığını göstermektedir.

Yazılım ekibi, yalnızca S etkinliği ile projeye dâhil olmuş ve matematiksel model bu etkinlik için 135–145 günleri arasında bir süre belirlemiştir. CPM çözümünde ise bu süre 147–157 günleri arasındadır.

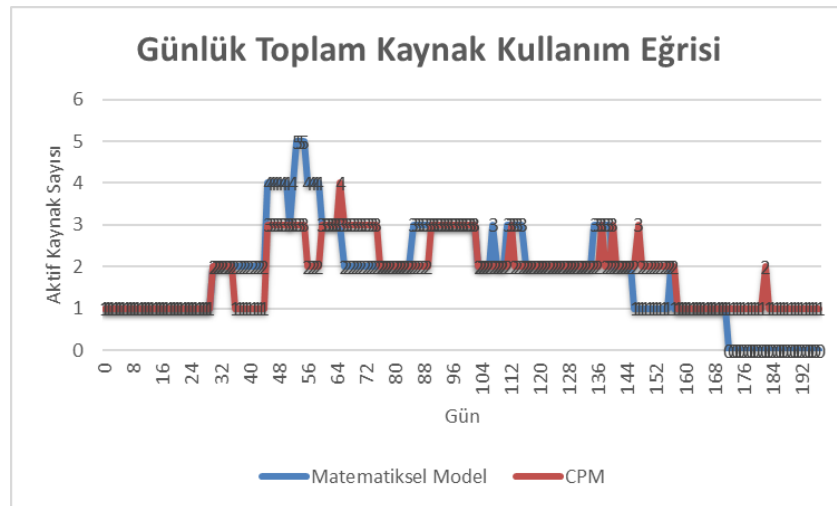
Ayrıca Tablo 4.5 ve Tablo 4.6 verileri ele alınarak kaynak kullanımında günlük etkinlik yükleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre, matematiksel modelle elde edilen sonuçlar kaynak kullanımının 2,05 etkinlik/gün, CPM yönteminde ise 1,78 etkinlik/gün sonucunu vermektedir. Bu oranlar matematiksel modelin gün bazında kaynaklara daha fazla paralel etkinlik yürütme görevi yüklediğini, zaman başına yapılan etkinlik miktarının daha fazla olduğunu ve kaynakların daha yoğun kullanıldığını göstermektedir. Model kaynak kullanımında CPM'e göre %15,16 $\left(\frac{(p_{MM} - p_{CPM})}{p_{CPM}} * 100 \right)$ oranında daha etkin kaynak kullanım sonucunu vermiştir. Kaynak kullanımına ilişkin yoğunluk hesaplamaları aşağıda Formül 4-4 yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

(4-4)

$$P_{MM/CPM} = \sum D(e)/LF$$

- $\sum D(e)$: Tüm etkinliklerin toplam planlanan süresi (iş yükü)
 LF : Proje tamamlanma süresi (Son etkinliğin tamamlandığı bitiş süresi)
 p_{MM} : Matematiksel model etkinlik yoğunluk değeri
 p_{CPM} : CPM yöntemi etkinlik yoğunluk değeri

Bu bilgilerin yanı sıra Şekil 4.9'da günlere kıyasla matematiksel model ve CPM sonuçlarının kaynak kullanım durumlarını açıklamak üzere bilgilere yer verilmiştir.



Şekil 4.9. Yöntem Kıyaslamalarına Göre Kaynak Kullanım Eğrisi

Şekil 4.9’da sunulan grafiğe göre; matematiksel modeldeki kaynak kullanımının daha düzenli artışlar ve azalışlar içerdiği, özellikle proje ortasında dengeli bir tepe noktaya ulaştığı, ardından sistemli biçimde düştüğü gözlemlenmiştir. CPM eğrisinde ise ani yükselmeler ve düşüşler belirgin şekilde öne çıkmakta; örneğin 90–140. günler arasında ve 180. günden sonra kaynak sayısında keskin artışlar yaşanmakta, bu da proje yükünün belli dönemlerde aşırı yoğunlaştığını ve eş zamanlı çok sayıda kaynağın meşgul olduğunu göstermektedir. Buna karşın matematiksel model, örneğin 100–150. günler arasında daha yaygın ve sürdürülebilir bir kaynak kullanımı profili sunmakta, bu da hem kaynak çakışmalarını önlemekte hem de proje süresini daha kısa tutmaktadır.

Bu bağlamda, oluşturulan matematiksel model yalnızca toplam proje süresini minimize etmekle kalmayıp, aynı zamanda kaynakların proje süresince daha verimli, dengeli ve sürdürülebilir şekilde kullanılmasını da sağlamaktadır. Dolayısıyla, bu tür bir eğri analizi, kaynak kısıtlı proje ortamlarında yalnızca çizelgeleme değil, operasyonel karar alma süreçlerinde de kritik önem taşımaktadır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu araştırma, proje yönetimi bağlamında karşılaşılan proje çizelgeleme problemlerine odaklanmış ve özellikle proje sürecindeki etkinliklerin tamamlanma sürelerini ve toplam proje süresini minimize etmeyi hedefleyen bir çözüm sunmuştur. Araştırma kapsamında geliştirilen matematiksel model, verilerin elde edildiği firmanın mevcut operasyon sürecine entegre edilmesi ve uygulanabilirliği açısından bir öngörü sunmuş ve hedeflenen sürelerle kıyasla kayda değer bir sonuç ortaya koymuştur.

Proje çizelgeleme ve planlama süreçlerindeki hatalar, özellikle iş teslim sürelerinin ihale şartnamelerinde kesin olarak tanımlandığı sektörlerde, işletmeler açısından ciddi ek maliyetlere yol açabilmekte ve sürdürülebilirliklerini riske atabilmektedir. Müze tasarım alanında faaliyet gösteren uzman firmaların sınırlı sayıda olduğu göz önüne alındığında, proje maliyetlerinin rakip firmalarla rekabet edebilir düzeyde tutulması ve ekiplerin mevcut projelerde etkili bir şekilde koordine edilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, firmaların yeni projelerde ekiplerini değerlendirme fırsatı bulabilmesi için proje tamamlanma sürelerinin minimuma indirilmesi, rekabet avantajı sağlamanın yanı sıra kaynakların daha verimli kullanımını da mümkün kılmaktadır.

Araştırma problemi verilerin toplandığı müze tasarım alanına özgü kısıtlar ve verileri içermektedir. Problem genel yapısı itibariyle; öncelik kısıtlamaları, kaynak kısıtlamaları ve problemin başkaca dinamik kısıtlarına dayalı hibrit yapıya sahip bir problemidir. Ancak araştırma problemini literatürde bulunan diğer araştırmalara kıyasla farklı kılan özellik, öncelik kısıtlamalarında karşılaşılan esnek öncelik ilişkileridir (Flexible Precedence Constraints). Probleme ilişkin öncelik kısıtlamaları, katı öncelik kısıtlamaları ve esnek öncelik kısıtlamaları olarak ikiye ayrılmıştır. Problemin bu yapısı genel itibariyle literatürde Gillies, (1993) tarafından öne sürülen *Ve/Veya* öncelik kısıtlamaları (And/Or Precedence Constraints) yöntemiyle benzerlikler gösterse de önemli noktalarda bu yöntemden ayrılmaktadır (Yöntem farklılıkları bölüm 3.2 ve bölüm 3.3'te detaylı bir şekilde tanımlanmıştır). Bu sebeple probleme özgü model kurularak Python programlama dilinde sonuç elde edilmiştir. Problem yapısı gereği araştırmada esnek öncül kısıtlı olarak ele alınmıştır. *Ve/Veya* (And/Or) öncelik

kısıtlamaları yöntemi ise problem çözüm çıktılarının ağ diyagramının oluşturulmasında gösterim yöntemi olarak kullanılmıştır.

Araştırmaya konu çizelgeleme probleminin dinamik kısıtları ve sektöre özgü verileri dikkate alınarak, araştırma probleminin karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) problemi olduğu tespit edilmiştir. Araştırma problemine yönelik matematiksel model kurularak, Python programlama dilinin 3.11, 64 bit sürümünde, Pyomo eklentisi yardımıyla CPLEX çözümleyicisi kullanılarak optimal sonuç elde edilmiştir. Problemin çözüm sonucunda Python modeline ilişkin çözüm çıktıları incelendiğinde; toplamda 7668 karar değişkeni ve 23774 kısıttan oluştuğu tespit edilmiştir. Araştırma problemindeki bu değişkenlerin; 7629'u 0-1 (binary) değişken, 39'u tam sayılı (integer) değişken olarak ortaya çıkmıştır. Probleme ilişkin 104.768 simplex iterasyonu gerçekleştiği, 3720 dal (branching node) ile optimal çözüme ulaştığı tespit edilmiştir. Çözümleme yapılan bilgisayarın işlemci özellikleri, Intel Core Ultra 7 155H 16C/22T; 24MB L3; E-CORE Max 3.80GHZ P-CORE Max 4.80GHZ' dir. Ancak problemin çözümü için oluşturulan Python kodu Madison Wisconsin Üniversiteleri'nin sunucu ağı olan NEOS sunucularına entegre edilmiştir. Model problemin çözümünü sunucularda sonuçlandırıp çözüm çıktısını rapor etmektedir. Bu durum modelin çözümü için kullanıcı bilgisayarının işlemcisine yük bindirmeyip daha güçlü işlemci yeteneğine sahip NEOS sunucularının kapasitesinden faydalanılması yönünden önemli bir husustur. İşlem süresi ise NEOS sunucularının işlem yoğunluğuna göre 5 ila 15 dakika arası sürmektedir. Model, kaynak atama, zamanlama ve öncüllük yapılarını birlikte ele alan entegre bir çizelgeleme problemine optimal sonucu rapor etmektedir. Karar değişkeni sayısı, kısıt yoğunluğu ve çözüm ağacının derinliği göz önüne alındığında, model zor düzeyde bir MILP problemidir. CPLEX çözücüsünün optimum çözüme ulaşabilmiş olması, modelin doğru kurulduğunu ve çözümleyicinin yeterli donanımda çalıştığını göstermektedir.

Elde edilen optimizasyon sonucunda, matematiksel modelleme ve optimizasyon teknikleri kullanılarak 171 günde proje tamamlanma süresi gerçekleşmiştir. Ayrıca elde edilen sonucun genel kabul görmüş yöntemlerden CPM yöntemi sonucu ile kıyaslanması başkaca yöntemlere göre uygun bulunmuştur. CPM yöntemi ile yapılan analiz sonucunda 197 günlük tamamlanma süresi sonucuna ulaşılmıştır. Bu yöntemle kıyasla model 26 gün

daha kısa bir sürede projeyi tamamlamayı mümkün kılmıştır. Model CPM sonucuna göre %13,19 oranında daha başarılı bir sonuç elde etmiştir. CPM yöntemindeki 26 günlük fark, matematiksel modelin esnek öncül kısıtlarına ve koordinasyon avantajlarını kullanmasından kaynaklanmaktadır. Bu esneklik, özellikle paralel işlemlerde ve olgunlaşma sürelerinin dikkate alınmasında etkili olmuştur (Bkz. Tablo 4.2 ve Tablo 4.3).

Matematiksel modelde belirlenen kritik yol, sırasıyla A, B, K, N, O1, P, R, T etkinliklerinden oluşmaktadır. CPM yönteminde ise bu yol A, B, G, I, N, O, P, R ve T olarak belirlenmiştir. Her iki yöntemde kritik yol üzerindeki etkinliklerin benzerlik göstermesi, proje yönetimindeki süre ve etkinlik önceliği açısından modelleme sonuçlarının tutarlılığını göstermektedir. Ancak, O etkinliği CPM’de kritik yol üzerinde yer alırken matematiksel model sonuçlarında koordineli işlemler neticesinde O etkinliğinin O1 bölümü kritik yol üzerinde yer almıştır. Bu farklılık, her iki yöntemin etkinlik sürelerini ele alma yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca matematiksel model, belirli etkinliklerde (örneğin F, G, H, I, P ve S) esneklik tanımış ve olgunlaşma sürelerini dikkate alarak toplam tamamlanma süresi üzerinde bir iyileştirme sağlamıştır. CPM yönteminde ise tüm etkinlikler katı işlemler olarak değerlendirilmiş ve esneklikler göz önüne alınmamıştır. Bu durum, CPM’in daha statik bir yaklaşım sergilediğini, dolayısıyla karmaşık projelerde dinamik gereksinimlere yanıt verme kapasitesinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Matematiksel modelin amaç fonksiyonu sadece proje tamamlanma süresini minimize etmekle kalmayıp, kritik olmayan etkinlikleri dahi en küçüklemeye çalıştığından projede uygulanabilir bir etkinlik sıralaması yapmış ve her dallanmada bir sıkılaştırma gerçekleştirmiştir. Bu durum kaynak kullanım etkinliğinde de olumlu sonuçların gerçekleşmesini sağlamıştır. Bu doğrultuda, matematiksel modelle elde edilen sonuçlar kaynak kullanımının 2,05 etkinlik/gün, CPM’de ise 1,78 etkinlik/gün sonucunu vermektedir. Bu ifadeler matematiksel modelin gün bazında kaynaklara daha fazla paralel etkinlik yürütme görevi yüklediğini, zaman başına yapılan etkinlik miktarının daha fazla olduğunu ve kaynakların daha yoğun kullanıldığını göstermektedir. Model kaynak kullanımında CPM’e göre %15,16 oranında daha etkin kaynak kullanımı sağlamıştır.

Araştırma yöntemi olan matematiksel modellerin farklı sektörlere uygulanabilirliği değerlendirildiğinde, literatürdeki araştırmalar özellikle inşaat sektöründe maliyetlerin modelleme çözümleriyle %15 ve üzeri oranında azaldığı ve yazılım projelerinde proje teslim sürelerinin %10 oranında hızlandığı kanaatini vermektedir (Çorumlu vd., 2024, Kurt, 2018). Bu sonuçlar, modelin geniş kapsamlı projelerde dahi başarılı sonuçlar verebileceğini düşündürmektedir. Nitekim gerçekleştirilen araştırmada elde edilen sonuçlar farklı sektördeki uygulamaları destekler niteliktedir. Bu yönüyle modelin daha fazla test senaryosuyla veya daha fazla gerçek hayat problemine uyarlanmasıyla bu başarı oranlarının farklı alanlarda doğrulanması yeni araştırmacılara önerilen hususlardan biridir.

Ayrıca elde edilen sonuçlar, literatürdeki başkaca çalışmalarla da tutarlılık göstermektedir. Örneğin, Goldratt (1997) tarafından önerilen Kritik Zincir Yöntemi (Critical Chain Method) paralel süreçlerde esneklik tanınmasının proje süresini optimize ettiğini ortaya koymuştur. Matematiksel modelleme bu bağlamda benzer sonuçlar vermiştir. Ayrıca, Herroelen ve Leus (2005), geleneksel yöntemlerin karmaşık ve dinamik projelerde yetersiz kalabileceğini, matematiksel modelleme yöntemlerinin ise daha esnek sonuçlar sağlayabildiğini ifade etmiştir. Bu araştırmada matematiksel model çözümü CPM çözümüne göre %13,19, proje başlangıcında belirlenen hedef süreye (260 gün) oranla ise %34,23 oranında daha verimli proje tamamlanma süresi sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlarda tamamlanma süresi açısından Biruk ve Jaśkowski (2017), Chitra ve Halder (2017), Kurt (2018), Alhassan vd. (2023), Dinçkurt Biçer (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmaların sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Gerçekleştirilen araştırma, ülkemizde ve dünyada gelişmekte olan ve pazar payının arttığı bir sektör olan müze tasarım alanında karşılaşılan bir gerçek hayat problemine ilişkin özgün bir model geliştirmiş ve uygulanabilir bir sonuç elde etmiştir. Hem karşılaşılan çizelgeleme problemine ürettiği çözümle hem de bu alanda karşılaşılan operasyonel süreçlerle ilgili değinilen açıklamalar çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Özellikle müze tasarımına yönelik geçmiş uygulamaların genellikle inşaat ve mimarlık firmaları tarafından gerçekleştirildiği, günümüzde ise birçok disiplini içerisinde barındırdığından bu alanda faaliyet gösterecek firmaların ayrı uzmanlık alanlarını koordineli çalıştırabilecek

faaliyetler sergilemek durumunda olduğu düşüncesi ön plana çıkmaktadır. Bu durum ise hem bu alanda araştırma yapacak araştırmacıların hem de sektörde faaliyet gösteren çalışanların literatürden faydalanma gereksinimleri açısından daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyduklarını göstermektedir. Nitekim araştırmanın literatür kısmında değinildiği üzere; müze tasarım alanında proje çizelgeleme yöntemleri ile ilgili bilimsel kaynakların kısıtlı olması, ülkemizde ise bu alanda araştırmaların bulunmaması sebebiyle gerçekleştirilen çalışmanın bu bağlamda da literatüre katkı sağladığı düşünülmektedir.

Ayrıca bu çalışma, müze tasarımında iç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması süreçlerinde karşılaşılan çizelgeleme problemlerine odaklanmış ve bu alanda proje tamamlanma süresi önem arz ettiğinden bu tür operasyonel zorlukların matematiksel modelleme yoluyla nasıl çözülebileceğini ortaya koymuştur. Araştırma, müze tasarım projelerinin dinamikleri ve kısıtları doğrultusunda bir model geliştirerek optimizasyon sağlamış ve proje yönetim süreçleriyle ilgili önemli bulgular sunmuştur. Çalışmada kullanılan model, sadece mevcut problemin çözümüne yönelik değil, aynı zamanda farklı operasyonel süreçlere uyarlanabilir yapısıyla da öne çıkmaktadır. Modelin esnek yapısı, farklı operasyonel işlemlerde karşılaşılan kısıtların ve kaynak farklılıklarının tanımlanmasına ve bunlara yönelik optimizasyon çözümleri üretilmesine olanak sağlayabilecek ölçüde gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra problemin yapısı itibarıyla esnek öncül ilişkileri mevcut olup, problemin sonuçlandırılmasında *Ve/Veya* öncelik kısıtlamaları yönteminin gösterim tekniğinden faydalanılmıştır. Yerli kaynaklar içerisinde bu tekniğe değinen ilk araştırma olma yönünden de gerçekleştirilen araştırma orijinallik açısından bir değer sunmaktadır. Bu durum, ileride yapılacak araştırmalar için de uygulama alanının genişletilmesi bakımından katkı sunmaktadır. Özellikle çeşitli endüstriyel ve operasyonel bağlamlarda farklı kaynaklar atanması, esnetilebilir kısıtlara ilişkin verilerin değiştirilmesi ve uygulanması ile modelin etkinliğinin test edilmesi ve geliştirilmesi açısından literatüre değerli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu bilgilerin yanı sıra araştırma sonuçları hali hazırda yeterli sonuçlar ortaya koysa da, gelecek araştırmalara yol gösterecek hususlar bulunmaktadır. Bu hususlar şu şekilde belirtilmiştir:

Bu araştırmada bulunan veri yapısı gereği kesin planlanan süreler bilinmekte olup müze tasarım sürecinin başka operasyonel işlemlerinde belirsizlik içeren stokastik durumlarla karşılaşmak mümkün olabilmektedir. Deterministik olmayan süreçlerin incelenmesine yönelik gelecekte yapılacak çalışmaların, belirsizliğin etkisini dikkate alan stokastik ya da bulanık süreli modellere yönelmesi önerilerden biri olarak ön plana çıkmaktadır.

Mevcut çalışmada, sektörün dinamiklerine yönelik olarak faaliyet gösteren işletmelerin kâr marjı yüksek ve rakip firmaların azlığı sebebiyle rekabet ortamının sert olmadığı, buna bağlı olarak maliyet hassasiyetinin düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ancak kâr marjının daraldığı ve maliyetin yönetsel kararlar üzerinde daha baskın hale geldiği dönemlerle karşılaşılabilceği ihtimali göz önünde bulundurularak, yalnızca tamamlanma sürelerinin değil aynı zamanda maliyetin de optimizasyonunu hedefleyen çok amaçlı karar modellerine ihtiyaç duyulabilceği varsayılmalıdır. Gelecek araştırmalar, proje süresi ile birlikte toplam maliyet, kaynak kullanım giderleri ve olası gecikme cezaları gibi faktörleri eş zamanlı olarak değerlendiren maliyet-zaman analizli hibrit modeller geliştirmeye odaklanabilir.

Ayrıca bu çalışmada bir projeye ait operasyonel etkinliklere yönelik ekip yapısı incelenmiş olsa da, çoklu projelerin aynı kaynak havuzunu kullandığı durumların yönetsel açıdan kritik öneme sahip olduğu düşüncesi ön planda tutulabilir. Bu nedenle ilerleyen çalışmalar, mevcut projelerin yürütülmesi sırasında paralel projelere dair kararların nasıl alınabilceğini irdeleyen ve kısıtlı kaynak dağılımı altında çoklu projelerin çizelgelenmesine olanak sağlayan entegre karar destek modelleri üzerine yoğunlaşabilir.

Bu önerilerin yanı sıra, araştırma kapsamında müze tasarımı özelinde bir proje yapısı incelenmiş, sergileme ve sunum ekseninde bir planlama yaklaşımı benimsenmiştir. Müze tasarım sürecinde ayrıca restorasyon projeleri de uzmanlık alanı gerektiren multidisipliner yapıda gerçekleştirilen proje süreçlerine sahip olabilmektedir. Restorasyon süreçleri de içerdığı uzmanlık yapısı ve karşılaştığı özgün zorluklar itibariyle ayrı bir planlama paradigması gerektirmektedir. Bu doğrultuda, ileriki araştırmalarda araştırma alanının genişletilerek, müze yapılarının restorasyon süreçlerinin proje çizelgeleme ilkeleri ile nasıl

uyarlanabileceği, bu süreçlerde karşılaşılan teknik, kaynak ve sürdürülebilirlik problemlerinin modellenebilirliği üzerine çalışmalar yapılması araştırmanın gelecek araştırmalara sunduğu bir diğer öneri olarak görölmektedir.



KAYNAKÇA

- Alhassan, M.N., Hassan, M. ve İsmail, N (2024). Utilizing CPM and PERT in project planning and scheduling, incorporating Linear Programming. *International Journal of Scientific Research in Mathematical and Statistical Sciences*. 11. 6-10.
- Alver, S. (2009) *Using ant colony optimization to find an optimum solution for resource constrained project scheduling problem* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi
- Ambrose, T. ve Paine, C. (2006). *Museum basics: the international handbook*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203018989>
- American Alliance of Museums. (2023). Museums as educational platforms and social agents. American Alliance of Museums. Erişim 29 Aralık 2024, <https://www.aam-us.org/>
- Aslan, E. (2018). *İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme Atama-Sıralama-Zamanlama*, Seçkin Yayıncılık.
- Ateşoğulları, S. (2022). Değişen ve gelişen Türkiye müzeleri. *Türk Arkeoloji ve Etnografya Dergisi*, (83): 35-53.
- Atlı, Ö. (2018). *Bulanık Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Matematiksel Bir Model* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Milli Savunma Üniversitesi.
- Atlı, Ö. (2021). Çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin belirsizlik ortamında modellenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1): 1-10.
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J. ve Sherali, H. D. (2010). *Linear Programming and Network Flows* (4. Baskı). Wiley.

- Bellman, R. ve Kalaba, R. (1957). Dynamic programming and statistical communication theory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 43(8): 749-751. <https://doi.org/10.1073/pnas.43.8.749>
- Berthold, T., Heinz, S., Lübbecke, M. E., Möhring, R. H. ve Schulz, J. (2010). *A constraint integer programming approach for resource-constrained project scheduling*. İçinde Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems. 7 (s. 313-317). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13520-0_34
- Bertsimas, D. ve Tsitsiklis, J. N. (1997). *Introduction to Linear Optimization*. Athena Scientific.
- Bettemir, Ö. H. ve Çakmak, D. (2021). Tüm arama uzayını tarayarak küçük ölçekli kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü. *Aksaray Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2): 92-112. <https://doi.org/10.29002/asujse.878294>
- Bettemir, Ö. H. ve Erzurum, T. (2021). Kaynak Dengeleme Probleminin Arama Uzayını Paralel Programlama ile Tarayarak Kesin Çözümü. *Teknik Dergi*, 32(3): 10767-10805. <https://doi.org/10.18400/tekderg.595238>
- Biruk, S. ve Jaśkowski, P. (2017). Scheduling linear construction projects with constraints on resource availability. *Archives of Civil Engineering*, 63(1). DOI: 10.1515/ace-2017-0001
- Black, G. (2012). *Transforming Museums in the Twenty-First Century* (2. Baskı) Routledge.
- Blum, C. ve Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35(3): 268-308.
- Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A. ve Raman, R. (1998). GAMS: A User's Guide. GAMS Development Co. Erişim Adresi: <https://www.gams.com/docs/pdf/GAMSUsersGuide.PDF> (29.12.2023/10:55)
- Burke, E. K., ve Kendall, G. (2005). *Search methodologies: Introductory tutorials in optimization and decision support techniques*. Springer.

- Burke, R. (2013). *Project management: planning and control techniques*. John Wiley & Sons.
- Cascone, S., Parisi, G. ve Caponetto, R. (2024). BIM-Based Strategies for the Revitalization and Automated Management of Buildings: A Case Study. *Sustainability*, 16(16): 6720. DOI: 10.20944/preprints202406.1874.v1
- Chitra, K. ve Halder, P. (2017). Scheduling project crashing time using linear programming approach: Case study. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 6(4): 283-292.
- Coşkun, A., Aslaner, A. A., Bulut, B., Özboyacı, E., Gülbent, G., Ergün, N. ve Paldrak, A. G. M. (2020) PARALEL MAKİNA ÇİZELGELEME PROBLEMİ. SİSTEM TASARIMI PROJE ÖZETLERİ, 13-18. https://ie.yasar.edu.tr/wp-content/uploads/2020/10/ProjeOzetleri_YUEM_2020.pdf#page=19 (Erişim Tarihi: 10.02.2024)
- Crainic, T.G. ve Toulouse, M. (2003) “Parallel Strategies for Meta-heuristics” Glover ve Koschenberger. (Ed) *Handbook of Metaheuristics* içinde (s. 475-515), Kluwer Academic Publishers.
- Çorumlu, V., Atalay, K. D. ve Dinler, E. (2024). Proje çizelgelemede bulanık doğrusal programlama ile yeni bir yöntem önerisi: Yazılım projesinde uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 8(1): 20-38. <https://doi.org/10.56554/jtom.1251297>
- Dede, T. ve Orozbaev, N. (2019). Yapım İşlerinde Kaynak Dengeleme Problemleri İçin Sezgisel Yöntemlerin Uygulanması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1): 112-116.
- Desale, S., Rasool, A., Andhale, S. ve Rane, P. (2015). Heuristic and meta-heuristic algorithms and their relevance to the real world: *A Survey. Int. J. Comput. Eng. Res. Trends*, 351(5): 2349-7084.

- Dinçkurt Biçer, C.N. (2024). *Çok Amaçlı Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme Problemi Ve Bir Traktör Firmasında Uygulama*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Falk, J. H. ve Dierking, L. D. (2000). *Learning from Museums: Visitor Experiences and the Making of Meaning*. Walnut Creek.
- Fischer, M., Ashcraft, H. W., Reed, D. ve Khanzode, A. (2017). *Integrating project delivery*. John Wiley & Sons.
- GAMS, Erişim 7 Temmuz 2024, <https://www.gams.com/products/gams/gams-language/>
- Gillies, D. W. (1993). *Algorithms to schedule tasks with AND/OR precedence constraints*. [Doctorate Thesis] University of Illinois.
- Glover, F. ve Kochenberger, G. A. (2006). *Handbook of metaheuristics*. Springer.
- Goldratt, E. M. (1997). *Critical chain: A business novel* (1. Baskı). Routledge.
- Gökçe, F. S. (2024). Türkiye'deki Müzecilik Anlayışının Sosyolojik Açıdan İncelenmesi. *ETÜT Dergisi*, (8): 59-68. DOI: 10.52003/etut.2024.45
- Harrison, R. (2012). *Heritage: Critical Approaches*. Routledge.
- Hartmann, S. ve Kolisch, R. (2000). Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 127(2): 394–407. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00485-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00485-3)
- Heizer, J., Render, B., Munson, C. (2017). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management* (12. Baskı.). Pearson.
- Herroelen, W. ve Leus, R. (2005). Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. *European journal of operational research*, 165(2): 289-306. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.002>
- Highsmith, J. (2020). *Agile Project Management: Creating Innovative Products*. Pearson Education.

- Hillier, F. S. ve Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to Operations Research* (10. Baskı.). McGraw-Hill Education.
- International Council of Museums (ICOM). (2010). *Museum International* (Yayın no:62). ICOM.
- International Council of Museums (ICOM). (2022). ICOM approves a new museum definition. <https://icom.museum> (Erişim tarihi: 10.12.2024)
- Ipsilandis, P. G. (2007). Multiobjective linear programming model for scheduling linear repetitive projects. *Journal of construction engineering and management*, 133(6): 417-424. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:6(417)
- İBM, <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio> (Erişim tarihi: 9.11.2024)
- İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), <https://web.itu.edu.tr/~ercelebi/LingoEkim2003.pdf> (Erişim tarihi: 4.11.2024).
- Kamışlı Öztürk, Z. ve Sağır Özdemir, M. (2005). Çok ölçütlü çizelgeleme problemleri: Geline nokta ve potansiyel araştırma alanları. <https://acikerisim.ticaret.edu.tr/server/api/core/bitstreams/6fa92191-a042-4f39-ada3-d3e6be8f27db/content> (Erişim tarihi 9.12.2024)
- Kandemir, Ö., & Uçar, Ö. (2015). Değişen Müze Kavramı ve Çağdaş Müze Mekanlarının Oluşturulmasına Yönelik Tasarım Girdileri. *Sanat Ve Tasarım Dergisi*, 5(2): 17-47. <https://doi.org/10.20488/austd.01850>
- Kaya, S. (2013). *Sıra bağımlı kurulum zamanlı tek bir makineye sahip kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için bir genetik algoritma*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12. Baskı). Wiley.
- Kılıç, G. (2023). *Sıra bağımlı ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi için yeni bir sezgisel algoritma önerisi*. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Pamukkale Üniversitesi.

- Kolaylıoğlu, Ö. (2006), *İnşaat Sektöründe Proje Yönetimi ve Proje Yöneticisi*, [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi
- Kolisch, R. (1996). Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation. *European Journal of Operational Research*, 90(2): 320–333. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00357-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00357-6)
- Kolisch, R. ve Hartmann, S. (1999). Heuristic algorithms for the resource-constrained project scheduling problem: Classification and computational analysis. *International Journal of Production Research*, 37(2), 365–387.
- Kolisch, R. ve Hartmann, S. (2006). Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update. *European Journal of Operational Research*, 174(1), 23–37.
- Kolisch, R. ve Sprecher, A. (1997). PSPLIB—a project scheduling problem library: OR software—ORSEP operations research software exchange program. *European Journal of Operational Research*, 96(1), 205–216.
- Krajewski, L. J. ve Malhotra, M. K. (2022). *Operations management: Processes and supply chains* (13. Baskı). Pearson.
- Krivulin, N. ve Gubanov, S. (2024). Algebraic solution of project scheduling problems with temporal constraints. *Operational Research*, 24(4): 1-27.
- Kurt, Ö. (2006). *Proje Planlama Ve Programlama Teknikleri Ve İnşaat Sektörüne Ait Bir Uygulaması*. [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Akdeniz Üniversitesi
- Kurt, P. A. (2018). *Çok projeli kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi: bir yazılım firmasında uygulama çalışması* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Başkent Üniversitesi
- Larson, E. ve Gray, C. (2014). *Project Management: The Managerial Process 6e* (6. Baskı). McGraw Hill.

- Lee, S., Moon, I., Bae, H., Kim, J. (2012). Flexible job-shop scheduling problems with ‘AND’/‘OR’precedence constraints. *International Journal of Production Research*, 50(7): 1979-2001.
- Lock, D. (2018). *Project Management* (10. Baskı). Routledge.
- Maghsoudlou, H., Afshar-Nadjafi, B. ve Niaki, S. T. A. (2016). A multi-objective invasive weeds optimization algorithm for solving multi-skill multi-mode resource constrained project scheduling problem. *Computers & chemical engineering*, 88, 157-169.
- Mairesse, F. ve Desvallées, A. (2010). *Key concepts of museology*. International Council of Museums.
- Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., ve Fazar, W. (1959). Application of a techniqueforresearchanddevelopment program evaluation. *Operations Research*, 7(5): 646–669. <https://doi.org/10.1287/opre.7.5.646>
- Mann, S. (2019). Achieving More Mission An Introductionto Formal Project Management Practices in Art Museums.
- Martí, R., ve Reinelt, G. (2011). *The linear ordering problem: exact and heuristic methods in combinatorial optimization* (Vol. 175). Springer Science & Business Media.
- Marty, P. F. (2008), Interactive Technologies. Marty, P. F. Ve Jones, K. B. (Ed.). *Museum informatics: People, information, and technology in museums* (2. Baskı) içinde (s. 131-136). Taylor & Francis.
- Massachusetts Institute of Technology (MIT). <https://ist.mit.edu/mathworks/matlab> (Erişim Tarihi: 20.08.2024).
- McGuinness, V. N. (2018). *Open Project Management (OPM): People, Purpose, and Museum Projects*. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. University of Leicester.
- Meredith, J. R., Shafer, S. M., ve Mantel Jr, S. J. (2017). *Project management: a strategic managerial approach*. John Wiley & Sons.

- Moder, J. J., Phillips, C. R., Davis, E. W. (1983). *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*. Van Nostrand Reinhold.
- Moselhi, O., ve Hassanein, A. (2003). Optimized scheduling of linear projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(6): 664-673.
- Möhring, R. H., Skutella, M., ve Stork, F. (2004). Scheduling with AND/OR precedence constraints. *SIAM Journal on Computing*, 33(2): 393-415.
- Natural History Museum. (2021). Natural History Museum Annual Report and Accounts 2020-2021.
- NEOS. <https://neos-server.org/neos/> (Erişim Tarihi: 25.05.2025).
- Onan, A. (2013). Metasezgisel yöntemler ve uygulama alanları. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(2): 113-128.
- Öztürk Görgülü, G. (2024). *A study on modeling and solution methods of resource constrained project scheduling problems* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Yaşar Üniversitesi
- Pamay, M. B. (2011). *A linear programming based method for the resource constrained multiproject scheduling problem with weighted earliness/tardiness costs*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Sabancı Üniversitesi.
- Panneerselvam, R. (2012). *Operations Research* (3. Baskı). PHI Learning.
- Parry, R. (2010). *Museums in a Digital Age* (1. Baskı). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203716083>
- Pastore, S. (2020). Beyond the modern museum: A theoretical framework for a museal landscape analysis. *ICOFOM Study Series*, 48(2): 178-192.
- Piacente, M. (Ed.). (2022). *Manual of museum exhibitions* (3. Baskı). Rowman & Littlefield.
- Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems* (5. Baskı). Springer.
- Project Management Institute (PMI). (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)* (6. Baskı). PMI Publications.

- Project Management Institute (PMI). (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7. Baskı.). PMI Publications.
- Python. <https://www.python.org/about/> (Erişim Tarihi: 25.04.2025).
- Rethinking The Future. (2024). Museum Design Principles of accessibility and Sustainability. <https://www.re-thinkingthefuture.com/> (Erişim Tarihi: 10.09.2024).
- Ruiz, R. ve Stützle, T. (2007). A Review on Project Scheduling Problem Solved by Metaheuristics. *European Journal of Operational Research*, 165(2): 265-289.
- Salazar, A. D. (2018). *Project Management Plan for the Construction of the National Museum of Belize* [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Universidad Para La Cooperación Internacional.
- Sandell, R. (2016). *Museums, Moralities and Human Rights* (1 Baskı). <https://doi.org/10.4324/9781315312095>
- Sarı, T. (2008). *Metasezgisel Yöntemlerle Proje Çizelgeleme Optimizasyonu* [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Schubert, K. (2009). *Museum Design: Architecture and Experience*. London: Phaidon Press.
- Schwalbe, K. (2005). *Information Technology Project Management* (8. Baskı.). Cengage Learning.
- Shuvo, O., Golder, S. ve Islam, M.R. (2023) A hybrid metaheuristic method for solving resource constrained project scheduling problem. *Evolutionary Intelligence*. 16: 519–537. <https://doi.org/10.1007/s12065-021-00675-x>
- Smithsonian Institution. (2020). Enhancing Visitor Engagement through Digital Tools. Smithsonian Reports., <https://www.si.edu/dashboard/public-engagement> (Erişim tarihi: 22.12 2024)
- Szmerekovsky, J. G. ve Venkateshan, P. (2012). An Integer Programming Formulation for the Project Scheduling Problem with Irregular time–cost tradeoffs. *Computers & Operations Research*. 39(7). 1402-1410. <https://doi.org/10.1016/J.COR.2011.08.011>

- Thiruvady, D. R., Nguyen, S., Blum, C. ve Ernst, A. T. (2024). An efficient merge search matheuristic for maximising net present value in project scheduling. *International Journal of Operational Research*, 51(1): 104-127. <https://doi.org/10.1504/IJOR.2024.141328>
- Thompson, J. M. A. (Ed.). (1992). *Manual of curatorship: A guide to museum practice* (2. Baskı). Routledge.
- Tirkolaee, E.B., Goli, A. ve Weber, G.W. (2020). Fuzzy mathematical programming and self-adaptive artificial fish swarm algorithm for just-in-time energy-aware flow shop scheduling problem with outsourcing option. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 28(11): 2772-2783. doi: 10.1109/TFUZZ.2020.2998174.
- TRT Yayıncılık Tarihi Müzesi. <https://www.trtmuze.com.tr/>. (Erişim Tarihi: 19.08.2024).
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2022). *Kültür İstatistikleri 2022*. TÜİK Yayınları.
- Ulusoy, G. (2002) Proje planlamada kaynak kısıtlı çizelgeleme. Köksalan, M. ve Erkip, N, (Ed) *Yöneylem Araştırması: Halim Doğrusöz'e Armağan* içinde (s. 89-128). ODTÜ Yayını
- UNESCO. (2020). *Protecting Cultural Heritage with Digital Technologies*. <https://www.unesco.org>. (Erişim Tarihi:20.06.2025).
- Van Eynde, R. ve Vanhoucke, M. (2020). Resource-constrained multi-project scheduling: benchmark datasets and decoupled scheduling. *Journal of Scheduling*, 23: 301-325. <https://doi.org/10.1007/s10951-020-00651-w>
- Vanhoucke, M. (2012). *Project management with dynamic scheduling: Baseline scheduling, risk analysis and Project control* (2. Baskı). Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-25175-7
- Wallrath, R., Franke, M. ve Walter, M. (2025). Improved linear programming relaxations for flow shop problems with makespan minimization. *Computers & Operations Research*, 177: 106970. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2024.106970>

- Warner, S. M. (2022). *Optimizing Intelligence, Surveillance, And Reconnaissance Inputs For The Synthetic Theater Operations Research Model* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. California.
- Winston, W. L. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms* (4. Baskı). Cengage Learning.
- Wolsey, L. A. (2020). *Integer programming*. John Wiley & Sons. DOI:10.1002/9781119606475
- Yavuz, S. (2017). *Müzecilik: Dünya ve Türkiye Müzeleri*. İstanbul Üniversitesi Yayınları

EKLER

Ek 1. MATEMATİKSEL MODELE İLİŞKİN PYTHON PROGRAMI KOD ÇIKTISI

Tablo Ek 1 Matematiksel Modele İlişkin Python Programı Kod Çıktısı

```

from pyomo.environ import *
from pyomo.util.model_size import build_model_size_report
import pandas as pd
from pyomo import environ as pe
import os
import json
from datetime import datetime, timedelta
os.environ['NEOS_EMAIL'] = "

#=====
# Read data
#=====

excel_file = "C:\\Users\\Semih\\Desktop\\pyomo 20.04\\pyomo 20 17.30\\veri_1.xlsx"
I = list(pd.read_excel(excel_file, sheet_name="E", header=None).values.flatten())
G = range(401)
B = list(pd.read_excel(excel_file, sheet_name="B", index_col=0,
header=None).values.flatten())
II = pd.read_excel(excel_file, sheet_name="Ib", index_col=0)
Ib = {}
for index, row in II.iterrows():
    Ib[index] = []
    for col in II.columns:
        if row[col] == 1:

```

```

        Ib[index].append(col)
OO = pd.read_excel(excel_file, sheet_name="O", index_col=0)
O = {}
for index, row in OO.iterrows():
    O[index] = []
    for col in OO.columns:
        if row[col] == 1:
            O[index].append(col)

YY = pd.read_excel(excel_file, sheet_name="Y", index_col=0)
Y = {}
for index, row in YY.iterrows():
    Y[index] = []
    for col in YY.columns:
        if row[col] == 1:
            Y[index].append(col)

t = pd.read_excel(excel_file, sheet_name="t", index_col=0)
GY = pd.read_excel(excel_file, sheet_name="GY", index_col=0)
CY1 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name="CY1", index_col=0)
CY1.fillna(0, inplace=True)
CY2 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name="CY2", index_col=0)
CY2.fillna(0, inplace=True)
BigM = 10000000
# =====
# Create Mathematical Model Object
# =====

model = pe.ConcreteModel()

```

```

# =====
# Define Sets
# =====

model.I = pe.Set(initialize=I)
model.G = pe.Set(initialize=G)

def ye_index_generator(m):
    return ((e,ee) for e in I for ee in I if ee in Y[e])
model.ye_index = pe.Set(dimen=2, initialize = ye_index_generator)

# =====
# Define decision variables
# =====

model.x = pe.Var(model.I, model.G, domain=Binary)
model.z = pe.Var(model.ye_index, domain=Binary)
model.s = pe.Var(model.I, domain=Integers)
model.f = pe.Var(model.I, domain=PositiveIntegers)
model.y = pe.Var(domain=PositiveIntegers)

# =====
# Objective Function
# =====
# obj = model.f["T"]
obj = model.y
obj = sum(model.f[e] for e in I)

```

```

model.obj = pe.Objective(sense=pe.minimize, expr=obj)

#=====
# Constraints
#=====

model.constraints = ConstraintList()

# 1. Her etkinlik tamamlanmalı
for e in I:
    model.constraints.add(model.f[e] > 0)
    model.constraints.add(model.s[e] >= 0)

# 2. Her etkinliğin tamamlanması için yeterli süre olmalı
for e in I:
    model.constraints.add(model.f[e] == model.s[e] + t.loc[e, "Süre"]
                        + sum(CY1.loc[e, ee] * model.z[e, ee] for ee in Y[e])
                        + sum(CY2.loc[ee, e] * model.z[ee, e] for ee in I if e in Y[ee]))

# 3. Bir e etkinliğinin başlayabilmesi için bağlı olduğu e' etkinliğinin yeteri kadar
    olgunlaşması gerekir.
for e in I:
    for ee in Y[e]:
        model.constraints.add(model.s[e] >= model.s[ee] + GY.loc[ee, "Süre"])

# 4. z ile s ve f değişkenleri arasındaki ilişki modelleniyor.

```

```

for e in I:
    for ee in Y[e]:
        model.constraints.add(model.s[e] >= model.f[ee] - BigM * model.z[e, ee])

# 5. x ile s ve f değişkenleri arasındaki ilişki modelleniyor
for e in I:
    for g in G:
        model.constraints.add(BigM * (1-model.x[e, g]) >= model.s[e] - g)
        model.constraints.add(BigM * (1-model.x[e, g]) >= g - (model.f[e] - 1))

for e in I:
    model.constraints.add(sum(model.x[e, g] for g in G) == model.f[e] - model.s[e])

# 6. Aynı kaynak gruplarının üstlendikleri etkinlikler çakışamaz
for g in G:
    for b in B:
        if b!= "Reklam ve Baskı":
            model.constraints.add(sum(model.x[e, g] for e in Ib[b]) <= 1)

# 7. Bir etkinlik başlamadan önce zorunlu öncüller tamamlanmalıdır.
for g in G:
    for e in I:
        for ee in O[e]:
            model.constraints.add(model.s[e] >= model.f[ee])

for e in I:
    model.constraints.add(model.y >= model.f[e])

```

```

#=====
# Solve Model
#=====

print("Model Information")
# Use CBC as solver
# opt = pe.SolverFactory('cbc')
# opt.options={"threads" : -1}
# results = opt.solve(model, tee=True)

# Use Neos as solver
solver_manager = pe.SolverManagerFactory('neos')
instance = model.create_instance()
results = solver_manager.solve(model, solver="cplex", keepfiles=True, tee=True)
print(results.solver.status)
print(build_model_size_report(model))
print(results)
if (results.solver.status == SolverStatus.ok) and (results.solver.termination_condition ==
TerminationCondition.optimal):
    print("Optimum solution obtained")
    for e in I:
        print(f'{e} işinin başlama zamanı: {round(model.s[e].value)} bitiş zamanı:
{round(model.f[e].value)}')
elif (results.solver.termination_condition == TerminationCondition.infeasible):
    print('Model is infeasible')
else:
    print('Model is infeasible')

```

Ek 2. PYTHON MODEL ÇÖZÜM ÇIKTISI

Tablo Ek 1 Python Model Çözüm Çıktısı

Model Information

ok

activated:

binary_variables: 7629

constraints: 23774

continuous_variables: 0

disjunctions: 0

disjuncts: 0

integer_variables: 39

nonlinear_constraints: 0

variables: 7668

overall:

binary_variables: 7629

constraints: 23774

continuous_variables: 0

disjunctions: 0

disjuncts: 0

integer_variables: 39

nonlinear_constraints: 0

variables: 7668

warning:

unassociated_disjuncts: 0

Problem:

- Lower bound: -inf

Upper bound: inf

Number of objectives: 1

Number of constraints: 0

Number of variables: 7668

Sense: unknown

Solver:

- Status: ok

Message: CPLEX 22.1.2\3a optimal solution; objective 1783; 104768 simplex iterations; 3720 branching nodes

Termination condition: optimal

Id: 0

Solution:

- number of solutions: 0

number of solutions displayed: 0

Optimum solution obtained

A etkinliğinin başlama zamanı: 0 bitiş zamanı: 30

B etkinliğinin başlama zamanı: 30 bitiş zamanı: 45

C etkinliğinin başlama zamanı: 30 bitiş zamanı: 35

D etkinliğinin başlama zamanı: 45 bitiş zamanı: 51

E etkinliğinin başlama zamanı: 51 bitiş zamanı: 55

F etkinliğinin başlama zamanı: 52 bitiş zamanı: 59

G etkinliğinin başlama zamanı: 35 bitiş zamanı: 50

H etkinliğinin başlama zamanı: 53 bitiş zamanı: 65

I etkinliğinin başlama zamanı: 45 bitiş zamanı: 75

J etkinliğinin başlama zamanı: 65 bitiş zamanı: 115

K etkinliğinin başlama zamanı: 45 bitiş zamanı: 85

L etkinliğinin başlama zamanı: 85 bitiş zamanı: 102

M etkinliğinin başlama zamanı: 132 bitiş zamanı: 139

N etkinliğinin başlama zamanı: 85 bitiş zamanı: 107

O etkinliğinin başlama zamanı: 107 bitiş zamanı: 132

P etkinliğinin başlama zamanı: 111 bitiş zamanı: 156

R etkinliğinin başlama zamanı: 156 bitiş zamanı: 166

S etkinliğinin başlama zamanı: 135 bitiş zamanı: 145

T etkinliğinin başlama zamanı: 166 bitiş zamanı: 171

F işi E işi bitirilmeden başlatıldı

G işi B işi bitirilmeden başlatıldı

H işi F işi bitirilmeden başlatıldı

I işi G işi bitirilmeden başlatıldı

P işi O işi bitirilmeden başlatıldı

S işi M işi bitirilmeden başlatıldı

T işi S işi bitirilmeden başlatıldı