

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNDE BULANIK
DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE PROJE TAMAMLANMA
SÜRESİNİN BELİRLENMESİ VE BİR YAZILIM PROJESİNDE
UYGULANMASI**

HAZIRLAYAN

Vildan ÇORUMLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA - 2022

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNDE BULANIK
DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE PROJE TAMAMLANMA
SÜRESİNİN BELİRLENMESİ VE BİR YAZILIM PROJESİNDE
UYGULANMASI**

HAZIRLAYAN

Vildan ÇORUMLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŐMANI

Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY

ANKARA - 2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Vildan ÇORUMLU tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 23 / 05 / 2022

Tez Adı: Proje Çizelgeleme Problemlerinde Bulanık Doğrusal Programlama ile Proje Tamamlanma Süresinin Belirlenmesi ve Bir Yazılım Projesinde Uygulanması

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı- Soyadı, Kurumu)

İmza

Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Ergün ERASLAN, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi ESRA DİNLER, Başkent Üniversitesi

.....

ONAY

Prof. Dr. Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 30 / 05 / 2022

Öğrencinin Adı, Soyadı: Vildan ÇORUMLU

Öğrencinin Numarası: 21910329

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Programı: Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY

Tez Başlığı: Proje Çizelgeleme Problemlerinde Bulanık Doğrusal Programlama İle Proje Tamamlanma Süresinin Belirlenmesi Ve Bir Yazılım Projesinde Uygulanması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 46 sayfalık kısmına ilişkin, 30 / 05 / 2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %9'dur. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Vildan ÇORUMLU

ONAY

Tarih: ... / ... / 2022

Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY

TEŞEKKÜR

Çalıőmamda bana yön gösteren ve desteğini hiç esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY' a teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde beni her zaman destekleyen ve tezi baőarıyla bitirmem konusunda beni yüreklendiren, değerli aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Vildan ÇORUMLU

PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNDE BULANIK DOĞRUSAL

**PROGRAMLAMA İLE PROJE TAMAMLANMA SÜRESİNİN BELİRLENMESİ VE
BİR YAZILIM PROJESİNDE UYGULANMASI**

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2022

Günümüzün oldukça rekabetçi iş ortamında, proje yönetimi faaliyetleri maliyet, zaman ve performans unsurlarına göre planlama ve izleme yeteneği ile önemli avantaj sağlamaktadır. Projelerin zamanında teslim edilebilmesi müşteri memnuniyeti açısından oldukça önemlidir. Proje takvim başarısını sağlayabilmek için etkili proje çizelgeleme yönteminin kullanılması gerekmektedir. Kritik Yol Metodu (CPM) ve Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) proje çizelgelemede sıkça tercih edilen yöntemlerdendir. Bu yöntemler matematiksel olarak karmaşık olmaması, farklı sektörlerde uygulanabilir olması, ağ gösterimi ile proje faaliyetleri ve aralarındaki ilişkileri kolay anlaşılabilir göstermesi, proje uzunluğunu azaltmak için kaynakları kritik yol üzerindeki kritik faaliyetlere uygulanmasının sağlanması gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Ancak gerçek hayat uygulamalarında faaliyet sürelerinin belirsiz olması durumunda bu parametrelerin tahmin edilmesindeki sorunlar nedeniyle, bu yöntemler gerçek projeleri doğru ve tam olarak temsil edemeyebilir. Bulanık teori bu sorunların ortadan kaldırılması ve çizelgelemeyi iyileştirmede temel olarak kullanılan bir yoldur. Bulanık teori, parametrelerdeki belirsizlikleri, kesin olmayan veya eksik bilgiden kaynaklanan durumları dikkate alarak proje çizelgeleme modellerini gerçeğe yaklaştırır. Bu tez çalışmasında, projenin faaliyet sürelerinde belirsizlik olması durumunda projenin tamamlanma sürelerinin belirlenmesinde bulanık doğrusal programlamayı temel alan yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemin değerlendirilmesi için gerçek bir yazılım projesinde uygulama gerçekleştirilmiş ve model sonuçları incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Proje Çizelgeleme, Bulanık Kritik Yol Metodu, Üyelik Fonksiyonu, Bulanık Doğrusal Programlama, PERT

ABSTRACT

Vildan ÇORUMLU

DETERMINING THE PROJECT COMPLETION TIME WITH FUZZY LINEAR PROGRAMMING IN PROJECT SCHEDULING PROBLEMS AND APPLICATION IN A SOFTWARE PROJECT

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Industrial Engineering

2022

In today's highly competitive business environment, project management activities provide a significant advantage with the ability to plan and monitor according to cost, time and performance factors. Delivering projects on time is very important in terms of customer satisfaction. Effective project scheduling method should be used in order to ensure the success of the project schedule. Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT) are frequently preferred methods in project scheduling. These methods have many advantages such as not being mathematically complex, being applicable in different sectors, showing the network representation and the project activities and the relationships between them easily, ensuring that the resources are applied to critical activities on the critical path to reduce the project length. However, in real-life applications, these methods may not be able to represent real projects due accurately and fully to problems in estimating these parameters when activity times are uncertain. Fuzzy theory is a fundamental way to eliminate these problems and improve scheduling. The fuzzy theory brings the project scheduling models closer to reality by considering the uncertainties in the parameters, the situations caused by imprecise or incomplete information. In this thesis, a new method based on fuzzy linear programming is proposed to determine the completion times of the project in case of uncertainty in the activity duration of the project. To evaluate the proposed method, an application was carried out in a real software project and the model results were examined.

KEYWORDS: Project Scheduling, Critical Path Method, Membership Function, Fuzzy Linear Programming, PERT

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISLATMALAR LİSTESİ.....	viii
1 GİRİŞ.....	1
2 LİTERATÜR	5
3 PROJE YÖNETİMİ.....	9
3.1 Proje Kavramı, Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	9
3.2 Proje Yönetimi Kavramı	11
3.3 Proje Çizelgeleme Yönetimi	14
3.4 Proje Yönetim Metodolojileri	15
4 TEMEL BİLGİLER.....	17
4.1 Ağ Diyagramları.....	17
4.1.1 Ağ diyagramı oluşturma.....	18
4.2 Kritik Yol Metodu.....	18
4.2.1 Kritik yol metodunun uygulanması	19
4.3 Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği	21
4.3.1 PERT uygulanması	21
4.4 CPM ve PERT Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları.....	22
4.5 Bulanık Küme Teorisi.....	23
4.5.1 Temel Terminoloji ve Tanımlar	24
4.6 Çalışmada Önerilen Yöntem	26

5	UYGULAMA	30
5.1	Firma Genel Bilgileri	30
5.2	Problemin Tanımı	31
5.3	Klasik CPM ile Çözüm	33
5.4	Önerilen Yöntem Uygulama Adımları	37
5.4.1	Önerilen yöntem ile çözüm.....	37
5.5	PERT ile Çözüm.....	41
5.6	Sonuçların Karşılaştırılması.....	44
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	45
	KAYNAKLAR	47

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Etkili Proje Yönetimi ve Kötü Proje Yönetimi Karşılaştırma	13
Tablo 5.1. Proje Faaliyetleri ve Kapsamı.....	32
Tablo 5.2. Proje Faaliyetleri.....	33
Tablo 5.3. Proje Düğümleri Erken Olay – Geç Olay – Bolluk Değerleri.....	35
Tablo 5.4. CPM Matematiksel Model Kısıt Fonksiyonları.....	36
Tablo 5.5. Proje Faaliyetleri.....	38
Tablo 5.6. Bağlantı Numaraları ve <i>bi</i> Tolerans Değerleri	39
Tablo 5.7. Bulanık CPM Doğrusal Programlama Sonuçları.....	40
Tablo 5.8. PERT İçin Veriler	42
Tablo 5.9. Güven Değeri ve Proje Tamamlanma Süresi Tahmini	43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. UCP Modeli	10
Şekil 3.2. Proje Süresine Bağlı Olarak Etkilerin Değişimi	11
Şekil 4.1. CPM-PERT ile proje planlama aşamaları.....	17
Şekil 4.2. Eşzamanlı faaliyetlerin benzersiz bir temsilini üretmek için yapay aktivite kullanımı	18
Şekil 4.3. Beta Olasılık Dağılımı	22
Şekil 4.4. Üçgensel Bulanık Sayı.....	25
Şekil 4.5. Yamuksal Bulanık Sayı	26
Şekil 4.6. Önerilen Yönteme İlişkin Akış Şeması	27
Şekil 4.7. Bulanık Amaç Üyelik Fonksiyonu	29
Şekil 4.8. Bulanık Kısıt Üyelik Fonksiyonu	29
Şekil 5.1. Proje Ağ Diyagramı	34
Şekil 5.2. Proje Ağ Diyagramı Üzerinde Kritik Faaliyetlerin Gösterilmesi	35
Şekil 5.3. Proje Ağ Diyagramı	38
Şekil 5.4. Proje tamamlanma sürelerine göre yöntemlerin karşılaştırılması	44

SİMGELER VE KISLATMALAR LİSTESİ

AOA	Activity on Arc
CPM	Critical Path Method
ET	Early event time
ISO	International Organization for Standardization
KKP	Kurumsal Kaynak Planlama
LT	Late event time
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PMI	Project Management Institute
PUKO	“Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al” Deming Döngüsü
TF	Total Float
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
UCP	Uncertainty, Complexity, Pace
t_{ij}	i, j faaliyetinin süresi
$E(t_{ij})$	i, j faaliyetinin beklenen değeri
$var(t_{ij})$	i, j faaliyetinin varyansı

1 GİRİŞ

Amerikalı bilim insanı Benjamin Franklin' e ait "Planlamayı başaramazsan, başarısız olmayı planlıyorsun demektir." sözünden de anlaşılacağı gibi planlama her işin başlangıç aşamasında olmazsa olmaz bir aşamadır. Planlamanın oldukça önemli olduğu iş kollarından biri de proje yönetimidir.

Günümüzde etkili proje yönetimi, rekabet ortamında önemli bir avantaj olarak görülmektedir. Proje Yönetimi Enstitüsü (PMI -Project Management Institute) tarafından 2020 yılında yapılan anket çalışması sonuç raporunda kötü proje yönetimi nedeni ile kaynakların %11,4' ünün israf edildiğini ve proje yönetim araçlarını stratejilerine gerektiği gibi entegre edemeyen kuruluşların proje başarısızlık oranlarında yaklaşık %66,7 oranında artış göreceğini ortaya koymuştur [1]. Proje yönetimi, üretimde yeni bir ürünün geliştirilmesi ve pazara sunulması, bir yazılım geliştirilmesi, binaların inşa edilmesi, yeni bir bilgi yönetim sisteminin geliştirilmesi gibi birçok alanda yer almaktadır. Projelerin iyi bir şekilde yönetilebilmesi, planlanması ve doğru zamanda en az maliyet ile tamamlanabilmesi için proje yönetimi oldukça önemli bir konudur.

Proje, bir veya daha fazla tanımlanmış hedefe ulaşmak üzere belirlenen kaynaklar ve süre içerisinde yapılması gereken çalışmalar bütünü olarak tanımlanabilir. Her projenin hedef, bütçe ve zaman olmak üzere üç unsuru vardır. Bütün projelerin amacı da bu üç unsurun bir araya gelmesi ile oluşmaktadır ve projenin amacı proje hedefine ulaşmak için, belirlenen bütçe ve zaman kısıtları altında, kaynakları en verimli şekilde kullanmak olarak tanımlanabilir [2]. Bir projenin başarılı olabilmesi için takvim ve bütçe kısıdını aşmadan belirlenen proje hedefine ulaşabilmesi gerekmektedir. Bu başarının sağlanabilmesi için de proje yönetimi önemli bir yer tutmaktadır. Projelerin zaman, bütçe ve kapsam unsurları aynı zamanda proje performansının değerlendirilmesinde temel kriterleri oluşturmaktadır. Projelerde performans artışının sağlanabilmesi için bu üç kriterin hedef değerlerinden sapmaların olmaması gerekmektedir. Hedef değerden olan sapmalar azaltılarak proje performansında artış sağlanabilir.

Proje yönetimi, bir projenin belirlenen hedefine ulaşabilmesi için takvim ve bütçe kısıdı altında planlanması, çizelgelenmesi, izlenmesi ve kontrol edilmesi için yapılan koordineli faaliyetler olarak tanımlanabilir [3]. Proje yönetimi aşamaları literatürde farklı şekillerde tanımlansa da tüm tanımlamalar Dr. William Edwards Deming tarafından geliştirilen PUKO döngüsünü temel almaktadır. Proje yönetiminde PUKO döngüsü aşamaları; projenin planlanması, uygulanması, sürekli kontrol edilmesi ve sapmalara karşı önlem alınması

aşamaları şeklinde tanımlanabilir. Sürekli kontrol etme ve önlem alma aşamaları ile proje planından sapmalar olduğunda en erken zamanda fark edilebilir ve çeşitli kök neden analizi çalışmaları yapılarak sapmanın giderilmesi mümkün olmaktadır.

Proje planlama aşamasındaki kritik faaliyetlerden biri olan çizelgeleme, yani proje faaliyetlerinin başlangıç ve bitiş zamanlarının faaliyet sürelerine göre belirlenmesi, başarılı bir proje yönetimi için önemli bir aşamadır. Proje çizelgeleme için kullanılan, kaynak seviyelendirme ve tahsisi, gantt şeması, ağ analizi yöntemi, matematiksel yöntemler ve simülasyon gibi birçok yöntem vardır [4]. Bu yöntemlerin çoğu net, deterministik ve kesin yöntemlerdir. Kritik Yol Metodu (CPM), Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT), proje kritik yolunun belirlenmesi için en sık kullanılan ağ analizi yöntemleridir [5]. Proje yönetimindeki faaliyetleri görsel bir şema ile gösterme ihtiyacı üzerine ağ analizi yöntemleri geliştirilmiştir. Ağ modelleri birçok aktiviteden oluşan büyük karmaşık projeleri çizelgelemek için kullanılabilir.

CPM, Kelly ve Walker (1957) tarafından Dupont' daki kimya fabrikasının inşa ve bakımına yardımcı olmak amacıyla geliştirilen bir proje faaliyet planlama yöntemidir. Projede yapılacak faaliyetlerin süreleri daha önceden belirlenmiş ve kesin olarak biliniyorsa, proje tamamlanma süresi ve kritik faaliyetler CPM ile bulunabilir. Proje tamamlanma süresini uzatmadan hangi faaliyetlerin ne kadar süre ile ertelenebileceği de CPM ile bulunabilir. CPM' in amacı, projedeki kritik faaliyetlerin belirlenmesi ve gerektiğinde bu faaliyetler için ek kaynak ataması yapılarak projenin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlamaktır. Ayrıca bu yöntem ile projedeki dar boğazlar belirlenebilmektedir. Ancak proje aktivite süreleri genellikle belirsizlik içerdiğinden klasik CPM ile yapılan hesaplamalar gerçek durumu tam olarak yansıtamamaktadır [6]. Bu gibi durumlarda, belirsizlik ile başa çıkmak için bulanık ve stokastik programlama gibi farklı yöntemler kullanılabilir. Belirsizlik, rasgelelik içeren ve olasılık teorisini kullanmayı gerektiren veya bulanıklık içeren ve bulanık küme teorisini kullanmayı gerektiren iki ana grupta ifade edilebilir.

Rasgelelikten kaynaklanan belirsizlikte kullanılan olasılık kuramından yararlanan en yaygın yöntem olan PERT, 1958 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Deniz Kuvvetleri tarafından geliştirilmiştir. PERT tekniği proje yönetiminde faaliyetlerin süreleri belirsiz olduğunda kullanılabilir. Bu yöntem ile proje için belirlenen tamamlanma zamanında projenin bitirme olasılığı hesaplanmaktadır. PERT ile faaliyet sürelerini belirlerken, karşılık gelen dağılımın ve parametrelerin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için tarihsel bir veriye sahip olmak gerekir. Ancak birçok gerçek dünya durumlarında yeterli tarihsel veri olmaması nedeni ile iyi bir tahmin yapılamaz [7]. Bu durumlarda proje aktivite sürelerindeki belirsizliği

bulmak için bulanık mantık yaklaşımı tercih edilmektedir. Bulanıklık olayın belirsizliği ile ilgilidir ve bir olayın meydana gelip gelmediğini değil meydana gelme derecesini ölçer [8].

Ağ analizi yöntemlerinde proje faaliyet sürelerinde belirsizlik durumunun söz konusu olması nedeni ile 1970' lerin sonlarında bulanık kritik yol yöntemi ortaya çıkmıştır. Proje planlamasında sürelerin doğru tahmin edilmesi proje maliyeti için çok önemlidir. Bu nedenle belirsiz sürelerin uygun yöntemler ile ele alınması proje çizelgelemede zaman, maliyet, performans ve kalite parametreleri açısından önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır [9]. Bulanık küme teorisi, uzmanların görüş ve deneyimlerini daha doğru, gerçeğe daha yakın bir biçimde proje planlamasına girdi olarak kullanılabilir. Proje çizelgelemede bulanık küme teorisinin kullanımı ile girdilerin dağılımlarının bilinmesine ve istatistiklerin hesaplanmasına gerek kalmaz, faaliyetlerin zamanı "yaklaşık 5 ay neredeyse 3 ila 6 gün arası" ve "kesinlikle 100 saatten fazla" gibi dilsel değişkenler olarak ifade edilebilir, bu modellerde uzmanların zihinsel çıkarımı, deneyimi ve görüşleri doğrudan kullanılabilir [4].

Literatürde bulunan bulanık proje çizelgeleme çalışmaları incelendiğinde genel olarak bulanık sayılarla proje çizelgeleme problemleri üzerinde çalışıldığı görülmüştür. Ancak bu çalışmalar üyelik fonksiyonlarını da hesaba katarak bir modellemenin yapılmasını içermemektedir. Bu yönüyle bu çalışma faaliyet sayılarının fazla olduğu ve proje zamanlarının belirsiz olduğu proje çizelgeleme problemleri için uygun ve kullanışlı bir yöntem olarak literatüre katkı sağlayacaktır. Ayrıca önerilen yöntem ile proje faaliyet sürelerindeki belirsizlik etkisinin proje planına yansıtılmasına bağlı olarak proje takvim performansında artış görülebilecektir.

Bu tez çalışmasında proje çizelgeleme problemleri için, proje faaliyet sürelerindeki belirsizliği göz önünde bulundurarak projenin tamamlanma süresini ve projenin zamanında tamamlanması için hangi faaliyetlerin kritik olduğunu belirlemek amaçlanmıştır. Proje faaliyet süreleri kesin olarak belirli olmadığı için bulanık doğrusal programlama modeli tabanlı bulanık CPM geliştirilmiştir. Önerilen yöntem bir yazılım firmasında gerçek problem üzerinde uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Tez çalışması toplam altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, proje ve proje yönetimi kavramları, proje yönetiminin önemi, proje çizelgeleme yöntemlerinden genel olarak bahsedilerek tez çalışmasının amacı ve kapsamı hakkında bilgilere, ikinci bölümde, çalışma konusu ile ilgili geniş kapsamlı literatür taramasına ve literatürdeki çalışmaların kısaca içeriklerine, üçüncü bölümde, proje yönetimi konusunda detaylı bilgilere, dördüncü bölümde, proje çizelgeleme problemi çözümü için temel bilgilere ve tez çalışması kapsamında önerilen yöntem, beşinci bölümde, önerilen yöntemin gerçek

hayat problemi üzerindeki uygulamasına, altıncı ve son bölümde çalışmanın sonuçlarına ve gelecek çalışmalarda nasıl geliştirilebileceğine dair önerilere yer verilmiştir.

2 LİTERATÜR

Çalışmanın bu bölümünde proje çizelgeleme ve bulanık proje çizelgeleme hakkındaki literatür taramasına yer verilmiştir. Her projenin birbirinden farklı olması, benzer projeler için ise geçmiş verinin olmaması veya bilgi eksikliği gibi birçok durum nedeni ile proje faaliyet süreleri belirsizlik içermektedir. Bu nedenle proje çizelgelemede bu belirsizliğin ele alınması oldukça önemli olduğundan literatürde bu konu ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır.

Saradhi et al., [10] insan belirsizliğini ifade etmek üzere son derece yararlı olduğunu düşündükleri Karasız Bulanık Küme Teorisini uygulayarak proje ağındaki her bir aktiviteyi Üçgensel Karasız Bulanık Küme kullanarak tanımlamışlardır. Proje ağındaki en iyi yolu seçebilmek için çok kriterli karar verme tekniği olan İdeal Çözüme Benzerliğine Göre Tercih Sıralaması Tekniği (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)) kullanılmış ve sayısal bir örnek ile sonuçları paylaşmışlardır.

Chwastyk and Pisz, [5] proje ağındaki aktivite sürelerini Sıralı Bulanık Sayılar ile tanımlayarak Kritik Yol Metoduna yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Bu yaklaşımı kullanmalarının nedenini, klasik yöntemlerde zaman tahmini konusunda performans zayıflıkları olması ve belirsizlik durumlarında yetersiz görülmesi olarak ifade etmişlerdir. Geliştirdikleri yeni yaklaşımı teorik temellere dayandırarak, sayısal bir örnek üzerinde uygulamışlardır.

Sethupathy et al., [12] zaman maliyet optimizasyonunun proje çizelgeleme sürecindeki ana engellerden biri olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında, zaman maliyet optimizasyonuna, bulanık mantık yaklaşımı kullanarak çözüm bulmayı hedeflemişlerdir. Önerdikleri yöntem ile karar verici, bir teklif sunulmadan önce proje teslim tarihinin toplam proje maliyeti üzerindeki etkisini kolaylıkla tahmin edebilir hale gelebilecektir. Vaka çalışması sonuçları da bulanık matematiksel modelin zaman maliyet optimizasyonunda kullanılabileceğini, bu yöntemin normal süre ile maksimum süre arasında bir zaman aralığı sağlayabildiğini ve karar vericiye farklı senaryoları kolaylıkla uygulayabilme imkânı sunabildiğini göstermişlerdir.

Habibi et al., [4] proje yönetiminin başarısı için en önemli etkenin doğru çizelgeleme olduğunu savunmuşlardır. Proje çizelgeleme amacı ile sık kullanılan klasik yöntemlerin belirsizlik ve gerçek durumları tam olarak yansıtmadığını düşünerek klasik yöntemlere (CPM ve PERT) bulanık küme teorisinin uygulandığı yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmalarının birinci aşamasında seçtikleri bir proje için klasik kritik yol analizi ve program değerlendirme

ve gözden geçirme teknikleri ile proje sürelerini ve maliyetini hesaplamışlardır. İkinci aşamada aynı proje için aktivite sürelerini yamuk bulanık sayılar ile tanımlayıp proje süresini ve maliyetlerini tekrar hesaplamışlardır. Çalışmanın sonunda her üç yöntem için sonuçları elde etmiş ve yaptıkları karşılaştırmayı sunmuşlardır. Karşılaştırma sonucuna göre yamuk bulanık sayılar ile tanımlanan yöntemin klasik yöntemlere göre belirsizlik etkisini önemli ölçüde azalttığını ve tahmini proje süresi ve maliyetinde göreceli bir iyileşme sağladığını göstermişlerdir.

Elizabeth and Sujatha, [13] kritik yol metodu için bulanık teoremin genişletilmiş versiyonu olan sezgisel bulanık yaklaşımı kullanmışlardır. Sezgisel üçgensel bulanık sayılarla çalışarak, proje aktivite sürelerinin dilsel değişkenlerle tanımlamışlardır. Çalışmalarında gerçek hayat problemlerine uygun olan süreci en iyi biçimde yansıtabilecek bir yöntem geliştirdiklerini savunmuşlardır.

Jayagowri and Geetharamani, [14] sezgisel bulanık proje ağındaki kritikliği ölçmek için analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Yeni yöntemde sezgisel yamuksal bulanık sayıları kullanarak kritik yolu hesaplamışlardır. Bu yöntemin daha etkin ve kolay olduğunu sayısal bir örnek ile sunmuşlardır.

Mazlum ve Güneri, [15] klasik CPM, PERT ve bulanık yaklaşım üzerinde çalışarak ve bu yöntemleri birleştirerek çizelgelemeyi iyileştirmek için elde edilen sonuçları analiz etmişlerdir. Farklı çizelgeleme yöntemlerinin sonuçları arasında önemli bir fark olmadığı sonucuna varmışlardır. Uygulama aşamasında en uygun yöntemin PERT olduğunu savunmuşlardır.

Durucasu vd., [16] gerçek bir inşaat projesi uygulaması üzerinden proje kritik yolunu belirlemişlerdir. Proje faaliyetlerinin gerçeği daha iyi yansıtaacağını düşünerek üçgensel bulanık sayılar ile tanımlamışlardır. Ortaya çıkan bulanık kritik yol problemini çözmek için Chen' in alfa kesim yaklaşımını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarını değerlendirebilmek için en sık kullanılan durulaştırma yöntemlerinden olan ağırlık merkezi yöntemini ve proje kritik yolunu en iyi ifade eden Yager' in sıralama yöntemini tercih etmişlerdir.

Atlı ve Kahraman, [7] çalışmalarında bulanık proje çizelgeleme problemlerine yer vermişlerdir. Bu problemlerin çözümü için faaliyet sürelerinin bulanık sayılar ile belirtildiği bir proje şebekesinde kritik yol analizine yönelik olarak bulanık aritmetik yaklaşım ile doğrusal programlama yöntemini kıyaslamışlardır. Önerilen yöntemle, mevcut probleme daha etkin ve hızlı sonuçlar üretilebildiği sunulmuştur.

Madhuri et al., [17] yaptıkları çalışmada bulanık bir proje ağındaki kritik yolu bulabilmek için tüm aktivite sürelerini yamuk bulanık sayılar ile tanımlamışlardır. Geliştirdikleri doğrusal

programlama modeli sonuçlarını sayısal bir örnek üzerinden göstermişlerdir. Klasik doğrusal programlamaya göre önerilen yeni yöntemin çözümünde daha az kısıt fonksiyonu olması nedeni ile daha iyi bir yöntem olabileceğini savunmuşlardır.

Sireesha et al., [18] bulanık bir proje ağında kritik yolu bulabilmek için aktivite sürelerini bulanık aralık sayılar ile tanımlayan yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntemi sayısal bir örnek ile göstermiş ve sonuçlarını yorumlamışlardır. Önerilen yöntemin avantajlarını, bulanık proje ağı problemlerinin çözümünde kullanılabilmesi, karmaşıklığı azaltması, karar vericinin risk tutumunun problemin çözümüne dahil edilebilmesini ve kolay uygulama sağlaması olarak tanımlamışlardır.

Gerçek dünya proje yönetimi kararlarında, proje planlama aktiviteleri sırasında ilgili bilgilerin eksikliği ve mevcut olmaması nedeniyle belirsizlik durumu söz konusudur. Liang et al., [19] yaptıkları çalışmada bulanık amaç ve bulanık maliyet katsayıları ile kesin olmayan proje yönetimi karar problemlerini çözmek için bir bulanık matematiksel programlama yaklaşımı sunmayı amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışma ile bulanık proje problemlerine çözüm getirilebildiğini ve sistematik bir karar verme metodunun elde edildiğini göstermişlerdir.

Lacouture et al., [20] bu çalışmada inşaat projelerinde öngörülme malzeme kısıdı yaşanması ile beklenmedik durumlarda bulanık matematiksel programlamanın kullanılabilirliği araştırılmak istenmiştir. Çalışma kapsamında ağ analizi için üç farklı yöntem kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler: klasik CPM, proje yönetimi yazılımı ve matematiksel modelledir. Çalışma sonunda duyarlılık analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiş, bulanık matematiksel modelin proje ağ analizinde kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Han et al., [20] bulanık kritik yol yöntemini literatürdeki diğer çalışmalardan biraz daha farklı olarak havalimanının yer kritik operasyon süreçlerini bulmak ve iyileştirmek için kullanılmışlardır. Önerilen çalışmada, yamuksal bulanık sayılar kullanılmıştır.

Chen and Hsueh, [22] bulanık aktivite sürelerinin olduğu kritik yol problemini çözmek için basit bir yaklaşım geliştirmişler ve Yager' in sıralama yöntemini temel almışlardır. Bu yöntem ile bulanık kritik yol problemini doğrusal programlama ile çözmüşler ve yolların kritiklik derecelerini belirlemişlerdir.

Ammar and Abd-Elkhalek, [23] çalışmalarında bulanık aktivite sürelerine sahip bir proje ağında kritikliği ölçmek için analitik bir yöntem sunmuşlardır. Hem proje yollarının hem de faaliyetlerin kritiklik derecesini ölçmek amacı ile bu yöntemi önermişlerdir.

Elkalla et al., [24] çalışmalarında bulanık doğrusal programlama problemini simetrik olmayan bulanık üyelik fonksiyonları ile karşılık gelen en yakın simetrik olana dönüştürerek

çözmek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Dönüştürülen problem daha sonra kesin sayılara sahip doğrusal programlama problemine dönüştürülmüş ve sonuçlar elde edilmiştir.

Subulan, [25] belirsizlik içeren Kurumsal Kaynak Planlama (KKP) yazılım ve uyarlama projesi kapsamında aktivite süreleri ve insan kaynağı gereksinimleri gibi tüm proje parametrelerine ait belirsizlikleri, çizelgeleme problemine dahil edebilmek için aralık programlama temelli çözüm yaklaşımını kullanmıştır.

Başar, [26] doğru proje çizelgelemesinin önemi ile yola çıkmış ve kaynak kısıtlı projelerin çizelgelenmesi için yeni bir matematiksel model önermiştir. Fakat projelerin faaliyet sayılarının fazla olduğu durumlarda işlemlerin karmaşık olması nedeni ile hibrit meta sezgisel yaklaşım önermiştir. Önerilen yöntem ile elde edilen değerlerin başarılı olduğu kanıtlanmış ve proje çizelgelerinin anlamlı olduğu proje uzmanları tarafından onaylanmıştır. Çalışmanın sonunda gelecek zamanlarda önerilen yöntemin bulanık faaliyet süreleri olduğu durumlarda çözüme etkisinin incelenebileceği sunulmuştur.

Çalışmalar incelendiğinde bulanık teoremin avantajlarından proje çizelgeleme konusunda da faydalandığı ve iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak çalışmalarda genel olarak üçgensel bulanık sayılar ve α kesme kümesine dayalı yöntemler üzerine odaklanılmış ve CPM'e ait herhangi bir bulanık matematiksel model yaklaşımı kullanılmamıştır. Bu çalışmada literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak kritik yol analizi için Zimmermann'ın amaç fonksiyonu ve sağ taraf sabitlerinin bulanık olduğu bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ile yeni bir çözüm yöntemi önerilmektedir. Önerilen bu yeni yaklaşım literatürde yer almamaktadır.

3 PROJE YÖNETİMİ

3.1 Proje Kavramı, Özellikleri ve Sınıflandırılması

“Proje” kavramı, uluslararası standartlar organizasyonu (ISO) tarafından oluşturulan proje yönetim rehberinde, bir veya daha fazla tanımlanmış hedefe ulaşmak için harcanan geçici çaba olarak tanımlanmıştır [3]. Önemli bilim insanlarının ve büyük firmaların çeşitli proje kavramı tanımları literatürde yer almaktadır. Joseph Juran proje kavramını; çözümü planlanıp, çizelgelenmiş bir sorun olarak tanımlamıştır. Archibald ise proje kavramını; yeni bir ürün, yeni bir bina, tesis, yeni bir sistem veya spesifik bazı sonuçların elde edilmesi için gerçekleştirilmesi gereken toplam süreç olarak tanımlamıştır. Proje kavramını tanımlarken General Electric firması projenin bir defaya mahsus olarak yapıldığını vurgulamıştır ve proje kavramını spesifik bir amacın elde edilmesi için, sınırlı bir zaman aralığında tamamlanması gereken faaliyetler olarak tanımlamıştır [2].

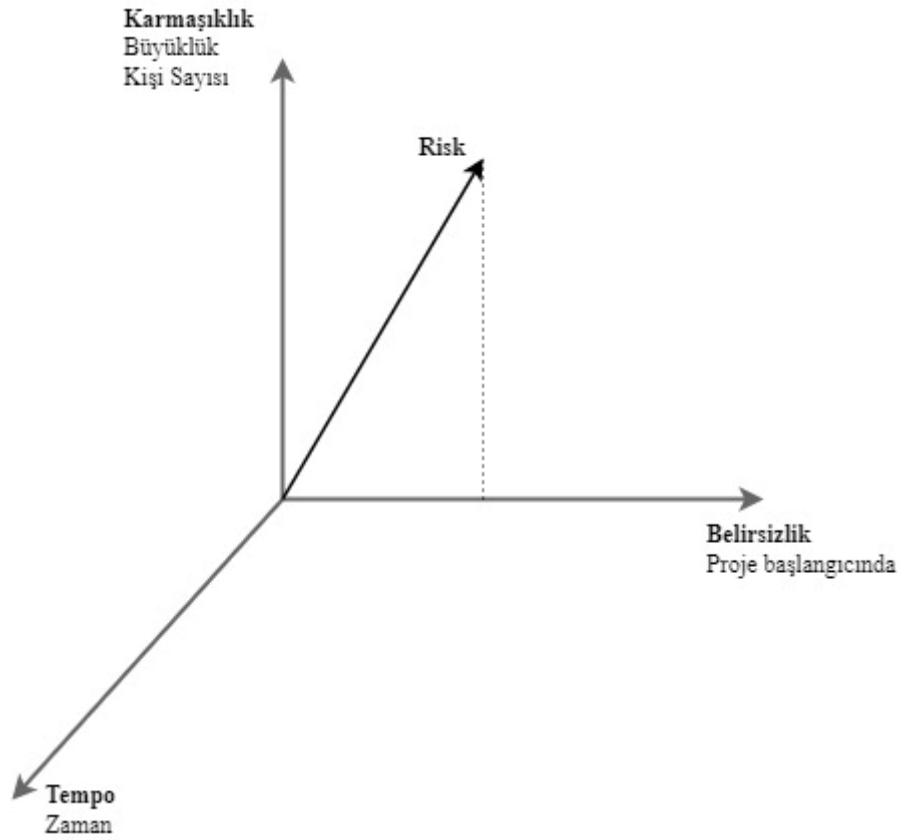
Proje, belirli bir başlangıç ve bitişi olan, benzersiz bir ürün, hizmet veya sonuç yaratmak için yürütülen geçici bir girişimdir. Bu nedenle bir çalışmanın proje olabilmesi için olmazsa olmaz iki özellik vardır. Birincisi, projenin sonunda ortaya çıkan ürünün özgün bir ürün olmasıdır. İkincisi projenin belirli bir zaman dilimi ile kısıtlı olmasıdır [27].

Çeşitli proje kavramı tanımları ile projenin özellikleri de ortaya çıkmaktadır. Projelerin genel özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

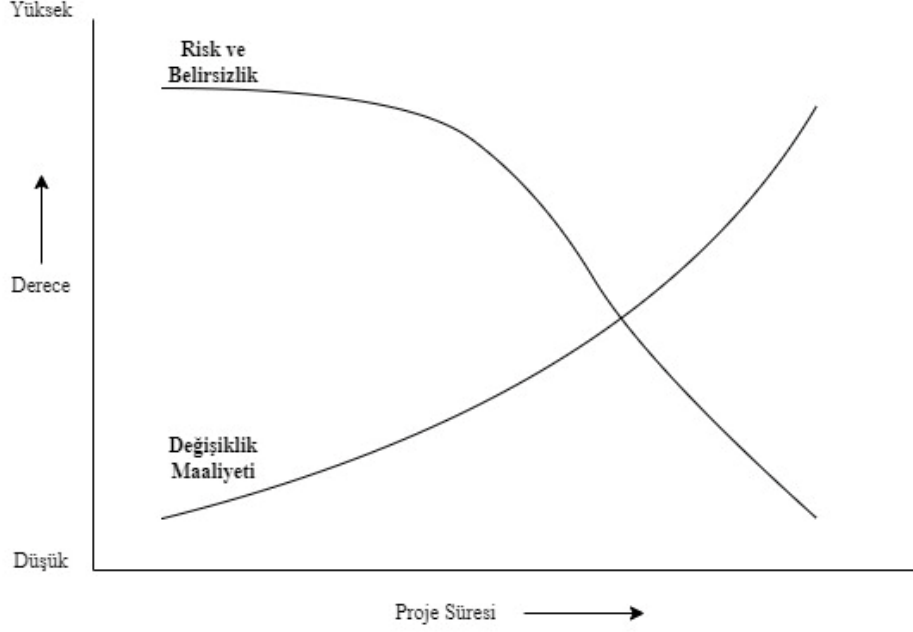
Projenin belirli bir amacı vardır. Her projenin iyi tanımlanmış, kendine özgü bir amacı vardır. Proje kapsamında beklenen ürün veya hizmeti doğru bir şekilde ortaya koyabilmek için proje amacı net bir biçimde tanımlanmalıdır. Projeler geçicidir. Projeler geçici organizasyonlardır bu nedenle her projenin bir başlangıç ve bitiş noktası vardır. Bitiş noktası olmayan bir projenin amacı da doğru tanımlanmamış demektir. Projenin çok çeşitli alanlardan kaynağa gereksinimi vardır. Projelerin insan, donanım, yazılım gibi birçok kaynağa ihtiyacı vardır. Bu kaynaklar işletme içinden veya dışından karşılanabilir. Proje yürütülürken önemli kısım bu kaynakların sınırsız olmadığına bilinmesidir. Proje hedeflerine ulaşılabilmesi için kaynakların doğru planlanması ve yönetilmesi gerekir. Proje belirsizlik içerir. Projelerin özgün, tekrarlanamaz ve koşullarının farklı olması nedeni ile her projede belirsizlik etkisi mevcuttur. Projenin hedefine ulaşabilmesi için bu belirsizlik etkisinin planlama aşamasında dikkatli değerlendirilmesi oldukça önemlidir [2]. Projeler dinamik süreçlerdir. Projeler devam ederken

öngörülemeyen durumlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle olası durumlar için alternatif yollar geliştirilmelidir [28].

Projeler büyüklük, yürütücü kuruluş, amaç, nitelik, sektör ve karmaşıklık gibi farklı özelliklerine bakılarak sınıflandırılabilir. Proje sınıflandırması, etkili proje yönetim metodunun seçimi konusunda yol gösterici olabilmektedir [29]. Projeleri karmaşıklık düzeylerine göre sınıflandırmak için, 1996 yılında Shenhar ve Dvir' in "Belirsizlik, Karmaşıklık, Tempo"- UCP (Uncertainty, Complexity, Pace) modeli adı verilen proje yönetiminde tipoloji teorisini geliştirmişlerdir. Şekil 3.1. UCP modeline ait grafik belirsizlik etkisi arttıkça proje riskinin de arttığını ve proje başlangıç aşamasında belirsizliğin daha fazla olduğunu göstermektedir. Ancak Şekil 3.2.' de görüldüğü gibi proje başlangıcında maliyeti fazla etkilemeden değişiklik yapabilmek mümkünken projenin sonlarına doğru değişiklik yapma ve hataları düzeltme maliyeti gittikçe artmaktadır [29].



Şekil 3.1. UCP Modeli



Şekil 3.2. Proje Süresine Bağlı Olarak Etkilerin Değişimi

3.2 Proje Yönetimi Kavramı

Proje yönetimi, proje gereksinimlerini karşılamak için proje faaliyetlerine bilgi, beceri, çeşitli araç ve tekniklerin uygulanmasıdır. Proje yönetimi, proje için belirlenen proje yönetimi süreçlerinin uygun şekilde uygulanması ve entegrasyonu ile gerçekleştirilir. Proje yönetimi, kuruluşların projelerini etkin ve verimli bir şekilde yürütmesini sağlar [27].

Proje yönetimi projenin kontrolünü, planlanan zaman ve bütçe sınırları içinde tamamlamasını sağlamaktadır.

Proje kapsamında belirlenen amaca ulaşmak için gereken planlama, organizasyon, koordinasyon ve kontrol faaliyetleri proje yönetimi kavramının temellerini oluşturmaktadır. Proje yönetim aşamaları en genel halde planlama/programla, uygulama ve kontrol olarak tanımlanabilir. Her aşamada yapılması gereken faaliyetler bulunmaktadır.

Projenin planlama aşaması, proje hedeflerinin belirlenmesi, bu hedefleri gerçekleştirecek proje ekibinin oluşturulması ve proje hedeflerinin takibi için gerekli ölçütlerin belirlenmesi ile başlar [30]. Proje kapsamında gerçekleştirilecek faaliyetler, bu faaliyetler arasındaki ilişkiler, faaliyetlerin süreleri, kullanılacak kaynaklar temel alınarak kapsamlı bir çalışma yapılır. Yapılan bu çalışmalar projenin sonraki tüm aşamalarını doğrudan etkileyeceği için planlama aşaması proje yönetiminde en önemli aşamalardan biridir. Planlama aşaması tamamlanmadan bir sonraki aşama olan uygulama fazına geçilemez [2]. Ancak planlama projenin başında

yapılıp proje sonuna kadar değişmeyen bir çalışma değildir. Proje yaşam döngüsü boyunca sürekli olarak izlenir, kontrol edilir ve n görülemeyen nedenlerle planın etkinliği yitirmesi durumlarında planlar güncellenerek uygulanabilirliğini korur. Bu nedenle proje planları dinamik olmalıdır. Proje planları projeye özgü oluşturulur. Ancak proje yönetiminde ortak bir dil konuşabilmek ve anlaşıla bilirliğini arttırmak için planlar ortak unsurlar içermelidir. Bu unsurlar; proje tanıtımı, proje organizasyonu tanımı, görev ve sorumluluklar, yönetsel ve teknik yaklaşım, proje ıktıları, takvim ve bütçe olarak sıralanabilir [31].

Uygulama aşamasında, proje planlandığı gibi uygulanmaya başlanır. Belirlenen faaliyetler ilgili kaynaklar ve belirlenen sürede gerçekleştirilir [2]. Proje yönetimi doğru uygulandığında verimlilik artar; nkn proje kaliteden ödün verilmeden zamanında planlanan kaynak ile gerçekleştirilebilir.

Kontrol etme aşaması, etkili bir proje yönetimi için yapılması gereken en önemli aşamadır. Projenin performansını takip etmek amacı ile çeşitli veriler toplanmalı ve başlangıç planları ile karşılaştırılarak analiz edilmelidir [2]. Proje yönetimi başarısı için planlama aşaması oldukça önemli olmasına rağmen sadece iyi planlama yapmak projede karşılaşılabilecek sorunları önlemek ve projeyi başarı ile tamamlamak için yeterli değildir. Planlanan işlerin uygulanmaya başlandıktan sonra sürekli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

Kontrol etme aşaması ile i içe olan bir aşama da önlem alma aşamasıdır. Proje kontrol aşamasında yapılan analizlere göre hedef değerlerden sapmaların olması durumunda, bu sapmaların giderilmesi için yapılan faaliyetler önlem alma aşamasını oluşturmaktadır [2]. Kontrol etme tekniklerine bağlı olarak sapmalar, oluştuğu anda değil oluşmadan önce de tespit edilebilir. Bunun için projenin başlangıçtan geldiği noktaya kadar olan performansına, organizasyonun geçmiş performansına bakılarak zaman serisi, regresyon modelleri gibi çeşitli tahmin yöntemleri kullanılabilir. Tahmin modellerine bakılarak gelecekte bir sapma öngörülüyorsa bu sapmayı önlemek için risk çalışması başlatılabilir. Hatta sapma oluşmadan önlem alındığında riskler fırsata bile dönüştürülebilir. Bu Şekilde yönetilen bir projenin proje yönetiminden kaynaklı başarısız olma ihtimali oldukça düşüktür.

Etkili proje yönetiminin sağladığı faydalar ve kötü proje yönetimi veya proje yönetiminin hiç uygulanmamasının olumsuz yönleri Tablo 3.1.' de yer almaktadır [27].

Tablo 3.1. Etkili Proje Yönetimi ve Kötü Proje Yönetimi Karşılaştırma

Etkili Proje Yönetimi Faydaları	Kötü Yönetilen Projelerin Zararları
Doğru ürünleri doğru zamanda teslim edebilmek	Son tarihlerin kaçırılması ve düşük kalite
Kurumsal kaynakların kullanımını optimize etmek ve daha öngörülebilir olmak	Maliyet aşmaları
Başarı şansını arttırmak	Tekrar işlemek
Kısıtlamaların proje üzerindeki etkisini dengelemek (örneğin; proje kapsamının değişmesi maliyeti arttırabilir.)	Projenin kontrolsüz genişletilmesi
İş hedeflerini ve paydaşların beklentilerini karşılamak	Kuruluş için itibar kaybı, memnun olmayan paydaşlar ve proje hedeflerine ulaşamaması

Aşağıda yer alan proje yönetimi ile ilgili son yıllarda yayımlanan istatistiklere bakıldığında, proje yönetimi konusunda firmaların başarısız olduğu alanların var olduğu görülmektedir.

- Kuruluşların %25' i bazen veya hiçbir zaman projeler için kapsam belirleme belgesi oluşturmamaktadır. (Wellingtone, 2020).
- Kötü kaynak yönetiminin proje yönetiminde önemli bir sorun olduğuna inanan proje profesyonellerinin sayısı 2019' da %60 oranında artmıştır. (Wellingtone, 2019).
- Düşük proje yönetimi teknolojisi olgunluğuna sahip şirketlerin projelerinin %54' ü proje bütçesini aşmaktadır. (PMI, 2020).
- Projelerin %29' u çoğunlukla veya her zaman zamanında tamamlanmaktadır. (Wellingtone, 2020).
- Kuruluşların yaklaşık %51' i iş hedefini veya orijinal hedefini karşılayan projeler sunmaktadır. Kuruluşların %52' si paydaşları tatmin eden projeler sunmaktadır. (KPMG, 2020).

3.3 Proje Çizelgeleme Yönetimi

Proje zaman yönetimi; projelerin hedeflerine ulaşabilmesi için faaliyetler üzerinde harcanan zamanı kontrol etme yöntemidir. Zaman yönetimi, proje geliştirmede olmazsa olmaz bir gerekliliktir. Proje faaliyetlerinin tamamlanma zamanını ve ölçeğini belirler [2].

Proje çizelgeleme, proje kapsamında tanımlanan ürünlerin, hizmetlerin ve sonuçların nasıl ve ne zaman sunulacağını gösteren ayrıntılı bir plan sağlar. Ayrıca paydaşların beklentilerini yönetmek, iletişim ve performans raporlamak için bir araç da sağlar. Detaylı proje takvimini oluşturmak için proje yönetim ekibi bir proje çizelgeleme yönetimi seçer. Ardından faaliyetler, planlanan tarihler, süreler, kaynaklar, bağımlılıklar ve kısıtlamalar gibi projeye özgü veriler, çizelgeleme aracına girilerek proje çizelgesi oluşturulur. Proje çizelgeleme, proje yönetim sürecinin en önemli parçalarından biridir [7].

Proje çizelgeleme yönetimi: planlama, aktiviteleri tanımlama, aktiviteleri sıralama, aktivite sürelerini tahmin etme, çizelge oluşturma ve çizelge kontrol etme başlıkları altında incelenebilir [27].

Planlama, geleceğe yönelik yapılacak işleri, izlenecek yolları önceden tasarlama işlemidir [2]. Plan Çizelgesi Yönetimi, proje zamanlamasını planlamak, geliştirmek, yönetmek, yürütmek ve kontrol etmek için politikaları, prosedürleri ve dokümantasyonu oluşturma sürecidir. Bu sürecin en önemli faydası, proje takviminin proje boyunca nasıl yönetileceği konusunda rehberlik ve yön sağlamasıdır [27].

Projeler iş adımları, görevler veya operasyonlar olarak da tanımlanan aktivitelerden oluşur [2]. Aktiviteleri tanımlama süreci, proje çıktılarını üretmek için gerçekleştirilecek belirli eylemleri belirleme ve belgeleme sürecidir. Bu sürecin temel faydası, iş paketlerini aktivitelere ayrıştırarak proje çalışmalarının tahmin edilmesini, çizelgelenmesini, yürütülmesini, izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlar [27]. Aktivitelerin doğru tanımlanması, proje tamamlanma süresinin doğru tahmini ve proje kapsamına uygun çıktıların elde edilmesi açısından çok önemlidir [26].

Aktiviteleri sıralama süreci, proje faaliyetleri arasındaki ilişkileri belirleme ve belgeleme sürecidir [27]. Proje aktiviteleri birbirleri ile ilişki içerisindedir. Genellikle bu ilişki girdi-çıkı ilişkisidir. Birbirlerine bağlı aktivitelerde öncül aktivitenin tamamlanması ile ancak ona bağlı diğer aktivite başlayabilir [26]. Bu nedenle aktivitelerin sıralanmasında aktivitelerin birbirleri ile olan ilişkilerini doğru tanımlamak gerekmektedir. Bu süreçte projede en yüksek verimliliği elde etmek için, tüm proje kısıtlamaları göz önüne alınarak tüm aktivitelerin mantıksal olarak sıralanması gerekmektedir.

Aktiviteler arasındaki ilişkiler belirlendikten sonra her aktivitenin tamamlanma süresini tahmin etmek için farklı yöntemler kullanılır. Aktivite süreleri tahmininde yapılan bir hata proje tamamlanma süresini doğrudan etkiler. Bu nedenle aktivite sürelerinin en iyi şekilde tahmin edilmesi proje başarısı için oldukça önemlidir. Tahminleme için kullanılacak yöntemler proje organizasyonunun stratejisine, yöntem için gerekli bilginin varlığına, proje ekibinin tecrübesine, projenin türüne ve beklenen doğruluk derecesine göre değişiklik göstermektedir [32]. Uzman görüşü, benzer tahmin, parametrik tahmin, aşağıdan yukarıya tahmin, veri analizi (alternatif ve rezerv analizi), karar verme ve toplantılar, aktivite sürelerini tahmin etmek için kullanılan araç ve tekniklerdir [27].

Çizelge oluşturma süreci, proje yürütme, izleme ve kontrol adımları için bir çizelge modeli oluşturmak amacı ile aktivite sıralarını, sürelerini, kaynak gereksinimlerini ve çizelge kısıtlamalarını analiz etme sürecidir. Bu süreç sonunda proje aktivitelerini tamamlamak için planlanan tarihlere sahip bir zaman çizelgesi modeli ortaya çıkar [27]. Gantt şeması, CPM ve PERT en yaygın proje çizelgeleme yöntemleridir. Gantt şeması, proje aktivitelerini, birbirleri ile olan ilişkilerini ve tamamlanma sürelerini zaman ekseninde gösteren bir çizelgedir. Gantt şeması aktivite sayısının çok olmadığı ve aktiviteler arasındaki ilişkilerin karmaşık olmadığı projeler için daha kullanışlıdır. Karmaşık projelerde ise CPM ve PERT' in kullanımı daha yaygındır. CPM ve PERT ile aktiviteler, birbirleri ile olan öncüllük ardılık ilişkileri ağ şeması üzerinde gösterilir. Her iki yöntem ile kritik yol, kritik faaliyetler ve proje tamamlanma süresi belirlenir ve projede gecikme olması durumunda kritik olmayan faaliyetlerden ne kadar kaynak aktarılabilceği bilgisi elde edilir [26].

Çizelge kontrol etme süreci, proje çizelgesini güncellemek için projenin durumunu izleme ve çizelge temel çizgisindeki değişiklikleri yönetme sürecidir [27]. Proje başarı ölçütlerinden biri takvim performansıdır. Takvim performansı proje başladıktan sonra kazanılan değer analizi, trend analizi ve varyans analizi gibi çeşitli veri analiz yöntemleri kullanılarak sürekli olarak takip edilir. Gereken durumlarda proje paydaşlarının ortak kararı ile proje çizelgesi güncellenebilir [2]. Bu nedenlerle proje durumunun sürekli izlenmesi ve çizelge kontrol etme proje başarısı için önemlidir.

3.4 Proje Yönetim Metodolojileri

Proje yönetim metodolojileri, proje yöneticileri tarafından uygulanan proje ekibinin nasıl performans göstereceğini, hangi araçların kullanılacağını ve sonuçların nasıl kontrol edilip değerlendirileceğini tanımlayan teknikler, prosedürler ve kurallar sistemidir [27]. Proje

yönetim metodolojileri projenin türü, kapsamı, büyüklüğü, bütçesi, süresi ve kalite ölçütleri gibi faktörlere göre ayrıştırılabilir. Proje yönetiminde kullanılabilecek yetmişden fazla araç bulunmaktadır. Proje yönetimi ile ilgili oldukça önemli çalışmaları olan Claude Besner ve Brian Hobbs çalışmalarında yüzden fazla proje yönetim aracına yer vermiş bunları farklı alanlarda sınıflandırmış ve analiz etmişlerdir [33]. Her metodolojinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu uzun listede yer alan proje yönetim metodolojilerinin tamamını bilmek ve harfi harfine uygulamak mümkün olmayabilir. Proje yönetimi başarısını arttırabilmek ve projeye uygun metodolojiyi seçmek için farklı proje yönetim metodolojilerini bilmek ve karşılaştırmak gerekmektedir.

CPM, PERT, Prince2 ve geleneksel proje yönetim yaklaşımı; genel proje yönetimi metodolojileri arasında yer almaktadır. Genel proje yönetim metodolojileri çok çeşitli projelere uygundur. Bu metodolojiler küçük ölçekli veya büyük ölçekli projelere uygulanabilir.

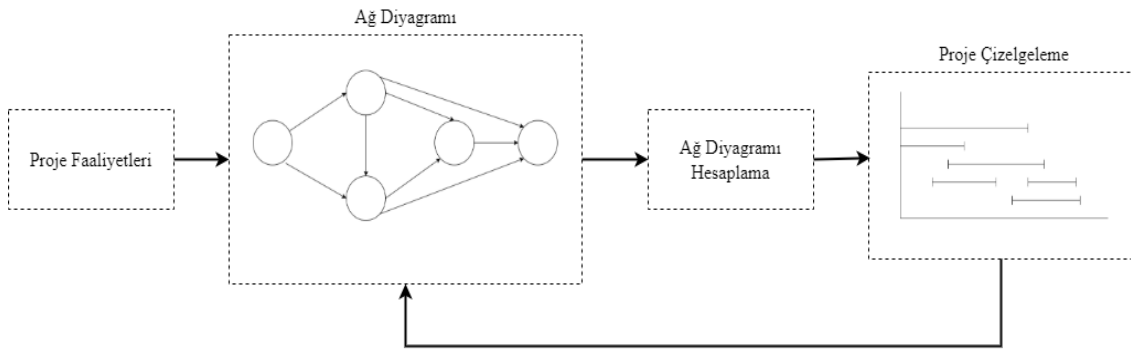
Proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için kullanılan: kaynak seviyelendirme ve tahsisi, gantt şeması, ağ analizi yöntemi, matematiksel yöntemler ve simülasyon gibi birçok yöntem vardır [4]. Bu yöntemlerin çoğu net, deterministik ve kesin yöntemlerdir. Kritik Yol Metodu ve Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği, proje kritik yolunun belirlenmesi için en sık kullanılan ağ analizi yöntemleridir [5].

4 TEMEL BİLGİLER

4.1 Ağ Diyagramları

CPM (Kritik Yol Metodu) ve PERT (Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği), projelerin planlanması, programlanması ve kontrolüne yardımcı olmak için tasarlanmış ağ tabanlı yöntemlerdir. Proje zaman ve kaynak tüketen birbirleri ile ilişkili faaliyetlerin toplamı olarak tanımlanabilir. CPM ve PERT yöntemleri proje faaliyetlerini planlamak için analitik araçlar olarak tasarlanmıştır. Şekil 4.1. CPM ve PERT tekniklerinin aşamaları özetlemektedir.

İlk olarak, projenin faaliyetlerini, öncelik ilişkilerini ve zaman gereksinimlerini tanımlanır. Daha sonra, faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri bir ağ olarak modellenir. Üçüncü adım, zaman çizelgesini geliştirmek için özel hesaplamaları içerir. Gerçek hayatta proje yürütme aşamasında planlandığı gibi gitmediğinde faaliyetlerin bir kısmının hızlandırılması veya ertelenmesi gerekebilir. Bu olduğunda, program sahadaki gerçekleri yansıtacak şekilde güncellenir. Şekil 4.1.'deki bir geri besleme döngüsü eklemenin nedeni budur.



Şekil 4.1. CPM-PERT ile proje planlama aşamaları

CPM ve PERT teknikleri birbirlerinden bağımsız olarak geliştirilmiştir. CPM deterministik (kesin) aktivite sürelerini varsayarken PERT olasılıklı süreleri varsaydığı için farklılık gösterirler. İlerleyen bölümde her iki yöntem detaylı olarak anlatılmıştır.

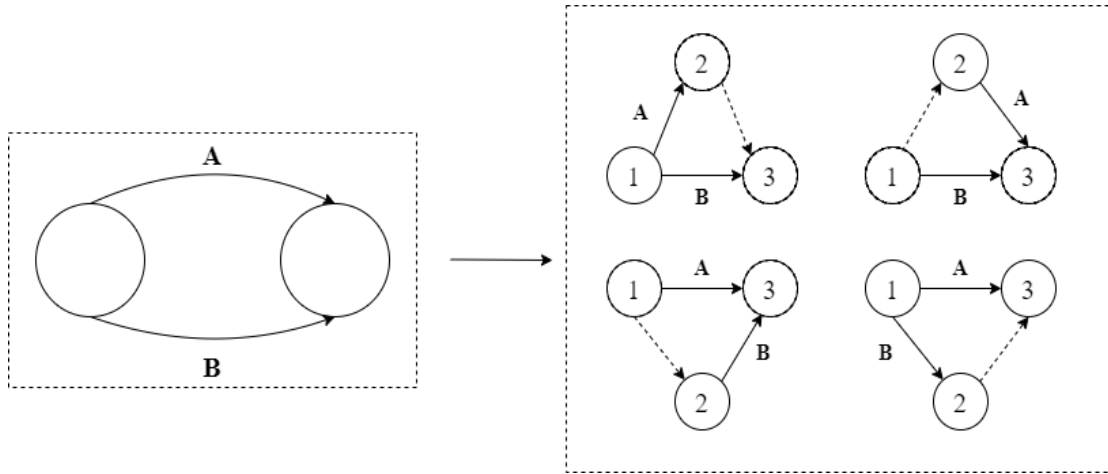
4.1.1 Ağ diyagramı oluşturma

Projedeki her bir aktivite, ilerleme yönünü gösteren bir yay ile temsil edilmektedir. Ağın düğümleri, farklı aktiviteler arasında öncelik ilişkileri göstermektedir. Proje ağını oluşturmak için üç temel kural vardır.

Kural 1: Her faaliyet sadece bir yay ile teslim edilir.

Kural 2: Her faaliyet iki ayrı uç düğüm tarafından tanımlanabilir.

Şekil 4.2.' de eş zamanlı iki faaliyetin yukarıda tanımlı kural ikiye uygun benzersiz bir biçimde nasıl tanımlanabileceği gösterilmiştir. Bu tanımlama için kesikli çizgiler ile yapay aktiviteler gösterilmektedir. Yapay aktiviteler zaman ve kaynak tüketmeden eş zamanlı faaliyetlerin aynı anda olmasını fakat farklı düğümler ile gösterilmesini sağlar.



Şekil 4.2. Eş zamanlı faaliyetlerin benzersiz bir temsili üretmek için yapay aktivite kullanımı

Kural 3: Doğru öncelik ilişkilerini sürdürmek için, her aktivite ağa eklenirken aşağıdaki soruların cevaplanması gerekir:

- Hangi faaliyetler mevcut faaliyetten hemen önce gelir?
- Mevcut faaliyeti hangi faaliyetler hemen takip ediyor?
- Hangi faaliyetler mevcut faaliyetle eş zamanlıdır?

4.2 Kritik Yol Metodu

Kritik yol metodu 1950' li yılların sonlarına doğru J. E. Kelly ve M. R. Walker tarafından geliştirilen bir proje faaliyet planlama yöntemidir. Kritik yol metoduna göre benzer projeler daha önce birçok kez yapıldığından projede yapılacak aktivitelerin sürelerinin belirli olduğu ve

kesinlikle bilindiği varsayılmaktadır [5]. Beklenmedik bazı nedenlerle, faaliyet sürelerinden sapmaların olması doğaldır, fakat çoğunlukla faaliyet zamanları, beklenen zamanlara uygun olarak gerçekleşir. Kritik yol metodu projenin tamamlanması için gerekli faaliyetleri tek bir planda toplayarak, faaliyetlerin öncelik ilişkilerini ve sürelerini göstererek projenin kontrolüne yardımcı olur. Kritik yol, projenin başlangıcından projenin bitimine kadar olan, bolluk zamanlarının hepsinin sıfır olduğu yoldur. Kritik yol yönteminin amacı, kritik yol üzerindeki faaliyetleri belirleyerek proje uzunluğunu azaltmak için kaynakların kritik faaliyetlere konsantre olabilmesini sağlamaktır [6]. Kritik yol boyunca bir faaliyetin süresindeki artış toplam proje süresini de kesinlikle arttırmaktadır [7].

Kritik yolun belirlenmesi ile, bir projenin toplam süresi belirlenebilir ve projenin fiili takvimi oluşturulabilir. Kritik yol metodu ile kritik yolun belirlenmesi basit ve hesaplaması kolay olduğu için birçok sektörde farklı proje türlerinde kullanılmaktadır. Klasik kritik yol analizi yöntemi ile bir aktivitenin kritik olup olmadığı belirlenebilir ancak, aktivitenin önemi belirlenememesi ve belirsizlik etkisinin hesaba katılması klasik kritik yol metodunun kusurları olarak tanımlanabilir [8].

4.2.1 Kritik yol metodunun uygulanması

Proje ağ diyagramı oluşturulduktan sonra kritik yol yönteminde izlenecek adımlar aşağıda sırası ile tanımlanmıştır.

- Her bir aktivitenin süresinin belirlenmesi
- Her bir aktivitenin bolluk değerinin hesaplanması
- Kritik aktivitelerin belirlenip, kritik yolun oluşturulması ve proje tamamlanma süresinin hesaplanması

Ağ diyagramı oluşturulduktan sonra birinci adım aktivite sürelerinin belirlenmesidir. Kritik yol metodunda proje yönetim ekibinin tecrübesi, geçmişte yapılmış benzer proje verileri kullanılarak her bir aktivitenin kesin süresi belirlenir.

Aktivite süreleri belirlendikten sonra önce her bir aktivitenin en erken başlama, en erken tamamlanma, en geç tamamlanma ve en geç başlama zamanları hesaplanır. En erken başlama ve en geç başlama süreleri arasındaki fark yani her bir aktivitenin bolluk değeri hesaplanır.

Bolluk değeri hesaplandıktan sonra bu değerlere bakılarak kritik aktiviteler ve kritik yol belirlenebilmektedir. Bolluk değeri sıfır olan aktiviteler kritik aktivite olarak belirlenir bu aktivitelerin sırası da proje kritik yolunu oluşturmaktadır.

CPM’deki iki temel yapı taşı, bir olay için erken olay zamanı (early event time- ET) ve geç olay zamanı (late event time- LT) kavramlarıdır. $ET(i)$ ile temsil edilen i düğümü için erken olay zamanı, i düğümüne karşılık gelen olayın meydana gelebileceği en erken zamandır. $LT(i)$ ile temsil edilen i düğümü için geç olay zamanı, i düğümüne karşılık gelen olayın projenin tamamlanmasını geciktirmeden gerçekleştirebileceği en son zamandır.

Proje ağındaki her bir düğümün erken olay zamanını bulmak için, düğüm 1’ in projenin başlangıcını temsil etmesi nedeni ile $ET(1) = 0$ olarak hesaplamalara başlanır. Daha sonra $ET(2)$, $ET(3)$ ve $ET(\text{bitişdüğümü})$ hesaplanana kadar işlemler devam eder. Tüm düğümler için erken olay zamanı hesaplaması eşitlik 4.1’deki gibidir.

i düğümüne doğrudan bağlanan önceki düğümler bulunur $k; (k, i) \in S$.

d_{ki} : (k, i) bağlantısı ile tanımlanan faaliyetin süresi

$$ET(i) = \max_{k, (k, i) \in S} ET(k, i) + d_{ki} \quad (4.1)$$

Proje ağında her bir düğümün geç olay zamanını bulmak için bitiş düğümünden başlayarak ağ diyagramında geriye doğru (azalan sayısal sırayla) $LT(1)$ ’i belirleyene kadar hesaplamalar yapılır. Başlangıçta $LT(n) = ET(n)$ olarak hesaplamalara başlanır. Tüm düğümler için geç olay zamanı hesaplaması eşitlik 4.2’deki gibidir.

i düğümüne doğrudan bağlanan sonraki düğümler bulunur $j; (i, j) \in S$.

d_{ij} : (i, j) bağlantısı ile tanımlanan faaliyetin süresi.

$$LT(i) = \max_{j, (i, j) \in S} LT(j) - d_{ij} \quad (4.2)$$

CPM yönteminde erken olay zamanı ve geç olay zamanı hesaplandıktan sonra bir diğer kritik hesaplama toplam boşluk (total float- TF) değerlerinin her bir yay için yapılmasıdır. Toplam boşluk değeri hesaplaması ile herhangi bir (i, j) bağlantısı ile gösterilen bir faaliyet için proje tamamlanma zamanını etkilemeden en erken başlama zamanına göre ne kadar süre ertelenebileceği gösterilebilmektedir. Bir başka ifade ile projenin tamamlanma zamanını etkilemeden bir faaliyetin süresinin ne kadar arttırılabileceğini gösterir. Her bir yay için toplam boşluk değeri hesaplaması eşitlik 4.3’deki gibidir.

$$TF(i, j) = LT(j) - ET(i) - t_{ij} \quad (4.3)$$

Toplam boşluk değerlerinin hesaplanması ile kritik faaliyetler ve kritik yol belirlenir. Toplam boşluk değeri sıfır olan faaliyetler ötelenmediğinde veya tahmin edilenden daha uzun sürede tamamlandığında projenin tamamlanma zamanı da etkilenmekte ve gecikmektedir.

Toplam boşluk değeri sıfır olan faaliyet kritik faaliyettir. Kritik yol ise, başlangıç düğümünden bitiş düğümüne kadar tüm kritik faaliyetleri içeren yoldur.

4.3 Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği

Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği ilk olarak 1958 yılında, Amerikan Deniz Kuvvetleri tarafından yürütülen ve Polaris Projesi olarak adlandırılan, füze fırlatan denizaltı yapımı projesinde uygulanmıştır. PERT tekniği, büyük ve karmaşık projelerin planlanması ve programlanmasını basitleştirmek amacı ile geliştirilmiştir. PERT yönteminde faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin kesin süreleri ile değil, beklenen değerleri ile işlem yapılmaktadır [34]. Bu yöntemde süreler bir beta dağılımı izler ve her aktivite için iyimser, kötümser ve büyük olasılıkla olarak tanımlanan üç kez tahmin yapılarak projenin kritik yolu belirlenir [9]. Bu yöntemde birçok basitleştirici varsayım ele alınmıştır, bu nedenle aktivite sürelerinin olasılık dağılımlarının beta dağılımından farklı olduğu varsayımları altında da çalışmalara yoğun olarak yer verilmiştir. Şimdiye kadar literatürde PERT yöntemiyle ilgili problemlere yüzlerce makalede yer verilmiş ve bu alandaki araştırmalar halen devam etmektedir [35].

4.3.1 PERT uygulanması

PERT tekniğinin uygulanabilmesi için öncelikle her bir faaliyetin iyimser (a), kötümser (b) ve olabilir (m) değerleri belirlenir. PERT tekniğinde olası süreler belirlendikten sonra, faaliyet sürelerinin beta dağılımına uygun olduğu varsayılarak ortalama faaliyet süreleri ve varyans değerleri her bir faaliyet için hesaplanır.

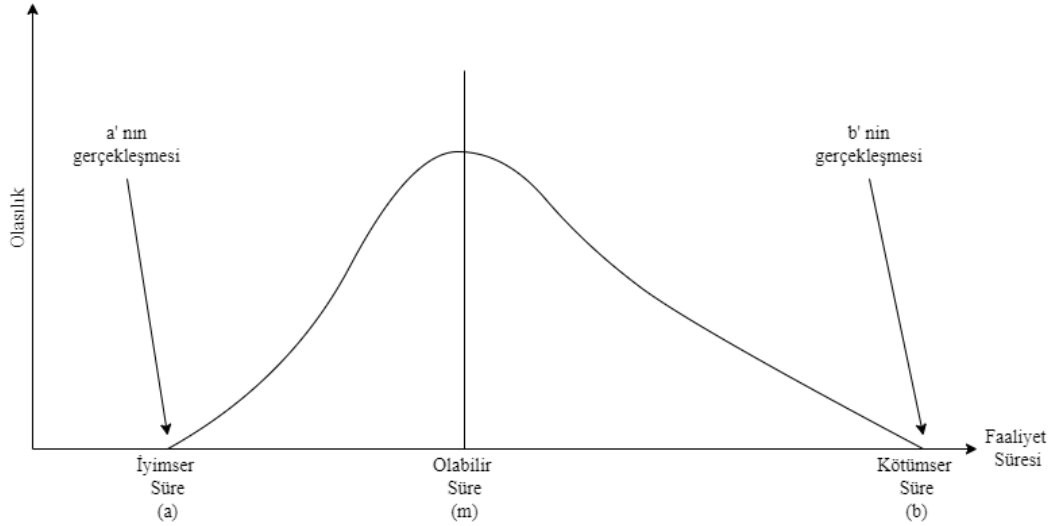
t_{ij} = i,j faaliyetinin süresi

Bu varsayıma göre t_{ij} ' nin ortalaması (beklenen değeri) eşitlik 4.4.' teki gibi, varyansı eşitlik 4.5.' teki gibi hesaplanmaktadır.

$$E(t_{ij}) = \frac{(a+4m+b)}{6} \quad (4.4)$$

$$var(t_{ij}) = \frac{(b-a)^2}{36} \quad (4.5)$$

PERT tekniğinde kullanılan Beta olasılık dağılımı Şekil 4.3.' te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Beta Olasılık Dağılımı

4.4 CPM ve PERT Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

CPM ve PERT yöntemlerinin avantajları aşağıdaki gibi tanımlanabilir [4], [8]:

- CPM ve PERT teknikleri ile proje süresinin hesaplanması matematiksel olarak karmaşık değildir. Proje planlamasında zaman kısıtı yaşanması durumunda proje yöneticilerine kolaylık sağlar.
- Ağ gösterimi ile tüm proje faaliyetleri ve aralarındaki ilişkiler kolay anlaşılabilir şekilde gösterilebilmektedir.
- Projenin başlangıç aşmasında kritik faaliyetlerin belirlenmesi ile risk önleme çalışmalarına katkı sağlanabilir.
- Farklı projelerde ve sektörlerde uygulanabilir.
- Projenin sadece süre açısından değil maliyet açısından da takip edilebilmesine olanak sağlar.

CPM ve PERT yöntemlerinin dezavantajları aşağıdaki gibi tanımlanabilir [4], [5]:

- Proje faaliyetleri açık olarak tanımlanamadığı ve aralarındaki ilişkilerin belirlenemediği durumlarda bu yöntemler tam anlamı ile uygulanamaz.
- Faaliyetlerin süre tahminleri genelde öznel ve karar vericilerin görüşlerine bağlıdır bu da hata yapılma olasılığını arttırmaktadır.
- Faaliyet sürelerinin deterministik bir yapıda olması nedeni ile belirsizlik etkisi değerlendirilememektedir.

4.5 Bulanık Küme Teorisi

Gerçek dünya problemleri her zaman belirsizlik içermektedir. Belirsizlik içeren bu problemleri çözebilmek için gerekli sayısal verilere ulaşmak, genellikle zahmetli ve maliyetlidir. Bu belirsizlik etkisini giderebilmek için problemlerin stokastik yapıları incelenebilir ya da bulanıklık kuramı kullanılabilir.

Fizik bilimleri ve mühendislikte problemler modellenirken, sıklıkla problemin parametrelerinin tam olarak bilinemediği durumlar görülmüştür. Geçmişte bu tür durumlar matematiksel işlemlerin aralıklar üzerinde yapılarak anlamlı tahminlerin elde edilmesine olanak sağlayan aralık aritmetik uygulaması ile ele alınmıştır. Daha sonra aralık aritmetiğin bir genellemesi olan, yalnızca bir sabit düzeydeki aralıkları dikkate almak yerine $[0,1]$ aralığındaki birkaç düzeyin dikkate alındığı bulanık sayıların aritmetiği ile ele alınmıştır. Evrensel kümenin bir elemanı için üyeliğin derecelendirilmesine izin veren bulanık aritmetik tabanlı modellemenin durumu daha gerçekçi bir şekilde ifade etmesi beklenmektedir [36].

Bulanık küme teorisi ile ilgili ilk yayın 1965 yılında Prof. Lutfi Zadeh tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışma da bulanık küme kavramı; küme kavramının elaman olmanın derecelendirilmesine dayanan bir genelleştirilmesi, olarak ifade edilmiştir [37].

1965' teki başlangıcından bu yana, bulanık kümeler teorisi çeşitli şekillerde ve birçok disiplinde ilerlemiştir. Bu teorinin uygulamaları yapay zekâ, bilgisayar bilimi, tıp, kontrol mühendisliği, karar teorisi, uzman sistemler, mantık, yönetim bilimi, yöneylem araştırması, örüntü tanıma ve robotik gibi birçok alan örnek olarak verilebilir [38].

Bulanık aktivite süresi yaklaşımının savunucuları, geçmiş verilerin eksikliğinden dolayı aktivite süreleri için olasılık dağılımlarının bilinmediğini savunmaktadır [35]. Faaliyet sürelerinin, genellikle tekrarlanmayan ve hatta benzersiz bir ortamda uzmanlar tarafından tahmin edilmesi gerektiğinden, proje yönetimi genellikle belirsiz ve kesin olmayan yargılayıcı ifadelerle karşı karşıya kalır. Belirsizlikten ziyade belirsizliği içeren durumlarda, bulanık küme çözelgeleme literatürü, aktivite sürelerini modellemek için rasgele değişkenler yerine bulanık sayıların kullanılmasını önerir [39]. Kesin olmayan verilerle başa çıkmanın alternatif bir yolu, belirsiz aktivite sürelerinin bulanık sayılarla temsil edilebildiği bulanıklık kavramını kullanmaktır. Bulanık sayılar, belirsiz aktivite sürelerini tanımlamak için kullanılır ve bunların tahmininde belirsizlik ve öznellik hesaplamalara yansıtılır [17].

CPM ve PERT tekniklerinde ortaya çıkan olumsuz durumların; kritik yol ve kritik aktivitelerin belirlenebilmesi fakat önem değerinin hesaplanamaması ve takvim

belirsizliklerinin ele alınamaması, ortadan kaldırılabilmesi için bulanık küme teorisinden yararlanılabilmektedir.

Faaliyetlerin zaman süresinin ağ planlamasında her zaman belirsizlik vardır. Bu nedenle geçmiş yıllarda bulanık kritik yolu bulmak için pek çok yaklaşım önerilmiştir. 1970'in sonlarına doğru bulanık kritik yol yöntemi ortaya çıkmıştır. Bulanık CPM, bulanık projenin planlanması, programlanması ve kontrol edilmesini sağlamak için tasarlanmış bulanık proje ağı tabanlı bir yöntemdir. Amacı, bulanık proje için zaman çizelgesi oluşturmaktır. Bulanık CPM ile projeyi tamamlamak için gereken toplam bulanık süre ve bulanık kritik yol bulunabilir [17]. Bulanık PERT olarak adlandırılan ilk yöntem Chanas ve Kamburowski tarafından önerilmiştir. Proje bitiş zamanını zaman uzayında bulanık küme şeklinde sunmuşlardır [40].

4.5.1 Temel Terminoloji ve Tanımlar

Bulanık küme, üyelik derecelerinin sürekliliği olan bir sınıf kavramı olarak ifade edilmektedir. Üyelik fonksiyonlarındaki elemanların değerleri $[0,1]$ aralığında yer almaktadır [37].

Tanım 1 Bulanık Küme: X , evrensel tanım kümesi üzerinde A bulanık kümesi, x' de evrensel kümenin elemanı olduğunda, $A \subseteq X$ kümesinin karakteristik fonksiyonu eşitlik 4.6'daki gibi tanımlanır.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (4.6)$$

$\mu_A(x)$ fonksiyonun değer kümesi $\{0,1\}$ olarak tanımlanır. Eşitlik 4.3'e göre, eğer $\mu_A(x) = 1$ ise “ x elemanı A kümesine aittir” ve eğer $\mu_A(x) = 0$ ise “ x elemanı A kümesine ait değildir” anlamına gelmektedir. Bu fonksiyon 0 ve 1 dışında değer alamaz ancak $\mu_A(x)$ fonksiyonun değer kümesi $[0,1]$ aralığında sürekli olarak tanımlanır ise bu kapalı aralıkta her gerçel sayıyı alabileceği için A kümesine bulanık küme denir ve \tilde{A} ile gösterilir.

Tanım 2 Üyelik Fonksiyonu: \tilde{A} kümesinde, $\mu_A(x)$ değerine x' in \tilde{A} kümesine üyelik derecesi denir. \tilde{A} kümesinin üyelik fonksiyonu eşitlik 4.7'deki gibi tanımlanır.

$$\forall x \in X : \mu_A(x) \in [0,1]$$

$$A = \{(x|\mu_A(x)), x \in X\} \quad (4.7)$$

Tanım 3 Destek Kümesi: \tilde{A} kümesinin destek kümesi eşitlik 4.8' deki gibi gösterilir.

$$desA = \{x | \mu_A(x) > 0 \text{ ve } x \in X\} \quad (4.8)$$

Tanım 4 α Kesme Kümesi: \tilde{A} kümesinin α kesme kümesi eşitlik 4.9' daki gibi gösterilir.

$$\begin{aligned} A_\alpha &= \{x | \mu_A(x) \geq \alpha \text{ ve } x \in X\} \\ &= \{\text{üyelik dereceleri en az } \alpha \text{ kadar olan } x' \text{ler}\} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Tanım 5 Normallik: \tilde{A} kümesi için normallik Eşitlik 4.7' deki gibi gösterilir.

$$\tilde{A} \text{ kümesi normaldir} \Leftrightarrow \sup_x \mu_A(x) = 1 \quad (4.10)$$

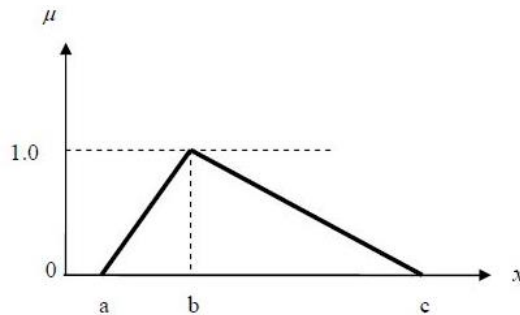
$\sup_x \mu_A(x) = 1$ sağlanmadığı durumda \tilde{A} kümesi alt normaldir.

Tanım 6 Bulanık Sayı: \tilde{A} kümesi ve $x \in \tilde{A}$ olmak üzere, $A_\alpha \in (0,1]$ ve \tilde{A} 'nın destek kümesi sınırlı ise x bulanık sayıdır.

Tanım 7 Üçgensel Bulanık Sayı: \tilde{A} küme, $x \in \tilde{A}$ ve x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ olmak üzere, $\mu(x)$ eşitlik 4.11' deki gibi tanımlandığında x üçgensel bulanık sayıdır.

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \leq x < b \\ 1, & x = b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & b < x \leq c \end{cases} \quad (4.11)$$

Şekil 4.4.' te x üçgensel bulanık sayısı $x = (a, b, c)$ biçiminde gösterilmiştir. Bu gösterime göre b merkez, $(b - a)$ sol yayılım, $(c - b)$ sağ yayılımdır.

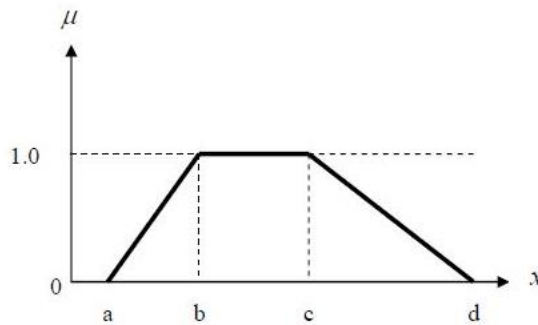


Şekil 4.4. Üçgensel Bulanık Sayı

Tanım 8 Yamuksal Bulanık Sayı: \tilde{A} küme, $x \in \tilde{A}$ ve x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ olmak üzere, $\mu(x)$ eşitlik 4.12' deki gibi tanımlandığında x yamuksal bulanık sayıdır.

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \leq x < b \\ 1 & , b \leq x < c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}, & c < x \leq d \end{cases} \quad (4.12)$$

Şekil 4.5.' te x bulanık sayısı $x = (a, b, c, d)$ biçiminde gösterilmiştir. Bu gösterime göre, $(b - a)$ sol yayılım, $(d - c)$ sağ yayılımdır.



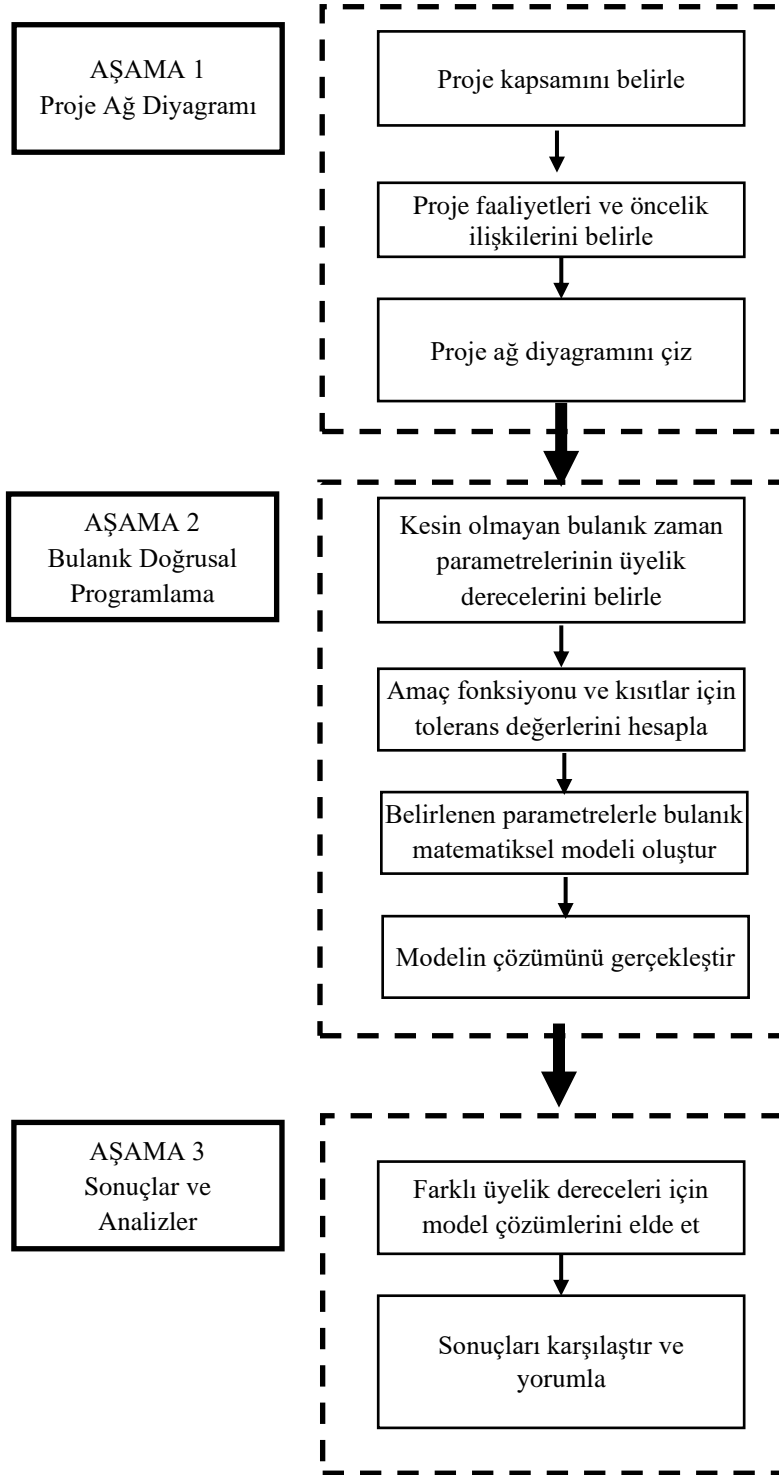
Şekil 4.5. Yamuksal Bulanık Sayı

4.6 Çalışmada Önerilen Yöntem

Çalışmada önerilen yöntemde konusu ve kapsamı belirlenmiş bir projede, proje faaliyetleri ve öncüllük ilişkileri ile proje ağ diyagramı oluşturulur. Sonrasında kesin olmayan bulanık zaman parametrelerine ilişkin üyelik dereceleri belirlendikten sonra amaç fonksiyonu ve kısıtların sağ taraf sabitleri (faaliyet süreleri) için tolerans değerleri belirlenir. Tüm değerlerin belirlenmesinden sonra bulanık matematiksel model oluşturulur ve çözümü gerçekleştirildikten sonra sonuçlar elde edilir.

Çalışma kapsamında projede yer alan faaliyet sürelerindeki belirsizlik için bulanık matematiksel model kullanılmıştır. Önerilen yeni yöntem, kritik yol analizi için Zimmermann yaklaşımında kullanılan yöntemin kritik yol analizine uyarlanması ile gerçekleştirilmiştir. Zimmermann yaklaşımında yer alan matematiksel modelde sağ taraf sabitlerinin bulanık olması durumunda gerçekleştirilen çözüm yöntemi, bulanık matematiksel modelde sağ taraf sabitleri yani faaliyet sürelerine uygulanarak belirsizlik ele alınmıştır. Ayrıca oluşturulan

matematiksel modelde amaç fonksiyonu da bulanıklık içermektedir. Çalışmada önerilen yönteme ilişkin akış şeması Şekil 4.6.' da verilmektedir.



Şekil 4.6. Önerilen Yönteme İlişkin Akış Şeması

Çalışmada bulanık matematiksel modelin oluşturulmasında kritik yol analizi için önerilen matematiksel model kullanılmıştır. Doğrusal programlama ile kritik yol analizinde kullanılan matematiksel modele ait karar değişkeni ve parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

Karar değişkeni

x_j j . olayın başlama zamanı $j = 1, \dots, n$

Parametreler

t_{ij} (i, j) faaliyetinin süresi

Matematiksel modelin genel hali ise Eşitlik 4.13- 4.15' te verildiği gibidir:

$$Enk z = x_n - x_1 \quad (4.13)$$

$$x_j \geq x_i + t_{ij} \quad \forall (j, i) : i, j' nin \text{ öncülü} \quad (4.14)$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (4.15)$$

Kritik yol analizinde kullanılan matematiksel modelde Eşitlik 4.13 ile verilen amaç fonksiyonu projenin tamamlanma süresinin en küçüklenmesidir. Eşitlik 4.14 ile verilen kısıtlar her bir öncüllük ilişkisi için bir görevin tamamlanmadan diğer görevin başlamayacağını garanti etmektedir. Eşitlik 4.15 ile verilen kısıtlar ise karar değişkenlerinin negatif olmamasını sağlamaktadır. Kritik yol analizinde kullanılan matematiksel modelde, faaliyet sürelerinin belirsiz olması durumunda bulanık doğrusal programlama uygun bir yaklaşımdır. Bu sebeple amaç fonksiyonu ve kısıtlar bulanık olarak ele alınmıştır. Buna göre, bulanık kısıt ve amaç fonksiyonlarına sahip bulanık doğrusal programlama modeli Eşitlik 4.16- 4.18 ile verilmiştir.

$$\widetilde{Enk} z = cx \quad (4.16)$$

$$(Ax)_i \geq \widetilde{b}_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (4.17)$$

$$x \geq 0 \quad (4.18)$$

Yukarıdaki bulanık doğrusal programlama modelinin çözümü için Zimmermann [41] tarafından geliştirilen yaklaşım kullanılmıştır. Bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlara ait üyelik fonksiyonları sırasıyla Eşitlik 4.19 ve Eşitlik 4.20 ile verilmiştir [42].

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer, } cx < b_0 - p_0 \\ 1 - \frac{cx-b_0}{p_0} & \text{eğer, } b_0 \leq cx \leq b_0 + p_0 \\ 1 & \text{eğer, } cx > b_0 + p_0 \end{cases} \quad (4.19)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer, } (Ax)_i < b_i - p_i \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{p_i} & \text{eğer, } b_i - p_i \leq (Ax)_i \leq b_i \\ 1 & \text{eğer, } (Ax)_i > b_i \end{cases} \quad (4.20)$$

Burada, bulanık amaç fonksiyonu için $[b_0, b_0 + p_0]$ aralığında olup tolerans değeri p_0 olarak ifade edilir. Benzer şekilde bulanık kısıtlar $[b_i - p_i, b_i]$ aralığındadır ve tolerans değerleri p_i 'dir. Böylece, Eşitlik 4.16 – 4.18 ile verilen matematiksel model Eşitlik 4.21 – 4.24 olarak yeniden düzenlenir.

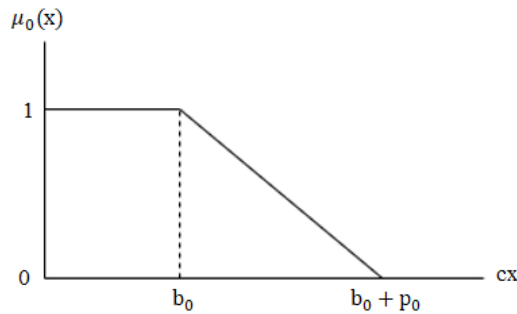
$$\text{Enb } \lambda \quad (4.21)$$

$$\mu_0(x) \geq \lambda \quad (4.22)$$

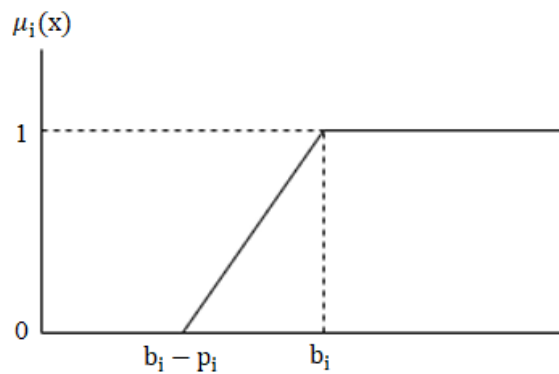
$$\mu_i(x) \geq \lambda, i = 1, 2, \dots, m \quad (4.23)$$

$$\lambda \in [0,1] \quad (4.24)$$

Bulanık amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu $\mu_0(x)$, artmayan sürekli doğrusal bir fonksiyondur ve Şekil 4.7.' de gösterilmektedir. Bulanık kısıtlara ait üyelik fonksiyonları ($\mu_i(x); i = 1, \dots, m$), azalmayan sürekli doğrusal bir fonksiyondur ve Şekil 4.8.' de gösterilmektedir. λ ise üyelik derecelerinin alt sınırını gösteren karar değişkenidir.



Şekil 4.7. Bulanık Amaç Üyelik Fonksiyonu



Şekil 4.8. Bulanık Kısıt Üyelik Fonksiyonu

5 UYGULAMA

Her bir projenin büyüklüğünün, kapsamının, kaynaklarının birbirinden farklı olması ve değişen gerçek dünya koşulları gibi birçok neden projelerde belirsizlik oluşmasına neden olmaktadır. Sağlam bir temel bir bina için ne kadar önemli ise doğru proje çizelgeleme projenin başarısı için oldukça önemlidir. Teklif aşamasından itibaren belirsizlik etkisinin hesaplamalara katılması başarılı proje çizelgeleme için önemli bir adım oluşturmaktadır. Belirsizlik etkisi değerlendirilmediğinde projenin hedeflerine ulaşabilmesi oldukça zordur. Hedeflerine ulaşamayan projeler firmanın başarısız olmasına, müşteri kaybetmesine ve kar topu etkisi ile firmanın ayakta kalamamasına neden olur.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda proje yönetiminin oldukça önemli olduğu bir firmada bulanık faaliyet süreleri olduğu tahmin edilen bir projenin çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçların değerlendirilebilmesi için öncelikle problem klasik CPM ve PERT teknikleri ile çözülmüştür. Daha sonra aynı problemin faaliyet süreleri bulanık olarak ele alınıp çözülmüştür.

5.1 Firma Genel Bilgileri

Çalışma yapılan firma yirmi yılı aşkın süredir bilgi teknolojileri, savunma ve sivil alan olmak üzere birçok sektörde yazılım geliştirmesi yapan bir firmadır. Firma kendi ürünlerini ve pazar istekleri doğrultusunda yeni ürünleri geliştirmeye devam etmektedir. Her geçen gün hızla artan rekabet ortamında firmanın yalnızca yurtiçinde değil yurtdışı pazarında da hedefleri vardır.

Firmada aynı anda farklı proje türlerinde birçok proje yürütülmektedir ve projeler devam ederken yeni projeler için teklif çalışmaları sürdürülmektedir. Proje yönetiminin başarısı firmanın başarısını ve geleceğini doğrudan etkilediği için proje yönetimi firma için oldukça önemlidir. Proje yönetiminin önemli adımlarından biri olan proje çizelgeleme firmada teklif verme aşamasından itibaren kullanılmaktadır.

Firma da proje çizelgeleme için yaygın bir kullanıma sahip olan Microsoft Project yazılımı kullanılmaktadır. Faaliyet süreleri tahmin edilirken uzman görüşleri ve benzer projelerin geçmiş verileri kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında firmada daha önce kullanılmayan bulanık doğrusal programlama modeli tabanlı bulanık CPM yöntemi bir proje için uygulanmıştır.

5.2 Problemin Tanımı

Seçilen projenin kapsamı firmanın daha önce yaptığı projelerden farklı hatta firmanın daha önce çalışmadığı bir sektöre hizmet edecek yeni bir yazılım geliştirme projesidir. Bu projenin teklif aşamasında firmanın geçmiş proje verisi bu projeyi doğru tahminle yemeyeceği için kullanılamamış ve uzman görüşleri alınamamıştır. Bu nedenlerle teklif kapsamında müşteriden gelen proje çizelgesi doğrudan kullanılmıştır. Bunun gibi ekstrem durumlara alternatif yeni bir yöntem seçeneği oluşturması için bu proje çalışma kapsamında seçilmiştir.

Seçilen proje Sürüm-1 ve Sürüm-2 olmak üzere iki aşamadan ve toplam yirmi altı faaliyetten oluşan bir yazılım geliştirme projesidir. Proje, başlangıç toplantısı ile başlayıp nihai kabulün ardından kullanıcı eğitimlerinin verilmesi ile sona ermektedir. Proje genel olarak müşteri ile gerçekleştirilen toplantılar, yazılım geliştirici firmanın yaptığı çalışmalar, çalışmaların doğrulanması kapsamında testler, hata çözümlemesi ve eğitim faaliyetlerinden oluşmaktadır.

Proje faaliyetlerinin kapsamı Tablo 5.1.' de tanımlanmıştır. Sürüm-1 ve Sürüm-2 benzer faaliyetleri içerdikleri için tabloda tüm faaliyetler yer almamaktadır. Faaliyetlerin kapsamı jenerik olarak tanımlanmıştır. Yazılım geliştirme faaliyeti aşamasında firma diğer projelerinde de kullanmış olduğu çevik yazılım geliştirme metodolojilerini kullanmaktadır.

Tablo 5.1. Proje Faaliyetleri ve Kapsamı

Faaliyet	Faaliyet Kapsamı
Proje Başlangıç Toplantısı	Tüm proje paydaşlarının katılımı ile proje planlarının, sonraki faaliyetlerin vb. konuların görüşüldüğü bir toplantıdır.
Yazılım Gereksinim Analizi ve Mimari Tasarımı	Yazılım geliştirme ekibinin teknik şartname kapsamında yazılım gereksinimlerini analiz etmesi ve yazılımın mimari tasarımının hazırlanması sürecidir. Bu faaliyet projenin temelini oluşturması nedeni ile oldukça önemli bir çalışmadır.
Yazılım Gereksinim ve Mimari Tasarım Toplantısı	Yazılım geliştirme ekibinin yapmış olduğu çalışmaların gözden geçirilip, onaylandığı ve yazılım tasarımı için dayanak noktasının oluşturulduğu bir faaliyettir.
Yazılım Geliştirme Çalışmaları	Yazılım ekibinin kodlama çalışmaları faaliyetleridir.
Yazılım Gereksinim Tanımları Dokümanı Hazırlanması	Yazılım kodlama çalışmaları ile her bir gereksinime ait tanımın dokümanite edilmesi faaliyetleridir. (Sürüm-1 ve Sürüm-2 de yer almaktadır.)
Yazılım Test Tanımları Dokümanı Hazırlanması	Yazılım kodlama çalışmaları ile doğrulama faaliyetlerini yürütebilmek için test tanımlarının hazırlanması faaliyetleridir.
Ön Kabul Testleri	Kodlama ve dokümantasyon sürecinin tamamlanmasından sonra ürünün tanımlanan gereksinimlere uygun olup olmadığını değerlendirmek için yapılan test faaliyetleridir. (Müşteri ile test edilmeden önce olduğu için ön kabul testleri olarak tanımlanmıştır.)
Nihai Kabul Testleri	Ön kabul testlerinin tamamlanmasının ardından müşteri ile gerçekleştirilen kabul testi faaliyetleridir.
Kabul Toplantısı	Nihai kabul testlerinin tamamlanmasının ardından tüm proje paydaşlarının katılımı ile gerçekleştirilen test sonuçlarının ve bundan sonraki faaliyetlerin görüşüldüğü toplantı faaliyetidir.
Kullanıcı Eğitimi	İlgili sürümün kabul faaliyeti tamamlandıktan sonra nihai kullanıcılara yazılımın kullanımına ilişkin verilen eğitim faaliyetleridir.
Müşteri Kullanım Testleri	Eğitimlerini alan kullanıcılar yazılımı test ederken, düzeltme ve iyileştirmeler kapsamında bulgularını bildirdiği faaliyet ve süreçtir
Düzeltilme ve İyileştirme Çalışmaları	Kullanıcılardan gelen düzeltme ve iyileştirme bulguları analiz edilir, uygulanabilir olanlar yazılım geliştirme ekipleri tarafından ürüne eklenmesi ve gerekli dokümanların güncellenmesi faaliyetleridir.
Sistem Entegrasyon	Kullanıcılardan gelen düzeltme ve iyileştirme bulguları tamamlandıktan sonra geliştirilen yazılımın nihai versiyonu ana sisteme entegre edilmesi faaliyetidir.
Sistem Ön Kabul Testleri	Sistem entegrasyonu tamamlandıktan sonra yazılımın sistem ile gereksinimlere uygun bir şekilde çalıştığının müşteri nihai kabul testlerinden önce doğrulandığı test faaliyetleridir.
Sistem Nihai Kabul Testleri	Sistem entegrasyon testlerinin müşteri ile doğrulanması faaliyetidir.
Nihai Kabul Toplantısı	Tüm proje paydaşlarının katılımı ile ürün kabulünün gerçekleştiği nihai kabul toplantısı faaliyetidir.
Kullanıcı Eğitimi	Son kullanıcıya sisteme entegre edilmiş ürün üzerinde kullanıcı eğitimlerinin verilmesi faaliyetidir.

5.3 Klasik CPM ile Çözüm

Klasik CPM çözümü için öncelikle projenin teklif aşmasında verilen proje takvimi üzerinden faaliyet süreleri ve öncelik ilişkileri belirlenmiştir. Tablo 5.2.' de proje faaliyetleri, faaliyet kodu, öncelik ilişkileri ve faaliyet süreleri yer almaktadır.

Tablo 5.2. Proje Faaliyetleri

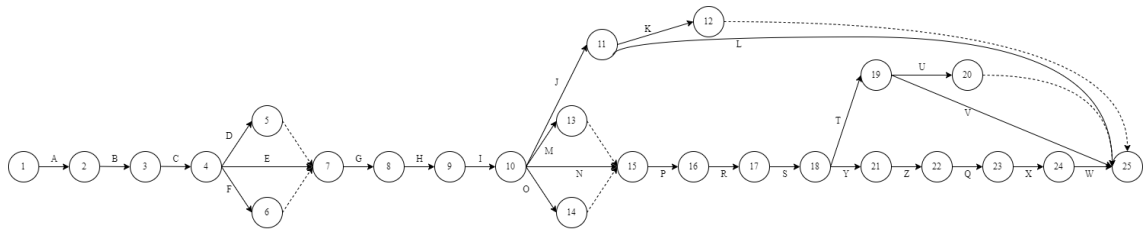
Numara	Faaliyet	Faaliyet Kodu	Öncelik İlişkileri	Süre (Gün)
1	Proje Başlangıç Toplantısı	A	-	1
2	Yazılım Gereksinim Analizi ve Mimari Tasarımı	B	A	40
3	Yazılım Gereksinim ve Mimari Tasarım Toplantısı	C	B	5
4	Sürüm-1 Yazılım Geliştirme Çalışmaları	D	C	120
5	Sürüm-1 Yazılım Gereksinim Tanımları Dokümanı Hazırlanması	E	C	45
6	Sürüm-1 Yazılım Test Tanımları Dokümanı Hazırlanması	F	C	45
7	Sürüm-1 Ön Kabul Testleri	G	D,E,F	10
8	Sürüm-1 Nihai Kabul Testleri	H	G	5
9	Sürüm-1 Kabul Toplantısı	I	H	1
10	Sürüm-1 Kullanıcı Eğitimi	J	I	2
11	Sürüm-1 Müşteri Kullanım Testleri	K	J	30
12	Sürüm-1 Düzeltme ve İyileştirme Çalışmaları	L	J	45
13	Sürüm-2 Yazılım Geliştirme Çalışmaları	M	I	120
14	Sürüm-2 Yazılım Gereksinim Tanımları Dokümanı Hazırlanması	N	I	45
15	Sürüm-2 Yazılım Test Tanımları Dokümanı Hazırlanması	O	I	45
16	Sürüm-2 Ön Kabul Testleri	P	M,N,O	10
17	Sürüm-2 Nihai Kabul Testleri	R	P	5
18	Sürüm-2 Kabul Toplantısı	S	R	1
19	Sürüm-2 Kullanıcı Eğitimi	T	S	2
20	Sürüm-2 Müşteri Kullanım Testleri	U	T	30
21	Sürüm-2 Düzeltme ve İyileştirme Çalışmaları	V	T	45
22	Sistem Entegrasyon	Y	S	20
23	Sistem Ön Kabul Testleri	Z	Y	10
24	Sistem Nihai Kabul Testleri	Q	Z	10
25	Nihai Kabul Toplantısı	X	Q	1
26	Kullanıcı Eğitimi	W	X	4

Ağ çizimi için Activity on Arc (AOA) yöntemi kullanılmıştır ve proje faaliyet sayısı çok fazla olmadığından el ile çizilmiştir. Ancak faaliyet sayısının fazla olduğu projelerde el ile çizmek mümkün olmayabilir bu durumda ağ diyagramı çizimi için Primavera, WinQSB gibi araçlar kullanılabilir.

Ağ çizimine öncül faaliyeti olmayan "A" faaliyeti, 1-2 düğümü arasında gösterilerek başlamıştır. Daha sonra "A" faaliyetinin öncülü olan "B" faaliyeti 2-3 düğümü arasında

çizilmiştir. Bu şekilde devam edilerek proje ağ diyagramı, Tablo 5.2.' de yer alan proje faaliyetleri ve öncüllük ilişkilerine bakılarak, ağ diyagramı çizimi kurallarına uygun bir biçimde şekil 5.1.' deki gibi oluşturulmuştur.

Bir yayın yalnızca bir faaliyeti temsil edebilmesi kuralından dolayı proje ağ diyagramı çizilirken yapay (dummy) aktiviteler de kullanılmıştır. Örneğin; 5-7, 6-7 düğümlerini birleştiren yaylar hiçbir proje faaliyetini temsil etmemektedir. Bu yayların süresi sıfır kabul edilir.



Şekil 5.1. Proje Ağ Diyagramı

Proje ağ diyagramı oluşturulduktan sonra kritik faaliyetlerin ve kritik yolun belirlenebilmesi için her bir düğüm için: Erken Olay Zamanı (Early Event Time “ET”), Geç Olay Zamanı (Late Event Time “LT”) ve Bolluk değerleri hesaplanmış ve Tablo 5.3.' te gösterilmiştir.

Bolluk değeri sıfır ise düğüm kritik yol üzerindedir. Düğümlerin birleştirdiği faaliyetler de kritik faaliyetlerdir. Tabloya göre:

Kritik Yol: 1-2-3-4-5-7-8-9-10-13-15-16-17-18-19-25

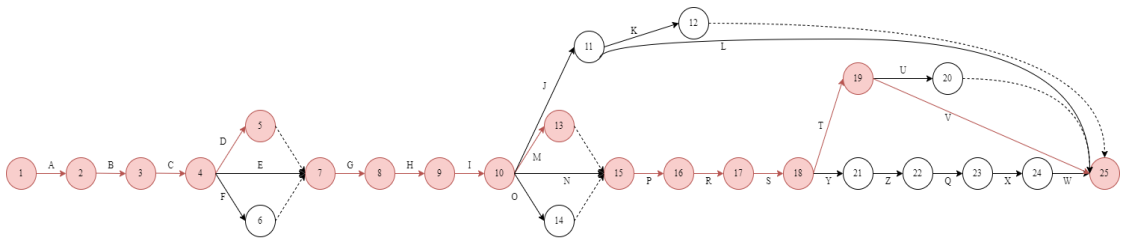
Kritik Yol Üzerindeki Faaliyetler: A-B-C-D-G-H-I-M-P-R-S-T-V

Kritik Yolun Süresi (Proje Tamamlanma Süresi): 365 gün

Tablo 5.3. Proje Düğümleri Erken Olay – Geç Olay – Bolluk Değerleri

Düğüm	ET	LT	Bolluk (LT-ET)
1	0	0	0
2	1	1	0
3	41	41	0
4	46	46	0
5	166	166	0
6	91	166	75
7	166	166	0
8	176	176	0
9	181	181	0
10	182	182	0
11	184	320	136
12	214	365	151
13	302	302	0
14	227	302	75
15	302	302	0
16	312	312	0
17	317	317	0
18	318	318	0
19	320	320	0
20	350	365	15
21	338	340	2
22	348	350	2
23	358	360	2
24	359	361	2
25	365	365	0

Şekil 5.2.' de kritik faaliyetler ve kritik yol ağ diyagramı üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Proje Ağ Diyagramı Üzerinde Kritik Faaliyetlerin Gösterilmesi

Kritik yolun süresi doğrusal programlama ile de bulunabilir. Bunun için amaç ve kısıt fonksiyonu matematiksel modeli oluşturulup uygun çözücü program ile sonuçlar elde edilir.

Bu çalışma kapsamında 5.2 bölümünde tanımlanan probleme ait matematiksel model aşağıdaki gibidir.

Karar Değişkenleri:

$$x_j, j \text{ düğümünün başlama zamanı olmak üzere } j = 1, 2, \dots, 25$$

Parametreler:

$$t_{ij}, (i, j) \text{ faaliyetinin süresi}$$

Kısıtlar:

Faaliyetlerin öncüllük ilişkileri, faaliyet süreleri ve Şekil 5.1.' de yer alan proje ağ diyagramından faydalanarak oluşturulan kısıt fonksiyonları Tablo 5.4.' te verilmiştir.

Tablo 5.4. CPM Matematiksel Model Kısıt Fonksiyonları

$x_j \geq x_i + t_{ij}$	Bağlantı	Faaliyet	$x_j \geq x_i + t_{ij}$	Bağlantı	Faaliyet
$-x_1 - x_2 \geq 1$	(1,2)	A	$-x_{16} - x_{17} \geq 5$	(16,17)	R
$-x_2 - x_3 \geq 40$	(2,3)	B	$-x_{17} - x_{18} \geq 1$	(17,18)	S
$-x_3 - x_4 \geq 5$	(3,4)	C	$-x_{18} - x_{19} \geq 2$	(18,19)	T
$-x_4 - x_5 \geq 120$	(4,5)	D	$-x_{19} - x_{20} \geq 30$	(19,20)	U
$-x_4 - x_7 \geq 45$	(4,7)	E	$-x_{19} - x_{25} \geq 45$	(19,25)	V
$-x_4 - x_6 \geq 45$	(4,6)	F	$-x_{18} - x_{21} \geq 20$	(18,21)	Y
$-x_7 - x_8 \geq 10$	(7,8)	G	$-x_{21} - x_{22} \geq 10$	(21,22)	Z
$-x_8 - x_9 \geq 5$	(8,9)	H	$-x_{22} - x_{23} \geq 10$	(22,23)	Q
$-x_9 - x_{10} \geq 1$	(9,10)	I	$-x_{23} - x_{24} \geq 1$	(23,24)	X
$-x_{10} - x_{11} \geq 2$	(10,11)	J	$-x_{24} - x_{25} \geq 4$	(24,25)	W
$-x_{11} - x_{12} \geq 30$	(11,12)	K	$x_7 - x_6 \geq 0$	(6,7)	Dummy
$-x_{11} - x_{25} \geq 45$	(11,25)	L	$x_7 - x_5 \geq 0$	(5,7)	Dummy
$-x_{10} - x_{13} \geq 120$	(10,13)	M	$x_{15} - x_{14} \geq 0$	(14,15)	Dummy
$-x_{10} - x_{15} \geq 45$	(10,15)	N	$x_{15} - x_{13} \geq 0$	(13,15)	Dummy
$-x_{10} - x_{14} \geq 45$	(10,14)	O	$x_{25} - x_{20} \geq 0$	(20,25)	Dummy
$-x_{15} - x_{16} \geq 10$	(15,16)	P	$x_{25} - x_{12} \geq 0$	(12,25)	Dummy

Amaç: $Enkz = x_{25} - x_1$

Matematiksel model LINGO 19 ile çözülmüş amaç değeri yani proje tamamlanma süresi $z = 365$ gün olarak bulunmuştur. Projenin kritik yolu gölge değeri “-1” olan kısıtlar ile ilgili faaliyetleri içerdiğinden kritik yol “1-2-3-4-5-7-8-9-10-13-15-16-17-18-19-25” ve kritik faaliyetler “A-B-C-D-G-H-I-M-P-R-S-T-V” olarak bulunmuştur. Matematiksel model ve klasik çözümde aynı sonuçlar elde edilmiştir.

5.4 Önerilen Yöntem Uygulama Adımları

Bölüm 4’ te anlatılan temel bilgiler kullanılarak yukarıda klasik CPM ile çözülen problem bulanık doğrusal programlama modeli tabanlı bulanık CPM yöntemi ile çözülmüştür. Uygulama adımları aşağıda tanımlanmıştır.

Adım 1: Proje faaliyetlerine ilişkin süreler bulanık sayı olarak tanımlanır.

Adım 2: Proje ağ diyagramı çizilir.

Adım 3: Zimmermann yaklaşımı ile bulanık matematiksel modeli oluşturabilmek için bölüm 4.6’ da anlatıldığı gibi amaç fonksiyonu ve her bir bağlantı (kısıt fonksiyonu) için b_0 ve b_i tolerans değerleri belirlenir.

Adım 4: Bölüm 4.6’ da anlatılan üyelik fonksiyonları tanımlarına göre matematiksel model oluşturulur.

Adım 5: Matematiksel model uygun bir çözücü program yardımı ile çözülür ve tolerans değeri b_0 azaltılarak karşılık gelen λ değerleri hesaplanır.

Adım 6: Tüm λ değerleri için, kritik yol, kritik faaliyetler ve proje tamamlanma süreleri değerlendirilir.

5.4.1 Önerilen yöntem ile çözüm

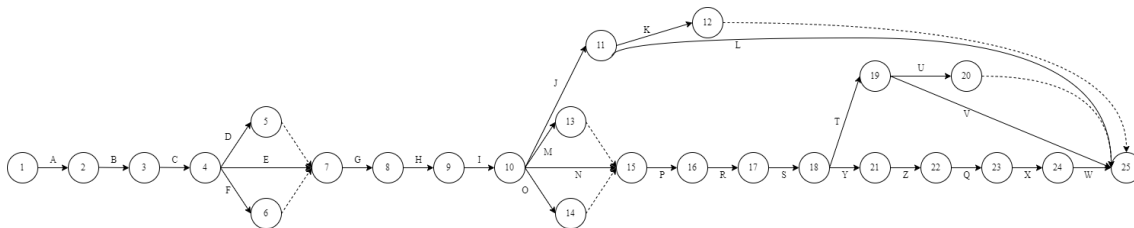
Sayısal örnek bölüm 5.4’ te tanımlanan adımlar takip edilerek uygulanmıştır.

Adım 1: Örnek proje faaliyetleri, öncelik ilişkileri ve her bir faaliyetin bulanık (kesin olmayan) süreleri Tablo 5.5.’ te gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Proje Faaliyetleri

Numara	Faaliyet	Faaliyet Kodu	Öncelik İlişkileri	Süre (Gün)
1	Proje Başlangıç Toplantısı	A	-	1
2	Yazılım Gereksinim Analizi ve Mimari Tasarımı	B	A	40
3	Yazılım Gereksinim ve Mimari Tasarım Toplantısı	C	B	5
4	Sürüm-1 Yazılım Geliştirme Çalışmaları	D	C	120
5	Sürüm-1 Yazılım Gereksinim Tanımları Dokümanı Hazırlanması	E	C	45
6	Sürüm-1 Yazılım Test Tanımları Dokümanı Hazırlanması	F	C	45
7	Sürüm-1 Ön Kabul Testleri	G	D,E,F	10
8	Sürüm-1 Nihai Kabul Testleri	H	G	5
9	Sürüm-1 Kabul Toplantısı	I	H	1
10	Sürüm-1 Kullanıcı Eğitimi	J	I	2
11	Sürüm-1 Müşteri Kullanım Testleri	K	J	30
12	Sürüm-1 Düzeltme ve İyileştirme Çalışmaları	L	J	45
13	Sürüm-2 Yazılım Geliştirme Çalışmaları	M	I	120
14	Sürüm-2 Yazılım Gereksinim Tanımları Dokümanı Hazırlanması	N	I	45
15	Sürüm-2 Yazılım Test Tanımları Dokümanı Hazırlanması	O	I	45
16	Sürüm-2 Ön Kabul Testleri	P	M,N,O	10
17	Sürüm-2 Nihai Kabul Testleri	R	P	5
18	Sürüm-2 Kabul Toplantısı	S	R	1
19	Sürüm-2 Kullanıcı Eğitimi	T	S	2
20	Sürüm-2 Müşteri Kullanım Testleri	U	T	30
21	Sürüm-2 Düzeltme ve İyileştirme Çalışmaları	V	T	45
22	Sistem Entegrasyon	Y	S	20
23	Sistem Ön Kabul Testleri	Z	Y	10
24	Sistem Nihai Kabul Testleri	Q	Z	10
25	Nihai Kabul Toplantısı	X	Q	1
26	Kullanıcı Eğitimi	W	X	4

Adım 2: Tablo 5.5.' te tanımlanan proje faaliyetleri ve öncüllük ilişkilerine göre proje ağ diyagramı oluşturulmuş ve Şekil 5.3.' te verilmiştir.



Şekil 5.3. Proje Ağ Diyagramı

Adım 3: Zimmermann yaklaşımı ile bulanık matematiksel modeli oluşturabilmek için bölüm 4.4.1’ de anlatıldığı gibi amaç fonksiyonu ve her bir bağlantı (kısıt fonksiyonu) için b_0 ve b_i tolerans değerleri belirlenir. Tablo 5.6.’ da bağlantı numaraları ve her bir faaliyet için b_i tolerans değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Bağlantı Numaraları ve b_i Tolerans Değerleri

Bağlantılar	Faaliyet Kodu	Süre (Gün)	p_i (tolerans) (Gün)
Bağlantı (1,2)	A	$\tilde{1}$	0,5
Bağlantı (2,3)	B	$\tilde{40}$	5
Bağlantı (3,4)	C	$\tilde{5}$	1,5
Bağlantı (4,5)	D	$\tilde{120}$	10
Bağlantı (4,7)	E	$\tilde{45}$	5
Bağlantı (4,6)	F	$\tilde{45}$	5
Bağlantı (7,8)	G	$\tilde{10}$	2
Bağlantı (8,9)	H	$\tilde{5}$	1,5
Bağlantı (9,10)	I	$\tilde{1}$	0,5
Bağlantı (10,11)	J	$\tilde{2}$	0,5
Bağlantı (11,12)	K	$\tilde{30}$	4
Bağlantı (11,25)	L	$\tilde{45}$	5
Bağlantı (10,13)	M	$\tilde{120}$	10
Bağlantı (10,15)	N	$\tilde{45}$	5
Bağlantı (3,4)	O	$\tilde{45}$	5
Bağlantı (15,16)	P	$\tilde{10}$	2
Bağlantı (16,17)	R	$\tilde{5}$	1,5
Bağlantı (17,18)	S	$\tilde{1}$	0,5
Bağlantı (18,19)	T	$\tilde{2}$	0,5
Bağlantı (19,20)	U	$\tilde{30}$	4
Bağlantı (19,25)	V	$\tilde{45}$	5
Bağlantı (18,21)	Y	$\tilde{20}$	4
Bağlantı (21,22)	Z	$\tilde{10}$	2
Bağlantı (22,23)	Q	$\tilde{10}$	2
Bağlantı (23,24)	X	$\tilde{1}$	0,5
Bağlantı (24,25)	W	$\tilde{4}$	0,5

Adım 4: Eşitlik 5.1- 5.2 ile verilen üyelik fonksiyonları tanımlarına göre matematiksel model oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu tolerans değeri $p_0 = 20$ olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu ve örnek bir kısıt fonksiyonu için üyelik fonksiyonları sırasıyla Eşitlik 5.1 ve Eşitlik 5.2’ de tanımlanmıştır. Eşitlik 4.20’ de verilen üyelik fonksiyonu tanımına göre tüm $\mu_i(x)$; $i = 1, \dots, 26$ üyelik fonksiyonları Tablo 5.6. ile verilen tolerans değerleri (p_i) yardımıyla oluşturulmuş ve modele eklenmiştir.

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer, } x_{25} - x_1 < 345 \\ 1 - \frac{(x_{25}-x_1)-365}{20} & \text{eğer, } 365 \leq x_{25} - x_1 \leq 385 \\ 1 & \text{eğer, } x_{25} - x_1 > 385 \end{cases} \quad (5.1)$$

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer, } x_2 - x_1 < 0.5 \\ 1 - \frac{1-(x_2-x_1)}{0.5} & \text{eğer, } 0.5 \leq x_2 - x_1 \leq 1 \\ 1 & \text{eğer, } x_2 - x_1 > 1 \end{cases} \quad (5.2)$$

Adım 5: Önerilen yöntem ile oluşturulan matematiksel model LINGO-19 ile çözülmüştür. Eşitlik 5.1 ile verilen üyelik fonksiyonunda b_0 değeri değiştirilerek λ değerleri bulunmuş ve buna göre proje tamamlanma süreleri hesaplanarak Tablo 5.7. ile verilmiştir.

Tablo 5.7. Bulanık CPM Doğrusal Programlama Sonuçları

$1 - \frac{cx - b_0}{p_0} \geq \lambda$	λ	Proje Tamamlanma Süresi (z)	$1 - \frac{cx - b_0}{p_0} \geq \lambda$	λ	Proje Tamamlanma Süresi (z)
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -385$	1,000	365,000	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -369$	0,736	354,289
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -384$	0,983	364,331	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -368$	0,719	353,620
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -383$	0,967	363,661	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -367$	0,702	352,950
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -382$	0,950	362,992	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -366$	0,686	352,281
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -381$	0,934	362,322	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -365$	0,669	351,612
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -380$	0,917	361,653	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -364$	0,653	350,942
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -379$	0,901	360,984	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -363$	0,636	350,273
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -378$	0,884	360,314	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -362$	0,620	349,603
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -377$	0,868	359,645	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -361$	0,603	348,934
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -376$	0,851	358,975	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -360$	0,587	348,265
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -375$	0,835	358,306	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -359$	0,570	347,595
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -374$	0,818	357,636	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -358$	0,554	346,926
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -373$	0,802	356,967	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -357$	0,537	346,256
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -372$	0,785	356,298	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -356$	0,521	345,587
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -371$	0,769	355,628	$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -355$	0,504	344,917
$x_1 - x_{25} - 20 * \lambda \geq -370$	0,752	354,986			

Adım 6: Tüm λ değerleri için, kritik yol ve kritik faaliyetler aşağıda verildiği gibidir ve proje tamamlanma süreleri her λ değerinde farklı sonuçlar vermektedir. Kritik faaliyetler değişmediği için ağ gösterimi Şekil 5.2.' de gösterilen ile aynıdır.

- Kritik Yol: 1-2-3-4-5-7-8-9-10-13-15-16-17-18-19-25
- Kritik Faaliyetler: A-B-C-D-G-H-I-M-P-R-S-T-V
- Proje Tamamlanma Süresi: Tablo 5.7.' deki z değerleri.

5.5 PERT ile Çözüm

PERT tekniği ile çözüm için öncelikle her bir proje faaliyetinin kötümser ve iyimser süreleri belirlenmiştir. Daha sonra iyimser, olabilir ve kötümser faaliyet sürelerine ait beklenen değerler ve varyansları hesaplanmıştır. PERT için veriler Tablo 5.8.' de yer almaktadır.

Önerilen yöntem ile PERT yöntemini daha iyi karşılaştırabilmek için PERT iyimser süreler belirlenirken bulanık doğrusal programda kullanılan b_i tolerans değerleri kullanılmıştır. Kötümser süre olabilir süre ile aynı bırakılmıştır.

Tablo 5.8. PERT İçin Veriler

Faaliyet	Süre Tahminleri (Gün)			Tamamlanma Süresinin Beklenen Değeri	Varyans
	İyimser Süre (a)	Olabilir Süre (m)	Kötümser Süre (b)	$\frac{(a+4m+b)}{6}$	$\frac{(b-a)^2}{36}$
Proje Başlangıç Toplantısı	0,5	1	1	0,917	0,007
Yazılım Gereksinim Analizi ve Mimari Tasarımı	35	40	40	39,167	0,694
Yazılım Gereksinim ve Mimari Tasarım Toplantısı	3,5	5	5	4,750	0,063
Sürüm-1 Yazılım Geliştirme Çalışmaları	110	120	120	118,333	2,778
Sürüm-1 Yazılım Gereksinim Tanımları Dokümanı Hazırlanması	40	45	45	44,167	0,694
Sürüm-1 Yazılım Test Tanımları Dokümanı Hazırlanması	40	45	45	44,167	0,694
Sürüm-1 Ön Kabul Testleri	8	10	10	9,667	0,111
Sürüm-1 Nihai Kabul Testleri	3,5	5	5	4,750	0,063
Sürüm-1 Kabul Toplantısı	0,5	1	1	0,917	0,007
Sürüm-1 Kullanıcı Eğitimi	1,5	2	2	1,917	0,007
Sürüm-1 Müşteri Kullanım Testleri	26	30	30	29,333	0,444
Sürüm-1 Düzeltme ve İyileştirme Çalışmaları	40	45	45	44,167	0,694
Sürüm-2 Yazılım Geliştirme Çalışmaları	110	120	120	118,333	2,778
Sürüm-2 Yazılım Gereksinim Tanımları Dokümanı Hazırlanması	40	45	45	44,167	0,694
Sürüm-2 Yazılım Test Tanımları Dokümanı Hazırlanması	40	45	45	44,167	0,694
Sürüm-2 Ön Kabul Testleri	8	10	10	9,667	0,111
Sürüm-2 Nihai Kabul Testleri	3,5	5	5	4,750	0,063
Sürüm-2 Kabul Toplantısı	0,5	1	1	0,917	0,007
Sürüm-2 Kullanıcı Eğitimi	1,5	2	2	1,917	0,007
Sürüm-2 Müşteri Kullanım Testleri	26	30	30	29,333	0,444
Sürüm-2 Düzeltme ve İyileştirme Çalışmaları	40	45	45	44,167	0,694
Sistem Entegrasyon	16	20	20	19,333	0,444
Sistem Ön Kabul Testleri	8	10	10	9,667	0,111
Sistem Nihai Kabul Testleri	8	10	10	9,667	0,111
Nihai Kabul Toplantısı	0,5	1	1	0,917	0,007
Kullanıcı Eğitimi	3,5	4	4	3,917	0,007

Beklenen proje tamamlanma sürelerinin, farklı güven düzeylerine [0,99-0,50] ait sonuçları hesaplanmış ve Tablo 5.9. ile verilmiştir.

Tablo 5.9. Güven Değeri ve Proje Tamamlanma Süresi Tahmini

Güven Düzeyi ($1-\alpha$)	$Z_{\alpha/2}$	Beklenen Proje Tamamlanma Süresi (gün)	Güven Düzeyi ($1-\alpha$)	$Z_{\alpha/2}$	Beklenen Proje Tamamlanma Süresi (gün)
0,99	2,576	365,249	0,74	1,126	361,310
0,98	2,326	364,571	0,73	1,103	361,247
0,97	2,170	364,146	0,72	1,080	361,185
0,96	2,054	363,830	0,71	1,058	361,125
0,95	1,960	363,575	0,7	1,036	361,066
0,94	1,881	363,360	0,69	1,015	361,008
0,93	1,812	363,173	0,68	0,994	360,952
0,92	1,751	363,007	0,67	0,974	360,897
0,91	1,695	362,856	0,66	0,954	360,842
0,9	1,645	362,719	0,65	0,935	360,789
0,89	1,598	362,592	0,64	0,915	360,737
0,88	1,555	362,474	0,63	0,896	360,686
0,87	1,514	362,364	0,62	0,878	360,635
0,86	1,476	362,260	0,61	0,860	360,586
0,85	1,440	362,161	0,6	0,842	360,537
0,84	1,405	362,068	0,59	0,824	360,489
0,83	1,372	361,978	0,58	0,806	360,441
0,82	1,341	361,893	0,57	0,789	360,394
0,81	1,311	361,811	0,56	0,772	360,348
0,8	1,282	361,732	0,55	0,755	360,302
0,79	1,254	361,656	0,54	0,739	360,257
0,78	1,227	361,582	0,53	0,722	360,213
0,77	1,200	361,511	0,52	0,706	360,169
0,76	1,175	361,442	0,51	0,690	360,126
0,75	1,150	361,375	0,5	0,674	360,083
0,74	1,126	361,310			

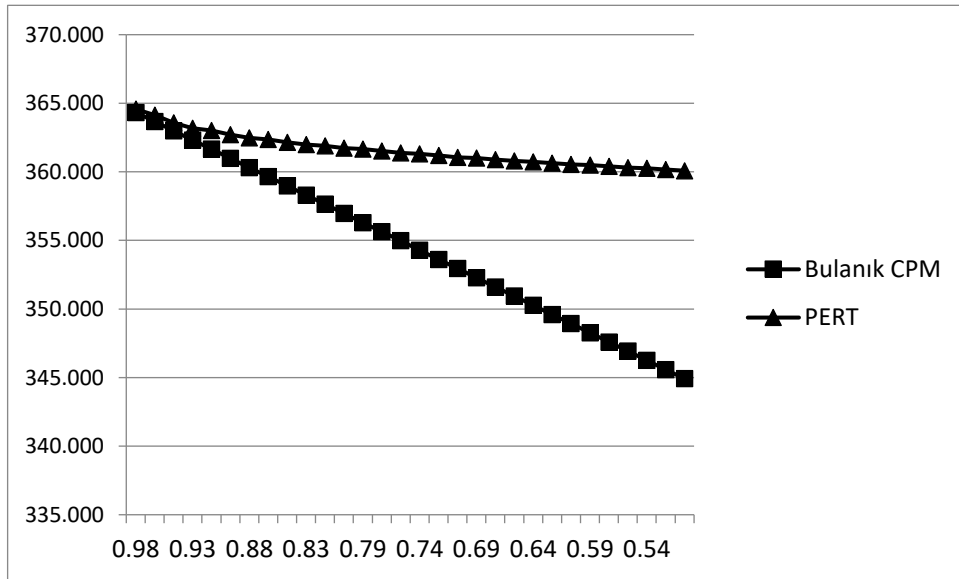
5.6 Sonuçların Karşılaştırılması

Belirsizlik içeren ve tam olarak değerleri bilinmeyen parametreler gerçek hayat problemlerinde sıklıkla karşılaşılan büyük bir sorundur. Belirsizlik bulanıklık ve rasgelelik olmak üzere farklı iki kavram olarak karşımıza çıkar. Rasgelelikten kaynaklanan belirsizlik modellemelerinde parametrenin sahip olduğu dağılımın biliniyor olması gerekir. Rasgele parametreye sahip modellemeler Beta dağılımına sahip olması varsayımı altında çalışılarak PERT tekniği uygulanabilir. Bu da tam olarak parametrenin sahip olduğu dağılımı yansıtmayabilir. Bu sebeple dağılım hakkında yeterli bilgi olmadığı durumda bulanık mantığın kullanılması daha uygun bir çözüm olacaktır.

Bu çalışmada bulanık mantık tekniği kapsamı altında belirsiz olan tamamlanma zamanlarının üyelik fonksiyonları elde edilerek bulanık doğrusal programlama modeli oluşturulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar literatürde sıklıkla karşılaşılan yöntemlerden biri olan PERT ile karşılaştırılması yapılmıştır.

PERT için proje faaliyet sürelerinin iyimser, olabilir ve kötümser süreleri bulanık modelde kullanılan aynı tolerans değerleri referans alınarak belirlenmiş, bu sürelerle ilişkin beklenen faaliyet süresi ve varyans değerleri hesaplanmış ve Tablo 5.8. ile verilmiştir.

Tablo 5.7. ile verilen bulanık doğrusal programlama ile elde edilen proje tamamlanma süreleri incelendiğinde farklı λ değerleri için en yüksek 365,000 ve en düşük 344,917 gün olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar PERT ile karşılaştırılmış ve farklı güven düzeylerinde bulanık doğrusal programlama ile elde edilen değerlerden daha yüksek proje tamamlanma sürelerinin bulunduğu gözlenmiştir ve Şekil 5.4.' te verilmiştir.



Şekil 5.4. Proje tamamlanma sürelerine göre yöntemlerin karşılaştırılması

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde firmaların rekabet gücünü arttırabilmeleri için proje yönetimi faaliyetlerinde başarılarını arttırmaları oldukça önemlidir. Projede dar boğaz olarak tanımlanabilecek kritik faaliyetlerin planlama aşamasında etkin bir biçimde belirlenebilmesi proje yönetimi başarısı için olmazsa olmaz çalışmalardandır. Uzun yılladır CPM ve PERT teknikleri kritik faaliyetlerin belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu teknikler farklı projelerde ve sektörlerde uygulanabilir olması ile de yaygın bir kullanıma sahiptir. Ancak gerçek hayatta ilk defa yapılan projelerde, geçmiş verinin olmadığı veya yetersiz olduğu durumlarda projelerdeki faaliyetlerin sürelerini belirlerken bir miktar belirsizlik söz konusudur. Klasik CPM ve PERT teknikleri gerçek hayat problemlerinde sıkça karşılaşılan bu belirsizlik durumlarında yetersiz kalmaktadır.

CPM ve PERT tekniklerinin belirsizlik olması durumunda performanslarındaki zayıflıklar ve yetersizliklerinden dolayı tatmin edici sonuçlar vermemesi problemine çözüm getirmek amacı ile 1965 yılında Zadeh tarafından geliştirilen bulanıklık kuramı proje çizelgeleme problemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Tüm bu durumlar değerlendirildiğinde, bu tez çalışması kapsamında, belirsizliklerin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkisini azaltmak ve proje performansında artış sağlayabilmek için bir yöntem önerilmiştir.

Öncelikle literatürde yer alan bulanık çizelgeleme problemleri ve çözüm önerileri ile ilgili çalışmalar detaylı olarak taranmıştır. Daha sonra CPM, PERT ve bulanık küme teorisi ile ilgili temel bilgilere çalışılmıştır. Çalışmalar neticesinde bu tez çalışması kapsamında önerilen bulanık tabanlı matematiksel modelleme yöntemi ortaya çıkmıştır. Önerilen yöntem belirsizlik içeren proje çizelgeleme problemlerinde proje tamamlanma süresinin belirlenmesinde kullanılabilir. Önerilen yöntemde projede yer alan faaliyetlerin süreleri belirsizdir ve bu belirsizliğin matematiksel modelde değerlendirilmesi için Zimmermann' ın önerdiği bulanık doğrusal programlama yaklaşımı kullanılarak, yöntemin kritik yol analizine uyarlanması ile gerçekleştirilmiştir.

Önerilen yöntemin uygulanması ve performansının değerlendirilmesi için, bir yazılım firmasında yer alan proje için uygulama gerçekleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntem ile proje çizelgelemede gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmiştir ve belirsizliklerin sonuçlar üzerindeki etkisi büyük ölçüde azaltılmıştır. Ayrıca önerilen yöntemin kullanım kolaylığı ve hesaplamaların basitliği, faaliyetlerin zamanlarının deneyimli kişilerin görüşleri

alınarak yaklaşık değerlerinin modele yansıtılması ile avantajlı olduğu da açıkça görölmektedir.

Gelecek çalışmalarda, bulanık mantığın uzantılarından olan sezgisel, polihedron, kararsız, ntrosofik bulanık CPM modelleri uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Project Management Institute, “Ahead of the Curve:Forging a Future-Focused Culture,” Project Management Institute, USA, 2020.
- [2] H. Kazan, “Proje Yönetimi,” İstanbul Üniveristesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, İstanbul.
- [3] ISO 21502:2020 Project, Programme and Portfolio Management – Guidance On Project Management, Switzerland: ISO, 2020.
- [4] H. F., B. O.T., K. H. and R. S., “Using fuzzy logic to improve the project time and cost estimation based on Project Evaluation and Review Technique (PERT),” *Journal of Project Management*, vol. 3, pp. 183-196, 2018.
- [5] A. Chwastyk and I. Pisz, “Critical Path Analysis with Imprecise Activities Times,” *Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management*, pp. 2004-2013, 2020.
- [6] V. S. N.R. and R. P.P.B., “An Analytical Method for Finding Critical Path in a Fuzzy Project Network,” *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, vol. 5, no. 20, pp. 953-962, 2010.
- [7] Ö. Atlı and C. Kahraman, “Fuzzy Critical Path Analysis,” *Engineering and Natural Sciences*, vol. 31, no. Sigma, pp. 128-140, 2013.
- [8] F. L. and J. W., “A Fuzzy Approach for the Project Management,,” *School of Computer Science & Technology Donghua University Shanghai, China*, pp. 5180-5183.
- [9] S. S.J., P. R. and A. M.B., “A robust critical path in an environment with hybrid uncertainty,” *Applied Soft Computing*, vol. 12, pp. 1087-1100, 2012.
- [10] B. P. Saradhi, H.Ramesh, N. Shankar and R. Shaik, “Hesitant Fuzzy Project Planning and Scheduling using Critical path Technique,” *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, vol. 12, no. 6, pp. 5272-5286, 2021.

- [11] Sethupathy.G, L. Judson and D. V. K. Paul, “Time-Cost Optimization (TCO) by Application of Fuzzy Logic in Constructions Project,” *International Journal of Creative Research Thoughts*, vol. 8, no. 6, pp. 479-486, 2020.
- [12] S. Elizabeth and L. Sujatha, “Project Scheduling Method Using Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers and Triangular Fuzzy Numbers,” *Applied Mathematical Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 185-198, 2015.
- [13] P. Jayagowri and G. Geetharamani, “Using Metric Distance Ranking Method to Find Intuitionistic Fuzzy Critical Path,” *Journal of Applied Mathematics*, 2015.
- [14] M. Mazlum and A. F. Güneri, “CPM, PERT and Project Management With Fuzzy Logic Technique and Implementation On A Business,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 2015, no. 210, pp. 348-357, 2015.
- [15] H. Durucasu, Ö. İcan, Ç. Karamaşa, G. Yeşilaydın and B. Gülcan, “Bulanık CPM Yöntemiyle Proje Çizelgeleme: İnşaat Sektöründe Bir Uygulama,” *Ege Akademik Bakış*, vol. 15, no. 4, pp. 449-466, 2015.
- [16] K. U. Madhuri, B. P. Saradhi and N. R. Shankar, “Fuzzy Linear Programming Model for Critical Path Analysis,” *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, vol. 8, no. 2, pp. 93 - 116, 2013.
- [17] V.Sireesha, K. Rao, N. Shankar and S. S. Babu, “Critical path analysis in the network with fuzzy interval numbers as activity times,” *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, vol. 4, no. 03, pp. 823-832, 2012.
- [18] T.-F. Liang, T.-S. Huang and M.-F. Yang, “Application of fuzzy mathematical programming to imprecise project management decisions,” *Springer Science+Business Media*, vol. Qual Quant, no. 46, p. 1451–1470, 2012.
- [19] D. Castro-Lacouture, A.M.ASCE, G. A. Süer, J. Gonzalez-Joaqui and J. K. Yates, “Construction Project Scheduling with Time, Cost, and Material Restrictions Using Fuzzy Mathematical Models and Critical Path Method,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 135, no. 10, pp. 1096-1104, 2009.

- [20] T.-C. Han, C.-C. Chung and G.-S. Liang, "Application of Fuzzy Critical Path Method to Airport's Cargo Ground Operation Systems," *Journal of Marine Science and Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 139-146, 2006.
- [21] S.-P. Chen and Y.-J. Hsueh, "A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 2008, no. 32, p. 1289–1297, 2007.
- [22] M. A. Ammar and S. I. Abd-ElKhalek, "Criticality measurement in fuzzy project," *International Journal of Construction Management*, vol. 22, no. 2, pp. 252-261, 2022.
- [23] I. Elkalla, E. Elbeltagi and M. E. Shikh, "Solving Fuzzy Time–Cost Trade-Off in Construction Projects Using Linear Programming," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, vol. 102, no. 1, pp. 267-278, 2021.
- [24] K. Subulan, "Çok amaçlı kurumsal kaynak planlaması uyarlama projelerinin insan kaynağı kısıtı ve belirsizlik altında çizelgelenmesi," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, no. 3, pp. 1469-1485, 2020.
- [25] A. Başar, "Yeni bir matematiksel model ve hibrit meta sezgisel ile kaynak kısıtlı projelerin çizelgelenmesi: Bir vaka çalışması," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 37, no. 3, pp. 1169-1184, 2022.
- [26] Project Management Institute, A guide to the project management body of knowledge, Pennsylvania: Project Management Institute, 2017.
- [27] F. Sağlam, "Bulanık Proje Yönetimi ve Uygulaması," İstanbul, 2008.
- [28] A. S. Karaköse, "Projelerde performans yönetimi: Yazılım projeleri için bütünleşik bir yaklaşım," Ulusal Tez Merkezi, Ankara, 2017.
- [29] M. Mazlum, "CPM, PERT ve Bulanık Mantık Teknikleriyle Proje Yönetimi ve Bir İşletmede Uygulanması," İstanbul, 2014.
- [30] K. Demirel, "Proje Yönetimi El Kitabı," Kocaeli, 2014.
- [31] P. Richard E. Westney, The Engineer's Cost Handbook Tools for Managing Project Cost, New York: MARCEL DEKKER, 1997.

- [32] C. Besner and B. Hobbs, "Project Management Practice, Generic or Contextual: A Reality Check," *Project Management Journal*, vol. 39, no. 1, pp. 16-33, 2008.
- [33] E. Kenar, "Klasik Pert ve Bulanık Pert Yöntemleri ile Proje Yönetimi ve Bir Mermer Fabrikası Kurulumunda Uygulaması," Karabük, 2021.
- [34] C. S. and Z. P., "Critical path analysis in the network with fuzzy activity times," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 22, pp. 195-204, 2001.
- [35] C. Bector and S. Chandra, *Fuzzy Mathematical Programming and Fuzzy Matrix Games*, Berlin: Springer, 2005.
- [36] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [37] John Wiley & Sons, "Advanced Review: Fuzzy set theory," *WIREs Computational Statistics*, vol. 2, pp. 317-332, 2010.
- [38] W. Herroelen and R. Leus, "Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials," *European Journal of Operational Research*, vol. 165, p. 289–306, 2005.
- [39] S. Chanas and J. Kamburowski, "The Use of Fuzzy Variables in PERT," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 5, pp. 11-19, 1981.
- [40] H.-J. Zimmermann, "Fuzzy mathematical programming," *Computers & operations research*, vol. 10, no. 4, pp. 291-298, 1983.
- [41] Y.-J. Lai and C.-L. Hwang, *Fuzzy Mathematical*, Heidelberg: Springer-Verlag, 1992.