

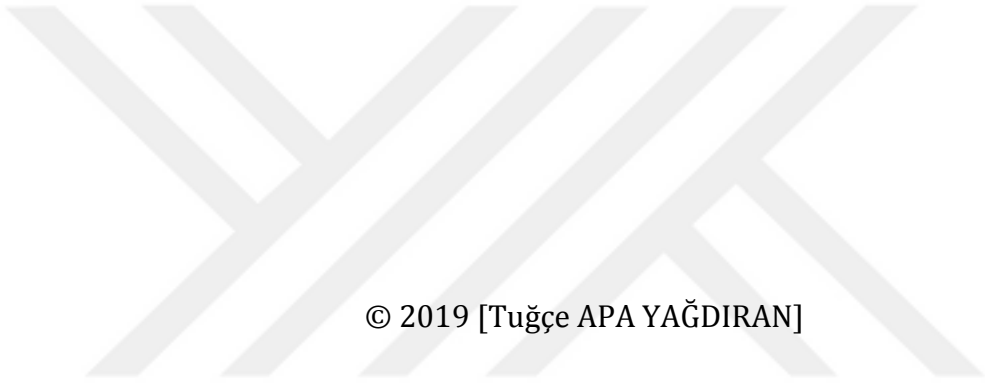
**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YATIRIM PROJELERİ İZİN SÜREÇLERİNİN BULANIK PERT
YÖNTEMİ VE PARALEL KANGURU ALGORİTMASI İLE
ÇİZELGELENMESİ**

Tuğçe APA YAĞDIRAN

**Danışman
Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖNDER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Tuğçe APA YAĞDIRAN]

TEZ ONAYI

Tuğçe APA YAĞDIRAN tarafından hazırlanan "Yatırım Projeleri İzin Süreçlerinin Bulanık PERT Yöntemi ve Paralel Kanguru Algoritması ile Çizelgelenmesi"adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Hasan Hüseyin ÖNDER

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih DEMİRAL

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Tuğçe APA YAĞDIRAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Proje Çizelgelemede Bulanıklık Kavramı ve Çözümüne İlişkin Süreçler	5
2.2. Bulanık Program Değerlendirme İnceleme Teknikleri (Bulanık PERT)	17
2.3. Meta Sezgisel Yöntemlerin Klasik Proje Çizelgeleme ve Bulanıklık İçeren Proje Çizelgeleme Problemlerinde Kullanılması	25
2.4. Paralel Kanguru Algoritması	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM	45
3.1. Proje Çizelgeleme Yöntemleri ve Proje Çizelgelemede Kullanılan Teknikler	45
3.1.1. Deterministik yöntemler	45
3.1.1.1. Gantt şeması.....	45
3.1.1.2. Kritik yol metodu (CPM)	47
3.1.1.3. Tamsayı programlama, doğrusal programlama ve dal sınır yöntemi (Eniyileme Teknikleri)	48
3.1.2. Stokastik yöntemler	49
3.1.2.1. Proje değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (PERT)	50
3.1.2.2. Grafik değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (GERT)	54
3.1.3. Sezgisel yöntemler	55
3.1.4. Meta sezgisel yöntemler	56
3.1.4.1. Tavlama benzetimi	57
3.1.4.2. Tabu arama algoritması.....	58
3.1.4.3. Değişken komşuluk arama yöntemi	59
3.1.4.4. Genetik algoritma.....	59
3.1.4.5. Karınca kolonisi optimizasyonu.....	60
3.1.4.6. Yapay sinir ağları.....	61
3.1.4.7. Parçacık sürü optimizasyonu	62
3.1.4.8. Diferansiyel gelişim algoritması.....	63
3.2. Bulanıklık Kavramı.....	63
3.2.1. Bulanık kümeler teorisi.....	65
3.2.2. Bulanık sayılar	67
3.2.3. Üyelik fonksiyonları	68
3.2.3.1. Üçgen üyelik fonksiyonu	70
3.2.3.2. Yamuk üyelik fonksiyonu	71
3.2.3.3. Gaussian üyelik fonksiyonu	72
3.2.3.4. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu.....	73
3.3. Bulanık Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği	

(Bulanık PERT)	73
3.4. Paralel Kanguru Algoritması	75
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	79
4.1. Yatırım Projelerinde İzin Süreçleri	79
4.2. Projenin Çizelgelenmesi	83
5. TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ	138



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YATIRIM PROJELERİ İZİN SÜREÇLERİNİN BULANIK PERT YÖNTEMİ VE PARALEL KANGURU ALGORİTMASI İLE ÇİZELGELENMESİ

Tuğçe APA YAĞDIRAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖNDER

Yatırımcı firmaların yeni yatırımlarında veya mevcut yatırımlarına ilave olarak kapasite artışlarında ilgili kamu kurum ve kuruluşlarından gerekli izinlerin alınması işlemleri için bir süreç ilerlemektedir. Gerekli olan bu süreçler tamamlanmadan firma yatırıma başlayamamaktadır. Söz konusu projelerin planlamasında ki öngörülen süreler çoğu zaman proje uygulamaya geçtiğinde çeşitli nedenler ile değişiklik gösterir. Bu sadece izin alma süreçleri için görevlendirilen personel kaynaklı olmaz. Kamu kurumlarının bürokratik işleyişi, resmi tatillerin hükümet tarafından birleştirilmesi, kamu kurumunda çalışan personelin aldığı izinler belirsiz iş sürelerinin oluşmasını sağlar. Dolayısı ile izin alma süreçlerinde zaman belirsizliği nedeniyle kesin çözüm veren yöntemlerin kullanılması hem gerçekçilik açısından hem de hesaplanması için gerekli süre açısından uygun olmamaktadır.

Bu tez çalışmasında izin süreçleri yönetiminde belirsizliğin ancak bulanık proje çizelgeleme ile çözülebileceğinden hareketle, izin süreçlerine ilişkin faaliyet listesi oluşturulmuştur. Çalışma ile metasezgisel tabanlı optimizasyon algoritması olan paralel kanguru algoritmasının bulanık veriler ile kullanımının mı yoksa bulanık olasılık dağılımları ve bulanık mantığı birleştirerek oluşan bulanık PERT algoritmasının kullanımının mı optimuma en yakın çözüm elde edileceğini öğrenmek amaçlanmıştır. Bu kıyaslamanın yapılabilmesi için C# programı ile, karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağlamak amacıyla ortak oluşturulan veri tabanı üzerinden kod ile çalışılarak iki ayrı program oluşturulmuştur. Söz konusu faaliyet listesinde öncelik ilişkileri, kaynak durumları belirlenmiş ve öncül ardıl ilişkilerine göre veriler programın kullanacağı şekilde veri tabanına ve programa aktarılmıştır. Paralel kanguru algoritması ile kaynak dengeleme işlemi yapılmasına rağmen bulanık pert yönteminin sonucunun proje özelinde toplam tamamlanma süresinin minimize edilmesi açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık PERT, Paralel Kanguru Algoritması, Proje Yönetimi, Bulanık Proje Çizelgeleme

2019, 138 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTMENT PROJECTS PERMITS PROCESSES SCHEDULING BY FUZZY PERT METHOD AND PARALLEL KANGAROO ALGORITHM

Tuğçe APA YAĞDIRAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖNDER

In the new investments of the investor firms or in the capacity increases in addition to the existing investments, a process is in progress for obtaining the necessary permits from the relevant public institutions and organizations. This investor firms cannot start investment without completing these necessary processes. Foreseen times in the planning of such projects often vary for various reasons when the project is implemented. This is not solely due to staff assigned to the process of obtaining permits. The bureaucratic functioning of public institutions, the unification of public holidays by the government, and the permits obtained by the personnel working in the public institution ensure the indefinite working periods. Therefore, both in terms of realism and in terms of the time required for calculation. It is not appropriate to use the methods that give a definite solution due to the time uncertainty in obtaining permission processes.

In this thesis, since the uncertainty in the management of leave processes can only be solved by fuzzy project scheduling, the activity list related to the leave processes has been created. The aim of this study is to find out whether the use of parallel kangaroo algorithm with fuzzy data or using fuzzy PERT algorithm by combining fuzzy probability distributions and fuzzy logic is the closest solution to the optimum. Making this comparison with C# program, two separate programs were created by working with the code over the common database which is enable for comparison. Priority relations in the list of activities in question, resource states were determined and the data were transferred to the database and the program in the manner that the program would use the datas according to the predecessor and successor relationships of the activities. It is concluded that the result of the fuzzy pert method is more appropriate in terms of minimizing the total completion time in the project, although the source balancing process is performed with parallel kangaroo algorithm.

Keywords: Fuzzy PERT, Parallel Kangaroo Algorithm, Project Management, Fuzzy Project Scheduling

2019, 138 pages

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezimi, başta, ben ve benim gibi bütün Türk kadınlarının okumasına ve bir yerlere gelmesine olanak sağlayan Türkiye Cumhuriyetinin kurucusu ulu önder Gazi Mustafa Atatürk ve silah arkadaşlarına, bugünüme kadar gelmemde vesile olan ilkokuldan, yüksek lisansa kadar üzerimde emeği geçen tüm öğretmenlerime ve hocalarıma, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme ve geleceğim, yaşam sebebim kızıma ithaf ederim.

Bu araştırma için beni yönlendiren, sadece tez için değil tüm yüksek lisans süresince karşılaştığım zorluklar karşısında bilgi ve tecrübesi ile beni destekleyerek zorlukları aşmamda yardımcı olan, çabalamam için devamlı kuvvet veren ve hayat koşullarına serzeniş ederek tezi ertelediğim yıllar içerisinde sabredip, danışmanlığımı bırakmadan bu araştırmayı yapmam için bekleyen, motive eden değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖNDER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın yürütülmesi esnasında, paralel kanguru algoritmasının işleyişi ile ilgili aklıma takılan kısımlarına ilişkin yönlendiren Endüstri Mühendisi Ahmet Sezer KÜPELİ'ye, programlama üzerinde yardımını esirgemeyen Elektrik Elektronik Mühendisi Anıl KURT'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimde yatırım süreçlerine esas her şeyi öğrenmeme vesile olan, eski çalıştığım firma ARÜV ÇEVRE Müh. Müş. Hiz. İnş. San. ve Tic. A.Ş. nezdinde eski patronum Cem ARÜV'e ve değerli eski müdürlerim ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Küçük çocukla tez hazırlamak zor diyenlere rağmen onunla geçireceğim zamandan fedakârlık yaparak, yaşından büyük bir olgunlukla çalışmama izin veren kızım Defne Belis YAĞDIRAN'a, kızımın bu süreçte ilgilenerek bana zaman yaratan, dualarıyla destek olup, çalışmam konusunda beni motive eden biriciklerim Annem Ergül APA ve Babam Halil APA'ya, uzakta da olsa varlığı ile huzur bulduğum, bugün ve her sıkıştığım anda yanımda cankurtaranım olan, gücünün yetmediği durumlarda vesile olan iyikim, canım kardeşim Anıl Selim APA'ya teşekkürü borç bilirim.

Tezimin her aşamasında maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen, beni yalnız bırakmayan canım aileme, çalışmamı destekleyen beni motive eden arkadaşlarım, dostlarım, tüm yakınlarıma sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hayat, siz planlar yaparken başınıza gelenlerden ibarettir. Başınıza her ne gelirse gelsin hayallerinizin peşinden koşmayı bırakmayın...

Tuğçe APA YAĞDIRAN
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu	70
Şekil 3.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu	71
Şekil 3.3. Gaussian Üyelik Fonksiyonu	72
Şekil 3.4. Çan eğrisi Üyelik Fonksiyonu	73
Şekil 4.1. Projenin İş Akım Şeması	85
Şekil 4.2. FPERT Program Ara Yüzü	104
Şekil 4.3. $\mu_{\tilde{R}} \ominus \tilde{T}_{son}$ 'un Üyelik Fonksiyonu	106
Şekil 4.4. Paralel Kanguru Algoritması Program Ara Yüzü	111



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Faaliyetlerin zamanlarına öncülerine ve kaynaklarına ilişkin veriler	88
Çizelge 4.2. Faaliyetlerin süreleri varyans ve beklenen değerleri.....	92
Çizelge 4.3. Durulaştırma sonrası hesaplanan faaliyet süresi.....	94
Çizelge 4.4. Faaliyetler ilişkin hesaplanan Esi ve Efi süreleri.....	97
Çizelge 4.5. Faaliyetler ilişkin hesaplanan Lsi ve Lfi süreleri	98
Çizelge 4.6. Bulanık faaliyet bolluk değeri	100
Çizelge 4.7. Kritiklik değerleri	102
Çizelge 4.8. Yolların kritiklik derecelerinin ve kritik yolun hesaplanması ...	103
Çizelge 4.9. Farklı zamanların kritik yol ile proje karşılama olasılıkları (PM)	107
Çizelge 4.10. Öncelik ilişkilerine göre tanımlanan faaliyet süreleri.....	107
Çizelge 4.11. Vahşi Kanguru ile elde edilen çizelge	111
Çizelge 4.12. Evcil Kanguru ile elde edilen çizelge	112

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Paralel Kanguru Algortimasında seçilebilecek alternatif faaliyetlerin kümesini
AOA	Faaliyetlerin Serimlerle Gösterimi
AON	Faaliyetlerin Dügümlerle Gösterimi
CD_i	Bulanık PERT yönteminde faaliyetin kritikliğinin derecesi
$CD(P_k)$	Bulanık PERT yönteminde k yolunun kritikliğini
CPM	Critical Path Method
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
d_{ij}	PERT yönteminde Faaliyet süresi
EF_{ij}	PERT yönteminde En erken bitirme zamanı
ES_{ij}	PERT yönteminde En erken Başlama süresi
GERT	Grafiksel Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği
G_{ik}	Paralel Kanguru Algortimasında alternatif faaliyetlerin gereksinim duyduğu kaynak miktarı
$G(\tilde{T})$	Bulanık sayılarda ortalama değeri
K	Kaynak sayısı
LF_{ij}	PERT yönteminde En geç bitirme zamanı
LS_{ij}	PERT yönteminde En geç başlama zamanı
M_k	Paralel Kanguru Algortimasında mevcut kaynak sayısı
PERT	Proje değerlendirme ve gözden geçirme tekniği
$P_{(i)}$	Bulanık PERT yönteminde i faaliyetlerinin öncüllerine ait kümedir.
P_k	Bulanık PERT yönteminde ağ üzerindeki k yolunu
PM	Bulanık PERT yönteminde proje tamamlanma zamanını karşılama olasılığı
s	PERT yönteminde Standart Sapma
s^2	PERT yönteminde Varyans
$S_{(i)}$	Bulanık PERT yönteminde i faaliyetlerinin ardıllarının kümesi
$S(\tilde{T})$	Bulanık sayılarda genelleştirilmiş standart sapması
T	Paralel Kanguru Algortimasında tamamlanacaklar kümesi
TF_i	PERT yönteminde Proje bolluğu
x	PERT yönteminde ortalama
Z	PERT yönteminde Kritik Yol Olasılığı
μ	PERT yönteminde Kritik Yol Beklenen süre
σ^2	PERT yönteminde Kritik Yol Varyans
$\mu(\tilde{x})$	Bulanık sayıların bulanık küme üyelik fonksiyonu
$\tilde{ES}_1$	Bulanık PERT yönteminde en erken bulanık başlama süresini
$\tilde{EF}_1$	Bulanık PERT yönteminde en erken bulanık bitirme süresi
$\tilde{d}_1$	Bulanık PERT yönteminde i faaliyetinin gerçekleştiği süre
$\tilde{T}_{son}$	Bulanık PERT yönteminde tamamlanma süresi
$\tilde{LS}_1$	Bulanık PERT yönteminde en geç bulanık bitirme süresini,
$\tilde{LF}_1$	Bulanık PERT yönteminde ise en geç bulanık başlama
$\tilde{m}_1$	Bulanık PERT yönteminde bulanık faaliyet bolluğu
$\tilde{R}$	Bulanık PERT yönteminde elde edilen belirli zamanı

1. GİRİŞ

Bir yatırım projesi ile yeni bir üretim kapasitesinin kurulması veya mevcut bir kapasitenin yenilenmesi, büyütülmesi amaçlanır. Yatırım projesinin uygulamaya konulacağı andan itibaren ekonomik ömrünün sonuna kadar, içinde bulunacağı ve etkisinde kalacağı her türlü teknik, ekonomik ve sosyal koşulların ve ortamın ve bunlarla ilgili değişkenlerin nitel ve nicel yönlerden incelenmesi ve değerlendirilmesi gereklidir.

Yeni bir girişimin başlatılmasında, söz konusu gelişim kapasite artışı da olabilir sıfırdan başlanılacak yeni bir proje de olabilir, bir yatırım projesinin gelişim süreci genellikle proje fikrinin doğuşu, ön araştırmanın yapılması, fizibilite etüdünün, ekonomik, teknik, finansal ve hukuki etütlerinin yapılması akabinde projenin değerlendirilmesi ve yatırım kararının alınması, kesin projenin oluşması ve projenin uygulamaya alınması, deneme üretime geçme ve son olarak işletmeye alma şeklinde ilerlemektedir.

Hiçbir yatırımcı önünü görmeden adım atmak istemez ve önünü göremediği iş için maddi kaynak ayırmaz. Firmalar tarafından projelere yatırım yapmak ciddi bir iştir, çünkü başarısız olan projenin geri dönüşümü yoktur ve dolayısıyla proje için ayrılan kaynakların boşa gitmemesi açısından proje başarısında etkili faktörler her zaman göz önüne alınmalıdır (Enver ve Kovancı, 2004).

Zamanın ve paranın en verimli şekilde değerlendirilmesi ve kısıtlı olan malzeme, işgücü, makine-ekipman, vb. kaynakların en uygun biçimde kullanılmasını sağlamak adına bir projenin planlanması gerekmektedir. Bu gereklilik, belirlenen hedeflere varabilmek için, var olan çevre şartları içinde, performans, kalite, maliyet ve zaman kısıtlarına rağmen faaliyetlerin başlangıcından bitimine kadar sürecin planlanması ve mevcut kaynakların en verimli şekilde kullanılması sürecini yani proje yönetimi kavramını ortaya koymuştur (Atlı ve Kahraman 2013).

Yatırım projelerini uygulamaya geçirmek için ilk aşama proje fikirlerinin oluşmasıyla başlar. Verimlilik, yasal zorunluluk, sosyal amaç ve kar amacıyla yatırım ihtiyaçları ortaya çıkabilmekte veya bu etkenlerin birkaç tanesi veya hepsi söz konusu ihtiyacın doğmasına sebep olabilmektedir. Olası proje fikirlerinde ayrışım yapılması ve firma açısından faydalı olanlarının hayata geçirilmesine ilişkin proje değerlendirmeleri ve ön analizlerin yapılması zorunludur. Ortaya çıkan yatırım ihtiyacının doğru hedeflere odaklanarak mevcut durumun iyi analiz edilmesi, ilerde karşılaşılması muhtemel sorunların sadece o an için değil, uzun dönemde çözümü için olmazsa olmaz koşuldur. (Özyürek, 2008).

Bu süreçte ilk önce ihtiyaç araştırması yani pazar araştırması yapılarak ihtiyaç duyulan kaynaklar mal ve hizmetler belirlenir ve ön eleme yapılır. Ön yapılabilirlik çalışması proje fikrinin doğuşu ve ön eleme ile esas fizibilite çalışması olan “yapılabilirlik etüdü” arasında bir geçiş aşamasıdır. Bu aşamada; yapılacak tesisin yeri, tesis planlaması, tesisin iç dizaynı, tesis kapasitesi, talep ve piyasa araştırması, satış ve pazarlama, üretim programı, malzeme girdileri, bölge ve yer, proje mühendisliği, genel giderler, idare ve satış giderleri, insan gücü, proje uygulaması ve mali analizler, yatırım masrafları, proje finansmanı, üretim maliyetleri, ticari karlılık hususlarının belirlenmesi gerekir.

Planlama yapılırken faaliyetin gerçekleştirileceği yerin özelliklerinin de göz önünde bulundurulduğu, o faaliyete özgü kamu kurumlarından alınacak izinlere ilişkin izin süreç yönetimi planının da hazırlanması gerekmektedir. Bu aşamada kamu kurumlarından alınacak izinlere ilişkin İzin süreçleri planı ve bu plana ilişkin çizelgeleme doğru olarak hazırlanırsa yasal zorunluluklar ele alınarak yer seçimi yapılacağı için o yatırımın önünde hiçbir bürokratik engel kalmayacaktır.

Kamu kurumlarından alınacak izinlere ilişkin izin süreçleri planı ve diğer analizler neticesinde belirlenen karara esas ekonomik, teknik, hukuki ve finansal analizleri kapsayan kapsamlı bir fizibilite etüdü yaptırılarak, yapılması düşünülen yatırım projeleri hazırlandıktan sonra, bu projeler seçilecek bir veya birkaç kritere göre öncelik sıralamasına konulmalıdır.

Proje yönetiminde projenin her aşamasında olduğu gibi kamu kurumlarından alınacak izinlere ilişkin izin süreçleri planı yaparken de her seferinde belirsizliklerle dolu bir sürecin planlanmasını ve çizelgelenmesini gerektirmektedir. Bunlardan en önemlisi zamandır. Bu bağlamda faaliyet sürelerinin tahmin edilmesinde kullanılan CPM, PERT ve GERT gibi metotlar yetersiz kalmaktadır.

Bir yönden bakıldığında kamu kurumları nezdinde yürütülen izin süreçleri tüm kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri gibi toplam proje üretim süresini yani tamamlanma süresini en aza indirmek amacıyla bir projenin faaliyetlerini öncelik ve kaynak kısıtlamaları altında planlamayı amaçlar ve etkinlik süresi sürelerinin belirsizliğinden dolayı genellikle doğal olarak belirsizdir. Ancak farklı olarak faaliyetlerini yürütmek için gerekli olan yenilenebilir kaynak sadece insan gücüdür.

Genelde bu tarz projelerin çizelgemesinde belirsizlik, olasılık temelli bir Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) yöntemi kullanılarak stokastik yaklaşımlarla ele alınmaktadır. Bu tür belirsizlik rassallık ile ilişkilidir. Ancak, izin alma süreçlerinde faaliyet sürelerinin muhtemel olasılık dağılımını elde etmek mümkün değildir, çünkü bu tür projeler yapılan projenin türüne, yer aldığı sektöre, kapasitesine hatta amaçlanan proje için seçilen yerin mülkiyetine göre kendine özgüdür. Dolayısı ile benzeri olsa dahi planlanan projenin aynısı daha önce gerçekleştirilmemiş olacaktır.

Proje yönetimi, genellikle sınırlı kaynakları kullanılarak yürütülmesi gereken bir dizi öncelikli görevden oluşan çeşitli görevlerin ne zaman başlaması ve bitmesi gerektiğine ve söz konusu görevlere ne kadar kaynak ayrılması gerektiğine karar vermekten ibarettir (Creemers vd, 2008). Proje çizelgeleme probleminin çözümünde görevlerdeki belirsizlikler, kaynaklardaki belirsizlikler ve geçici belirsizlikler gibi bir dizi belirsizlik etkileyebilir ve problemin karmaşıklığını artırabilir (Bidot, 2005;Elkhayari, 2003; Masmoudi ve Hait, 2013).

Projelerin tamamlanma süresinin kısaltılması kullanılacak kaynakların azaltılması ve maliyetlerinin minimuma indirilmesi, tüm projeler için en önemli bir amaçtır. Fakat faaliyet sürelerinin ve kaynak ihtiyacının tam olarak belirlenememesi, yani bulanık olması söz konusu olduğunda yalnız projenin süresinin azaltılması veya maliyetin minimuma indirilmesi reel bir amaç olmamaktadır. Çünkü projenin tamamlanma zamanı, seçilen faaliyete göre değişkenlik göstermekte ve bu değişimin tam olarak belirlenmesi özellikle yeni projelerde mümkün olmamaktadır. Bu aşamada yapılan bir hata projede yanlış kararların verilmesine ve istenilen hedeflerden uzaklaşmaya sebep olabilmektedir.(Wang, 2002). Bu tür problemlerde bulanık proje çizelgeleme yönteminin kullanılmasıyla iyi ve gerçekçi bir çözüm elde edilebilir. Dolayısı ile izin süreçleri yönetiminde zaman belirsizliği ancak bulanık proje çizelgeleme ile çözülebilecektir.

Firmaların yeni yatırımlarında veya mevcut yatırımlarına ilave olarak kapasite artışlarında ilgili kamu kurum ve kuruluşlarından gerekli izinlerin alınması işlemleri için bir süreç ilerlemektedir. Gerekli olan bu süreçler tamamlanmadan firma yatırıma başlayamamaktadır. Söz konusu projelerin planlamasında ki öngörülen süreler çoğu zaman proje uygulamaya geçtiğinde çeşitli nedenler ile değişiklik gösterir. Bu sadece izin alma süreçleri için görevlendirilen personel kaynaklı olmaz. Kamu kurumlarının bürokratik işleyişi, resmi tatillerin hükümet tarafından birleştirilmesi, kamu kurumunda çalışan personelin aldığı izinler belirsiz iş sürelerinin oluşmasını sağlar

Dolayısı ile izin alma süreçlerinde zaman belirsizliği nedeniyle kesin çözüm veren yöntemlerin kullanılması hem gerçekçilik açısından hem de hesaplanması için gerekli süre açısından uygun olmamaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1.Proje Çizelgelemede Bulanıklık Kavramı ve Çözümüne İlişkin Süreçler

Yatırım projelerinin planlanmasında, proje kapsamında bulunan faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için birçok uygulanabilir fiziksel kaynağın tahsis edilmesi zorunludur. Söz konusu durum, özellikle araştırma ve geliştirme projeleri, inşaat projeleri gibi farklı faaliyetlerin planlanması ve programlanmasında büyük yetenek gerektiren projeler ile alakalıdır (Riggs, 1987).

Proje Yönetimi, yapılması gerekli olan çeşitli faaliyetlerin planlamasını içeren karmaşık bir girişimdir. Hesaplamalara kolaylık sağlamak adına projeye özgü belirlenmiş bir başlangıç ve bitiş noktası vardır, ayrıca her proje belirlenmiş başlangıç ve bitişleri olan faaliyetlere bölünür. Faaliyetlerin (bazıları diğerlerinden daha önce, bazıları eşzamanlı olarak) sırasıyla gerçekleştirilmesi gerekir ki her bir faaliyetin tamamlanması için gereken zamanın tahmin edilmesi zorunludur (Bojadziev, 2007) .

Bir projedeki faaliyet zamanlarının yaklaşık olarak bilindiği ve net rakamlardan ziyade bulanık kümeler tarafından daha uygun şekilde temsil edildiği durumları araştıran çeşitli çalışmalar mevcuttur (Lorterapong ve Moselhi 1996; Dubois vd, 2003).

Özellikle, en son başlangıç zamanlarının (LS_i) olası değerlerinin aralıklarını hesaplama problemleri ve bulanık veya aralıklı sayılar tarafından temsil edilen belirsiz sürelerle sahip faaliyetlere esas problemler yoğun dikkat çekmiş ve bu problemlere ilişkin birçok çözüm yöntemi önerilmiştir. (Zielinski, 2005)

Bulanık proje çizelgeleme çalışmalarının çoğu, deterministik CPM kapsamında çözümlenecek projede yer alan faaliyetlerin yalın şekilde olan zamanlarının ertelenmesi sonucu karşılaşılan problemleri çözmek üzere oluşmuştur. Diğer bir deyişle, bunlar esas olarak, deterministik faaliyet zamanlarının bulanık faaliyet zamanları ile değiştirildiği ileri ve geri hesaplamalara yönelik formüllere sahip olan CPM'ye dayanmaktadır. Bununla beraber, Zielinski tarafından

belirtildiği gibi, geriye doğru hesaplamalar, en son başlangıç zamanlarının olası değer kümelerinin ve boşlukta bulunan faaliyetlerin zamanlarının hesaplanmasında kullanılamaz (Chanas ve Zielinski 2001) .

Ayrıca, aynı yol için, bulanık kritik yolun farklı tanımları, kritiklik derecesinin farklı tahminlerini verir. En son başlangıç zamanlarının olası değer kümelerini hesaplamak için çeşitli sezgisel yöntemlerin kullanılması ve bulanık PERT'nin özenli bir şekilde formüle edilmesi sağlanarak faaliyetlerin çizelgelemeleri yapılabilmektedir (Dubois vd, 2003) .

Bulanıklık kavramının çözümüne ilişkin yapılan çalışmaların ilk kısımda, bulanık kümeler, esnek ya da kısıtlamaları yerel ya da küresel gereklilikleri modellemek için kullanılmıştır (Zadeh, 1975) . Söz konusu modellemede en önemli problem, gereksinimler dikkate alınarak bunlar arasında uzlaşmayı sağlayan en iyi programı bulmaktır. Bu metodoloji, yönlendirilmiş yöntemleri kısıtlamaya benzer ve belirli bir durum olarak tek bir kriterin optimizasyonunu içermektedir (Dubois vd 2003) .

Çalışma yapanların ikinci grubunda amaç, zamanlama probleminin temel özelliklerini (minimum yapım süresi, kritik yollar, görevlerin en erken ve en yeni başlama zamanları, vb.) veriler, özellikle görev süreleri bilinmeyen ve modellendiğinde analiz etmek olmuştur (Dubois vd 2003) .

Proje yönetiminde, çizelgeleme problemlerinin stokastik versiyonları olduğu gibi (Lootsma, 1989; Birge ve Dempster, 1996), deterministik yaklaşım ile çözülen problemlerde mevcuttur. Stokastik Proje çizelgeleme literatürü oldukça az (Subhash vd, 2010) ve literatürdeki çabaların çoğu stokastik kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi üzerinedir. (Herroelen ve Leus, 2005; Masmoudi ve Hait, 2011).

Proje çizelgeliyicileri, projelerini planlamak için en uygun aracı bulmaya çalışırken ikilemle karşı karşıya kalmaktadırlar. Basit olan proje planlama ve çizelgeleme yöntemlerinde çıkan sonuçlar bazen yanıltıcı olabilmekle beraber

çok karmaşık olan çizelgeleme yöntemleri, düşük reaktivitelerinden dolayı proje için işe yaramaz olabilmektedir. Kritik yolu bulma üzerine olan yöntemler (PERT ve CPM) bir projenin yürütülmesini modellemek için en basit yöntemlerdir. Projenin karmaşıklığı düşükse, böyle bir yaklaşımın yeterli olabileceğine kanaat getirilebilir. Ancak büyük ölçekli endüstriyel veya inşaat projeleri gibi daha karmaşık projeler için, başlangıç-başlama, başlangıç-bitiş, bitiş-bitiş ve gecikmeli veya gecikmesiz olmak üzere çok çeşitli öncelik kısıtlamaları gibi ek özelliklerin; kilometre taşları gibi zamansal kısıtlamaların; ayrıca kaynak kısıtlamaların da dikkate alınması gereklidir (Bonnal vd. 2004) .

Genellikle proje çizelgeleme üzerine olarak yapılan çalışmalar; deterministik ortam şartlarına haiz olduğu, probleme ilişkin bütün verilerin mevcut olduğu ve bu verilerin bilindiği kanısı üzerine kurulmuştur. Yapılan çalışmalar, genellikle faaliyet süreleri belli olan proje çizelgeleme problemleri üzerine uygulanan problemlerden oluşmaktadır. Ancak bazı deterministik çizelgeleme problemleri zaten çok zor olduğu için pratikte hesaplamalarının yapılması da dolayısı ile zordur (Durucasu vd. 2015) .

Bulanık aralıklarla ele alınan olasılık teorisi, zamanlama verileri hakkındaki eksik bilgilerin ele alınması için genel olasılık teorisinden daha basit ve daha az veri gerektiren doğal bir çerçeve önermektedir. Esnek kısıtlamalar ve belirsiz veriler bulanık kümeler ile modellenenilmektedir. Bu modellemede, karar teorisi kapsamında, hem tercih modellemesi hem de belirsizlik yönetimi için kullanılabilecek üyelik işlevlerinin belirsizliğini yansıtmak adına bulanık kümeler ya fayda fonksiyonlarının yerine ya da olasılık fonksiyonlarının yerine kullanılabilir. Bununla beraber, bazı zamanlama problemleri hem esnek kısıtlamaları hem de belirsiz verileri içerir. İleriki aşamalarda bulanık aralıklar ile ele alınan olasılık teorisi ile yapılan çalışmalar; stokastik zamanlamada olduğu gibi ortalama davranışları optimize etmek yerine, tüm kısıtlamaların bir dereceye kadar yeterli bir güven ile yerine getirildiği sağlam, her türlü hataya kapalı programlar bulmayı amaçlamaktadır. (Zadeh, 1978; Dubois ve Prade, 1988).

Bulanık olasılıklı proje planlama ve çizelgeleme problemlerinde ve belirsiz proje çizelgeleme problemlerinde şimdiye kadar üç farklı eksen araştırılmıştır.(Galvagnon, 2000) Bunlardan ilki, üyelik seviyesinin göz önünde bulundurulduğu grafik ile okunan bir faaliyet dizisinde her bir faaliyetin düğüm içi formülasyonunda bir öncelik sınırlamasının varlığıdır. (Dubois ve Prade, 1978; Klein, 1988) İkincisi proje planlama problemi aynı zamanda proje uygulayıcısında bir kısıtlama memnuniyeti sorunu olarak da görülebilir. Bu durumda amaç, bir faaliyet ağının sebebiyet verdiği memnuniyet seviyesini hesaplamaktır(Fargier, 1994). En sonuncusu ise bugüne kadar en çok araştırılan ve literatüre katkıları çok olan konudur; Bir faaliyet ağını niteleyen nicel bilgilerle ilgili yanlışlıkların (örneğin, faaliyet süresi, gereken iş yükü, kaynak mevcudiyeti, sabit tarihler vb) ayrıca incelenmesidir (Sammon ve Brahemi 2014) .

Bulanık kümelenmeye ve olasılık teorisine başvurmak, belirsizlik üzerine çabalarken ve yerel tercihlerin ayrıntılarını belirlerken belirsizlikle başa çıkma gücü ve stokastik zamanlama tekniklerinin hesaplama zorlukları arasında bir denge kurmaya yardımcı olabilmektedir. Bulanık zamanlamada bir zorluk, literatürde bulunan çeşitli çalışmalarda hangi sorunun gerçekten ele alındığını bulmaktır. Bulanık kümelerin deterministik metodlara uygulanan öncelikli kurallara uygulanmasının yanı sıra bulanık zamanlama esnek kısıtlamalar ve kesin olmayan bilgiler altında zamanlama da önem arz etmektedir.

Bununla beraber bulanık PERT'de kritik aralık analizi probleminin ana zorlukları, sadece bulanık aralıklar kötü bilinen işlem sürelerini temsil ettiğinde problem içerisine bulanık kümelerin girilmesinden kaynaklanmamaktadır. Normal aralıklar söz konusu olduğu zamanda olduğu gibi bulanık işlemlerde de aralıklı vakayı çözmek, ana zorluktur. Ayrıca bulanık durum daha sonra seviye kesmeleri kullanılarak kolayca çözülebilir. Kötü bilinen işlem zamanlarının bulanık sayılarla modellenmesi oldukça basittir. Aralıkların sınırlı ifade gücü ile “çok küçükse, onlara çok az güven duyarsa, çok büyük, sömürülecek kadar bilgilendirici değildir” söylemi haklı çıkarılmıştır. Geçmişte bulanık PERT üzerinde yapılan çalışmalarda görüleceği üzere bazen deterministik PERT'de,

ilgilenilen parametrelerin çoğunun toplama, çıkarma, minimum ve maksimum olmak üzere basit algoritmalar yoluyla elde edilmektedir. Aynı hesaplamalar, net sayıları bulanık sayılar olarak değiştirerek, bulanık aritmetik sonuçlarından yararlanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Amaç, projenin bulanık tamamlanma zamanını hesaplamak ve minimum tamamlanma süresinin olasılık dağılımıdır. Başlangıç ve bitiş tarihinde herhangi bir kısıtlama yoktur. Bir grafikteki düğümler arasındaki bulanık değerler ile en kısa veya en uzun mesafeyi bulmakla ilgili olan kısmı kolay şekilde çözülmüştür (Chanas ve Kamburowski, 1981; Dubois ve Prade, 1978; Gazdik, 1983; Mares, 1989).

Proje yönetimi konusunda bulanıklık kavramının kullanılmasına ilişkin çalışmalar incelendiğinde bulanık doğrusal ve bulanık doğrusal olmayan iki konunun ön plana çıktığı görülmektedir.

Birçok proje çizelgeleme problemi için doğrusal programlama ile çözümlenen geniş bir uygulama alanı vardır. Doğrusal programlamanın formülasyonunun yapılmasında sadeleştirmeler yapılması gereklidir ancak doğrusal programlamanın yapılmasında kesin sonuç veren yöntemler amaç fonksiyonunun özyapısına bağlıdır. Diğer taraftan Doğrusal programlamada yapılan formülasyon problemi tam olarak yansıtamaz. Bir başka deyişle standart doğrusal programlamada kesin zaman, maliyet ve kaynak gibi kısıtların parametrelerinin, değişkenlerin ve hedeflerin kullanılması doğrusal programlamanın uygulanmasında bazı aksaklıklara sebep olmaktadır. Bu sebeple kullanım alanları belli problemler ile sınırlı kalmaktadır (Held ve Karp, 1962).

Proje çizelgeleme meselelerindeki belirsizliklerle başa çıkmak için, hem bulanık kümeler hem de olasılıklar ile çözüm literatürde dikkate alınmaktadır (Hillier, 2002; Herroelen ve Leus, 2005). Olasılık teorisi kullanılarak oluşturulan stokastik yani rastlantısal doğrusal programlamanın uygulamaları ise yine kesin olmayan verilerin formüle edilerek modellenmesinde yetersiz kalmıştır (Lilien 1987).

Söz konusu yetersizlikler, kesin olmayan verilerin doğrusal programlama ile değerlendirilmesi için yeni çalışmalar yapılmasına sebebiyet vermiştir. Bulanık doğrusal programlama yöntemlerinin kullanılmasının öncelikli avantajı gerçek hayat problemlerine çok daha yakın modellerin oluşturulmasını sağlamıştır. Ayrıca veri toplamayı kolaylaştırarak bunun için harcanan zamanın ve maliyetlerin azaltılmasını sağlamıştır.

Proje çizelgelemede bulanık uygulamaların yoğunlaştığı ikinci konu tamsayı bulanık eniyileme konusudur. Bulanık eniyileme yöntemlerinin birçoğu proje yönetimi alanında kullanılabilmektedir. CPM ve PERT metodları ise bulanık eniyilemenin çalışıldığı alanlar arasında proje yönetiminde özel öneme sahiptirler. Genellikle klasik bir CPM veya PERT hesaplamasında faaliyet süresi için; sonucunun gerçek dünyadaki durumla tam olarak eşleşememesi belirsiz bir değerdir ve bulanıklaştırmayı gerektirmektedir (Ahuja vd, 1994 ;Mon vd ,1995).

Doğrusal olmayan problemlerin çözümüne ilişkin geliştirilmiş birçok algoritma söz konusudur. Doğrusal olmayan programlamada kullanılan bulanıklaştırma metodları çoğu zaman bulanık doğrusal programlamada kullanılan yöntemlerin genellenmesiyle oluşmaktadır. Söz konusu doğrusal olmayan programlama problemlerin deterministik yöntemlerle çözümü, hem modellenmesi kısmında hem de çözüm sürecinde zorluklar içermektedir. Ayrıca doğrusal olmayan programlamada veri tiplerine ve değişken sayısına bağlı olarak zorluk dereceleri değişmektedir. Zorluk kısmının yanı sıra karşılaşılan sıkıntılar kapsamında kabul edilebilir sınırların dışında kalan süreler olmakla beraber istenilen sonuca ulaşamadığı durumlarda söz konusu olabilmektedir. Sezgisel algoritmalar bu sıkıntılara sahip problemlerin modellenmesinde ve çözümünde kullanılabılırler, kısa sürede sonuç üretebilirler ancak optimum sonucu garanti edemez. Özellikle popülasyon temelli sezgiseller, çok noktalı arama prosedürleri sayesinde, hızlı bir şekilde sonuç verebilmektedirler.

Bulanık doğrusal olmayan programlamada kullanılan yöntemlerde karar vericinin her amacı için bulanık bir hedefinin mevcut olduğu düşünülür. Bulanık

hedefler bulanık küme üyelikleri fonksiyonları kullanılarak sayısal hale getirilir. Akabinde oluşturulan en iyi çözümlerden uygun olanı esas çözüm olarak seçilir. Çoğu zaman bulanık doğrusal olmayan programlarda çözüm aşamasında karar vericinin müdahalesine gerek duyulmamaktadır. Ancak, gerçek hayat problemlerinde karar verici ile etkileşim halinde bulunulması ve elde edilen yaklaşımların programlamada kullanılması gerekmektedir. (Sakawa vd., 2002).

Literatürler incelendiğinde, zamanlama problemlerinde bulanık küme üzerinde yapılan çalışmaların çoğunluğunun, bulanık zamanlamayı alfa kesimleri veya bir sınırsızlaştırma tekniği uygulayarak net zamanlamaya (kesin sayılı ifadeler ile tanımlanan sürelerle) dönüştürmek üzerine olduğu görülmektedir. Bu nedenle, konu üzerine çalışan bilim insanlarının deterministik iş yükü planları oluşturduğu gözlemlenmektedir (Hapke ve Slowinski, 1996; Leu vd., 1999).

Itakura ve Nishikawa (1984), ilk kez GERT ağlarında bulanık kavramları uyguladılar ve olasılık parametreleri için bulanık parametreleri kullandılar ve FGERT (Bulanık Grafiksel Değerlendirme Tekniği) 'nin parametrelerini bulanık olarak değiştirdiler. Çözüm metodu GERT'e benzetmekle beraber FGERT, GERT ağlarını inceleyen bulanık ve farklı bir yöntemdir.

Dubois ve Prade (1988), bir projenin faaliyet dizisinde yer alan her bir faaliyetin en geç başlama zamanını hesaplamak üzere bulanık işlem modeli geliştirmiştir. Söz konusu model için yamuk bulanık sayıları kullanmışlardır En geç tamamlama zamanı üstünden herhangi bir bulanık değeri sabitleyerek geriye doğru hesaplama yapılmasına olanak verip, en iyi başlangıç zamanını bulmuşlardır.

Geidel (1988; 1989), çalışmasında bulanık proje çizelgeleme süreçlerinin çözüm aşamasında daha iyi bir faaliyet sıralaması için çözümlerde olasılık ve gereklilik kavramlarının dikkate alınmasını önermektedir.

Evans (1989), projesinde ağ (şebeke) planlama yöntemi üzerinde durmuş ve kritik yol metodunun (CPM) genellenmesiyle ve bulanık zamanların kullanılmasıyla yeni algoritmalar elde etmiştir

Rommelfanger (1990), çalışmasında proje çizelgeleme problemlerinde kendine özgü değerler içeren çekirdek dizi, değerler içeren seviye kesimi ve harici değerlerin fiziksel olarak erişilemez olduğu destek olmak üzere üç güven aralığının kullanılmasını önermektedir. Projesinde altı parametre bulunur ve bulanık aralık, doğrusal enterpolasyon ile elde edilir.

Yang vd. (1992), çalışmalarında projenin şimdiki net değeri yenilenebilir kaynak kısıtları altında maksimize edilirken bulanık parametreler ile bir tamsayı programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Kullanılan model ile çözüm zamanı çok uzamadan optimal sonuçlar elde edildiğini ve bu problemin çözümünde kullanılan sezgisel yöntemlerden daha başarılı sonuçlara ulaştıklarını iddia edilmiştir.

Lessmann vd. (1994), Dubois ve Prade'in çalışmalarına benzer bir çalışma ile daha önce çalışılan projeye de işaret ederek öneride bulunmuşlardır. Söz konusu öneri de inşaat projelerinin çoğunda, projenin bitiş tarihinin belirtildiğini dolayısıyla geriye doğru hesaplamaların net bir tarihte başlatılabileceğini aksi takdirde polinom fonksiyonlu bulanık sayıları kullanmayı tercih ettikleri için, faaliyet dizisinde dönüm noktasının ilk tarihinin en son tarihe aktarılması gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında faaliyet sürelerine atanan bulanık sayıları tahmin etmek üzere farklı bir metodoloji kullanılmıştır.

Goldratt (1997), çalışmalarında olasılık teorisine dayanan kritik zincir proje yönetimi yöntemini sunmuştur. Kritik zincir proje yönetimi ile hem kaynak kısıtlamaları hem de belirsizlikle başa çıkmak için bir arabellek mekanizmasıyla bütünleşmiş bulanık sayılar kullanarak deterministik bir program oluşturulmuştur. Yöntem ile faaliyetlere geç başlanmasından (Öğrenci Sendromu) ve tüm etkinlik süresi boyunca aynı faaliyet ile meşgul olmaktan

(Parkinson Kanunu) korumak için faaliyet sürelerindeki gizli güvenlik ortadan kaldırılmıştır. Sonra bu güvenlik zamanları gecikmeleri emmek için tampon olarak kilit noktalara yerleştirilmiştir. Tüm faaliyetler mümkün olduğu kadar geç planlanır, böylece maliyetler gereğinden erken gerçekleşmez. Kritik bir zincir, hem öncelik hem de kaynak bağımlılığı altındaki en uzun faaliyet zinciridir. Proje son tarihini aşmamaya karşı korumak için kritik zincirin sonuna bir proje tamponu yerleştirilir ve kritik olmayan zincirler ile bozulmalara karşı koruma için kritik zincir arasındaki kesişme noktalarına besleme tamponları yerleştirilerek algoritma çözümlenir. İşleyiş sırasında, her faaliyet öncekiler tamamlanır tamamlanmaz başlatılır. Tamponlardaki penetrasyon seviyesi izlenerek proje kontrolü yapılır.

Willis vd. (1999), çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerindeki kaynak kısıtlamaları ile ilgili olarak, bulanık hedef programlama yaklaşımını içeren bir algoritma uygulamışlardır, Ancak böyle bir yaklaşımın sadece küçük ölçekli projeler için uygun olduğu kanısına varmışlardır.

Yao ve Lin (2000), bir bulanık proje ağına ilişkin kritik yolu bulmak amacıyla istatistikli bulanık küme kuramı ile birleştirerek ve bulanık sayıların işaretli mesafeli sıralanması ile ilgili bilgileri kullanarak güçlü bulanık akış tipi model geliştirmişlerdir.

Galvagnon vd.(2000), çalışmalarını, daha önce yapılan çalışmalar ile bulanık bir proje planlama ortamında geriye dönük hesaplama sorununu çözmek için tatmin edici bir çözüm getirilmemesinden dolayı yapma gereği duyduklarını makalelerinde dile getirerek, çalıştıkları konu üzerinde bu çerçeveyi kullanmışlardır. Çerçeveleri bunu daha doğru bir şekilde ele alsa da, aktivite ağı oldukça kısıtlayıcı bir sadeleştirme olan seri paralel bir grafik olarak modellenmediği sürece polinom hesaplama zamanlarında hiçbir çözüm bulunamadığını savunmuşlardır. Bu öneri analitik titizliğine ve ilgisine rağmen, proje çizelgeleyiciler tarafından büyük ilgi görmüştür.

Korvin ve Kleyle (2000), tarafından yapılan çalışmada hem bulanık proje çizelgelenmesi üzerine çalışılmış hemde kaynak olarak iş gücünün yani işi yapan çalışanın ele alınması sebebiyle çalışanların yeteneklerine göre proje faaliyetlerine tahsis edilmesine dikkat edilerek kısıtlı kaynakları da bulanık olarak modele dahil etmişlerdir.

Kuchta (2001), proje faaliyetlerinin kritikliğini risk faktörü olarak değerlendiren bulanık sayılar kullanılarak riskli aktivitelerin belirlenmesi ve bunlara göre genel proje riskinin ölçülmesi için bir metod önerilmiştir. Bu çalışmada temel amaç herbir faaliyetin kritikliğin o faaliyetin riskliliğini gösterdiği kabul etmektir. Benzer şekilde projenin genel riskliliğinin hesaplanması için proje ağında bulunan riskli (kritik) faaliyetlerin sayısı, bunların risk dereceleri ve proje ağındaki yerleri esas alınmaktadır.

Liberatore (2002), çalışmasında proje çizelgeleme problemlerinde zaman belirsizliğinin gerçek hayat problemleri üzerindeki etkisi üzerinde durmuş ve zaman kısıtının bulanık sayılar ile ifade edilmesiyle elde edilen bulanık CPM metodunun diğer klasik metodlarıyla karşılaştırılmasını sağlamış ve proje süresi üzerindeki belirsizliğin projenin toplam süresindeki etkilerini göstermiştir.

Wang (2002; 2004), tarafından yapılan çalışmalarda kendine özgü aktiviteleri olan ve daha önceki projelerle fazla benzerliği bulunmayan ürün geliştirme projesi için aktivitelerin uzunluğunun proje başlangıcında tahmin edilmesi oldukça güç olduğu ve istatistiksel yaklaşımların kullanılması uygun olmayan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi üzerinde esnek faaliyet zamanı üzerinde bulanıklaştırma uygulamıştır.

Fortin vd. (2005), yaptıkları çalışmalarında gerçek hayatta yer alan proje çizelgeleme problemlerinin karmaşıklığını dile getirmekte ve belirsiz bağların aralıklarla temsil edildiği ve zamanların bulanık değerlerle ifade edildiği projelerdeki faaliyetlerin son tarihlerini hesaplamak için bazı algoritmalar önermektedir Operasyonel planlama seviyesindeki kaynaklarla ilgilenmek için kısıtlanmış kaynak seçimi tekniğini kullanmışlardır.

Herroelen ve Leus (2005), özellikle faaliyet süreleri olmak üzere belirsizliklerin yoğun olduğu çizelgeleme problemlerin çözümü için kullanılacak en optimal çözümün bulanık küme teorisinin kullanılmasıyla elde edilebileceğini savunmuşlardır.

Soltani ve Haji (2007), çalışmalarında, faaliyet sürelerini yamuk bulanık sayıları olarak ifade ederek ve bulanık doğrusal programlama tekniğini kullanarak proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Söz konusu yaklaşımda geriye yönelik hesaplamalarda üretilen negatif değerdeki uygun olmayan sonuçları kullanmamışlardır. Bu yöntemin anlamlı sonuçlara varabilmesi için aritmetik bulanık operatörlerin kullanılması gerektiğini savunmuşlardır.

Long ve Ohsato (2008), çalışmalarında bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde kritik zincir yöntemini kullanmışlardır. Kaynak kısıtı dikkate alınarak yapılan çizelgeleme de projedeki belirsizliği çözmek için, büyüklüğü bulanık sayılarla hesaplanarak belirlenen proje tamponu ilave edilmiştir. Proje yürütülürken bu yöntem sayesinde proje tamponunun delinme seviyesine göre çizelge devamlı güncellenebilmektedir. Yapılan çalışmada bu sayede daha verimli çizelgelere ulaşılabilindiği savunulmuştur.

Ghazanfari vd. (2008), Karar değişkenlerinin üçgen olasılık dağılımına sahip olduğu zaman maliyet ödünleşim proje çizelgeleme problemlerini çözmek için yeni bir hedef programlama yaklaşımı geliştirmiştir.

Sharafi vd. (2008), faaliyetler arasındaki ilişkileri, literatürdeki kendinden önceki çalışmaların aksine durulaştırma yaparak kesin (net) sayı halinde değil durulaştırma yapmadan üçgensel bulanık sayı olarak ele alarak bulanık ortamda, bulanık proje çizelgelemek için doğrusal programlama yöntemi ile sunmuşlardır.

Zammori vd. (2008), Çalışmalarında geleneksel proje çizelgeleme yaklaşımının sınırlarını genişletmek amacıyla “değişkenlik süresi riski, tasarım revizyonları riski ve dış riskler gibi parametreleri de hesaba katarak ve hesaplamada bulanık matematiksel bir yaklaşım ile TOPSIS tekniğini birleştirerek kritik yolu hesaplamışlardır.

Yousefli vd. (2008), çalışmalarında, bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin sezgisel yöntemle çözümüne ilişkin ilk defa üç boyutlu “Gantt chart” adını verdikleri Gantt çizelgesi kullanmışlardır. Önerilen modelde, her bir faaliyetin süresi, kaynak bulunabilirliği ve her bir faaliyetin kaynaklar üzerindeki talepleri belirsiz olduğundan, listenin önceliğini oluşturmak için bulanık sayılar kullanılmıştır.

Zhao vd. (2010), Çalışmalarında proje ağına tamponlar dahil ederek kaynak kısıtlı bulanık proje çizelgeleme problemlerini çözmek için kritik zincir yöntemi geliştirmişlerdir.

Shankar vd. (2010), tarafından bulanık CPM ile ilgili yapılan çalışmada, faaliyetlere ilişkin süreler yamuk bulanık sayılar ile ifade edilmiş; bulanık proje ağına ilişkin kritik yolun bulunmasında Chen ve Cheng (2005) tarafından önerilen “metrik mesafe sıralaması (metric distance ranking)” analitik yöntemi kullanılmıştır.

Bhaskar vd. (2011), çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri için öncelikli kurallara dayalı bulanık sürelerle çözmek üzere yeni bir sezgisel yaklaşım ve paralel çizelgeleme şeması kullanmışlardır. Ayrıca hem kritik yol hem de kaynak talebine dayanarak yeni bir öncelik kuralı önermişlerdir.

Masmoudi ve Haït (2011a) çalışmalarında projelerin operasyonel planlanmasında yeni bir bulanık iş yükü planı kavramını tanımlamışlardır. Ayrıca bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini çözmek için “Paralel Çizelge Üretim Şemaları” geliştirilmiştir. Projede faaliyet süreleri, bulanık

sayılar ile tanımlanmış ve tamamlanma zamanının hesaplanması için olasılık teorisini uygulanmıştır.

Knyazeva vd. (2015), bulanık ortamdaki kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için makul bir hesaplama süresinde en uygun çözümü bulmak için bulanık bir sezgisel yaklaşım benimsemişlerdir

Chen vd. (2016), çalışmalarında belirsizlik hakkındaki bilgilerin proje çizelgeleri geliştirilirken kısmen bilindiği olgusunu ele alarak zamanlamanın projedeki olası bozulmaları elimine edebilme yeteneğini ölçmek için yeni bir esneklik kavramını kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine uygulamışlardır. Projelerinde esnekliğin hesaplanması zaman aldığından, program esnekliğini belirtmek için yeni bir vekil tedbir önerilmiştir. Esneklik ve önerilen vekil ölçüsü arasında korelasyon analizi yapılmış ve deneysel sonuçlar, önerilen vekil ölçütün tamamlanma zamanı veya toplam serbest gevşemeye göre esnekliği belirtmek için daha uygun olduğunu göstermiştir.

Khalilzadeh vd. (2017), çalışmalarında bulanık parametrelili sezgisel algoritma kullanılarak proje çizelgesi üzerinde eniyileme yapılmıştır. Önerilen algoritmada bulanık uzaydaki en az faaliyet zamanını hesaplayarak paralel zaman çizelgeleme yöntemi kullanılmıştır. Projede önce faaliyetlerin alt kümesini belirlenmiş, daha sonra alt grupların önceliklerini hesaplanmıştır. Çalışmalarında zamanlama için en yüksek önceliğe sahip alt küme, bu karar noktasında seçilmiştir. Söz konusu algoritma herhangi bir paralel çizelgeleme programında üç karar noktasını ele alarak önceliğe ve kaynak kısıtlamalarına göre uygulanabileceğini savunmuşlardır.

2.2.Bulanık Program Değerlendirme İnceleme Teknikleri (Bulanık PERT)

Bulanık PERT (program değerlendirme inceleme teknikleri) yaygın olarak belirsiz görev sürelerinde ve gerçek uygulamalarda proje yönetimindeki zamanlama çizelgelerinde tanımlanarak kullanılmıştır. Bulanık PERT teorileri ve uygulamaları hakkında araştırma yapmaya adanmış çok fazla literatür ve

literatürlerde de çok sayıda yöntem mevcuttur. Yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde çalışmaların çoğu kritik yol yöntemini temel alan yaklaşımlardır.

Bir projenin faaliyetlerinin belirlenmesi, kritik yolların ve minimum tamamlanma süresinin hesaplanması, boşluktaki faaliyetlerin tespiti, proje çizelgeleme aşamasında yaygın olarak belirsizlikle çözümlenmeye çalışılan önemli problemler olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, proje çizelgeleme üzerine olan literatürde baskın olarak çalışılan konuların esnek bir stokastik yaklaşım üzerine olduğu görülmektedir (Hagstrom, 1988).

Klasik Pert yaklaşımlarında, özellikle algoritmaların programlanmalarında, her bir faaliyet süresinin kesin olarak bilinmesi sebebiyle problemin çözülmesinin oldukça basit olduğuna ilişkin varsayıma sahiptir. Bununla beraber, proje çizelgeleme problemlerinde projenin planlanması aşamasında, faaliyetlerin sürelerinin kullanılacak yöntemlerin ve kaynakların önceden kesin olarak bilinemediği, tahmin edilemediği durumlar ile seyrekte olsa karşılaşılabilir. PERT yaklaşımı üzerine çalışanlar tarafından bu sıkıntı çok erken fark edildi. Bu sıkıntı üzerine başa çıkmak için faaliyet sürelerinin olasılık dağılımlarına göre modellenmesini önerdiler ve faaliyetlerin en erken başlangıç zamanlarının ortalama değerini ve standart sapmasını olasılık teoremi ile hesaplayarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalar ile beraber olasılıksal PERT ile ilgili geniş literatür çalışmaları da yapılmaya başlanmıştır. (Elmaghraby 1977; 2000; Adlakha ve Kulkarni 1989). Faaliyet süresi değerleri bağımsız rassal değişkenlerden oluşsa bile, bir projenin bitiş zamanının dağılımını bulma sorununun proje kapsamında oluşturulan ağın yapısının neden olduğu bağımlılıklar nedeniyle oluştuğu ise daha sonra yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir.(Hagstrom, 1988; Kleindorfer, 1971;Ludwig vd 2001; Meilijson ve Nadas 1979; Shogan 1977). PERT üzerinde çalışanların karşılaştığı bir başka zorluk da, çizelgelenen projelerde tanımlanmayan faaliyet süresi dağılımlarının seçiminin doğru bir karar olduğunu gösteren istatistiksel verilerin bulunmamasıdır. Olasılık dağılımları, faaliyetlerin tekrarlanması durumunda değişkenin modellenmesine olanak verebilecek esneklikte olmasına rağmen projede bilgi eksikliği nedeniyle belirsizlik

gösterilen parametrelerin çözümlenmesini sağlayamaz. (Dubois vd. ,1996; Ferson ve Ginzburg ,1996).

Bulanık PERT yaklaşımı üstünde çalışanlar tarafından öncelikle basit işlemler ile yapılan proje ağ analizinde kesin veriler yerine bulanık eşdeğerleri yer değiştirecek şekilde algoritmalar geliştirilmiştir. Fakat esnek sürelerde ve başlama sürelerinin gecikmeleri veya ertelenmeleri söz konusu olduğunda PERT algoritmasının uygulandığı model üzerinde adımlara geri dönerek hesaplama yapılması çok büyük zorlukların yaşanmasına sebep olmuştur. Çünkü her hangi bir matematiksel işlemde; gerçekleştirilen işlemin tersi uygulandığı zaman elde edilen sonucun ilk değere eşit olması beklenir ancak bulanık değerlerin kullanıldığı durumda sonuç hiçbir zaman ilk değere eşit olamaz. Söz konusu işlemlerde bulanık sayı kullanılması sebebiyle geri hesaplama yapıldığında bir faaliyet süresinin değiştirmek suretiyle hesaplanan diğer süreler değişken ve değerleri ondalıklı olabilmektedir. Dolayısıyla hesaplanan sonuçta da özellikle faaliyet süreleri birbirine yakın değerdeyse herhangi bir yol rotası potansiyel kritik yol haline gelebilmektedir.(Zammori vd. , 2009)

Söz konusu durum özellikle büyük ve karmaşık yapılı çizelgeleme problemlerinde projenin başarıyla yönetilmesinde dezavantaj olmuştur. Proje çizelgelemenin başarılı sayılabilmesi için öncelikli olarak asıl kritik yol üzerindeki kritik faaliyetlere odaklanarak, bu kritik faaliyetler üzerine kaynak ve sermaye aktarımının artırılmasını gerektirmektedir. Bulanık sebebiyle hesaplamalardaki bu tutarsızlıklar yanlış faaliyetlerin üstüne yoğunlaşılmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu riski azaltmak için, bulanık pert üzerine çalışan bilim insanları, bulanık sayılar ile sonuç bulmak üzere çalışılan algoritmalarda bazı değişiklikler yaparak bu sıkıntının giderilmesine çalışmışlar ancak yöntemler üzerinde uygulanan değişiklikler ile oluşturulan yeni algoritmalar sadece çalışılan problemleri çözmek üzere bir defa kullanılabilmektedir. Nasution, çalışmasında “interaktif bulanık sonuçları” kullanarak geriye doğru yapılan işlemlerin “ $(A+B)-A=B$ ” ifadesini vereceğini savunmuştur. Ancak bu yöntemin bütünleşik olması sebebiyle proje çizelgeleme aşamasında kritik yolun

hesaplanması çok zorlaşmıştır. (Nasution, 1994) Söz konusu soruna çözüm bulmak için bilim insanları, bulanık aralıkları alfa kesimi kullanarak her bir süre denk olarak ayrışacak şekilde kesme yöntemini geliştirdiler. Faaliyet dizisindeki kesin aralıklarla tanımlanmış ve çözümü zor olarak görülen süre değerleriyle oluşturulan şebekedeki bulanıklığı azaltmak için kullanılan bu yöntemle hem geriye doğru işlemlerde ortaya çıkan sorun tek seferde çözülmüş hem de kesirli ve ondalık ifadeler ile ortaya çıkan bulanık değerler alfa kesimler ile yeniden düzenlenerek başlangıçtaki değerlerine geri dönmüşlerdir (Zammori vd., 2009).

İlk bulanık PERT çalışması Prade (1979) tarafından yapılmıştır. Özellikle, en son başlangıç zamanlarının olası değerlerinin aralıklarını hesaplama problemlerine ve bulanık veya aralıklı sayılar tarafından temsil edilen belirsiz sürelerle sahip faaliyetlere esas problemlere yoğun dikkat çekmiş ve bu problemlere birçok çözüm yöntemi önermiştir.

Chanas ve Kamburowski (1981), faaliyet sürelerinin üçgen bulanık sayılar ile temsil edildiği bulanık PERT yöntemini ele almışlardır ve bu metodu FPRT olarak adlandırmışlardır. Söz konusu projede ana amaç bulanık proje tamamlanma süresinin hesaplanması olduğu için geriye doğru hesaplama ve kritik yol yöntemi üzerine çalışılmıştır.

Gazdik (1983) ise, faaliyet süresini tahmin etmek için önceden bilinmeyen bir projeye ait bulanık bir ağ geliştirmiş ve olabilecek bütün patikaların sayılama metoduyla ayrıştırmış ayrıca projenin süresini ve kritik yolunu hesaplamak için bulanık cebirsel operatörleri kullanmıştır. Bu işe FNET demıştır. FNET'in bir uzantısı Nusution (1994) ve Lortrapong ve Moselhi (1996) tarafından önerilmiştir.

McCahon ve Lee (1988), proje tamamlanma zamanının hesaplanmasında Lee ve Li'nin daha önce savunduğu karşılaştırma yöntemi ve genişletilmiş maximizasyon ve minimizasyon kullanımı ile bileşik yönteminin çözümünü incelemişlerdir ve karşılaştırma yönteminin uygulanmasının optimum sonuç verdiğini savunmuşlardır. Geriye doğru hesaplama için, başlangıç noktası olarak

ileriye doğru hesaplamalarda son faaliyetin en erken tamamlanma süresini kullanmanın uygun olduğunu bildirmişlerdir. Uzmanlık deneyimlerinden yararlanılabildiği çok fazla faaliyet içeren (Min 30) projelerde faaliyet sürelerinin hesaplanmasında Beta dağılımının uygun olduğunu savunmuşlardır.

Buckley (1989), yaptığı çalışmada projedeki faaliyetinin bolluk, en erken başlama zamanı ve en geç başlama zamanını hesaplamış ve olasılık dağılımının tanımını yapmıştır. Üçgen bulanık sayılar ile ifade edilen faaliyet sürelerine sahip proje için kritik yolu hesaplamış ve projenin olasılık dağılımlarını hesaplayan bir algoritma önermiştir.

Lootsma (1989), çalışmasında proje planlama aşamasındaki belirsizlikler üzerine çalışmış ve süreç içerisinde insan yargılarının baskın olarak rol oynadığını dile getirerek eksperlerin tecrübeleri kapsamında bir projenin faaliyet zamanlarının çıkarıldığında ortaya çıkan sonuçları incelemiş ve belirsizliğin olasılık yaklaşımı ile çözülemeyeceğini savunmuştur. Olasılıksal yaklaşımlara göre olasılık çizelgeleme yaklaşımlarının faydalarını karşılaştırdıktan sonra ve olasılıksal bir etkinlik ağı inşa etmenin tutarsızlığını kanıtladıktan sonra “Olası yaklaşım kullanıldığında toplam proje tamamlanma süresi daha kısadır, proje sonlandırma tarihine göre dağılım da daha büyüktür.” çıkarımında bulunmuştur. Ayrıca proje tamamlanma zamanı açısından tek örnek ile Pert, Bulanık Pert ve simülasyon yöntemlerinin karşılaştırmasını yapmıştır.

Mares (1989), çalışmasında bulanık PERT yönteminde hem faaliyet sürelerinin hem de ağ (şebeke) yapısının bulanıklaştırılması gerektiğini savunmuştur. Şebekenin tüm bileşenlerinin eş zamanlı olarak bulanık belirsiz olduğunu iddia etmiş, bütün faaliyet sürelerini içeren kümenin olası faaliyet önceliklerini gösterip, bulanık alt kümesini tanımlayarak düğüm üzerinde faaliyet gösterimini sunmuştur.

McCahon (1993), bulanık GERT ve Bulanık PERT yöntemlerinin performanslarını kıyaslamak üzere ortaya koyduğu çalışmasında, şebekelere bağlı olarak oluşturulan (otuz iki adet) tamamlama zamanlarını; kritik

faaliyetlerin belirlenmesi, faaliyet bolluğu miktarı, projenin bütünün beklenen tamamlanma zamanı ve belirlenen zamanda projenin tamamlanma olasılığı gibi kriterleri dikkate alarak bulanık GERT ve bulanık PERT yöntemleri ile çözümlenmiştir.

Tsujimura vd. (1993), yaptığı çalışmalarında konusunda uzman olduğunu düşündüğü experler tarafından çıkarılan bir ağda (şebekede), üçgensel bulanık sayıların kullanılarak PERT yöntemiyle hesaplanan bir model oluşturmuşlardır. Experlerin öngördüğü üçgensel bulanık sayılar, her bir faaliyet süresi için özel kriterlere göre belirlenen major ve minör üçgensel bulanık sayılar olarak isimlendirilen, birbirinden oldukça farklı sayılardır. Proje tamamlanma zamanını ve kritiklik derecesini belirlemek için birleştirme metodu kullanılmıştır.

Nasution (1994), yaptığı çalışmada bir faaliyet dizisinin olarak tanınan en geç başlama zamanı ve her bir faaliyetin bolluğu için çalışmalarında tanımlanan P ve Q tabloları kullanılarak ve kritik yol yöntemindeki faaliyet sırasına paralel olarak, algoritma geliştirmişlerdir. Kendi çalışmalarından önce bulanık sayılar ile proje çizelgelemesi üzerine çalışan hiçbir bilim insanının etkinlik ağının geriye doğru hesaplanmasında ortaya çıkabilecek fenomenlerden bahsetmediğine değinerek etkileşimli sıradan bulanık çıkarma operatörü kullanmak yerine iyimser bulanık operatörü kullanılmasının uygun olduğunu çalışmasında belirtmiştir.

Mon vd.(1995), çalışmalarında proje yönetimi kapsamında bir proje çizelgeleme probleminde bulanık pert yöntemi ile çalışılmış, bulanık ifade edilen faaliyet süreleri için kullanılan algoritma dışında aynı zamanda çizelgeleme ve maliyet analizinin üzerinde bulanık dağılımlar uygulamışlardır.

Shipley vd. (1997), çalışmalarında sekiz faaliyetten oluşan gerçek hayata ait bir projeye genişleme prensibi ile bulanık olasılık dağılımlarını birleştirerek oluşturdukları farklı bir bulanık PERT algoritması uygulamışlar ve faaliyet sürelerini üçgen bulanık sayılar ile ifade etmişlerdir

Wang (1999), bulanık başlangıç zamanı, öncelik ve kaynak kısıtları bulunan her faaliyet için başlangıç zamanına karar vermek üzere kesin olmayan ve geçici bilgiye sahip ürün geliştirme projelerinin PERT algoritmasıyla çizelgelenmesi için yamuk bulanık sayı fonksiyonlu bulanık küme yaklaşımı geliştirmiştir.

Pontrandolfo (2000), stokastik şebekede proje süresi hesaplama ile ilgili Bulanık PERT tekniği kullanarak bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile beraber tahmin edilen faaliyet zamanlarının belirsizliği ve karmaşıklığından dolayı proje çizelgelemede uygulanan stokastik proje çizelgeleme analizinden sonra, bulanık proje sürelerini geliştiren denklemler türetilmiştir.

Chen vd. (2001), bulanık bir proje ağında olası kritik yolları bulmak için netleştirilmiş ağırlık ortalama metoduyla defuzzifikasyon yöntemini kullanmışlardır.

Chanas ve Zielinski (2001), bulanık faaliyet süreleri ile proje şebekesinde kritik yamayı analiz etmiş ve genel bir şebekede en geç başlama zamanında belirlenen aralıklar için, her bir faaliyetin çalışma sürelerinin kesin bir değer, aralık veya bulanık bir sayı olarak temsil edilebileceğini öngörerek polinom algoritmalar geliştirmiştir. Ayrıca bir faaliyet ağının tüm kritik yollarını arama problemi ancak üstel bir hesaplama süresi içinde çözülebilir anlayışı ile aynı yollar için olsa bile, bulanık kritik yolun farklı tanımlanması durumunda kritiklik derecesinin hesplanmasının zorlaştırdığını belirtmiştir.

Chanas vd (2002), son faaliyetin en erken başlama ve en geç bitirme süreleri için, geriye doğru bulanık hesaplama yapılamayacağını iddia etmiş ve geriye doğru hesaplamayı yapabilmek adına başlama süresi hesaplamaları için deterministik veya bulanık hedef zamanını ayrı ayrı sabitlemeyi önermiş ve takip eden bir olayın kritiklik derecesini tanımlamıştır.

Van Drop ve Kotoz (2002) PERT metodolojisindeki dört parametrelili dağıtımın sunduğu avantajlardan yararlanan ve bulanık sayıların kullanıldığı iki taraflı güç dağılımını içeren bir olasılıklı algoritma geliştirmişlerdir. Kaynak dağılımının ve

ihtiyaç duyulan tamamlanma zamanının tamamen belirlenebilmesi için, Beta Dağılımı ile aynı olan her zamanki “iyimser zaman”, “kötümser zaman”, “büyük olasılıkla gerçekleşecek zaman” üç parametre çalıştıkları algoritmada kullanılmıştır

Dubois vd. (2003a), bilinmeyen sürelerle sahip faaliyet şebekelerinde en son başlangıç zamanlarında ve boşluklar (floats) üzerine çalışmıştır. Rassal olarak seçilen etkinlikler dizisi için kritik bir yoldaki her bir faaliyete farklı bir önem düzeyi tayin etmişlerdir.

Dubois vd. (2003b), çalışmalarında faaliyetleri ile ilgili eksik bilgiye sahip olunması sebebiyle bulanık küme teorisinden yararlanılan ve bulanık PERT algoritması kullanılan bir proje çizelgeleme probleminde bulanık planlama üzerine çalışmışlardır.

Slyeptsov vd. (2003), şebeke modeline dayalı proje yönetimi operasyonlarında bulanık zamansal özelliklerini araştırmışlardır. Süreç içerisindeki bulanık geçici parametrelerin ağ üzerindeki konumunu ve zamanlama üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Zadeh'in uzatma ilkesinin kritik yol yöntemine doğrudan uygulanmasına dayanarak işlemlerin geçici özellikleri üzerinden geçici modeller önerilmiştir. Boşluk zaman için bulanık zaman pencereleri üzerinde hesaplanma yöntemi ve grafik ayrıştırma temeli ile her faaliyet için en son başlama ve tamamlanma süreleri hesaplanmıştır.

Han vd. (2006), Havaalanlarının yer hizmetlerine ilişkin kritik işletme süreçlerinde bulanık CPM yönteminin nasıl kullanıldığını göstermek amacıyla faaliyet sürelerini yamuk bulanık sayı fonksiyonu ile ifade etmişlerdir.

Chen ve Huang (2007), çalışmalarında üçgen bulanık sayılar ile ifade edilen faaliyet zamanlarına sahip bir faaliyet dizisinde kritik yolun tanımlanması için PERT metodu ve bulanık küme teorisini birleştiren bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Söz konusu çalışmada faaliyetlerin ve yolların kritiklik derecelerini hesaplanarak kritik yol belirlenmiştir. Sunulan teknikte bir olasılık

indeksi tanımlanmış ve projenin herhangi bir zamanda tamamlanma ihtimalini hesaplamışlardır. Bu tez çalışmasında Chen ve Huang'ın bu çalışmalarında önerdikleri yöntem kullanılmıştır.

Long ve Ohsato (2008), çalışmalarında, kaynak kısıtlamaları olan ve belirsizlik altındaki projelerin çizelgelemesini yönetmek için bulanık kritik zincir yöntemini sunmuşlardır. Kaynak kısıtlamaları altında belirleyici bir program oluşturarak ve sonra belirsizlikle başa çıkmak için seçilen kritik zincirin sonuna bir proje tamponu ekleyerek, hem planlama hem de uygulama aşamalarında kaynak kısıtlamaları ve belirsizlik altında programlama için pratik ve kullanışlı olduğunu savundukları bir yöntem geliştirmişlerdir.

Chen ve Hsueh (2008), çalışmalarında; bulanık faaliyet zamanlarına sahip bir proje Şebekesinde kritik yolun belirlenmesi için analitik bir yöntem sunmuşlardır. Bulanık Küme Teorisinin uygulandığı PERT yöntemini kullanarak yeni bir çözüm formülü oluşturdukları proje çizelgeleme probleminde, sadece tüm projenin değil her bir faaliyetin ve faaliyetler arasındaki tüm yolların kritiklik derecesini belirlemişlerdir. Ayrıca bir olasılık listesi tanımlayarak, projenin belirli bir zamanda tamamlanma ihtimalini de göz önüne almışlardır.

Hsiau ve Lin (2009), tesis inşaatına ilişkin proje çizelgeleme problemi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada yamuk bulanık sayılar ile bulanık PERT yöntemini kullanmışlardır.

2.3. Meta Sezgisel Yöntemlerin Klasik Proje Çizelgeleme ve Bulanıklık İçeren Proje Çizelgeleme Problemlerinde Kullanılması

Proje Çizelgeleme problemleri, veri çeşitlerine, kısıtların durumuna ve değişken sayısına bağlı olarak zorlaşabilmektedir. Deterministik yöntemlerle çözüm üretmek bu tarz zor diye nitelendirilen problemlerde, hem modelleme aşamasında hem de algoritmaların işleyişiyle yapılan hesaplanmalarda zorluk çıkarmaktadır. Bu zorluk, genelde istenilen sonuca ulaşamamaya neden olurken bazı durumlarda kabul edilebilirliğin dışında kalan sonuçların elde

edilmesine de sebebiyet verebilmektedir. Sezgisel algoritmaların zor diye nitelendirilen problemlerin çözümünde kullanılması kısa bir zamanda sonuca ulaşmayı sağlamakla beraber her zaman global eniyi sonuca ulaşamayabilir. Bu aşamada devreye sezgisel yöntemlerin bir derece daha uzmanı olarak kabul edilen Meta sezgisel yöntemler girmektedir. Meta sezgisel yöntemler genelde makine çizelgeleme ve proje çizelgelemede daha çok kullanılmaktadır.

Meta sezgisel yaklaşımların uygulandığı gerçek hayat problemleri üzerinde faaliyet sürelerinin çoğunun bilgi ve tecrübe kullanılarak tahmin edilmesi gerekliliğinden hareketle ve firmalardaki revizyon proje planlamasının belirli bir süre içinde tamamlanmasını sağlayan esnek bir yaklaşım oluşturmak üzere çalışmalar, bulanık sayıların kullanımına doğru yönelmiştir.

Bulanık proje çizelgeleme problemlerin metasezgisel algoritmalar ile çözümü üzerinde çalışanlar, genelde yaptıkları çalışmalarında, bulanık ortamda bulanık karar vermede sadece parametrelerin değil, karar değişkenlerinin de belirsiz olduğunu düşündükleri için bu kavram altında karar değişkenlerinin yanı sıra, amaç fonksiyonlarının optimal olasılık dağılımlarını hesaplanmasının yapılmasını ve buna karşılık amaç fonksiyonu ve karar değişkenleri için metasezgisel algoritmalar aracılığı ile en optimum değerleri bulmayı amaç edinmişlerdir.

Bu konularda yapılan temel çalışmalar tarih sırası ile aşağıda verilmiştir;

Glover (1989a; 1989b), tarafından proje çizelgeleme problemleri için önerilen tabu arama yöntemi, elde edilen son çözümün etrafında yerel eniyi çözümü arayan bir yöntemdir. Algoritmada tabu tanımı, bir yerel eniyi çözümden ayrılan operatörün hemen sonra tekrar aynı yerel eniyi çözüme yönelmemesi üzerine önlem olarak geliştirilen son adım olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla buradanda anlaşılaacağı üzere projede tabu listesi dinamiktir. Algoritmaya yeni bir hafıza üretmek için, söz konusu tabu listesine yeni bir üyenin girmesi durumunda, listede en uzun süre yer alan üye liste dışına aktarılır.

Leon ve Ramamoorthy (1995), ise çalışmalarında seçtikleri problem üzerinde her bir faaliyete j , ve karakteristik reel bir sayıyı, r_j olarak atayan bir algoritma kullanarak rassal anahtar gösterimi ve tek noktadan çaprazlama kullanarak paralel proje çizelgeleme tekniği uygulamışlardır. Çalışmalarında başlangıç çözümü için anahtarlar, öncelik kuralına göre belirlenmiştir.

Kennedy ve Eberhart (1995), çalışmalarında birleştirici parçacık sürü optimizasyonu algoritmasıyla çok modlu kaynak kısıtlı birden çok proje zamanlama problemi üzerine çalışmışlardır. Faaliyet sırasının faaliyetlerin önceliğine dayalı düzenlendiği parçacık sürü optimizasyonun modlarını atamak üzere ve Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Birden Çok Proje Zamanlama Sorununu çözmek için tasarlanan birleşik, öncelik bazlı hibrit parçacık sürü optimizasyonu algoritması geliştirmişlerdir.

Lee ve Kim (1996a), çalışmalarında genetik algoritmada rassal anahtar gösterimi ile birlikte tüm optimal çözümlerin dışarıda bırakılması ihtimalinin ortadan kaldırılması amacıyla tek noktadan çaprazlama kullanarak paralel proje çizelgeleme tekniğini kullanmışlardır.

Lee ve Kim (1996b), çalışmalarında proje çizelgeleme probleminde çözüm oluşturmak adına kısıtlı bir çiftli yer değiştirme tekniği ile tavlama benzetimi yöntemini ve rassal anahtar gösterimi ve rassal anahtar gösterimlerinin şifre çözücü prosedürü olarak paralel çizelgeleme yöntemini kullanmışlardır.

Lee ve Kim (1996c), çalışmalarında proje çizelgeleme problemi üzerinde tabu arama yönteminde rassal anahtar gösterimi ve paralel proje çizelgeleme teknikleri uygulamışlardır.

Boctor (1996), çalışmasında tavlama benzetimi yöntemi ile oluşturulan algoritmada, faaliyet listesi kullanılarak seri proje çizelgeleme tekniği uygulanmıştır. Komşu çözüm kümesinin tanımlanması ve arama işleminin gerçekleştirilmesinde “öteleme vektörü” kavramı kullanılmıştır. Bu algoritmada, herhangi bir faaliyetin başlangıç zamanı ile bu faaliyetin

öncüllerinin arasında en geç bitenin tamamlanma zamanı, öteleme vektörünün o faaliyete karşılık gelen değerinin toplamı ile ifade edilmiştir. Her faaliyeti için öteleme vektörünün o faaliyete karşılık gelen değerleri üstünden bir arama gerçekleştirilmiştir.

Baar vd. (1997), çalışmalarında sezgisel karar kuralları başlangıç çözümleri için geçerli olmak üzere tabu arama yöntemi uygulanmış ve modelleme kapsamında hem elde edilen çözümün gösterimi hem de komşu küme tanımı için iki farklı metod geliştirilmiştir.

Cho ve Kim (1997), Lee ve Kim'in (1996) tavlama benzetimi yöntemi ile çalıştıkları makalelerinden esinlenerek farklı bir modelleme üzerinde çalışmışlardır. Söz konusu farklılık; bazı atanabilir faaliyetlerin ertelenmelerine izin verecek şekilde rassal anahtar gösterimini değiştirerek değişime uygulanabilir paralel proje çizelgeleme yöntemini geliştirmişlerdir.

Sivrikaya Şerifoğlu (1997), çalışmasında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminde sunduğu genetik algoritma yaklaşımını indirgenmiş nakit akışının eniyilenmesi hem de proje süresinin minimize edilmesi için uygulamıştır.

Mori ve Tseng (1997), çalışmalarında yalnız yenilenebilir kaynaklarına sahip proje çizelgeleme modeli üzerinde genetik algoritma yaklaşımı uygulamışlardır. Söz konusu algoritma kapsamında kromozomun her geninde farklı bir faaliyet numarası atamışlardır. Bahsedilen faaliyet üzerinde başlangıç ve bitiş zamanları ve atama dizisine göre belirlenmiş çizelgeleme sırası bilgilerini taşıyan bir kod mevcuttur.

Hapke ve Slowinski (1996), çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde kullanılan o dönemde hali hazırda mevcut olan öncelikli sezgisel yöntemlerde olduğu gibi zaman parametrelerini kesin değer yerine bulanık olarak ele almışlar ve probleminin çözümünde, metasezgisel yöntemlerden biri olan tavlama benzetimi metodunu kullanılmışlardır.

Hapke vd. (1997), çalışmalarında çok sayıda kaynak kısıtı bulunan proje çizelgeleme problemlerinde toplam beklenen proje süresinin en aza indirilmesi için faaliyetlerin sürelerini bir proje faaliyet dizisindeki her bir faaliyetin en erken başlangıç zamanını hesaplamak üzere bulanık zaman parametreleri şeklinde ele alarak lineer olmayan 0-1 tamsayılı programlama üzerinden modelleme yapmışlardır. Ayrıca yine aynı problem üzerinde bulanık sayılar için güçlölülük parametresine ait değerlerin karşılaştırmasını yapmak üzere Pareto analizi uygulamışlar ve tavlama benzetimi kullanarak çizelgeleme yapmışlardır. Ayrıca projelerinde elde edilen çözümlerin etkileşimlerinin analizi üzerinde de kullandıkları “Işık Hüzmesi Arama” tekniği ile oluşturulan çizelgelerin en uygulanabilir ve en iyi olanı seçme konusunda karar vericiye yardımcı olmuşturlardır.

Hartmann (1997), Genetik Algoritma ile modellenen bir kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışmıştır. Bu algoritmada, öncüllük ilişkileri üzerinden oluşturulan faaliyet dizisi kromozom olarak atanmış ve kromozomlar da her faaliyete özgü seçilen modların bulunduğu bir kodlama ile sunulmuştur. Faaliyet listesinin çizelgeye dönüştürülmesinde seri çizelgeleme tekniği kullanılmış olup, uygulama bir çözüme ulaşana kadar ve belirli bir sayıda (programda sınırladıkları iterasyon sayısı miktarında uygulama yapılanaya kadar) iterasyon devam etmiştir. Genetik Algoritma yaklaşımı ile elde ettiği çözüm üç sezgisel yöntemle karşılaştırılmıştır. En iyi proje süresindeki ortalama sapma kriterine göre diğer üç sezgisel yöntemden daha iyi sonuçlar vermesi nedeniyle sunulan yeni yaklaşımı önermiştir.

Hapke vd. (1998), çalışmalarında bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri için tavlama benzetimi tekniği ile çok amaçlı eniyileme çözüm metodlarının birleşimi bir yöntem uygulamışlardır. Daha gerçekçi olmak adına çok amaçlı bulanık proje planlaması problemlerindeki olasılıksal nitelikteki belirsizliklerin çözümünde en iyi çözüm şeklinin bulanık küme kullanımı olduğunu savunarak, belirsiz zaman parametrelerinin, gerçek sayının bulanık sayıları, yani normalize edilmiş dışbükey bulanık altkümeleri olarak modellemişlerdir.

Bouleimen ve Lecocq (1998a), çalışmalarında proje çizelgeleme probleminin çözümü için kullandıkları tavlama benzetimi yaklaşımında faaliyet listesi gösterimi üzerinde seri çizelgeleme uygulayarak çalışmışlardır. Söz konusu çalışmada faaliyetler, öncülü olmayan ilk faaliyet ve ardılı olmayan son faaliyet hariç olmak üzere en geç başlayan öncül faaliyet ile en erken başlayan ardıl faaliyetin arasında yer almaktadır. Komşu çözüm için herhangi bir faaliyet seçerek algoritma ile en geç başlayan öncül faaliyet ile en erken başlayan ardıl faaliyet arasında bir alana rastgele atanması sağlanır. Projelerinde uygulanan sayısal verilere dayanan deneylerin başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bouleimen ve Lecocq (1998b), çalışmalarında karmaşık ve büyük boyutlu problemler için faaliyet listesinin çizelgeye dönüştürülmesinde seri çizelgeleme uygulanarak tavlama benzetim yaklaşımını kullanmışlardır. Projelerinde modlar faaliyetlerden ayrı bir liste olarak tutulmakta olup; faaliyet listesindeki yer değişimi ile yeni bir faaliyet listesinin türetilmesinden sonra rasgele seçilen herhangi bir faaliyet için mod değişikliği uygulanır. Eğer mod seçimi uygun ise, yeni bir komşu çözüm elde edildiği kanısına varılır ve amaç işlevi değeri hesaplanarak algoritmaya devam edilir. Mod seçimi uygun değilse, mod değişikliği için rassal olarak herhangi bir faaliyet yeniden seçilir. Ve algoritma başa döner Bu uygulama uygun bir mod seçilip bir çözüme ulaşana kadar devam eder. En son aşamada yeni bir faaliyet listesi üretilir. Çalışmasında ele aldığı tavlama benzetimi algoritmasının önceki çalışmalarındaki algoritma ile ise benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, eniyi çözümden sapmada önceki çalışmalarının bu çalışmada kullandıkları algoritmadan daha kötü sonuçlar rapor edildiğine değinmişlerdir. Algoritmada faaliyet sayısı artıkça daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Hartmann (1998), çalışmasında proje çizelgeleme probleminde genetik algoritması yaklaşımı uygulamıştır. Projede, faaliyet listesinin her gösteriminde, seri çizelgeleme kullanılarak genetik algoritma mantığında tek noktadan çaprazlama, çift noktadan çaprazlama ve düzgün sıralı çaprazlama metodları kıyaslanmıştır. Projedeki faaliyetler kromozom üzerinde öncüllük

kriteri göz önüne alınarak sıralanmış olup; söz konusu sırada en erken başlangıç zamanı dikkate alınarak atama yapılır ve bu şekilde faaliyetlerin çizelgesi oluşur. Öncelik tabanlı parçacık gösterimi, faaliyet listesi çizelgesinden farklı olmaz ve uygulanamayan bir çizelgeyi kapsamaz

Tsai ve Gemmill (1998), çalışmalarında rassal hale getirilmiş bulanık faaliyet süreleri olan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine çözüm getirmek üzere çoklu tabu listeleri kullanmış ve mevcutta kullanılan sezgisel algoritmalarından çok daha üstün olduğunu savundukları tabu araştırmalarını içeren bir algoritma geliştirmişlerdir.

Leu and Yang (1999), çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde bulanık sayıların kullanılmasını tercih edilerek genetik algoritma yöntemi ile çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Söz konusu çalışmada proje çizelgesinin uygulanabilirliğine karar vermek amacıyla iş yükü planı kurulmuş ve mevcut kapasite ile bu plan karşılaştırarak verimli kaynak kullanımı için kaynak seviyelendirme tekniği uygulanmıştır.

Özdamar (1999), çalışmasında kaynak kısıtlı çizelgeleme problemi üzerine özel bilgilerin de yer aldığı bir melez Genetik algoritma yaklaşımı geliştirmiştir Bu yaklaşımda, kullanılan melez algoritma üzerinde kromozomlar dolaylı bir kodlama kullanılarak, ilki faaliyetler için atanmış moda ait, diğeri bir grup öncelik kuralından belirlenen bir kural numarası olan iki boyutlu bir kromozom yapısı tanımlanmıştır. Kromozomların faaliyetlerin işlemdeki numarasına ve çizelgelemedeki önceliğinin bilgilerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada, bu yaklaşımla, uygun bir çalışma süresi içinde yaklaşık eniyi sonuçlara ulaşıldığı gösterilmiştir.

Brucker ve Schumacher (1999) çalışmalarında proje çizelgeleme probleminde tabu arama algoritması geliştirmişlerdir Her denetçinin yalnızca belirli zaman pencerelerinde mevcut olduğu ve aşağıda ve yukarıda sınırlanmış bir iş yüküne sahip olması gereken bir denetim sorunu için iki aşamalı bir tabu arama prosedürü sunmuşlardır. Kullandıkları yöntemin, zaman içerisinde yeni işlerin

eklendiği ve periyodik olarak yeniden planlamanın gerekli olduğu dinamik sorunları çözmek için ve rakip yöntemlerin kıyaslanması için uygun olduğunu savunmuşlardır.

Hegazy (1999), çalışmasında kaynak kısıtlı kritik yol çizelgeleme problemlerinin önceden belirlenmiş kaynak sınırlamaları ile tutarlı bir program hazırlamayı gerektiğinden hareketle altı kaynak ile yirmi faaliyete sahip bir projeyi baz alan proje programlama yazılımı geliştirmiştir. Söz konusu yazılımda genetik algoritma yaklaşımını temel almıştır. Proje programlama modelinin, mümkün olan en kısa proje süresi olan bir ağ planı oluşturmak gibi bazı önceden tanımlanmış bir hedefleri yerine getirmesi gerektiğini savunmuştur.

Fargier vd. (2000), çalışmasında proje çizelgeleme probleminde faaliyet zamanları için bulanık aralıklar kullanarak belirsiz olasılıklı problemleri paralel diyagram serileriyle çözen bir polinom metodu önermiştir. Karar vericilere sadece en erken başlangıç tarihlerini değil, aynı zamanda esnek ve bolluk zamanları ile en son başlangıç tarihlerini bulanık kümeler aracılığıyla kritiklik derecelerinin kolayca yerine getirilebilecek zaman olarak sağlandığını savunmuşlardır. Öncelikle önemli ara süreleri belirleyerek daha sonra bulanık süreleri kesiklere ayırmışlar ve daha ileriki aşamada da ilgili alfa kesim seviyelerini belirleyerek sürelerin uzatımını bu bulanık aralıklara yapmışlardır.

Hapke ve Slowinski (2000), diğer çalışmalarında olduğu gibi bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi üzerinde seri ve paralel öncelik kurallarını geliştirmişlerdir. Bulanık parametreler ile tavlama benzetimi algoritmasını kullanmışlardır.

Jozefowska vd. (2001), proje çizelgeleme problemlerini genetik algoritma tavlama benzetimi ve tabu arama yöntemi ile çözümünü üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında faaliyet listesi ve mod listesi üzerinde iki farklı çözüm yöntemi geliştirmiştir. Bir yaklaşım uygun çözümler ile proje süresini en azlamayı amaçlarken ikinci yaklaşım ile yenilenemez kaynaklar üzerinde uygun olmayan çözümleri de kullanırken uygunluğa amaç fonksiyonuna ilave edilen kısıt

ihlalinin bir işlevi olan ceza fonksiyonu ekleyerek ulaşmaya çalışır. Çalışmalarında, inceledikleri problem için özel, basit bir sezgisel algoritma kurulabileceğini ancak bu şekilde biraz daha kötü sonuçlarla ve optimumdan maksimum sapmayla sonuçlanmasına neden olabileceğini savunmuşlardır.

Wang (2002), çalışmasında ürün geliştirme projesindeki geçici kısıt parametrelerine ait değerlerin minimizasyonu ve memnuniyet değerlerinin maksimizasyonu için bulanık proje çizelgelemesi yaklaşımını benimsemiştir. Oluşturulan çizelgenin performansının ölçümünde kullanılmak üzere çizelge riski kavramını tanımlamışlar ve çalışmalarında çizelgeleme riskini en aza indirmek için bulanık ışın algoritması yöntemini; belirsiz olan geçici bilginin modellenmesi için olasılık teorisini geliştirmişlerdir.

Wang (2004), kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini çözmek için en kötü durum çizelgesinin en iyilenmesi altındaki sorununu gidermek amacıyla genetik bir algoritma uygulamıştır.

Pan ve Yeh (2003a), bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgelemede optimal çözüm elde etmek için bulanık genetik algoritma yaklaşımı ile tabu arama algoritmasının birleşimi ile hibrit bir algoritma oluşturmuşlardır. Gerçek hayatta var olan bir proje kontrol çizelgesini bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi olarak ele alıp geliştirdikleri algoritma ile problemi çözümlenmişlerdir. Geliştirdikleri bu algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemede kesinleştirilmiş ve bulanık sayıları birlikte kullanabildiklerini savunmuşlardır.

Pan ve Yeh (2003b), çalışmalarında bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerini çözmek üzere metasezgisel modellerden biri olan tavlama benzetimi algoritması kullanmışlardır.

Pan vd. (2004), çalışmalarında çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini çözmek üzere bulanık çok amaçlı bir modelin formüle edildiği bulanık matematiksel optimizasyon yöntemini kullanmışlardır

Zhang vd (2006), çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için parçacık sürüsü optimizasyonu ile çözüm önerisi sunmuşlardır. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine yönelik parçacık sürüsü optimizasyonu tabanlı yaklaşımın, arama sırasında tek yönlü deneyim paylaşım mekanizması gibi özelliklerinin olması nedeniyle genetik algoritması yaklaşımından daha etkili olduğunu savunmuşlardır.

Ke ve Liu (2007), çalışmalarında faaliyet zamanlarını rassal bulanık değişkenler olarak kabul edip, üzerinde çalıştıkları proje çizelgeleme problemini rassallık ve bulanıklıkla karışık bir belirsizlik içinde ele almışlardır. Farklı yönetim gereksinimlerini karşılamak için “beklenen maliyet minimizasyon modeli”, “maliyet minimizasyon modeli” ve “şans maksimizasyon modeli” olmak üzere üç farklı rassal bulanık model sunmuşlardır. Hibrit akıllı algoritmanın tasarımında bazı belirsiz fonksiyonlar için rassal bulanık simulasyon ve genetik algoritma ile çalışılmıştır.

Liu vd. (2007b), çalışmalarında bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için faaliyet listesini oluşturmak için bulanık sayıları kullanarak farklı bir yerel arama algoritması geliştirmişlerdir. Rekombinasyon sürecinde projeye özgü tasarladıkları operatörleri yerel arama algoritması ile hesaplama işleminde kullanmışlardır. Gelecek nesilleri oluştururken rulet çemberi ve elit seçilimi modellerinin kombinasyonu ile özel bir model geliştirmişlerdir. Projenin çizelgelenmesinden elde edilen sonuçlara göre geliştirdikleri algoritmanın başarılı olduğunu savunmuşlardır.

Liu vd. (2007a) çalışmalarında belirsiz faaliyet sürelerine sahip kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin çözümünde genetik algoritma kullanmışlardır. Belirsiz faaliyet zamanlarının ifadesinde bulanık sayıları kullanarak, proje tamamlanma zamanının minimum süresini genetik algoritma ile hesaplamışlardır.

Liu ve Wan (2008), çalışmalarında bulanık sürelerle sahip proje çizelgeleme problemleri üzerinde yerel arama algoritması geliştirmişlerdir. Öncelik kısıtları bulunan ve bulanık sayılar ile ifade edilen faaliyet çizelgesinde probleme özgü geliştirilen rekombinasyon operatörleri ile yerel arama algoritmasını uygulamışlardır.

Eshtehardian vd. (2008), deterministik olmayan bir proje çizelgeleme probleminde yeni bir zaman maliyet optimizasyon modelini pareto analizi ile çözmek üzere bulanık mantığa ve genetik algoritmasına dayanan karma bir yaklaşım uygulamışlardır.

Abdallah vd. (2009), çalışmalarında bir inşaat projesi üstünde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasını uygulamışlardır.

Huang vd. (2009), çalışmalarında genetik algoritma meta sezgisel tekniğini bulanık simülasyon yöntemi ile bütünleştiren bir algoritma geliştirmişler ve söz konusu algoritmayı kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır.

Aghaie ve Mokhtari (2009), çalışmalarında belirsizlikler altında proje çökme (crash) problemleri için karınca kolonisi optimizasyonu ve Monte Carlo simülasyon tekniğine dayalı faaliyetlerin ayrıık maliyet fonksiyonlarına tabi tutulduğu ve katlanarak dağıtıldığı varsayılarak güven düzeyinde bulanık yeni bir yaklaşım benimsemişlerdir

Zhang ve Xing (2010), Bulanık zaman-maliyet-kalite ödünleşim proje çizelgeleme problemini çözmek için bulanık-çok amaçlı bir parçacık sürüşü optimizasyonu kullanılmıştır. Zaman, maliyet ve kalite bulanık sayılarla tanımlanmış ve seçilen yöntemleri değerlendirmek için kısıtlı bulanık aritmetik işlemlerle birleştirilen bulanık çok amaçlı yarar metodolojisi kullanılmıştır.

Wang ve Huang (2010), çalışmalarında bulanık programlama modelleri ile gösterimi bulunan kaynak kısıtlı yazılım geliştirme projesinin çizelgelenmesi için genetik algoritma ve bulanık simülasyonu birleştirerek yeni hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir. Projelerinde karar sürecinin farklı ihtiyaçları için “beklenen maliyet modeli” ve “güvenilirlik eniyileme modeli” olmak üzere iki farklı model tasarlamışlardır.

Ke ve Liu (2010), çalışmalarında bulanık faaliyet süreli proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde bulanık simülasyon ve genetik algoritmayı birleştirerek hibrit metasezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Projedeki eniyileme hedeflerine ulaşmak için, “beklenen maliyet modeli”, “maliyet enazlama modeli” ve “güvenilirlik eniyileme modeli” olmak üzere üç farklı bulanık model geliştirmişlerdir.

Elloumi ve Fortemps (2010), çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine uygulanan genetik algoritma kullanarak derecelendirme tabanlı evrimsel bir hibrit algoritma önermiştir. Algoritmanın erken bir yakınsamasından kaçınmak için, K-ortalama algoritması ve hiyerarşik kümeleme yöntemleri uygulamışlardır.

Huang vd. (2011), çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için bulanık zaman parametrelili Genetik Algoritma kullanmışlardır. Kullanılan genetik algoritma, bulanık paralel program oluşturma şemasıyla entegre olmuştur. Faaliyet süreleri için iki bulanıklaştırma yöntemi benimsenmiş olup; projede yapılan testler sonucunda üçgen bulanık zaman parametrelerinin daha uygun sonuçlar verdiği belirtilmiştir

Chen vd. (2011), çalışmalarında belirsizlik altındaki çok modlu kaynak kısıtlı proje planlama problemini çözmek üzere kaotik parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasına dayalı yeni bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Faaliyet zamanındaki belirsizlikleri göstermek için bulanık sayılar kullanılmıştır Bulanık proje tamamlanma süresini minimize etmek için kaotik parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması kullanan bir arama tekniği benimsemişlerdir.

Masmoudi ve Haït (2011 b), çalışmalarında kaynak seviyelendirme problemi için genetik bir algoritma geliştirmiştir. Üzerinde çalıştıkları problemde proje çizelgeleme için bulanık bir model sunmuşlardır. Hem taktiksel hem de operasyonel planlama aşamaları için kaynak iş yükü oluşturma metodu önermişlerdir.

Masmoudi ve Haït (2013), çalışmalarında modelleme ve çözme prosedürünün her aşamasında belirsizliği korumaya yönelik bir yaklaşım sunmuşlar ve problemlerinde iki proje çizelgeleme tekniğini ele alınmıştır. Bulanık ortamda kaynak kısıtlı çizelgeleme üzerinde açgözlü (greedy) algoritma uygulamakla beraber bulanık kaynak seviyelendirme problemi üzerine de genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Meng ve Wang (2013), çalışmalarında, belirsiz ortamdaki verilerin bulanık doğasını göz önünde bulundurarak kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Problem üzerinde yapay bağışıklık algoritması kullanarak bir çözüm yaklaşımı sundu.

Afruzi vd. (2013), çok modlu bir kaynağın kısıtlı, ayrık zaman maliyet ödünleşim problemi olduğu düşündüğü proje çizelgeleme problemi üzerinde çözmek için ayarlanmış bulanık baskınlık modelli genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Xu ve Feng (2014), çalışmalarında bulanık rassal ortamlardaki büyük ölçekli inşaat projeleri için çok amaçlı çok modlu bir kaynak kısıtlı proje çizelgeleme modeli sunmuşlardır. Maliyet, ağırlıklı tamamlanma zamanı ve kaliteyi hedef olarak benimseyerek geliştirilen modeli çözmek için kombinatoriyal öncelikli bir hibrit parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanmışlardır.

Hassanpour vd. (2014), çalışmalarında bulanık veri içeren proje çizelgeleme problemi için Tavlama benzetimi algoritmasını kullanmışlardır.

Ke vd. (2015), çalışmalarında, proje çizelgeleme problemini çözmek için simülasyon süreci ve program oluşturma şemaları olarak birleştirerek ve Genetik Algoritmayı diğer çözüm teknikleriyle bütünleştirerek hibrit bir algoritma geliştirilmiştir.

Mogaadi ve Chaar (2015), Çalışmalarında proje çizelgeleme problemi üzerinde Genetik Algoritma ve ileriye doğru iyileştirme sezgiselini birleştiren bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir ve kullandıkları algoritmanın başarılı bir sonuç verdiğini savunmuşlardır.

Kaveh vd. (2016), bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini çözmek için ücretli sistem araştırması (CSS) ve çarpışan gövde optimizasyonu (CBO) olarak bilinen iki yeni metaheuristik algoritmayı kullanmışlardır.

Ma vd. (2016), faaliyet sürelerinin inanma seviyelerine göre tahmin edildiği belirsiz bir ortamda yenilenebilir kaynak kısıtlamaları olan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Projelerinde yarı-optimal programı elde etmek için genetik algoritma ve 99 metod tabanlı belirsiz simülasyon temelli bir karma yaklaşım kullanmışlardır.

Wang ve Ning (2017), çalışmalarında genellikle inanma seviyeleri ile tahmin edilen, belirsiz değişkenler olarak varsayılan ve tarihsel veri içermeyen faaliyet sürelerinin yer aldığı belirsiz bir proje çizelgeleme probleminde belirsiz bir şans kısıtlaması olan programlama modelini çözmek için yeni bir Genetik Algoritma geliştirmişlerdir Farklı yönetim hedeflerine ulaşmak üzere, şans çizelgesinin önceden belirlenmiş bir güven seviyesine ulaşması gerektiği için üç belirsiz şans kısıtlı programlama modeli oluşturmuşlardır.Söz konusu bu modellerin hepsi optimum çizelgeyi bulmak için kesin formlarına dönüştürülebilinen yapıdadır.

Ji ve Yao (2017), çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde faaliyet sürelerinin ve kaynak ayırma sürelerinin belirsiz değişkenler olarak tanımlandığı belirsiz, çok amaçlı bir programlama modelini

çözmek üzere Genetik Algoritma'yı kullanmışlardır. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin de Genetik Algoritma kullanımının, diğer proje çizelgeleme problemlerinin çözümüne göre faaliyet sayısının fazla olması sebebiyle daha tercih edilir olduğunu savunmuşlardır.

2.4.Paralel Kanguru Algoritması

Paralel kanguru algoritması Pollard (1978) tarafından ortaya atılmıştır. İlgili çalışmada, kesikli logaritmik optimizasyon problemlerinin çözümü için “rho” ve “kanguru” isimli iki metot geliştirilmiştir. Metotların teorisi üzerinde durulmuş, bir problem üzerinde performansları test edilmemiştir. İlk olması sebebiyle daha sonra yapılan araştırmalara yol gösterici özelliği taşımıştır. Pollard’ın çalışmasından sonra bu algoritma sadece çizelgeleme problemleri değil, farklı konulardaki çalışmalar içinde de kullanılmıştır (Pollard, 2000).

Rho yöntemi, Doğum Günü Paradoksuna dayanan kesikli logaritmalar (Discrete logarithm) için kullanılan bir algoritmadır. Pollard rho yöntemi aynı zamanda sadece ihmal edilebilir alan gereksinimleri olan zaman karmaşıklığına sahiptir. Pollard rho yöntemi önce periyodik olarak tekrar eden bir element dizisini tanımlayarak, ardından dizide bir eşleşme arayarak çalışan yüksek olasılıklı ayrık logaritma probleminin çözümünü sağlayan bir algoritmadır (Wang ve Zhang 2012) .

Kanguru veya lamda (λ) algoritmasında ise, hesaplanmak istenilen kesikli logaritmalar (Discrete logarithm) için belli bir aralıkta yabancı ve evcil olmak üzere iki kanguru bulunmaktadır. Bu kanguruların herhangi bir cismin çarpımsal grubunda hareket ettiği varsayıldığında bir kangurunun pozisyonunu bir grup elemanı temsil ettiği belirtilmektedir. Evcil kanguru yolculuğuna rassal bir başlangıç noktasından başlarken yabancı kanguru ise yolculuğuna kesikli logaritmasını hesaplamak istenen her hangi bir başlangıç noktasından başlar. Yani, evcil kangurunun aralığın belli bir noktasından (genelde ortasından) başladığını ve yabancı kangurunun ise aralığın neresinden başladığının belli olmadığı söylenebilmektedir. Yabancı kangurunun yeri evcil kangurunun yolu ile

kesişmesi sonucu elde edilebilir ve söz konusu algoritmanın amacı yabancı kangurunun yerini belirleyip kesikli logaritmayı (Discrete logarithm) hesaplamaktır (Teske, 2000) .

Van Oorschot ve Wiener (1996), yapmış oldukları çalışmada kriptoloji alanında paralel kanguru metodunu çalışmışlardır. Çalışmalarında çakışma arama için önceki yöntemleri gözden geçirmiş ve önceki yöntemlerin doğrudan paralelleştirilmesinin yetersiz olduğunu göstermiştir. Yeni paralel çarpışma arama tekniğini üç soruna uygulamış ve Pollard'ın döngüsel gruplarda ayrık logaritma hesaplamaları için rho ve lambda yöntemlerini paralelleştirmiştir. Sadece bir işlemci kullanılsa bile, yeni lambda metodu orijinal lambda yönteminden 1,64 kat daha hızlıdır sonucuna ulaşmıştır.

Minzu ve Henrioud (1998), kanguru algoritmasını komşulukların belirlenmesini özel bir fonksiyonla tanımlayarak tek modelli ve karışık modelli montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde kullanmışlardır. Çalışmalarında iki kangurunun zıplamalarını baz alarak bir algoritma geliştirmişlerdir.

Fleury ve Gourgand (1998), tek makineli akış tipi çizelgeleme probleminin çözümünde ve sezgiselleri farklı boyutlardaki problemler üzerinde stokastik algoritmalar, genetik ve kanguru algoritması dâhil olmak üzere benzetilmiş tavlama temelli algoritmalar kullanmışlardır.

Gallant vd. (1999), çalışmalarında ikili eliptik eğri üzerinde ayrık logaritmalar bulmak için standart paralelleştirilmiş Pollard lambda algoritması üzerinde çalışmışlardır. Standart yaklaşımdan daha az yinleme gerektiren Pollard lambda çalışmasının E'den türetilmiş bir eşdeğerlik sınıfı kümesinde uygulanışını göstermişlerdir. Tanımlayıcı bir denklemde bulunan eliptik eğrilerin, tanımlayıcı denklem içermeyen türe göre biraz daha az güvenli olduğunu savunmuşlardır.

Van Oorschot ve Wiener (1999), iki kangurunun belli zıplayıştan sonra istenilen çakışmanın bulunabileceğinin iddiası ile ayırt edilebilir nokta metodunu

kullanarak, sıçrama uzunluklarının ortalama değerleri ile kanguru algoritmasının çalışma zamanının minimize edildiğini göstermişlerdir. alışmalarında kesikli logaritma (discrete logarithm) için x sayısının küçük bir aralıktaki olduğu bilgisi mevcutsa kanguru algoritmasının etkili olduğunu savunmuşlardır. Fakat, söz konusu algoritmanın $x \in [0, p]$ aralığında olması durumunda Pollard yönteminin ρ metodundan daha yavaş olduğunu belirtmişlerdir

Pollard (2000), işlem sürelerindeki değişikliği vahşi ve evcil kanguruların zıplamalarıyla çözümlenerek seri ve paralel bilgisayarlar için kesikli optimizasyon problemleri üzerinde çalışmıştır. alışmalarında belirli değer aralıkları kapsamında kesikli logaritma (Discrete logarithm) kullanarak kesin işlem süresi hesaplamıştır.

Jellouli ve Chatelet (2001), çalışmalarında paralel kanguru yöntemi ve tabu arama metasezgiselleri kullanarak olasılıklı stokastik talepler ve teslimat süreleri olan tedarik zinciri problemi incelemişlerdir. Performans lm için talep parametreleri ve tahmin hataları ele alınarak Monte Carlo simulasyonu kullanılmış ve sonuçları kıyaslamak üzere istatistiksel yöntemler uygulanmıştır.

Stein ve Teske (2002), kuadratik fonksiyon alanlarındaki değişmezlerin hesaplanmasında paralel kanguru algoritması kullanmışlardır. Paralel kanguru algoritması kullanılarak yapılan hesaplamada hesaplama süresinin kısaldığını iddia etmişlerdir.

Teske (2003), çalışmasında seri ve paralel kanguru metodlarını kesikli logaritma hesaplaması ile detaylı olarak analiz etmiştir. Literatürdeki kanguru metodu ve rho metodunun birbirine benzerliği açısından yol açtığı kavramsal karmaşıklığa değinmiş ve farklarına detaylı bir biçimde yer vermiştir.

Minzu ve Beldiman (2003), yapmış oldukları çalışmada, tek makine çizelgeleme probleminin çözümü için Genetik Algoritma meta-sezgiseli ile Kanguru algoritmasını birlikte kullanmışlardır. Çalışmada Genetik Algoritma

çeşitlendirme aşamasını gerçekleştirirken, Kanguru algoritması ise paralel stokastik iniş yöntemi yoğunlaşma aşamasını gerçekleştirmektedir.

Minzu ve Beldiman (2007), yapmış oldukları bir diğer çalışmada populasyon temelli iteratif gelişim algortması olan Genetik Algoritma ile iteratif çözüm geliştirme algoritması olan Kanguru algoritmasını birlikte kullanmışlar ve kesikli optimizasyon sistemine paralel melez metasezgisel uygulamasını sunmuşlardır.

Duta vd. (2007), öncelik diyagramı adı verilen, üretilmiş bir cep telefonunu sökme (disassembly) işlemi için Kanguru algoritması kullanmışlardır. Çalışmalarında sökme işleminin faaliyet sırasına göre demontajın modellenmesine ve demontajın yapılacağı makinalara atama işlemlerine dayanan gerçek zamanlı bir kontrol yöntemi sunmuştur.

Serbencu vd. (2007), çalışmalarında kanguru olarak bilinen stokastik paralel kanguru algoritması ve karınca kolonisi sisteminin birleştirip, tek makineli çizelgeleme probleminin çözümü için melez metasezgisel algoritma önermişlerdir.

Engin vd. (2008), çalışmalarında çok amaçlı akış tipi iş çizelgeleme problemleri için paralel kanguru algoritmasını uygulamışlardır. (Kökçam ve Engin 2010)

Öztürk vd. (2008), çalışmalarında atölye tipi çizelgeleme problemini çözmek için paralel kanguru algoritmasını uygulamışlardır.(Kökçam ve Engin 2010)

Yılmaz vd. (2009), çalışmalarında NP zor kapsamındaki iki makineli beklemez akış tipi çizelgeleme problemlerini zaman kısıtının minimizasyonu için paralel kanguru algoritması ile çözmüşlerdir. Kurulan algoritmanın işlevliliğinin ölçümü için gruptama yöntemi kullanılmışlardır.

Marmier vd. (2009), kanguru algoritmasını tamir bakım servisindeki insan kaynaklarının işlere, kaynakların etkin kullanımı ve işlerin tamamlanma

zamanlarının en etkin şekilde gerçekleşeceği şekilde atanmasında kullanmışlardır.

Yılmaz vd. (2010), çalışmalarında paralel kanguru algoritmasını, tamamlanma zamanının minimizasyonu için çok amaçlı akış tipi iş çizelgelemede kullanmışlardır. Ele alınan problem üzerinde geliştirilen algoritmanın işlevliliğini kanıtladıklarını savunmuşlardır.

Kökçam ve Engin(2010), çalışmalarında bulanık proje çizelgeleme problemlerinin meta sezgisel yöntemler ile çözümünü araştırmışlardır ve Paralel Kanguru Algoritması kullanarak proje çizelgeleme problemi çözmüşlerdir Gerçek hayat problemlerinde proje çizelgeleme ihtiyaçları için bulanık küme teorisi kullanılması gerekliliği üzerinde yoğunlaşmışlardır.

Soltani vd. (2010), çalışmalarında tamamlama zamanı ve gecikmeleri minimize etmek üzere çok kriterli çok iş sınıfına sahip çizelgeleme probleminin tek makine üzerinde çözümü için iki güçlü metasezgisel olan genetik algoritmasını ve kanguru algoritmasını önermişlerdir.

Erdem ve Keskindürk (2011), çalışmalarında iteratif çözüm geliştirme algoritmalarından olan kanguru algoritması üzerine çalışılmış, simetrik ve asimetrik gezgin satıcı problemlerine uygulanmıştır.

Baysal vd. (2012), çalışmalarında açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin rassal kanguru zıplamaları ile arama yaparak ve en iyi çözüme ulaşmak amacıyla paralel kanguru algoritması ile çözümünü ele almışlardır. Çalışmada, ulaşılan tamamlanma zamanları (C_{max} -makespan) ve bilinen en iyi çözüm değerleri ve Paralel Kanguru algoritmasından elde edilen sapma yüzdeleri parçacık sürü optimizasyonu metodu aracılığıyla kıyaslanmıştır.

Engin ve Küpeli (2017), çalışmalarında insanın öğrenme yeteneğini öğrenme etkisi olarak ele alıp, bulanık sayılar kullanılarak akış tipi çizelgeleme problemlerini paralel kanguru algoritması ile çözmüşlerdir. Çizelgeleme problemler de yer alan parametrelere ilişkin belirsizliklerin en aza

indirilmesinin çözümü zorlaştırdığını ancak gerçek hayat şartlarına daha uygun sonuç alınmasının ancak bu şekilde mümkün olduğunu önermişlerdir.

Engin vd. (2018), çalışmalarında çok katmanlı montaj süreçlerine sahip bir proje özelinde hibrit akış tipi atölye çizelgeleme problemini çözmek için paralel kanguru algoritması yöntemini uygulamışlardır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Proje Çizelgeleme Yöntemleri ve Proje Çizelgelemede Kullanılan Teknikler

3.1.1.Deterministik yöntemler

Her endüstri mühendisliği konusunda olduğu gibi proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için sunulan deterministik yöntemler ile elde edilen sonuçlar kesindir. Bu tür yöntemler kullanıldığında, algoritma aynı problem için çalıştığı her zaman daima aynı sonucu verecektir. Deterministik yöntemle çizelgelemede; ileri ya da geriye doğru çizelgeleme işlemlerinde faaliyetler deterministik olarak seçilmektedir (Mori ve Tseng, 1997). Bu özelliği nedeniyle; bu yöntem, kısıt sayısı fazla olan karmaşık problemlerde pratik ve kullanılabilir bir yöntem olmamaktadır. Daha kötüsü deterministik kuralların uygulanması ile en iyi sonuç üretilmediği durumda, kullanılan deterministik yöntemin başka bir çözüm üretme alternatifi de söz konusu olamamaktadır. Bu sebeplerden dolayı proje çizelgeleme problemlerinde de hâlihazırda deterministik yöntemler yerine sezgisel yöntemleri kullanarak iyi bir çözüm arayışının yaygın olduğu literatür çalışmalarında da görülmektedir.

3.1.1.1.Gantt şeması

I. Dünya savaşındaki askeri uygulamalar için düzenlenen bir şema olan Gantt diyagramı; Henry L. Gantt tarafından geliştirilen, iş yönetiminde planlamayı ve proje gelişimini izlemeyi sağlamak için yatay eksenle zamanın, dikey eksenle faaliyetlerin grafiksel olarak gösterilmesine imkan sağlayan bir diyagramdır. Bu diyagramda planlanan projenin kademelerini oluşturan faaliyetler ile ilgili ilerleme işlem sırası için yukarıdan aşağıya, zaman akışı için soldan sağa doğru olur (Çelik vd. ,1995) . Söz konusu şema öncelikle başlangıçta belirlenen hedeflere ulaşmayı amaçlasa da hem projede çalışanlar ve projenin yürürtülmesinden sorumlu kişiler arasındaki bilgi alışverişini de kolaylaştır, hem kaynak kullanımının verimliliğini sağlar hemde kaynaklardan kaynaklanan proje üzerindeki gecikmeleri gösterir (Usta, 2012) .

Gantt şeması, projelerdeki faaliyet boş zamanlarını grafiksel olarak ifade ederken her faaliyetin zaman değerini ve faaliyetler arası ilişkileri göstermede kolaylık sağlayan esnekliktedir (Özdemir, 2006).

Günümüzde gelişen teknoloji ve bilgisayar programları sayesinde çok daha verimli programlama araçları geliştirilmiştir. Fakat Gantt diyagramı, basit ve kullanışlı olması nedeni ile küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin programları için önemli bir proje çizelgeleme aracı olabilme özelliğini hala devam ettirmektedir. Hatta bu diyagramın basitliğine rağmen efektif olması, onu kullanılan proje yönetimlerinde önemli buluşlardan biri kılmaktadır (Kobu, 1999).

Bir proje içerisindeki bütün faaliyetlerin planlanmasını, faaliyetlerin önem sıralarının dikkate alınarak faaliyet zamanlarının tahmin edilmesini ve bütün proje için gerekli olan zamanın ortaya çıkarılmasını sağlayan GANTT şemalarının anlaşılması ve hazırlanması da basittir. Bu şemalar herhangi bir zamanda hangi faaliyetin gerçekleştirilmesi gerektiğini, daha da önemlisi projenin ilerleyişini günlük, haftalık, aylık olarak istenilen zaman aralığında gösterebilir ve böylelikle gerektiğinde düzeltici önlemlerin alınabilmesini sağlayabilir. Ayrıca maliyetlerin kontrolüne imkan verecek şekilde çizelgelenen bir Gantt şemasında gereksiz kaynak kullanımı ve önem düzeyi az olan ve slack (ölü) zamana sebep olabilecek faaliyetlere fazladan nakit aktarımı engellenebilir (Demirbağ, 2008).

Yatırım projelerinde Gantt şemalarının genellikle kullanımı; gruplama yöntemiyle faaliyetleri oluşturan çeşitli temel faaliyetleri belirli aşamalar biçiminde çizelge içinde gösterilerek yapılmaktadır. Bu sayede ana faaliyetlerin aşamalı olarak çizelgelendiği projenin daha etkin bir biçimde denetlenme olanağı bulunmakla beraber daha anlaşılır olması ve çizelge üzerinde gerekmesi durumunda değişikliğin daha kolay yapılabilmesini sağlamaktadır.

Ancak bu kadar avantajının yanında Gantt şeması, faaliyet önceliklerinin zamana göre çizelgelendirilmesinde çok önemli faaliyetlerin

önceliklendirilememesi gibi, bulanık zaman ve kaynak parametrelerinin çizelgeye yansıtılamaması gibi dezavantajlara da sahip bir çizelgeleme yöntemidir.

3.1.1.2. Kritik yol metodu (CPM)

Kritik yol metodu 1950'lerin sonlarına doğru geliştirilmiş, büyük çaplı üretimler ve projeler için uygulanmaya başlanmıştır. Proje, düşünülen zamandan çok daha önce tamamlanmış dolayısı ile ürünün hammadde halinde üretimine başlanıp ürün olarak piyasaya sunulma arasındaki zamanının azaltılması ile firmalar büyük karlar elde etmiştir (Gorman, 1998). CPM yöntemi, daha sonralarında Dr. Mauchly tarafından basitleştirilmiş ve teknolojinin hızla ilerlemesi ile daha geniş çaplı projelere ve büyük ve uzun vadeli yatırımlara uygulanabilir hale getirilmiştir (Pennypacker, 2002) .

Kritik yol metodu, projede yer alan faaliyetlerin ne kadar sürede yapılacağını, faaliyetler için belirlenen öncelik kıstasları ile hesaplanan bir süreçtir. Söz konusu yöntemde, proje diziliminin oluşması için en önce projede yapılacak olan faaliyetlerin belirlenmesi; projenin faaliyetlerin birleşmesinden oluşacağından hareketle önemli bir aşama olarak görülmektedir. Akabinde, çeşitli zaman belirleme yöntemleri ile her faaliyete özgü planlanan zamanlar belirlenir ve bu zamanlara göre faaliyetlerin başlama ve bitirilme zamanları hesaplanır. Çizelgenin hazırlanmasında her faaliyetin, kendisinden önce gelecek olan faaliyetler ile öncül ve kendisinden sonra gelecek olan faaliyetler ile ardıl ilişkilerinin belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Başka bir deyişle öncelik ilişkileri, proje içindeki ardıl iki faaliyet arasındaki zaman bilgilerini vermelidir. Bunlara ilaveten çizelge üstünde, faaliyet ilişkilerinden yola çıkarak hesaplanan, her faaliyetin erken ve geç başlangıç ile erken ve geç bitiş tarihleri de bulunmalıdır. Buradan da anlaşılabacağı üzere kritik yol metodu ile çizelgeleme, projenin tüm yapı taşları, faaliyetler, faaliyetler arası ilişkiler ve zaman bilgileri birlikte aynı çerçevede bütün şekilde grafiksel olarak gösterildiği ağ (şebeke) kavramı üstünde oluşturulan bir yöntemdir. Öncelik ilişkileri çoğu zaman kritik yol metodunda, her düğümün ağdaki faaliyeti belirttiği ve sürelerin

oklar üzerinde gösterildiği AOA (Activities on Arrows) ve her noktanın ağdaki faaliyeti belirttiği ve bağlantılar ile faaliyetler arası öncelik ilişkilerinin gösterildiği AON (Activities on Nodes) diyagramları üzerinde gösterilirler (Harvey, 2002).

3.1.1.3.Tamsayı programlama, doğrusal programlama ve dal sınır yöntemi (Eniyileme Teknikleri)

Tam sayılı programlama değişkenlerin tam sayı olarak kullanıldığı doğrusal programlama yönteminin bir çeşidi olup; belirlenmiş kısıtlar altında problemin karar değişkenlerini kullanarak problemi matematiksel olarak modellemeyi ve böylelikle eniyileme adına olabirliği olmayan aday çözümleri elemeyi sağlar. Amaç fonksiyonlarının özyapısına bağımlı olan tam sayılı programlama veya doğrusal programlama gibi yöntemlerin en önemli avantajlarından biri birden çok parametreyi tek bir amaç fonksiyonu içinde birleştirerek çözüm üretmesidir. Bir çizelgeleme probleminin modellenmesinde formülasyon, tamsayılı programlama tekniği kullanılarak kolayca yapılabileceği için tamsayılı programlama algoritmaları çizelgeleme problemlerinde yaygın olarak kullanılabilmektedir. Birçok çizelgeleme probleminde tam sayılı programlama metodu yaygın olarak kullanılmasına karşın bu yöntemin büyük boyutlu ve karmaşık problemler için, karar değişkenlerinin sayısının artmasıyla problem çözümü kapsamında gerekli işlemlerde artacağı ve basitleştirme adımı zorlaşacağı için, kullanımı etkin değildir. Öyle ki; gerçek hayat içerisinde yer alan çizelgeleme problemlerinin matematiksel modellenmesi için gerekli işlemler birçok değişken parametreler ve kısıtlar ile yapılabilmektedir (Pinedo, 1995).

Proje çizelgeleme problemlerinde kullanılan tam sayılı programlama tekniğine benzer bir başka çözüm yöntemi de tam sayılı gibi modellenmiş bir problemi tamsayı kısıtı olmadan çözümleyen metotlardır. Başka bir deyişle; tam sayılı programlama tekniği ile oluşturulmuş bir modeli tamsayı olmayan değişkenler kullanarak çözümleyip dolayısı ile modelleme sonrasında ortaya çıkan ve tam sayı olmayan çözümlerin en yakın tamsayıya yuvarlatılarak sonuç elde

edilmesidir. Bu sayede problemin çözümünde diğer doğrusal programlama algoritmalarının kullanımı da mümkün olabilmektedir. Bu algoritmalar tam sayılı programlama tekniğine göre büyük bir depolamaya gerek duymadan geniş boyutlu ve karmaşık problemlerin çözülmesinde avantaja sahiptir. Sadece böyle bir durumda, tamsayı olmayan sonucun en yakın tamsayıya yuvarlanmasının optimal çözümlere ulaşma yolundaki amaç göz önüne alındığında kötü çözümlere sebep olabileceği söylenebilir (Pinedo 1995) .

Dal sınır yöntemi de, proje çizelgeleme gibi kombinatorial problemlerin çözümünde çok yaygın başvurulmuş deterministik yöntemlerden biridir. Bu yöntem, faaliyet zamanları değişken veri kümelerine göre önemli derecede değişkenlik gösterir. Çizelgeleme problemlerinde dal sınır tekniklerinin kullanılabilmesi için önce projenin ana hattını farklı kısımlara ayırma şeklinde bir dallanma şemasının çıkarılması gereklidir ve sonra bu şema üstünden sınırlar hesaplanarak, ayrı yapılan kısımlar bölüm bölüm incelenir ve ayrılan kısımlardan baskın olmayan, çözüm üretemeyeceği düşünülen birtakım bölümler elenerek dallama işlemine devam edilir. Dallanma şemasının çıkarılmasının akabinde “geri izleme yöntemi (Backtracking)” veya “zıplamalı izleme yöntemi (Jumptracking)” kullanılarak sonuca ulaşılabilir (Dinç, 2005).

Bu yöntemin en önemli artısı doğrusal programlama ile çözümde zorunlu olarak ele alınan bütün bölümlerin tek tek çözümlenmesi yerine çözüme ulaştıracak baskın kısımların ele alınarak çözümlenmesini sağlamasıdır. Ancak büyük boyutlu proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde dal sınır yönteminin kullanılması çok zordur (Morton ve Pentico, 1993) .

3.1.2. Stokastik yöntemler

Stokastik proje çizelgeleme yöntemlerinde; faaliyet seçimleri, olasılığa ya da rassallığa dayanan yollarla yapılmaktadır. Proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde herhangi bir işlemde; faaliyetlerin önceliklerin belirlenmesi ya da çizelgeleme aşamasında uygun faaliyetler arasından bir faaliyet seçilmesi işlemlerinden herhangi birinde, olasılık kurallarına dayanarak bir işlem

yapılırsa; çözüm yöntemi “stokastik çizelgeleme yöntemi” olarak adlandırılmaktadır. Stokastik çizelgeleme yönteminde de deterministik yöntemlerde olduğu gibi faaliyetler, faaliyetlerin öncelik sıraları ve kaynakların uygunluğu kısıtlarına bağlı kalınarak çizelgelenmektedir. Faaliyet sayısı 50 ve üzerinde olan projeleri çizelgelemelerde, en iyi çözüm arayışlarının başarısızlıkla sonuçlanması nedeniyle ve global (ya da globale yakın) sonuçlar elde edilmek amacıyla sezgisel yöntemler kullanılarak, optimuma yakın çözüm arayışları yaygınlaşmıştır (Edwards ve Mollaghamsemi,1995).

3.1.2.1 Proje değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (PERT)

Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği, 1950’li senelerin sonlarında Polaris füze araştırmasının hayata geçirilmesi amacıyla, projenin planlama, değerlendirme ve kontrol aşamalarında matematiksel teknikler uygulanarak ortaya çıkmıştır (Horasanlı, 2007) . PERT’in tarihsel süreci ele alındığında, PERT’in temelini Gantt şemalarının oluşturduğu görülecektir. Bu nedenle PERT’e Gantt şemasının geliştirilmiş biçimi de denilebilir (Kutlu, 2001). Ancak Gantt şeması, planlanan faaliyetin aşamalarını ve aşamaları arasındaki ilişkileri sadece bir boyutta gösterebildiği için bir takım eksiklikleri olan ve planlama boyutunda tatminsizliği bulunan bir yöntemdir (Levin ve Kirkpatrick, 1973) .

PERT; zaman tahmini yaparak projedeki darboğazları minimize eden, projeyi oluşturan faaliyetlerin mümkünse eş zamanlı olarak tamamlanmasını, eşzamanlı olarak tamamlanamayan faaliyetler için öncül ve ardıl faaliyetler doğrultusunda daha kısa sürede tamamlanmasını sağlayan ve dolayısıyla projelerin hızlandıran bir yöntemdir. PERT, sadece projenin planlanması ve kontrolüne ilişki gerekli veriyi sağlamak adına uygulanan bir yöntem olup; karar verme aşamasında değil projelerin zamanında bitirilmesi, elde var olan kaynakların planlanması ve bütçelemek için de kullanılır. (Demir ve Gümüsoğlu, 1998)

CPM ve Pert yöntemi, projeyi planlayana çizelgeleme aşamasında sadece problemleri kısmın nereden kaynaklandığını değil çözüm yolunu değişen koşullar

altında ilerleyen her işlem üzerinde sunabilmektedir. Bu teknikler, planlanan bir proje kapsamında bulunan her faaliyetin, gerçekleşmesi aşamasında ne zaman başlayacağını, ne zaman bitebileceğini ve hangi faaliyetlerin hangi sırada gerçekleştirilebileceğini görsel olarak sunar. Büyük boyutlu ve karmaşık projelerin basitleştirilerek şekilsel olarak gösterilmesine ve planlanmasına katkı sağlamak üzere geliştirilen PERT ve CPM yöntemleri, plan dahilinde projede ileri sürülen değişikliklerin adaptasyonunu sağlamak ve bütün proje için toplam tamamlama süresinde ortaya çıkabilecek gecikmeleri azaltmak için kullanılmaktadır (Özdemir, 2006).

CPM gibi PERT yönteminde de sürecin ağ (şebeke) gösterimiyle haritalanması faaliyetler arasındaki ilişkiler ile faaliyetlerin başlama ve bitirme zamanlarının belirlenmesinin basit aritmetik işlemler ile doğrudan şebeke üzerinde yapılmasına olanak sağlayacaktır. Akabinde her iki yöntemde de proje faaliyetleri; başlangıcında bir gecikme yaşanması durumunda projenin bitiş zamanında gecikmeye sebebiyet verecek faaliyetler olarak kritik ve faaliyetlerin en erken başlama ve en geç bitirme zamanları arasındaki fark, bu faaliyetlerin gerçek süresinden fazla olması durumunda da kritik olmayan faaliyetler şeklinde ayrılacaktır. Kritik olmayan faaliyetlerde atanmış bir bolluk değeri mevcuttur. PERT ve CPM yönteminin amacı, kritik faaliyet rotasının dizisinin oluşturulması, bu dizinin toplam süresinin belirlenmesi ve diğer rotalarda bulunan faaliyetlerin bollukların hesaplanmasıdır. Sunulan ağda, toplam bolluk değeri sıfır olan faaliyetlerin oluşturduğu ve projenin başlangıcından bitişine kadar tamamlanma zamanı açısından en büyük değerlere sahip olan faaliyet dizisi kritik yol olarak tanımlanır. Projenin tamamlanma süresini belirleyen kritik yolu oluşturan faaliyetlerden herhangi bir tanesinin, planlanan zamandan daha geç tamamlanması nedeniyle gecikmesi veya ertelenmesi, tüm projenin tamamlanma süresinin uzamasına yani tüm projenin aksamasına sebebiyet verir (Winston, 2004) .

CPM ile PERT arasındaki en temel farklılık faaliyet sürelerinin birinde kesin olarak bilinirken diğerinde tahmin edilmesindedir. Bu sebeple CPM yöntemi deterministik iken PERT yöntemi stokastiktir. PERT yönteminde projenin her

bir faaliyetinin zaman parametresi, dolayısıyla proje tamamlanma zamanı olasılık içerirken, CPM yönteminde bu süreler önceden belirlenmiş yani kesin olarak bilinmekte olup; sabit bir değerdir. Başka bir deyişle, CPM’de faaliyetlerin zaman değerleri ve dolayısıyla projenin hesaplanan tamamlanma süresi de kesinlik içermesi sebebiyle tek bir değer ile ifade edilir. Fakat gerçek hayat şartlarında projelerin uygulanmasında faaliyet sürelerinin kesin olarak bilinmesi imkansızdır. Dolayısıyla faaliyetlerin süreleri kesin olarak bilinemediği için olasılıklı zaman kavramı ortaya çıkmıştır. Faaliyet sürelerinin kesin olarak bilinmediği ve bu sürelerin kestiriminde zorluk bulunan projelerde kullanılmak üzere olasılıklı sürelerin kullanıldığı PERT yöntemi tasarlanmıştır (Özdemir, 2006) .

Bu nedenle PERT yönteminde her faaliyet için üç olasılıksal zaman tahmini tanımlanır. Bu süreler; her olayın istenildiği şekilde gerçekleştiği, herhangi bir şekilde gecikme riskinin bulunmadığı durumda faaliyetin en erken ve en hızlı tamamlanacağı süre olan “iyimser (a)süre” , en kötü şartlar altında yani tüm gecikme ve ertelenmelerin gerçekleştiği durumda faaliyetin bitirilme süresi olan “kötümser (b) süre” ve geçmiş tecrübeler ve eldeki zaman verilerine dayanarak, faaliyetin yaklaşık ne kadar sürede tamamlanacağını gösteren, olabilesi en yüksek süre olan “muhtemel (m) süre” olarak adlandırılır. Proje faaliyetleri bu üç süre baz alınarak işleme alınır, projenin tamamlanmasının olası koşulları göz önünde bulundurulur ve proje yönetiminin bu koşullar altında yapılması sağlanır (Özdemir, 2006) .

PERT’in ikinci aşaması her faaliyetin zaman ortalamasının varyansının ve tüm projenin olasılık dağılımının hesaplanmasıdır. Bu üç sürenin tahmini ortalaması şebekede bir faaliyetin gerçekleşmesi için öngörülmüş süredir. Bu ortalama x olarak ele alınırsa x beklenen zaman da denilen beta dağılımının ortalamasıdır. Her faaliyetin beklenen süresi ve varyans hesaplaması aşağıda verilmiştir (Özdemir, 2006) .

$$\text{Ortalama} = x = a+4m+b \quad (3.1)$$

$$\text{Standart Sapma} = s = (b-a / 6) \quad (3.2)$$

$$\text{Varyans} = s^2 = (b-a / 6)^2 \text{ dir.} \quad (3.3)$$

Tüm yol için;

$$\text{Kritik Yol Beklenen süre} = \mu = \sum x \text{ ve ,} \quad (3.4)$$

$$\text{Kritik Yol Varyans} = \sigma^2 = \sum s^2 \text{ dir.} \quad (3.5)$$

$$\text{Kritik Yol Olasılığı} = Z = (t-x) / \sigma \quad (t : \text{Gerçekte tamamlanan zaman}) \quad (3.6)$$

Tamamlanma sürelerinin varyans değeri ne kadar büyükse belirsizlik kademesi o kadar büyük olur. Yani faaliyetin o sürede tamamlanması belirsizlik gösterir. Kritik yol üzerindeki faaliyet zamanı büyük olan, daha uzun sürmesi planlanan, faaliyetlerin süreleri normal dağılıma daha yakındır. Faaliyet dizisindeki en son faaliyet için hesaplanacak toplam beklenen zaman projenin tamamlanması için gereken toplam beklenen ortalama zamanı tanımlar. Projenin tamamlanma zamanı ile projenin toplam ortalama bekleme zamanı farklı olduğu durumlarda projeyi aksatan etkenler, geciken veya ertelenen faaliyetler belirlenebileceği gibi PERT yöntemi ile, projenin planlanan zamanda tamamlanması için ilave edilmesi gerekli olan kaynakların gerekli faaliyetlere yönlendirilmesi sağlanabilir (Sarica, 2006).

Projenin tamamlanma zamanı PERT tekniğinden bağımsız olarak da hesaplanabilir. Şöyle ki; projenin başlangıcından bitimine kadar faaliyet dizilerinin oluşturduğu birçok rota olacaktır. Bu rotalar içinde beklenen ortalama zaman belirlenerek projedeki kritik yol hesaplanır ve varyansı veren dizi kritik yolu sunar (Sarica, 2006).

CPM yöntemiyle ortak olarak PERT tekniğinin uygulanmasında üçüncü aşamada ileri gidiş işlemleri ve akabinde geri dönüş işlemleri uygulanır. Bu şekilde her faaliyetin en erken başlama, en erken bitirme ve en geç bitirme, en geç başlama zamanları hesaplanır. Son aşamada ise, faaliyetlerin toplam ve serbest bollukları hesaplanır; bu bilgiler ile kritik yol belirlenir (Keskinel, 2000) .

Bir faaliyetin en erken başlama zamanı ile en geç başlama zamanı arasındaki fark bolluğu (TF_i) ifade eder. Bolluk, proje üzerinde yer alan bir faaliyetin proje

tamamlama süresini etkilemeden gecikebileceği maksimum süre, ertelenebileceği en son zamandır. Faaliyet süresi (d_{ij}), En erken Başlama süresi (ES_{ij}), En geç başlama zamanı (LS_{ij}), En geç bitirme zamanı (LF_{ij}), En erken bitirme zamanı (EF_{ij}) arasındaki ilişki geri ve ileri yönlü hesaplama formülasyonu aşağıda verilmiştir (Keskinel, 2000).

İleri doğru hesaplama:

$$ES_i = \max_{v_j \in P_i} [ES_j + d_j] \quad (3.7.)$$

$$EF_i = ES_i + d_i \quad (3.8.)$$

Geriye doğru hesaplama:

$$LF_i = \min_{v_j \in S_i} [LF_j - d_j] \quad (3.9.)$$

$$LS_i = LF_i - d_i \quad (3.10.)$$

Bolluk:

$$TF_i = LS_i - ES_i \quad (3.11.)$$

3.1.2.2 Grafik değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (GERT)

Stokastik şebekelerin analiz yapılabilirliği olarak bilinen Grafikselsel Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (GERT), dallandırma adımları ile oluşturulan bir ağ analizi yöntemi olup; teknik, faaliyet döngülerinin kullanılmasıyla faaliyetin gerçekleşebilirliğine ve faaliyetler arası zamanların olabilecek tahminine ve koşullu ilerlemesine bağlıdır. (Juite, 2002; Phillips, 2004).

PERT ile çözülebilen problemler için akış-grafiği teorisine bağlı olarak ağ analizi teknikleri ile geliştirilmiş GERT yöntemi kullanılması uygundur. Başka bir deyişle PERT çözüm yaklaşımının kullanılabileceği stokastik projelere ait faaliyetlerin dallar aracılığı ile gösterilebileceğini ve bu faaliyetin tamamlanması için gerekli olan sürenin bu dalın bir parametresi olduğu kavramı esas alınarak GERT tekniği oluşturulmuştur. GERT yönteminde faaliyetlerin çözümü, önceki faaliyetlerin sonucunu bağlıdır. Bu nedenle öncül ilişkileri, projenin planlandığı

şekilde gerçekleştirilmesi hatta projeye devam edilip edilememesi kararlarında önem arz etmektedir (Phillips, 2004).

3.1.3.Sezgisel yöntemler

Sezgisellik kavramı söz konusu yöntemler için, faaliyetlerin seçiminde doğrudan doğruya bir olasılık değeri kullanmayıp, rastgeleliği içeren sezgi ile elde edilen yöntemleri kullanmaktan ileri gelmektedir. Problemlerin çözümünde, kesinlik belirten yöntemler kullanıldığında veya sadece olasılık değerleri ile çözüme gidilmeye çalışıldığında, en uygun çözümü bulmak çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Problemlerin parametre büyüklükleri (50 ve üzerinde faaliyet sayısına sahip projeler) ve ihtiyaç duyulan hesap sürelerinin büyüklüğü, deterministik çözüm yöntemleri ile çözüm sağlanamayan daha büyük proje gösterimleri için eniyiye yakın bir çözüme hızlı bir şekilde ulaşan sezgisel yöntemlere yöneltmiştir. Sezgisel yöntemler ile elde edilen çözümler bir ölçüde deterministik yöntemler ile elde edilen çözümlere bir alt veya üst sınır oluşturmaktadır (Ulusoy, 2002; Sarı, 2008) .

Sezgisel yöntemlerin bir diğer avantajı tüm proje parametreleri yerine, amaç fonksiyonu eniyilemesinin yapılacağı kısmın üzerinde çözüm aramaları yapmasıdır. Sezgisel yöntemlerin en önemli iki temel faktörü bulunmaktadır. Bunlardan ilki parça yerel eniyiye hızlı bir şekilde ulaşmak üzere diğeri ise tüm popülasyonun üzerinde çözüm aramak üzere yeni sıçramalar yaparak sonuç aramaktır Eğer tüm çözümleri içeren küme, içerisinde global eniyiyi sağlayan bir veri bulunduruyor ise sezgisel yöntemler ile global eniyi çözüme ulaşmak mümkün olabilmektedir. Ancak eniyi çözüme yönelik yollar tanımlanamıyorsa, en iyi yerel optimum çözüm problemin çözümü kabul edilir. Bu nedenle sezgisel yöntemler ile yapılan çalışmalarda çoğu zaman eniyi sonuç elde edilememekte, optimuma yakın “iyi sonuçlar” çözüm olarak ele alınmaktadır (Ulusoy, 2002) .

Sezgisel algoritmalar belirli bir iterasyon sayısına ulaşıncaya, belirlenmiş olan zaman bitince veya algoritma ürettiği çözümlerden daha iyi bir sonuç elde edemeyince kendini sonlandırabilirler. Ayrıca sezgisel yöntemler stokastik

özelliklere sahip olduğu için algoritma ile oluşturulan modeller farklı zamanlarda çalıştırıldığında, aynı sonucu veremeyebilirler (Ulusoy, 2002).

Proje çizelgeleme problemlerinde kullanılacak çizelgeleme yöntemleri kadar, işlemlerin hangi aşamasında sezgisel yöntemlerin kullanılacağı gibi önemli hususlarda verilecek kararlar, çizelgelemede kullanılacak faaliyet öncelik kuralları, faaliyet ve kaynakları sıralama işlemleri çözümlerin hesaplama süresini ve aramanın yönünü ve dolayısıyla elde edilecek çözümü etkiledikleri kadar algoritmanın işleyiş etkinliğinde önemli yeri olan unsurlardır (Ulusoy, 2002).

3.1.4.Meta sezgisel yöntemler

Meta sezgisel yöntemler, sezgisel yöntemler ile eniyileme sürecine girmiş ancak çözümün yeterlilik bakımından zayıf kaldığı problemlerde etkili olan, klasik sezgisel algoritmaların bir veya birkaç üst kademesinde bulunan yöntemlerdir. Meta sezgisel yöntemler çalışıldığı bazı konularda klasik sezgisel algoritmaların avantajlarına sahiptir. Ancak uygun çözümler için ele alındığında diğer sezgisel yöntemlere nazaran onlara kılavuzluk etme yetkinliğine sahip daha uzman algoritmalar içerirler (Hireyama,1997) .

Proje çizelgeleme problemlerinin meta sezgisel yöntemler ile çözümüne giderek artan bir ilgi mevcuttur. Bahse konu metasezgisel yöntemleri; Genetik Algoritmalar, Yapay Sinir Ağları, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Tabu Arama ve Tavlama Benzetimi vs yöntemler oluşturmaktadır. Bu algoritmalar özellikle zor kombinasyonel eniyileme problemlerini çözmek için uygulanmaktadır. Metasezgisel algoritmaların ortak özellikleri, bazı doğal oluşum süreçlerini taklit etmeye çalışarak karmaşık matematiksel ifadelerle gerek duymadan bilimsel ve mühendislik problemlerini çözebilmeleri, klasik metodlar ile kıyaslandığında kısıtları çok büyük bir kolaylıkla ele alabilmeleri ve hepsinin yerelde hesaplamaları en uygun küresel çözüm arayışı ile yapmalarıdır. Her bir sezgisel için ana gösterim, ilk çözümü üretme yönteminden ve mevcut

özmlerden yeni çözümler üretme operasyonlarından oluşmaktadırdır (Ulusoy, 2002).

Meta sezgisel yöntemler çoğunlukla, doğrusal programlama ile amaç fonksiyonlarının çözümünün basitleştirmesine ihtiyaç duymazlar. Eğer problemin modelinin mümkün olduğundan daha kusursuz bir şekilde kurulması gerekir ise çoğu zaman kesin bir algoritma kullanımı tercih edilir.

3. 1.4.1.Tavlama benzetimi

Proje izelgelemede sıklıkla kullanılan metasezgisel yaklaşımlardan birisi de Tavlama benzetimi yöntemidir. Tavlama benzetimi, bir katının (genellikle demirin) hızlı sıcaklık artışından sonra minimum enerji elde edilene kadar yavaş yavaş soğutulduğu fiziksel termodinamik tavlama sürecini taklit ederek çözüme ulaşmayı amaçlar (Altunay ve Eren, 2016).

Tavlama Benzetimi algoritması çok fazla değişkene ve hesaplamalar sonucu çok fazla yerel eniyi sonuca haiz problemlerin global eniyi değerinin hesaplama ihtiyaı üzerine geliştirilmiş, metallerin tavlama işleminde kusursuz şekilde beliren atomik dizilişlerinden esinlenerek oluşturulmuş bir algoritmadır. Diğer metasezgisel algoritmalarda çözüm yerel eniyi sonuçta takılı kalırken, tavlama benzetimi iyi olmayan yolları da gözlemleyerek yeni yerel eniyi çözüme sıranmasına olanak sağlar. (Kirkpatrick vd. , 1984)

Bu yöntem, proje çizelgeleme gibi tüm kombinatoryal eniyileme problemleri için en iyiye yakın veya en iyi sonuçlar vermesi ve olasılıklı ve kullanışlı bir arama yöntemi olması sebebiyle tavlama benzetiminin uygulama alanı oldukça geniştir. Ancak bir dezavantajı şudur; bazı durumlarda amaç fonksiyonunun yerel eniyileme tuzağına düşmemek adına hesaplama yapıldığı için daha kötü çözümler ile karşı karşıya kalınabilmektedir (Altunay ve Eren, 2016).

3.1.4.2.Tabu arama algoritması

Tabu arama algoritması da, proje çizelgeleme problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Çoğunlukla, kullanılan yöntemlerin yerel eniyileme tuzağına düşmesini engellemek adına başka yöntemlerle birlikte hibrit şekilde kullanılır ve diğer yöntemlere uyarlanabilir bir yaklaşım olarak bilinmektedir (Altunay ve Eren, 2016).

Tabu arama komşuluk tabanlı, yinelemeli çözüm yaklaşımıyla olabildiğince en iyi çözüme ulaşmaya çalışan birçok eniyileme problemine uygulanan metasezgisel bir algoritmadır. Tabu arama yöntemi bir çeşit yapay hafıza oluşturarak akıllı olarak adlandırılan süreçleri taklit etme üzerine kurulu bir yapıdadır. Başlangıç çözümü, aday liste stratejileri, hafıza, hareket mekanizması, tabu yıkma kriterleri, süreç durdurma şartları gibi ana unsurları kapsayan Tabu Arama yönteminin işlevindeki etkinlik, en çok komşuluk ilişkisinin yapısına, tabu listesine ve bu tabu listesinin yapısına bağlıdır (Czapiński, 2012).

Tabu arama algoritması için mevcut çözümün komşuluklarından oluşan çözüm kalitesinin artması ile minimizasyon problemleri için oluşturulacak her yeni çizelgede amaç fonksiyonu değerinin azalması sağlanır. Hali hazırda tabu algoritmasının proje çizelgeleme problemlerine uygulanmasında amaç fonksiyonu azalan bir fonksiyonu ifade etmekte olup; veri sayısı fazla olan karmaşık problemlerde başlangıç uygulama çözümlerinde bu azalma hızlı bir biçimde olurken, sonlardaki çözümlerinde bu hız azalmaktadır. Tabu arama algoritması ve diğer komşu arama algoritmalarında görülen sıkıntıların başında, yerel en iyi tuzağına düşme ihtimali gelmektedir. Bu sebepten dolayı Tabu arama algoritmasının daha kötü bir çözüme atlayabilme özelliği kullanılarak algoritmanın mevcut sıralamayı içeren çizelgelemeden daha kötü bir çizelgelemeyi denemesine izin verilir (Eren ve Güner, 2004) .

3.1.4.3. Değişken komşuluk arama yöntemi

Meta sezgisel temelli yaklaşımlar kapsamında yer alan çözüm yaklaşımlarından biri de Değişken komşuluk arama yöntemidir. Gerçek hayat problemlerinin çözümünde özellikle kombinatoryal ve global eniyileme problemlerini kapsayan çok fazla alanda uygulamaları olan Değişken Komşuluk Algoritması yöntemi, sürekli gelişime odaklı sabit amaç fonksiyonu kullanarak tek çözümü oluşturan farklı ve çeşitli komşuluk yapısına sahip basit ve etkili metasezgisel bir yöntemdir. Değişken Komşuluk Algoritması dışında kalan tüm metasezgiseller tek bir komşuluk yapısı kullanırken Değişken Komşuluk Algoritmasında aramada kullanılan komşuluk yapılarının sistematik biçimde değiştirilmesi esastır. Komşu arama herhangi bir olası çözüm değerinin diğer olası çözüm değerlerinden oluşan komşuları olduğu kabul edilir (Hansen ve Mladenovic, 2001).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, makine çizelgeleme ve proje çizelgeleme gibi kombinatoryal eniyileme kapsamında yer alan çizelgeleme problemi çeşitlerinin Değişken Komşu Algoritması yaklaşımı ile etkin bir şekilde çözüldüğü görülmektedir (Altunay ve Eren, 2016) .

3.1.4.4. Genetik algoritma

Genetik algoritmalar diğer metasezgisel yöntemlerden ayrı olarak, paralel arama özelliği ile genetik yapılara benzer bir içerik sunarak ve “güçlü olan hayatta kalır” ilkesinin yaşadığı biyolojik evrim sürecinden esinlenerek problemleri formüle eder (Dengiz ve Altıparmak 1998; Dengiz, 2004) .

Genetik algoritmalarda çözüm kümesi, kromozom olarak gösterilen çözümlerden oluşmaktadır. Ele alınan rassal bir kromozom kümesi, kromozoma haiz amaç fonksiyonu parametresi olan uygunluk değerleri ile bir yığını oluşturmaktadır. Söz konusu yığın ne aşamada olursa olsun nesli yaratmaktadır. Algoritmanın işleyişi bir çok çözümün oluşturduğu bir jenerasyon ile başlar. Mevcut jenerasyon içindeki kromozomlara uygulanan kopyalama, çaprazlama

ve mutasyon operasyonları ile yeni bir nesil oluşturulur. Her yeni jenerasyon oluşumu, daha yüksek uygunluk değerlerine sahip olan kromozomların bir sonraki nesile aktarılmasına ve yeni kromozomların oluşturulmasındaki olasılıkların iyileştirme değerlerine bağlıdır. Her bir nesilde sadece uygunluk değeri yüksek olan bireylerin hayatta kalma şansı vardır. Kromozom olarak adlandırılan birbirinden farklı çözümlere sahip popülasyona, bağımlı olarak işleyen bu algorithmada değişkenler çoğunlukla ikili tamsayılar ile gösterilmektedir. Ancak bazı durumlarda ikili tamsayılarla çalışan algoritmaların modellenmesi zor olmakla beraber çözümün performansı tatminsizlik yaratabilmektedir (Hrstka ve Kucerovala, 2004; Michalewicz, 1992).

Genetik algoritmanın proje çizelgeleme problemine uygulanması aşamasında; çizelgeler bir kümenin kromozom olarak adlandırılan bireylerini, faaliyetler ise kromozomdaki genleri ifade etmektedir. Hesaplama aşamasında her bir iterasyon sonunda ortaya çıkan bir sonraki çözüm, önceki neslin bir bölümüne ait bireylerin mutasyonu ve çaprazlaması ile daha iyi çözümü oluşturmaktadır. Algoritma sonunda elde edilen eniyi çözüm, genlerden oluşan bir kromozom olarak tanımlanır. Genetik algoritma yaklaşımı aynı anda çok fazla çözümü değerlendirmesi sayesinde hem çok iyi çözümler üretmekte hem de verimli bir şekilde az bir sürede optimum çözümlere ulaşmayı sağlamaktadır. Bu sebep ile proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde tercih edilen bir yöntemdir (Ulusoy, 2002).

3.1.4.5.Karınca kolonisi optimizasyonu

Karınca Koloni Optimizasyonu Algoritması, çeşitli yiyecek ve engeller konularak gözlemlenen karınca kolonisi davranışlarının modellenmesi ile geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, karıncaların yiyecek kaynaklarından algoritmaya başladıkları yuvaya doğru en kısa yolu bulmasını baz almaktadır. Karıncalar yollarını, çevre şartlarına göre besin kaynağına ulaşmak üzere belirlemektedir. Yaşam kanunu gereği, bu karıncalar yiyeceklere en kısa rotayı belirleyerek ulaşmayı amaçlamaktadırlar. Kolonideki tüm karıncalar en kısa yolu bulmak için yayılırlar. Her karınca aldığı yol boyunca geçtiği yere feromon adı verilen bir

miktar iz bırakır ve diğer karıncalar da bu ize ait güçlü kokudan etkilenirler. Her karıncanın yaptığı rassal seçim kolonide bulunan karıncaların aynı yoldan gitmesine engel olmakla beraber hem yeni hem de daha kısa yolların araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Diğer karıncaların hangi yöne gideceğine ilişkin karar, hareket eden karıncanın bir miktar feromon maddesini yolu belirlemek amacıyla arkasında bırakmasıyla, yolda bırakılan feromon maddesinin yoğunluğuna göre verilmektedir. Yoldan geçen karınca miktarına göre yolda bırakılan feromon izi yoğunlaşmakta ve maddenin yoğun halde bulunduğu rota daha çekici hale gelmektedir. Dolayısıyla bir yolun seçilme olasılığı o yoldan o zamana geçen karınca miktarına bağlı olarak değişmektedir. (Colorni vd.,1991).

Söz konusu algoritmanın çözüm mantığında en kısa yolun ulaşımı seçenin, yiyecek arayışında daha hızlı olması prensibi vardır. Yani; karıncaların kısa yolu tercih etmesi, karıncaya daha fazla seyahat imkanı sağlamakla beraber koloniye daha fazla yiyecek getirmelerine de imkan verecektir. Ayrıca kısa yolu tercih eden karıncalar uzun olan yola göre kendi yollarında daha fazla feromon bırakacaktır. Ve böylelikle uzun yolu tercih eden karıncalar da feromondan gelen kokunun daha güçlü olduğu kısa yolu takip etmeye tekrar uzun yola dönmekten daha fazla istek duyacaklardır. (Dorigo ve Gambardella, 1997).

Proje çizelgeleme problemlerinde karınca kolonisi algoritmasının kullanılması toplam gecikme sürelerini minimize ederek en kısa yoldan projeyi tamamlamak üzerine kullanılmaktadır.

3.1.4.6.Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları, insan nörolojik sisteminin ve sinir ağlarının biyolojik yapısından esinlenilerek beyin bir işlevi yerine getirme biçimini ve sinir hücrelerinin fonksiyonunun yapay halinin gerçek hayat problemlerinde modellemek üzere tasarlanan bir meta sezgisel yöntemdir. Yapay sinir ağları, insan beyninin yapısına benzer halde, yapay sinir hücrelerinin farklı biçimlerde

birbirlerine bağlanmasından oluşur ve genellikle insan beynindeki gibi tabakalar halinde düzenlenir. Bulundukları ortama adaptasyon sağlayabilen, belirsizlikler altında, bulanık verilerle ve hatta eksik ve hatalı bilgiler ile karar verebilen yapay sinir ağları hesaplama yöntemleri ve algoritma yapısı sebebiyle bilinen metasezgisel yöntemlerinden farklıdır. Yapay sinir ağları öğrenme ve uyum yeteneklerinin yanında farklı yapıda verilerle bilgi elde edebilen, paralel yapıya sahip birçok basite indirgenmiş bilgi işleme sistemlerinden oluşur. Söz konusu sistemler birbiri arasındaki bağlantıyı kurmak için yapılandırılmıştır (Baykasoğlu ve Özbakır 2004).

Yapay sinir ağları, proje çizelgeleme ve üretim sistemi tasarımı gibi birçok problemin çözümünde uygulanmaktadır.

3.1.4.7.Parçacık sürü optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu; rastgele elde edilen, parçacık olarak adlandırılan belirli sayıda çözümü kapsayan bir popülasyonla başlatılır ve en iyi çözüm için parçacıklar yenilenerek yani başka bir deyişle parçacıkların oluşturduğu bu jenerasyonlar güncellenerek arama yapılır. Burada adı geçen her bir parçacık bir kuşu ifade eder. Parçacıklar, kuşların yem ararken kullandığı yön bilgisinden ve uçuşlarını yönlendiren hız bilgisinden esinlenerek bu özelliklere sahip benzer bir yapıda oluşturulur. Elde edilecek çözümler, o popülasyondaki en iyi parçacığın çözüm değerini (gbest), parçacığın kendisinin sahip olduğu en iyi değerini (pbest) ve komşuluk ilişkilerini dikkate alarak problemin çözümünde hız ve yön bilgilerinin yenilenmesiyle ile devamlı güncellenir ve böylelikle her parçacık bir çözüm sunar. Parçacıkların her birinin uygunluk fonksiyonu hesaplamasıyla elde edilen uygunluk değerleri mevcuttur. Söz konusu çözüm değerleri de hafızada saklanır (Kennedy ve Eberhart, 1995) .

Parçacık sürü optimizasyonu da karınca kolonisi algoritması ve diğer tüm sürü zekası optimizasyon algoritmalarının kullanılması gibi proje çizelgeleme problemlerinde toplam gecikme sürelerini minimize ederek en kısa yoldan projeyi tamamlamak üzere uygulanmaktadır (Sha ve Hsu, 2008) .

3.1.4.8.Diferansiyel gelişim algoritması

Diferansiyel gelişim algoritması işleyişi ve işleyişteki araçları açısından Genetik Algoritmayı baz alan güçlü bir eniyileme algoritmasıdır Diferansiyel gelişim algoritmasının temel unsuru, popülasyondan seçilen iki birey arasındaki farkların üçüncü bireye ilave edilmesidir. Genetik Algoritmanın Diferansiyel gelişim algoritmasından farkı diferansiyel gelişim algoritmasında birkaç kontrol parametresinin bulunmasıdır (Storn ve Price, 1995).

Populasyon tabanlı sezgisel bir algoritma olan Diferansiyel gelişim algoritması, özellikle tamamen problem için düzenlenmiş bir popülasyonda tanımlı ve gerçek ve değerli veriler ile oluşturulmuş parametreleri içeren fonksiyonları en iyilemek amacıyla kullanılan ve verilerin sürekliliğinin söz konusu olduğu problemlerde etkin sonuçlar verebilen bir algoritmadır (Karaboğa, 2004).

Diferansiyel gelişim algoritması gibi denklem temelli bir fonksiyon eniyilemesi ve diğer geleneksel matematik teknikleri, iyi tanımlanmış, hiçbir belirsiz veriyi, kısıtı ve parametreyi bünyesinde barındırmayan ayrıca karışık olmayan ve çözüm alanı dar olan problemler için etkin olabilmektedir. Fakat doğrusal olmayan bir fonksiyonun mevcudiyetinde, orta dereceli bir seviyede bulunsa bile bu fonksiyonlar, söz konusu teknikler performans açısından zayıf kalmaktadırlar. Eğer problemin çözüm kümesi yeterince küçük olursa, en iyi çözüme ulaşmak için yoğun bir çaba sonrası bir çözüm elde edilebilir Ama bu yöntem, çözüm alanı genişledikçe pratik olmayan ve uzun süren bir hal almaktadır. Bu nedenle proje çizelgeleme problemlerinde tercih edilmemektedir (Keskintürk, 2006).

3.2. Bulanıklık Kavramı

Her ne kadar bilimsel çalışmalarda problemler kesin ifadeler ile açıklanıp, net sayılar ile ifade edilse de gerçek hayat problemlerinde net sayılar ile tam olarak modellenemeyebilir ya da kesin ifadelerle bir durum çözülemeyebilir. Bulanıklık

olgusu tamamen insanların algılarından ve davranışlarından ve hedeflerindeki belirsizlikler ortaya çıkmaktadır (Türkbeş,2003).

Olayların meydana gelmesindeki belirsizliğin sayısal olarak ifade edilmesine Rassallık, belirsizliğin sözel olarak ifade edilmesine bulanıklık (belirsiz anlamlılık) denmektedir. Rassallığın en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şansın rol oynaması ile olay üzerindeki öngörülerin ve tahminlerin net ve kesin bir doğrulukla olay gerçekleşmeden yapılamaması, olayın oluşunun kesin olmayışıdır. Bulanıklık ise olayın olup olmamasını değil, siyah ve beyaz aralığında grinin tonlamaları gibi ne dereceye kadar olduğunu ölçer (Baykal ve Beyan, 2004). Bir başka deyişle; bulanıklık, bir olayın belirsizliği iken, rassallık bir olayın meydana gelme olasılığındaki belirsizliktir (Ross vd. , 2002).

Yapılan literatür araştırmalarından anlaşıldığı üzere geçmişten günümüze, belirsizlik ile karşılaşılan tüm problemlerde belirsizliği bertaraf ederek net kesin ifadeleştirme yoluna giden ve bunun gerekliliğini savunan geleneksel anlayıştan, bilimin gerçek hayattan alınması sebebiyle bu durumdan kaçınılmasının önlenemediği ve problemlerin bu belirsizlikle çözülmesi gerektiğini ve bunun büyük bir fayda sağladığını savunan bir bakış açısına doğru geçiş yaşanmaktadır.

Bulanıklık söz konusu olduğunda temel eleman bulanık kümedir. Bulanık kümeler ayırıcı özelliklerini üyelik fonksiyonları ile ortaya koyarlar. Bulanık kümeler, belirsiz ve bulanık kavramları derecelendirme yöntemi kullanarak matematiksel imgeler ile ifade edebilmeyi sağlamaktadır. Bulanıklık söz konusu olduğunda sözel olarak elde bulunan bilgiler; tecrübeye sahip exper görüşleri ve süreçle ilgili bilgi sahibi olarak kabul edilen grupla yapılan anket sonuçları gibi belirleyicilerin modele dâhil edilmesi ile sayısal karşılıklar elde edilerek çözüm oluşturulur. Böyle bir durumda en uygun kabul edilen optimum çözüm, bir sonraki uygulamada değişebilir, ya da karar verici aynı kalsa bile görüşleri alınan uzmanların görüşlerini değiştirmesi en uygun optimal çözümün değişmesine neden olabilir (Büyüközkan vd.2004).

Bulanık küme oluşturmak yalnız belirsizliğin veya bulanıklığın kendisine değil, belirsizliğin veya bulanıklığın kullanıldığı alana da bağlıdır. Bulanıklılığın uygulama alanı için elde edilen verilerin yeterli olması, hangi yöntemin kullanılacağını veya belirtilen yöntemin kullanılıp kullanılmayacağını ortaya koyar.

3.2.1 Bulanık kümeler teorisi

Bulanık sistemlerin en temel elemanı bulanık kümedir. Bulanık küme, kapsadığı her nesneyi 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonu ile nitelendirmektedir. Bulanık küme, kesin geçişleri elemine eden belirsizlik kavramının tanımını yeniden ele alarak ve kapsamında bulunan bütün üyelere matematiksel olarak üyelik derecesi atayarak tanımlanmaktadır. Bulanık küme içerisinde bulunan bulanık üyeler, üyelik dereceleri tarafından belirtilen daha büyük ve daha küçük değerlere ait olabilirler (Zadeh, 1965).

Bulanık kümeler, insanların hayat tecrübeleri ile elde ettiği bilgiyi veya anlayış ve kavrayış biçimleri ile oluşturdukları hayat bakış açılarını ve dünya ile ilgili öngörülerini modellemek üzere tasarladıkları önemli bir kavramdır (Kecman, 2001). Kesin ifadeler ile elde edilen kümelerdeki yeni-eski, alçak-yüksek uzak-yakın,ağır-hafif gibi zıt öğeler ile betimlenen parametreler, bulanık mantıkta biraz yeni, olabildiğince yüksek, az uzak, orta hafif gibi esnek betimleyicilerle derecelendirilerek gerçek hayattaki varoluşlarına benzetilir. Konuşma dilinde sıfat olarak yer alan yok denecek kadar az, az, orta derecede, düşükten biraz yüksek, sık, çok, birçok, seyrek gibi dereceli ifadeler ile nitelenerek bulanıklaşan söz konusu kavramların modellenmesi için matematiksel ifadeler ile bu kavramlar derecelendirilerek sayısal veri kümesi oluşturulması sağlanır. Buradan da anlaşılacağı üzere; belirsiz verileri kapsayan bulanık küme kuramının kullanılmasıyla, matematiksel ifadesi olmayan problemlerin çözümlenmesi sağlanır. Dolayısıyla bulanık küme teoremi ile belirsiz verilerin modele aktarılmasında daha uygun ve gerçekçi sonuçların elde edilmesiyle beraber matematiksel bir formülasyona sahip olmayan veya algoritmaları

zamanla değişen veya doğrusal olmayan sistemlerde geniş yayılmışlığı olan bulanık değerlerin daha az sayıda üyelik fonksiyonuna indirgenmesiyle en başarılı ve en hızlı çözüme ulaşılır. (Çetin,2003; Nabiye, 2003; Öztemel, 2003).

Bulanık küme, ait olma olgusunun değişebileceği bir yapıdaki, yani farklı üyelik derecelerine sahip, elemanları kapsayan kümelerdir. Bulanık kümelerde; küme üyeliğinin kısmi üyeliğe geçişi sağlanarak, üyelik fonksiyonunun sınırı esnek olarak tanımlanır. Böylelikle, Bulanık küme teorisinde; kümeye ait olan üyelere, kümeye tamamen ait olmayan üyelere doğru kademeli bir yönelişe imkan tanınır. Bulanık küme kuramındaki söz konusu kademeli geçiş, belirsizliğin ölçümünde anlamlı bir şekilde kuvvetli ve gerçek hayata yakın sonuçlar vermekle beraber konuşma dilinde yer alan belirsiz kavramların ifade edilmesinde de anlamlı temsiller sunmaktadır(Özkan, 2003).

Uygulanacak projelerde bulanık küme ile çalışmak, klasik kümelerle göre esnekliğin veya hassasiyetin artırılması açısından daha çok tercih edilmektedir. Bulanık küme kuramı ile izlenen yol, klasik küme teorilerindeki üyelik kavramını hiçe sayıp yerine yenisini oluşturmaktan ziyade üyelik kavramına atanan değerlerin miktarını çoğaltarak gerçek hayat akışına uyarlamaktır (Yen ve Langari, 1999) .

Üyelik fonksiyonları, klasik kümeler ile bulanık kümeler arasındaki ana farkı yaratan bir unsurdur. Klasik kümelerde yer alan üyeler yalnız tek bir üyelik fonksiyonu ile nitelendirilir iken kuramsal anlamda bulanık kümelerde yer alan üyeler sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu ile nitelendirilebilirler. Üyelik fonksiyonlarına ilişkin diğer bir fark ise, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonlarına ait bilginin net olmayışı yani küme üyeliğinin kesin ifadeler ile tanımlanmış herhangi bir önkoşulunun olmaması dolayısıyla iş yapılan olağan akıştaki yol üzerinde değişkenlerin rassal olarak hazır bulunmasıdır. Klasik kümelerde ise küme üyeliğinin net bir tanımı mutlaka mevcuttur (Çetin, 2003).

Üyelik fonksiyonlarının doğru bir şekilde belirlenmesinde, yapılacak çalışmalardaki uygulamalara uyum sağlaması bulanık küme teorisinin esasını

oluşturmaktadır. Bulanık bir kümeye ilişkin üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, rassal bir değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesine benzemektedir (Özkan, 2003).

Bulanık üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında tek bir yöntem veya tek bir analitik metot yoktur. Genellikle ne kadar veya hangi noktadan sonra gibi soruların yanıtları aranarak ve geçmiş tecrübelerden elde edilen bilgiler doğrultusunda bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları oluşturulmaya çalışıldığı gibi bazı durumlarda bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunu belirleme işlemi, parametrelerin uygulamadaki tanımı esas alınarak sezgisel olarak da yapılabilmektedir. Söz konusu üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi tamamen proje yöneticisinin kararına bağlıdır. Dolayısıyla buradan da anlaşılacağı üzere, nesnellik taşımayan üyelik fonksiyonu; projenin oluşturulacağı alt yapının gereklerinin incelenmesinden sonra ortaya çıkarılabilen ve kesin hali mevcut kurallara ve kısıtlara uygunluğuna göre belirlenebilen bir ölçüttür (Özkan, 2003).

3.2.2 Bulanık sayılar

Bulanık sayılar, sınırlı sürekli üyelik fonksiyonuna sahip olan, normalleştirilmiş, reel sayıların bir bulanık alt kümesidir (Dubois ve Prade 1983). Bulanık sayılar, üyelik fonksiyonları gibi gerçel sayılarda tanımlanmış bir bulanık küme içerisinde tanımlanır. Bulanık sayılar, kendi üyelik fonksiyonları ile aynıdır. Dolayısıyla üyelik fonksiyonu çeşidi kadar bulanık sayı çeşidi vardır (Baykal ve Bayan, 2004).

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesi olup; “hemen hemen”, “civarı”, “yaklaşık olarak” vb. gibi kesin olmayan sayısal nicelik ifadelerin nitelik kazanması amacıyla kullanılmaktadır (Özkan, 2003).

3.2.3. Üyelik fonksiyonları

Bilinen matematiksel ifadesi ile, tüm kümeleri kapsayan ve üstünde işlem yapılabilen en geniş küme olan evrensel kümede yer alan her elemana bir sayı atayan işleve üyelik fonksiyonu, atanan sayıya da üyelik derecesi adı verilmektedir (Baykasoğlu ve Gökçen, 2012).

Bulanık kümelerde ise, her bulanık sayı dış bükey bir bulanık kümedir, tersi her zaman doğru değildir. Net sayı yani bulanık olmayan bir sayı sabit bir noktada tanımlı olup; üyelik derecesi ya 0 ya da 1 dir Net sayıların oluşturduğu kesin kümeler, bu üyelik işlemlerinin tanımlandığı kümedir. Bulanık sayılar, sürekli veya parçalı sürekli üyelik fonksiyonları ile gösterilmekte olması sebebiyle ve bulanık bir sayının eşit olduğu değerin kesin olarak bilinmemesi sebebiyle bulanık sayıların üyelik fonksiyonları ise bir aralıkta tanımlı olup; 0 ile 1 arasında değerler alan fonksiyonlar ile modellenir (Baykasoğlu ve Gökçen, 2012).

Bulanık bir sayının değeri net olmasa bile alabileceği değerler ve bu değerlerin üyelik dereceleri kesin olarak bilinmektedir. Üyelik fonksiyonları, verilen bir bulanık küme içerisindeki noktaların farklı üyelik derecelerini göstermektedir. Bulanık değişkenlerin sözel tanımlar arasındaki yumuşak geçişe izin vermesi, gerçek hayat problemlerindeki ölçüm belirsizliklerini ifade etmeye ve bu belirsizliklere çözüm getirmeye olanak sağlar. Ancak kesin ifadeler ile tanımlanan değişkenlerin bu özelliği yoktur (Baykasoğlu ve Gökçen 2012) .

Bulanık üyelik derecelerinin sağlaması gereken Normallik (bulanık kümede yer alan üyelerden en az bir tanesinin en büyük üyelik derecesi 1'e eşit olması gerekliliği), Monotonluk (üyelik derecesi 1'e eşit olan üyeye yakın olan sağda ve soldaki üyelerinde üyelik dereceleri de 1'e yakın olmalıdır) ve Simetrilik (Üyelik derecesi 1'e eşit olan üyeye sağda ve solda eşit mesafede yer alan üyelerin üyelik dereceleri de eşit olmalıdır) olmak üzere üç temel özelliği bulunmaktadır (Şen, 2004) .

Bir A kümesini, $[0, 1]$ aralığında değerler alabilen $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu ile tanımlanan ve U uzayında yer alan bulanık küme olarak ele alırsak A kümesi, $A = \{ (x, \mu_A(x)) / x \in U \}$ olarak formülize edilir ve buradaki $A(x)$ dış bükey bulanık bir alt kümedir. $\mu_A(x)$ ise x 'in bu uzaya ne derece üye olduğunun kriteridir. $\mu_A(x) = 1$ olduğu durumda, x tamamen A kümesinin üyesidir ve $\mu_A(x) = 1$ yapan en az bir tane x sayısı küme içerisinde bulunmalıdır. $\mu_A(x) = (0, 1)$ olduğu durumda, kısmen A kümesinin üyesidir kümede $\mu_A(x) = 0$ olduğu durumda, A kümesinin üyesi değildir. Başka bir deyişle üyelik fonksiyonu olan $\mu_A(x)$ 'in $R[0,1]$ olarak tanımlandığı aralıkta, yani $\mu_A(x)$ 'in, reel sayılar kümesinin $[0,1]$ kapalı aralığında, sürekli bir fonksiyon olduğunu söyleyebiliriz (Alcı ve Karatepe, 2002).

Bulanık faaliyet süreli proje çizelgeleme problemlerinde proje faaliyet sürelerindeki belirsizliğin modellenmesi için uygun bulanık sayı üyelik fonksiyonunun kullanılması, mevcut olan uzman bilgisinin algoritmanın çalıştırılacağı modele matematiksel olarak doğru şekilde aktarılması için önem taşımaktadır. Üyelik fonksiyonlarının değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem bulunmaması sebebiyle hangi biçimde üyelik fonksiyonunun kullanılacak olan algoritma ile gerçeğe yakın sonuç vereceğini önceden belirlemek mümkün değildir. Bulanık sayı üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için birçok metod kullanılmaktadır. En gelişmiş yöntem, uzman tecrübelerinden ve sezgilerinden faydalanarak küme değerlerini belirlemek ve analitik fonksiyon biçiminde ifade etmektir. Bununla birlikte, bulanık sayıların üyelik fonksiyonunu belirlemede en iyi yöntem kavramının olmaması ve farklı yöntemlerin istenilen farklı kriterleri karşılayabileceği prensibi yadsınamaz olsa da denenecek her yöntem, tutarsızlık, sezgide yanılgı, ayırmıcılık ve yorumlamanın zorluğu gibi, sonuçlara ulaşmayı engelleme meyiline sahiptir.

Hesaplamlarda getirdiği kolaylıklar ve projeye uygunluğu göz önüne alınarak üyelik fonksiyonunun seçilmesi, bulanık küme teorisinin esnekliği açısından çok önemlidir. Uygulama alanı göz önünde bulundurularak daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen verilerle üyelik fonksiyonları için özel bir şeklin uygun olup olmayacağı tespit edilebilir Fakat çalışmaların çoğunda farklı şekil

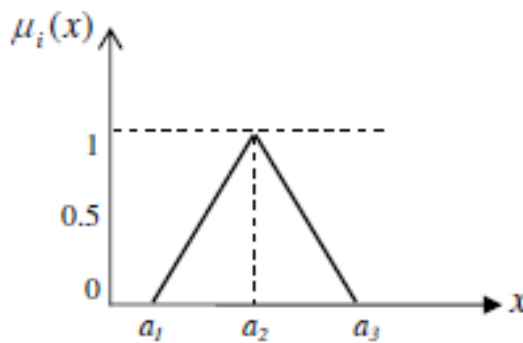
değişikliklerini içeren fonksiyonların kullanılması, fazla duyarlılık göstermez ve çözüm kümesinde çok fazla değişikliğe yol açmaz (Civalek ve Ülker, 2004).

Bulanık kümelerin, uygun üyelik fonksiyonlarının çizilmesinde, hassasiyetin çözüm kümesine etkisinin yüksek olmaması sebebiyle matematiksel çözümde kolaylık sağlayan basit şekiller tercih edilmektedir. Bu sebeple, bulanık sayı üyelik fonksiyonları ile yapılan çalışmalar incelendiği zaman en yaygın kullanıma sahip iki farklı üyelik fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bunlardan birincisi, bu çalışmada da kullanılan ve en yaygın tercih edilen üyelik fonksiyonu olan üçgen bulanık sayı üyelik fonksiyonudur. Diğeri ise yamuk bulanık sayı üyelik fonksiyonudur.

3.2.3.1 Üçgen üyelik fonksiyonu

Bir üçgen bulanık sayısı genellikle a_1, a_2, a_3 şeklinde üç parametreden oluşur. Üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir durumu olmakla beraber bulanık kümedeki parametreler genel olarak gerçekleşebilecek en küçük değeri, en olası ortalama değeri ve gerçekleşebilecek en büyük değeri tanımlamaktadır. Üçgen üyelik fonksiyonun gösterimi aşağıda Şekil.3.1'de yer almaktadır

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise,} & (x-a_1)/(a_2-a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise,} & (a_3-x)/(a_3-a_2) \\ x > a_3 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise,} & 0 \end{cases} \quad (3.12)$$



Şekil 3.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen bulanık sayılar ile yapılan toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri aşağıda gösterilmektedir (Lee, 2005)

$$\text{Toplama : } \tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) \quad (3.13.a.)$$

$$= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (3.13.b.)$$

$$\text{Çıkarma : } \tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) \quad (3.14.a.)$$

$$= (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (3.14.b.)$$

$$\text{Çarpma : } \tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) \quad (3.15.a.)$$

$$= (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3) \quad (3.15.b.)$$

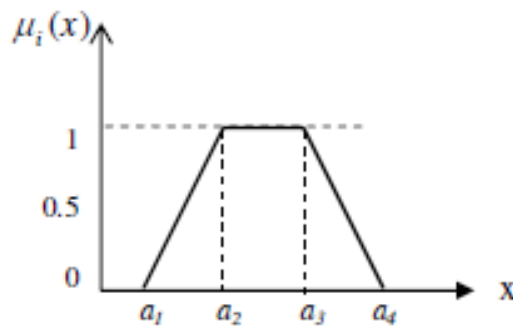
$$\text{Bölme : } \tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oslash (b_1, b_2, b_3) \quad (3.16.a.)$$

$$= (a_1 \div b_1, a_2 \div b_2, a_3 \div b_3) \quad (3.16.b.)$$

3.2.3.2 Yamuk üyelik fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu a_1, a_2, a_3, a_4 şeklinde dört parametreden oluşmaktadır. Bulanık kümelerdeki parametreler için seçilecek olan farklı değerler, yamuk üyelik fonksiyonlarının elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi aşağıda Şekil 3.2.'de yer almaktadır. (Bronshtein vd. , 2007).

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise,} & (x - a_1) / (a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise,} & 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 & \text{ise,} & (a_4 - x) / (a_4 - a_3) \\ x > a_4 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise,} & 0 \end{cases} \quad (3.17)$$



Şekil 3.2. Yamuk üyelik fonksiyonu

Yamuk bulanık sayılar ile yapılan toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri aşağıda gösterilmektedir (Bector ve Chandra, 2005) .

$$\text{Toplama : } \tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \oplus (b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (3.18.a)$$

$$= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad (3.18.b)$$

$$\text{Çıkarma : } \tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \ominus (b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (3.19.a)$$

$$= (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_4) \quad (3.19.b)$$

$$\text{Çarpma : } \tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \otimes (b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (3.20.a)$$

$$= (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3, a_4 \times b_4) \quad (3.20.b)$$

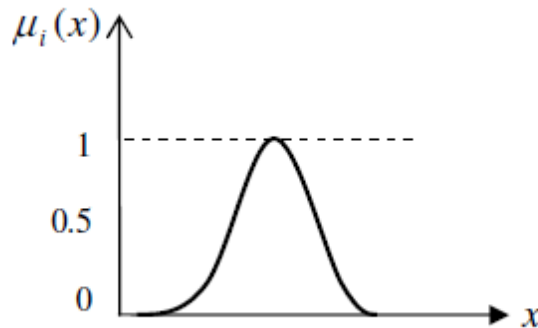
$$\text{Bölme : } \tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \oslash (b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (3.21.a)$$

$$= (a_1 \div b_1, a_2 \div b_2, a_3 \div b_3, a_4 \div b_4) \quad (3.21.b)$$

3.2.3.3 Gaussian üyelik fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu, m ve σ olan iki parametre ile özelleştirilmiştir. Bu fonksiyonda m fonksiyon merkezini ve σ da genişliği ifade eder. σ değerinin değişmesi durumunda grafik şekli değişmektedir. Eğer σ , küçük olursa üyelik fonksiyonu daha ince olurken, σ büyüdükçe üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi genişleyecektir. Gaussian üyelik fonksiyonunun gösterimi aşağıda Şekil3.3.'de yer almaktadır. (Baykal ve Beyan, 2004).

$$\mu_A(x; m, \sigma) = \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{\sigma^2} \right\} \quad (3.22)$$

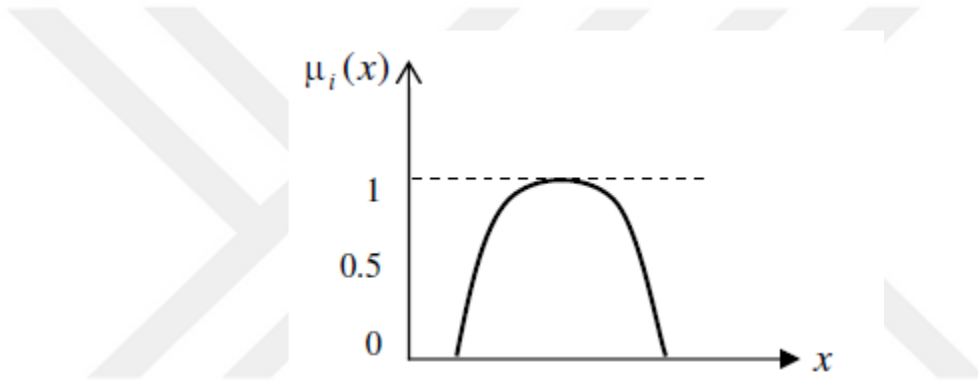


Şekil 3.3. Gaussian üyelik fonksiyonu

3.2.3.4. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

Çan eğrisi üyelik fonksiyonu, diğer adıyla genelleştirilmiş bell üyelik fonksiyonu grafiksel şekil olarak Gaussian üyelik fonksiyonuna benzese de formülasyonunda farklılıkla beraber parametre olarak a_1 , a_2 ve a_3 adıyla üç parametre ile tanımlanır. Çan eğrisi üyelik fonksiyonunun gösterimi aşağıda Şekil3.4.'de yer almaktadır (Baykal ve Beyan, 2004).

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left| \frac{x - a_3}{a_1} \right|^{2a_2}} \right\} \quad (3.23)$$



Şekil 3.4. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

3.3. Bulanık Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (Bulanık PERT)

Her projede ele alınan kısıtların en önemlisi olan öncelik kısıtı ile başa çıkmak için, genellikle Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) ve Kritik Yol Yöntemi (CPM) kullanılması beklenmektedir. Bunun sebebi özellikle çok karmaşık ve faaliyet sürelerinin kesin sayılar ile ifade edildiği projelerin planlamasında, kontrolünde ve çizelgelemesinde, bu iki yöntemin çok iyi sonuçlar vermesidir. PERT ve CPM'in esas odak noktası, temel olan bir görev ağı üzerinden bir projenin planlanması ve kontrol edilmesi için kritik yolun (en uzun ölü (slack) zamansız yolun) tanımlanmasıdır (Davis vd. ,2003). Proje ağının analizi için en yaygın kullanılan klasik Pert yönteminin, proje faaliyet süreleriyle ilgili varsayımlara parametreleri türetme tekniğine ve etkinlik

gerçekleştirme zamanlarının beklentileri ve değişkenlikleri sağlamalarına ilişkin itirazlar gündeme getirmesiyle beraber faaliyet gerçekleştirme zamanlarında rastgelelik, bulanık kavramının Pert metodunda uygulanmasını gerekli hale getirmiştir (Chanas ve Kamburowski, 1981). Faaliyet süresi genellikle klasik kritik yol hesaplamasının sonucunun gerçek dünyadaki durumla tam olarak eşleşememesi için belirsiz bir değerdir (Shankar vd., 2010).

PERT tekniği ileri ve geri hesaplamalar olmak üzere iki adımdan oluşur (Masmoudi vd., 2011), En erken başlangıç ve bitiş tarihlerini (ve dolayısıyla Proje süresinin ve serbest boşlukların (float)) ve en son başlangıç ve en son bitiş tarihlerinin (ve toplam boşlukların (float)) geriye doğru yayılımını belirlemek üzere PERT ve CPM yaklaşımı iki başarılı basamağa dayanır. Bulanık PERT ve CPM yaklaşımında da söz konusu yaklaşım aynıdır. Proje çizelgeleme konusundaki araştırmaların çoğunluğu konu bulanık PERT ve CPM tekniklerine ayrılmıştır (Chanas vd., 2002; Guiffreda ve Nagi, 1998; Zareei vd., 2011; Dubois vd., 2003).

Kritik yol, ölü (slack) zamanlarının sıfır olduğu projenin başlangıcından bitimine kadar olan yoldur. Kritik yol hesaplamasının amacı, gerek klasik gerek bulanık problemlerde ölü (slack) zamanlarının sıfır olduğu yolda kritik faaliyetleri tanımlamaktır. Ayrıca, kritik yolu hesaplamak hem darboğazları tespit ederek hem de çizelgeleme faaliyetlerine analitik anlamlar katarak projelerin planlanmasını, kontrolünü ve performans değerlendirmesini sağlar. Kritik yol hesaplanarak çözümlenen proje çizelgeleme yönteminde, karar veren tarafından projenin zamanı ve maliyeti kontrol edilebilir, proje kalitesini sağlamak üzere kaynak tahsisinde verimlilik artırılabilir ve proje uzunluğunu azaltmak için kaynakların kritik yolda yer alan faaliyetlere yoğunlaştırılması sağlanabilir (Shankar vd., 2010).

Sadece PERT işlem adımları üzerinden hesaplanan, proje tamamlanma süresi ve yolların uzunluğu gibi parametreler, kritik yolu tanımlanmak üzere gerekli risk kriterlerini de içerecektir. Buna rağmen, geri adımlar ek bir kriter gibi değil de bir ağırlık faktörü olarak yarı kritik görevlerin kesirliilerinin hesaplanmasında

kullanılırsa zaten ileri işlemler basit bir bulanık PERT genellemesi içinde çözümleneceği için deterministik işlemler yerine bulanık eşdeğerlerin kullanılması için avantaj sağlar (Zammori vd., 2009).

Bulanık PERT ile planlanan projede her faaliyetin zamanın bulanık zaman olarak ele alındığı düşünülerek hesaplama yapılır. Projeyi tamamlamak için, proje başlangıcından bitirinceye kadar olan zamanı bulmak üzere kıyaslama yöntemi ile ileriye ve geriye doğru olmak üzere iki hesaplama yapılır.

Projenin başlangıcından projenin bitişine kadar geçen süre ileriye doğru ilerleyişte bulanık en erken başlama ile bulanık en erken bitiş zamanlarının ($\widetilde{ES}_i - \widetilde{EF}_i$) ve geriye doğru geçişte bulanık en geç başlama ile bulanık en geç bitiş zamanlarının ($\widetilde{LS}_i - \widetilde{LF}_i$) hesaplanması aşağıda yer alan şekilde yapılmaktadır (Chanas ve Zielinski, 2001).

$$\widetilde{ES}_i = \max_{v_j \in P_i} [\widetilde{ES}_j \oplus \widetilde{d}_j] \quad (3.24)$$

$$\widetilde{EF}_i = \widetilde{ES}_i \oplus \widetilde{d}_i \quad (3.25)$$

$$\widetilde{LF}_i = \min_{v_j \in S_i} [\widetilde{LF}_j \ominus \widetilde{d}_j] \quad (3.26)$$

$$\widetilde{LS}_i = \widetilde{LF}_i \ominus \widetilde{d}_i \quad (3.27)$$

3.4. Paralel Kanguru Algoritması

Kanguru algoritması “Pollard’ın Kangurusu” veya “Pollard’ın Rho algoritması” veya “Pollard’ın Lambda algoritması” olarak da bilinmektedir. Kanguru algoritması, ilk olarak Pollard (1978) tarafından, kesikli logaritmik eniyileme problemlerinin çözümü için “rho” ve “lamda” isimli iki yöntem geliştirilerek ortaya çıkmıştır. Yöntemlerin herhangi bir problem üzerinde performansları test edilmemiş olup; sadece teori üzerinde durulmuştur (Engin vd., 2008) .

Günümüzde kesikli logaritma problemlerinin (Discrete Logarithm Problem) çözümünde bilinen en iyi yöntem Pollard’ın Paralel Rho ve Kanguru algoritmalarıdır. Rho algoritmasının paralelleştirilmesinin popülerleşmesiyle

birlikte, “rho” yöntemi ve “lamda” yöntemi olarak ifade edilmekte ve yöntemler birbirine karıştırılmaktadır. Pollard’ın kesikli logaritmaların çözümü için geliştirdiği “rho” yönteminde, G içinde bir sıralama (y_k) oluşturulur. Başlangıç terimi $y_0 \in G$ seçilir, takip eden kural şöyledir: $y_{k+1} = F(y_k)$, $k \in \mathbb{N}$, $F: G \rightarrow G$. Bu periyodik sıralama, boş bir kâğıt üzerine çizilirse, alt köşeden başlayıp bir daireyle sonlanarak Yunan alfabesindeki rho karakterinin şeklini alır. Lamda yöntemi ise kâğıt üzerine aktarılırsa; evcil kanguru sol alttan, vahşi kanguru sağ alttan başlar ve yolları bir süre sonra kesişir. Bu grafik de Yunan alfabesindeki “lambda” karakteriyle aynıdır ve bunların kesiştiği yerlerde lambda görünümü oluşur. Lamda algoritması ismi de bu algoritmanın görüntüsünün Yunan harflerindeki λ ’ya olan benzerliği ile oluşmuştur. Paralelleştirilmiş “rho” yönteminde, bir den fazla kangurunun sıçrayışıyla değişik şekillerde farklı “rho” sıralamaları bulunmaktadır (Teske, 2003).

Paralel Kanguru Algoritmasında, adından da anlaşılabilceği gibi, aynı zaman diliminde birbirinden bağımsız zıplayan iki operatör (kanguru) bulunmaktadır. Evcil kanguru küçük adımlarla zıplayarak daha yerel aramalar sağlar. Vahşi kanguru ise daha büyük adımlara sahiptir ve farklı çözüm bölgelerine ulaşmaya çalışır. Uygulamada her iki kanguru hareketlerine aynı anda, farklı başlangıç sıralamaları ile başlarlar ve hedef değere ulaşınca kadar veya maksimum iterasyon sayısına ulaşınca kadar zıplamaya devam ederler. Her bir zıplayışın ardından amaç fonksiyonu tekrar hesaplanır, elde edilen sonuç, öncekinden daha iyiye yeni sıralama üzerinden devam edilir. Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında, evcil ve vahşi kangurunun hangisinin ulaştığı sonuç daha iyiye, diğer kanguru da sıradaki iterasyon grubuna o dizilim ile başlar. Bu süreç, hedef değere veya maksimum iterasyon sayısına ulaşılınca kadar devam eder (Baysal vd., 2012).

Yöntemde bir evcil kanguru rassal olarak seçilen bilinen bir başlangıç noktasından başlar iken, aldığı yol üzerinde takibi yapılamadığı için vahşi adı verilen vahşi kanguru da bilinmeyen farklı rassal bir başlangıç noktasından başlar. Bir dizi zıplama yapan kangurular karışık bir rota oluşturur. Daha sonra vahşi kanguru aynı rota üzerinde gezinmeye başlar. Bilinen bir noktadan yola

çıkan Evcil Kangurunun rota üzerinde tam yeri ve yaptığı yol bilinir fakat rotada bulunan Vahşi Kangurunun ne durumda olduğu takibi yapılamayacağından dolayı bilinmez. Bu sebeple zıplamalar mutlak bir sayı ile ifade edildikten sonra evcil kanguru durur ve rotada dolaşımını bitirdiği noktaya bir iz bırakır. Vahşi Kangurunun aldığı yol üzerindeki her zıplayışından sonra evcil kangurunun bıraktığı ize takılma durumu kontrol edilir. Vahşi Kanguru, eğer Evcil Kangurunun bıraktığı ize rast gelirse bu nokta, Evcil Kangurunun rotada dolaşımını bitirdiği nokta ile eşitlenir. Bu; benzer noktalardan geçen iki kangurunun daha önceden rota üzerinde karşılaştığı yani aynı noktaya geldiği anlamına gelmektedir. Vahşi Kanguru belirli bir zıplama sayısından sonra Evcil Kangurunun bıraktığı ize takılmalı ya da durmalıdır. Buradan da anlaşılacağı üzere belli bir yolu kattetikten sonra vahşi kangurunun zıplamaları durabilir. Bu durumda yeni vahşi kanguru o noktaya kadar olan en küçük zıplama aralığından yola girer (Teske, 2000) .

Paralel Kanguru Algoritmasının proje çizelgeleme için aşamaları aşağıda verilmiştir (Kökçam ve Engin, 2010) .

- 1.Aşama: Öncelik ilişkilerini baz alarak tercih edilecek faaliyetleri seçilir.
(Öncül faaliyeti bulunmayan ilk faaliyet ya da öncülü bitirilmiş olan diğer faaliyetler seçilir)
- 2.Aşama: Kaynakların birbiriyle çakışmasının olup olmadığına ilişkin kaynak denetimi yapılır.
 - a. Alternatif konumda olan faaliyetlerin kaynak gereksinimi halihazırda var olan kaynak miktarından fazla ise kaynak çakışması var demektir. Böyle durumda 3.Aşamaya gidilir
 - b. Alternatif konumda olan faaliyetlerin kaynak gereksinimi halihazırda var olan kaynak miktarına eşit veya onlardan daha az ise çakışma söz konusu değildir. Böyle durumda bu faaliyetler seçilerek 4.Aşamaya gidilir
- 3.Aşama: Tercih edilecek faaliyetler seçilir
 - a. Evcil kangurunun ilerlemesi için rassal olarak bir faaliyet seçilir ve Evcil Kanguru zıplayarak rota çizmeye başlar

b. Akabinde vahşi kangurunun ilerlemesi için evcil kangurunun seçmediği bir faaliyet rassal olarak seçilir ve Vahşi kanguru da zıplayarak kendi rotasını çizmeye başlar

4.Aşama Kangurular tarafından üzerinden zıplanarak geçilen faaliyetlerin çizelgelemesi yapılır.

Kangurular tarafından üzerinden zıplanarak geçilen faaliyetlerin tamamlanma zamanları ve bu faaliyetlerin öncüllerinin tamamlanma zamanlarına göre çizelgenin başlangıç zamanlarının ve tamamlanma zamanlarının hesaplaması yapılır.

5.Aşama Algoritmanın sonlandırılması için son denetimler gerçekleştirilir.

a. Kontrol aşamasında eğer proje içerisindeki bütün faaliyetler çizelgelenmişse algoritma sonlandırılır.

b. Kontrol aşamasında eğer proje içerisindeki çizelgelenmemişse ilk aşamaya geri dönülür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Yatırım Projelerinde İzin Süreçleri

Ülkemizde sermayeye sahip potansiyel yatırımcıların öz kaynakları sınırlıdır. Eğer herhangi bir yatırım planlanmış ise yatırımcı mutlaka iç ya da dış kaynaklı krediye ihtiyaç duymaktadır. Söz konusu kredinin gerek temini gerek kullanımı gerek de geri ödemesi noktasında kendine özgü koşullar vardır. Yatırımın finansman süresi ve yatırım için kullanılacak kredinin vadesi uzadıkça krediyi sunan finansal kurum tarafından işletme yatırımının sonuçları daha az tahmin edilebilir olmakla beraber yatırım yapmayı planlayanın bu borcu geri ödeyip ödeyemeyeceği tam olarak belirsizliğini korumaktadır (Ashta, 2009). Durum böyle olunca da faiz riskine karşı borç veren kurum kendisini koruyabilmek adına özellikle uzun süreli yatırımlarda kullanılacak uzun vadeli borçlar için daha yüksek faiz talep etmektedir. Belirsizlik ve risklerin artmasıyla beraber faiz oranları daha da artacak ve sonuçta büyüme için gerekecek uzun vadeli yatırımlar desteklenemeyebilecektir (Delis ve Kouretas, 2011). Hem borç veren finansal kurumların daha ağır şartlar talep edecek olması hem de potansiyel yatırımcının riskli ekonomik şartlarda yüksek risk alıp yatırım projelerinin altına girmek istememesi, belirli süreler içerisinde kullanılması gereken iç ya da dış kaynaklı kredilerin, geri ödemesinin de planlamasını gerektirmektedir. Bu sebeple potansiyel yatırımcı, finansmanı temin etme koşullarının kendisinde oluşmaya başladığını hissetmesinin akabinde, büyük bir hızla yatırımını gerçekleştirip, kullanılan krediyi geri ödeme isteği içerisinde. Yatırımcı; izin süreçlerinin süresi içerisinde sonuçlandırılmaması sebebi ile yatırımın gecikmesi ve bu gecikme sonrasında meydana gelecek ilave maliyetlerle, geri ödemesinin zor bir borç yönetimine dönüşmesini istememektedir.

Yatırım planlayan potansiyel özel veya kamu yatırımcıları, projeye özgü inşaat öncesi, inşaat dönemi ve işletme döneminde farklı izin süreçlerine tabi olmakla beraber söz konusu izin süreçlerine ait yürürlükte bulunan mevzuatlara uygun iş ve işlemleri gerçekleştirmekle yükümlü bulunmaktadır. Yatırım planlayan yatırımcılar; yatırımlarına esas proje yönetim zamanının ortalama olarak yüzde

20'sini idari prosedürlerin yürütülmesi amacıyla bürokrasiye harcamaktadır (Arüv,2013).

Yatırım süreci; öncelikle kuruluşa ait ticari izinlerin alınmasına müteakip; birbiriyle ilişkili, tamamlanması uzun ve zorlu, mülkiyet, plan ve ÇED mevzuatları ile ilgili yükümlülüklerin yerine getirilmesi ile başlar. Bu süreçlerin tamamlanmasından sonra yine projenin konusuna ve kapasitesine özgü olarak ilgili mevzuat kapsamında Yer Seçimi ve Tesis Kurma İzni başvurusu yapılır. Yatırım yapmak üzere tedarik edilen arazi üzerinde inşaat yapılabilir hale gelmesi, yer seçimi tesis kurma izninin alınması ile mümkündür. İmar mevzuatı kapsamında istisna yapılar hariç bütün yapılar için yapı ruhsatı alınması zaruridir. Dolayısı ile yatırımı planlayan potansiyel özel veya kamu yatırımcıları tarafından yatırım kapsamında yapılacak yapılara ilişkin imar mevzuatlarının gereklilikleri çerçevesinde inşaat ruhsatı alınmasına müteakip inşaat sürecine geçilir (Arüv, 2013) .

İnşaat sürecinin tamamlanmasıyla beraber yatırımın işletmeye açılabilmesi için inşaat ruhsatını veren ilgili belediyeye iskan (Yapı kullanım izin belgesi) için yatırımı planlayan yatırımcılar tarafından müracaat edilmesi gereklidir. Çünkü Yapı kullanma izni bulunmayan inşaatlar; elektrik, su, kanalizasyon, haberleşme ve benzeri hizmetlerden faydalanamamaktadır. Yapı kullanım izin belgesi verilebilmesi için inşaatların projelerine, fen ve sağlık kurallarına uygun olarak inşa edilmiş olması, çevre düzenlemesinin yapılmış olması, inşaa kısmında TSE standartlarına uygun malzeme kullanılmış olması ve inşaat süresince belediye tarafından yapılan kontroller sonrası düzenlenen bütün raporların olumlu olması, mevzuata aykırılığın bulunmaması gereklidir (Arüv, 2013) .

Yine İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına ilişkin mevzuat kapsamında yetkili idare tarafından açılma izni yerine geçen deneme izni düzenlenir. Söz konusu deneme izni inşaat ruhsatı almış ve uygun olarak inşa edilmiş yatırımlar için açılma ruhsatı verilmeden önce, çevre kirliliğine karşı alınmış önlemlerin yeterli olup olmadığını saptamak amacıyla verilmektedir. Deneme izninin süresi bir seneyi geçemez (Arüv, 2013).

Tesisin faaliyete geçmesinin akabinde Çevre izni ve ya Çevre İzin ve Lisansına ilişkin yürütülecek izin işlemlerinde, tesis hangi konu başlığı altında mevzuat kapsamında değerlendiriliyorsa çevre ve şehircilik il müdürlüğünden uygunluk görüşü alınması gerekmektedir. Akabinde ilgili meri mevzuat ekinde istenen bilgi ve belgeler hazırlanarak yönetmelik uyarınca elektronik ortamda yatırımcı tarafından görevlendirilen çevre görevlisinin müracaatıyla “Geçici Faaliyet Belgesi” alınmalıdır. Tesis için düzenlenen geçici faaliyet belgesi bir yılı aşmamak üzere ikinci altı aylık dönem içerisinde meri mevzuat ekinde istenen ölçüm ve analizlerin yaptırılması ve akabinde ilgili meri mevzuat ekindeki listelerde ki kendi faaliyet konuları ve kapasiteleri göz önüne alınarak işletmelerin, çevre izni veya çevre izin ve lisansı alması zorunludur (Arüv, 2013)

Tüm gerekli olan alt izinlerin tamamlanmasından sonra tesisin çalışabilmesi için yatırımı planlayan potansiyel özel veya kamu yatırımcıları işyeri açma ve çalışma ruhsatı kapsamında ilgili idareye müracaat eder. Müracaattan sonraki yedi gün içinde yetkili idare tarafından mahalde inceleme yapılır. Müracaat kapsamında sunulan tüm bilgi ve belgeler de dikkate alınarak tesisin açılmaya uygun olduğu belirlendikten sonra açılma izni raporu düzenlenir ve akabinde yetkili idare tarafından işyeri açma ruhsatı düzenlenir (Arüv, 2013).

Ülkemizdeki meri mevzuat kapsamında yatırım projelerine sahip firmaların inşaat yapımından önce, inşaat yapım döneminde ve tesislerin işletme dönemine geçişinde olmak üzere farklı izin süreçlerini tamamlama zorunluluğu bulunmaktadır. Söz konusu bu zorunluluk yatırımcı tarafından zaman kaybı olarak algılanmakla beraber kamu kurumları tarafından ise olmazsa olmaz idari işlemler silsilesi olarak tanımlanmıştır.

Hem yatırımcıların yatırım projelerinin uygulama aşamasına kısa sürede geçebilmesi hem de kamu kurum ve kuruluşların talep ettiği mevzuata uygun olarak yatırım öncesi izinlerin alınması için bu planların ve proje çizelgesinin oluşturulması çok büyük önem arz etmektedir.

Yatırım projelerinin kamu nezdinde alınacak izinlerine ait faaliyetlere ilişkin bilgiler, yedi yıl çalışılan ve yatırımcı firmalara faaliyetleri özelinde, yatırım süreçleri içerisindeki “izin süreç yönetim planı”nın oluşturulması ve bu izinlerin alınması konusunda danışmanlık veren ve ilgili kamu kurumları tarafından gerekli izinlerin alınmasına ilişkin yeterliliği bulunan olan Arüv Çevre Müh. Müş. Hiz. İnş. San. ve Tic. A.Ş.’de edinilen tecrübeler sonucunda ortaya konmuştur. Proje için hazırlanan faaliyet listesinde faaliyetlerin, danışman ilişkisi ile değil yatırımcının kendisi tarafından çizelgelendiği varsayılmıştır.

Söz konusu izin süreçlerinin planlanması ve projelendirilerek çizelgelendirilmesi, her faaliyet özelinde faaliyetin koşullarına ve kapasitelerine göre yapılması gereklidir. Ancak danışman ile yatırımcı arasında imzalanan gizlilik sözleşmeleri gereği hazırlanan bu proje; var olan bir yatırım özelinde değil yatırımcılara ve proje çizelgeleme konusunda ilgisi olanlara bir perspektif ve ya bir çerçeve kazandırmak adına resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren meri mevzuatta yer alan ana izin başlıkları kapsamında hazırlanmıştır. Ayrıca gayrisihhi olarak düşünülen yatırımın, mülkiyetinin kendi yatırımcısına ait olan tapulu alan üzerinde yapıldığı varsayımına göre faaliyet listesi hazırlanmış olup; mülkiyet izinlerine ait hiçbir işlem faaliyet listesinde yer almamaktadır.

Resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren yönetmelik ve tebliğler kapsamında bütün yatırım projeleri için alınması gereken ticari izinlerden ve ÇED ve plan işlemlerine esas işlemler aşamasındaki izinlerden başlayarak işyerinin faaliyete geçmesi için olmazsa olmaz izin olan işyeri açma ve çalışma iznine kadar geçen zamanda alınması zaruri olan 35 izin süreci faaliyet olarak yer almaktadır. Söz konusu faaliyet dizisi içindeki her bir izin alınması için gerekli olan alt izin faaliyetin (ana iznin) öncülü olarak tanımlanmıştır. Yönetmeliklerde veya tebliğlerde yer almayan ama ana faaliyetin (ana iznin) önünde yer alan faaliyetler ise alt iznin alt izni olması sebebiyle ana iznin önünde yer alarak tanımlanmıştır. Örnek vermek gerekirse valilik tespit raporunun alınması, çevre izninin alınması kapsamında gerekli olan bir izindir

Aynı şekilde çevre izni olmayan bir tesise işyeri açma ve çalışma ruhsatı verilemez. Dolayısı ile Valilik tespit raporunun alınması çevre izninin öncülü olması sebebiyle iş yer açma ve çalışma izninin alınması faaliyetinin önünde yer almaktadır. Ayrıca her hangi bir tesisin faaliyete geçmesi için bu listede bulunan tüm izinleri alması mecburidir. Dolayısı ile kritik yolun hesaplanması sadece yol üzerinde bulunan faaliyetlere kaynak ilavesi yapılarak zamanlarının kısaltılması için önem arz etmektedir. Kritik yol üzerinde olmayan izinlerin alınmadan faaliyete geçilmesine sebebiyet verilmemelidir.

4.2.Projenin Çizelgelenmesi

Probleme esas proje faaliyetlerinin genel yapısının oluşturulması ve öncelik ilişkilerinin belirlenmesine müteakip kamu nezdinde alınacak izinlere ilişkin projelerin faaliyet diziliminin çizelgelenmesine yönelik optimum yöntemlerin seçilmesi, yatırımcıya zaman kazandırması açısından önem arz etmektedir. Çünkü proje çizelgeleme ve planlama aşaması da zaman alan süreçlerdir. Bu zaman kazancı, yatırımcının yatırım için bir an önce kredi temin etmesini sağlamakla beraber bu süreçte vakit kaybına mahal vermeyerek (yatırıma esas faaliyetin daha erken başlamasıyla) yatırımcının bu krediyi vadesi uzamadan ödeyebilmesine olanak vermektedir.

Proje çizelgelemesinin için seçilecek yöntemin, yatırım izin süreçlerini optimize edecek biçimde geliştirilmiş olması, uygulama kolaylığına sahip olması ve hayata geçirilmesinin uzun zaman almaması gerekliliğinden hareketle seçim yapılmıştır. Bu seçimden hareketle çalışılan tezde proje çizelgeleme yönetimini sağlamak için iyileştirme yönüne sahip genişletilmiş bulanık PERT ve Paralel Kanguru algoritması yaklaşımı üzerine çalışılmıştır. Aynı zamanda değişen mevzuatlara, yeni teknolojiler veya yeni hedefler gibi değişen çevre koşullarına, projede gerçekleştirilecek her türlü revizyona karşı kolaylıkla uyum sağlayabilecek veri tabanı kullanarak algoritma programlanmıştır.

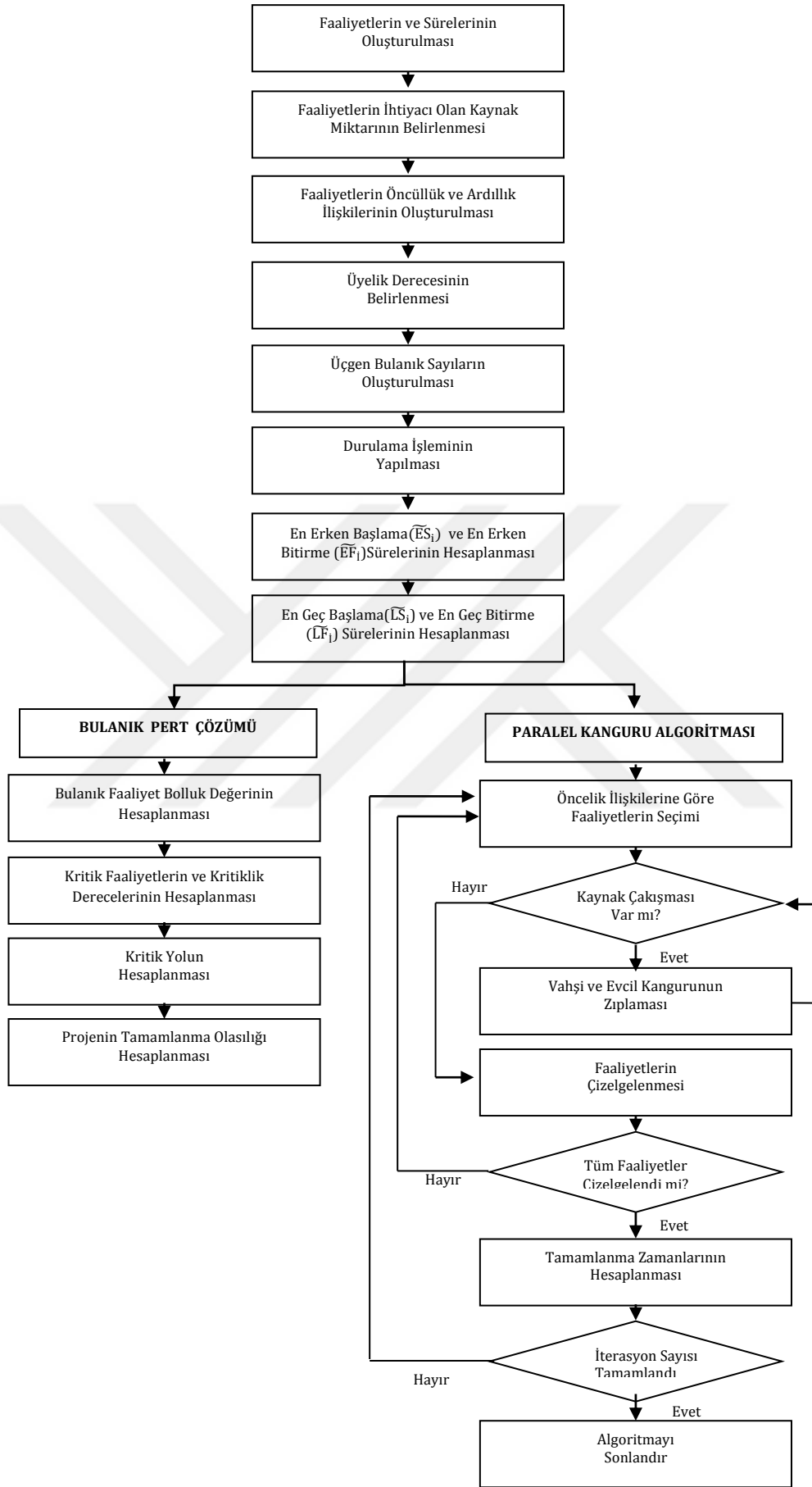
Projenin çizelgelenmesi için seçilen yöntemlerin ilki bulanık olasılık dağılımları ve bulanık mantığı birleştirilerek oluşturulmuş ve literatürde bir çok bilim

adaminin üzerinde çalıştığı bulanık PERT algoritmasıdır. Bu tez çalışmasında Chen-Tung Chen ve Sue-Fen Huang 'ın (2007), "Applying Fuzzy Method For Measuring Criticality in Project Network" makalelerinde önerdikleri Bulanık PERT yaklaşımı kullanılarak proje çizelgelenmiş, sadece problemin yapısının uygun olmaması sebebiyle Chen ve Huang'ın(2007) çalışmasında yer alan α kesim yöntemi kullanılmamıştır.

Projenin ikinci aşamasında yatırım süreçlerine ilişkin kamu nezdinde yürütülecek izinlere ilişkin proje çizelgeleme problemi için diğer kullanılan algoritma, metasezgisel tabanlı stokastik algoritma sınıfına ait Paralel Kanguru algoritmasıdır. Paralel Kanguru algoritması, proje çizelgeleme problemi üzerinde faaliyet sürelerinin ve kaynak ihtiyacının bulanık olarak ele alındığı yeni bir ürün geliştirme projesi problemi üzerinde Abdullah Hulusi Kökçam ve Orhan Engin (2010) tarafından "Solving The Fuzzy Project Scheduling Problems With Meta-Heuristic Methods" isimli araştırmalarında kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında da paralel kanguru algoritma adımları ele alınarak çizelgeleme işlemleri için projeye özgü program modellenmiştir.

Problem çözümleri 2 GHz işlemcili, 2 GB ram belleği olan ve Microsoft Windows 7 Professional işletim sistemi özellikli 32 Bit işletim sistemi olan bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma içerisindeki hesaplamaların, C# programlama dili ile kodlaması yapılmış olup; hazırlanan programın verileri için veri tabanı olarak, bütün bilgisayarlarda bulunabildiği için kullanım kolaylığı sağlaması ve üzerinde kolay değişiklik yapılabilmesi sebebiyle Ms Excel kullanılmıştır.

Proje çizelgeleme aşamasında izlenen yola ilişkin iş akım şeması aşağıda Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Projenin iş akım şeması

1. Aşama Faaliyet sürelerinin oluşturulması ve gerekli olan kaynak miktarının belirlenmesi

Bir faaliyet ve ya yolun kritikliğini hem faaliyet sürelerinin ortalamasını hem de projenin gerçekleşme olasılığını etkileyebilecek faktörler bulunmaktadır. Stokastik ve bulanık teknikler ile çözüm yöntemlerinde bu matematikleştirilemeyen parametrelere göre proje kararları verilebilmektedir. Bir faaliyet herhangi bir koşulda ertelenebilir ya da gecikebilir. Benzer olarak öngörülemeyen projenin ana faaliyetlerindeki revizyonlar ya da çevresel koşullardaki beklenmeyen terslikler nedeniyle proje kapsamında yarattığı aksaklıklar proje kapsamının azalmasına yol açabilir, projenin kalitesini riske atabilir ya da proje süresini uzatabilir.

Kritik yol üzerinde buna benzer olayların hangi sıklıkta meydana geldiğini ve bu olayların meydana gelmesinde ne kadar zaman kaybı yaşandığının dikkate almak gerekmektedir. Başka bir deyişle kritik yolun tanımlanmasında kritiklik belirleyici tek yöntem olarak yolların uzunluğunu kullanmak yerine birçok risk kriterini göz önüne alarak zamanların oluşturulması gereklidir.

Yatırım projelerinin kamu nezdindeki izin süreçlerinde de sadece işi gerçekleştiren tarafından değil yatırımın gerçekleştiği yer seçiminden kaynaklanan, yönetmelik kanun vs gibi tebliğ edilen normların uygulanması gerekliliği sebebiyle ülkede gerçekleşen her türlü yasal ve politikselsüreçten kaynaklanan, bayram vs sebebiyle kamu kurumlarının tatil edilmesinden hatta ve hatta söz konusu izin süreçlerini kamu kurumunda yürütecek olan masanın diğer tarafındaki dosya yetkilisinden (söz konusu personelin hastalanması, başka nedenlerle uzun süre izin alması, kişisel ego nedeniyle süreci özellikle geciktirmesi vs nedenlerden dolayı faaliyetin gecikmesi ve başka bir personele dosyanın geçiş yapamaması gibi) kaynaklı gecikmeler, Van depremi gibi yerel bazlı afetlerden kaynaklı aksaklıklar sebebiyle gecikmeler, işin yapılmasında hizmet alınan firmalardan kaynaklı aksaklıklar gibi benzer aksaklıkların yaşanması gibi önceden tahmin edilemeyen bir çok faktör mevcuttur.

Her ne kadar firmalar arasında bu tarz planların oluşturulması, ortak bir program dili olan Ms Project üzerinden gantt chart çıkartarak yapıp sonuca bağlanmaya çalışılsa da yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı söz konusu projenin bulanık üçgen sayıları temel alan bir matematiksel algoritma ile değerlendirilmesi gereklidir.

Söz konusu proje içerisinde değerlendirilmesi gereken ikinci durum ise kaynakların belirlenmesidir. Yatırımın planlanması için hangi kaynakların ne ölçüde ve ne miktarda kullanılacağını tanımlanması büyük önem arz etmektedir. Çünkü projeye göre planlanmayan kaynaklar projenin sonuçlanmasının önünde engel olan en önemli faktördür. Hele ki izin süreçlerinin yatırımcı açısından hem maddi külfeti olan bir zorunluluk hem de zaman kaybı olarak görülmesi sebebiyle maliyet ve zaman dengesinin kurulması açısından bu planlamanın yapılması gereklidir. Bu proje için kaynak ile ilgili atama kısmı paralel kanguru algoritmasında değerlendirilmiştir. Şu aşamada projenin ilk aşamasında alınması gereken izinlerin eşit önemde olduğu varsayımı ile gerekli olan kaynak miktarı 1 birim olarak ele alınmıştır.

Projeye ait maliyete yönelik işlemlerde, kaynak için ortaya konan gereksinim üzerinden hesaplama yapılacağı için belirli faaliyetlerin gerçekleştirilme olasılıklarının ve özellikle kritik yol üzerinde bulunan faaliyetlerin neler olduğu süreyi kısaltmak adına bu faaliyetlerin ekstradan ne gibi ve ne kadar kaynak gereksinimi olduğunun, yatırımcının bu kaynakları ne ölçüde ve kaynakların ne kadarını tedarik edebileceği hususunda planlama yapılması gerektirmektedir.

Bulanık PERT yöntemi ile proje tamamlanma zamanı hesaplanırken öncelikle uzman kişi tarafından her faaliyet için iyimser (a) kötümser (b) ve ortalama olası (m) olmak üzere üç zaman tahmini yapılması gereklidir. Buradaki zaman tahminleri geçmişte bu izinlerini aldığımız yatırımların tecrübesinden mevzuattaki zaman kısıtları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu doğrultuda her bir faaliyet için oluşturulan iyimser (a), kötümser (b) ve ortalama olası (m) olmak üzere üç zaman öngörüsü, öncülük ilişkileri ve düşünülen kaynak miktarları aşağıdaki tabloda (Çizelge 4.1.) yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Faaliyetlerin zamanlarına öncülerine ve kaynaklarına ilişkin veriler

ID	Görev Adı	En iyimser zaman	Ortalama Olası Zaman	En kötümser Zaman	Öncüler	Kaynak Miktarı
1	TİCARİ İZİNLERİN ALINMASI					
2	Ticaret ünvanının ve imza yetkililerinin noter tasdikinin yapılması	(1;4;6)	(5;7;6)	(8;9;10)		1
3	Ticari işletmesini ve ticaret ünvanını ticaret sicili memurluğuna tescil ettirmek ve tasdikli imza örneğini teslim edilmesi	(10;12;13)	(15;16;17)	(19;20;21)	2	1
4	Şirket Ana Sözleşmesinin Ticaret Sicil Memurluğuna tescil ettirmek ve tasdikli imza örneğinin teslim edilmesi	(9;10;11)	(12;15;16)	(17;18;23)	3	1
5	İşletmenin faaliyet gösterdiği bölgedeki yetkili olan ticaret odasına veya ticaret ve sanayi odasına kaydolmak	(4;5;6)	(6;7;9)	(8;10;12)	4	1
6	Ticaret Sicil Gazetesinin Çıkarılması	(3;5;7)	(6;7;8)	(10;12;13)	5	1
7	Vergi Dairesine Kayıt ve Vergi Levhasının Çıkarılması	(7;10;12)	(13;15;18)	(21;23;25)	6	1
8	SGK Kayıt yaptırılması	(7;12;13)	(8;15;17)	(19;20;21)	7	1
9	İNŞAAT DÖNEMİ ÖNCESİ İZİNLER					
10	Tesis alanının halihazır haritasının hazırlanarak; köşe koordinatlarının belirlenmesi ve sigortalanması;	(5;7;10)	(10;15;20)	(25;30;35)	8	1
11	Tesis alanının aplikasyon krokisinin alınması;	(3;7;8)	(10;15;17)	(15;20;25)	10	1
12	Tesisin taslak vaziyet planının hazırlanması	(3;5;9)	(12;18;20)	(20;25;30)	11	1
13	ÇED e ilişkin raporların hazırlanması ve gerekli belgelendirmenin yapılması	(15;20;35)	(45;60;70)	(90;120;180)	12	1
14	Tesis imar durum belgesinin alınması	(3;5;7)	(10;13;19)	(12;15;20)	12	1
15	Yer Seçimi- Tesis Kurma İzni için vaziyet planının onaylatılması	(3;7;9)	(7;15;20)	(20;25;30)	12	1
16	Belediyenin talep ettiği şekil şartlarına göre statik, mekanik, elektrik vb. detay projelerin hazırlanması nihai vaziyet planının onaylatılması	(3;7;8)	(7;15;20)	(13;25;30)	12	1

ID	Görev Adı	En iyimser zaman	Ortalama Olası Zaman	En kötümser Zaman	Öncüler	Kaynak Miktarı
17	Yer seçimi tesis kurma izninin alınması	(3;5;10)	(6;7;15)	(23;28;30)	12	1
18	Proje uygunluğu açısından TSE görüşünün alınması	(4;7;8)	(9;10;15)	(20;25;30)	16;17	1
19	İlgili Belediyesi; İtfaiye Daire Başkanlığına vaziyet planı ve yangın önlemlerine ilişkin projenin onaylatılması	(2;6;9)	(7;13;20)	(15;25;33)	15;16	1
20	Tesise ait projelerin onaylarının alınması işlemlerinin tamamlanması	(4;7;9)	(9;10;13)	(12;15;20)	16	1
21	Yapı denetim firması seçimi	(5;7;8)	(6;10;19)	(13;19;23)	13;14;15;16;17;18;19;20	1
22	İnşaat Ruhsatlarının alınması	(3;5;10)	(10;14;18)	(15;20;35)	21	1
23	Hafriyat izninin alınması	(2;7;10)	(15;20;25)	(20;22;34)	22	1
24	İnşaat çalışmalarının başlanması	(1;2;3)	(3;5;7)	(8;9;10)	23	1
25	İNŞAAT DÖNEMİ SONRASI İZİNLER					
26	İnşaatın tamamlanması	(135;145;160)	(165;170;190)	(250;300;360)	24	1
27	Yapı Kullanma İzin Belgelerinin alınması	(3;5;10)	(17;20;25)	(30;48;60)	26	1
28	Kapasite Raporunun alınması	(14;18;20)	(25;30;39)	(40;45;48)	26	1
29	İl Müdürlüğü Uygunluk belgesinin alınması	(17;20;25)	(27;30;37)	(40;43;45)	26	1
30	Yangın önlemleri yeterlidir/uygundur belgesi alınması	(10;12;15)	(23;32;35)	(42;48;54)	26	1
31	TSE Hizmet Yeri Yeterlik Belgesinin alınması	(10;14;18)	(27;35;38)	(45;60;80)	26	1
32	Deneme izninin alınması	(16;17;19)	(20;30;40)	(48;60;120)	27;28;29;30;31	1
33	Tesisin faaliyete başlaması	(20;30;40)	(30;35;42)	(45;60;67)	32	1
34	Geçici Faaliyet Belgesinin alınması	(30;45;48)	(50;60;70)	(80;90;120)	33	1
35	İŞLETME DÖNEMİ İZİNLERİ					
36	Emisyon; Gürültü; Deşarj ile ilgili gerekli ölçümlerin ve raporlamaların yaptırılması;	(30;49;68)	(60;90;100)	(110;120;125)	34	1
37	Valilik Tespit Raporu alınması	(13;15;25)	(27;30;37)	(40;45;48)	36	1

ID	Görev Adı	En iyimser zaman	Ortalama Olası Zaman	En kötümser Zaman	Öncüler	Kaynak Miktarı
38	Çevre İzin & Lisans Belgesi alınması	(65;90;135)	(120;154;160)	(165;180;190)	37	1
39	İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatının (GSM) alınması	(17;20;25)	(18;30;47)	(45;60;61)	38	1

2. Aşama: Üyelik Derecesinin Belirlenmesi

Bulanık kümelerle ait üyelik derecelerinin ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, öncelik olarak konu ile çalışan veya uzman olmuş kişilerin sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılması buna göre derecelendirme ve çıkarım yapılması esastır. Özellikle sezgisel yaklaşımlarda işin metodolojisinin gerekliliği olmamakla beraber projeyi çizelgeleyen kişinin olaylara bakış açısı ve hayat görüşü önem arz etmektedir. Ancak çıkarım söz konusu olduğunda mutlaka ele alınan proje hakkında çizelgeleme parametrelerini ve kısıtlarını tahmin ederken hem süreçle hemde yapılan proje ile ilgili temel bilgilere sahip olmak olmazsa olmaz bir durumdur.

Söz konusu projenin ana faaliyetlerinin, alt faaliyetlerinin ve bu faaliyetlere esas zamanların oluşturulmasında, mevzuatta yer alan kanunların ve bu kanunların işleyişini belirlemek üzere yönetmeliklerin, tebliğlerin ve kurumlar arası işleyişi içeren genelgelerin ve ayrıca kamu kurumları nezdinde bürokrasiden kaynaklı işlemlerin yadsınamaz derecede büyük bir payı vardır. Yadsınamaz böyle bir etkene rağmen uzman tecrübeleri ile her faaliyetin, yatırımcının karşılaşılabileceği aksaklıkların, ülke nezdinde tatil edilebilecek zamanların ve kamu kurumundaki işleyişin etkisi ile projenin yapısına özgü tamamlanma zamanları üzerinde tahminlerde bulunulabilmektedir.

Tezde ele alınan projenin faaliyet sürelerine esas uygun bulanık sayı üyelik fonksiyonunun belirlenmesinde, her iznin daha önceki projelerde gerçekleşme süreleri baz alınarak ve bu sürede gerçekleşme olasılıklarını (kaç projede bu faaliyet bu sürede gerçekleşti/bu izni içeren proje sayısı *100) ve bu

gerçekleşmesi esnasında öngörülmeleyen aksaklıkların çıkma sıklığıyla her süre miktarına farklı bir ağırlıklandırma yapılarak üçgen bulanık sayı fonksiyonun uygun olduğu tespit edilmiştir.

3. Aşama: Üçgen bulanık sayıların oluşturulması

Projeye esas bilgiler ile çıkarım yapılarak proje için üçgen bulanık sayı fonksiyonun kullanılmasının uygun olduğu tespit edilse de PERT yöntemi ve Bulanık PERT yönteminin özünde üç zamanlı tahmin yaklaşımı (zamanların üç parametre ile iyimser (a), kötümser (b) ve muhtemel (m) ifade edilmesi) olması sebebi ile üçgen bulanık sayı kullanımına elverişlidir. (Arslan ve Khisty, 2002)

Bu tezde kullanılan yöntem Chen ve Huang (2007) 'ın çalışmalarında öne sürülen bulanık PERT yaklaşımıdır. Bu çalışmada da Chen ve Huang (2007)'ın çalışmalarında olduğu gibi faaliyet süreleri üçgen bulanık sayı şeklinde tanımlanmıştır.

Bahse konu üçgen bulanık sayılar, $\tilde{T} = (b_1, l_1, s_1)$ biçiminde ifade edilen üç gerçel sayı ile tanımlı olan sayılardır ve $\mu(\tilde{x})$ 'in bulanık sayıların bulanık küme üyelik fonksiyonu olarak tanımlandığı koşullar için üçgen bulanık sayıların üyelik fonksiyonları aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\mu(\tilde{x}/\tilde{T}) = \begin{cases} 0, & x < b_1 \\ \frac{x-b_1}{l_1-s_1}, & 1 \leq x \leq l_1 \\ \frac{s_1-x}{s_1-l_1}, & l_1 \leq x \leq s_1 \\ 0, & x > s_1 \end{cases} \quad (4.1)$$

İki pozitif üçgen bulanık sayının (b_1, l_1, s_1) ve (b_2, l_2, s_2) olarak tanımlandığı durumda iki bulanık sayının toplama işlemi ve çıkarma işlemi aşağıda gösterildiği şekilde yapılır.

$$(b_1, l_1, s_1) \oplus (b_2, l_2, s_2) = (b_1 + b_2, l_1 + l_2, s_1 + s_2) \quad (4.2)$$

$$(b_1, l_1, s_1) \ominus (b_2, l_2, s_2) = (b_1 - b_2, l_1 - l_2, s_1 - s_2) \quad (4.3)$$

Faaliyet zamanları üçgen bulanık sayılar ile ifade edilen projelerde faaliyete ilişkin ileri doğru ve geriye doğru işlemlerin hesaplanması yukarıda bahsi geçen formüller ile yapılmaktadır. Ayrıca üçgen bulanık sayı ile çalışılan tüm algoritmaların modellenmesi ve herhangi bir programa aktarılması da yine bu formüller baz alınarak yapılmaktadır.

Lee ve Li (1988) tarafından önerilen yöntemde üçgen bulanık sayı olarak ele alınan $T = (b, l, s)$ sayısı için ortalama değeri $G(\tilde{T})$ olarak ve genelleştirilmiş standart sapması $S(\tilde{T})$ olarak ifade edildiğinde bu değerleri hesaplama işlemleri aşağıda gösterildiği şekilde yapılır.

$$G(\tilde{T}) = (b + l + s) / 3 \quad (4.5)$$

$$S(\tilde{T}) = 1/18 [b^2 + l^2 + s^2 - bl - sl - bs] \quad (4.6)$$

Proje özelinde ortalama değer , genelleştirilmiş standart sapması , varyans ve beklenen değer hesaplamaları aşağıda Çizelge 4.2.'de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Faaliyetlerin süreleri varyans ve beklenen değerleri

ID	Ortalama Değer (a + b + m) / 3	Standart Sapma 1/18 [a ² + b ² + m ² - ab - bm - am]	Varyans [(b-a)/6] ²	Beklenen Değer (a + 4m + b)/6
2	(4,67;6,67;4,33)	(2,06;1,06;0,89)	(1;0;0)	(4;6;5)
3	(14,67;16,00;17,00)	(3,39;2,67;2,67)	(1;1;1)	(14;16;17)
4	(12,67;14,33;16,67)	(2,72;2,72;6,06)	(1;1;4)	(12;14;16)
5	(6,00;7,33;9,00)	(0,67;1,06;1,5)	(0;0;1)	(6;7;9)
6	(6,33;8,00;9,33)	(2,06;2,17;1,72)	(1;1;1)	(6;7;8)
7	(13,67;16,00;18,33)	(8,22;7,17;7,06)	(4;4;4)	(13;15;18)
8	(11,33;15,67;17,00)	(7,39;2,72;2,67)	(4;1;1)	(9;15;17)
10	(13,33;17,33;21,67)	(18,06;22,72;26,39)	(9;9;16)	(11;16;20)
11	(9,33;14,00;16,67)	(6,06;7,17;12,06)	(4;4;4)	(9;14;16)
12	(11,67;16,00;19,67)	(12,06;17,17;18,39)	(4;9;9)	(11;17;19)
13	(50,00;66,67;95,00)	(237,5;422,22;954,17)	(144;256;576)	(47;63;82)
14	(8,33;11,00;15,33)	(3,72;4,67;8,72)	(1;1;4)	(9;12;17)
15	(10,00;15,67;19,67)	(13,17;13,56;18,39)	(4;9;9)	(8;15;19)
16	(7,67;15,67;19,33)	(4,22;13,56;20,22)	(1;9;9)	(7;15;19)
17	(10,67;13,33;18,33)	(19,39;27,06;18,06)	(9;9;9)	(8;10;16)
18	(11,00;14,00;17,67)	(11,17;15,5;21,06)	(4;9;9)	(10;12;16)
19	(8,00;14,67;20,67)	(7,17;15,39;24,06)	(4;9;16)	(7;13;20)

ID	Ortalama Değer (a + b + m)/ 3	Standart Sapma 1/18 [a ² + b ² + m ² - ab - bm - am]	Varyans [(b-a)/6]^2	Beklenen Değer (a + 4m + b)/6
20	(8,33;10,67;14,00)	(2,72;2,72;5,17)	(1;1;1)	(8;10;13)
21	(8,00;12,00;16,67)	(3,17;6,5;10,06)	(1;4;4)	(7;11;17)
22	(9,33;13,00;21,00)	(6,06;9,5;27,17)	(4;4;16)	(9;13;19)
23	(12,33;16,33;23,00)	(14,39;11,06;24,5)	(9;4;16)	(13;18;24)
24	(4,00;5,33;3,67)	(2,17;2,06;2,06)	(1;1;1)	(3;5;5)
26	(183,33;205,00;236,67)	(593,06;1154,17;1938,89)	(361;625;1089)	(174;187;213)
27	(16,67;24,33;31,67)	(30,39;79,39;109,72)	(16;49;64)	(16;22;28)
28	(26,33;31,00;35,67)	(28,39;30,5;34,06)	(16;16;16)	(25;30;37)
29	(28,00;31,00;35,67)	(22,17;22,17;16,89)	(9;9;9)	(27;30;36)
30	(25,00;30,67;34,67)	(43,17;54,22;63,39)	(25;36;36)	(24;31;34)
31	(27,33;36,33;45,33)	(51,06;88,39;166,89)	(25;49;100)	(27;35;41)
32	(28,00;35,67;59,67)	(50,67;81,06;473,39)	(25;49;256)	(24;32;49)
33	(31,67;41,67;49,67)	(26,39;43,06;37,72)	(16;25;16)	(30;38;45)
34	(53,33;65,00;79,33)	(105,56;87,5;226,89)	(64;49;144)	(51;62;74)
36	(66,67;86,33;97,67)	(272,22;211,72;136,06)	(169;121;81)	(63;88;98)
37	(26,67;30,00;36,67)	(30,39;37,5;22,06)	(16;25;9)	(26;30;36)
38	(116,67;141,33;161,67)	(418,06;357,56;126,39)	(256;225;81)	(118;147;160)
39	(26,67;36,67;44,33)	(42,06;72,22;54,89)	(16;36;36)	(22;33;45)

4. Aşama Durulama işlemi ile faaliyet sürelerinin oluşturulması

Sayılar esneklik kazandırarak bulanıklaştırma işleminin yapılması sonrasında evrensel bulanık bir küme oluşmaktadır. Söz konusu kümenin kapsadığı sonucun tekrar sistem üzerinden uygulamasının yapılabilmesi için çoğu zaman sayısal net bir değere dönüştürülmesi gereklidir. Bu sürece durulama adı verilmektedir. Durulama süreci; karar verme sürecinden alınan bulanık bir veriden uygulamada kullanılacak net kesin sayılardan oluşan gerçek değerlerin elde edilmesi olarak tanımlanır. (Etaner 1993).

Proje özelinde faaliyet süreleri bulanık değerler ile ifade edilse de proje özelinde işlemlerin yapılması sürecinde bulanık sayıların kesin sayılara dönüştürülmesi ele alınan proje açısından hem sonuçlara ulaşılma kısmında kolaylık sağlamakta hem daha anlamlı sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır.(Arslan ve Khisty, 2002)

PERT gibi doğasında üç zamanlı tahmin yaklaşımı bulunan bir yöntem üzerinde, üçgen bulanık sayıların kullanılması durumu durulaştırma uygulanmadan parametreleri üçgen bulanık küme olgusundan çıkarıp, her kenarı üçgen bulanık üyelik fonksiyonundan oluşan prizma boyutuna ulaştırmaktadır. Dolayısı ile durulaştırmadan bu tekniği uygulamak NP zor kapsamında olan kaynak kısıtlı

proje çizelgeleme probleminin çözümünü daha kompleks ve daha zor hale getirmektedir.

Durulama işlemlerinde maksimum üyelik yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlık ortalaması yöntemi, Ortalama-Max üyelik yöntemi gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır. Tüm durulama işlemlerinde üyelik derecelerinden oluşan değerler ve kuralların uygulanması sonucu oluşan değerler hesaplanır. Akabinde probleme en uygun olacağı düşünülen teknik seçilerek durulama işlemi gerçekleştirilir. (Elmas 2003).

Bulanık sayılarının kesin sayılara dönüştürmek için durulama yapılmak üzere Lee ve Li (1988) tarafından önerilen genelleştirilmiş ortalama değer yöntemi kullanılmıştır.

Üçgensel bulanık sayı olarak tasarlanmış faaliyet sürelerinden yola çıkılarak bulanık PERT için ortalama değerler hesaplanmıştır. Ortalama değerlerin hesaplanmasında iyimser kötümser ve olası ortalama süreleri, üç farklı değer olması sebebiyle üçte bir oranına bölünmüş ve sonuç değerler toplanıp ortalama değerler elde edilmiştir. Söz konusu değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Durulaştırma sonrası hesaplanan faaliyet süresi

ID	En iyimser zaman	Ortalama Olası Zaman	En kötümser Zaman	Durulaştırma sonrası Faaliyet Süresi
2	(1;4;6)	(5;7;6)	(8;9;10)	(4,67;6,67;4,33)
3	(10;12;13)	(15;16;17)	(19;20;21)	(14,67;16;17)
4	(9;10;11)	(12;15;16)	(17;18;23)	(12,67;14,33;16,67)
5	(4;5;6)	(6;7;9)	(8;10;12)	(6;7,33;9)
6	(3;5;7)	(6;7;8)	(10;12;13)	(6,33;8;9,33)
7	(7;10;12)	(13;15;18)	(21;23;25)	(13,67;16;18,33)
8	(7;12;13)	(8;15;17)	(19;20;21)	(11,33;15,67;17)
10	(5;7;10)	(10;15;20)	(25;30;35)	(13,33;17,33;21,67)
11	(3;7;8)	(10;15;17)	(15;20;25)	(9,33;14;16,67)
12	(3;5;9)	(12;18;20)	(20;25;30)	(11,67;16;19,67)
13	(15;20;35)	(45;60;70)	(90;120;180)	(50;66,67;95)
14	(3;5;7)	(10;13;19)	(12;15;20)	(8,33;11;15,33)
15	(3;7;9)	(7;15;20)	(20;25;30)	(10;15,67;19,67)
16	(3;7;8)	(7;15;20)	(13;25;30)	(7,67;15,67;19,33)
17	(3;5;10)	(6;7;15)	(23;28;30)	(10,67;13,33;18,33)
18	(4;7;8)	(9;10;15)	(20;25;30)	(11;14;17,67)
19	(2;6;9)	(7;13;20)	(15;25;33)	(8;14,67;20,67)
20	(4;7;9)	(9;10;13)	(12;15;20)	(8,33;10,67;14)
21	(5;7;8)	(6;10;19)	(13;19;23)	(8;12;16,67)
22	(3;5;10)	(10;14;18)	(15;20;35)	(9,33;13;21)

ID	En iyimser zaman	Ortalama Olası Zaman	En kötümser Zaman	Durulaştırma sonrası Faaliyet Süresi
23	(2;7;10)	(15;20;25)	(20;22;34)	(12,33;16,33;23)
24	(1;2;3)	(3;5;7)	(8;9;10)	(4,5,33;3,67)
26	(135;145;160)	(165;170;190)	(250;300;360)	(183,33;205;236,67)
27	(3;5;10)	(17;20;25)	(30;48;60)	(16,67;24,33;31,67)
28	(14;18;20)	(25;30;39)	(40;45;48)	(26,33;31;35,67)
29	(17;20;25)	(27;30;37)	(40;43;45)	(28;31;35,67)
30	(10;12;15)	(23;32;35)	(42;48;54)	(25;30,67;34,67)
31	(10;14;18)	(27;35;38)	(45;60;80)	(27,33;36,33;45,33)
32	(16;17;19)	(20;30;40)	(48;60;120)	(28;35,67;59,67)
33	(20;30;40)	(30;35;42)	(45;60;67)	(31,67;41,67;49,67)
34	(30;45;48)	(50;60;70)	(80;90;120)	(53,33;65;79,33)
36	(30;49;68)	(60;90;100)	(110;120;125)	(66,67;86,33;97,67)
37	(13;15;25)	(27;30;37)	(40;45;48)	(26,67;30;36,67)
38	(65;90;135)	(120;154;160)	(165;180;190)	(116,67;141,33;161,67)
39	(17;20;25)	(18;30;47)	(45;60;61)	(26,67;36,67;44,33)

5. Aşama : Her faaliyet için en erken bulanık başlama ve en erken bulanık bitirme sürelerinin hesaplanması

Her bir faaliyetin en erken başlangıç zamanını belirlemek için ileri doğru işlemler yapılır. İleri doğru işlemler ağ üzerindeki her faaliyetin en erken gerçekleştirmeye başlama zamanını ve en erken tamamlama zamanlarını hesaplanmasını kapsamaktadır. İleri gidiş süreci, projenin ilk yani başlangıç faaliyetinden başlar, en son faaliyetine doğru ilerler. Bu işleme başlamak için projenin ilk faaliyetine sıfır olan bir zaman değeri atanır. Bu süreçte her faaliyetin olabildiğince erken, yani ardılı olması sebebiyle başlama zamanının bağımlı olduğu öncül faaliyetlerinin bitmesine müteakip hemen başlayacağı varsayımına göre işlem yapılır. (Keskinel, 2000)

Bu süreçte yukarıda da değinilen varsayım kapsamında, bir faaliyete ilişkin işlemlerin başlayabilmesi için o faaliyetin ardılı olan birden fazla faaliyet bulunuyorsa, yani birden fazla faaliyetin tamamlanması durumunda, başlayabilecek bir faaliyetin en erken başlama zamanının hesaplanması gereklidir.

Bu tezde ele alınan projenin faaliyet zamanlarında bulanık sayıları kıyaslama ve i faaliyetinin $\widetilde{ES}_i, \widetilde{EF}_i$ değerlerini hesaplama aşamasında, Lee ve Li (1988)'nin

genelleştirilmiş ortalama tekniği kullanılmaktadır. İleriye doğru hesaplama ile bütün faaliyet dizisinin başlangıç faaliyeti 1, son faaliyet ise son faaliyet numarası olarak basit bir algoritma ile, j, faaliyetten önceki faaliyet dizisi, i ise faaliyetten sonraki faaliyet dizisi olmak üzere bütün diğer faaliyetler $i < j$ olacak şekilde numaralandığı şartlarda en erken başlama ve en erken bitirme zamanlarının hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$\widetilde{ES}_i = \max_{j \in P(i)} \{ \widetilde{ES}_j \oplus \widetilde{d}_j \} \quad (4.7)$$

$$\widetilde{EF}_i = \widetilde{ES}_i \oplus \widetilde{d}_i \quad (4.8)$$

Yukarıda yer alan denklemde $\widetilde{ES}_i$ en erken bulanık başlama süresini ve $\widetilde{EF}_i$ en erken bulanık bitirme süresini, $\widetilde{d}_i$ de i faaliyetinin gerçekleştiği süreyi ifade etmektedir. Burada $P(i)$, i faaliyetlerinin öncüllerine ait kümedir. Faaliyet dizisinin başlangıç hesaplamalarında en erken bulanık başlama süresi $\widetilde{ES}_1 = (0,0,0)$ olarak ele alınır. $\widetilde{EF}_i$ ise faaliyet dizisinin bitişindeki hesaplamalar da projenin tamamlanma süresi olan $\widetilde{T}_{son}$ değerine eşittir. (Chen ve Huang, 2007)

Yatırımcılar genellikle yatırımın erken başlamasını sağlamak ve kredi alımı ile sermaye ediniminin gecikmesini önlemek adına izin süreçlerine ait bir faaliyetin öncüllerinin tamamı bitirilmemiş olsa bile, ardıl izinleri olabildiğince erkenden başlatmak yönünde meyillidir. Oysa kamu kurumları bu konuda olabildiğince kendilerini kanunlar önünde sağlama almak adına katı kurallara sahiptir. Alt izinler tamamlanmadan müracaat edilse bile ana izne esas belge düzenlenmemektedir. Bu meyilden kaynaklı yatırımcının bulanık sayılarla ifade edilen ileri doğru hesaplamaları dikkatle yapması önem arz eder.

Bu tezde yer alan proje kapsamında yer alan veriler ele alınarak ve bulanık faaliyet sürelerinin ortalama değerlerinden yola çıkılarak $\widetilde{ES}_i$ (erken bulanık başlama), $\widetilde{EF}_i$ (erken bulanık bitirme) zamanları C# programıyla hesaplanmış ve aşağıda yer alan tabloda (Çizelge4.4.) gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Faaliyetler ilişkin hesaplanan Esi ve Efi süreleri

ID	Bulanık en erken başlama zamanı(Esi)			Bulanık en erken bitirme zamanı(Efi)		
2	0	0	0	4,67	6,67	4,33
3	4,67	6,67	4,33	19,34	22,67	21,33
4	19,34	22,67	21,33	32,01	37,00	38,00
5	32,01	37	38	38,01	44,33	47,00
6	38,01	44,33	47	44,34	52,33	56,33
7	44,34	52,33	56,33	58,01	68,33	74,66
8	58,01	68,33	74,66	69,34	84,00	91,66
10	69,34	84	91,66	82,67	101,33	113,33
11	82,67	101,33	113,33	92,00	115,33	130,00
12	92	115,33	130	103,67	131,33	149,67
13	103,67	131,33	149,67	153,67	198,00	244,67
14	103,67	131,33	149,67	112,00	142,33	165,00
15	103,67	131,33	149,67	113,67	147,00	169,34
16	103,67	131,33	149,67	111,34	147,00	169,00
17	103,67	131,33	149,67	114,34	144,66	168,00
18	111,34	147,00	169,00	122,34	161,00	186,67
19	113,67	147,00	169,34	121,67	161,67	190,01
20	111,34	147,00	169,00	119,67	157,67	183,00
21	153,67	198,00	244,67	161,67	210,00	261,34
22	161,67	210,00	261,34	171,00	223,00	282,34
23	171,00	223,00	282,34	183,33	239,33	305,34
24	183,33	239,33	305,34	187,33	244,66	309,01
26	187,33	244,66	309,01	370,66	449,66	545,68
27	370,66	449,66	545,68	387,33	473,99	577,35
28	370,66	449,66	545,68	396,99	480,66	581,35
29	370,66	449,66	545,68	398,66	480,66	581,35
30	370,66	449,66	545,68	395,66	480,33	580,35
31	370,66	449,66	545,68	397,99	485,99	591,01
32	397,99	485,99	591,01	425,99	521,66	650,68
33	425,99	521,66	650,68	457,66	563,33	700,35
34	457,66	563,33	700,35	510,99	628,33	779,68
36	510,99	628,33	779,68	577,66	714,66	877,35
37	577,66	714,66	877,35	604,33	744,66	914,02
38	604,33	744,66	914,02	721,00	885,99	1075,69
39	721,00	885,99	1075,69	747,67	922,66	1120,02

6. Aşama Her faaliyet için en geç başlama ve en geç bitirme sürelerini hesaplanması

Her bir faaliyetin en geç bulanık başlangıç zamanlarını belirlemek için geriye doğru işlemler yapılır. Geriye doğru hesaplama yöntemi, ağ üzerindeki her faaliyetin en geç gerçekleştirmeye başlama zamanını ve en geç tamamlama zamanlarını hesaplanmasını kapsamaktadır.

Bu tezde ele alınan projenin faaliyet zamanlarında bulanık sayıları kıyaslama ve i faaliyetinin $\widetilde{LS}_i, \widetilde{LF}_i$ değerlerini hesaplama aşamasında, Lee ve Li (1988)'nin

genelleştirilmiş ortalama tekniği kullanılmaktadır. Geriye doğru hesaplama ile bütün faaliyet dizisinin başlangıç faaliyeti 1, son faaliyet ise son faaliyet numarası olarak basit bir algoritma ile j, faaliyetten önceki faaliyet dizisi, i ise faaliyetten sonraki faaliyet dizisi olmak üzere bütün diğer faaliyetler j>i olacak şekilde numaralandığı şartlarda en geç bitirme ve en geç başlama zamanlarının hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$\widetilde{LF}_i = \min_{j \in S(i)} \{ \widetilde{EF}_j \ominus \widetilde{d}_i \} \quad (4.9)$$

$$\widetilde{LS}_i = \widetilde{LF}_i \ominus \widetilde{d}_i \quad (4.10)$$

Yukarıda yer alan denklemde $\widetilde{LF}_i$ en geç bulanık bitirme süresini, $\widetilde{LS}_i$ ise en geç bulanık başlama süresini ifade etmektedir. Burada yer alan $S(i)$ i faaliyetlerinin ardıllarının kümesi olarak tanımlıdır. En son düğümde yer alan en geç bulanık bitirme süresi $\widetilde{T}_{son}$ değerine eşittir.

Bulanık faaliyet sürelerinin ortalama değerlerinden yola çıkılarak $\widetilde{LS}_i$ (en son bulanık başlama) ve $\widetilde{LF}_i$ (en geç bulanık bitirme) C# programıyla hesaplanmış ve aşağıda yer alan tabloda (Çizelge4.5) gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Faaliyetler ilişkin hesaplanan Lsi veLfi süreleri

ID	Bulanık en geç başlama zamanı(Lsi)			Bulanık en geç bitirme zamanı(Lfi)		
2	-372,35	0,18	372,35	-368,02	6,67	377,02
3	-368,02	6,67	377,02	-351,02	22,67	391,69
4	-351,02	22,67	391,69	-334,35	37	404,36
5	-334,35	37	404,36	-325,35	44,33	410,36
6	-325,35	44,33	410,36	-316,02	52,33	416,69
7	-316,02	52,33	416,69	-297,69	68,33	430,36
8	-297,69	68,33	430,36	-280,69	84	441,69
10	-280,69	84	441,69	-259,02	101,33	455,02
11	-259,02	101,33	455,02	-242,35	115,33	464,35
12	-242,35	115,33	464,35	-222,68	131,33	476,02
13	-222,68	131,33	476,02	-127,68	198	526,02
14	-143,01	187,00	517,69	-127,68	198,00	526,02
15	-168,02	167,66	508,02	-148,35	183,33	518,02
16	-167,68	167,66	510,35	-148,35	183,33	518,02
17	-163,68	170,67	504,35	-145,35	184,00	515,02
18	-145,35	184,00	515,02	-127,68	198,00	526,02
19	-148,35	183,33	518,02	-127,68	198,00	526,02
20	-141,68	187,33	517,69	-127,68	198,00	526,02

ID	Bulanık en geç başlama zamanı(Lsi)			Bulanık en geç bitirme zamanı(Lfi)		
21	-127,68	198,00	526,02	-111,01	210,00	534,02
22	-111,01	210,00	534,02	-90,01	223,00	543,35
23	-90,01	223,00	543,35	-67,01	239,33	555,68
24	-67,01	239,33	555,68	-63,34	244,66	559,68
26	-63,34	244,66	559,68	173,33	449,66	743,01
27	186,99	461,66	753,67	218,66	485,99	770,34
28	182,99	454,99	744,01	218,66	485,99	770,34
29	182,99	454,99	742,34	218,66	485,99	770,34
30	183,99	455,32	745,34	218,66	485,99	770,34
31	173,33	449,66	743,01	218,66	485,99	770,34
32	218,66	485,99	770,34	278,33	521,66	798,34
33	278,33	521,66	798,34	328,00	563,33	830,01
34	328,00	563,33	830,01	407,33	628,33	883,34
36	407,33	628,33	883,34	505,00	714,66	950,01
37	505,00	714,66	950,01	541,67	744,66	976,68
38	541,67	744,66	976,68	703,34	885,99	1093,35
39	703,34	885,99	1093,35	747,67	922,66	1120,02

7. Aşama : BULANIK PERT ÇÖZÜMÜ

7.a. Bulanık faaliyet bolluk değerinin hesaplanması

Geleneksel PERT'de, her bir faaliyet için boşluk süresi (gecikme süresi), en geç ve en erken başlangıç zamanları arasındaki fark veya en geç ve en erken bitiş zamanları arasındaki farktır söz konusu fark değerleri bulanık olmayan faaliyetlerde birbirine eşittir. Ancak Bulanık PERT için bulanık faaliyet zamanlarında en erken ve en geç başlama ve bitiş zamanlarına α kesimi yapılmadığı sürece bu eşitlik sağlanamaz. Bu sebeple faaliyet için boşluk süresi (gecikme süresi) hesaplamak üzere en geç ve en erken başlangıç zamanları arasındaki fark veya en geç ve en erken bitiş zamanları arasındaki farktan biri tercih edilir. Her iki hesaplamada faaliyetlerin kritiklik derecesi baz alındığı için aynı kritik yolu verir Bu tez çalışmasında α kesimi tekniği ele alınan problem özelinde gerçek değerleri yansıtamayacağı düşünüldüğü yapılmamıştır. İzin süreçleri üzerinde her i faaliyeti için $\widetilde{ES}_i, \widetilde{LS}_i, \widetilde{EF}_i, \widetilde{LF}_i$ değerleri hesaplandıktan sonra en geç ve en erken başlangıç zamanları arasındaki fark bulanık faaliyet bolluğu olarak ele alınmış olup; bulanık faaliyet bolluğu ($\widetilde{m}_i$) aşağı şekilde formülize edilmiştir.

$$\widetilde{m}_i = \widetilde{LF}_i \ominus \widetilde{ES}_i \ominus \widetilde{d}_i \quad (4.11)$$

$$\tilde{m}_i = \tilde{L}\tilde{S}_i \ominus \tilde{E}\tilde{S}_i \quad (4.12)$$

Çalışılan bu teze konu olan projeye esas, en erken bulanık başlama zamanı ($\tilde{E}\tilde{S}_i$) ve en geç bulanık başlama zamanı ($\tilde{L}\tilde{S}_i$) değerlerinden yola çıkılarak hesaplanan bulanık faaliyet bolluk değerleri aşağıda yer alan tabloda (Çizelge4.6) gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Bulanık faaliyet bolluk değeri

ID	Bulanık en erken başlama zamanı(Esi)			Bulanık en geç başlama zamanı(Lsi)			Bolluk Değeri (Lsi-Esi)		
2	0	0	0	-372,35	0,18	372,35	-372,35	0,18	372,35
3	4,67	6,67	4,33	-368,02	6,67	377,02	-372,69	0,00	372,69
4	19,34	22,67	21,33	-351,02	22,67	391,69	-370,36	0,00	370,36
5	32,01	37	38	-334,35	37	404,36	-366,36	0,00	366,36
6	38,01	44,33	47	-325,35	44,33	410,36	-363,36	0,00	363,36
7	44,34	52,33	56,33	-316,02	52,33	416,69	-360,36	0,00	360,36
8	58,01	68,33	74,66	-297,69	68,33	430,36	-355,70	0,00	355,70
10	69,34	84	91,66	-280,69	84	441,69	0,00	0,00	4902,92
11	82,67	101,33	113,33	-259,02	101,33	455,02	-350,03	0,00	350,03
12	92	115,33	130	-242,35	115,33	464,35	-341,69	0,00	341,69
13	103,67	131,33	149,67	-222,68	131,33	476,02	-334,35	0,00	334,35
14	103,67	131,33	149,67	-143,01	187,00	517,69	-326,35	0,00	326,35
15	103,67	131,33	149,67	-168,02	167,66	508,02	-246,68	55,67	368,02
16	103,67	131,33	149,67	-167,68	167,66	510,35	-271,69	36,33	358,35
17	103,67	131,33	149,67	-163,68	170,67	504,35	-271,35	36,33	360,68
18	111,34	147,00	169,00	-145,35	184,00	515,02	-267,35	39,34	354,68
19	113,67	147,00	169,34	-148,35	183,33	518,02	-256,69	37,00	346,02
20	111,34	147,00	169,00	-141,68	187,33	517,69	-262,02	36,33	348,68
21	153,67	198,00	244,67	-127,68	198,00	526,02	-253,02	40,33	348,69
22	161,67	210,00	261,34	-111,01	210,00	534,02	-281,35	0,00	281,35
23	171,00	223,00	282,34	-90,01	223,00	543,35	-272,68	0,00	272,68
24	183,33	239,33	305,34	-67,01	239,33	555,68	-261,01	0,00	261,01
26	187,33	244,66	309,01	-63,34	244,66	559,68	-250,34	0,00	250,34
27	370,66	449,66	545,68	186,99	461,66	753,67	-250,67	0,00	250,67
28	370,66	449,66	545,68	182,99	454,99	744,01	-183,67	12,00	207,99
29	370,66	449,66	545,68	182,99	454,99	742,34	-187,67	5,33	198,33
30	370,66	449,66	545,68	183,99	455,32	745,34	-187,67	5,33	196,66
31	370,66	449,66	545,68	173,33	449,66	743,01	-186,67	5,66	199,66
32	397,99	485,99	591,01	218,66	485,99	770,34	-197,33	0,00	197,33
33	425,99	521,66	650,68	278,33	521,66	798,34	-179,33	0,00	179,33
34	457,66	563,33	700,35	328,00	563,33	830,01	-147,66	0,00	147,66
36	510,99	628,33	779,68	407,33	628,33	883,34	-129,66	0,00	129,66
37	577,66	714,66	877,35	505,00	714,66	950,01	-103,66	0,00	103,66
38	604,33	744,66	914,02	541,67	744,66	976,68	-72,66	0,00	72,66
39	721,00	885,99	1075,69	703,34	885,99	1093,35	-62,66	0,00	62,66

7.b. Kritik faaliyetlerin hesaplanması

Bir faaliyetin başlama tarihinde yaşanan olağan üstü durumlardan kaynaklı bir aksaklık, bir ertelenme veya bir gecikme, tüm projenin tamamlanma sürecinde bir gecikmeye sebebiyet veriyor ise o olağan üstü şartlar altındaki faaliyete kritik faaliyet denir. (Ertuğrul ve Karakaşoğlu,2008)

Faaliyet zamanlarının bulanık sayılar ile ifade edildiği durumlarda kritik yolu hesaplamak zordur. Bu sebeple faaliyet dizisinde yer alan her bir yolun kritikliği hesaplanmalı ve buradaki hesaplamalar baz alınarak kritik yolun rotasına karar verilmelidir.

Hem klasik PERT hem de bulanık PERT yöntemlerin ikisinde de , faaliyet bolluk değeri sıfıra eşit olan faaliyetler kritik faaliyet olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla bu açıklamadan çıkarılacağı üzere faaliyet bolluğunun azalması durumunda kritikleşme fonksiyonu artış gösterir. (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008)

Bir faaliyetin sahip olduğu bulanık faaliyet bolluğunun $\tilde{m}_i = (d_i, f_i, n_i)$ olarak ifade edildiği durumda, bu faaliyetin kritikliğinin (CD_i) hesaplanması aşağıda verilmiştir. (Chen ve Huang, 2007)

$$CD_i = \begin{cases} 1, & f_i \leq 0 \\ \frac{-d_i}{f_i - d_i}, & d_i < 0 < f_i \\ 0, & f_i \geq 0 \end{cases} \quad (4.13)$$

Projeye esas, en erken bulanık başlama zamanı ($\tilde{E}S_i$) ve en geç bulanık başlama zamanı ($\tilde{L}S_i$) değerlerinin farkı ile elde edilen bulanık faaliyet bolluk değerleri ($\tilde{m}_i$) ve bolluk değerleri esas alınarak hesaplanan faaliyetlerin kritiklik değerleri (CD_i) aşağıda yer alan tabloda (Çizelge4.7.) gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Kritiklik değerleri

ID	Bolluk Değeri (LS _i -ES _i)			Kritiklik değeri (Cd _i)
2	-372,35	0,18	372,35	1
3	-372,69	0,00	372,69	1
4	-370,36	0,00	370,36	1
5	-366,36	0,00	366,36	1
6	-363,36	0,00	363,36	1
7	-360,36	0,00	360,36	1
8	-355,70	0,00	355,70	1
10	0,00	0,00	4902,92	1
11	-350,03	0,00	350,03	1
12	-341,69	0,00	341,69	1
13	-334,35	0,00	334,35	1
14	-326,35	0,00	326,35	1
15	-246,68	55,67	368,02	1
16	-271,69	36,33	358,35	0,81587564
17	-271,35	36,33	360,68	0,88205311
18	-267,35	39,34	354,68	0,88192278
19	-256,69	37,00	346,02	0,87172715
20	-262,02	36,33	348,68	0,87401682
21	-253,02	40,33	348,69	0,87823027
22	-281,35	0,00	281,35	0,86251918
23	-272,68	0,00	272,68	1
24	-261,01	0,00	261,01	1
26	-250,34	0,00	250,34	1
27	-250,67	0,00	250,67	1
28	-183,67	12,00	207,99	1
29	-187,67	5,33	198,33	0,93867225
30	-187,67	5,33	196,66	0,97238342
31	-186,67	5,66	199,66	0,97238342
32	-197,33	0,00	197,33	0,97057141
33	-179,33	0,00	179,33	1
34	-147,66	0,00	147,66	1
36	-129,66	0,00	129,66	1
37	-103,66	0,00	103,66	1
38	-72,66	0,00	72,66	1
39	-62,66	0,00	62,66	1

7.c. Kritik Yolun Hesaplanması

Bir proje ağında, yol tanımı, ilk düğümden son düğüme giden bir dizi faaliyeti ifade eder. Söz konusu ağın kritik faaliyetleri başlangıçtan bitişe tüm şebekeyi kapsayacak şekilde kesintisiz bir yol oluşturmak zorundadır. Her bir faaliyetin kritikliği ile belirlenen tüm yolun kritikliği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$CD(P_k) = \min_{i \in P_k} \{ CD_i \} \quad (4.14)$$

Yukarıda yer alan formülde; P_k , ağ üzerindeki k yolunu ve $CD(P_k)$ ise, k yolunun kritikliğini ifade etmektedir. Eğer P yolu kritik olarak tanımlanmış ise, $CD(P_k) = \max_k \{ CD(P_k) \}$ 'yı vermektedir.

Yatırım projelerine esas izin süreçlerinin çizelgelenmesi sürecinde C# programı aracılığıyla yapılan hesaplama sonucunda ağ üzerinde 50 adet alternatif yol rotası oluşturulmuştur. Bu yollara ait kritiklik dereceleri faaliyet dizisini oluşturan 35 faaliyetin kritikliği ile hesaplanmış olup; yolların rotaları, kritiklik dereceleri ve projeye esas kritik yol aşağıda yer alan Çizelge 4.8 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Yolların kritiklik derecelerinin ve kritik yolun hesaplanması

No	Yol	CD(P_k)
1	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,97
2	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,99
3	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,99
4	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,98
5	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	1
6	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,84
7	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,84
8	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,84
9	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,84
10	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,84
11	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,9
12	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,9
13	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,9
14	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,9
15	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,9
16	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,9
17	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,9
18	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,9
19	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,9
20	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,9
21	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-18-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,89
22	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-18-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,89
23	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-18-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,89
24	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-18-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,89
25	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-18-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,89
26	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-19-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,9
27	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-19-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,9
28	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-19-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,9

No	Yol	CD(P _k)
29	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-19-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,9
30	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-19-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,9
31	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-20-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,89
32	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-20-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,89
33	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-20-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,89
34	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-20-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,89
35	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-20-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,89
36	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,9
37	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,9
38	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,9
39	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,9
40	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-16-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,9
41	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-18-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,89
42	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-18-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,89
43	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-18-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,89
44	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-18-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,89
45	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-18-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,89
46	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,89
47	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,89
48	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,89
49	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,89
50	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-17-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,89

The screenshot shows the FPERT program interface. At the top, there is a 'Dosya Yolu' (File Path) field with the value 'C:\Users\Cesur\Desktop\zamanlama 2 (Otomatik kaydedildi).xlsx' and a 'Sayfa' (Page) field with the value '1'. There are buttons for 'Dosya Seç' (Select File) and 'Başla' (Start). Below this is a table with three columns: 'No', 'Yol', and 'CD (P_k)'. The table lists 17 activities with their respective paths and criticality values. At the bottom, there is a 'T_end' field with the value '747,67;922,66;1120,02', a 'Test Zamanı' (Test Time) field, and a 'PM' field. There is a 'Hesapla' (Calculate) button.

No	Yol	CD (P _k)
1	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,97
2	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,99
3	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,99
4	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,98
5	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	1
6	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,84
7	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,84
8	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,84
9	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,84
10	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-14-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,84
11	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,9
12	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,9
13	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-29-32-33-34-36-37-38-39	0,9
14	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-30-32-33-34-36-37-38-39	0,9
15	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-19-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39	0,9
16	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-21-22-23-24-26-27-32-33-34-36-37-38-39	0,9
17	2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-15-21-22-23-24-26-28-32-33-34-36-37-38-39	0,9

Şekil4.2. FPERT program ara yüzü

Kritiklik derecesi 1 olan rota içerisinde, 2-3-4-5-6-7-8-10-11-12-13-21-22-23-24-26-31-32-33-34-36-37-38-39 ID numaralı faaliyetlerin oluşturduğu yol kritik yoldur. Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin bulanık sürelerinin toplamı bulanık proje tamamlanma süresini verir. Projenin en erken tamamlanma zamanı gün üzerinden (747,67;922,66;1120,02) olarak hesaplanmıştır. Buradan

da anlaşılaçağı üzere yatırım projelerine esas sadece kamu nezdindeki izinler için eniyimser durumda iki buçuk seneye yakın en kötümser durumda da üç buçuk seneye yakın bir zaman dilimini harcanmasının gerekliliğı görölmektedir. Söz konusu projede mülkiyete esas herhangibir izin bulunmadığı düşünölürse izin süreçleri üzerinde çizelgeleme yapılması gerekliliğinin önemi daha iyi anlaşılacaktır.

7.d. Projenin tamamlanma olasılığı hesaplanması

Yatırım izin süreçlerinin faaliyet dizisindeki bütün faaliyetlerin zaman parametreleri bulanık sayı olarak ele alınması sebebiyle karşılaştırma yapabilmek adına projenin tamamlanma süresinde ($\tilde{T}_{son}$) bulanık sayı olarak ele alınması gerekir (Chen ve Huang, 2007)

Her hangi bir projenin zaman parametreleri özelinde, ($\tilde{T}_{son}$) ile ($\tilde{R}$) değerleri karşılaştırarak bu parametrelerden hesaplanan tamamlanma zamanı ile söz konusu projenin tamamlanma olasılığı hesaplanabilir. Elde edilen belirli zamanı ($\tilde{R}$) = (b_1, b_2, b_3) olarak ve projenin tamamlanma zamanını ise ($\tilde{T}_{son}$) = (d_1, d_2, d_3) olarak ele aldığımızda $\tilde{T}_{son}$ ile $\tilde{R}$ arasındaki fark, $\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son} = (b_1 - d_3, b_2 - d_2, b_3 - d_1)$ ve $\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son}$ bulanık sayısının üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son}}$ olacaktır. (Chen ve Huang, 2007)

Bahse konu belirli bir zaman için, (PM) ile gösterilen değer ile proje tamamlanma zamanını karşılama olasılığı tanımlandığında bu değer aşağıdaki koşullar çerçevesinde belirlenir (Chen ve Huang, 2007)

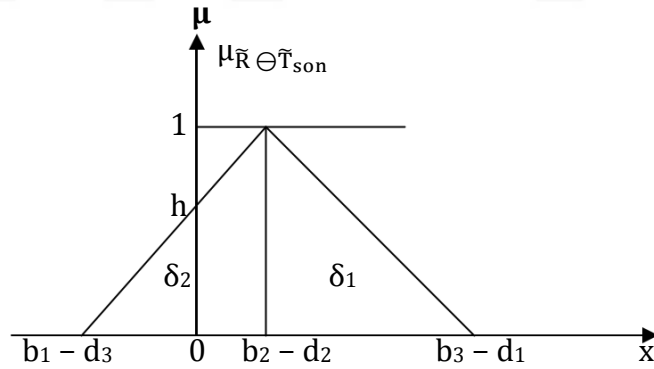
- Eğer $b_1 - d_3 \geq 0$ ise, $\tilde{R} > \tilde{T}_{son}$ proje belirlenen tarihte tamamlanmış olacaktır. Yani, proje tamamlanma olasılığı %100'dür.
- Eğer $b_3 - d_1 < 0$ ise, $\tilde{R} < \tilde{T}_{son}$ proje belirlenen tarihte tamamlanmayacaktır. Yani, proje tamamlanma olasılığı 0'dır.
- Eğer $b_1 - d_3 < 0 \leq b_3 - d_1$ ise, $\tilde{R}$ ve $\tilde{T}_{son}$ 'nun üyelik fonksiyonları örtüşecektir. Yani, proje belirlenen tarihte tamamlanabilecektir.

$\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son}$ üçgen bulanık üyelik fonksiyonunun yüksek değerdeki pozitif üyelere sahip olması projenin belirtilen zamanda tamamlanma olasılığını arttıran bir etkendir. (Chen ve Huang, 2007)

Belirli bir zaman diliminin tanımlanması durumunda bu zaman diliminin tamamlanma süresini karşılama olasılığı aşağıda verilen formülasyon ile hesaplanmaktadır.

$$PM = \begin{cases} 1, & b_1 - d_3 \geq 0 \\ \frac{\delta_1}{\delta_1 + \delta_2}, & b_1 - d_3 < 0 \leq b_3 - d_1 \\ 0, & b_3 - d_1 < 0 \end{cases} \quad (4.15)$$

Söz konusu denklem çerçevesinde; formülasyonda yer alan, $\delta_1 = \int_{x \geq 0} \mu_{\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son}}(x) dx$, $\delta_2 = \int_{x \leq 0} \mu_{\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son}}(x) dx$ ve $\mu_{\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son}}$ ifadeleri, $\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son}$ 'un üçgen bulanık üyelik fonksiyonu olup, fonksiyona ait grafiksel şekli (Şekil 4.3) aşağıdaki görülmektedir. (Chen ve Huang, 2007)



Şekil 4.3. $\mu_{\tilde{R} \ominus \tilde{T}_{son}}$ 'un üyelik fonksiyonu (Chen ve Huang, 2007)

Bir projenin faaliyet dizisinde kritik yol üzerinde yer alan faaliyetlerin zamanları kısalsın ise, proje tamamlama zamanını karşılama olasılık (PM) değeri artar.

Farklı projeler özelinde tahmini olabilecek tamamlanma zamanları ile bu zamanların kritik yol üzerinden karşılama olasılıkları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı zamanların kritik yol ile proje karşılama olasılıkları (PM)

$\bar{R}$	$\hat{T}_{son}$	PM
(500,700,1200)	(747.67;922,66;1120.02)	0,282
(900,1000,1500)	(747.67;922,66;1120.02)	0,8325
(700,850,1000)	(747.67;922,66;1120.02)	0,291
(750,925,1300)	(747.67;922,66;1120.02)	0,6013

8.Aşama:PARALEL KANGURU ALGORİTMASI

8.a.Öncelik ilişkilerini baz alarak tercih edilebilecek faaliyetlerin seçimi

Öncülü olmayan ilk faaliyet ve öncülü tamamlanmış olan faaliyetler aşağıda Çizelge 4.10' da gösterilmiştir. Algoritmanın başlangıcında öncelik ilişkileri baz alınarak tercih edilebilecek tek faaliyet, hiçbir öncülü bulunmayan ilk başlama faaliyeti olan 2. faaliyetdir. Tüm faaliyetlerin en erken bulanık başlama zamanları ve en geç bulanık tamamlanma zamanlarının hesabı 5. ve 6. Aşamada hesaplanmış olup, çizelge4.4 ve çizelge 4.5 'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Öncelik ilişkilerine göre tanımlanan faaliyet süreleri

ID	Faaliyet Süresi			Öncüler	Kaynak Miktarı
2	4,67	6,67	4,33	-	1
3	14,67	16,00	17,00	2	1
4	12,67	14,33	16,67	3	1
5	6,00	7,33	9,00	4	1
6	6,33	8,00	9,33	5	1
7	13,67	16,00	18,33	6	1
8	11,33	15,67	17,00	7	1
10	13,33	17,33	21,67	8	1
11	9,33	14,00	16,67	10	1
12	11,67	16,00	19,67	11	1
13	50,00	66,67	95,00	12	1
14	8,33	11,00	15,33	12	1
15	10,00	15,67	19,67	12	1
16	7,67	15,67	19,33	12	1
17	10,67	13,33	18,33	12	1
18	11,00	14,00	17,67	16;17	1
19	8,00	14,67	20,67	15;16	1
20	8,33	10,67	14,00	16	1
21	8,00	12,00	16,67	13;14;15;16;17;18;19;20	1
22	9,33	13,00	21,00	21	1
23	12,33	16,33	23,00	22	1
24	4,00	5,33	3,67	23	1
26	183,33	205,00	236,67	24	1
27	16,67	24,33	31,67	26	1

ID	Faaliyet Süresi			Öncüler	Kaynak Miktarı
28	26,33	31,00	35,67	26	1
29	28,00	31,00	35,67	26	1
30	25,00	30,67	34,67	26	1
31	27,33	36,33	45,33	26	1
32	28,00	35,67	59,67	27;28;29;30;31	1
33	31,67	41,67	49,67	32	1
34	53,33	65,00	79,33	33	1
36	66,67	86,33	97,67	34	1
37	26,67	30,00	36,67	36	1
38	116,67	141,33	161,67	37	1
39	26,67	36,67	44,33	38	1

8.b. Kaynakların birbiriyle çakışmasının olup olmadığına ilişkin kaynak denetimi yapılır.

Kaynak çakışması denetimin başında kaynak ihtiyacını belirlemek için kaynak mevcudiyetini göz önünde bulundurularak öncelik ilişkilerine göre seçilebilecek faaliyetler için toplam talep edilen kaynak sayılarının belirlenmesi gelir. Bu amaca yönelik hesaplamada seçilen faaliyete göre ikinci adımda alternatif olabilecek faaliyetlerin toplam kaynak ihtiyaçları göz önüne alınır. Kaynak ihtiyacı için zıplanabilecek alternatiflerin kaynak toplamı ile elde edilir. (Kaynak tipi k 'ya göre ($k=1,...,q$), seçilebilecek alternatif faaliyetlerin kümesinin A olarak gösterilmesi durumunda alternatif faaliyetlerin toplam gereksinim duyduğu kaynak miktarı $\sum_{i \in A} G_{ik}$ olarak ifade edilir.) Mesela bir faaliyetin ardılları ile beraber varsa diğer alternatiflerinin toplamı üç olsun, bu üç faaliyetin kaynak sayısının toplamı kadar ilk faaliyetin kaynak ihtiyacı var olduğu düşünülür.

Akabinde ele alınan o faaliyetin mevcut kaynak sayısına (M_k) göre gereksinim duyulan kaynak sayısı büyük ise ($\sum_{i \in A} G_{ik} > M_k$ olduğu durum için) kaynak çakışması vardır ve zıplama aşamasına geçilir. Eğer yok ise, seçilebilecekler kümesindeki faaliyetler çizelgelenir.

8.c. Tercih edilecek faaliyetler seçilir ve zıplama adımı başlar

Paralel kanguru algoritmasında operatör olarak yer alan evcil kanguru küçük adımla daha yerel aramalar için zıplama yapar. Diğer operatör vahşi kanguru ise daha büyük adımlarla farklı çözüm bölgelerine ulaşmaya çalışmak amacıyla

zıplama yapar yani bunun anlamı; evcil kanguru az ve garantili adım atar izlenebildiği için hatalı attığı adımda en başa dönmesi sıkıntılıdır. Vahşi kanguru ise çok adım atma özelliğine sahip olduğu için zıplayacağı alternatifleri dilediği gibi kullanabilmektedir.

Bu aşamada evcil kanguru rassal olarak bir faaliyeti seçer ve zıplayarak rota çizmeye başlar. Vahşi kanguru da evcil kangurunun attığı adımdan farklı rassal olarak evcil kangurunun seçmediği başka bir faaliyeti seçer ve vahşi kanguru da zıplayarak kendi rotasını çizmeye başlar. Hem vahşi kanguru için hem de evcil kanguru için seçilen faaliyetler, seçilebilecek alternatif faaliyetlerin kümesi olan A kümesinden çıkarılır ve en erken başlama zamanına kendi faaliyet süresi eklenmek suretiyle $(\widetilde{E}S_i + \widetilde{d}_i)$ tamamlanacaklar kümesine (T kümesine) eklenir ve geride kalan tüm ardıl faaliyetlerin en erken bulanık başlama zamanı güncellenir.

Akabinde tamamlanacaklar (T) kümesine eklenen son faaliyete, ihtiyaç duyulan miktara göre ilave edilerek kaynak ataması yapılır ve kaynak miktarları güncellenir. Başka bir deyişle mevcut kaynak sayısının gereksinim duyulandan küçük olduğu faaliyet için yani $\sum_{i \in A} G_{ik} > M_k$ olduğu durum için, mevcut kaynak (M_k) sayısına $\sum_{i \in A} G_{ik} - M_k$ sayısı kadar kaynak eklenir ve faaliyete atanması planlanan kaynak miktarı $\sum_{i \in A} G_{ik}$ kadar olur.

8.d. Seçilebilecekler kümesindeki faaliyetleri çizelgele.

Evcil ve Vahşi Kangurular tarafından üzerinden zıplanarak geçilen faaliyetlerin tamamlanma zamanları ve bu faaliyetlerin öncüllerinin tamamlanma zamanlarına göre çizelgenin başlangıç zamanlarının ve tamamlanma zamanlarının hesaplanması yapılır.

8.e. Algoritmanın sonlandırılması için son denetimler gerçekleştirilir.

Bu aşamada, bütün faaliyetlerin çizelgelenip çizelgelenmediği kontrol edilir. Eğer faaliyetlerin hepsi çizelgelenmemişse, tüm faaliyetler çizelgelenene kadar

8.a. aşamasına geri dönülür ve 8.b. den 8.c. ye kadar olan tüm işlemler tekrarlanır.

Eğer proje içerisindeki bütün faaliyetler çizelgelenmişse, vahşi kanguru ve evcil kanguru üzerinde amaç fonksiyon değeri tekrar tekrar hesaplanır, ulaşılan değer öncekiyle aynı veya daha iyiye bu iterasyon üzerinden, değilse önceki iterasyonların eniyisi üzerinden devam edilir. Bu sayede bir iterasyon grubu tamamlanır, algoritma sonlandırılır ve vahşi ve evcil kangurudan sonucu daha iyi olanın dizilimi kabul edilir.

Son değerlendirmelerin ışığında değerlendirme fonksiyonu hesaplanarak Projenin bulanık tamamlanma zamanı incelenir. Hedef değere ulaşılmadığının düşünüldüğü durumda, maksimum projeyi çizelgeleyen yatırımcının uygun gördüğü iterasyon sayısına ulaşana kadar algoritmanın tüm adımları devam edilir Yani algoritmanın önceki adımları, hedef değere ulaşıncaya kadar, ulaşılmazsa iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar tekrarlanır.

Yatırım izin süreçlerinin yukarıda açıklanan paralel kanguru algoritması ile çözümünde C# üzerinde kodlarının oluşturulduğu bir program yazılarak hesaplamalar yapılmış olup; 10.000 iterasyonda iki kanguru için ancak optimum sonuca ulaşılmıştır. Vahşi Kanguru (779,34;963,67;1164,36) sürede ve (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 15, 14, 16, 17, 19, 13, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 30, 31, 29, 28, 27, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39) faaliyet yolu üzerinde çizelgeleme yapar iken Evcil Kanguru için bu süre (780,00;958,67;1159,03) olarak (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 30, 29, 31, 28, 27, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39) faaliyet yolu üzerinde tamamlanmıştır Vahşi Kangurunun tamamlanma süresinin Evcil Kangurunun tamamlama süresine göre daha kısa olması nedeniyle Vahşi Kangurunun yapmış olduğu rota tercih edilmiştir.

Çözüm fonksiyonu C# üzerinde oluşturulmuş program ile (Şekil 4.4) hesaplanarak hem vahşi kanguru için (Çizelge4.11) hem de evcil kanguru için (Çizelge4.12) tamamlama süreleri, proje için gerekli olan kaynak sayısı, projenin faaliyet rotası aşağıda verilmektedir.

Form1

Dosya Yolu: C:\Users\Cesur\Desktop\YÜKSEK LİSANS\zamanlama 2 (Otomatik kaydedildi).xlsx Sayfa: 1

İterasyon Sayısı: 10000

Dosya Seç Başla

En İyi Evcil Kanguru Çözümü

Alternatifler	ID	Kaynak	Başlangıç	Bitiş
2	2	1	(0,00, 0,00, 0,00)	(4,67, 6,67, 4,33)
3	3	1	(4,67, 6,67, 4,33)	(19,34, 22,67, 21,33)
4	4	1	(19,34, 22,67, 21,33)	(32,01, 37,00, 38,00)
5	5	1	(32,01, 37,00, 38,00)	(38,01, 44,33, 47,00)
6	6	1	(38,01, 44,33, 47,00)	(44,34, 52,33, 56,33)
7	7	1	(44,34, 52,33, 56,33)	(58,01, 68,33, 74,66)
8	8	1	(58,01, 68,33, 74,66)	(69,34, 84,00, 91,66)
10	10	1	(69,34, 84,00, 91,66)	(82,67, 101,33, 113,33)
11	11	1	(82,67, 101,33, 113,33)	(92,00, 115,33, 130,00)
12	12	1	(92,00, 115,33, 130,00)	(103,67, 131,33, 149,67)
13,14,15,16,17	14	1	(103,67, 131,33, 149,67)	(112,00, 142,33, 165,00)
13,15,16,17	15	2	(103,67, 131,33, 149,67)	(113,67, 147,00, 169,34)
13,16,17	13	3	(103,67, 131,33, 149,67)	(113,67, 147,00, 169,34)
16,17	16	1	(112,00, 142,33, 165,00)	(119,67, 158,00, 184,33)
17	17	2	(113,67, 147,00, 169,34)	(124,34, 160,33, 187,67)
18,19,20	18	1	(124,34, 160,33, 187,67)	(135,34, 174,33, 205,34)
19,20	19	2	(124,34, 160,33, 187,67)	(135,34, 174,33, 205,34)

Evci Kanguru Bitime Zamanı : (781,00, 964,00, 1168,69)

En İyi Vahşi Kanguru Çözümü

Alternatifler	ID	Kaynak	Başlangıç	Bitiş
2	2	1	(0,00, 0,00, 0,00)	(4,67, 6,67, 4,33)
3	3	1	(4,67, 6,67, 4,33)	(19,34, 22,67, 21,33)
4	4	1	(19,34, 22,67, 21,33)	(32,01, 37,00, 38,00)
5	5	1	(32,01, 37,00, 38,00)	(38,01, 44,33, 47,00)
6	6	1	(38,01, 44,33, 47,00)	(44,34, 52,33, 56,33)
7	7	1	(44,34, 52,33, 56,33)	(58,01, 68,33, 74,66)
8	8	1	(58,01, 68,33, 74,66)	(69,34, 84,00, 91,66)
10	10	1	(69,34, 84,00, 91,66)	(82,67, 101,33, 113,33)
11	11	1	(82,67, 101,33, 113,33)	(92,00, 115,33, 130,00)
12	12	1	(92,00, 115,33, 130,00)	(103,67, 131,33, 149,67)
13,14,15,16,17	15	1	(103,67, 131,33, 149,67)	(113,67, 147,00, 169,34)
13,14,16,17	14	2	(103,67, 131,33, 149,67)	(112,00, 142,33, 165,00)
13,16,17	16	3	(103,67, 131,33, 149,67)	(111,34, 147,00, 169,00)
13,17,19,20	17	1	(113,67, 147,00, 169,34)	(124,34, 160,33, 187,67)
13,19,20	19	2	(113,67, 147,00, 169,34)	(121,67, 161,67, 190,01)
13,20	13	3	(111,34, 147,00, 169,00)	(161,34, 213,67, 264,00)
18,20	18	1	(124,34, 160,33, 187,67)	(135,34, 174,33, 205,34)

Vahşi Kanguru Bitime Zamanı : (778,34, 963,67, 1164,36)

Şekil 4.4. Paralel kanguru algoritması program ara yüzü

Çizelge 4.11. Vahşi kanguru ile elde edilen çizelge

Vahşi Kanguru İle Elde Edilen Çizelge				
Alternatifler	ID	Kaynak	Başlama Zamanı	Tamamlama Zamanı
2	2	1	(0,00;0,00;0,00)	(4,67;6,67;4,33)
3	3	1	(4,67;6,67;4,33)	(19,34;22,67;21,33)
4	4	1	(19,34;22,67;21,33)	(32,01;37,00;38,00)
5	5	1	(32,01;37,00;38,00)	(38,01;44,33;47,00)
6	6	1	(38,01;44,33;47,00)	(44,34;52,33;56,33)
7	7	1	(44,34;52,33;56,33)	(58,01;68,33;74,66)
8	8	1	(58,01;68,33;74,66)	(69,34;84,00;91,66)
10	10	1	(69,34;84,00;91,66)	(82,67;101,33;113,33)
11	11	1	(82,67;101,33;113,33)	(92,00;115,33;130,00)
12	12	1	(92,00;115,33;130,00)	(103,67;131,33;149,67)
13,14,15,16,17	15	1	(103,67;131,33;149,67)	(113,67;147,00;169,34)

Vahşi Kanguru İle Elde Edilen Çizelge				
Alternatifler	ID	Kaynak	Başlama Zamanı	Tamamlama Zamanı
13,14,16,17	14	2	(103,67;131,33;149,67)	(112,00;142,33;165,00)
13,16,17	16	3	(103,67;131,33;149,67)	(111,34;147,00;169,00)
13,17,19,20	17	1	(113,67;147,00;169,34)	(124,34;160,33;187,67)
13,19,20	19	2	(113,67;147,00;169,34)	(121,67;161,67;190,01)
13, 20	13	3	(111,34;147,00;169,00)	(161,34;213,67;264,00)
18, 20	18	1	(124,34;160,33;187,67)	(135,34;174,33;205,34)
20	20	2	(121,67;161,67;190,01)	(130,00;172,34;204,01)
21	21	1	(161,34;213,67;264,00)	(169,34;225,67;280,67)
22	22	1	(169,34;225,67;280,67)	(178,67;238,67;301,67)
23	23	1	(178,67;238,67;301,67)	(191,00;255,00;324,67)
24	24	1	(191,00;255,00;324,67)	(195,00;260,33;328,34)
26	26	1	(195,00;260,33;328,34)	(378,33;465,33;565,01)
27,28,29,30,31	30	1	(378,33;465,33;565,01)	(403,33;496,00;599,68)
27,28,29,31	31	2	(378,33;465,33;565,01)	(405,66;501,66;610,34)
27,28,29	29	3	(378,33;465,33;565,01)	(406,33;496,33;600,68)
27,28	28	1	(403,33;496,00;599,68)	(429,66;527,00;635,35)
27	27	2	(405,66;501,66;610,34)	(422,33;525,99;642,01)
32	32	1	(429,66;527,00;635,35)	(457,66;562,67;695,02)
33	33	1	(457,66;562,67;695,02)	(489,33;604,34;744,69)
34	34	1	(489,33;604,34;744,69)	(542,66;669,34;824,02)
36	36	1	(542,66;669,34;824,02)	(609,33;755,67;921,69)
37	37	1	(609,33;755,67;921,69)	(636,00;785,67;958,36)
38	38	1	(636,00;785,67;958,36)	(752,67;927,00;1120,03)
39	39	1	(752,67;927,00;1120,03)	(779,34;963,67;1164,36)

Çizelge 4. 12. Evcil kanguru ile elde edilen çizelge

Evcil Kanguru İle Elde Edilen Çizelge				
Alternatifler	ID	Kaynak	Başlama Zamanı	Tamamlama Zamanı
2	2	1	(0,00;0,00;0,00)	(4,67;6,67;4,33)
3	3	1	(4,67;6,67;4,33)	(19,34;22,67;21,33)
4	4	1	(19,34;22,67;21,33)	(32,01;37,00;38,00)
5	5	1	(32,01;37,00;38,00)	(38,01;44,33;47,00)
6	6	1	(38,01;44,33;47,00)	(44,34;52,33;56,33)
7	7	1	(44,34;52,33;56,33)	(58,01;68,33;74,66)
8	8	1	(58,01;68,33;74,66)	(69,34;84,00;91,66)
10	10	1	(69,34;84,00;91,66)	(82,67;101,33;113,33)
11	11	1	(82,67;101,33;113,33)	(92,00;115,33;130,00)
12	12	1	(92,00;115,33;130,00)	(103,67;131,33;149,67)
13,14,15,16,17	14	1	(103,67;131,33;149,67)	(112,00;142,33;165,00)

Evcil Kanguru İle Elde Edilen Çizelge				
Alternatifler	ID	Kaynak	Başlama Zamanı	Tamamlama Zamanı
13,15,16,17	15	2	(103,67;131,33;149,67)	(113,67;147,00;169,34)
13,16,17	13	3	(103,67;131,33;149,67)	(153,67;198,00;244,67)
16,17	16	1	(112,00;142,33;165,00)	(119,67;158,00;184,33)
17	17	2	(113,67;147,00;169,34)	(124,34;160,33;187,67)
18,19,20	18	1	(124,34;160,33;187,67)	(135,34;174,33;205,34)
19, 20	19	2	(124,34;160,33;187,67)	(132,34;175,00;208,34)
20	20	3	(153,67;198,00;244,67)	(162,00;208,67;258,67)
21	21	1	(162,00;208,67;258,67)	(170,00;220,67;275,34)
22	22	1	(170,00;220,67;275,34)	(179,33;233,67;296,34)
23	23	1	(179,33;233,67;296,34)	(191,66;250,00;319,34)
24	24	1	(191,66;250,00;319,34)	(195,66;255,33;323,01)
26	26	1	(195,66;255,33;323,01)	(378,99;460,33;559,68)
27,28,29,30,31	30	1	(378,99;460,33;559,68)	(403,99;491,00;594,35)
27,28,29,31	29	2	(378,99;460,33;559,68)	(406,99;491,33;595,35)
27,28,31	31	3	(378,99;460,33;559,68)	(406,32;496,66;605,01)
27,28	28	1	(403,99;491,00;594,35)	(430,32;522,00;630,02)
27	27	2	(406,99;491,33;595,35)	(423,66;515,66;627,02)
32	32	1	(430,32;522,00;630,02)	(458,32;557,67;689,69)
33	33	1	(458,32;557,67;689,69)	(489,99;599,34;739,36)
34	34	1	(489,99;599,34;739,36)	(543,32;664,34;818,69)
36	36	1	(543,32;664,34;818,69)	(609,99;750,67;916,36)
37	37	1	(609,99;750,67;916,36)	(636,66;780,67;953,03)
38	38	1	(636,66;780,67;953,03)	(753,33;922,00;1114,70)
39	39	1	(753,33;922,00;1114,70)	(780,00;958,67;1159,03)

5. TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz koşulları altında belirsizliğin tüm alanlarda hüküm sürdüğü göz önüne alındığında yatırım projelerinin kamu kurumları nezdinde izin alma süreçleri de dahil olmak üzere gerçek hayatta var olan tüm projelerin planlanmasında ve projelerin çizelgelenmesinde bulanıklık kavramının kullanılması çok daha uygun ve değişime karşı esnek sonuçlar vermektedir. Bu amaç doğrultusunda, bu tez çalışmasında yatırım projelerinin izin alma süreçleri bulanık zaman parametreleri üzerinden paralel kanguru algoritması ve bulanık pert çözümü ile çizelgelenmiştir.

Bu tez çalışmasında Lee ve Li (1988) tarafından önerilen genelleştirilmiş ortalama değer yöntemi ve Chen ve Huang'ın (2007) tarafından önerilen bulanık PERT yaklaşımı kullanılmış olup; Bulanık PERT yöntemi ile elde edilen çözüm (747,67;922,66;1120,02) olarak hesaplanmıştır.

Chen ve Huang'ın (2007) yaklaşımında, geriye doğru işlemler yapılırken elde edilen en geç bulanık başlama ($\widetilde{LS}_i$) en geç bulanık tamamlanma ($\widetilde{LF}_i$) sürelerinde sonuç olarak negatif değerler çıkabilmektedir. Fakat gerçek hayat şartlarında hiçbir zaman değerinin negatif olması beklenemez. Ancak kritiklik derecesi faaliyet bolluğu değerlerine bakılarak hesaplandığı için bu gerçek dışı yaklaşım sonucu çok fazla etkilememektedir.

Bütün problem çözümleri 2 GHz işlemcili, 2 GB ram belleği olan ve Microsoft Windows 7 Professional işletim sistemi özellikli 32 Bit işletim sistemi olan bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yatırım izin süreçlerinin yukarıda açıklanan paralel kanguru algoritması ile çözümünde 10.000 iterasyonda iki kanguru için bulunan sonuçlarda, vahşi kanguru (779,34;963,67;1164,36) sürede ve evcil kanguru (780,00;958,67;1159,03) sürede projeyi tamamlamıştır. Vahşi Kangurunun tamamlanma süresinin Evcil Kangurunun tamamlama süresine göre daha kısa olması nedeniyle Vahşi Kangurunun yapmış olduğu rota tercih edilmiştir.

Paralel Kanguru algoritması, proje çizelgeleme problemlerinde ilk defa A.H. Kökçam ve O.Engin tarafından kullanılmıştır (Kökçam ve Engin, 2010). Çalışmalarında bulanık proje çizelgeleme problemlerinin metasezgisel yöntemler ile çözümünü incelemişler ve metasezgisel bir algortima olan Paralel Kanguru Algoritmasının kullanımıyla örneklendirdikleri bu çalışmasında, optimum çözüm veren meta sezgisel yöntemlerin literatürde mevcut olmadığını, meta sezgisel metodların geliştirilmesinin ve ya birbiriyle melezlenerek kullanımının optimuma yakın çözümler elde edebileceğine değinmişlerdir.

Çalışılan tezde de Kökçam ve Engin 'in (2010) makalesi ile paralel nitelikte çözüme ulaşılmıştır. Bulanık Pert yöntemi ile kritik yol oluşturularak proje tamamlanma süresi (747,67;922,66;1120,02) olarak elde edilmiştir. Paralel kanguru algoritması çözümünde en kısa süre olması sebebiyle Vahşi Kangurunun zıplayışı kabul edilmiştir. Vahşi Kangurunun zıplayışı ile bu süre (779,34;963,67;1164,36) olarak çözüme ulaşmıştır. Paralel Kanguru Algoritmasından elde edilen sonucun kritik yola göre proje tamamlama zamanını karşılama olasılığı yaklaşık 0,599'dur.Paralel kanguru algoritması ile başarılı bir kaynak dengeleme işlemi yapılmasına rağmen bulanık pert yönteminin sonucunun proje özelinde toplam tamamlanma süresinin minimize edilmesi açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Buradan da görüleceği gibi yerel eniyi değerlere takılması sebebiyle tüm metasezgisel yöntemlerde olduğu gibi Paralel Kanguru Algoritması tezde yer alan problem için global eniyiden uzak bir çözüm sunmuştur. Fakat bu sonuç, Paralel Kanguru Algoritmasının kullanımının proje çizelgeleme problemleri üzerinde çözüm arayışında uygun olmayacağı anlamı taşımamaktadır. Gelecekte yapılması planlanan proje çizelgeleme sürecindeki çalışmalarda, kullanılan paralel kanguru algoritmasının geliştirilmesi veya algoritmanın farklı yöntemler ile birleştirilerek çalışılması durumunda kanguruların yeni yerel eniyilere sıçrama olasılığı arttırılarak global en iyiye ulaşması sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, H., Emara, H. M., Dorrah, H. T., Bahgat, A., 2009. Using Ant Colony Optimization Algorithm for Solving Project Management Problems. Expert Systems with Applications, 36, 10004-10015.
- Adlakha, V. G., Kulkarni, V. G., 1989. A classified bibliography of research on stochastic PERT networks: 1966–1987. INFOR: Information Systems and Operation Research, 27, 272–296.
- Afruzi, E.N. , Roghanian, E., Najafi, A.A., Mazinani, M., 2013. A multi-mode resource-constrained discrete time-cost tradeoff problem solving using an adjusted fuzzy dominance genetic algorithm. Science Iran, 20, 3, 931-944.
- Aghaie, A., Mokhtari, H., 2009. Ant colony optimization algorithm for stochastic project crashing problem in PERT networks using MC simulation, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 45, 1051.
- Ahuja, H. N., Dozzi, S. P., Abourizk, S.M. 1994. Project Management Techniques in Planning and Controlling Construction Projects. John Wiley and Sons, Wiley, New York.
- Alcı, M., Karatepe, E., 2002. Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları. https://egefuzzylogic.weebly.com/uploads/4/9/1/9/49194479/fuzzy_matlab_uygulamaları.pdf
- Altunay, H., Eren, T., 2017. Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 54-69.
- Arslan, T., Khisty, C.J. ,2002. A psychometric approach for ranking fuzzy numbers. Proceedings of 13th Mini-EURO Conference Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems, University of Bari, Bari, Italy ,48-52.
- Arüv ,C, 2003. Ülkemizde Gerçekleştirilmesi Planlanan Yatırım Süreçleri İzin Süreçleri Yönetimi. Uluslar arası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi , İstanbul Kongre Merkezi, 8-10 Kasım 2003, 403-416.
- Ashta, A., 2009. Microcredit capital flows and interest rates: an alternative explanation. Journal of Economic Issues, 43(3), 661-684.
- Atlı, Ö., 2012. Bulanık Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Matematiksel Bir Model. Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Doktora Tezi, 281, İstanbul

- Atlı, Ö., Kahraman, C., 2013. Fuzzy Critical Path Analysis. YTÜ Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Journal of Engineering and Natural Sciences, 31, 2, 128-140.
- Aydın, Ö., 2009. Bulanık AHP ile Ankara için Hastane Yer Seçimi. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 24, 2, 87-104.
- Baar, T., Brucker, P., Knust, S., 1997. Tabu-search algorithms for the resource constrained project scheduling problem, Technical Report, Osnabrück.
- Baykal, N., Beyan, T., 2004. Bulanık Mantık ilke ve Temelleri. Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Baykasoğlu, A., Özbakır, L., 2004. Yapay Sinir Ağları ile Teslim Tarihi Belirleme. YA/EM'2004 - Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep – Adana.
- Baykasoğlu, A., Gokçen, T., 2012. A direct solution approach to fuzzy mathematical programs with fuzzy decision variables. Expert Systems with Applications, 39, 1972-1978.
- Baysal, M. E., Durmaz, T., Sarucan, A. ve Engin, O., 2012. Açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin paralel kanguru algoritması ile çözümü. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27, 855-864.
- Bector, C.R., Chandra, S., 2005. Fuzzy Mathematical Programming and Fuzzy Matrix Games. Springer, Berlin.
- Bhaskar, T., Manabendra, N. P., Asim, K. P., 2011. A heuristic method for RCPSP with fuzzy activity times. European Journal of Operation Resource, 208, 57-66.
- Bidot, J., 2005. A General Framework Integrating Techniques for Scheduling under Uncertainty. ENIT de Tarbes, Ph.D. Thesis, Tarbes, France.
- Birge, J.R., Dempster, M.A., 1996. Stochastic programming approaches to stochastic scheduling. Journal of Global Optimization, 9, 417-451.
- Boctor, F.F., 1996. Resource constrained project scheduling by simulated annealing. International Journal Production Resource, 34(8), 2335-2352.
- Bojadziev, G., Bojadziev, M., 2007. Advances in Fuzzy system : Application and Theory Fuzzy logic for Business , finance , and management. World Scientific publisher Co. Pte. Ltd, 2nd edition , 23, 78.
- Bonnal, P., Gourc, D., Lacoste, G., 2004. Where do we stand with fuzzy project scheduling?. Journal of Construction Engineering and Management, 130, 114-123.

- Bouleimen, K., Lecocq, H., 1998a. A new efficient simulated annealing algorithm for the resource constrained project scheduling problem. Université de Liège, Technical Report, Belçika.
- Bouleimen, K., Lecocq, H., 1998b. A new efficient simulated annealing algorithm for the resource constrained project scheduling problem and its multiple mode version. Université de Liège, Technical Report, Belçika.
- Bronshtein, I.N., Semendyayev, K.A., Musiol, G., Mühlig, H., 2007. Handbook Of Mathematics. Springer, Fifth Edition.
- Brucker, P., Schumacher, D., 1999. A new tabu search procedure for an audit-scheduling problem. *Journal of Scheduling*, 2(4), 157–173.
- Buckley, J. J., 1989. Fuzzy PERT, in *Applications of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering*. Elsevier, 115-125, Amsterdam.
- Büyüközkan, G., Kahraman, C., Ruan, D., 2004. A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection. *International Journal of General Systems*, 33 (2–3), 259–280.
- Chanas, S. M., Dubois, D., Zielinski, P., 2002. Necessary criticality in the network with imprecise activity times. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 32, 393–407.
- Chanas, S. M., Kamburowski, J., 1981. The use of fuzzy variables in PERT. *Fuzzy Sets Systems*, V.5, 11-19.
- Chanas, S. M., Zielinski, P., 2001. Critical path analysis in the network with fuzzy task time, *Fuzzy sets and systems*, 61, 195-204
- Chen, S. M., Chang, T.H., 2001. Finding Multiple Possible Critical Paths using Fuzzy PERT. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics-part A : systems and humans*, 31, 6.
- Chen, S. M., Hsueh, Y. J., 2008. A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks. *Applied Mathematical Modelling*, 32, 1289–1297.
- Chen, C. T., Huang S.F., 2007. Applying Fuzzy Method For Measuring Criticality in Project Network. *Information Sciences*, 177, (12), 2448-2458.
- Chen, W., Xiao, R., Lu, H., 2011. A chaotic PSO approach to multi mode resource constraint project scheduling with uncertainty. *International Journal of Computational Science and Engineering*, 6, (1/2), 5.
- Chen, Y., Xiong, J., Zhou, Z., 2016. Resilience Analysis for Projects Scheduling with Renewable Resource Constraint and Uncertain Activity Durations. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 12(2), 719-737.

- Cho, J.H. ,Kim, Y.D., 1997.A simulated annealing algorithm for resource constrained project scheduling problems. Journal of the Operational Research Society, 48(736),736–744.
- Civalek, Ö., Ülker,M., 2004.Harmonic Differential Quadrature (Hdq) For Axisymmetric Bending Analysis Of Thin Isotropic Circular Plates. Structural Engineering and Mechanics, 17, 1-14.
- Colorni, A., Dorigo, M., Maniezzo,V., 1991.Distributed Optimization by Ant Colonies. Proceeding of the First European Conference on Artificial Life, December 11-13, Paris, France.
- Creemers, S., Leus, R., De Reyck, B., Lambrecht, M., 2008. Project scheduling for maximum npv with variable activity durations and uncertain activity outcomes. In: IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2008, pp. 183–187.
- Czapiński,M., 2012. An effective Parallel Multistart Tabu Search for Quadratic Assignment Problem on CUDA platform. Journal of Parallel and Distributed Computing, 73, 11, 1461–1468.
- Çelik, M. H., Kanit, R., Erdiller, G., Erdamar, M., 1995. Ankara İli Delice İlçesi Köprüsünün Cpm Metodu ile Mühendislik Kriterlerinin Belirlenmesi. Journal of Engineering Sciences, 1, 95-103.
- Çetin, M., 2003. Bulanık Mantık Denetleyiciler. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Çınar, G., 2011. Meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak kaynak kısıtlı bilgi teknolojisi projelerinin çizelgelenmesi.Yıldız Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,130, İstanbul.
- Çubukçu, R., 2008.Proje Yönetiminde Zaman ve Maaliyet Risklerinin Çizelgeleme Yöntemiyle Minimize Edilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 146, Adana.
- De Reyck, B., Demeulemeester, E.L., Herroelen, W.S., 1998Local search methods for the discrete time/resource trade-off problem in project networks. Naval Research Logistics,45(6),553–578.
- Delis, M. D.,Kouretas, G. P., 2011. Interest rates and bank risk-taking. Journal of Banking & Finance, 35(4).840-855.
- Demir, M. H., Gümüsoğlu, Ş., 1998. Üretim Yönetimi.Beta Yayınevi, İstanbul.
- Demirbağ, H., 2008. Proje Hazırlama ve Yönetme Rehberi. T.C. Başbakanlık Diyanet İşleri Başkanlığı Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 59, Ankara.

- Dengiz, B., Altıparmak, F., 1998. Genetik Algoritmalar Genel Bir Giriş. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 9(3), 3-14.
- Dengiz, B., 2004. Sezgisel Optimizasyon Ders Notları. Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Retrieved from <http://www.mmf.gazi.edu.tr/~berna/turkce/courses/enm543.html>.
- Dinç, D., 2005. İnşaat Proje Yönetimi: Bir Baraj Ve Hidroelektrik Santral Projesi Üzerine Uygulama. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Dinçer, F., 2010. Dünya Bankası ve Avrupa Birliği Proje Yaklaşımlarının Proje Döngüsü Yönetimi Çerçevesinde İncelenmesi ve Türkiye'deki Proje Yaklaşımı İle Karşılaştırılması. Maliye Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, Mesleki Yeterlilik Tezi, s148, Ankara.
- Dorigo, M., Gambardella, L.M., 1997. Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem. Biosystems, 43, 73-81.
- Drop, J.R., Van Kotoz, S., 2002. The standard two sided power distribution and its properties: with applications in financial engineering. The American statistician, 90 -99, 562.
- Dubois, D., Fargier, H., Galvagonon, V., 2003. On latest starting times and floats in task networks with ill-known durations. European Journal of Operational Research, 147, 266-280.
- Dubois, D., Prade, H., 1979. Decision-making under fuzziness. In Advances in Fuzzy Set and Applications, North-Holland, Amsterdam, 279-302.
- Dubois, D., Prade, H., 1983. Ranking Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory. Information Sciences, 30, 183-224.
- Dubois, D., Prade, H., 1988. Possibility Theory: An Approach to Computerized Processing of Uncertainty. Plenum Press, New York.
- Dubois, D., Prade, H., Smets, P., 1996. Representing partial ignorance. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 26, 361-377.
- Durmaz, T., 2011. Açık Atölye Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması ile Çözümü. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Durucasu, H., Ican, Ö., Karamasa, Ç., Yesilaydin, G., Bayezid G., 2015. Bulanik CPM Yöntemiyle Proje Çizelgeleme: İnşaat Sektöründe Bir Uygulama/Project Scheduling by Means of Fuzzy CPM Method: An Implementation in Construction Sector. Ege Akademik Bakis, 15 (4), 449.

- Duta, L., Henrioud, J. M., Caciula I., 2007. A Real Time Solution to Control Disassembly Processes. Proceedings of the 4th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics, Sibiu.
- Elkhayari, A., 2003. Outils d'aide a la de'cision pour des problemes d'ordonnancement dynamique. Ecole Nationale Supe'rieure des Techniques Industrielles et des Mines de Nantes, Ph.D. Thesis, Nante, France.
- Elloumi,S., Fortemps, P., 2010. A hybrid rank-based evolutionary algorithm applied to multi-mode resource-constrained project scheduling problem. European Journal of Operational Research, 205(1), 31-41.
- Elmaghraby, S. E., 1977. Activity networks: project planning and control by network models. Wiley, New York.
- Elmaghraby, S. E., 2000. On criticality and sensitivity in activity networks. European Journal of Operational Research, 127, 220-238.
- Elmas, Ç., 2003. Bulanık Mantık Denetleyiciler. Seçkin Yayınevi, İstanbul.
- Engin, O., Durmaz, T., Baysal, M., Sarucan, A., 2018. A Parallel Kangaroo Algorithm for Solving the Hybrid Flow Shop Scheduling Problem with Multi-Layer Assembly Operations. 6th International GAP Engineering Congress, 8-10 November 2018, Urfa, Turkey.
- Engin, O., Kahraman, C., Yılmaz, M. K., 2009. A Scatter Search Method for Multi Objective Fuzzy Permutation Flow Shop Scheduling Problem A Real World Application. U.K. Chakraborty (Ed.): Computational Intelligence in Flow Shop and Job Shop Scheduled, SCI 230, 169-189.
- Engin, O., Yılmaz, M. K., Fırlalı, A. & Fırlalı, N. A., 2008. Parallel kangaroo algorithm for multi objective flow shop scheduling., IMS'2008 6th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems, Sakarya, Turkey October 14-16.
- Engin, O., Yılmaz, M. K., Kahraman, C., Baysal, M. E., Sarucan, A., 2011. A Scatter Search Method for Fuzzy Job Shop Scheduling Problem with Availability Constraints, Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol II.
- Enver, E. ,Kovancı ,A., 2004. Proje Yönetimi ve İnsan Kaynakları ilişkisi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi ,1, 4,75-85.
- Erdem, Y. ,Keskintürk, T., 2011. Paralel Kanguru Algoritması ve Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 19, 51-63.

- Eren, T., Güner, E., 2004. Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(1), 19-30.
- Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N., 2007. Bulanık PERT: Mermer Makinesi Üretiminde Uygulanabilirliği. 7. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Ankara.
- Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N., 2008. Bulanık Pert Yaklaşımlarının Makine Üretim Sürecinde Karşılaştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23, 1, 109-124.
- Eshtehardian, E., Afshar, A., Abbasnia, R., 2008. Time cost optimization: using GA and fuzzy sets theory for uncertainties in cost. Construct Management Economics, 26, 679 – 691.
- Etaner, Ş., 1993. Bulanık Kontrol. Otomasyon Dergisi, Şubat 1993, 107-112.
- Evans, G.W., 1989. Applications of fuzzy set methodologies in IE. Oxford Press.
- Fargier, H., 1994. Problème de satisfaction de contraintes flexibles: Application à l'ordonnancement de la production, Université Paul-Sabatier, PhD thesis, Toulouse, French.
- Fargier, H., Galvagnon, V., Dubois, D., 2000. Fuzzy PERT in series-parallel graphs. Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems. FUZZ- IEEE 2000 (Cat. No. 00CH37063).
- Ferson, S., Ginzburg, L., 1996. Different methods are needed to propagate ignorance and variability. Reliability Engineering and Systems Safety, 54, 133-144.
- Fleury, G., Gourgand, M., 1998. Genetic algorithms applied to workshop problems. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 11, 2, 183-192.
- Fortin, J., Zielinski, P., Dubois, D., Fargier, H., 2005. Interval analysis in scheduling In: van Beek, P. (Ed.), Principles and Practice of Constraint Programming—CP 2005. Lecture Notes in Computer Science, 3709, Springer, 226-240, Heidelberg, Berlin.
- Gallant, R., Lambert, R., Vanstone, S., 1999. Improving the parallelized Pollard lambda search on anomalous binary curves. Mathematics of Computation, 69(232), 1699.
- Galvagnon, V., 2000. Aide à la décision en gestion multi-projets distribuée: Approche locale pour la planification à moyen terme, Sup'Aéro/E.N.S.A.E., PhD thesis, Toulouse, French.
- Gazdik, I., 1983. Fuzzy network planning FNET. IEEE Transactions on Reliability, 32, 303-313.

- Gedik,T., Akyüz, K. C., Akyüz, İ. ,2005. Yatırım Projelerinin Hazırlanması Ve Değerlendirilmesi (İç Karlılık Oranı ve Net Bugünkü Değer Yöntemlerinin İncelenmesi). ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7, 7
- Geidel, J., 1988. 'Zeitplanung von Projecten mit unsharfen Daten. Univ. Karlsruhe, Institut für Wirtschaftstheorie und Operations Research, PhD thesis, Karlsruhe, Germany.
- Geidel, J., 1989. Project scheduling with fuzzy data. Meth. Operation. Resource., 62, 339-347.
- Gencer, C., Türkbey, 2001.a. The statistical analysis in finding the completing time of project.The I. Conferance On Computers and Industrial Engineering. (28th ICC & IE), Cocoa Beach, Florida.
- Gencer, C., Türkbey, O., 2001.b. Proje Tamamlanma Zamanının Bulunmasında İstatistiksel Analiz Yardımıyla Bulanık PERT, Klasik PERT ve Gerçek-Dağılım Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 3(2), 29-39.
- Ghazanfari, M. , Shahanaghi, K. , Yousefli, A., 2008. An application of possibility goal programming to the time-cost trade off problem , Journal of Uncertain Systems, 2 ,22-28.
- Glover, F., 1989.Tabu Search - Part I. ORSA Journal on Computing, 1, 190-206.
- Glover, F., 1989.Tabu Search - Part II. ORSA Journal on Computing, 2, 4-32.
- Goldratt, E. ,1997.Critical chain. The North River Press Publishing Corporation, 246p.
- Gorman, T., 1998 .Complete Idiot's Guide to MBA Basics.Indianapolis: Alphabooks, 101.
- Gözen, Ş., 2007.Bulanık Esnek Akış Tipi Çok Prosesli Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algortima ve Tavlama Benzetimi ile Çözümü. Selçuk Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,101, Konya.
- Guiffreda, A. L., Nagı R., 1998. Fuzzy Set Theory Applications in Production Management Research: A Literature Survey. Journal of Intelligent Manufacturing, 9(1), 39-56.
- Gülaç, H., 2014. İşletmelerin Yatırım Kararları İle Finansman Kararları Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi: Türkiye İmalat Sektörü İşletmeleri Üzerine Bir Dinamik Panel Veri Analizi. Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Muhasebe Finansman Doktora Tezi, Ankara.

- Hagstrom, J. N., 1988. Computational complexity of PERT problems. *Networks International Journal*, 18, 139–147.
- Han, T.C., Chung, C.C., Liang, G.S., 2006. Application Of Fuzzy Critical Path Method To Airport's Cargo Ground Operation Systems. *Journal of Marine Science and Technology*, 14(3), 139-146.
- Hansen, P., Mladenovic, N., 2001. Variable Neighborhood Search: Principles and Applications. *European Journal of Operational Research*, 130, 449-467.
- Hapke, M., Jaszkievicz, A., Słowiński, R., 1994. Fuzzy project scheduling system for software development. *Fuzzy Sets & System*, 21, 101–117.
- Hapke, M., Jaszkievicz, A., Słowiński, R., 1997. Fuzzy Project Scheduling with Multiple Criteria. *Proceedings of the Sixth Ieee International Conference on Fuzzy Systems*, 1-3, 1277-1282.
- Hapke, M., Jaszkievicz, A., Słowiński, R., 1998. Interactive Analysis of Multiple-Criteria Project Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*, 107, 315–324.
- Hapke, M., Słowiński, R., 1996. Fuzzy priority heuristics for project scheduling. *Fuzzy Sets & System*, 83, 3, 291-299.
- Hapke, M., Słowiński, R., 2000. Fuzzy set approach to multiobjective and multi-mode project scheduling under uncertainty. Słowiński, R., Hapke, M. (Eds.), *Scheduling Under Fuzziness*, Physica-Verlag, Heidelberg, 197–221.
- Hartman, S., 1997. Project scheduling with Multiple Modes: A Genetic Algorithm. *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel*, no. 435.
- Hartmann, S., 1998. A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling. *Naval Research Logistics*, 45, 733-750.
- Hartman, S., 2001. Project scheduling with multiple modes: A genetic algorithm. *Annals of Operations Resource*, 102(1-4), 111–135.
- Harvey, A. L., 2002. *Practical Project Management: Tips, Tactics and Tools*. John Wiley & Sons, Inc. , New York.
- Hassanpour, H., Danshpaye, H., 2014. Project scheduling with Fuzzy data using simulated annealing algorithm. *Journal of Operational Management*, 2, 57-74.
- Hegazy, T., 1999. Optimisation of resource allocation and leveling using genetic algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125 (3), 167-175.
- Heizer, J., Render ,B., 2001. *Operations Management*, Prentice-Hall, New Jersey.

- Held, M., Karp, R. M., 1962. A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 10, 1, 196-210.
- Herroelen, W., Leus, R., 2005. Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. *European Journal of Operation Research*, 165, 2, 289–306.
- Hillier, F.S., 2002. Stochastic projects scheduling. *International Service Operation Research Management Science*, 49, 535–591.
- Hirayama, K., 1997. Studies on Solving Methods of Some Combinatorial Problems by GA. Course in Engineering of Social Development at Tottori University, Tottori, Japan.
- Horasanlı, M., 2007. Proje Yönetimi. Retrieved from http://www.isletme.istanbul.edu.tr/ogrelem/balaban/ProjeY%F6netimi_horosanli.html.
- Hrstka, O., Kucerovala, A., 2004. Improvements of Real Coded Genetic Algorithms Based on Differential Operators Preventing Premature Convergence. *Advances in Engineering Software*, 35, 237-246.
- Hsiau, H. J., Lin, C. W. R., 2009. A Fuzzy Pert Approach to Evaluate Plant Construction Project Scheduling Risk Under Uncertain Resources Capacity. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2(1), 31-47.
- Huang, W., Ding, L., Wen, B., Cao, B., 2009. Project Scheduling Problem for Software Development with Random Fuzzy Activity Duration Times. In: Yu W., He H., Zhang N. (eds). *Advances in Neural Networks – ISSN 2009. Lecture Notes in Computer Science*, Springer, vol 5552, Heidelberg, Berlin.
- Huang, Y., Shou, Y., Zhang, L., 2011. Genetic algorithm for the project scheduling problem with fuzzy time parameters. In *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 689-693.
- Itakura, H., Nishikawa, Y., 1984. Fuzzy network technique for technological forecasting. *Fuzzy Sets and Systems*, 14(1), 99–113.
- Jassbi, J., Mohammadi, S., Khan, A., 2010. New Approach for predicting project duration using Beta shape membership function sand simulation. In *Proceedings Third European Conference on Management of Technology*
- Jellouli, O., Chatelet, E., 2001. Monte Carlo simulation and stochastic algorithms for optimising supply chain management in an uncertain environment. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. e-

- Ji, X., Yao, K., 2017. Uncertain project scheduling problem with resource constraints. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(3), 575-580.
- Joshi, D.S., Joshi, S.S., Athavale, S.A., 2010. Origins of the Coronary Arteries and Their Significance. *Clinics, São Paulo, Brazil*, 65, 79-84.
- Jozefowska, J., Mika, M., Rozycki, R., Waligora, G., Weglarz, J., 2001. Simulated annealing for multi-mode resource-constrained project scheduling. *Annals of Operations Research*, 102, 137-155.
- Juite, A, 2002. Fuzzy project scheduling approach to minimize schedule risk for product development. *Journal of Fuzzy Sets and Systems*, Special issue: Optimization and decision support systems, 127(2), 99-116.
- Karaca, T. ,2011. Proje Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Kritik Yolun Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,117, Ankara.
- Karakaşoğlu, N., 2008. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 247, Denizli.
- Kaveh, A., Khanzadi, M., Alipour, M., 2016. Fuzzy resource constraint project scheduling problem using CBO and CSS algorithms. *International Journal Civil Engineering*, 14, 5, 325-337.
- Ke, H., Liu, B. D., 2007. Project Scheduling Problem with Mixed Uncertainty of Randomness and Fuzziness. *European Journal of Operational Research*, 183, 135-147.
- Ke, H., Liu, B. D., 2010. Fuzzy project scheduling problem and its hybrid intelligent algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 34, 301-308.
- Ke, H., Liu, H., Tian, G., 2015. An Uncertain Random Programming Model for Project Scheduling Problem. *International Journal of Intelligent Systems*, 30, 66-79.
- Kecman, V., 2001. *Learning and Soft Computing*. MIT Press, London.
- Kennedy, J., Eberhart R., 1995. Particle swarm optimization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, IEEE service center, Piscataway, NJ, IV, 1942-1948.
- Keskinel, F., 2000. Şebeke Bazlı Bilgisayar Destekli Proje Yönetimi. Birsen Yayınevi, İstanbul

- Keskintürk, T., 2006. Diferansiyel Gelişim Algoritması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (9), 85-99. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/ticaretfbd/issue/21349/229018>
- Khalilzadeh, M., Shakeri, H., Gholami, H., Amini, L., 2017. A Heuristic Algorithm for Project Scheduling with Fuzzy Parameters. Procedia Computer Science, 121, 63-71.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Vecchi, M.P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. Science, 220, 671-680.
- Klein, C. M., 1988. Fuzzy shortest path. University of Missouri at Columbia, Department of Industrial Engineering, PhD thesis, Columbia.
- Kleindorfer, G. B., 1971. Bounding distributions for a stochastic acyclic network. Operations Research, 19, 1586-1601.
- Klir, G., Yuan, L., Bo, 1995. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. USA, Prentice Hall.
- Knyazeva, M., Bozhenyuk, A., Rozenberg, I., 2015. Resource constrained project scheduling approach under fuzzy conditions. Procedia Computer Science, 77, 56-64.
- Kobu, B., 1999. Üretim Yönetimi. İstanbul: İİE Araştırma ve Yardım Vakfı, 447.
- Kocabıyık, E., 2009. Gemi İnşa Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmede Pert ve Bulanık Pert Uygulaması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79, İstanbul.
- Kolisch, R., Drexl, A., 1997. Local search for nonpreemptive multi-mode resource-constrained project scheduling. IIE Transaction, 29(11), 987-999.
- Korvin, A. D. E., Kleyle, R., 2000. A fuzzy set approach to resource procurement for multi-phase projects subject to flexible budgetary constraints. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 9, 225-233.
- Koyuncu, E., 2011. Yeni Ürün Geliştirme Projelerinde Çoklu Faaliyet Çakıştırmalı Durum İçin Çizelgeleme. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 145, Adana.
- Kökçam, A. H., 2010. Bulanık Proje Çizelgeleme problemlerinin Paralel Kanguru Algoritmasıyla Çözümü. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56, Sakarya.
- Kökçam, A. H., Engin, O., 2010. Solving the fuzzy project scheduling problems with metaheuristic methods. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (Sigma), 28, 86-101.

- Kuchta, D., 2001. Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment. *International Journal of Project Management*, 19: 305-310.
- Küpeli, A. S., 2017. Bulanık Öğrenme Etkili Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması İle Çözümü. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 40, Konya.
- Küpeli, A. S., Engin, O., Engin, B. E., 2017. Bulanık Öğrenme Etkili Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması İle Çözümü. *Kapadokya Akademik Bakış / Cappadocia Academic Review*, 1, 1, 31-48.
- Lee, E.S., Li, R.J., 1988. Comparison of Fuzzy Numbers Based on The Probability Measure of Fuzzy Events. *Computers and Mathematics with Applications*, 15, 887-896.
- Lee, J. K., Kim, Y.D, 1996. Search heuristics for resource constrained project scheduling. *Journal of the Operations Research Society*, 47, 678-689.
- Lee, K., 2005. *First Course on Fuzzy Theory and Applications*. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Leon, V.J., Ramamoorthy, B., 1995. Strength and adaptability of problem-space based neighbourhoods for resource constrained scheduling. *OR Spektrum*, 17(2), 173-182.
- Lessmann, H., Mühlögger, J., Oberguggenberger, M., 1994. Netzplantechnik mit unscharfen Methoden. *Bauingenieur*, 69, 469-478, Germany.
- Leu, S.S., Chen, A.T., Yang, C.H., 1999. A fuzzy optimal model for construction resource leveling scheduling. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26, 673-684.
- Leu, S.S., Yang, C.H., 1999. A genetic algorithm based resource constrained construction scheduling system. *Construction Management & Economics*, 17, 767-776.
- Levin, R. I., Kirkpatrick, C. A., 1973. PERT ve CPM İle Planlama ve Denetim. Orta Doğu Teknik Üniversitesi İdari Bilimler Fakültesi, 2. Baskı, Yayın:12, Ankara.
- Lilien, G., 1987. MS/OR. A mid-life Crisis. *Interfaces*, 17: 53-59.
- Li, R. J., Lee E. S., 1987. Ranking fuzzy numbers-a comparison. *Proceedings of NAFIPS*, May. 5-7, West Lafayette, Indiana.
- Liberatore, M. J., 2002. Project Schedule Uncertainty Analysis Using Fuzzy Logic. *Project Management Journal*, Dec.2002, 15-22.
- Lilien, G., 1987. MS/OR. A mid-life Crisis. *Interfaces*, 17, 53-59.

- Liu, B., 2008. Theory and Practice of Uncertain Programming. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Springer, 239, 139-146.
- Liu, S.S., Yung, K. L., Ip, W. H., 2007a. Genetic Local Search for Resource Constrained Project Scheduling under Uncertainty. Information and Management Sciences, 18,347-363.
- Liu, S.S., Zhao, S. L., Zhang, X. P., Du, G. Q., 2007b. A Ga-Based Approach for Solving Fuzzy Project Scheduling. Proceedings of 2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 1-7, 3153-3156.
- Liu, S.S., Wang, C.J., 2008. Resource-constrained Construction Project Scheduling Model for Profit Maximization Considering Cash Flow. Automation in Construction, 17, 966-974.
- Long, L. D., Ohsato, A., 2008. Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty. International Journal of Project Management, 26(6), 688-698.
- Lootsma, F. A., 1989. Stochastic and fuzzy PERT. European Journal of Operations Research, 43, 174-183.
- Lorterapong, P., Moselhi, O., 1996. Project-network analysis using fuzzy sets theory. Journal of Construction Engineering Management, 122, 308-318.
- Ludwig, A., Möhring, R. H., Stork, F., 2001. A computational study on bounding the makespan distribution in stochastic project networks. Annals of Operations Research, 102, 49-64.
- Ma, W., Che, Y., Huang, H., Ke, H., 2016. Resource- constrained project scheduling problem with uncertain durations and renewable resources. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 7, 4, 613-621.
- Madhuri, K. U., Siresha, S., Shankar N. R., 2012. A New Approach for Solving Fuzzy Critical Path Problem Using L-L Fuzzy Numbers.
- Mares, M., 1989. Network analysis of fuzzy technologies. In: Evans, G., Karwowski, W., Wilhelm, M. (Eds.), Applications of the Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering. Elsevier, 115-125.
- Marmier, F., Varnier C., Zerhouni, N., 2009. Proactive, Dynamic and Multi-Criteria Scheduling of Maintenance Activities. International Journal of Production Research, 47, 8, 2185-2201.
- Masmoudi, M., Haït, A., 2010. A tactical model under uncertainty for helicopter maintenance planning. In The 8th ENIMIFAC International Conference of Modeling and Simulation, MOSIM'10, May, 3, 1837-1845.

- Masmoudi, M., Haït, A., 2011.a. Fuzzy capacity planning for an helicopter maintenance center. In: International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM'11, May.
- Masmoudi, M., Haït, A., 2011.b. AGA-based fuzzy resource leveling optimization for helicopter maintenance activity. In The 7th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology, EUSFLAT'11, July.
- Masmoudi, M., Haït, A., 2013. Project scheduling under uncertainty using fuzzy modelling and solving techniques. Engineering Applications Artificial Intelligence, 26, 1, 135-149.
- Mazlum, M., 2014. CPM, PERT ve Bulanık Mantık Teknikleriyle Proje Yönetimi Ve Bir İşletmede Uygulanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114, İstanbul.
- Mazlum, M., Güneri, A. F., 2015. CPM, PERT and Project Management with Fuzzy Logic Technique and Implementation on a Business. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 210, 348-357.
- McCahon, C. S., Lee, E. S., 1988. Project Network Analysis with Fuzzy Activity Times. Computers and Mathematics with Applications, 15(10), 829-838.
- McCahon, C. S., 1993. Using PERT as an Approximation of Fuzzy Project Network Analysis. IEEE Transactions on Engineering Management, 40(2), 146-153.
- Meilijson, I., Nadas, A., 1979. Convex majorization with an application to the length of critical paths. Journal of Applied Probability, 16, 671-677.
- Meng, H. , Wang, B., 2013. A modified artificial immune algorithm for fuzzy resource constrained project scheduling problem . IFAC Proceedings, 46,13, 450-455.
- Michalewicz, Z., 1992. Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs. Springer & Verlag, A.B.D.
- Milli Emlak Genel Müdürlüğü Eğitim ve Yayın Şubesi, 2005. Devlet Malları Mevzuatı Kitabı.
- Minzu, V., Beldiman, L., 2003. Parallel Hybrid Metaheuristic for the Single Machine Scheduling Problem. Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning (ISATP 2003), 134-139.
- Minzu, V., Beldiman, L., 2007. Some aspects concerning the implementation of a parallel hybrid metaheuristic. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 20, 7, 993-999.

- Minzu, V., Henrioud, J. M., 1998. Stochastic algorithm for tasks assignment in single or mixed-model assembly lines- Journal Européen des Systèmes Automatisés. Journal Européen des Systèmes Automatisés, ISSN 0296-1598,32, 831-851.
- Mogaadi, H., Chaar, B.F., 2015. Scenario-based evolutionary approach for robust RCPSP. In Proceedings of the second international Afro-European conference for industrial advancement AECIA 2015, 45-55.
- Mon, D.L., Cheng, C.H., Lu, H.C., 1995. Application of fuzzy distribution on project management. Fuzzy sets and systems, 73, 3, 227-234.
- Mori, M., Tseng, C.C., 1997. Theory and Methodology: A genetic algorithm for multi-mode resource constrained project scheduling problem. European Journal of Operational Research, 100,134-141.
- Morton, T. E., Pentico, D. W., 1993. Heuristic Scheduling Systems. Wiley, New York.
- Nabiyev, V. V., 2003. Yapay Zeka - Problemler - Yöntemler – Algoritmalar. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Nasution, S. H., 1994. Fuzzy critical path method. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 24, 48-57.
- Özdamar, L. A., 1999. A genetic algorithm approach to a general category project scheduling problem. IEEE Transactions on Systems, Manuscript and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 29, 1, 44-59.
- Özdemir, G., 2006. Kısıtlı Kaynaklarla Proje Çizelgeleme Problemlerinde Kullanılan Genetik Algoritma Metotları ve Bunların Karşılaştırılması. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Özkan, M. M., 2003. Bulanık Hedef Programlama. Ekin Kitabevi, ISBN 975 7338 958, Bursa.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Öztürk, A., Yılmaz, M. K., Engin, O., 2008. Paralel Kanguru Algoritması ve Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi Üzerinde Bir Uygulaması. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 28. Ulusal Kongresi, Galatasaray Üniversitesi, 30 Haziran - 2 Temmuz, İstanbul.
- Özyürek, A., 2008 . Derneklerin Proje Hazırlaması ve Proje Hazırlarken Uyulacak Usul ve Esaslar. İç işleri Bakanlığı Dernekler Dairesi Başkanlığı, Dernekler Denetçiliği Yeterlilik Tezi, 160, Ankara.

- Pan, H. Q., Yeh, C. H., 2003a. A Metaheuristic Approach to Fuzzy Project Scheduling. Knowledge Based Intelligent Information and Engineering Systems, Pt 1, Proceedings, 2773, 1081-1087.
- Pan, H. Q., Yeh, C. H., 2003b. Fuzzy Project Scheduling. Proceedings of the 12th Ieee International Conference on Fuzzy Systems, 1, 2, 755-760.
- Pennypacker, J., 2002. Managing Multiple Projects. Marcel Dekker Incorporated, New York.
- Pet-Edwards, J., Mollaghesemi, M., 1995. Application of genetic algorithms in resource constrained network optimization. IEEE, 3059-3072.
- Phillips, J., 2004. Pmp Project Management Professional Study Guide, McGraw-Hill.
- Pinedo, M. L., 1995. Scheduling : Theory, Algorithms and Systems. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Pollard, J. M., 2000. Kangaroos, Monopoly and Discrete Logarithms. Journal of Cryptology, 13, 437-447.
- Pontrandolfo, P., 2000. Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique. International Journal of Project Management, 18, 215-222.
- Prade, H., 1979. Using Fuzzy Set Theory in a Scheduling Problem: a Case Study., Fuzzy Sets and Systems, 2(2), 153-165.
- Prade, H., 1981. Operations research with fuzzy data, In Fuzzy Sets-Theory and Applications to Policy Analysis and Information Systems. Plenum Press, New York, 155-169.
- Riggs, J. L., 1987. Production system : Planning , Analysis and Control. John Wiley & Sons, 4th edition, New York .
- Rommelfanger, H. J., 1990. FULPAL: An interactive method for solving (multiobjective) fuzzy linear programming problems. In: Slowinski, R., Teghem, J. (Eds.), Stochastic versus Fuzzy Approaches to Multiobjective Mathematical Programming under Uncertainty, Kluwer, 321-330.
- Ross, T. J., Booker, J. M., Parkinson, W. J., 2002. Fuzzy Logic and Probability Applications: Bridging the Gap. SIAM Publishers, Philadelphia.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., Vemura Y., 2002. A decentralized two-level transportation problem in a housing material manufacturer: Interactive fuzzy programming approach. European Journal of Operational Research, 141, 167- 185.

- Samman, T.A., Brahemi, R.M., 2014. Fuzzy Pert For Project Management. International Journal of Advances in Engineering & Technology, 1150-1160.
- Sarı, T., 2008. Metasezgisel Yöntemlerle Proje Çizelgeleme Optimizasyonu. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Sarıca, İ., 2006. CPM ve PERT teknikleriyle proje planlama ve bir işletmede uygulanması. Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Seçkin, H., 2005. Path Based Priority Rule for Resource Constrained Project Scheduling Problems. Marmara University , Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, Thesis for the Degree of Master of Science, İstanbul.
- Serbencu, A., Minzu, V., Serbencu, A., 2007. An Ant Colony System Based Metaheuristic for Solving Single Machine Scheduling Problem. The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Fascicle III, 1221-454X.
- Sha, D.Y., Hsu, C.Y., 2008. A new particle swarm optimization for the open shop scheduling problem. Computers & Operations Research, 35,3243 – 3261.
- Shankar N.R., Sireesha V., Rao K.S., Vani N., 2010. Fuzzy critical path method based on metric distance ranking of fuzzy numbers. International Journal of Mathematical Analysis, 4, 20, 995 – 1006.
- Shankar, N.R., Sireesha, V., Phani B. R., 2010. An Analytical Method for Finding Critical Path in a Fuzzy Project Network. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, 5 (20) ,953-962.
- Sharafi, M., Jolai, F., Iranmanesh, H., Hatefi, S. M., 2008. A Model for Project Scheduling with Fuzzy Precedence Links. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2, 1356-1361.
- Shipley, M.F., Korvin, A., Ömer, K. ,1997 .BIFPET methodology versus PERT in Project management: fuzzy probability instead of the beta distribution. Journal of Engineering and Technology Management, V.14, 49-65.
- Shogan, A. W., 1977. Bounding distributions for a stochastic PERT network. Networks International Journal, 7, 359–381.
- Shtub, A., Bard, J., Globerson, S., 1994. Project Management Engineering, Technology, and Implementation. Prentice Hall, New Jersey.
- Sivrikaya Şerifoğlu, F., 1997. A New Uniform Order-Based Crossover Operator for Genetic Algorithm Applications to Multi-Component Combinatorial Optimization Problems. Boğaziçi Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.

- Slyeptsov, A.I., Tyshchuk, T.A., 1997. Fuzzy critical path method for project network planning and control. *Cybernet System Analyses*, 3, 158–170.
- Slyeptsov, A.I., Tyshchuk, T.A., 2003. Fuzzy temporal characteristics of operations for project management on the network models basis. *European Journal of Operational Research*, 147, 253-265.
- Soltani, A., Haji, R., 2007. A Project Scheduling Method Based on Fuzzy teory. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1(1), 70-80.
- Soltani, R., Jolai, F., Zandieh, M., 2010. Two Robust Meta-Heuristics for Scheduling Multiple Job Classes on a Single Machine with Multiple Criteria. *Expert Systems with Applications*, 37, 5951-5959.
- Stein, A., Teske, E., 2002. The parallelized Pollard kangaroo method in real Quadratic function fields. *Mathematics of Computation*, 71, 238, 793-814.
- Storn, R., Price, K., 1995. Differential Evolution: A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces. *International Computer Science Institute, Technical Report TR-95-012, Berkeley.*
- Şahin, H., 2000. Yatırım Projeleri Analizi. *Ezgi Kitapevi Yayınları, Bursa*, 226.
- Şen, Z., 2004. Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri. *Su Vakfı Yayınları, 2. Baskı, ISBN: 975-6455-10-1, İstanbul*
- Temiz Kutlu, N., 2001. Proje Planlama Teknikleri ve PERT Tekniğinin İnşaat Sektörü Uygulanması Üzerine Bir Çalışma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3, 2.
- Teske, E., 2000. Computing discrete logarithms with the parallelized kangaroo method. *Discrete Applied Mathematics*, 130, 61-82, 2003. 27. Pollard, J.M., .Kruskal's Card Trick., *The Mathematical Gazette*, 84, 500 (Jul.), 265-267.
- Teske, E., 2003. Computing discrete logarithms with the parallelized kangaroo method. *Discrete Applied Mathematics*, 130, 1, 61-82.
- Tsai, Y., Gemmil, D. D., 1998. A Tabu Search to Schedule Activities of Stochastic Resource Constrained Projects. *European Journal of Operational Research*, 111, 129-141.
- Tsujimura, Y., Hun, P. S., Seong, C.I., Gen, M., 1993. An effective method for solving flow shop scheduling problems with fuzzy processing times. *Computers & Industrial Engineering*, 25, 239-242.

- Türkbey, O., 2003. Çok Amaçlı Makine Sıralama Problemi İçin Bir Bulanık Güçlü Metod. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 3, 81-98.
- Ulusoy, G., 2002 .Proje planlamada kaynak kısıtlı çizelgeleme. Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Retrieved from http://research.sabanciuniv.edu/16897/1/HalimDogrusoz_2000.pdf
- Usta, A., 2012. Kamusal Kalkınmada Proje Yönetimine Yönelik Modelsel Bir Yaklaşım. Verimlilik Dergisi, 3, 115-139.
- Üstündağ, Ö., Şengün, M. T., 2011. Türk İmar Mevzuatındaki Plan Türleri Ve Fiziki Planlama – Coğrafya İlişkisi Üzerine Genel Bir Değerlendirme. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 21, 2, 1-25,
- Van Oorschot, P. C., Wiener, M. J., 1996. On diffie-hellman key agreement with short exponents. In Proceedings of the 15th annual international conference on Theory and application of cryptographic techniques (EUROCRYPT'96), Ueli Maurer (Ed.). Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, 332-343.
- Van Oorschot, P. C., Wiener, M. J., 1999. Parallel collision search with cryptanalytic applications. Journal of the reef Cryptarch, 12, 1-28.
- Vatansever, R., 2008. Proje Planlamasında Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72, İstanbul.
- Wang, J.R., 1999. A fuzzy set approach to activity scheduling for product development. Journal of the Operation Research Society, 50, 1217-1228.
- Wang, J.R., 2002. A fuzzy project scheduling approach to minimize risk for product development. Fuzzy Sets and Systems, 127, 99-116.
- Wang, J.R., 2004. A Fuzzy Robust Project Scheduling For Product Development Projects. European Journal Of Operational Research, 152, 180-194.
- Wang, P., Zhang, F., 2012. Computing elliptic curve discrete logarithms with the negation map. Information Science, 195, 277-286.
- Wang, X., Huang, W., 2010. Fuzzy resource-constrained project scheduling problem for software development. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 15, 25-30.
- Wang, X., Kerre, E.E., 2001. Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities. Fuzzy Sets & System, 118, 375-385.

- Wang, X., Ning, Y. 2017. Uncertain chance-constrained programming model for Project scheduling problem. Journal of the Operational Research Society.
- Wang, Y.M., Luo, Y., Liang, L., 2009. Fuzzy data envelopment analysis based upon fuzzy arithmetic with an application to performance assessment of manufacturing enterprises. Expert Systems with Applications, 36, 5205-5211.
- Willis, R.J., Pan, H., Yeh, C.H., 1999. Resource-constrained project scheduling under uncertain activity duration. in Computational Intelligence for Modelling, Control & Automation, M. Mohammadian (ed.), IOS Press, Amsterdam, 429-434.
- Winston, W. L., 2004. Operation Research –Applications and Algorithms. Brooks /Cole Thomson Learning Inc.
- Xu, J., Feng, C., 2014. Multimode resource-constrained multiple project scheduling problem under fuzzy random environment and its application to a large scale hydropower construction project. Science World Journal, 2014, 1-20.
- Yang, K.K., Talbot, F.B., Patterson, J.H., 1992. Scheduling a Project to maximize its net present value: An integer programming approach. European Journal of Operational Research, 64, 188-198.
- Yao, J.S., Lin, F.T., 2000. Fuzzy Critical Path Method Based on Signed Distance ranking of fuzzy numbers. IEEE Transactions on systems, man and cybernetics-part A : systems and humans, 30, 1, 20, 76-82.
- Yen, J., Langari, R., 1999. Fuzzy Logic, Intelligence, Control and Information. Prentice Hall, New Jersey.
- Yılmaz, M. K., Kökçam, A. H., Duvarcı, V., Fırlalı, A., Ayöz, M., Engin, O., 2009. Paralel Kanguru Algoritması Yardımıyla Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi, Bilkent Üniversitesi, 22-24 Haziran 2009, Ankara.
- Yılmaz, M. K., Terzi, Ü., Fırlalı, A., Engin, O., Yavuz, M., 2010. A Parallel Kangaroo Algorithm for Multi-Objective Flow-Shop Scheduling: A New Approach. 16th International Conference on Industry, Engineering and Management Systems, March 8-10, AIEMS, Cocoa Beach, Florida, USA.
- Yılmaz, M.K., Engin, O., Fırlalı, A., Yavuz, M., 2010. Parallel Kangaroo Algorithm For Biobjective Flow Shop Scheduling with a New Weight Combining Approach. 1st International Symposium on Computing in Science & Engineering, ISCSE-2010, Gediz University (İzmir), June 3-5, Kuşadası Aydın, Turkey, 823-827.

- Yılmaz, M.K., Kökçam, A.H., Duvarcı, V., Fırlalı, A., Ayöz, M., Engin, O., 2010. Paralel Kanguru Algoritması Yardımıyla Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi, Ankara.
- Yousefli, A., Ghazanfari, M., Shahanaghi, K., Heydari, M., 2008. A New Heuristic Model for Fully Fuzzy Project Scheduling. *Journal of Uncertain Systems*, 2, 75-80.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L.A., 1975. Calculus of fuzzy restrictions. In: Zadeh, L.A., Fu, K.S., Tanaka, K., Shimura, M.(Eds.), *Fuzzy Sets and Their Applications Cognitive and Decision Processes*. Academic Press, pp. 1-39. New York.
- Zadeh, L.A., 1978. Fuzzy sets as basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets System*, 1, 3-28.
- Zammori, F. A., Braglia, M., Frosolini, M., 2009. A fuzzy multi-criteria approach for critical path definition. *International Journal of Project Management*, Volume 27, Issue 3, 278-291.
- Zareei, A., Zaerpour, F., Bagherpour, M., Ali N. A., Hadi Vencheh, A., 2011. A new approach for solving fuzzy critical path problem using analysis of events. *Expert System Applications*, 38, 87-93.
- Zhang, H., Li, H., Tam, C.M., 2006. Particle swarm optimization for resource constrained Project scheduling. *International Journal of Project Management*, 24(1), 83-92.
- Zhang, H., Xing, F., 2010. Fuzzy-multi-objective particle swarm optimization for time cost quality tradeoff in construction. *Automation in Construction - AUTOM CONSTR*, 19, 1067-1075.
- Zhao, Z.Y., Wei, Y.Y., Zuo, J., 2010. Application of Innovative Critical Chain Method for Project Planning and Control under Resource Constraints and Uncertainty. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Zielinski, P., 2005. On computing the latest starting times and floats of activities in a network with imprecise durations. *Fuzzy Sets and Systems*, 150, 53-76.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuğçe APA YAĞDIRAN

Doğum Yeri ve Yılı : Burdur, 1984

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : apatugce@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise: Antalya Anadolu Lisesi, 2002

Lisans: Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği, 2009

Lisans: Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi,
Konaklama İşletmeciliği, 2013

Mesleki Deneyim

ARÜV ÇEVRE Müh. Müş. Hiz. İnş. San. ve Tic. A.Ş. 04.12.2009-31.12.2016