

**ÖĞRENME ETKİLİ, BULANIK İŞLEM
ZAMANLI VE BULANIK TESLİM TARİHLİ
ÇİZELGELEME PROBLEMİ**

Merve KAYACI ÇODUR

**Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Vecihi YİĞİT
2012
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÖĞRENME ETKİLİ, BULANIK İŞLEM ZAMANLI VE BULANIK
TESLİM TARİHLİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ**

Merve KAYACI ÇODUR

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2012**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU



Öğrenme Etkili, Bulanık İşlem Zamanlı ve Bulanık Teslim Tarihli Çizelgeleme Problemi

Yrd. Doç. Dr. Vecihi YİĞİT danışmanlığında, Merve KAYACI ÇODUR tarafından hazırlanan bu çalışma 14/08/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy ~~çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Gerhard Wilhelm WEBER

İmza :

Üye : Doç. Dr. Mehmet AKTAN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Vecihi YİĞİT

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2011/149

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖĞRENME ETKİLİ, BULANIK İŞLEM ZAMANLI VE BULANIK TESLİM TARİHLİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Merve KAYACI ÇODUR

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Vecihi YİĞİT

Günümüzde Tam Zamanında Üretim (TZÜ) sistemine artan ilgi ile beraber Erken/Geç tamamlanma çizelgeleme problemleri büyük önem kazanmıştır. Tam Zamanında Üretim stratejisi ile çalışan işletmelerde işlerin erken tamamlanmasının da geç tamamlanması kadar önemli olması nedeni ile ele alınan Erken/Geç çizelgeleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir kısmında, işlerin işlem zamanları ve teslim tarihleri sabit kabul edilmiştir. Ancak insan faktörünün devreye girmesi sonucu problem parametrelerinin gerçek hayat problemlerine uygunluğu açısından bulanık alınması daha tutarlı bir yaklaşım olacaktır. Bununla birlikte bazı üretim sistemlerinde, işlem zamanları dikkate alındığında yapılan işlemlerin sık sık tekrarlanmasıyla işlem zamanlarında gittikçe bir azalma görülür. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma belirtilen söz konusu nedenlerden dolayı, bulanık işlem zamanlı ve bulanık teslim tarihli tek makine çizelgeleme problemine öğrenme etkisi katılarak ele alınacaktır. Ele alınan problemin amaç fonksiyonu ise Erken/Geç tamamlanan iş sayısını en küçükmektir. Problemin NP-zor yapısı nedeni ile büyük boyutlu problemlerin çözümü için genetik algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmayla üretilen test problemleri çözümlenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Genetik algoritmanın çözüm performansının artırılmasına yönelik Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak algoritma performansına etki eden faktör ve seviyeleri belirlenmiştir.

2012, 79 sayfa

Anahtar Kelimeler: Erken/Geç Çizelgeleme Problemi, Öğrenme Etkisi, Bulanık İşlem Zamanı, Bulanık Teslim Tarihi, Genetik Algoritma.

ABSTRACT

Master Thesis

SCHEDULING PROBLEM WITH FUZZY PROCESSING TIME, FUZZY DUE DATE AND LEARNING EFFECT

Merve KAYACI ÇODUR

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Vecihi YİĞİT

The Earliness/Tardiness problem has received considerable attention as Just in Time (JIT) concepts have become more prominent in practice. In most of studies with Earliness/Tardiness scheduling which began to study with the growing interest in Just-in-Production (JIT) which espouses the notion that earliness-as well as tardiness- are assumed that the processing times and due dates of jobs are fixed. However, by considering the imprecise or fuzzy natura of the data in real world problems, processing times and due dates are assumed as fuzzy numbers because of measurement errors in data sets or human actions. At the same time, in some production systems, the actual processing time of a job maybe more or less than its normal processing time when it is scheduled later. This phenomenon is known as the “learning effect” in the context of various scheduling problems. In our study, we introduce learning effect into a single machine scheduling problem with uncertain processing times and flexible due dates in consideration of real situations. The objective function of the problem is minimization Earliness/Tardiness penalties. According to the complex property of the problem, a heuristic approach of Genetic Algorithm is applied to solve this NP-hard problem. Finally Taguchi method is used for improve the solution performance of genetic algorithms that depend on the parameters.

2012, 79 pages

Keywords: Earliness/Tardiness Scheduling Problems, Learning Effect, Fuzzy Processing Times, Fuzzy Due Dates, Genetic Algorithm.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Anabilimdalı'nda hazırlanmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının her safhasında çalışmalarına yön veren, değerli vaktini, bilgisini, teşvik ve yardımlarını esirgemeyerek bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Vecihi YİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca katkı ve desteklerinden dolayı Endüstri Mühendisliği bölümündeki diğer saygı değer hocalarıma ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi Uygulamalı Matematik Enstitüsü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Gerhard Wilhelm WEBER'e teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince gösterdikleri anlayış, sabır ve desteklerinden dolayı canım aileme ve eşim M. Yasin ÇODUR'a teşekkürlerimi sunarım.

Merve KAYACI ÇODUR

Ağustos 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1. Çizelgeleme ve Çizelgeleme Problemi	13
3.2. Çizelgeleme Probleminde Planlama	13
3.3. Çizelgeleme Problemlerinin Gösterimi	15
3.3.1. Erken / Geç tamamlanma çizelgeleme problemi	16
3.3.2. Ortak teslim tarihli E/G çizelgeleme problemi	17
3.3.3. Kısıtlandırılmamış problem	18
3.4. Öğrenme Etkisi	21
3.5. Bulanık Mantık	24
3.5.1. Bulanık küme kuramı ve bulanık mantık	26
3.5.2. Bulanık kümeler ve olasılık	28
3.5.3. Bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları	29
3.6. Genetik Algoritma	30
3.6.1. Genetik Algoritmada Temel Kavramlar	31
3.6.2. Genetik algoritmanın temel yapısı	32
3.6.2.a. Uygunluk değerlendirmesi	33
3.6.2.b. Seçme veya tekrar üreme	34
3.6.2.c. Çaprazlama	36
3.6.2.d. Mutasyon	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	41

4.1. Öğrenme Etkili, Bulanık İşlem Zamanlı ve Teslim Tarihli Problem.....	41
4.1.1. Varsayımlar	43
4.2. Bulanık Erken/Geç Tamamlanma Problemi	44
4.3. Öğrenme Etkili Bulanık İşlem Zamanı	46
4.4. Test Problemleri	47
4.5. Problemin Enümerasyon Tekniği ile Çözümü	48
4.6. Problemin Genetik Algoritma İle Çözülmesi.....	50
4.6.1. Kromozom gösterimi	50
4.6.2. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması.....	51
4.6.3. Uygunluk değeri ve seçim işlemi.....	52
4.6.4. Çaprazlama operatörü	53
4.6.5. Mutasyon operatörü	54
4.6.6. Geliştirilen genetik algorithmada kullanılan parametre değerleri.....	55
4.6.7. Algoritmanın test edilmesi ve sayısal sonuçlar	57
4.7. DeneY Tasarımı Uygulaması.....	59
4.7.1. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi.....	59
4.7.2. Faktör ve/veya etkileşimlerin kolonlara atanması.....	60
4.7.3. Performans istatistiğinin belirlenmesi.....	61
4.7.4. Testlerin yapılması	61
4.7.5. Verilerin analizi.....	61
4.8. Varyans Analizi.....	62
4.8.1. Ortalamaya göre varyans analizi ve katkı yüzdelerinin belirlenmesi	62
4.8.2. S/N oranına göre varyans analizi ve katkı yüzdelerinin belirlenmesi.....	64
4.9. Faktör Etkilerinin GrafiksEl Gösterimi Metodu.....	66
4.10. Doğrulama DeneYinin Yapılması.....	71
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

E/G	Erken/Geç
FEGGM	Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi Metodu
GA	Genetik Algoritma
LR	Öğrenme Oranı
S/N	Sinyal/Gürültü
TM	Taguchi Metodu
TZÜ	Tam Zamanında Üretim

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Üretim Sistemi Bilgi Akış Diyagramı (Pinedo 2002)	14
Şekil 3.2. Öğrenme Eğrisi (Biskup 1999).....	22
Şekil 3.3. Tekrar sayısına göre işlem zamanlarında azalma	23
Şekil 3.4. Genel, simetrik ve üçgen üyelik fonksiyonu	27
Şekil 3.5. İkizkenar yamuk üyelik fonksiyonu	27
Şekil 3.6. Genetik Algoritma Genel Akış Şeması (Yıldız 2008).....	33
Şekil 3.7. Çaprazlama Operatörünün İşleyişi (Öztürk 2008).....	36
Şekil 3.8. Tek Noktalı Çaprazlama (Altay 2007)	37
Şekil 3.9. İki Noktalı Çaprazlama (Altay 2007)	38
Şekil 3.10. Kes-Ekle Çaprazlama (Öztürk 2008).....	39
Şekil 3.11. Mutasyon Gösterimi (Üçer 2007).....	40
Şekil 4.1. Öğrenme etkili ve öğrenme etkisiz erken tamamlanma gösterimi	42
Şekil 4.2. Öğrenme etkili ve öğrenme etkisiz geç tamamlanma gösterimi.....	42
Şekil 4.3. İkili kodlanmış kromozomlar için tek noktalı çaprazlama	54
Şekil 4.4. İkili kodlanmış kromozomda mutasyon	55
Şekil.4.5. Ele alınan probleme ait GA akış şeması	56
Şekil.4.6. Problem boyutuna göre hesaplanan CPU zamanları	58
Şekil 4.7. Gözlem Değerlerinin Minitab Çıktıları	66
Şekil 4.8. Ortalamalar için sonuç tablosu	67
Şekil 4.9. S/N oranı için sonuç tablosu	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bulanık ve klasik denetleyici arasındaki farklar (Gözen 2007).....	30
Çizelge 4.1. Problem için veriler	49
Çizelge 4.2. Sayısal örneğin eniyi çözüm sonuçları	49
Çizelge 4.3. Birey Yapısı ve GA ikili kodlarının karşılık değerleri	51
Çizelge 4.4. Önerilen GA için tespit edilen uygun parametre değerleri.....	55
Çizelge 4.5. Birerleme ve GA ile bulunan Sonuçların Karşılaştırılması	57
Çizelge 4.6. Algoritma Parametreleri ve Düzeyleri.....	59
Çizelge 4.7. Toplam Serbestlik Derecesi.....	59
Çizelge 4.8. Taguchi L ₉ deney tasarımı	60
Çizelge 4.9. L ₉ (3 ⁴) ortogonal dizinine göre yapılan deneyler ve sonuçları.....	62
Çizelge 4.10. Ortalamaya göre oluşturulan varyans analizi tablosu	63
Çizelge 4.11. Ortalamaya göre katkı yüzdeleri.....	64
Çizelge 4.12. S/N oranına göre oluşturulan varyans analizi tablosu	65
Çizelge 4.13. S/N oranına göre oluşturulan varyans analizi tablosu	65
Çizelge 4.14. Minitab program çıktısı	67
Çizelge 4.15. Ortalamaya göre FEGGM ile en iyi faktör-seviye kombinasyonu.....	68
Çizelge 4.16. Faktör etkilerinin sayısal olarak gösterimi	69
Çizelge 4.17. S/N'ye göre FEGGM ile en iyi faktör-seviye kombinasyonu	70
Çizelge 4.18. Faktör etkilerinin sayısal olarak gösterimi	70
Çizelge 4.19. Beklenen ortalama değerinin Minitab çıkışı.....	71
Çizelge 4.20. Doğrulama Deneyi Sonuçları	72
Çizelge 4.21. Önerilen GA ve TM ile geliştirilen GA sonuçlarının karşılaştırılması.....	73

1. GİRİŞ

Üretim kavramı ekonomistler ve mühendisler tarafından farklı biçimlerde tanımlanmaktadır. Ekonomistler üretimi fayda oluşturmak için yapılan işlemler olarak tanımlarken, mühendisler üretimi fiziksel bir varlık üzerinde onun değerini arttıracak değişiklikler yapmak veya hammaddelerin/yarı mamullerin kullanabilir bir ürüne dönüştürülmesi olarak tanımlamaktadırlar.

Mamullerin kaynak ihtiyaçları, talep tahminleri ve stok seviyeleri göz önünde bulundurularak üretiliş biçimlerinin belirlenmesine üretim planlaması denilmektedir. Üretim planlama, imalat ve servis sistemlerinde büyük önem taşımakta olup çizelgeleme bakımından mümkün kaynakların optimum kullanımını amaçlamaktadır. Üretim planlama sürecinde işi zamanında teslim etmek, ara stokları mümkün olduğunca azaltmak, işin sistemdeki kalış süresini azaltmak, makine ve işçiyi verimli kullanmak, makine hazırlık zamanlarını azaltmak gibi farklı amaçlar olabilir.

Üretim Planlama ve Kontrol elemanları, farklı üretim sistemlerinde farklılıklar göstermesine karşılık, genel olarak ön planlama, planlama ve kontrol olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilir (Türker 2003).

1) Ön Planlama: Ön planlama aşamasındaki çalışmalar olmaksızın güvenilir bir üretim planının yapılması olanaksızdır. Ön planlama çalışmaları şu konuları içerir:

- Tüketici Araştırması, Satış Tahminleri,
- Mamul Tasarımı ve Geliştirme,
- Tesis Yatırım Politikası,
- İş Yeri Düzeni

2) Planlama: Planlama çalışmaları iki ana konuda yapılır:

- **Kaynaklara Yönelik Planlama:** Malzeme, Metot, Makine, İşgücü.
- **Yapılacak İşleri Planlama:** Rotalama, Tahmin, Çizelgeleme.

3) Kontrol: Üretim kontrolü elemanları; dağıtım, takip, kontrol, muayene ve derleme olarak tanımlanır. Kontrolün en önemli fonksiyonları; üretimdeki aksamaların ve plandan sapmaların tespit edilmesi ve gerekli düzeltmelerin yapılabilmesi için bilgi geri iletilmesinin (feed back) sağlanmasıdır.

Çizelgeleme, üretim ve hizmet endüstrilerinde çok önemli bir karar verme süreci olup matematiksel teknikler ve/veya sezgisel yöntemler kullanılarak, işletmenin kıt kaynaklarının gereken görevlere atanmasını sağlar. Kaynakların iyi atanması, işletme açısından önemli performans ölçütlerinin ve amaçlarının eniyilenmesini sağlar. Buradaki kıt kaynaklar; atölye için tezgâh, havaalanı için pist, inşaat için işçi veya bilgisayar için işlem üniteleri olabilir. Görevler ise; atölyedeki işlemler, havaalanındaki iniş ve kalkışlar, inşaattaki proje safhaları veya bilgisayardaki çalıştırılması düşünülen program olabilir. Ayrıca her görev öncelik ilişkisine, başlama ve bitiş sürelerine veya en geç tamamlanma zamanına sahip olabilir. Bunların yanı sıra çizelgelemenin amacı da çeşitli olabilir. Örneğin işlerin tamamlanma süresinin veya geciken iş sayısının en aza indirilmesi ve benzeri şekilde olabilir (Pinedo and Chao 1999; Kellegöz 2006).

İmalat işletmelerinin pazarda rekabet edebilirliğini sağlayan üç temel unsur bulunmaktadır. Bunlar; zaman, kalite ve maliyettir. Günümüzde maliyete dayalı olarak geliştirilen geleneksel stratejilerden, zaman esaslı stratejilere doğru bir geçiş yaşanmaktadır. Pazarda yüksek kalitede ve düşük maliyetli üretim yapan firma sayısı arttıkça mala olan talebi önemli derecede siparişin alınışından teslim edilişine kadar geçen süre belirleyecektir (Baykal 1992). Bu nedenle, endüstrinin tümünde olmasa bile büyük bir çoğunluğunda, pazarda kalma mücadelesini, aldıkları siparişleri tam zamanında teslim eden firmalar kazanacaklardır.

Çizelgeleme bakımından çizelgeleme teorisi ile ilgili literatürün büyük bölümünü toplam akış zamanı, geciken iş sayısı ve toplam gecikme gibi performans ölçütleri

oluşturmaktadır. Toplam gecikme ölçütü erken tamamlanan işleri ve cezaları göz ardı ederek sadece geç tamamlanan işler ile ilgilenir. Ancak bu yaklaşım, erken tamamlanmanın da geç tamamlanma kadar önemli kabul edildiği Tam Zamanında Üretim konusuna (Just-in-Time) artan ilgi ile beraber değişmeye başlamıştır (Gupta 1988). Tam zamanında üretim felsefesinin altında yatan temel mantık, gereken ürünlerin gerekli miktarda ve gereken zamanda üretilmesidir. Teslim tarihinden erken biten işlerde depolama maliyeti, ürünün bozulmasından kaynaklanma gibi maliyetler ortaya çıkmakta olup geç tamamlanan işlerde ise müşteri tatminsizliği, sözleşme cezaları, satış ve itibar kayıpları ve bunların getirdiği cezalar söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla ideal bir çizelgede tüm işler teslim tarihinde tamamlanmalıdır. Bu durum çeşitli performans ölçütleri göz önüne alınarak tanımlanabilir. Tamamlanma zamanının teslim tarihinden sapmasının minimizasyonu birtakım amaç fonksiyonları ile ifade edilebilir (Baker and Scudder 1990). Ancak hem erken hem de geç tamamlanan işlerin cezalandırılması kavramı yeni ve hızla gelişen bir durumdur.

Günümüz çizelgeleme problemlerinde klasik analitik yaklaşımlar, şimdiye kadar çözümlerin elde edilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur. Ama imalat sistemlerinde bulunan çok fazla rassal parametre ve sürekli değişen ve gelişen çevre istenen sonuçların yavaş uygulanmasına ya da etkisizleşmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle çok değişkenli sistemlerde oldukça etkili olan ve gelişimini sürdüren bulanık mantık teknikleri çizelgeleme problemlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Son onbeş yıldır, öğrenme etkili çizelgeleme problemleri birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Öğrenme etkisi ilk kez Biskup tarafından çizelgeleme problemlerine uygulanmıştır. Bir görev veya iş sürekli yapıldığı takdirde belirli bir alışkanlık ve öğrenme olmaktadır. İlerleyen zamanlarda bu işi tamamlamak için gerekli kaynaklara olan (işgücü, malzeme vb.) ihtiyaç azalmaktadır. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir. Klasik çizelgeleme problemlerinin aksine sabit olmayan parametrelerin göz önüne alındığı çizelgeleme problemlerinde; öğrenme etkisi olgusu da son yıllarda çalışmalarda dikkate alınan önemli bir olgudur.

Bu amaçtan yola çıkılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, tam zamanında üretim felsefesinin gelişmesiyle önem kazanan Erken/Geç tamamlanma çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Bununla beraber parametre değerlerinin belirsizliklerinin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için bulanık mantık yaklaşımı uygulanmıştır. Son yıllarda çizelgeleme problemlerinde önem kazanan öğrenme etkisi olguda işlem zamanlarına katılarak problem genişletilmiştir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde üretim, üretim planlama, kontrol elemanları, çizelgeleme kavramı ve temel amaçları hakkında bilgiler verilmiştir. Çizelgeleme problemlerinin amaçları doğrultusunda katılan öğrenme etkisi ve bulanık mantık yaklaşımları ile bu problemlerin geliştirilmesinden bahsedilerek, çalışmanın amacı ve bölümlerine değinilmiştir.

İkinci bölümde çizelgeleme problemleri tanımlanmış, tarihçesi hakkında bilgiler verilmiştir. Öğrenme etkisi ve bulanık mantığın katıldığı problemlerde ayrı ayrı incelenip literatür özetleri sunularak günümüz çizelgeleme problemlerindeki yeri ve önemi ifade edilmiştir. Yapılan çalışmanın özgünlüğü incelenen literatürle ortaya konulmuştur.

Üçüncü bölümde çalışmada kullanılacak materyal ve yöntemler açıklanmıştır. Öncelikle çalışmada ele alınan çizelgeleme problemi incelenmiş sonra çalışmaya katılan bulanık mantık ve öğrenme etkisi kavramlarına değinilmiştir. Problem çözümü için geliştirilen sezgisel yaklaşımlardan genetik algoritma ve aşamaları verilmiştir.

Dördüncü bölümde bu çalışmanın ana teması olan problem tanımı yapılarak varsayımlar altında modellenmiştir. Söz konusu probleme ait parametre değerlerini sabit bir şekilde tahmin etmek zor olduğundan, ayrıca ortaya çıkan belirsizlikleri de probleme dâhil edebilmek için parametre değerleri bulanıklaştırılarak geliştirilen problem için yüz işe kadar bulanık test problemleri oluşturulmuştur. Her bir işe ait bulanık tanımlanan işlem zamanlarına öğrenme etkisi katılmıştır. Küçük boyutlu problemlerde enümerasyon tekniği ile sonuçlar elde edilmiştir. NP zor yapıda olan problemin büyük boyutlarında

özüme geliştirilen genetik algoritma ile ulaşılmıştır. Geliştirilen algoritmanın performansını artırmak için Taguchi Deney Tasarımı tekniği kullanılarak algoritma için etkin parametre ve seviyeleri belirlenmiştir.

Beşinci bölümde çalışmanın sonuçları sunulmuştur. Konuyla ilgili edinilen bulgular ışığında ileride yapılacak çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çizelgeleme problemi, matematiksel teknikler veya sezgisel yöntemler kullanarak sınırlı kaynakların ilgili görevlere tahsis edilmesidir. Kaynakların uygun olarak atanması ile firmanın amaç ve hedeflerine en iyi şekilde ulaşması sağlanır. Çizelgeleme literatürü; parametrelerin belirgin (deterministik) olduğu durumdan, belirsiz (stokastik) olduğu duruma, tek makineliden çok makinelieye, geliş sürecinin durağandan (statikten), dinamiğe değiştiği çeşitli problem yapılarını kapsar. Birden fazla ölçütün bulunduğu çizelgeleme çalışmaları son dönemlerde oldukça artmıştır. Ancak bu tür problemlerin çözümü tek ölçütlü problemler kadar kolay değildir. Çünkü birbirleri ile çelişen amaçların aynı anda eniyilendiğinden tek bir çizelgeyi oluşturmak oldukça zordur. Çizelgeleme problemleri tümlşik optimizasyon problemleri yani çok amaçlı karar verme problemi olduğu için en iyi çözümlerini bulmak oldukça zordur.

Çizelgeleme probleminde makine kapasitesi kısıtları, teknolojik kısıtlar olmak üzere iki tür olurluluk kısıtı vardır. Çizelgeleme probleminin çözümü bu iki tip kısıtın birbirine bağlı ve uygun çözümüdür. Eğer elde edilen sonuç bize yerine getirilecek her bir görev için hangi kaynağın tahsis edileceğini ve her bir görevin ne zaman yerine getirileceğini gösteriyorsa işimize yarayacaktır. Dolayısıyla, geleneksel olarak, çoğu çizelgeleme problemi kısıtlara bağlı optimizasyon problemi olarak görülmektedir (Cowling *et al.* 2002).

Çizelgelemede ideal amaç fonksiyonu, çizelgeleme kararlarına bağlı sistemdeki tüm maliyetleri kapsayacak yapıda olmalıdır. Buna karşın, uygulamada bu maliyetlerin tam anlamıyla tanımlanması ve hesaplanması çoğunlukla mümkün değildir. Gerçekte, planlama işlevi tarafından sadece kolayca belirlenebilecek temel işlem maliyetleri göz önünde bulundurulurken çizelgelemeye bağlı izole edilmesi güç olan diğer maliyetlerin sabit olarak alınması eğilimi vardır. Çizelgelemede, tamamlanma süresi, zamanında tamamlanma ve çıktı miktarı olmak üzere yaygın olarak kullanılan üç farklı grup karar verme kriteri bulunur. Çıktı miktarı grubunda bulunan kriterlerin bütün işleri göz

önünde bulundurmasına karşın, ilk iki grupta bulunan kriterler verilen tek bir iş için söz konusu olabileceğinden amaç fonksiyonunun bütün işleri göz önünde bulunduracak şekilde geliştirilmesi gerekir (Baker 1997).

Çizelgeleme konusundaki ilk çalışmalar 20. yüzyılın başlarında Henry Gantt ve diğer öncüler tarafından başlatılmıştır. 1954 yılında S.M. Johnson, Naval Research Quarterly dergisinde yayınlanan makalesiyle $m=2$ makineli çizelgeleme problemleri için tamamlanma zamanını en küçükleyerek optimum çözüme ulaşan bir algoritma göstermiştir (Johnson 1954). Johnson Kuralı olarak da bilinen bu algoritma geliştirilerek bazı şartlar altında 3 makineli problemler için de çözüm elde edilmesini sağlamıştır. Johnson kuralı birçok sezgisel yöntemin temelini oluşturmaktadır.

Büyük boyutlu çizelgeleme problemlerinde hesaplama zamanının üstel olarak artması problemlerde etkin çözümler sağlayamamaktadır (Baker 1994). Bu nedenle sezgisel algoritmaların geliştirilmesi önem kazanmıştır. Sezgisel algoritmalar, optimal çözümü garanti edemeyen, ancak yaklaşık çözümler üreten aynı zamanda uygulanması kolay ve hesaplama zamanı kısa olan algoritmalardır (Güldalı 1990).

Günümüze kadar çizelgeleme problemleriyle ilgili çok sayıda sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Özellikle 1990'lı yıllardan itibaren bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerin yaygın kullanımının artmasıyla beraber modern sezgisel yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. Yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, tavlama benzetimi ve bulanık mantık gibi modern sezgisel yöntemler çizelgeleme problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır.

Çizelgeleme problemleri ile ilgili bu genel açıklamalardan sonra biraz daha özele inilerek Erken (Earliness)/Geç (Tardiness) tamamlanma cezalarının en küçüklenmesi problemi ele alınmıştır. Literatürde 1990 yılına kadar Erken/Geç tamamlanma problemleri, minimum ağırlıklandırılmış mutlak sapma problemi olarak bilinmekteydi. Erken/Geç tamamlanma çizelgeleme problemleri TZÜ felsefesi ile önem kazanarak

literatürde tam zamanında çizelgeleme problemi olarak da ifade edilmiştir (Chang 1999; Mondal and Sen 2001).

Baker and Scudder (1990), Zeng and Nagasawa (1993), Bank and Werner (2001) yaptıkları çalışmalarda bütün işlerin ortak teslim tarihine sahip olduğu E/G performans ölçütlü problemi ele almışlardır. Amaç fonksiyonuna ait farklı ceza maliyet fonksiyonları katılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde; dört temel yaklaşım mevcuttur. Bunlardan Baker *et al.* (1990) işe bağımlı erken geç tamamlanma ceza maliyet fonksiyonunu, Zeng and Nagasawa (1993) eşit olmayan ceza maliyetlerini, Sun and Wang (2003) ise sırasıyla eşit ceza maliyet fonksiyonu ve işe bağımlı oranlanabilen ceza maliyet fonksiyonunu ele arak çözüme ulaşmışlardır.

Öğrenme etkisinin çizelgeleme problemlerine uygulandığı çalışmalar incelendiğinde; öğrenme etkisi çizelgelemede ilk kez Biskup (1999) tarafından incelenmiştir. Biskup, pek çok üretim tesisinde, üretim birimi (işçi veya makine) tarafından aynı veya benzer faaliyetlerin tekrarlanması sonucu üretim işleminde meydana gelen gelişme yaklaşımı ile çizelgeleme problemlerine öğrenme etkisini katmıştır. Biskup çalışmalarında tek makineli problemler üzerinde çalışmış ve akış zamanı minimizasyonu, maksimum tamamlanma zamanı, teslim tarihinden en az sapma problemlerini incelemiştir (Eren ve Güner 2004).

Cheng and Wang (2000), öğrenme etkili tek makineli maksimum gecikme performans kriterinin en küçüklenmesi problemini incelemiştir. Araştırmacılar öğrenme etkisini modellemek için üretim hacmine bağlı parçalı doğrusal işlem zamanı fonksiyonu kullanmışlardır. Problemin NP-zor problem olduğunu göstererek polinom zamanda çözülebilir iki durumunu göstermişlerdir.

Mosheiov (2001)'de öğrenme etkili tek makine çizelgeleme probleminde, EDD (Earliest Due Date) ve WSPT (Weighted Short Process Time) kurallarını kullanarak sırasıyla maksimum gecikmenin minimizasyonu ve toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanının minimizasyonunu ele almıştır.

Mosheiov and Sidney (2003); Biskup'ın çalışmalarına ilaveten, bazı durumlarda bazı işlerin üretim sürecindeki gelişmelerinin diğer işlere oranla daha hızlı olabileceğini; bu nedenle de her bir işin kendine ait öğrenme zamanı olması gerektiğini savunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada tek makinede toplam akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanının minimizasyonu problemini ele almışlardır.

Lee *et al.* (2004) iki kriterli tek makine çizelgeleme probleminde öğrenme etkisi altında toplam tamamlanma zamanı ve maksimum geç bitirmeyi minimize etmek için Dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma baskınlık kuralı esaslı olup 30 işe kadar çözüm üretebilmektedir (İşler vd 2009).

Kuo and Yang (2006) ise çalışmalarında, öğrenme etkisini zamana bağlı olarak tanımlamışlardır. Aynı zamanda tek makine çizelgeleme problemlerinde toplam tamamlanma zamanının ve tamamlanma zamanının minimizasyonu için polinomial algoritma geliştirmişlerdir.

Eren ve Güner (2002) işe bağımlı öğrenme etkili bir çizelgeleme probleminde toplam akış zamanının minimizasyonu için matematiksel model geliştirmişlerdir. 2004 yılında; tek ve paralel makinelerin dışında çok makineli akış tipi durum için ilk çalışmayı yapmışlardır. Çalışmalarında İki makineli akış tipi çizelgelemede öğrenme etkisini analiz ederken performans ölçütünü akış zamanı olarak ele almışlardır (Eren ve Güner 2004). Eren ve Güner (2006) yılında m paralel makineli çizelgeleme problemi, hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu durum için incelenmiştir. Kullanılan performans ölçütü toplam akış zamanıdır. Eren ve Güner (2007) hazırlık zamanının öğrenme etkili olduğu tek makine çizelgeleme problemi ile hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu tek makineli çizelgeleme problemlerini ele almışlardır. Eren ve Güner (2008) zamana-bağımlı öğrenme etkili tek makine çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Maksimum gecikme performans ölçütlü problemin çözümü için doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiştir. Eren ve Güner (2009) iki ölçütlü zamana-bağımlı öğrenme etkili tek makine çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Ele alınan problemin amaç fonksiyonu; maksimum

erken bitirme ve geciken iş sayısının minimizasyonu olup çözüm için doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiştir.

Öğrenme etkisinin E/G performans ölçütlü çizelgeleme problemlerine uygulandığı çalışmalar incelendiğinde; E/G problemleri ile ilgili çalışmaların öğrenme etkili çalışmalardan daha önce olduğu görülmektedir. Öğrenme etkisi ve E/G problemi bir arada farklı ölçütlerle; Biskup (1999), Mosheiov and Sidney (2001), Biskup and Simons (2004), Kuo and Yang (2007), Toksarı ve Güner (2008) tarafından yapılan çalışmalarda yer almaktadır (İşler vd. 2009).

Çizelgeleme problemlerinde bulanık sayıların alınarak çözüme ulaşıldığı çalışmalar incelendiğinde McCahon and Lee (1992) işlem zamanlarını yamuk bulanık sayılarla (trapezoidal fuzzy numbers), Tsujimura (1995) ise her bir makinaya ait her bir iş için gerekli işlem zamanlarını üçgensel bulanık sayılarla (triangular fuzzy numbers) tanımlamışlardır.

Han *et al.* (1994) bulanık teslim zamanı ile tek makine çizelgeleme problemlerini araştırmıştır.

Ishibuchi *et al.* (1994) bulanık işlem zamanı ile iki akış tipi çizelgeleme problemi geliştirmiştir. İlk problem verilen işler için minimum memnuniyet derecesinin maksimizasyonunu ikincisi ise toplam memnuniyet derecesinin maksimizasyonunu içerdiği belirtilmiştir.

Lam *et al.* (1998) tek makine probleminde E/G tamamlanma problemini ele alıp sadece teslim tarihlerini bulanık sayılarla ifade etmiştir. Zhao-Qiang (2001) hem teslim tarihlerini hem de işlem zamanlarını bulanık sayı olarak tanımlamış olup tek makine çizelgeleme problemi ve akış tipi problemi için matematiksel modelini oluşturmuştur.

Geng and Zou (2001) Lam'ın çalışmasına ilaveten işlem zamanlarını da bulanıklaştırmışlardır. Çalışmalarını tek makine ve akış tipi çizelgeleme problemleri için formüle edip büyük boyutlu problemlerin çözümünde hybrid genetik algoritma geliştirmişlerdir.

İki amaçlı akış tipi çizelgeleme problemi için Wu *et al.* (2004) işlem zamanları ve teslim tarihlerini bulanık sayılarla ifade edip problemin çözümü için genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Peng and Liu (2004), bulanık işlem zamanı ile paralel makine çizelgeleme problemlerinin modellenmesi için bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada bulanık çizelgeleme modellerinin üç yeni tipi sunulmuştur. Problemlerin çözümü için melez zeki algoritma tasarlanmış ve önerilen algoritmanın hesaplama etkinliğini göstermek için sayısal örnekler sunulmuştur. Geleneksel çizelgeleme problemlerinde işlem zamanı, hazırlık zamanı ve teslim zamanı gibi parametrelerin deterministik olduğu belirtilmiştir. Gerçek durumlarda ise bu parametrelerin belirsiz olduğu ifade edilmiştir.

Temiz ve Erol (2004), işlem zamanlarının ve teslim tarihlerinin bulanık sayılarla ifade edildiği çok makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinde bulanık tamamlanma zamanı ve bulanık maksimum gecikme amaçlarını eş zamanlı eniyileyen, genetik algoritma tabanlı çok amaçlı çözüm yöntemi geliştirmiştir. Algoritma sonucunda, karar vericiye daha gerçekçi seçim yapabileceği bulanık amaçlara ilişkin pareto optimal çözümler kümesi sunulmaktadır. Karar verici bu etkin (pareto) çözümler yardımıyla daha sağlıklı karar verebileceği belirtilmiştir.

Wu (2009), bulanık işlem zamanı ve bulanık teslim zamanı ile tek makine çizelgeleme problemi geliştirmişlerdir. Bulanık tamamlanma zamanı ve bulanık teslim zamanı arasındaki farklılık ile verilen bir işin bulanık erken/geç tamamlanması açıklanmıştır. Problemin, maksimum bulanık gecikmenin ve erken tamamlanmanın maksimum beklenen değerini minimize etmek olduğu ifade edilmiştir. Çalışmadaki problemde, bütün işlem zamanları ve her bir işin tamamlanma zamanı bulanık sayılardan oluştuğu

belirtilmiştir. Her iş için erken/geç tamamlanma ceza maliyetleri tanımlanmıştır. Problemdeki kriter; değerlendirilen sıradaki işlerin bulanık gecikmenin ya da erken tamamlanmanın ortalama değerleri arasındaki maksimum değeri minimize etmekten oluşmaktadır.

Öğrenme etkili bulanık işlem zamanlı çalışma ilk kez Ahmadizar *et al.* (2011) tarafından performans ölçütü Cmax olan bir problemde uygulanmıştır. Üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen işlem zamanlarına öğrenme etkisinin dâhil edildiği matematiksel formülasyonu tanımlamışlardır.

Literatür özetlerinden görüldüğü gibi yapılan çalışmanın öğrenme etkili bulanık işlem ve bulanık teslim zamanlı E/G performans ölçütlü problem için ilk çalışma olması amaçlanmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çizelgeleme ve Çizelgeleme Problemi

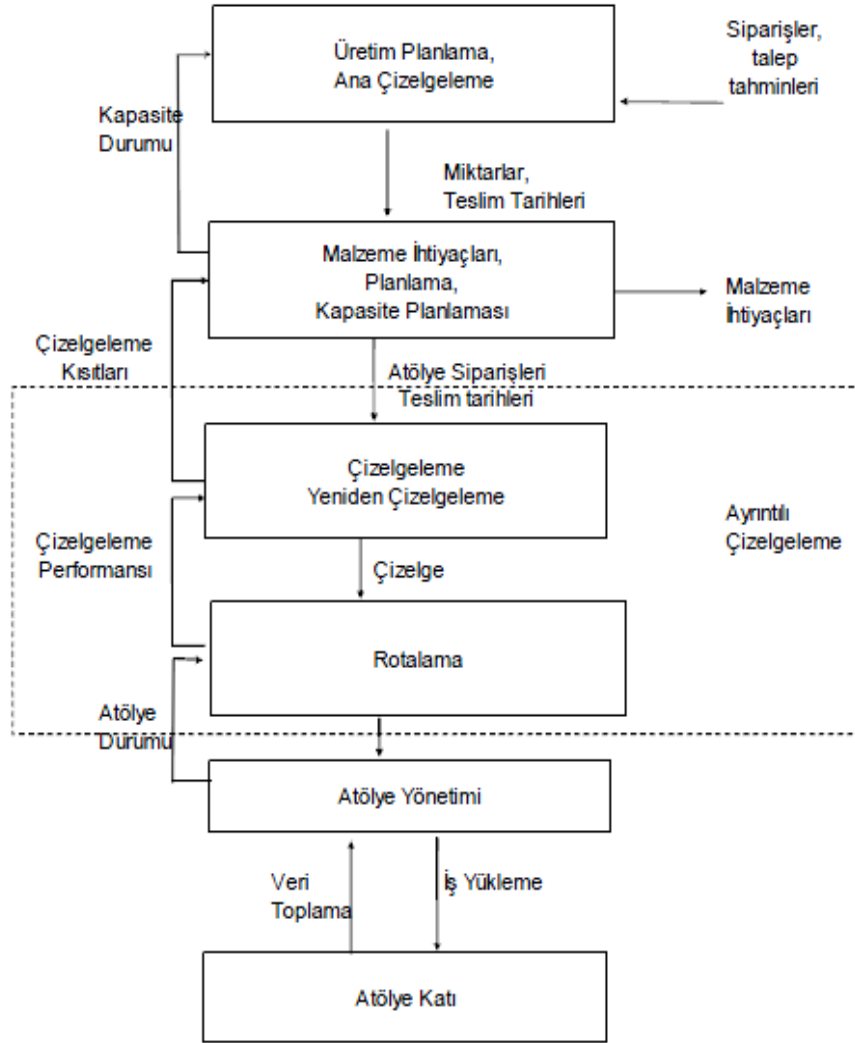
Çizelgeleme, kıt kaynakların belirli bir zaman boyunca işlere tahsis edilmesiyle ilgilidir. Bu süreç bir veya daha fazla hedefin optimizasyonunu amaçlayan bir karar alma sürecidir (Pinedo 2002). Çizelgeleme Sabuncuoglu (1998) tarafından, sistem kaynaklarının çeşitli işlere, görevlere veya faaliyetlere zaman temelinde tahsis edilmesi olarak tanımlanmıştır. Çizelgelemede amaç kaynakların etkin kullanımı ile belirlenen hedeflere ulaşmaktır. Faaliyetlerin nerede ve ne zaman gerçekleştirileceğine karar vermek anlamına gelen çizelgeleme, daha çok girdilerle çıktılar arasındaki zamanlamayla ilgilenir (Özkazanç 1999).

Bir üretim sisteminde, atölye içinde çok sayıdaki yarı mamul yığınları, fazla stok veya bir kısım makine ya da tezgâhlarda iş durumu yoğunken diğer tezgâhların boş kalması gibi durumların gözlemlenmesi çizelgeleme problemlerinin varlığını ortaya koymaktadır.

Çizelgeleme problemlerine çözüm bulmak oldukça karmaşık bir süreçtir. Sürecin karmaşıklığı ve ihtiyaç duyduğu zaman dolayısıyla, biçimsel yaklaşımlarla çözüm aramak problem çözümünde etkinliği arttırmaktadır. Biçimsel modeller, problemlerin anlaşılmasında ve iyi bir çözüm bulunmasında yardımcı olmaktadır (Baker 1994).

3.2. Çizelgeleme Probleminde Planlama

Planlama ve çizelgeleme, ister üretim ister hizmet sektöründe olsun birçok unsurun etkisi altındadır. İçinde bulunulan sisteme bağımlı olarak meydana gelen bu etkileşimler nedeni ile planlama-çizelgeleme fonksiyonu ile diğer karar verme fonksiyonları arasında Şekil 3.1’de görüldüğü gibi kuvvetli bir bilgi akışı bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Üretim Sistemi Bilgi Akış Diyagramı (Pinedo 2002)

Üretim planlama sürecinde çizelgeleme; tahmin, bütünleşik planlama ve malzeme ihtiyaç planlamasından sonraki adımdır. Malzeme ihtiyaç planlamasında ürünün her bir parçasının ya da bileşeninin ihtiyaç duyacağı zamanlar belirlenir. Çizelgeleme, belirli bir makinede işlem görecekt işleri ve emirleri, işlerin tamamlanma sırasına göre ortaya koyarak planlama sürecini bir adım daha ileri götürür.

Çizelgeleme fonksiyonu, orta ve uzun dönemli üretim planlama fonksiyonu ile de etkileşimlidir. Bu süreçte firmanın karma üretim programı optimize edilmeye çalışılır. Ayrıca bu dönemde; stok seviyelerine, talep tahminlerine göre uzun dönem kaynak

tahsisi yapılır. Orta ve uzun dönemli üretim planlama fonksiyonunda verilen bu kararlar da detaylı iş çizelgelemesi üzerinde etkilidir.

3.3. Çizelgeleme Problemlerinin Gösterimi

Çizelgeleme problemlerinde, çizelgelenecek işlerin ve makinelerin önceden bilindiği kabul edilir. Makine sayısı m ve iş sayısı ise n ile ifade edilir. İş ve makine sayıları alt indis olarak kullanıldıklarında; j iş sayısına ve i makine sayısına karşılık gelmektedir. Eğer bir iş çeşitli işlem adımlarından oluşuyorsa, j işinin i makinesinde gördüğü işlemi ifade etmek için (i, j) ikilisi kullanılır. Çizelgelenecek j işi ile ilgili diğer gerekli bilgiler ise şunlardır (Pinedo 2002):

İşlem Süresi (Processing Time (p_{ij})): j işinin i makinesindeki işlem süresini belirtir. Eğer j işinin işlem zamanı makineden bağımsız veya sadece tek makinede işlem söz konusu ise i indisi kullanılmayabilir.

Serbest Bırakma Zamanı (Release Date (r_j)): j işinin işlemeye hazır olduğu zamanı belirtir yani işin işleme başlayabileceği en erken zamanı ifade eder.

Tamamlanma Zamanı (C_j): j işinin tamamlanma zamanını ifade eder. İşin bir makinedeki tamamlanma zamanı ifade etmek için i indisi kullanılır (C_{ji}). Ayrıca iş operasyonlardan oluşuyorsa k indisi kullanılır (C_{jki}).

Teslim Zamanı (Due Date (d_j)): j işinin tamamlanma zamanını veya müşteriye teslim edilmesi gereken zamanı ifade eder. Teslim tarihinden sonra işin tamamlanması belirli bir ceza karşılığında mümkündür. Mümkün olmadığı durumlarda teslim tarihi, temrin anlamında “deadline” ile ifade edilir.

Ağırlık (Weight (w_j)): Basit olarak bir öncelik faktörünü ifade eder. j işinin sistemde ki diğer işlere göre önemini gösterir. Örneğin, bu ağırlık faktörü işlerin sistemde kalmasının

bir maliyeti olabilir. Stoklama veya elde tutma maliyeti olarak düşünölebileceđi gibi verilen bir katma değer olarak da kabul edilebilir.

Sapma (Lateness (L_j)): j işinin tamamlanma zamanının taahhüt edilen teslim tarihinden sapma miktarını ifade eder.

$$L_j = C_j - d_j \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Pozitif olduğunda geç tamamlanmayı, negatif olduğunda erken tamamlanmayı ifade eder.

Gecikme (Tardiness (T_j)): j işinin gecikme zamanını ifade eder ve hep pozitifdir.

$$T_j = \max(C_j - d_j, 0) = \max(L_j, 0) \quad (3.2)$$

Erken Tamamlanma (Earliness (E_j)): j işinin erken tamamlanma zamanını ifade eder ve hep pozitifdir.

$$E_j = \max(d_j - C_j, 0) = \max(-L_j, 0) \quad (3.3)$$

Bir çizelgeleme problemi genellikle $\alpha / \beta / \gamma$ üçlü notasyonu ile gösterilir (Pinedo 1992). Burada α , makine durumunu belirtir ve yalnız bir değer alabilir. β , proses karakteristiğini ve kısıtlarının belirtildiği bölümdür. Bu alanda hiç parametre olmayacağı gibi bir veya birden fazla parametre olabilir. γ ise çizelgeleme sonucunda en iyilenecek performans ölçütünü belirtir. Genellikle parametrelidir (Pinedo 1992).

3.3.1. Erken/Geç tamamlanma çizelgeleme problemi

j işinin erken ve geç tamamlanması sırasıyla E_j ve T_j olarak gösterilecek olursa, bu miktarlar şöyle tanımlanabilir.

$$E_j = \max\{0, d_j - C_j\} = (d_j - C_j)^+ \quad (3.4)$$

$$T_j = \max\{0, C_j - d_j\} = (C_j - d_j)^+ \quad (3.5)$$

Ceza fonksiyonlarının lineer olduğu varsayılarak her bir işin birim erken tamamlanma cezası $\alpha_j > 0$ birim geç tamamlanma cezası $\beta_j > 0$. Bir S çizelgesi için temel E/G amaç fonksiyonu $f(S)$ olarak yazılabilir.

$$f(S) = \sum_{j=1}^n \alpha_j (d_j - C_j) + \beta_j (C_j - d_j) \quad (3.6)$$

Yukarıda verilen tanımlar altında amaç fonksiyonu formülde verildiği gibidir;

$$\min f(S) \sum_{j=1}^n (\alpha_j E_j + \beta_j T_j) \quad (3.7)$$

E/G performans ölçütlü çizelgeleme problemlerinde işlere ait teslim tarihlerinin belirlenmesine ilişkin iki farklı yaklaşım mevcuttur.

- 1) Bütün işlerin ortak teslim tarihine sahip olduğu modeller
- 2) İşlerin farklı teslim tarihine sahip olduğu modeller

E/G problemleri için basit sonuçlardan bazıları bütün işlerin ortak teslim tarihine sahip olduğu modeller için türetilir. Farklı teslim tarihlerine izin veren daha genel bir model ve bu tür modellere ait çözümler ortak teslim tarihli problemlerin çözümlerinden doğal olarak farklılık gösterir.

3.3.2. Ortak teslim tarihli E/G çizelgeleme problemi

E/G problemlerinin kapsamında önemli bir özel durum; ortak teslim tarihinden işin tamamlanma zamanlarının mutlak sapmalarının toplamını en küçüklemeyi içerir.

Pratikte temel E/G problemi için erken ve geç tamamlanma cezaları birbirine eşit ve aynı olduğu kabul edilip ($\alpha_j = \beta_j = 1$), bütün işler için teslim tarihleri ortak alındığında ($d_j = d$) elde edilen amaç fonksiyonu aşağıda verilen şekilde yazılabilir;

$$\min f(S) = \sum_{j=1}^n |C_j - d| = \sum_{j=1}^n (E_j + T_j) \quad (3.8)$$

Bazı durumlarda teslim tarihi bütün işlerin ortasında olduğu bir çizelge oluşturulması arzu edilir. Eğer d yeterince küçükse, d 'nin önünde yeterli miktarda işin sıralanması mümkün değildir. Çünkü herhangi bir iş 0 başlangıç zamanından önce başlayamaz. Bu yüzden d yeterince küçükse problem kısıtlandırılmış sürüm adını alır aksi durumda d 'nin yeterince büyük olması problemin kısıtlandırılmamış versiyonu olduğunu gösterir. Örneğin; teslim tarihi bütün işlerin işlenmesi için gerek duyulan zamandan daha büyük ise o halde d 'nin önüne birçok işi yerleştirme esnekliğine sahip oluruz. Bu yüzden problem kısıtlandırılmamış bir problem halini alır.

$$d \geq \sum_{j=1}^n p_j \quad (3.9)$$

3.3.3. Kısıtlandırılmamış problem

İlk olarak problemin kısıtlandırılmamış versiyonunu göz önüne aldık. Kısıtlandırılmamış problem için 3 önemli özellik kabul edilir (Pinedo 2005).

Teorem 1. Temel E/G probleminde, birbirini takip eden işler arasında boş zaman içermeyen çizelgeler baskın bir set oluşturur.

İspat: Ard arda gelen i ve j işleri arasında t kadar boş zaman ile optimal bir S çizelgesinin olduğunu farzedelim. i işinin erken tamamlanması durumunda ($C_i < d$), i işi Δt kadar geç başlatılarak toplam maliyet azaltılabilir, $\Delta t \leq \min \{t, d - C_i\}$. Benzer şekilde, geç tamamlanan bir j işi ($C_j > d$), Δt kadar erken başlatılarak toplam maliyetin azaltılması sağlanabilir, $\Delta t \leq \min \{t, C_j - d\}$. Ortak teslim tarihinden dolayı, herhangi bir çizelge

erken tamamlanan i işine ya da geç tamamlanan j işine sahip olması gerekir. Bu yüzden, S çizelgesinin nasıl geliştirileceğini gösterdik. Yani S çizelgesi optimal bir çizelge olmayabilir.

Teorem 1 sadece birbirini takip eden işlerin bulunduğu çizelgeleri göz önüne almamıza olanak verir ancak ilk işin 0 zamanında başladığını varsaymamıza imkân vermez. Temelde bunun anlamı, optimum sonuç için araştırmada $n!$ farklı sıralama ve her bir sıralama için en iyi başlangıç zamanı göz önüne alınmalıdır.

Teorem 2. Temel E/G problemlerinde, teslim tarihinde veya teslim tarihinden önce tamamlanan işler LPT kuralına göre, teslim tarihinde veya teslim tarihinden sonra başlayan işler ise SPT kuralına göre sıralanabilir.

İspat: Erken tamamlanan işlerden birbirini takip eden iki işin LPT sırasında olmadığı optimal bir S çizelgesi kabul edilsin. O halde bu iki işin aralarında değiş tokuş yapılması toplam erken tamamlanma maliyetini azaltarak toplam gecikme maliyetini aynı bırakır. Benzer şekilde, SPT sırasını ihlal eden ve teslim tarihinden geç başlayan ikili komşu işlerin bulunduğu varsayılan optimal bir S çizelgesinde, işlerin aralarında değişmesiyle toplam gecikme maliyeti azalarak toplam erken tamamlanma maliyeti aynı kalır. Bu durumda S optimal bir çizelge olamaz.

Teorem 2; erken tamamlanan ve geç başlayan işlerin nasıl sıralandığını belirler. Temelde teslim tarihinden önce başlayan ve teslim tarihinden sonra tamamlanan bir iş söz konusu olabilir. Yani ayrık iştir (straddling job).

Teorem 3. Temel E/G modelinde, bir işin tam olarak teslim tarihinde tamamlandığı optimal bir çizelge vardır.

İspat: Optimal bir S çizelgesinde bir i işinin teslim tarihinden önce başlayıp teslim tarihinden sonra tamamlandığı kabul edilsin.

$$C_i - p_i < d < C_i \quad (3.10)$$

Sıralamada erken tamamlanan işlerin sayısı b , geç tamamlanan işlerin sayısı a ile gösterilsin. $a > b$ olduğunda, i işi tam olarak d zamanında bitecek şekilde erken başlatılsın. Yani bir başka deyişle, bütün işler $\Delta t = C_i - d > 0$ miktarı kadar erken tamamlanır. Bu durumda geç tamamlanan işlerin maliyeti $a\Delta t$ kadar azalırken erken tamamlanan işlerin maliyeti ise $b\Delta t$ kadar artacaktır. Toplam maliyet üzerine ise net etkisi $(b-a)\Delta t$ kadar olup negatif değerdedir. Öte yandan $b \geq a$ olduğu durumda, $\Delta t = d - (C_i - p_i) > 0$ olup i işi tam d zamanında bitecek şekilde Δt kadar geç başlatılır. Bu takdirde de bu değişikliğin toplam maliyete etkisi $(a-b)\Delta t$ olacaktır ve bu değerde negatiftir.

Teorem 3'e göre, her bir iş ya teslim tarihinden önce ya da teslim tarihinden sonra işlem görecektir. Yani bir çözüm, erken iş seti ve geç iş seti olmak üzere 2 sete bölünebilir. İlk olarak bu iki setin üyeleri bilinir ve her bir sete ait işlerin sıralaması teorem 2'ye göre belirlenebilir. Elde edilen çizelge V-biçimli çizelge olarak adlandırılır. Çünkü eşitlik dışında ilk set işlem zamanlarının azalan sırasına göre ikinci set işlem zamanlarının artan sırasına göre sıralandırılır. Öncelikle erken ve geç setlere işlerin düzgün bir şekilde nasıl atanacağı bilinir. Bu yüzden optimum bir çözüm için $n!$ sıra yerine 2^n sıranın incelenmesine gerek duyulur. İşlerin optimal sıralaması bilinse bile teorem dahi 3 kritiktir. Çünkü açıkça görülmektedir ki, sıralamada ilk işin başlangıç zamanının çözümsüz kalması değerlendirilecek çizelgelerin sayısını sonsuza çıkarmaktadır. Teorem 3 ile bu çizelgelerde ki bir işin teslim tarihinde tamamlanması göz önüne alınarak çözüm sayısı sınırlı hale getirilmiştir.

Görüldüğü gibi, problemler daha karmaşık hal aldığında bu 3 özellik genelleştirilebilir.

3.4. Öğrenme Etkisi

Bir görev veya iş sürekli yapıldıkça, işe yönelik belirli bir alışkanlık kazanılır ve ilerleyen zamanlarda bu işi tamamlamak için gerekli işgücü, malzeme, vb. kaynaklara olan ihtiyaç azalır. Bunu öğrenme kavramı ile açıklayabiliriz.

İlk kez Wright (1936) öğrenme olgusuyla ilgili araştırma yapmıştır. Wright uçakların üretiminde, üretilen uçak sayısı artarken direk işçilik maliyetlerinde nasıl bir azalma olduğuna yönelik çalışmasıyla öğrenme olgusunu sayısallaştırabilen “Öğrenme Etkisi” kavramını ortaya koymuştur (Biskup 1999).

Öğrenme etkisi uygulamalarına pek çok alanda rastlanmakta olup çizelgeleme problemlerinde ise oldukça yenidir. Çizelgeleme problemlerinde öğrenme etkisi ilk kez Biskup tarafından (1999) incelenmiştir. Biskup bu çalışmasında; çizelgelenecek işleri benzer iş olarak kabul eder ve çizelgelenen işlerin sırası ilerledikçe işlem zamanları üstel dağılıma bağlı olarak artan şekilde azalma göstereceğini kabul eder. Öğrenme etkisi çizelgeleme problemlerinde uygulanmak üzere üstel dağılıma uyduğu kabulü ile aşağıda verildiği gibi formülize edilmiştir.

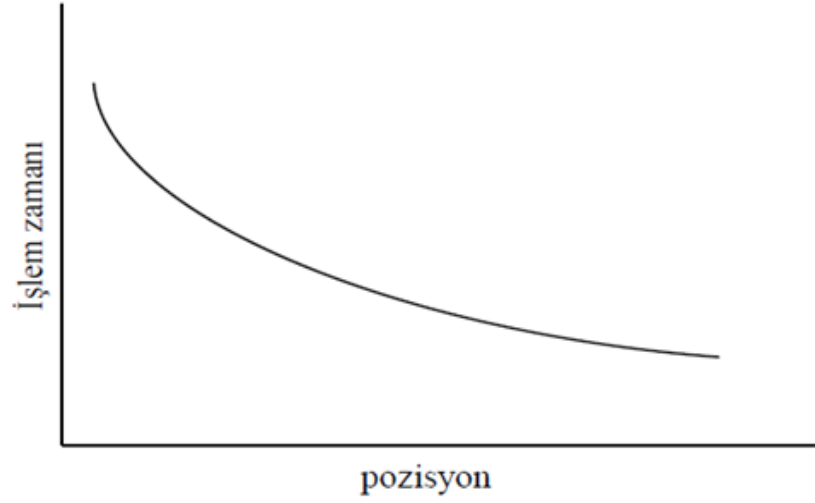
$$P_{jr} = P_j r^a \quad (3.11)$$

r : işin kaçınıcı pozisyonda (sırada) yapılacağını gösterir.

P_{jr} : j işinin öğrenme etkisi katıldığıında elde edilen işlem zamanı. Eğer j işi r . sırada çizelgelendiye işin yapılması için gereken süre azalacaktır.

LR: öğrenme eğrisi parametresi (örneğin %80 öğrenme eğrisi)

a : öğrenme indeksi $\log(LR)/\log(2)$



Şekil 3.2. Öğrenme Eğrisi (Biskup 1999)

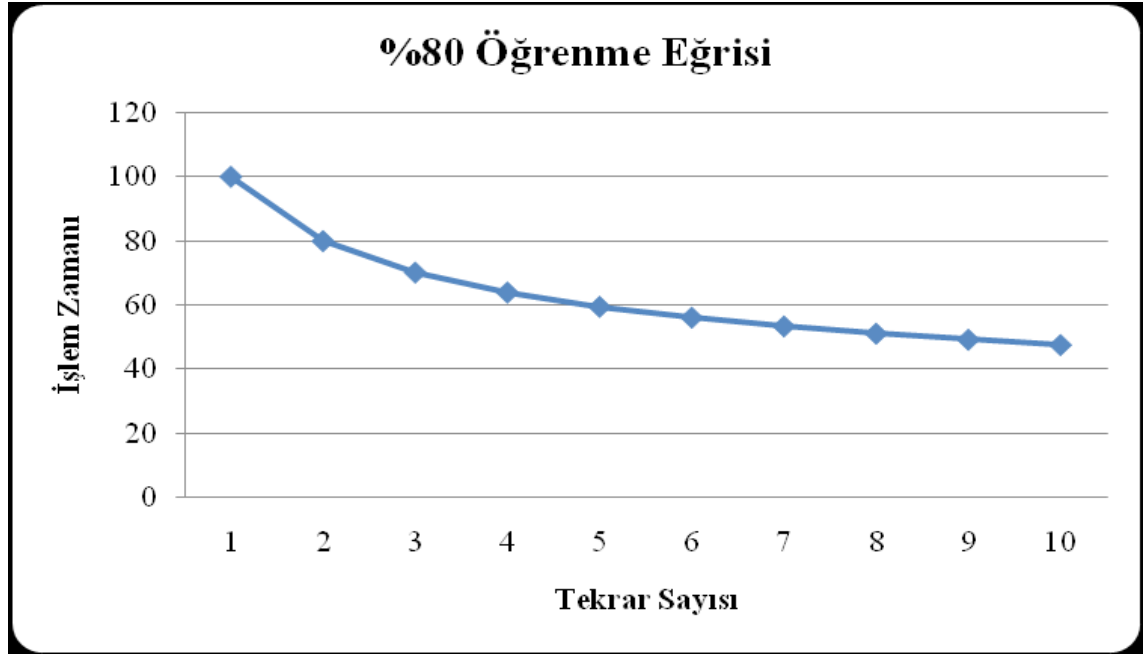
Örneğin; %80 öğrenme etkisinin kabul gördüğü bir montaj işleminde birinci birimi üretmek için gerekli zaman 100 dakikadır. 5. ve 10. birimi üretmek için gerekli zaman ne kadardır?

$$a = \log(0,8)/\log(2) = -0,321 \quad (3.11)$$

$$P_{[5]} = 100*(5^{-0,321}) = 59,65 \quad (3.12)$$

$$P_{[10]} = 100*(10^{-0,321}) = 47,75 \quad (3.13)$$

Örnekte ki öğrenme etkili işlem zamanlarındaki değişim Şekil 3.3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.3. Tekrar sayısına göre işlem zamanlarında azalma

Mosheiov ve Sidney (2003); Biskup' un çalışmalarına kıyablen bazı durumlarda bazı işlerin üretim sürecindeki gelişmelerin diğer işlere oranla daha hızlı olabileceğini bu nedenle de her bir işin kendine ait öğrenme zamanı olması gerektiğini savunmuşlardır. Öğrenme etkisi altındaki işin işlem zamanını yeniden formülize etmişlerdir.

$$P_{jr} = P_j r^{aj} \quad (3.14)$$

Kuo ve Yang ise çalışmalarında, öğrenme etkisini zamana bağlı olarak tanımlamışlardır.

$$P_{jr} = P_j (1 + P_{[1]} + P_{[2]} + \dots + P_{[r-1]})^a \quad (3.15)$$

Özetle; öğrenme etkisini gerçeğe en uygun şekilde modellenebilmesi için iki farklı temel yaklaşım önerilmiştir.

1) Konum Esaslı Öğrenme etkisi: işlemler ayrı ayrı değerlendirilir.

2) Zamana Bağımlı Öğrenme etkisi: süreçteki işler bir bütün olarak kabul edilir.

3.5. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden, Prof. Lotfi A. Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla ortaya çıkmıştır. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir (Gözen 2007).

Temelde bulanık mantık doğru/yanlış, evet/hayır, düşük/yüksek gibi geleneksel değerler arasında tanımlanabilen ara değerleri gösteren birçok değerli mantıktır. Uzun, çok hızlı gibi fikirler bilgisayar programlarını daha fazla insan gibi düşünen sistemlere benzetmek için bilgisayarlar tarafından matematiksel olarak formüle edilebilir (Zadeh 1984).

Bulanık mantık teorisinin temeli bulanık küme teorisi ile açıklanmaktadır. Örneğin “çok güzel” kavramını inceleyecek olursak, bu kavram kişiden kişiye değişiklik gösterebilir. Kesin sınırlar söz konusu olmadığı için de bu kavram, matematiksel olarak da kolayca formüle edilemez. Ama genel olarak bazı kriterler ile sayısal olarak güzellik sınırları belirlenebilir. Bu ise, kendi aitlik fonksiyonu ile temsil edilebilir. Aitlik fonksiyonu 0 ile 1 arasında her değeri alabilir. Böyle bir aitlik fonksiyonu ile “kesinlikle ait” veya “kesinlikle ait değil” arasında istenilen hassasiyette değerler elde etmek mümkündür (Sağiroğlu vd 2003).

Bulanık mantık bir kişinin diğeri ile konuşması veya diğeri açıklama yapmasına benzer olarak, "soğuk", "sıcak", "yüksek", "alçak" gibi, dilsel değişkenleri kullanır. İkili durumları kullanan ikili mantıktan farklı olarak bulanık mantık değişkenleri ara durumları da ("az sıcak", "az soğuk") kullanır. “Bu yaklaşım ilk defa Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir konferansta 1956 yılında duyurulmuştur. İnsan mantığı, açık, kapalı, sıcak, soğuk, 0 ve 1 gibi değişkenlerden oluşan kesin ifadelerin yanı sıra,

az açık, az kapalı, serin, ılık gibi ara değerleri de göz önüne almaktadır. Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Klasik denetim uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, bulanık mantık denetimi alternatif yöntem olarak çok hızlı gelişmiş ve modern denetim alanında geniş uygulama alanı bulmuştur” (Elmas 2003).

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 38,5 yaşında demektense sadece orta yaşlı demek birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir (Gözen 2007).

Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Gözen 2007).

- Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır,
- Bulanık mantıkta her şey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir,
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir,
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır,
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir,
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.

3.5.1. Bulanık küme kuramı ve bulanık mantık

Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiçbir zaman kısmi üyelik olmaz. Nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Başka bir deyişle klasik kümenin karakteristik fonksiyonu evrensel kümede her bireye ya 1 ya da 0 değerini atar. Bu ise üye olma veya olmama anlamındadır. Kümelerdeki her nesne bu kümenin elemanıdır. Kümeler, büyük harflerle, elemanlar ise küçük harflerle gösterilir. X evrensel kümesinin her elemanı için üye olduğunun ya da olmadığına saptanması, bu kümenin karakteristiği olan özel bir fonksiyonla gerçekleştirilir. Böylece bu fonksiyon, evrensel kümenin elemanlarını 0 ve 1'den oluşan bir kümeye çerçeveler (Nabiyev 2005).

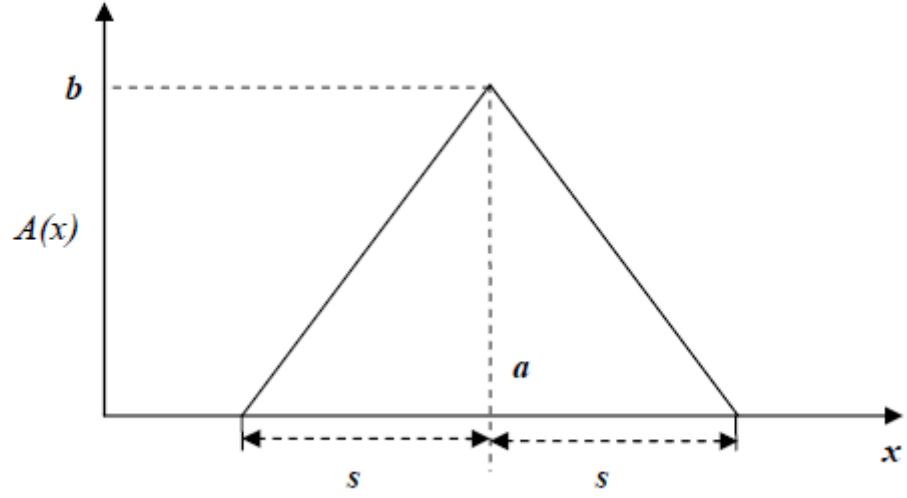
$$\mu_A(x) : X \rightarrow \{0,1\} \quad (3.16)$$

Bir bulanık küme, o kümenin elemanları ve elemanların üyelik dereceleri ile oluşturulabilir. A bir bulanık küme olmak üzere aşağıda verildiği gibi tanımlanabilir;

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\} \quad (3.17)$$

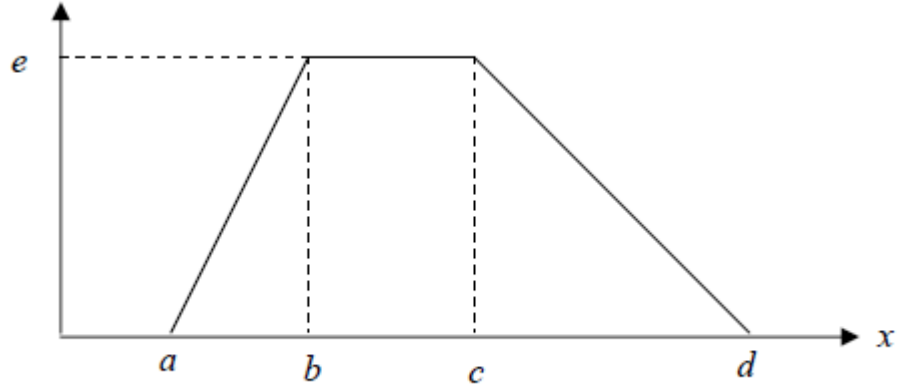
Burada x , A kümesinin bir elemanı, $\mu_A(x)$ üyelik işlevi, X ise A kümesinin tanımlandığı evrendir.

Üyelik fonksiyonlarını oluşturmada birçok yöntem bulunmaktadır. En gelişmiş yöntemler uzman tecrübelerinden faydalanarak küme değerlerini noktalı olarak belirlemek ve analitik fonksiyon biçiminde ifade etmektir. Şekil 3.4'de genel, simetrik ve üçgen üyelik fonksiyonu görülmektedir (Klir *et al.* 1997).



Şekil 3.4. Genel, simetrik ve üçgen üyelik fonksiyonu

Üyelik fonksiyonunun diğer önemli bir sınıfı da Şekil 3.5’de gösterilen yamuk şeklindeki fonksiyondur.



Şekil 3.5. İkizkenar yamuk üyelik fonksiyonu

Bulanık küme teorisinde klasik küme teorisinde olduğu gibi kümeler üzerinde tanımlanmış toplama, çıkarma, çarpma, birleşim, kesişim işlemleri vardır. \tilde{a} ve \tilde{b} iki üçgensel bulanık sayı olsun. $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ arasındaki aritmetik işlemler;

$$(\tilde{a} \oplus \tilde{b}) = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (3.17.)$$

$$(\tilde{a} \ominus \tilde{b}) = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (3.18)$$

3.5.2. Bulanık kümeler ve olasılık

Olasılık teorisi belirsizlik olgusunu tamamlayan ve sistemize eden en önemli geleneksel teorilerden biridir. Olasılığın bazen belirsizliğin her durumu için kullanılabileceği düşünülebilir. Bu görüşe göre de bulanık set teorisine ihtiyaç duyulmaz. Ancak olasılık teorisi ve belirsizlik teorisi belirsizliğin farklı durumlarını gösterir (Klir *et al.* 1997). Olasılık ve bulanıklık kavramları arasındaki en büyük farklılık bulanıklığın bir deterministik belirsizlik olmasıdır. Olasılık teorisi rastgele olayların ölçülmesini temel alır. Oysa bulanık mantık bir elemanın bir kümeyle ne şiddetle ait olduğunu gösterir.

James Bezdek (Batı Florida Üniversitesi Profesörü) bu farkı açıklamak için şöyle bir senaryo ortaya atmıştır: Düşünün ki bir çölde günlerce susuz kalmışsınız ve iki cam şişe ile karşılaşıyorsunuz. Bir tanesi içinde %91 olasılıkla içilebilir su olduğunu gösterecek şekilde işaretlenmiş diğersinin üzerinde ise "içilebilir su sınıfına 0.91 üyelikle ait olduğunu gösteren bir işaret var. Hangisini içmelisiniz. Birincisi içinde %91 içilebilir su olmakla birlikte %9'da başka bir renksiz sıvı, örneğin terebetin içeriyor olabilir. "içilebilir su" sınıfına belirli bir üyelikle ait olan ikincisi ise yağmur suyu (içmek için tercih edilebilecek bir su olmasa bile mecburi kalındığında içilebilir) olabilir (Demirer 2001).

Rastsallık ile Bulanıklık arasında da kuramsal ve fikir olarak farklılık vardır. Rastsal sistemlerde sonuç değer herhangi bir değişkene bağlı olmadan rasgele alınmasına rağmen, bulanık sistemde sonuç en az bir giriş değişkenine ve uzman kişinin deneyimlerine bağlı olarak alınmaktadır. Bunun yanında her ikisi de bazı yönlerden birbirine benzemektedir. Her ikisi de [0,1] aralığında ki kesin olmayan sayılar tespit ederler (Elmas 2003).

3.5.3. Bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları

Bulanık mantık yaklaşımının klasik yaklaşımlara göre bir takım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Avantajlar;

Bulanık mantık kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması en büyük üstünlüğü oluşturmaktadır. Denetim işlemlerinin birçoğu dilsel denetleyicilerle yapılmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en büyük uygulama alanlarıdır. Bulanık mantık yaklaşımında işaretlerin bir ön işlemeye tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevlerine indirgenmeleri uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar (Gözen 2007).

Dezavantajlar;

Bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir. Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur ve uygun yöntem deneme yanılma yöntemidir, buda çok uzun zaman alabilir. Uzun testler yapmadan gerçekten ne kadar üyelik işlevi gerektiğini önceden kestirmek çok güçtür.

Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur. Günümüzde bu sadece pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır (Elmas 2003). Denetleyicilerle bulanık denetleyiciler arasındaki farklar Çizelge 3.1'de belirtilmiştir (Gözen 2007).

Çizelge 3.1.Bulanık ve klasik denetleyici arasındaki farklar (Gözen 2007)

Klasik Denetleyici	Bulanık Mantık Denetleyici
Denetim süresinin matematiksel modeline ihtiyaç duyar.	Denetim için uzman deneyimlerine ihtiyaç vardır.
Süreç değişkenlerinin ölçüleri doğru ve kesin olmalıdır.	Kesin olmayan bilgiler kullanılır.
Özellikle karmaşık sistemlerde sistemlerde denetleyicide karmaşık olduğundan uygulamaya geçirilişi ekonomik olmayabilir.	Ucuz algılayıcılar sayesinde sürecin ölçümünde esneklik kazandırır.
Acil sistemlerde denetleyici de karmaşık olacağından uygulamaya geçirilişi ekonomik olmayabilir.	Uygulamaya geçirilişi kolaydır. Sürecin matematiksel modeline ihtiyaç duyar.

3.6. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar doğal seçim ve doğal genetik temeline dayanan en iyileme algoritmalarıdır. Genetik algoritmalar, bir dizi yapıda en uygun olanların hayatta kalma prensibi üzerine kurulmuştur (Goldberg 1987). Bu algoritma, canlılarda bulunan genetik gelişimi simüle etmektedir. Algoritma araştırma uzayında mevcut olan çözümlerin oluşturduğu bir başlangıç popülasyonunu kullanmaktadır. Bu başlangıç popülasyonu her kuşakta (generation) tabii seçme ve tekrar üreme vasıtası ile art arda geliştirilir. En son kuşağın en uygun yani en kaliteli (fittest) bireyi problem için en iyi çözümdür. Bu en iyi çözüm her zaman optimum olmayabilir (Karaboğa 1994).

Genetik algoritma, temel ilkeleri 1970’li yıllarda Michigan Üniversitesinde yapılan çalışmalarda atılmış ve ilk kez araştırmaya liderlik eden John Holland’ın 1975 yılında yayınlanan Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon kitabında yayınlanmıştır. Ancak Holland’ın öğrencilerinden Goldberg’in 1989’da yayınlanan kitabına kadar konu ilgi çekmemiş, bu tarihten itibaren pek çok araştırmaya konu olmuştur. Holland’ın araştırmaya başlama amacı Darwin’in evrim teorisini mekanik öğrenme üzerinde uygulamaktır. Genetik algoritmanın atası olarak Holland kabul edilse de öncesinde şu

anki halinden çok farklı olarak ilkel biçimde 1967 yılında Bagley tarafından bir oyun programını yenmek üzere tasarlanmasında kullanılmış, aynı yıllarda Rosenberg bu algoritmaya biyolojik etmenleri eklemiş ve De Jong ise matematiksel olarak modelleyerek en küçüklemede kullanmıştır (Özkan 2003). Bu çalışmaların öncülüğünde yaptığı çalışmada Holland genetik operatörlerden üreme ve çaprazlamayı tanımlamıştır. Ancak köklü gelişim Goldberg'in çalışmasında görülmüş ve o güne kadar yalnızca teoride kalan Genetik Algoritma modellemelerine, 83 uygulamayı örnek vermiştir (Goldberg 1989; Öztürk 2008).

3.6.1. Genetik Algoritmada Temel Kavramlar

Bu alt başlıkta genetik algoritmada kullanılan temel kavramlara yer verilecektir:

Gen: Çözümün bir özelliğini ifade eder. Kromozomları oluşturan alt birimdir.

Kromozom: Genetik algoritmadaki karşılığı bireydir. Dizi olarak da tanımlanır. Genlerin birleşerek oluşturduğu dizidir. Kromozomlar belli bir kodlama sistemiyle oluşturulurlar. Aday çözümleri gösterirler.

Genotip: Bireyin gen yapısıdır. Aday çözüm olan kromozomların içindeki belirli gen gruplarına genotip denir.

Fenotip: Deşifre edilmiş yapıdır. Alternatif çözüm kümesidir. Genotipin deşifre edilerek asıl değer belirlenmiş halidir.

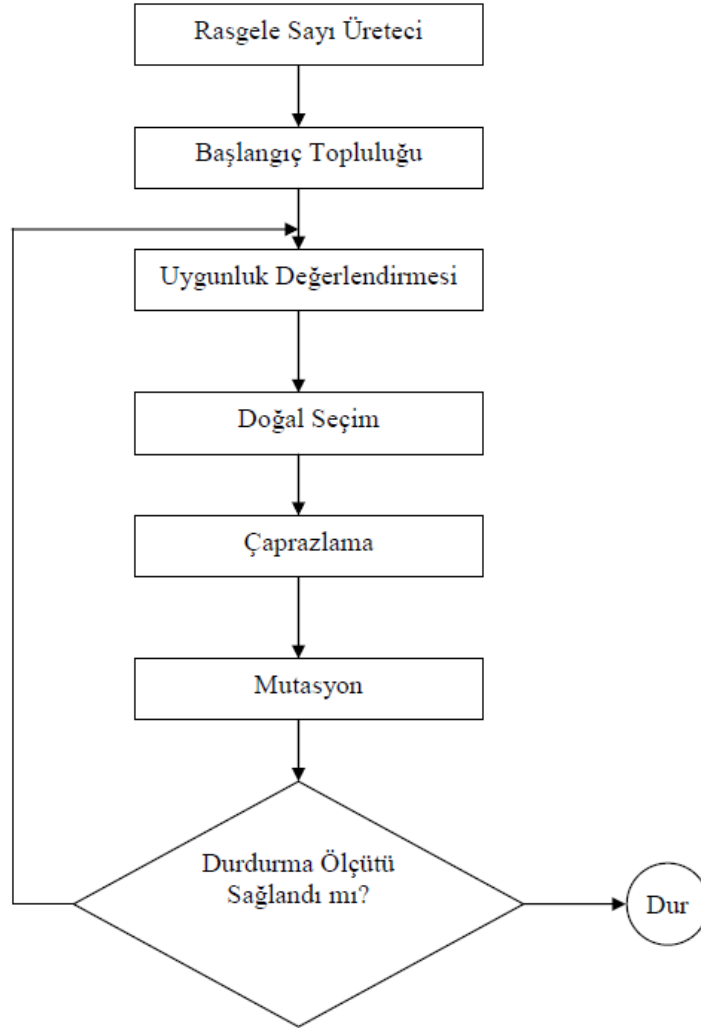
Allel: Bir gen üzerindeki değeri gösteren terimdir.

Lokus: Genin kromozomdaki yerini ifade eder.

Popülasyon: Aday çözümler topluluğudur. Kromozomların bir araya gelerek oluşturduğu çözüm topluluğudur. Genellikle algoritma boyunca sabit tutulur (Öztürk 2008).

3.6.2. Genetik algoritmanın temel yapısı

Genetik algoritmaların temel prensibi, yapay kromozomu ifade eden diziler (string) içine karmaşık problemlerin olası çözümlerinin kodlanmasına dayanır ve akış diyagramı Şekil 3.6'daki gibidir. Her bir dizi, özel uygulamaya uygun bir değerlendirme fonksiyonu kullanarak hesaplanan bir uygunluk değerine (fitness value) sahiptir. Bu popülasyon seçme (selection), çaprazlama (crossover) ve mutasyon gibi bir dizi operasyondan geçer. Bir genetik algoritmanın çalışması için ilk adım, başlangıçta kullanılacak olan topluluğun oluşturulmasıdır. Bu noktada topluluk bireyleri rasgele oluşturulur. Ama göz ardı edilmemesi gereken bir seçenekte başlangıç bireylerin (eğer biliniyorsa) çözüme yakın olduğu bilinen parametre değerleri ile oluşturularak çözümü hızlandırmaktır. Evrim sürecine girmeden önce dikkat edilmesi gereken bir başka nokta da başlangıç bireylerini değerlendirmektir. Bu, evrim süreci içerisinde bir sonraki nesle döl verecek olanların belirlenmesi için gereklidir. Daha sonra istenilen düzeyde bir birey bulunana, topluluk ortalama başarıda artış sağlayamaz duruma gelene ya da önceden belirlenen evrim sayısı tamamlanana kadar sürecek olan evrim başlayacaktır (Ergül 1994).



Şekil 3.6. Genetik Algoritma Genel Akış Şeması (Yıldız 2008)

3.6.2.a. Uygunluk değerlendirme

Mevcut toplumda bulunan iyi özelliklere sahip kromozomların bir sonraki aşama için kullanılacak yeni topluma aktarılması, belirlenen kriterler dâhilinde değerlendirilerek yapılmaktadır. Genetik Algoritmada uygunluk değerlendirme, bir uygunluk fonksiyonu sonucu elde edilen uygunluk değeri, f_i , ile yapılmaktadır (Paksoy 2007).

Toplumu oluşturan bireylere ait uygunluk değerlerinin belirlenmesi için genellikle bir fonksiyona ihtiyaç duyulmaktadır. Uygunluk fonksiyonları, türev ya da başka analitik

işlemler gerektirmezler ve istenilen şekilde oluşturulabilirler (Chen and Zalzala 1997). Bazı araştırmacılar, her bir kromozoma doğrudan bir uygunluk değeri atarken, bazıları da uygunluk değerini bir fonksiyon kullanarak hesaplamaktadırlar (Chan *et al.* 2005).

Algoritmanın hazırlık aşamasında belirlenen uygunluk fonksiyonu ile toplumdaki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır. Böylece n elemanlı toplumda, f_1, \dots, f_n olmak üzere n adet uygunluk değeri hesaplanmaktadır (Paksoy 2007).

Bireylerin uygunluk değerlerine göre üreme, çaprazlama ya da mutasyon işlemleri uygulanmaktadır (Koza 1995). Çünkü kromozomların kalitesi, uygunluk değerlerine göre ölçülmektedir. Uygunluk değeri en iyi olan kromozom, problemin optimum çözümünü veren kromozomdur (Mori and Tseng 1997).

3.6.2.b. Seçme veya tekrar üreme

Bir nesildeki kromozomlardan bir kısmı bir sonraki nesile aktarılırken bir kısmı da yok olur. İşte bu aşamada hangi kromozomların bir sonraki nesile aktarılacağı kurulan seçim mekanizmaları ile sağlanır.

Kromozomların eşlenmesi, kromozomların uygunluk değerlerine göre yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet çarkı, elitizm turnuva seçimi gibi seçme yöntemleri vardır. Burada amaç, uygunlukları küçük olan kromozomların elenip uygunlukları büyük olan kromozomların ağırlıklarını hissettirerek yeni bir nesil oluşturmaktır. Seçim işlemi, uygunlukları büyük kromozomlar uygunlukları küçük kromozomlar üzerine tekrar yazılarak yapılır. Kromozomların karakterleri, sahip oldukları uygunluk değerlerine göre saptanır (Cengiz 2004).

a) Elitist Strateji: Çaprazlama ve mutasyon ile yeni nesil oluşturulduğunda en iyi kromozomun kaybedileceği büyük bir değişim meydana gelir. Elitizm adı verilen bu metotta ilk olarak yeni nesil için en iyi kromozomun bir kopyası alınır. Geriye kalan

adımlar diğer metotlara benzer şekilde gerçekleştirilir. Kaybolan en iyi çözümü koruduğu için bu metot genetik algoritmanın performansını çok hızlı bir şekilde arttırabilir (Cengiz 2004).

b) Rulet Çarkı Yöntemi: En sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemle uygunluk değeri yüksek olan güçlü bireyin doğma olasılığının yüksek olması sağlanır. Bu yöntemin adımları şu şekildedir (Deb 2001; Öztürk 2008).

- Tüm fonksiyonlar için uygunluk fonksiyonun aldığı değer diğer bir deyişle uygunluk değeri (f_i) hesaplanır.
- Uygunluk değerinin toplamı ($\sum f$) bulunur.
- Bireylerin seçilme olasılığı $p_i = f_i / \sum f$ hesaplanır.
- Her birey için bu olasılık değerleri sınır alınarak rassal sayı aralıkları belirlenir.
- Birey sayısı kadar rassal sayı atılır.
- Rassal sayılara karşılık gelen kromozomlar yeni bireyler olarak alınır.

c) Turnuva Seçimi Yöntemi: Kolaylığı ve uygunluğu açısından en yaygın olanıdır. Turnuva seçim yönteminde, önce toplumu oluşturan kromozomlardan bazıları, belli kriterlere göre seçilmektedir. Daha sonra, bu kromozomlar kıyaslanarak aralarında uygunluk değeri yüksek olan bir kromozom yeni topluma aktarılmak üzere seçilmektedir. Böylece oluşturulan yeni toplum, bir önceki toplumun kötü bireylerinden arındırılmaya çalışılmaktadır. Optimum çözüme hızlı erişim sağlaması açısından önemli bir yöntemdir (Paksoy 2007).

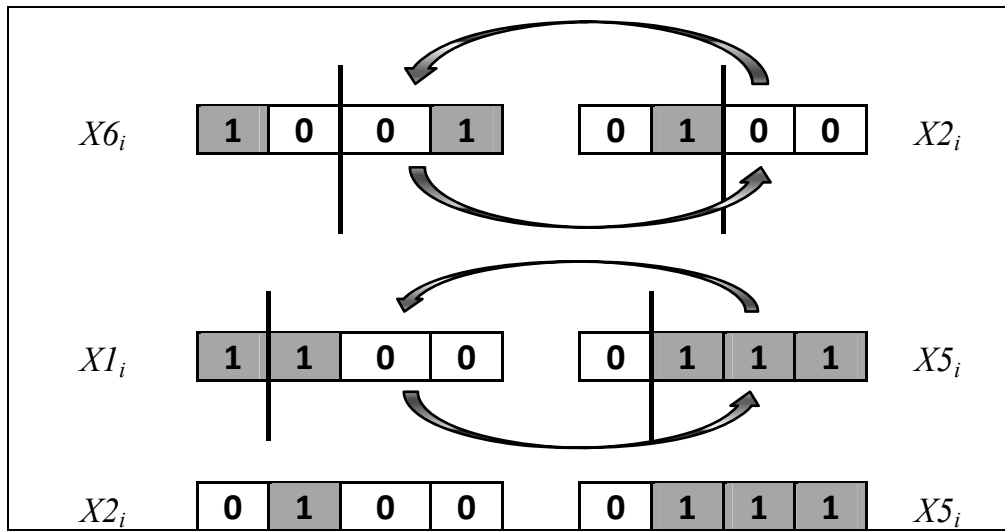
Turnuva seçim yönteminde uyumluların seçilmesi (yeteneklilerin yaşaması) ve uyumsuzların yaşamaması ilkesi temel alınmıştır ve değişik şekillerde seçimler söz konusudur (Yeo and Agyei 1998).

Yukarıda bahsedilen ve genetik algoritma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan seçim yöntemlerinden hiçbiri, henüz literatürde en iyi seçim stratejisi olarak

belirlenememiştir. Bu nedenle, son yıllarda yapılan çalışmalarda bazı araştırmacıların bu seçim stratejilerinden bir karma oluşturdukları gözlenmektedir. Örneğin, çözümü zor (global optimum çözümü olmayan) optimizasyon problemlerinde, rulet çarkı ve elitist stratejinin birlikte uygulandığı bir GA çalışması gerçekleştirilmiştir (Nakamura *et al.* 2005).

3.6.2.c. Çaprazlama

Çaprazlama, genetik algoritma sürecinde kullanılan en önemli operatördür ve amacı popülasyonda olmayan bireyleri oluşturarak bireyler arasındaki çeşitliliğin artırılmasıdır (Vural 2005). En çok kullanılan çaprazlama yöntemleri aşağıda açıklanmıştır:



Şekil 3.7. Çaprazlama Operatörünün İşleyişi (Öztürk 2008)

Örnek:

Kromozom 1 11011 | 00100110110

Kromozom 2 10011 | 11000011110

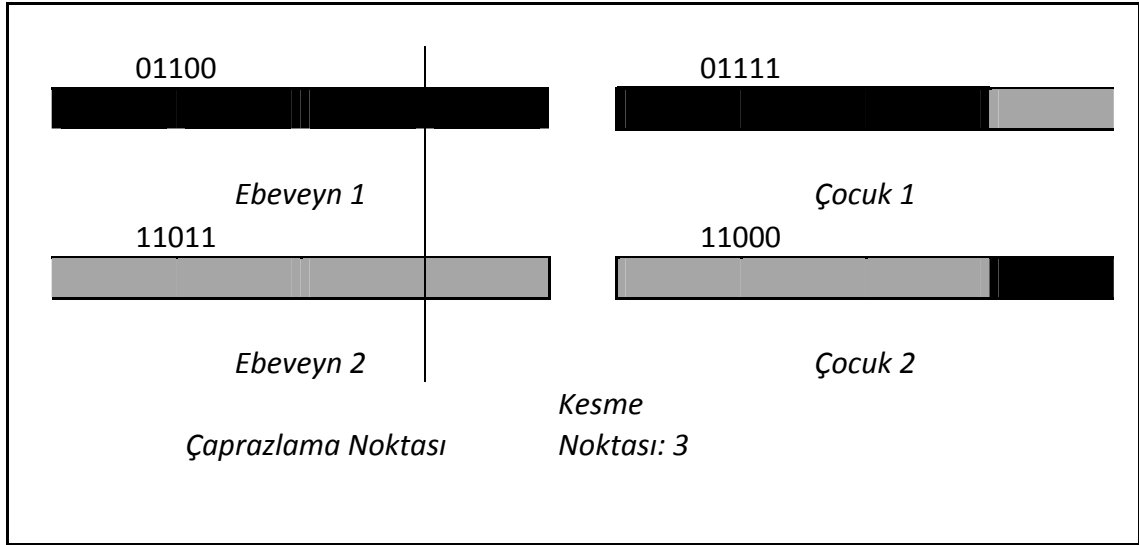
Yavru 1 11011 | 11000011110

Yavru 2 10011 | 00100110110

Çaprazlamanın birçok yolu mevcuttur, örneğin birden fazla kesme noktası seçilebilir. Çaprazlama daha da karmaşık olabilir ve tamamen kromozomların kodlanmasına bağlıdır. Özel problemler için yapılmış özel çaprazlamalar genetik algoritmanın başarımını arttırabilir. Literatürde sık rastlanan çaprazlama yöntemleri aşağıda verilmiştir.

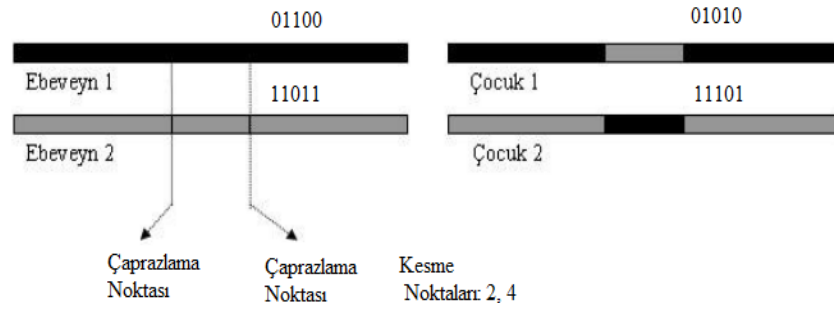
a) Basit Çaprazlama: n noktalı çaprazlama da denir ($n = 1,2,\dots$). En çok kullanılanları bir ve iki noktalı çaprazlamadır.

b) Tek Noktalı Çaprazlama: Tek bir kesme noktası seçilir, ilk atanın kromozomundan kesme noktasına kadar bastan itibaren alınır ve geri kalan kısım ikinci atanın kesme noktasından sonraki kısmıyla birleştirilip yavrunun kromozomu oluşturulur.



Şekil 3.8. Tek Noktalı Çaprazlama (Altay 2007)

c) İki Noktalı Çaprazlama: Çalışma prensibi tek noktalı çaprazlamada olduğu gibidir. Farklı olarak 2 kesme noktası belirlenir.



Şekil 3.9. İki Noktalı Çaprazlama (Altay 2007)

d) Uniform (Tek Biçimli) Çaprazlama: Literatürde farklı uniform çaprazlama uygulamaları vardır. Daha basit düzeyde olan ilk uygulama herhangi bir araç kullanmaksızın n bitlik 2 ebeveynin genlerinin tümüyle rastsal olarak n bitlik yeni birey oluşturmak üzere seçilmesine dayanır. Bu yöntemde iki ebeveynden tek bir çocuk elde edilir (Öztürk 2008).

Örneğin;

Ebeveyn 1 : 1010101010

Ebeveyn 2 : 1110001110

Çocuk : 1110101110

Diğer uygulamada ise mevcut n bitlik kromozoma sahip ebeveynlerin eşleşmesinde yine n bitlik bir maske kullanılır. Çocuk 1'in genleri eğer maskede o genin lokusundaki değer 1 ise Ebeveyn 1'den, 0 ise Ebeveyn 2'den gelir. Çocuk 2'nin genleri ise eğer maskede o genin lokusundaki değer 0 ise Ebeveyn 1'den, 1 ise Ebeveyn 2'den gelir.

Örneğin;

Ebeveyn 1 : 110000001

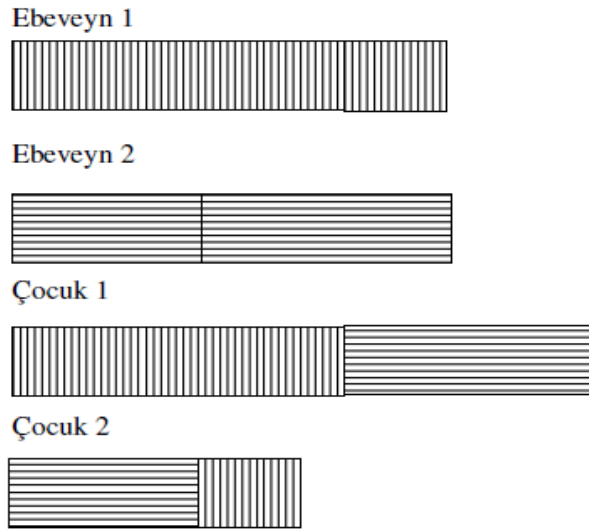
Ebeveyn 2 : 101110100

Maske : 101101101

Çocuk 1 : 100010001

Çocuk 2 : 111000100

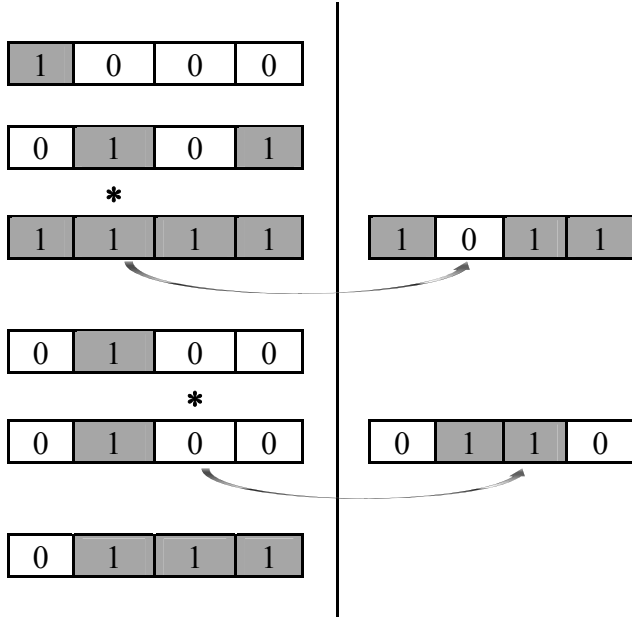
e) **Kes-Ekle Çaprazlama:** Ebeveyn 1 ve Ebeveyn 2'de rassal çaprazlama noktaları seçilir. Ebeveynlerde sağda kalan parçalar değiştirilerek yeni bireyler oluşturuluyor. Örnekte görüldüğü gibi yeni bireylerin kromozom uzunluklarının bir önceki kuşaktan ve birbirinden farklı olması karşılaşılabilecek kuvvetle muhtemel bir durumdur, bu da kimi problemlerde sorun teşkil etmektedir.



Şekil 3.10. Kes-Ekle Çaprazlama (Öztürk 2008)

3.6.2.d. Mutasyon

Genetik algoritmada tam anlamıyla rassal işlem, mutasyondur. Mutasyon, bir bireyin içerdiği bilginin (genin) rassal olarak değiştirilmesi işlemidir. Bu şekilde her bireye bir sayı gözü ile bakıldığında, mutasyon sonucunda oluşabilecek sayı, bireylerin her birinin içerdiği değerden bağımsız olacaktır. Çaprazlamadaki kısıtlama bu işlemde bulunmamaktadır. Mutasyon, genetik algoritmanın yerel bir en iyi noktaya takılmasını engeller. Önemli olan, mutasyon olasılığının uygun seçimidir. Bu olasılık, yöntemin yerel bir noktaya takılmasını engelleyecek derecede yüksek, ancak çaprazlama ve yeniden üretim işlemlerinin getirdiği en iyi noktaya gitmesini engellemeyecek ölçüde düşük seçilmelidir (Cengiz 2004).



Şekil 3.11. Mutasyon Gösterimi (Üçer 2007)

Yukarıda bahsedilen süreçleri durdurmak için bir durdurma kriterine ihtiyaç vardır. Literatürde geçen bazı ölçüt tipleri şu şekildedir:

- Belli bir nesil sayısı bitirildikten sonra döngüler durdurulur.
- Evrim sonucunda uygunluk fonksiyonundaki iyileşme belli bir değerin altına düştüğünde döngüler bitirilir.
- Evrim için belirli bir süre verilerek, bu süre bittiğinde evrim durdurulur.
- Uygunluk fonksiyonu için belirli bir değer verilerek, bu değeri geçen ilk döngüde döngü bitirilir (Öztürk 2008).

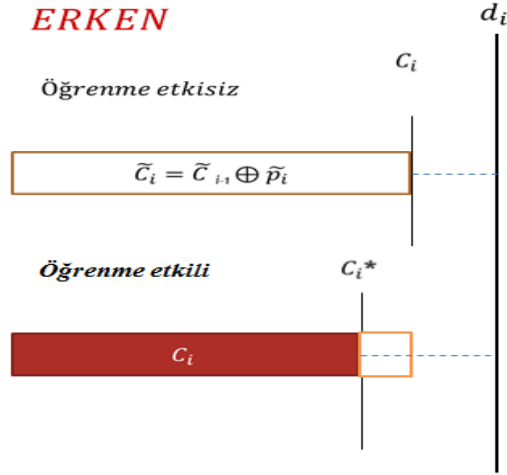
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Öğrenme Etkili, Bulanık İşlem Zamanlı ve Teslim Tarihli Problem

Klasik Erken/Geç tamamlanma çizelgeleme problemlerinde işlem ve teslim zamanları deterministik kabul edilmektedir. Ancak ele alınan problemde bu varsayım gevşetilerek hem kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinden dolayı problem parametreleri (işlem zamanı, teslim tarihi) bulanık sayılarla ifade edilmiş hem de bir işin tekrarlanmasıyla oluşan öğrenme etkisi olgusu bulanık tanımlanan işlem zamanlarına katılmıştır. İncelenen amaç, yapılan işin erken ya da geç tamamlanmasından kaynaklanan ceza maliyetini en aza indirmektir.

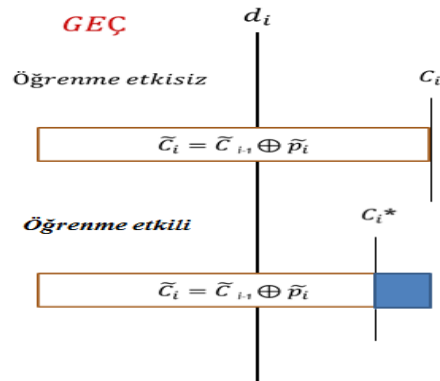
Klasik durumda (öğrenme etkisiz) erken tamamlanan bir j işine öğrenme etkisi katıldığında işlem süresinde ki azalmadan dolayı, daha da erken tamamlanacak ve erken tamamlanma maliyeti artacaktır. Benzer şekilde geç tamamlanan bir işin öğrenmeden dolayı işlem zamanında ki azalma işin tamamlanma süresini kısaltacak ve bu durum ise geç tamamlanma maliyetini klasik durumdakine oranla daha da azaltacaktır. Bu da çizelgeleme problemine öğrenme etkisi katıldığında klasik duruma (öğrenme etkisiz) oranla amaç fonksiyonunda ve iş sıralamasında ortaya çıkan farklılıkları ortaya koymaktadır. Daha iyi anlaşılması için aşağıdaki örnek sunulmuştur.

Tek makine n işli çizelgeleme problemini ele alalım. C_j ; j işinin tamamlanma zamanını d_j ise teslim tarihini ifade etmektedir. Sadece erken tamamlanan bir işe öğrenme etkisi katıldığında j işinin tamamlanma zamanı ve bu durumdan kaynaklanan maliyet farkı söz konusu olacaktır.



Şekil 4.1. Öğrenme etkili ve öğrenme etkisiz erken tamamlanma gösterimi

Öğrenme etkisi katıldığında yeni tamamlanma zamanı C_j^* olup j işinde teslim tarihinden sapmanın artması, erken tamamlanmadan kaynaklanan maliyetin artmasına neden olmuştur. Geç tamamlanan işlerde ise bu durum lehine bir hal almaktadır. Geç tamamlanan işin öğrenme etkisi sonucu teslim tarihinden sapması azalarak işin önceki duruma göre daha erken tamamlanmasına neden olacaktır.



Şekil 4.2. Öğrenme etkili ve öğrenme etkisiz geç tamamlanma gösterimi

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, öğrenme etkisi kavramı problemin çözümüne farklı bir boyut katmıştır. Klasik durumda elde edilen toplam maliyet ve iş sıralaması öğrenme etkisi katıldığında değişmekte ve sonuca ulaşmada baştan bir çözüm

gerektirmektedir. Klasik durumda geç tamamlanan bir işe öğrenme etkisi katılması lehine bir durum oluştururken erken tamamlanan iş için aksine bir durum ortaya koymaktadır.

4.1.1. Varsayımlar

Problem, aşağıdaki varsayımlar altında çözülmüştür:

- Makineler için hazırlık zamanı ve operasyonlar arası taşıma süresi ihmal edilir.
- İş kesintisine izin verilmeyip başlanan iş makinede tamamlanmadan başka bir iş başlayamaz.
- Bakım faaliyetleri ve arızalar ihmal edilir.
- Makinelerin çizelgeleme periyodu süresince sürekli çalıştığı varsayılmaktadır.
- Bir makinede aynı anda tek iş yapılabilir.
- Bütün işlerin teslim tarihi ortak kabul edilir.

İşlem zamanlarının bulanık kabul edildiği n-iş tek makine çizelgeleme probleminde işlerin bulanık tamamlanma zamanı aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{C}_1 = \tilde{p}_1 \quad (4.1)$$

$$\tilde{C}_j = \tilde{C}_{j-1} \oplus \tilde{p}_j \quad j=2, \dots, n \quad (4.2)$$

Matematiksel gösterim sonucu elde edilen \tilde{C}_j değeri, üçgensel bulanık sayılarla tanımlanan işlem zamanlarının toplamı olup üçgensel bulanık bir sayıdır (C_{1j}, C_{2j}, C_{3j}) .

Modelde kullanılan parametreler aşağıda verilmektedir:

n : Çizelgelenecek iş sayısı

\tilde{d}_j : j işinin bulanık teslim tarihi

- \tilde{p}_j : j işinin bulanık işlem zamanı
 \tilde{C}_j : j işinin bulanık tamamlanma zamanı
 α : İşlerin erken tamamlanma cezası
 β : İşlerin geç tamamlanma cezası
 \tilde{E}_j : j . pozisyondaki işin erken tamamlanma zamanı
 \tilde{T}_j : j . pozisyondaki işin geç tamamlanma zamanı
 LR : Öğrenme oranı (%80 öğrenme eğrisi için $LR=0,8$ 'dir.)
 a : Öğrenme indeksi $\log(LR)/\log(2)$

4.2. Bulanık Erken/Geç Tamamlanma Problemi

Bu bölümde, Wu (2010)'nun bulanık erken/geç tamamlanma için geliştirdiği matematiksel ifadeler, öğrenme etkisi katılarak problem ele alınmıştır. Ele alınan problem için bulanık tanımlanan işlem zamanlarına katılan öğrenme etkisi, Ahmadizar *et al.* (2011)'in geliştirdiği matematiksel model kullanılarak elde edilmiştir.

Wu (2010) çalışmasında bulanık işlem zamanlı ve bulanık teslim tarihli çizelgeleme problemini incelemiştir. İşlem zamanları üçgensel, teslim tarihleri ise yamuk bulanık sayılarla ifade edilen bu çalışmada bulanık sayılar teorisinde Zadeh'in Extension Principle ilkesi kullanılarak tanımlanan herhangi iki bulanık sayının maksimizasyonu ve çıkarımı kavramına dayalı bulanık erken/geç tamamlanma problemini geliştirmiştir. Çalışmada amaç fonksiyonu, bulanık sayılar arasındaki toplama kavramının vasıtasıyla, bulanık erken ve bulanık geç tamamlanmalarının ağırlıklandırılmış (cezalandırılmış) toplamı olarak ele alınmıştır.

Bulanık çizelgeleme problemlerinde, işlem zamanları ve teslim tarihleri bulanık kabul edildiğinden, j işinin bulanık erken ve geç tamamlanma zamanları aşağıda verildiği gibidir.

$$\tilde{E}_j = \tilde{\max} \{ \tilde{0}, \tilde{d}_j \ominus \tilde{C}_j \} \quad \text{ve} \quad \tilde{T}_j = \tilde{\max} \{ \tilde{0}, \tilde{C}_j \ominus \tilde{d}_j \} \quad (4.3)$$

Her bir j işine ait bulanık tamamlanma zamanı \tilde{C}_j eşitlik (4.2) kullanılarak elde edilebilir. Dolayısıyla her bir j işine ait bulanık tamamlanma zamanı \tilde{C}_j üçgensel bulanık sayılarla (C_{1j}, C_{2j}, C_{3j}) ve bulanık teslim tarihleri \tilde{d}_j yamuk bulanık sayılarla ($d_{1j}, d_{2j}, d_{3j}, d_{4j}$) ifade edilir. Üçgensel \tilde{C} ve yamuk \tilde{d} grafikleri göz önüne alındığında, aralarındaki ilişkiyi açıklayan beş farklı durum tanımlanmıştır. Bir başka deyişle, j işine ait E_j ve T_j değerlerini hesaplamak için 5 durum tartışılmıştır.

Durum 1. $C_{3j} \leq d_{1j}$ olduğu durum; j işinin \tilde{C} tamamlanma zamanının teslim tarihinden \tilde{d} oldukça önce tamamlandığını belirtir. Bu durum işin erken tamamlanmasına neden olup aşağıda verildiği gibi ceza maliyet fonksiyonu hesaplanır.

$$\alpha_j E_j + \beta_j T_j = \frac{1}{2} \alpha_j \cdot (d_{1j} + d_{2j} + d_{3j} + d_{4j} - C_{1j} - 2C_{2j} - C_{3j}) \quad (4.4.)$$

Durum 2. $C_{2j} \leq d_{2j}$ ve $C_{3j} \geq d_{1j}$ ise \tilde{C} nin solunda kalan alan ile \tilde{d} nin sağındaki alan arasında bir kesişim söz konusudur.

$$\alpha_j E_j + \beta_j T_j = \frac{1}{2} \alpha_j \cdot (d_{1j} + d_{2j} + d_{3j} + d_{4j} - C_{1j} - 2C_{2j} - C_{3j}) + \frac{1}{2} (\alpha_j + \beta_j) \cdot \frac{(C_{3j} - d_{1j})^2}{C_{3j} - C_{2j} + d_{2j} - d_{1j}} \quad (4.5.)$$

Durum 3. $d_{2j} \leq C_j \leq d_{3j}$ bu durumda \tilde{C} ve \tilde{d} aralığında herhangi bir kesişmenin önemi yoktur.

$$\alpha_j E_j + \beta_j T_j = \frac{1}{2} \alpha_j \cdot (d_{4j} + d_{3j} - C_{1j} - C_{2j}) + \frac{1}{2} (\beta_j) \cdot (C_{3j} + C_{2j} - d_{1j} - d_{2j}) \quad (4.6.)$$

Durum 4. $C_{2j} \geq d_{3j}$ ve $C_{1j} \leq d_{4j}$ durumunda tamamlanma zamanı olan \tilde{C} nin sağında kalan alan ile o işe ait teslim zamanı \tilde{d} nin solundaki alan arasında bir kesişim söz konusudur.

$$\alpha_j E_j + \beta_j T_j = \frac{1}{2} \beta_j \cdot (C_{1j} + 2C_{2j} + C_{3j} - d_{1j} - d_{2j} - d_{3j} - d_{4j}) + \frac{1}{2} (\alpha_j + \beta_j) \cdot \frac{(d_{4j} - C_{1j})^2}{C_{2j} - C_{1j} + d_{4j} - d_{3j}} \quad (4.7.)$$

Durum 5. $d_{4j} \leq C_{1j}$ bu durum söz konusu ise; o işin teslim tarihinin tamamlanma zamanından önce olduğunu belirtir. Bu durumda j işi geç tamamlanmış olur.

$$\alpha_j E_j + \beta_j T_j = \frac{1}{2} \beta_j \cdot (C_{1j} + 2C_{2j} + C_{3j} - d_{1j} - d_{2j} - d_{3j} - d_{4j}) \quad (4.8.)$$

Yukarıda görüldüğü gibi her bir j işi için 5 farklı durum göz önüne alınarak $\alpha_j E_j + \beta_j T_j$ hesaplaması yapılabilir. Sonuç olarak bütün işlerin ele alındığı optimal bir S çizelgesi için amaç fonksiyonu aşağıda verildiği gibi olacaktır.

$$f(S) = \min \left(\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (\alpha_j \tilde{E}_j + \beta_j \tilde{T}_j) \right) \quad (4.9.)$$

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen Bulanık Erken/Geç tamamlanma problemine ek olarak öğrenme etkisi olgusu katılarak problem genişletilmiştir.

4.3. Öğrenme Etkili Bulanık İşlem Zamanı

Aynı veya benzer işlerin tekrarlanmasıyla oluşan öğrenme etkisi kavramı da çalışmaya dâhil edilmiştir. Klasik çizelgeleme problemlerine katılan öğrenme etkisi ve gerekli formülüzasyon Bölüm 3.5’de açıklanmıştır.

Bu çalışmada, tek makine çizelgeleme problemi için işlem zamanları bulanık sayılarla ifade edildiğinden, öğrenme etkisi katılarak elde edilen işlem zamanları da bulanık olup matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir (Ahmadizar *et al.* 2011).

$$\widetilde{P}_{jr} = \widetilde{P}_j r^a \quad -a \leq 0 \text{ olup} \quad \widetilde{P}_{jr} = \widetilde{P}_j / r^a \quad j, r = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4.10.)$$

Özetle, j 'inci işin üçgensel bulanık sayılarla tanımlanan işlem zamanları r 'inci pozisyonda çizelgelenirse;

$$\widetilde{P}_{jr} = \left(\frac{p_{1j}}{r^a}, \frac{p_{2j}}{r^a}, \frac{p_{3j}}{r^a} \right) \quad j, r = 1, 2, \dots, n \quad (4.11.)$$

elde edilir.

4.4. Test Problemleri

Geliştirdiğimiz problemin çözümüne yönelik gerekli olan test problemleri; her bir işe ait işlem zamanı ve teslim zamanı Ahmadizar *et al.* (2011)'in çalışmasına paralel olarak bulanıklaştırılmıştır.

Problemin bulanık kısmında işlem zamanları üçgen üyelik fonksiyonu ile teslim süreleri ise yamuk üyelik fonksiyonu yardımıyla hesaplanmıştır. j . işe ait P_{2j} orta değer 10-30 aralığında düzgün dağılıma göre belirlenerek P_{2j} kesin zamanı için oluşturulan üçgen bulanık sayının alt sınır değeri $w_1 < 1$ olacak şekilde $P_{1j} = [w_1 P_{2j}, P_{2j}]$ kapalı aralığında rassal olarak üretilmiştir. Orta nokta değeri test problemindeki P_{2j} kesin zamanından oluşturulmuştur. Üçgen bulanık sayının üst sınır değeri ise P_{3j} $w_2 > 1$ olacak şekilde $P_{3j} = [P_{2j}, w_2 P_{2j}]$ kapalı aralığında rassal olarak üretilmiştir.

Benzer olarak Yamuk teslim süreleri d_{2j} ve d_{3j} ; $d_{3j} > d_{2j}$ olacak şekilde 5-4 aralığında düzgün dağılıma göre oluşturulmuş ve yine d_{1j} ve d_{4j} değerleri sırasıyla

$w_1 < 1$ olacak şekilde $[w_1 d_{2j}, d_{2j}]$ ve $w_2 > 1$ olacak şekilde $[d_{3j}, w_2 d_{3j}]$ kapalı aralıklarında rasgele olarak seçilmiştir.

Bir faaliyetin uzun zaman alması kısa zaman almasından daha olası olacağı düşüncesinden hareketle, üst sınır değerinin orta noktadan ayrılışı, alt değerinin ayrılışından daha geniş olduğu varsayılmıştır. Bundan dolayı bu çalışmada w_1 ve w_2 değerleri $w_1 < 1$, $w_2 > 1$ olmak koşuluyla $w_1 = 0,85$ ve $w_2 = 1,3$ alınarak nihai problem verileri oluşturulmuştur.

4.5. Problemin Enümerasyon Tekniği ile Çözümü

Bulanık tanımlanan Erken/Geç tamamlanma problemine öğrenme etkisi katılarak geliştirilen problem NP-zor yapıdadır. Problemin çözümüne yönelik Matlab programlama dili kullanılarak, birerleme tekniğine dayalı algoritma geliştirilmiştir. Enümerasyon tekniğine dayalı geliştirilen algoritma ile küçük boyutlu problemler için 11 işe kadar optimum çözümler elde edilmiştir. Problemin optimal sıralamasını elde etmek için geliştirilen algoritma adımları aşağıda gösterildiği gibidir.

Algoritma

Adım1. Başla

Adım2. Her bir çizelge sıralamasındaki işlere öğrenme etkisi kat ve amaç fonksiyonu değerini hesapla.

Adım3. Hiç bir sıralama kalmayana kadar 2. Adımı tekrarla

Adım4. Bütün alternatif sıralamalar arasından optimum çizelgeyi seç

Adım5. Bitir

Modelin çözümüne yönelik algoritmanın geçerliliğini göstermek üzere sayısal bir örnek verilerek çözüm sonuçların irdelenmiştir.

Sayısal Örnek: Tek makine ve 5 işli bir problemi ele alalım. Problemin parametre değerleri Çizelge 4.1’de verildiği gibidir. Her bir işin öğrenme oranını %80 kabul edilerek geliştirilen modelin amaç fonksiyon değerine göre en iyi alternatifleri bulalım. Aynı zamanda erken tamamlanan işler için ceza maliyeti olarak $\alpha=1$ ve geç tamamlanan işler için ceza maliyeti $\beta=1$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.1. Problem için veriler

İşler (j)	\tilde{P}_j	\tilde{d}_j
1	(0,5 1 1,5)	(4 5 6 7)
2	(2,5 3 3,5)	(2,5 3 4 4,5)
3	(5,5 6 6,5)	(5,5 7 8,5 10)
4	(9,5 10 10,5)	(22 24 26 28)
5	(4 6 7)	(12 15 23 27)

Çözüm: Problem için geliştirilen algoritma MATLAB programı ile kodlanarak çözülmüştür. Bulunan sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmektedir. Ele alınan örnek problem için $5! = 120$ alternatif sıralama mevcuttur. Çizelge 4.2’de verilen sonuçlar tüm alternatif sıralamalar arasından en iyi olan 4 alternatifini göstermektedir.

Çizelge 4.2. Sayısal örneğin eniyi çözüm sonuçları

No	Sıralama	F(S)
1	2-1-3-4-5	22,5241
*2	*2-1-3-5-4	*20,1737
3	2-3-1-4-5	23,0323
4	3-1-2-5-4	22,8568

Çizelge 4.2’den görüldüğü gibi enümersasyon tekniği ile elde edilen “optimal çizelge” (2-1-3-5-4) olup bu çizelge sırasındaki öğrenme etkili işlerin tamamlanma zamanı

$\widetilde{C}_2(2,5 \ 3 \ 3,5)$, $\widetilde{C}_1(2,9 \ 3,8 \ 4,7)$, $\widetilde{C}_3(6,76 \ 8,01 \ 9,26)$, $\widetilde{C}_5(9,32 \ 11,85 \ 13,74)$ ve $\widetilde{C}_4(14,98 \ 17,81 \ 19,99)$ 'dir.

4.6. Problemin Genetik Algoritma İle Çözülmesi

Üzerinde çalışılan problem genel olarak çizelgeleme problemlerinde olduğu gibi problemin boyutu artıkça çözüm zamanı üssel artan bir yapıya sahiptir. Bu durum araştırmacıları sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalara odaklanmaya yöneltmiştir. Birerleme yöntemiyle küçük boyutlu problemlerde etkin çözümler elde edilmesine rağmen gerçek hayat problemleri bakımından çok küçük sayılacak problemlere çözüm üretememiştir. Bu yüzden bu çalışmada, çizelgeleme problemlerinin çözümünde sıkça müracaat edilen genetik algoritmayı kullanılmıştır.

Bu bölümde öncelikle problem için geliştirilen genetik algoritma açıklanmış ve devamında, sonuçların karşılaştırılabileceği mevcut başka bir algoritma bulunmadığından küçük boyutlu problemler için birerleme yöntemiyle etkin bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

4.6.1. Kromozom gösterimi

Genetik algoritma popülasyon içindeki bireylerin işlenmesi sürecidir. Her birey, problem için bir çözümü ifade eder. Her bir birey, bir veya daha fazla kromozomla gösterilir ve bir dizi ile ifade edilir. Dizi formatının seçimi, genetik algoritmanın uygulanmasında ilk ve en önemli basamaktır (Chen *et al.* 1999). Çünkü iyi ifade edilmiş diziler çaprazlama ve mutasyon sonrası hep uygun çözüm üretir, yeniden eşleştirme mekanizmasına ihtiyaç bırakmaz. Ayrıca iyi ifade edilmiş dizilerin decode edilme süreci daha hızlıdır. Bütün bunlar algoritmanın çözüm kalitesi ve hızını doğrudan etkiler.

Kromozomların kodlanması problemlere göre değişmektedir. Bu çalışmada, ilk GA uygulamalarında kullanıldığı için hala en çok kullanılan yöntemlerden biri olan ikili kodlama tekniği kullanılmıştır. Burada her kromozom 0 ve 1 değerlerinden oluşan 32 bit dizisinden oluşmaktadır. Bu dizideki her bit, çözümün bir özelliğini taşımaktadır. Probleme ait her bir işi bu ikili kodlardan oluşan kromozomlar temsil etmektedir. Kromozomun (dizinin) tümü ise bir sayıya karşılık gelmektedir. Onluk değere çevrilen bu sayıların küçükten büyüğe doğru sıralaması yapılarak işlerin rasgele çizelge sırası oluşturulur.

Çizelge 4.3. Birey Yapısı ve GA ikili kodlarının karşılık değerleri

<i>i</i> işi	GA kodu	Onluk düzende değeri
1	10100110101110001011010010110101	27 971x10 ⁶
2	10101101011100101011100100010101	29 100x10 ⁶
3	00101111000000101111110100110101	788x10 ⁶
4	01100010000100110111001010011010	1 645x10

Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi her bir kromozoma ait onluk değerler küçükten büyüğe doğru sıralandığında (788, 1 645, 27 971, 29 100)x10⁶ olup bu sıraya bağlı işlerin çizelge sırası; (3-4-1-2) şeklinde tanımlanır.

4.6.2. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında popülasyon boyutu kadar birbirinden farklı bireyler rasgele olarak oluşturulmuştur. Bireylerin oluşturulması aşaması 4.6.1’de bahsedildiği gibidir. Oluşturulan bu bireylerden, rastlantısal olarak belirli büyüklükte bir başlangıç popülasyonu (toplum) elde edilmiştir.

Süreç şu şekilde işlenmiştir; önce *m* adet işli problem için *m* adet kromozom rassal olarak üretilir. Üretilen bu kromozomların (dizilerin) onluk değerde karşılıkları bulunarak küçükten büyüğe doğru sıralamaları yapılır. Bu şekilde birinci birey

oluşturulduktan sonra n adet popülasyon boyutuna ulaşınca kadar diğer bireyler oluşturulur.

4.6.3. Uygunluk değeri ve seçim işlemi

Eniyileme problemlerinin genetik algoritma ile çözümünde bireylerin uygunluk değerlerinin nasıl belirleneceği en önemli konulardan biri olmaktadır.

GA'da her bir birey probleme ait bir çözümü kodlarken, bu bireyin uygunluk değeri ise ilgili çözümün amaç fonksiyonu değeriyle ilişkili olacak şekilde hesaplanır. Seçim mekanizmasının temelinde seçim işleminin bireylerin uygunluk değerleriyle bağlantılı olması gerekmektedir.

Bu açıklamalar ışığında çalışmada seçim işlemi aşağıda verilen üç temel adım dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

1. Popülasyondaki her bireyin amaç fonksiyonu değerinin yani toplam erken/geç bitirme zamanının hesaplanması
2. Amaç fonksiyonu değerleriyle bağlantılı olacak şekilde uygunluk değerlerinin ve seçim olasılıklarının hesaplanması
3. Seçim mekanizması

Tek makine çizelgeleme problemlerinde, verilen bir çözümün toplam erken/geç tamamlanma zamanının hesaplanmasıyla ilgili formülasyon Bölüm 3.3.1 kapsamında sunulmuştu. Çalışmada incelenen çizelgeleme problemi tek amaçlı en küçükleme problemi olduğundan, popülasyondaki bireylere ait bu formülasyonla bulunan amaç fonksiyonu değerleri uygunluk fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

Yığılı oluşturulan bireyler arasından yeniden üretim işlemi için çeşitli seçim mekanizmaları kullanılır. Bu çalışmada Rulet çemberi seçim mekanizması

kullanılmıştır. Burada temel düşünce uygunluk değeriyle orantılı olarak her bir dizinin seçilme veya yaşama olasılığını belirlemektir. Bu yöntemde yüksek uygunluk değerine sahip dizilerden bir sonraki nesilde seçilme şansı daha fazla olup uygunluk değeri düşük olan bireylerin popülasyonda kalması sağlanır. Genişliği n olan bir popülasyonda bireylerin uygunluk değerleri sırasıyla f_1, f_2, \dots, f_n olmak üzere, bu mekanizma bireylerin seçim olasılıklarını aşağıdaki formülasyona göre doğrudan uygunluk değerlerini kullanarak hesaplar.

$$p_t = \frac{f_t}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (4.12)$$

Bu formülasyondaki p_t popülasyondaki t bireyin seçilme olasılığını ifade etmektedir. Yeni nesil için seçilen bireylerin kopyalama işlemi tamamlandıktan sonra bireylere genetik işlemler uygulanır.

4.6.4. Çaprazlama operatörü

Hangi seçim yönteminin kullanılacağına karar verildikten sonra, GA'da yeni bireyler oluşturmak için genetik işlemler adımına geçilmiştir. Çaprazlama iki birey arasında karşılıklı bilgi değişimi ile yeni bireylerin oluşmasını sağlayan işlemdir ve P_c olasılığı ile gerçekleşir. Çaprazlama oranının yüksek olduğu durumlarda problem uzayı çok hızlı bir şekilde araştırılmaktadır. Artışın devam ettiği durumlarda iyi bireylerin yapısının bozulmasından dolayı algoritmanın performansı düşmektedir. Düşük çaprazlama oranında ise az miktarda yeni bireyler nesle dâhil olduğundan çözüm uzayı yeterli araştırılmamakta olup yerel optimuma takılma durumu söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla çalışmada, çaprazlama oranı, eski kromozomların tamamen yok olmasını engellemek ve yeni kromozomlar ile daha iyileri bulmak için literatürde yapılan çalışmalar da dikkate alınarak 0,7 alınmıştır.

Çalışmada tek nokta çaprazlama yaklaşımı kullanılmıştır. Tek noktalı çaprazlama işlemi ile seçilen bir çaprazlama noktasına kadar olan genler birinci ebeveynden geriye

kalanlar ise diğer ebeveynden alınarak birinci yavru kromozom elde edilmiştir. İkinci yavru kromozom için de kromozomların diğer kısımları birleştirilmiştir.

Kromozom-1:	11011 001011010011001110
Kromozom-2:	00101 101110010101000101
↓	
Yavru-1:	11011 101110010101000101
Yavru-2:	00101 001011010011001110

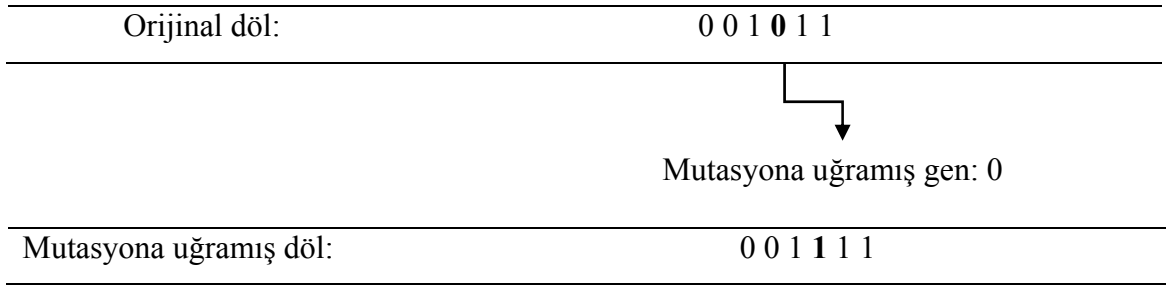
Şekil 4.3. İkili kodlanmış kromozomlar için tek noktalı çaprazlama

Uygulama çalışmasında elde edilen 4 bireyden 2 si uygunluk değerlerine göre popülasyona tekrar geri kazandırılarak popülasyon boyutunun sabit bir şekilde kalması sağlanmıştır.

4.6.5. Mutasyon operatörü

GA'nın diğer temel işlemi olan mutasyon işlemi ile yerel optimumdan kaçınmak ve çeşitliliği artırmak amaçlanmıştır. Mutasyon işlemi P_m olasılığı ile gerçekleşmekte olup, bu olasılık dâhilinde rasgele seçilen herhangi bir noktaya mutasyon işlemi 1 değeri 0'a 0 değeri ise 1'e dönüştürülerek oluşturulmuştur (Şekil 4.4).

Mutasyon işlemi GA'nın yerel optimuma takılmasını engellemek için gerçekleştirilir. Fakat mutasyon oranının fazla yükseltilmesi probleme rasgelelik kazandırarak bireylerin sürekli değişmesine neden olabilir. Gerçek yaşamda çok az rastlanan mutasyonun genetik algoritmalarda genellikle 0,001-0,01 aralığında kullanılması önerilmektedir. Bu durum dikkate alınarak yapılan çalışmada mutasyon oranı 0,01 olarak kabul edilmiştir.



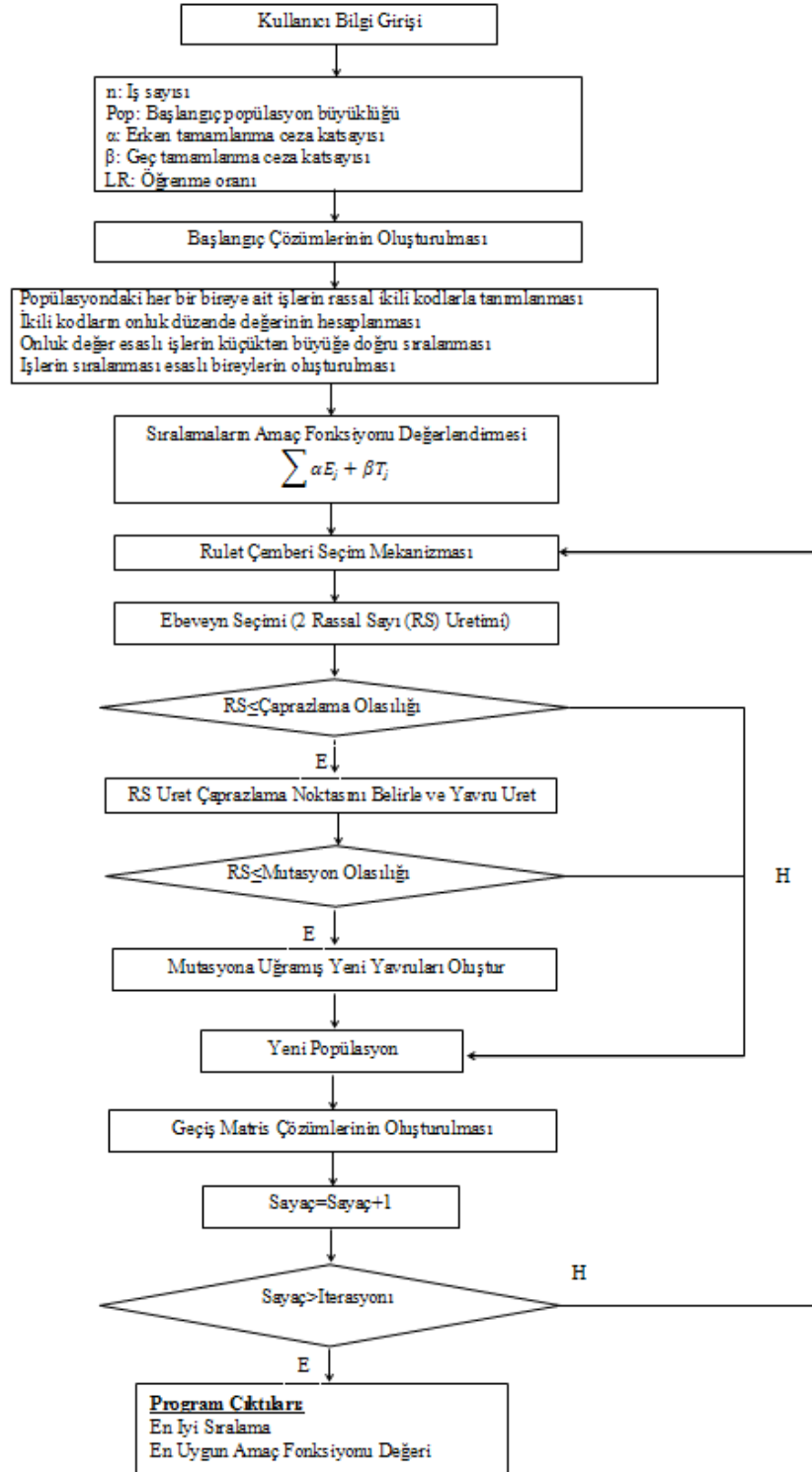
Şekil 4.4. İkili kodlanmış kromozomda mutasyon

4.6.6. Geliştirilen genetik algorithmada kullanılan parametre değerleri

Daha önce sunulan bilgiler ve yapılan ön çalışmalar doğrultusunda, problemin çözümünde kullanılan ve literatür dikkate alınarak oluşturulan GA parametreleri Çizelge 4.4’de ve GA akış şeması ise Şekil 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Önerilen GA için tespit edilen uygun parametre değerleri

Parametre	Değer
Başlangıç Popülasyonu	40
Uygunluk Değeri	$\sum \alpha \tilde{E}_j, \beta \tilde{T}_j$ en küçüklemesi
Çaprazlama Olasılığı	0,7
Mutasyon Olasılığı	0,01
Seçim Mekanizması	Rulet Tekerı
İterasyon sayısı	1 000



Şekil.4.5. Ele alınan probleme ait GA akış şeması

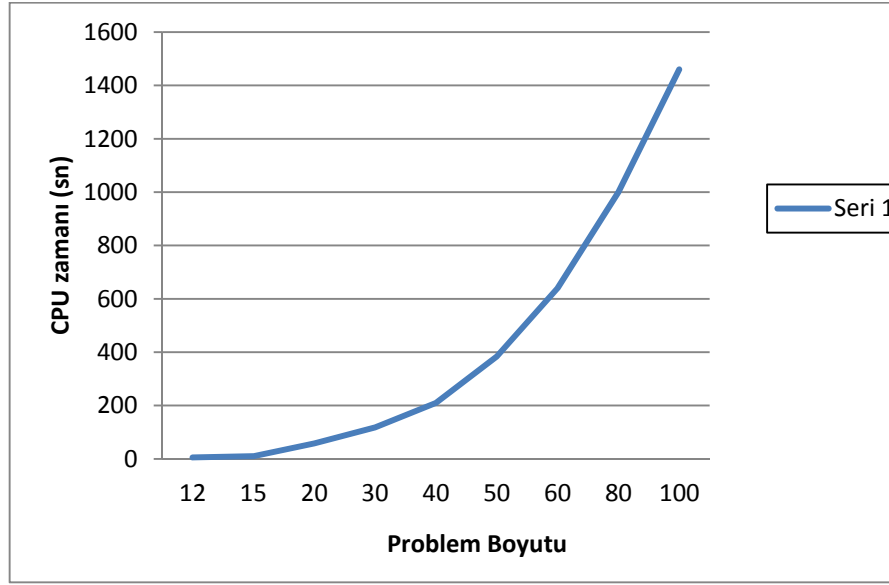
4.6.7. Algoritmanın test edilmesi ve sayısal sonuçlar

Algoritmanın test edilmesi için 100 işe kadar oluşturulan test problem seti kullanılmıştır. Geliştirdiğimiz sezgisel yöntemin etkinliğini karşılaştırabileceğimiz mevcut başka bir algoritma bulunmadığından küçük boyutlu problemler için birerleme yöntemiyle etkin çözümler bulunarak sezgisel yöntemin bulduğu sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Küçük boyutlu problemlerden 4, 5, 7, 10 ve 11 işli problemler enümerasyon tekniği ile çözümlenerek optimum çözümler bulunmuştur. Problemler için birerleme tekniği ile elde edilen bu çözümlerin, geliştirilen GA çözümleri ile karşılaştırmaları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Birerleme ve GA ile bulunan Sonuçların Karşılaştırılması

Problem Parametreleri		Enümerasyon	Genetik Algoritma	
Problem No	Problem Boyutu	F^*_{ENM}	F^*_{GA}	ort(F_{GA})
1	4	144,629	144,629	144,629
2	5	167,023	167,023	167,023
3	7	310,954	310,954	310,954
4	10	590,169	590,169	590,169
5	11	668,67	668,67	668,67
6	12	-	721,318	724,15
7	15	-	1 134,85	1 140,5
8	20	-	1 934,81	1 935,4
9	30	-	3 919,87	3 937,2
10	40	-	6 629,81	6 676,4
11	50	-	9 998,25	10 065,1
12	60	-	13 515,0	13 614,4
13	80	-	22 928,6	22 993,0
14	100	-	34 348,9	34 492,5



Şekil.4.6. Problem boyutuna göre hesaplanan CPU zamanları

Bütün problem çözümleri MATLAB programlama dili kullanılarak, Intel Core i7 3.4 GHz işlemcili, 8 GB ram ve Microsoft Windows Xp işletim sistemi özellikli bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. 12 işten 100 işe kadar olan her bir problem 10 kere çalıştırılarak elde edilen minimum değer (F^*) ve ortalama değer $ort(F)$ sonuçları Çizelge 4.5’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi geliştirilen algoritma küçük boyutlarda tüm etkin çözümleri bulabilmiştir. Dolayısıyla küçük boyutlu problemler için etkin sonuçlar veren bu algoritmanın orta ve büyük boyutlu problemler için de etkin sonuçlar vereceği beklenmektedir. Büyük boyutlu problemler için algoritmanın bulduğu etkin çözümler, aynı zamanda en kötü ihtimalle problem için bir üst sınır olarak değerlendirilebilir.

Genetik Algoritma sezgiselinin etkinliğini karşılaştıracak bir başka sezgiselin olmaması küçük boyutlu problemler için elde edilen sonuçlarla karşılaştırmayı yeterli kılmıştır. Çalışmanın devamında GA’nın performansını etkileyecek etkin parametreler ve seviyeleri belirlenerek deney tasarımı yaklaşımı ile sezgisel modelin performansı geliştirilmiştir.

4.7. Deney Tasarımı Uygulaması

Geliştirilen GA'yı değerlendirmek için algoritmanın performansı üzerinde etkili olabileceği düşünülen parametreler Çizelge 4.6'da verilmiştir. Ele alınan 4 faktör için deney tasarımı çalışması 3 seviyeli olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Algoritma Parametreleri ve Düzeyleri

Faktörler	Birinci Seviye	İkinci Seviye	Üçüncü Seviye
Popülasyon Boyutu	40	50	60
Çaprazlama Oranı	0,60	0,70	0,90
Mutasyon Oranı	%1	%5	%10
İterasyon	500	1000	1500

4.7.1. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi

Probleme uygun ortogonal dizinler serbestlik derecelerine göre belirlenir. Her faktörün serbestlik derecesi faktör seviye sayısının bir eksigidir. Bu durumda toplam serbestlik derecesi Çizelge 4.7'deki gibi bulunmaktadır.

Çizelge 4.7. Toplam Serbestlik Derecesi

Simge	Faktörler	Serbestlik Derecesi
A	Popülasyon Boyutu	$3-1=2$
B	Çaprazlama Oranı	$3-1=2$
C	Mutasyon Oranı	$3-1=2$
D	İterasyon	$3-1=2$
Toplam Serbestlik Derecesi		$2+2+2+2=8$

Toplam serbestlik derecesi, maksimum seçilecek ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olacaktır. Bu durumda en küçük ortogonal dizin $L_9(3^4)$ seçilecektir.

Deneyleer sırasında incelenecek faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesinden sonra yapılacak deneyleerin belirlenmesi aşaması gelmektedir. Taguchi metodu (TM)'na göre seçilecek dik düzenin belirlenmesi için tespit edilecek ilk veri, toplam serbestlik derecesidir. Serbestlik derecesi kısaca, hangi seviyenin en iyi sonucu vereceğini belirlemek için tasarım parametreleri arasında yapılması gereken karşılaştırma sayısıdır.

Üç seviyeli bir faktör için serbestlik derecesinin iki olması dolayısı ile seçilecek tasarımın sağladığı serbestlik derecesi, dört faktör için ihtiyaç duyulan sekiz serbestlik derecesidir.

4.7.2. Faktör ve/veya etkileşimlerin kolonlara atanması

Dokuz deneyleli Taguchi L₉ deneyleyi, çalışma için uygun olan tasarımlardan biridir. Dokuz deneyleyin imkân verdiği en büyük serbestlik derecesi sekizdir. Çalışma çerçevesinde gerek duyulan sekiz serbestlik derecesi dışında kalan serbestlik dereceleri ise hata değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Çizelge 4.8' de Taguchi L₉ deneyle tasarımı gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. Taguchi L₉ deneyle tasarımı

Faktörler ve Seviyeleri				
Deneyle	Popülasyon Boyutu	Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	İterasyon
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

4.7.3. Performans istatistiğinin belirlenmesi

Bu çalışmada performans istatistiği olarak “Ortalama” ve Taguchi yöntemi uygulamalarında sıkça kullanılan “S/N oranı” kullanılacaktır. T.M. da kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder.

Sinyal/gürültü oranının hesaplanmasında deneyler sonucunda ulaşılması hedeflenen kalite değerinin özelliği de önemlidir. Problem Erken/Geç tamamlanma cezalarının maliyetini azaltmak olduğundan dolayı amaç performans karakteristiğinin en küçük değerini almasıdır. Bu yüzden S/N oranı “en küçük en iyi” (hedef değer en küçük) yaklaşımı ile kullanılacaktır.

4.7.4. Testlerin yapılması

Ele alınan Taguchi L9 ortogonal dizinde belirlenen koşullara göre denemeler yapılmıştır. Her kombinasyon, iş boyutu 20 olan probleme uygulanmış ve 3'er koşul olmak üzere toplam $3 \times 9 = 27$ deneme yapılmıştır. Gözlem değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

4.7.5. Verilerin analizi

Deney sonuçlarından elde edilen veriler ortalamalarına göre ve S/N oranlarına göre varyans analizi metodu ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu ile analiz edilecektir.

Çizelge 4.9. L9(3⁴) ortogonal dizinine göre yapılan deneyler ve sonuçları

Deney	Faktörler ve Seviyeleri				Gözlemler			Ort.	S/N
	Pop. Boyutu	Çapr. Oranı	Mut. Oranı	İter.	Y1	Y2	Y3		
1	40	0,6	0,01	500	2001	2006	1980	1995,67	-66,0019
2	40	0,7	0,05	1000	1955	1966	1975	1965,33	-65,8688
3	40	0,9	0,1	1500	1899	1860	1874	1877,67	-65,4727
4	50	0,6	0,05	1500	1925	1928	1946	1933	-65,7247
5	50	0,7	0,1	500	1964	1977	1986	1975,67	-65,9144
6	50	0,9	0,01	1000	1927	1939	1955	1940,33	-65,7577
7	60	0,6	0,1	1000	1985	1977	1986	1982,67	-65,9450
8	60	0,7	0,01	1500	1958	1932	1940	1943,33	-65,7711
9	60	0,9	0,05	500	2004	1981	1973	1986	-65,9598

4.8. Varyans Analizi

Her iki performans istatistiği için de ayrı ayrı varyans analizleri yapılmış ve oluşturulan varyans analizi tabloları aşağıda verilmiştir. Analizlerde Minitab 16.0 paket programı kullanılmıştır.

4.8.1. Ortalamaya göre varyans analizi ve katkı yüzdelerinin belirlenmesi

Çalışmada 9 deney yapılmış ve her deney 3 kez tekrar edildiği için toplam 27 deney gözlem alınmıştır. Toplam serbestlik derecesi: N-1 olduğuna göre, problemin toplam serbestlik derecesi 26 bulunur. Buna göre Çizelge 4.9'da verilen gözlem değerleri kullanılmak suretiyle gerçekleştirilen varyans analizi sonuç tablosu Çizelge 4.10'da görülmektedir.

Çizelge 4.10. Ortalamaya göre oluşturulan varyans analizi tablosu

Faktör	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Varyans	Test İstatistiği F
A	3 150,7	2	1 575,35	8,92
B	6 234,26	2	3 117,13	17,64
C	1 412,92	2	706,46	3,9
D	21 383,58	2	10 691,79	60,5
Hata	3 181,24	18	176,73	-
Toplam	35 362,7	26	-	-
$F_{0.05(2,18)}=3.55$		$F_{0.05(2,18)} < F_A, F_B, F_C, F_D$		

Yapılan deneylerden elde edilen verilerle, faktör seviyelerinin performans karakteristiği üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan varyans analizi sonucunda, D (iterasyon sayısının) faktörünün her üç seviyesinin (500, 1 000 ve 1 500) performans karakteristiği üzerindeki etkilerinin %95 güven düzeyinde önemli derecede farklı olduğu tespit edilmiştir. B (çaprazlama oranı) faktörünün seviyelerindeki (0,60, 0,70 ve 0,90) değişimin ise performans karakteristiği üzerindeki etkilerinin % 95 güven düzeyinde önemli derecede farklı olduğu belirlenmiştir. A (popülasyon boyutu) ve C (mutasyon oranı) faktörlerinin seviyelerindeki değişimlerin ise % 95 güven düzeyinde performans karakteristiği üzerinde etkili olup önemli derecede bir farklılık oluşturmadığı belirlenmiştir.

Deneyleerde ele alınan faktörlerin performans karakteristiği üzerinde ne derece etkili olduğunu belirlemek için katkı yüzdelerinin bulunması gerekmektedir. Ele alınan her bir faktör için katkı yüzdeleri hesaplanmış olup, ilgili değerler Çizelge 4.11'de verilmektedir.

Çizelge 4.11. Ortalamaya göre katkı yüzdeleri

Faktörler	Kareler Toplamı	V_e	Sd	Saf Kareler Toplamı	P (%)
A	3 150,7	176,73	2	2 797,24	8
B	6 234,26	176,73	2	5 880,8	17
C	1 412,92	176,73	2	1 059,46	3
D	21 383,58	176,73	2	21 030,12	60

Bu değerlerden anlaşılacağı gibi bir işin erken yada geç tamamlanma maliyetinin en aza indirgenmesi için oluşturulan genetik algoritmanın performansı üzerinde en önemli etkiye sahip olan faktör D (iterasyon sayısıdır)'dır. İterasyon sayısının 500'den 1 500'e çekilmesi erken/geç tamamlanma maliyetini %60 oranında etkileyecektir. İkinci olarak önemli olan faktör B (çaprazlama oranı) faktörüdür. Çaprazlama oranının 0,6 ile 0,9 arasında değişmesi amaç fonksiyonu değerini %17 oranında etkilemektedir.

Yapılan analiz sonucunda geri kalan katkı yüzdesi hata katkı yüzdesine karşılık gelmekte olup %12'dir.

4.8.2. S/N oranına göre varyans analizi ve katkı yüzdelerinin belirlenmesi

Çizelge 4.9'daki S/N oranı değerleri kullanılarak Minitab 16.0 paket programı ile yapılan varyans analizi sonuç tablosu Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. S/N oranına göre oluşturulan varyans analizi tablosu

Faktör	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Varyans	Test İstatistiği F
A	0,021	2	-	-
B	0,042	2	-	-
C	0,01	2	-	-
D	0,142	2	-	-
Hata	0	0	-	-
Toplam	0,215	8	-	-

L_9 ortogonal dizininde belirlenen koşullarda 4 sütun dikkate alınır. Her sütunun serbestlik derecesi 2 olup toplam serbestlik derecesine eşit olduğundan hatanın serbestlik derecesi 0 olur. Yukarıda görüldüğü gibi hata sıfır olup etkisi en küçük görünen C parametresi Çizelge 4.13’de gösterildiği gibi hata olarak kabul edilir.

Çizelge 4.13. S/N oranına göre oluşturulan varyans analizi tablosu

Faktör	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Varyans	Test İstatistiği F
A	0,021	2	0,011	2,1
B	0,042	2	0,021	4,2
D	0,142	2	0,071	14,2
Hata	0,01	0	0,005	-
Toplam	0,215	8	-	-
$F_{0,05(2,2)}=19$				

$F_{0,05(2,2)} > F_A, F_B, F_C, F_D$ olduğu için %95 güven aralığında A, B ve D parametreleri etkin olmayıp S/N varyans analizine göre optimum çalışma şartları yoktur.

Dolayısıyla, optimum çalışma şartları; ortalamayı etkileyen ham veriler üzerine yaptığımız varyans analizi sonucu ortalamayı etkileyen A, B, C ve D faktörleri etkin olup değişkenliği etkileyen parametre bulunmamaktadır.

4.9. Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi Metodu

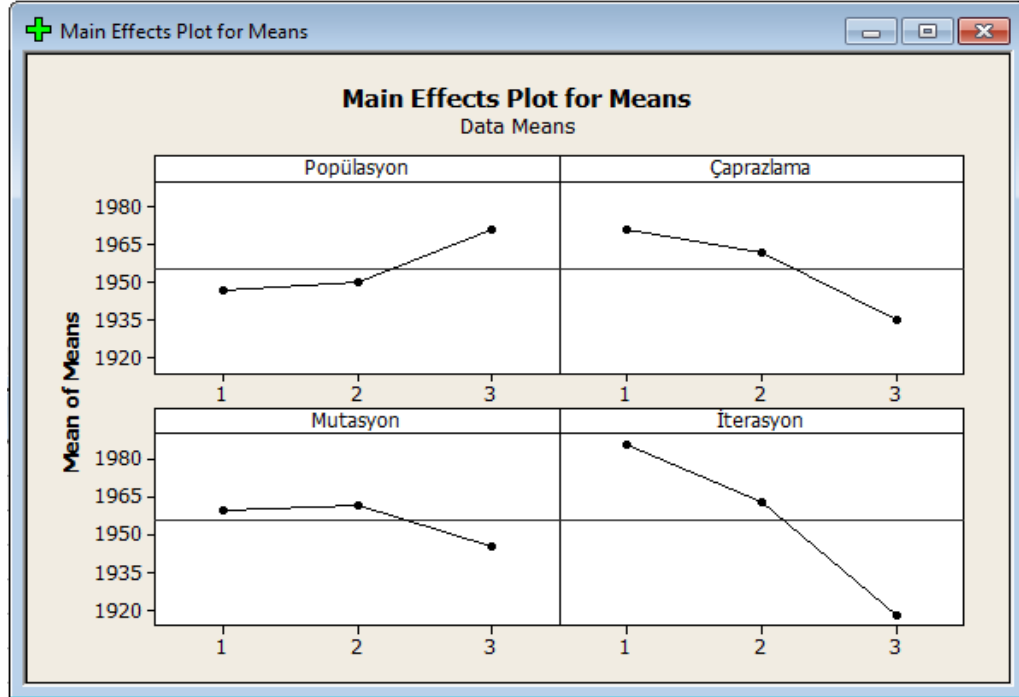
Ortalama ve S/N oranı için varyans analizleri ve katkı yüzdeleri, ele alınan faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisine ve önemine işaret etmiştir. Ortalamaya göre yapılan varyans analizine göre A, B, C ve D parametreleri etkin çıkmıştır. Bununla birlikte bu analizler performans karakteristiğini enküçükleyecek konfigürasyonu verememektedir. Bu konfigürasyonu elde etmek için ise faktör etkilerinin grafikselsel gösterim metodundan yararlanılması gerekmektedir.

Faktör etkilerinin grafikselsel gösterimi metodu (FEGGM) ile yapılacak analizler, Minitab Release 16.0 paket programı kullanılarak yapılacaktır. Bu metot kullanılarak, maliyet fonksiyonunun çözüm uzayında minimuma yakın değerini bulacak algoritmanın performansı üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörlerin en iyi seviyelerinin bulunması amaçlanmaktadır.

Toplanan veriler, Minitab programının Taguchi analiz kısmında çözümlenmiş aşağıdaki veriler ve grafikler elde edilmiştir.

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	Popülasyon	Çaprazlama	Mutasyon	İterasyon	Y1	Y2	Y3	SNRA1	STDE1	MEAN1	
1	1	1	1	1	2001	2006	1980	-66,0019	13,7961	1995,67	
2	1	2	2	2	1955	1966	1975	-65,8688	10,0167	1965,33	
3	1	3	3	3	1899	1860	1874	-65,4727	19,7569	1877,67	
4	2	1	2	3	1925	1928	1946	-65,7247	11,3578	1933,00	
5	2	2	3	1	1964	1977	1986	-65,9144	11,0604	1975,67	
6	2	3	1	2	1927	1939	1955	-65,7577	14,0475	1940,33	
7	3	1	3	2	1985	1977	1986	-65,9450	4,9329	1982,67	
8	3	2	1	3	1958	1932	1940	-65,7711	13,3167	1943,33	
9	3	3	2	1	2004	1981	1973	-65,9598	16,0935	1986,00	
10											

Şekil 4.7. Gözlem Değerlerinin Minitab Çıktıları



Şekil 4.8. Ortalamalar için sonuç tablosu

Çizelge 4.14. Minitab program çıktısı

Taguchi Analysis: Y1; Y2; Y3 versus Populasyon; Çaprazlama; Mutasyon; İterasyon

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	Populasyon	Çaprazlama	Mutasyon	İterasyon
1	-65,78	-65,89	-65,84	-65,96
2	-65,80	-65,85	-65,85	-65,86
3	-65,89	-65,73	-65,78	-65,66
Delta	0,11	0,16	0,07	0,30
Rank	3	2	4	1

Response Table for Means

Level	Populasyon	Çaprazlama	Mutasyon	İterasyon
1	1946	1970	1960	1986
2	1950	1961	1961	1963
3	1971	1935	1945	1918
Delta	24	36	16	68
Rank	3	2	4	1

Response Table for Standard Deviations

Level	Popülasyon	Çaprazlama	Mutasyon	İterasyon
1	14,523	10,029	13,720	13,650
2	12,155	11,465	12,489	9,666
3	11,448	16,633	11,917	14,810
Delta	3,076	6,604	1,803	5,145
Rank	3	1	4	2

Şekil 4.7'deki grafiksel gösterimde her bir faktörün 1. 2. ve 3. seviyelerinin ortalama üzerindeki etkisi görülmektedir. Örnek olarak A faktörünün 1. seviyesinin ortalaması ikinci ve üçüncü seviyelerin ortalamasından küçüktür. Bu durumda A faktörünün 1. seviyesi performans karakteristiği ortalamasını azaltan seviyedir.

Çalışmada, erken ya da geç tamamlanan işlerin ceza maliyetlerini azaltmak amaçlandığından ortalamaı aşağı çeken seviyelerin tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi A faktörünün 1.seviyenin seçilmesi performans karakteristiğini azaltacaktır. Bu yüzden A faktörü için en uygun seviye 1. seviye olmalıdır. Aynı şekilde diğer faktörler için de ortalamanın altında sonuç veren seviyeler seçildiğinde performans karakteristiğinin değeri azalacaktır. Bu durumda en iyi faktör seviye kombinasyonu Çizelge 4.15'deki gibi seçilir.

Aşağıda gösterilen bu faktörlerden hangilerinin performans karakteristiği üzerinde daha etkili olduğunu görmek için Minitab program çıktısına baktığımızda, her üç seviyenin karakteristiğinin değerleri arasındaki farkı en büyük olan faktörler performans karakteristiği üzerinde daha büyük etkiye sahip olan faktörlerdir.

Çizelge 4.15. Ortalamaya göre FEGGM ile en iyi faktör-seviye kombinasyonu

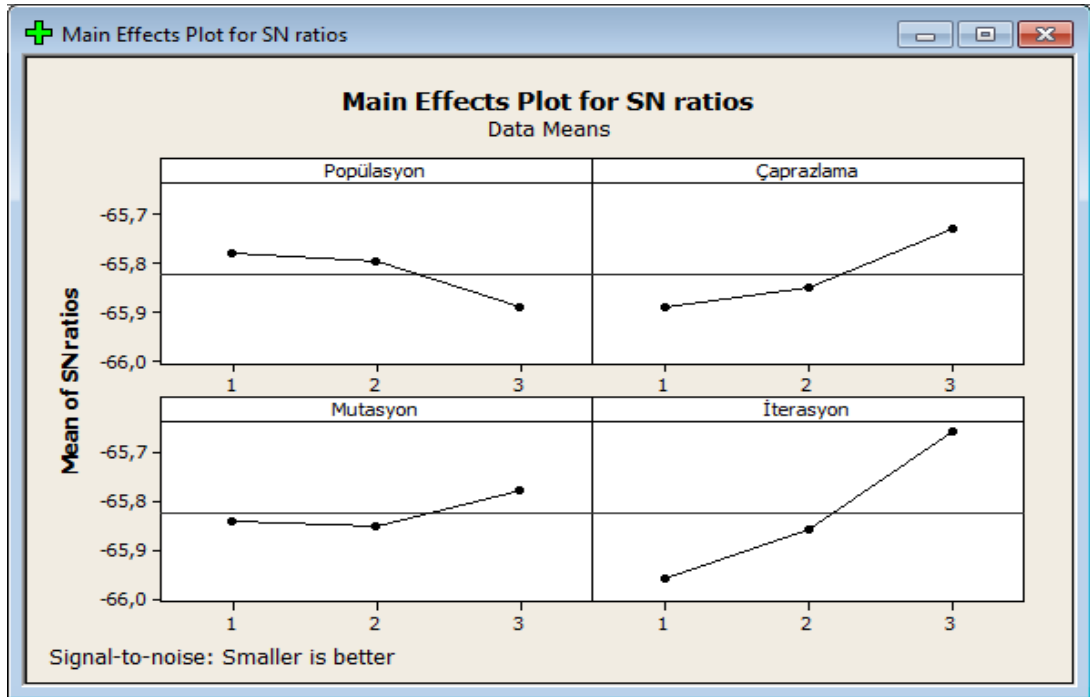
	Faktör			
	A	B	C	D
	1	3	3	3
Seviye	Popülasyon Boyutu	Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	İterasyon Sayısı
	40	0,90	%10	1 500

Bu durumda en etkili faktör Çizelge 4.16'e bakıldığında D faktörü, ikinci etkili faktör B faktörüdür. Etkisi en az olan faktör ise C faktörüdür.

Çizelge 4.16. Faktör etkilerinin sayısal olarak gösterimi

Seviye	Popülasyon B. (B)	Çaprazlama O. (C)	Mutasyon O. (D)	İterasyon
1	1 946	1 970	1 960	1 986
2	1 950	1 961	1 961	1 963
3	1 971	1 935	1 945	1 918
Fark	24	36	16	68
Derece	3	2	4	1

Ortalamaya göre yapılan FEGGM analizi için yapılan işlemlerin aynı S/N oranı içinde tekrarlanmıştır. S/N oranına göre hazırlanmış faktör etkilerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. S/N oranı için sonuç tablosu

S/N oranları “En küçük en iyi” yaklaşımı ile belirlenmiştir. Uygulamanın amacı her ne olursa olsun S/N oranının ortalamalarını yukarı çeken seviyeler uygulamanın performans karakteristiğini etkileyen en iyi seviyeler olacaktır. Buna göre en iyi faktör seviye kombinasyonu Çizelge 4.17’de görülmektedir.

Çizelge 4.17. S/N’ye göre FEGGM ile en iyi faktör-seviye kombinasyonu

Seviye	Faktör			
	A	B	C	D
	1	3	3	3
	Popülasyon Boyutu 40	Çaprazlama Oranı 0,90	Mutasyon Oranı %10	İterasyon Sayısı 1 500

S/N oranı için oluşturulan faktör etkilerinin sayısal gösteriminde faktör seviyelerinin performans karakteristiği üzerinde oluşturduğu farklılıklar görülmektedir. Çaprazlama ve iterasyon faktörlerinin seviyeleri arasındaki farklar diğer faktörlerin seviyeleri arasındaki farklılıktan daha fazladır. Bu yüzden, çaprazlama ve iterasyon faktörlerinin performans karakteristiği üzerinde önemli derecede etkili olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda faktör etkilerinin sonuç tablosu incelendiğinde S/N oranını en büyüleyecek faktör seviyesi en etkili seviye olarak belirlenir.

Çizelge 4.18. Faktör etkilerinin sayısal olarak gösterimi

Seviye (A)	Popülasyon B. (B)	Çaprazlama O. (C)	Mutasyon O. (D)	İterasyon
1	-65,78	-65,89	-65,84	-65,96
2	-65,80	-65,85	-65,85	-65,86
3	-65,89	-65,73	-65,78	-65,66
Fark	24	36	16	68
Derece	3	2	4	1

4.10. Doğrulama Deneyinin Yapılması

Ortalama ve S/N oranına göre yapılan varyans analizi ve faktör etkilerinin grafiksel yöntemi ile çözümünden elde edilen Minitab çıktılarına göre faktör seviyeleri A₁ B₃ C₃ D₃ olarak öngörülmüştü. Etkin görülen bu faktör seviyeleri için % 95 güven düzeyinde güven aralığı aşağıdaki gibi bulunur.

Beklenen ortalama değeri;

$$\mu_{A_1B_3C_3D_3} = A_1 + B_3 + C_3 + D_3 - 3T$$

$$\mu_{A_1B_3C_3D_3} = 1\,946,2 + 1\,934,7 + 1\,945,3 + 1\,918 - (3 \cdot 1\,955,5)$$

$$\mu_{A_1B_3C_3D_3} = 1\,877,7$$

Çizelge 4.19. Beklenen ortalama değerinin Minitab çıkışı

Predicted values				
S/N Ratio	Mean			
-65,4727	1877,67			
Factor levels for predictions				
Popülasyon	Çaprazlama	Mutasyon	İterasyon	
1	3	3	3	

Beklenen güven aralığı değeri;

$$GA = \sqrt{F_{0,05(1,18)}(176,73) \left[\left(\frac{1}{1} \right) + \left(\frac{1}{5} \right) \right]} \quad (4.13)$$

$$GA = 30,58 \quad (4.14)$$

Bu durumda doğrulama deneyi için beklenen güven aralığı aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\mu_{A_1B_3C_3D_3} - GA \leq \text{doğrulama deneyi ortalaması} \leq \mu_{A_1B_3C_3D_3} + GA$$

$$1\ 877,7 - 30,58 = 1\ 847,12 \leq \text{doğrulama deneyi ortalaması} \leq 1\ 877,7 + 30,58 = 1\ 908,28$$

$A_1 B_3 C_3 D_3$ kombinasyonu dikkate alınarak 5 adet doğrulama deneyi yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Doğrulama Deneyi Sonuçları

Deney No					Ort.
1	2	3	4	5	
1 855,9	1 899,4	1 903,1	1 887,0	1 873,5	1 883,78

Çizelge 4.20’de görüldüğü gibi, yapılan doğrulama deneyleri sonucunda bulunan 1883,78 ortalama değeri daha önceden bulunan güven aralığı değerlerinin içerisinde. Bu durum yapılan analizler sonucunda bulunan performans karakteristiği değerlerinin, aynı zamanda istatistiksel açıdan da kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. O halde, Taguchi yöntemi ile yapılan analizler sonucunda işlerin zamanında tamamlanmamasından kaynaklanan ceza maliyetini en küçükleyecek çizelge sırasını veren genetik algoritmanın en etkili faktör seviye kombinasyonu $A_1B_3C_3D_3$ olarak bulunmuştur.

Genetik Algoritma parametreleri için bulunan seviye kombinasyonuna göre program orta ve büyük boyutlu problemler için tekrar çalıştırılarak yeni sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların, Taguchi yaklaşımı kullanılmadan önce bulunan en iyi sonuç değerleri (F^*_{GA}) ile karşılaştırması Çizelge 4.21’de yapılmıştır. Çizelge 4.21, Taguchi yaklaşımının daha önce elde edilen sonuçların en iyisine göre elde edilen ilerlemeyi göstermektedir.

Çizelge 4.21. Önerilen GA ve TM ile geliştirilen GA sonuçlarının karşılaştırılması

Problem Parametreleri		Önerilen Genetik Algoritma (GA)	Taguchi Metodu ile Geliştirilen GA
Prob. No	Prob. Boyutu	F^*_{GA}	F^*_{TM-GA}
1	12	721,318	721,035
2	15	1 134,85	1 133,57
3	20	1 934,81	1 915,04
4	30	3 919,87	3 837,04
5	40	6 629,81	6 627,99
6	50	9 998,25	10 057,6
7	60	13 515,0	12 989,8
8	80	22 928,6	22 309,8
9	100	34 348,9	33 687,4

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bir E/G tamamlanma çizelgeleme yapısında, erken biten işler teslim tarihlerine kadar üreticinin elinde kalır. Bu da ürünün bozulmasından kaynaklanan maliyetler ile depolama veya sigorta gibi maliyetler getirir. Buna ilaveten, biten mal stoku dolaylı olarak fırsat maliyeti taşıyan verimsiz bir yatırımdır. Diğer yandan teslim tarihlerinden sonra tamamlanan işler müşteri tatminsizliği, sözleşme cezaları, satış kayıpları ve itibar kaybına yol açar. Bu nedenle ideal bir çizelgede tüm işler teslim tarihinde tamamlanmalıdır.

Bu çalışmada çizelgeleme problemlerinde; erken/geç tamamlanma performans kriteri, öğrenme etkisi ve bulanık parametrelerle yapılan çalışmalara yönelik literatür taraması sonucunda şu tespitler yapılmıştır.

- E/G tamamlanma problemleri literatürdeki diğer çizelgeleme problemi uygulamalarından oldukça yenidir.
- E/G tamamlanma problemleri NP-zor sınıfında olan problemlerdir ve öğrenme etkisinin probleme dâhil edilmesi çözümü daha da karmaşıktır.
- E/G tamamlanma problemleri için parametre değerlerinin bulanıklaştırılarak alındığı çalışmalarda literatüre son yıllarda girmiş çalışmalardır.
- Öğrenme etkisi ve bulanıklaştırılan E/G problemlerinin ayrı ayrı literatürde uygulamaları olsa da hem öğrenmenin hemde bulanıklığın katıldığı E/G tamamlanma çizelgeleme problemi mevcut değildir.
- Çizelgeleme problemlerinde öğrenme etkisi, bulanıklık kavramı ve E/G tamamlanma kavramlarının bir arada ele alınmaması nedeniyle “Öğrenme Etkili, Bulanık İşlem Zamanlı ve Bulanık Teslim Zamanlı” erken/Geç tamamlanma çizelgeleme problemi literatüre katkı yapılacak özgün bir çalışma alanı olarak değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasında E/G tamamlanma çizelgeleme probleminin daha genişletilmiş hali olan bulanık erken/geç tamamlanma problemi ele alınmıştır. Klasik çizelgeleme yaklaşımında parametre değerleri sabit kabul edilip değişmemektedir. Ancak bu çalışmada problem parametrelerinden işlem zamanları ve teslim tarihlerinin belirsiz olduğu ve bulanık sayılarla ifade edildiği tek makine çizelgeleme problemi incelenmiştir. Bunlara ek olarak; son yıllarda giderek önemi artan öğrenme etkisi kavramı ile işin tekrar yapılmasıyla zamanla öğrenmeden kaynaklanan işlem zamanındaki azalma, bulanık tanımlanan işlem zamanlarına katılmıştır.

Küçük boyutlu problemler hem enümerasyon tekniği hem de GA sezgisel yaklaşımı ile çözümlenerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Problemin Np-zor yapısı nedeni ile büyük boyutlu problemlere çözüm üretebilmesi için genetik algoritma önerilmiş ve Matlab programlama dilinde kodlanmıştır. Oluşturulan test problemleri ile iş sayısına (n) bağlı olarak n=100 işe kadar GA yaklaşımı ile çözümler elde edilmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntemin etkinliğini karşılaştırabilecek mevcut başka bir algoritma bulunmadığından algoritmanın etkinliği küçük boyutlu problemler üzerinde gösterilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde geliştirilen genetik algoritmanın performansını artırmak için algoritmaya etki eden faktörler ve seviyeleri belirlenerek Taguchi metodu yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler 20 işli problem dikkate alınarak oluşturulmuştur. Ortogonal dizinin kombinasyonlarına uygun bir şekilde her bir deney 3 kez tekrarlanmıştır. Varyans analizi ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemi yapılmış ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak geliştirdiğimiz genetik algoritmanın etkin parametre ve seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda bulunan ortalama değeri daha önceden bulunan güven aralığı değerlerinin içerisinde olup bu durum yapılan analizler sonucunda bulunan performans karakteristiği değerlerinin, aynı zamanda istatistiksel açıdan da kabul edilebilir olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmanın devamında öğrenme etkili bulanık işlem zamanlı ve bulanık teslim tarihli çizelgeleme problemlerinin diğer meta sezgisel yöntemlerle çözülerek optimum/optimuma yakın sonuçlar vermesi amaçlanabilir. Ayrıca farklı performans ölçütleri ve çok makineli çizelgeleme problemleri de incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmadizar, F. and Hosseini L., 2011. Single machine scheduling with a position-based learning effect and fuzzy processing times. *International Journal of Advance Manufacture Technology*, 56(5-8), 693-698.
- Altay, A., 2007. Genetik algoritma ve bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Baker, K. R. and Scudder G. D., 1990. Sequencing with earliness and tardiness penalties: A review. *Operations Research*, 38(1), 22-36.
- Baker, K., 1994. Elements of sequencing and scheduling. Amos Tuck School of Business, D. Hanover, NH.
- Baker, K., 1997. Elements of sequencing and scheduling. Tuck School of Business Administration College, Hanover, NH.
- Bank, J. and Werner F., 2001. Heuristics algorithms for unrelated parallel machine scheduling with a common due date, release dates and linear earliness tardiness penalties. *Mathematical and Computer Modelling*, 33, 363-383.
- Baykal, O., 1992. Zaman faktörü. *Verimlilik Dergisi. Milli Prodüktivite Yayınları*, 3, 131-142.
- Biskup, D., 1999. Single-machine scheduling with learning considerations. *European Journal of Operational Research*, 115, 173-178.
- Cengiz, Y., 2004. Optimum performanslı mikrodalga kuvvetlendirici tasarımı. Doktora Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Chan, F. T.S., Chung S.H and Wadhwa S., 2005. A hybrid genetic algorithm for production and distribution. *The International Journal of Management Science*, Omega, 33, 345-555.
- Chang, P. C., 1999. A branch and bound approach for single machine scheduling with earliness and tardiness penalties. *Computers and Mathematics with Applications*, 37, 133-144.
- Chen, M., and Zalzala A. M. S., 1997. A genetic approach to motion planning of redundant mobile manipulator systems considering safety and configuration. *Journal of Robotic Systems*, 14 (7), 529-544.
- Cheng, T.C.E. and Wang G., 2000. Single machine scheduling with learning effect considerations. *Annals of Operations Research*, 98, 273-290.
- Cowling, P. and Johansson, M., 2002. Using real time information for effective dynamic scheduling. *European Journal of Operational Research*, 139, 230-244.
- Demirer, İ., 2001. Bulanık doğrusal programlama. Yılıçi Projesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Elmas, Ç., 2003. Bulanık mantık denetleyiciler. Seçkin Yayınevi.
- Eren, T. and Güner E., 2004. Öğrenme etkili akış tipi çizelgelemede ortalama akış zamanının en küçüklenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 119-124. Ankara.
- Ergül, A., 1994, Genetik algoritmalar, PC Günlüğü Dergisi.
- Goldberg, D. E., 1987. Computer-aided pipeline operation using a genetic algorithms and rule learning-Part I-Genetic algorithms in pipeline optimization. *Engineering with Computers*, 3, 35-45.

- Gözen, Ş., 2007. Bulanık esnek akış tipi çok prosesli çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ve tavlama benzetimi ile çözümü. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Gupta, J. N. D. and Gupta S. K., 1988. Single facility scheduling with nonlinear processing times. *Computers and Industrial Engineering*, 14, 387-393.
- Güldalı, A., 1990. Seri iş-akışlı atölye çizelgelemesinde sezgisel teknikler. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- İşler, M.C, Toklu, B. and Çelik V., 2009. Öğrenme etkili erken/geç tamamlanma çizelgeleme problemleri için bir literatür araştırması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 227-252.
- İşler, M. C., 2010. İmalat sistemlerinde öğrenme etkili akış tipi tam zamanında çizelgeleme probleminin teorik ve uygulamalı incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Johnson, S. M.; 1954. Optimal two and three stage production schedules with set-up times included. *Naval Research Logistic Quartely*, 1(1), 61-68.
- Karaboğa, N., 1994. Sayısal filtre katsayılarının genetik algoritma kullanarak yuvarlatılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Kellegöz, T., 2006. Toplam geç bitirme zamanının en küçüklenmesi performans ölçütlü permütasyon akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde genetik algoritma yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Klir, G., J., Clair, U., H., and Yuan, B., 1997, *Fuzzy set theory foundations and applications*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Koza, J. R., 1995. Two ways of discovering the size and shape of a computer program to solve a problem. *Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithm*, 287-294.
- Lee, W. C., Wu C. C. and Sung H. J., 2004. A bi-criterion single machine scheduling problem with learning considerations. *Acta Informatica*, 40, 303-315.
- McCahon, L., 1992. Fuzzy job sequencing for a flow shop. *European Journal of Operational Research*, 62(3), 294-301.
- Mondal, S.A. and Sen A.K., 2001. Single machine weighted earliness-tardiness penalty problem with a common due date. *Computers & Operations Research*, 28, 649-669.
- Mori, M. and Ching C. T., 1997. A genetic algorithm for multi-mode resource constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 100(1), 134-141.
- Mosheiov, G. and Shadmon M., 2001. Minmax earliness-tardiness costs with unit processing time jobs. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 638-652.
- Mosheiov, G., 2001. Scheduling problem with learning effect. *European Journal of Operational Research*, 132, 687-693.
- Mosheiov, G. ve Sidney J. B., 2003. Scheduling with general job-dependent learning curves. *European Journal of Operational Research*, 147, 665-670.
- Nabiyev, V. V., 2005. *Yapay zeka*. Seçkin Yayıncılık.

- Nakamura, M., Yamashiro N., Gong Y., Matsumura T., and Onaga K., 2005. Iterative parallel genetic algorithms based on biased initial population. *IEICE Trans. Fundamentals*, E88-A (4), 923-929.
- Özkazanç, Ü. A., 1999. Atelye tipi üretim ortamında işlerin çizelgelenmesi için yapay sinirsel ağ yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Öztürk, M., 2008. Çok aşamalı tedarik zinciri optimizasyonu probleminin yayılan ağ tabanlı genetik algoritma ile çözümü. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Paksoy., S., 2007. Genetik algoritma ile proje çizelgeleme. Doktora Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Pinedo, M., and Chao, X., 1999. Operation scheduling with applications in manufacturing and services, Mc Graw Hill, New York, USA.
- Pinedo, M. 2002. Scheduling theory, algorithms and systems, Prentice Hall, Second Edition, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Pinedo, M. 2005. Planning and scheduling in manufacturing and services. Springer Science Business Media, Inc, 506 p, New York, USA.
- Sabuncuoglu, İ., 1998., Scheduling with neural networks: A review of the literature and new research directions. *Production Planning and Control*, volume 9, issue 1, 2-12.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-I: Yapay sinir ağları. *Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık*. ISBN: 975-95948-5-4, Kayseri.
- Sun, H. and Wang G., 2003. Parallel machine earliness and tardiness scheduling with proportional weights. *Computers and Operations Research*, 30, 801-808.
- Türker, A.K., 2003. Üretim planlama ve kontrol ders notu. Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Tsujimura, 1995. Solving job shop scheduling problem with fuzzy processing time using genetic algorithm. *Japan Society for Fuzzy Theory and Systems*, 7(5), 1073-1083.
- Wright, T. P., 1936. Factors affecting the cost of airplanes. *Journal of The Aeronautical Sciences*, 3, 122-128.
- Wu, H. C., 2010. Solving the fuzzy earliness and tardiness in scheduling problems by using genetic algorithms. *Expert Systems with Applications*, 37, 4860-4866.
- Yeo, M. F. and Agyei E. O., 1998. Optimising engineering problems using genetic algorithms. *Engineering Computations*, 15(2), 268-280.
- Vural, M., 2005. Genetik algoritma yöntemi ile toplu üretim planlama. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yıldız, C., 2008. Genetik algoritma ile anten dizi tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zadeh, L. A., 1984. Making computers think like people. *IEEE. Spectrum*, 59, pp. 26.
- Zeng, W. X. and Nagasawa H., 1993. Single-machine scheduling for minimizing total cost with identical, asymmetrical earliness and tardiness penalties. *International Journal of Production Research*, 31(7), 1611-1620.
- Zhao-Qiang, G. and Yi-Ren Z., 2001. Using HGA to solve E/T scheduling problems with fuzzy processing time and fuzzy due date. *System, Man and Cybernetics IEEE International Conference*, 2, 1161-1166.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1987 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2005 yılında kazandığı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında başarılı bir şekilde mezun oldu. 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Ocak 2010 tarihinden beri Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.