

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ESNEK ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN
GENETİK ALGORİTMA VE BULANIK MANTIK
YÖNTEMLERİ İLE ÇÖZÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Gökçe CANDAN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. H.Reşit YAZGAN

Ocak 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESNEK ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN
GENETİK ALGORİTMA VE BULANIK MANTIK
YÖNTEMLERİ İLE ÇÖZÜLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

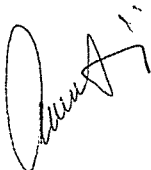
Endüstri Müh. Gökçe CANDAN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 08 / 01 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Cemil ÖZ
Jüri Başkanı



Yrd.Doç. Dr.
Semra BORAN
Üye



Yrd.Doç. Dr.
Harun Reşit YAZGAN
Üye



TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalıőmalarımı her aşamada izleyip değerlendirerek yön veren ve her türlü desteği sağlayan hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Harun Reşit YAZGAN'a őükranlarımı sunarım. Ayrıca deney verilerinin hazırlanmasında önemli katkılarını esirgemeyen hocam sayın Araő. Gör. M. Fatih TAŐKIN'a, yazılım konusundaki desteği için sayın Faruk ÖZER'e, çalıőmam boyunca sabır gösteren ve yardımcı olan çalışma arkadaşlarıma, desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli aileme, çalıőmamın tamamına katkı sağlayarak beni destekleyen değerli eőim Başar CANDAN'a teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Esnek Üretim Çizelgeleme Problemleri Literatür Çalışması.....	3
BÖLÜM 3.	
ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİ	8
3.1. Esnek Üretim Sistemleri.....	8
3.1.1. Esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme kavramı.....	9
3.1.1.1. Bir esnek üretim sisteminin iki aşamalı çizelgenmesi.....	10
3.1.1.2. Örnek bir toplu çizelgeleme problemi.....	11
BÖLÜM 4.	
BULANIK MANTIK GENETİK ALGORİTMA VE TAGUCHI METODLARI.....	13
4.1. Bulanık Mantık.....	13
4.1.1. Bulanık kümeler.....	17
4.1.2. Bulanık kümeleme yöntemi.....	22
4.1.3. Bulanık denetim uygulamaları.....	23

4.2. Genetik Algoritmalar.....	25
4.2.1. Genetik algoritmaların kullanılma nedenleri.....	26
4.2.2. Genetik algoritmaların tarihçesi.....	27
4.2.3. Genetik algoritmaların diğer yöntemlerden farkları.....	28
4.2.4. Genetik algoritmaların temel kavramları.....	28
4.2.4.1. Gen.....	28
4.2.4.2. Kromozom.....	29
4.2.4.3. Popülasyon(Topluluk).....	29
4.2.4.4. Uygunluk fonksiyonu.....	30
4.2.5. Genetik algortmada kullanılan seçim metodları.....	31
4.2.5.1. Turnuva metodu.....	31
4.2.5.2. Rulet çemberi ve stokastik örnekleme ile uygun oransal seçim metodu.....	31
4.2.5.3. Sabit durum metodu.....	31
4.2.5.4. Elitizm.....	32
4.2.6. Genetik algoritmanın parametreleri.....	32
4.2.6.1. Popülasyon büyüklüğü.....	32
4.2.6.2. Çaprazlama Oranı.....	32
4.2.6.3. Mutasyon oranı.....	34
4.2.7. Genetik algoritmaların özellikleri.....	35
4.2.8. Genetik algoritmaların uygulama alanları.....	36
4.2.9. Genetik algoritmalarda işlem adımları.....	37
4.2.10. Genetik algoritmanın performansını etkileyen nedenler.....	38
4.2.11. Çeşitli değerlendirme stratejileri ve GA ile aralarındaki farklar.....	38
4.3. Deney Tasarımı.....	43
4.3.1. Tam faktöriyel deney tasarımı.....	45
4.3.2. Kesirli faktöriyel deney tasarımı.....	46
4.3.3. Taguchi Metodu.....	46

BÖLÜM 5.

ESNEK ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA VE BULANIK MANTIK YÖNTEMLERİ İLE ÇÖZÜLMESİ.....	49
--	----

5.1. İşlem Sürelerinin Berraklaştırılması.....	51
5.2. Taguchi Metodu ve Genetik Algoritmalar ile Deneyleerin Gerçekleştirilmesi.....	52
5.3. Anova Testi ile Faktör Etkilerinin Belirlenmesi.....	56
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	68
EKLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ANOVA	: Varyans Analizi
BKY	: Bulanık Kümeleme Yöntemi
Cmax	: Tamamlanma Zamanı
EÜS	: Esnek Üretim Sistemi
GA	: Genetik Algoritmalar
GP	: Genetik Programlama
NP	: Non polinomial
S/N	: Sinyal Gürültü Oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Uygulama Bölümünün Aşamaları.....	2
Şekil 3.1.	Esnek üretim sisteminin yapısı	10
Şekil 3.2.	EÜS ' de toplu çizelgeleme problemi çözümü.....	11
Şekil 4.1.	Klasik sistem.....	16
Şekil 4.2.	Bulanık mantığın temel elemanları.....	16
Şekil 4.3.	Sıcaklık değişkeni için klasik küme örneği.....	19
Şekil 4.4.	Sıcaklık değişkeni için bulanık küme örneği.....	20
Şekil 4.5.	Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları.....	21
Şekil 4.6.	Örnek kromozom yapısı	29
Şekil 4.7.	Pozisyona ve Sıraya Göre Çaprazlama İşlemleri.....	33
Şekil 4.8.	Tek ve Çift Noktalı Çaprazlama Çeşitleri.....	34
Şekil 4.9.	Pozisyona göre ve sıraya göre değişim.....	35
Şekil 4.10.	Rulet Çarkı.....	41
Şekil 4.11.	Çaprazlama Operatörü.....	43
Şekil 5.1.	Uygulamanın Aşamaları.....	49
Şekil 5.1.	Bulanık kümeleme.....	51
Şekil 5.2.	Bulanık küme üyeliklerinin durumu.....	51

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Çizelgeleme problemleri üzerine yapılmış bazı çalışmalar.....	7
Tablo 3.1.	Örnek problemin uygulama verileri.....	11
Tablo 4.1	Bulanık Mantık Uygulamaları.....	24
Tablo 4.2	Uygunluğun Hesaplanması.....	41
Tablo 4.3	Rulet Çarkı Değerleri ve Yeni Tablo.....	42
Tablo 4.4	Yeni popülasyon.....	43
Tablo 5.1	Ele alınan problem seti tipleri.....	50
Tablo 5.2	3 iş 5 aşama 3 makine problemine ait durulaştırılmış değerler...	52
Tablo 5.3	Faktörler için kullanılan düzeyler.....	53
Tablo 5.4	L18 Ortogonal dizisi.....	54
Tablo 5.5	L18 Ortogonal dizisine göre deney kombinasyonları.....	54
Tablo 5.6	3 İş 5 Operasyon 3 Makine'den oluşan problem için deney sonuçlarının ortalaması.....	55
Tablo 5.7	Taguchi L18 deney tasarımına göre S/N oranları ve ANOVA tablosu.....	56
Tablo 5.8	Faktörler ve Etkileri.....	58
Tablo 5.9	En etkili faktör seviyeleri ve bu kombinasyonla bulunan sonuçlar.....	59

ÖZET

Anahtar kelimeler: Bulanık mantık, Taguchi ortogonal diziler metodu,genetik algoritmalar

Bu çalışmada; esnek üretim çizelgeleme problemlerinde toplam akış zamanını (en çok tamamlanma zamanı) en az yapacak faktörleri ve etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, işlem sürelerinin bulanık olmasından dolayı, bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak bu değerler durulaştırılmıştır. İkinci aşamada ise, çizelgeleme problemleri yapısı gereği NP-Hard olmasından dolayı tam faktöriyel deney tasarımı yerine Taguchi ortogonal dizi yaklaşımı seçilmiş deney sayısı önemli derecede azaltılmıştır. Üçüncü aşamada ise, EÜS de en çizelgelemeyi elde edecek genetik algoritma faktörlerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Geliştirilen yaklaşım farklı sayıdaki iş ve makine sayıları ile denenerek iş ve makine sayısının çözüme nasıl etkilediği konuları ayrıntılarıyla araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar varyans analiziyle irdelenerek elde edilen sonuçların geçerlilikleri araştırılmıştır.

USING GENETIC ALGORITHM AND FUZZY LOGIC METHOD TO SOLVE THE FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM SCHEDULING PROBLEM

SUMMARY

Key Words: Fuzzy logic, Taguchi's orthogonal arrays, genetic algorithms

This study focused on to identify factors and their effects which make minimum total flow time (maximum completion time) in flexible manufacturing scheduling problems. The study consists of three parts. In the first part; because of the fuzzy processing times, the processing times are defuzzified with using fuzzy logic method. The scheduling problems are NP-hard so in the second part; instead of full factorial desing experiments, Taguchi's orthogonal arrays method is applied and the number of experiments are reduced. In the last part; the genetic algorithm factors and their effects, which provides the best scheduling in flexible manufacturing are identified. The proposed approach is tested with different number of jobs and machines and identify the effects of job and machine numbers to the solution. The results are examined with analysis of variance and the validity of results are investigated.

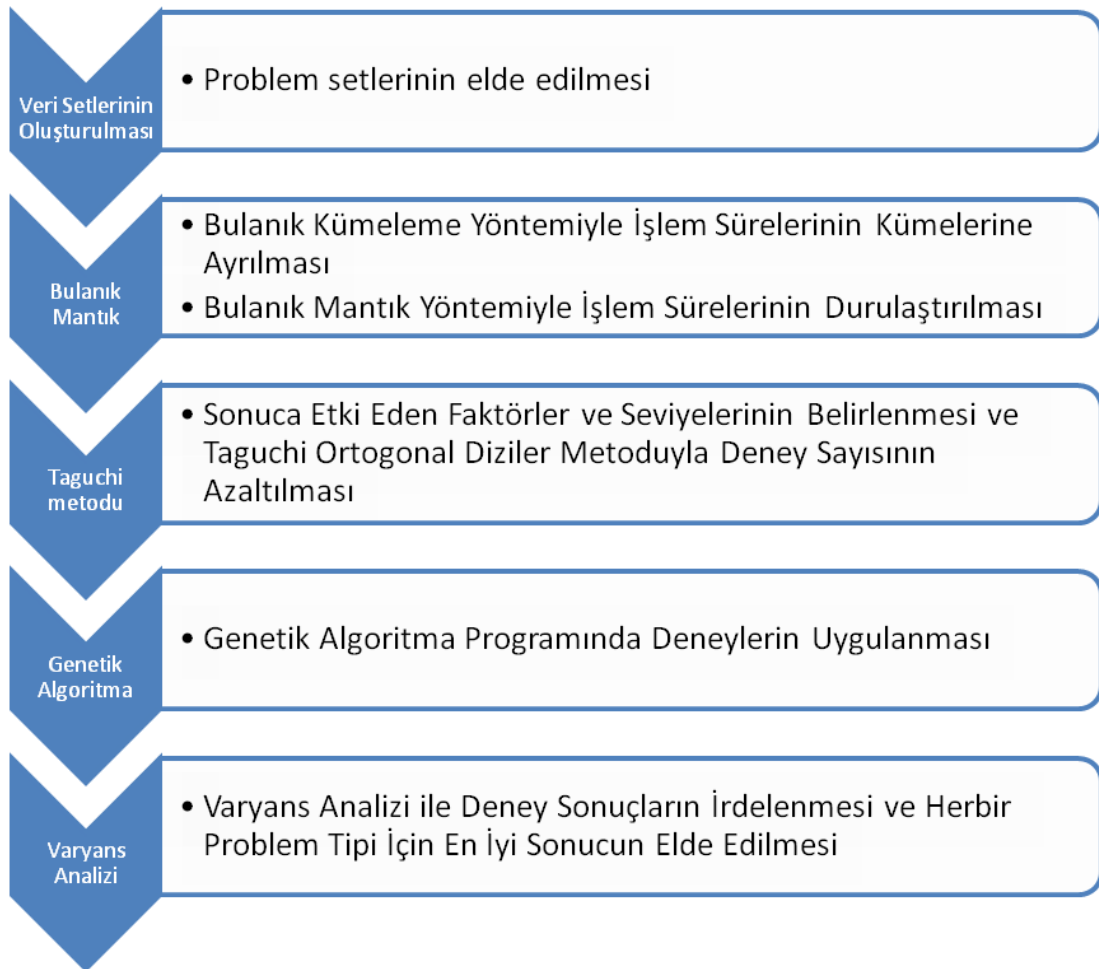
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Küresel rekabet ortamında müşteri istek ve beklentilerini tam zamanında karşılayabilmek amacıyla gelişen teknoloji üretimin de esnekleşmesini beraberinde getirmiştir. Esnek bir üretim sistemini de uygun iş sıralamalarıyla optimize etmek için çeşitli metotlar kullanılmaktadır.. Çalışmada bu metotlardan en etkin sonuçları vermesi beklenen bulanık mantık ve son yıllarda araştırmalarda sık kullanılan, stokastik arama özelliğine sahip güçlü bir sezgisel arama yöntemi olan genetik algoritma teknikleri kullanılmış uygun iş sıralamaları kısa sürede elde edilmiş, sonuca etki eden faktörler ve etkileri istatistiksel metotlar kullanılarak belirlenmiştir. Esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme konusunda literatürde çok fazla araştırma olmaması bu konu üzerinde çalışmaya neden olmuştur. Literatürde esnek üretim çizelgeleme probleminde çözüme ulaşırken Taguchi ortogonal diziler yaklaşımını kullanarak deney sayısını azaltıp daha kısa sürede çözüme ulaşan çalışmalar bulunmamaktadır. Çalışmanın literatür tarama kısmında esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme problemleri, genetik algoritmalar ve bulanık mantık yöntemlerine ait temel bilgiler ve bu yöntemlerle ilgili literatürde yer alan çalışmalar ele alınmış ve parametre optimizasyonunda kullanılan istatistiksel yöntemlere de değinilmiştir.

Uygulama bölümünde esnek üretim sisteminde toplam akış zamanını (enbüyük tamamlanma zamanı) enküçükleyecek çözümler elde etmek amaçlanmıştır. Uygulama bölümünün aşamaları;

- a) Bulanık işlem sürelerinden oluşan problem setlerinin oluşturulması.
- b) Bulanık mantık yöntemiyle işlem sürelerinin durulaştırılması.
- c) GA çözüm sonuçlarına etki eden parametrelerin ve seviyelerinin belirlenmesi.
- d) Taguchi metoduyla deney sayısının saptanması.
- e) GA programında deneylerin gerçekleştirilmesi.
- f) Sonuçların varyans analizine tabi tutulması ve parametre optimizasyonu yapılması ve optimum parametrelerle her bir problemin çözümünün gerçekleştirilmesi ve en iyi sonuçların elde edilmesi

Uygulama bölümünün aşamaları Şekil 1.1’de verilmiştir. Ele alınan çeşitli problem setlerine ait bulanık işlem süreleri önce bulanık mantık yöntemi kullanılarak durulaştırılmıştır. Daha sonra yazılımı gerçekleştirilen genetik algoritma programında çözüme etki eden faktörler ve seviyeleri belirlenerek en iyi çözümü bulmak için yapılacak deney sayısı Taguchi metodu kullanılarak bulunmuştur. Genetik algoritma programında her bir deney sonucunda elde edilen çözümler varyans analizi ile analiz edilmiş ve faktör etkileri ve en etkili faktör seviyeleri bulunarak en iyi çözümü veren deney kombinasyonu elde edilmiştir. Bu kombinasyonla problem tekrar çözümlenerek her bir problem tipi için toplam akış zamanını (en büyük tamamlanma zamanı) en küçükleyen sonuçlar bulunmuştur. Sonuç ve öneriler bölümünde ise elde edilen çözümler ve yorumları sunulmuştur, uygulamada ortaya çıkan bulgular tartışılmıştır.



Şekil 1.1 : Uygulama Bölümünün Aşamaları

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme probleminin literatürdeki yer alan çalışmalarına yer verilecektir.

2.1. Esnek Üretim Çizelgeleme Problemleri

Jin ve arkadaşları, çok aşamalı esnek akış tipi çizelgeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Tavlama benzetim ve değişken derinlik araştırma yöntemleriyle bir sezgisel geliştirmişlerdir [1].

Gupta, esnek akış tipi çizelgeleme problemleri tamamlanma zamanı kriterine göre NP-zor olduğunu kanıtlamıştır [2].

Wang ve arkadaşları, iki aşamalı (birinci aşamada bir işin iki operasyonu arasında bekleme zamanı olmayan ve ikinci aşamada ardışık iki iş arasında makine beklemesi olmayan) esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinin karmaşıklığını göstermişlerdir [3].

Allaoui ve Artiba, C_{max} 'ı minimize etmek için iki aşamalı (birinci aşamada bir makine ikinci aşamada m makine) esnek akış tipi çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Problem için bir dal sınır modeli oluşturulmuştur [4].

Tang ve arkadaşları, n iş s aşamadan oluşan esnek akış tipi çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. C_{max} 'ı minimize eden bir çizelgeleme oluşturmak için tam sayılı programlama yöntemi, Lagrangian gevşetmesi ve dinamik programlama kullanılmıştır [5].

Chung ve Vairaktarakis, iki aşamalı esnek akış tipi problemi üzerinde

çalışmışlardır. Bunun için dal sınır algoritması kullanarak bir sezgisel geliştirmişlerdir. Bu çalışma genel esnek akış tipi problemi için ilk hata sınır algoritması ve geleneksel k makine akış tipi problemi için geçerli en iyi hata sınırı geliştirmiştir [6].

Su, iki aşamalı 1. aşamada çoklu işlemci ve 2. aşamada tek işlemcili sınırlı bekleme zamanlı esnek akış tipi problemi üzerine çalışılmıştır. Amaç makespan minimize etmektir. Problemin çözümü için bir sezgisel algoritma ve kıyaslama için karmaşık tamsayılı bir program geliştirilmiş [7].

Wittrock, toplam akış zamanı ve stok alanını minimize etmek için iki farklı sezgisel (esnek akış tipi problemler için periyodik olmayan çizelgeleme algoritması) geliştirmiştir [8].

Nhu ve arkadaşları esnek imalatta çizelgeleme problemini önce etkin yapısal bir algoritmayla daha sonra da öğrenen bir genetik yapı geliştirerek çözmüşlerdir [9].

Biroğul ve Güvenç genetik algoritmayla çözümü gerçekleştirilen atölye çizelgeleme problemlerinde ürün sayısının etkisini incelemişlerdir [10].

Man ve arkadaşları genetik algoritma kullanılarak çoklu ürün planlama ve çizelgeleme problemini çözmüşlerdir, erken ve geç kalma durumlarındaki toplam cezayı minimize eden bir model geliştirip bir üretim planlama ve çizelgeleme periyodunda lot size ı optimal yaparken tüm ceza maliyetlerini minimize etmek ve proses kapasite sabitlerini tatmin etmeyi sağlamışlardır [11].

Gen ve arkadaşları Çok Zamanlı Periyot Üretim/Dağıtım Planlaması için Hibrit Genetik Algoritma adlı çalışmalarında optimizasyon için yayılan ağaç temelli genetik algoritma kullanmışlar ve etkinliği artırmak için ise bulanık mantık kontrolcüsüyle hibritlemişlerdir [12].

Chan ve arkadaşları; Bakıma bağlı olarak dağıtılmış EÜS çizelgeleme problemini genetik algoritma yaklaşımıyla çözmüştür [13].

Petrovic ve arkadaşları, belirsizlik durumunda üretim çizelgeleme ve yeniden çizelgeleme problemini bulanık mantık kullanarak çözmüştür [14].

Pezzella ve arkadaşları, esnek imalat çizelgeleme problemini genetik algoritmayla çözmüştür. Makinelere iş atama problemini lokalizasyon yaklaşımı yardımıyla çözerek literatürdeki diğer yaklaşımlarla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir [15].

Temiz ve Erol bulanık akış tipi çizelgeleme problemi için çok amaçlı genetik algoritma adlı çalışmalarında işlem zamanları ve teslim tarihlerinin belirsiz olduğu ve üçgen bulanık sayılarla ifade edildiği akış tipi çizelgeleme problemi incelenmiştir. Çizelgeleme kararlarına etki eden maliyetleri azaltmak için çizelge tamamlanma zamanı, maksimum tehir zamanı ve toplam akış zamanı kriterlerini eş zamanlı değerlendiren çok amaçlı model sunulmuştur [16].

Vilcot ve arkadaşları esnek imalat çizelgeleme problemini genetik algoritma kullanarak çözmüşlerdir. Tabu arama algoritmasıyla başlangıç popülasyonu geliştirerek genetik algoritmada uygulama yapmışlardır. Ayrıca bulanık esnek imalat problemini genetik algoritmayla çözerken iki popülasyonlu genetik algoritma yaklaşımını kullanmışlardır [17].

Sakawa ve arkadaşları Bulanık İşlem Zamanı Ve Teslim Tarihli Atölye Çizelgeleme Problemi İçin Etkili Genetik Algoritma adlı çalışmalarında Bulanık atölye çizelgeleme problemini çözmek için gant çizelgesinde kullanılan elemanların benzerliğini kullanan bir etkili genetik algoritma önerilmiştir. Karşılaştırmalı örneklerle benzetim tavlama ve önerilen metodun olabirliği ve etkinliği kıyaslanmıştır [18].

Rachamadagu ve Stecke Esnek İmalat Çizelgeleme prosedürlerinin değerlendirilmesi ve sınıflandırılması çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada değişik türde esneklik gösteren imalathanelerde çizelgelemenin nasıl yapılacağına değinilmiştir [19].

Doğdu ve arkadaşları esnek imalat sistemlerinde optimal bir çizelgeleme çalışması adlı çalışmalarında, toplu ve detaylı çizelgeleme konularında örnekler çözmüş, geleneksel üretim sistemlerinden esnek üretim sistemlerine geçişin gerekliliği üzerinde durmuşlardır [20].

Wadhwa ve arkadaşları Esnek imalat sistemlerinde çizelgelemede bilgi tabanlı genetik algoritma yapısını incelemişler genetik algoritmanın tüm aşamaları (seçim, çaprazlama, mutasyon) bu bilgi tabanlı sisteminde gerçekleşmekte ve daha etkin sonuçlar elde edilmektedir [21].

Gözen, Bulanık çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemleri için parametre optimizasyonu yapmış önce çok prosesli esnek akış tipi problemleri bulanıklaştırmış daha sonra genetik algoritma ve tavlama benzetimi yöntemleriyle çözüp sonuçları karşılaştırmıştır [22].

Ceran, Esnek akış tipi çizelgeleme problemlerini veri madenciliği ve genetik algoritmalar yöntemlerini kullanarak çözmüş, esnek akış tipi çizelgeleme problemleri için parametre optimizasyonu yapmıştır [23].

Tablo 2.1'de literatürde yer alan bu çalışmaları gösteren bir özet tablo bulunmaktadır. Burada önce esnek üretim çizelgeleme, sonra genetik algoritmalar ile esnek üretim çizelgeleme, en son olarak ta bulanık mantık ve genetik algoritmalar ile esnek üretim çizelgeleme problemi çalışmaları ele alınmıştır.

Tablo 2.1 : Çizelgeleme problemleri üzerine yapılmış bazı çalışmalar

Problemın Konusu	Kullanılan Çözüm Yöntemi	Yazarı
Robotlu Esnek Üretim Hücrelerinde Çizelgeleme	Sezgisel Algoritmalar	Hakan Gültekin 2006
Esnek Üretim Sistemlerinde Optimal Bir Çizelgeleme Çalışması	İki kriterli en iyileme modelleri Detaylı çizelgeleme Toplu Çizelgeleme, Johnson Algoritması	N. Doğdu, A. Ş. Onural B. Cerit 2004
Esnek Üretim Sistemlerinde İş Yükleme, Çizelgeleme ve Kesici Uç Yönetimi Problemlerinin Birlikte Çözülmesi	Yerel tarama algoritması Genetik Algoritmalar	Ayten Türkcan 2002
Çok aşamalı, paralel makineli esnek akış atölyesi çizelgeleme problemi	Sezgisel Algoritmalar Öncelik kuralları	Sivrikaya Şerifoğlu, F., ve Ruiz, R., 2005
Esnek İmalat Sistemlerinde Simülasyona Dayalı Çizelgeleme	Siman 3.5 benzetim paket programı ile simülasyon	Yiğit, V. ve Akkaya, G., 1999
Değişen Zamanlı Talepler için Esnek İmalat Sistemlerinde Alternatif Rota Seçimi ve Çizelgeleme için Sezgisel bir Yöntem	Sezgisel Algoritmalar	Güneş Gençyılmaz ve Şakir Esnaf 1995
Esnek İmalat Sistemlerinin Çizelgenmesi için Bir Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli	Doğrusal Programlama	Arkan, M., Erol, S., (1996),
Esnek İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme	Sezgisel Algoritmalar, Öncelik kuralları, Break and built metodu	Ezedeen Kodeekha (2004)
Esnek İmalat Çizelgeleme Problemleri için Sezgisel yaklaşımlar	Sezgisel Algoritmalar	Klaus Jansen, Monaldo Mastrolilli (2005)
Esnek İmalat Çizelgeleme Probleminin Etkin bir Yapısal Algoritma İle Çözülmesi	Öncelik kuralları, C++ ile programlama Genetik Algoritmalar	N. B. Ho and J. C. Tay (2004)
Esnek İmalat Çizelgeleme Prosedürlerinin Sınıflandırılması ve Değerlendirilmesi	Esnek İmalat Çizelgeleme Metotları Öncelik kuralları	Ram Rachamadagu ,Kathryn Stecke (1993)
Esnek İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme için Bilgi Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımı	Genetik Algoritmalar Bilgi tabanlı genetik algoritmalar, Bilgi Yönetimi	Prof. Subhash Wadhwa, Anuj Prakash, Prof. S.G. Deshmukh 2009
Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Üretim Planlama ve Çizelgeleme	Genetik Algoritmalar Tam zamanında üretim	W.H. Ipa, Y. Lib, K.F. Manb, K.S. Tangb (2000)
Esnek İmalat Atölyesinde Genetik Algoritma İle Çizelgeleme	Tabu arama algoritması Genetik Algoritmalar	F. Pezzellaa, G. Morgantia, G. Ciaschettib (2007)
Genetik Algoritma İle Çözümü Gerçekleştirilen Çizelgeleme Problemlerinde Ürün Sayısının Etkisi	Sezgisel Algoritmalar Genetik Algoritmalar	Serdar Biroğul, Uğur Güvenç (2007)
Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Üretim Planlama ve Çizelgeleme	Çok amaçlı optimizasyon Genetik Algoritmalar	Roberto Solis, İmed Kacem (2003)
Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Üretim Planlama ve Çizelgeleme	Genetik Algoritmalar Tabu arama algoritması	Geoffrey Vilcot, Jean-Charles Billaut, Carl Esswein (2006)
Belirsiz Durumlarda Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Üretim Çizelgeleme	Bulanık akıllı çizelgeleme	D. Petrovic, Alejandra Duenas (2005)
Bulanık Mantık Kullanarak Esnek İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme	Bulanık mantık Parça rotalama	Pramot Srinoi A/Prof. Ebrahim Shayan 2004
Bulanık Akış Tipi Çizelgeleme Problemi için Çok Amaçlı Genetik Algoritma	Bulanık mantık, genetik algoritmalar, çok amaçlı eniyileme	İzzettin Temiz ve Serpil Erol (2007)
Esnek İmalat Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritmalar ve Bulanık Mantık İle Çözülmesi	Bulanık işlem zamanları Genetik Algoritmalar	De-Ming Lei, Xiu-Ping Guo (2008)
Bulanık İşlem Zamanları ile Çizelgeleme için Etkin Bir Genetik Algoritma	Benzetim tavlama, bulanık mantık Genetik Algoritmalar	Masatoshi Sakawa*, Tetsuya Mori (1999)

BÖLÜM 3. ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİ

Bu bölümde esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme probleminde bu çalışmada kullanılan materyal ve metotlara ilişkin bilgilere yer verilecektir.

3.1. Esnek Üretim Sistemleri

Çağımızda pek çok alandaki gelişmelere bağlı olarak üretim teknolojisi de büyük bir atılım yapmış; yeni ve ekonomik üretim arayışı içine girmiştir. Bu durum karşısında geliştirilen çözümlerin başında otomasyon gelmektedir. Otomasyonun yaygınlaşmasıyla, üretim sistemlerinin çağımızın dinamizmine ayak uyduracak şekilde esnekleşmesi gereği ortaya çıkmıştır. İstenilen esnekliğin sağlanabilmesi için orta çeşitlilik ve kapasitede üretim gerçekleştirme ihtiyacı, esnek üretim sistemlerini, atölye tipi kesikli üretimle, parti üretimi arasında bir yere koymaktadır.

EÜS kavramı, 1960'lı yıllarda Londra'da ortaya atılmış ve son 20 yılda oldukça gelişmiştir. Buna göre esnek üretim sistemi, bir anabilgisayar altında organize edilmiş ve merkezi bir taşıma sistemi ile bağlanmış üretim araçları topluluğudur [24].

Esnek üretim sistemleri, materyal akışı, bilgisayar kontrolü, iletişim, üretim ya da montaj işlemlerinin bütünleştirilmesini ifade eden bir kavramdır [25].

Esnek üretim sistemleri, farklı parça ve ürünleri önemli bir değişiklik ya da tezgah duruşuna gerek kalmaksızın, üretebilme kabiliyeti olan sistemlerdir [26].

Yukarıdaki tanımlardan da anlaşılacağı üzere, esnek üretim sistemleri, robotlar, otomatik malzeme taşıma sistemleri ve nümerik kontrollü tezgahlar ile desteklenmiş, bilgisayar kontrollü, iki ya da daha fazla esnek üretim hücresinden oluşan bir sistemdir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında tipik bir esnek üretim sisteminin işleyişi şu aşamalardan geçmektedir:

- a) Öncelikle nihai bir ürünü oluşturacak parça ve malzemeler malzeme taşıma sistemine yüklenir. Sistemi kontrol altında tutan bilgisayar sistemine üretilecek ürünü tanımlayan bir kod girilir.
- b) Parçalar sistem boyunca paletler ile taşınır.Paletler parçaları, üretim sürecine girmesi için makinelerde sıraya sokar.
- c) Üretilecek ürün için belirlenecek rotalama bilgileri bilgisayar hafızasına önceden yüklenir.
- d) Otomatik malzeme taşıma sistemi,parçaları bir makineden diğer bir makineye süreç planında belirlenen sıraya göre taşır.
- e) Üretilecek ürünün özelliğine göre bir parça birden fazla makineye girebilir.
- f) Bilgisayar talimatlarıyla bir parti üretiminden diğerine geçişte tezgahlar üzerinde yapılması gerekli takım değişiklikleri otomatik olarak gerçekleştirilir.
- g) İşlemi tamamlanan parça, otomatik olarak bir yükleme/boşaltma istasyonuna gönderilir.
- h) Parça paletten çıkarılır ve yeni parça palete yüklenir.
- i) Tüm operasyon tamamlandıktan sonra,parçalar diğer bir istasyona gönderilmek üzere malzeme taşıma sisteminden manuel olarak boşaltılabileceği gibi, otomatik depolama/çekme sistemleriyle de boşaltılabilir.

3.1.1. Esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme kavramı

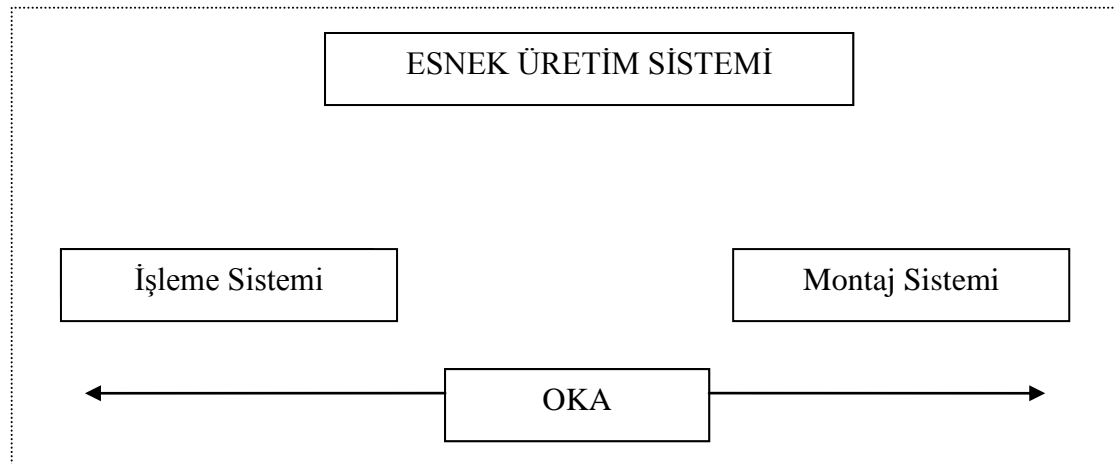
Çizelgeleme; belirli bir takım işleri yapmak için hangi kaynakların ne zaman ve nasıl kullanılacaklarını tespit eder. Etkin bir çizelgeleme sayesinde belirli faaliyetlerin daha az kaynak kullanımıyla ve/veya daha kısa zamanda yapılabilme olanağı ortaya çıkmaktadır [27].

EÜS'de çizelgeleme, üst seviyede karar vermeden, detaylı karar vermeye kadar değişen hiyerarşik yapıyla tanımlanır. Üst seviye çizelgeleme genişletilmiş zaman periyodunda üretim ve fabrika organizasyonları için planlamayı belirtir. Örneğin kaynak planlaması ve operasyonların sıralarının oluşturulması gibi. Bu seviyede

amaç çok fonksiyonlu aktivitelerin koordinasyonudur. Detaylı seviyede ise çizelgeleme, gün boyunca talebi kontrol eder ve üretim hedeflerini gerçekleştirmeyi sağlar. EÜS'de çizelgeleme probleminde ise, gerçek zamanda EÜS'nin çalıştırılması söz konusudur. Çizelgeleme probleminin konusu, belli bir zamanda hangi parçanın sisteme girişi yapıp işleneceğine karar verilmesi, hangi sıranın optimum sırayı vereceğinin saptanmasıdır. EÜS çizelgeleme problemlerinin önemi ve faaliyet alanı konusundaki tartışmalar ve araştırmalar bu seviyede karar vermenin çok zor ve kompleks olduğunu gösterir. Bu karmaşıklık, üretim sistemlerindeki birçok makine çeşidinin arttırılmış olan esnekliğinden kaynaklanır. Karar verme işleminin karmaşıklığı, yerine getirilmesi gereken çok sayıda amaçlardan (iş yükünü dengeleme, parça dolaşımını minimize etme, mevcut makine kullanma oranını maksimize etme v.b.) dolayı artmaktadır [28].

3.1.1.1. Bir esnek üretim sisteminin iki aşamalı çizelgenmesi

Çizelgeleme konusunda yapılan çalışmalarda genellikle işleme ve montaj sistemleri birbirinden bağımsız tutulmuştur. Bu uygulamada ise, montaj ve işleme alt sistemlerini içeren bir EÜS'nin iki aşamalı çizelgeleme algoritması geliştirilmiştir. İlk aşamayı, iki makineli akış tipi atölye problemine benzetmek mümkündür. İkinci aşamadaki algoritmada ise, işler parça ve ürün önceliklerine göre çizelgenmişlerdir. Bu uygulamadaki EÜS'nin yapısı Şekil 1.'de gösterilmiştir. İşleme montaj sistemleri OKA (Otomatik Kılavuzlu Araçlar) sistemiyle birbirine bağlanmıştır. İlk olarak parçalar işlenmekte daha sonra montaja gönderilmektedir.



Şekil 3.1. Esnek üretim sisteminin yapısı

3.1.1.2. Örnek bir toplu çizelgeleme problemi

Tipik bir fabrika belirli sayıda ürünü daha önce saptanan bir güne kadar üretmektedir. Burada montajda ve işlemede geçen zamanlar deneysel hesaplama yöntemiyle bulunmuştur (dakika). Toplu çizelgeleme problemi formüle edilirse:

B_{Pi}: Her ürün partisi.

M_{GZi}: Montajda geçen zaman.

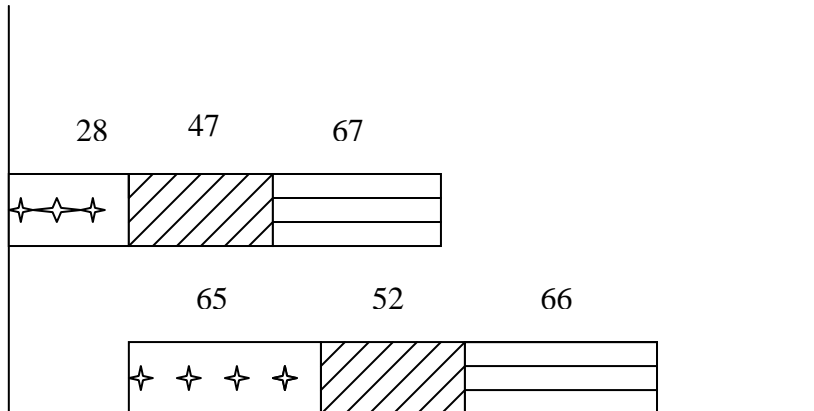
İ_{GZi}: İşlemede geçen zaman.

Öncelikle aşağıdaki verilere göre toplam zamanı minimize eden bir toplu çizelgeleme yapılır (Çizelge 1.).Burada üç ürün bulunmakta ve toplu EÜS çizelgelemesi iki makineli akış tipi atölye çizelgelemesi problemi olarak düşünülmektedir. Buna göre, makine 1 işleme, makine 2 de montaj sistemlerine karşılık gelecektir. Bu nedenle burada Johnson algoritması kullanılır.

Tablo 3.1. Örnek problemin uygulama verileri

Ürün No	P1	P2	P3
İ _{GZ_i}	47	67	28
M _{GZ_i}	52	66	65

Johnson algoritmasıyla sıralama P3, P1, P2 şeklindedir. Sonuçlar Gantt şeması olarak Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. EÜS ' de Toplu çizelgeleme problemi çözümü

EÜS'lerin üretim sistemlerinde çizelgeleme problemleri çok geniş karar alma işleminin yalnızca bir bölümü olmasına rağmen, sistemin genel performansında önemli bir faktör olduğu kanıtlanmıştır. Çizelgeleme kararları içeride makine teçhizat donanımı gibi pahalı kaynakların kullanımını etkilemesi, dışarıda ise değişen müşteri taleplerini karşılamadaki etkisi açısından önemlidir. EÜS' de çizelgelemenin etkinliği için sistemdeki çeşitli zayıflıklara izin verilmemesi gerekir. Bu zayıflıklar sistemin gerektirdiği kadar kaynak kullanılmaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu zayıflıkların çözülmesi ile sisteme müdahale edilmeden operasyonların yerine getirilmesi sağlanacaktır.

BÖLÜM 4. BULANIK MANTIK GENETİK ALGORİTMALAR VE TAGUCHI METODLARI

Bu bölümde esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme probleminde kullanılan bulanık mantık, genetik algoritmalar ve Taguchi metodlarına değinilecektir.

4.1. Bulanık Mantık

Mühendislikte ve diğler bilim dallarında olaylar ve sistemler, kesin matematiksel modeller kullanılarak tanımlanırlar. Oluşturulan bu modellerin kullanılması ile olayın veya sistemin gelecekte alacağı durum veya göstereceğı davranış biçimi tahmin edilmeye çalışılır. Hâlbuki günlük yaşantıda karşılaşılan problemlerin büyük bir çoğunluğu ya çeşitli nedenlerden dolayı tam olarak modellenemeyebilir ya da kesin bir durumu ifade edemeyebilirler [29].

Bir kavramı, bir amacı ve bir sistemi tanımlayan ifadelerdeki belirsizliğe veya kesin olmama haline bulanıklık denir. İnsanların düşünce biçimindeki algılama farklılıkları, onların sübjektif davranışları ve hedeflerindeki belirsizlikler bulanıklık olgusu ile açıklanabilir. Belirsizlik veya bilgi eksikliğini gidermek için olasılık teorisi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Olasılık teorisindeki belirsizlik, genellikle olayların gerçekleşip gerçekleşmemesi ile ilgilidir. Bu durum, olasılık teorisinde rassallık kavramıyla açıklanmaktadır. Bununla birlikte, belirsizlik kavramı farklı bir açıdan da ele alınabilir. Çünkü rassallık kavramı ile bir olayın meydana gelişindeki belirsizlik açıklanırken, bulanıklık kavramı ile bir olayın kendisindeki belirsizlik açıklanır. 1930'larda ünlü Amerikan filozofu Max Black tarafından belirsizliği açıklayıcı öncü kavramlar geliştirilmiş olsa da, Zadeh tarafından yayınlanan makale, modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir nokta olarak kabul edilir. Zadeh, bu makalede, kesin olmayan sınırlara sahip nesnelere oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koymuştur.

Bulanık Küme kuramı ilk kez 1964 yılında Berkeley’ de California Üniversitesi öğretim üyelerinden aslen Azerbaycanlı olan Prof. Lotfi Asker ZADEH tarafından ele alınmış ve hızla gelişerek, birçok bilim adamının ilgisini çeken, araştırmaya açık yeni bir dal olmuştur. Zadeh bir sistemdeki kontrol edilemeyen etkenlerin yarattığı belirsizliğin değişik yansımalarını ve bu sistem içindeki kişilerin algılarındaki farklılıkları 1965 yılında ‘ bulanık kümeler’ adı altında yayınlanan makalesinde ele almıştır. Zadeh’ e göre bir sistemdeki karmaşıklık arttıkça, sistemi tanımlayan ifadelerin anlamı azalmakta ve anlamlı ifadeler de belirsizliğe doğru gitmektedir. Bir kavramı, bir amacı ve bir sistemi tanımlayan ifadelerdeki belirsizliğe veya kesin olmama haline bulanıklık denir. İnsanların düşünce biçimlerindeki algılama farklılıkları, sübjektif davranışları ve hedeflerindeki belirsizlikler bulanıklık olgusu ile açıklanabilir. Belirsizlik ve bilgi eksikliğini gidermek için olasılık teorisi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Olasılık teorisindeki belirsizlik, olayların gerçekleşip gerçekleşmemesi ile ilgilidir. Bulanıklık kavramı ise bir olayın kendisindeki belirsizliği açıklar.

Geçmişte genel ve özel olarak belirsizlik ifade eden terimler ve kavramlar, gelişigüzel bir ayrıma tutulmuşlar ve iki değerli kümeler kuramıyla tanımlanmışlardır. Bu zorlama bazı kavram kargaşalarına neden olmakta ve tanımlamalarda oluşan belirsizlikler nedeniyle gelişmelerde olumsuz sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Son yıllarda gelişen bulanık kümeler kuramı ile belirsizlik ifade eden terimlere belirlilik derecesi atayarak, böylece bunların ‘Çok Değerli Kümeler’ kapsamı içine alınmaları ve bu yolla tanımlanmış olmaları sağlanmıştır. Geleneksel kümeler ile bulanık kümeler arasındaki en temel fark üyelik fonksiyonlarıdır. Geleneksel bir küme sadece bir üyelik fonksiyonu ile nitelenebilirken, bulanık küme teorik olarak sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu ile nitelenebilir. Bulanık mantık ile matematiğin gerçek dünyayı yorumlamasında daha geniş bir uyarlama alanı bulunmuştur. Artık sadece siyah ve beyaz yoktur. Bunların arasında, bütün renkler ve onların her tondaki nüansları da yer alabilmektedir. İki değerli mantığın keskin değerleri yerine daha gevşek değerlendirmeler gelmiş olmaktadır. Örneğin, [sıcak/soğuk] arasına ılık girebilmektedir. Uzak/yakın, hızlı/yavaş gibi ikili denetim değişkenlerinden oluşan keskin dünyayı, biraz hızlı/ biraz yavaş, serin/ılık, v.b. gibi gevşek niteleyicilere belli üyelik dereceleri atayarak gerçek dünyamıza yansıtmayı ve

gerçek dünyayı daha yaklaşık olarak temsil eden bir sistem kurmayı başarmış olmaktadır. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarındaki çeşitlilik, yöneticilerin karar almadaki belirsizliklerini azaltır. Bulanık küme teorisi Zadeh' in yayınladığı tarihten bu yana başta yöneylem araştırması, yönetim bilimi, yapay zekâ/akıllı sistemler, insan davranışları olmak üzere pek çok uygulama sahası bulmuştur. Ve uygulamalar artarak yaygınlaşmaktadır.

Günümüzde bulanık mantık, hayatımızın içine iyice girmiştir. Kullandığımız birçok ürünün çalışma sisteminde bulanık mantığı görebiliriz. Örneğin; ABS fren sistemleri, araçların yol bilgisayarları, klimalar, çamaşır makineleri, buzdolapları, trafik kontrolleri, asansörler... Özellikle son yıllarda hızla artan yapay zekâ, robotik, sinirsel ağlar, uzman sistemler gibi çalışmalarda bulanık mantıktan da yararlanılmaktadır.

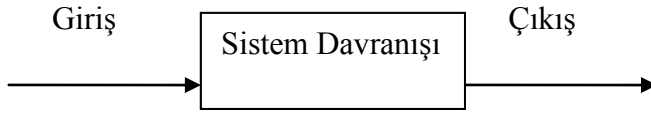
“Bulanık Mantık” kavramını ilk kullanıldığı makalesinde Zadeh, iki anahtar kavram üzerinde durmuştur[30].

Bunlar;

- a) “Dilsel Değişken” (Linguistic Variable) Kavramı
- b) “Bulanık eğer-ise Kuralı” (Fuzzy if-then Rule)

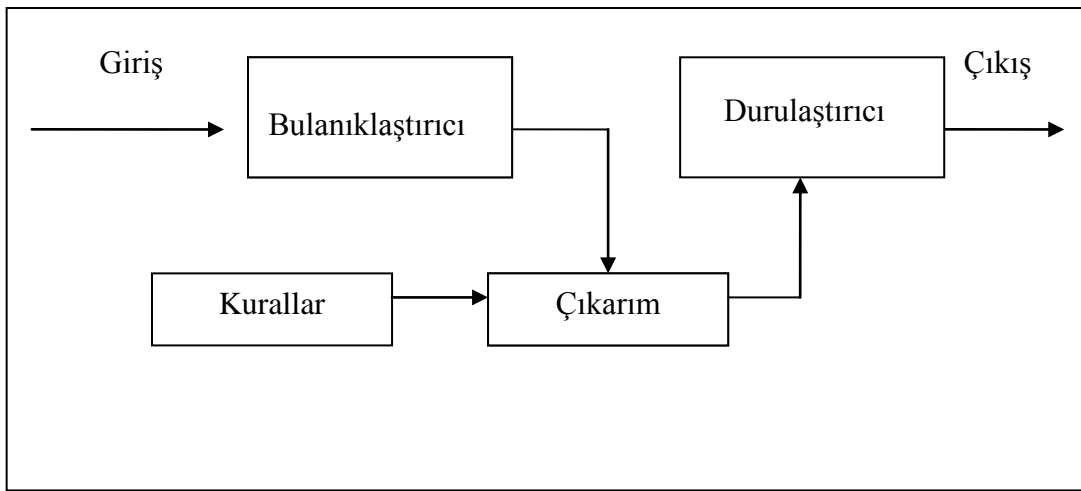
Zadeh'e göre, bir sistemdeki karmaşıklık arttıkça, sistemi betimleyen ifadelerin anlamı azalmakta ve anlamlı ifadeler de belirsizliğe doğru gitmektedir [31].

Genellikle bilinen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 3.1.'de görülen üç ayrı birimden ibarettir. Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı olarak isimlendirilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Bu birimlerin hepsinde sayısal veri çıkış veya işlemler yapılmaktadır [32].



Şekil 4.1. Klasik Sistem

Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı; sistem davranışı kısmının dörde ayrılarak Şekil 3.3.'de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 4.2. Bulanık Mantığın Temel Elemanları

Girdi değerleri çoğunlukla kesin değerlerdir. Bulanıklaştırıcının görevi, bulanık kümeler (burada girdiler bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan bulanık değişkenlerdir) içine kesin sayıları haritalamaktır. Kurallar “Eğer-ise” kurallarının oluşturduğu bulanık mantığı esas alır. Kurallar, klasik uzman sistemlerde insan deneyimlerinden çıkarılır. Bulanık kural tabanlı sistemlerde ise, kural tabanı insan deneyimlerinin yardımıyla şekillendirilir. Bu deneyimlerden elde edilen sözel bilgi ve ölçümlerden elde edilen sayısal bilgi birleştirildiğinde ilginç bir durum ortaya çıkar. Bu durumda, kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır. Diğer adımda ise, bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın Çıkarım makinesi, bulanık kümeler içine haritalanır. Durulaştırma esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Literatürde farklı durulaştırma yöntemleri mevcuttur. Seçilen sonuç değeri genellikle ya en yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeridir.

4.1.1. Bulanık kümeler

Klasik kümeler üye olma ve üye olmama ilişkisi çerçevesinde geliştirilmişlerdir. Bu yaklaşıma göre istediğimiz özelliğe sahip olan bir birey, eleman veya çalışma alanı içerisindeki ölçümler tanımlanmış olan bir kümeye ya aittir ya da değildir. Bu tür kümeleri ifade etmekte ise karakteristik fonksiyonlardan yararlanılmaktadır. Karakteristik fonksiyon her bir elemana 1 ve 0 değerlerinden birini üyelik durumuna göre atayarak evrensel küme üzerinde tanımlanan ve bizim ilgilendiğimiz özelliğe sahip elemanların oluşturduğu kümeyi belirlemektedir. Klasik küme kavramında, bir X kümesindeki A alt kümesi kendisine ait karakteristik fonksiyon olan χ_A ile ifade edilmektedir. Buradaki karakteristik fonksiyon X 'in elemanlarını $\{0,1\}$ kümesine dönüştürmektedir. Klasik bir A kümesini karakteristik ifadesi yardımıyla aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür [33].

$$\chi_A : X \rightarrow \{0,1\}$$

$$\forall x \in X, \chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

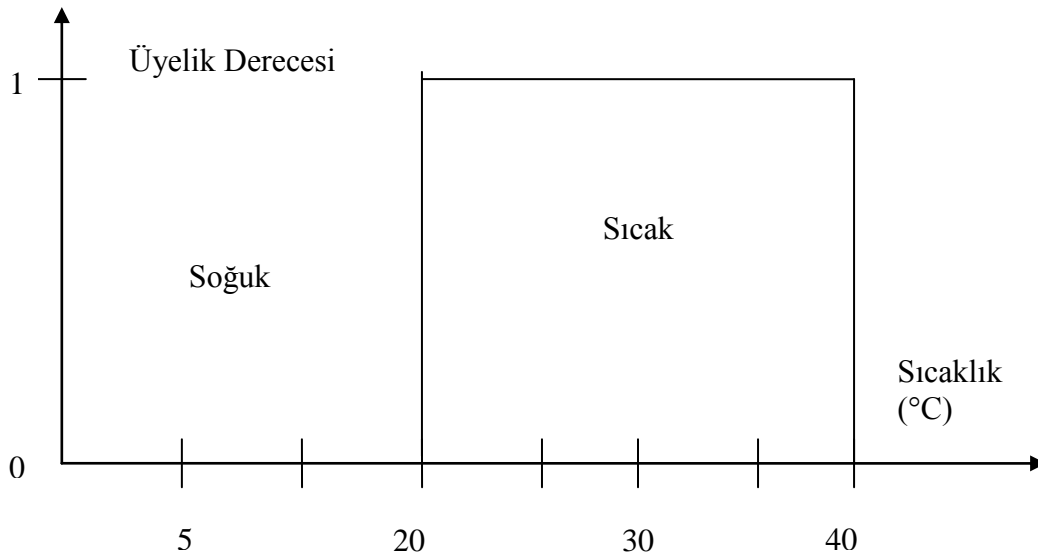
Söz konusu fonksiyonda görüldüğü gibi A kümesine ait elemanlar 1 değerini alırken, ait olmayan elemanlar ise 0 değerini almaktadır. Klasik kümelerde bir eleman birden fazla kümeye ait olabilmekte ve ait olduğu kümelere de aynı üyelik derecesi ile yani üyelik derecesi 1 olarak bağlı olabilmektedir. Burada 1 değerini alan elemanlar oluşturulan kümeyi belirlemekte ve klasik kümelerde bir eleman için üyelikten üye olmamaya geçişin çok kesin olduğu görülmektedir. Oysaki gerçek hayatta her kümenin sınırları ve bu kümelere ait her elemanın sıfatı o kadar kesin olmamaktadır. Böylece klasik küme anlayışının gerçek hayatta karşılaşılan bazı durumlarda yetersiz olduğu görülebilmektedir. Klasik küme teorisine karşın, bulanık küme teorisi ise bize gerçek hayatta belirsizliklerin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmakta ve doğal dildeki belirsiz kavramların anlamlı bir şekilde ifade edilmesini de sağlamaktadır [34].

Bulanık küme teorisinde, bulanık kümeleri içeren bir evrensel küme içerisindeki elemanların üyelik geçişi dereceli olmaktadır. Eğer bir eleman herhangi bir kümeye ait olacaksa, o elemanın o kümeye ait olma derecesi de söz konusu olmaktadır. Bu derecelendirme bulanık kümelerin sınırlarına belirsizlik özelliğini katmaktadır. Bu sebeple bir elemanın bu kümeye aitliği belirsizliğini ölçmeye yarayan bir fonksiyonla tanımlayabilmektedir. Söz konusu fonksiyon evrensel kümenin elemanlarını belirli bir aralıktaki reel sayılara karşılık getirerek elemanlar arasındaki derecelendirmeyi gerçekleştirmektedir. Küme içerisinde değişkenlerin aldığı yüksek değerler de üyelik derecesinin yüksekliğini göstermektedir. Buradaki fonksiyon üyelik fonksiyonu ve bu fonksiyonun oluşturduğu küme de “Bulanık Küme” olarak ifade edilebilmektedir. Bulanık bir A kümesini aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkün olmaktadır X boş olmayan bir küme olmak üzere; X’ deki bir bulanık A kümesi

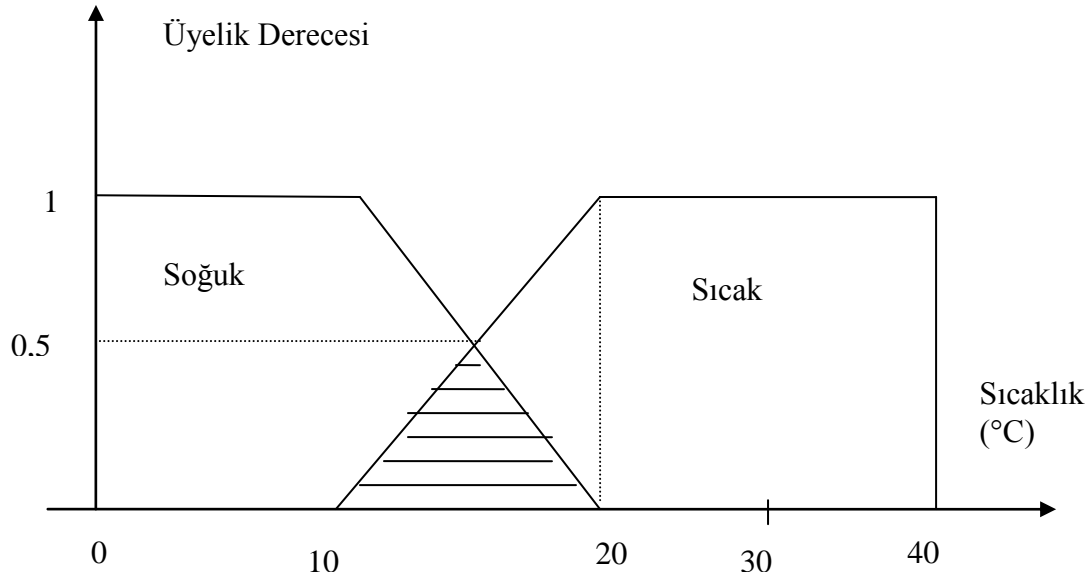
$$\forall x \in X \text{ için ; } \mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

olarak ifade edilebilmektedir. Burada $(x) \in A$ μ_A ’e, bulanık kümeye karşılık gelen üyelik fonksiyonu adı verilmektedir. $(x) \in A$ μ_A ; A’nın elemanlarının istenilen özelliği hangi ölçüde sağladığının ifadesi olmaktadır Bulanık küme teorisinde bir eleman bir kümeye 0 ve 1 dâhil olmak üzere, 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri ile ait olmaktadır. Başka bir deyişle bulanık kümelerde bir bulanık küme elemanı bir kümeye biraz aittir veya biraz değildir denilebilmektedir. Aynı zamanda da bir bulanık küme elemanı aynı anda birbirinin aynısı veya farklı üyelik dereceleri ile iki kümeye de aitliği söz konusu olmaktadır. Klasik küme anlayışında olduğu gibi ya hep ya hiç anlayışı bulanık kümelerde geçerli olmamaktadır. Bulanık mantıkta kümenin sınırları ve elemanlarının sıfatları kesin olmadığından bulanık küme anlayışının gerçek hayatın ruhuna daha yakın olduğu söylenebilmektedir. Bulanık küme teorisine göre bir küme elemanının o kümenin elemanı olduğunun bilinmesi, o elemanın tanımlanması için yeterli olmamaktadır. Söz konusu elemanın hangi üyelik derecesi ile söz konusu kümeye ait olduğunun da bilinmesi gerekmektedir. Bu durumu bir örnek ile açıklamak gerekirse, 40°C’lik bir sıcaklık, Diyarbakır yazı için “sıcaklık” uzayının bir alt kümesi olan “sıcak” bulanık kümesinin 0,9’luk bir üyelik derecesi ile elemanı iken aynı zamanda “çok sıcak” bulanık kümesinin 0,2’lik bir

üyelik derecesi ile elemanı olabilmektedir. Oysaki aynı sıcaklık derecesi (40°C) İstanbul yazı için “sıcaklık” uzayının bir alt kümesi olan “çok sıcak” bulanık kümesinin ise 1,0’lık bir üyelik derecesi ile elemanı olabilmektedir. Böylece değerlerin bir bulanık kümeye aitlik ölçüsünü gösteren “üyelik dereceleri” her zaman her yerde aynı olamayabilmektedir. Buradan da açıkça görülmektedir ki bulanık kümelerin kullanılabilirliği büyük oranda farklı kavramlara uygun üyelik derecesinin oluşturulabilmesine bağlı olmaktadır. Günlük yaşamda kullanılan düşük, orta seviye, yüksek, sıcak, çok sıcak ve bunun gibi kavramları temsil eden çeşitli bulanık kümeler bir değişkenin durumlarını tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu değişkenlere bulanık değişkenler ve bu değişkenlerin alt durumlarına da bulanık terimler denilmektedir. Bulanık kümeye ait olacak bulanık değişkenler belirsizlikleri deneysel verilerin bir parçası olarak ele aldıklarından gerçeğe daha uygundur ve bilgiler hakkında klasik değişkenlere dayanan bilgilerden daha doğru bilgiler verebilmektedirler.



Şekil 4.3. Sıcaklık değişkeni için klasik küme örneği



Şekil 4.4. Sıcaklık değişkeni için bulanık küme örneği

Şekil de klasik küme örneğinde, 20°C ile 40°C arasındaki değerler 1 üyelik derecesi ile sıcak kümesine ait olmaktadır. Eğer sıcaklık 20°C'nin altına düşerse söz konusu değerler sıcak kümesine ait olmayacaklardır. Şekil 3.6. da bulanık küme örneğinde ise, 20°C ile 40°C arasındaki değerler 1 üyelik derecesi ile sıcak kümesine ait olmaktadır. 0°C ile 10°C arasındaki değerler 1 üyelik derecesi ile soğuk kümesine aittirler. 10°C ile 20°C arasındaki değerler ise hem sıcak kümesine hem de soğuk kümesine ait olmaktadır. Bulanık küme teorisinin üyelikten üye olmamaya dereceli geçişi ifade etmesindeki yeteneği, bize belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçları sunmakta ve doğal dilde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir şekilde temsilini de vermektedir. Bulanık kümeler, karşımıza kesikli ve sürekli bulanık kümeler olarak çıkmaktadır. $X=\{x_1, x_2, \dots\}$ olmak üzere kesikli bir bulanık A kümesi

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\}$$

olarak ifade edilirken sürekli bir bulanık A kümesi

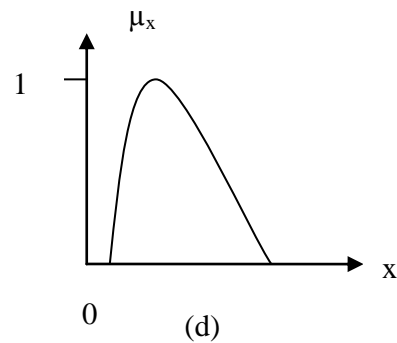
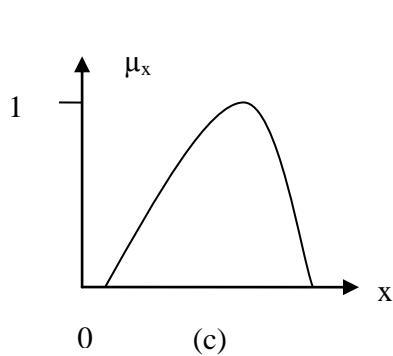
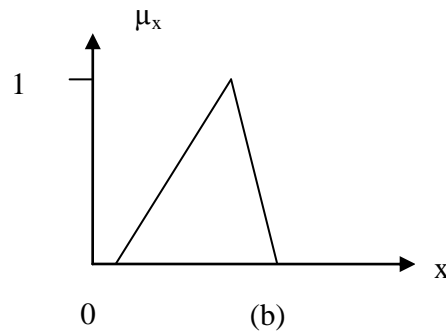
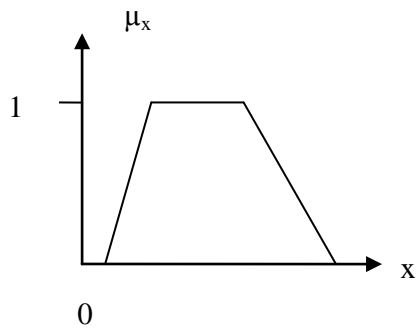
$$\underline{A} = \left\{ \int \frac{\mu_A(x)}{x} \right\}$$

olarak ifade edilebilmektedir. Kesikli ve sürekli bulanık küme gösterimlerinde yukarıdaki bölme işareti asla bölmeyi göstermemekte, küme elemanları ile o elemanların üyelik derecesini birbirinden ayırmak için kullanılmaktadır. Buradaki (+) işareti de toplama işaretini göstermeyip, küme elemanlarının topluluğunu ifade etmektedir. Aynı şekilde integral işareti de yine topluluğu gösteren bir işaret olarak kullanılmaktadır.

Çoğu durumda, bulanık kümeler sürekli alanlardan oluşur. Bu durumda üyelik fonksiyonları için matematiksel fonksiyonlar ve grafikler tanımlanır. Çoğu durumda, üçgen, yamuk, s-şekilli ve gauss fonksiyonları tercih edilir. Üçgen şekilli bulanık küme aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\mu_A(x) = m_1x + h_1 \quad x \leq a$$

$$\mu_A(x) = -m_r x + h_r \quad x \geq a$$



Şekil 4.5. Yaygın Olarak Kullanılan Üyelik Fonksiyonları

(a) Yamuk Şekilli

(b) Üçgen Şekilli

(c) Gauss Üyelik Fonksiyonu

(d) Çan Şekilli

Tüm üyelik fonksiyonları, sürekli, normal ve konvektir

Üçgen şekilli üyelik fonksiyonu düşünüldüğünde; üyelik değeri 1 olan eleman olduğu kısım fonksiyonun özü, üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değişen elemanların olduğu kısım fonksiyonun kısımları, üyelik fonksiyonu 0 den büyük olan elemanların oluşturduğu kısım ise fonksiyonunun dayanağı olarak adlandırılır. Normal olma özelliğinden dolayı üyelik fonksiyonunun değeri en az bir eleman için 1 olmalıdır. Ayrıca üyelik fonksiyonları sürekli artan ve sürekli azalan özelliğine sahip olmalıdır. Üyelik değeri 0,5 olan kısım geçiş noktası, en yüksek üyeliğe sahip olan kısım ise yükseklik olarak adlandırılır. Bulanık küme kavramı için önemli olan bir diğer kavram ise dilsel değişken kavramıdır. Cebir değişkenleri sayısal değerler alırken, dilsel değişken kelime veya cümle şeklindeki metin değerler almaktadır. Bu değerlerin kümesi terim kümesi olarak adlandırılır. Terim kümesi içindeki her bir değer, temel değişkenlere dayanarak tanımlanmış bulanık bir değişkendir. Dilsel değişkenin “yaş ” olarak etiketlendiği varsayılırsa; bu dilsel değişkenin her biri bir bulanık kümeyle karşılık gelen, terimleri, “yaşlı”, “çok yaşlı”, “orta yaşlı”, “biraz genç”, “ genç”, “çok genç” şeklinde olabilir. Her bir terim, 0 ile 100 arasında ölçeklendirilebilen temel değişkenlerin üzerinde tanımlanan bulanık bir değişkendir.

4.1.2. Bulanık kümeleme yöntemi

Kümeleme analizi veri nesnelere yalnızca nesnelere tanımlayan ve ilişkilerini ortaya koyan verilerden çıkarılacak bilgiler ışığında gruplar. Amaç aynı grup içerisindeki nesnelere birbirine benzer veya ilişkili olması; farklı gruptakilerin ise birbirinden farklı olması ya da ilişkilerinin bulunmamasıdır. Aynı gruptakilerin birbirine benzeme oranı ya da farklı gruptakilerin ise birbirinden farklı olma oranları kümelemenin ne kadar iyi olduğunun ya da kümelerin birbirlerinden ne kadar kesinlikle ayrıldıklarının göstergesidir.

Bulanık Kümeleme Yöntemi , kümeler birbirinden belirgin bir şekilde ayrılamıyorsa ya da küme üyeliklerinde bazı birimler üyelikte kararsızsa uygun bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Bulanık kümeler, kümedeki birimin üyeliği olarak tanımlanan 0 ile 1 arasındaki her bir birimi belirleyen fonksiyonlardır. Birbirine çok benzeyen

birimler aynı kümede yüksek üyelik ilişkisine göre yer alırlar. Bundan dolayı BKY, birimlerin kümeye ya da kümelere ait olabilme katsayılarını hesaplar. Üyelik katsayılarının toplamı daima 1'e eşittir. Böylelikle birim, en yüksek üyelik katsayısına sahip olduğu kümeye atanır. Üyelik fonksiyonları, kümedeki elemanlar sürekli veya süreksiz olsun bir bulanık kümedeki bulanıklığı karakterize eden fonksiyonlardır. Klasik kümeleme yöntemlerinde ise her bir birim sıfır olmayan sadece bir üyelik katsayısına sahiptir ve bu değer daima 1'dir. Dolayısıyla klasik kesin kümeleme yöntemleri, bulanık çözümlemenin sınırlı bir durumudur [35].

Bulanık kümelemede, bir nesne belirli bir ağırlık değeriyle tüm kümelere ait olur. Bu ağırlık değeri 0(hiç ait olmama) ile 1(tamamıyla aitlik) arasında değerler alır. Diğer bir deyişle, kümeler mantık setleri olarak ele alınırlar. (Matematiksel olarak bir bulanık set içinde bir nesne herhangi bir sete 0 ile 1 arasında değerler alan bir ağırlık değeriyle aittir. Bulanık kümelemede, bir nesne için toplam ağırlık değerinin 1 olması gibi bir kısıt ortaya koyarız.) Benzer şekilde, olasılı kümeleme teknikleri de her bir noktanın her bir kümeye aitliğine dair bir olasılık hesaplar ve bu olasılıklar toplamı da 1 olmak zorundadır. Üyelik ağırlıklarının ya da olasılıkları toplamının 1 olması sebebiyle, bulanık ya da olasılı kümeleme gerçek birden fazla sınıflandırma(ture multiclass) durumunu açıklamazlar, örneğin bir öğrenci çalışanı durumunda bir nesne birden çok sınıfa aittir. Bunun yerine, bu yaklaşımlar bir nesnenin rastgele yalnızca bir kümeye atanmasının önüne geçildiği ve aslında birden çok kümeye yakın olduğu durumlar için elverişlidir. Pratikte, bir bulanık ya da olasılı kümeleme bir seçkin kümelemeye dönüştürülür; şöyle ki bir nesne ağırlığının ya da olasılık değerinin en fazla olduğu kümeye atanır.

4.1.3. Bulanık denetim uygulamaları

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise insana özgü tecrübe ile öğrenme olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur. Bulanık mantık konusunda yapılan araştırmalar Japonya'da oldukça fazladır. Özellikle fuzzy process controller olarak isimlendirilen özel amaçlı bulanık mantık mikroişlemci çipi'nin üretilmesine çalışılmaktadır. Bu teknoloji fotoğraf makineleri, çamaşır makineleri,

klimalar ve otomatik iletim hatları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bundan başka uzay araştırmaları ve havacılık endüstrisinde de kullanılmaktadır. TAI' de araştırma gelişme kısmında bulanık mantık konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Yine bir başka uygulama olarak otomatik cıvatalamaların değerlendirilmesinde bulanık mantık kullanılmaktadır. Bulanık mantık yardımıyla cıvatalama kalitesi belirlenmekte, cıvatalama tekniği alanında bilgili olmayan kişiler açısından konu Őeffaf hale getirilmektedir. Burada bir uzmanın değerlendirme sınırlarına erişilmekte ve hatta geçilmektedir.

Tablo 4.1. Bulanık Mantık Uygulamaları

Uygulama Alanı	Uygulayan Firma	Uygulamanın Avantajları
Asansör Denetimi	Fujitec, Toshiba	Yolcu Trafiğini Değerlendirir. Böylece Bekleme Zamanını Azaltır.
	Mitsubishi, Hitachi	
SLR Fotoğraf Makinesi	Sanyo-Fisher	Zoom'u ve Aydınlatmayı Belirler.
	Canon, Minolta	
Elektrikli Süpürge	Matsushito	Yerin Durumunu ve Kiriliğini Seçer ve Motor Gücünü Uygun Bir Şekilde Ayarlar
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihazın Elle Tutulmasının Nedeni ile Çekim Sırasında Oluşan Sarsıntıları Ortadan Kaldırır.
Çamaşır Makinesi	Matsushito	Çamaşırın Kiriliğini, Ağırlığını, Kumaş Cinsini Seçer Ona Göre Yıkama Programını Seçer
Su Isıtıcısı	Matsushito	Isıtmayı Kullanılan Suyun Miktar ve Sıcaklığına Göre Ayarlar
Klima Cihazı	Matsushito	Ortam Koşullarını Sezerek En İyi Çalışma Durumunu Saptar, Odaya Birisi Girerse Soğutmayı Artırır.
Otomobil Aktarma Organı	Subaru-Nissan	Arabanın Kullanış Stilini ve Motor Yükünü Sezerek En İyi Dişli Olanını Seçer
ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin Kilitlemeden Frenlenmesini Sağlar
Çimento Sanayi	Mitsubishi Chemicals	Değirmende Isı ve Oksijen Oranı Denetimi Yapar
Üretim Planlaması	Turksen	Üretim Planlamasında Bulanık Mantık Kullanılır

4.2. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar (GA) günlük hayatta karşılaştığımız çözümü imkânsız ya da çok zor olan karmaşık problemlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. GA 1970’li yıllarda Michigan Üniversitesinde öğretim üyeliği yapan John Holland ve onun çalışma arkadaşları ile öğrencileri tarafından geliştirilerek bilgisayar ortamına taşınmıştır. Daha sonra John Holland’ın öğrencisi David Goldberg’in “Gaz Borularının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu” adlı doktora tezi ile birlikte genetik algoritmaların teorik olmaktan öteye piyasalarda uygulanabilirliği ispatlanmıştır. 1989 yılında David Goldberg’in bu konuda klasik sayılabilecek kitabı yayınlanmıştır[36].

Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemi olarak ifade edilmektedir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılmış olan genetik algoritmalar hakkında birçok bilimsel çalışma yayınlanmıştır. Genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar [36]. Diğer bir önemli üstünlükleri ise çözümlerden oluşan popülasyonu eş zamanlı incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır. Genetik Algoritmalar(GA) daha çok;

- a) matematiksel modeli kurulamayan
- b) çözüm alanı oldukça geniş,
- c) problemi etkileyen faktörlerin çok fazla olduğu problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Bu problemlerin basında endüstride karşılaşılan is sıralama çizelgeleme problemleri gelmekte ve en çok kullanılan alanlardan birisini oluşturmaktadır.

4.2.1. Genetik algoritmaların kullanılma nedenleri

Problemlerin maksimizasyonunda, minimizasyonunda, en iyileme veya optimizasyonunda öncelikle niçin diğer yöntemlerin kullanılmadığı belirtilmelidir.

Genelde bu problemlerin çözümünde;

- a) Türev ve integral hesap,
- b) Numaralama yöntemleri,
- c) Rastgele arama yöntemleri gibi üç tip temel çözüm yönteminden yararlanır.

Türev ve integral hesaba dayanan hesaplama yöntemleri çok yoğun kullanılmıştır. Bu yöntemler fonksiyonun 1.mertebe türevini sıfır yapan köklerinin fonksiyona en küçük ve en büyük değer veren noktalar olmasına dayanır. Gerçek problemler için bu noktaları bulmak çok daha ayrı bir problemdir. Bilinen diğer bir yöntem ise, alınan bir başlangıç noktasından yukarı yönde ilerleyerek en iyi sonucu bulmayı hedefler. Tepe tırmanma adı verilen bu yöntem fonksiyon grafiğinin tepelerine tırmanır. Ancak çok sayıda dönme noktası içeren bir fonksiyonda çok sayıda tepe oluşur. Hangi tepenin en iyi çözüm olduğunu belirlemek zordur. Numaralama yöntemleri ise oldukça alışlagelmiştir. Sürekli olan gerçel sayı aralıkları belli sayıda parçaya ayrılarak her bir parça denir. Ancak problemlerin boyutu bu yöntem için büyük olabilir. Bu yöntemin daha geliştirilmiş seklini dinamik programlama oluşturur. Dinamik programlamada parçalar arasından iyi görünenler seçilir. Bu parçalar tekrar parçalara ayrılarak işlem tekrarlanır. Bu yöntem de tepe tırmanma yöntemi gibi yanlış tepeleri araştırabilir. Dinamik programlama tepelerin fazla olmadığı aralıklarda başarılı ve hızlıdır.

Kısaca en iyilemenin;

- a) Bir isin daha iyi yapılması ve
- b) En doğru şekilde yapılması olmak üzere iki amacı vardır.

Günümüzde rastgele aramaların kullanımı artmaktadır. Bu tip aramalar en iyilemenin daha iyi yapılmasını sağlamakta daha başarılıdır. İnsanların bilgisayarlardan beklentisi mükemmellik olduğu için bu tip aramalar şüpheye neden olabilir. Genetik Algoritmalar, klasik yöntemlerin çok uzun zamanda yapacakları işlemleri kısa bir zamanda çok net olmasa da yeterli bir doğrulukla yapabilir [37].

4.2.2. Genetik algoritmaların tarihçesi

Genetik Algoritmaya, ise Darwin ve onu izleyen bilim adamlarının çalışmalarının en iyileme problemleri üzerine uygulanmasıdır. “Genetik Algoritma” kalıbı, ilk olarak 1967 yılında Bagley tarafından bir oyun programının yenmek üzere tasarlanmasında kullanılmıştır. Bagley ile aynı tarihte Rossenberg, biyolojik ve simülasyon esaslı bir çalışma yapmıştır [36]. Bagley’in kullandığı GA yöntemleri bugünkünden çok farklı olmakla birlikte günümüz GA’ları için temel olarak kullanılmıştır. Rosenberg de aynı dönemde bu algoritmaya biyolojik ve benzetimsel etmenleri eklemiştir De Jongs, 1975 yılında matematiksel fonksiyonları genetik algoritma ile çözmeye çalışmıştır. De Jong, fonksiyonların minimizasyonu için beş ayrı problem incelemiştir [36].

Bunlar;

- a) Sürekli ve sürekli olmayan fonksiyonlar,
- b) Konveks ve konveks olmayan fonksiyonlar,
- c) Tek ve çok değişkenli modeller,
- d) Düşük ve yüksek dizili fonksiyonlar,
- e) Deterministik ve stokastik problemlerdir.

Bagley, Rosenberg, De Jong gibi öncülerinin bulunmasına rağmen, GA’nın babası Holland olarak kabul edilmektedir çünkü Holland ‘Genetik Algoritma’ kavramını “Cellular Automata” çalışmaları ve “Doğal ve Yapay Sistemlerde Uyarılma” kitabının yayınlanması ile literatüre kazandırmıştır. Holland’ın bu kitabında ana düşünce şudur: “Verilen bir popülasyonun genetik havuzu potansiyel olarak istenen en iyi çözümü içerir veya uyarılan probleme ilksin iyi bir çözüm vardır [38]. Holland GA’nın temel ilkeleri olan yeniden üreme ve çaprazlama operatörlerini

tanımlamıştır. Holland'dan sonra Genetik Algoritma'ların gelişimi doktora öğrencisi olan Goldberg ile devam etmiştir. David E. Goldberg'in 1985 yılındaki çalışmaları genetik algoritmanın gelişimini sağlamıştır. Bu çalışmada Goldberg'in amacı, doğalgaz borularındaki kayıpları, basınç oranını değiştirmek suretiyle minimize etmektir. Dinamik programlama yardımı ile Wong ve Larson tarafından basınç oranları hesaplanan bu problem, Goldberg tarafından genetik algoritma ile çözülmeye çalışılmıştır. Bu problemde amaç, kompresörlerin enerjilerini minimize etmektir. Goldberg'i takiben GA çalışmaları geniş kullanım alanları bulmaya başlamış ve GA kodlaması yapılan bilgisayar programları ortaya çıkmıştır. Bunların en önemlisi ve ünlüsü 1992'de John Koza tarafından LISP ile yazılan bilgisayar programıdır [38].

4.2.3. Genetik algoritmaların diğer yöntemlerden farkları

- a) GA parametrelerin kodlarıyla uğraşır. Parametreler kodlanabildiği sürece fark etmez.
- b) GA bir tek yerden değil, bir grup çözüm içinden arama yapar.
- c) GA ne yaptığı konusunda bilgi içermez, nasıl yaptığını bilir. Bu nedenle bir kör arama metodudur. Genetik algoritmalar olasılık kurallarına göre çalışır. Programın ne kadar iyi çalışacağı önceden kesin olarak belirlenemez.

4.2.4. Genetik algoritmaların temel kavramları

Bu bölümde GA'yı daha iyi anlamak için bazı temel kavramlar tanıtılacaktır.

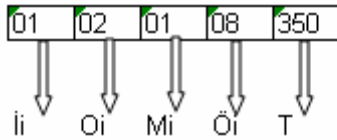
4.2.4.1. Gen

Kendi başına anlamı olan ve genetik bilgi taşıyan en küçük genetik birimdir. Kısmi bilgi taşıyan bu küçük yapıların bir araya gelmesiyle tüm bilgileri içeren kromozomlar meydana gelir. Programlama açısından genlerin tanımlanması programcının olayı iyi tanımasına bağlıdır. Bir gen A,B gibi bir karakter olabileceği gibi 0 veya 1 ile ifade edilen bir bit veya bit dizisi olabilir. Örneğin, bir cismin yalnızca x koordinatındaki yerini gösteren bir gen 101 gibi bir bit dizisi şeklinde

gösterilebilir. Bu cisme ait hız, ağırlık gibi diğer özellikler de benzer şekilde ifade edilebilir.

4.2.4.2. Kromozom

Bir ya da daha fazla genin bir araya gelmesiyle oluşan ve probleme ait tüm bilgileri içeren genetik yapılardır. Bir grup kromozom bir araya gelerek bir topluluk (popülasyon) oluştururlar. Yani kromozomlar toplumdaki birey ya da üyelere karşılık gelirler.. Örneğin bir kromozom ele alınan bir tasarım probleminde koordinat, açı, boyut gibi değişkenlerden meydana gelen bir bütün olabilir. Aynı kromozom bir üretim planlama probleminde miktar, işlem rotası, zaman gibi değişkenleri içerebilir. Basit olarak 100 011 101 bit dizisi; 4x3x5 birim boyutlarında tasarlanan ve dikdörtgen yüzeylerden oluşan bir kutunun boyutları olabilmektedir. Kromozomlar, genetik algoritma yaklaşımının üzerinde uygulandığı en temel birimler olduğundan, olayın bilgisayar ortamında çok iyi ifade edilmesi gereklidir. Kromozomun hangi kısmına ne anlam yükleneceği ve ne tür bir bilgi gösterimi kullanılacağı kullanıcının olaya bakışına ve probleme göre değişecektir.



Şekil 4.6. Örnek kromozom yapısı

Örnek bir kromozom yapısı yukarıdaki gibidir. Burada başlangıçtaki 01 birinci iş; sonraki 02 ise ait operasyon no; sonraki iki karakter olan 01 1. makineyi göstermektedir. 08 karakteri yapılacak olan isin önceliğini, 350 ise 1. isin 2. operasyonunun işlem zamanı olan 350 dakikayı göstermektedir.

4.2.4.3. Popülasyon(Topluluk)

Popülasyon kromozomlar veya bireyler topluluğu olarak tanımlanabilir. Popülasyon aynı zamanda üzerinde durulan problem için geçerli alternatif çözümler kümesidir.

Aynı anda bir popülasyonda bulunan birey sayısı sabit ve probleme bağlı olup kullanıcı tarafından belirlenir. Gerçek hayatta olduğu gibi GA'nın çalışması esnasında popülasyonun bir kısım bireyleri yok olmakta ve yerlerini yenileri almaktadır. İleride anlatılacak genetik operatörler(işlemciler)le sağlanan bu sürekli yenilenme sayesinde yeni çözümlere ulaşılmakta ve böylece probleme daha uygun çözümler bulunabilmektedir. Literatürde popülasyon büyüklüğü için kesin bir ifade kullanılmamakla birlikte kullanıcının kendisinin bir büyüklük atamasının uygun olduğu belirtilmektedir. Ancak fazla sayıdaki kromozom çözüm süresinin uzamasına neden olabileceği gibi az sayıdaki kromozom da çözüme ulaşmayı güçleştirebilir. Bu çalışmada kullanılan popülasyon kavramı; gruplar (operasyonlar) bazında kromozomlardır. Bu çalışmanın uygulama bölümlerinde genelde başlangıç popülasyon büyüklüğü 20 olarak seçilmiştir.

4.2.4.4. Uygunluk fonksiyonu

Kromozomların, problemin çözümünde gösterdiği performansı belirleyen ve problemde probleme değişen bir değerlendirme kriteridir. Kromozomun problemin çözümüne uygunluğunu gösteren başarı ölçüsü olarak da düşünülebilir. Hangi kromozomun bir sonraki nesilde de hayat sürdürebileceğini belirlemede ve yeni kromozomları oluşturacak eslerin oluşturulmasında kromozomların uygunluk fonksiyon değerleri ağırlıklı olarak göz önünde bulundurulur. Aynı şekilde popülasyonda yeni bireylere yer açmak amacı ile popülasyondan eski bireyleri çıkarma işleminde de uygunluk değeri etkin rol oynar.

Uygunluk fonksiyonu, problem için en uygun çözümü belirleme kriteri olduğundan üzerinde durulan konuyla ilgili kar veya verimliliği maksimum yapacak, maliyet veya kaybı minimum yapacak değişkenlerin ölçülmesini sağlayacak bir fonksiyon olmalıdır. Bu fonksiyonun belirlenmesi için problem iyi tahlil edilerek objektif bir değerlendirme kriteri seçilmelidir. Bu çalışmada uygunluk fonksiyonu olarak min Ci (Toplam tamamlanma zamanı) seçilmiştir. Bütün işlerin tamamlandığı süre çalışmanın uygunluk fonksiyonudur.

4.2.5. Genetik algoritmada kullanılan seçim metodları

Genetik algoritmanın temel prensibi Darwin'in doğal seleksiyonudur. Seleksiyon, GA'da yönlendirme gücü sağlar. GA'da kodlama türüne karar verildikten sonra ikinci olarak GA'nın popülasyon seçimini nasıl yapacağına ve ne kadar gen oluşturulacağına karar vermektir. Seçimin amacı en uygun bireyleri oluşturmaktır. Seçim çaprazlama ve mutasyon arasındaki varyasyon ile ayarlanmalıdır. Aşağıda en yaygın seçim metodları üzerinde durulmuştur

4.2.5.1. Turnuva metodu

Bu yöntemde, popülasyondan rastsal olarak iki birey seçilir. Daha sonra 0-1 arasında bir rastsal sayı (r) atanır. Eğer $r < k$ (k , bir parametre) ise iki bireyden en uygun olanı ebeveyn olarak seçilir; aksi takdirde en az uygunluğa sahip birey seçilir. Seçilen iki birey tekrar popülasyona geri döner. Böylece yeniden seçilme olasılığı vardır.

4.2.5.2. Rulet çemberi ve stokastik örnekleme ile uygun oransal seçim metodu

Holland'ın orijinal GA yaklaşımında bu yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde bireyin beklenen değeri, bireyin uygunluk değerinin popülasyon ortalamasına bölümüdür. Buradaki en uygun örnekleme rulet çemberidir. Rulet çemberinde, her birey uygunluk değerine göre çemberde bir pay alıyor. Çember, popülasyondaki birey sayısı (N) kadar döndürülür. Her döndürmede, çemberin işaretinin altındaki birey gelecek neslin ebeveynleri olur.

4.2.5.3. Sabit durum metodu

Sabit durum metodunda, her nesilde yalnızca birkaç birey yer değiştirir. Çoğunlukla çok düşük uygunluk değerine sahip bireyler, çaprazlama ve mutasyon yöntemleriyle yeniden üretilerek yeni nesilde yer alırlar. Sabit durumlu GA'lar daha çok kural tabanlı sistemlerde kullanılır.

4.2.5.4. Elitizm

Üreme, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonrasında kuşakta bulunan en iyi uyumluluğa sahip birey sonraki kuşağa aktarılamayabilir. Bunu önlemek için bu işlemlerden sonra oluşan yeni kuşağa bir önceki kuşağın en iyi (elit) bireyi, yeni kuşaktaki herhangi bir birey ile değiştirilir. Buna elitizm adı verilir.

4.2.6. Genetik algoritmanın parametreleri

Parametreler, GA performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Optimal kontrol parametreleri bulmak için birçok çalışma yapılmıştır fakat tüm problemler için genel olarak kullanılacak parametreler bulunamamıştır [39]. Bunlar, kontrol parametreleri olarak adlandırılmaktadır. Kontrol parametreleri, popülasyon büyüklüğü, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, kuşak aralığı, seçim stratejisi ve fonksiyon ölçeklemesi olarak sayılabilir. Bu parametreler kısaca izah edilecektir:

4.2.6.1. Popülasyon büyüklüğü

Popülasyon büyüklüğü çok küçük olduğunda, GA yerel bir optimuma takılabilmektedir. Popülasyonun çok büyük olması ise çözüme ulaşma zamanını arttırmaktadır. Bu konuda Goldberg 1985'te yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir.

4.2.6.2. Çaprazlama oranı

Çaprazlamanın amacı, mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozomlar oluşturmaktır. Çaprazlamanın artması, yapı bloklarının artmasına neden olmakta fakat aynı zamanda bazı iyi kromozomlarında bozulma olasılığını da arttırmaktadır [37]. Çaprazlama işlemi çeşitli şekillerde olabilir. Pozisyona dayalı çaprazlamada; Çaprazlanacak iki es kromozom üzerinde bir grup çaprazlama noktası (bir veya daha fazla nokta) rastgele seçilir. İkinci kromozomun bu pozisyonlardaki parçası birinci kromozomun ilgili pozisyonlarına konur ve daha sonra boş kalan pozisyonlar yeni kromozomda olmayan birinci kromozom elemanları

sırasıyla alınarak doldurulur, böylelikle bir yeni kromozom meydana gelir. Aynı işlem diğer kromozom için de yapılarak yeni bir kromozom daha elde edilir. Sıraya dayalı çaprazlamada ise; Bir grup nokta rastgele seçilir. Birinci kromozomun seçilen noktalara karşılık gelen karakterleri aynen yerlerini korur. İkinci kromozomun seçilen noktalara ait karakterleri birinci kromozomun aynı noktalarındaki karakterlerinin önüne getirilir. Geriye kalan bos pozisyonlara, ikinci kromozomdan aktarılan yeni karakterler de göz önünde bulundurularak ilk kromozomun kullanılmayan karakterleri tarafından sırayla (soldan sağa) yerleştirilerek yeni bir kromozom elde edilir. Bu tür çaprazlama, kromozomu oluşturan karakterlerin sayı ve sıralarının önem taşıdığı durumlarda kullanılır. Bu çaprazlama işlemine ait birer çaprazlama örneği aşağıda verilmektedir.

Pozisyona göre çaprazlama

Çaprazlamadan

	Önce	Sonra
BF	ABCDEFG 	GACDE
CFB	GFEDCBA	AGED

Sıraya göre çaprazlama

EFB	ABCDEFG 	AGCD
CBF	GFEDCBA	GAED

Şekil 4.7. Pozisyona ve Sıraya Göre Çaprazlama İşlemleri

Çaprazlamada önemli olan bir diğer faktör de çaprazlama noktası sayısıdır. Çaprazlama bir veya daha fazla noktadan olabilir. Basit ve pratik olması bakımından tek noktalı çaprazlama yaygın olarak kullanılmaktadır. Çaprazlamada bilgi değişimi

esas olduğundan problemin yapısına göre iki ve daha çok noktalı çaprazlama uygulamaları tercih edilmektedir. Diğer geliştirilmiş çaprazlama işlemcileri hakkında geniş bilgi Goldberg (1989) da bulunabilir. En klasik tek noktalı çaprazlama birinci ve ikinci kromozom üzerinde ortak belirlenen rastgele nokta temel alınarak birinci kromozomun bu noktadan önceki kısmı ile ikinci kromozomun bu noktadan sonraki kısmı birleştirilerek yeni bir kromozom elde edilir. İkinci kromozom için de kromozomların diğer kısımları birleştirilir. Çift noktalı çaprazlama ise kromozomlar üzerinde rastgele belirlenen iki nokta esas alınarak kromozomların bu noktalar arasında kalan kısımlarının karşılıklı değiştirildiği çaprazlamadır. Tek noktalı ve çift noktalı çaprazlamaya ait birer örnek aşağıdaki Şekil 3.10'da verilmektedir

Tek Noktalı Çaprazlama

Kromozom 1	1011 0100	Yeni kromozom1	1011 0110
Kromozom 2	1100 0110	Yeni kromozom2	1100 0100

Çift Noktalı Çaprazlama

Kromozom 1	101 11 100	Yeni kromozom1	101 00 100
Kromozom 2	1100 0 110	Yeni kromozom2	110 11 110

Şekil 4.8. Tek ve Çift Noktalı Çaprazlama Çeşitleri

4.2.6.3. Mutasyon oranı

Mutasyonun amacı popülasyondaki genetik çeşitliliği korumaktır. Mutasyon belirli bir olasılıkla ($P(m)$) bir kromozomdaki bitte meydana gelebilir. Eğer mutasyon olasılığı artarsa, genetik arama rastsal bir aramaya dönüşür [40]. Değişim işlemi kromozom üzerinde seçilen geni oluşturan alt birim üzerinde yapılacak küçük bir değişikliklerle (0 'ın 1 yapılması veya tersi gibi) gerçekleşir. Gösterim olarak buna uymayan bir yapıda da yine rastgele seçilecek iki genin yerleri veya sırası değiştirilmek suretiyle değişim gerçekleştirilir. GA'da değişimin sağladığı avantaj, problemin çözüm alanını araştırmada yön değişikliklerini sağlayarak araştırmanın kısır döngüye girmesini önlemektir. Çeşitli değişim işlemcileri vardır. Pozisyona bağlı değişimde; rastgele seçilen karakterlerin(genlerin) yerleri değiştirilerek

gerçekleştirilir. Sıraya göre değişim ise kromozomun rastgele seçilen iki karakterinden ikincisinin, birincinin önüne getirilmesiyle olur. Kromozomun gösterimine göre sıranın ve karakter sayısının sınırlı olmadığı bir ikili sistem kromozom gösteriminde de rastgele seçilen bir karakterin karşıt (0'ın yerine 1 gibi) değeriyle değiştirilmesiyle olur. Yukarıda bahsedilen çaprazlama türlerine ait birer örnek Şekil 3.11'de verilmektedir:

	Değişimden	
	Önce	Sonra
Pozisyona göre değişim	ABCDEF	FBCDEA
Sıraya göre değişim	ABCDEF	FABCDE
Kromozom	11010110	11010100

Şekil 4.9. Pozisyona göre ve sıraya göre değişim

Genetik algoritma kendi içinde sanal olarak semalar oluşturur. Toplumun bireyleri incelenerek bu semalar ortaya çıkarılabilir. GA semaları oluşturmak için toplum üyelerinin kodları dışında bir bilgi tutmaz. GA'nın bu özelliğine içsel paralellik denir. Her nesilde, iyiyi belirleyen semalardaki belirsiz ya da önemsiz elemanlar azalır. Böylece GA sonuca doğru belirli kurallar içerisinde ilerler.

4.2.7. Genetik algoritmaların özellikleri

Genetik Algoritmaların temel prensibi, her adımda bir önceki nesilden yeni bireyler oluşturarak amaç fonksiyonunun uygunluk derecesini artırmak ve sonuç olarak belli kısıtları sağlayacak şekilde amaç fonksiyonunu sağlayan en uygun değerini elde etmektir. "Genetik Algoritmayı diğer sezgisel yöntemlerden ayıran en belirgin özellikleri aşağıda belirtilmiştir" [41].

a) Genetik Algoritma, parametre kodlarıyla uğraşır, parametrelerin kendisiyle doğrudan uğraşmaz.

- b) Genetik Algoritma, tek bir alana bağımlı kalarak çözüm aramaz. Yığının tamamında çözümü arar.
- c) Genetik Algoritma, ne yaptığını değil nasıl yaptığını bilir. Yani, Genetik Algoritma amaç işlevini kullanır, sapma değerleri ve diğer hata faktörlerini kullanmaz.
- d) Genetik Algoritmanın uygulanmasında kullanılan operatörler rastlantısal yöntemlere dayanır, belirli ve kesin yöntemler kullanmaz.

4.2.8. Genetik algoritmaların uygulama alanları

Başlangıçta doğrusal olmayan (non-linear) en iyileme problemlerine uygulanan genetik algoritma, sonraları gezgin satıcı, karesel atama, yerleşim, atölye çizelgeleme, ders/sınav programı hazırlanması gibi problemlerde başarıyla uygulanmıştır. Son yıllarda üretim planlama, tasarım, elektronik ve finansman gibi farklı ve çok geniş sahaları kapsayan konuların alt birimlerinde yapılan gerek teorik gerekse uygulamalı genetik algoritma çalışmalarının sayısı artmaktadır. “Genetik Algoritma hem problem çözmek hem de modelleme için kullanılmaktadır. Günümüzde genetik algoritmaların uygulama alanları genişlemektedir. Bunlardan bazıları: Atölye Çizelgeleme, Yapay Sinir Ağları Tasarımı, Görüntü Kontrolü, Elektronik Devre Tasarımı, Optimizasyon, Uzman Sistemler, Paketleme Problemleri, Makine ve Robot Öğrenmesi, Gezgin Satıcı Problemi, Ekonomik Model Çıkarma v.b sayılabilir” [42]. Karmaşık problemleri hızlı ve optimale yakın olarak çözebilen genetik algoritmalar, çeşitli problem tiplerine uygulanabilmektedir. Büyük çözüm uzaylarının geleneksel yöntemlerle taranması hesaplama zamanını arttırmaktadır. Ancak bu tip problemlere, genetik algoritmalar ile kısa sürede, kabul edilebilir çözümler bulunabilmektedir [43]. Genetik algoritmalar özellikle çözüm uzayının geniş, süreksiz ve karmaşık olduğu problem tiplerinde başarılı sonuçlar vermektedir “Genetik algoritmaların çizelgeleme problemine ilk uygulama çalışması, Davis tarafından 1985 yılında yapılmıştır. 1987’de Liepins ve arkadaşları, belirli teslim tarihleri ve işlem süreleri olan işlerin çizelgelenmesi problemini araştırmışlardır. Bu problem en basit çizelgeleme problemi olarak adlandırılmaktadır. 1993’de Gupta ve arkadaşları, akış zamanını minimize etme amacını taşıyan tek makine modeli üzerindeki çalışmalarını yayınlamışlardır. Lee ve Kim’de (1995) gecikme ve sarkma

cezalarını da modele katan çalışmalarını sunmuşlardır. Cheng ve arkadaşları yine aynı yıl, özdeş paralel makinelerden oluşan model üzerindeki çalışmalarını yayınlamışlardır. Bunun dışında; iş atölyesi çizelgeleme problemi için Biegel ve Davern'nin 1990'da, akış atölyesi problemi için Badami ve Parks'ın 1991'de, süreç planlama problemi için Vancza ve Markus'un 1991'de yayınlanmış çalışmaları bulunmaktadır. Genel olarak genetik algoritmalar, çizelgeleme problemlerine optima yakın çözüm bulmuşlardır. Fakat çözüm bulma süreleri diğer çözüm yöntemlerine göre oldukça hızlı olmuştur" [37].

4.2.9. Genetik algoritmalarda işlem adımları

Genetik algoritma, rastsal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir. Çizelgeleme probleminin Genetik Algoritmalar ile çözümünde takip edilecek işlem adımları şunlardır" [44].

- a) Çizelgelenecek bütün işler dizi olarak kodlanır. Bu diziyi (kromozomu) oluşturan her bir elemana gen denir. Her bir dizi, arama uzayında belirli bir çözüme tekabül eder.
- b) Rastsal olarak iş sırası (kromozom) seçilir ve başlangıç popülasyonu olarak kabul edilir.
- c) Her bir dizi için bir uygunluk değeri, tüm işler için C_{max} -tamamlanma zamanı hesaplanır, bulunan uygunluk (fitness function) değerleri, dizilerin çözüm kalitesini gösterir.
- d) Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastsal olarak seçilip üreme işlemi gerçekleştirilir.
- e) Üreme işleminde, çeşitli genetik operatörler kullanılabilir.
- f) Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.
- g) Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca 4 ve 6 numaralı işlemler devam ettirilir.
- h) İterasyon nesil sayısına ulaşıncaya kadar işlem bitirilir. Uygunluk değeri en yüksek olan dizi (C_{max} değeri en küçük olan) en iyi çözüm olarak seçilir.

4.2.10. Genetik algoritmanın performansını etkileyen nedenler

Genetik Algoritmanın performansını etkileyen nedenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Kromozom sayısı: Kromozom sayısını arttırmak çalışma zamanını arttırırken azaltmak da kromozom çeşitliliğini yok eder.
- b) Değişim oranı: Kromozomlar birbirine benzemeye başladığında hala çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa değişim işlemi GA'nın sıkıştığı yerden kurtulması için tek yoldur. Ancak bu orana yüksek bir değer vermek GA'yı kararlı bir noktaya ulaşmaktan alıkoyacaktır.
- c) Kaç noktalı çaprazlama yapılacağı: Normal olarak çaprazlama tek noktada gerçekleştirilmekle beraber yapılan araştırmalar bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın daha yararlı olduğunu göstermiştir.
- d) Çaprazlama sonucunda elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği: Çaprazlama sonucunda elde edilen iki bireyin hemen kullanılıp kullanılmayacağı bazen önemli olmaktadır.
- e) Nesillerin birbirinden ayrık olup olmadığı: Normal olarak her nesil tümüyle bir önceki nesile bağlı olarak oluşturulur. Bazı durumlarda yeni nesli eski nesille birlikte yeni neslin o ana kadar elde edilen bireyleri ile oluşturmak yararlı olabilir.
- f) Parametre kodlamasının nasıl yapıldığı: Kodlamanın nasıl yapıldığı en önemli noktalardan biridir. Örnek vermek gerekirse; kimi zaman bir parametrenin doğrusal ya da logaritmik kodlanması GA'nın performansında önemli bir farka yol açabilmektedir.
- g) Kodlama gösteriminin nasıl yapıldığı: Bu da nasıl olduğu yeterince açık olmamakla beraber GA'nın performansını etkileyen bir noktadır. İkili düzen, kayan nokta aritmetiği ya da gray kodu ile gösterim en yaygın yöntemlerdir.
- h) Değerlendirmesinin nasıl yapıldığı: Akıllıca belirlenmemiş bir değerlendirme fonksiyonu çalışma zamanını uzatabileceği gibi çözüme hiçbir zaman ulaşılmamasına da neden olabilir.

4.2.11. Çeşitli değerlendirme stratejileri ve GA ile aralarındaki farklar

Doğal evrimin benzetimi için diğer bir yaklaşım 1960'ların başında Almanya'da teklif edilmiştir. GA'nın aksine bu yaklaşım , "evrim stratejisi" olarak adlandırılır ve

teknik optimizasyon problemlerinin çözümü için tasarlanmıştır.1963'te Berlin teknik üniversitesinden iki öğrenci, Ingo Rechenberg ve Hans-Paul Schwefel, akıntıya kapılmış bir kütlenin optimal durumunun araştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, Akış Mühendisliği Enstitüsünün rüzgâr tüneli kullanılmış, doğal değişimi izleyen kütleyi tanımlayan parametrelerdeki rassal (rastgele) değişimlerle ilgili karar vermişlerdir. Sonunda bilinen “evrim stratejisi” ortaya çıkmıştır. Evrim Stratejileri Mühendislerin sezgilerine karşı bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu teknikler daha çok analitik amaç fonksiyonuna sahip olmayan teknik optimizasyon problemlerinin çözümlerinde kullanılmıştır. GA'nın aksine bu stratejiler yalnızca değişim işlemcisini kullanmaktadır. Böylece GA ile diğer bir değerlendirme stratejisi arasındaki temel fark “GA çaprazlama ve değişim işlemcilerinin her ikisini de kullanırken” , “diğerleri sadece değişim işlemcisini” kullanmaktadır. Yani, diğer bir değerlendirme stratejisi kullanıyorsak problemin kodlanmış formuna ihtiyacımız yoktur. Değerlendirme stratejileri tamamen bir sayısal optimizasyon yöntemi kullanır. (Monte Carlo Arama Yöntemi gibi). GA daha genel uygulamaları gerçekleştirme yeteneğine sahiptir. Fakat bir GA uygulamasının en güçlü yanı (bölümü) problemin kodlanmasıdır. Genellikle, hangi yöntemin en iyi çalıştığı sorusuna cevap verebilmek için çeşitli uygulama denemeleri yapmak zorundayız. Bilgisayar bilimindeki merkezi problemlerden biriside tam bir programlama yapılmadan bir problemin bilgisayar çözümü nasıl yapılabileceğidir. GA doğal seçim yöntemleri ile bilgisayar programlarının değerlendirmesini kullanan bir çözümü tercih etmektedir. Aslında genetik programlama GA'nın basmakalıp bir açılımıdır, fakat genetik programlamanın amacı tamamen bazı problemlerin bit dizilerini değil daha çok problemi çözecek bilgisayar kodlarını değerlendirmektedir. Diğer bir ifade ile GA çözümü temsil eden ikili (binary) sayılar dizisini oluştururken, GP çözüm olarak bilgisayar programlarını oluşturur. GP daha çok el ile problem çözmeye uyarlanmış bir programın olurlu (mümkün) bir bilgisayar programları uzayını arar. Herhangi bir bilgisayar programı değerlere uygulanan işlemcilerin bir dizisidir, fakat farklı tipteki deyim ve işlemcileri kapsaya bilir ve farklı söz dizimi kurallarına ait sınırlamalara sahiptir. GP genetik işlemcileri uygularken, burada kullanılan programlama dili yeni oluşturulan verilere uygulanmasına ve bilgisayar programlarını yönlendirmeye izin verecek yeteneğe sahip olmalıdır

Genetik algoritmanın işleyişini daha iyi anlayabilmek için hazırlanmış bir örnek aşağıdaki gibidir:

[0,31] aralığında $f(x)=x^2$ fonksiyonunu GA kullanarak enbüyüklemek isteyelim.

Adım 1. Genetik Kodlama: GA kodları 0-1 (ikilik) düzeninde yazılan bireylerdir. Bu durumda 0 değeri 00000 ile 31 değeri ise 11111 ile gösterilir.

Adım 2. Amacın Tanımlanması: Amaç $f(x)=x^2$ fonksiyonunun en büyüklenmesidir.

Adım 3. Başlangıç Popülasyonunun Yaratılması: GA'da başlangıç popülasyonu sayısı ve başlangıç popülasyon değerleri rassal olarak belirlenir. Bu örnek için popülasyondaki bireylerin sayısı $n = 4$ olarak, bireylerin değerleri ise yazı-tura atışları ile belirlensin. Yazı 0 değerini, tura 1 değerini versin. Her bireydeki 5 basamak için 1'er yazı-tura atışı atılacağından toplamda $5 * 4 = 20$ atış yapılacaktır. 20 atışın ardından başlangıç popülasyonunun aşağıda verilen şekilde oluştuğunu varsayalım:

01101

11000

01000

10011

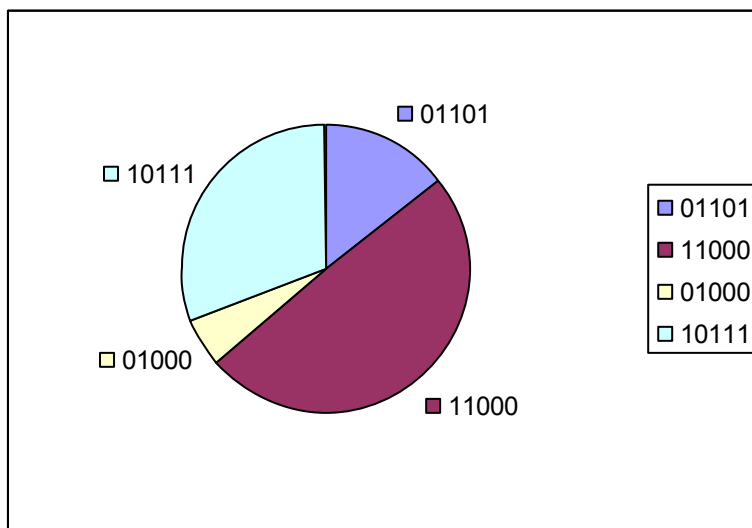
Adım 4. Uygunluğun Hesaplanması: Uygunluk değeri bireylerin amaç fonksiyonundaki değeridir. Aşağıdaki tabloda başlangıç popülasyonunun uygunluk değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2 : Uygunluğun Hesaplanması

Birey No	Birey	Değeri	Uygunluk	Toplam içindeki %
1	01101	13	169	14,4
2	11000	24	576	49,2
3	01000	8	64	5,5
4	10111	19	361	30,9
Toplam			1170	100

Adım 5. Seçim /Çaprazlama / Dönüşüm

Seçim: Seleksiyon işlemi her aşamada gerçekleştirilen bir işlemdir. Bu işlem için öncelikle uygunluk değerleri ele alınır. Bu değerleri için bir rulet çarkı oluşturulur. Rulet çarkında bireyler toplam içindeki yüzdeleri ile orantılı olarak bölünür ve çark popülasyon sayısı kadar çevrilir. Belli bir noktada gelen değerler yeni popülasyonları diğer bir deyişle ebeveynleri oluşturur. Bu örnekteki değerler için rulet çarkı aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.10. Rulet Çarkı

Rulet çarkında gelen değerler ve yeni varlık için oluşturulan tablo aşağıdaki gibidir:

Tablo 4.3: Rulet Çarkı Değerleri ve Yeni Tablo

Birey No	Başlangıç Popülasyonu	Değer	Uygunluk f(x)	Yüzde $f_i/\sum f$	Beklenen Geliş Sayısı	Rulette Geliş Sayısı
1	01101	13	169	0,14	0,58	1
2	11000	24	576	0,49	1,97	2
3	01000	8	64	0,06	0,22	0
4	10111	19	361	0,31	1,23	1
Toplam			1170	1	4.00	4
Ortalama			293	0,25	1.00	1
Maksimum			576	0,49	1.97	2

Tabloda uygunluk değerleri ve uygunluk yüzdelerinin yanı sıra değerlerin beklenen değerleri ve rulet çarkında kaç kez geldikleri açıklanmıştır. Buna göre ortalama uygunluk değeri 293'tür ve gelen en büyük değer 576'dır. Bu değerler algoritmayı bitirme ölçütü olarak da kullanılabilir. Örneğin, nesiller arası ortalama uygunluk değeri %5'in altına düştüğünde algoritma bitirilip, en büyük değer döndürülebilir. Buna benzer olarak, en büyük değerler arasında belirli bir artış oranı da belirlenebilir. Rulet çarkı ile yapılan seçim aşamasından sonra çaprazlama ve dönüşüm işlemlerine geçilir.

Çaprazlama ve Dönüşüm (Mutasyon): Çaprazlama ve dönüşüm işlemlerini yapabilmek için öncelikle bu işlemlerin gerçekleşme olasılıklarının belirlenmiş olması gereklidir. Bu olasılıkların çaprazlama için 0,6 ile 1,0, dönüşüm için 0.001 ile 0.01 arasında değiştiği belirtilmişti. Bu örnek için çaprazlama olasılığı 1,0 ve dönüşüm olasılığı 0.001 olsun. Bu demektir ki her döngüde bir çaprazlama ve 1000 döngüde bir dönüşüm gerçekleşecektir. Bu döngüde çaprazlama gerçekleşecek ve dönüşüm gerçekleşmeyecek olsun. Çaprazlama için eslerin belirlenmesi ve bu eslerin hangi genden itibaren çaprazlanacağı belirlenmelidir. Bunun için rassal sayısı atışı yapılacaktır. İlk olarak eslerin belirlenmesi gerekmektedir. 1 numaralı bireye es bulmak için 2-3-4 rakamlarından rassal olarak bir seçim yapalım. Gelen rakam 2 olduğunda 1 no'lu bireyin esi 2 no'lu birey olacaktır. Bu durumda 3 ve 4 no'lu bireyler de eslerdir. Simdi de çaprazlama noktası belirlenmelidir. Bu durumda 1 ve 2

no'lu bireylerin çaprazlanması için 4 nokta bulunmaktadır. Bu noktalar aşağıdaki şekilde çizgilerle gösterilmiştir.

1. No'lu Birey 0 | 1 | 1 | 0 | 1

2. No'lu Birey 1 | 1 | 0 | 0 | 0

Şekil 4.11. Çaprazlama Operatörü

Örnekte görüldüğü gibi 1-2 No'lu bireyler ve 3-4 No'lu bireyler için 1-4 arası rassal sayısı atışı yapılması gerekmektedir. Çaprazlama işlemi ve sonucu tabloda verilmiştir

Tablo 4.4. Yeni popülasyon

Seleksiyon Sonrası Oluşan Bireyler	Eşler	Çaprazlama Noktası	Yeni Popülasyon	Değeri	Uygunluk $f(x)=x^2$
011011	2	4	01100	12	144
110010	1	4	11001	25	625
111000	4	2	11011	27	729
101011	3	2	10000	16	256
Toplam					1754
Ortalama					439
Maksimum					729

Görüldüğü gibi ilk döngüde çaprazlama sonrası toplam uygunluk değeri 1170'ten 1754'e, ortalama uygunluk değeri 293'ten 439'a ve maksimum değer 576'dan 729'a çıkmıştır. Bu adımlara belirlenen ölçütlerin sağlanmasına kadar devam edilir ve en iyi sonuç gösterilir [45].

4.3. Deney Tasarımı

Deney tasarımı teknikleri sadece istatistiksel bir yaklaşım değil, tüm araştırma-geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilecek, kaliteyi artıran, maliyetleri düşüren,

sonuçların güvenilirliğini sağlamaştıran, tüm diğer kalite tekniklerini destekleyen ve tamamlayan tekniklerdir. Uygulamada getirdikleri avantajlar performans ve kalitenin artırılması, kaynakların verimli kullanılması, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin hızlandırılması ve ürünün ve/veya prosesin kalite özelliklerini belirleyen değerlerin kontrol edilemeyen veya edilmesi zor/maliyetli faktörlere karşı daha az duyarlı olması şeklinde sıralanabilir.

Deney tasarımının en temel amaçlarından biri deney hatalarını minimuma indirmektir [46]. Deney tasarımı ve planlaması heyecan verici bir şey olmasına rağmen bir o kadar zaman alıcıdır. Deneyin planlaması sırasında bir kontrol listesinin oluşturulması gereklidir. Bir deneyin tasarımında kontrol listesinde oluşturulan adımların hiçbiri bir birinden bağımsız değildir. Bazen listedeki bir önceki adıma dönülüp gerekirse revize edilebilir ve tekrar uygulamaya geçilir. [47] Deney tasarımı için bir kontrol listesi oluşturulmuştur. Bunlar;

- a) Deneyin amaç ve hedeflerinin belirlenmesi
- b) Bütün değişken özelliğe sahip kaynaklarının tanımlanması
 - a. Deney üniteleri
 - b. Kontrol edilebilen faktörler
 - c. Kontrol edilmeyen faktörler
 - d. Bloklama işlemleri
- c) Uygulamada deneyi ünitelere ayırmak için bir kuralın belirlenmesi
- d) Deneyin olcu birimlerinin belirlenmesi
- e) Pilot bir uygulama yapılması
- f) Pilot uygulamadan sonra model oluşturulması
- g) Analiz için bir çerçeve oluşturulması
- h) Kaç adet gözlem yapılacağıının hesaplanması
- i) Gözden geçirme ve revizyon

Deney tasarımı diğer bilimsel disiplinlere benzer ve kendine has terminoloji ve metodolojiye sahiptir. Bilindiği gibi deneysel çalışmalarda çok sayıda deneyler yapılır. Bu deneyler laboratuvar ortamında, pilot uygulama, tam uygulama ya da klinik olarak yapılabilmektedir. Deney çalışmaları bilimin merkezinde yer

almaktadır. Deney tasarımı sebep ve etki ilişkisini belirlemek için planlanmış bir yaklaşımdır. Deney tasarımı için şunlar gereklidir.

- a) Toplam deney sayısını azaltmak,
- b) Tasarımcının formüle ettiği etkinliği es zamanlı olarak değiştirebilmek,
- c) Doğru bir deney stratejisi belirlemek.

Eğer bir deney doğru bir şekilde tasarlanırsa, en iyi sonuç için veriler doğru bir şekilde toplanmış olacaktır. Bundan dolayı deney tasarımı yapılırken aşağıdaki sorulara cevap verilecek şekilde tasarım yapılmalıdır [48]:

- a) Sonuçlar ve parametrelerin etkisi hesaplanabiliyor mu?
- b) Sonucu kaç tane parametre etkiliyor?
- c) Es zamanlı olarak kaç tane parametre hesaba katılmalı?
- d) Kaç tane deney tekrarının yapılması gerekiyor?
- e) Ne tür bir veri analizi (regresyon, ANOVA) kullanılmalı?
- f) Etkiler üzerindeki hangi seviye farklılıkları ne kadar önemlidir?

Deney tasarımında klasik yöntemlerin yetersizliği istatistiksel deney tasarım yöntemleri ile giderilmiştir. İstatistiksel deney tasarımında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar;

- a) Tam faktöriyel
- b) Kesirli faktöriyel
- c) Taguchi metodu

4.3.1. Tam faktöriyel deney tasarımı

En az iki veya daha fazla parametre ve bu parametrelere ait en az iki veya daha seviyelerin bulunduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur. Örneğin bir deney modeline göre 3 adet parametre bulunmaktadır. Her bir parametrenin de 2 adet seviyesi bulunmaktadır. Bu durumda her bir parametre ve seviye kombinasyonu denendiğinde toplam 8 adet deney yapılmalıdır.

Aynı şekilde 4 parametrelili bir deneyde her bir parametre 3 seviyeye sahipse $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ adet deney yapılması gerekmektedir.

4.3.2. Kesirli faktöriyel deney tasarımı

Tam faktöriyel deney tasarımında parametrelerin bütün seviyelerinin kombinasyonları tek-tek denendiğinden deney maliyetini arttırmakta ve çok zaman almaktadır. Yani tam faktöriyel deney tasarımında maksimum zaman ve maliyet söz konusudur. Tasarım yaparken deneyden elde edilecek veriler ile harcanan maliyet ve zaman arasındaki bağıntı çok önemlidir.

Maliyetten ve zamandan kazanmak için deney sayısının orantılı olarak azaltarak kesirli faktöriyel deney tasarımı elde edilir. Örneğin 7 parametrelili ve 2 ser seviyeli bir deney tam faktöriyel olarak yapıldığında $2^7 = 128$ deney yapılması gerekir bunun $1/2$. kesiri yani 64 deney ya da $1/4$ yani 32 ya da $1/8$ yani 16 deney ile yapılabilir. Deney sayısını kesirli olarak azaltmak tamamen araştırmacıların elindedir.

4.3.3. Taguchi metodu

Temel olarak deney tasarımı yöntemleri yüzyıl başında tarımsal araştırmalarda kullanılarak Fischer tarafından geliştirilmiştir [49].

Ancak klasik deney tasarım yöntemleri kullanımları endüstriyel şartlar altında verimli ve sağlıklı olmayan yaklaşımlardır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da çok hızlı şekilde artmaktadır. Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözüm getirmiştir. Bu sayede deney öncesinde yapılan ayrıntılı analiz ve değerlendirmelerle gereken deney sayısını önemli şekilde düşürmek mümkün olmuştur. Taguchi metodu bir deney tasarım tekniği olmanın ötesinde yüksek kalitede sistem tasarımı için son derece faydalı bir tekniktir. Diğer taraftan deney sayısında elde edilen azalma, faktörler arasındaki etkileşimlerin belirli ölçüde göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/gürültü oranı değeri küçük değer iyi, büyük değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. Hangi S/N oranı değerlendirilmede kullanılırsa kullanılsın, sonuç olarak karşımıza çıkan değerlerde daha büyük olan S/N oranı daha iyi deney sonucunu ifade eder. Böylelikle deneylerde ele alınan faktörlerin seviyeleri içerisinde en yüksek S/N oranına sahip olan değerler en iyi performansı verecektir. Bunun yanı sıra varyans analizi (ANOVA) ile hangi proses üzerinde hangi faktörlerin ne derecede önemli oldukları istatistiksel olarak ortaya konulur [50].

Hem S/N oranı, hem de varyans analizi yardımı ile de faktörlerin, prosesi optimum performansa ulaştıracak kombinasyonu tespit edilir. Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesini sağlaması ve bunun için de tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur [51].

Taguchi Deney Tasarımı tekniğine göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar aşağıdaki şekildedir [50] :

- a) Faktörlerin seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi (beyin fırtınası, akış diyagramı, sebep sonuç diyagramı gibi metotlar kullanılarak).
- b) Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi.
- c) Doğru dengeli tasarımın seçimi.
- d) Faktörlerin ve/veya aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney düzenindeki kolonlarla eşleştirilmesi.
- e) Deneylerin daha önceki adımlarda planlanan şekilde gerçekleştirilmesi.

Sonuçların analizi.

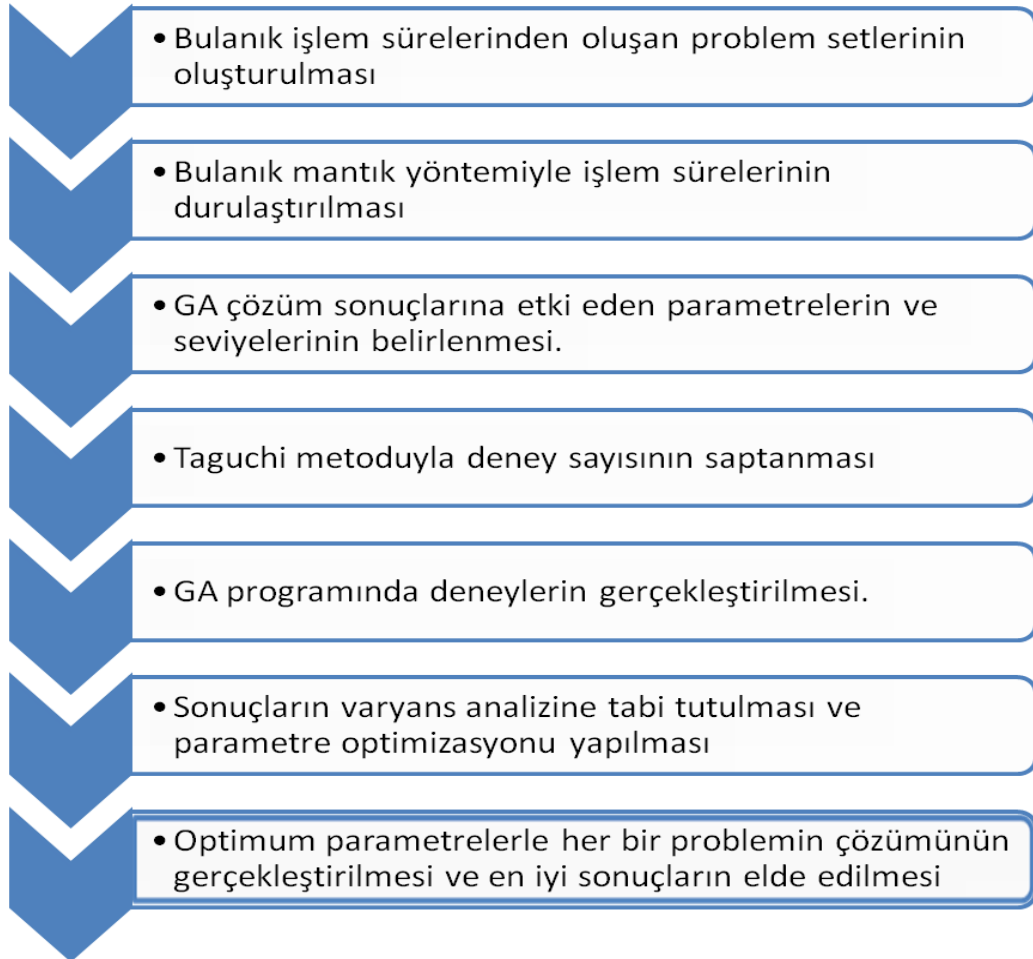
Bu adımların izlenmesi sonucunda proses veya ürün için optimum performansın elde edileceği deney parametreleri belirlenecek, deneyde ele alınan faktörlerin kalite

değeri üzerindeki etkisi tahmin edilebilecek ve optimum deney parametreleri sonucunda elde edilebilecek kalite değeri öngörülebilecektir.

BÖLÜM 5. ESNEK ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA VE BULANIK MANTIK YÖNTEMLERİ İLE ÇÖZÜLMESİ

Bu bölümde, esnek üretim sisteminde toplam akış zamanını (en büyük tamamlanma zamanı) en küçükleyecek çözümler elde etmek amaçlanmıştır. 2, 3, 5, 10, 20 işten, 5 aşamadan, 2, 3, 5, 10, 15, 20 makineden oluşan problem setleri ele alınmıştır. Ele alınan problem seti tipleri Tablo 5.1 de belirtilmiştir.

Bu bölümde yapılan uygulama çalışmalarının aşamaları Şekil 5.1. de verilmiştir.



Şekil 5.1. Uygulamanın aşamaları

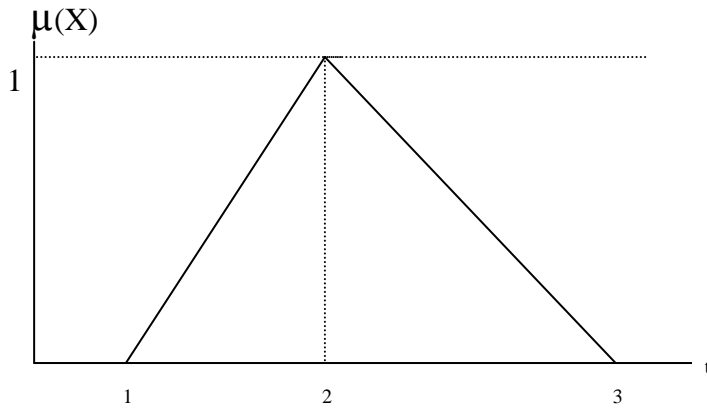
Çalışmanın giriş kısmında verilen Şekil 1.1'deki aşamalar bu bölümde detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Esnek üretim sisteminde meydana gelen operasyonlara ait bulanık işlem süreleri bulanık kümeleme yöntemiyle NCSS programı kullanılarak kümelerine ayrılmıştır. Daha sonra bu bulanık değerler MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'ta bir kural tabanı oluşturularak berrak hale getirilmiştir. Berrak hale getirilmiş işlem sürelerine sahip problem setlerinden bazı örnekler Ek-1'de verilmiştir. Yazılımı gerçekleştirilen genetik algoritma programında çizelgeleme işlemi sonucuna etki eden parametreler ve seviyeleri belirlenerek Taguchi Deney tasarımı metoduyla parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.1. Ele alınan problem seti tipleri

Problem Tipi No	İş Sayısı	Aşama Sayısı	Makine Sayısı
1	2	5	2
2	2	5	3
3	2	5	5
4	2	5	10
5	2	5	15
6	2	5	20
7	3	5	2
8	3	5	3
9	3	5	5
10	3	5	10
11	3	5	15
12	3	5	20
13	5	5	2
14	5	5	3
15	5	5	5
16	5	5	10
17	5	5	15
18	5	5	20
19	10	5	2
20	10	5	3
21	10	5	5
22	10	5	10
23	10	5	15
24	10	5	20
25	20	5	2
26	20	5	3
27	20	5	5
28	20	5	10
29	20	5	15
30	20	5	20

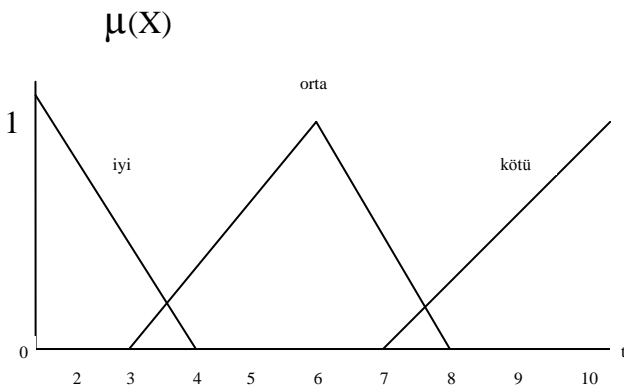
5.1. İşlem Sürelerinin Berraklaştırılması

Esnek bir imalat hücresinde her işin işlem gördüğü makinelerdeki yapılan ölçümlerde işlem sürelerinin aynı iş için yapılan her bir ölçümde bulanık değerler aldığı belirlenmiştir. İşlem sürelerinin kesin değerler olmadığı tüm problem setlerinde her bir işlem süresi bulanık kümeleme yöntemiyle kümelerine ayrılmıştır. Bunun için NCSS 2007 programında bulunan bulanık kümeleme modülü kullanılmıştır. Program girilen değerleri seçilen kural tipine göre kümelerine ayırmıştır. Bu çalışmada Kausman tarafından geliştirilen formüle uygun kümeleme yapılmıştır. Örnek olarak ele alınan 3 iş 5 operasyon 3 makine den oluşan problem setinde uygun küme sayısının 3 adet olduğu bulunmuştur. Kümelerin ayrımı ve belirlenen üyelikleri Şekil 5.2 ve 5.3 ' de verilmiştir.



Şekil 5.2. Bulanık kümeleme

1. En kısa işlem süresi (iyi)
2. Orta işlem süresi (orta)
3. En uzun işlem süresi (kötü)



Şekil 5.3. Bulanık küme üyeliklerinin durumu

Kümelendirilmiş işlem süreleri MATLAB Fuzzy Toolbox'ta işlenerek durulaştırılmış değerler elde edilmiştir. Örnek olarak Ek-3 te verilen 3 iş 5 aşama 3 makine problemine ait bulanık veriler önce Matlab Fuzzy Toolbox'ta bulunan üyelik fonksiyonu düzenleyicisi modülü ile kümeleme ile belirlenen kümelerine ayrılmıştır. Bu işlemde girdi ve çıktı değerlerinin her biri ayrı ayrı üyeliklerine ayrılmıştır. Daha sonra kural tabanı düzenleyicisinde oluşturulan kural ile programın çalıştırılmasıyla durulaştırılmış değerler elde edilmiştir. Her bir değer keskinleşmiş değerleri program çıktısında gözlemlenmiştir. Durulaştırılmış, kesin değerlere sahip işlem süreleriyle oluşan problem setleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. 3 iş 5 aşama 3 makine problemine ait durulaştırılmış değerler

	M1	M2	M3
İş 1-1	9	10	7
İş 1-2	6	5	4
İş 1-3	6	10	8
İş 1-4	9	10	7
İş 1-5	6	5	4
İş 2-1	10	7	5
İş 2-2	3	4	9
İş 2-3	8	8	5
İş 2-4	6	7	11
İş 2-5	5	4	4
İş 3-1	12	7	17
İş 3-2	2	5	12
İş 3-3	4	6	10
İş 3-4	10	10	8
İş 3-5	8	6	6

5.2. Taguchi Metodu ve Genetik Algoritma ile Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Bulanık olmayan işlem süreleri artık Genetik Algoritma programında işlenmeye hazır hale getirilmiştir. Problemleri çözmek için kullanılan programda literatüre uygun olarak 5 parametre kullanılması belirlenmiştir. Her bir tip problem türü için etkili parametreleri belirlemek amacıyla olası tüm kombinasyonları deneyerek tam faktöriyel deney tasarımı yapmak yerine Taguchi Ortogonal Diziler Metodu kullanılmıştır. Literatüre uygun olarak belirlenen faktörler ve seviyeleri aşağıdaki Tablo 5.3 de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Faktörler için kullanılan düzeyler

	Rulet Çemberi
Türetme Yöntemi	Turnuva Yöntemi
Popülasyon Büyüklüğü	50-100-150
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyona Dayalı Çaprazlama
	Kısmi Planlı Çaprazlama
	Sıraya Dayalı Çaprazlama
Mutasyon Oranı %	10-50-90
Çaprazlama Oranı %	10-50-90

Belirlenen bu faktörler ve seviyeleri için tam faktöriyel deney tasarımı yapılması durumunda her bir problem tipi için $3 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 5 = 162$ deney yapmak gerekmektedir. Ayrıca doğruluğunu teyit etmek amacıyla her bir problem 5'er kere çözüldüğünde 162×5 adet, 30 tip problem olduğu için toplamda $30 \times 162 \times 5 = 24300$ deney yapmak gerekmektedir. Farklı seviyelerde faktörlere sahip olan bu problem setlerinde hangi ortogonal dizinin kullanılacağına Minitab programında bulunan Taguchi Dizaynı modülü kullanılarak karar verilmiştir. Problem tipine ait faktör ve seviye sayıları programa girildiğinde 18×5 deney ile çözüme ulaşılabileceği belirlenmiştir. Taguchi ortogonal diziler yöntemine göre L18 dizaynı kullanılmış ve her bir problem tipi için 90 deney ile çözüme ulaşılmıştır. Toplamda ise $30 \times 18 \times 5 = 2700$ adet deneyle sonuca ulaşılmıştır. Tablo 5.5.'de L18 ortogonal dizisine göre test edilmesi gereken deneylere ait faktör seviyeleri görülmektedir. Taguchi Deney Tasarımı tekniğine göre yapılan bu çalışmada izlenen adımlar aşağıdaki şekildedir:

- Faktörler genetik algoritma yönteminde kullanılan parametrelere ve literatüre uygun olarak belirlenmiştir. Faktörler arasında herhangi bir etkileşim bulunmamaktadır.
- Faktör seviyeleri en iyi çözüme yaklaştıracak sonuçlar elde etmek amacıyla literatüre uygun olarak belirlenmiştir.
- Taguchi metoduna göre kullanılması gereken dizaynın L18 olduğu belirlenmiştir.
- Faktörler arası etkileşim bulunmadığından eşleştirme yapılmamıştır.
- Her bir probleme ait 18 adet deney GA programında gerçekleştirilmiştir.
- Sonuçlar varyans analizine tabi tutulmuştur.

Tablo 5.4. L18 Ortogonal Dizisi

1	1	1	1	1
1	1	2	2	2
1	1	3	3	3
1	2	1	1	2
1	2	2	2	3
1	2	3	3	1
1	3	1	2	1
1	3	2	3	2
1	3	3	1	3
2	1	1	3	3
2	1	2	1	1
2	1	3	2	2
2	2	1	2	3
2	2	2	3	1
2	2	3	1	2
2	3	1	3	2
2	3	2	1	3
2	3	3	2	1

Tablo 5.5. L18 Ortogonal dizisine göre deney kombinasyonları

Deney No	Türetme Yöntemi	Popülasyon Büyüklüğü	Çaprazlama Yöntemi	Mutasyon Oranı %	Çaprazlama Oranı %
1	Rulet Çemberi	50	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	10	10
2	Rulet Çemberi	50	Kısmi Planlı Çaprazlama	50	50
3	Rulet Çemberi	50	Sıraya Dayalı Çaprazlama	90	90
4	Rulet Çemberi	100	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	10	50
5	Rulet Çemberi	100	Kısmi Planlı Çaprazlama	50	90
6	Rulet Çemberi	100	Sıraya Dayalı Çaprazlama	90	10
7	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	50	10
8	Rulet Çemberi	150	Kısmi Planlı Çaprazlama	90	50
9	Rulet Çemberi	150	Sıraya Dayalı Çaprazlama	10	90
10	Turnuva Yöntemi	50	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	90	90
11	Turnuva Yöntemi	50	Kısmi Planlı Çaprazlama	10	10
12	Turnuva Yöntemi	50	Sıraya Dayalı Çaprazlama	50	50
13	Turnuva Yöntemi	100	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	50	90
14	Turnuva Yöntemi	100	Kısmi Planlı Çaprazlama	90	10

Tablo 5.5. L18 Ortogonal dizisine göre deney kombinasyonları (Devam)

15	Turnuva Yöntemi	100	Sıraya Dayalı Çaprazlama	10	50
16	Turnuva Yöntemi	150	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	90	50
17	Turnuva Yöntemi	150	Kısmi Planlı Çaprazlama	10	90
18	Turnuva Yöntemi	150	Sıraya Dayalı Çaprazlama	50	10

3 iş 5 operasyon 3 makine ‘den oluşan problem setine ait çizelgeleme problemine ait her deney 5 er kere GA programında çözülmüştür ve bunların ortalaması alınarak istatistiksel olarak sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır. Tüm deneyler sonucunda elde edilen sonuçların ortalamaları ise Tablo 5.6’da verildiği gibidir. Bu sonuçlar analiz işlemlerinde sinyal/ gürültü oranının hesaplanmasında ve varyans analizinde kullanılacaklardır.

Tablo 5.6. 3 İş 5 Operasyon 3 Makine’den oluşan problem için deney sonuçlarının ortalaması

Deney No	Türetme Yöntemi	Popülasyon Büyüklüğü	Çaprazlama Yöntemi	Mutasyon Oranı %	Çaprazlama Oranı %	Sonuç (dk)
1	Rulet Çemberi	50	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	10	10	40
2	Rulet Çemberi	50	Kısmi Planlı Çaprazlama	50	50	43
3	Rulet Çemberi	50	Sıraya Dayalı Çaprazlama	90	90	39
4	Rulet Çemberi	100	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	10	50	43
5	Rulet Çemberi	100	Kısmi Planlı Çaprazlama	50	90	39
6	Rulet Çemberi	100	Sıraya Dayalı Çaprazlama	90	10	38
7	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	50	10	43
8	Rulet Çemberi	150	Kısmi Planlı Çaprazlama	90	50	38
9	Rulet Çemberi	150	Sıraya Dayalı Çaprazlama	10	90	37
10	Turnuva Yöntemi	50	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	90	90	41
11	Turnuva Yöntemi	50	Kısmi Planlı Çaprazlama	10	10	41
12	Turnuva Yöntemi	50	Sıraya Dayalı Çaprazlama	50	50	45

Tablo 5.6. 3 İş 5 Operasyon 3 Makine'den oluşan problem için deney sonuçları (Devam)

13	Turnuva Yöntemi	100	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	50	90	34
14	Turnuva Yöntemi	100	Kısmi Planlı Çaprazlama	90	10	40
15	Turnuva Yöntemi	100	Sıraya Dayalı Çaprazlama	10	50	40
16	Turnuva Yöntemi	150	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	90	50	41
17	Turnuva Yöntemi	150	Kısmi Planlı Çaprazlama	10	90	41
18	Turnuva Yöntemi	150	Sıraya Dayalı Çaprazlama	50	10	43

5.3. Anova Testi ile Faktör Etkilerinin Belirlenmesi

Yapılan deneylerde sonuca etkili olan faktörleri ve ne ölçüde etkili olduklarını belirlemek amacıyla Taguchi deney tasarımı analiz edilmiştir. Sinyal gürültü oranları hesaplanmış ve varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. 3 İş 5 Operasyon 3 Makine 'den oluşan problem setine ait S/N oranları ve varyans analizi sonucu elde edilen faktör etkileri Tablo 5.7'de verilmiştir. Çalışmada amaç toplam akış zamanını en az yapmak olduğu için sinyal gürültü oranı hesabında “düşük değeren iyi” yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre sinyal gürültü oranını hesaplamakta kullanılan dekleme:

$$\eta = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \text{ şeklindedir.}$$

Tablo 5.7. Taguchi L18 deney tasarımına göre S/N oranları ve ANOVA tablosu

Faktörler	Sinyal Gürültü Oranları			Kareler	Faktör	F	P
	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	Toplamı	Etkisi %	Değeri	Değeri
Türetme Yöntemi	-32,03	-32,16	-	0,08283	2,87%	0,24	0,64
Popülasyon Büyüklüğü	-32,35	-31,8	-32,13	0,9267	32,09%	1,32	0,32
Çaprazlama Yöntemi	-32,09	-32,11	-32,09	0,00122	0,04%	0,03	0,86
Mutasyon Oranı %	-32,1	-32,25	-31,93	0,32026	11,09%	0,46	0,65
Çaprazlama Oranı %	-32,21	-32,38	-31,69	1,55654	53,91%	2,21	0,172

Kullanılan yaklaşım ne olursa olsun bir seviyeye ait S/N oranı ne kadar büyük ise sonuca o kadar etkilidir. Buna göre; 3 iş 5 operasyon 3 makine 'den oluşan

problem setinde en etkili faktör seviyeleri; rulet çemberi türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi, %90 mutasyon ve çaprazlama oranıdır. Bu en etkin faktör seviyeleriyle GA programı tekrar çalıştırılmış ve sonuç 34 dk bulunmuştur. Varyans analizinde hedeflenen, incelenen faktörlerin, kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerini (kesme kuvvetini) ne ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıklarını ortaya koyabilmektir. Bunun yanısıra elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir. Bu amaçla öncelikle sinyal/gürültü oranının toplam değişkenliğini belirten SS_T değeri (toplam karelerin toplamı) hesaplanır. SS_T değeri üç faktörün ayrı ayrı her faktörün karelerinin toplamı değerleri ile hata payının karelerinin toplamı olan SS_e değerinin toplamından oluşmaktadır. Bir sonraki adımda ise her deney faktörünün deney sonuçlarını ne ölçüde etkilediğini gösterebilmek için F-Testi adı verilen hesaplama yapılır. F-Testinde toplam karelerin toplamındaki her bileşen için karelerin toplamı değeri o faktörün serbestlik derecesine bölünür ve ortalama karelerin toplamı değeri belirlenir. F değeri ortalama karelerin toplamı değerinin hata değerinin ortalama karelerin toplamına bölünmesi ile bulunur. Hesaplanan F-değerlerinin, %95 güvenilirlik seviyesi her faktöre ait olan serbestlik dereceleri için ilgili tablodan alınan kritik değeri ile karşılaştırılması, hedeflenen %95'lik güvenilirlik seviyesini sağlanıp sağlanmadığını ortaya koymaktadır. Ayrıca elde edilen bir istatistiksel sonuç ise p değeridir. Bu değere bakarak karar vermek tabloya bakarak karar vermektense daha kolaydır. Sonuçlara bakıldığında p değerleri hep 0,95 ten küçüktür dolayısıyla sonuçlar güven aralığı içerisindedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar oldukça yüksek bir güvenilirlik seviyesi sağlamaktadır. Yani incelenen faktörlerin etkisinin hata faktörden ayrıştırılması oldukça kolaydır ve hedeflenen %95'lik güvenilirlik seviyesi kolayca yakalanılabilmektedir. Değerlendirmede kullanılan diğer bir değer olan her faktörün yüzde olarak toplam değişkenlik üzerindeki etkisi ise her faktörün karelerin toplamı değerinin toplam karelerin toplamı değerine bölünmesi ile bulunur ve o faktörün deney sonuçlarına katkısının tüm faktörler içerisindeki oranını gösterir.

Her bir faktörün etkisi varyans analiziyle elde edilmiş olup sonuca en etkili faktörün bu problem seti için çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir ve

çaprazlama oranı büyüdükçe daha etkin sonuçların elde edileceği belirlenmiştir. Tüm problem setleri aynı uygulama aşamalarına tabi tutulmuştur ve her bir problem tipine ait elde edilen sonuçlar Tablo 5.8 ve 5.9 da verilmiştir. Ekte bulunan verilerde ise her bir problem setine ait durulaştırılmış değerler ve L18 ortogonal dizaynına göre yapılmış deneylerden elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

Tablo 5.8. Faktörler ve Etkileri

Problem Tipi	Türetme Yöntemi	Popülasyon Büyüklüğü	Çaprazlama Yöntemi	Mutasyon Oranı	Çaprazlama Oranı
2*5*2	29,63%	48,15%	12,04%	3,70%	6,48%
2*5*3	32,56%	20,04%	10,79%	25,82%	10,79%
2*5*5	10,67%	49,33%	17,33%	17,33%	5,33%
2*5*10	26,16%	28,71%	1,58%	13,96%	29,60%
2*5*15	32,93%	22,87%	21,79%	4,01%	18,39%
2*5*20	18,43%	10,81%	7,41%	36,76%	26,59%
3*5*2	3,42%	29,03%	29,03%	6,21%	32,32%
3*5*3	2,87%	32,09%	0,04%	11,09%	53,91%
3*5*5	7,46%	5,14%	15,18%	52,63%	19,59%
3*5*10	7,37%	38,80%	40,48%	2,25%	11,11%
3*5*15	9,36%	51,43%	7,79%	12,84%	18,59%
3*5*20	0,39%	6,16%	4,63%	25,43%	63,39%
5*5*2	4,96%	5,47%	6,43%	32,91%	50,24%
5*5*3	0,77%	16,41%	30,48%	6,68%	45,65%
5*5*5	10,79%	36,63%	21,58%	8,84%	22,16%
5*5*10	8,07%	33,88%	20,22%	36,55%	1,28%
5*5*15	0,12%	26,86%	19,35%	30,64%	23,02%
5*5*20	4,40%	4,12%	48,48%	13,62%	29,38%
10*5*2	2,04%	13,44%	45,00%	13,21%	26,31%
10*5*3	0,93%	47,28%	3,84%	16,23%	31,72%
10*5*5	14,13%	20,46%	9,83%	0,80%	54,77%
10*5*10	6,08%	31,49%	4,77%	13,43%	44,23%
10*5*15	0,37%	11,34%	3,67%	40,38%	44,23%
10*5*20	7,91%	5,64%	8,38%	51,45%	26,62%
20*5*2	0,00%	21,73%	9,33%	3,04%	65,90%
20*5*3	0,60%	33,12%	1,19%	13,88%	51,21%
20*5*5	18,56%	5,02%	4,69%	35,55%	36,18%
20*5*10	0,20%	13,38%	10,84%	70,89%	4,69%
20*5*15	3,67%	61,25%	0,27%	2,14%	32,67%
20*5*20	5,92%	24,79%	8,59%	6,56%	54,13%

Tablo 5.9. En etkili faktör seviyeleri ve bu kombinasyonla bulunan sonuçlar

Problem Tipi	Türetme Yöntemi	Popülasyon Büyüklüğü	Çaprazlama Yöntemi	Mutasyon Oranı	Çaprazlama Oranı	Sonuç (dk)
2*5*2	Rulet Çemberi	100	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	90	90	33
2*5*3	Rulet Çemberi	150	Sıraya Dayalı Çaprazlama	90	50	28
2*5*5	Rulet Çemberi	100	Sıraya Dayalı Çaprazlama	50	90	19
2*5*10	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	90	50	15
2*5*15	Rulet Çemberi	100	Kısmi Planlı Çaprazlama	50	50	14
2*5*20	Rulet Çemberi	150	Kısmi Planlı Çaprazlama	10	90	18
3*5*2	Rulet Çemberi	100	Sıraya Dayalı	90	90	43
3*5*3	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı	90	90	34
3*5*5	Turnuva Yöntemi	150	Sıraya Dayalı Çaprazlama	90	50	23
3*5*10	Turnuva Yöntemi	150	Sıraya Dayalı	90	90	25
3*5*15	Rulet Çemberi	100	Pozisyona Dayalı	90	90	24
3*5*20	Turnuva Yöntemi	150	Sıraya Dayalı	90	90	23
5*5*2	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı	10	90	66
5*5*3	Turnuva Yöntemi	150	Kısmi Planlı	90	90	56
5*5*5	Turnuva Yöntemi	150	Kısmi Planlı	90	90	32
5*5*10	Rulet Çemberi	150	Sıraya Dayalı	10	90	32
5*5*15	Turnuva Yöntemi	150	Kısmi Planlı Çaprazlama	90	90	31
5*5*20	Rulet Çemberi	100	Kısmi Planlı Çaprazlama	50	90	29
10*5*2	Turnuva Yöntemi	100	Kısmi Planlı	50	50	132
10*5*3	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı	90	90	108
10*5*5	Rulet Çemberi	150	Kısmi Planlı	90	50	77
10*5*10	Rulet Çemberi	100	Sıraya dayalı	90	90	59
10*5*15	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı	90	90	48
10*5*20	Rulet Çemberi	150	Sıraya Dayalı	90	90	44
20*5*2	Rulet Çemberi	100	Kısmi Planlı	90	90	307

Tablo 5.9. En etkili faktör seviyeleri ve bu kombinasyonla bulunan sonuçlar (Devam)

20*5*3	Turnuva Yöntemi	150	Sıraya dayalı	50	90	216
20*5*5	Rulet Çemberi	100	Sıraya Dayalı	90	90	143
20*5*10	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı	90	90	92
20*5*15	Rulet Çemberi	150	Pozisyona Dayalı	90	90	77
20*5*20	Rulet Çemberi	150	Sıraya Dayalı	90	90	64

Bulanık işlem sürelerine sahip 30 ayrı tipte esnek üretim çizelgeleme problemi önce bulanık mantık yöntemi kullanılarak berrak işlem süreleri elde edilmek suretiyle daha sonra ise genetik algoritma tekniğini kullanan yazılım programı yardımıyla çözülmüştür. En iyi çözümü elde etmek için uygulanacak deney sayısı Taguchi deney tasarımı metoduyla belirlenmiştir. Bu metoda göre her bir problem tipi için 18'er deney yapılarak çözüme en çok etki eden faktörler ve seviyeleri, ayrıca en etkin faktörlerin etki oranları varyans analizi yapılarak elde edilmiştir. Taguchi deney tasarımı metodunu kullanmak deney sayısını çok büyük oranda azaltmıştır. Her bir problem setine ait en iyi çizelge bulunmuştur ve sonuçlara etki eden faktörlere ait etki oranları büyük oranda birbirine benzemiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda da olduğu gibi en etkin faktörün yine çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar şu şekilde açıklanabilir:

2*5*2 tipi (2 iş 5 operasyon 2 makinede oluşan problem seti) problem setinde en etkili faktör popülasyon büyüklüğü olup, popülasyon büyüklüğünün 100 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi, %90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 33 dakika olarak bulunmuştur.

2*5*3 tipi problem setinde en etkili faktör türetme yöntemi olup, türetme yöntemi rulet çemberi metoduyla olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi, %90 mutasyon oranı ve %50 çaprazlama oranı

olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 28 dakika olarak bulunmuştur.

2*5*5 tipi problem setinde en etkili faktör popülasyon büyüklüğü olup, popülasyon büyüklüğünün 100 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi, % 50 mutasyon oranı ve % 90 çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 19 dakika olarak bulunmuştur.

2*5*10 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 50 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 100 popülasyon büyüklüğü, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi, %90 mutasyon oranı ve %50 çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 15 dakika olarak bulunmuştur.

2*5*15 tipi problem setinde en etkili faktör türetme yöntemi olup, türetme yöntemi rulet çemberi metoduyla olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 100 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazla yöntemi, % 50 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 14 dakika olarak bulunmuştur.

2*5*20 tipi problem setinde en etkili faktör mutasyon oranı olup, mutasyon oranının %10 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazlama yöntemi, %90 çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 18 dakika olarak bulunmuştur.

3*5*2 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 100 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve %90 mutasyon oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 43 dakika olarak bulunmuştur.

3*5*3 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ve % 90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 34 dakika olarak bulunmuştur.

3*5*5 tipi problem setinde en etkili faktör mutasyon oranı olup, mutasyon oranının %90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise turnuva türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve % 90 mutasyon oranı ve % 50 çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 23 dakika olarak bulunmuştur.

3*5*10 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise turnuva türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve % 90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 25 dakika olarak bulunmuştur.

3*5*15 tipi problem setinde en etkili faktör popülasyon büyüklüğü olup, popülasyon büyüklüğünün 100 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi 100 popülasyon büyüklüğü, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ve % 90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 24 dakika olarak bulunmuştur.

3*5*20 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise turnuva türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve % 90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 23 dakika olarak bulunmuştur.

5*5*2 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi 150 popülasyon büyüklüğü, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ve % 10 mutasyon oranı ve % 90 çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 66 dakika olarak bulunmuştur.

5*5*3 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise turnuva türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazlama yöntemi %90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 56 dakika olarak bulunmuştur.

5*5*5 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise turnuva türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazlama yöntemi %90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 32 dakika olarak bulunmuştur.

5*5*10 tipi problem setinde en etkili faktör mutasyon oranı olup, mutasyon oranının %10 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. . En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve %90 çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 32 dakika olarak bulunmuştur.

5*5*15 tipi problem setinde en etkili faktör mutasyon oranı olup, mutasyon oranının %90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise turnuva türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazlama yöntemi %90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 31 dakika olarak bulunmuştur.

5*5*20 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama yöntemi olup, kısmi planlı

çaprazlama yöntemi kullanıldığında en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 100 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazlama yöntemi %90 çaprazlama oranı ve % 50 mutasyon oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 29 dakika olarak bulunmuştur.

10*5*2 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama yöntemi olup, kısmi planlı çaprazlama yöntemi kullanıldığında en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise turnuva türetme yöntemi, 100 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazlama yöntemi, % 50 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 132 dakika olarak bulunmuştur.

10*5*3 tipi problem setinde en etkili faktör popülasyon büyüklüğü olup, popülasyon büyüklüğünün 150 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. . En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi, %90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 108 dakika olarak bulunmuştur.

10*5*5 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 50 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazlama yöntemi ve %90 mutasyon oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 77 dakika olarak bulunmuştur.

10*5*10 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 100 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve %90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 59 dakika olarak bulunmuştur.

10*5*15 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör

seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ve %90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 48 dakika olarak bulunmuştur.

10*5*20 tipi problem setinde en etkili faktör mutasyon oranı olup, mutasyon oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi, %90 çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 44 dakika olarak bulunmuştur.

20*5*2 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi türetme yöntemi, 100 popülasyon büyüklüğü, kısmi planlı çaprazlama yöntemi ve %90 mutasyon ve çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 307 dakika olarak bulunmuştur.

20*5*3 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise turnuva çaprazlama yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve %50 mutasyon oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 216 dakika olarak bulunmuştur.

20*5*5 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi yöntemi, 100 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve %90 mutasyon oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 143 dakika olarak bulunmuştur.

20*5*10 tipi problem setinde en etkili faktör mutasyon oranı olup, mutasyon oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, pozisyona dayalı

Çaprazlama yöntemi ve %90 çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 92 dakika olarak bulunmuştur.

20*5*15 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ve %90 mutasyon oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 77 dakika olarak bulunmuştur.

20*5*20 tipi problem setinde en etkili faktör çaprazlama oranı olup, çaprazlama oranının % 90 olduğu durumda en iyi çözüm elde edilmiştir. En etkin faktör seviyeleri ise rulet çemberi yöntemi, 150 popülasyon büyüklüğü, sıraya dayalı çaprazlama yöntemi ve %90 mutasyon oranı olduğu belirlenmiştir. Bu etkin faktör seviyeleriyle elde edilen sonuç 64 dakika olarak bulunmuştur.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

30 ayrı tip problem için yapılan deney sonuçlarından %53'ünde en etkin faktörün çaprazlama oranı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sonuçların %20'sinde mutasyon oranı, %13 ünde popülasyon büyüklüğü, % 7 sinde çaprazlama yöntemi ve % 7 sinde türetme yönteminin en etkin faktör olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde bulunan çalışmalara benzer olarak çaprazlama oranının sonuca en çok etki eden faktör olduğu bulunmuştur. Çaprazlama oranını artırmak daha iyi çözümler elde etmeyi sağlamaktadır. Ayrıca mutasyon oranı da arttıkça daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Sonuçlara en az etkisi olan faktörlerin ise çaprazlama yöntemi ve türetme yöntemi olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bir başka sonuç ise iş ve makine sayısının artırılmasıyla en etkin faktörün çaprazlama oranı olduğunun görülmesidir. 20 iş ten oluşan problemlerin %90 ında çaprazlama oranı en etkin faktördür. Ayrıca iş sayısı büyüdükçe en etkin faktör seviyelerinin de en büyük değerlerden oluştuğu gözlemlenmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda esnek üretim sistemi çizelgeleme problemlerini diğer metasezgisel yöntemlerle çözerek optimum / optimuma yakın çözümler elde etmek amaçlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] JIN, Z., YANG, Z., ITO, T., Metaheuristic algorithms for the multistage hybrid flowshop scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 100,322–334, 2006
- [2] GUPTA, J.N.D., Two-stage hybrid flowshop scheduling problem, *Operational Research Society*, 39, 359-364, 1988.
- [3] WANG, Z. X_ NG, W. BAI, F. No-wait flexible flowshop scheduling with no-idlemachines. *Operational Research Letters*, 33, 609-614, 2005
- [4] ALLAOUY, H., ARTIBA, A., Scheduling two-stage hybrid flow shop with availability constraints. *Computers & Operations Research*, 33, 1399-1419., 2006
- [5] TANG , L., XUAN, H., LIU, J., A new Lagrangian relaxation algorithm for hybrid flowshop scheduling to minimize total weighted completion time, *Computers&Operations Research*, 33, 3344-3359, 2006
- [6] CHUNG, Y.L., VAIRAKTARAKIS, G.L., Minimizing makespan in hybrid flowshops, *Operations Research Letters*. 1994
- [7] SU, L.H, A hybrid two-stage flowshop with limited waiting time constraints Elsevier Science Ltd. 2002
- [8] WITTROCK, R.J., An adaptable scheduling algorithm for flexible flow lines, *Operations Research*, 36, 445-453. WITTROCK, R.J., 1985. Scheduling algorithms for flexible flow lines, *IBM Journal of Research Development*, 29, 401-412, 1988
- [9] HO, N. B. , TAY, J. C. GENACE: An efficient cultural Algorithm for solving the flexible job shop problem *Intelligent Systems Laboratory Nanyang Technological University*. 2004
- [10] BİROĞUL, S. ve GÜVENÇ, U., 'Genetik Algoritma İle Çözümü Gerçekleştirilen Atölye Çizelgeleme Probleminde Ürün Sayısının Etkisi', *Akademik Bilişim 2007*, 31 Ocak-2 Şubat 2007
- [11] IP W.H., LÍ Y., MAN K.F., TANG K.S., *Computers and Industrial Engineering*, Elsevier. 2000

- [12] GEN, M., SYARIF, A, Computers & Industrial Engineering 48 799–809, 2005
- [13] FELIX, T.S., CHUNG, S.H., CHAN, L.Y., FINKE, G., TIWARI M.K., Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 22 493–504, 2006
- [14] PETROVIC D., DUENA, A., Fuzzy Sets and Systems 157 2273 – 2285 Elsevier. 2006
- [15] PEZZELLAA, F. , MORGANTIA, G., CIASCHETTIB G., Computers & Operations Research. 35 3202 – 3212, 2008
- [16] TEMİZ, İ., EROL, S., Bulanık Akış Tipi Çizelgeleme Problemi için Çok Amaçlı Genetik Algoritma. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 22, No 4, 855-862, 2007
- [17] LEI,D., GUO, X., Solving fuzzy flexible job shop scheduling problems using genetic algorithm. Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, 2008
- [18] SAKAWA, M., MORI, T., An efficient genetic algorithm for job-shop scheduling problems with fuzzy processing time and fuzzy due date. Computers & Industrial Engineering 36 325-341, 1999
- [19] RACHAMADAGU, R., STECKE, K. Classification and review of FMS scheduling procedures. Division of Research School of Business Administration The University of Michigan Working paper no:711, 1993
- [20] DOĞDU. N., ONURAL, A.Ş., CERİT B., Esnek Üretim Sistemlerinde Optimal Bir Çizelgeleme Çalışması, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8 Sayı1- 2, (2004), 31-39
- [21] WADHWA, S., PRAKASH, A., DESHMUKH, S.G., A Knowledge Based GA Approach for FMS Scheduling, Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists Hong Kong, 2009
- [22] GÖZEN, Ş.,Bulanık Esnek Akış Tipi Çok Prosesli Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi ile Çözümü. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2007
- [23] CERAN G., Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Veri Madenciliği ve Genetik Algoritma Kullanılarak Çözülmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2007
- [24] PARIS, D.J., Flexible Manufacturing, Printed in Great Britain at the University Press, Cambridge, 1990

- [25] SIPPER, D. ve BULFIN L. Robert Production Planning, Control and Integration, McGraw-Hill Inc, USA.1997
- [26] GROOVER, P., Automation Production Systems and Computer Integrated Manufacturing, Prentice- Hall Inc , USA, 1987
- [27] GÜLDAL, A., Seri İş Akışlı Atölye Çizelgelenmesinde Sezgisel Teknikler, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1990
- [28] GREENWOOD, N. R., Implementing Flexible Manufacturing Systems, Macmillan, Hon Kong 1988.
- [29] TÜRKBEY, O., Çok Amaçlı Makine Sıralama Problemi İçin Bir Bulanık Güçlü Metot”, D.E.Ü., Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:5, Sayı:3, S.81-98, 2003
- [30] ZADEH, L.A., Fuzzy Logic Systems: Origin, Concepts and Trends, Applied Computer Science, University Of Konstanz, 1991
- [31] ÖZKAN, M. M., Bulanık Hedef Programlama, Ekin Kitabevi, ISBN 975 7338 958, Bursa, 2003
- [32] SEN, Z., Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri, Su Vakfı Yayınları, 2. Baskı, ISBN: 975-6455-10-1, İstanbul. 2004
- [33] KLIR, J.G. ve YUAN, B., Fuzzy sets and fuzzy logic theory and applications. Prentice Hall, New Jersey, 1995
- [34] ÖZTÜRK, C.A., MERCAN, D.E., TOPRAK, F., KİŞİ, Ö. ve ŞAHİN, U., Bulanık mantık kurs notları, İTÜ Bulanık Mantık ve Teknoloji Kulübü, İstanbul, 2003
- [35] ŞEN, Z., 2004-b. Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri, Su Vakfı Yayınları, 2. Baskı, ISBN: 975-6455-10-1, İstanbul
- [36] GOLDBERG, D.E., Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, USA, 1989
- [37] EMEL, G., TASKIN, Ç., Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt XXI, Sayı 1, s.129-152, 2002

- [38] ÖZKAN R, Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengelem Problemlerine Genetik Algoritma ile Çözüm Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi,İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [39] ALTIPARMAK, F., DENGİZ, B. , An Evolutionary Approach For Reliability Optimization in Fixed Topology Computer Networks Transactions On Operational Research, Volume: 12, Number: 1-2, s. 57-75 2000
- [40] KAYA, İ., “Nitel Özellikler için Kontrol Diyagramları ve Örnekleme Planlarında Genetik Algoritmaların Kullanımı”, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2004
- [41] BİROĞUL S. 2005. Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- [42] MITCHELL, M., FOREST S. Genetic Algorithms and Artificial Life. an Overview, MIT Press, Cambridge Vol. 1, No. 3, pp. 267-289. Reprinted in C. G. Langton (Ed.). 1994
- [43] GONZALES, E. L., FERNANDEZ, M.A.R.. Genetic Optimisation of A Fuzzy Distribution Model, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Volume 30, Number 7/8, s. 681-696, 2000
- [44] ENGİN O.. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Parametre Optimizasyonu, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2001
- [45] ZHAU,Y., Study on Genetic Algorithm Improvement and Application, Yüksek Lisans Tezi, Worcester Polytechnic Institute, New England, 2006.
- [46] HINKELMANN, K., KEMPTHORNE, O. “Design and Analysis of Experiments Volume 2 Advanced Experimental Design” A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey, 2005
- [47] DEAN ve VOSSVOSS A.,D.,D. 1999 “Design and Analysis of Experiments” Springer, 7-8, 1999
- [48] LAZIC, Z.,R. Design of Experiments in Chemical Engineering A Practical Guide. WILEY-VCH, 157-165, 2004

- [49] YANG, V. D., MONTGOMERY, D. C., Design and analysis of experiments, 5th Edition, John Wiley, Wiley & Sons, New York, 1-19.
Yang W. H., Tarnng Y. S., (1998)
- [50] YANG W. H., Tarnng Y. S., Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method, Journal of Materials Processing Technology, 84, 122- 129, 1998.
- [51] ROSS, P. J., Taguchi techniques for quality engineering, loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design, McGraw-Hill International Book Company, ISBN 0-07-053866-2, 1-66, 167-202. 1989

EKLER

EK-1

Durulaştırılmış problem seti örnekleri

2 İŞ 5 AŞAMA 5 MAKİNE' Lİ PROBLEM SETİ

	M1	M2	M3	M4	M5
İŞ11	5	3	9	4	7
İŞ12	7	6	2	8	4
	5	8	4	2	8
İŞ14	8	5	10	9	7
İŞ15	6	4	8	5	4
İŞ21	2	7	5	9	2
İŞ22	5	5	9	6	5
İŞ23	2	6	5	6	2
İŞ24	9	10	11	9	9
İŞ25	5	6	4	6	5

3 İŞ 5 AŞAMA 5 MAKİNE' Lİ PROBLEM SETİ

//	M1	M2	M3	M4	M5
İŞ11	5	3	9	4	7
İŞ12	7	6	2	8	4
İŞ13	5	8	4	2	8
İŞ14	8	5	10	9	7
İŞ15	6	4	8	5	4
İŞ21	2	7	5	9	2
İŞ22	5	5	9	6	5
İŞ23	2	6	5	6	2
İŞ24	9	10	11	9	9
İŞ25	5	6	4	6	5
İŞ31	9	5	8	6	11
İŞ32	6	1	12	9	3
İŞ33	6	8	4	1	5
İŞ34	9	3	5	9	9
İŞ35	6	4	8	5	6

EK-1 Devamı:**5 İŞ 5 AŞAMA 10 MAKİNE'Lİ PROBLEM SETİ**

//	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
İŞ11	14	5	12	11	7	17	13	8	9	7
İŞ12	2	1	2	8	4	12	8	3	7	5
İŞ13	4	8	4	2	8	10	6	11	5	6
İŞ14	6	3	10	9	7	8	7	10	6	10
İŞ15	6	4	8	13	4	6	5	5	4	6
İŞ21	11	7	5	9	2	12	7	17	9	5
İŞ22	9	5	9	6	5	2	5	12	6	1
İŞ23	16	6	5	6	2	4	6	10	6	8
İŞ24	9	10	11	9	9	10	10	8	9	3
İŞ25	5	6	4	6	5	8	6	6	6	4
İŞ31	4	8	4	2	8	10	6	11	5	6
İŞ32	6	3	10	9	7	8	7	10	6	10
İŞ33	6	4	8	13	4	6	5	5	4	6
İŞ34	14	5	12	11	7	17	13	8	9	7
İŞ35	2	1	2	8	4	12	8	3	7	5
İŞ41	10	6	11	5	6	11	7	5	9	2
İŞ42	8	7	10	6	10	9	5	9	6	5
İŞ43	6	5	5	4	6	16	6	5	6	2
İŞ44	17	13	8	9	7	9	10	11	9	9
İŞ45	12	8	3	7	5	5	6	4	6	5
İŞ51	17	13	8	9	7	14	5	12	11	7
İŞ52	12	8	3	7	5	2	1	2	8	4
İŞ53	10	6	11	5	6	4	8	4	2	8
İŞ54	8	7	10	6	10	6	3	10	9	7
İŞ55	6	5	5	4	6	6	4	8	13	4

EK-2

PROBLEM SETLERİNE AİT DAKİKA CİNSİNDEN EN İYİ SONUÇLAR

Deney No	2*5*2	2*5*3	2*5*5	2*5*10	2*5*15
1	33	33	23	17	24
2	33	28	22	15	15
3	34	28	22	16	22
4	33	31	22	16	14
5	33	29	22	21	16
6	33	28	22	21	21
7	33	29	22	23	21
8	33	28	24	15	14
9	33	29	22	15	20
10	33	31	24	17	26
11	36	30	25	28	24
12	37	31	23	23	26
13	33	31	22	25	20
14	33	33	22	24	22
15	33	31	22	23	22
16	34	28	23	15	22
17	34	31	22	17	19
18	33	30	22	19	19

Deney No	2*5*20	3*5*2	3*5*3	3*5*5	3*5*10
1	23	49	40	30	34
2	24	52	43	30	35
3	21	48	39	27	28
4	21	48	43	31	30
5	21	49	39	26	28
6	26	44	38	29	29
7	23	49	43	28	31
8	21	49	38	23	30
9	18	45	37	28	25
10	23	49	41	24	31
11	23	51	41	30	33
12	25	48	45	24	29
13	25	45	34	28	28
14	21	48	40	28	29
15	23	51	40	26	24
16	22	49	41	28	25
17	22	48	41	30	31
18	26	49	43	26	27

EK-2 DEVAMI

Deney No	3*5*15	3*5*20	5*5*2	5*5*3	5*5*5
1	31	31	74	66	47
2	29	28	75	62	38
3	32	24	69	60	38
4	25	29	70	64	43
5	28	30	73	59	39
6	30	27	73	63	41
7	29	33	75	64	37
8	25	25	71	61	35
9	31	25	66	59	32
10	33	25	69	66	42
11	31	32	75	67	38
12	27	29	80	58	37
13	25	26	70	66	33
14	27	31	76	59	33
15	26	27	71	60	36
16	29	25	70	58	36
17	24	24	70	53	39
18	26	30	79	68	42

Deney No	5*5*10	5*5*15	5*5*20	10*5*2	10*5*3
1	32	36	39	165	125
2	41	35	29	145	116
3	40	35	34	147	117
4	38	39	37	157	115
5	37	35	35	136	114
6	39	36	40	143	115
7	41	34	37	151	111
8	37	32	32	148	116
9	33	30	37	153	109
10	37	34	42	154	105
11	41	35	39	152	125
12	41	38	39	142	131
13	42	34	30	152	120
14	42	32	35	149	117
15	37	31	36	139	111
16	36	35	40	144	112
17	38	34	31	143	110
18	34	38	39	155	116

3 İş 5 Aşama 3 Makine Problemine ait bulanık İşlem süreleri

	M1	M2	M3
J1	8 9 7 8 8 7 9 10 9 8	10 9 11 10 10 10 11 9 10 10	7 8 9 8 7 7 7 7 8 9
J1	6 4 6 5 5 6 7 8 6 5	5 4 6 5 5 6 7 8 6 5	3 4 5 4 4 5 3 4 4 3
J1	4 6 5 5 6 6 7 8 5 6	9 11 10 10 10 10 10 11 10 9	8 9 7 8 7 8 8 7 6 8
J1	7 8 8 8 9 7 9 10 8 9	10 11 9 10 9 11 10 11 10 11	8 7 6 6 7 8 7 7 8 7
J1	5 6 4 6 5 6 7 8 6 4	4 6 5 5 4 6 7 5 6 5	3 4 5 4 4 5 3 4 4 3
J2	11 11 10 9 11 10 10 10 11 9	7 8 7 6 6 7 9 7 8 7	6 5 5 6 6 5 4 5 4 3
J2	2 3 3 4 3 5 3 3 2 3	3 4 5 4 4 5 3 4 4 3	8 9 7 8 7 8 8 7 6 8
J2	8 9 7 8 7 8 8 7 6 8	8 9 7 8 7 8 8 7 6 8	5 4 6 6 5 5 6 5 4 5
J2	6 4 6 5 5 6 7 8 6 5	8 7 6 6 7 8 7 7 8 7	12 11 12 13 10 11 10 11 11 12
J2	5 4 5 5 3 5 6 5 6 5	6 5 5 4 4 5 4 3 4 5	3 4 4 5 4 3 4 4 5 4
J3	11 12 13 11 12 12 11 13 12 12	7 8 9 8 7 7 7 7 8 9	16 17 17 16 15 17 17 16 16 17
J3	3 1 4 2 2 2 3 2 2 3	3 4 5 4 4 5 3 4 4 3	12 11 12 10 12 11 10 11 11 12
J3	3 4 5 4 4 5 3 4 4 3	6 5 5 6 6 5 4 5 4 3	10 11 10 9 11 10 10 10 11 9
J3	10 9 11 10 10 10 11 9 10 10	10 11 10 9 11 10 10 10 11 9	8 9 7 8 7 8 8 7 6 8
J3	8 9 7 8 7 8 8 7 6 8	5 6 5 6 6 5 4 6 4 5	6 4 6 5 5 6 7 8 6 5

ÖZGEÇMİŞ

Gökçe CANDAN, 28.06.1985'te Adapazarı'nda doğdu. İlköğretimini Adapazarı'nda, ortaöğretimini Konya'da tamamladı. 2003 yılında Konya Karatay Anadolu Lisesi'nden mezun oldu ve aynı yıl kazandığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2007 yılında Toprak İlaç A.Ş.'de Üretim Planlama Mühendisi olarak başladığı kariyerini, halen Üretim Planlama Sorumlusu olarak sürdürmektedir. Başar CANDAN ile evlidir.