T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK ESNEK AKIŞ TİPİ ÇOK PROSESLİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA VE TAVLAMA BENZETİMİ İLE ÇÖZÜMÜ

Şerife GÖZEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya, 2007

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BULANIK ESNEK AKIŞ TİPİ ÇOK PROSESLİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA VE TAVLAMA BENZETİMİ İLE ÇÖZÜMÜ

End. Müh. Şerife GÖZEN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

2007, 109 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Ahmet PEKER

Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

Yrd. Doç. Dr. M. Emin BAYSAL

Tez kapsamında NP problemleri grubunda yer alan çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemleri bulanık hala getirilerek genetik algoritma ve tavlama benzetimi yardımıyla çözülmüştür.

Çalışmanın ilk bölümünde esnek akış tipi çok prosesli çizelgeleme problemleri tanımlanmış, bulanık mantık ve problemlerin bulanıklaştırılması süreci sunulmuştur.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bulanıklaştırılan esnek akış tipi çok prosesli çizelgeleme problemleri genetik algoritma ve tavlama benzetimi ile çözülerek elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Genetik algoritmanın bütün problemler için başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Çok Prosesli Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri, Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi

ABSTRACT

Ms Thesis

SOLVING FUZZY FLEXIBLE FLOW SHOP MULTI PROCESSING SCHEDULING PROBLEMS BY GENETIC ALGORITHM AND SIMULATED ANNEALING

Ind. Eng. Şerife GÖZEN

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering

Supervisor: Ass. Prof. Dr. Orhan ENGİN

2007, 109 Pages

Jury: Prof. Dr. Ahmet PEKER

Ass. Prof. Dr. Orhan ENGİN

Ass. Prof. Dr. M. Emin BAYSAL

In this study flexible flow shop multi processing scheduling problems that are NP problems are solved by genetic algorithm and simulated annealing as these problems turn to fuzzy form.

In the first section flexible flow shop multi processing scheduling problems are described and fuzzy logic and process of turning the problems to fuzzy form presented.

Flexible flow shop multi processing scheduling problems that are turned to fuzzy form are solved by genetic algorithm and simulated annealing and the results are compared in next sections. The results showed that genetic algorithm accomplishes all the problems.

Key Words: Fuzzy multi processing flexible flow shop scheduling problems, Genetic algorithm, Simulated annealing.

ÖNSÖZ

Üretim sistemlerinde çizelgeleme problemi, belli bir performans ölçütünü eniyileyecek optimum iş akış sırasını (tezgâhlara gelen işlerin yapılma sırasını) belirlemek olarak bilinir. Bu optimum sıra belirlenirken tamamlanma zamanı, makine aylak zamanı, teslim süresi, geciken iş sayısı minimizasyonu gibi birden fazla amacın göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çok amaçlı esnek akış tipi çizelgeleme üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Konunun pratikte kullanım alanının genişliği, literatürde az çalışma yapılmış olması ve yeni bir konu olması beni bu çalışma üzerine yöneltmiştir.

Bu çalışmanın ortaya çıkması sürecinde yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, danışman hocam Sayın, Yrd. Doç.Dr. Orhan ENGİN'e, Güneş Motor Supapları çalışanlarına ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen aileme ve UĞUR MIHÇI beye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Konya, Mayıs 2007

End. Müh. Şerife GÖZEN

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
KISALTMALAR v
ŞEKİLLER LİSTESİ vi
TABLOLAR LİSTESİ vii
EKLER LİSTESİ viii
1.GİRİŞ 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
3. MATERYAL VE METOT 12
3.1.Materyal 12
3.1.1. Paralel Makine Problemleri 12
3.1.2 Esnek Akış Tipi Problemleri 14
3.1.3. Bulanık Mantık 15
3.1.3.1 Bulanık Sistemlerinin Gelişimi 17
3.1.3.2. Bulanık Küme Kuramı ve Bulanık Mantık 19
3.1.3.3 Bulanık Kümeler ve Olasılık 26
3.1.3.4. Bulanık Mantık Denetleyici Sistemler 27
3.1.3.5. Bulanık Mantık Denetleyici Sistem Tasarımı 28
3.1.3.6. Genel Bulanık Mantık Denetleyiciler 29
3.1.3.7. Bulanık Mantık Denetim Uygulamaları 32
3.1.3.8. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları 34
3.2. Metot 35
3.2.1. Genetik Algoritma 35
3.2.1.1 Genetik Algoritmanın Tarihçesi 37
3.2.1.2. Genetik Algoritmaların Temel Teoremi 37
3.2.1.3. Genetik Algoritmanın Kodlanması 41
3.2.1.4. Genetik Algoritmada Kullanılan Seçim Metodları 42
3.2.1.5. Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler 44
3.2.2.Tavlama Benzetimi 50
3.2.3. Bulanık Çok Prosesli Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri için Parametre Optimizasyonu 52
3.2.4. Çok Prosesli Esnek Akış Tipi Problemlerinin Bulanıklaştırılması Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi Yardımıyla Çözümü 58
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI 63
5. SONUÇ 78
KAYNAKLAR 81
EKLER 85

KISALTMALAR

GBA : Genetik Bulanık Aracı
BKÇO : Bulanık Karşılaştırma Çizelgeleme Ontolojisi
BKO : Bulanık Kişisel Ontolojisi
KTLP : Karışık Tamsayı Lineer Programlama
BST : Bulanık Set Teorisi
BPMÇP : Bulanık Paralel Makine Çizelgeleme Problemi
GZS : Gerçek Zamanlı Sistem
GA : Genetik Algoritma
TB : Tavlama Benzetimi
BÇPEAT: Bulanık Çok Prosesli Esnek Akış Tipi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3-1: Paralel Makine Sistem Modeli 13
Şekil 3-2: Esnek Akış Tipi Sistem Modeli 15
Şekil 3-3: Sıcaklık İçin Bir Keskin Küme Örneği 21
Şekil 3-4: Sıcaklık için bulanık küme örneği 21
Şekil 3-5: Bulanık kümelerde örtüşüm 22
Şekil 3-6: Genel, simetrik ve üçgen üyelik fonksiyonu 23
Şekil 3-7: İkizkenar yamuk üyelik fonksiyonu 23
Şekil 3-8: Çan eğrisi üyelik fonksiyonu 24
Şekil 3-9: Kapalı döngülü denetim sistemi 27
Şekil 3-10: Açık döngülü denetim sistemi 28
Şekil 3-11: Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı 29
Şekil 3-12: Genetik Algoritmaların Genel İşleyişi 39
Şekil 3-13: Tek Nokta Çaprazlama 45
Şekil 3-14: Pozisyona Dayalı Çaprazlama 45
Şekil 3-15: Sıraya Dayalı Çaprazlama 46
Şekil 3-16: Komşu İki Geni Değiştirme 48
Şekil 3-17: Keyfi İki Geni Değiştirme 49
Şekil 3-18: Keyfi Üç Gen Değiştirme 49
Şekil 3-19: Araya Yerleştirme 50
Şekil 3-20: Bulanık Proses Zamanı 59
Şekil 3-21: Bulanık Teslim Zamanı 60
Şekil 3-22: Uyumlaştırma Indeksi 60

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2-1: Belirsizlik Altındaki Çizelgeleme için Değişik Metotlar 5
Tablo 3-1: Bulanık Mantık Denetiminin Endüstriyel Uygulamaları 19
Tablo 3-2: Bulanık Mantık Uygulamaları.....33
Tablo 3-3: Bulanık denetleyici ile klasik denetleyici arasındaki farklar.....35
Tablo 3-4: Genetik Algoritmada Kullanılan Temel Kavramlar.....36
Tablo 3-5: Fiziksel Tavlama ile Kombinatoryal Optimizasyon Arasındaki İlişki.....51
Tablo 3-6: Faktörler için kullanılan düzeyler.....53
Tablo 3-7: Genetik Algoritma Parametreleri 55
Tablo 3-8: Tavlama Benzetimi Parametreleri.....57
Tablo 4-1: P Tipi 2 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları.....64
Tablo 4-2: P Tipi 5 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları.....67
Tablo 4-3: P Tipi 8 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları.....69
Tablo 4-4: Q Tipi 2 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları.....71
Tablo 4-5: Q Tipi 5 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları.....74
Tablo 4-6: Q Tipi 8 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları.....76

EKLER LİSTESİ

Ek 1- 1 5x2 Tipi BÇPEAT Problemleri ……..……...…85
Ek 1- 2 10x2 Tipi BÇPEAT Problemleri.…….....86
Ek 1- 3 20x2 Tipi BÇPEAT Problemleri ….……..……....87
Ek 1- 4 50x2 Tipi BÇPEAT Problemleri ……..…..…...88
Ek 1- 5 100x2 Tipi BÇPEAT Problemleri ……..….89
Ek 1- 6 5x5 Tipi BÇPEAT Problemleri ……....90
Ek 1- 7 10x5 Tipi BÇPEAT Problemleri..... ..91
Ek 1- 8 20x5 Tipi BÇPEAT Problemleri ……..……..92
Ek 1- 9 50x5 Tipi BÇPEAT Problemleri..... ..93
Ek 1- 10 100x5 Tipi BÇPEAT Problemleri.....94
Ek 1- 11 5x8 Tipi BÇPEAT Problemleri.…….……95
Ek 1- 12 10x8 Tipi BÇPEAT Problemleri..... 96
Ek 1- 13 20x8 Tipi BÇPEAT Problemleri..... ..97
Ek 1- 14 50x8 Tipi BÇPEAT Problemleri.....98
Ek 1- 15 100x8 Tipi BÇPEAT Problemleri ……..... 99
Ek-2 Tavlama Benzetimi BÇPEAT Problemleri ……..……...100

1.GİRİŞ

Günümüz işletmeleri, artan rekabet ortamına uyum sağlayabilmek için müşteri gereksinimlerini en hızlı şekilde yanıt verebilecek tekniklerle üretim yapmak zorundadır. Klâsik analitik yaklaşımlar, şimdiye kadar plânların oluşturulmasında en çok kullanılan yöntemlerden biriydi. Ama üretim sistemlerinde bulunan çok fazla rastsal parametre ve sürekli değişen çevre, kurulması istenen bu plânların yavaş oluşturulmasına ve etkisizleşmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle, çok değişkenli sistemlerde oldukça etkili olan ve gelişimini hâlâ sürdüren yapay zeka teknikleri esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Son elli yıldır, statik akış tipi çizelgeleme problemleri birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Akış tipi çizelgelemede, kendisinden sonraki araştırmalara yön veren öncü çalışma, Johnson tarafından ortaya konmuştur. Bu tez çalışmasında esnek akış tipi çizelgeleme problemleri ele alınmıştır. Esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinin NP zor problemler oldukları ispatlanmıştır (Pinedo 1995). Bu çalışmada Oğuz (2005) çok amaçlı esnek akış tipi kıyaslama problemleri bulanıklaştırılarak yapay zeka tekniklerinden olan genetik algoritma ve tavlama benzetimi ile çözülmüştür.

Esnek akış tipi, çizelgeleme problemlerinin iki önemli sınıfının bir birleşimidir. Bu problemler; klasik akış tipi problemler ve paralel makine problemleridir. Üretimin her kademesinde birden fazla eş makinenin bulunduğu ve işlerin tamamlanmak için tüm kademeleri geçmek zorunda olduğu üretim sistemleri esnek akış tipi problemlere bir örnektir.

Çalışmanın kaynak araştırması bölümünde, esnek akış tipi çizelgeleme problemleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar gözden geçirilmiş; materyal ve metot bölümünün materyal kısmında, çizelgeleme problemleri, bulanık mantık hakkında bilgi verilmiştir. Metot bölümünde ise genetik algoritma ve tavlama benzetimi hakkında bilgi verilmiş ve bu algoritmaların uygulama adımları izah edilmiştir. Araştırma sonuçları bölümünde, elde edilen çözümler sunulmuştur, sonuç ve öneriler bölümünde ise uygulamada ortaya çıkan bulgular tartışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kim ve ark. (2005), NP-zor problemi olarak bilinen kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemlerini çözmek için bulanık mantık kontrolörü ile bir genetik algoritma geliştirmiştir. Çalışmada tanımlanan amaçlar; toplam proje zamanını ve toplam gecikme zamanını minimize etmektir. Geleneksel optimizasyon yöntemleri ile bu problemlerin çözümü oldukça zordur. Önerilen melez genetik algoritma, geleneksel genetik algoritma ve adaptiv genetik algoritmadan daha iyi sonuçlar vermiştir. Çizelgeleme prosedürünü geliştirmek ve tekli proje çizelgeleme problemindeki optimum çizelgeyi bulmak için genetik algoritma ve tabu aramalarından oluşan sezgisel bir yöntem geliştirmiştir. Modelde verilen toplam tamamlanma zamanı; kaynak kısıtı bulunan aktivitelerin çizelgelendiği bütün projelerin tamamlanma zamanının toplamıdır. Toplam gecikme ise birimlerin gecikme maliyeti ile tamamlanma zamanı ve gecikme zamanı arasındaki farklılıktan oluşan toplam gecikmelerin maliyetidir.

Lee ve ark. (2005), karşılaştırma çizelgeleme problemi için Genetik Bulanık Aracı (GBA) kullanan bir ontoloji metodu sunmuştur. GBA'nın bilgi tabanı, Bulanık Karşılaştırma Çizelgeleme Ontolojisi (BKÇO) ve Bulanık Kişisel Ontolojisi (BKO) ile desteklenmektedir. BKÇO; GBA için karşılaştırma çizelgeleme alan bilgisini tanımlamak ve kaydetmek için kullanılır. BKÇO ve BKO bir sonraki karşılaştırma için genetik öğrenme mekanizmasının sonuçlarını ele alır. Deneysel sonuçlar bu yaklaşımın etkili olduğunu göstermektedir. Karşılaştırma çizelgeleme problemi BKÇO ve BKO'dan gerekli bilgileri alır ve GBA'ya bir cevap için gönderir. GBA; BKÇO ve BKO'yu kullandıktan sonra uygun zamanları alır ve bir sonraki karşılaşma için zamanları ayarlar. Araştırmada ontoloji uygulamaları, ontoloji dili ve genetik bulanık sistemlerle ilgili çalışmalar sunulmuştur.

Kasperski (2005), bulanık parametrelerle sıralama problemi için posibilistik bir yaklaşım önermiştir. Tam olarak bilinmeyen her parametre için bir olasılık dağılımı

verilmiştir. İşlerin sırasını hesaplamanın amacı işlerin gecikme olasılığını minimize etmektir. Çalışmada beş sıralama problemi formulüze edilmiş ve onların hesaplama karmaşıklığı araştırılmıştır. Sıralama problemi genel çizelgeleme probleminin özel bir durumudur. Her çizelge, işlerin bir sırası ile gösterilebilir (İşlem zamanı, teslim zamanı ağırlıklar vs.). Çizelgelemedeki doğal yaklaşım stokastiktir. Son yıllarda belirsizlik modelleri için bulanık set teorilerini temel alan alternatif yaklaşımlar geliştirilmiştir. Çalışmada her bilinmeyen parametre için bu parametreler hakkında belirsizlik bilgilerini açıklayan olasılık dağılımı verilmiştir. Optimal çözümü hesaplamak için Dubois ve Prade tarafından önerilen indeks uygulanmıştır. Elde edilen bazı sonuçlar yeniden adlandırılmış ve bazı yeni problemler araştırılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı bütün tanımlanan problemlerin hesaplama karmaşıklığını bulmaktır.

Anglani ve ark. (2005), hazırlık maliyetlerine bağlı sıra ile ilgili paralel makinelerin çizelgeleme problemlerinin çözümü için güçlü bir yaklaşım sunmuşlardır. Literatürde bu tür çizelgeleme problemlerinin çözümü için birkaç matematiksel model ve çözüm metodu geliştirilmiştir. Ancak bunların çoğu girdi verilerinin bilindiği deterministik yolları kullanmaktadır. Bu çalışmada, talep memnuniyetindeki güçlülük ve toplam hazırlık zamanındaki optimal çözümü sağlamak için işlem süresindeki belirsizliği hesaplayarak bulanık matematiksel programlama modeli formülüze edilmiştir. Araştırmada gerçek uygulamalarda, Karışık Tamsayı Lineer Programlama (KTLP) modelinin sonuçları NP-zor olduğu için kolay kontrol edilemediği belirtilmiştir. Önerilen modelde girdi verilerinin deterministik olarak bilindiği varsayılmıştır. Çalışmada belirsiz işlem zamanı, belirsiz makine üretim hızları arasında modellenmiştir. Bulanık çizelgeleme problemi ile ilgili matematiksel özellikler tanımlanmıştır. Minimum risk yaklaşımını formüle etmek için gereksinim derece ölçümü kullanılmıştır. Çalışmada bulanık model için önerilen yaklaşım gerçek uygulamalardan alınan verilerle test edilmiştir. Hesaplama sonuçları yaklaşımın etkinliğini ve yeterliliğini kanıtlanmıştır.

Herroelen ve Leus (2005), belirsizlik altındaki çizelgeleme için temel bir yaklaşım önermiştir. Belirsizlik altındaki çizelgeleme ile ilgili beş yaklaşım önerilmektedir. Bunlar; reaktif çizelgeleme, proaktif çizelgeleme, stokastik çizelgeleme,

bulanıklık altında çizelgeleme ve duyarlılık analizidir. Bu çalışmada deterministik network değerlendirme yapıları ile projelerin belirsizlik altında çizelgelenmesi için bu yaklaşımların potansiyelleri tartışılmıştır. Araştırmada reaktif çizelgeleme alanındaki geçmiş çalışmalar incelenmiştir. Belirsizlik altındaki çizelgeleme teknikleri sınıflandırılmıştır. Tablo 2.1'de belirsizlik altındaki çizelgeleme için değişik metotlar sunulmuştur.

Tablo 2-1: Belirsizlik Altındaki Çizelgeleme için Değişik Metotlar (Herroelen ve Leus, 2005)

Ana Çizelgeleme	***Proje tamamlanma zamanı***
(i) Ana Çizelgelemesi Olmayan	(i) Dinamik Çizelgeleme
(ii)Değişken katılımı olmayan ana çizelgeleme	(ii) Reaktif Çizelgeleme
(iii) Proaktif Çizelgeleme Kalite Üstünlüğü Çözüm Üstünlüğü Esneklik	(iii) Yönetim Kararları (iv) Duyarlılık Analizi

Araştırmanın temel amacı; tekli veya çoklu amaç fonksiyonlarının optimizasyonu ve memnuniyetini sağlayan uygun çizelgelemeyi oluşturmaktır. Çalışmada önerilen bulanık proje çizelgeleme yaklaşımı faaliyet zamanları için olasılık dağılımının kullanımını reddeder.

Majozi ve Zhu (2005), bütünleşmiş planlama ve çizelgeleme kavramında bulanık set teorisinin bir uygulamasını göstermiştir. Bulanık set teorisi yaygın olarak endüstride karşılaşılan belirsiz ve şüpheli bilgileri modellemek için bir çalışma sağladığı belirtilmiştir. Endüstriyel durumların tipik bir örneğinde operatör değerlendirmek için belirsizlikten kaçınılması gerektiği ve bu belirsizliğin yüksek seviyelerinde niceliksellerden daha çok niteliksellere eğilimli deneyim, uzmanlık, sorumluluk ve yaş gibi bilgileri gerektirdiği ifade edilmiştir. Bu çalışma finansal yönlerden fabrika performansını maksimize etmek için fabrika gereksinimleri gibi fabrika personelinin niteliksel özellikleri ile ilgili Bulanık Set Teorisi (BST) uygulamasını göstermektedir. BST çıktısı, farklı fabrikalara operatörlerin optimal yerleşimini belirlemek için KTLP formülasyonundan daha sonra birleştirilebilir.

Brar ve ark. (2005), çok amaçlı optimizasyon probleminde birkaç kriteri aynı zamanda tatmin etmek için bir model geliştirmiştir. Çalışmanın amacı, çok amaçlı termal güç istasyonunda çizelgeleme probleminde fiziksel ve teknolojik kısıtlarla üretilen elektrik talebindeki operasyon maliyeti, emisyon, kirlilik ve güvenlik indekslerini aynı anda minimize etmektir. Gerçek ve reaktif güç hat akışı üretilen Z dağılımı faktörünün yardımı ile elde edilmiştir. İnteraktif proseste ağırlıklı minimax formulasyonu kullanılmıştır. En çok tercih edilen çözüm, simpleks tekniğini kullanan amaçların ağırlıklarının araştırılması ile üretilmiştir. Önerilen metodun uygunluğu, 5 jeneratörde 25 örnek sistemle test edilmiştir. Önerilen metodun sonuçları ağırlıklı simulasyon metodu ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada güvenlik, ekonomik ve çevresel amaçları karşılaştırmanın modellenmesi için bulanık mantık kullanılmıştır. İnteraktif bulanık metot; çok amaçlı termal güç jeneratörünün çizelgelenmesi için kullanılmıştır. Bütün amaçların uygun üyelik fonksiyonu verilmiştir.

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

Li ve ark. (2004), esnek üretim sistemlerindeki çizelgeleme bilgileri için küçük veri setlerindeki veri eğilimi tahmini ve mega bulanıklaştırma kullanımı ile ilgili bir model geliştirmiştir. Veri madenciliği tekniğinin verilerden uygun yönetim becerilerini oluşturmak için geniş ölçüde kullanıldığı belirtilmiştir. Üretim sistemlerinin ilk adımlarında çok az veri elde edildiği ve oluşturulan çizelgeleme bilgilerinin genellikle kırılgan bir yapıya sahip olduğu ifade edilmiştir. Araştırmanın amacının küçük veri setlerini kullanarak esnek üretim sistemlerini çizelgelemek için makine öğreniminin doğruluğunu geliştirmek ve çalışmanın mega bulanıklaştırma ve adaptif network tabanlı bulanık arayüz sistemlerini birleştirdiği ve bir veri tahmin tekniği geliştirdiği

belirtilmiştir. Kullanılan beş veri eğitim setinde test doğruluğu %70, %95 ve %100'e yükselmiştir. Önerilen yaklaşım sadece yüksek öğrenme derecesine sahip olmadığı aynı zamanda rekabetin fazla olduğu günümüz iş dünyasında güvenilir, uygulanabilir ve belirli bir esnekliğe sahip yapıyı oluşturduğu ifade edilmiştir.

Akyol (2004), tamamlanma zamanı minimizasyonu amacı ile *n* iş ve *m* makineden oluşan akış tipi çizelgeleme problemleri uygulayan altı farklı sezgisel algoritmayı modellemek için yapay sinir ağları kullanımı önermiştir. Çalışmada; makinelerde işlem gören her işin tamamlanma zamanını tahmin etmek ve akış tipi çizelgelemedeki çizelgelemenin bulanıklığını tanımlamak için altı yapay sinir ağı modeli önerilmiştir. Bulanık üyelik fonksiyonu tamamlanma, iş bekleme ve makine boş zamanları için üretilmiştir. Çalışma, varolan sezgisel algoritmalara alternatif bir uygulama sunmuştur. Çalışmada gerçek permütasyon akış tipi çevresindeki çizelgeleme problemi düşünülmüştür. Bir aylık üretim siparişleri ve operasyon reçeteleri kullanılarak altı değişik sezgisel algoritma ile beş değişik ürünün en iyi sırası bulunmuştur. Sezgisel algoritmaların her biri için sinir ağları modeli 43 makinede işlem gören beş işin tamamlanma zamanını tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu algoritmalardan birinde bulanık tamamlanma zamanı, iş bekleme ve makine boş zamanlarına karar vermek için bir metot önerilmiştir. Üçgen bulanık sayılar bulanık tamamlanma zamanını göstermek için kullanılmıştır. İş bekleme ve makine boş zamanları için üçgen veya ikizkenar yamuk bulanık sayılar düşünülmüştür. Girdi değişkenleri 0-1 aralığında çıktı değişkenleri 0,2-0,8 aralığında oluşturulmuştur. Varolan sezgisel çizelgeleme algoritmaları için alternatif bir uygulama olan sinir ağları kullanımının uygunluğunu göstermek için gerçek sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır.

Temiz ve Erol (2004), işlem zamanlarının ve teslim tarihlerinin bulanık sayılarla ifade edildiği çok makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinde bulanık tamamlanma zamanı ($C_{\max}$) ve bulanık maksimum gecikme ($T_{\max}$) amaçlarını eş zamanlı eniyileyen, genetik algoritma tabanlı çok amaçlı çözüm yöntemi geliştirmiştir. Algoritma sonucunda, karar vericiye daha gerçekçi seçim yapabileceği bulanık amaçlara ilişkin

pareto optimal çözümler kümesi sunulmaktadır. Karar verici bu etkin (pareto) çözümler yardımıyla daha sağlıklı karar verebileceği belirtilmiştir.

Wang (2004), çizelgelemenin performansının maksimizasyonu amacı altında problem çözmek için bir genetik algoritma tanımlamıştır.

Allet (2003), bir ilaç firmasındaki pratik bir olaydan esinlenen özel bir çizelgeleme problemini incelemiştir. Bu problemin klasik atölye tipi problemi ile birkaç aynı özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir. İlk benzerlik, aynı işin bir operasyonunun bitişi ile bir sonraki operasyonun başlangıcı arasında bir gecikme olduğu ve bu gecikme sabit olmadığı ve genellikle pozitif değerlerden oluştuğu ifade edilmiştir. Çözüm metodu olarak deterministik bir durum önerilmiştir. Her makinenin işlem zamanı birim zaman olarak tanımlanmıştır. Ve her birim zaman ikili değerle birleştirilmiştir. Bu çalışmada bulanık mantıkta kullanılan esnek parametreler modellenmiştir. Bu yeni metot aynı işin birbirini izleyen operasyonları arasındaki gecikme ve her bir işin tamamlanma zamanındaki iyi değerleri bulmak için kullanılmıştır. Çalışmada ilaç endüstrisindeki bir firmanın üretim hattıyla ilgilenilmiştir. Her iş, müşteri siparişleri ve basit operasyon dizisinden oluşmaktadır. Örnek çalışmada deterministik bir olay (esnek parametresi olmayan) ele alınmıştır ve genel çizelgeleme problemi modellenmiştir. Çözüm metodu horizan metot olarak adlandırılan sezgisel bir metot olduğu ifade edilmiştir. Çalışmanın amacının; işin tamamlanma zamanını kısaltmak ve aynı işin ardıl operasyonları arasındaki olası değerlerinin seçimine bağlı olarak elde edilen son ürün kalitesini artırmak olduğu belirtilmiştir.

Wang (2002), çizelgeleme riski minimizasyonu amacı altında problem çözümü için bulanık araştırma yaklaşımı önermiştir.

Yao ve Lin (2002), akış tipi çizelgeleme problemlerindeki bulanık setler ile istatistiğin birleşimi için bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmada her işin işlem zamanı için kesin değerler bilinmediği ancak bazı örnek veriler kullanılabileceği belirtilmiştir. İstatistik ve bulanık setlerin kombinasyonu bu problemin çözümü ve modellenmesi için güçlü bir araç sağlamıştır. Bilinmeyen işlem zamanlarında gösterilen bulanık sayıların $(1-\alpha, 1-\beta)$ aralığında olduğu ifade edilmiştir. Çalışmadaki bulanık akış tipi modelin

yeni akış tipi probleminin bir uzanımı olduğu ve bulanık modelden elde edilen sonuçlar ile diğer modelden elde edilen sonuçların aynı olduğu belirtilmiştir. Çalışmada özel durumlar için oluşturulan bilinmeyen problemlerin nasıl çözüleceği incelenmiştir.

Yuen ve ark. (2002), bulanık iş süreci zamanlaması (devri) ile zaman serisi programlanmasını incelemiştir. İlk olarak, fuzzy süreç zamanlamasının üçgensel bir fuzzy numarası ile gösterilebildiğini varsaymışlar. Sonrasında, sıralı işleri tamamlamanın olasılığının yeni bir matematiksel ifadeye sahip olması için iş üyeliği fonksiyonlarından iş bitirme olasılık profili oluşturmada kısıtlı şans programlama tekniği uygulanmıştır. Çalışmada birkaç özel durum altındaki çizelgeleme modeli için optimal çözüm geliştirilmiş ve optimal çözümlerin gerekli bir durumu farklı teslim zamanları için optimize edilmiştir. Ayrıca işlem zamanları, sürekli üçgen bulanık sayılarla tanımlanan tek makinedeki çizelgeleme problemi için hazırlık zamanı tanımlanmıştır.

Litoiu ve Tadei (2001), Gerçek Zamanlı Sistemlerdeki (GZS) uygulama için bulanık çizelgeleme araştırmışlardır. İş çizelgelemenin, gerçek zamanlı sistemlerin temel aktivitesi olduğu belirlenmiştir. Çalışmada bulanık işlem zamanı ve bulanık teslim süresi ile genel periyodik çizelgeleme modelleri sunulmuştur. Şimdiye kadar birkaç modelde işlem süreleri bulanık sayı olarak kullanılmıştır. Çizelgelemenin üç karardan oluştuğu ve bunların;

"Adım1) Çizelgeleme için iş seç,

Adım2) Seçilen işin her bir operasyonu için makine seç,

Adım3) Adım2'de belirlenen makinenin kuyruktaki işi için uygun siparişi bul." Adımlarından oluştuğunu belirlemişlerdir.

Çalışmada bu kararları gerçekleştirmek için bulanık kuralları içeren hiyerarşik çizelgeleme kullanılmıştır. Önerilen modelde görevlerin periyodik ve uygulama zamanı ve teslim zamanı bulanık sayılarla tanımlanmıştır. Modeli çözmek için önce memnuniyet olarak adlandırılan bir maliyet fonksiyonu tanımlanmıştır. Örnek çalışma olarak monotonik çizelgeleme teorisinin uzanımı sunulmuştur. Bu çalışmanın temel başarısı kabul edilen bulanık parametrelerdir.

Chanas ve Kasperski (2001), bulanık işlem zamanı ve bulanık teslim zamanı ile tek makine çizelgeleme problemi geliştirmişlerdir. Bulanık tamamlanma zamanı ve bulanık teslim zamanı arasındaki farklılık ve sıfır maksimum bulanıklık olarak verilen bir işin bulanık gecikmesi tanımlanmıştır. İlk problemin, bulanık gecikmenin maksimum beklenen değerini minimize etmek, ikinci problemin ise maksimum bulanık gecikmenin beklenen değerini minimize etmek olduğu ifade edilmiştir. İlk problemdeki bulanık gecikmenin polinominal algoritma ile kolayca çözülebileceği ifade edilmiştir. Aynı algoritma bütün işlem zamanları için önerilmiştir. İkinci problem ise NP-zor olarak tanımlamıştır. Çalışmadaki problem, Lawler'ın polinominal algoritması ile çözülmüştür. Bütün işlem zamanları ve her bir işin tamamlanma zamanı bulanık sayılardan oluşduğu belirtilmiştir. Her iş için ayrı olarak maliyet tanımlanmıştır. Bu problem ilkine göre daha karmaşıktır. Birinci problemdeki kriter; değerlendirilen sıradaki işlerin bulanık gecikmenin ortalama değerleri arasındaki maksimum değeri minimize etmekten oluşmaktadır. İkinci problem gecikmiş işlerin maksimum bulanık ortalama değerini minimize etmeye odaklanmıştır. İşlem zamanları ve teslim zamanlarının iki kriter içinde eşit olduğu belirtilmiştir.

Hapke ve Slowinski (2000) kaynak kısıtlı proje çizelgelemenin bulanık modelini çalışmışlardır. Bulanık parametrelerle seri ve paralel çizelgeleme problemlerini temel alan öncelik kurallarını geliştirmişlerdir. Çalışmada bulanık kaynak kısıtlı çizelgeleme problemlerinin çok amaçlı çözümü için tavlama simülasyonu sunulmuştur.

Wang (1999), kesin olmayan bilgileri içeren ürün geliştirme projelerini çizelgelemek için bir bulanık set yaklaşımı geliştirmiştir. Proje; bulanık hazırlık zamanı, bulanık gecikme ve bulanık sürelere sahip aktivitelerden oluşmuştur. Bütün tanımlamalar ikizkenar yamuk bulanık sayılarından oluşmuştur. Araştırmanın amacının, bulanık hazırlık zamanı, gecikme, üstünlük ve kaynak kısıtları tatmin edilmiş her aktivite için başlangıç zamanına karar vermek olduğu belirtilmiştir.

Kuroda ve Wang (1996) bulanık atölye tipi çizelgeleme problemini analiz etmiştir. Bulanık çizelgeleme problemleri için literatürde üç yaklaşım raporlanmıştır. Bunların; klasik gönderme kurallarını direkt olarak uygulayan bulanıklaştırma, bulanık

sıralama ile ilgili metotları kullanma, genetik algoritma ve tabu aramaları gibi sezgisel metotlarla optimal çizelgelemeye karar vermek için matematiksel programlama modelinin çözümü olduğu belirtilmiştir. Literatürde sınırlı sayıda Bulanık Paralel Makine Çizelgeleme Probleminin (BPMÇP) yer aldığı ifade edilmiştir. Çalışmada pratik bir uygulama olarak bulanık işlem süresi ile BPMÇP'ye odaklanılmıştır. Modelin amacının bulanık maksimum gecikmeyi, bulanık maksimum tamamlanma zamanını ve bulanık maksimum boş zamanı minimize etmek olduğu belirtilmiştir. Önerilen çizelgeleme modelinin çözümü için bir hibrid zeki algoritma geliştirilmiştir. Modelde paralel makinelerdeki çizelgelemeyi göstermek için özel bir kodlama metodu kullanılmıştır. Önerilen hibrid modelin etkinliğini örneklemek için üç örnek geliştirilmiştir. Kodlama C++ dilinde yapılmıştır. Popülasyon sayısı 100 çaprazlama olasılığı 0,6, mutasyon olasılığı 0,3 alınmıştır. BPMÇP için 10 iş ve 3 makine düşünülmüştür. Makine 1-2-3'teki her iş için işlem süresi ikizkenar yamuk bulanık değişkenlerden oluşmuştur.

Han ve ark. (1994) bulanık teslim zamanı ile tek makine çizelgeleme problemlerini araştırmıştır.

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

3. MATERYAL VE METOT

3.1.Materyal

Esnek akış tipi çizelgeleme NP-zor problem tipi kapsamında yer almakta olup henüz optimum çözümleri bulunamamıştır. Bu tip problemlerde optimum çözüme ulaşabilmek için birçok sezgisel yöntem kullanılır. Bu yöntemler klasik ve meta sezgisel olmak üzere sınıflandırılabilir.

Araştırmada bulanık çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemleri (BÇPEAT), meta sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritma ve tavlama benzetimi yardımıyla çözülmeye çalışılmıştır.

Araştırmada, Oğuz (2005)'in çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemleri bulanık hale getirilmiştir. Problemlerin çözüm metodu olarak Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi kullanılmıştır.

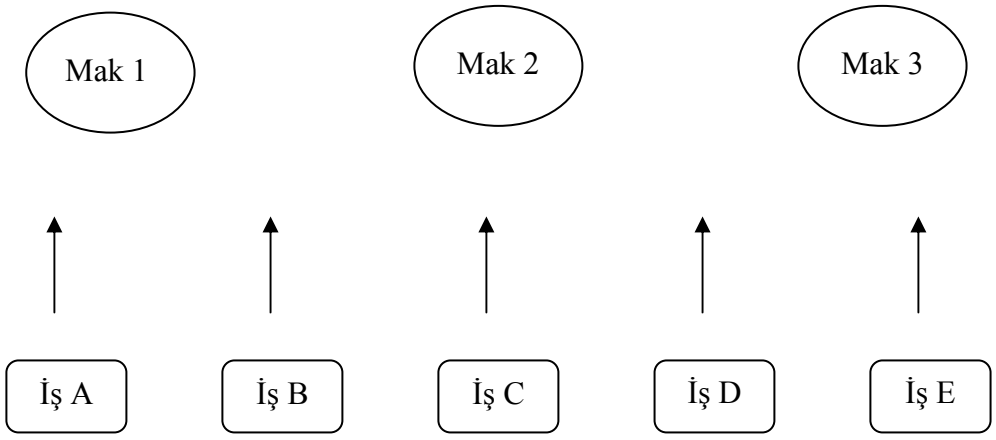
3.1.1. Paralel Makine Problemleri

Çizelgeleme problemi "*n* tane işin verilen amaçları optimal yapacak şekilde, belirli bir periyotta işlenmek üzere *m* tane makineye veya iş istasyonuna atanmasıdır" şeklinde tanımlanabilir. Her iş operasyon denilen birkaç alt işlemden oluşur. Operasyonların işlem zamanları deterministik veya stokastik olabilir. Bütün işlerin operasyon rotaları aynı olan çizelgelemeye "akış tipi çizelgeleme", işlerin operasyon sıraları farklı olabilen çizelgelemeye "atölye tipi çizelgeleme" denir. Çizelgelenecek tüm işlerin çizelgeleme işlemi başında elde bulunmasına "statik çizelgeleme, işlerin zaman içerisinde sürekli değiştiği çizelgelemeye ise "dinamik çizelgeleme" denir. Bütün

değişkenlerin kesin olarak bilindiği probleme "deterministik çizelgeleme" en az bir parametrenin probabilistik olduğu probleme ise "stokastik çizelgeleme" denir. Proses planlama, tüm işlerde bir veya daha fazla amacı (minimum akış zamanı, minimum gecikme vb.) optimize eden çizelgeyi bulmaya çalışmaktır (Holthaus ve Ziegler 1997).

Çizelgelemenin temel amaçları teslim tarihine uymak, ortalama akış zamanını minimum yapmak, makineleri maksimum verimlilikte kullanmak ve hazırlık zamanlarını azaltmak olarak sıralanabilir. Bu amaçların hepsini optimum yapmak imkansızdır. Sistemin ana amacına göre bu amaçlar arasında iyi bir çözüm bulunmaya çalışılmaktadır.

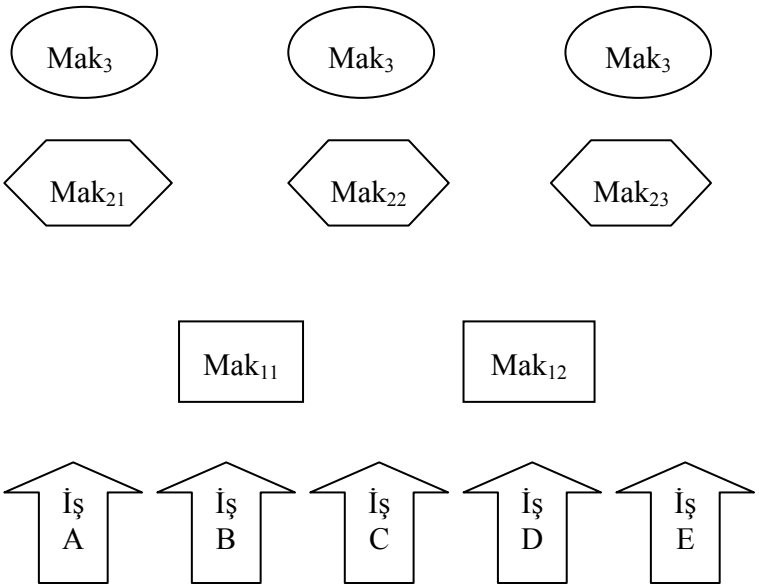
Paralel makine problemleri, *m* tane eş makinenin paralel olarak yerleştiği sistemlerdir. Her iş yalnız bir operasyona sahiptir ve bu *m* makinenin herhangi birinde işlenebilir. Genellikle makine sayısı, iş sayısından az olmaktadır. Örnek bir paralel makine sistemi Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Döyen 2004).



Şekil 3-1: Paralel Makine Sistem Modeli

3.1.2 Esnek Akış Tipi Problemleri

"Esnek akış tipi çizelgeleme problemi; akış tipi çizelgeleme problemleri ile paralel makine problemlerinin özellikleri birleştirmektedir. Esnek akış tipi sistemde, makineler s tane seri kademeye yerleştirilmişlerdir. $l = 1,2,...,s$ olmak üzere bir l kademesinde, m_l tane eş makine bulunmaktadır. $j = 1,2,...,n$ olmak üzere bir j işi, her bir kademedeki makinelerden herhangi birinde yada daha fazlasında işlem görmelidir. Farklı kademelerde j işinin işlem süreleri $P_{1j}, P_{2j}...,P_{sj}$ ile gösterilir. İşlerin önceliği yoktur, örneğin, bir makinede bir operasyon başladıktan sonra başka bir operasyonun aynı makinede işlem görmeye başlayabilmesi için öncekinin mutlaka bitirilmesi gerekir. Her makinede belli bir anda en fazla bir iş işlem görebilir. Her kademede işlem görmeyi bekleyen işler için ayrılan stok alanı kısıtsız kabul edilir. Amaç, genellikle en son işin sistemden ayrılma zamanını ($C_{\max}$), minimize etmektir. Esnek akış tipi problemler NP-Zor'dur (Gupta, 1988). Şekil 3.2'de bir esnek akış tipi sistemin yapısı verilmiştir. Sistemde 5 iş, her birindeki makine sayıları sırasıyla 2, 3, 3 olan 3 kademede çizelgelenecektir" (Döyen 2004).



Şekil 3-2: Esnek Akış Tipi Sistem Modeli

3.1.3. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden, Prof. Lotfi A. Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyulmuştur. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir (Anonim 2005).

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

Bulanık mantık teorisinin temeli bulanık küme teorisi ile açıklanmaktadır. Örneğin "çok güzel" kavramını inceleyecek olursak, bu kavram kişiden kişiye değişiklik

gösterebilir. Kesin sınırlar söz konusu olmadığı için de bu kavram, matematiksel olarak da kolayca formüle edilemez. Ama genel olarak bazı kriterler ile sayısal olarak güzellik sınırları belirlenebilir. Bu ise, kendi aitlik fonksiyonu ile temsil edilebilir. Aitlik fonksiyonu 0 ile 1 arasında her değeri alabilir. Böyle bir aitlik fonksiyonu ile "kesinlikle ait" veya "kesinlikle ait değil" arasında istenilen hassasiyette değerler elde etmek mümkündür (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Bulanık mantık her şeyin bir derecelendirme sorunu olduğunu savunur. Bulanıklığın bilimsel resmi adı "Çoklu değerlilik" dir. Bulanıklığın tersi ikili mantık veya iki-değerliliktir (Kosko 1993).

Bulanık mantık bir kişinin diğeri ile konuşması veya diğerine açıklama yapmasına benzer olarak, "soğuk", "sıcak", "yüksek", "alçak" gibi, dilsel değişkenleri kullanır. İkili durumları kullanan ikili mantıktan farklı olarak bulanık mantık değişkenleri ara durumları da ("az sıcak", "az soğuk") kullanır (Kaynak 1992).

"Bu yaklaşım ilk defa Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir konferansta 1956 yılında duyurulmuştur. İnsan mantığı, açık, kapalı, sıcak, soğuk, 0 ve 1 gibi değişkenlerden oluşan kesin ifadelerin yanı sıra, az açık, az kapalı, serin, ılık gibi ara değerleri de göz önüne almaktadır. Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Klasik denetim uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, bulanık mantık denetimi alternatif yöntem olarak çok hızlı gelişmiş ve modern denetim alanında geniş uygulama alanı bulmuştur" (Elmas 2003).

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 38,5 yaşında demektense sadece orta yaşlı demek birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir (Anonim 2005).

Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir; (Anonim 2005).

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

Bulanık mantık tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilere göre işlem yapma yeteneğine sahiptir.

3.1.3.1 Bulanık Sistemlerinin Gelişimi

Geçmiş birkaç yıl içinde özellikle Japonya, Amerika ve Almanya'da yaklaşık 1000' e yakın ticari ve endüstriyel bulanık sistemleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Yakın gelecekte ticari ve endüstriyel uygulamalarda dünya çapında önemli oranda arttığı görülecektir.

"Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinesinin bulanık denetiminin gerçekleştirilmesi olmuştur. 1980 yılında bir Hollanda şirketi çimento fırınlarının denetiminde bulanık mantık denetimi uygulamıştır. 3 yıl sonra Fuji elektrik şirketi su arıtma alanları için kimyasal püskürtme aleti üzerine çalışmalar yapmıştır. 1987'de ikinci IFSA kongresinde ilk bulanık mantık denetleyicileri

sergilenmiştir. Bu denetimler 1984 yılında araştırmalara başlayan Omron şirketinin 700'den fazla yaptığı uygulamaları içermektedir. 1987 yılında ise Hitachi takımının tasarladığı Japon Sendai metrosu denetleyicisi çalışmaya başlamıştır. Bu bulanık mantık denetim metroda daha rahat bir seyahat, düzgün bir yavaşlama ve hızlanma sağlamıştır. 1989 yılında Omron şirketi Japonya'nın Harumi şehrinde bulunan çalışma merkezinde yapmış olduğu bulanık sonuç-board'la yapılan depolama, tekrar etme ve bulanık sonuçlarını elde etmek için kullanılan bilgisayara dayalı olan çalışmaları tanıtmıştır" (Elmas 2003).

Bugün elektronik pazarında, pek çok üretim bulanık mantık temeline dayanmaktadır. Bulanık mantık denetim sistemlerinin pek çoğu tüketiciler için SEA/Japonya'da üretilmektedir. Bulanık mantığa dayanan pek çok otomotiv ürünleri piyasaya sunulmuştur. Tablo 3.1' de bulanık mantık yaklaşımının kullanıldığı birkaç örnek görülmektedir.

Bulanık mantık konusunda yapılan araştırmalar, Japonya'da oldukça fazladır. Özellikle bulanık süreç kontrolleri 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 (Anonim 2005).

Bulanık mantık uygulamaları, ısı, elektrik akımı, sıvı gaz akımı denetimi, kimyasal ve fiziksel süreç denetimlerinde kullanılmaktadır.

Tablo 3-1: Bulanık Mantık Denetiminin Endüstriyel Uygulamaları (Elmas 2003)

ÜRÜN	***ŞİRKET***
Çamaşır makinesi	*AEG, Sharp, Goldstar*
Pirinç fırını	*Goldstar*
Fırın/Kızartıcı	*Tefal*
Mikrodalga fırın	*Sharp*
Elektrikli tıraş makinesi	*Sharp*
Buzdolabı	*Whirlpool*
Batarya şarj cihazı	*Bosch*
Elektrikli süpürge	*Philips, Siemens*
Camcorder	*Canon, Sanyo, JVC*
Klima	*Ford*
Isı denetimi	*NASA inspace shuttle*
Kredi kartı	*GE Corporation*

3.1.3.2. Bulanık Küme Kuramı ve Bulanık Mantık

Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiç bir zaman kısmi üyelik olmaz. Nesnenin üyelik değeri *1* ise kümenin tam elemanı, *0* ise elemanı değildir. Başka bir deyişle klasik veya yeni ürün kümelerinde elemanların üyelikleri {0,1} değerlerini alır. Bulanık mantık, insanın günlük yaşantısında nesnelere verdiği üyelik değerlerini, dolayısıyla insan davranışlarını taklit eder. Örneğin elini suya sokan bir kişi hiçbir zaman tam olarak ısısını bilemez, onun yerine sıcak, az sıcak, soğuk, çok soğuk gibi dilsel niteleyiciler kullanır (Elmas 2003).

Bulanık küme teorisinde klasik küme teorisinde olduğu gibi kümeler üzerinde tanımlanmış birleşim, kesişim ve tümleme işlemleri vardır. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için bir takım fonksiyonlar tanımlanır. Bir fonksiyonun bulanık birleşim, bulanık kesişim veya bir bulanık tümleme fonksiyonu olabilmesi için bir takım aksiyomları gerçekleştirmesi gerekir. Her işlem için tanımlanmış bir aksiyometrik yapı

vardır. Bir aksiyometrik yapı, mutlaka sağlanması gereken aksiyomlardan oluşur. Bu temel üç işlem için aksiyometrik yapıyı oluşturan aksiyomlar dışında tanımlı bir grup aksiyom vardır ki bunların sağlanması zorunlu değildir. Her üç işlem içinde tanımlı tüm aksiyomları sağlayan fonksiyonlar da vardır. Bunlara örnek olarak bulanık küme teorisinin standart işlemleri verilebilir. Bunlar (Etaner 1993);

Bulanık Tümleme:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \tag{3.1}$$

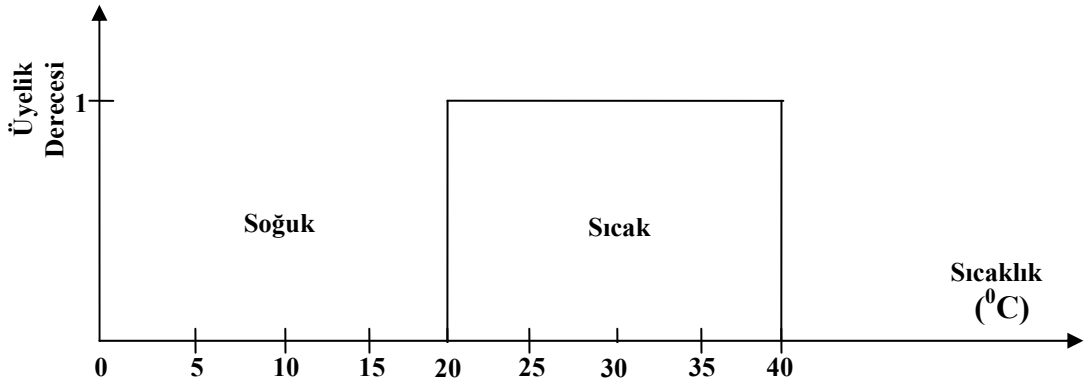
Bulanık Birleşim:

$$\mu_{A \cup B}(x) = Max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \tag{3.2}$$

Bulanık Kesişim:

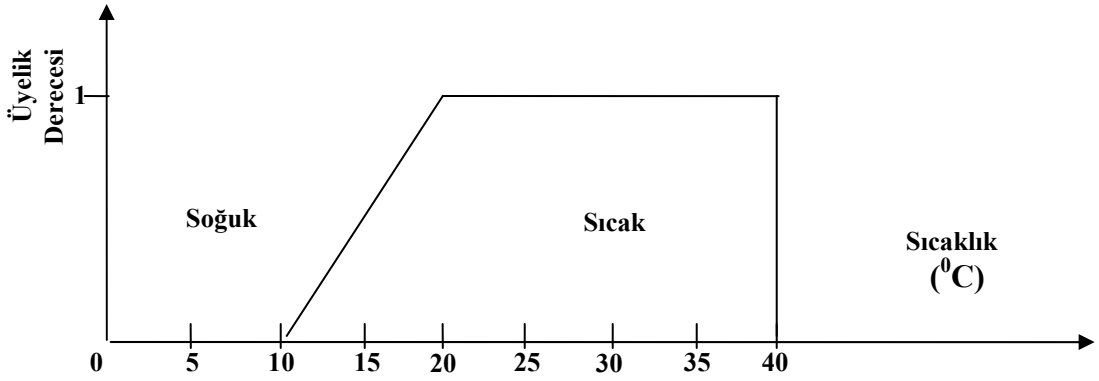
$$\mu_{A \cap B} = Min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \tag{3.3}$$

Klasik kümelere örnek Şekil 3.3'de verilmiştir. Eğer sıcaklık 20^o C' nin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık kuramına göre $19{,}5^o$ C sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiç bir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin değildir. Endüstriyel denetleyici için bu durum ele alınırsa, denetleyicideki fiziksel büyüklüklerin dahil olduğu kümeler birbirlerinden böyle keskin sınırlarla ayrılmışlarsa denetim çıktısının ani değişiklikler göstermesi kaçınılmaz olacaktır (Özkan 1997).

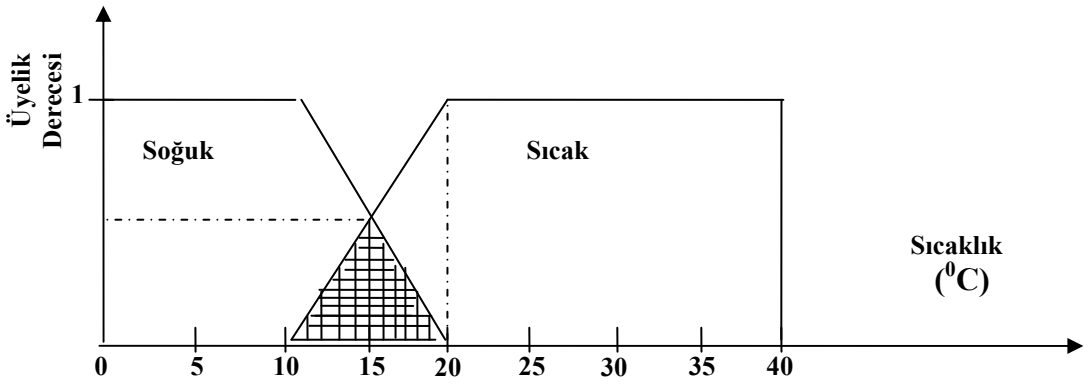


Şekil 3-3: Sıcaklık İçin Bir Keskin Küme Örneği

Bulanık kümeler için Şekil 3.4'de bir örnek verilmiştir. Burada 10-40^{o} C arasındaki değerler sıcak kümesine üyedirler. 20-40^{o} C arasındaki değerler üyelik dereceleri l' dir, 10-20^{o} C derece arasındaki sıcaklıkların ise üyelik dereceleri 0 ile 1 değerleri arasında değişecektir. Başka bir deyişle örneğin 11^{o} C az sıcak, 15^{o} C biraz sıcak olarak değerlendirilecektir. 20 °C'yi oda sıcaklığı kabul ederek, soğuk bulanık kümesi oluşturulduğunda Şekil 3.5 elde edilir (Etaner 1993).



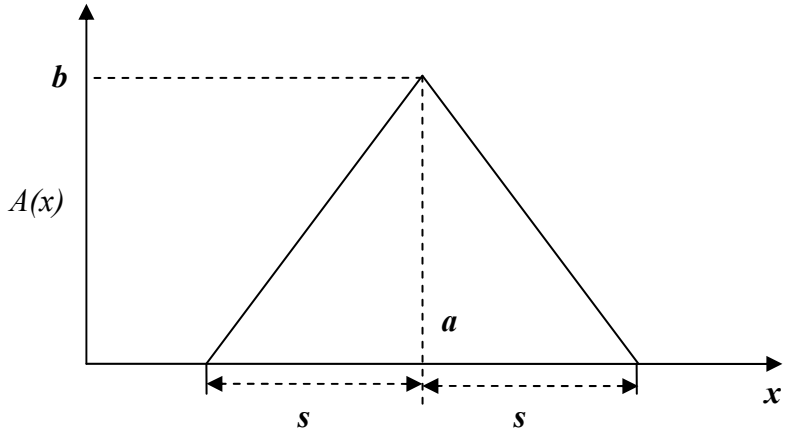
Şekil 3-4: Sıcaklık için bulanık küme örneği



Şekil 3-5: Bulanık kümelerde örtüşüm

Bulanık mantık denetleyici herhangi bir $x \in$ X'e [0, 1] kapalı aralığında bir üyelik derecesi belirler. Bulanık mantık kesin olmayan ya da matematiksel olarak tam modellenemeyen bilgilerle ilgilenmesine rağmen, sözel nitelikli matematiksel kurama dayanmaktadır (Ahmad 2004).

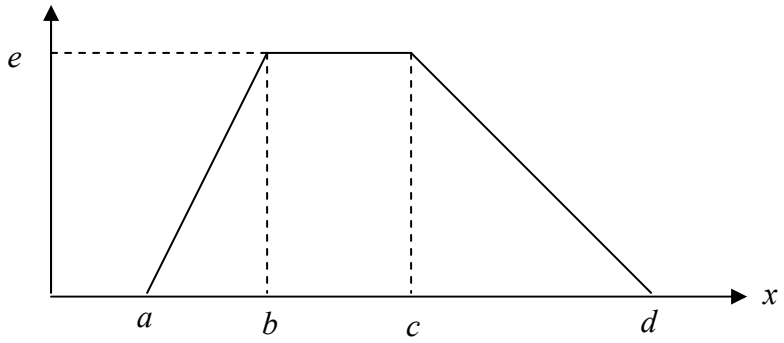
Bulanık mantık sisteminin temeli, üyelik işlevlerinden ortaya çıkarılan dilsel değişkenlerin oluşturduğu girişleri karar verme sürecinde kullanmaktır. Bu değişkenler, dilsel EĞER-O HALDE kuralların ön şartları tarafından birbirleriyle eşleşirler. Her bir kuralın sonucu, girişlerin üyelik derecelerinden, durulaştırma metoduyla sayısal bir değer elde edilmesiyle belirlenir. Bulanık mantık sistemin kural listesi ve üyelik işlevi dizaynı için genellikle uzman işletmenden sağlanan bilgiler kullanılmaktadır. Üyelik işlevleri Şekil 3.6'de genel, simetrik ve üçgen üyelik fonksiyonu görülmektedir (Klir ve ark. 1997).



Şekil 3-6: Genel, simetrik ve üçgen üyelik fonksiyonu

Simetrik ve üçgen şekilli üyelik fonksiyonları Şekil 3.6'da gösterilen *a,b* ve *s* parametreleri ile gösterilir. Genel gösterimi 3.4 teki ifade gibidir (Etaner 1993).

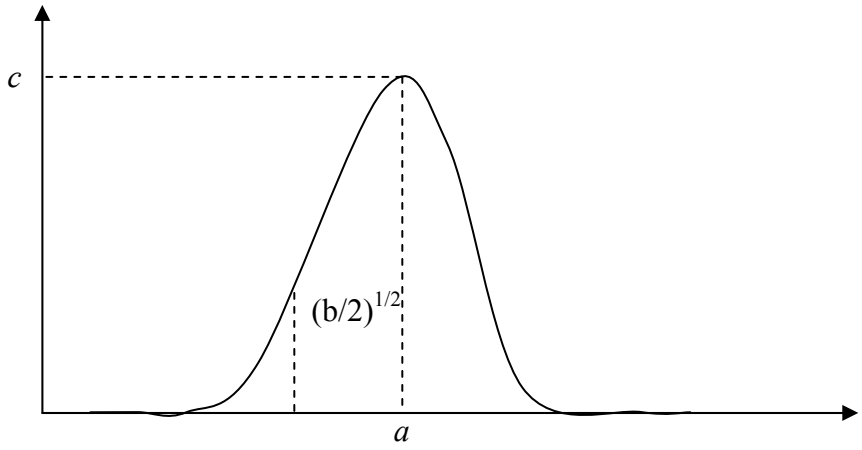
$$A(x) = \begin{cases} b(1 - \dfrac{|x-a|}{s}) & \text{a-s} \le x \le a+s \\ 0 & \text{Aksi takdirde} \end{cases} \qquad (3.4)$$



Şekil 3-7: İkizkenar yamuk üyelik fonksiyonu

Üyelik fonksiyonunun diğer önemli bir sınıfı da Şekil 3.7'de gösterilen ikizkenar yamuk şeklindeki fonksiyondur. Bu fonksiyon *a, b, c, d* ve *e* olmak üzere 5 parametreden oluşmaktadır. Genel gösterimi 3.5'teki gibi ifade edilir (Etaner 1993).

$$A(x)=\begin{cases}\dfrac{(a-x)e}{a-b} & a\le x\le b\\ e & b\le x\le c\\ \dfrac{(d-x)e}{d-c} & c\le x\le d\\ 0 & \textit{Aksi Takdirde}\end{cases} \tag{3.5}$$



Şekil 3-8: Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

Şekil 3.8'de gösterilen çan eğrisi üyelik fonksiyonun *a, b* ve *c* parametreleri ile gösterilen formülü aşağıda verilmiştir (Ahmad 2004).

$$A(x)=ce^{\frac{(x-a)^2}{b}} \tag{3.6}$$

Bulanık kümelerin üyelik işlevlerinin tanımlanmasında sayısal ve işlevsel olmak üzere iki yol vardır. Sayısal tanımlama, bulanık kümenin üyelik işlevini ve üyelik derecesini belirten sayılardan oluşmuş vektör olarak tanımlar. Bu vektörün boyutu ayrıklaştırma seviyesine bağlıdır veya bir başka deyişle uzaydaki süreksiz elemanların sayısına bağlıdır. İşlevsel tanımlama ise bulanık kümenin üyelik işlevini, tanım

uzayındaki her bir eleman için üyelik derecesini hesaplayabilen analitik deyimlerle tanımlar. Üyelik işlevlerinde genel olarak gerçek sayılar kullanılır. Bu işlevler [0,1] aralığında bir üyelik derecesine sahiptirler (Elmas 2003).

Bulanık bir küme, üyeleri kesin olarak belirli olmayan ama aday öğelerin bu kümeye üyelik derecelerinin bilindiği bir kümedir. Bulanık bir küme, matematiksel olarak çeşitli şekillerde gösterilebilir. Bu gösterimlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

$$\forall x \in E : \mu_a(x) \in [0,1] \tag{3.7}$$

$$A = \{x, \mu_a(x) \mathrm{I} x \in E\} \tag{3.8}$$

Bir bulanık küme, o kümenin elemanları ve elemanların üyelik dereceleri ile oluşturulabilir. A bir bulanık küme olmak üzere Eş. (3.9)' daki gibi tanımlanabilir;

$$A=\{u/\mu_A(u) \mid u \in U\} \tag{3.9}$$

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

Üyelik işlevi bir kümenin elemanlarının o kümeye hangi üyelik derecesi ile ait olduğunu gösteren ve [0,1] arasında değer alabilen bir işlev olduğuna göre Eş. (3.10)' daki gibi tanımlanabilir;

$$\mu_A(u): \mathrm{U} \rightarrow [0,1];\ \mu_A(u): \in [0,1] \tag{3.10}$$

Burada A bir bulanık küme, U ise A kümesinin üzerinde tanımlandığı evren, $\mu_A(u)$ ise üyelik işlevidir.

3.1.3.3 Bulanık Kümeler ve Olasılık

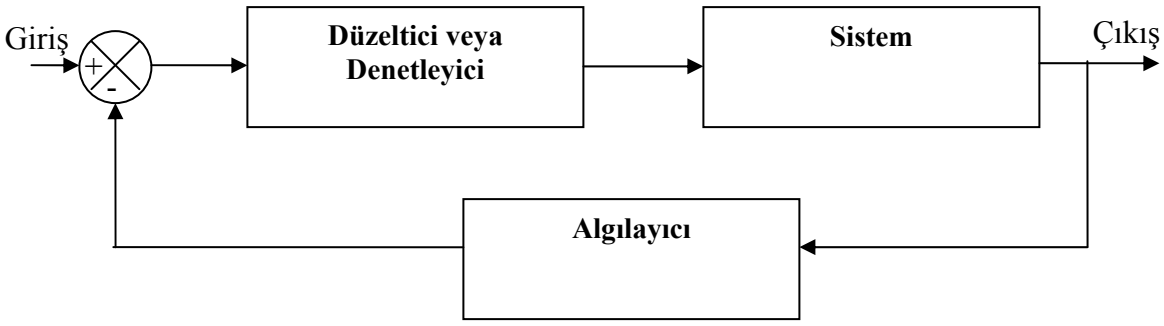
Olasılık teorisi belirsizlik olgusunu tamamlayan ve sistemize eden en önemli geleneksel teorilerden biridir. Olasılığın bazen belirsizliğin her durumu için kullanılabileceği düşünülebilir. Bu görüşe göre de bulanık set teorisine ihtiyaç duyulmaz. Ancak olasılık teorisi ve belirsizlik teorisi belirsizliğin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

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

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

3.1.3.4. Bulanık Mantık Denetleyici Sistemler

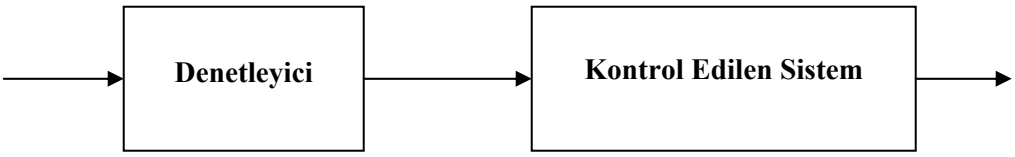
Bir denetleyici sistem başka bir fiziksel sistemin tepkisini veya davranışını denetleyen, düzelten, fiziksel elemanlardan oluşmaktadır. Denetim sistemleri genel olarak açık döngülü ve kapalı döngülü/geri beslemeli olarak iki tiptir. Kapalı döngülü denetim sistemlerine örnek olarak tost makinesi ve otomatik çamaşır makinesi verilebilir. Tost makinesinde ısı miktarı kullanıcı tarafından ayarlanır, otomatik çamaşır makinesinde ise suyun ısısı veya makinenin devir sayısı kullanıcı tarafından seçilir. Her iki örnekte de denetim işlemi çıkış değerine bağlı olarak değişmemektedir. Geri beslemeli veya kapalı döngü denetim sistemlerine örnek olarak bir odanın ısısını ayarlayan termostat denetimi ve otomatik pilot denetimi verilebilir. Kapalı döngülü denetim sistemlerinin genel olarak gösterilişi Şekil 3.9'da görülmektedir (Elmas 2003).



Şekil 3-9: Kapalı döngülü denetim sistemi

Denetleyici sistemleri bazen de düzeltici veya izleyici olarak iki kısımda incelenir. Denetleyici sistemi fiziksel bir değişkeni sabit bir değerde tutuyorsa bu sistem düzeltici olarak adlandırılır. Eğer denetim sistemi zamana bağlı olarak değişen değerleri takip ediyorsa izleyici denetleyici olarak adlandırılır.

Şekil 3.10'da blok olarak gösterilen açık döngülü denetim sistemlerinde denetleyici çıkışındaki kontrol işareti kontrol edilen sistemin durumundan bağımsızdır (Etaner 1993).



Şekil 3-10: Açık döngülü denetim sistemi

3.1.3.5. Bulanık Mantık Denetleyici Sistem Tasarımı

Bir bulanık mantık denetleyici tasarlarken gerekli temel aşamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bunlar genel olarak bütün sistemler için geçerlidir (Elmas 2003).

1. Öncelikle problemin çözümü için bulanık mantığın uygun olup olmadığı tespit edilir. Eğer sistemin davranış hakkındaki bilgi klasik kuralların tanımlanması için yeterliyse bulanık mantık yeterlidir.
2. Ele alınan sistemin durum, giriş ve çıkış değişkenleri dizileri tanımlanır. Algılayıcılardan gelen ölçümler giriş, denetim ve çıkış değişkenleri dizilerini üretir.
3. Her bir giriş ve çıkış parametresi için üyelik işlevleri tanımlanır. Üyelik işlevlerinin sayısı tasarımcının seçimi ve sistem davranışlarına bağlıdır.
4. Bilginin esas bölümü, uzman dilsel kuralları, sezgisel olarak elde edilen bilgileri, giriş ve çıkış bilgilerinin ölçümlerini içerir. Böylece bulandırma yapılabilir ve hangi kuralın uygulanacağı belirlenir.
5. Bir kural tabanı tertip edilir. Kural tabanında tasarımcı, kuralların ne kadar önemli olduğunu tanımlar.
6. Oluşturulan kural tabanı ile bazı örnek girişler için sistemin çıkışlarına bakılır. Elde edilen çıkışların, doğruluğu ve verilen girişler kümesi için kural tabanına uygunluğu tespit edilir.
7. Uygulanan kurala göre sonuç tespit edilir.
8. Denetim işleminde, en uygun bir tane çözüm değil, yeterli derecede iyi bir

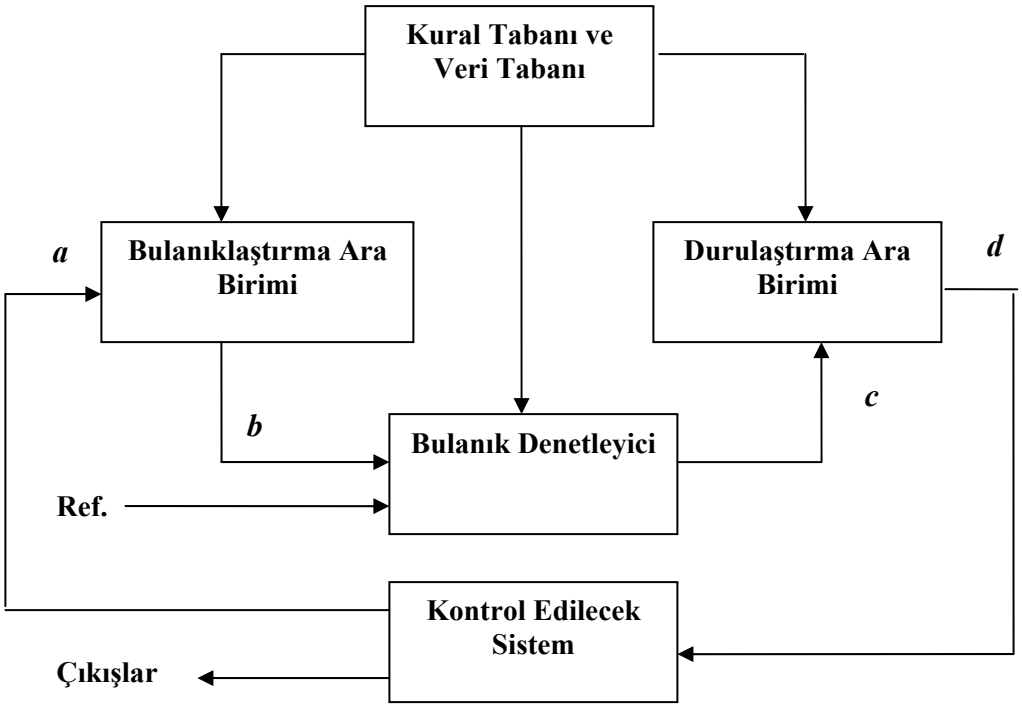
çözüm elde edilmelidir.

9. Kabul edilebilir kesinlik aralığında, kullanılan bilgiyi en iyi denetim edecek denetleyici tasarım edilmelidir.

Daha sonra ise denetleyicinin dinamiklerini teşkil eden bulanık "EĞER-O, HALDE" kurallarına dayalı yaklaşımlardan denetim yüzeyi *h'* yi içeren kuralları tanımlanır. Bulanık kural tabanlı uzman modeller, sistem tanımlama problemindeki *f* ve *g* işlevleri için tahmini değerleri kabul edebilir.

3.1.3.6. Genel Bulanık Mantık Denetleyiciler

Bulanık mantık denetleyiciler, bilgi tabanı, bulandırma, karar verme ve durulama birimleri olmak üzere dört temel bileşenden oluşmuştur (Etaner 1993).



Şekil 3-11: Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı (Etaner 1993)

Şekil 3.11'de bir bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı görülmektedir. Bir bulanık denetleyici, kontrol edilecek bir sistem, veri ve kural tabanı, bulanıklaştırma ve durulaştırma arabirimlerinden oluşur. Şekilde belirtilen bazı noktalardaki işaretler incelenecek olursa; *a* noktasında, kontrol edilen sistemden geri besleme yolu ile alınan duru işaret bulunmaktadır. Bu işaret, bulanıklaştırma ara birimine girerek bulanık işarete dönüştürülür. Bulanıklaştırma ara biriminden çıkan bu bulanık işaret, *b* noktasındaki işarettir ve bulanık denetleyiciye gider. Bulanık denetleyicide, gelen bulanık işaretin ve referans işaretinin değerlerine göre bir kontrol işlemi uygulayarak bulanık kontrol işareti üretilir, bu işaret denetleyici çıkışındaki yani *c* noktasındaki işarettir. Bu işaret durulaştırma arabirimine gönderilerek *d* noktasında kontrol edilecek sisteme uygulanacak olan duru işaret elde edilmiş olur (Etaner 1993).

Bulandırma Birimi

"Bulandırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi/kümeleri ve üyelik derecesini tespit edip, girilen sayısal değere küçük, en küçük gibi dilsel değişken değerler atar. Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla değişik şekillerde (üçgen, yamuk, çan eğrisi... vs.) bulanık kümeler seçilebilir" (Ahmad 2004).

Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı, karar verme biriminin kural tabanının da kullandığı bilgileri aldığı veri tabanı ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Genel olarak da uygulama dönemindeki bilgilerden ve denetim amaçlarından oluşur. Dilsel denetim kurallarının tanımlanmasında ve bulanık mantık denetimdeki bulanık bilgi işleme süresince

yararlanılır. Kurallar kümesi denetim amaçlarını ve denetim stratejisini belirler (Elmas 2003).

Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. *A* ve *B* girişler, C ise çıkış değişkeni olan bir sistem için,

EĞER A=x ve B= y ise O HALDE *C=z,*
Şeklindeki bir kural *A* ve B' nin aldığı değerlere göre *C* çıkışının bulanık değerini belirlemektedir.

Karar Verme Birimi

Karar verme birimi, çıkarım motoru olarak da adlandırılır. Bulanık mantık denetimin çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramları işler ve çıkarım yaparak gerekli denetimi belirler. Burada birçok bulanık gerçekleme yapılır. Yani insan beyninin bir benzetimi yapılmaya çalışılmaktadır (Ahmad 2004).

Bulanık mantık denetleyici içindeki bu benzetim bulanık içerme, bileşke kural çıkarımları ve cümle bağlayıcıları ile ilgilidir. Genel olarak bir bulanık denetim kuralı bir bulanık ilişkidir ve bulanık içerme ile açıklanır. Bulanık mantıkta bulanık içermeyi tanımlamanın birçok yolu vardır ve bulanık mantık denetleyici içinde hangi tipin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir.

Durulama Birimi

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar (Etaner 1993).

Durulama işleminde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Önce her kural için

üyelik derecelerinden oluşan değer ve sonuç kural tespit edilir. Daha sonra en uygun yöntem seçilerek durulama yapılır. En çok kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir (Elmas 2003).

- Maksimum üyelik yöntemi,
- Ağırlık merkezi yöntemi,
- Ağırlık ortalaması yöntemi,
- Mean-Max üyelik yöntemi.

3.1.3.7. Bulanık Mantık Denetim Uygulamaları

Bulanık denetimin ilk uygulamaları genellikle endüstriyel alanlarda, çimento sanayinde (1980) ve su arıtma sistemlerinde (1983) olmuştur. Daha sonraları literatürde nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimi gibi daha değişik uygulamalar görülmüştür. Bu gelişim içerisinde en önemli olay bulanık denetimin, Kuzey Japonya'nın Sendai kentindeki metro sisteminde çok başarılı bir şekilde kullanılması olmuştur. Bu olay bulanık denetim uygulamalarına büyük bir ivme kazandırmış, Japonya'da adeta bir patlama yaratmıştır. 1987 yılında başlayan bu patlama 1990'da zirveye ulaşarak bulanık denetimin ev aletlerinden borsa portföyü denetimine, fotoğraf makinelerinden hasta izleme uzman sistemlerine kadar uzanan çok geniş bir yelpaze içerisinde kullanılması ile sonuçlanmıştır. Bulanık denetim günümüzde özellikle Japonya'da çok geniş uygulama alanları bulmuştur. Bulanık denetimin Tablo 3.2'de bulanık mantık uygulamaları görülmektedir (Elmas 2003).

Tablo 3-2: Bulanık Mantık Uygulamaları (Elmas 2003)

Kullanım alanı	**Uygulama Yapan Şirket**	***Açıklama***
Çelik endüstrisi	Nippon-Steel	*Geleneksel denetleyicilerin yerini alır*
Çimento sanayi	Mitsubishi	*Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimi yapar*
Isı denetleyicisi	Omron	*Bir PID denetleyici ile hibrid çalışır, ani değişikliklerde PID denetleyicinin görevini üstlenir*
PLC	Omron	*Fabrikalarda süreç denetiminde kullanılır*
Hata tanısı	Guangzhou	*Bir süreçte hatanın nereden kaynaklandığını bulur*
Asansör denetimi	Fujitech, Toshiba, Mitsubishi	*Yolcu trafiğini değerlendirir, böylece bekleme zamanını azaltır*
SLR fotoğraf makinesi	Sayo-Fisher, Canon, Minolta	*Ekranda birkaç obje olması durumunda en iyi odaklanmayı ve aydınlatmayı belirler*
Video kayıt aleti	Panasonic	*Aygıtın elle tutulması nedeni ile oluşan sarsıntıları ortadan kaldırır.*
Çamaşır makinesi	Matsushita	*Çamaşır kirliliğini, ağırlığını kumaş cinsini sezer ona göre yıkama programını seçer.*
Elektrik süpürgesi	Matsushita	*Yerin durumunu ve kirliliğini sezer ve motor gücünü uygun bir şekilde ayarlar.*
Su ısıtıcısı	Matsushita	*Isıtmada kullanılan suyun miktarı ve sıcaklığına göre ayarlar.*
Klima aygıtı	Mitsubishi	*Ortam koşullarını sezerek en iyi çalışma durumunu saptar.*
Tansiyon aleti	Omron	*Tansiyon ölçer.*
Televizyon	Sony	*Ekran kontrastını, parlaklık ve rengini ayarlar.*
El bilgisayarı	Sony	*El yazısı ile veri ve komut girişine olanak tanır.*
Sendai metro sistemi	Hitachi	*Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlamanın yanı sıra durma pozisyonunu iyi ayarlar güçten tasarruf sağlar.*
Otomobil aktarma organı	Subaru-Nissan	*Araba kullanış stilini ve yükünü sezerek en iyi dişli oranını seçer.*
ABS fren sistemi	Nissan	*Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar.*
Hisse senedi alım satım programı	Yamaichi-Securities	*Hisse senedi portföyü idare eder.*

3.1.3.8. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları

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

Avantajlar;

Bulanık mantık kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması en büyük üstünlüğü oluşturmaktadır. Denetim işlemlerinin birçoğu dilsel denetleyicilerle yapılmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en büyük uygulama alanlarıdır. Bulanık mantık yaklaşımında işaretlerin bir ön işlemeye tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevlerine indirgenmeleri uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar (Özkan 1997).

Dezavantajlar;

Bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir. Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. Ve uygun yöntem deneme yanılma yöntemidir, buda çok uzun zaman alabilir. Uzun testler yapmadan gerçekten ne kadar üyelik işlevi gerektiğini önceden kestirmek çok güçtür. Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur. Günümüzde bu sadece pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır (Elmas 2003).

Denetleyicilerle bulanık denetleyiciler arasındaki farklar Tablo 3.3'de belirtilmiştir (Özkan 1997).

Tablo 3-3: Bulanık denetleyici ile klasik denetleyici arasındaki farklar (Özkan 1997)

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

3.2. Metot

Bu tez çalışmasında, bulanık çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ve tavlama benzetimi çözümü Delphi programlama dili kullanılarak oluşturulan bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. GA ve TB'de optimal veya optimale yakın çözümler elde etmek için parametre optimizasyonu yapılmıştır.

3.2.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA), doğadaki evrim mekanizmasını örnek alan bir arama metodudur. Bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılır. Genetik algoritmalar, doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir (Lawrence 1990).

GA bilgisayar üzerinde oluşan bir evrim şeklidir. Genetik algoritmanın amacı hem problemleri çözmek hem de evrimsel sistemleri modellemektir. Değişik planlama teknikleri, bir fonksiyonun optimizasyonu veya ardışık değerlerin tespitini

içine alan birçok problem tipleri için çözüm geliştirmektedir. Genetik algoritma ile oluşturulan seçim, doğal topluluklara benzer bir şekilde bilgisayar hafızasına depo edilmiş kromozomlar üzerinde icra edilmektedir (Lieppins 1989).

GA, araştırma ve optimizasyon algoritmaları olup, canlılardaki doğal gelişim prensibine dayanmaktadırlar (Holland 1975; Pham ve Karaboğa 2000).

Genler ve kromozomlar doğal olarak türler ile ilgili bilgileri saklarlar. Bir GA'da potansiyel çözümler ile ilgili bilgiler, diziler şeklindeki sayılarla ifade edilirler. Başlangıçta iyi bir yaklaşık çözüm için, herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmaması GA' nın bir avantajıdır (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Tablo 3.4'de genetik algoritma ile ilgili temel kavramlar verilmiştir.

Tablo 3-4: Genetik Algoritmada Kullanılan Temel Kavramlar

Gen	Kalıtsal molekülde bulunan ve organizmanın karakterlerinin tayininde rol oynayan kalıtsal birimlere denir. Yapay sistemlerde gen, kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük birim olarak alınır.
Kromozom	Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziye denir. Kromozomlar, alternatif uygun çözümleri gösterirler (Engin 2001)
Popülasyon	Kromozomlardan oluşan topluluğa denir. Popülasyon, geçerli alternatif çözüm kümesidir. Popülasyondaki birey sayısı (kromozom) genelde sabit tutulur. GA'da popülasyondaki birey sayısı ile ilgili genel bir kural yoktur. Popülasyondaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi (iterasyon sayısı) azalır.

Genetik Algoritmayı diğer arama yöntemlerinden farklı kılan özellikler ise şunlardır: (Goldberg 1989).

1. Genetik algoritma, parametre setlerinin kodları ile ilgilenir, parametrelerin kendileri ile doğrudan ilgilenmez,
2. Genetik algoritmanın arama alanı, yığının veya popülasyonun tamamıdır; tek nokta veya noktalarda (çözüm kümesinin daraltılmış bölgelerinde) arama yapmaz,
3. Genetik algoritmalarda, amaç fonksiyonu kullanılır, sapma değerleri veya diğer hata faktörler kullanılmaz,
4. Genetik algoritmaların uygulanmasında kullanılan operatörler, stokastik yöntemlere dayanır, deterministik yöntemler kullanılmaz.

3.2.1.1 Genetik Algoritmanın Tarihçesi

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland bu konuda ilk çalışmaları yapan kişidir. Makine öğrenmesi konusunda çalışmalar yapan Holland, evrim kuramından etkilenerek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşünmüştür. Genetik Algoritma ilk ismini biyoloji, ikinci ismini ise bilgisayar biliminden almaktadır (Holland 1975).

Sadece bir tane mekanik yapının öğrenme yeteneğinin geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan oluşan bir topluluğun çoğalma, çiftleşme, değişim vb. genetik süreçlerden geçirilerek, başarılı (öğrenebilen) yeni bireylerin oluştuğu görülmüştür. Holland'ın çalışmalarının sonuçlarını açıkladığı kitabının 1975'de yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı Genetik Algoritmalar ya da kısaca GA olarak yerleşmiştir. Ancak 1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak doktorasını veren David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi, 1989'da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınlayıncaya kadar, Genetik algoritmaların pek pratik yararı olmayan araştırma konusu olduğu düşünülmekteydi. Halbuki Goldberg' in gaz borusu hatlarının denetimi üzerine yaptığı çalışma ona sadece 1985 Ulusal Bilim Fonu Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmakla kalmayıp, genetik algoritmaların pratik kullanımının da olabilirliğini kanıtlamıştır (Goldberg 1989).

3.2.1.2. Genetik Algoritmaların Temel Teoremi

Genetik algoritmaların nasıl arama yaptığı alt dizi kavramıyla açıklanmaktadır. Alt diziler, genetik algoritmaların davranışlarını açıklamak için kullanılan teorik yapılardır. Alt diziler, {0,1,*} alfabesi kullanılarak tanımlanır.

Örneğin B alt dizisi, ilk konumunda 0, ikinci ve dördüncü konumunda 1 değeri olan kromozomlar kümesi içindir.

B= 01*1*

“*” sembolü dizinin o konumunun hangi değeri alıp almadığının önemli olmadığı anlamındadır. Dizi o konumda 0 veya 1 değeri alabilir (Goldberg 1989).

GA, her zaman optimum çözüm olmasa da, optimuma yakın çözümleri garanti ederler. Bir problemin GA ile çözümünde takip edilecek işlem adımları şöyledir (Engin 2001):

1. Arama uzayındaki bütün muhtemel çözümler, dizi olarak kodlanır. Bu diziyi (kromozomu) oluşturan her bir elemana gen denir. Her bir dizi, arama uzayında belirli bir bölgeye tekabül eder,

2. Genellikle rastsal bir çözüm seti seçilir ve başlangıç popülasyonu olarak kabul edilir,

3. Her bir dizi için uygunluk değeri hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir,

4. Bir grup dizi (kromozom) belirli bir olasılık değerine göre rastsal olarak seçilip üreme işlemi gerçekleştirilir,

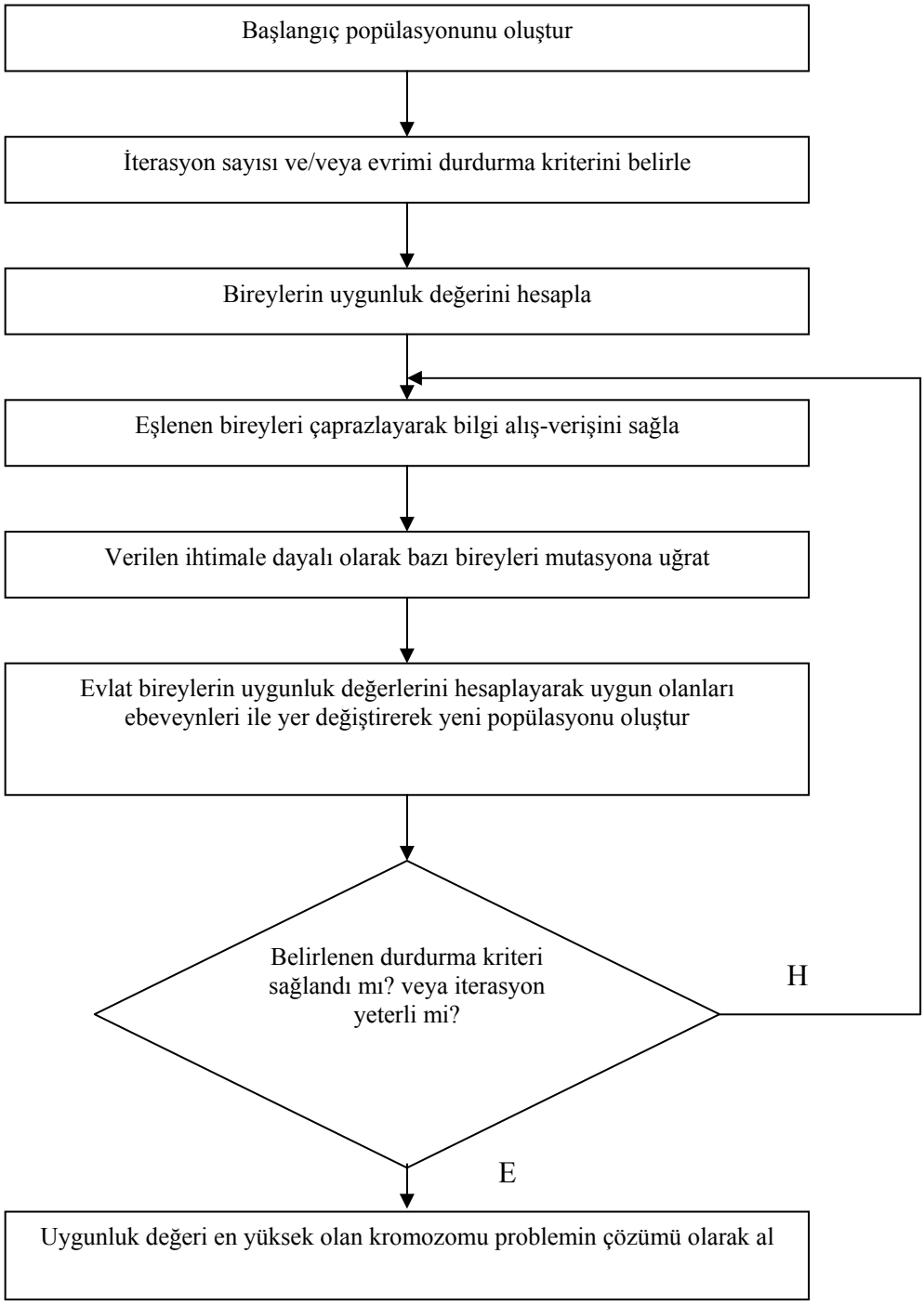
5. Üreme işleminde, çeşitli genetik operatörler kullanılır,

6. Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemine tabi tutulur,

7. Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam eder,

8. İterasyon, nesil sayısına ulaşınca işlem bitirilir. Uygunluk değeri en yüksek olan dizi seçilir.

Şekil 3.12'de genetik algoritmaların genel işleyişi verilmiştir.



Şekil 3-12: Genetik Algoritmaların Genel İşleyişi

1.Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması: Genetik algoritmanın ilk adımı başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Problemin olası çözümleri *0* ve *1* şeklinde kodlama yöntemi kullanılarak bir çözüm kümesi oluşturulur. GA bu çözüm

kümesi içerisinden birtakım operatörleri (mutasyon, çaprazlama) de kullanarak optimal çözüme ulaşır.

2.Uygunluk Değerinin Hesaplanması: GA başlangıç popülasyonundaki her bir olası çözümü, amaç fonksiyonuna göre değerlendirir ve her bir kromozomun uygunluk değerini hesaplar. Yüksek uygunluk değerine sahip bireylerin yaşama ve çoğalma şansı daha yüksektir.

3.Çoğalma İşleminin Uygulanması: Çoğalma işleminde başlangıç popülasyonundaki her bir kromozom kopyalanır. Daha sonra kromozomlar uygunluk değerlerine göre sıralanır. Yüksek uygunluk değerine sahip kromozomlar seçilip bir sonraki nesle aktarılır. Böylece hedefe daha yakın çözümler korunmuş olur ve daha iyi çözümlerin geliştirilmesi sağlanır. Sonuçta iyi bir bireyden daha iyi çocuklar yetişecektir.

4.Çaprazlama İşleminin Uygulanması: Mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar oluşturmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır (Jang 1997).

Genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametrelerden biri olan çaprazlama operatörü doğal popülasyonlardaki çaprazlamaya karşılık gelmektedir. Çoğalma işlemi sonucunda elde edilen yeni popülasyondan rastsal olarak iki kromozom seçilmekte ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır (Engin 2001).

5.Mutasyon İşleminin Uygulanması: Çaprazlama mevcut gen potansiyellerini araştırmak üzere kullanılır. Fakat popülasyon gerekli tüm kodlanmış bilgiyi içermez ise çaprazlama tatmin edici bir çözüm üretemez. Bundan dolayı, mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip bir operatör gerekmektedir. Bu görevi mutasyon gerçekleştirir (Goldberg 1989).

6.Yeni Popülasyonun Oluşması ve İterasyonun Durdurulması: Çoğalma, mutasyon ve çaprazlama işlemlerinden sonra yeni bir popülasyon oluşturulmaktadır. Operatörlerin uygulanması sırasında kromozom sayısı artabilir veya azalabilir. Ancak sonuçta oluşan yeni popülasyonun sayısı başlangıç popülasyonu sayısına eşittir.

Yeni popülasyon oluşturulduktan sonra daha önceden tanımlanmış bir hedefe ulaşıncaya kadar, iterasyon sayısına kadar veya başka bir kritere göre yukarıdaki işlemler devam eder ve sonuçta algoritmanın bulmuş olduğu optimuma yakın en iyi çözüme ulaşılmış olur.

3.2.1.3. Genetik Algoritmanın Kodlanması

Genetik Algoritmada en önemli sorunlarından biri de problem çözümünün kromozomlarda nasıl kodlanacağıdır (Gen ve Cheng 2000).

Her bir arama ve öğrenme metodu için, aday çözümler merkezde kodlanmıştır. Çoğu GA uygulaması aday çözümleri kodlamak için en uygun uzunluk ve bit uzunluğunu kullanır. Ancak, son yıllarda diğer kodlama şekilleri de kullanılmıştır (Mitchell 1996).

Son on yıl içerisinde, genetik algoritmanın etkin kullanımını sağlamak amacıyla özel problemler için farklı kodlama metotları geliştirilmiştir (Gen ve Cheng 2000).

İkili Kodlama

İkili kodlamalar en yaygın olarak kullanılan kodlamalardır. Bir çok GA teorisi en uygun uzunluk ve ikili kodlama varsayımına dayanmaktadır. Bu teori ikili olmayan kodlama uygulamasına kadar uzatılabilir ancak, orijinal teori kadar iyi geliştirilmiş olamaz. Ek olarak, Uygun parametre kodlama sezgiselleri ikili kodlamada geliştirilmiştir. Holland (1975) ikili kodlamaların uygulamasında bir yargı ortaya atmıştır. Holland, aynı bilgileri kullanarak iki farklı kodlama sistemini karşılaştırmıştır. İlkinde, az sayıda gen ve uzun diziler kullanmış ve diğerinde ise çok sayıda gen ve kısa diziler kullanmıştır. Sonuç olarak, önceki formatın sonraki formata göre daha yüksek derecede uygun paralellik izlediğini savunmuştur. Çünkü

önceki örnek sonrakine göre daha çok şema içermektedir. Bu avantajlara rağmen, ikili kodlama doğal ve çok yaygın olmayan problemlerde kullanılmakta ve daha çok keyfi sıralanmalara eğilimlidir (Mitchell 1996).

Çok Karakterli ve Gerçek Değerli Kodlama

Birçok uygulamada, alfabetik karakterler ya da gerçek rakamlar kullanılması çok daha doğaldır. İkili ve çok karakterli ampirik karşılaştırmalar çok karakterli kodlamanın performansının daha iyi olduğunu göstermiştir. Fakat performans daha çok probleme ve GA'da kullanılan ayrıntılara bağlıdır. Henüz hangi kodlamanın en iyi olduğuna dair kesin bir sonuç yoktur (Mitchell 1996).

Ağaç Kodlama

Üçlü kodlama şekillerinin açık uçlu olmak için arama uzaylarını da içeren çeşitli avantajları vardır. Bu açık uçluluk aynı zamanda bazı potansiyel tehlikelere yol açar. Ağaçlar kontrolsüz bir şekilde büyüyebilir ve hiyerarşik aday çözümlerin oluşmasını önleyebilir. Aynı zamanda sonuçta oluşan ağaçlar büyük olduğundan anlaşılması ve basitleştirilmesi oldukça zordur. Sistematik deneyler ağaç kodlama ile diğer kodlama türlerini karşılaştırmıştır. Aynı şekilde, ağaç kodlama için meydana gelen GA girişimleri vardır (Mitchell 1996).

3.2.1.4. Genetik Algoritmada Kullanılan Seçim Metodları

Genetik algoritmanın temel prensibi Darwin'in doğal seleksiyonudur. Seleksiyon, GA'da yönlendirme gücü sağlar (Gen ve Cheng 2000).

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 metotları üzerinde durulmuştur (Mitchell 1996).

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 evebeynleri olur (Mitchell 1996).

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 (Mitchell 1996).

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 (Mitchell 1996).

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 (Monsfield 1990).

3.2.1.5. Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler

Üreme

Bu prosedürde, bireysel diziler, amaç fonksiyonuna göre kopyalanır ve gelecek nesilde daha iyi döl verebilecek bireyler seçilir. Üreme operatörü yapay bir seleksiyondur. Üreme yönteminde genellikle rulet çemberi yöntemi kullanılır. Mevcut popülasyondaki en uygun kromozomlar rulet çemberi üzerine yerleştirilir. Çember popülasyondaki dizi sayısı kadar döndürülerek yeni nesil elde edilir (Engin 2001).

Çaprazlama Operatörü

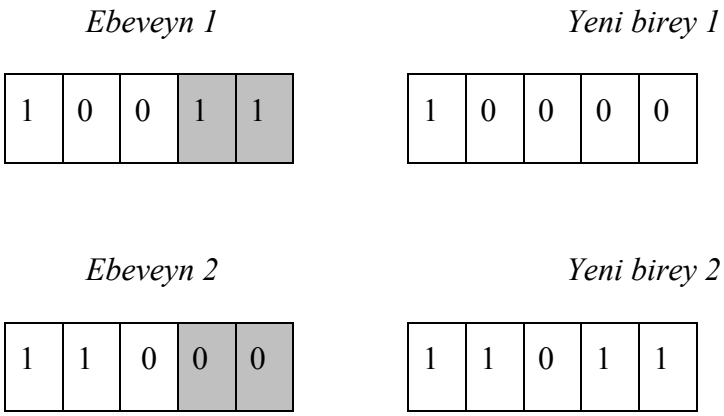
Kromozomlar arası bilgi alışverişine dayanan çaprazlama GA'nın temel unsurlarından biridir. Popülasyonda ne oranda bir çaprazlamaya izin verildiği p_c çaprazlama oranı ile gösterilir. Literatürde çeşitli çaprazlama operatörleri önerilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları tek noktalı çaprazlama ve çok noktalı çaprazlamadır (Goldberg 1989; Gen ve Cheng 2000).

Bu çalışmada aşağıda belirtilen çaprazlama operatörleri kullanılmıştır.

Tek Nokta Çaprazlama

Tek noktalı çaprazlamada, rastsal olarak seçilen iki noktanın yerleri karşılıklı değiştirilir. Bu yöntemde, $1 \leq k \leq L\text{-}1$ aralığında olmak üzere rastsal olarak bir k

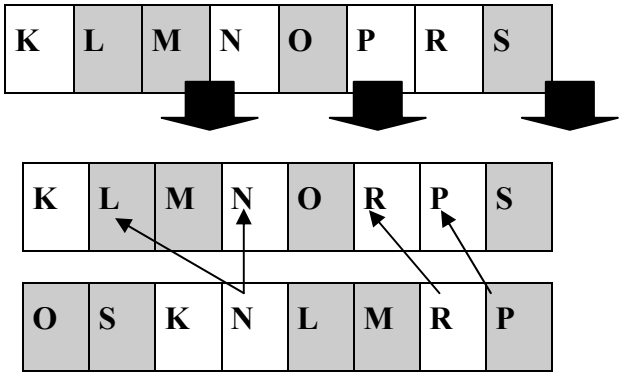
kesme noktası seçilir. Örnek için k=3 alınmıştır. Seçilen noktanın sağında kalan ve eşleme bölümü adı verilen bölümlerin yerleri değiştirilerek iki yeni birey oluşturulur. Çok noktalı çaprazlama da ise, kesme noktası sayısı birden fazladır (Goldberg 1989).



Şekil 3-13: Tek Nokta Çaprazlama

Pozisyona Dayalı Çaprazlama

Şekil 3.14'de görüldüğü gibi, rastsal olarak seçilmiş pozisyondaki işler, bir ebeveynden çocuğa kalıtsallaştırılır. Diğer ebeveyndeki sıradaki işlerin görünümündeki sırada diğer işler yerleştirilir. Pozisyondaki sayılar, [1,n] rastsal tamsayılar olarak ilk olarak düzenlenir, daha sonra bu pozisyonlar rastsal olarak seçilir, her pozisyonunun çaprazlama olasılığı %50 dir (Murata ve diğ. 1996a).



Şekil 3-14: Pozisyona Dayalı Çaprazlama

Sıraya Dayalı Çaprazlama

İlk olarak Davis tarafından önerilmiştir (Cheng ve diğ. 1999). Bu yöntemde bir grup nokta rasgele seçilir. Birinci kromozomun seçilen noktalara karşılık gelen karakterleri aynen yerlerini korur. İkinci kromozomun seçilen noktalara ait karakterleri birinci kromozomun aynı noktalarındaki karakterlerin önüne getirilir. Geriye kalan boş pozisyonlara ikinci kromozomdan aktarılan yeni karakterler de göz önünde bulundurularak ilk kromozomun kullanılmayan karakterleri tarafından sıra ile (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 Şekil 3.15'de verilmiştir (Engin 2001).

Çaprazlamadan	
Önce	Sonra
K L M N O P R= = = =	K R M N O P L
R P O N M L K = = = =	R K O N M L P

Şekil 3-15: Sıraya Dayalı Çaprazlama

Kısmi Planlı Çaprazlama (PMX)

Goldberg tarafından geliştirilen bu çaprazlama ilk olarak gezgin satıcı probleminde kullanılmıştır (Goldberg 1989). Bu yöntem örnekle gösterilmiştir. Kısmi planlı çaprazlama operatörünün prosedürünü göstermek için 8 iş problemi oluşturulmuştur. Çaprazlama için seçilen ebeveyn yapılar, K ve L olarak adlandırılmıştır. Yapıdaki elementler (Engin 2001);

K=2 8 6 4 5 7 1 3

L=8 7 2 1 3 4 5 6

(3.2)

K ve L'ye PMX operatörü uygulanır ise, K ve L'den ortak bir aralık ilk olarak rassal bir şekilde seçilir, daha sonra, seçilmiş iki aralıktaki elementlerin planları belirlenir. Bu örnekte, seçilmiş aralıklar arasındaki plan 6'ya 2; 4'e 1 ve 5'e 3'tür. İkinci olarak, K ve L'deki iki aralıkları değiştirilir. (3.11) ifadesindeki yapılar geçici sonuçlar gösterir. Bir dizide aynı işten birden fazla olduğundan her iki yapının da uygun olmadığı belirlenir.

$$\begin{array}{lcccccccc} & 2 & 8 & 2 & 1 & 3 & 7 & 1 & 3 \\ K= & 8 & 7 & 6 & 4 & 5 & 4 & 6 & 5 \end{array} \qquad (3.11)$$

Bundan dolayı, yeni yapılar uygun olmayan K ve L'de, seçilmiş aralıkların da, yetiştirilemeyen daha önceki adımda belirlenen elementlerin planın değiştirilmesi gerekir. Bu örnekte, K yapısının 1,7 ve 8 pozisyonlarında; 2,1 ve 3 sırasıyla 6,4 ve 5 ile değiştirilir. Yeni yapı (3.12) ifadesinde gösterildiği gibi oluşturulur (Engin 2001).

$$\begin{array}{lcc|ccc|ccc} K'= & 6 & 8 & 2 & 1 & 3 & 7 & 4 & 5 \\ L'= & 8 & 7 & 6 & 4 & 5 & 1 & 2 & 3 \end{array} \qquad (3.12)$$

Doğrusal Sıralı Çaprazlama (LOX)

Falkenaur ve Bouffouix tarafından geliştirilmiştir. İşlem adımları şöyledir (Cheng ve diğ. 1999):

1. Mevcut popülasyon içerisinden rastsal olarak iki ebeveyn seç,
2. Seçilen bu iki dizi (kromozom) üzerinde rastsal olarak iki alt dizi seç,
3. P_1 dizisinden seçilen alt diziyi kromozomdan kopar, boş kalan yerlere H yaz, benzer şekilde P_2 dizisinde de aynı işlemleri gerçekleştir,
4. Birinci alt diziyi P_1'e ve ikinci alt diziyi P_2'ye yerleştir.

Mutasyon Operatörü

GA'da önemli rol oynayan proseslerden biride mutasyon işlemidir. Canlılarda gen rekombinasyonlarının dışındaki diğer nedenlerle ve ani olarak meydana gelen kalıtsal değişimlere mutasyon denir. Doğal popülasyonlarda mutasyon işlemi (Engin ve Fığlalı 2002a) ;

1- Kromozom yapısı değişmeleri,

2- Kromozom sayısı değişmeleri,

3- Gen yapısındaki fiziksel ve kimyasal değişimler şeklinde gerçekleşir.

Yapay sistemlerde mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı değişmez sabit kalır. Doğal popülasyondaki mutasyon oranı oldukça düşüktür. Mutasyon frekansının büyüklüğü GA'nın performansını etkilemektedir. Mutasyon işlemi bir tek kromozom üzerinde yapılır (Engin ve Fığlalı 2002b).

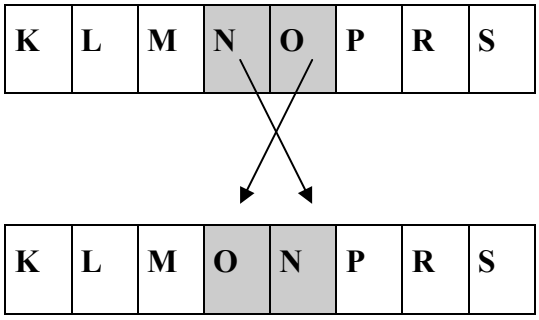
Bu çalışmada, aşağıda belirtilen mutasyon operatörleri kullanılmıştır.

Ters Mutasyon

Bir kromozomda rassal olarak iki pozisyon seçilir, bu iki pozisyondaki alt diziler ters çevrilir (Murata ve diğ. 1996b).

Komşu İki Geni Değiştirme

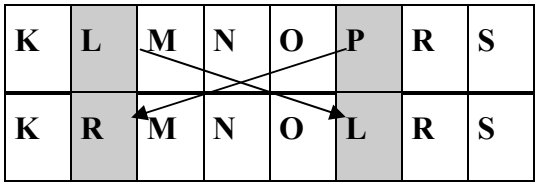
Şekil 3.16'da rassal olarak seçilen iki komşu genin değiştirilmesi gösterilmiştir (Murata ve diğ., 1996b).



Şekil 3-16: Komşu İki Geni Değiştirme

Keyfi İki Gen Değiştirme

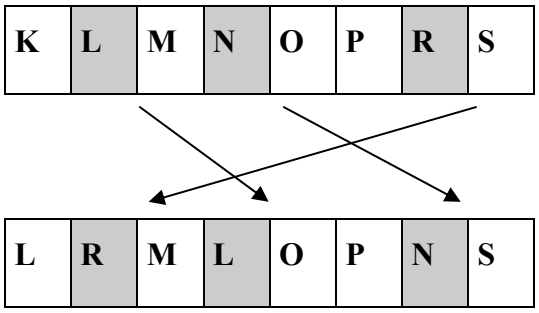
Şekil 3.17'de rassal seçilen iki genin değiştirilmesi gösterilmiştir. Özel bir durum olarak, değiştirilebilen iki komşu geni bu mutasyon içerir (Murata ve diğ. 1996b).



Şekil 3-17: Keyfi İki Geni Değiştirme

Keyfi Üç Gen Değiştirme

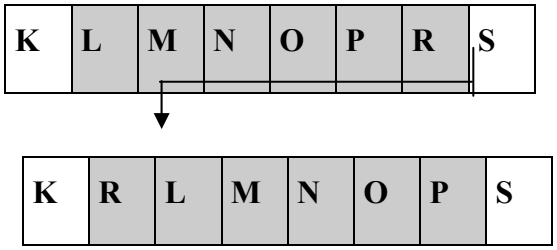
Şekil 3.18'de rastsal olarak seçilen üç genin keyfi olarak değiştirilmesi gösterilmiştir. (Murata ve diğ. 1996b).



Şekil 3-18: Keyfi Üç Gen Değiştirme

Araya Yerleştirme

Bu mutasyonda, bir operasyondaki bir gen kaydırılır ve diğer bir pozisyona konulur. Kaydırma noktası rastsal olarak seçilir. Komşu iki gen değiştirmenin özel bir durumudur. Keyfi üç gen değiştirmeyle bir kesişime sahiptir (Murata ve diğ. 1996b).



Şekil 3-19: Araya Yerleştirme

3.2.2.Tavlama Benzetimi

Tavlama terimi fiziksel olarak, ısı banyosundaki bir katının yüksek enerji durumlarından başlayarak daha düşük enerji durumlarının elde edilme sürecini temsil etmektedir. Bu süreç çok genel olarak iki işlemden oluşmaktadır.

- Isı banyosunun başlangıç sıcaklığının katının eriyebileceği bir değere kadar yükseltilmesi,

- Katılar düşük enerjili durumda, yani düşük sıcaklıkta daha kararlıdır. Yani katıların parçacıkları düşük sıcaklıklarda daha düzenlidir. Bundan dolayı katının parçacıkları kendini düzenleyene kadar ısı banyosunun sıcaklığının giderek azaltılmasıdır (Güden ve ark. 2005).

Tavlama Benzetimi (TB), kombinatoryal optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan ve katıların fiziksel tavlama sürecini taklit eden bir stokastik arama yöntemidir. Fiziksel tavlama, bir katının düşük enerjili durumlarının elde edilmesi prosesidir. Eritilen katının ısısının çok yavaş düşürülmesi ile katının düşük enerjili durumuna ulaşması sağlanır. Kirkpatrick ve ark. (1983) ve Cerny (1985) katıların tavlama benzetimi için Metropolis (1953) tarafından sunulan metodun optimizasyon problemlerinin çözümünde nasıl kullanılabileceğini göstermişlerdir. Fiziksel tavlama ile kombinatoryal optimizasyon arasındaki ilişki Tablo 3.5'de verilmiştir (Kirkpatrick ve ark. 1983).

Tablo 3-5: Fiziksel Tavlama ile Kombinatoryal Optimizasyon Arasındaki İlişki (Güden ve ark. 2005)

Termodinamik Simülasyon	***Kombinatoryal Optimizasyon Problemi***
Sistem Durumları	*Uygun Çözümler*
Enerji	*Amaç fonksiyonu*
Durumun Değişimi	*Komşu Çözüm*
Sıcaklık	*Kontrol parametresi*
Donma Durumu	*Sezgisel Çözüm*

TB, yerel arama yöntemlerinin yerel bir minimuma ulaştıktan sonra global minimum için daha fazla arama yapmamasından kaynaklanan eksikliğini gidermeye çalışan bir yöntemdir. TB algoritmasının genel yapısı aşağıda verilmektedir (Güner ve Altıparmak 2003).

Bir başlangıç durumu seç $i \in s$;
Bir başlangıç sıcaklığı seç $T > 0$;
Sıcaklık değişim sayısını sıfırla t: =0;
Tekrarla
Tekrar sayacını sıfırla n:=0;
Tekrarla
i'nin bir komşusu olan j durumunu üret;
Δ:= f(j) - f(i) ;
Eğer $\Delta < 0$ then i := j;
Değilse rastsal sayı üret (0,1) < exp(- Δ /T) then i:=j;
n:= n+1;
n= N(t);
t :=t+1;
T: =T(t);
Durdurma koşulu

Her hangi bir problemin çözümünde TB algoritmasının kullanılması için bazı parametrelerin belirlenmesi gerekir. Bu parametreler:

(1) Başlangıç sıcaklığı (T_0),

(2) Her sıcaklıktaki iterasyon uzunluğu,

(3) Soğutma fonksiyonu,

(4) Algoritmayı durdurma kriteri.

Başlangıç sıcaklığı bir girdi parametresidir. Sıcaklık kötü çözümlerin kabul edilme olasılığını kontrol etmek için kullanılır. İterasyon uzunluğu, her sıcaklıkta üretilen çözümlerin sayısıdır. Soğutma fonksiyonu, bir önceki iterasyon sıcaklığına bağlı olarak mevcut iterasyondaki sıcaklığı belirler. Soğutma oranı *r* olarak gösterilir. Uygulamalarda *r* değeri genellikle 0,8 ve 0,99 arasında alınmaktadır. Başlangıç sıcaklığı ile birlikte iterasyon sayısı ve soğutma fonksiyonu, soğutma çizelgesi olarak adlandırılır. Bu çizelge, çözüm kalitesinde veya yakınsama oranında büyük etkiye sahiptir. Her sıcaklık değişiminde elde edilen çözüm, çok sayıda ardışık sıcaklık değişimlerinde değişmiyor ise TB durdurulur (Güner ve Altıparmak 2003).

3.2.3. Bulanık Çok Prosesli Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri için Parametre Optimizasyonu

Parametre optimizasyonunda, her bir gruptan sadece bir problem ele alınmıştır. Bulunan en iyi parametre setleri ile o gruptaki bütün problemler çözülmüştür. Oğuz (2005) çok prosesli esnek akış tipi kıyaslama problemleri zorluk derecesine göre P ve Q olmak üzere iki tiptir. Her tipte de 2, 5 ve 8 aşama bulunmaktadır. Parametre optimizasyonu yapılırken bu aşamalardaki her bir işten bir örnek seçilmiş olup elde edilen en iyi sonuç o işteki diğer problemlere uygulanmıştır. Optimizasyon sonucunda her bir örnek problem için en kısa sürede elde edilen en küçük *FCmax* değerindeki üreme, çaprazlama ve mutasyon yöntemleri bulunmuştur. *FCmax* değeri, bulanıklaştırılan problemlerdeki işlerin tamamlanma zamanıdır. Tablolardaki yer alan CPU zamanı saat: dakika: saniye: saniyenin 1000'de 1'i şeklindedir.

Bu çalışmada kullanılan esnek akış tipi problemler, Oğuz (2005)'un kıyaslama problemleridir. Oğuz kıyaslama problemlerinde *n(iş) x s(aşama)* tipi problemlerdir. Örnek problem notasyonu "P20S5T08" şeklindedir. Burada P problem zorluk derecesini göstermekte olup P ve Q değerlerini almaktadır. Q tipi

problemler daha zordur. 20 iş sayısını göstermektedir. Burada 100 iş H1 ile temsil edilmektedir. S5 aşama sayısını, T08 ise problem indisini göstermektedir. *n*=5, 10, 20, 50, 100 iş sayıları, *m*=2, 5, 8 değerleri ise aşama sayılarıdır. Çözümü gerçekleştirilecek olan problemlerin boyutları: 5x2, 10x2, 20x2, 50x2, 100x2, 5x5, 10x5, 20x5, 50x5, 100x8, 5x8, 10x8, 20x8, 50x8 ve 100x8,' dir. Her işlemci herhangi bir anda sadece bir işlemi yürütebilmektedir. İşlemciler arıza yapmazlar. Bütün işler çizelgeleme başında hazırdırlar. İşler kesintisiz işlenir. Amaç, FC_{max}'ın en küçüklenmesidir.

Bu problemleri çözmek için geliştirilen GA 'da 6 parametre kullanılmaktadır. Her ayrı tip problem türü için gerekli parametreleri belirlemek amacıyla olası tüm kombinasyonlar test edilmiştir. Her faktörde birden fazla düzey bulunmaktadır. Bu düzeyler Tablo 3.6' da verilmiştir.

Tablo 3-6: Faktörler için kullanılan düzeyler

Üreme Yöntemi	*Rulet Çemberi*
	Turnuva Yöntemi
Üreme Oranı	*0,1' den 0,9' a kadar*
Çaprazlama Yöntemi	*Pozisyona Dayalı*
	Sıraya Dayalı
	Kısmı Planlı
	Dairesel
	Doğrusal Sıralı
	Sıralı
Çaprazlama Oranı	*0,1' den 0,9' a kadar*
Mutasyon Yöntemi	*Ters Mutasyon*
	Komşu İki İşi Değiştirme
	Keyfi İki İşi Değiştirme
	Keyfi Üç İşi Değiştirme
	Araya Sokma
Mutasyon Oranı	*0,1' den 0,9' a kadar*

Parametrelerin belirlenebilmesi için her bir gruptan bir problem $2 \times 9 \times 6 \times 9 \times 5 \times 9 = 43740$ defa çözülmüştür. Çözüm sonuçları için en önemli faktör FC_{max} değeridir. FC_{max} değerinden sonra dikkate alınan çözüm süresidir. Çözüm süreleri eşit ise iterasyon sayıları dikkate alınmaktadır. Bu çalışma için geliştirilen GA, *n* adet işin sıralanmasına dayalı bir kromozom yapısı kullanmaktadır. En iyi sonucu veren parametreler benzer problemlerin çözümünde kullanılacaktır. Tablo 3.7'de genetik algoritma, Tablo 3.8'de tavlama benzetimi için seçilen örnek problemlerin en iyi sonucu veren parametreleri verilmiştir. Bu değerler her bir

örneğin çözümünden elde edilen en iyi sonucu göstermektedir. Her bir örnek için en iyi ilk 30 sonuç Ek 1' de bulunabilir.

Tavlama benzetiminin parametre optimizasyonunda başlangıç sıcaklığı (C_o) 1000, iterasyon sayısı 250, boltzman sabiti de 0,85; 0,90; 0,95; 0,99 değerleri için her bir problem grubundan sadece bir problem ele alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 3-7: Genetik Algoritma Parametreleri

PROBLEM	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZLAMA ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	İTERASYON	CPU ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
P5S2T06	Rulet Çemberi	0,1	Sıraya Dayalı	0,1	Araya Sokma	0,1	1	00:00:00.000
P10S2T06	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,4	Komşu İki İşi Değiştirme	0,2	7	00:00:00.093
P20S2T06	Turnuva Yöntemi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,7	112	00:00:11.219
P50S2T06	Rulet Çemberi	0,4	Kısmi Planlı	0,3	Araya Sokma	0,6	250	00:02:32.750
PH1S2T06	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,8	231	00:13:24.203
P5S5T06	Turnuva Yöntemi	0,6	Pozisyona Dayalı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1	00:00:00.000
P10S5T06	Turnuva Yöntemi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	10	00:00:00.453
P20S5T06	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,7	43	00:00:56.656
P50S5T06	Turnuva Yöntemi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,5	64	00:02:10.453
PH1S5T06	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,8	200	00:19:06.531
P5S8T06	Turnuva Yöntemi	0,4	Pozisyona Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,8	1	00:00:00.078
P10S8T06	Turnuva Yöntemi	0,3	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,8	41	00:00:14.547
P20S8T06	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	228	00:02:34.875
P50S8T06	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	114	00:07:14.422
PH1S8T06	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,6	Araya Sokma	0,5	249	01:57:43.656
Q5S2T06	Rulet Çemberi	0,1	Sıraya Dayalı	0,1	Araya Sokma	0,1	1	00:00:00.000
Q10S2T06	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,4	Komşu İki İşi Değiştirme	0,2	3	00:00:00.015
Q20S2T06	Turnuva Yöntemi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,7	106	00:00:04.734
Q50S2T06	Rulet Çemberi	0,4	Kısmi Planlı	0,3	Araya Sokma	0,6	155	00:00:12.329
QH1S2T06	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,8	74	00:01:44.391
Q5S5T06	Turnuva Yöntemi	0,6	Pozisyona Dayalı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1	00:00:00.000
Q10S5T06	Turnuva Yöntemi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	1	00:00:00.000
Q20S5T06	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,7	157	00:00:09.468
Q50S5T06	Turnuva Yöntemi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,5	242	00:34:03.703

PROBLEM	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZLAMA ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	İTERASYON	CPU ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
QH1S5T06	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,8	244	00:07:47.047
Q5S8T06	Turnuva Yöntemi	0,3	Pozisyona Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,8	1	00:00:00.015
Q10S8T06	Turnuva Yöntemi	0,4	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,8	1	00:00:00.016
Q20S8T06	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1	00:00:00.359
Q50S8T06	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	249	00:04:19.203
QH1S8T06	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,6	Araya Sokma	0,5	197	00:19:50.266

Tablo 3-8: Tavlama Benzetimi Parametreleri

PROBLEM	Boltzman Sabiti	İTERASYON	CPU ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
P5S2T04	0,85	250	09:20:40.125
P10S2T06	0,85	250	10:52:54.703
P20S2T08	0,99	250	11:07:18.921
P50S2T04	0,99	249	00:00:01.093
P1HS2T02	0,99	250	14:59:16.750
P5S5T03	0,95	61	00:00:00.016
P10S5T07	0,90	250	11:52:03.234
P20S5T07	0,95	250	12:05:16.734
P50S5T05	0,85	250	12:31:48.203
P1HS5T07	0,90	250	13:31:33.562
P5S8T010	0,95	39	00:00:00.016
P10S8T03	0,85	250	16:30:17.796
P20S8T06	0,85	250	11:28:19.416
P50S8T06	0,90	250	12:23:53.713
P1HS8T08	0,85	250	16:40:49.526
Q5S2T08	0,95	70	00:00:00.000
Q10S2T06	0,90	146	00:00:00.016
Q20S2T05	0,85	250	08:25:25.609
Q50S2T03	0,85	250	08:40:30.968
Q1HS2T07	0,99	250	15:12:47.328
Q5S5T03	0,90	0	00:00:00.000
Q10S5T04	0,95	41	00:00:00.000
Q20S5T06	0,90	250	09:01:05.718
Q50S5T08	0,85	250	09:36:38.328
Q1HS5T06	0,95	250	11:50:35.781
Q5S8T04	0,85	0	00:00:00.000
Q10S8T07	0,99	0	00:00:00.000
Q20S8T08	0,99	249	00:00:01.125
Q50S8T08	0,85	250	13:31:25.187
Q1HS8T05	0,90	250	16:07:06.890

3.2.4. Çok Prosesli Esnek Akış Tipi Problemlerinin Bulanıklaştırılması Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi Yardımıyla Çözümü

Oğuz (2005)'un çok prosesli esnek akış tipi kıyaslama problemleri bulanıklaştırılmıştır. Kıyaslama problemlerindeki süreler ortalama süre kabul edilmiştir. Proses zamanlarında kullanılan en kısa işlem süresi ve en uzun işlem süresi, ortalama işlem süresine göre %0 -%5 aralığında Uniform dağılıma göre oluşturulmuştur. Teslim süresinde operasyonların ortalama işlem süresinin toplamı d_1 olarak kabul edilmiştir. d_2 ise d_1 teslim süresinin %3 - %15 arasında Uniform dağılıma göre rastsal olarak belirlenmiştir. Problemin amaçları (Gonzales ve ark. 2005).

1- Uyumlaştırma indeksinin maksimizasyonu,

2- Ortalama uyumlaştırma indeksinin maksimizasyonu,

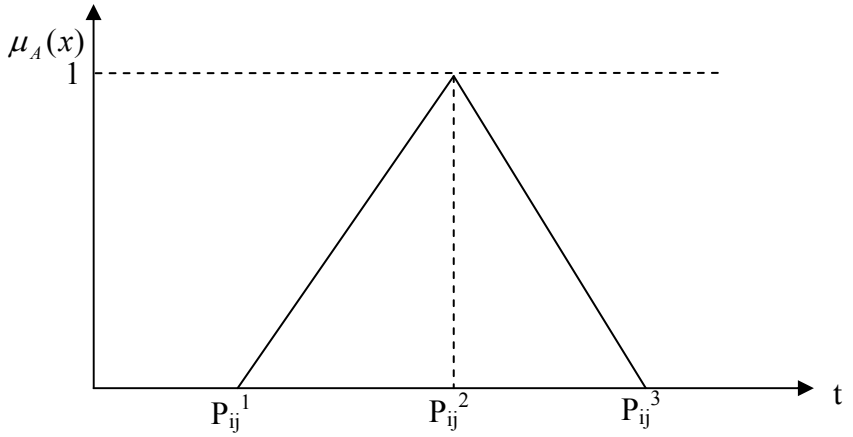
3- Bulanık tamamlanma zamanının minimizasyonu olarak belirlenmiştir.

Problemin bulanık kısmında aşağıdaki üyelik fonksiyonları kullanılmıştır (Gonzales ve ark. 2005).

1- Proses zamanı (Üçgen Üyelik Fonksiyonu)

2- Teslim süresi (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)

Bulanık üçgensel üyelik fonksiyonu yardımıyla hesaplanan proses zamanları Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Bulanık Proses Zamanı (Gonzales ve ark. 2005).

$P_i^1{}_j$ = En kısa işlem süresi

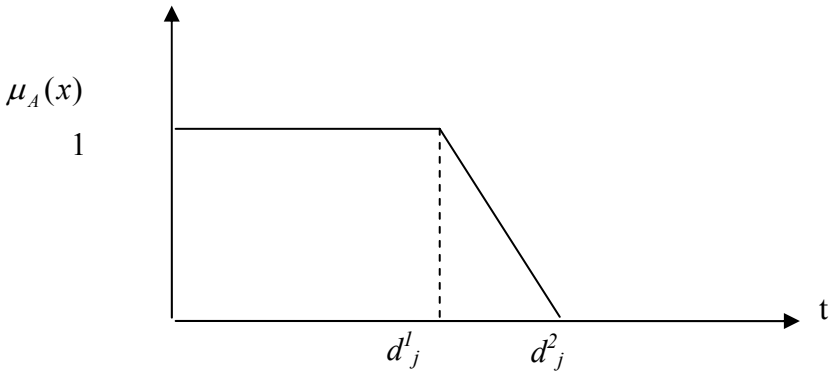
$P_i^2{}_j$ = Orta işlem süresi

$P_i^3{}_j$ = En uzun işlem süresi

$$P_{ij}{}^1 \leq P_{ij}{}^2 \leq P_{ij}^3$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < P_{ij}^1 \\ \dfrac{x - P_{ij}^1}{P_{ij}^2 - P_{ij}^1} & P_{ij}^1 \leq x \leq P_{ij}^2 \\ \dfrac{x - P_{ij}^3}{P_{ij}^2 - P_{ij}^3} & P_{ij}^2 < x \leq P_{ij}^3 \\ 0 & P_{ij}^3 < x \end{cases}$$

Bulanık yamuk üyelik fonksiyonu yardımıyla hesaplanan teslim zamanları Şekil 3.21'de gösterilmiştir (Gonzales ve ark. 2005).



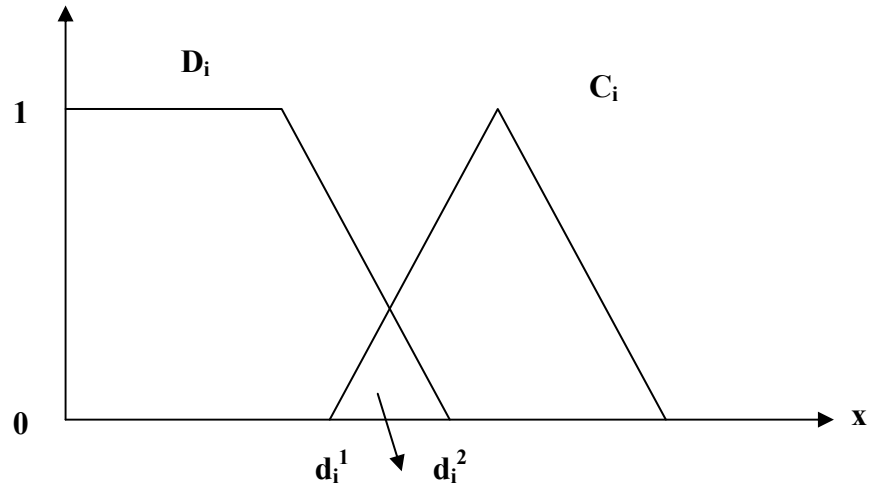
Şekil 3.21: Bulanık Teslim Tarihi

d^1_j= Teslim tarihi

d^2_j= Üst sınır teslim tarihi

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < d^1 j \\ \dfrac{x - d^1 j}{d^2 j - d^1 j} & d^1 j < x \le d^2 j \\ 1 & x \ge d^2 j \end{cases} \tag{3.14}$$

Problemin amaç fonksiyonlarından uyumlaştırma indeksi Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22: Uyumlaştırma İndeksi

D_i= Teslim süresi

C_i= İşlem süresi

$$\text{UI}= \frac{\left(AlanC_i \cap D_i\right)}{\left(AlanC_i\right)} \tag{3.15}$$

C_i= Her bir işin toplam tamamlanma zamanı

Amaç fonksiyonlarının formülleri (Gonzales ve ark. 2005).

1- *Uyumlaştırma İndeksi maksimizasyonu:*

$$maksZ_1 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} UI_i \tag{3.16}$$

2- *Ortalama Uyumlaştırma İndeksi maksimizasyonu*

$$maksZ_2 = UI_{\min} = \min_{i=1....n} UI_i \tag{3.17}$$

3- *Bulanık tamamlanma zamanı*

$$\min Z_3 = C_{\max} = \max_{i=1....,n} C_i \tag{3.18}$$

Bulanık çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemlerini, GA ve TB ile çözen program Borland Delphi 7.0 ile geliştirilmiştir.

Bulanıklaştırılan 300 adet çok prosesli esnek akış tipi problem verilerinin çözümü için genetik algoritma ve tavlama benzetimi yöntemlerini kullanan bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Her problem 250 nesil ve 25 tekrar ile çözülmüştür. Problemin çözüm dosyasında, her tekrarın 250 nesli içindeki bulanık tamamlanma zamanı (*FCmax*), Uyumlaştırma Indeksi (UI), Ortalama Uyumlaştırma Indeksi (Ort UI) ve işlem süreleri (CPU time) görülmektedir.

Bulanık çok prosesli esnek akış tipi problemleri Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi programlarıyla çözülmüştür. Yapılan testlerde GA algoritmasının çözüm kalitesi ve çözüme ulaşmada harcadığı süre (CPU zamanı) ölçülmüştür. Çözüm kalitesi, genetik algoritmanın elde ettiği en iyi çözüm ile tavlama benzetiminin elde ettiği en iyi çözüm arasındaki yüzde sapma miktarı ile ölçülmektedir. Yüzde sapma, *FCmax* için (3.19)' deki ifadeye göre hesaplanır. Tavlama benzetimi için çözüm süreleri olarak, genetik algoritmada bulunan en iyi sonucun çözüm süreleri alınmıştır.

$$\%\ Sapma = \frac{FC\max(TB) - Fc\max(GA)}{FC\max(GA)} * 100 \qquad (3.19)$$

Yüzde sapma ORT UI ve UI değerleri için (3.20)' deki ifadeye göre hesaplanır.

$$\%\ SapmaUI = \frac{FC\max(GA) - FC\max(TB)}{FC\max(TB)} * 100 \qquad (3.20)$$

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Oğuz (2005)'un çok prosesli esnek akış tipi problemleri bulanıklaştırılarak 300 adet problem, genetik algoritma ve tavlama benzetimi tekniklerini kullanan bilgisayar programı yardımıyla çözülmüştür. Her iki algoritmaya ait çözümlerin, yüzde sapmaları karşılaştırılmıştır.

Bütün problem çözümleri Intel Pentium 4 3 GHz işlemcili, 512 Mb ram ve Microsoft Windows XP with SP1 işletim sistemi özellikli bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.1'de P tipi 2 aşama, Tablo 4.2'de P tipi 5 aşama, Tablo 4.3'de P tipi 8 aşama, Tablo 4.4'de Q tipi 2 aşama, Tablo 4.5'te Q tipi 5 aşama, Tablo 4.6'da Q tipi 8 aşama problemlerinin sonuçları yer almaktadır.

Tablo 4-1: P Tipi 2 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları

PROBLEMLER	% SAPMA			GA CPU	TB CPU
	FCMAX	ORT UI	UI		
P5S2T01	0,00	0,00	0,00	00:00:00.015	00:00:00.000
P5S2T02	0,00	0,68	1,29	00:00:00.000	00:00:00.000
P5S2T03	0,00	4,54	0,53	00:00:00.000	00:00:00.016
P5S2T04	0,00	0,00	4,51	00:00:00.000	00:00:00.015
P5S2T05	0,00	2,02	1,36	00:00:00.000	00:00:00.110
P5S2T06	0,00	2,15	2,36	00:00:00.000	00:00:00.016
P5S2T07	0,00	2,19	0,19	00:00:00.000	00:00:00.015
P5S2T08	0,00	1,97	2,61	00:00:00.015	00:00:00.016
P5S2T09	0,00	0,00	0,28	00:00:00.000	00:00:00.015
P5S2T10	0,00	1,35	0,31	00:00:00.000	00:00:00.000
P10S2T01	3,11	4,04	1,68	00:00:00.063	10:59:27.093
P10S2T02	6,20	7,98	3,67	00:00:00.750	10:59:34.937
P10S2T03	2,27	6,77	0,67	00:00:00.093	10:59:42.687
P10S2T04	3,47	0,00	2,70	00:00:00.094	10:59:47.671
P10S2T05	0,59	5,39	2,37	00:00:00.031	10:59:53.703
P10S2T06	1,99	0,00	0,00	00:00:00.093	11:00:05.500
P10S2T07	2,10	7,77	1,82	00:00:00.063	00:00:00.063
P10S2T08	0,33	3,32	0,48	00:00:00.000	11:00:33.187
P10S2T09	1,29	1,92	5,01	00:00:00.218	11:00:42.281
P10S2T10	0,27	3,35	2,82	00:00:00.359	10:59:20.984
P20S2T01	9,21	0,48	1,86	00:00:12.593	00:00:00.344
P20S2T02	12,98	0,17	1,52	00:00:05.359	11:10:26.734
P20S2T03	1,62	5,81	1,50	00:00:18.079	00:00:00.578
P20S2T04	9,19	2,34	1,26	00:00:19.516	11:10:43.859
P20S2T05	2,01	0,00	1,35	00:00:03.516	00:00:00.641
P20S2T06	9,43	1,58	0,28	00:00:11.219	11:11:15.125
P20S2T07	6,59	0,35	0,67	00:00:12.265	11:11:25.421
P20S2T08	6,37	4,37	2,12	00:00:16.531	11:11:37.593
P20S2T09	3,17	5,67	3,25	00:00:03.203	11:11:57.750
P20S2T10	6,92	0,10	0,00	00:00:23.968	11:10:09.406
P50S2T01	3,44	3,68	0,65	00:00:28.750	00:00:01.110
P50S2T02	2,53	4,89	6,48	00:02:17.844	00:00:02.829
P50S2T03	7,39	0,00	7,88	00:00:32.421	00:00:01.046
P50S2T04	6,51	2,82	0,00	00:01:00.063	11:33:15.031
P50S2T05	5,42	6,92	3,49	00:00:36.953	00:00:01.453
P50S2T06	1,82	0,00	4,41	00:02:32.750	00:00:02.953
P50S2T07	10,01	2,14	1,78	00:00:24.313	11:35:34.109
P50S2T08	1,55	2,33	2,93	00:02:07.094	11:36:10.359
P50S2T09	2,63	-0,99	0,82	00:01:38.610	00:00:03.766
P50S2T10	5,53	3,53	5,73	00:00:26.266	00:00:01.235
P1HS2T01	6,19	3,36	2,53	00:05:21.953	15:14:40.000
P1HS2T02	2,04	6,67	10,30	00:07:35.546	15:15:47.656
P1HS2T03	4,12	1,30	9,23	00:05:24.359	15:19:06.531
P1HS2T04	2,01	0,00	12,35	00:10:08.219	15:20:05.734
P1HS2T05	1,65	4,79	6,04	00:12:50.468	15:24:50.468
P1HS2T06	1,66	3,59	2,10	00:13:24.203	15:28:30.109
P1HS2T07	0,00	0,44	0,40	00:01:20.203	15:31:25.406
P1HS2T08	1,89	0,00	5,11	00:07:34.125	15:32:53.312
P1HS2T09	3,38	4,60	0,96	00:06:04.750	15:34:12.671
P1HS2T10	2,93	1,43	2,01	00:07:13.891	15:13:35.734

P5S2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde tavlama benzetimi ile aynı sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 7 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P5S2T01, P5S2T04, P5S2T09 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P5S2T01 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

P10S2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P10S2T04, P10S2T06 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P10S2T06 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

P20S2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P20S2T05 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P20S2T10 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

P50S2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 7 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P50S2T03, P50S2T06 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. P50S2T09 probleminde tavlama benzetiminden daha kötü sonuç vermiştir. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P50S2T04 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

P1HS2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P1HS2T07 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P1HS2T04, P1HS2T08

problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

Tablo 4-2: P Tipi 5 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları

	% SAPMA				
PROBLEMLER	**FCMAX**	**ORT UI**	**UI**	**GA CPU**	**TB CPU**
P5S5T01	0,79	0,16	0,09	00:00:00.031	00:00:00.188
P5S5T02	0,23	1,04	0,92	00:00:00.047	00:00:00.015
P5S5T03	1,43	1,29	0,06	00:00:00.032	00:00:00.063
P5S5T04	0,68	0,47	0,30	00:00:00.000	00:00:00.016
P5S5T05	0,64	1,53	0,08	00:00:00.047	00:00:00.016
P5S5T06	0,33	0,24	0,05	00:00:00.000	00:00:00.031
P5S5T07	0,00	0,30	0,34	00:00:00.000	00:00:00.032
P5S5T08	0,00	0,57	1,72	00:00:00.031	00:00:00.062
P5S5T09	0,00	0,00	0,02	00:00:00.000	00:00:00.015
P5S5T10	0,00	0,40	0,11	00:00:00.000	00:00:00.031
P10S5T01	3,68	1,31	0,75	00:00:00.594	11:57:16.718
P10S5T02	5,92	3,90	-0,49	00:00:00.578	11:57:37.421
P10S5T03	13,27	2,79	0,53	00:00:09.125	11:57:54.921
P10S5T04	5,11	0,00	0,44	00:00:00.344	11:58:36.984
P10S5T05	10,96	3,12	0,57	00:00:00.984	11:59:00.031
P10S5T06	5,49	4,87	0,87	00:00:00.453	11:59:09.531
P10S5T07	3,71	4,27	0,13	00:00:00.312	11:59:42.406
P10S5T08	3,51	0,00	0,29	00:00:00.125	11:59:57.937
P10S5T09	6,85	2,71	0,76	00:00:00.719	12:00:28.796
P10S5T10	2,54	0,35	0,59	00:00:00.891	11:56:45.875
P20S5T01	5,03	2,68	1,42	00:01:09.968	12:10:10.546
P20S5T02	5,47	7,40	3,27	00:02:28.500	12:11:21.531
P20S5T03	13,47	0,65	0,23	00:01:35.172	12:12:37.109
P20S5T04	11,59	5,59	0,34	00:00:50.125	12:13:19.187
P20S5T05	8,20	1,86	0,52	00:01:41.468	12:14:00.281
P20S5T06	6,45	3,18	0,30	00:00:56.656	12:15:05.203
P20S5T07	10,69	3,63	1,10	00:01:00.687	12:16:17.031
P20S5T08	10,84	0,73	0,29	00:00:27.828	12:16:48.375
P20S5T09	6,48	8,56	1,28	00:00:25.344	12:17:18.703
P20S5T10	3,63	2,60	0,96	00:00:46.234	12:10:42.015
P50S5T01	0,00	0,95	0,37	00:10:49.734	11:17:02.843
P50S5T02	4,17	6,45	0,76	00:07:16.391	11:25:59.453
P50S5T03	5,25	8,32	2,45	00:06:06.281	11:27:19.656
P50S5T04	9,10	2,37	1,57	00:03:33.422	11:30:35.765
P50S5T05	2,76	0,00	1,34	00:04:33.640	11:31:17.187
P50S5T06	4,59	7,12	0,00	00:02:10.453	11:36:36.625
P50S5T07	3,96	8,22	0,47	00:03:20.453	11:39:22.515
P50S5T08	3,80	6,67	1,49	00:06:43.203	11:46:14.921
P50S5T09	3,25	0,00	0,93	00:02:33.203	11:47:26.281
P50S5T10	5,51	1,51	0,04	00:03:41.250	11:20:13.406
P1HS5T01	6,12	2,68	6,85	00:37:21.672	14:39:37.265
P1HS5T02	3,70	12,56	3,59	00:34:22.312	14:50:52.265
P1HS5T03	4,48	-0,05	1,46	00:17:37.743	14:56:20.375
P1HS5T04	0,00	7,85	3,43	00:15:53.062	14:56:53.703
P1HS5T05	4,17	3,71	0,85	00:33:21.722	15:06:46.968
P1HS5T06	7,22	2,54	3,39	00:19:06.531	15:11:32.171
P1HS5T07	3,62	7,59	5,56	00:38:23.297	15:16:18.718
P1HS5T08	4,88	2,73	0,59	00:37:30.328	15:26:46.406
P1HS5T09	7,06	6,24	1,26	01:01:37.515	15:30:51.859
P1HS5T10	5,44	1,18	1,41	00:22:05.922	14:44:48.562

P5S5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 6 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Diğer problemler ise tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P5S5T09 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

P10S5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P10S5T04, P10S5T08 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P10S5T02 probleminde tavlama benzetiminden daha kötü sonuç vermiştir.

P20S5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a, Ort UI'ya ve UI'ya göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

P50S5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P50S5T01 problemi ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P50S5T05, P50S5T09 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P50S5T06 problemi ise tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir.

P1HS5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P1HS5T04 problemi ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P1HS5T03 problemi tavlama benzetiminden daha kötü sonuç vermiştir. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

Tablo 4-3: P Tipi 8 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları

PROBLEMLER	% SAPMA				
	FCMAX	ORT UI	UI	GA CPU	TB CPU
P5S8T01	0,00	0,25	0,00	00:00:00.047	00:00:00.016
P5S8T02	0,19	1,27	0,12	00:00:00.062	00:00:00.016
P5S8T03	0,00	0,00	0,19	00:00:00.093	00:00:00.016
P5S8T04	2,06	0,14	0,24	00:00:00.031	00:00:00.016
P5S8T05	0,00	3,87	0,03	00:00:00.032	00:00:00.031
P5S8T06	3,62	0,00	0,10	00:00:00.078	00:00:00.016
P5S8T07	0,20	0,55	0,11	00:00:00.046	00:00:00.016
P5S8T08	0,78	0,62	0,58	00:00:00.171	00:00:00.047
P5S8T09	0,29	0,47	0,32	00:00:00.062	00:00:01.234
P5S8T10	0,20	0,69	0,20	00:00:00.063	00:00:00.031
P10S8T01	4,68	1,04	0,17	00:00:07.047	17:34:07.000
P10S8T02	4,52	1,34	0,25	00:00:06.953	17:35:59.343
P10S8T03	6,49	0,37	0,60	00:00:09.204	17:37:24.765
P10S8T04	9,84	0,92	0,36	00:00:06.141	17:38:04.500
P10S8T05	3,08	1,83	0,72	00:00:10.203	17:39:11.781
P10S8T06	8,29	1,60	0,45	00:00:14.547	17:40:42.609
P10S8T07	6,69	5,79	0,00	00:00:04.907	17:41:46.843
P10S8T08	5,79	0,63	0,13	00:00:03.203	17:43:08.390
P10S8T09	2,20	0,00	0,02	00:00:10.281	17:43:45.890
P10S8T10	5,12	0,17	0,33	00:00:06.532	17:34:40.296
P20S8T01	13,53	1,38	0,20	00:02:39.937	11:51:38.322
P20S8T02	3,83	0,80	0,47	00:02:38.844	11:53:53.479
P20S8T03	5,19	0,82	0,08	00:00:28.860	11:58:20.260
P20S8T04	11,32	0,00	0,36	00:00:47.437	12:00:00.854
P20S8T05	7,67	1,02	0,24	00:01:19.000	12:02:37.604
P20S8T06	13,07	3,37	0,32	00:02:34.875	12:04:53.291
P20S8T07	9,96	0,52	-0,40	00:01:11.516	12:05:54.947
P20S8T08	6,79	2,32	0,66	00:00:35.609	12:08:05.432
P20S8T09	3,73	4,02	0,36	00:02:57.766	12:11:09.697
P20S8T10	6,29	1,57	0,15	00:01:13.234	11:52:56.854
P50S8T01	6,57	2,30	0,37	00:09:37.938	13:16:04.557
P50S8T02	9,83	2,04	0,82	00:21:14.610	13:31:37.213
P50S8T03	5,59	4,84	0,52	00:13:46.594	13:36:28.822
P50S8T04	7,89	5,18	0,14	00:14:47.468	13:38:33.682
P50S8T05	4,82	2,99	0,99	00:15:00.953	13:44:32.432
P50S8T06	3,67	0,93	0,32	00:07:14.422	13:50:52.463
P50S8T07	10,69	0,00	1,97	00:25:09.328	13:57:24.619
P50S8T08	7,44	4,64	1,10	00:16:09.953	14:04:23.744
P50S8T09	10,33	1,89	0,42	00:13:50.687	14:08:51.354
P50S8T10	14,15	0,82	3,93	00:18:46.141	13:18:31.916
P1HS8T01	4,76	1,61	1,17	00:40:49.953	11:53:50.406
P1HS8T02	0,00	1,54	1,29	01:26:34.407	12:22:57.328
P1HS8T03	4,03	12,33	4,89	00:40:53.297	12:37:03.593
P1HS8T04	4,12	1,88	1,62	00:53:15.187	12:54:36.859
P1HS8T05	5,43	4,88	1,79	00:56:58.688	13:03:35.671
P1HS8T06	11,16	5,88	0,66	01:57:43.656	13:19:54.921
P1HS8T07	9,23	0,65	1,36	00:56:29.125	13:36:42.718
P1HS8T08	8,74	7,75	0,74	00:35:53.500	13:47:05.609
P1HS8T09	4,04	0,89	1,46	00:42:28.469	13:48:44.796
P1HS8T10	5,15	3,16	3,34	00:36:51.625	12:03:06.578

P5S8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 7 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P5S8T01, P5S8T03, P5S8T05 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P5S8T03, P5S8T06 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P5S8T01 problemi ise tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir.

P10S8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P10S8T09 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P10S8T07 problemi ise tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir.

P20S8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P20S8T04 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P20S8T07 probleminde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir.

P50S8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P50S8T07 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

P1HS8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. P1HS8T02 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

Tablo 4-4: Q Tipi 2 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları

PROBLEMLER	% SAPMA			GA CPU	TB CPU
	FCMAX	ORT UI	UI		
Q5S2T01	0,00	0,00	0,12	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T02	0,00	0,00	0,12	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T03	0,00	0,00	0,07	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T04	0,00	0,00	0,00	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T05	0,00	0,00	0,26	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T06	0,00	0,00	0,06	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T07	0,00	0,00	0,00	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T08	0,00	0,00	0,58	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T09	0,00	0,00	0,83	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S2T10	0,00	0,00	0,20	00:00:00.000	00:00:00.000
Q10S2T01	0,30	2,82	0,34	00:00:00.062	00:00:00.015
Q10S2T02	1,44	0,00	0,31	00:00:00.015	00:00:00.016
Q10S2T03	0,00	0,98	0,59	00:00:00.000	00:00:00.032
Q10S2T04	2,39	3,05	0,90	00:00:00.000	00:00:00.031
Q10S2T05	0,00	0,00	1,02	00:00:00.000	00:00:00.078
Q10S2T06	1,25	0,85	0,53	00:00:00.015	00:00:00.015
Q10S2T07	0,00	0,71	0,73	00:00:00.000	00:00:00.000
Q10S2T08	0,58	0,46	0,22	00:00:00.000	00:00:00.141
Q10S2T09	0,00	1,65	0,55	00:00:00.000	00:00:00.016
Q10S2T10	1,46	0,45	0,10	00:00:00.000	00:00:00.016
Q20S2T01	15,77	0,80	2,81	00:00:07.672	08:31:30.140
Q20S2T02	8,67	0,51	1,74	00:00:07.875	08:31:42.015
Q20S2T03	13,60	0,00	2,78	00:00:07.031	08:31:49.203
Q20S2T04	13,60	1,49	1,01	00:00:08.609	08:31:57.890
Q20S2T05	10,05	1,12	1,94	00:00:06.984	08:32:08.312
Q20S2T06	13,90	8,47	0,00	00:00:04.734	08:32:09.859
Q20S2T07	10,57	0,33	2,33	00:00:06.469	08:32:20.281
Q20S2T08	9,56	2,37	1,31	00:00:09.735	08:32:25.875
Q20S2T09	11,19	1,46	2,09	00:00:09.328	08:32:33.687
Q20S2T10	14,13	2,30	3,05	00:00:06.812	08:31:40.265
Q50S2T01	0,00	5,75	3,96	00:00:17.563	11:28:13.343
Q50S2T02	8,76	-0,67	1,47	00:00:12.844	11:29:11.781
Q50S2T03	10,12	7,35	5,61	00:00:07.735	11:29:41.953
Q50S2T04	7,75	6,26	1,30	00:00:18.203	11:29:59.843
Q50S2T05	8,16	1,69	1,78	00:00:15.110	11:30:33.734
Q50S2T06	5,63	0,57	0,00	00:00:12.329	11:31:10.468
Q50S2T07	10,80	17,52	2,40	00:00:09.171	11:31:28.000
Q50S2T08	8,19	9,06	0,86	00:00:18.156	11:32:12.437
Q50S2T09	8,53	10,19	1,49	00:00:15.719	11:32:35.781
Q50S2T10	7,00	0,09	1,72	00:00:14.547	11:28:48.781
Q1HS2T01	7,66	11,15	5,35	00:04:03.375	15:17:49.312
Q1HS2T02	6,56	4,71	4,78	00:04:05.031	00:00:03.500
Q1HS2T03	6,99	0,00	11,16	00:03:17.422	00:00:04.062
Q1HS2T04	4,98	1,81	4,50	00:01:46.890	15:23:24.640
Q1HS2T05	7,21	7,03	6,86	00:04:48.125	15:24:58.406
Q1HS2T06	6,21	0,00	7,60	00:01:44.391	15:27:47.234
Q1HS2T07	7,24	9,78	1,92	00:05:33.937	15:29:49.921
Q1HS2T08	4,92	9,94	0,00	00:04:11.797	15:31:59.234
Q1HS2T09	6,99	7,13	2,21	00:03:17.844	15:33:03.796
Q1HS2T10	7,79	0,00	3,59	00:03:17.671	00:00:02.516

Q5S2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde tavlama benzetimi ile aynı sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre problemlerin tümünde tavlama benzetimi ile aynı sonuç bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 8 tanesinde tümünde tavlama benzetimi ile aynı sonuç bulunmuştur. Q5S2T04, Q5S2T07 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

Q10S2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 6 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q10S2T03, Q10S2T05, Q10S2T07, Q10S2T09 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. Ort UI'ya göre problemlerin 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q10S2T02, Q10S2T05 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

Q20S2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q20S2T03 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesi daha iyi sonuç bulunmuştur. Q20S2T06 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

Q50S2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q50S2T01 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur. Ort UI'ya göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q50S2T02 probleminde tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesi daha iyi sonuç bulunmuştur. Q50S2T06 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

Q1HS2 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre problemlerin 7 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q1HS2T03, Q1HS2T06, Q1HS2T10 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur. UI'ya göre

BÇPEAT problemlerinden 9 tanesi daha iyi sonuç bulunmuştur. Q1HS2T08 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

Tablo 4-5: Q Tipi 5 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları

PROBLEMLER	% SAPMA			GA CPU	TB CPU
	FCMAX	ORT UI	UI		
Q5S5T01	0,00	0,00	0,05	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T02	0,00	0,00	0,24	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T03	0,00	0,00	0,26	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T04	0,00	0,00	0,13	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T05	0,00	0,00	0,08	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T06	0,00	0,00	0,18	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T07	0,00	0,00	0,20	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T08	0,00	0,00	0,00	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T09	0,00	0,00	0,15	00:00:00.000	00:00:00.000
Q5S5T10	0,00	0,00	0,15	00:00:00.000	00:00:00.000
Q10S5T01	0,00	5,62	0,08	00:00:00.000	00:00:00.015
Q10S5T02	0,00	0,67	0,27	00:00:00.000	00:00:00.000
Q10S5T03	0,00	3,25	0,15	00:00:00.000	00:00:00.015
Q10S5T04	0,00	1,51	0,19	00:00:00.000	00:00:00.031
Q10S5T05	0,00	0,76	0,12	00:00:00.000	00:00:00.015
Q10S5T06	1,46	2,75	0,22	00:00:00.000	00:00:00.015
Q10S5T07	0,00	1,52	0,20	00:00:00.000	00:00:00.031
Q10S5T08	0,50	3,33	0,18	00:00:00.000	00:00:00.031
Q10S5T09	0,00	3,03	0,35	00:00:00.000	00:00:00.000
Q10S5T10	4,65	4,09	0,31	00:00:00.031	00:00:00.016
Q20S5T01	6,90	2,77	0,60	00:00:03.578	09:31:06.140
Q20S5T02	2,80	1,39	0,20	00:00:01.625	09:31:36.984
Q20S5T03	10,33	11,09	0,28	00:00:12.563	09:31:39.750
Q20S5T04	8,83	2,02	0,08	00:00:07.703	09:32:08.671
Q20S5T05	2,29	1,30	0,27	00:00:00.594	09:32:20.093
Q20S5T06	7,21	0,10	0,49	00:00:09.468	09:32:39.515
Q20S5T07	3,23	0,93	0,74	00:00:09.266	09:32:44.312
Q20S5T08	4,10	2,03	0,95	00:00:03.515	09:33:12.796
Q20S5T09	1,16	3,19	0,61	00:00:00.516	09:33:17.687
Q20S5T10	3,22	0,84	0,05	00:00:05.360	09:31:21.375
Q50S5T01	9,98	0,00	0,35	00:32:31.032	11:16:20.828
Q50S5T02	10,09	2,21	0,79	00:31:37.859	11:18:33.406
Q50S5T03	12,99	1,19	0,83	00:32:40.344	11:19:37.609
Q50S5T04	9,36	11,12	1,28	00:27:41.625	11:21:23.812
Q50S5T05	0,00	5,26	0,67	00:29:19.063	11:21:43.203
Q50S5T06	7,78	3,16	1,53	00:34:03.703	11:24:00.671
Q50S5T07	10,39	2,33	0,77	00:33:55.782	11:25:54.968
Q50S5T08	14,04	0,00	0,69	00:30:16.781	11:27:04.656
Q50S5T09	9,50	4,61	1,27	00:22:36.828	11:28:27.609
Q50S5T10	12,34	1,44	0,47	00:25:27.703	11:18:11.687
Q1HS5T01	10,19	7,42	0,76	00:06:50.500	12:06:19.062
Q1HS5T02	9,93	7,13	1,81	00:06:33.906	12:11:30.375
Q1HS5T03	8,76	0,00	1,56	00:05:34.594	12:15:34.437
Q1HS5T04	9,77	2,37	2,21	00:07:30.328	12:19:09.250
Q1HS5T05	7,65	5,71	0,61	00:05:46.407	12:21:28.578
Q1HS5T06	8,99	6,28	2,95	00:07:47.047	12:23:42.046
Q1HS5T07	7,95	1,73	2,98	00:06:26.781	12:27:33.921
Q1HS5T08	9,74	4,87	1,14	00:06:49.718	12:31:41.406
Q1HS5T09	9,04	2,78	1,95	00:03:22.406	12:32:57.796
Q1HS5T10	9,00	4,39	12,17	00:08:12.937	12:07:39.703

Q5S5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümü tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir. Ort UI'ya göre problemlerin tümü tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q5S5T08 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

Q10S5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerinin 3 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Diğer problemler ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerinin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

Q20S5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerin daha iyi sonuç bulunmuştur.

Q50S5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q50S5T05 problemi ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerin 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q50S5T01, Q50S5T08 problemleri ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

Q1HS5 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q50S5T03 problemi ise tavlama benzetimi ile aynı değerler bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

Tablo 4-6: Q Tipi 8 Aşamalı BÇPEAT Problem Sonuçları

PROBLEMLER	% SAPMA			GA CPU	TB CPU
	FCMAX	ORT UI	UI		
Q5S8T01	-0,19	-9,61	0,05	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T02	0,26	1,31	0,15	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T03	-0,21	0,23	0,04	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T04	0,11	0,35	0,00	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T05	-0,29	3,05	0,17	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T06	-0,48	0,20	0,04	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T07	0,32	5,21	0,00	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T08	-0,70	0,40	0,08	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T09	-0,09	1,53	0,04	00:00:00.015	00:00:00.000
Q5S8T10	0,80	2,03	0,03	00:00:00.015	00:00:00.000
Q10S8T01	0,29	1,09	0,04	00:00:00.031	00:00:00.078
Q10S8T02	0,61	1,96	0,20	00:00:00.015	00:00:00.031
Q10S8T03	0,09	8,28	0,09	00:00:00.016	00:00:00.000
Q10S8T04	1,10	0,83	0,06	00:00:00.015	00:00:00.015
Q10S8T05	-0,26	1,87	0,13	00:00:00.031	00:00:00.000
Q10S8T06	-0,48	0,70	0,05	00:00:00.016	00:00:00.016
Q10S8T07	-0,57	-1,21	0,18	00:00:00.015	00:00:00.000
Q10S8T08	0,39	-5,82	0,09	00:00:00.031	00:00:00.110
Q10S8T09	-0,20	0,23	0,00	00:00:00.031	00:00:00.047
Q10S8T10	0,00	1,46	0,03	00:00:00.031	00:00:00.000
Q20S8T01	-0,08	1,60	0,11	00:00:00.344	12:54:44.359
Q20S8T02	4,78	0,16	0,11	00:00:46.610	12:55:43.781
Q20S8T03	3,07	2,52	0,26	00:01:30.172	12:55:54.671
Q20S8T04	6,88	1,13	0,36	00:01:10.828	12:56:21.937
Q20S8T05	6,02	3,84	0,14	00:00:15.750	12:56:53.656
Q20S8T06	0,32	0,61	0,11	00:00:00.359	12:57:15.890
Q20S8T07	2,83	3,64	0,00	00:00:06.375	12:57:37.234
Q20S8T08	6,00	0,44	0,11	00:01:01.672	12:58:19.687
Q20S8T09	1,50	0,60	0,34	00:00:16.250	00:00:01.391
Q20S8T10	8,37	0,17	0,06	00:01:23.359	12:55:06.781
Q50S8T01	7,48	4,60	0,71	00:03:53.234	15:29:05.359
Q50S8T02	10,34	3,45	0,30	00:04:25.594	15:30:22.843
Q50S8T03	8,78	1,27	0,41	00:03:14.750	15:32:05.078
Q50S8T04	12,67	3,87	0,32	00:03:34.812	15:35:43.390
Q50S8T05	10,10	0,87	0,53	00:02:57.844	15:36:58.906
Q50S8T06	9,70	2,02	0,52	00:04:19.203	15:38:53.078
Q50S8T07	10,94	2,09	0,31	00:02:10.453	15:39:45.781
Q50S8T08	11,71	0,92	0,27	00:04:18.203	15:42:15.625
Q50S8T09	11,50	6,87	0,64	00:03:49.078	15:44:50.718
Q50S8T10	10,27	0,71	0,35	00:04:41.625	15:29:46.125
Q1HS8T01	9,58	2,16	0,03	00:20:41.672	16:35:19.656
Q1HS8T02	9,45	4,80	1,48	00:26:34.672	16:43:14.031
Q1HS8T03	9,18	0,00	4,19	00:23:41.531	16:49:56.515
Q1HS8T04	12,57	2,61	1,00	00:24:47.953	16:53:47.984
Q1HS8T05	8,45	2,93	0,41	00:21:20.890	16:56:19.718
Q1HS8T06	9,11	2,20	0,92	00:19:50.266	17:03:45.625
Q1HS8T07	9,21	1,64	1,36	00:16:49.563	17:07:24.375
Q1HS8T08	9,55	3,84	0,00	00:15:24.985	17:13:43.406
Q1HS8T09	8,54	2,41	0,96	00:25:09.313	17:14:39.453
Q1HS8T10	8,07	4,23	0,84	00:14:35.328	16:41:25.984

Q5S8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 4 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Diğer problemlerde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuçlar vermiştir. Ort UI'ya göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q5S8T01 probleminde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q5S8T04, Q5S8T07 problemlerinde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

Q10S8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 6 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Diğer problemlerde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuçlar vermiştir. Ort UI'ya göre problemlerin 8 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q10S8T07, Q10S8T08 problemlerinde tavlama benzetimi daha iyi sonuçlar vermiştir. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q10S8T09 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

Q20S8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q10S8T01 probleminde tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir. Ort UI'ya göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur Q20S8T07 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

Q50S8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. Ort UI'ya göre BÇPEAT problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur.

Q1HS8 tipi BÇPEAT problemlerinden amaç fonksiyonlarından FCmax'a göre problemlerinin tümünde daha iyi sonuç bulunmuştur Ort UI'ya göre problemlerin 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q1HS8T03 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur. UI'ya göre BÇPEAT problemlerinden 9 tanesinde daha iyi sonuç bulunmuştur. Q1HS8T08 probleminde ise tavlama benzetimi ile aynı değer bulunmuştur.

5. SONUÇ

Esnek akış tipi çok prosesli çizelgeleme NP-zor olarak bilinen problem sınıfına girmekte ve optimum çözümü çok zor bulunan veya sadece gerçek çözümü yaklaşık çözümleri olan problem türüdür. Bu tezde; genetik algoritma ve tavlama benzetimi ile bulanık çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma, bulanık çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinde genetik algoritmalar ve tavlama benzetimi çözümleri karşılaştırılmıştır. Literatüre uygun olarak toplam 300 adet Oğuz problemleri bulanıklaştırılmıştır. Her iki algoritma çözümleri için Delphi programlama dilinde bilgisayar yazılımı yapılmıştır. Genetik algoritma çözümlerinde nesil sayısı 250, tekrar sayısı 25 alınmıştır. Tavlama benzetimi çözümlerinde başlangıç sıcaklığı 1000, nesil sayısı 250, çalıştırma sayısı 25 alınmıştır.

P tipi 2 aşamalı kıyaslama problemleri FC_{max} göz önü alındığında 50 problemden 39 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan 11 problemde tavlama benzetimiyle aynı sonuçları vermiştir. Ortalama Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 39 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. 10 tanesi tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiş, bir problemde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir. Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 46 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan 4 problem ise tavlama benzetimiyle aynı sonucu vermiştir.

P tipi 5 aşamalı kıyaslama problemleri FC_{max} göz önü alındığında 50 problemden 44 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan 6 problemde tavlama benzetimiyle aynı sonuçları vermiştir. Ortalama Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 44 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. 6 tanesi tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiş, bir problemde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir. Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 48 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan problemlerin 1 tanesinde tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiş, diğerinde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir.

P tipi 8 aşamalı kıyaslama problemleri FC_{max} göz önü alındığında 50 problemden 46 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan 4 problemde tavlama benzetimiyle aynı sonuçları vermiştir. Ortalama Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 45 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. 5 tanesi tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir. Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 47 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan problemlerin 2 tanesinde tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiş, 1 tanesinde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir.

Q tipi 2 aşamalı kıyaslama problemleri FC_{max} göz önü alındığında 50 problemden 36 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan 14 problemde tavlama benzetimiyle aynı sonuçları vermiştir. Ortalama Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 33 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. 17 tanesi tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir. 1 tanesinde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir. Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 35 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan problemlerin 5 tanesi tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir.

Q tipi 5 aşamalı kıyaslama problemleri FC_{max} göz önü alındığında 50 problemden 32 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan 18 problemde tavlama benzetimiyle aynı sonuçları vermiştir. Ortalama Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 37 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. 13 tanesi tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir. Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 49 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan problem ise tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir.

Q tipi 8 aşamalı kıyaslama problemleri FC_{max} göz önü alındığında 50 problemden 39 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan problemlerin 11 tanesinde tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir. 1 tanesinde ise tavlama benzetimiyle aynı sonucu vermiştir. Ortalama Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 46 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. 1 problem tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiş, 3 problemde ise tavlama benzetimi daha iyi sonuç vermiştir. Uyumlaştırma İndeksi göz önüne alındığında 50 problemden 45 tanesi daha iyi sonuç vermiştir. Kalan 5 problemde ise tavlama benzetimi ile aynı sonucu vermiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinin diğer meta sezgisel yöntemlerle çözülerek optimum/optimuma yakın sonuçlar vermesi amaçlanabilir.

KAYNAKLAR

1. AHMAD M.İ.,2004, "Gömülü Sistemlerle Bulanık Mantık", Bileşim Yayınevi
2. AKYOL D., 2004, "Application of neural networks to heuristic scheduling algorithms", Computer&Industrial Engineering 46, 679-696
3. ALLET, S., 2003, "Handling flexibility in a ''generalised job shop'' with a fuzzy approach" European Journal of Operational Research 147, 312-333
4. ANGLANI, A., GRIECO, A., GUERRİERO, E., MUSMANNO, R., 2005, "Robust scheduling of parallel machines with sequence-dependent set-up costs", European Journal of Operational Research 161, 704-720
5. ANONIM, 2005. www.yapay-zeka.org. (15.09.2005)
6. BRAR, Y., DHILLON, S., KOTHARI, P.,2005, "Fuzzy satisfying multi-objective generation scheduling based on simplex weightage pattern search" Electrical Power and Energy Systems, 27, 518-527
7. CHANAS, S., KASPERSKI, A., 2001, "Minimizing maximum lateness in a single machine scheduling problem with fuzzy processing times and fuzzy due dates" Engineering Applications of Artificial Intelligence 14, 377-386
8. CHENG, R., GEN, M., TSUJIMURAY, Y., 1999, "A Tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms, Part II: Hybrid Genetic Search Strategies", *Computers and Industrial Engineering,* 36, 343-364
9. CERNY, V., 1985. "Thermodynamical Approach to The Traveling Salesman Problem: An Efficient Simulation Algorithm". Journal of Optimization Theory and Applications, 45, 41-51
10. DEMİRER İ., 2001, "Bulanık Doğrusal Programlama", Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yıliçi Projesi
11. DÖYEN, A., 2004, "Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Yapay Bağışıklık Sistemleri İle Çözümü ve Parametre Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
12. ELMAS Ç., 2003, "Bulanık Mantık Denetleyiciler", Seçkin Yayınevi
13. ENGİN, O., 2001, "Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Artırılmasında Parametre Optimizasyonu", *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
14. ENGİN, O., FIĞLALI, A., 2002a, "Genetik Algoritmalarla Akış Tipi Çizelgelemede Üreme Yöntemi Optimizasyonu", *İTÜ Dergisi*, s. 1-6
15. ENGİN, O., FIĞLALI, A., 2002b, "Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma İle Çözüm Performansının Artırılmasında Deney Tasarımı Uygulaması", *Doğuş Ünv. Dergisi*, 6, 27-35
16. ETANER, Ş.,1993 "Bulanık Kontrol", Otomasyon Dergisi, Şubat: s.107-112
17. GEN, M., CHENG, R., 2000, "Genetic Algorithms and Engineering Optimization", John Wiley&Sons, Inc., USA

18. GOLDBERG, D.E., 1989, “Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning”, Addison Wesley Publishing Company, USA

19. GONZALES, I., VELA, C., PUENTE, J., “An Evolutinary Approach to Designing and Solving Fuzzy Job Shop Problems”, Artificial Intelligence and Knowledge Engineering Applications, 3562, 74-83

20. GUPTA, J.N.D., 1988. “Two-stage hybrid flowshop scheduling problem”, Operational Research Society, 39, 359-364

21. GÜDEN, H., VAKVAK, B., ÖZKAN, E., ALTIPARMAK, F., DENGİZ,B., 2005. “Genel Amaçlı Arama Motoru Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması”, Gazi Üni. Müh-Mim. Fak. Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:16 Sayı:1 Sayfa (2-15)

22. GÜNER, E., ALTIPARMAK, F.,2003. “İki Ölçütlü Tek makinelı Çizelgeleme Problemi İçin Sezgisel Bir Yaklaşım” Gazi Üni. Müh-Mim.Fak. Der. Cilt-18, No:3, Sayfa (27-42)

23. HAN S., ISHII H., FUJII S., 1994, “One machine scheduling problem with fuzzy duedates”, European Journal of Operational Research 79 1–12.

24. HAPKE, M., SLOWINSKI, R., 2000, “Fuzzy set approach to multiobjective and multi-mode project scheduling under uncertainty” In: Slowinski, R., Hapke, M. (Eds.), Scheduling Under Fuzziness. Physica-Verlag, Heidelberg, pp. 197–221

25. HERROELEN, W., LEUS, R., 2005, “Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials” European Journal of Operational Research 165, 289-306

26. HOLLAND, J.H., 1975, “Adaptation in Natural and Artificial Systems**”**, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

27. HOLTHAUS, O., ZIEGLER, H., 1997” Improving Job Shop Performance by Coordinating Dispatching Rules,” International Journal of Production Research Vol:35 No:2, ss.539-549

28. ISHIBUCHI H., YAMAMOTO N., MURATA T., TANAKA H., 1994, “Genetic algorithms and neighborhood search algorithms for fuzzy flow shop scheduling problems”, Fuzzy Sets and Systems 67 81–100.

29. JANG, J.S.R., 1997, “Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence”, Chapter 7:Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, s. 173-196, USA

30. KASPERSKI, A., 2005, “A possibilistic approach to sequencing problems with fuzzy parameters” Fuzzy Sets and Systems 77-86

31. KAYNAK, O. ARMAGAN G., 1992, “BULANIK MANTIK” Otomasyon

32. KIM, K.,YUN, Y., YOON, J., 2005, “Hybrid genetic algorithm with adaptive abilities for resource-constrained multiple project scheduling” Computers in Industry 56, 143-160

33. KIRKPATRICK, S., GELATT, Jr., C.D., VECCHI, M. P., 1983. “Optimization by Simulated Annealing1, Science, 220, 671-680

34. KLIR, G., CLAIR, U., YUAN, B., 1997, ”Fuzzy Set Theory Foundations and Applications”, Prentice Hall

35. KOSKO, B., 1993, “Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logte”, Southem

Califomia University 58-62

36. KURODA, M., WANG, Z., 1996, "Fuzzy job shop scheduling", International Journal of Production Economics 45–51.
37. KURT, M., SEMETAY, C., 2001, "Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları", *Mühendis ve Makine*, sayı 501
38. LAWRENCE, D.,1990, "Handbook of Genetic Algorithms**"**, Addison Wesley
39. LEE, C., JIANG, C.C., HSIEH, T.C., 2005, "A genetic fuzzy agent using ontology model for meeting scheduling system" Information Sciences 130, 670-682
40. LI, D., Wu, C., TSAI, T., CHANG F.M., 2004, "Using mega-fuzzification and data trend estimation in small data set learning for early FMS scheduling knowledge" Computers& Operations Research
41. LIEPPINS, H., 1989, "Genetic Algorithms Foundation and Application", *Annals and Operation Research,* 120, 518-536
42. LITOIU, M., TADEI, R.,2001, "Fuzzy schedulingwith application to real-time systems" Fuzzy Sets and Systems 121, 523-535
43. MAJOZI , T., ZHU (FRANK), X.X., 2005, "A combined fuzzy set theory and MILP approach in integration of planning and scheduling of batch plants—Personel evaluation and allocation" Computers and Chemical Engineering 29- 2029-2047
44. METROPOLIS, N., ROSENBLUTH, A., ROSENBLUTH, M., TELLER, A., TELLER, E., 1953. "Equation of State Caculations by Computing Machines", Journal of Chemical Physics, 21, 1087-1092
45. MITCHELL, M., 1996, "An Introduction To Genetic Algorithms", The MIT Press, ISBN 0-262-13316-4 (HB), 0-262-63185-7 (PB)
46. MONSFIELD, R. A., 1990, **"**Genetic Algorithms", University of College of Cardiff
47. MURATA, T., ISHIBUCHI, H., TANAKA, H., 1996a, "Genetic Algorithms for Flow Shop Scheduling Problems*", Computers and Industrial Engineering*, vol.30, No.4, pp 1061-1071
48. MURATA, T., ISHIBUCHI, H., TANAKA, H., 1996b, "Multi-Objective Genetic Algorithms and Its Applications to Flow Shop Scheduling", *Computers and Industrial Engineering*, vol 30, No 4, pp 957-968
49. OĞUZ, C.,ERCAN.,2005 "Kıyaslama Problemleri", http://home.ku.edu.tr/~coguz/ceyda_oguz.htm
50. ÖZKAN, O., 1997, "Sıcaklı ve Nemin Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü", Selçuk Üniversitesi Elk-Elt. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
51. PENG, J., LIU, B., 2004, "Parallel machine scheduling models with fuzzy processing times" Information Sciences 166, 49-66
52. PHAM, D.T., KARABOGA, D., 2000, "Intelligent Optimisation Techniques, Genetic Algorithms, Tabu Search, Simulated Annealing and Neural Networks, Advanced Manufacturing Series", Springer-Verlag, London
53. PINEDO, M., 1995. Scheduling: Theory, Algorithms and Systems. Prentice Hall, New Jersey

54. SAĞIROĞLU, Ş., BEŞDOK, E., ERLER, M., 2003, "Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları", Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic. Ltd. Şti., ISBN: 975-95948-5-4, Kayseri

55. TEMİZ, İ., EROL, S., 2004, "$n/m/F/Q_1C_{\max}+Q_2T_{\max}$ Problemi İçin Bulanık Genetik Algoritma", Yöneylem Araştırması/ Endüstri Mühendisliği-XXIV Ulusal Kongresi, 15-18 Haziran Gaziantep-Adana

56. YAO, J., LIN, F.T., 2002 "Constructing a fuzzy flow-shop sequencing model based on statistical data" International Journal of Approximate Reasoning 29, 215-234

57. YUEN, D.W., WANG, C., WANG, D., 2002, "The single machine ready time scheduling problem with fuzzy processing times" Fuzzy Sets and Systems 127, 117-129

58. ZADEH, L.A.,1984,"Making computers think like people," IEEE. Spectrum, 59, pp. 26

59. WANG, J.R., 1999. "A fuzzy set approach to activity scheduling for product development". Journal of the Operational Research Society 50, 1217–1228

60. WANG, J., 2002. "A fuzzy project scheduling approach to minimize schedule risk for product development",. Fuzzy Sets and Systems 127 (2), 99–116

61. WANG, J., 2004. "A fuzzy robust scheduling approach for product development projects", European Journal of Operational Research 152, 180–194

EKLER

EK 1-1: 5x2 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUT. ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,1	Sıraya Dayalı	0,1	Araya Sokma	0,1	507	1	00:00:00.000
2	Rulet Çemberi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1292	2	00:00:00.000
3	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	507	1	00:00:00.000
4	Tournament	0,3	Pozisyona Dayalı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	507	1	00:00:00.000
5	Tournament	0,5	Pozisyona Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,1	507	1	00:00:00.000
6	Tournament	0,2	Sıraya Dayalı	0,2	Ters Mutasyon	0,1	507	1	00:00:00.000
7	Tournament	0,1	Kısmi Planlı	0,2	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	507	1	00:00:00.000
8	Tournament	0,8	Dairesel	0,3	Ters Mutasyon	0,1	507	1	00:00:00.000
9	Tournament	0,7	Dairesel	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	507	1	00:00:00.000
10	Tournament	0,7	Sıralı	0,3	Komşu İki İşi Değ.	0,1	507	1	00:00:00.000
11	Tournament	0,3	Sıralı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	507	1	00:00:00.000
12	Rulet Çemberi	0,4	Kısmi Planlı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	876	1	00:00:00.000
13	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	507	1	00:00:00.000
14	Tournament	0,4	Sıraya Dayalı	0,2	Komşu İki İşi Değ.	0,2	507	1	00:00:00.000
15	Tournament	0,5	Kısmi Planlı	0,3	Komşu İki İşi Değ.	0,2	507	1	00:00:00.000
16	Tournament	0,6	Kısmi Planlı	0,1	Araya Sokma	0,3	507	1	00:00:00.000
17	Tournament	0,7	Dairesel	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	1100	1	00:00:00.000
18	Tournament	0,8	Doğrusal Sıralı	0,1	Ters Mutasyon	0,3	507	1	00:00:00.000
19	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	507	1	00:00:00.000
20	Tournament	0,5	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	507	1	00:00:00.000
21	Tournament	0,6	Sıralı	0,1	Araya Sokma	0,4	507	1	00:00:00.000
22	Rulet Çemberi	0,3	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	507	1	00:00:00.000
23	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,1	Komşu İki İşi Değ.	0,4	507	1	00:00:00.000
24	Tournament	0,1	Pozisyona Dayalı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	507	1	00:00:00.000
25	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,3	Araya Sokma	0,4	507	1	00:00:00.000
26	Tournament	0,4	Kısmi Planlı	0,2	Ters Mutasyon	0,5	876	1	00:00:00.000
27	Tournament	0,3	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	1100	1	00:00:00.000
28	Tournament	0,4	Dairesel	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	1292	1	00:00:00.000
29	Tournament	0,5	Sıralı	0,2	Komşu İki İşi Değ.	0,6	876	1	00:00:00.000
30	Tournament	0,6	Sıralı	0,2	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,7	876	1	00:00:00.000

EK 1-2: 10x2 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORANI	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORANI	MUTASYON	MUT. ORANI	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,4	Komşu İki İşi Değiştirme	0,2	148	1	00:00:00.031
2	Tournament	0,2	Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	148	6	00:00:00.062
3	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,5	148	2	00:00:00.062
4	Tournament	0,5	Sıralı	0,8	Komşu İki İşi Değiştirme	0,1	148	3	00:00:00.078
5	Tournament	0,3	Dairesel	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	148	11	00:00:00.125
6	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,7	148	5	00:00:00.125
7	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,1	Araya Sokma	0,6	148	11	00:00:00.125
8	Tournament	0,6	Sıralı	0,1	Araya Sokma	0,2	148	25	00:00:00.140
9	Rulet Çemberi	0,1	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,5	148	13	00:00:00.140
10	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,6	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	148	5	00:00:00.141
11	Tournament	0,4	Sıraya Dayalı	0,8	Araya Sokma	0,5	1139	6	00:00:00.156
12	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,8	Araya Sokma	0,5	148	5	00:00:00.156
13	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,5	Ters Mutasyon	0,2	148	9	00:00:00.172
14	Tournament	0,3	Sıralı	0,2	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,8	148	12	00:00:00.172
15	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	148	6	00:00:00.187
16	Tournament	0,5	Doğrusal Sıralı	0,2	Komşu İki İşi Değiştirme	0,6	148	14	00:00:00.187
17	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,1	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	148	59	00:00:00.188
18	Rulet Çemberi	0,1	Sıralı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	148	21	00:00:00.188
19	Rulet Çemberi	0,2	Kısmi Planlı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	148	12	00:00:00.203
20	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	148	5	00:00:00.203
21	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,7	148	6	00:00:00.203
22	Tournament	0,4	Sıraya Dayalı	0,6	Ters Mutasyon	0,3	148	9	00:00:00.203
23	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,8	148	5	00:00:00.203
24	Tournament	0,3	Sıralı	0,1	Araya Sokma	0,3	148	36	00:00:00.218
25	Tournament	0,6	Sıralı	0,2	Ters Mutasyon	0,1	148	28	00:00:00.219
26	Tournament	0,8	Sıralı	0,6	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	148	10	00:00:00.219
27	Tournament	0,7	Doğrusal Sıralı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	148	8	00:00:00.234
28	Tournament	0,9	Kısmi Planlı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	148	13	00:00:00.234
29	Rulet Çemberi	0,3	Dairesel	0,3	Araya Sokma	0,7	148	14	00:00:00.234
30	Tournament	0,4	Dairesel	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	148	10	00:00:00.235

EK 1-3: 20x2 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUT. ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Tournament	0,1	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,7	2235	68	00:00:01.735
2	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,6	2543	226	00:00:04.313
3	Rulet Çemberi	0,4	Dairesel	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,8	1427	159	00:00:01.875
4	Rulet Çemberi	0,3	Kısmi Planlı	0,8	Araya Sokma	0,5	2637	73	00:00:02.313
5	Tournament	0,6	Sıralı	0,8	Araya Sokma	0,7	1968	244	00:00:08.547
6	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,7	2010	76	00:00:01.594
7	Tournament	0,4	Sıralı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	2378	124	00:00:03.125
8	Rulet Çemberi	0,2	Doğrusal Sıralı	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	1928	81	00:00:00.875
9	Rulet Çemberi	0,1	Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,2	1926	105	00:00:01.531
10	Rulet Çemberi	0,3	Sıraya Dayalı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	1965	214	00:00:02.500
11	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	1947	139	00:00:02.813
12	Tournament	0,8	Sıraya Dayalı	0,2	Ters Mutasyon	0,6	1514	240	00:00:02.891
13	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,3	Ters Mutasyon	0,7	3129	210	00:00:03.765
14	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	1597	165	00:00:04.562
15	Tournament	0,3	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	1392	220	00:00:05.281
16	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,8	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,8	1298	189	00:00:06.610
17	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,1	Komşu İki İşi Değ.	0,4	2043	140	00:00:00.984
18	Tournament	0,5	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	2650	135	00:00:01.672
19	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,6	Araya Sokma	0,7	1962	73	00:00:02.047
20	Rulet Çemberi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,8	2509	218	00:00:04.875
21	Tournament	0,4	Kısmi Planlı	0,6	Araya Sokma	0,8	2301	171	00:00:05.531
22	Tournament	0,2	Doğrusal Sıralı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	1525	15	00:00:00.422
23	Rulet Çemberi	0,8	Sıralı	0,1	Ters Mutasyon	0,1	1766	137	00:00:00.454
24	Tournament	0,6	Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,8	1377	31	00:00:00.625
25	Tournament	0,7	Sıralı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	2473	166	00:00:00.890
26	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,2	2051	150	00:00:01.000
27	Tournament	0,8	Doğrusal Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,8	1363	35	00:00:01.234
28	Rulet Çemberi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	2602	128	00:00:02.391
29	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,7	Ters Mutasyon	0,7	2646	84	00:00:02.672
30	Tournament	0,4	Sıraya Dayalı	0,5	Komşu İki İşi Değ.	0,6	2286	134	00:00:03.000

EK 1-4: 50x2 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,4	Kısmi Planlı	0,3	Araya Sokma	0,6	96	217	00:00:29.922
2	Rulet Çemberi	0,2	Doğrusal Sıralı	0,3	Komşu İki İşi Değ.	0,8	96	146	00:00:18.906
3	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,6	96	128	00:00:23.625
4	Rulet Çemberi	0,3	Sıraya Dayalı	0,5	Araya Sokma	0,8	226	140	00:00:28.687
5	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,4	96	206	00:00:30.610
6	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,3	Komşu İki İşi Değ.	0,8	96	216	00:00:42.969
7	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değ.	0,6	96	216	00:00:24.750
8	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,4	Keyfi Üç İşi Değ.	0,5	96	67	00:00:08.172
9	Rulet Çemberi	0,3	Dairesel	0,3	Araya Sokma	0,5	140	133	00:00:12.813
10	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi Üç İşi Değ.	0,5	96	189	00:00:19.750
11	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değ.	0,6	96	109	00:00:19.875
12	Rulet Çemberi	0,4	Pozisyona Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,6	96	220	00:00:19.953
13	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,2	Ters Mutasyon	0,5	96	229	00:00:24.657
14	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,7	Keyfi İki İşi Değ.	0,3	96	120	00:00:25.954
15	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,3	Ters Mutasyon	0,7	96	218	00:00:26.406
16	Rulet Çemberi	0,2	Pozisyona Dayalı	0,8	Keyfi Üç İşi Değ.	0,4	96	163	00:00:31.516
17	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı	0,7	96	172	00:00:35.579
18	Rulet Çemberi	0,6	Sıraya Dayalı	0,5	Keyfi Üç İşi Değ.	0,6	247	159	00:00:36.437
19	Tournament	0,4	Sıraya Dayalı	0,1	Ters Mutasyon	0,5	96	99	00:00:07.047
20	Rulet Çemberi	0,1	Sıraya Dayalı	0,1	Ters Mutasyon	0,7	96	107	00:00:07.594
21	Rulet Çemberi	0,2	Doğrusal Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı	0,5	96	75	00:00:08.782
22	Rulet Çemberi	0,1	Dairesel	0,2	Keyfi Üç İşi Değ.	0,7	226	106	00:00:09.391
23	Rulet Çemberi	0,4	Kısmi Planlı	0,1	Ters Mutasyon	0,5	96	145	00:00:09.422
24	Rulet Çemberi	0,5	Pozisyona Dayalı	0,1	Ters Mutasyon	0,4	96	182	00:00:09.719
25	Rulet Çemberi	0,1	Pozisyona Dayalı	0,2	Keyfi İki İşi Değ.	0,4	96	146	00:00:09.734
26	Tournament	0,6	Sıraya Dayalı	0,3	Keyfi Üç İşi Değ.	0,6	96	92	00:00:09.906
27	Rulet Çemberi	0,6	Sıraya Dayalı	0,1	Komşu İki İşi Değ.	0,8	96	100	00:00:10.359
28	Tournament	0,7	Sıraya Dayalı	0,3	Komşu İki İşi Değ.	0,7	96	65	00:00:10.546
29	Rulet Çemberi	0,3	Dairesel	0,3	Keyfi İki İşi Değ.	0,4	96	128	00:00:10.735
30	Rulet Çemberi	0,3	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi Üç İşi Değ.	0,7	96	140	00:00:10.844

EK 1-5: 100x2 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORANI	MUTASYON	MUT. ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,8	13	241	00:06:01.125
2	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,8	30	204	00:05:03.547
3	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	13	222	00:05:33.110
4	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,7	13	218	00:05:26.844
5	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,7	Araya Sokma	0,8	29	218	00:03:28.515
6	Tournament	0,2	Sıralı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,7	13	225	00:03:34.844
7	Rulet Çemberi	0,8	Sıralı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	13	227	00:05:40.719
8	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,7	Araya Sokma	0,8	13	236	00:05:47.235
9	Tournament	0,4	Kısmi Planlı	0,6	Araya Sokma	0,8	13	244	00:03:55.171
10	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,6	Ters Mutasyon	0,3	43	179	00:04:29.531
11	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	13	213	00:05:18.875
12	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,6	Ters Mutasyon	0,7	13	233	00:05:48.109
13	Rulet Çemberi	0,8	Sıralı	0,8	Komşu İki İşi Değiştirme	0,4	13	245	00:06:16.515
14	Tournament	0,1	Sıralı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,8	13	233	00:03:43.563
15	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,6	Araya Sokma	0,6	54	244	00:03:53.656
16	Tournament	0,4	Dairesel	0,7	Araya Sokma	0,4	13	248	00:03:59.156
17	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,4	Komşu İki İşi Değiştirme	0,8	13	249	00:03:59.265
18	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,8	Araya Sokma	0,5	29	225	00:05:36.797
19	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,7	Komşu İki İşi Değiştirme	0,5	13	225	00:05:38.593
20	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,8	13	226	00:05:41.296
21	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,6	Ters Mutasyon	0,8	101	229	00:03:39.547
22	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,7	13	243	00:03:51.719
23	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,8	130	217	00:05:24.359
24	Tournament	0,5	Sıralı	0,1	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,6	13	226	00:11:26.250
25	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,4	13	239	00:13:51.859
26	Tournament	0,7	Doğrusal Sıralı	0,5	Ters Mutasyon	0,6	13	233	00:03:42.828
27	Tournament	0,9	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,7	29	244	00:03:52.641
28	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,7	101	232	00:05:46.203
29	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,6	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,7	13	206	00:12:02.359
30	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	122	227	00:05:37.766

EK 1-6: 5x5 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUT. ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Tournament	0,4	Pozisyona Dayalı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	12381	2	00:00:00.000
2	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	12381	1	00:00:00.000
3	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,2	7931	1	00:00:00.000
4	Tournament	0,4	Pozisyona Dayalı	0,1	Araya Sokma	0,1	12381	3	00:00:00.000
5	Tournament	0,7	Sıraya Dayalı	0,1	Araya Sokma	0,2	12381	2	00:00:00.000
6	Tournament	0,6	Sıralı	0,2	Komşu İki İşi Değiştirme	0,2	12381	1	00:00:00.000
7	Tournament	0,5	Doğrusal Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,4	12381	1	00:00:00.000
8	Tournament	0,6	Dairesel	0,3	Komşu İki İşi Değiştirme	0,1	12381	1	00:00:00.015
9	Tournament	0,4	Sıralı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	12381	1	00:00:00.015
10	Tournament	0,3	Pozisyona Dayalı	0,1	Komşu İki İşi Değiştirme	0,2	7931	3	00:00:00.015
11	Tournament	0,4	Pozisyona Dayalı	0,6	Ters Mutasyon	0,2	7931	1	00:00:00.015
12	Tournament	0,4	Sıraya Dayalı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	12381	1	00:00:00.015
13	Tournament	0,6	Sıralı	0,1	Ters Mutasyon	0,3	12381	5	00:00:00.015
14	Tournament	0,8	Pozisyona Dayalı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	12381	1	00:00:00.015
15	Tournament	0,6	Pozisyona Dayalı	0,7	Komşu İki İşi Değiştirme	0,3	12381	1	00:00:00.015
16	Tournament	0,4	Pozisyona Dayalı	0,2	Ters Mutasyon	0,4	7931	1	00:00:00.015
17	Tournament	0,6	Sıralı	0,3	Komşu İki İşi Değiştirme	0,4	12381	2	00:00:00.015
18	Tournament	0,7	Pozisyona Dayalı	0,4	Ters Mutasyon	0,4	12381	1	00:00:00.015
19	Tournament	0,8	Sıraya Dayalı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	12381	1	00:00:00.015
20	Tournament	0,9	Dairesel	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	12381	1	00:00:00.015
21	Tournament	0,8	Dairesel	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	12381	1	00:00:00.015
22	Tournament	0,4	Pozisyona Dayalı	0,5	Komşu İki İşi Değiştirme	0,6	12381	1	00:00:00.015
23	Tournament	0,6	Pozisyona Dayalı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	12381	1	00:00:00.015
24	Tournament	0,7	Sıraya Dayalı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,8	12381	1	00:00:00.015
25	Tournament	0,9	Dairesel	0,3	Araya Sokma	0,1	12381	1	00:00:00.015
26	Tournament	0,4	Pozisyona Dayalı	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	12381	1	00:00:00.015
27	Tournament	0,4	Sıraya Dayalı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	12381	1	00:00:00.015
28	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,7	Araya Sokma	0,2	12381	1	00:00:00.015
29	Tournament	0,8	Pozisyona Dayalı	0,2	Komşu İki İşi Değiştirme	0,3	12381	1	00:00:00.015
30	Tournament	0,7	Sıraya Dayalı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	12381	1	00:00:00.015

EK 1-7: 10x5 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Tournament	0,2	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	3216	12	00:00:00.250
2	Tournament	0,3	Sıralı	0,2	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	3041	15	00:00:00.359
3	Rulet Çemberi	0,3	Sıraya Dayalı	0,5	Araya Sokma	0,4	3216	8	00:00:00.532
4	Tournament	0,6	Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,4	3034	17	00:00:00.562
5	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,1	Komşu İki İşi Değiştirme	0,7	3390	18	00:00:00.672
6	Rulet Çemberi	0,5	Dairesel	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	3216	11	00:00:00.719
7	Rulet Çemberi	0,1	Sıralı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	3216	13	00:00:00.719
8	Tournament	0,1	Sıralı	0,8	Komşu İki İşi Değiştirme	0,3	3034	9	00:00:00.719
9	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,5	3390	13	00:00:00.782
10	Tournament	0,6	Sıralı	0,4	Komşu İki İşi Değiştirme	0,1	3034	25	00:00:00.843
11	Tournament	0,8	Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	3034	18	00:00:00.844
12	Rulet Çemberi	0,6	Sıraya Dayalı	0,5	Komşu İki İşi Değiştirme	0,7	3216	11	00:00:00.953
13	Tournament	0,7	Doğrusal Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,7	3390	14	00:00:01.032
14	Tournament	0,8	Sıralı	0,6	Ters Mutasyon	0,8	3034	10	00:00:01.063
15	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	3216	18	00:00:01.140
16	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,8	Araya Sokma	0,5	3034	11	00:00:01.156
17	Tournament	0,4	Sıralı	0,2	Ters Mutasyon	0,3	3034	40	00:00:01.156
18	Tournament	0,8	Dairesel	0,3	Araya Sokma	0,6	3034	22	00:00:01.171
19	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,5	3034	31	00:00:01.203
20	Tournament	0,5	Doğrusal Sıralı	0,7	Araya Sokma	0,3	3390	16	00:00:01.219
21	Rulet Çemberi	0,3	Sıraya Dayalı	0,8	Araya Sokma	0,4	3216	13	00:00:01.219
22	Tournament	0,6	Sıraya Dayalı	0,1	Araya Sokma	0,6	3034	39	00:00:01.219
23	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,7	3216	28	00:00:01.234
24	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	3034	32	00:00:01.281
25	Tournament	0,4	Kısmi Planlı	0,1	Araya Sokma	0,4	3390	57	00:00:01.281
26	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,8	3034	24	00:00:01.281
27	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	3216	16	00:00:01.297
28	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	3390	14	00:00:01.343
29	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,6	Araya Sokma	0,1	3034	30	00:00:01.438
30	Tournament	0,3	Sıralı	0,7	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	3041	25	00:00:01.438

EK 1-8: 20x5 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,7	1075	237	00:01:33.328
2	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,2	Komşu İki İşi Değ.	0,8	352	178	00:00:44.703
3	Rulet Çemberi	0,6	Sıraya Dayalı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	1075	33	00:00:13.031
4	Rulet Çemberi	0,8	Sıraya Dayalı	0,7	Araya Sokma	0,8	352	52	00:00:21.719
5	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	1075	59	00:00:23.609
6	Rulet Çemberi	0,8	Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı	0,5	1075	105	00:01:22.094
7	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,8	1085	208	00:01:23.672
8	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	1075	235	00:01:28.000
9	Tournament	0,8	Sıralı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	1075	191	00:00:46.750
10	Rulet Çemberi	0,8	Kısmi Planlı	0,7	Araya Sokma	0,4	709	147	00:00:55.657
11	Rulet Çemberi	0,8	Dairesel	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,7	709	191	00:01:15.547
12	Tournament	0,4	Dairesel	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	1075	205	00:00:48.422
13	Rulet Çemberi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,6	Ters Mutasyon	0,8	1075	210	00:01:20.406
14	Tournament	0,6	Sıraya Dayalı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,5	365	76	00:00:19.437
15	Tournament	0,7	Sıraya Dayalı	0,7	Araya Sokma	0,2	795	244	00:00:56.641
16	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	365	190	00:01:14.953
17	Rulet Çemberi	0,7	Sıraya Dayalı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	1085	221	00:01:27.500
18	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	1758	59	00:00:15.406
19	Tournament	0,4	Dairesel	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,8	239	87	00:00:20.047
20	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,8	Komşu İki İşi Değ.	0,5	352	165	00:01:02.078
21	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,2	Komşu İki İşi Değ.	0,3	189	138	00:00:54.266
22	Rulet Çemberi	0,2	Doğrusal Sıralı	0,1	Komşuluk Aralığı	0,3	1075	106	00:01:18.453
23	Rulet Çemberi	0,4	Kısmi Planlı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	1758	39	00:00:14.531
24	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	1075	64	00:00:16.281
25	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	1075	56	00:00:22.484
26	Rulet Çemberi	0,4	Dairesel	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	189	130	00:00:47.922
27	Rulet Çemberi	0,8	Dairesel	0,1	Araya Sokma	0,8	352	128	00:00:48.172
28	Tournament	0,5	Kısmi Planlı	0,6	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,5	1936	215	00:00:53.469
29	Rulet Çemberi	0,1	Dairesel	0,3	Araya Sokma	0,3	189	42	00:00:16.782
30	Tournament	0,3	Dairesel	0,4	Araya Sokma	0,1	352	162	00:00:37.797

EK 1-9: 50x5 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,5	397	215	00:08:34.000
2	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,2	516	197	00:02:29.391
3	Tournament	0,3	Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,4	397	134	00:01:40.422
4	Rulet Çemberi	0,6	Sıraya Dayalı	0,8	Araya Sokma	0,1	854	86	00:01:42.922
5	Tournament	0,8	Kısmi Planlı	0,6	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	104	184	00:02:17.844
6	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,1	Araya Sokma	0,2	104	214	00:02:41.765
7	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,6	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	516	86	00:01:05.438
8	Tournament	0,6	Sıralı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	397	67	00:00:51.890
9	Rulet Çemberi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,4	Komşu İki İşi Değiştirme	0,1	118	195	00:03:53.859
10	Rulet Çemberi	0,2	Doğrusal Sıralı	0,3	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,2	551	89	00:04:04.000
11	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,7	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,2	397	120	00:05:25.219
12	Tournament	0,6	Sıraya Dayalı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	149	156	00:01:57.438
13	Rulet Çemberi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	397	217	00:04:16.109
14	Tournament	0,6	Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,3	397	71	00:00:54.391
15	Tournament	0,3	Kısmi Planlı	0,7	Araya Sokma	0,3	397	137	00:01:42.907
16	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	106	110	00:02:11.469
17	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,3	397	213	00:02:40.984
18	Rulet Çemberi	0,3	Dairesel	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	397	162	00:03:11.860
19	Rulet Çemberi	0,4	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,5	397	67	00:01:20.422
20	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,5	141	72	00:01:27.672
21	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	572	194	00:02:29.625
22	Tournament	0,4	Dairesel	0,2	Araya Sokma	0,3	104	137	00:01:44.219
23	Rulet Çemberi	0,7	Kısmi Planlı	0,6	Araya Sokma	0,3	397	144	00:02:48.906
24	Tournament	0,6	Dairesel	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	397	164	00:02:02.875
25	Rulet Çemberi	0,1	Kısmi Planlı	0,7	Araya Sokma	0,4	104	146	00:02:53.172
26	Rulet Çemberi	0,8	Dairesel	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	397	217	00:04:19.281
27	Tournament	0,4	Sıralı	0,1	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,4	397	250	00:09:59.312
28	Rulet Çemberi	0,4	Dairesel	0,2	Araya Sokma	0,4	675	70	00:01:24.875
29	Rulet Çemberi	0,5	Pozis.Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,2	104	232	00:04:23.000
30	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	397	244	00:03:03.953

EK 1-10: 100x5 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,1	Sıralı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	398	243	00:03:02.765
2	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,1	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	548	244	00:05:09.000
3	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,1	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	444	244	00:04:25.297
4	Tournament	0,4	Sıraya Dayalı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	304	231	00:01:56.703
5	Tournament	0,6	Sıraya Dayalı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	473	244	00:01:57.344
6	Tournament	0,8	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	996	241	00:02:02.438
7	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,1	Araya Sokma	0,1	696	229	00:02:48.938
8	Rulet Çemberi	0,8	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	769	229	00:03:00.140
9	Rulet Çemberi	0,1	Kısmi Planlı	0,2	Araya Sokma	0,1	546	239	00:02:37.437
10	Rulet Çemberi	0,2	Sıraya Dayalı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	666	246	00:03:01.422
11	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,2	Ters Mutasyon	0,1	532	224	00:01:50.500
12	Rulet Çemberi	0,4	Sıraya Dayalı	0,2	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	367	236	00:03:01.734
13	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,2	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	688	173	00:03:42.343
14	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,2	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	680	205	00:04:24.094
15	Tournament	0,8	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	447	74	00:00:38.781
16	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	397	205	00:02:35.860
17	Rulet Çemberi	0,1	Kısmi Planlı	0,3	Araya Sokma	0,1	657	215	00:02:36.485
18	Rulet Çemberi	0,2	Sıraya Dayalı	0,3	Araya Sokma	0,1	233	230	00:02:50.859
19	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,3	Araya Sokma	0,1	414	211	00:01:43.094
20	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,3	Komşu İki İşi Değ.	0,1	450	250	00:02:05.313
21	Tournament	0,1	Sıralı	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	544	77	00:00:39.250
22	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,3	Komşu İki İşi Değ.	0,1	318	99	00:01:18.156
23	Rulet Çemberi	0,7	Kısmi Planlı	0,3	Araya Sokma	0,1	445	206	00:02:38.140
24	Rulet Çemberi	0,8	Sıralı	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	895	220	00:02:45.407
25	Rulet Çemberi	0,1	Dairesel	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	444	248	00:03:03.782
26	Rulet Çemberi	0,2	Doğrusal Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	627	160	00:02:01.031
27	Rulet Çemberi	0,3	Kısmi Planlı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	304	167	00:02:04.500
28	Rulet Çemberi	0,4	Dairesel	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	483	219	00:02:50.968
29	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,1	542	242	00:03:13.188
30	Tournament	0,3	Dairesel	0,4	Araya Sokma	0,1	433	250	00:01:55.688

EK 1-11: 5x8 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Tournament	0,6	Pozisyona Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,8	8517	1	00:00:00.078
2	Tournament	0,4	Pozisyona Dayalı	0,1	Ters Mutasyon	0,4	8517	3	00:00:00.078
3	Tournament	0,8	Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	8517	3	00:00:00.093
4	Tournament	0,6	Pozisyona Dayalı	0,4	Ters Mutasyon	0,2	8517	2	00:00:00.093
5	Tournament	0,8	Pozisyona Dayalı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	8517	1	00:00:00.093
6	Tournament	0,4	Pozisyona Dayalı	0,2	Komşu İki İşi Değiştirme	0,4	8517	2	00:00:00.094
7	Rulet Çemberi	0,5	Sıraya Dayalı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	8517	1	00:00:00.094
8	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	8517	1	00:00:00.094
9	Rulet Çemberi	0,7	Pozisyona Dayalı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,5	8517	1	00:00:00.094
10	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,6	8517	1	00:00:00.094
11	Tournament	0,6	Sıralı	0,2	Komşu İki İşi Değiştirme	0,3	8517	3	00:00:00.109
12	Tournament	0,4	Sıralı	0,7	Araya Sokma	0,3	8517	1	00:00:00.109
13	Rulet Çemberi	0,5	Pozisyona Dayalı	0,3	Ters Mutasyon	0,5	8517	2	00:00:00.109
14	Rulet Çemberi	0,6	Pozisyona Dayalı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	8517	6	00:00:00.110
15	Tournament	0,6	Dairesel	0,4	Araya Sokma	0,3	8517	2	00:00:00.110
16	Tournament	0,7	Doğrusal Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,1	8517	3	00:00:00.110
17	Tournament	0,9	Pozisyona Dayalı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	8517	2	00:00:00.110
18	Tournament	0,8	Sıraya Dayalı	0,8	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,3	8517	1	00:00:00.110
19	Tournament	0,4	Sıralı	0,7	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,4	8517	1	00:00:00.110
20	Tournament	0,6	Sıraya Dayalı	0,2	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,5	8517	2	00:00:00.110
21	Tournament	0,8	Sıralı	0,1	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	8517	8	00:00:00.125
22	Tournament	0,6	Kısmi Planlı	0,2	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	8517	5	00:00:00.125
23	Tournament	0,7	Dairesel	0,6	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,8	8517	1	00:00:00.125
24	Tournament	0,3	Doğrusal Sıralı	0,1	Araya Sokma	0,1	8517	9	00:00:00.125
25	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,1	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,3	8517	5	00:00:00.125
26	Tournament	0,8	Sıraya Dayalı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	8517	3	00:00:00.125
27	Tournament	0,3	Kısmi Planlı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	8517	3	00:00:00.140
28	Tournament	0,8	Sıralı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	8517	3	00:00:00.140
29	Tournament	0,6	Sıraya Dayalı	0,8	Komşu İki İşi Değiştirme	0,6	8517	1	00:00:00.140
30	Tournament	0,8	Doğrusal Sıralı	0,2	Komşu İki İşi Değiştirme	0,2	8517	5	00:00:00.141

EK 1-12: 10x8 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUT. ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Tournament	0,3	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	5731	5	00:00:01.547
2	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,2	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	5731	6	00:00:01.875
3	Tournament	0,5	Doğrusal Sıralı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	5731	8	00:00:02.391
4	Tournament	0,6	Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	5731	13	00:00:03.718
5	Rulet Çemberi	0,4	Sıraya Dayalı	0,5	Araya Sokma	0,3	5731	12	00:00:05.000
6	Tournament	0,5	Sıralı	0,6	Komşu İki İşi Değiştirme	0,3	5731	18	00:00:05.125
7	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	5731	12	00:00:05.406
8	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,8	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,4	5731	7	00:00:05.594
9	Tournament	0,3	Pozisyona Dayalı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	5731	24	00:00:06.109
10	Rulet Çemberi	0,1	Kısmi Planlı	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	5731	14	00:00:06.235
11	Tournament	0,4	Sıralı	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	5731	24	00:00:06.781
12	Tournament	0,8	Dairesel	0,4	Araya Sokma	0,2	5731	23	00:00:06.813
13	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,5	Ters Mutasyon	0,4	5731	17	00:00:07.438
14	Rulet Çemberi	0,5	Sıraya Dayalı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	5731	18	00:00:07.813
15	Tournament	0,3	Dairesel	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	5731	30	00:00:08.281
16	Rulet Çemberi	0,1	Doğrusal Sıralı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	5731	20	00:00:08.687
17	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,1	Komşu İki İşi Değiştirme	0,1	5731	21	00:00:08.797
18	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,2	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	5731	19	00:00:08.968
19	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	5731	27	00:00:11.234
20	Rulet Çemberi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,4	Araya Sokma	0,3	5731	27	00:00:11.266
21	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,5	Ters Mutasyon	0,1	5731	26	00:00:11.281
22	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	5731	28	00:00:11.860
23	Rulet Çemberi	0,8	Sıraya Dayalı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,3	5731	32	00:00:14.563
24	Tournament	0,3	Sıralı	0,8	Ters Mutasyon	0,2	5731	51	00:00:14.969
25	Tournament	0,6	Dairesel	0,1	Ters Mutasyon	0,1	5731	60	00:00:16.765
26	Tournament	0,8	Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,2	5731	61	00:00:17.031
27	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,3	Komşu İki İşi Değiştirme	0,1	5731	64	00:00:17.516
28	Rulet Çemberi	0,1	Doğrusal Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	5731	44	00:00:19.156
29	Rulet Çemberi	0,4	Sıralı	0,5	Komşu İki İşi Değiştirme	0,1	5731	48	00:00:20.375
30	Tournament	0,7	Sıraya Dayalı	0,6	Araya Sokma	0,1	5731	90	00:00:24.515

EK 1-13: 20x8 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1777	178	00:02:08.765
2	Tournament	0,3	Sıralı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	1777	178	00:02:33.828
3	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1777	159	00:01:52.750
4	Rulet Çemberi	0,8	Sıraya Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,1	1777	227	00:04:15.359
5	Tournament	0,5	Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1777	155	00:02:08.422
6	Rulet Çemberi	0,1	Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	1777	170	00:03:29.969
7	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,2	1777	88	00:01:49.281
8	Rulet Çemberi	0,7	Sıraya Dayalı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1777	226	00:02:43.188
9	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,1	1777	227	00:02:39.297
10	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,1	1969	210	00:04:33.828
11	Rulet Çemberi	0,3	Doğrusal Sıralı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	1777	111	00:01:25.297
12	Tournament	0,7	Doğrusal Sıralı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	1782	224	00:01:54.594
13	Rulet Çemberi	0,8	Dairesel	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	1777	227	00:04:34.297
14	Tournament	0,1	Doğrusal Sıralı	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	1777	246	00:02:01.782
15	Rulet Çemberi	0,7	Kısmi Planlı	0,2	Araya Sokma	0,2	1777	78	00:01:00.172
16	Tournament	0,8	Dairesel	0,2	Araya Sokma	0,2	2402	120	00:01:02.437
17	Rulet Çemberi	0,3	Sıralı	0,6	Araya Sokma	0,1	1777	226	00:05:09.312
18	Tournament	0,3	Sıralı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	1777	73	00:00:36.422
19	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,3	Araya Sokma	0,2	1378	160	00:01:20.671
20	Tournament	0,8	Dairesel	0,4	Araya Sokma	0,2	1777	156	00:02:10.594
21	Tournament	0,8	Sıralı	0,8	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	1777	245	00:04:32.391
22	Tournament	0,9	Doğrusal Sıralı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	1777	203	00:03:01.594
23	Rulet Çemberi	0,7	Doğrusal Sıralı	0,5	Araya Sokma	0,1	1777	60	00:00:46.766
24	Rulet Çemberi	0,7	Dairesel	0,8	Araya Sokma	0,1	1777	206	00:02:29.328
25	Rulet Çemberi	0,5	Kısmi Planlı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	1370	142	00:01:46.422
26	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,8	Ters Mutasyon	0,1	1777	235	00:01:58.343
27	Rulet Çemberi	0,5	Kısmi Planlı	0,6	Araya Sokma	0,1	1969	111	00:02:14.484
28	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,1	1777	218	00:07:58.172
29	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,3	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	1777	160	00:01:22.672
30	Rulet Çemberi	0,5	Pozisyona Dayalı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	3622	247	00:03:49.953

EK 1-14: 50x8 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUT. ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,5	Doğrusal Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,2	490	234	00:03:41.594
2	Rulet Çemberi	0,1	Sıralı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	830	151	00:02:22.343
3	Rulet Çemberi	0,8	Doğrusal Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,4	1631	210	00:03:26.250
4	Rulet Çemberi	0,2	Sıraya Dayalı	0,4	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,5	645	223	00:03:31.875
5	Tournament	0,4	Sıralı	0,7	Araya Sokma	0,4	747	228	00:02:27.843
6	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	1803	211	00:03:21.500
7	Rulet Çemberi	0,2	Pozisyona Dayalı	0,8	Araya Sokma	0,3	265	247	00:03:50.422
8	Tournament	0,8	Sıralı	0,8	Araya Sokma	0,1	1516	243	00:02:36.062
9	Tournament	0,4	Dairesel	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	641	233	00:02:32.469
10	Rulet Çemberi	0,2	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	364	150	00:02:24.906
11	Tournament	0,6	Sıralı	0,6	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	1079	230	00:02:33.094
12	Rulet Çemberi	0,4	Doğrusal Sıralı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	1776	193	00:03:05.515
13	Rulet Çemberi	0,7	Sıralı	0,4	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,5	2083	120	00:03:14.968
14	Rulet Çemberi	0,8	Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,3	998	224	00:03:32.547
15	Rulet Çemberi	0,5	Pozisyona Dayalı	0,3	Araya Sokma	0,5	255	234	00:03:32.828
16	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,6	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	464	246	00:03:52.125
17	Tournament	0,5	Kısmi Planlı	0,5	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	892	233	00:02:30.375
18	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	1524	248	00:02:40.453
19	Rulet Çemberi	0,3	Doğrusal Sıralı	0,6	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,3	1623	208	00:05:37.016
20	Tournament	0,7	Dairesel	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	806	110	00:01:09.141
21	Tournament	0,6	Dairesel	0,4	Araya Sokma	0,8	154	229	00:02:28.218
22	Rulet Çemberi	0,5	Sıraya Dayalı	0,2	Araya Sokma	0,4	768	167	00:02:50.235
23	Tournament	0,4	Kısmi Planlı	0,6	Araya Sokma	0,7	148	250	00:02:41.610
24	Rulet Çemberi	0,1	Kısmi Planlı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,7	384	221	00:03:30.875
25	Rulet Çemberi	0,2	Sıraya Dayalı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,1	1765	167	00:02:49.781
26	Tournament	0,6	Doğrusal Sıralı	0,7	Araya Sokma	0,4	289	140	00:01:28.953
27	Tournament	0,8	Sıraya Dayalı	0,7	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,4	466	206	00:02:08.032
28	Tournament	0,4	Dairesel	0,7	Araya Sokma	0,4	154	236	00:02:38.953
29	Rulet Çemberi	0,6	Dairesel	0,2	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,5	321	215	00:03:31.672
30	Rulet Çemberi	0,1	Kısmi Planlı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,5	1026	234	00:03:51.781

EK 1-15: 100x8 Tipi BÇPEAT Problemleri

	ÜREME	ÜREME ORAN	ÇAPRAZLAMA	ÇAPRAZ. ORAN	MUTASYON	MUTASYON ORAN	UI*10000	İTERASYON	ZAMAN (Saat: dk:sn:salise)
1	Rulet Çemberi	0,8	Sıraya Dayalı	0,6	Araya Sokma	0,5	241	250	00:13:01.125
2	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,8	Araya Sokma	0,2	467	250	00:13:18.093
3	Tournament	0,7	Doğrusal Sıralı	0,6	Ters Mutasyon	0,1	553	250	00:13:34.360
4	Rulet Çemberi	0,5	Sıralı	0,3	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,3	433	239	00:12:45.391
5	Rulet Çemberi	0,3	Doğrusal Sıralı	0,2	Araya Sokma	0,4	177	225	00:12:02.844
6	Rulet Çemberi	0,2	Kısmi Planlı	0,1	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,6	158	239	00:12:50.531
7	Tournament	0,1	Doğrusal Sıralı	0,8	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,7	480	221	00:11:40.828
8	Tournament	0,2	Sıralı	0,4	Komşu İki İşi Değiştirme	0,8	351	250	00:13:46.812
9	Rulet Çemberi	0,2	Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	349	250	00:13:17.125
10	Rulet Çemberi	0,3	Doğrusal Sıralı	0,7	Komşuluk Aralığı (yeni)	0,9	203	244	00:22:49.734
11	Tournament	0,4	Kısmi Planlı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	471	247	00:13:32.406
12	Tournament	0,6	Kısmi Planlı	0,8	Araya Sokma	0,5	120	232	00:12:44.062
13	Tournament	0,7	Doğrusal Sıralı	0,9	Komşu İki İşi Değiştirme	0,6	389	249	00:13:45.062
14	Rulet Çemberi	0,8	Sıralı	0,8	Komşu İki İşi Değiştirme	0,6	110	248	00:13:30.531
15	Rulet Çemberi	0,9	Doğrusal Sıralı	0,4	Komşu İki İşi Değiştirme	0,3	481	234	00:21:04.437
16	Tournament	0,2	Doğrusal Sıralı	0,8	Araya Sokma	0,2	158	229	00:12:09.875
17	Rulet Çemberi	0,5	Sıraya Dayalı	0,3	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,4	449	247	00:13:34.031
18	Rulet Çemberi	0,7	Kısmi Planlı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	416	189	00:10:38.063
19	Rulet Çemberi	0,4	Dairesel	0,6	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,2	511	250	00:13:22.094
20	Rulet Çemberi	0,3	Doğrusal Sıralı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,5	518	242	00:12:33.391
21	Rulet Çemberi	0,4	Sıraya Dayalı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,7	471	242	00:12:37.578
22	Tournament	0,3	Sıraya Dayalı	0,1	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	518	249	00:13:53.954
23	Tournament	0,4	Doğrusal Sıralı	0,4	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	203	249	00:13:58.297
24	Rulet Çemberi	0,6	Doğrusal Sıralı	0,6	Ters Mutasyon	0,4	179	231	00:12:39.109
25	Tournament	0,7	Sıralı	0,7	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,6	203	227	00:12:09.125
26	Tournament	0,9	Doğrusal Sıralı	0,5	Keyfi Üç İşi Değiştirme	0,5	241	250	00:13:22.687
27	Rulet Çemberi	0,6	Sıralı	0,6	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,7	349	162	00:08:53.438
28	Tournament	0,5	Kısmi Planlı	0,8	Keyfi İki İşi Değiştirme	0,8	203	249	00:13:56.375
29	Rulet Çemberi	0,4	Dairesel	0,9	Araya Sokma	0,2	158	250	00:13:47.000
30	Rulet Çemberi	0,6	Kısmi Planlı	0,9	Araya Sokma	0,2	160	250	00:15:47.000

EK 2: Tavlama Benzetimi BÇPEAT Problemleri

PROBLEMLER	BOLTZMAN SABİTİ							
	0,85		0,90		0,95		0,99	
	FCMAX	CPU (Saat: dk:sn:salise)	FCMAX	CPU (Saat: dk:sn:salise)	FCMAX	CPU (Saat: dk:sn:salise)	FCMAX	CPU (Saat: dk:sn:salise)
P5S2T04	309	09:20:40.125	309	09:20:55.656	309	09:21:14.031	309	09:21:24.828
P10S2T06	608	10:52:54.703	617	10:53:15.234	618	10:53:28.515	611	10:56:29.390
P20S2T08	495	11:06:23.906	482	11:06:43.984	493	11:06:59.921	477	11:07:18.921
P50S2T04	940	11:19:33.921	940	11:19:53.562	949	11:20:51.796	934	00:00:01.093
P1HS2T02	5089	14:21:27.500	5074	14:36:14.578	5078	14:50:23.609	5065	14:59:16.750
P5S5T03	880	11:36:50.437	886	00:00:00.813	837	00:00:00.016	873	00:00:17.016
P10S5T07	810	11:51:26.750	792	11:52:03.234	800	11:52:34.828	800	11:52:58.687
P20S5T07	1494	12:02:56.500	1464	12:03:26.437	1444	12:05:16.734	1464	00:00:02.828
P50S5T05	3078	12:31:48.203	3099	12:38:21.578	3114	12:43:45.796	3089	00:00:06.141
P1HS5T07	5411	11:53:14.890	5320	13:31:33.562	5413	13:44:40.609	5407	00:00:24.422
P5S8T10	1007	00:00:00.188	1007	00:00:00.000	1005	00:00:00.016	1015	00:00:00.016
P10S8T06	1408	16:30:17.796	1434	16:31:46.187	1421	17:00:38.500	1410	17:29:18.546
P20S8T06	1955	11:28:19.416	2040	11:34:20.151	2016	11:35:48.260	2036	11:43:41.651
P50S8T06	3124	12:19:21.932	3115	12:23:53.713	3152	12:41:30.729	3142	00:00:08.360
P1HS8T08	3663	16:40:49.526	3697	16:59:45.541	3689	17:21:44.463	3719	00:00:13.578
Q5S2T08	202	00:00:00.000	202	00:00:00.000	202	00:00:00.000	202	00:00:00.000
Q10S2T06	330	00:00:00.079	324	00:00:00.016	330	00:00:00.016	325	00:00:00.062
Q20S2T05	467	08:25:25.609	475	08:26:26.625	475	08:28:19.250	481	00:00:00.297
Q50S2T03	740	08:40:30.968	749	08:42:25.156	748	08:43:42.218	760	09:12:07.468
Q1HS2T07	1369	13:39:06.000	1370	13:44:29.812	1363	15:07:17.578	1353	15:12:47.328
Q5S5T03	612	00:00:00.000	612	00:00:00.000	612	00:00:00.000	612	00:00:00.000
Q10S5T04	770	00:00:00.015	770	00:00:00.016	770	00:00:00.000	770	00:00:00.047
Q20S5T06	762	08:56:50.578	760	09:01:05.718	780	09:04:54.609	765	00:00:00.625
Q50S5T08	1194	09:36:38.328	1202	09:37:35.375	1212	09:38:21.859	1195	09:49:25.406
Q1HS5T06	1801	11:39:07.281	1811	11:46:12.656	1786	11:50:35.781	1791	11:52:29.500
Q5S8T04	871	00:00:00.000	871	00:00:00.000	871	00:00:00.000	871	00:00:00.000
Q10S8T07	1043	00:00:00.000	1043	00:00:00.000	1043	00:00:00.000	1043	00:00:00.000
Q20S8T08	1031	12:45:17.218	1041	12:46:14.296	1047	12:46:59.343	1033	00:00:01.125
Q50S8T08	1551	13:31:25.187	1568	15:17:45.718	1560	15:20:30.984	1557	15:24:44.328
Q1HS8T05	2139	16:02:18.828	2128	16:07:06.890	2131	16:24:01.625	2141	00:00:11.047