

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK ÇOK İŞLEMCİLİ ESNEK AKIŞ TİPİ
ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE YENİ BİR
YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMASI YAKLAŞIMI

Mustafa Kerim YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya, 2008

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK ÇOK İŞLEMCİLİ ESNEK AKIŞ TİPİ
ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE YENİ BİR
YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMASI YAKLAŞIMI

MUSTAFA KERİM YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 11.07.2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.Orhan ENGİN
(Danışman)

Prof.Dr.Ahmet PEKER
(Üye)

Yrd.Doç.Dr.Ahmet BABALIK
(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BULANIK ÇOK İŞLEMCİLİ ESNEK AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE YENİ BİR YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMASI YAKLAŞIMI

Mustafa Kerim YILMAZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

2008, 69 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Ahmet PEKER

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BABALIK

Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

Bu çalışmada çok işlemcili esnek akış tipi çizelgeleme (ÇİEATÇ) ve Bulanık ÇİEATÇ problemlerini çözmek için yeni bir Yapay Bağışıklık Algoritması (YBA) önerilmiştir. Önerilen algoritmanın etkinliğini test etmek için Oğuz'un (2005) ÇİEATÇ problemleri çözülmüş ve elde edilen sonuçlar, Oğuz ve Ercan'ın (2005) Genetik Algoritma (GA) ve Ceran'ın (2006) GA metotları ile kıyaslanmıştır. Ayrıca Gözen'nin (2007) Bulanık ÇİEATÇ problemleride önerilen YBA algoritması ile çözülmüş olup elde edilen sonuçlar Gözen'nin (2007) çalışması ile kıyaslanmıştır.

Yeni YBA ile çözülen ÇİEATÇ problemlerinin % 26'sında alt sınır değerine ulaşılmıştır. Ulaşılan bu değer Ceran'ın (2006) ve Oğuz ve Ercan'ın (2005) sonuçlarından daha iyidir. Ayrıca dört adet problemin sezgisel bir yöntemle ilk defa alt sınır değeri bulunmuştur. Bulanık ÇİEATÇ problemleri için bulanık tamamlanma zamanı dikkate alındığında tüm problemler için Gözen'den (2007) daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri, Bulanık Mantık, Yapay Bağışıklık Algoritması

ABSTRACT

Master Thesis

A NEW APPROACH FOR SOLVING FUZZY MULTIPROCESSOR FLEXIBLE FLOW SHOP SCHEDULING PROBLEMS WITH ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM

Mustafa Kerim YILMAZ

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Orhan ENGİN

2008, 69 Page

Jury: Prof. Dr. Ahmet PEKER

Assist. Prof. Dr. Ahmet BABALIK

Assist. Prof. Dr. Orhan ENGİN

In this study, new artificial immune algorithm (AI) has been proposed for solving multiprocessor hybrid flow shop scheduling (MPFHFSS) and Fuzzy MPFHFSS problems. Efficiency of this algorithm's has been showed by solving Oğuz's (2005) problems using new AI algorithm and comparing the results with Oğuz and Ercan's (2005) Genetic Algorithm (GA) and Ceran's (2006) GA. In addition, Gözen's (2007) Fuzzy MPFHFSS problems were solved. The results were compared by Gözen's (2007) results.

The MPFHFSS problems results were encouraging in that the proposed AI algorithm determined the lower bound makespan for 26 % of the problems. This obtained results are better than Ceran's (2006) and Oğuz and Ercan's (2005) results. Furthermore we found lower bound makespan for 4 problems with heuristic methods for the first time. As a result of the Fuzzy MPFHFSS problems' fuzzy completion time results are better than Gözen's (2007) results for whole problems.

Key Words: Multiprocessor Hybrid Flow Shop Tasks Scheduling Problems, Fuzzy Logic, Artificial Immune Algorithm

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması sırasında benden desteklerini ve zamanını esirgemeyen, teorik konuları kavramamda yardımcı olan, usanmadan ve bıkmadan bana yol göstererek hatalarımı düzelten tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN' e, beni hayatta yalnız bırakmayan TÜYSÜZ ailesine ve hayata bağlayan biricik kızları Zeynep Naz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimimin bir bölümünde maddi olarak destek sağlayan ve tezin tamamlanmasında büyük etkisi bulunan TÜBİTAK – BİDEB programına minnetlerimi sunarım.

Bu çalışmanın doktora için bir basamak olması dileği ile...

Mustafa Kerim YILMAZ

Haziran – 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
KISALTMALAR ve SİMGELER	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. EAT Çizelgeleme Problemleri İçin Kaynak Araştırması	4
2.2. Yapay Bağışıklık Sistemleri İçin Kaynak Araştırması	5
3. MATERYAL ve METOD	8
3.1. Çizelgeleme	8
3.2. Paralel Makine Problemleri	9
3.3. Esnek Akış Tipi Sistemler	10
3.4. Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme	11
3.5. Bulanık Mantık	12
3.5.1. Bulanık Sistemlerinin Ortaya Çıkışı	14
3.5.2. Bulanık Küme Teorisi	14
3.5.3. Bulanık Kümeler ve Olasılık Teorisi	19
3.5.4. Bulanık Mantıkta Denetleyiciler	20
3.5.5. Bulanık Mantık Denetim Uygulamaları	23
3.5.6. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları	24
3.6. Bulanık Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme	25
3.7. ÇİEATÇ ve Bulanık ÇİEATÇ Problemleri	25
3.8. Bağışıklık Teorisi	29
3.8.1. Omurgalı Canlılarda Bağışıklık Sistemi	29
3.8.2. Negatif Seçim	31
3.8.3. Klonal Seçim	33

3.8.4.	Bağışıklık Sistemlerinde Öğrenme	36
3.8.5.	Bağışıklık Sistemleri Kullanılarak Yapılan İlk Çalışmalar.....	37
3.9.	Yapay Bağışıklık Algoritması.....	38
3.9.1.	Yapay Bağışıklık Algoritması İşlem Adımları	39
3.9.2.	YB Algoritmasının Örnek Üzerinde İncelenmesi	39
3.9.3.	YBA’da Kullanılan Parametreler	42
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	44
4.1.	Veri Toplama	44
4.2.	Parametre Optimizasyonu	46
4.3.	ÇİEATÇ Problemlerinin Çözümlerinin Analizi.....	47
4.4.	Bulanık ÇİEATÇ Problemlerinin Çözümlerinin Analizi.....	55
5.	SONUÇ ve ÖNERİLER	64
6.	KAYNAKLAR	66

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Paralel makine sistem modeli	9
Şekil 3.2 Esnek akış tipi sistem modeli.....	10
Şekil 3.3 Çok işlemcili esnek akış tipi sistem modeli.....	12
Şekil 3.4 Sıcaklık için klasik küme örneği.....	15
Şekil 3.5 Sıcaklık için bulanık küme örneği	16
Şekil 3.6 Sıcaklık için tümleyen bulanık küme örneği	16
Şekil 3.7 Üçgen üyelik derecesi	17
Şekil 3.8 Yamuk üyelik derecesi.....	18
Şekil 3.9 Çan eğrisi üyelik derecesi	19
Şekil 3.10 Kapalı döngülü denetim sistemi	20
Şekil 3.11 Bulanık mantık denetleyicilerinin temel yapısı	21
Şekil 3.12 Bulanık üçgen işlem zamanı	26
Şekil 3.13 Bulanık yamuk teslim zamanı.....	27
Şekil 3.14 Uyumlaştırma indeksi	28
Şekil 3.15 İnsan bağışıklık sistemi ve yapay bağışıklık algoritmaları.....	30
Şekil 3.16 Antijen ile antikor arasındaki 'kilit-anahtar' ilişkisi	31
Şekil 3.17 Negatif seçim algoritması ile model tanıma	32
Şekil 3.18 Klonal seçimin yapısı.....	34
Şekil 3.19 CLONALG algoritması	35
Şekil 4.1 Bulanık YBA programına ait ekran görüntüsü.	44

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 EAT ile ilgili yapılan çalışmalar	4
Tablo 3.1 Bulanık mantık denetiminin endüstriyel uygulamaları.....	14
Tablo 3.2 Bulanık mantık denetiminin endüstriyel uygulamaları.....	23
Tablo 3.3 Bulanık denetleyici ile klasik denetleyici arasındaki farklar	25
Tablo 3.4 Problemler için kullanılan parametre değerleri	43
Tablo 4.1 Parametre optimizasyonu sonuçları	46
Tablo 4.2 ÇİEATÇ <i>P</i> tipi 2 aşamalı problemler için kıyaslama	48
Tablo 4.3 ÇİEATÇ <i>P</i> tipi 5 aşamalı problemler için kıyaslama	49
Tablo 4.4 ÇİEATÇ <i>P</i> tipi 8 aşamalı problemler için kıyaslama	50
Tablo 4.5 ÇİEATÇ <i>Q</i> tipi 2 aşamalı problemler için kıyaslama.....	51
Tablo 4.6 ÇİEATÇ <i>Q</i> tipi 5 aşamalı problemler için kıyaslama.....	53
Tablo 4.7 ÇİEATÇ <i>Q</i> tipi 8 aşamalı problemler için kıyaslama.....	54
Tablo 4.8 Tüm problemler için özet % sapma C_{max} miktarları.	55
Tablo 4.9 Bulanık ÇİEATÇ <i>P</i> tipi problemler için kıyaslama.....	56
Tablo 4.10 Bulanık ÇİEATÇ <i>P</i> tipi problemlerin özet sonuçları.....	59
Tablo 4.11 Bulanık ÇİEATÇ <i>Q</i> tipi problemler için kıyaslama	60
Tablo 4.12 Bulanık ÇİEATÇ <i>Q</i> tipi problemlerin özet sonuçları.	63

KISALTMALAR ve SİMGELER

YBA	Yapay Bağışıklık Algoritması
YZ	Yapay Zekâ
YSA	Yapay Sinir Ağları
EAT	Esnek Akış Tipi
n	İş Sayısı
s	Aşama Sayısı
m	Makine Sayısı
NP	Polinomiye Olmayan
NP-Hard	Polinomiye Olmayan Zor
EATÇ	Esnek Akış Tipi Çizelgeleme
ÇİEATÇ	Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme
GA	Genetik Algoritma
$C_{\max}$	En Geç Tamamlanma Zamanı
$FC_{\max}$	Bulanık Tamamlanma Zamanı
ASD	Alt Sınır Değeri
UI	Uyumlaştırma İndeksi

1. GİRİŞ

Bilim insanları, problemlere çözüm yöntemleri ararken önce çevrelerini incelerler, yani doğadan ilham alırlar. Örneğin karınca kolonileri algoritmasıyla ilgilenenler, karınca kolonilerinin göstermiş olduğu özelliklerden ve hareketlerden ilham almıştır. Yapay sinir ağları da benzer bir temelden gelmektedir. Yapay Bağışıklık Algoritması (YBA) da tıpkı karınca kolonileri algoritmaları gibi gerçek bir biyolojik sistemin taklit edilmesiyle elde edilmiştir. Bu konuda ilk olarak Farmer ve arkadaşları (1986) bağışıklık sisteminin hesaplama tekniği olarak kullanılabileceğinden bahsetmiştir. Yapmış olduğu çalışmada makine öğrenmesi ve adaptasyon üzerine analizler yapmıştır.

Yapılan bu başlangıçtan sonra, YBA birçok farklı alana uygulanmıştır. Bilgisayar güvenlik sistemleri, optik tanıma sistemleri, çizelgeleme gibi birçok alanda çalışmalar yapılmıştır.

Bağışıklık sistemi, paralel çalışan birçok parçacıktan meydana geldiği için etkili bir bilgi işleme sistemine sahiptir. Karmaşık bir yapıyı çözüme kavuştururken hızlı bir şekilde ortama adapte olmalı ve doğru yöne doğru ilerlemeyi başarabilmelidir. Bunu başarabilmesi için çok net olamayan tanıma mekanizmaları ve geçmişten elde ettiği verileri kullanarak doğru yönde müdahaleyi yapabilmelidir. Bağışıklık sisteminin problem çözmede kullanılmasını mümkün kılan becerileri vardır. Bu özellikler aşağıda özetlenmiştir (Dasgupta 1998):

Tanıma: Bağışıklık sisteminde tanıma hücrelerinin bir araya gelmesi ile sağlanır. Bir araya gelen hücreler bir yapbozun parçaları gibi birbirleriyle birleşmektedir. Bu parçaların bir birbirlerini tamamlama oranı, tanımanın kuvvetinin belirler. Tanıma sisteminin sağladığı bilgiyi kullanan bağışıklık sistemi kendisine ait hücreleri ayırmaktadır.

Farklılık: Bağışıklık sisteminde aynı anda birçok lenfosit kümesi faaliyet göstererek kombinatorial bir şekilde çalışmaktadır. Böylelikle tanıma süreci daha kısa sürede tamamlanmaktadır.

Öğrenme: Bağışıklık sisteminde öğrenme, antijen saldırısından sonra hayatta kalan ve bu antijeni tanıma özelliği kazanmış lenfositlerin sayısı artırılarak sağlanır.

Hafıza: Bağışıklık sisteminde bir süre sonra bazı hücrelerin hafıza hücreleri olarak görev yapmaya başladığı görülmüştür. Bu hücrelerin sayısı sistemin performansını etkilemektedir. Bu hücrelerin sisteme bir maliyeti vardır. Bu nedenle dengenin iyi kurulması gerekir.

Dağınık Arama: Lenfositler kan vasıtasıyla tüm vücudu dolaşmaktadır.

Kendini Düzenleme: Bağışıklık sistemini yöneten merkezi bir organ yoktur. Bu nedenle mekanizmalar kendini düzenlemelidir.

Eşik Değeri Mekanizması ve Yaklaşık Algılama: Lenfositlerin harekete geçmesi için eşleşme derecesinin belirli bir değeri geçmesi gerekir. Bu değere eşik değeri denir. Bir birinden farklı antijenler aynı antikorun eşik değerinin geçilmesine neden olarak sistemi harekete getirebilir. Bir başka deyişle bir lenfosit birden çok antijeni tanıyabilir.

Dinamik Koruma: Sistem antijenleri yüzde yüz tespit edebilen hücreleri üretmekle mevcut antikorları üretmek arasında dinamik bir denge kurar.

Yardımcı Tepkime: Bağışıklık hücrelerinin harekete geçmesi, yardımcı T-hücreleri tarafından yollanan ikinci bir sinyal ile düzenlenir. Bu sinyal, zararlı ile zararsız yabancı hücreleri bir birinden ayırt etmeye yarar.

Yukarıda anlatılan bağışıklık sisteminin özellikleri problem çözme algoritmasına adapte edilebilir özellikler taşımaktadır.

Çalışmada, Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme (ÇİEATÇ) ve Bulanık Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere etkili bir Yapay Bağışıklık Algoritması (YBA) geliştirilmiştir. YBA canlılarda bulunan bağışıklık sisteminin taklit edilmesiyle oluşturulmuştur. Canlıların bağışıklık sistemleri hakkındaki bilgiler hala gelişmeye devam etmektedir.

Çalışmada, başlangıçtaki bağışıklık verisini oluşturmak için sistemin kendine güven katsayısını gösteren bir parametre, sistemin güven düzeyinin yükselişini tanımlayan bir parametre ve sistemin ömrünü gösteren iterasyon sayısı kullanılmıştır.

Önerilen algoritmanın performansını gösterebilmek için Oğuz'un (2005) ÇİEATÇ problemleri ve Gözen'nin (2007) problemleri çözülmüş ve sonuçları Oğuz ve Ercan'ın (2005) Genetik Algoritma (GA) ve Ceran (2006)'ın GA metodu ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde tez kapsamında kullanılan materyaller ve metotlar olan çizelgeleme, paralel makine, esnek akış tipi çizelgeleme, ÇİEATÇ ve Bulanık ÇİEATÇ, bulanık mantık, test problemleri, bağışıklık teorisi ve problemlerin çözümünde önerilen yapay bağışıklık algoritması (YBA) tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar literatürde yer alan problem sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Araştırma, sonuç ve öneriler bölümü ile tamamlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırması; Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri ve Yapay Bağışıklık Sistemleri olmak üzere iki konuda yoğunlaştırılmıştır.

2.1. EAT Çizelgeleme Problemleri İçin Kaynak Araştırması

Esnek akış tipi problemler üzerine yapılan birçok çalışma bulunmasına rağmen, bu çalışmalar sadece işlerin sıralanmasını içermektedir. Oysaki esnek akış tipi sistemlerde operasyonların sıralanması daha iyi sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Mevcut haliyle zaten NP-Hard olan bu türdeki problemler, operasyonlar bazında değerlendirildiğinde daha da zorlaşmaktadır.

Aşağıda yer alan Tablo 2.1’de literatürde son yıllarda EAT problemler üzerinde yapılmış bazı çalışmalar yer almaktadır.

Tablo 2.1 EAT ile ilgili yapılan çalışmalar

Yıl	Yazar	Yapılan Çalışmalar
2007	Gözen Ş.	Bulanık ÇİEATÇ problemlerini çözen GA modelini önermiştir.
2005	Oğuz C. , Ercan F.	ÇİEATÇ problemleri için GA modeli tanımlamışlardır.
2004	Engin O, Döyen A.	EATÇ problemleri YBA modeli önermişlerdir.
2004	Oğuz C., Zinder Y., Do V.H., Janiak A., Linchtenstein M.	ÇİEATÇ tabu arama modeli önermişlerdir.
2004	Sivrikaya Şerifoğlu S.F., Ulusoy G.	ÇİEATÇ problemleri için GA modeli önermişlerdir.
1999	Brah S.A., Loo L.L.	Beş farklı sezgisel metodu karşılaştırmışlardır.

2.2. Yapay Bağışıklık Sistemleri İçin Kaynak Araştırması

Hart ve ark. (1998) da Jensen ve Hansen gibi atölye tipi problemler ile uğraşmışlardır. Amaçları başlama ve bitiş tarihleri belli olan problemleri çizelgeleyerek gecikmeyi en aza indirmektedir. Çalışmada her çözüm, bir antikorı temsil eder. Çözümler genetik algoritmalar ile oluşturulur. 1000 antikor değerlendirilir ve en iyi antikordardan 1000 kopya oluşturulur. Kopyalar mutasyona uğratılır ve en iyi kopya çözüm olarak seçilir.

Mori ve ark. (1998) geliştirdikleri YBA algoritmasının çok amaçlı çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Siparişler uygun büyüklükteki parçalara ayrılarak işler tanımlanmaktadır. Daha sonra bu işler belli bir makine sırasında işlenmektedir. Burada iki nokta önemlidir. Birincisi işlerin bölünmesi, diğeri de esnek akış tipi çizelgelemedir. Algoritmaları bağışıklık ağı teorisine dayanmaktadır.

Jensen ve Hansen (1999), atölye tipi işlerin çizelgelenmesi için çalışmışlardır. Araştırmada problemlerin çözüm kümelerini genetik kromozomlardan oluşturmuşlardır. Bu kromozomlardan bazılarını seçerek antikor olarak kullanmışlardır. Benzer şekilde kromozomlarda genlerin yerlerini değiştirerek bir antijen havuzu oluşturmuşlardır. Antijenlerin iyi çözümlere yönelmesi için genetik algoritma kullanmışlardır. Amaçları tamamlanma zamanını minimize etmektir.

Russ ve ark. (1999) bilgisayarlara görev yükleme problemlerini ele almışlardır. Amaçları değişen bir ortama uyum sağlayabilecek iş yükleme sistemidir. Bu bağlamda çizelgeleme amacıyla yapılan ilk çalışma olduğu söylenebilir.

Costa ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada paralel makinelerde toplam tamamlanma zamanının minimizasyonu üzerine durmuşlardır.

Engin ve Döyen (2004) esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinin YBA ile çözümü için bir algoritma önermişlerdir. Algoritmaları klonal seçim algoritmasını ve yakınlık geliştirme tekniklerini içermektedir. Ayrıca YBA'da kullanılan parametrelerin optimizasyonun önemli olduğuna değinmişler ve optimizasyon çalışmaları yapmışlardır.

Sonuç olarak önermiş oldukları yöntemleri literatürde yer alan problemlerde denemişler ve yararlı sonuçlar elde etmişlerdir.

Kumar ve ark. (2006) *m* adet makine içeren beklemesiz atölye tipi çizelgeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışma ile toplam makine kullanımı azaltılmaya çalışılmıştır. Psycho-Clonal olarak isimlendirdikleri yeni bir YBA algoritması önermişlerdir. Önerdikleri algoritma YBA'nın temel sistemiyle birlikte Maslow'un ihtiyaçlar piramidini içermektedir. Ortaya atılan algoritma çeşitli büyüklükteki problemler üzerinde denenmiş ve iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Önerdikleri algoritmada somatik mutasyon, reseptör düzenleme ve patlama dengelenmesi kullanmışlardır. Algoritmayı iyi yapan özelliklerinin ise adaptasyon, öğrenme ve ihtiyaç seviyelerinin kullanımından ileri geldiğini öne sürmektedirler.

Liao (2006) YBA'yı lineer olmayan karışık tamsayılı problem üzerinde denemiştir. Önermiş olduğu yaklaşımın yeni bir yaklaşım olduğunu öne sürmüştür. YBA'dan farklarını şu şekilde açıklamıştır: (1) Çaprazlama ve mutasyon oranlarını bulanık mantık ile geliştirmiş olduğu bir yapı belirlemektedir. (2) Hafıza hücrelerini kullanmıştır ve (3) tavlama benzetimi operatörünü sisteme dâhil etmiştir. Yapmış olduğu bu değişikliklerin avantajlarını şu şekilde belirtmiştir: algoritması lokal sonuçlara takılmamaktadır, hızlı bir şekilde sonuca ulaşmaktadır ve ekonomik bir yöntem haline gelmiştir. Bulmuş olduğu sonuçları farklı algoritmalar ile karşılaştırmıştır.

Zandieh ve ark. (2006) sıra bağımlı hazırlık süreleri içeren esnek akış tipi çizelgeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Bu tür problemlere kimya, tekstil, metalürji, baskı devre ve otomotiv sektöründe rastlanmaktadır. Problemler çok karmaşık olduğundan YBA ile çözüm algoritmaları üretmişler ve standart genetik algoritma ile karşılaştırmışlardır.

Panigrahi ve ark. (2007) YBA'yi gezgin satıcı problemleri üzerinde kullanmışlardır. Önerdikleri algoritma, klonal seçimi ve evrimsel yaklaşımı içermektedir. Antikorların üretilmesinde süper mutasyon tekniğini kullanmışlardır. Ortaya koydukları algoritmanın hızlı ve daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Şahan ve ark. (2007) göğüs kanseri teşhisinde YBA'nın öğrenme tekniklerini bulanık mantık ile birleştirerek bir uzman sistem meydana getirmişlerdir. Oluşturdukları algoritma gerçek veriler üzerinde %99,14 başarı göstermiştir.

Tan ve ark. (2007) çok amaçlı optimizasyon yapabilen bir YBA geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada evrimsel algoritmaların genel arama yeteneklerini, YBA'nın öğrenme algoritması ile birleştirmişlerdir. Klonal seçim algoritmasından türetilen yeni bir seçim algoritması oluşturmuşlardır. Oluşturdukları test problemleri ile algoritmalarını değerlendirmişler ve çok iyi sonuçlar almışlardır.

Tsai ve ark. (2007) birleştirilmiş prosedürler ve iyileştirilmiş YBA'dan oluşan algoritmalarına Taguchi-Yapay Bağışıklık algoritması adını vermişlerdir. Oluşturdukları algoritma yardımı ile atölye tipi çizelgeleme problemlerini çözmüşlerdir. Çözmüş oldukları on beş karşılaştırma probleminde bilinen en iyi sonuçlara ulaşmışlardır. Buldukları sonuçların yayınlanmış olan genetik algoritma sonuçlarından daha iyi olduğunu göstermişlerdir.

Prakash ve ark. (2007) makinelere iş yükleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Büyük problemler üzerinde hızlı çalışacak bir YBA ortaya koymuşlardır. Literatürde yer alan problem sonuçlarıyla yapılan karşılaştırmalarda iyi sonuçlar almışlardır.

Hou ve ark. (2008) entegre üretimde hassas bir konu olan devre yollarının imalatında yer alan parametrelerin belirlenmesi için yapay sinir ağları ile YBA'sını birleştirerek yeni bir algoritma ortaya çıkarmışlardır. YBA'nın hafıza ve lenfosit hücrelerinin özelliklerini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada Taguchi algoritması yardımı ile YBA parametrelerini belirlemişlerdir. Algoritmalarının gücünü ölçmek için genetik algoritma ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuç GA'dan daha iyidir.

3. MATERYAL ve METOD

Bu tez çalışmasında yeni bir Yapay Bağışıklık Algoritması (YBA), ÇİEATÇ ve Bulanık ÇİEATÇ problemlerini çözmek için geliştirilmiştir. İki tür problem olduğu için iki ayrı metot hazırlanmıştır. Problemler benzer özelliklere sahip olduğu için yeni YBA’nda bir farklılık yoktur. Farklılığı oluşturan kısım, amaç fonksiyonlarının hesaplamalarında yer almıştır.

3.1. Çizelgeleme

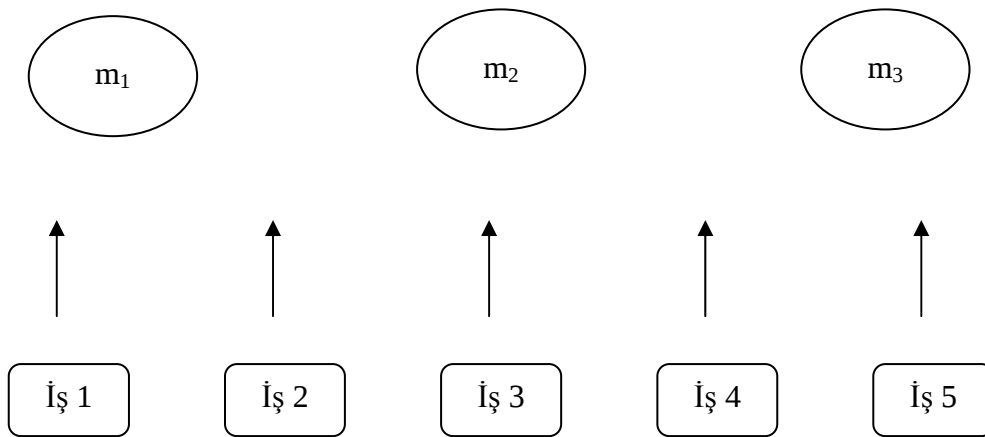
Çizelgeleme fonksiyonu, matematiksel teknikler veya sezgisel yöntemler kullanarak sınırlı kaynakların ilgili görevlere tahsis edilmesidir. Kaynakların uygun olarak atanması ile firmanın amaç ve hedeflerine en iyi şekilde ulaşması sağlanır. Çizelgeleme literatürü; parametrelerin belirgin (deterministik) olduğu durumdan, belirsiz (stokastik) olduğu duruma, tek makineliden çok makineliye, geliş sürecinin durağandan (statikten), dinamiğe değiştiği çeşitli problem yapılarını kapsar. Birden fazla ölçütün bulunduğu çizelgeleme çalışmaları son dönemlerde oldukça artmıştır. Ancak bu tür problemlerin çözümü tek ölçütlü problemler kadar kolay değildir. Çünkü birbirleri ile çelişen amaçların aynı anda eniyilendiğinden tek bir çizelgeyi oluşturmak oldukça zordur. Çizelgeleme problemleri tümleşik optimizasyon problemleri yani çok amaçlı karar verme problemi olduğu için en iyi çözümlerini bulmak oldukça zordur (Cowling ve ark. 2002).

Cowling ve ark. ise; genel anlamda kesikli-parça imalatının olduğu ortamlarda var olan üretim çizelgeleme, zaman düzleminde yapılması gereken görevler için bir veya daha fazla amacı eniyileyecek şekilde kısıt kaynakların tahsis edilmesi olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle imalat endüstrilerinde çok önemli role sahip bir karar verme prosesidir. Kaynakların uygun olarak atanması ile firmanın amaç ve hedeflerine en iyi

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

3.2. Paralel Makine Problemleri

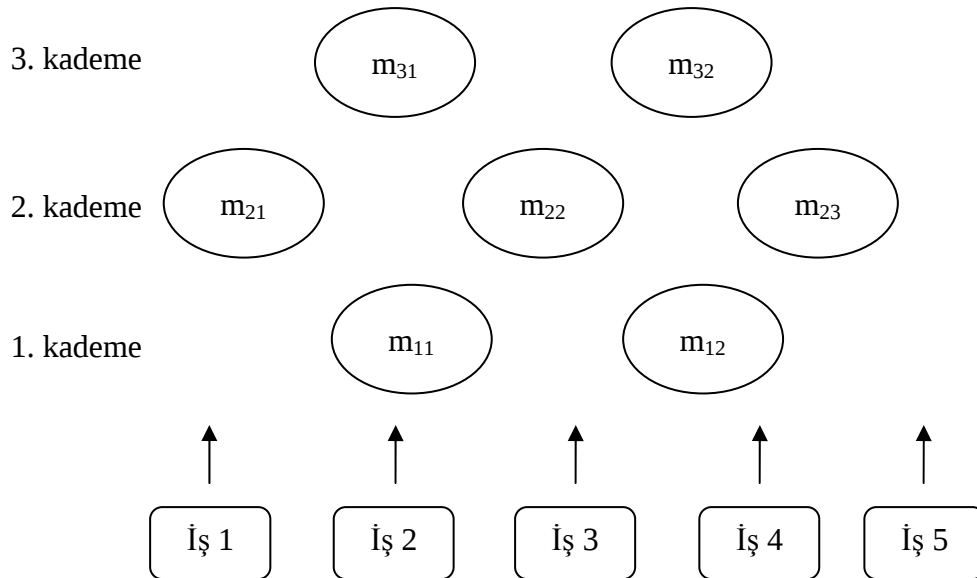
Paralel makine problemleri, m tane eş makinenin paralel olarak yerleştiği sistemlerdir. Her iş yalnız bir operasyona sahiptir ve bu m makinenin herhangi birinde işlenebilir. Genellikle makine sayısı, iş sayısından az olmaktadır. Örnek bir paralel makine sistemi Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Döyen 2004).



Şekil 3.1 Paralel makine sistem modeli

3.3. Esnek Akış Tipi Sistemler

Esnek akış tipi (hybrid flow shop) çizelgeleme problemi; yukarıda bahsedilen paralel makine problemlerinin bir genelleştirmesi şeklindedir. Esnek akış tipi sistemde, makineler s tane seri kademeye yerleştirilmişlerdir. $l = 1, 2, \dots, s$ olmak üzere bir l kademesinde, m_l tane eş makine bulunmaktadır. $j = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere bir j işi, her bir kademedeki makinelerden herhangi birinde yada daha fazlasında işlem görmelidir. Farklı kademelerde j işinin işlem süreleri $P_{1j}, P_{2j}, \dots, P_{sj}$ ile gösterilir. İşlerin önceliği yoktur operasyonların önceliği vardır. Örneğin, bir makinede bir işin bir operasyonu başladıktan sonra aynı işin başka bir operasyonun farklı bir makinede işlem görmeye başlayamaz. Her makinede belli bir anda en fazla bir iş işlem görebilir. Her kademedeki 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-Hard'dır (Gupta 1988). Şekil 3.2'de bir esnek akış tipi sistemin yapı verilmiştir. Sistemde 5 iş, her birindeki makine sayıları sırasıyla 2, 3, 2 olan 3 kademedeki çizelgelenenecektir (Döyen 2004).



Şekil 3.2 Esnek akış tipi sistem modeli

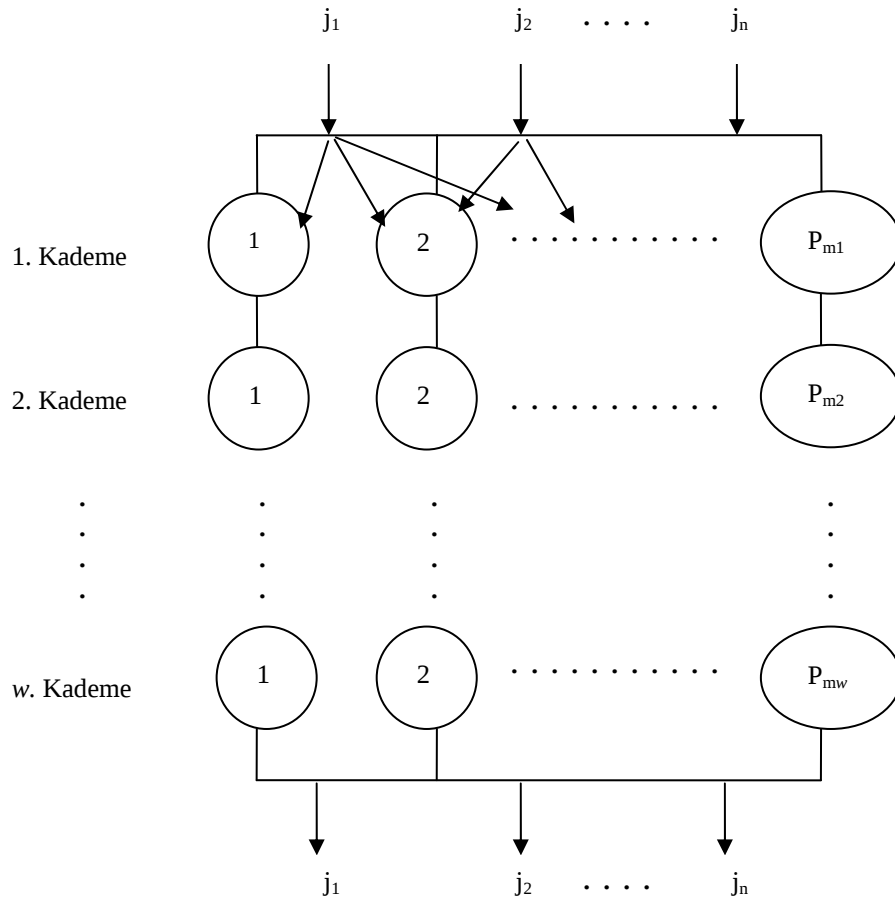
3.4. Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme

Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme ile EATÇ arasındaki fark herhangi bir işin birden çok makinede aynı anda işlenebilmesinin gerekli olmasıdır. Burada makine olarak kastettiğimiz nesne insanda olabilmektedir. Bazı insan gücüne dayalı imalatlarda bazı operasyonların iki ya da daha fazla insan tarafından aynı anda yapılması gerekebilir.

ÇİEATÇ problemleri zor olması nedeniyle araştırmacılar tarafından, kullanım alanı olmadığı gerekçesiyle fazlaca üzerinde durulmamaktadır. ÇİEATÇ problemleri üzerine yapılan bazı çalışmalar ikinci bölümde verilmişti. Gerçek hayattaki problemler oldukça zordur. Zor bir problem üzerinde tasarlanan algoritmalar gerçek uygulamalarda daha iyi performans göstermesi beklenebilir.

ÇİEATÇ sisteminde, $j = \{1, 2, \dots, n\}$ olmak üzere n tane iş, $i = \{1, 2, \dots, w\}$ olmak üzere w tane aşamada sıralı bir şekilde işlem görmelidir. Her aşamada m_i adet eş paralel makine bulunur. Her iş tüm aşamalarda sırasıyla işlem görür. Her aşamada yalnız tek tip operasyon yapılmaktadır. Her bir operasyon sadece kendinden önceki operasyon tamamlandıktan sonra başlayabilir. i . aşamadaki j . işin operasyonunun gerçekleşebilmesi için ihtiyaç duyduğu makine sayısı $size_{ij}$, operasyon süresi P_{ij} olsun. Diğer bir deyişle j . işin i . operasyonu, m_i makinelerinde $size_{ij}$ kadar makinede aynı anda yapılmalıdır (Oğuz ve Ercan 2005).

ÇİEATÇ sisteminde tüm işlerin ve makinelerin çizelgeme sürecinde uygun olduğu varsayılır. Çizgiler kullanılarak işlerin hangi makinelerde operasyon gördüğü belirtilerek Şekil 3.3'de (Öztürk 2007) bir ÇİEATÇ sisteminin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Çok işlemcili esnek akış tipi sistem modeli

3.5. Bulanık Mantık

İlk kez Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantık kavramı günümüzde önemi gittikçe artan bir çalışma alanı olmuştur. Çünkü gerçek hayattaki verilerin büyük çoğunluğu stokastiktir. Bulanık mantık, belirsizliklerin ifade edilmesi ve sistemlerin belirsizliklerle çalışılabilmesi için ortaya atılmış bir matematiksel formüller olarak açıklanabilir (Anonim 2005).

Bulanık mantıkta doğru/yanlış, evet/hayır, 0/1, -/+ gibi değerler yerine bu değerler arasında tanımlanabilen değerleri gösteren birçok değeri olabilen yapıdadır.

Bilgisayar programlarının insanlar gibi karar verebilmesini sağlamak için bu değerlerin matematiksel olarak formülize edilebilmesi gerekir (Zadeh 1984).

Bulanık mantık teorisinin temelini bulanık kümeler oluşturmaktadır. “Çok güzel” sıfatı üzerinden şu şekilde basit bir örnek verilebilir. Güzellik insandan insana değişebilir. Kesin sınırları yoktur ancak bazı kurallar çerçevesinde 0-1 arasında değer oluşturacak şekilde formülize edilebilir. Matematiksel olarak almış olduğu değerlere aitlik fonksiyonu adı verilmektedir. Bu şekilde bir aitlik fonksiyonu ile “kesinlikle ait” veya “kesinlikle ait değil” arasında istenilen hassasiyette sahip değerler oluşturmak mümkündür (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Bulanık mantık her verinin bir değerlendirme sorunu olduğunu iddia eder. Bilimsel alanda bulanıklık “çoklu değerlilik” olarak isimlendirilmektedir. Bulanıklığın tersi olan kesinlik ise ikili mantık veya iki-değerlilik olarak isimlendirilir (Kosko 1993).

Bulanık mantık iki kişinin iletişim kurarken kullandıkları "soğuk", "sıcak", "yüksek", "alçak" gibi değişkenler kullanır. İkili durumdan farklı olarak “çok sıcak”, “biraz yüksek” gibi durumları da kullanır (Kaynak ve Armağan 1992).

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

- Kesin değerlerle düşünme yerine, yaklaşık değerlerle düşünme kullanılır,
- Bilgi uzun, kısa, çok kısa gibi ifadeler şeklindedir,
- Her şey $[0,1]$ aralığında değerlerle ifade edilir,
- Bulanıkta sonuca giderken ifadeler tanımlanan kuralara göre bir araya getirilir,
- Matematiksel modeli çok zor oluşturulan sistemlerde bulanık mantık kullanmak hesaplamaları ve sistem tasarımını kolaylaştırır.

Bulanık mantık belirsizlik ortamında veya yarım bilgilere göre işlem yapabilme kabiliyetine sahiptir.

3.5.1. Bulanık Sistemlerinin Ortaya Çıkışı

Dünyada sürekli mevcut olan belirsizlik ortamı, belirsizlik altında karar verebilmeyi mecbur hale getirmiştir. Binlerce önemli projenin karar sürecinde bulanık mantık kullanılmıştır. Dünyadaki karar verme sürecine ilişkin ihtiyaçlar artıkça belirsizliklerin giderilebilmesi için bulanık mantığa olan ihtiyaç daha da artacaktır. Bilinen ilk uygulama Mandani tarafından 1974 yıllarından buhar makineleri üzerine yapılmıştır (Elmas 2003). Tablo 3.1’de (Elmas 2003) belli başlı bulanık mantık uygulamaları verilmiştir.

Tablo 3.1 Bulanık mantık denetiminin endüstriyel uygulamaları

Ürün	Şirket
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

3.5.2. Bulanık Küme Teorisi

Klasik küme teorisine göre bir değer kümenin elemanıdır ya da elamanı değildir, sonuç nettir. Bulanık küme teorisinde ise tam bir netlik yoktur. Suyun içine eline sokan bir insan suyun sıcak ya da soğuk olduğu yargısına varmak yerine az sıcak, çok soğuk, ılık gibi değerlendirmelerde bulunur (Elmas 2003). Bulanık küme teorisi de buna benzer.

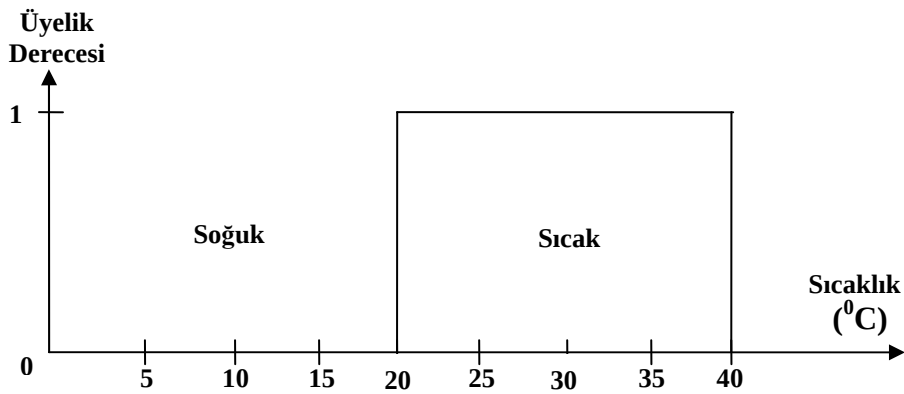
Klasik küme teorisinde bulunan bileşim, kesişim, kapsama, tümlleme gibi özellikler bulanık küme teorisinde de aynen mevcuttur. Bu özellikler tanımlanan bir takım fonksiyonlar yardımıyla yapılır. Örnek olarak bulanık küme teorisinin standart işlemleri verilebilir (Etaner 1993);

Bulanık Tümlleme: $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ (3.1)

Bulanık Birleşim: $\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x))$ (3.2)

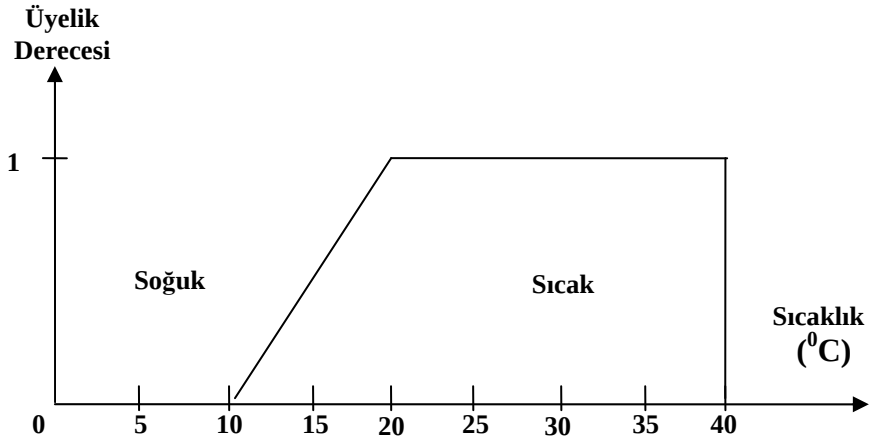
Bulanık Kesişim: $\mu_{A \cap B} = \text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x))$ (3.3)

Şekil 3.4’de klasik kümeler için verilen örnekte 20° C’nin altındaki değerler soğuk olarak gösterilmiştir. Buna göre 19,5° C soğuktur. Bu değer 19,99° C olması bile sıcak sayılması için yeterli değildir. Gerçek dünyada ise değerler bu kadar kesin değildir ve her zaman aynı değerler aynı sonuca ulaşmamızda yeterli olmayabilir (Özkan 1997).



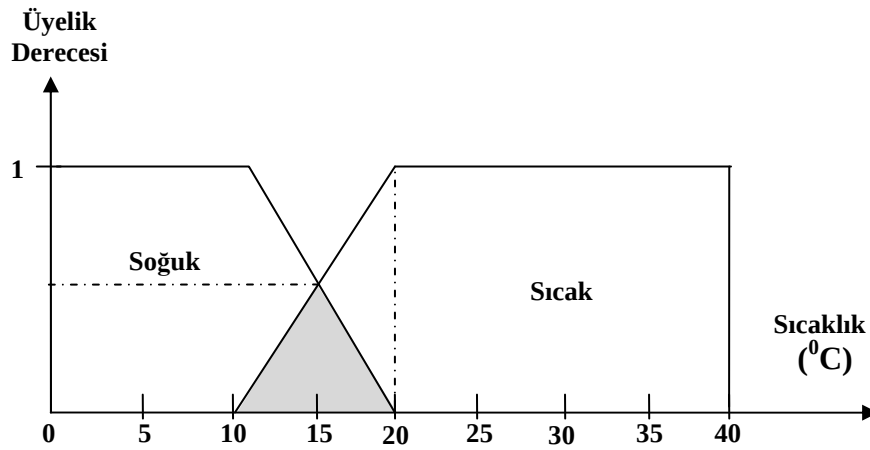
Şekil 3.4 Sıcaklık için klasik küme örneği

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da bulanık kümeler için örnekler verilmiştir. Bu örnek de 10 ile 40° C arasındaki değerler sıcak kümesi olarak tanımlanmıştır. 20-40° C arasındaki değerlerin üyelik dereceleri 1’dir. Ancak 10-20° C derece arasındakilerininki 0 – 1 arasında değişmektedir.



Şekil 3.5 Sıcaklık için bulanık küme örneği

Bir ortamın sıcaklığını 20°C kabul edilirse soğuk kümesi olarak aşağıdaki Şekil 3.6 ortaya çıkmış olur (Etaner 1993).

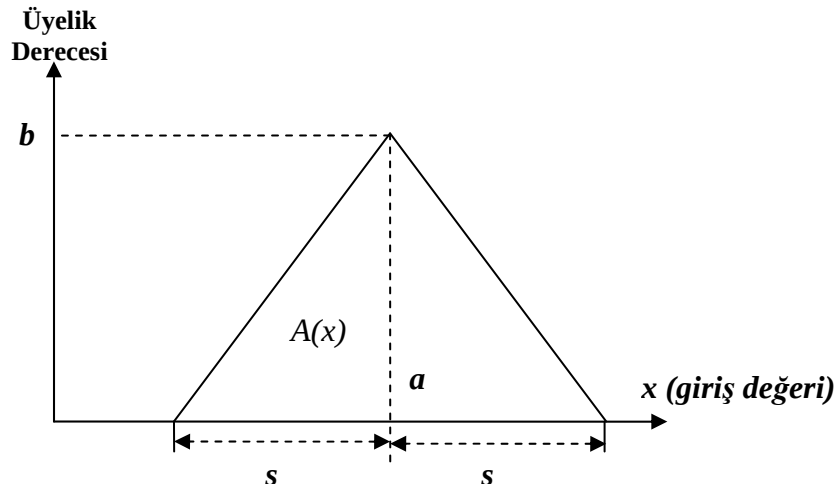


Şekil 3.6 Sıcaklık için tümleyen bulanık küme örneği

Bulanık mantık bir x için $[0, 1]$ kapalı aralığında üyelik derecesi ortaya koyar. Bulanık mantık kesin olmayan ya da matematiksel olarak tam modellenemeyen

bilgilerle üzerine kurulmasına rağmen, sözel nitelikteki matematiksel teorilere dayanmaktadır (Ahmad 2004).

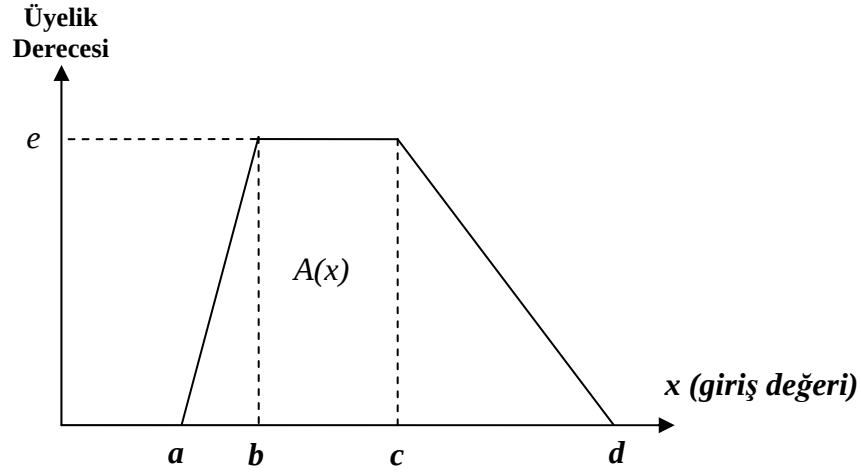
Bulanık mantık sisteminin temelini ortaya çıkan bulanık değişkenlerden meydana gelen girişleri karar verme sürecinde kullanması oluşturur. Üyelik fonksiyonları değişik şekillerde olabilir. En çok bilinen üyelik fonksiyonları Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir (Klir ve ark. 1997).



Şekil 3.7 Üçgen üyelik derecesi

Üçgen üyelik fonksiyonları Şekil 3.7'de gösterilen a , b ve s parametreleri ile gösterilir. Üyelik derecesi (3.4) deki gibidir (Etaner 1993).

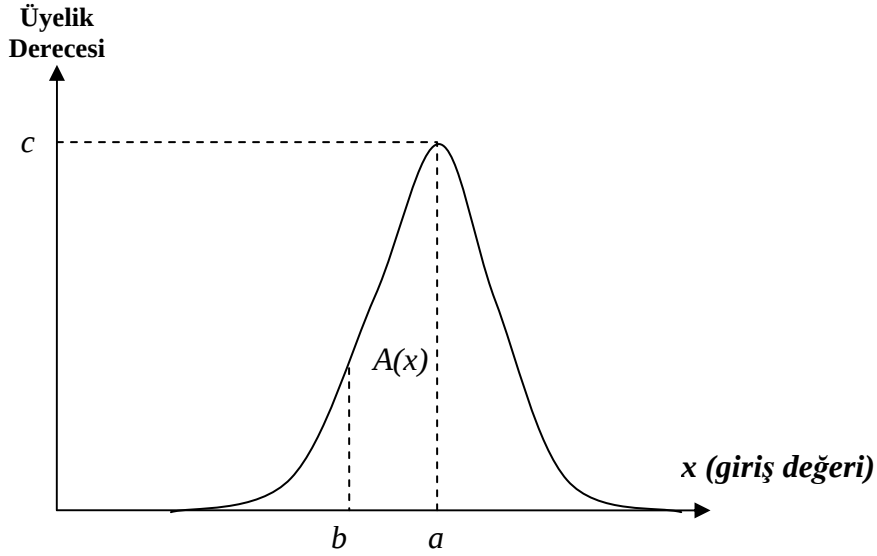
$$A(x) = \begin{cases} b(1 - \frac{|x-a|}{s}) & a-s \leq x \leq a+s \\ 0 & \text{Aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.4)$$



Şekil 3.8 Yamuk üyelik derecesi

Yamuk üyelik derecesi a , b , c , d ve e parametrelerinden oluşmaktadır. Genel gösterimi (3.5)'teki gibidir (Etaner 1993).

$$A(x) = \begin{cases} \frac{(a-x)e}{a-b} & a \leq x \leq b \\ e & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)e}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0 & \text{Aksitakdirde} \end{cases} \quad (3.5)$$



Şekil 3.9 Çan eğrisi üyelik derecesi

Çan eğrisi üyelik derecesi a , b ve c parametreleri ifade edilir ve (3.6)'daki formül yardımıyla üyelik değeri hesaplanır (Ahmad 2004).

$$A(x) = c \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{b}} \quad (3.6)$$

3.5.3. Bulanık Kümeler ve Olasılık Teorisi

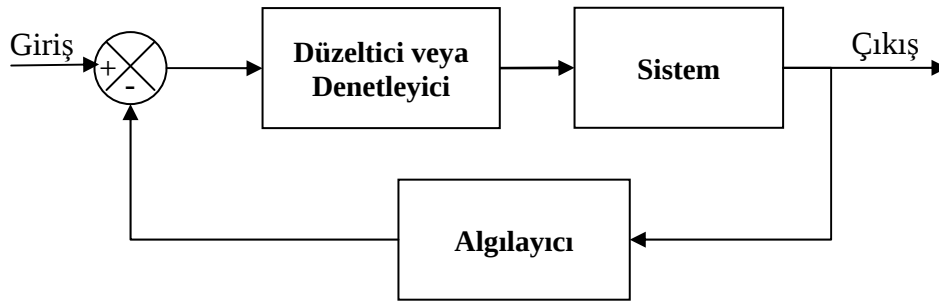
Olasılık teorisi belirsizlik durumlarının matematiksel olarak ifade edilmesini sağlayan en temel teoridir. Bazen olasılığın belirsizliğin her durumunda kullanılabilir olduğu akla gelebilir, ancak bu görüşe göre bulanık set teorisine gerek yoktur. Olasılık ve belirsizlik teorileri belirsizliğin farklı durumlarını ifade eder (Klir 1997). Olasılık ile bulanıklık arasındaki en önemli fark bulanıklılığın deterministik bir belirsizlik olmasıdır (Meier ve ark 1994). Olasılık teorisi rastsal olayların ölçülmesini ele alırken, bulanık mantık bir elemanın kümeye aitlik gücünü gösterir.

Rastsal teoride sonuç herhangi bir değişkene bağlı olmadan rastsal olarak elde

edilirken, bulanık sistemlerde en az bir değişken ya da uzman sistemin veri ve bilgilerinden yararlanılarak sonuç elde edilir (Elmas 2003).

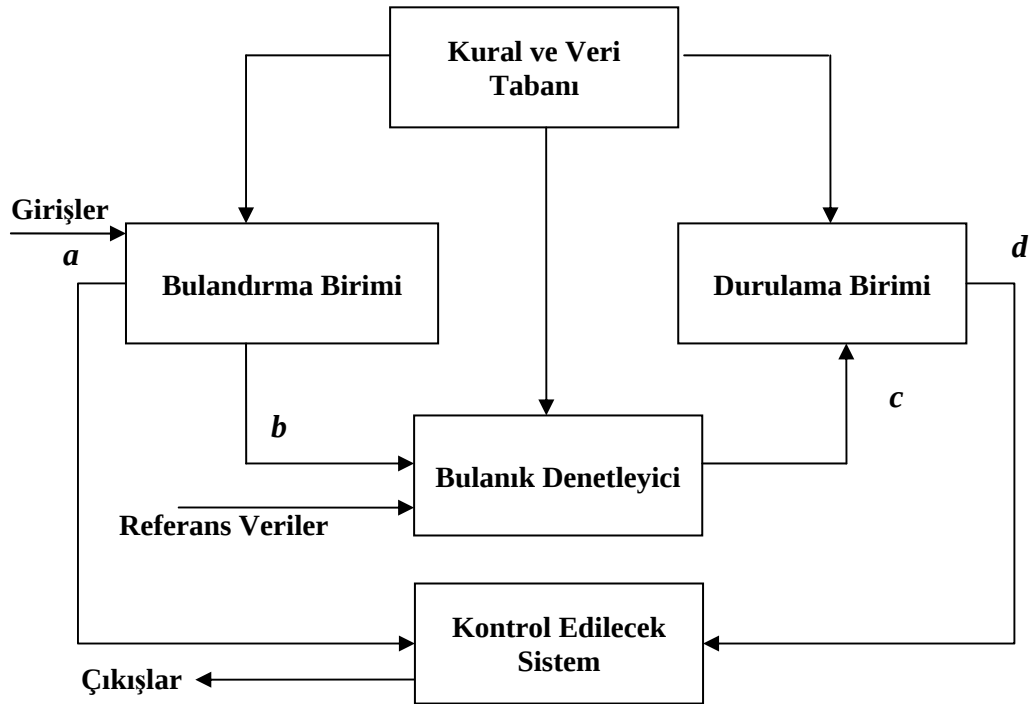
3.5.4. Bulanık Mantıkta Denetleyiciler

Denetleyici sistemler bir sistemin çıktılarını denetleyen ve düzenleyen elamanlardan oluşmaktadır. Denetleyici sistemler açık ve kapalı döngülü olmak üzere iki türden oluşur. Açık sistemlerden, sistemin çıktısına bağlı olarak sisteme bir müdahale yapılmaz, kapalı sistemlerde ise çıktılar sürekli denetlenerek sistemin girdilerinden değişiklikler yapılmaktadır. Kapalı döngülü denetim sistemlerinin genel hatları Şekil 3.10’da gösterilmiştir (Elmas 2003).



Şekil 3.10 Kapalı döngülü denetim sistemi

Bulanık mantık denetleyicileri, bilgi tabanı, bulandırma, karar verme ve durulama birimlerinden oluşmuştur (Etaner 1993). Şekil 3.11’de bir bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı görülmektedir.



Şekil 3.11 Bulanık mantık denetleyicilerinin temel yapısı

Şekil 3.11’de verilen harfler ile işaretlenmiş noktalar incelenecek olursa; *a* noktasında, kontrol edilen sistemden gelen veriler bulunmaktadır. Bu veriler bulanıklaştırma ara birimine girerek kural ve veri tabanından gelen bilgilere göre bulanık verilere dönüştürülür. Buradan çıkan bulanık veriler *b* noktasından bulanık denetleyiciye gider. Bulanık denetleyicide, gelen bulanık ve referans verilerinin değerlerine göre bir kontrol işlemi uygulayarak bulanık kontrol verisi oluşturulur. Bu veriler *c* noktasından geçerek durulaştırma aşamasına gelir. Durulaştırma aşamasında kontrol edilecek sisteme uygulanacak duru işaret elde edilerek *d* noktasından aktarılır. Tüm bu sistemi kural ve veri tabanı besler (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).

Kural ve Veri Tabanı

Bu kısım karar verme biriminin kural tabanını oluşturan bilgileri ve denetimin amaçlarına uygun kuralların bulunduğu yerdir. Genelde uygulama sürecindeki bilgilerden ve denetim amaçlarını içerir. Bu bilgiler denetim kurallarının oluşturulmasında ve bilgi işleme sürecinde kullanılır. Kurallar denetim amaçlarını belirler (Elmas 2003).

Bulanık Denetleyici

Bulanık denetleyiciye “çıkarım motoru” da denir. Bulanık mantık denetiminin en temel yapısıdır. Bulanık denetleyici insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Bulanık verileri işler ve çıkarım yaparak gerekli denetimi yapar (Ahmad 2004).

Durulama Birimi

Bulanık çıkarımın sonucunda bulanık değerler elde edilmiş olur. Bu sonuçların sisteme girilebilmesi için sayısal değere dönüştürülmesi gerekmektedir. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık veriden bulanık olmayan değerlerin elde edilmesini sağlar (Etaner 1993).

Durulama aşamasında farklı yöntemler uygulanmaktadır. Her kural için üyelik derecelerine denk gelen sonuç kuralları tespit edilerek en uygun yöntem seçilir ve durulama yapılır (Elmas 2003). Sıklıkla kullanılan yöntemler şunlardır (Elmas 2003);

- Maksimum üyelik yöntemi,
- Ağırlık merkezi yöntemi,
- Ağırlık ortalaması yöntemi,
- Anlam üyelik yöntemi,
- Yükseklik üyelik yöntemi.

3.5.5. Bulanık Mantık Denetim Uygulamaları

Bulanık mantık denetimin uygulamaları ilk olarak 1980 yıllarında çimento sanayinde başlamıştır. Daha sonra 1983 yıllarında su arıtma sistemlerine uygulanmıştır. Daha sonraki yıllarda nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimi gibi daha değişik uygulamalar literatürde görülmeye başlanmıştır. Tablo 3.2’de bazı bulanık mantık denetiminin uygulamaları gösterilmiştir (Elmas 2003).

Tablo 3.2 Bulanık mantık denetiminin endüstriyel uygulamaları

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	Sanyo-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 kullanım 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.

3.5.6. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları

Her sistemde olabileceği gibi bulanık mantığında avantajları ve bir takım dezavantajları bulunmaktadır.

Avantajları

Bulanık mantık teorisinin insanların karar verme mekanizmasında kullandıkları yapıya çok yakın olması en büyük üstünlüğüdür. Kontrol işlemlerinin çoğu dilsel denetleyicilerle (çok, biraz, ılık, sıcak, vb.) yapılmaktadır. Bulanık mantık matematiksel modele ihtiyacı olmadığından modeli net olarak tanımlanmamış zamanla değişebilen ve doğrusal olmayan sistemler önemli uygulama alanlarıdır. Bulanık mantık bünyesinde elde edilen verilerin bir ön işlememeye tabi tutulması ve geniş bir alana yayılan değerlerin az sayıda üyelik değerlerine indirgenebilmesi daha hızlı sonuca ulaşılmasını sağlamaktadır (Özkan 1997).

Dezavantajları

Bulanık mantık uygulamalarında kuralların uzmanların deneyimlerinden yararlanılarak tanımlanması gerekir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak kolay olmayabilir. Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem yoktur. En uygun yöntem deneme yanılma yöntemidir, buda çok uzun zaman alabilir. Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur (Elmas 2003).

Klasik denetleyiciler ile bulanık denetleyiciler arasındaki temel farklar Tablo 3.3'de özetlenmiştir (Özkan 1997).

Tablo 3.3 Bulanık denetleyici ile klasik denetleyici arasındaki farklar

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 denetleyicilerde karmaşık olduğundan uygulamaya geçirilmesi ekonomik olmayabilir.	Ucuz algılayıcılar sayesinde sürecin ölçümünde esneklik kazandırır ve hızla sonuca götürür.
Acil sistemlerde denetleyici de karmaşık olacağından uygulamaya geçirilişi ekonomik olmayabilir.	Uygulamaya geçirilişi kolaydır. Sürecin matematiksel modeline ihtiyaç duyar.

3.6. Bulanık Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme

Yukarıda bahsi geçen tüm çizelgeleme türlerinde kullanılan zamanlar sabit değerlere sahipti. Bulanık ÇİEAT problemlerde ise işlem süreleri ve teslim zamanları bulanıktır (Fuzzy). İşlem ve teslim zamanları belirli aralıklar içerisinde olabilir. Bu aralıklar problemleri üreten akademisyenler tarafından belirlenmiştir. Değerler belirli olduğu için üyelik fonksiyonlarının birleştirilmesi problemleri üretken akademisyenlerin çalışmalarına göre yapılmıştır.

3.7. ÇİEATÇ ve Bulanık ÇİEATÇ Problemleri

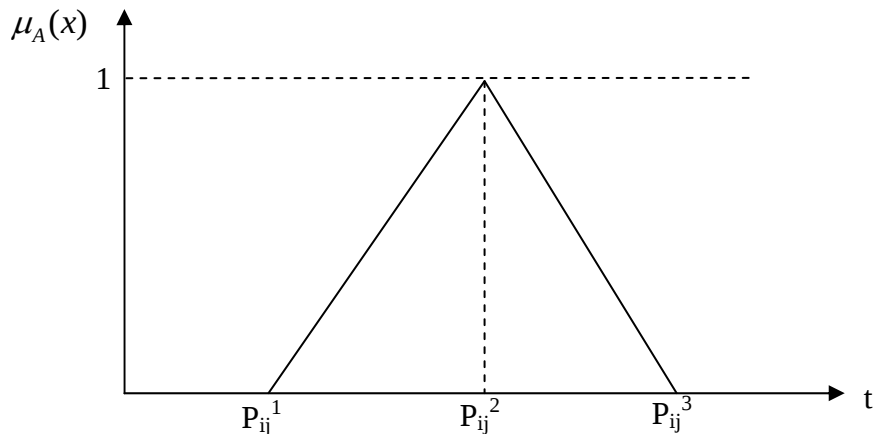
Çalışmada Oğuz'un (2005) Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme (ÇİEATÇ) problemleri ve Gözen'nin (2007) Bulanık ÇİEATÇ problemleri kullanılmıştır. Çalışmada sonunda iki tip problem içinde elde edilen sonuçlar literatür çalışmalarında yer alan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Oğuz'un (2005) problemleri, $n(iş) \times s(aşama)$ tipi problemlerdir. Bu problemler, P ve Q olmak üzere 2 tipe ayrılmaktadır. Her iki tipte de ayrı ayrı toplam 150 adet problem vardır. Örnek problem notasyonu " $P20S8T01$ " 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. $S8$, aşama sayısını; $T01$, ise problem indisini göstermektedir. “ $n = 10, 20, 50, 100$ ” değerleri, iş sayılarını, “ $m = 2, 5, 8$ ” değerleri ise aşama sayılarını göstermektedir. Çözümü gerçekleştirilecek olan problemlerin boyutları: $10 \times 2, 20 \times 2, 50 \times 2, 100 \times 2, 10 \times 5, 20 \times 5, 50 \times 5, 100 \times 5, 10 \times 8, 20 \times 8, 50 \times 8$ ve 100×8 ’ dir. Her makine herhangi bir anda sadece bir işlemi yürütebilmektedir. Makineler arıza yapmazlar. Bütün işler çizelgeleme başında hazırdir. İşler kesintisiz işlenir. Amaç, En Geç Tamamlanma Zamanı (C_{max})’nın en küçüklenmesidir (Öztürk 2007).

Gözen’nin (2007) problemleri de yukarıda anlatılan özelliklere sahiptir. Farkları şunlardır;

- Her bir operasyonun minimum orta ve maksimum olacak şekilde üç işlem zamanı vardır. Bu üç işlem zamanı Şekil 3.12’deki gibi üçgen üyelik derecesi oluşturmaktadır (Gonzales ve ark. 2005).
- Her bir işin orta ve maksimum olmak üzere iki teslim zamanı vardır. Bu iki değer Şekil 3.13’deki yamuk üyelik derecesi oluşturmaktadır (Gonzales ve ark. 2005).



Şekil 3.12 Bulanık üçgen işlem zamanı

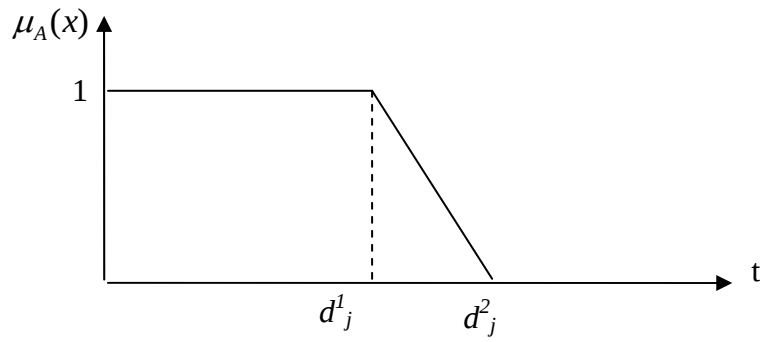
P_{ij}^1 = En kısa işlem süresi

P_{ij}^2 = Orta işlem süresi

P_{ij}^3 = En uzun işlem süresi

$$P_{ij}^1 \leq P_{ij}^2 \leq P_{ij}^3 \quad (3.7)$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < P_{ij}^1 \\ \frac{x - P_{ij}^1}{P_{ij}^2 - P_{ij}^1} & P_{ij}^1 \leq x \leq P_{ij}^2 \\ \frac{x - P_{ij}^3}{P_{ij}^2 - P_{ij}^3} & P_{ij}^2 < x \leq P_{ij}^3 \\ 0 & P_{ij}^3 < x \end{cases} \quad (3.8)$$



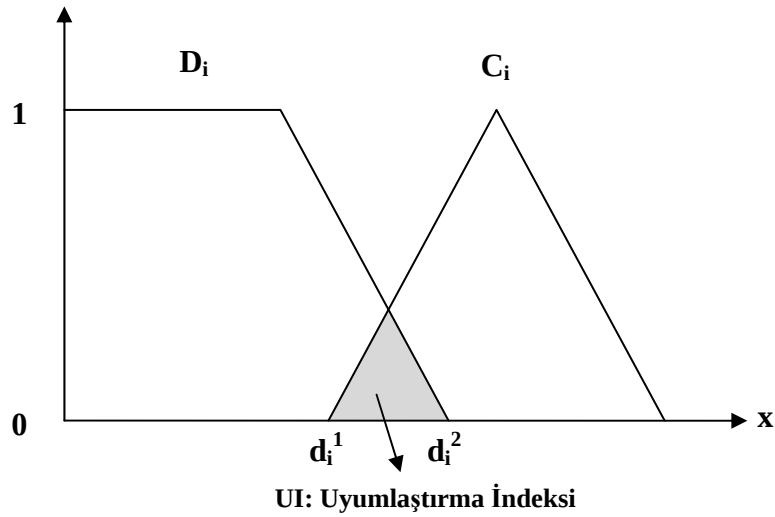
Şekil 3.13 Bulanık yamuk teslim zamanı

d_j^1 = Teslim tarihi

d_j^2 = Üst sınır teslim tarihi

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < d^1 j \\ \frac{x - d^1 j}{d^2 j - d^1 j} & d^1 j < x \leq d^2 j \\ 1 & x \geq d^2 j \end{cases} \quad (3.9)$$

Problemin amaç fonksiyonlarından uyumlaştırma indeksi (UI) Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Uyumlaştırma indeksinin oluşturduğu alan her zaman üçgensel olmayabilir. Algoritmanın geliştirilmesi aşamasında yapılan analizde beş farklı yapı ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.14 Uyumlaştırma indeksi

D_i = Teslim süresi

C_i = İşlem süresi

$$UI = \frac{Alan(C_i \cap D_i)}{Alan(C_i)} \quad (3.10)$$

C_i = Her bir işin toplam tamamlanma zamanı

Amaç fonksiyonlarının formülleri aşağıda listelenmiştir (Gonzales ve ark. 2005):

1. *Uyumlaştırma İndeksi maksimizasyonu:*

$$maksZ_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n UI_i \quad (3.11)$$

2. *Ortalama Uyumlaştırma İndeksi maksimizasyonu*

$$maksZ_2 = UI_{\min} = \min_{i=1, \dots, n} UI_i \quad (3.12)$$

3. *Bulanık tamamlanma zamanı minimizasyonu*

$$\min Z_3 = FC_{\max} = \frac{\min C_{\max} + 2 \cdot \text{ort} C_{\max} + \max C_{\max}}{4} \quad (3.13)$$

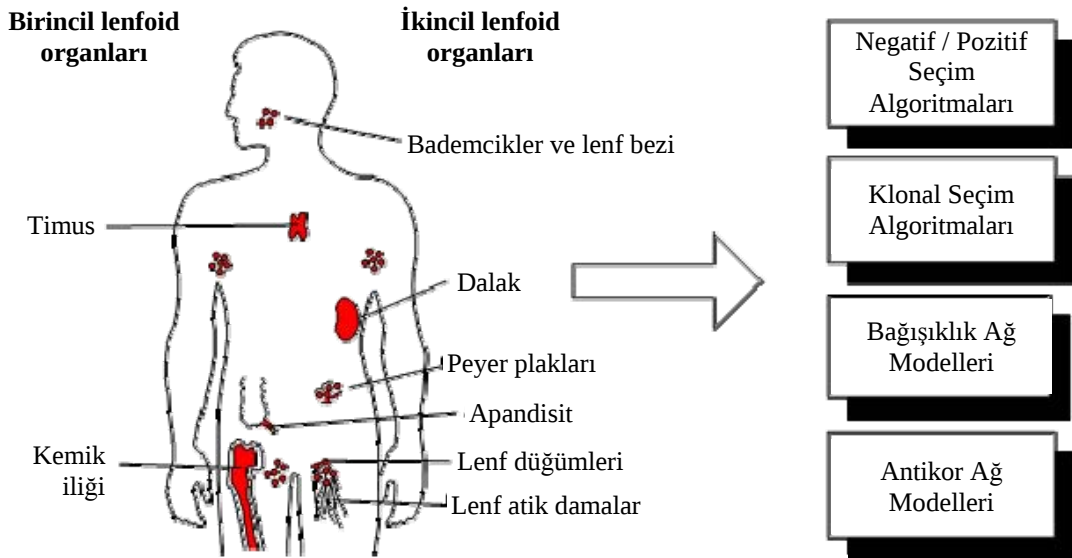
3.8. Bağışıklık Teorisi

Bu bölümde bağışıklık biliminden kısaca bahsedilecektir. Literatürde yapılan çalışmaların anlaşılabilmesi için bu gereklidir. Çalışmanın son kısmında YBA ile yapılmış çalışmalardan bahsedilecektir.

3.8.1. Omurgalı Canlılarda Bağışıklık Sistemi

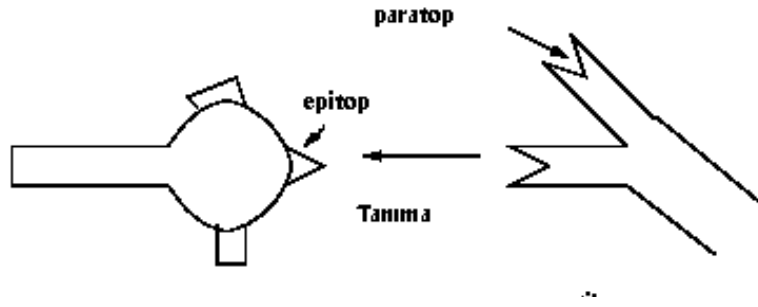
Bağışıklık sistemi canlıyı yabancı hücrelerden korumaktadır. Yabancı hücrelere; virüs, bakteri, tümör örnek verilebilir.

İnsan vücudunda bağışıklık sistemini oluşturan organlar Şekil 3.15’de görülebilir (Alataş ve ark. 2005). İkincil lenfoid organları antijenleri yakalayıp lenfositlerin antijenlerle etkileşmesini sağlar.



Şekil 3.15 İnsan bağışıklık sistemi ve yapay bağışıklık algoritmaları

Kendine özgü hücreleri bulunan bağışıklık sistemi vücuda giren yabancı canlıları tanır ve yok eder. Temel bağışıklık hücrelerinden biri lenfositlerdir. T ve B olmak üzere iki türü vardır. T ve B hücreleri kemik iliğinde oluşturulur. B hücreleri gelişimini kemik iliğinde tamamlarken T hücreleri ise timüste tamamlar. Lenfositlerin bir diğer adı da beyaz kan pulcuklarıdır. Bu iki hücre benzer olmasına rağmen farklı özellikler taşır. T hücreleri antijenleri tanıyabilirken, B hücreleri yardımcı hücrelere ihtiyaç duyar. Bu hücrelerde reseptör moleküller bulunur. B hücrelerindeki reseptörlere antikor da denir. Antikorlar Y harfine benzer. Antikor ile antijenin birleşme mekanizması, kilit ile anahtarın bir birine uyması gibi düşünülebilir (Hart 2002). Şekil 3.16'de (Hart 2002), bu anahtar-kilit ilişkisi temsili olarak çizilmiştir.



Şekil 3.16 Antijen ile antikor arasındaki 'kilit-anahtar' ilişkisi

T türü hücreler B hücrelerine göre daha fonksiyoneldir. T hücreleri B hücrelerinin bölünmesine, farklılaşmasına yardımcı olur. Yapay bağışıklık sistemleri uygulamalarında genellikle B hücrelerinin fonksiyonları kullanılmış, T hücrelerinin fonksiyonları dikkate alınmamıştır. Ancak T hücrelerinin fonksiyonlarını kullanan bazı çalışmalarda yapılmıştır (Mori ve ark. 1997, Lee ve ark. 1999).

Bağışıklık sistemi hücrelerinin öncelikle kendi hücreleri ile yabancı hücreleri bir birinden ayırt etmesi gerekir. İnsanda yaklaşık olarak 10^5 gen vardır. Bir genin bir proteine denk geldiği kabul edilirse, bağışıklık sistemi 10^{16} olası yabancı antijeni, 10^5 kendine ait proteini ayırt etmelidir (Forrest ve ark. 1993). Buna self-nonsel self ayrımı da denilmektedir.

3.8.2. Negatif Seçim

Timüste olgunlaşan T hücreleri kendine ait elemanları tanıyabilen reseptörler kazanır. Böylece kendi antijenlerini ayırt edebilir. Timüsten ayrılan T hücreleri kendi hücrelerine karşı toleranslı olarak kabul edilir. Böylece bu T hücreleri negatif seçim özelliği kazanmış olur (Döyen 2004).

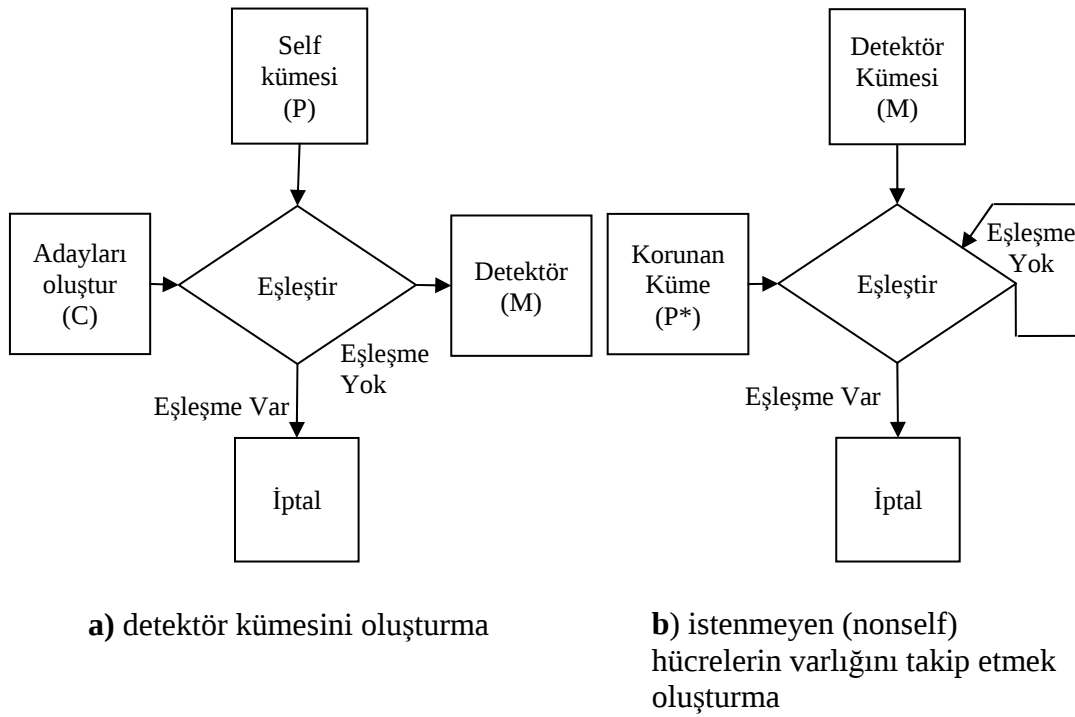
Negatif seçim fonksiyonun, desen tanıma, bilgisayar ve ağ güvenliği, zaman serileri tahmini, şekil denetimi ve belirlenmesi gibi anormal olmayan durumların

belirlenmesi problemlerinde kullanılması önerilmiştir. Bu fonksiyonlar Forrest ve ark. (1994) tarafından modellenmiştir.

Negatif seçim algoritmaları genellikle aşağıdaki gibi modellenmiştir:

- Korunacak modellerin kümesi belirli ve '*self-set*' (**P**) olarak adlandır.
- '*self-set*' kümesine ait olmayan elemanları tanımakla sorumlu bir *algılayıcılar* (*detektörler*) (**M**) kümesi oluştur.

Negatif seçim algoritmasının çalışma yöntemi Şekil 3.17'de verilmiştir (De Castro ve Von Zuben 2000).



Şekil 3.17 Negatif seçim algoritması ile model tanıma

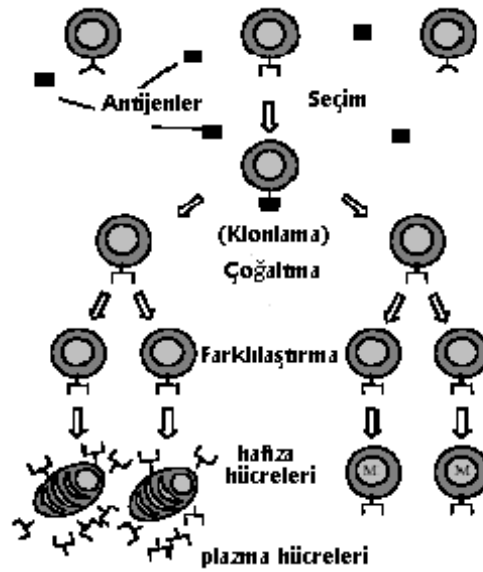
3.8.3. Klonal Seçim

Klonal seçim, negatif seçimi tamamlayıcı olarak; B hücrelerinin belirlediği yabancı hücrelere nasıl tepki verileceğini açıklamak için kullanılmaktadır (De Castro ve Von Zuben 2002).

Antijenin vücuda girdiği tespit edildiği zaman kemik iliği tarafından B lenfositleri salgılanır. B hücrelerinin antikorları antijenlerle birleştiği zaman T hücrelerinin de yardımıyla B hücrelerini aktif hale getirir. B hücresi popülasyondaki miktarını artırmak için çoğalmaya başlar ve farklılaşarak plazma hücreleri denilen bölünebilme özelliğini yitirmiş sadece antikor salgılayan hücrelere dönüşür (De Castro ve Von Zuben 2000). Beyaz plazma hücreleri en fazla antikor salgılayan türüdür. Bölünen B hücreleri daha az antikor salgılamaya başlar. Tüm bu olaylar sırasında T hücreleri düzenleyici olarak görev yapar (Döyen 2004).

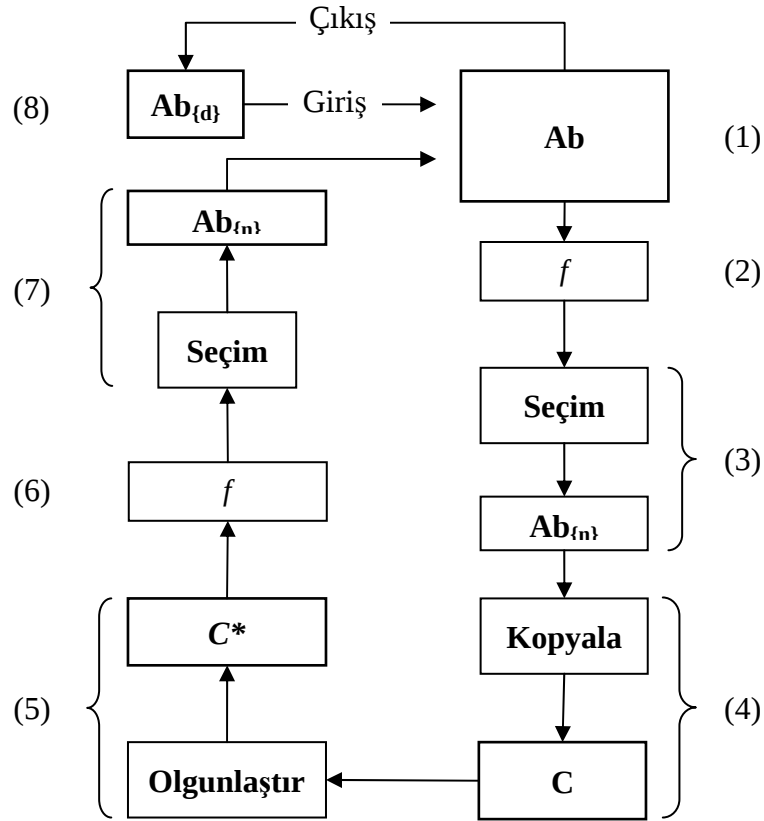
Bağışıklık sisteminde çoğalma mitoz hücre bölünmeleri ile sağlanır. Bu nedenle çoğalma sonrası sistemde bir birinin aynısı olan birçok hücre bulunur. Bu hücrelerin sayısı ilgili hücre antikorunun antijeni tanıma yüzdesiyle doğru orantılıdır (Döyen 2004)).

Antijeni tanıyan bu hücrelerden iyi olanlar seçilerek uzun ömürlü hafıza hücresi olarak da tanımlanan B hücrelerine dönüştürülür. Dönüşümü yapılacak hücreler yine antijeni tanıma yüzdesine göre seçilir. Hafıza hücreleri kan damaları ve lenf kanalları vasıtasıyla vücudu dolaşır. Tekrar antijenle karşılaştığında yüksek benzerlikte antikorlar üretme kabiliyeti gösteren lenfositlere dönüşebilir (De Castro ve Von Zuben 2000). Klonal seçimin yapısı Şekil 3.18'te (De Castro ve Von Zuben 2001) gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Klonal seçimin yapısı

Klonal seçim yapısı itibariyle Darwin'in evrim teorisinin üç temel fonksiyonu olan farklılaştırma, çeşitlendirme ve doğal seleksiyon fonksiyonlarını kullandığından dolayı evrim teorisine benzetilebilir. Antikor üretimini gerçekleştiren iki süreç, genetik rekombinasyon ve mutasyon, üreme hücrelerinin biyolojik evrimi ile aynıdır. Bu süreçler organizmanın çevreye uyumunu gerçekleştiren çeşitlemeleri sağlamaktadır. Kümülatif rastgele çeşitleme ve doğal seleksiyon milyonlarca yıl boyunca organizmalar üzerinde devam etmiş ve biyolojik evrim gerçekleşmiştir. Bağışıklık sistemi üzerine yapılan çalışmalar da adaptasyonu sağlayan değişikliklerin kümülatif bir çeşitleme ve seçim ile başarılabilirliğini göstermiştir (Döyen 2004). De Castro ve Von Zuben (2000) önerdikleri klonal seçim algoritması (CLONALG) ile bahsi geçen bu rastgele çeşitlemenin karmaşık problemler için yüksek kalitede çözümler meydana getirebileceğini göstermişlerdir. Bu yaklaşım, birçok araştırmacıya ortaya koydukları YBA algoritmasına da temel oluşturmuştur. Şekil 3.19'de (De Castro ve Von Zuben 2001) CLONALG algoritmasının blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.19 CLONALG algoritması

Algoritma aşağıdaki şekilde işlemektedir (Engin ve ark. 2004):

1. Optimize edilecek bir $g(.)$ amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Bir antikorun yakınlık değeri, verilen antikor için hesaplanan amaç fonksiyonunun değerine karşılık gelir. Her bir Ab_i antikoru, girdi kümesinin (Ab) bir elemanını oluşturur.
2. Her bir Ab_i için f yakınlık değeri (amaç fonksiyon değeri) hesaplanır.
3. En yüksek yakınlığı gösteren (en yüksek amaç fonksiyonu değerine sahip) n tane antikor Ab kümesinden seçilir ve yeni bir $Ab_{\{n\}}$ kümesi oluşturulur.
4. Seçilen n tane antikor bağımsız olarak ve antijenik benzerlikleriyle orantılı olarak klonlanır (kopyalanır). Klonlar (kopyalar) bir C repertuarı oluşturur: seçilen n antikoru her biri için oluşturulan klon (kopya) sayısı f yakınlık

değeri ile orantılıdır. Daha yüksek antijenik yakınlık (daha yüksek uygunluk değeri), daha fazla sayıda kopya (klon) demektir.

5. C repertuarı, antijenik yakınlık ile ters orantılı olarak olgunlaştırma (hiper mutasyon) sürecine uğratılır. Bu süreç sonunda olgunlaştırılmış kopyaların oluşturduğu bir C^* ; mutasyona uğratılmış kopyalar popülasyonu oluşturulur. Kopyaların mutasyona uğratılma oranı yakınlık değerleri ile ters orantılıdır: Daha yüksek yakınlık (daha yüksek uygunluk değeri), daha az mutasyon oranı demektir.
6. Mutasyona uğratılmış C^* kopyalarının yakınlık (uygunluk) değerleri hesaplanır.
7. En yüksek uygunluk değerine sahip n tane antikor yeniden seçilir ve Ab kümesine eklenir.
8. Son olarak, Ab kümesinden en düşük benzerlik değerine sahip d tane antikor, yeni oluşturulmuş antikorlar ile değiştirilir.

3.8.4. Bağışıklık Sistemlerinde Öğrenme

Bağışıklık sisteminde öğrenme, antijenleri tanıyan lenfositlerin popülasyon içerisinde çoğalmasıyla ve antijenlere olan benzerliklerinin geliştirmeleriyle ortaya çıkar (De Castro ve Timmis 2002). Lenfositlerin popülasyon içerisinde çoğalması klonal seçim mekanizmasıyla gerçekleşir. Lenfositlerin antijenlere olan yakınlıklarını geliştirilmesi ise farklılaştırma ve algılayıcı düzenlemesi ile sağlanmaktadır (Döyen 2004).

Hafıza tepkisi sonucu üretilen antikorlar, ilk antikorlara göre antijenler ile daha iyi benzeşirler. T hücrelerine ihtiyaç duyan tepkilerle sınırlı bu fenomene “bağışıklık tepkisinin (antikor-antijen yakınlığı) geliştirilmesi” denir. Yakınlık geliştirme, tüm mutasyon süreçlerini ve mutasyondan sonra antijenle daha yüksek yakınlık gösteren mutasyona uğratılmış hücrelerin seçimini kapsamaktadır (De Castro ve Timmis 2003).

Bağışıklık sisteminin evriminde canlı bir antijen ile hayatı boyunca defalarca karşılaşır. Bir antijen saldırısına ilk tepki her biri farklı benzerlik derecesinde antikor üreten, düşük benzerlik değerine sahip B hücreleri tarafından verilir. Bağışıklık sisteminin ikinci saldırıya verdiği tepkinin etkinliği ilk enfeksiyon sonucunda oluşan

hafıza hücrelerinin sayısı ile artırılır. Bağışıklık sistemini bu özelliğinden dolayı antijenlerle karşılaştıktan sonra tepki süresi ve doğruluğu artar. Bu seçim ve mutasyon algoritmasını sürekli tekrarlanır ve bağışıklık sistemi yüksek benzerlikteki antikoru üretmeyi “*öğrenir*”. İşte bu süreç, sistemin yeteneğini sürekli olarak artırmayı sağlayan bir *güçlendirilmiş öğrenme stratejisi* dir (De Castro ve Von Zuben 2001).

3.8.5. Bağışıklık Sistemleri Kullanılarak Yapılan İlk Çalışmalar

Yapay bağışıklık alanındaki çalışmalar Farmer ve ark. (1986) tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmadan sonra yapay bağışıklık sistemlerine olan ilgi giderek artmıştır. Yapay bağışıklık algoritmaları öncelikli olarak bilgisayar sistemlerinde gelişmiştir.

Forrest ve ark. (1994) yaptığı bir çalışmada virüs denetimi için yapay bağışıklık sistemi uygulamışlardır. Çalışmada negatif seçim algoritması kullanılmıştır. ‘self ve ‘non-self’ ayrımını yapabilen algoritmaları, bilgisayarlara virüs girmesini engellemiştir.

Daha sonra Forrest ve ark. (1997a) benzer bir yapıyı kullanarak sisteme kayıtlı olmayan kullanıcıları engellemek için kullanmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmayı daha da geliştirerek daha kapsamlı bir güvenlik sistemi oluşturmuşlardır (Forrest ve ark. 1997b). Bu çalışmayı geliştiren Hofmeyr ve Forrest (2000), yerel ağlarını saldırılardan korumak için daha ileri bir model önermişlerdir.

Mori ve ark. (1997) ile Fukuda ve ark. (1999) bir yarı iletken fabrikasında üretimi kontrol altında tutmak için otonom dağıtılmış sistem tasarlamışlardır. Üretimi kontrol etmek için ajanlar (agents) kullanmışlardır. Bu ajanlar lenfositler gibi bir biriyle iletişim halindedir. Kullanmış oldukları model omurgalı canlılardaki bağışıklık sistemine benzemektedir. Detektör ajanlar sistemdeki aksaklıkları belirler (B hücreleri). Öngörmüş oldukları sistemin uygulaması yapılmamıştır. Ancak yazarlar sistemin değişen çevreye uyum sağlamada başarılı olacağını iddia etmişlerdir.

Bu çalışmalardan sonra yapay bağışıklık sistemleri farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kaynak araştırması bölümünde yakın zamanda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

3.9. Yapay Bağışıklık Algoritması

Oluşturulan yeni algoritmada literatürde yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak işler değil operasyonlar sıralanmaktadır. Sıralanacak operasyon sayısı $n \times s$ adettir. n burada iş sayısını s ise aşama sayısını göstermektedir. Sıralama işleminde öncelik kurallarına uyulmaktadır. İşler operasyon sıralarına uygun olarak makinelerden geçmektedir.

Ortaya atılan yeni yapay bağışıklık sistemi iki temel bağışıklık prensibi üzerine kurulmuştur. Bunlar;

1. Bağışıklık sisteminin temelleri yeni bireylere ebeveyninden transfer edilir. Yeni birey ebeveyninin temel bağışıklık sistemine sahiptir.
2. Yeni oluşan bireyin bağışıklık sistemi zayıftır. Bağışıklık sistemi zaman içerisinde güçlenir. Deneyiminin gelişmesinde bulunduğu çevre çok önemlidir.

Yukarıda bahsi geçen iki temel kural insan yaşamı için hayatidir. Her bebek annesinden temel bağışıklığı edinmiş olarak dünyaya gelir ve çevresiyle olan etkileşim sonucunda bağışıklık sistemini geliştirir, güçlendirir. Bazen bu sisteme aşı ve ilaçlar yardımıyla dışarıdan müdahale edilebilir.

3.9.1. Yapay Bağışıklık Algoritması İşlem Adımları

Başlangıç değerlerini gir:
İş sayısı (n);
Operasyon sayısı (s);
Bulanık işlem zamanları;
Bulanık teslim zamanları;
AI sisteminin değerlerini gir:
Başlangıçtaki bağışıklığı oluşturan iterasyon
Antikor güven düzeyi başlangıcı
Antikor güven düzeyi yükselme oranı
İterasyon sayısı
Başlangıçtaki bağışıklığı oluşturan iterasyon sayısı kadar üret
Üretilen her bir operasyon dizisi için:
Amaç fonksiyonunu hesapla;
Dizilimlerdeki operasyon pozisyonlarına göre analiz tablolarını oluştur
İterasyon sayısı kadar dizilim oluştur
Oluşturulan her bir operasyon dizisi için:
Mutasyon yöntemini uygula
Oluşan her bir operasyon dizisi için:
Amaç fonksiyonunu hesapla;
Eğer yeni operasyon dizisinin amaç fonksiyonu değeri bilinen en iyi değerden
daha iyiye yeni dizilimi sakla.
Dizilimlerdeki operasyon pozisyonlarına göre analiz tablolarını güncelle.
Antikor güven düzeyini kontrol et

3.9.2. YB Algoritmasının Örnek Üzerinde İncelenmesi

Önerilen algoritma aşağıdaki örnek üzerinde kısaca izah edilmiştir.

Örneğin 3 iş ve 2 makineden oluşan akış tipi çizelgeleme problemini ele alalım. Problem akış tipi olduğundan işlerimiz sırası ile önce birinci makine de işlem görecektir daha sonra ikinci makineye geçecek ve işlem gördükten sonra sistemi terk edecektir. Bu problemimiz için toplam yapılması gereken 6 operasyon mevcuttur (operasyon sayısı = iş sayısı x makine sayısı). Önerilen yeni mutasyon yönteminde operasyon dizileri oluşturulacaktır. Algoritma adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: Çizelgelenecek operasyonlar kümesini belirlenir. Verilen örnekte toplam 3 iş olduğundan ve başlangıçta her bir işin ilk operasyonunun çizelgelenmesi gerektiğinden çizelgelenecek operasyonlar kümesi aşağıdaki gibi oluşur,

$S_1 = \{11, 21, 31\}$ bu kümedeki 11 ifadesi, 1. İşin 1. Makine da yapılmasını; 21 ifadesi, 2. işin 1. makine da yapılmasını ve 31 ifadesi de 3. işin 1. makinede yapılması gerektiğini göstermektedir. Bu kümedeki bütün işlerin, birinci makine de yapılma zorunluluğu olduğundan, bu işlerden sadece bir tanesi başlangıçta birinci makine de yapılabilir. S_1 kümesinde yer alan operasyonlardan biri rastsal olarak seçilir ve sıralanmış operasyonlar dizisinin ilk elemanını oluşturur.

Örneğin S_1 kümesinden 21 operasyonunu seçtiğimizi kabul edelim. Bu durumda çizelgelenecek işler kümesi S_2 aşağıdaki gibi olur.

$S_2 = \{11, 22, 31\}$ S_2 kümesinde görüldüğü gibi 11 ve 31 operasyonları daha önceden yapılmadığı için S_2 kümesinde doğrudan yer alır. 21 operasyonu yapıldığı için S_2 kümesinde bu operasyon çıkarılarak yerine bir sonraki operasyon olan 22 yer almıştır. 22 operasyonu, 2. işin 2. operasyonunu göstermektedir.

Yukarıdaki işlemler, çizelgelenecek operasyonlar kümesinde hiç eleman kalmayınca kadar devam ettirilir. Birinci adım sonucunda bütün işlerin operasyonlarının sıralandığı bir operasyon dizisi elde edilmiş olur. Elde edilen bu operasyon dizisinin amaç fonksiyonu hesaplanır.

Adım 2: Adım 1'dekine benzer şekilde ikinci bir operasyon dizisi oluşturulur ve oluşturulan operasyon dizisinin amaç fonksiyonu hesaplanır. Her iki operasyon dizisinin amaç fonksiyonlarının yüzde sapma değerleri aşağıdaki ifade yardımıyla belirlenir.

$$\% \text{ sapma} = \frac{\begin{matrix} 1. \text{ operasyon dizisi amaç} \\ \text{fonksiyonu değeri} \end{matrix} - \begin{matrix} 2. \text{ operasyon dizisi amaç} \\ \text{fonksiyonu değeri} \end{matrix}}{\begin{matrix} 2. \text{ operasyon dizisi amaç fonksiyonu değeri} \end{matrix}} \times 100 \quad (3.14)$$

Adım 3: Yüzde sapma değerlerinin yer aldığı bir tablo oluştur. Adım 2 de hesaplanan değerlere göre her bir operasyon için sıra ile bulunan yüzde sapma değerleri tabloda ilgili satır ve sütuna kayıt edilir.

Adım 4: Başlangıçtaki bağışıklığı oluşturan iterasyon sayısı kadar Adım 1 tekrarlanır, Adım 2 ve Adım 3 uygulanarak tablo güncellenir.

Yüzde sapma değerleri pozitif ya da negatif olabileceğinden dolayı, pozitif bulunan değerler bir önceki yüzde sapma ile toplanır, negatif olanlar ise yüzde sapma değerlerinden çıkartılır. Böylece kötü sonuçlarda bir anlam ifade etmiş olacaktır.

Başlangıçtaki bağışıklığı oluşturan iterasyon sayısına ulaşıldığında Adım 5'e geçilir.

Adım 5: Antikor güven düzeyi başlangıç parametresi belirlenir. Bu parametre 0 ile 1 aralığında seçilir. Antikor güven düzeyi parametresinin 0 olması, hesaplanan yüzde sapma değerleri toplamına hiç güvenilmediğini, 1 olması ile güven düzeyinin tam olduğunu gösterir.

Yüzde sapma değerlerinin yer aldığı tablodaki her bir operasyon için başlangıçta hesaplanan toplam yüzde sapma değerleri, antikor güven düzeyi başlangıç parametresi ile çarpılır. Böylece operasyon dizisinde yer alan her bir operasyon için, güvenlik düzeyi belirlenmiş değerler elde edilir. Adım 6'ya geçilir.

Adım 6: Adım 1'de yapılan işleme benzer şekilde çizelgelenecek operasyonlar kümesini belirlenir. Örneğimizde toplam 3 iş olduğundan ve başlangıçta her bir işin ilk operasyonunun çizelgelenmesi gerektiğinden çizelgelenecek operasyonlar kümesi aşağıdaki gibi olur,

$S_1 = \{11, 21, 31\}$ S_1 kümesinde yer alan operasyonlardan herhangi birinin seçimi, Adım 1' de rastsal olarak yapılmış idi, oysa burada uygun operasyonun seçiminde güvenlik düzeyi belirlenmiş değerler dikkate alınır. Adım 5 hesaplanan değerler dikkate alınarak rulet çemberi seçim yöntemi yardımıyla uygun operasyon seçilir. Güvenlik düzeyi değeri yüksek olan operasyonların seçilme olasılığı daima diğerlerine göre daha yüksek olacaktır.

Yukarıdaki işlemler, çizelgelenecek operasyonlar kümesinde hiç bir eleman kalmayınca kadar devam ettirilir. Bütün işlerin operasyonlarının sıralandığı bir operasyon dizisi elde edilmiş olur. Elde edilen bu operasyon dizisinin amaç fonksiyonunu hesaplanır.

Adım 3 deki gibi yüzde sapma değerlerinin bulunduğu tablo güncellenir.

Adım 7: Antikor güven düzeyi başlangıç parametresi olarak 0,1 seçmiş olalım ve örneğin 0,1’lik artışlar kullanacak olalım. Ulaşabileceğimiz üst sınır olan 1 değerine kadar antikor güven düzeyi yükseltilir.

Bu yükseltirme işlemi logaritmik olarak yapılmaktadır. Yani iterasyon sayısı artıkça antikor güven düzeyin de artış sıklığı artarak artmaya devam etmektedir. Böylece güven düzeyi parametresi logaritmik bir yapı kazanmaktadır.

Antikor güven düzeyi artırılarak Adım 6’daki işlemler tekrarlanır. İterasyon sayısı tamamlandığında Adım 8’e geçilir.

Adım 8: İterasyon durdurulur, amaç fonksiyonu en uygun olan diziler çözüm olarak kabul edilir.

Önerilen bu yeni yapay bağışıklık sisteminde öncelikle yeni bireyin bağışıklık performansı rastsal olarak oluşturulmakta sonraki aşamalarda ise oluşturulan bu rastsal sistem küçük iyileştirmelerle, lokal çözüm alanlarına yoğunlaştırılarak sürekli güçlendirilmektedir. İterasyon sonuna yaklaştıkça kötü lokal çözümler terk edilmektedir. Yukarıda anlatılan süreç sistemin lokal çözümleri yeterince irdelemesine ve zamanı geldiğinde lokalde kurtulmasını sağlamaktadır.

3.9.3. YBA’da Kullanılan Parametreler

Geliştirilen yeni yapay bağışıklık sisteminin performansı, seçilen parametrelere bağlıdır. Aşağıda yer alan Tablo 3.4’de ÇİEATÇ ve Bulanık ÇİEATÇ problemleri için kullanılacak en iyi parametrelerin belirlenmesi amacıyla ön çalışma ile elde edilen olası değerler yer almaktadır.

Tablo 3.4 Problemler için kullanılan parametre değerleri

Kontrol Parametreleri	Kontrol Parametre Değerleri
Başlangıçtaki bağışıklığı oluşturan iterasyon sayısı	1.000 ; 2.500 ; 5.000 ; 10.000 ; 15.000
Antikor güven düzeyi başlangıcı	0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9
Antikor güven düzeyi yükselme oranı	0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9
İterasyon sayısı	2.500 ; 5.000 ; 10.000 ; 15.000

Tablo 3.4’de yer alan parametrelerden yukarıda yer alan algoritma adımlarında ve örnek açıklamasında bahsetmiştik. Kısaca bu parametreleri özetlemek gerekirse;

Başlangıçtaki bağışıklığı oluşturan iterasyon sayısı: Her canlı ebeveyninden bağışıklığın bir kısmını taşıyarak kendi hayatına başlar. Bu parametre başlangıçtaki bağışıklığın oluşturulması için kullanılır.

Antikor güven düzeyi başlangıcı: Her canlıdaki bağışıklık sistemi ilk zamanlarında zayıftır. Bu parametre algoritmanın bulduğu sonuçlara ne kadar değer vereceğini gösterir.

Antikor güven düzeyi yükselme oranı: Zaman içerisinde canlılardaki bağışıklık sistemi gelişir. Bu parametre bağışıklığın gelişme hızını belirler.

İterasyon sayısı: Canlının ömrünü ya da bir dönemini temsil eder. Algoritmanın ne kadar tekrarlayacağını belirler.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. Veri Toplama

ÇİEATÇ ve Bulanık ÇİEATÇ problemlerinin, YBA algoritması ile çözümü için iki ayrı program Borland Delphi 7.1 ile hazırlanmıştır. Programlardan birinin ekran görüntüsü Şekil 4.1’de görülmektedir.

Şekil 4.1 Bulanık YBA programına ait ekran görüntüsü.

Çözülen problemler Oğuz’un (2005) çok işlemcili esnek akış tipi çizelgeleme problemleri ve Gözen (2007)’nin bulanık çok işlemcili esnek akış tipi çizelgeleme problemleri olup Intel Pentium 4 3.0 GHz işlemcili, 1 GB RAM’i bulunan özdeş bilgisayarda hazırlanan programlar yardımıyla çözülmüştür.

ÇİEAT problemleri için elde edilen sonuçlar Oğuz ve Ercan'ın (2005) GA sonuçları ve Ceran (2006)'ın GA sonuçları ile bulanık ÇİEAT problemleri için elde edilen sonuçlar ise Gözen'nin (2007) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılma tablolarında çözüm zamanlarına değerler sıfır ya da salise cinsinden olduğu için yer verilmemiştir. Bu değerlere eklerde yer alan çözüm dosyalarından ulaşılabilir.

ÇİEAT problemleri için çözüm kalitesi, YBA'nın elde ettiği en iyi çözümler (C_{max}) ile problemin bilinen alt sınır değeri (ASD) arasındaki yüzde sapma miktarı ile ölçülmektedir. ÇİEAT problemleri için yüzde sapma miktarı 4.1'deki ifadeye göre hesaplanır.

$$\% Sapma_{Cmax} = \frac{Karşılaştırılan\ sonuç - ASD}{ASD} \times 100 \quad (4.1)$$

Bulanık ÇİEAT problemleri için çözüm kalitesi ise yeni YBA'nın elde ettiği sonuçlar ile Gözen'nin (2007) elde ettiği sonuçların ayrıntılı olarak karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Yüzde sapma miktarına ek olarak iyi sonuç bulup bulamadıkları da karşılaştırılmıştır. Bulanık ÇİEAT problemleri için bulanık tamamlanma zamanının yüzde sapma miktarı 4.2'deki ifadeye göre hesaplanır. Ayrıca uyumlaştırma indeksindeki yüzde sapma miktarı ise 4.3'deki ifadeyle bulunur.

$$\% Sapma_{FCmax} = \frac{Gözen\ (2007)\ Sonucu - Yeni\ YBA\ Sonucu}{Yeni\ YBA\ Sonucu} \times 100 \quad (4.2)$$

$$\% Sapma_{Uj} = \frac{Yeni\ YBA\ Sonucu - Gözen\ (2007)\ Sonucu}{Gözen\ (2007)\ Sonucu} \times 100 \quad (4.3)$$

Problemlerin çözümüne geçilmenden önce parametre optimizasyonu yapılarak en iyi sonuçları üreten parametreler belirlenmiştir. Parametre optimizasyonu sonucunda elde edilen değerler kullanılarak her bir problem yirmi beşer kez çözülmüştür.

4.2. Parametre Optimizasyonu

Ortaya konulan yapay bağıklık algoritması için belirlenen parametrelerden dördüncü bölümde bahsedilmişti. Yine üçüncü bölümde üzerinde çalışılan problemler tanıtılmıştı. Problemlerin en belirgin zorluk derecesini oluşturan parametreleri aşama ve iş sayılarıdır. Bu nedenle her aşama ve işten beş numaraları problemler seçilerek Tablo 4.1’de belirlenen parametreler tam faktöriyel olarak uygulanmıştır. Ancak antikor güven düzeyi yükselme oranı, antikor güven düzeyi başlangıcına eklendiği için tüm değerler kullanılamamıştır. Elde edilen sonuçlardan en iyileri aynı aşama ve iş sayısına sahip problemlerin çözümü için kullanılmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 4.1’de elde edilen en iyi parametreler yer almaktadır.

Tablo 4.1’de yer alan değerlerin bulunduğu çözüm dosyalarına eklerde ulaşılabilir.

Tablo 4.1 Parametre optimizasyonu sonuçları

Aşama Sayısı	İş Sayısı	Başlangıçtaki bağıklık oluşturulan iterasyon sayısı	Antikor güven düzeyi başlangıcı	Antikor güven düzeyi yükselme oranı	İterasyon Sayısı
2	5	1.000	0,8	0,1	2.500
2	10	1.000	0,8	0,1	2.500
2	20	2.500	0,6	0,1	2.500
2	50	2.500	0,6	0,2	5.000
2	100	5.000	0,6	0,1	5.000
5	5	2.500	0,7	0,1	2.500
5	10	2.500	0,6	0,2	2.500
5	20	2.500	0,6	0,1	5.000
5	50	5.000	0,5	0,1	5.000
5	100	5.000	0,6	0,1	10.000
8	5	1.000	0,8	0,1	5.000
8	10	2.500	0,7	0,1	5.000
8	20	5.000	0,3	0,3	5.000
8	50	5.000	0,3	0,2	10.000
8	100	5.000	0,6	0,1	10.000

4.3. ÇİEATÇ Problemlerinin Çözümlerinin Analizi

Tez kapsamında ÇİEATÇ problemleri olarak Oğuz'un (2005) kıyaslama problemleri çözülmüştür. YBA ile elde edilen sonuçlar Oğuz ve Ercan'ın (2005) GA ve Ceran'ın (2006) GA ile elde ettikleri çözümler birlikte karşılaştırmalı olarak Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de sunulmuştur. YBA ile elde sonuçlardan alt sınır değerine (ASD) ulaşanlar koyu renkle belirginleştirilmiştir. Çözüm işlemi her bir problem için 25 defa tekrarlanmıştır.

Tablo 4.2 ÇİEATÇ *P* tipi 2 aşamalı problemler için kıyaslama

Problem	% Sapma Cmax			Sonuç	
	Oğuz ve Ercan	Ceran (2006)	YBA	Oğuz ve Ercan	Ceran (2006)
	(2005)			(2005)	
P10S2T01	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S2T02	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S2T03	5,96	5,96	5,96	Aynı	Kötü
P10S2T04	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S2T05	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S2T06	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S2T07	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S2T08	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S2T09	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S2T10	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S2T01	2,00	2,61	2,46	Kötü	İyi
P20S2T02	2,37	1,64	1,82	İyi	Kötü
P20S2T03	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S2T04	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S2T05	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S2T06	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S2T07	0,34	0,34	0,34	Aynı	İyi
P20S2T08	0,28	0,28	0,28	Aynı	Kötü
P20S2T09	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S2T10	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P50S2T01	1,75	0,61	0,60	İyi	İyi
P50S2T02	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P50S2T03	0,59	0,00	0,00	İyi	Aynı
P50S2T04	1,24	0,68	0,68	İyi	İyi
P50S2T05	0,35	0,24	0,24	İyi	Kötü
P50S2T06	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P50S2T07	2,72	0,69	0,69	İyi	Kötü
P50S2T08	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P50S2T09	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P50S2T10	0,26	0,05	0,05	İyi	Kötü
P1HS2T01	0,53	0,72	0,72	Kötü	İyi
P1HS2T02	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P1HS2T03	0,81	0,69	0,69	İyi	Kötü
P1HS2T04	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P1HS2T05	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P1HS2T06	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P1HS2T07	0,93	0,66	0,66	İyi	Kötü
P1HS2T08	0,02	0,00	0,00	İyi	Aynı
P1HS2T09	0,11	0,68	0,68	Kötü	Kötü
P1HS2T10	0,10	0,24	0,24	Kötü	Kötü

Tablo 4.2 incelendiğinde YBA ile elde edilen çözümler sonucunda *PS2* tipi Oğuz'un (2005) kıyaslama problemlerinden 15 tanesinin çözümünde ASD bulunmuştur. 10 problem için Oğuz ve Ercan'dan (2005), 5 problem için ise Ceran'dan (2006) daha iyi sonuç bulunmuştur. 26 problem için Oğuz ve Ercan'la (2005), 25 problem için de Ceran'la (2006) aynı sonuca ulaşılmıştır. 4 problemin sonucu Oğuz ve Ercan'dan (2005), 10 problemin sonucu ise Ceran'dan (2006) daha kötüdür.

Tablo 4.3 ÇİEATÇ *P* tipi 5 aşamalı problemler için kıyaslama

Problem	% Sapma Cmax			Sonuç	
	Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)	YBA	Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)
P10S5T01	4,53	4,88	4,88	Kötü	Kötü
P10S5T02	6,02	6,02	6,02	Aynı	Kötü
P10S5T03	7,54	7,54	7,54	Aynı	Kötü
P10S5T04	8,61	11,76	11,75	Kötü	İyi
P10S5T05	3,68	3,68	3,68	Aynı	Kötü
P10S5T06	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P10S5T07	8,21	8,21	8,21	Aynı	Kötü
P10S5T08	2,74	2,26	2,26	İyi	Kötü
P10S5T09	9,08	10,19	10,19	Kötü	Kötü
P10S5T10	10,42	12,66	12,66	Kötü	Kötü
P1HS5T01	1,57	1,57	1,57	Aynı	İyi
P1HS5T02	7,16	7,17	7,16	Aynı	İyi
P1HS5T03	2,56	3,26	3,61	Kötü	Kötü
P1HS5T04	2,27	0,00	0,00	İyi	Aynı
P1HS5T05	2,31	1,68	1,68	İyi	Kötü
P1HS5T06	2,65	1,88	1,88	İyi	Kötü
P1HS5T07	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P1HS5T08	3,52	3,13	3,13	İyi	Kötü
P1HS5T09	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P1HS5T10	7,16	6,86	6,86	İyi	İyi
P20S5T01	0,91	0,91	0,91	Aynı	İyi
P20S5T02	4,54	1,10	1,10	İyi	Kötü
P20S5T03	1,00	1,00	1,00	Aynı	Kötü
P20S5T04	0,62	2,52	2,52	Kötü	Kötü
P20S5T05	2,58	0,00	0,00	İyi	Aynı
P20S5T06	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S5T07	1,10	0,51	0,51	İyi	Kötü
P20S5T08	2,45	1,10	1,10	İyi	Kötü
P20S5T09	5,10	0,00	0,00	İyi	Aynı
P20S5T10	0,27	0,59	0,59	Kötü	İyi
P50S5T01	3,49	0,00	0,00	İyi	Aynı
P50S5T02	1,54	0,00	0,00	İyi	Aynı
P50S5T03	3,82	0,67	0,67	İyi	İyi
P50S5T04	1,43	1,13	1,13	İyi	Kötü
P50S5T05	2,35	0,00	0,00	İyi	Aynı
P50S5T06	3,59	2,92	2,92	İyi	İyi
P50S5T07	0,30	0,00	0,00	İyi	Aynı
P50S5T08	0,67	0,00	0,00	İyi	Aynı
P50S5T09	1,38	0,00	0,00	İyi	Aynı
P50S5T10	3,25	2,99	2,99	İyi	İyi

Tablo 4.3 incelendiğinde YBA ile elde edilen çözümler sonucunda *PS5* tipi Oğuz'un (2005) kıyaslama problemlerinden 13 tanesinin çözümünde ASD bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında 21 problem için Oğuz ve Ercan'dan (2005), 9 problem için ise Ceran'dan (2006) daha iyi sonuç bulunmuştur. 12 problem için Oğuz ve Ercan'la (2005), 13 problem için de Ceran'la (2006) aynı sonuca ulaşılmıştır. 7 problemin

sonucu Oğuz ve Ercan'dan (2005), 18 problemin sonucu ise Ceran'dan (2006) daha kötüdür.

Tablo 4.4 ÇİEATÇ *P* tipi 8 aşamalı problemler için kıyaslama

Problem	% Sapma Cmax			Sonuç	
	Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)	YBA	Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)
P10S8T01	21,27	23,66	23,66	Kötü	İyi
P10S8T02	26,18	31,87	31,87	Kötü	İyi
P10S8T03	20,03	21,79	21,79	Kötü	Kötü
P10S8T04	13,09	17,35	17,35	Kötü	Kötü
P10S8T05	1,90	4,21	4,21	Kötü	İyi
P10S8T06	0,41	0,41	0,41	Aynı	İyi
P10S8T07	24,76	30,10	30,10	Kötü	Kötü
P10S8T08	19,48	24,54	24,54	Kötü	İyi
P10S8T09	0,83	2,08	2,07	Kötü	İyi
P10S8T10	19,59	20,00	20,00	Kötü	Aynı
P20S8T01	8,16	9,60	9,60	Kötü	Kötü
P20S8T02	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S8T03	2,57	2,74	2,74	Kötü	Kötü
P20S8T04	1,59	7,08	7,08	Kötü	İyi
P20S8T05	3,15	2,30	2,30	İyi	İyi
P20S8T06	8,16	4,91	4,91	İyi	Kötü
P20S8T07	23,79	28,82	28,82	Kötü	İyi
P20S8T08	3,79	3,79	3,79	Aynı	İyi
P20S8T09	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
P20S8T10	4,12	3,95	3,95	İyi	Kötü
P50S8T01	2,71	5,29	5,29	Kötü	Kötü
P50S8T02	2,75	0,00	0,00	İyi	Aynı
P50S8T03	0,94	0,79	0,79	İyi	İyi
P50S8T04	4,76	2,70	2,70	İyi	İyi
P50S8T05	3,64	0,99	0,99	İyi	İyi
P50S8T06	1,88	0,31	0,31	İyi	İyi
P50S8T07	5,44	2,54	2,54	İyi	Kötü
P50S8T08	2,43	1,88	1,88	İyi	İyi
P50S8T09	4,76	3,41	3,41	İyi	İyi
P50S8T10	5,37	3,19	3,19	İyi	İyi
P1HS8T01	2,88	0,00	0,00	İyi	Aynı
P1HS8T02	3,57	0,16	0,16	İyi	İyi
P1HS8T03	1,99	0,64	0,64	İyi	İyi
P1HS8T04	2,15	0,10	0,10	İyi	Kötü
P1HS8T05	1,94	0,02	0,02	İyi	Kötü
P1HS8T06	3,42	1,10	1,10	İyi	İyi
P1HS8T07	2,43	0,02	0,02	İyi	Kötü
P1HS8T08	7,29	5,58	5,58	İyi	İyi
P1HS8T09	1,95	0,02	0,02	İyi	İyi
P1HS8T10	3,84	0,19	0,18	İyi	İyi

Tablo 4.4 incelendiğinde YBA ile elde edilen çözümler sonucunda *PS8* tipi Oğuz'un (2005) kıyaslama problemlerinden 4 tanesinin çözümünde ASD bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında 22 problem için Oğuz ve Ercan'dan (2005), 23 problem için

ise Ceran'dan (2006) daha iyi sonuç bulunmuştur. 4 problem için Oğuz ve Ercan'la (2005), 5 problem için de Ceran'la (2006) aynı sonuca ulaşılmıştır. 14 problemin sonucu Oğuz ve Ercan'dan (2005), 12 problemin sonucu ise Ceran'dan (2006) daha kötüdür.

Tablo 4.5 ÇİEATÇ Q tipi 2 aşamalı problemler için kıyaslama

Problem	% Sapma Cmax			Sonuç	
	Oğuz ve	Ceran (2006)	YBA	Oğuz ve	Ceran (2006)
	Ercan (2005)			Ercan (2005)	
Q10S2T01	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
Q10S2T02	5,01	5,01	5,01	Aynı	İyi
Q10S2T03	9,86	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q10S2T04	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
Q10S2T05	0,00	19,21	19,21	Kötü	Kötü
Q10S2T06	5,82	6,09	6,09	Kötü	Kötü
Q10S2T07	0,29	0,29	0,29	Aynı	İyi
Q10S2T08	12,33	93,33	93,33	Kötü	Kötü
Q10S2T09	4,08	4,08	4,08	Aynı	Kötü
Q10S2T10	7,33	7,33	7,33	Aynı	Kötü
Q20S2T01	7,19	7,33	7,19	Aynı	İyi
Q20S2T02	0,89	35,41	35,41	Kötü	Kötü
Q20S2T03	4,69	47,28	46,72	Kötü	İyi
Q20S2T04	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
Q20S2T05	0,84	1,55	1,55	Kötü	Kötü
Q20S2T06	0,43	1,42	1,42	Kötü	Kötü
Q20S2T07	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
Q20S2T08	0,37	0,37	0,37	Aynı	Kötü
Q20S2T09	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
Q20S2T10	1,83	2,28	2,28	Kötü	Kötü
Q50S2T01	0,16	0,16	0,16	Aynı	İyi
Q50S2T02	0,33	0,33	0,33	Aynı	Kötü
Q50S2T03	1,65	4,07	4,07	Kötü	Kötü
Q50S2T04	0,62	0,25	0,25	İyi	Kötü
Q50S2T05	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
Q50S2T06	2,35	22,22	22,21	Kötü	İyi
Q50S2T07	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
Q50S2T08	3,29	7,27	7,27	Kötü	Kötü
Q50S2T09	2,75	2,13	2,13	İyi	Kötü
Q50S2T10	2,57	10,33	10,33	Kötü	İyi
Q1HS2T01	2,25	2,21	2,21	İyi	Kötü
Q1HS2T02	1,90	1,36	1,36	İyi	Kötü
Q1HS2T03	3,85	4,36	4,36	Kötü	Kötü
Q1HS2T04	0,00	5,17	5,17	Kötü	İyi
Q1HS2T05	0,03	0,03	0,03	Aynı	İyi
Q1HS2T06	0,91	0,71	0,71	İyi	Kötü
Q1HS2T07	1,89	2,17	2,16	Kötü	İyi
Q1HS2T08	0,12	0,12	0,12	Aynı	Kötü
Q1HS2T09	1,64	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q1HS2T10	1,88	1,78	1,78	İyi	Kötü

Tablo 4.5 incelendiğinde YBA ile elde edilen çözümler sonucunda QS2 tipi Oğuz'un (2005) kıyaslama problemlerinden 9 tanesinin çözümünde ASD bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında 8 problem için Oğuz ve Ercan'dan (2005), 10 problem için ise Ceran'dan (2006) daha iyi sonuç bulunmuştur. 17 problem için Oğuz ve Ercan'la (2005), 9 problem için de Ceran'la (2006) aynı sonuca ulaşılmıştır. 15 problemin sonucu Oğuz ve Ercan'dan (2005), 21 problemin sonucu ise Ceran'dan (2006) daha kötüdür.

Tablo 4.6 ÇİEATÇ Q tipi 5 aşamalı problemler için kıyaslama

Problem	% Sapma Cmax			Sonuç	
	Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)	YBA	Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)
Q10S5T01	9,29	9,29	9,29	Aynı	İyi
Q10S5T02	1,54	2,56	2,56	Kötü	İyi
Q10S5T03	5,66	9,03	9,03	Kötü	İyi
Q10S5T04	6,92	14,83	12,85	Kötü	İyi
Q10S5T05	2,57	2,57	2,94	Kötü	Kötü
Q10S5T06	8,16	10,49	10,49	Kötü	Kötü
Q10S5T07	15,15	15,15	15,15	Aynı	İyi
Q10S5T08	3,81	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q10S5T09	0,00	0,00	0,00	Aynı	Aynı
Q10S5T10	13,16	13,16	13,16	Aynı	Kötü
Q20S5T01	3,53	2,26	2,26	İyi	Kötü
Q20S5T02	7,97	7,85	7,85	İyi	İyi
Q20S5T03	13,63	12,92	12,91	İyi	İyi
Q20S5T04	4,28	9,02	9,02	Kötü	Kötü
Q20S5T05	13,91	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q20S5T06	7,09	12,09	12,79	Kötü	Kötü
Q20S5T07	4,58	4,58	4,58	Aynı	Kötü
Q20S5T08	11,58	7,76	7,76	İyi	İyi
Q20S5T09	1,65	1,21	1,21	İyi	Kötü
Q20S5T10	5,35	4,12	4,12	İyi	Kötü
Q50S5T01	15,56	11,16	11,16	İyi	İyi
Q50S5T02	9,41	8,57	8,57	İyi	İyi
Q50S5T03	10,04	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q50S5T04	11,83	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q50S5T05	17,78	13,64	13,41	İyi	İyi
Q50S5T06	12,23	9,97	9,97	İyi	Kötü
Q50S5T07	8,29	1,42	1,42	İyi	Kötü
Q50S5T08	11,68	0,41	0,00	İyi	İyi
Q50S5T09	2,48	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q50S5T10	2,72	0,05	0,05	İyi	İyi
Q1HS5T01	18,95	7,81	7,14	İyi	İyi
Q1HS5T02	15,45	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q1HS5T03	16,21	0,23	0,00	İyi	İyi
Q1HS5T04	18,95	8,21	8,15	İyi	İyi
Q1HS5T05	24,87	10,73	9,44	İyi	İyi
Q1HS5T06	17,35	4,86	4,86	İyi	Kötü
Q1HS5T07	24,80	7,97	6,55	İyi	İyi
Q1HS5T08	18,32	2,66	2,66	İyi	Kötü
Q1HS5T09	21,10	0,44	0,44	İyi	İyi
Q1HS5T10	22,71	6,61	6,61	İyi	İyi

Tablo 4.6 incelendiğinde YBA ile elde edilen çözümler sonucunda QS5 tipi Oğuz'un (2005) kıyaslama problemlerinden 9 tanesinin çözümünde ASD bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında 28 problem için Oğuz ve Ercan'dan (2005), 20 problem için ise Ceran'dan (2006) daha iyi sonuç bulunmuştur. 5 problem için Oğuz ve Ercan'la (2005), 7 problem için de Ceran'la (2006) aynı sonuca ulaşılmıştır. 7 problemin sonucu Oğuz ve Ercan'dan (2005), 13 problemin sonucu ise Ceran'dan (2006) daha kötüdür.

Tablo 4.7 ÇİEATÇ Q tipi 8 aşamalı problemler için kıyaslama

Problem	% Sapma Cmax			Sonuç	
	Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)	YBA	Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)
Q10S8T01	15,86	25,13	18,01	Kötü	İyi
Q10S8T02	7,57	2,79	1,86	İyi	İyi
Q10S8T03	8,01	7,35	8,14	Kötü	Kötü
Q10S8T04	2,29	2,17	0,00	İyi	İyi
Q10S8T05	19,63	20,70	16,74	İyi	İyi
Q10S8T06	13,02	17,46	18,93	Kötü	Kötü
Q10S8T07	14,94	32,43	27,82	Kötü	İyi
Q10S8T08	13,58	14,94	0,25	İyi	İyi
Q10S8T09	18,05	19,94	19,47	Kötü	İyi
Q10S8T10	7,26	4,33	7,13	İyi	Kötü
Q20S8T01	11,17	11,58	11,58	Kötü	İyi
Q20S8T02	18,65	24,28	17,33	İyi	İyi
Q20S8T03	10,17	7,44	7,44	İyi	İyi
Q20S8T04	9,44	8,20	8,20	İyi	Kötü
Q20S8T05	18,47	21,33	21,33	Kötü	İyi
Q20S8T06	11,17	10,04	10,04	İyi	İyi
Q20S8T07	40,29	21,63	21,62	İyi	İyi
Q20S8T08	21,61	22,15	22,15	Kötü	İyi
Q20S8T09	20,13	21,95	21,95	Kötü	İyi
Q20S8T10	14,92	13,81	13,81	İyi	Kötü
Q50S8T01	20,49	18,71	18,70	İyi	İyi
Q50S8T02	14,61	14,92	14,92	Kötü	Kötü
Q50S8T03	9,23	0,59	0,58	İyi	İyi
Q50S8T04	24,14	19,68	19,68	İyi	Kötü
Q50S8T05	22,41	11,92	11,92	İyi	Kötü
Q50S8T06	13,73	10,99	10,98	İyi	İyi
Q50S8T07	9,45	0,69	0,00	İyi	İyi
Q50S8T08	24,39	32,05	33,89	Kötü	Kötü
Q50S8T09	14,83	12,83	12,83	İyi	Kötü
Q50S8T10	15,65	7,85	7,85	İyi	Kötü
Q1HS8T01	10,58	6,78	6,78	İyi	İyi
Q1HS8T02	8,46	2,41	2,41	İyi	Kötü
Q1HS8T03	14,86	9,71	9,71	İyi	Kötü
Q1HS8T04	16,20	7,79	7,21	İyi	İyi
Q1HS8T05	16,00	9,87	9,87	İyi	İyi
Q1HS8T06	16,97	13,99	13,99	İyi	Kötü
Q1HS8T07	15,69	8,97	8,97	İyi	İyi
Q1HS8T08	15,46	15,20	15,20	İyi	Kötü
Q1HS8T09	11,23	0,00	0,00	İyi	Aynı
Q1HS8T10	9,15	5,69	5,69	İyi	Kötü

Tablo 4.7 incelendiğinde YBA ile elde edilen çözümler sonucunda QS8 tipi Oğuz'un (2005) kıyaslama problemlerinden 2 tanesinin çözümünde ASD bulunmuştur.

Genel olarak bakıldığında 29 problem için Oğuz ve Ercan'dan (2005), 23 problem için ise Ceran'dan (2006) daha iyi sonuç bulunmuştur. 11 problemin sonucu Oğuz ve Ercan'dan (2005), 16 problemin sonucu ise Ceran'dan (2006) daha kötüdür.

Oğuz'un (2005) kıyaslama problemleri için genel sonuçlar Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Tüm problemler için özet % sapma $C_{\max}$ miktarları.

		Oğuz ve Ercan (2005)	Ceran (2006)	Önerilen YBA
Ortalama	% Sapma $C_{\max}$	6,455	6,008	5,838
	% YBA İyileştirme	9,56	2,83	

Tablo 4.8 incelediğinde Oğuz'un (2005) kıyaslama problemleri için yeni oluşturulan yapay bağışıklık algoritmasının iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca Ceran (2006)'ın sonuçları göre de bir iyileşme sağlanmıştır.

4.4. Bulanık ÇİEATÇ Problemlerinin Çözümlerinin Analizi

Çalışmada, Bulanık ÇİEATÇ problemleri olarak Gözen'nin (2007) problemleri çözülmüştür. YBA ile elde edilen sonuçlar Gözen'nin (2007) GA ile elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. *P* tipi problemlerin sonuçları Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11'de, *Q* tipi problemlerin sonuçları ise Tablo 4.13, Tablo 4.14 ve Tablo 4.15'de görülebilir.

Tablo 4.9 Bulanık ÇİEATÇ *P* tipi problemler için kıyaslama

	% Sapma		Sonuç (FCmax)		Sonuç (Uİ)	
	FCmax	Uİ	Ortalama	En Küçük	Ortalama	En Büyük
P5S2T01	34,33	122,39	İyi	İyi	Kötü	İyi
P5S2T02	53,88	87,83	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S2T03	49,67	8,45	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S2T04	52,13	-44,80	İyi	İyi	Kötü	Kötü
P5S2T05	46,62	752,57	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S2T06	57,14	132,75	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S2T07	51,70	455,88	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S2T08	41,08	7,01	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S2T09	66,11	197,28	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S2T10	51,99	95,99	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T01	61,71	130,18	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T02	66,80	87,07	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T03	72,82	184,96	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T04	70,88	65,92	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T05	66,13	50,34	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T06	67,80	120,27	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T07	76,34	304,47	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T08	68,46	197,65	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T09	73,99	379,11	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S5T10	55,71	192,43	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T01	71,43	91,26	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T02	81,46	201,17	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T03	76,23	122,07	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T04	77,21	95,54	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T05	67,92	198,47	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T06	71,66	247,02	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T07	84,40	211,89	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T08	77,87	94,45	İyi	İyi	Kötü	İyi
P5S8T09	74,08	137,87	İyi	İyi	İyi	İyi
P5S8T10	70,53	262,32	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T01	37,56	116,02	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T02	42,76	20,24	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T03	36,07	61,50	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T04	26,31	193,65	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T05	29,09	59,84	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T06	20,32	38,97	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T07	24,17	18,16	İyi	İyi	Kötü	İyi
P10S2T08	41,25	171,66	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T09	34,40	142,05	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S2T10	22,32	10,74	İyi	İyi	Kötü	İyi
P10S5T01	44,26	63,58	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T02	35,39	179,60	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T03	50,15	91,13	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T04	46,39	64,90	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T05	36,12	232,68	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T06	42,66	118,19	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T07	43,96	260,28	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T08	39,64	70,61	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T09	42,97	80,88	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S5T10	41,59	98,52	İyi	İyi	İyi	İyi

Tablo 4.9 Bulanık ÇİEATÇ P tipi problemler için kıyaslama (devam)

	% Sapma Miktarı		Sonuç (FCmax)		Sonuç (Uİ)	
	FCmax	Uİ	Ortalama	En Küçük	Ortalama	En Büyük
P10S8T01	50,83	188,79	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S8T02	64,24	196,65	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S8T03	42,70	127,26	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S8T04	46,44	133,88	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S8T05	47,18	107,12	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S8T06	38,54	93,93	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S8T07	46,52	183,32	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S8T08	52,52	113,75	İyi	İyi	İyi	İyi
P10S8T09	40,68	177,66	İyi	İyi	Kötü	İyi
P10S8T10	50,32	153,79	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S2T01	16,30	75,30	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S2T02	21,89	41,26	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S2T03	11,38	186,18	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S2T04	12,89	141,87	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S2T05	14,85	103,28	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S2T06	22,20	194,92	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S2T07	15,53	68,13	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S2T08	17,86	140,25	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S2T09	11,07	57,54	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S2T10	17,34	162,10	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S5T01	19,88	99,27	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S5T02	21,29	78,54	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S5T03	24,13	14,38	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S5T04	23,29	115,05	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S5T05	24,92	54,28	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S5T06	23,64	80,02	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S5T07	23,77	45,83	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S5T08	24,09	48,26	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S5T09	17,97	54,75	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S5T10	19,66	64,46	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S8T01	19,68	155,84	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S8T02	22,34	90,19	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S8T03	24,30	120,83	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S8T04	33,64	22,85	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S8T05	27,65	128,30	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S8T06	18,82	39,55	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S8T07	31,78	13,14	İyi	İyi	Kötü	İyi
P20S8T08	28,64	151,39	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S8T09	23,79	95,48	İyi	İyi	İyi	İyi
P20S8T10	30,10	62,34	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S2T01	9,58	-2,48	İyi	İyi	Kötü	Kötü
P50S2T02	5,41	13,75	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S2T03	5,49	80,66	İyi	İyi	İyi	İyi
P50S2T04	10,37	16,65	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S2T05	8,41	47,84	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S2T06	4,77	72,83	İyi	İyi	İyi	İyi
P50S2T07	4,31	69,46	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S2T08	4,55	26,87	İyi	İyi	İyi	İyi
P50S2T09	3,26	77,97	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S2T10	5,69	52,06	İyi	İyi	İyi	İyi

Tablo 4.9 Bulanık ÇİEATÇ *P* tipi problemler için kıyaslama (devam)

	% Sapma Miktarı		Sonuç (FCmax)		Sonuç (Uİ)	
	FCmax	Uİ	Ortalama	En Küçük	Ortalama	En Büyük
P50S5T01	8,79	38,28	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T02	8,73	9,94	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T03	6,51	37,63	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T04	7,64	65,63	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T05	7,12	75,43	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T06	10,25	72,97	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T07	10,65	91,48	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T08	9,72	26,65	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T09	8,66	40,79	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S5T10	11,19	22,33	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S8T01	13,15	54,59	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S8T02	10,53	45,50	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S8T03	10,95	77,46	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S8T04	16,31	91,10	İyi	İyi	İyi	İyi
P50S8T05	13,10	2,95	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S8T06	11,72	31,93	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S8T07	12,12	63,79	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S8T08	12,22	39,00	İyi	İyi	İyi	İyi
P50S8T09	14,88	78,98	İyi	İyi	Kötü	İyi
P50S8T10	6,42	42,94	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S2T01	2,69	75,88	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S2T02	1,10	51,24	Kötü	İyi	Kötü	İyi
PH1S2T03	4,89	15,34	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S2T04	0,86	-2,03	Kötü	İyi	Kötü	Kötü
PH1S2T05	1,99	131,19	İyi	İyi	İyi	İyi
PH1S2T06	1,97	60,67	İyi	İyi	İyi	İyi
PH1S2T07	2,49	38,61	İyi	İyi	İyi	İyi
PH1S2T08	0,36	31,35	Kötü	İyi	Kötü	İyi
PH1S2T09	1,00	75,02	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S2T10	2,93	79,70	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S5T01	4,12	4,94	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S5T02	7,55	1,22	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S5T03	8,03	57,85	İyi	İyi	İyi	İyi
PH1S5T04	8,94	33,36	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S5T05	4,82	-2,69	İyi	İyi	Kötü	Kötü
PH1S5T06	8,87	12,52	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S5T07	4,40	10,56	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S5T08	1,89	47,86	İyi	İyi	İyi	İyi
PH1S5T09	0,25	54,75	Kötü	İyi	Kötü	İyi
PH1S5T10	7,13	-2,87	İyi	İyi	Kötü	Kötü
PH1S8T01	8,85	38,65	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S8T02	1,84	19,18	Kötü	İyi	Kötü	İyi
PH1S8T03	7,48	-10,83	İyi	İyi	Kötü	Kötü
PH1S8T04	5,25	61,74	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S8T05	8,95	45,99	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S8T06	2,32	35,85	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S8T07	4,11	68,47	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S8T08	9,62	67,46	İyi	İyi	İyi	İyi
PH1S8T09	7,54	54,95	İyi	İyi	Kötü	İyi
PH1S8T10	6,88	93,16	İyi	İyi	Kötü	İyi

Tablo 4.9’da yer alan *P* tipi problem sonuçlarına ait özet bilgiler Tablo 4.10’da aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.10 Bulanık ÇİEATÇ *P* tipi problemlerin özet sonuçları.

	FCmax 'a göre		UI 'ye göre	
	Ortalama	En Küçük	Ortalama	En Büyük
İyi Sayısı	145	150	81	144
Aynı Sayısı	0	0	0	0
Kötü Sayısı	5	0	69	6

Yukarıda yer alan Tablo 4.10 incelediğinde yapay bağıklık algoritmasının bulanık çok işlemcili esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinde çok iyi performans gösterdiği gözükmemektedir.

YBA'nın Gözen'nin (2007) bulanık ÇİEATÇ problemlerinin *P* tipinde olanların tamamında en küçük FC_{max} değerine ulaşmıştır. Sadece 5 problemde 25 çözümün ortalamasında Gözen'den (2007) daha kötü sonuç bulmuştur. Yine uyumlaştırma indeksine göre 150 problemde sadece 6'sında en büyük değerleri bulamamıştır. 25 çözümün ortalamasında bakıldığında 81 problemde daha iyi sonuç ortaya koymuştur.

Tablo 4.11 Bulanık ÇİEATÇ Q tipi problemler için kıyaslama

	% Sapma Miktarı		Sonuç (FCmax)		Sonuç (Uİ)	
	FCmax	Uİ	Ortalama	En Küçük	Ortalama	En Büyük
Q5S2T01	41,05	-14,95	İyi	İyi	Kötü	Kötü
Q5S2T02	72,77	-31,63	İyi	İyi	Kötü	Kötü
Q5S2T03	56,45	78,48	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S2T04	44,32	232,51	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S2T05	37,38	243,45	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q5S2T06	62,20	82,85	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q5S2T07	36,13	461,88	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S2T08	39,91	-24,79	İyi	İyi	Kötü	Kötü
Q5S2T09	58,54	79,99	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S2T10	72,60	156,50	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S5T01	73,61	-0,70	İyi	İyi	Kötü	Kötü
Q5S5T02	61,89	119,89	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q5S5T03	72,70	53,77	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S5T04	76,90	150,51	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S5T05	69,27	265,94	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S5T06	77,87	33,76	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S5T07	68,53	33,33	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S5T08	62,33	63,63	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S5T09	82,85	186,00	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S5T10	68,68	98,54	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T01	81,38	119,53	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T02	83,20	212,85	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T03	73,04	258,05	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T04	71,50	39,05	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T05	77,72	177,76	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T06	77,94	212,03	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T07	72,86	54,41	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T08	88,00	69,33	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T09	80,46	281,08	İyi	İyi	İyi	İyi
Q5S8T10	79,50	102,95	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T01	31,29	122,32	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T02	31,34	187,91	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T03	40,10	178,00	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T04	30,53	45,91	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T05	31,75	16,76	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q10S2T06	39,26	87,95	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T07	42,39	140,97	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T08	22,57	12,74	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T09	49,87	209,13	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S2T10	35,66	58,89	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T01	44,48	178,14	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T02	42,64	123,78	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T03	49,40	212,72	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T04	56,35	88,15	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T05	51,96	19,54	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T06	46,61	111,89	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T07	48,07	182,46	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T08	48,66	115,90	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T09	54,13	66,20	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S5T10	43,21	157,57	İyi	İyi	İyi	İyi

Tablo 4.11 Bulanık ÇİEATÇ Q tipi problemler için kıyaslama (devam)

	% Sapma Miktarı		Sonuç (FCmax)		Sonuç (Uİ)	
	FCmax	Uİ	Ortalama	En Küçük	Ortalama	En Büyük
Q10S8T01	42,25	136,11	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T02	50,64	68,96	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T03	47,57	145,10	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T04	46,65	149,91	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T05	52,42	103,77	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T06	54,04	83,92	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T07	48,23	111,35	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T08	45,45	109,57	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T09	51,96	86,20	İyi	İyi	İyi	İyi
Q10S8T10	51,00	38,96	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S2T01	15,94	62,34	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S2T02	14,35	20,62	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S2T03	19,13	-12,88	İyi	İyi	Kötü	Kötü
Q20S2T04	16,00	67,52	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S2T05	21,84	156,79	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S2T06	20,18	17,68	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S2T07	15,73	5,87	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S2T08	15,37	120,26	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S2T09	15,95	181,92	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S2T10	17,61	89,07	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S5T01	27,86	31,18	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S5T02	28,98	53,01	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S5T03	21,54	147,31	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S5T04	30,55	85,46	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S5T05	28,17	13,59	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S5T06	23,25	1,55	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S5T07	33,09	24,47	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S5T08	29,44	54,62	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S5T09	29,40	64,56	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S5T10	25,02	139,36	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S8T01	36,56	52,49	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S8T02	37,66	81,89	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S8T03	32,18	74,30	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S8T04	30,63	76,39	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S8T05	32,97	76,61	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S8T06	33,65	28,36	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S8T07	30,90	107,15	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S8T08	29,90	97,95	İyi	İyi	İyi	İyi
Q20S8T09	29,10	69,95	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q20S8T10	31,07	92,68	İyi	İyi	İyi	İyi
Q50S2T01	5,90	107,49	İyi	İyi	İyi	İyi
Q50S2T02	8,93	171,86	İyi	İyi	İyi	İyi
Q50S2T03	8,20	79,20	İyi	İyi	İyi	İyi
Q50S2T04	7,23	-11,60	İyi	İyi	Kötü	Kötü
Q50S2T05	4,73	1,62	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S2T06	10,59	38,46	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S2T07	9,31	60,72	İyi	İyi	İyi	İyi
Q50S2T08	5,55	113,12	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S2T09	9,47	45,69	İyi	İyi	İyi	İyi
Q50S2T10	8,04	87,11	İyi	İyi	İyi	İyi

Tablo 4.11 Bulanık ÇİEATÇ Q tipi problemler için kıyaslama (devam)

	% Sapma Miktarı		Sonuç (FCmax)		Sonuç (Uİ)	
	FCmax	Uİ	Ortalama	En Küçük	Ortalama	En Büyük
Q50S5T01	17,29	21,18	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S5T02	14,96	15,69	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S5T03	11,61	32,80	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S5T04	11,93	-17,16	İyi	İyi	Kötü	Kötü
Q50S5T05	16,97	78,43	İyi	İyi	İyi	İyi
Q50S5T06	10,88	6,85	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S5T07	11,54	34,33	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S5T08	14,18	24,79	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S5T09	14,24	101,56	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S5T10	15,01	34,82	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T01	18,52	10,31	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T02	17,04	15,67	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T03	15,07	21,17	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T04	17,56	21,87	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T05	13,96	20,29	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T06	16,60	31,47	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T07	18,31	63,73	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T08	13,44	18,75	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T09	17,37	35,07	İyi	İyi	Kötü	İyi
Q50S8T10	18,07	45,04	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T01	5,29	38,07	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T02	3,82	36,79	İyi	İyi	İyi	İyi
QH1S2T03	5,99	78,43	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T04	5,11	15,38	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T05	4,72	22,18	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T06	5,72	24,61	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T07	3,96	44,21	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T08	3,25	20,92	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T09	4,86	44,72	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S2T10	6,02	-11,04	İyi	İyi	Kötü	Kötü
QH1S5T01	7,39	-21,25	İyi	İyi	Kötü	Kötü
QH1S5T02	8,55	23,50	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S5T03	8,61	32,64	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S5T04	8,06	57,43	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S5T05	5,77	5,06	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S5T06	8,24	62,21	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S5T07	7,53	13,63	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S5T08	7,55	3,83	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S5T09	11,05	10,51	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S5T10	7,91	-6,50	İyi	İyi	Kötü	Kötü
QH1S8T01	11,62	48,49	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S8T02	12,47	54,67	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S8T03	11,50	64,43	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S8T04	10,28	70,03	İyi	İyi	İyi	İyi
QH1S8T05	11,46	28,97	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S8T06	8,49	0,85	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S8T07	11,26	22,34	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S8T08	11,85	-3,70	İyi	İyi	Kötü	Kötü
QH1S8T09	10,54	67,10	İyi	İyi	Kötü	İyi
QH1S8T10	7,80	2,65	İyi	İyi	Kötü	İyi

Tablo 4.11’de yer alan Q tipi problem sonuçlarına ait özet sonuçlar Tablo 4.12’de aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.12 Bulanık ÇİEATÇ Q tipi problemlerin özet sonuçları.

	FCmax 'a göre		Uİ 'ye göre	
	Ortalama	En Küçük	Ortalama	En Büyük
İyi Sayısı	150	150	73	139
Aynı Sayısı	0	0	0	0
Kötü Sayısı	0	0	77	11

Q tipi problem sonuçlarının özetini içeren yukarıdaki Tablo 4.12 incelediğinde yapay bağışıklık algoritmasının bulanık çok işlemcili esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinde iyi performans gösterdiği bir kez daha gözlenmiştir.

YBA'nın Gözen'nin (2007) bulanık ÇİEATÇ problemlerinin Q tipinde olanların tamamında en küçük FC_{max} değerine ulaşmıştır. Ayrıca 25 çözümün ortalaması da Gözen'den (2007) daha iyidir. Yine uyumlaştırma indeksine göre 150 problemde sadece 11'inde en büyük değerlere ulaşamamıştır. 25 çözümün ortalamasında bakıldığında 73 problemde daha iyi sonuç ortaya koymuştur. Bu değer Gözen'nin (2007) bulduğu sonuçlara yakındır.

Tablo 4.10 ve Tablo 4.12 birlikte değerlendirildiğinde ortaya konulmuş olan yapay bağışıklık algoritmasının iyi olduğu görülebilir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada yeni bir yapay bağışıklık algoritması önerilmiş ve çok işlemcili esnek akış tipi ile bulanık çok işlemcili esnek akış tipi çizelgeleme problemleri üzerindeki performansı araştırılmıştır.

Akış tipi çizelgeleme problemlerinde her operasyon için sadece tek makine vardır. İşlerin operasyonları makinelerden sırasıyla geçmektedir. Esnek akış tipi çizelgeleme problemi ise klasik akış tipi ve paralel makine problemlerinin bir birleşimi şeklindedir. Bu problemler gerçek hayatta karşılaşılabilecek çizelgeleme problemlerine bir adım daha yaklaşmamızı sağlayacaktır. Esnek akış tipi sistemlerinde genellikle aynı kademedeki makineler özdeştir. Her aşamada tek tip operasyon yapılmaktadır. Her operasyon sadece kendinden önceki operasyon tamamlandıktan sonra gerçekleşebilir. Henüz yukarıda sunulan kabullerle bile bilgisayarlar sonuca ulaşmak için hala çok yavaştır. Ancak yapılan çalışma canlı bir çizelgeleme sistemine doğru büyük bir adım niteliği taşımaktadır.

ÇİEATÇ ve Bulanık ÇİEATÇ problemleri NP-hard olarak bilinmektedir. Bu türdeki problemleri, bilinen algoritmalar yardımıyla en iyi sonucu bulacak şekilde çözmek henüz mümkün değildir. Çizelgelenesi uzun süreler alan işlerin üretim aşamasına geçmesi verimli olmayacaktır. Bu nedenle sezgisel yöntemler kullanılarak kısa sürede sonuç elde edilmeye çalışılır.

Tez çalışması kapsamında literatürde bulunan Oğuz'un (2005) ÇİEATÇ ile Gözen'nin (2007) Bulanık ÇİEATÇ problemleri çözülmüştür. 240 adet olan ÇİEATÇ problemlerinin YBA ile çözümü sonucu % 26'sında alt sınır değerine ulaşılmıştır. Alt sınır değerine ulaşılan problem sayısı Ceran'dan (2006) dört, Oğuz ve Ercan'dan (2005) ise 24 fazladır. Ayrıca dört adet problem için sezgisel bir yöntem ilk defa alt sınır değerine ulaşmıştır.

Bulanık ÇİEATÇ problemleri için sonuçlar daha da iyidir. En küçük FC_{max} değeri dikkate alındığında 300 problem içinde Gözen'den (2007) daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. P tipi problemlerde 25 çözümün FC_{max} değerleri ortalamasına bakıldığında sadece beş problem için iyi sonuç bulunamamıştır. Geriye kalan 145 P tipi problem ve Q tipi 150 problemin tamamı için daha iyi bir ortalama elde edilmiştir. Uyumlaştırma indeksi açısından sonuçlar incelendiğinde, P tipi problemlerden sadece 6'sı için, Q tipi problemlerde ise 11'i için iyi sonuçlara ulaşılamamıştır. Uyumlaştırma indeksi ortalaması açısından bakıldığında iki algoritma arasında fazla bir fark oluşmamıştır. Sonuçların tümü incelendiğinde önerilen YBA iyi sonuçlar ortaya koymuştur.

Yeni yapay bağışıklık algoritmasının daha iyi sonuç vermesinin nedenleri aşağıda şekilde açıklanabilir;

- Genel arama uzayından lokal arama uzayına yavaş yavaş geçerek olası bütün dallanmaları deneyebilmektedir.
- Kötü sonuçlarda sistemin bir parçası olarak kabul edilmiş ve değerlendirilmeye alınmıştır.
- İşler yerine operasyonlar sıralanarak arama uzayı daha geniş tutulmuştur.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, gerçek çizelgeleme problemlerine bir adım daha yaklaşmamızı sağlayacaktır. Yeni algoritmalar kurulurken kötü sonuçlarında bir anlamı olduğu unutulmamalıdır. İşlerin sıralanması yerine operasyonların sıralanmasına dikkat edilmesi iyi sonuçlar alınmasını sağlayabilir.

Bulanık mantığın matematiksel ifadeler yerine dilsel ifadeler ile çalışması sistemin tasarlanmasını kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle gelecek çalışmalarda kullanılması iyi olabilir.

Bundan sonraki çalışmalarda algoritmalar kurulurken operasyonların sıralanmasında yeni yaklaşımlar denenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Ahmad M.İ., 2004, Gömülü Sistemlerle Bulanık Mantık, Bileşim Yayınevi.
2. Alataş, B., Aydın, İ., Akın E., 2005, Asenkron Motorların Hata Teşhisinde Yapay Bağışıklık Sistemi Yaklaşımı, MBGAK 2005 İstanbul 17-19 Kasım 2005.
3. Anonim, 2005, www.yapay-zeka.org.
4. Brah, S.A, Loo, L.L., 1999, Heuristics for Scheduling in a Flow Shop with Multiple Processors, European Journal of Operational Research, 113, 113-122.
5. Ceran, G., 2006, Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerini Veri Madenciliği Kullanarak Genetik Algoritmalar Yardımıyla Çözülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
6. Costa, A.M., Vargas,P.A., Von Zuben,F.J., França, P.M., 2002, Makespan Minimization on Parallel Processors: an Immune Based Approach, In proceedings of the Special Sessions on Artificial Immune Systems in the 2002 Congress on Evolutionary Computation, IEEE World Congress on Computational Intelligence, Honolulu, Hawaii, 115-123.
7. Cowling, P., Johansson, M., 2002, Using Real Time Information for Effective Dynamic Scheduling, European Journal of Operational Research, 139, 230-244.
8. Dasgupta, D., 1998, Artificial immune systems and their applications”, bölüm: An Overview of Artificial Immune Systems and Their Applications, Springer-Verlag, 3-18.
9. De Castro, L.N , Von Zuben, F.J., 2001. Learning And Optimization Using the Clonal Selection Principle, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Special Issue on Artificial Immune Systems, 6(3), 239-251.
10. De Castro, L.N., Timmis, J.I., 2002, Artificial Immune Systems: A Novel Paradigm for Pattern Recognition, In L. Alonso J. Corchado, and C.Fyfe Editors, Artificial Neural Networks in Pattern Recognition, University of Paisley, 67-84.
11. De Castro, L.N., Timmis, J.I., 2003, Artificial Immune Systems As A Novel Soft Computing Paradigm, Soft Computing Journal, 7/7 (pre-print).
12. De Castro, L.N., Von Zuben, F.J., 2000, The Clonal Selection Algorithm With Engineering Applications, In GECCO 2000 – Workshop Proceedings, Las Vegas, 8-12 July, 36-37.
13. Döyen, A., 2004, Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Yapay Bağışıklık Sistemleri ile Çözümü ve Parametre Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
14. Elmas Ç., 2003, Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayınevi.

15. Engin, O. ,Döyen, A., 2004, A New Approach To Solve Hybrid Flow Shop Scheduling Problems By Artificial Immune System, Future Generation Computer Systems, 20, 1083-1095.
16. Etaner, Ş., 1993, Bulanık Kontrol, Otomasyon Dergisi, Şubat, 107-112.
17. Farmer, J., Packard, N., H., Perelson A., 1986, The Immune System, Adaptation And Machine Learning. Physica D, 22, 187-204.
18. Forrest, S., Hofmeyr S.A., Somayaji, A., 1997a, Computer Immunology. Communications of the ACM.
19. Forrest, S., Javornik, B., Allen, L., Cherekuri, R., 1994, Self-Nonself Discrimination in a Computer. In Proceedings of IEEE Symposium on Research in Security and Privacy, Oakland, CA, 202-212.
20. Forrest, S., Javornik, B., Smith,R.E., Perelson,A.S., 1993. Using Genetic Algorithms yo Explore Pattern Recognition in the Immune System. Evolutionary Computation 1:3, 191-211.
21. Forrest, S., Somayaji, A., Ackley,D., 1997b, Building Diverse Computer Systems, In Proceedings of the 6th Workshop on Hot Topics in Operating Systems, Los Alamitos, CA. IEEE Computer Press.
22. Fukuda, T., Mori, K., Tsukiyama, M., 1999, Artificial Immune Systems and Their Applications, Chapter Immunity-Based Management Systems, 278-288, Springer.
23. Gonzales, I., Vela, C., Puente, J., 2005, An Evolutinary Approach to Designing and Solving Fuzzy Job Shop Problems, Artificial Intelligence and Knowledge Engineering Applications, 3562, 74-83
24. Gözen, Ş., 2007. Bulanık Esnek Akış Tipi Çok Prosesli Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Ve Tavlama Benzetimi İle Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi
25. Gupta, J.N.D., 1988, Two-Stage Hybrid Flowshop Scheduling Problem, Operational Research Society, 39, 359-364.
26. Hart, E., 2002, Immunology as a Metaphorfor Computational Information Processing: Fact or Fiction?, Doctoral Dissertation, Artificial Intelligence Applications Institute, Division of Informatics, University of Edinburgh.
27. Hart, E., Ross, P., Nelson, J., 1998. Producing Robust Schedules via an Artificial Immune System, Proceedings of ICEC'98, 464-469.
28. Hofmeyr, S.A., Forrest, S., 2000. An Architecture for an Artificial Immune System. Evolutionary Computing, 8(4), 443-473.
29. Hou T., Su C., Chang H., 2008, Using neural networks and immune algorithms to find the optimal parameters for an IC wire bonding process, Expert Systems with Applications, 34, 427-436
30. Jensen, M.T., Hansen, T.K., 1999. Robust Solutions to Job Shop Problems, Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, 1138-1144.
31. Kaynak, O., Armağan G., 1992, Bulanık Mantık, Otomasyon Dergisi

32. Klir, G., Clair, U., Yuan, B., 1997, Fuzzy Set Theory Foundations and Applications, Prentice Hall.
33. Kosko, B., 1993, Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 58-62.
34. Kumar A., Prakash A., Shankar R., Tiwari M.K., 2006, Psycho-Clonal Algorithm Based Approach to Solve Continuous Flow Shop Scheduling Problem, Expert Systems with Applications, 31, 504–514.
35. Lee, D., Jun, H., Sim, B., 1999. Artificial Immune System for Realization of Cooperative Strategies and Group Behaviour in Collective Autonomous Mobile Robots. Proceedings of 4th Int. Symp. On Artificial Life and Robotics, 232-235.
36. Liao, G.C., 2006, Short-Term thermal Generation Scheduling using Improved Immune Algorithm, Electric Power Systems Research, 76, 360–373.
37. Meier, W., Weber, R., Zimmermann, H.J., 1994, Fuzzy Data Analysis, Methods and Industrial Applications, Fuzzy Sets and Systems, 61, 19-28.
38. Mori M., Tsukiyama M., Fukuda T., 1997. Artificial Immunity Based Management System For A Semiconductor Production Line, In Proceedings of the IEEE Systems, Man and Cybernetics Conference, 851-855.
39. Mori M., Tsukiyama M., Fukuda T., 1998, Adaptive Scheduling System Inspired By Immune System, In Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, 3833-3837.
40. Oğuz, C., 2005, Kıyaslama Problemleri, <http://home.ku.edu.tr/~coguz/Research/dataset2.zip>
41. Oğuz, C., Ercan, F., 2005, A Genetic Algorithm for Hybrid Flow Shop Scheduling with Multiprocessor Tasks, Journal of Scheduling, 8, 323-351.
42. Oğuz, C., Zinder, Y., Do, V.H., Janiak, A., Linchtenstein, M., 2004, Hybrid Flow Shop Scheduling Problems with Multiprocessor Task Systems, European Journal of Operational Research, 152, 115-131.
43. Özkan, O., 1997, Sıcaklı ve Nemin Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü, Selçuk Üniversitesi Elk-Elt. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
44. Öztürk, R.E., 2007, Esnek Akış Tipi Ve Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Doyumsuz Algoritma İle Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
45. Panigrahi B.K., Yadav S.R., Agrawal S., Tiwari M.K., A clonal algorithm to solve economic load dispatch, Electric Power Systems Research 77 (2007) 1381–1389
46. Prakash A., Khilwani N., Tiwari M.K., Cohen Y., 2007, Modified Immune Algorithm for Job Selection and Operation Allocation Problem in Flexible Manufacturing Systems, Advances in Engineering Software.
47. Russ, S.H., Lambert, A., King, R., Rajan, R., Reese, D., 1999, An Artificial Immune System Model for Task Allocation, Proc. of the Symposium on High Performance Distributed Computing, 3-6 August, California, USA.

48. Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., 2003, Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1 Yapay Sinir Ağları, Ufuk Yayıncılık, Kayseri.
49. Şahan S., Polat K., Kodaz H., Güneş S., 2007, A New Hybrid Method Based On Fuzzy-Artificial Immune System and k-nn Algorithm For Breast Cancer Diagnosis, Computers in Biology and Medicine, 37, 415 – 423.
50. Sivrikaya Şerifoğlu, F., Ulusoy G., 2004, Multiprocessor Task Scheduling In Multistage Hybrid Flow Shops: A Genetic Algorithm Approach, Journal of the Operational Research Society, 55, 504-512.
51. Tan K.C., Goh C.K., Mamun A.A., Ei E.Z, 2007, An Evolutionary Artificial Immune System For Multi-Objective Optimization, European Journal of Operational Research, Volume 187, Issue 2, 1 June 2008, 371-392.
52. Tsai J., Ho W., Liu T., Chou J., 2007, Improved Immune Algorithm For Global Numerical Optimization And Job-Shop Scheduling Problems, Applied Mathematics and Computation, Volume 194, Issue 2, 406-424.
53. Zadeh, L.A., 1984, Making Computers Think Like People, IEEE. Spectrum, 59, 26.
54. Zandieh, S.M.T., Fatemi G., S.M., Moattar H., 2006, An Immune Algorithm Approach To Hybrid Flow Shops Scheduling With Sequence-Dependent Setup Times, Applied Mathematics and Computation, 180, 111–127.