



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMLERİ İLE ATÖLYE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Yılmaz ATAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMLERİ İLE ATÖLYE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Yılmaz ATAY

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halife KODAZ

2012, 122 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Halife KODAZ
Doç. Dr. Harun UĞUZ
Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Yapay bağışıklık sistemleri son yıllarda oldukça çalışılan yapay zeka tekniklerinden biridir. Yapay bağışıklık sistemleri, doğal bağışıklık sistemi prensipleri ve mekanizmalarını temel almaktadır. Bu sistem, çizelgeleme, sınıflandırma, optimizasyon, veri madenciliği, bilgisayar ve ağ güvenliği gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, yapay bağışıklık sistemlerinde çok sık kullanılan klonal seçim algoritmasını temel alan iki farklı algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar, en zor optimizasyon problemlerinden olan atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanmıştır. Geliştirilen bu algoritmalarda mutasyon mekanizmaları irdelenmiştir. Uygulama sonuçlarının optimum çözüme ulaştırılabilmesi için algoritmalardaki parametreler analiz edilerek optimum çözümü veren parametre değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafiklerde ayrıntılı olarak verilmiştir. Çoğu problem için mevcut yapay bağışıklık sistemlerinin sonuçlarından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atölye Tipi Çizelgeleme, Doğal Bağışıklık Sistemi, Klonal Seçim Algoritması, Negatif Seçim Algoritması, Optimizasyon, Yapay Bağışıklık Sistemleri.

ABSTRACT

MS THESIS

JOB SHOP SCHEDULING PROBLEMS OPTIMIZATION WITH ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS

Yılmaz ATAY

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN COMPUTER ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Dr. Halife KODAZ

2012, 122 Pages

Jury
Asst. Prof. Dr. Halife KODAZ
Assoc. Prof. Dr. Harun UĞUZ
Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Artificial immune systems is one of the artificial intelligence techniques highly studied on recent years. Artificial immune systems is based on natural immune system principles and mechanisms. This system is used on various areas such as; scheduling, classification, optimization, data mining, computers and network security.

In this study; two different algorithms based on clonal selection algorithm are developed which are often used on the artificial immune systems. These algorithms are applied on to the workshop type scheduling problems which are one of the most difficult optimization problems. Mutation mechanisms are examined on these developed algorithms. The parameter values that give the optimum solution are determined by analyzing the algorithm parameters for conveying the results of the application for optimum solution. The results obtained are detailed in tables and graphs. Better results have been obtained for most problems compared to the existing artificial immune system findings.

Keywords: Artificial Immune Systems, Clonal Selection Algorithm, Job Shop Scheduling, Natural Immune System, Negative Selection Algorithm, Optimization.

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda beni destekleyip, yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Halife KODAZ'a ve Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanları'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında benden maddi ve manevi desteklerini asla esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yılmaz ATAY
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tez Çalışmasının Amacı 1
1.2. Tez Çalışmasının Önemi 2
1.3. Kaynak Araştırması 3

2. MATERYAL VE YÖNTEM **11**

2.1. Doğal Bağışıklık Sistemi 11
2.1.1. Doğal Bağışıklık Sisteminin Özellikleri 11
2.1.2. Doğal Bağışıklık Sisteminin Elemanları 12
2.1.3. Doğal Bağışıklık Sisteminin Hücreleri 15
2.1.4. Doğal Bağışıklık Sisteminin Yapısı ve Mekanizması 16
2.2. Yapay Bağışıklık Sistemi 19
2.2.1. Yapay Bağışıklık Sisteminin Tarihçesi ve Yapılan Çalışmalar 20
2.2.2. Yapay Bağışıklık Sistemi Mimarisi 26
2.2.3. Şekil Uzayı Gösterimi ve Duyarlılıklar 28
2.2.4. Yapay Bağışıklık Algoritmaları 31
2.2.5. Yapay Bağışıklık Ağ Teorisi 33
2.2.6. Negatif Seçim Algoritması 34
2.2.7. Klonal Seçim Algoritması 36
2.3. Çizelgeleme Problemleri 41
2.3.1. Çizelgeleme Problemlerinin Önemi 42
2.3.2. Çizelgeleme Problemlerinin Öğeleri ve Gösterimi 43
2.3.3. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması 47
2.3.4. Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Yöntemleri 48
2.4. Atölye Çizelgeleme Problemi 49
2.4.1. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genel Özellikleri 51
2.4.2. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Varsayımları 52
2.4.3. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinde Öncelik Kuralları 53
2.5. Önerilen Sistemler 55
2.5.1. Klon Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritma 57
2.5.2. Klon-Reseptör Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritma 59

2.6. Test Problemleri 65
2.6.1. FT06 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 65
2.6.2. FT10 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 66
2.6.3. LA01 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 66
2.6.4. LA02 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 67
2.6.5. LA03 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 67
2.6.6. LA04 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 68
2.6.7. LA05 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 68
2.6.8. LA16 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 69
2.6.9. ABZ5 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 69
2.6.10. ABZ6 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 70

3. UYGULAMA SONUÇLARI 71

3.1. Klon Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritmanın Sonuçları 71
3.1.1. Klonlama Oranı Parametresinin Etkisi 71
3.1.2. Mutasyon Oranı Parametresinin Etkisi 76
3.1.3. Klonlama Çarpanı Parametresinin Etkisi 80
3.1.4. En İyi Seçim Oranı Parametresinin Etkisi 85
3.2. Klon-Reseptör Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritmanın Sonuçları 89
3.2.1. Mutasyon Oranı Parametresinin Etkisi 90
3.2.2. Klonlama Çarpanı Parametresinin Etkisi 94
3.2.3. Rastgelelik Oranı Parametresinin Etkisi 99
3.3. Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi 103

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 106

4.1. Sonuçlar 106
4.2. Öneriler 107

KAYNAKLAR 108

EKLER 116

ÖZGEÇMİŞ 122

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ab	: Antikor
Abm	: Hafıza Hücreleri
Abr	: B Hücreleri
Ag	: Antijen
C	: Aday Elemanları
D	: Antikor ve Antijen Arasındaki Mesafe
e	: Eşik Seviye
Ig	: Immunoglobulin
k	: Alfabenin Büyüklüğü
k^L	: Şekil Uzayında Oluşan Toplam Antikor Sayısı
L	: Vektör Uzunluğu
M	: Detektörler Kümesi
N	: Minimum Antikor Sayısı
Th	: Yardımcı T hücreleri
Ve	: Tanıma Çemberi
ε	: Benzerlik Eşiği (Tanıma Çemberini Yarıçapı)

Kısaltmalar

AINE	: Artificial Immune NEtwork
AIRS	: Artificial Immune Recognition System
aiNet	: Artificial immune Network
ASH	: Antijen Sunan Hücreler
ATÜ	: Atölye Tipi Üretim
Cenb	: İşlerin Tamamlanma Zamanı (Makespan)
GA	: Genetik Algoritma
KSA	: Klonal Seçim Algoritması (Clonal Selection Algorithm - CLONALG)
KSM	: Klonal Seçim Mekanizması
LPT	: En Uzun İşlem Süreli İşi Önce Yap
MHC	: Ana Dokusal Uyumluluk Kompleksi
MSV	: Microsoft Visual Studio
NP	: Non-Polinomal
NP-Zor	: Non-deterministic Polinom Hard
PAMPs	: Mikrobik Patojenlerle Birleştirilmiş Moleküler
PRRs	: Pattern Recognition Receptors
PSO	: Particle Swarm Optimization
SPT	: En Kısa İşlem Süreli İşi Önce Yap
TSSB	: Tabu Search Shifting Bottleneck
YBA	: Yapay Bağışıklık Algoritması
YBS	: Yapay Bağışıklık Sistemleri

1. GİRİŞ

YBS, anormallik tespiti, bilgisayar ve ağ güvenliği, çizelgeleme, optimizasyon, sınıflandırma, veri madenciliği gibi birçok alanda kullanılan ve doğal bağışıklık sisteminden esinlenerek oluşturulan bir yapay zeka tekniğidir. Doğal bağışıklık sistemi elemanlarını parametre olarak kullanan YBS, bu mekanizmayı örnek alan çok fonksiyonlu sistemdir. YBS, esas olarak insandaki bağışıklık sistemini model almaktadır. Bağışıklık sisteminin bazı özellikleri bilim adamları ve mühendislerin ilgisini çekmiştir (De Castro ve Von Zuben, 1999). Bu özellikler şunlardır:

- Her birey kendine özgü bir bağışıklık sistemine sahiptir (eşsizlik).
- Bağışıklık sistemi ile vücudun doğasında olmayan moleküller tanınabilir ve yok edilebilir (yabancının tanınması).
- Bağışıklık sistemi vücutta daha önceden hiç rastlanmamış patojenleri keşfedebilir ve tepki verebilir (anormal keşif).
- Sistemin hücreleri vücudun her tarafına dağıtılmıştır ve herhangi bir merkezi kontrole maruz değildir (dağıtık keşif).
- Patojenlerin kesin olarak tanınmasına gerek yoktur bu yüzden sistem esnektir (gürültü toleransı).
- Sistem patojenlerin yapılarını öğrenebilir bu yüzden gelecekte aynı patojenlere yanıtlar daha hızlı ve daha güçlüdür (takviyeli öğrenme ve hafıza).

Bu çalışmanın ilk bölümünde tezin amacı ve önemi belirtilmiştir. Ayrıca bu bölümde kaynak araştırması da yapılmıştır. Sonraki bölümlerde ise sırasıyla doğal bağışıklık sistemi, yapay bağışıklık sistemi, çizelgeleme, atölye tipi çizelgeleme, test problemleri ve geliştirilen YBS ile ilgili algoritmalar anlatılmıştır. Geliştirilen iki farklı mutasyon mekanizmasını içeren algoritmalar C# programlama diliyle MVS 2010 ortamında kodlanmıştır. Uygulamalar algoritmalara ait farklı parametre değerlerinde denenecek şekilde tasarlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise geliştirilen her iki algoritma için uygulama sonuçları analiz edilmiştir.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Atölye tipi çizelgeleme problemleri, NP-Zor olarak adlandırılan problem sınıfına girmektedir. Bu tür problemlerin belirli kısıtlar altında çözülebilmesi klasik matematiksel yöntemlerle mümkün değildir. Çözüm için geliştirilen birçok sezgisel

yöntem vardır. Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde en optimum çözümü elde etmek için kullanılabilecek yöntemlerden biri de YBS'dir.

Optimizasyon problemleri günlük hayatımızda birçok alanda önemli bir yere sahiptir. Hastanelerde sağlık görevlilerinin dağılımı, hemşire çizelgeleme, araç rotalama, uçak çizelgeleme, okul servislerinin optimizasyonu, fabrikalarda iş-makine optimizasyonu gibi problemlerin en uygun şekilde çözülebilmesi çok önemlidir. Tez çalışması olarak birçok farklı çizelgeleme probleminde çok iyi sonuçlar veren YBS önemli optimizasyon problemlerinden olan atölye tipi çizelgeleme problemine uygulanmıştır. Bu probleme uygulanan algoritmalara göre daha iyi çözümler elde edilebilmesi için YBS kullanılarak 2 farklı mutasyon mekanizması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmalar, atölye tipi çizelgeleme problemlerine uygulanarak daha iyi sonuçlar elde edilebileceği amaçlanmıştır.

1.2. Tez Çalışmasının Önemi

Dünya üzerinde bulunan birçok firma incelendiğinde genel olarak üretim tipinin ATÜ olduğu görülmektedir. ATÜ'nün kullanım oranı yaklaşık olarak % 75'tir (Yenigün, 2010). Teknolojinin ilerlemesiyle standart üretim çalışmalarının artmasına rağmen müşteri taleplerindeki çeşitliliğin azalmaması sebebiyle atölye tipi çizelgeleme, ürün çeşitliliğinin ve değişimlerinin fazla olduğu işletmelerde önemli optimizasyon problemlerinden biridir. Bu problemin çözümü için veya çözüme en yakın yaklaşımların ortaya çıkarılması için birçok çalışma yapılmaktadır.

Tez çalışmasında, atölye tipi çizelgeleme problemlerine YBS'nin uygulanmasının sebebi, bu sistem kullanılarak yapılan birçok çalışmanın diğer çalışmalara göre daha optimum sonuçlara yaklaşması ve bu sistemdeki mutasyon mekanizmasının geliştirilebilir taraflarının bulunmasıdır. Atölye tipi çizelgeleme problemi için seçilen sistemin mevcut haline yeni özellikler eklenerek bu tür üretime sahip işletmelerde kullanılabilecek yeni uygulama yazılımları geliştirilebilecektir. Bu çalışma, ATÜ'lerde maliyet-zaman ilişkisini en optimum hale getirerek işletmeye endüstriyel ve teknolojik anlamda katkı sağlayacaktır.

1.3. Kaynak Araştırması

Geçmişten günümüze çizelgeleme konusunda birçok çalışma yapışmıştır. Son zamanlarda yapay zeka tekniklerinin de hızla gelişme göstermesi bu alanda uygulanan sezgisel algoritmaların başarısını göstermiştir. Aşağıda atölye çizelgeleme konusunda şuana kadar yapılan önemli çalışmalar verilmiştir.

Tek makine probleminde gecikmiş işlerin sayısını azaltmanın yolu, yapılacak işler teslim tarihine göre azalmayan sırada sıralandıktan sonra, gecikmiş ilk işe kadar olan sıralamadaki işlerden işlem süresi en büyük olan işin listeden çıkarılması esasına dayanmaktadır (Moore, 1968).

Garey ve diğerleri (1976), ATÜ çizelgelemenin karmaşıklığını incelemiş ve iki makineli atölye üretim çizelgelemede, toplam tamamlanma zamanını en düşük yapan çözümün NP-Zor olduğunu bildirmişlerdir.

İşlemin parçalara bölünebildiği ve bölünemediği durumda, makine sayısı iki ve üzeri olan ATÜ çizelgelemede, optimum akış süresinin bulunması problemin çözümünün NP-tam olduğu ve makine sayısı iki iken bilinen polinom zamanlı bir çözümünün olmadığı belirtilmiştir (Gonzalez ve Sahni, 1978).

Jackson (1955)'a göre maksimum gecikmeyi en küçükleyen atölye üretim çizelgesi için işlerin teslim tarihlerine göre azalmayan (en küçükten en büyüğe doğru) bir sıralama ile makineye yüklenmesi gerekmektedir (Graham ve diğerleri, 1979).

Arkin ve Silverberg (1987) Sabit başlama ve bitiş zamanlı atölye çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Özdeş k adet makinede tamamlanan iş sayısını maksimize edecek bir algoritma önermişlerdir. Ayrıca problemin NP-Karmaşık olduğunu göstermişlerdir.

Tabu arama tekniği, ATÜ sisteminde genelleştirilen tek makine, paralel makineler, iş grupları, hazırlık süreleri, işin hazır olma zamanı ve teslim tarihlerinin oluşturduğu karmaşık makine çizelgeleme problemine uygulanmıştır (Valls ve diğerleri, 1988). Eğer problemin çözümünü bulmak mümkünse iş akış uzunluğunu minimum yapan çözümü bulmak, değilse en iyi yaklaşık sonuç amaçlanmaktadır. Tabu arama algoritması, uygulanabilir çözümlerin bulunduğu, bunların optimum olup olmadığının kontrol edildiği ve daha önce ulaşılmamış çözüm kümelerine ulaşmayı teşvik eden üç prosedürden oluşmaktadır. Algoritma rastgele üretilmiş 190'dan fazla problem üzerinde test edilmiştir. Optimum çözümü bilinen problemlerde % 95 başarı ile optimum çözümlere ulaşmaktadır. Optimum çözümü bilinmeyen zor diyebileceğimiz

problemlerde ise başlangıç çözümüne göre oldukça iyi çözümler ürettiği ve kısa hesaplama sürelerinin olduğu bildirilmektedir.

Mutt ve Thompson (1963), 10 makine ve 10 işten oluşan ve 20 yıldır çözülemeyen ünlü ATÜ çizelgeleme problemini, önerilen bir dal-sınır metodu ile çözmüşlerdir. Metot, tek makine çizelgeleme problemini esas almaktadır. Hızlı seçim yaparak araştırma alanın sınırlanması sonucu (veri yapısının iyi seçimi) bazı öncül konumlar yardımıyla daha etkili hale getirilmiştir (Carlier ve Pinson, 1989).

1990'lı yıllardan itibaren bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerin yaygın kullanımının artmasıyla beraber modern sezgisel yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. 1990 yılında Ogbu ve Smith tavlama benzetimi ve yasaklı arama teknikleriyle tamamlanma zamanını azaltmaya çalışmışlardır (Ogbu ve Smith, 1990).

Atölye çizelgelemede kullanılabilecek pratik, güvenilir, düşük teknolojik donanımlara sahip atölye ortamına uygun maliyetli iki aşamadan oluşan bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Birinci aşamasında her seferinde bir işe başlayıp bitirilmek üzere her iş atölye içinde makineleri bir bir dolaşarak işlem basamaklarını tamamlamaktadır. Bu ise maksimum tamamlanma zamanını minimum yapmak amacıyla her makinede adım adım gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. İkinci aşamasında birinci aşamada oluşturulmuş çizelgeyi kritik yol (maksimum tamamlanma zamanını belirleyen işlerin üzerinde yer aldığı) üzerindeki işlerin daha önce sıralanması imkanı araştırılır. Yöntem daha önce geliştirilmiş başka sezgisel yöntemlerle Mutt ve Thompson (1963)'ın örnek problemi üzerinde denenerek elde edilen sonuçlar optimum sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Diğerlerine göre performansının daha iyi olduğu bildirilmiştir (Vancheesworan ve Townsend, 1993).

Bagchi ve diğerleri (1994) tek makine çizelgeleme konusunda çalışma yapmışlardır. Amaçları müşteri siparişlerinin teslim tarihlerinin belirlenmesi ve toplam ceza fonksiyonunu minimize edecek şekilde isleri çizelgelemektir. Toplam ceza fonksiyonu ise is negatif gecikme ve pozitif gecikmesinin toplamından ibarettir. Sonuç olarak bu çalışmada etkili bir prosedür genel problemleri çözmek için ceza fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Bu işlem yapılırken problem iki kısma ayrılmıştır. Önce müşteri siparişleri sıralanmış, daha sonra müşteri siparişinin içinde isler sıralanmıştır.

Çizelgeleme problemlerinde makine sayısı 3 veya daha fazla olduğunda, bu tip çizelgeleme problemleri NP tam problem sınıfına girdiği için optimum çözüm elde edilmesi oldukça güçtür. Çizelgeleme problemlerinde birçok farklı yöntem kullanılarak optimum çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu yöntemlerden biri olan dal sınır tekniği 3

makineli çizelgeleme problemlerine ve farklı bazı akış tipi çizelgeleme problemlerine uygulanmıştır (Lomnicki, 1965). Dal sınır ve dinamik programlama gibi yöntemler daha çok küçük boyutlu problemlerde etkin zamanlı çözümler sunmaktadırlar. Hesaplama zamanının üstel olarak artması sebebiyle büyük boyutlu problemlerde etkin çözümler sağlayamamaktadır (Baker, 1994). Bu nedenle sezgisel algoritmaların geliştirilmesi önem kazanmıştır.

Maksimum tamamlanma zamanı ve tamamlanma sürelerinin toplamını en küçükleyen atölye tipi çizelgeleme probleminin karmaşıklığını tespit etmek amacıyla iş sayısının 3 olduğu özel durum incelenmiştir. Sonuçta işlemler parçalara bölünebilsin ya da bölünemesin her iki amaç içinde 3 makineli ve 3 işli atölye çizelgeleme probleminin NP-Zor olduğu ispatlanmıştır (Sotskov ve Shakhlevich, 1995).

Taşgetiren ve diğerleri (1995), atölye çizelgelemede bir işin tamamlanma zamanı ve işin sistemdeki kuyruk zamanı gibi birçok faktörden etkilendiğini, aynı zamanda her bir faktörün etki seviyesinin kullanılan öncelik kuralı ve atölye yüküne bağlı olduğunu belirttiler. Çeşitli atölye yükleri altında bu faktörlerin teslim tarihi üzerindeki etkilerini incelemek için birkaç yöntem karşılaştırması yaptılar. Sonuç olarak, teslim tarihi oluşturma yöntemlerinin tahmin yeteneklerinin birbirinden farklı olduğunu ve bu yöntemlerin performanslarının kullanılan öncelik kuralından etkilendiğini gördüler. Ayrıca tahsisata dayalı öncelik verme yaklaşımının akış zamanına dayalı yaklaşımdan daha iyi sonuç verdiğini belirttiler.

Cheng ve Kovalyov (1996) yaptıkları çalışmada ise *n* tane işin tek makinede gerçekleştirilmesi, işlerin partilere bölünmesi ve teslim tarihlerinin belirlenmesi problemini çözmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada aynı partide yer alan ve işlem süreleri eşit olan işler beraber işlem görmektedir. Çizelgelemede partideki iş sayısını ve iş emrini belirlerken amaç, teslim tarihi belirleme maliyeti ile ağırlıklı geciken işlerin sayılarının kombinasyonunu minimize etmek için partinin en uygun ortak teslim tarihini ve çizelgeyi belirlemektir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, negatif gecikme, pozitif gecikme ve teslim tarihine bağlı olan toplam cezayı minimize edecek teslim tarihini ve çizelgeyi belirlemeye çalışmışlardır.

Hart ve diğerleri (1998) her işin belirli başlama ve bitiş tarihlerinin olduğu atölye tipi çizelgeleme problemlerinde maksimum gecikmeyi, en aza indirmek için yapay bağışıklık sistemi modeli kullanmışlardır. Model iki aşamalı çalışmaktadır. Sistemin birinci aşamasında, fabrikada en sık kullanılan ortak iş çizelgeleri modellerini tespit etmek için genetik algoritma ile birleştirilmiş bağışıklık sistemi yaklaşımı

kullanılmaktadır. İkinci aşamada, tespit edilen modelleri kullanarak yeni çizelgeler üretmek için doğal bağışıklık sistemlerinin kombinatorik özellikleri modellenmiştir. Sonuçlar, geniş çaplı bir araştırma prosedürü kullanan bir model ile karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritma oldukça başarılı sonuçlar vermiştir, şöyle ki, daha önce ortaya çıkan herhangi bir duruma karşılık gelen çizelgeler kolaylıkla tekrar oluşturulabilmektedir.

Birbirinin aynı paralel makinelerdeki amaç fonksiyonlarını minimum yapmaya çalışan üretim çizelgeleme problemleri, birim-işlem süresine sahip atölye tipi çizelgeleme problemine indirgenerek, daha önce karmaşıklık seviyesi (polinom zamanlı veya NP-Zor olduğu) bilinmeyen pek çok problemin çözümünün NP-Zor olduğu ispatlanmıştır (Timkovsky, 1998).

Atölye tipi çizelgeleme problemlerine sağlam çözümler bulmak amacıyla Jensen ve Hansen tarafından bir çalışma yapılmıştır. Gerçek bir sistem için optimal çizelgeler yerine, değişen şartlara göre üzerinde kolayca değişiklik yapılabilecek çizelgelerin bulunmasının önemine dikkat çeken yazarlar, bu amaca yönelik bir yapay bağışıklık sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada her biri bir miktar genetik dizi içeren kütüphaneler kurulmuştur, her dizi bir atölye tipi problem kümesi çözümünün bir parçasıdır. Atölye tipi probleme çözüm, her kütüphaneden dizileri seçerek (bu dizi bir antikordur) ve seçilen dizinin kodu çözülerek bulunabilir. Her işin başlama tarihleri değiştirilerek bir antijen kümesi elde edilir. Bu antijenler, çeşitli hatalar veya duraksamalar nedeniyle mevcut planlardan farklı olarak ortaya çıkan çizelgelere karşılık gelir. Çalışmada, bir sağlamlık ölçütü tanımlanmıştır. Bu ölçüte göre yapılan değerlendirmeler göstermiştir ki, sağlam çözümler mevcuttur ve bu çözümler YBS ile bulunabilir (Jensen ve Hansen, 1999).

Cheng ve Kovalyov (1999) çalışmalarında ise *n* tane işin çizelgelenmesi problemini aynı özelliklere sahip makineler üzerinde yapmışlardır. Her bir makine, başlangıç zamanından itibaren boş kalmadan kullanıma hazır ve aynı anda en fazla bir işi yapabilecek kapasitedir. Her bir iş pozitif bir işlem süresi (p_i) gerektirmektedir. Buradaki işlere toplam işe ve aylak süreye dayalı teslim tarihi belirleme tekniğine ve $d_j=k.p_j+q$ formülüne göre uygun şekilde teslim tarihleri atanır. Burada *k* ve *q* regresyonla bulunan parametreler olup siparişin teslim tarihi *dj* ve işin işlem süresi p_j'dir. İşlerin çizelgelemesi yapıldıktan sonra her bir iş *j* için tamamlanma süreleri (C_j) hesaplanabilmektedir. Belirlenen *k* ve *q* parametrelerini ve tamamlanma sürelerini (C_j) kullanarak, gecikmeler bulunabilir. Gecikme ise $L_j=C_j-d_j$ formülüne göre belirlenir. Bu çalışmada amaç optimum çizelge, optimum *k* ve *q* değerlerini bularak teslim tarihinden

maksimum mutlak sapma olan artı (gecikme) veya eksi (erken bitirme) sapmayı minimize etmeye çalışmaktır. Problemi çözerken toplam işe ve aylak süreye dayalı teslim tarihi belirleme metodunu kullanarak optimum çizelgeleme yapmaya ve proses zamanını artı yönde bekletmeye çalışarak en iyi teslim tarihini belirlemeyi amaçlamışlardır.

Çizelgelemenin, atölyeler için üretim yönetimi ve kombinatoryal (çözüm kümesi kesikli karar değişkeni olan) optimizasyon açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çizelgeleme kurallarını dikkate alan iş ve *m* iş istasyonu/makine olduğu bir atölye için hibrit genetik algoritma yaklaşımını komşuluk arama, tavlama benzetimi ve geleneksel genetik algoritma ile sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Geliştirdikleri hibrit genetik algoritma yönteminin daha verimli ve daha etkili sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir (Zhou ve diğerleri, 2001).

Horn (1973) birbirinden bağımsız paralel makinelerde işlerin toplam tamamlanma zamanını en küçükleyen amaç fonksiyonun polinomal zamanlı çözümün olduğunu göstermiştir. Eğer işlere öncelik verilirse, problemin çözümü NP-Zor hale gelmektedir (Schuurman, 2001).

Geyik ve Cedimoğlu (2001) ATÜ çizelgeleme problemlerinin çeşitli yerel arama, genetik algoritma, benzetimli tavlama ve tabu arama gibi komşuluk araştırması temeline dayanan arama yöntemleriyle çözümünde komşuluk yapısının çok önemli bir unsur olarak ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, tabu arama algoritmasını kullanarak yeni komşuluk yapısının, komşuluk arama yöntemiyle atölye tipi çizelgelemede etkinlikle kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yang ve Wang (2001) atölye çizelgelemede yeni bir adaptif yapay sinir ağı ve sezgisel hibrit yaklaşım sundular. Olurlu çözüm sırasında sinir ağı, proses elemanlarının bağlantı ağırlıkları ve bias değerlerini adapte etme özelliğine sahiptir. Yapay sinir ağı ile birleştirilebilen iki sezgisel sundular. Bunlardan biri yapay sinir ağının çözümünü hızlandırmakta ve ağın yaklaşımını garanti etmekte kullanıldı. Diğeri sinir ağı tarafından sağlanan olurlu çözümlerden gecikmesiz çizelgeleri elde etmede kullanıldı. Bilgisayar benzetimleri önerilen hibrit yaklaşımın hızlı ve etkin olduğunu göstermiştir.

Shabtay ve Kaspi (2004) minimum toplam ağırlıklı tamamlanma zamanlı tek makine çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Çok terimli zaman algoritmaları kullanarak çözülebilen bazı özel durumları analiz etmiş ve sunmuşlardır. Genel durumlar içinde sezgisel algoritmaları önermişlerdir.

Watanabe ve diğerleri (2005) atölye tipi çizelgeleme problemleri için düzenlenmiş genetik algoritma ile araştırma alanı adaptasyonunu test etmişler. Özellikle çaprazlama operatörü üzerinde yapılan çalışmayla genetik algoritma daha iyi sonuçlar vermiştir.

Şevkli ve Yenisey (2006), parçacık sürü optimizasyonu yöntemini, zor problemlerden olan atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanmışlardır. Oluşturdukları modeli, tamamlanma zamanı performans ölçütüne göre literatürde yer alan bazı zor test problemleri üzerindeki sonuçları incelenmiş ve iyi sonuçlar veren diğer sezgisel yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmışlardır. Sonuç olarak, önerilen modelin diğer yöntemlere göre daha iyi veya eşdeğer seviyede olduğu görülmüştür.

Chandrasekaran ve diğerleri (2006), "Solving job shop scheduling problems using Artificial immune system" isimli çalışmalarıyla atölye çizelgeleme problemlerinde yapay bağışıklık algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmalarını, 130 benchmark problemi (5 ORB, 5 ARZ, 40 LA ve 80 TA) üzerinde test etmiş ve YBA'nın bu alanda başarıyla uygulanabileceğini, genetik algoritma ve tabu araması gibi yöntemlerle kıyaslayarak göstermişlerdir.

Gürel ve Aktürk (2007) toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ve imalat maliyetini minimize eden amaçlarla iki amaçlı problem üzerinde çalışmışlardır. İşlem zamanı kararlarının çizelgeleme performansı kadar imalat maliyetini etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Biroğul ve Güvenç (2007) tarafından yapılan çalışmada, atölye çizelgeleme probleminin genetik algoritma ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Atölye çizelgeleme problemlerinin klasik matematiksel yöntemlerle çözülemeyeceğini ve en iyi çözümün sezgisel yöntemlerle elde edileceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında, ürün adedinin dikkate alınmasının hem oluşacak olan Gantt şemasına hem de genetik algoritmanın çalışmasına nasıl bir etki edeceğini incelenmişlerdir.

Udomsakdigool ve Kachitvichyanukul (2008) tarafından metasezgisel yöntemlerden karınca kolonisi optimizasyon yöntemini ATÜ probleminde kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmayı 3 bölümde özetlemişlerdir. İlk bölümde karınca kolonisi algoritmasının en uygun sonuçları elde edebilmesi için parametre ayarlamaları yapmışlardır. Sonraki bölümlerde ise çalışmalarını, benchmark problemleriyle test etmiş ve sonuçları analiz etmişlerdir.

Essafi ve diğerleri (2008) gerçekleştirme ve teslim tarihlerini dikkate alan atölye tipi çizelgeleme probleminde toplam ağırlıklı gecikme zamanının azaltılması problemini genetik algoritma yöntemi ile çözmüşlerdir.

Gholami ve Zandieh (2008), dinamik esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için benzetim ve genetik algoritma yaklaşımlarını bütünleştirmiştir. Çalışmalarında, literatürdeki çalışmaların çoğunda göz önünde bulundurulmayan, makinelerin sürekli olarak hazır olamaması (bozulma, bakım v.b. nedenlerle) veya işlerin kesintiye uğraması gibi durumları rassal olarak modele dahil etmişlerdir. Benzetim sonuçları incelendiğinde, makinelerin ortalama tamir süresinin ve makinelerin ortalama arızalanma seviyesinin çizelgeleme verimi üzerinde çok önemli etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir.

Vilcot ve Billaut (2008) genel atölye tipi çizelgeleme problemlerine, hızlı ve seçkinlik genetik algoritma yöntemi ve tabu araştırması ile çözüm aramışlardır. Başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturdukları uygulamada elde ettikleri test sonuçlarına göre genetik algoritma ve tabu araştırması yöntemlerinin her ikisinin de etkili çözüm metodu olduğunu göstermişlerdir.

Bondal (2008) tez çalışmasında, hem ATÜ çizelgelemeyi hem de YBS'yi ayrıntılı olarak ele almıştır. Atölye tipi çizelgeleme probleminde FT06, FT10, LA01, LA02, LA03, LA04, LA05, LA16, ABZ5, ABZ6 isimli problemleri, kendi çalışması ile test etmiş ve elde ettiği sonuçları parametre değerleriyle ayrıntılı olarak değerlendirmiştir. Burada YBS'de önemli olan KSM'yi kullanmıştır. Algoritmanın başında tüm çizelgelemeleri rastgele üreterek, belli bir gen kütüphanesi oluşturmuştur. Uygulamada lokal minimuma takılmamak için nesil boyunca rastgele değerler üretmeye devam etmiştir. Çalışmasının sonunda YBS'nin kararlılığına ve optimal sonuçlar üretmesine dikkat çekmiştir.

Hasan ve diğerleri (2009) ATÜ için memetik algoritmasını kullanmışlardır. Geliştirdikleri algoritmayı 40 test problemine uygulayarak optimum sonuçlar elde etmişlerdir. Daha sonra elde ettikleri sonuçları diğer algoritmalarla kıyaslayarak memetik algoritmasının bu alanda başarıyla uygulanabileceğini göstermişlerdir.

Hong (2009), YBS'de KSM'nin global yakınsama özelliğini artırmak ve kaos sisteminin dinamik seçim mekanizmasını kullanmak amacıyla CLONALG algoritmasına ek özellikler dahil ederek yeni bir seçim mekanizması ortaya çıkardı. Önerilen sistem, atölye çizelgelemede iş seçim aşamasında mantıksal bir denklemle antikor seçimini ve yine kaos sistemine göre mutasyona uğratma mekanizmasını içerir.

Hong, önerdiği yöntemi FT10 ve FT20 test problemlerine uygulayarak elde ettiği sonuçları CLONALG ve genetik algoritma ile kıyaslamıştır. Değerlendirme yapıldığında önerilen sistemin doğruluğunu gösteren sonuçlara ulaşılmıştır.

Aladağ (2010) tez çalışmasında, tekrar İşlemeli esnek atölye tipi çizelgeleme problemini incelemiştir. NP-Zor sınıfında yer alan atölye tipi çizelgeleme, en zor kombinatoryel en iyileme problemleri içindedir. Aladağ'ın incelediği yöntem olan esnek atölye tipi çizelgeleme problemi, klasik atölye çizelgeleme problemlerinden daha da karmaşık bir problemdir. Çalışmasında YBS'yi ayrıntılı inceledikten sonra algoritmanın reseptör ve klon seçim, mutasyon, eleme gibi mekanizmaları üzerinde değişiklikler yapmıştır. Populasyon içerisinden klon kümesine seçim işleminde rulet çarkı ile seçme yöntemini kullanarak başarılı sonuçlar elde etmiştir. Çalışmasını 10 farklı MK problemi üzerinde test etmiştir.

Akhshabi ve diğerleri (2011) YBS'de önemli bir yere sahip olan KSA'yı, esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinde kullanmışlardır. Makespan değerini minimize etmek amacıyla KSM'yi bu NP-Zor probleme adapte etmişlerdir. KSM'nin 3 temel (klonlama, seçim, mutasyon) özelliğini kullanarak elde ettikleri sonuçları diğer üç kombinatoryal optimizasyon yöntemleriyle kıyaslamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara bakılınca, bu yöntemin özellikle seçim ve mutasyon kısmı üzerinde yapılabilecek değişikliklerle optimum sonuçlar elde edileceği belirtilmiştir.

Mahapatra (2012), "Job Shop Scheduling Using Artificial Immune System" isimli çalışmasıyla YBA'yı kullanarak ATÜ sistemlerinde çizelgeleme problemi üzerinde en optimum çözümü elde etmeyi amaçlamıştır. Yaptığı çalışmada, reseptör ve klon kümelerine mutasyon uygulamış ve optimum sonuca yakın değerler elde ederek bu sonuçları hem PSO hem de TSSB ile karşılaştırmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasında, atölye çizelgeleme probleminin optimizasyonu için YBS kullanılmaktadır. YBS'nin klonlama, mutasyon ve seçim mekanizması üzerinde yapılan değişiklikler ile ortaya konulan iki farklı algoritma, test problemlerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

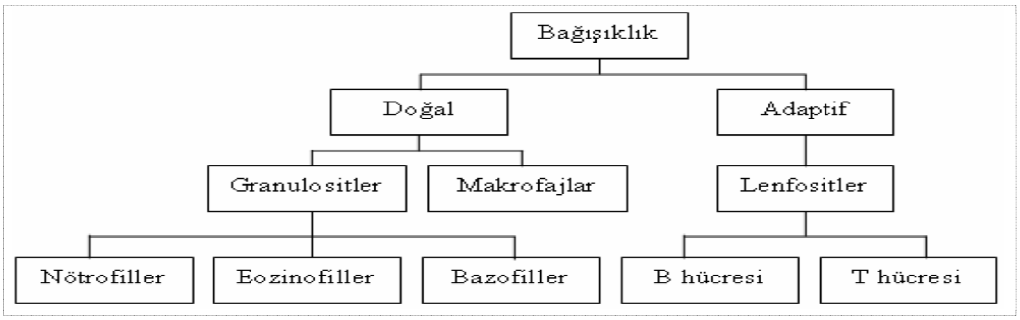
2.1. Doğal Bağışıklık Sistemi

2.1.1. Doğal Bağışıklık Sisteminin Özellikleri

Vücuda giren yabancı maddelerin etkisiz hale getirilmesi, dışarıya atılması veya yakılması için vücudun oluşturduğu fizyolojik mekanizmaların tümü bağışıklık sistemini oluşturur (Çetin, 1981). İnsanın doğal bağışıklık sistemi, kendi kendini yöneten ve dağıtılmış çok temsilcili bir sistemdir.

Bağışıklık sistemi enfeksiyonlara karşı doğal, hızlı ve etkili mekanizmalar içermektedir. Bağışıklık sisteminde iki katlı bir savunma sistemi söz konusudur. Bunlar doğal ve adaptif bağışıklık sistemidir. Her iki sistem beyaz kan hücrelerinin (akyuvar) aktivitesine bağlıdır. Bu aktiviteler doğal bağışıklıkta granulositler ve makrofajlar yoluyla, adaptif bağışıklıkta ise lenfositler yoluyla olmaktadır. Şekil 2.1'de bağışıklık sistemleri bileşenleri gösterilmektedir (De Castro ve Timmis, 2002a).

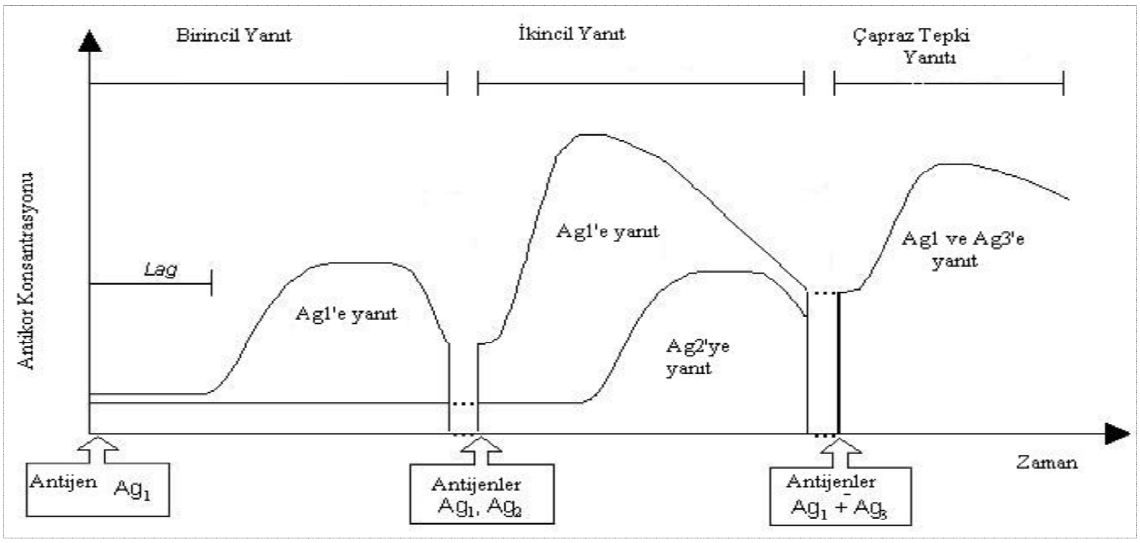
İnsan vücudu dış çevreyle sürekli bir iletişim halinde olduğu için her an risk altındadır. Bu dış faktörler bakteriler, virüsler ve diğer mikroorganizmalardır. Bu dış faktörler, solunan hava, içilen su ve yenilen yemekte dahi karşımıza bir risk olarak çıkmaktadır. Bu risklere karşı vücudun savunmasını bağışıklık sistemi gerçekleştirmektedir.



Şekil 2.1. Bağışıklık sistemi bileşenleri (De Castro ve Timmis, 2002a)

2.1.2. Doğal Bağışıklık Sisteminin Elemanları

Bağışık yanıtı: Vücuda giren yabancı maddelerin etkisiz hale getirilmesi, dışarıya atılması veya kimyasal bir değişime tabii tutulması için vücudun oluşturduğu bütün fizyolojik mekanizmalara denir (Baysal, 2001). Bağışık yanıtı birincil ve ikincil yanıt şeklinde iki kısımdan oluşur. Birincil bağışık yanıtı antijenlerin ilk kez vücuda girdiğinde vücudun verdiği tepkidir ve yavaştır. İkincil bağışık yanıtı ise daha hızlı ve kısa sürelidir. Şekil 2.2'de öncelikle verilen Ag1 antijenine verilen bağışık yanıtı ile ikinci kez verilen Ag1 antijenin bağışık yanıtı gösterilmektedir. Görüldüğü gibi ikincil bağışık yanıtı çok daha hızlı ve daha yoğun bir antikor konsantrasyonu ile gerçekleşmektedir.



Şekil 2.2. Bağışık yanıtı (Baysal, 2001)

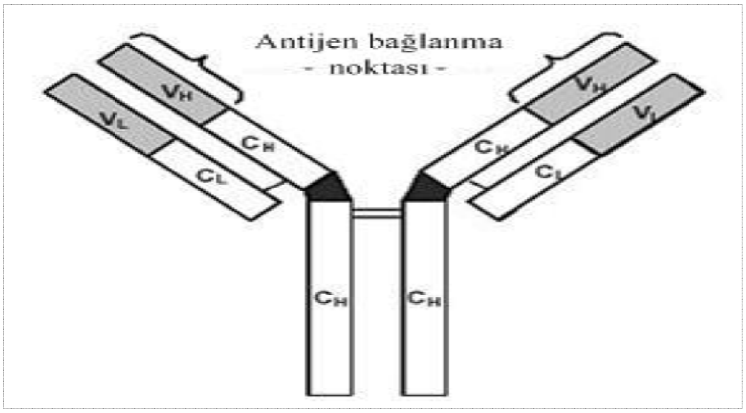
İmmunojen: Girdiği canlının vücudunda hümoral veya hücresel bağışık yanıt oluşturan maddeye denir (Baysal, 2001). İmmun cevap oluşturan yabancı madde demektir. İmmunojen ise immun yanıt meydana getirme kabiliyetindeki herhangi bir maddedir.

Antijenler: Organizmada bağışık yanıta neden olabilen yabancı molekülleri antijen olarak tanımlıyoruz (Yeğin, 1992). Diğer bir deyişle antijen, kendisine karşı oluşan antikorlarla özel şekilde birleşme yeteneğinde olan maddedir. Antijenlerin çoğu hem immunojen hem de antijen özelliğine sahiptirler. Antijenin reseptörlerine epitop adı verilir.

Antikorlar: Doku sıvılarında bulunan bir grup glikoproteindir. Antikor belirli bir antijene özgüdür. Antikorlar B lenfositleri tarafından antijene karşı yapılırlar ve yapılmalarına neden olan antijene özgül bir şekilde bağlanırlar (Yeğin, 1992).

İnsanda 5 farklı antikor molekülü tipi bilinmektedir; IgM, IgG, IgA, IgD, IgE. İmmünglobulinler molekül büyüklükleri, aminoasit dizilimleri, karbon hidrat içerikleri ve işlevleri yönünden farklılık gösterir (Yeğin, 1992).

Antikorun antijene bağlanmasını sağlayan reseptörlerine idiotop veya paratop adı verilir. Antikorun temel yapısı Şekil 2.3'te verilmektedir. Şekil 2.3'te Vh ile gösterilen kısımlar antijenlere bağlandıkları noktalardır. Bu şekilde altta kalan kök kısmı Fc, Üst kısmı ise Fab olarak isimlendirilir.



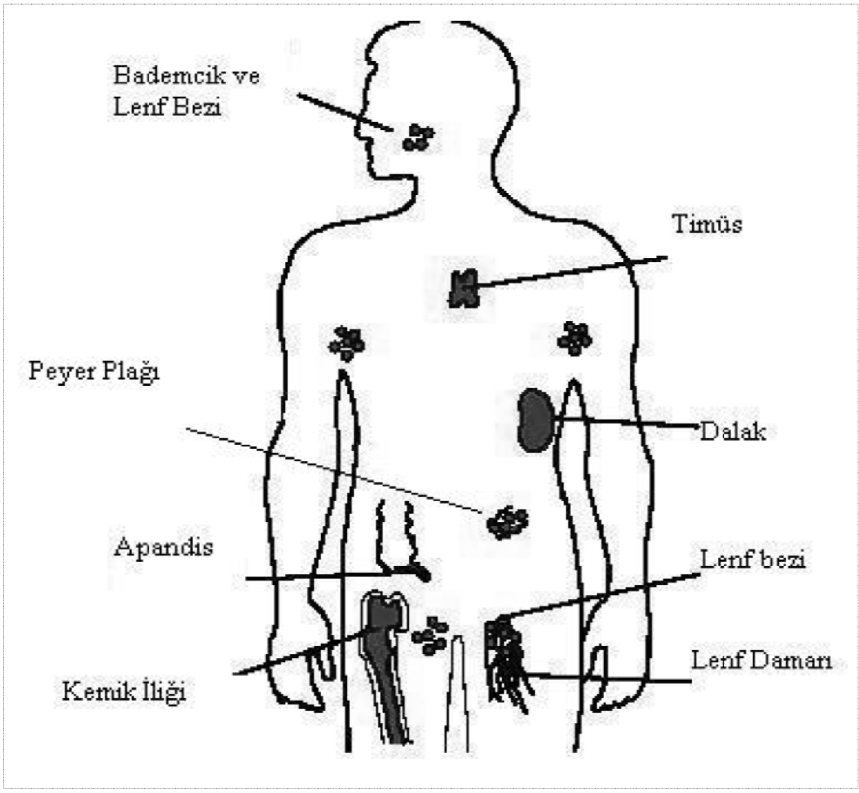
Şekil 2.3. Antikorun temel yapısı ve antijene bağlanma noktaları (De Castro ve Von Zuben, 1999)

Lenfoid organlar: Bağışıklık sistemini meydana getiren dokular ve organlar vücudun her tarafına dağıtılmıştır. Lenfositlerin üretimi, büyümesi ve gelişmesi ile ilgilenen bu

organlar lenfoid organlar olarak bilinirler. Lenfoid organların temel fonksiyonları ise şöyledir (De Castro ve Von Zuben, 1999):

- Bademcik ve lenf bezi: Solunum sistemine saldırılara karşı vücudu koruyan bağışıklık hücreleri içeren özelleşmiş lenf düğümleridir.
- Lenf damarları: Bağışıklık organları ve kan için lenf taşıyan kanalların ağından oluşmaktadır.
- Kemik iliği: En uzun kemiklerin içindeki yumuşak dokudur ve bağışıklık hücrelerinin oluşturulmasından sorumludur.
- Lenf düğümleri: Her düğümün B ve T bağışıklık hücrelerini depoladığı lenf damarlarının yakınında bulunur.
- Timüs: Kemik iliğinde çoğalıp olgunlaşan ve timüsün içerisine göç eden birkaç hücre timüste çoğaltılarak T hücrelerine gönderilir.
- Dalak: Lökositlerin kan akışına saldıran organizmayı yok ettiği yerdir.
- Apandis ve Peyer's patchs: Bağışıklık hücreleri içeren özelleşmiş lenf düğümleri sindirim sistemini korumak için ayrılır.

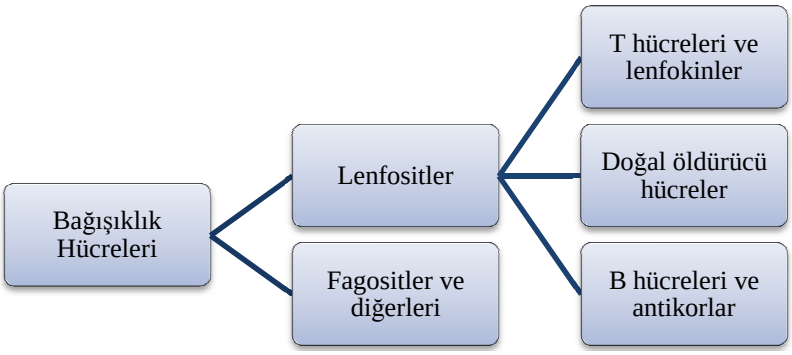
Lenfoid organlar vücudun savunmasında önemli bir yere sahiptir. Bu organların vücuttaki yerleri Şekil 2.4'te verilmektedir.



Şekil 2.4. Lenfoid organlar (Junquiera ve diğerleri, 1992)

2.1.3. Doğal Bağışıklık Sisteminin Hücreleri

Vücudumuzun savunmasında kullanılan bağışıklık hücreleri Şekil 2.5'te verilmektedir.



Şekil 2.5. Bağışıklık hücreleri

Lenfositler: Lenfositler bağışıklık sisteminde önemli bir sorumluluğa sahip küçük lökositlerdir. Lenfositlerin iki ana tipi vardır. Bunlar antikor salgılama yeteneğine sahip plazma hücreleri içerisinde ayrılmayı aktif eden B ve T lenfositleridir (Karaboğa, 2011).

B hücreleri ve antikorlar: B hücrelerinin temel fonksiyonu bakteri, virüs ve tümör hücreleri gibi dış kaynaklı proteinlere tepki vermek için antikor üretmek ve salgılamaktır. Her B hücresi belirli bir antikor üretmek için programlanmıştır. Antikorlar bir başka belirli proteini tanıyan ve ona bağlanan belirli proteinlerdir. Antikor üretimi ve bağlanması genellikle maddeyi kuşatıp sindirme veya yok etme diğer hücreleri öldürmek için sinyal verme şeklinde olur. Antikor molekülü, bağışıklık sisteminin en önemli tanıma elemanlarından birisidir.

T hücreleri ve lenfokinler: T hücreleri timüs içerisinde olgunlaştığı için bu isimi almışlardır (Dreher, 1995). Onların fonksiyonu diğer hücrelerin hareketlerini düzenlemeyi ve direkt olarak bünyeye bulaşmış hücrelere atak yapmayı içermektedir. T lenfositleri üç temel alt sınıfa ayrılabilirler. Bunlar Yardımcı T hücreleri (Th), sitotoksik T hücreleri ve bastırıcı T hücreleridir.

Yardımcı T hücreleri veya basit olarak Th hücreleri B hücrelerinin, diğer T hücrelerinin, makrofajların ve doğal öldürücü hücrelerin aktivasyonu için gereklidir. Onlar aynı zamanda CD4 veya T4 hücreleri olarak bilirler.

Öldürücü T hücreleri veya zehirli T hücrelerinin mikrobik saldırganları, virüsleri veya kanserli hücreleri yok etme yeteneği vardır. Bir kez aktive olunca ve onların ligandlarını kuşatınca onlar diğer hücrelerin yüzey zarına nüfuz ederek ve onların yıkımına sebep olarak zararlı kimyasal maddeleri sindirirler.

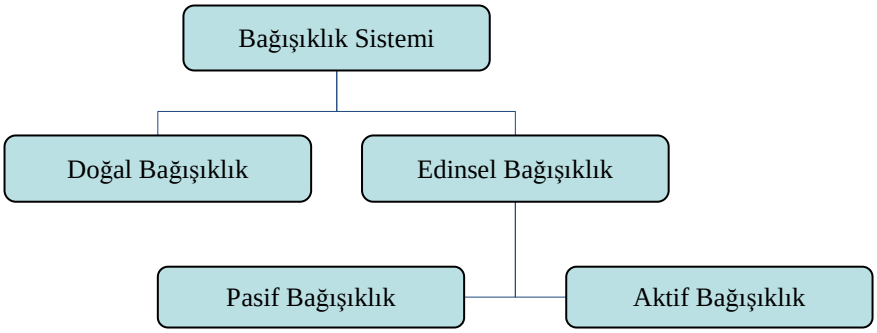
Bastırıcı T lenfositleri bağışıklık tepkisini muhafaza etmek için hayatidir. Onlar bezen CD8 hücreleri olarak adlandırılır ve diğer bağışıklık hücrelerinin hareketini engeller. Onların aktivitesi olmaksızın bağışıklık, alerjik reaksiyonlar ve autoimmune hastalılarda kesinlikle kontrolü kaybeder.

T hücreleri öncelikle sitokinler olarak bilinen veya daha spesifik olarak lenfokinler ve onlarla ilişkili monositler ve makrofajlar tarafından üretilen monokin maddelerini salgılayarak çalışır. Bu maddeler güçlü kimyasal haberciler meydana getirir. Lenfokinler hücresel gelişme, aktivasyon ve regülasyonu sağlarlar. Ayrıca lenfokinler aynı zamanda öldürme hedefli hücrelerdir ve makrofajları uyarabilirler (Karaboğa, 2011).

2.1.4. Doğal Bağışıklık Sisteminin Yapısı ve Mekanizması

Doğal bağışıklık sisteminin yapısı: Bağışıklık sistemi, hücrelerimizden ve dışarıdan gelen bulaşıcı mikroorganizmaların hareketlerini algılama ve savaşma yeteneği olan hücreler, moleküller ve organların karışımıdır. Çok çeşitli bulaşıcı yabancı hücreleri ve maddeleri (nonself element) tanıyabilir ve bulaşıcı olmayan doğal hücreleri (self element) ayırt edebilir. Bir patojen (bulaşıcı yabancı eleman) vücuda girdiği zaman yok edilmek için taranır ve yok edilmeye çalışılır. Sistemin her enfeksiyonu hatırlama yeteneği vardır. Aynı patojenle ikinci kez karşılaşınca daha etkili bir şekilde yok edilir (De Castro ve Von Zuben, 1999).

Vücutta yabancı maddeleri tanıyan iki sistem bulunur. Bunlar doğal bağışıklık sistemi ve edinsel-sonradan kazanılan (adaptif) bağışıklık sistemidir. Bağışıklık sisteminin çeşitleri Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Bağışıklık sistemi

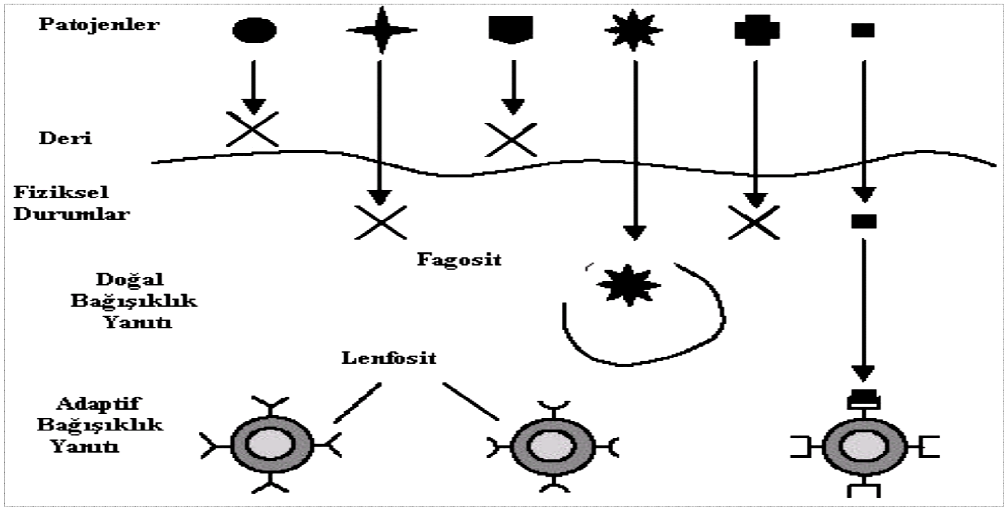
Doğal bağışıklık sistemi adı verilmesinin sebebi vücudun doğumla birlikte mikropları tanıma ve hemen yok etme yeteneğinin olmasıdır. Bizim doğal bağışıklık sistemimiz ilk karşılaşmada çoğu patojenleri yok edebilir. Doğal bağışıklık sisteminin önemli bir bileşeni "complement" olarak bilinen bir kan proteini sınıfıdır. Complement antikorların aktif olmasına yardım etmektedir. Doğal bağışıklık, PAMPs olarak adlandırılan mikrobik patojenlerle birleştirilmiş moleküler patternleri tanımak için PRRs olarak bilinen germinal merkezde kodlanmış alıcıların bir kümesi esasına dayanmaktadır. PAMPs sadece mikroplar tarafından üretilir ve asla organizma tarafından üretilmez bu yüzden PRRs ile onların tanınması, patojenik maddelerin bulunduğuna işaret eden bir sinyalle sonuçlanabilir. Bu şekilde bağışıklık tanıması ile ilgili yapılar bulunduğu vücuda zarar vermekten kaçınmak için özel hücre ve moleküllerden tamamen bağımsız olmak zorundadır. Bu mekanizmanın sonucu olan doğal bağışıklık aynı zamanda self/nonself ayırım yeteneğine sahiptir ve adaptif bağışıklığın desteklenmesinde rol oynar (De Castro ve Von Zuben, 1999).

Doğal bağışıklık tanımasının en önemli aşaması, adaptif bağışıklık tepkisinin başlamasını sağlayan T hücrelerinin aktivasyonunda rol oynayan ASH'ler uyarıcı sinyal ifade etmesidir. Bu şekilde doğal bağışıklık tanıması olmaksızın adaptif bağışıklık tanıması, adaptif tanımada reseptörleri ifade eden lenfositlerin negatif seçimi ile sonuçlanabilir (De Castro ve Von Zuben, 1999).

Adaptif bağışıklık sistemi, B ve T hücreleri şeklindeki iki tip lenfosit klonal olarak dağıtılmış antijen reseptörlerinin somatik olarak oluşturulmasını kullanır. Bu antijen reseptörleri rastgele proseslerle oluşturulur ve sonuç olarak adaptif bağışıklık tepkisinin genel dizaynı, belirli özellikleri olan reseptörleri ifade eden lenfositlerin klonal seçimine dayanmaktadır. Ab, adaptif bağışıklık sisteminde önemli bir rol oynar. Adaptif bağışıklık tepkisinde kullanılan reseptörler gen segmentleri ile birlikte

parçalanarak düzenlenmiştir. Her hücre farklı olarak tekil bir reseptör yapmak için uygun parçaları kullanır. Müşterek olarak bulaşıcı organizmayı tanımak için aktif edilen hücrelerle bir yaşam boyunca karşılaşılır. Adaptif bağışıklık daha önce saldırganla hiç karşılaşılmasa bile vücudun her hangi bir mikrobu tanımasını ve tepki vermesini sağlar. Bağışıklık sisteminin mimarisi doğal olarak çok katmanlıdır. Savunma çeşitli katmanlara yayılmıştır (Şekil 2.7). Koruma katmanları aşağıdaki kısımlara ayrılabilir (De Castro ve Von Zuben, 1999):

- Fiziksel engeller: Derimiz saldırılara karşı vücudumuzu korumak için kalkan gibi çalışır. Solunum sistemi aynı zamanda antijenlerden uzak durmada yardımcı olur. Deri ve mukoz zarı solunum ve solunum ile makrofajları ve antikorları içerir.
- Psikolojik engeller: tükürük, ter, gözyaşı gibi sıvılar yıkıcı enzimler içermektedirler. Mide asitleri yeme ve içme ile vücuda giren mikroorganizmaları öldürürler. Vücudun sıcaklığı ve pH değeri bazı saldırganlar için elverişsiz hayat şartları sunar.

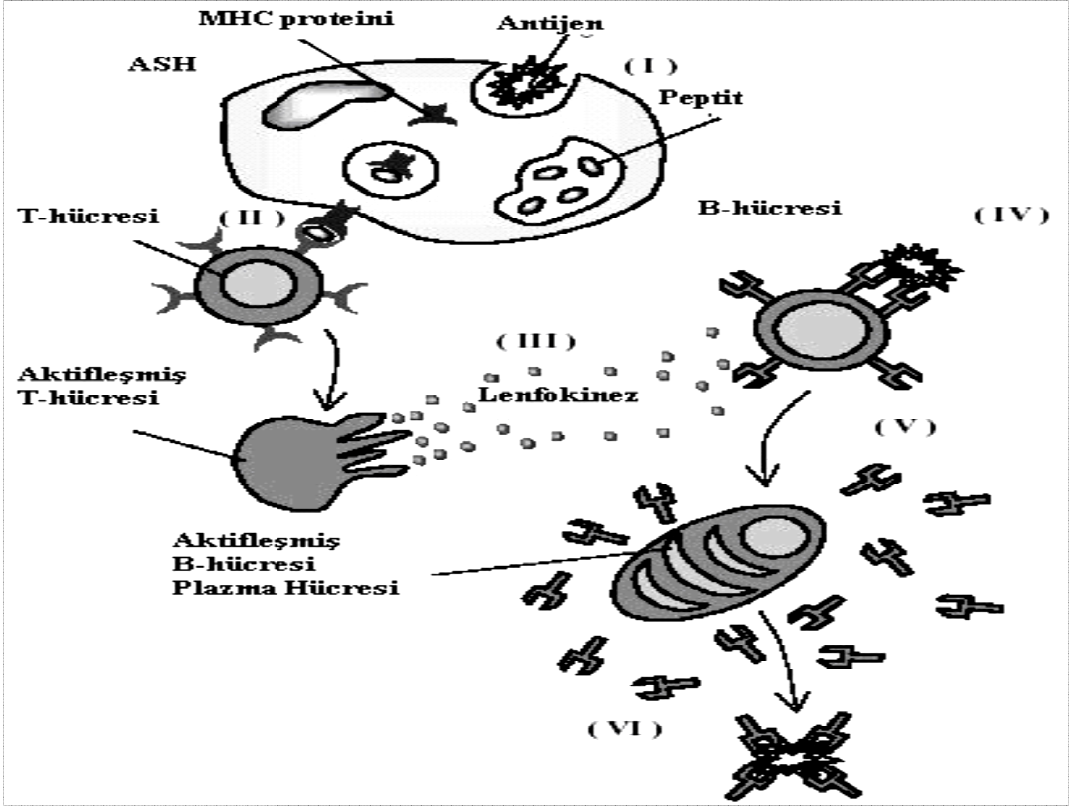


Şekil 2.7. Bağışıklık sisteminin katmanları (De Castro ve Von Zuben, 1999)

Doğal bağışıklık sisteminin mekanizması: Bağışıklık sistemi, vücudumuzu enfeksiyonlara karşı koruyan bir grup hücreden oluşmaktadır. Vücudumuz sürekli olarak antijenlerin saldırılarına maruz kalmaktadır. Bu antijenler yabancı hücreler olabileceği gibi vücudumuzun kendi hücresi de olabilir. Şekil 2.8'de adım adım temel bağışıklık tanıma sistemi ve aktivasyon mekanizması anlatılmaktadır (De Castro ve Von Zuben, 1999).

I. Protein parçacıkları MHC molekülleri ile birleşirler.
II. T lenfositler reseptörleri vasıtasıyla bu protein-MHC birleşimini ayırt edebilirler.
III. T lenfositler bu tanıma sonrasında aktive olurlar ve salgıladıkları lenfokinler ile diğer bağışıklık sistemi hücrelerini harekete geçirirler.
IV. B hücreleri de reseptörleri yardımıyla aktive olurlar. B hücrelerinin T hücrelerinin aksine MHC molekülleri olmaksızın serbest antijenleri tanıyabilme özellikleri vardır.
V. Aktive olan B hücreleri plazma hücrelerine dönüşürler ve antikorları üretirler.
VI. Antikorlar buldukları antijenlere bağlanarak onları pasif hale getirirler veya kompleman sistem veya diğer enzimler yardımıyla yok ederler.

Gelecekte karşılaşıldığında daha güçlü bir reaksiyon gösterebilmek için bazı T ve B hücreleri antijenle uyarıldıktan sonra hafıza hücrelerine dönüşürler.



Şekil 2.8. Bağışıklık sisteminin çalışma mekanizması (De Castro ve Von Zuben, 1999)

2.2. Yapay Bağışıklık Sistemi

YBS, robotik, optimizasyon, sınıflandırma, yapay sinir ağları yaklaşımları, anormallik tespiti, etmen tabanlı yaklaşımlar, öğrenme, indüktif problem çözme, örüntü

tanıma, bilgisayar modelleri, çizelgeleme, bilgisayar ve ağ güvenliği, veri madenciliği, veri analizi, self-tanıma işlemi, sensör tabanlı teşhis, ekoloji gibi birçok alanda uygulanan bir hesaplama tekniği olarak karşımıza çıkar.

2.2.1. Yapay Bağışıklık Sisteminin Tarihçesi ve Yapılan Çalışmalar

1876 yılında Edward'ın aşıyı bulmasıyla doğal bağışıklık bilimi ortaya çıkmıştır. Bu tarihten itibaren bağışıklık bilimiyle ilgili birçok önemli çalışma yapılmıştır. Bunlara paralel olarak YBS ile ilgili insan vücudunun bağışıklık sistemi yapısının iyice öğrenilmesi sonucu bu fonksiyonları gerçekleştiren benzer sistemler geliştirilmiş ve sınıflandırma, bilgisayar güvenliği, optimizasyon gibi alanlarda birçok çalışma yapılmıştır. 1900'lı yılların ikinci yarısından itibaren gelişmeye başlayan yapay zeka, insan gibi düşünen ve davranan makinelerin ortaya çıkarılması gibi amaçlara yönelik çalışmalarda büyük ölçüde insanın biyolojik sisteminin işleyişini referans almıştır. 1974 yılında Jerne'nin ortaya attığı bağışıklık ağı teorisi ve bağışıklık sistemindeki işleyişleri daha anlaşılabilir kılan bağışıklık sistemi modelleri, yapay zeka araştırmacılarının ilgisini çekmiş ve oluşturulan yeni algoritma ve uygulamalarla YBS birçok probleme uygulanmıştır. YBA, yapay zeka algoritmalarında önemli bir yere sahip olan yapay sinir ağları kadar henüz gelişmemiştir. Ancak son yıllarda bu konuda daha fazla çalışma yapılmış ve birçok alanda uygulama yapılabilecek bir sistem haline gelmiştir. Özellikle 1990'lı yılların sonlarına doğru yapay sinir ağlarına benzer birçok algoritma yapay bağışıklık algoritmasında da gelişme göstermiştir. Daha sonra bu algoritmalarla ilgili birçok uygulama ve sistem geliştirilmiştir.

Bağışıklık-tabanlı sistemlere özel ilk çalışma kurultayı 1996'da gerçekleştirilmiştir. Y. Ishida bu alandaki çalışmaların ilk taramasını yayınlamıştır (Ihsıda, 1996). Bu taramada bahsi geçen 33 çalışmadan sadece yaklaşık 18'i YBS kategorisine dâhil edilebilir.

Dasgupta ve Attoh-Okine (1997), yaklaşık bir yıl sonra başka bir tarama yayınlamışlardır. Bu taramada yine 18'i YBS çalışması olarak nitelendirilebilen 30 çalışmadan bahsetmişlerdir.

2000'li yılların başlarında, De Castro ve Von Zuben (2000a) bu alanı daha detaylı bir şekilde gözden geçiren bir teknik rapor hazırlamışlardır. Raporda yer alan 93 çalışmadan 83'ü YBS çalışması olarak kabul edilebilir niteliktedir. Daha sonra 2001 yılında Dasgupta ve diğerlerinin (2001) yayınlamış oldukları teknik raporda ise bu sayı

120'e ulaşmıştır. 2000'li yıllarda YBS'ye gösterilen ilgideki bu artış, günümüze kadar devam etmekte ve gerçekleştirilen çalışmalar 2002 yılından itibaren her yıl düzenlenmekte olan ICARIS-International Conference on Artificial Immune Systems konferanslarıyla ve farklı dergi ve sempozyumlarda yayınlanan bildiri ve makalelerle araştırmacıların paylaşımına sunulmaktadır.

YBS alanında yapılan çalışmaları uygulama alanlarına göre ayırmak mümkündür. Bu çalışma alanları ve yapılan uygulamalar aşağıda verilmiştir:

Örüntü tanıma alanında YBS ile ilgili şimdiye kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Tarakanov ve diğerleri (2000), orta Asya'da görülen veba hastalığının zamansan dinamiklerini anlamak ve risk analizini geliştirmek maksadıyla YBS'den yararlanmışlardır. Örüntü tanıma alanında gerçekleştirilen çalışmalardan bir diğeri ise Carter (2000)'in geliştirdiği Immunos-81 adı verilen sınıflama ve örüntü tanıma sistemidir. Carter, bağışıklık sisteminden esinlenerek geliştirdiği sistemde antijenleri, T ve B hücrelerini, klonları ve aminoasit kütüphanelerini modellemiştir. Carvalho ve Freitas (2001) yaptıkları çalışmalarında veri madenciliğinde kullanılan ayrık kuralların keşfinde kullanılmak üzere bir bağışıklıksal algoritma geliştirmişlerdir. Önerilen sistem, YBS ve karar ağacının bir karışımı olarak nitelendirilebilir. Sun ve diğerlerinin (2003), bağışıklık sistemindeki APC, MHC, Th, B ve TS hücrelerini modelleyen hiyerarşik bir sistem geliştirmişlerdir. Her hücre tipinin bir katmanla ifade edildiği sistemde katmanda bulunan hücreler arasındaki ilişkiler ağırlıklarla ifade edilmiştir. Geliştirdikleri sistemi yapay veri kümeleri üzerinde deneyen yazarlar, sistemlerinin veri kümelerini başarıyla sınıflayabildiğini bulgulamışlardır. E-mail sınıflaması için geliştirdikleri yapay bağışıklık sisteminde (AISEC) Secker ve diğerleri (2003), kullanıcılara ilginç gelmeyen e-mail içeriklerinin zamanla değişebileceği gerçeğinden yola çıkarak sürekli öğrenme mekanizmasını temel almışlardır. Çalışmalarında ayrıca gen kütüphanelerinden yararlanan yazarların geliştirdikleri sistemdeki en dikkat çekici nokta ise tanıma ve test fazında uyarım için kullanılan eşik seviyelerinin farklı olmasıdır.

YBS alanında güvenlik konusunda önemli çalışmalar yapılmıştır. Bağışıklık sistemindeki mekanizmalar bilgisayar güvenliği için modellenebilir. Bu konuyla ilgili pek çok YBS çalışması yapılmıştır. Bunlardan birinde Gu ve diğerleri (2000) Internet antijenleri olarak modelledikleri internet hacker'leri ve virüslerine karşı antikor katmanı olarak isimlendirdikleri bir tespit ve eleme sistemi geliştirmişlerdir. Bilgisayar güvenliği alanında sıkça yararlanılan negatif seçme algoritmasında genelde detektörler binary oluşturulur. Skormin ve diğerleri (2001) yaptıkları çalışmada bilgisayar ağlarındaki

bilginin korunmasında bilgi güvenlik sistemlerinin (IIS) öneminden bahsetmiş ve çoklu etmenli bilgi güvenlik sistemlerinde bağışıklıktaki bazı metaforların kullanımını göstermişlerdir. Ji ve Dasgupta (2004) ise ortaya attıkları çalışmada negatif seçme algoritmasında Gerçek değerli ve değişken büyüklükte detektörler oluşturmuşlardır. Detektörlerin değişken büyüklükte tanıma bölgelerine sahip olması özellikle doğrusal olmayan dağılım gösteren veri kümelerinde tanıma yüzdesinin artmasını sağlamıştır. Negatif seçme algoritmasının başarı sağlayabilmesi için detektörlerin tespit yeteneği çok önemlidir. Kim ve diğerleri (2005) gerçek dünya problemlerinde bu mekanizmadan yararlanmak maksadıyla bilgisayar güvenliği algoritması olarak T-hücrelerinin modellendiği bir yapı geliştirmişlerdir. T hücrelerinin bağışıklık sistemindeki işleyiş mekanizmalarını neredeyse bire-bir modelleyen araştırmacılar, sistemlerinde özellikle T-hücresi çoğalması, T hücresi farklılaşması ve T hücresi modülasyonu ve etkileşimi gibi temel mekanizmalar üzerinde durmuşlardır. Bilgisayar güvenliği için YBS alanında denenen bir diğer sistem de doğumsal ve adaptif bağışıklık yanıtlarının hibrit bir şekilde kullanıldığı sistemdir. Tedesco ve diğerleri (2006) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada yazarlar, geliştirdikleri hibrit sistemle mevcut imza tabanı ile kaplanmış saldırılardaki yeni değişimleri içeren paketleri tespit etmeyi hedeflemişlerdir ve elde ettikleri ilk sonuçlarla sistemlerinin ümit vaat edici olduğunu öne sürmüşlerdir. Balachandran ve diğerleri (2007) yaptıkları çalışmada detektörlerin kalitesinin artırılması amacıyla çoklu-şekilli detektörlerin geliştirilmesi için genel bir çalışma yöntemi ortaya atmışlardır. Geliştirdikleri detektörler hiper-dikdörtgenler, hiper-küreler ve hiper-elipsler olabileceği gibi gerçek-değerli negatif seçme algoritmalarında rahatlıkla kullanılabileceklerdir.

Bir sistemde yeniliklerin ya da anormalliklerin tespiti problemi, sistemin karakteristik davranışından sapması olarak görülebilir. Bu alanda da yapılmış YBS çalışmaları mevcuttur. Geliştirdikleri sitemde Dasgupta ve diğerleri (2003) aykırılık tespiti için çok seviyeli bir öğrenme algoritması tasarlamışlardır. MILA (Multilevel Immune Learning Algorithm) adını verdikleri tanıma sistemleri başlangıç fazı, tanıma fazı, evrimsel faz ve yanıt fazı olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Greensmith ve diğerleri (2005) ise yaptıkları çalışmada dentrit hücreleri kullanarak aykırılık tespiti için yeni bir bağışıklık algoritması oluşturmuşlardır. Dentrit hücreler antijeni sunmasıyla, doğumsal ve adaptif bağışıklık arasında ciddi bir bağ kurarlar. T-hücresi bağışıklık yanıtlarını koordine etmesiyle bilinen dentrit hücreleri modelleyerek yazarlar geliştirdikleri algoritmanın kontrol mekanizmasını kurmuşlardır. Gerçek değerli negatif

seçme algoritması bağışıklık sistemindeki negatif seçme prensibinden esinlenilerek oluşturulan bir aykırılık tespiti yaklaşımıdır. Bu algoritma, Hamming şekil uzayının kullanıldığı negatif seçme algoritmasındaki ölçeklendirme problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla oluşturulmuştur. Stibor ve diğerleri (2005) yaptıkları çalışmada, yapay bir veri kümesi üzerinde gerçek değerli negatif seçme algoritmasının sonlandırma davranışını incelemişler ve bu algoritma ile gerçek-değerli pozitif seçme algoritmasını ve statiksel aykırılık tespiti algoritmalarını karşılaştırmışlardır.

Optimizasyon alanında da literatürde YBS ile ilgili önemli çalışmalar yapılmıştır. Mori'nin geliştirdiği bağışıklık algoritmasının bir modifikasyonunu Huang (2000) gerçekleştirmiş ve dağıtılmış bir sistemde kapasitörlerin yerleştirilmesi problemine uygulamıştır. Optimizasyonda bir diğer tür de zamana bağlı optimizasyondur. Bu alanda Gaspar ve Collard (2000), zamana bağlı optimizasyon problemleri için bir YBS algoritması geliştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışmada Freschi ve Repetto (2005), bağışıklık sistemi davranışına dayalı yeni birçok hedefli optimizasyon algoritması ortaya atmışlardır. Geliştirdikleri algoritmayı da çok hedefli optimizasyon problemlerinde yaygın ve başarılı bir şekilde kullanılan NSGA2 ile karşılaştırmışlardır. Çok hedefli optimizasyon uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilen bir diğer sistem de Chen ve Mahfouf (2006) tarafından ortaya atılan adaptif bir popülasyon tabanlı bağışıklık algoritmasıdır. PAIA olarak isimlendirdikleri sistemlerini klonsal seçme ve bağışıklık ağı teorilerinden esinlenerek ortaya atan yazarlar, algoritmalarında popülasyon ve klon boyutlarını adaptif yaparak hesaplama zamanını önemli ölçüde azaltmayı başarmışlardır.

Bağışıklık sistemindeki öğrenme mekanizması da öenmli bir yere sahiptir. De Castro ve Von Zuben (2000b) gerçekleştirdikleri çalışmada, klonsal seçme mekanizmasını bir antijen sunulduğunda antikor repertuarının dinamiklerini kontrol etmek için kullanmışlardır. Farmer ve arkadaşlarının ortaya attıkları ağ modeli ve Hunt'ın çalışmalarından esinlenerek Timmis ve Neal (2001) danışmansız öğrenmenin gerçekleştiği bir YBS ağı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri ağda B hücrelerini modellemişler ve B hücreleri arasındaki bağlantılar sayesinde antijenleri sınıflamış ve kümelemişlerdir. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan biri, takviyeli öğrenmenin yer aldığı kaynak sınırlamalı yapay bağışıklık sistemidir (AIRS) (Watkins, 2001). Çalışmasında Watkins, bağışıklık sistemindeki kaynak için yarışma, klonsal seçme ve hafıza hücrelerinin saklanması gibi metaforları kullanmıştır. AIRS'deki uzaklık ölçütü Öklid uzaklık ölçütü olarak alınmıştır. Klonsal seçme ve bağışıklık ağı modellerinin

uygulamaları için önemli bir noktaya dikkati çeken Garrett (2003), çalışmasında antikorlar yüzeyindeki paratop ve epitopu aynı binary dizide modelleyerek ortaya attığı sistemde alternatif bir gösterim şekli oluşturmuştur. Hamaker ve Boggess (2004), bu uzaklık ölçütünün yerine Manhattan, Overlap, VDM, HEOM, HVDM ve DVDM uzaklık ölçütlerini kullanarak UCI veritabanından elde ettikleri Iris, Wisconsin breast cancer, heart ve Crx veri kümeleri üzerinden bu ölçütlerin performanslarının karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. YBS sistemlerinde gösterim şekli olarak şekil uzayı gösterimi seçilmiş ve sistemdeki birimlerin etkileşimlerini modellemek için genellikle uzaklık ölçütleri kullanılmıştır. Fakat uzaklık ölçütlerinde veriler arasındaki uzaklıklar hesaplanırken her özellik eşit oranda etkiye sahiptir. Bunun getirebileceği dezavantajlara dikkati çeken Şahan ve diğerleri (2004), geliştirdikleri AWAIS algoritması ile özelliklerin ağırlıklandırma ile uzaklık hesabında kullanılmasını sağlamışlardır. Şahan ve diğerleri (2005) yaptıkları bir diğer çalışmada geliştirmiş oldukları AWAIS sisteminin biyomedikal sınıflama problemlerindeki performansını analiz etmişlerdir. UCI veritabanından alınan Statlog kalp hastalığı verisi ve Pima diyabet hastalığı verisini kullanan yazarlar her iki veri kümesi için sırasıyla %82.59 ve %75.87 sınıflama doğruluklarına ulaşmışlardır. Klonsal seçme algoritmaları üzerine yapılan bir diğer çalışma Cutello ve diğerleri (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmadır. Yazarlar çalışmalarında iki klonsal (klonal) seçme algoritmasının CLONALG ve opt_IA'nın karşılaştırmalı analizini gerçekleştirmişlerdir. Polat ve diğerleri (2005), AIRS'deki kaynak dağılımı mekanizmasını değiştirerek bulanık mantık kurallarıyla yeni bir kaynak dağılımı mekanizması tanımlamışlar ve bu sistemi de UCI veritabanından alınan outdoor görüntülerinin sınıflandırılmasında kullanmışlardır. Fuzzy-AIRS ile % 90 sınıflama performansına ulaşan yazarlar, bu sonucun AIRS'nin performansından hem sınıflama zamanı bakımından hem de sınıflama doğruluğu bakımından daha iyi olduğunu da belirtmişlerdir. Polat ve diğerleri (2006) yaptıkları bir diğer çalışmada fuzzy-AIRS sistemini atherosclerosis hastalığının tespitinde kullanmışlardır. Doppler verilerinin kullanıldığı sınıflama uygulamasında yazarlar, fuzzy-AIRS sistemi ile % 100 sınıflama doğruluğuna ulaşmışlardır. Özsen ve diğerleri (2007), daha önceki çalışmalarında (Şahan ve diğerleri, 2004) geliştirmiş oldukları AWAIS sistemini doppler verilerine uygulayarak atherosclerosis hastalığı teşhisinde kullanmışlar ve % 100 sınıflama doğruluğuna ulaşmışlardır.

Neal ve diğerleri (2006), robotlarda hasar ve parça bozulmasına karşı gösterilen hatalı yanıtların çözümü için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model bağışıklık

sistemindeki iltihaplanma mekanizmasını temel almaktadır. Bu alanla ilgili simülasyonlar gerçekleştirmişler. Elde ettikleri sonuçlar ile böyle bir yaklaşımın yararlarını belirtmişlerdir.

YBS kullanılarak çizelgeleme konusunda da oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Bu alanında önemli bir çizelgeleme uygulaması King ve diğerleri (2001) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazarlar bağışıklık sistemine dayalı olarak çizelgeleme uygulamalarında kullanılacak zeki elemanlar için bir biyolojik temel tanımlamışlardır. Ong ve diğerleri (2005) yaptıkları çalışmada klonsal seçme prensibini temel alarak esnek çizelgeleme problemleri için bir sistem ortaya atmışlardır. Çizelgeleme alanında yapılan çalışmalardan bir diğeri de Carpaneto ve diğerleri (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmadır. Kompleks enerji sistemlerinde optimal çizelgeleme için YBS'nin kullanıldığı çalışmada YBS, doğrusal programlama ile hibrit bir şekilde kullanılmış ve farklı enerji çizelgeleme problemleri için sistem analiz edilmiştir. Sonuçları klasik MILP (Mixed Integer Doğrusal Programming) yaklaşımıyla karşılaştıran yazarlar, bazı teknik durumlarda YBS'nin problemle etkin bir şekilde baş edebildiğini ve MILP'e üstünlük sağladığını bulmuşlardır.

Son olarak YBS ile yapılan bazı çalışmalar tarihleri ve uygulama alanlarıyla birlikte Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. YBS ile ilgili yapılan bazı çalışmalar

Yazarlar	Yıl	Çalışma Konuları
Forrest, S. ve diğerleri	1994	Bilgisayar ve Ağ Güvenliği
Dasgupta, D., Forrest, S.	1996	Zaman Serileri Analizi
Somayaji, A. ve diğerleri	1997	Bilgisayar ve Ağ Güvenliği
Mori, M. ve diğerleri	1997	Çizelgeleme
Russ, S. H. ve diğerleri	1999	Çizelgeleme
Dasgupta, D., Forrest, S.	1999	Alet Hatası Tespiti
Lee, D. ve diğerleri	1999	Ortaklaşa Kontrol ve Grup Davranış Stratejisi Seçimi
De Castro, L. N., Von Zuben F. J.	2000	Model Tanıma ve Optimizasyon
Timmis, J., Neal, M. J.	2000	Veri Analizi
Carter	2000	Örüntü Tanıma ve Sınıflandırma
Costa, A. M. ve diğerleri	2002	Çizelgeleme
De Castro, L. N., Timmis, J.	2002	Model Tanıma ve Optimizasyon
Nasaroui O. ve diğerleri	2002	Veri Madenciliği
Sun ve diğerleri	2003	Örüntü Tanıma ve Sınıflandırma
Ong ve diğerleri	2005	Çizelgeleme
Greensmith ve ark.	2005	Ayrılık veya Anormallik Tespiti
Şahan ve diğerleri	2005	Sınıflandırma Problemi
Carpaneto ve diğerleri	2006	Çizelgeleme
Neal ve diğerleri	2006	Hasar Tespiti
Babayiğit, B. ve diğerleri	2006	Doğrusal Anten Dizi Diyagramında 0'ların Üretilmesi
Polat ve diğerleri	2006	Sınıflandırma Problemi
Balachandran ve diğerleri	2007	Bilgisayar Güvenliği
Kodaz H.	2007	Tanıma Sistemi
Kaymaz E. D.	2007	Sınıflandırma Problemi
Özşen S.	2008	Sınıflandırma Problemi
Tan, K. C. ve diğerleri	2008	Optimizasyon
Luh, G. C., Chueh, H. C.	2009	Çizelgeleme
Bayğın, M., Karaköse, M.	2011	Grup Asansör Kontrolü
Zhao, W., Davis, C. E.	2011	Tanıma - Klinik tedavi
Mahapatra, D. K.	2012	Çizelgeleme

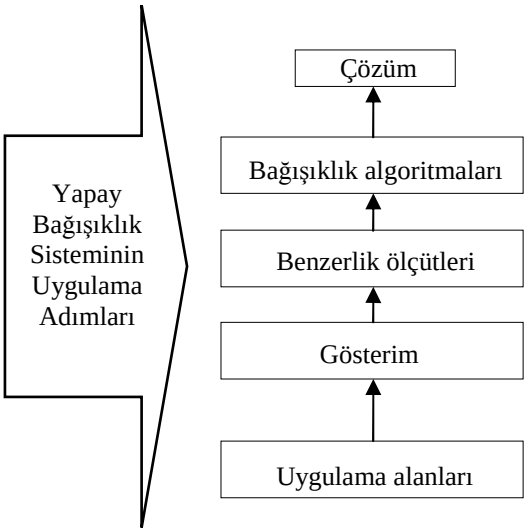
2.2.2. Yapay Bağışıklık Sistemi Mimarisi

Bağışıklık sistemindeki etkileşimlerin sistem bazında ifade edilerek bir YBS oluşturulması için aşağıdakilere ihtiyaç duyulur (Şekil 2.9).

- Sistemi oluşturan birimlerin gösterimi
- Sistemdeki birimlerin birbirleri ve çevre ile olan etkileşimlerini hesaplamak için bir mekanizma
- Bazı adaptasyon prosedürleri

Bir yapay bağışıklık sistemi tasarımında öncelikle sistemi oluşturan birimlerin bağışıklık sisteminin hangi elemanlarının modellenmesinden ortaya çıkacağının belirlenmesi gereklidir. Sonrasında bu birimlerin sistemdeki diğer birimlerle ve çevre ile

olan etkileşimlerinin türü ve boyutunun hesaplanmasında kullanılacak bazı duyarlılık ölçütleri oluşturulmalı ya da kullanılmalıdır. Son olarak da sistem birimlerinin fonksiyonlarını belirleyen ve sistem birimlerinin hangi durumlarda nasıl davranması gerektiğini karakterize eden bir takım adaptasyon prosedürleri kullanılmalıdır.



Şekil 2.9. YBS'nin katmanlı yapısı

YBS alanında oluşturulacak sistemin uygulama alanının belirlenmesi çok önemlidir. Uygulama alanının karakteristiğine uygun bir gösterim seçilmeli, duyarlılık ölçütleri de bu gösterimler temel alınarak oluşturulmalıdır. Gösterim şekli ve duyarlılık ölçütleri belirlendikten sonra ortaya çıkacak bağışıklık algoritmaları sistem birimlerinin fonksiyonlarını belirler. Örneğin bir mühendis optimizasyon problemi için bir YBS oluşturmak istemektedir. Bunun için öncelikle anikor-antijen yapısı için bir gösterim şekli belirlemelidir. Bu amaçla, antikorları ve antijenleri ikili diziler yardımıyla ifade edebilir. Bu durumda mühendisin seçmiş olduğu gösterim şekli ikili dizilerdir. Mühendisin duyarlılık ölçütlerini belirlediği gösterim şekliyle ifade etmesi önemlidir. Tasarımcının belirleyeceği duyarlılık ölçütü binary diziler söz konusu olduğu için "Hamming" uzaklık ölçütü olarak seçilebilir. Son aşamada ise bağışıklık sistemindeki bazı mekanizmalar, seçilen gösterim şekli ve duyarlılık ölçütünü dikkate alınarak modellenebilmelidir. Bu modellemeler, doğal bağışıklıktaki bazı mekanizmaları kullanabileceği gibi bu mekanizmalardan esinlenilerek oluşturulmuş modellemeleri de kullanabilir. Örneğin bu yolla bazı mekanizmalar geliştirilebilir.

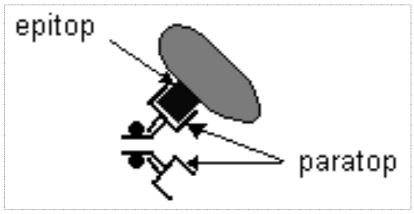
YBS alanında, yukarıda bahsedilen işlemlerin her biri için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Sistemi oluşturan birimlerin gösterimi için Perelson ve Oster'in 1979

yılında ortaya attıkları şekil-uzayı yaklaşımı, en çok kabul gören ve kullanılan yaklaşımdır (Perelson ve Oster, 1979). Antikor ve antijen arasındaki etkileşimler de duyarlılık ölçütünün kullanılması aşamasında en çok tercih edilen modellemelerden birisidir. Bağışıklık algoritmalarının oluşturulması aşamasında da KSA (Ada ve Nossal, 1987), negatif seçim algoritması, bağışıklık ağları, değişik uygulama alanları için oluşturulmuş ve oldukça çok kullanılan yöntemlerdir.

2.2.3. Şekil Uzayı Gösterimi ve Duyarlılıklar

Şekil uzayı yaklaşımı, bağışıklık hücresi molekülleri ve antijenler arasındaki etkileşimleri niceliksel olarak modellemek için 1979 yılında Perelson ve Oster tarafından ortaya atılmıştır (De Castro ve Von Zuben, 1999).

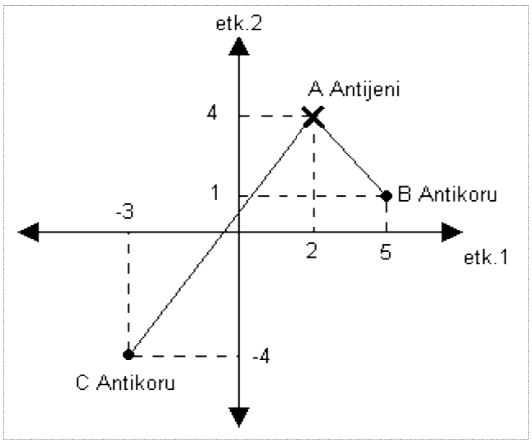
Bağışıklık sisteminde iki hücre arasındaki etkileşim sırasında birçok fizikokimyasal olay meydana gelir. Bağışıklıktaki bu iki hücre, *N* boyutlu bir şekil uzayında iki nokta olarak gösterilebilir. Söz konusu *N* boyutlu şekil uzayında *N* tane eksen vardır ve her bir eksen, iki hücre arasında gerçekleşen fizikokimyasal etkileşimlerden birini temsil eder. Bağışıklıkta bir etkileşimin gerçekleşmesinde tamamlayıcılık önemlidir. Antijenin epitopu ile antikorun paratopu birbirlerini tamamlar nitelikte ise etkileşimin daha fazla olduğu söylenilebilir (Şekil 2.10).



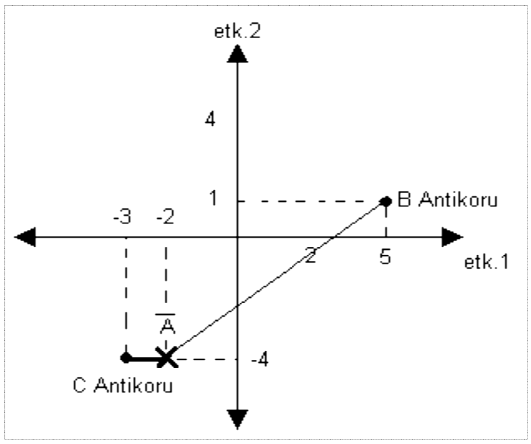
Şekil 2.10. Bağışıklık sisteminde tamamlayıcılık (Özşen, 2008)

Bağışıklıktaki tamamlayıcılık özelliği, şekil uzayında uzaklık kavramı ile modellenmiştir. Şekil uzayında bağışıklık sistemindeki iki hücreyi temsil eden iki nokta birbirinden ne kadar uzak ise bu iki hücre arasındaki tamamlayıcılık o kadar fazladır.

Şekil 2.11'de A antijeni, B ve C antikoru ve sahip oldukları fizikokimyasal özellikler gösterilmektedir. A antijeni ile C antikoru arasındaki uzaklık, B Antikorundan fazla olduğu için, A Antijeni ile C Antikoru arasındaki etkileşimin şiddeti, A antijeni ile B antikoru arasındaki etkileşimin şiddetinden daha fazladır (Şahan, 2004).



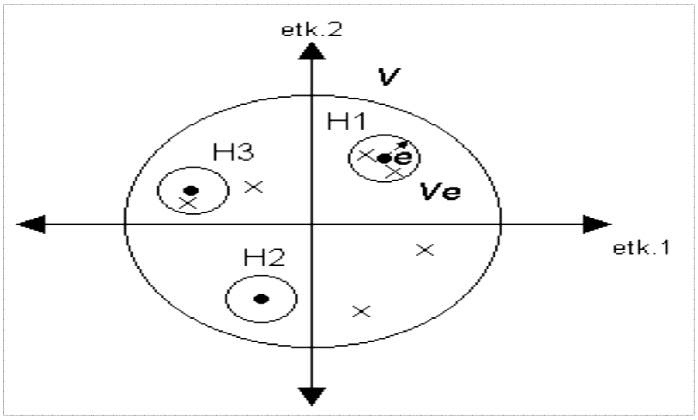
Şekil 2.11. Şekil uzayı gösterimi



Şekil 2.12. Şekil uzayında tamamlayıcılık

Şekil uzayı gösteriminde çoğunlukla antijenler, gerçek koordinatları ile değil, bu koordinatların tersleri alınarak gösterilirler. Örneğin, Şekil 2.12'deki örnekte A antijeni (2,4) noktasında değil, (-2,-4) noktasında gösterilir. Bu durumda "maksimum etkileşim için maksimum uzaklık" teoremi yerini "maksimum etkileşim için minimum uzaklık" teoremine bırakır.

Bağışıklık sisteminde antijenik yapılardan gelen uyarıların belirli bir eşik seviyesini aşması gerekmektedir. Bu özellik ise şekil uzayında tanıma çemberi veya tanıma topu adı verilen modelleme ile ifade edilmiştir.



Şekil 2.13. Tanıma çemberi ve repertuar tamlığı (Kaymaz, 2007)

Şekil 2.13'te, üç tane self hücre ve antijenler iki boyutlu bir şekil uzayında gösterilmişlerdir. Her bir hücrenin tanıma çemberi *e* eşik seviyesi ile belirlenen "*Ve*" çemberidir. Şekilde "H1" tanıma çemberi içinde kalan iki antijeni, "H3" ise sadece bir antijeni tanır. H2'nin tanıma çemberinde herhangi bir antijen olmadığı için "H2" antijen tanımamaktadır. Doğada mevcut olabilecek antijen türleri, protein dizilimleri ile

belirlendiği için belirli bir çeşitlilikte bulunabilirler. Şekil 2.13'teki iki boyutlu şekil uzayında bulunabilecek tüm antijen türleri bir "*V*" hacmi ile ifade edilmiştir. Başka bir deyişle bulunabilecek tüm antijenler mutlaka bu hacim içerisinde gösterilirler. Yine aynı şekil uzayında bulunan her bir antikorun bir "*Ve*" tanıma hacmi olduğuna göre, şekil uzayında "*V*" hacmi içerisinde tüm noktaları kapsayacak biçimde bir antikor populasyonu olduğunda bu antikor populasyonu tüm antijenleri tanıyabilir. Bu durumda bu antikor populasyonunda repertuar tamlığından söz edilebilir (Şahan, 2004).

Matematiksel olarak bir antijen veya antikor molekülü arasındaki uzaklıklar farklı yöntemlerle hesaplanabilir. Eğer antijeni ve antikoru simgeleyen vektörler gerçek değerli ise Öklid veya Manhattan uzaklık ölçütleri kullanılarak hesaplama yapılabilir.

$$Ab = <Ag_1, Ag_2, Ag_3, \ldots, Ag_L>$$
$$Ag = <Ab_1, Ab_2, Ab_3, \ldots, Ab_L>$$

- *D*, aradaki mesafe olmak üzere, Ab ve Ag arasındaki Öklid uzaklığı Denklem 2.1'de verilen formülle bulunur.

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^{L} (Abi - Agi)^2} \tag{2.1}$$

- Ab ve Ag arasındaki Manhattan uzaklığı Denklem 2.2'deki formülle bulunur.

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^{L} |Abi - Agi|} \tag{2.2}$$

- Antijenler ve antikorlar eğer ikili sembollerle ifade edildiği zaman Hamming uzaklık ölçütü kullanılır. Burada vektör elemanları gerçel sayılar yerine ikili karakterlerden oluşmaktadır. Hamming uzaklığ (XOR), Denklem 2.3'te verilen formülle bulunur.

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^{L} \delta}, \qquad \delta = \{\, 1\ Abi \neq Agi, 0\ diğer \,\} \tag{2.3}$$

- Şekil uzayında oluşan toplam antikor sayısı k^L ile ifade edilmektedir. *k* alfabenin büyüklüğü, *L* ise vektör uzunluğudur. Şekil uzayında her bir çember içerisinde kalan antijen sayısına o antikor tanıma çemberinin kapsamı denilmektedir. Çemberinin kapsamı Denklem 2.4'te verilen formülle hesaplanmaktadır.

$$D = \sqrt{\sum_{i=0}^{\varepsilon} \binom{L}{i}} = \sum_{i=0}^{\varepsilon} \frac{L!}{i!\,(L-i)!} \tag{2.4}$$

- Bir şekil uzayındaki antijenlerin tanınması için gerekli olan minimum antikor sayısını şu şekilde hesaplanabilir

$$N = ceil\left(\frac{k^L}{C}\right) \tag{2.5}$$

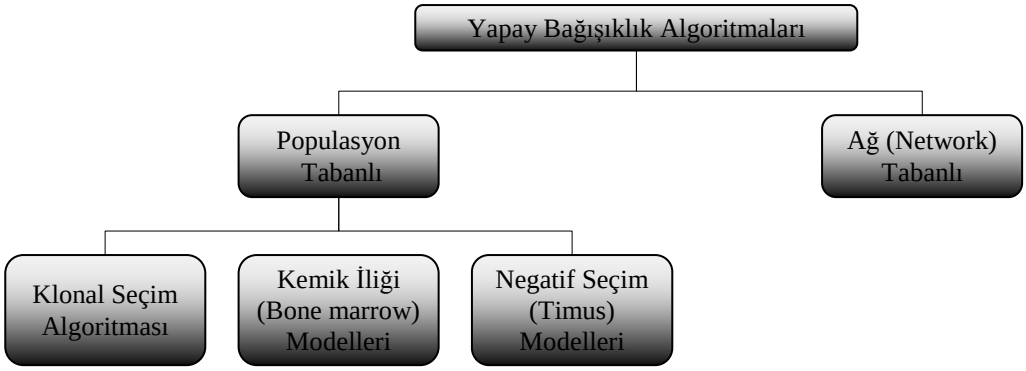
- Antikorların antijenleri tanımaları için belirli bir eşik seviyesinin üzerinde olması gerekmektedir.

Ab = [1 0 1 1 0 0 1 1]
Ag = [1 1 1 0 0 1 1 0]

Etkileşim sonucunda Hamming uzaklığı ve duyarlılık hesabı yapılırsa uzaklık değeri (0 1 0 1 0 1 0 1) şeklinde bulunur. Bu hesaba göre 0 ve 1 farklılığından dolayı 4 eleman birbirini tanımaktadır veya duyarlılık değeri 4'tür denilebilir.

2.2.4. Yapay Bağışıklık Algoritmaları

YBS geliştirilirken uygulama alanı seçimi, antikor-antijen gösterimi, duyarlılık ve benzerlik ölçütü işlemlerinden sonra bağışıklık sistemlerinin modellenmesi için en son aşamada YBA'nın oluşturulması gelir. Şekil 2.14'te görüldüğü gibi geliştirilen YBS algoritmaları 2 kategoride toplanmaktadırlar: Populasyon tabanlı ve ağ tabanlı yapay bağışıklık algoritmaları. Popülasyon tabanlı algoritmalar da kendi içerisinde klonsal seçim tabanlı, kemik iliği modelleri ve negatif seçim tabanlı olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadırlar. Ağ tabanlı algoritmalar ise sürekli ve kesikli modeller diye 2 gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.14. Yapay bağışıklık algoritmaları

Populasyon tabanlı yapay bağışıklık sistemleri: Klonal seçim prensibi, bir antijen uyarımına karşı bağışıklık sistemi tarafından üretilen bağışıklık cevabının temel özelliklerini tanımlamaktadır. Klonal seçim tabanlı algoritmalar adaptif bağışıklık yanıtının antijenleri nasıl yok edebildiğini modellemeye dayanmaktadır. Bu modeller çalışmada KSA olarak adlandırılmaktadır. Algoritmanın temel özelliği sadece antijeni tanıyan hücrelerin çoğalması yani tanımayanlara karşı seçilmesidir. Klonal seçim hem T hem de B hücreleri için geçerlidir. Populasyon tabanlı yapay bağışıklık sistemleri arasında en önemli yeri tutan CLONALG algoritması, De Castro ve Von Zuben (2001) tarafından bağışıklık sistemindeki klonal seçme mekanizması model alınarak geliştirilmiştir. Algoritma, ikili karakter tanıma problemine, en iyileme problemine ve gezgin satıcı problemine uygulanmış ve performansı analiz edilmiştir.

Kemik iliği modelleri ise YBS'deki bağışıklık hücreleri ile algılayıcılarının oluşturulmasından sorumlu modellerdir. Bağışıklık sisteminde bağışıklık hücrelerinin üretilmesindeki mekanizmaları modelleyen kemik iliği modelleri repertuar oluşumunda sistem birimlerinin çeşitlendirilmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

Populasyon tabanlı algoritmalar arasında oldukça yoğun bir ilgi toplayan algoritmalardan bir diğeri de negatif seçim algoritmasıdır. Bağışıklık sistem birimlerinin vücudun kendi hücrelerini dışarıdan gelen yabancı hücrelerden ayırabilmesi bu modellerin esin kaynağı olmuştur. Bu alanda pozitif seçim ve negatif seçim başlıkları altında oluşturulan algoritmalar, elde ettikleri performanslarla çoğu araştırmacının ilgisini çekmiştir. Ağ güvenliği, hata tespiti, virüs tespiti, bilgisayar güvenliği gibi birçok güncel problemde uygulanabilen negatif seçim algoritmaları üzerindeki çalışmalar artarak devam etmektedir (Ulutaş, 2008).

Ağ tabanlı yapay bağışıklık sistemleri: Bağışıklık sistemi oldukça karmaşık bir yapıdadır ve sahip olduğu dağıtılmış mekanizma bu karmaşık sistemdeki her bir birimin görevini net olarak belirlemektedir. Bu sayededir ki bağışıklık sistemi oldukça zor görünen çoğu görevi yerine getirebilir. Bağışıklık ağ modellerinin temel aldığı özellik bu dağıtılmış mekanizmadır. Bağışıklık ağ modellerinde sistem belirli görevleri yerine getirmekle sorumlu birçok birimden oluşur. Bu birimlerin yoğunlukları, ağ içerisindeki yerleşimleri, birbirleri ile olan etkileşimleri, zaman içerisindeki değişimleri ağın yapısını, dinamiklerini, meta dinamiklerini belirler.

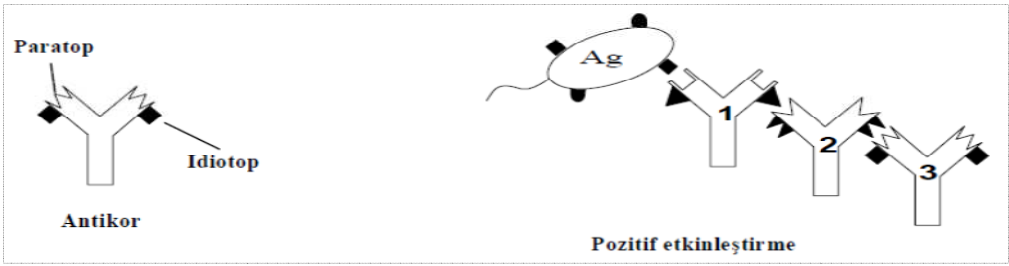
Bağışıklık sistemindeki etkileşimleri modelleyen üç önemli yaklaşım AINE, aiNet ve AIRS'dir. AINE, örüntüleri veya büyük boyutlu verilerde veri sınıflarını tespit etmek amacıyla oluşturulmuş bir algoritmadır. Çok boyutlu veri setlerini çözümlemek için insan bağışıklık sistemindeki temel özellikleri kullanan AINE, antijenlerin B hücreleri ile olan etkileşimleri üzerine modellenmiştir. AINE'nin özellikle veri analizi uygulamaları için çok uygundur. aiNet ise, De Castro ve Von Zuben (2001-a)'de önerilen veri sıkıştırma, sınıflama gibi veri analizi problemlerinde kullanılmak üzere oluşturulmuş bir algoritmadır. aiNet'te, tanınması gereken giriş verilerinin (antijenlerin) sistem içinde bir "iç imajı" oluşturulur. Bağışıklık sistemindeki tanıma, pozitif-negatif seçim, klonlama, hipermutasyon gibi özellikler, aiNet'le bütünleştirilen temel olaylardır. aiNet, doğrusal olarak ayrılamayan sınıfların tespitinde oldukça etkili sonuçlar vermiştir. Hem AINE hem de aiNet algoritmalarının yapılarında öncelikle eğitim işlemi vardır. Yapay sistemlerde eğitme sırasında, sistemin hangi girişler için hangi çıkışları vermesi gerektiği biliniyorsa bu tarz eğitmeye "danışmanlı eğitme" adı verilir. Sistem, eğitme süresince, sadece girişindeki verilere dayalı olarak çıkışı üretiyorsa eğitme, "danışmansız eğitme" adını alır. AIRS de bu sistemde tanımlanmış bağışıklık tabanlı bir öğrenme algoritmasıdır (Ulutaş, 2008).

2.2.5. Yapay Bağışıklık Ağ Teorisi

De Castro ve Von Zuben tarafından oluşturulan aiNet yani yapay bağışıklık ağ teorisi modeli yapay sinir ağlarına alternatif olarak bir öğrenme modeli sunar. Bu teoriye göre bağışıklık sisteminde antijenler var olmasa bile birbirlerini tanıyan hücreler ve moleküller ağından oluştuğu öngörülmüştür. Ağ yaklaşımı özellikle bilgisayar bilimi ile ilgili gelişmeler için ilginç bir yapı oluşturmaktadır. Çünkü bu teoride yer alan

yaklaşıma göre öğrenme ve hafıza, öz/öz olmayan ayrımı, hücre popülasyonlarının büyüklüğü ve farklılığı gibi özellikleri ortaya koymaktadır.

Antijenlerin tanınmasını sağlayan epitop kısımlarına benzer kısımlar antikorda da mevcuttur ve bu kısımlar iditop olarak adlandırılır. Antikorların alıcı kısmı ise paratop olarak adlandırılır. Antikor antijenleri paratop kısmıyla algılayabildiği gibi diğer antikorlar da onu iditop kısmıyla algılayabilir. Ortamda antijen olmasa bile bir kısım antikor diğer bir kısım antikoru iditopu sayesinde algılayabildiği gibi kendisi de başka bir grup antikor tarafında algılanabilir. Antijeni tanıyarak pozitif cevabı oluştururken birbirlerini tanıyarak kendi hücrelerine karşı oluşabilecek bir negatif cevabı da baskılamaktadırlar. Bu durum sayesinde birbirlerini uyararak öğrenme ve iletişimi sağlamış olmaktadırlar (Şahan, 2004).



Şekil 2.15. Bağışıklık ağ modeli (Kaymaz, 2007)

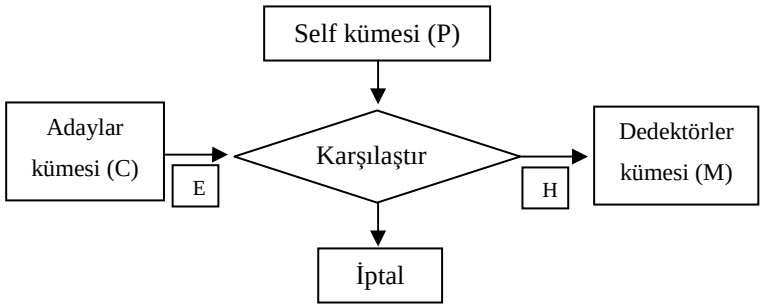
2.2.6. Negatif Seçim Algoritması

Timüs, T hücrelerinin olgunlaşmasından sorumludur ve yabancı (nonself) antijenleri timük çevrenin dışında tutan bir kan bariyer ile korunmaktadır. Bu nedenle timüs içinde bulunan çoğu eleman yabancı değil vücudun kendisine ait (self) elemanlara örnek teşkil eder. T hücrelerinin timüsteki gelişimleri esnasında timüsteki self antijenleri tanıyabilen algılayıcıları içeren T hücreleri, negatif seleksiyon denen bir süreç ile T hücreleri repertuarından silinirler. Timüsten ayrılıp vücudu dolaşan tüm T hücreleri ‘self’ e karşı toleranslı olarak adlandırılır. Bir bilgi işleme perspektifi ile olaya bakılırsa, negatif seçim, desen tanımayı gerçekleştirmek için alternatif bir paradigma sunar. Bu paradigma tanınacak desenleri (self) tamamlayıcı küme (nonself) hakkında bilgi depolama mantığı ile çalışır. Literatürde; bilgisayar ve ağ saldırıları, zaman serileri tahmini, şekil denetimi ve kesimlemesi ve donatım hatası toleransı gibi anormallik belirleme problemleri ile ilgili uygulamalarla birlikte bir negatif seçim algoritması

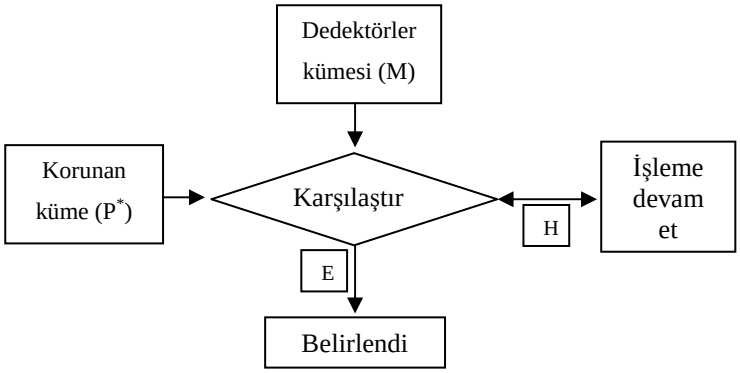
önerilmiştir. Öncelikle, korunacak modellerin kümesi belirlenir ve ‘self-set’(P) olarak adlandırılır. Negatif seçim algoritmasına dayanarak, ‘self-set’ kümesine ait olmayan elemanları tanımakla sorumlu bir algılayıcılar (detektörler) (M) kümesi oluşturulur. Negatif seçim algoritmasının çalışma yöntemi Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de verilmiştir.

- Aynı gösterim kabulünü kullanan rastgele aday elemanlarını (C) oluştur.
- C’deki elemanlarla P’deki elemanları karşılaştır. Bir eşleşme olursa, örneğin, P’nin bir elemanı C’nin bir elemanı tarafından tanınırsa, C’nin bu elemanını at. Tersi durumda, C’nin bu elemanını dedektörler kümesinde sakla.

Dedektörler kümesini (M) oluşturduktan sonra, algoritmanın diğer aşaması nonself modellerin varlığı için sistemi izlemekten oluşur (Şekil 2.17). Bu durumda bir P* korunacak kümesi oluşturulur. Bu küme, P kümesi ve diğer yeni modellerden veya tamamıyla yeni bir kümeden meydana gelir. Nonself modellerine karşılık gelen, algılayıcı kümesinin tüm elemanları için, P* kümesinin bir elemanını tanıyıp tanıyamadığını kontrol et. Eşleşme var ise, o zaman bir nonself modeli tanınmıştır ve reaksiyon başlamalıdır. Nonself tespitinde sonuç aksiyonu değerlendirme problemine göre çeşitlilik gösterir ve negatif seçim algoritmasının model tanıma kapsamı dışındadır (Engin ve Döyen, 2004).



Şekil 2.16. Negatif seçim algoritması ile detektörler kümesini oluşturma



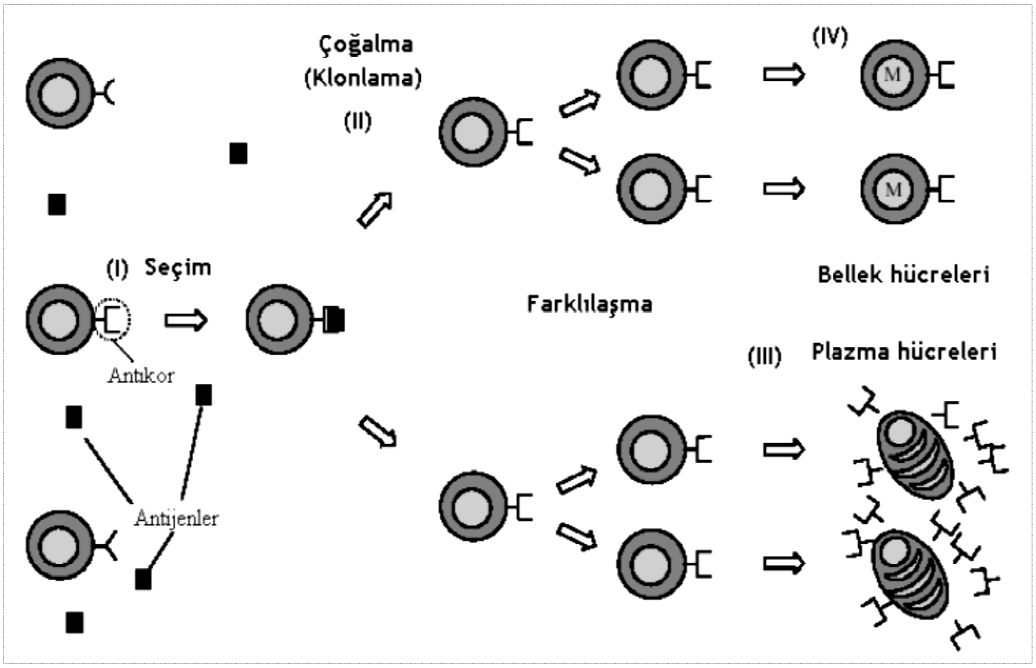
Şekil 2.17. Negatif seçim algoritması ile istenmeyen maddelerin varlığını takip etme

2.2.7. Klonal Seçim Algoritması

Klonal seçim prensibi: Enfeksiyona karşı yeterince hücre üretmek için, aktif hale gelmiş lenfosit çoğaltılmalı ve farklılaşmalıdır. Klonsal genişleme olarak adlandırılan bu süreç lenf düğümlerinde meydana gelmektedir. Bütün adaptif bağışıklık sistemlerinde klonsal genişleme söz konusudur. Klonsal seçim prensibi bir antijenik uyarıya adaptif bağışıklık tepkisinin temel özelliklerini açıklamada kullanılan bir prensiptir. Antijenik uyarıyı tanıyabilme yeteneğine sahip hücreler çoğaltılır ve farklılaştırılır. Çoğalma boyunca mutasyon ile farklılaşma söz konusudur. B hücresinin klonsal genişleme sürecinde mutasyon ve seçme olaylarının varlığı bu hücrelerin repertuar çeşitliliğini arttırmasına izin vermekte ve antijeni tanıma yeteneğini arttırmaktadır.

Vücut bir antijene maruz kaldığı zaman B hücreleri antikorlar üreterek tepki göstermektedir. Her bir B hücresi antikorun sadece antijen için spesifik bir türünü salgılamaktadır. Şekil 2.18, klonal seçim prensibinin çalışma mekanizmasını içermektedir. Bir B hücresi üzerindeki antijenik alıcılar bir antijene bağlanır (1) ve Th hücreleri gibi yardımcı hücrelerden ikinci bir sinyal (uyarıcı sinyal) ile B hücresi antijene karşı uyarılmış olur. Bu uyarılma B hücresinin çoğalmasına (bölünme) sebep olur (2) ve klonlanan bu B hücreleri plazma hücreleri olarak adlandırılan antikor salgılayan hücrelerde olgunlaşır (3). Plazma hücreleri en aktif antikor salgılayıcı iken, hızla bölünen B hücreleri de az da olsa antikor salgılarlar. Plazma hücrelerde çoğalan ve farklılaşan B hücreleri uzun ömürlü B bellek hücreleri olarak farklılaşabilir (4). Bellek hücreleri kanda, lenfte ve dokularda dolaşmaktadır. İkinci kez aynı antijenik uyarı ile

karşılaşıldığında plazma hücrelerinde yüksek duyarlılıklı antikorlar mevcut olacaktır (Kodaz, 2007).



Şekil 2.18. Klonsal seçim prensibinin basitleştirilmiş açıklaması (Kodaz, 2007)

Özetle klonal seçim teorisinin temel özellikleri şu şekildedir:

- Negatif seçim: Vücudun kendisine ait self antijen olarak adlandırılan antijenik örüntülere karşı lenfositlerin aktif olması engellenmektedir.
- Klonsal genişleme: Vücuttaki yabancı antijenlerle lenfositlerin temas kurarak lenfositlerin çoğalması ve farklıklaşması.
- Mutasyon: Antikor örüntülerinin çeşitliliği olarak ifade edilen yeni rastgele genetik değişikliklerin somatik mutasyon şeklinde gerçekleşmesidir. Yani duyarlılığı yüksek antikorların daha az oranda mutasyona uğraması düşük duyarlılıklı antikorların daha yüksek bir oranda mutasyona uğramasıdır.

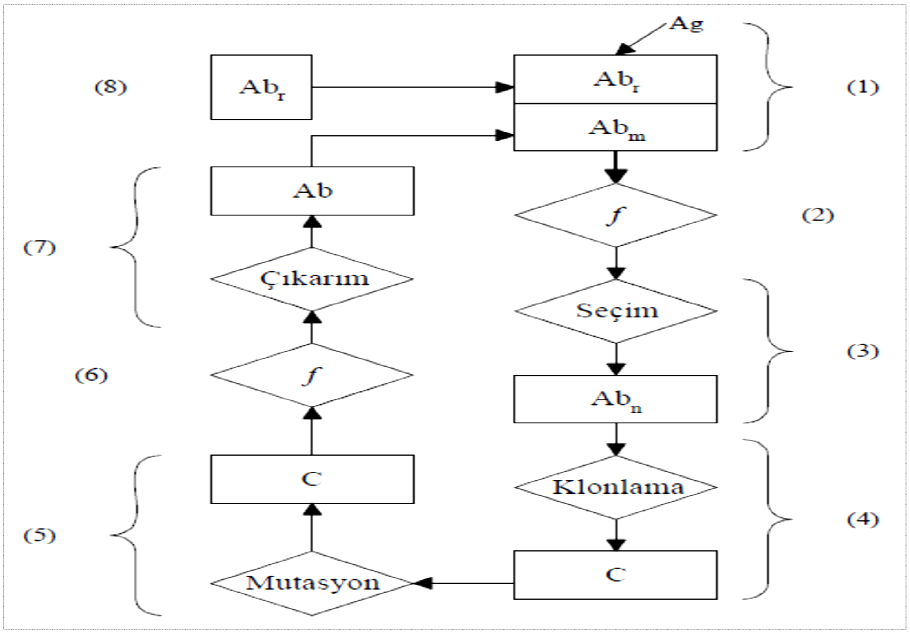
Klonal seçim algoritmasının özellikleri: KSA, doğal bağışıklık sisteminden yararlanarak bir antijenik uyarıcıya bir bağışık yanıtın temel niteliklerini kullanır. Vücuda bir antijen girdiği zaman kemik iliğinden elde edilen B lenfosit hücrelerinin alt populasyonu antikorlar üretir. Her bir hücre yalnızca bir çeşit antikor salgılar ve bu antikor da antijene özeldir. Bu antikorların bağlanmasıyla ve yardımcı T hücresi gibi

aksesuar hücrelerinden ikinci bir sinyal alınmasıyla antijen B hücrelerini uyarır. Birçok hücre bölünerek bir klon oluşturur (De Castro ve Von Zuben, 2001).

KSA'ya göre yapılacak işlemler, repertuardan bağımsız olarak hafıza hücrelerinin bakımı ve uyarılan hücrelerin klonlanması, uyarılmayan hücrelerin yok edilmesi, benzerlik işlemi ve yüksek benzerlikli klonların tekrar seçimi ve hipermutasyon işlemleridir.

Klonal seçim prensibinin temel dayanağı, sadece antijenleri tanıyan hücrelerin çoğalmasıdır. Yani antijenleri tanıyanlar tanımayanlara göre seçilmiş olur. Bu seçilmiş hücreler benzerlik oluşum işlemine maruz kalırlar. Bu işlem hücrelerin antijene benzerliğini arttırır. Bağışıklıkla ilgili dikkate alınan temel olaylar aşağıda verilmiştir (Parmaksızoğlu, 2005).

- Hafıza hücrelerinin saklanması
- Antijen tarafından en fazla uyarılmış bireyin seçimi ve klonlaştırılması
- Antijen tarafından uyarılmamış hücrelerin ölümü
- Benzerliğin arttırılması için hücrelerin mutasyona uğratılması ve tekrar seçimi
- Farklılaşmanın üretilmesi ve farklı hücrelerin popülasyona katılması
- Hücre benzerliği ile orantılı olarak hipermutasyon

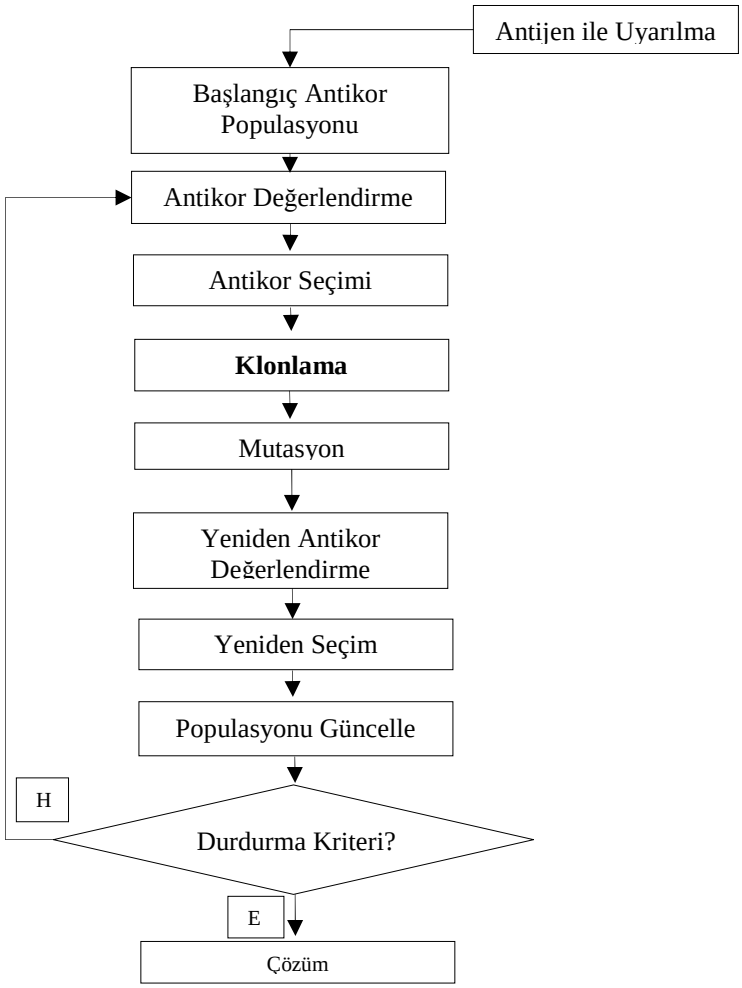


Şekil 2.19. Klonal seçim algoritması adımları (Kaymaz, 2007)

KSA'nın tüm problemler için uygulanacak genel prensipleri Şekil 2.19'a göre aşağıda açıklanmıştır (Kaymaz, 2007).

- Rastgele üretilmiş Abr ve Abm birleşerek, çözüm popülasyonu oluşturulur.
- Sisteme Ag verildikten sonra popülasyonun uyarılma seviyesi hesaplanır. Popülasyondaki her elemanın uyarılma seviyesi (eşik değeri), çözüm için uygunluk (affinity) fonksiyonundan geçirilerek hesaplanır.
- Bu işlem sonucunda eşik değeri aşan hücreler seçilir.
- Bu hücrelere klonal seleksiyon işlemi uygulanır.
- Klonlanan bu hücreler mutasyona tabi tutulur.
- Mutasyona uğrayan hücreler problemin uygunluğuna göre çözüm ağına katılır. Algoritmada benzerlik derecesi fazla olan hücreler daha az mutasyona uğratılmakta ve daha fazla klonlamaya uğratılmaktadır.
- Çıkarım sonucu uygunluk fonksiyonundan geçmeyen hücreler çözüm kümesinden atılır.
- Yukarıdaki işlemden sonra rastgele üretilen bazı B hücrelerinden popülasyona en çok benzeyenler çıkanların yerine yerleştirilir.

Klonal seçim algoritmasının akış şeması ve prosedürel kodu: Klonal seçim mekanizmasının akış şeması Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20. Klonal seçim mekanizmasının akış şeması

Klonal seçim mekanizmasının gerçekleştirdiği temel işlemler için prosedürel kod olarak Şekil 2.21'de verilmiştir.

```
Başlangıçta rastgele bir P populasyonu oluştur
    While (popülasyondaki her eleman için işleme devam et)
        For (her antijen için)
            Her P ile benzerliği belirle,
            P ile en yüksek n benzerliği seç,
            Antijen afinitesi ile doğru orantılı olarak klonlama ve mutasyon yap,
            P'ye mutasyona uğramış mutantları ekle,
        endFor
    Çözüm kümesi için en yüksek benzerlikli P'yi seç,
    n tanesini yeni oluşturulmuşlarla yer değiştir.
    endWhile( sonlandırma kriteri sağlanana kadar bu işlemleri tekrarla kadar)
İşlemi sonlandır
```

Şekil 2.21. Klonal seçim mekanizmasının prosedürel kodu

2.3. Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme, kıt kaynakların belirli bir zaman boyunca işlere tahsis edilmesiyle ilgilidir. Bu süreç bir veya daha fazla hedefin optimizasyonunu amaçlayan bir karar alma sürecidir (Pinedo, 2002).

Çizelgelemede amaç kaynakların etkin kullanımı ile belirlenen hedeflere ulaşmaktır. Faaliyetlerin nerede ve ne zaman gerçekleştirileceğine karar vermek (Tersine, 1985) anlamına gelen çizelgeleme, daha çok girdilerle çıktılar arasındaki zamanlamayla ilgilenir (Özkazanç, 1999).

Çizelgelemede üretim, kaynak ve zaman olmak üzere üç unsur söz konusudur. Bu unsurlar dikkate alındığında belirli bir takım işleri yapmak için hangi kaynakların, ne zaman ve nasıl kullanılacaklarının tespit edilmesine çizelgeleme denir. Etkin bir çizelgeleme sayesinde belirli faaliyetlerin daha az kaynak kullanarak daha kısa zamanda yapılabilme olanağı ortaya çıkmaktadır. Bir üretim sisteminde, atölye içinde çok sayıdaki yarı mamul yığınları veya bir kısım tezgâhların çalışırken diğerlerinin boş durması gibi durumların gözlemlenmesi çizelgeleme problemlerinin varlığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, üretim kayıtları incelendiğinde görülebilecek yüksek seviyede fazla mesai, gecikmiş işlerin varlığı, düşük tezgâh ya da işgücü kullanım oranları gibi istatistikler de çizelgeleme problemlerinin belirtileridir (Güldalı, 1990).

Çizelgeleme problemleri genellikle problem öğelerinin birbirleri ile olan ilişkilerinden ortaya çıkan fazla sayıdaki kısıtlarla oldukça karmaşık bir yapıya sahip

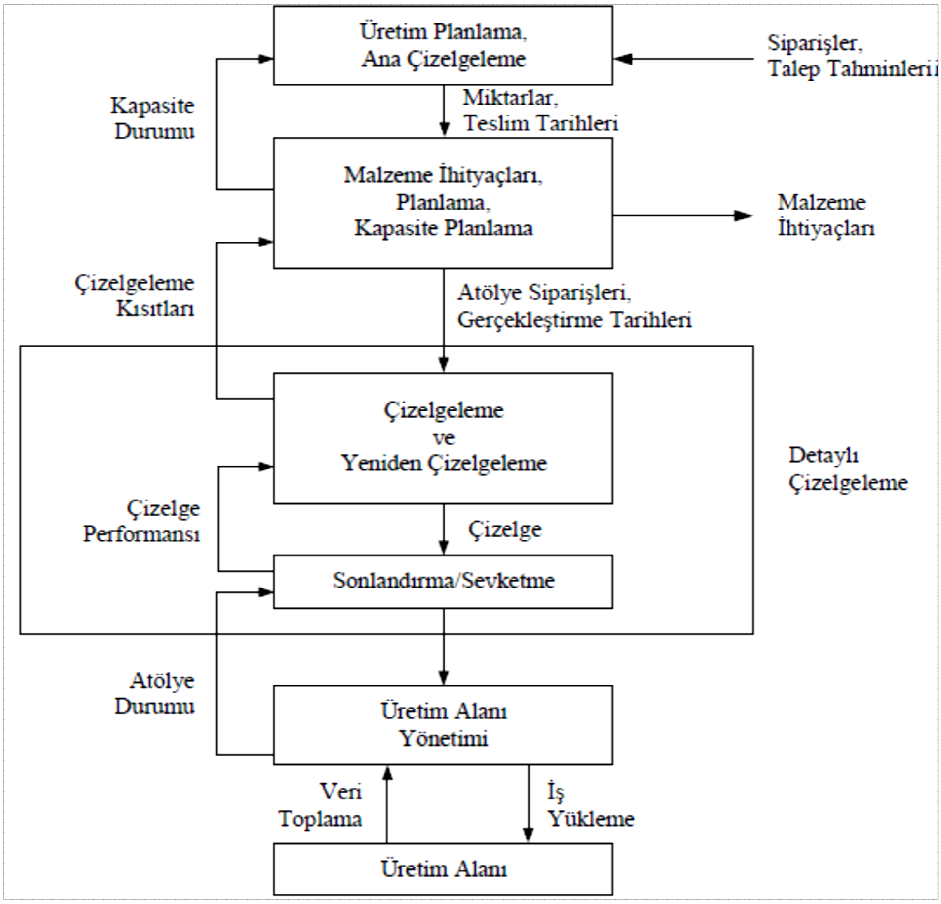
olmaktadır. Örneğin faaliyetlerin öncelik şartları, gecikme toleransları, eş zamanlı işlerin varlığı gibi durumlar çizelgeleme problemleri için kısıtları oluştururlar. Çizelgeleme problemleri, yerine getirilmesi gereken bir grup görev ve bu görevlerin gerçekleştirilmesinde kullanılacak uygun kaynakları içerirler. Bu iki temel girdinin nitelikleri iyi belirlenmeli ve alacakları değerler mümkün olduğunca kesin ve doğru olarak hesaplanmalıdır. Ancak bu şekilde doğru zaman planları ortaya çıkarılabilir. Kaynaklar belirlendiğinde çizelgeleme probleminin sınırları etkin bir şekilde çizilmiş olmaktadır. Bununla beraber her bir görev; kaynak gereksinimi, süresi, başlama ve bitiş zamanları gibi bilgiler cinsinden açıklanır. Aynı zamanda, bu görevler bütünü arasında herhangi bir teknolojik kısıt varsa belirtilir (Özkazanç, 1999).

2.3.1. Çizelgeleme Problemlerinin Önemi

Bir organizasyonda kaynaklar ve işler farklı şekillerde bulunabilir. Bir iş istasyonundaki makineler, havalimanındaki peronlar, bir yapım işindeki çalışanlar, bir hesaplama ünitesindeki işlem birimlerinin her biri birer kaynak olarak ele alınabilir. İşler ise, bir üretim sürecindeki işlemler, bir havaalanındaki uçakların kalkış ve inişleri, bir yapım projesindeki aşamalar, bilgisayar programının çalışması olarak örneklendirilebilir. Çizelgelemenin rolünü daha iyi anlamak için bir imalat işletmesi düşünelim. İmalat ortamında ilan edilen siparişler ortak teslim zamanlı işlere dönüştürülür. Bu işler genellikle verilen bir sipariş veya sırada iş merkezlerindeki makinelerde işlem görürler. Eğer mevcut makineler meşgul ise işlerin gecikmesi söz konusu olabilir. Ayrıca eğer iş merkezine daha öncelikli bir iş gelirse mevcut işin yarım bırakılıp öncelikli işe başlanması durumuyla da karşılaşılabilir. Seri üretim yerleşim düzeninde makine duraklamaları veya beklenenden uzun işlem süreleri gibi beklenmeyen olaylarda dikkate alınmalıdır. Çünkü bu tür durumlar çizelgeler üzerinde büyük etkilere sahiptirler. Dolayısıyla işlerin detaylı bir çizelgesinin geliştirilmesi etkinliğin arttırılmasına ve operasyonların kontrolüne yardımcı olacaktır (Pinedo, 2002).

Gerek üretim öncesi gerekse üretime başladıktan sonra, kıt kaynakların daha etkin ve verimli kullanılmasında işletme süreçlerinden planlama süreci önemli bir yer tutmaktadır. Bu noktada talep ve kapasitenin yönetilmesini etkileyen birtakım faktörler bulunmaktadır. Üretim sistemleri tüm bu süreçlerde mevcut şartları karşılayarak sürekli iyileştirme yapısına sahip bir esneklikte olmak zorundadırlar. Bu amaca yönelik

planlanan ve çizelgelenen birçok üretim aracı, tekniği ve yöntemi kullanılmaktadır. Üretim sistemlerinde çizelgelemenin önemi şekil 2.22'de verilmiştir (Pinedo, 1995).



Şekil 2.22. Üretim sisteminde çizelgelemenin önemi (Pinedo,1995)

2.3.2. Çizelgeleme Problemlerinin Öğeleri ve Gösterimi

Çizelgeleme problemlerinde, çizelgelenecek işlerin ve makinelerin önceden bilindiği varsayımı unutulmamalıdır. Çizelgelenecek işlerin sayısı *n* ve makinelerin sayısı ise *m* ile ifade edilmektedir. İş ve makine sayıları alt indis olarak kullanıldıklarında; *j* iş sayısına ve *i* makine sayısına karşılık gelmektedir. Eğer iş bir dizi işlem veya operasyon gerektiriyorsa (*i*,*j*) çifti; *j* işinin *i* makinesindeki operasyon adımını ifade etmektedir. Çizelgelenecek işle ilgili diğer gerekli bilgiler ise şunlardır (Pinedo, 2002; Aladağ, 2010):

İşlem zamanı (p_{ij}): *j* işinin *i* makinesindeki işlem zamanını göstermektedir. Eğer *j* işinin işlem zamanı makineden bağımsız veya sadece tek makinede işlem söz konusu ise *i* indisi kullanılmayabilir.

Serbest bırakma zamanı (r_j): Serbest bırakma zamanı veya hazır olma zamanı, *j* işinin sistemde işlem görmeye başlayabileceği zamanı ifade eder.

Teslim tarihi (d_j): *j* işinin tamamlanmış olarak müşteriye teslim edileceği tarihi gösterir.

Ağırlık (w_j): Basit olarak bir öncelik faktörünü ifade eder. *j* işinin sistemdeki diğer işlere göre önemini gösterir. Örneğin, bu ağırlık faktörü işlerin sistemde kalmasının bir maliyeti olabilir. Stoklama veya elde tutma maliyeti olarak düşünülebileceği gibi ise verilen bir katma değer olarak da kabul edilebilir.

Bir çizelgeleme problemi $\alpha \mid \beta \mid \gamma$ üçlü gösterimi ile tanımlanır. Bu üçlü gösterimdeki α alanı makine çevresini tanımlar ve tek bir giriş içerir. β alanı ise işlem karakteristiklerinin detaylarını açıklar ve giriş içermeyebileceği gibi birden fazla giriş de içerebilir. γ alanı ise en küçüklenecek amacı tanımlar ve genellikle tek bir giriş içerir.

α alanında tanımlanan makine çevreleri aşağıdaki girişlerden oluşabilir (Pinedo, 2002):

1: Olası makine çevrelerinin en basiti olan tek makineyi ifade eder. Tek makine diğer tüm karmaşık sistemlerin özel bir durumudur.

P_m: Birbiriyle aynı özelliklere sahip *m* adet paralel makineyi ifade eder. İşler paralel bağlı makinelerin herhangi birinde işlem görebilirler.

F_m: Akış tipi yerleşim düzeninde birbirine seri olarak bağlı *m* adet makineyi ifade eder. Tüm işler aynı rotayı izleyerek işlem görürler. Bir makinedeki işlemi tamamlanan iş, sonraki makinede işlem görmek üzere kuyruğa girer ve genellikle ilk giren ilk çıkar kuralına göre işlem görürler. İlk giren ilk çıkar kuralının geçerli olduğu akış tipi yerleşimler permütasyon akışı olarak nitelendirilir ve β alanı *prmu* girişini içerir.

FF_C: Esnek akış tipi yerleşimi ifade eder. Akış tipi yerleşim ve paralel makine çevrelerinin genelleştirilmiş halidir. Birbirine seri bağlı *C* adet aşamanın yanında her bir aşamada paralel makine durumunu işaret eder.

J_m: Atölye tipi yerleşim düzeninde, her bir işin kendisine ait önceden belirlenmiş farklı bir rotası vardır. Bu makine çevresinde işler makineleri bir veya daha fazla sayıda ziyaret ederek rotalarını tamamlayabilirler.

FJ_c: Esnek atölye ortamı, atölye tipi yerleşimin ve paralel makine çevresinin genelleştirilmiş halidir. Her bir iş merkezinde belirli sayıda paralel makinenin bulunduğu *c* adet iş merkezini ifade eder.

O_m: Açık atölye yerleşiminde her bir iş *m* adet makinenin her birinde yeniden işlem görebilir. Buna karşın, bu işlem sürelerinden bazıları sıfır olabilir. İşlerin makinelerdeki

işlem rotalarına ait bir kısıtlama yoktur. Her bir iş için bir rota hazırlanır ve farklı işler farklı rotalara sahip olabilir.

β alanında tanımlanan kısıtlara ait olası girişler ise aşağıdaki gibi olabilir (Pinedo, 2002):

r_j: Serbest bırakma zamanı, *j* işinin serbest bırakma zamanından önce işlem görememesi durumunu ifade eder. Eğer ***β*** alanında r_j değeri bulunmuyorsa, bu durumda *j* işinin işlemi herhangi bir zamanda başlayabilir anlamına gelir.

prmp: İşlerin bölünebilirliği, bir makinede işlem görmeye başlayan bir işin tamamlanmadan önce durdurulup yeni bir işe başlanabilmesi olarak tanımlanır. Eğer çizelgeleme problemlerinde işlerin bölünebilirliğine izin veriliyorsa ***β*** alanında prmp ifadesi bulunur. Aksi takdirde işlerin bir makinedeki işlemleri boyunca bölünmesine izin verilmez.

prec: Öncelik kısıtları tek makine veya paralel makine ortamlarında, bir veya daha fazla işin bir makinede diğer işler işlem görmeden tamamlanması gerektiğini ifade eder.

prmu: Akış tipi üretim ortamlarında görülen bu kısıtlama, makinelerin önünde işlem görmek için kuyrukta bekleyen işlerin ilk giren ilk çıkar kuralına göre işleme alınmasını ifade eder. Bu durum bir sıralama ve permütasyonu ifade eder.

nwt: Akış tipi üretim ortamında görülen özelliklerden birisi de beklemelere izin verilmemesi durumudur. Birbirini takip eden iki makine arasında işlerin beklemesine izin verilmemesini ifade eder. Böyle bir durumda gerekirse, bir işin sonraki makinelerde beklememesini sağlamak için ilk makinede bekletilmesi söz konusu olabilir.

recrc: Yeniden dolaşım, bir işin bir makineyi veya iş merkezini birden fazla sayıda ziyaret etmesini gerektirecek atölye tipi ve esnek atölye tipi üretim ortamlarında görülür.

α alanlarında problemin amaç fonksiyonuna ait bilgiler yer alır. En küçüklenmeye çalışılan amaç, daima tamamlanma zamanının bir fonksiyonudur ve dolayısıyla çizelgeye bağlıdır. *j* işinin *i* makinesindeki operasyonunun tamamlanma zamanı C_{ij} ile gösterilir. *j* işinin sistemden çıkış zamanı ise C_j ile ifade edilir. Ayrıca amaç teslim tarihinin bir fonksiyonu da olabilir. Bu fonksiyonlardan *j* işinin gecikme süresi Denklem 2.6'ya göre bulunur.

$$Lj = Cj - dj \tag{2.6}$$

j işinin tamamlanma süresi teslim tarihini aştığında L_j pozitif, *j* işi teslim tarihinden önce tamamlandığında L_j negatif değer alır. Tamamlanma zamanının bir

başka fonksiyonu, *j* işinin geçligi/tehiri'dir. Gecikme (L_j) ve geçlik (T_j) arasındaki temel fark; geçlik'in alacağı değerin asla negatif olmamasıdır. Bu değer, Denklem 2.7'ye göre bulunur.

$$Tj = max(Cj - dj, 0) = max(Lj, 0) \quad (2.7)$$

γ alanlarında gösterilebilecek diğer amaçlar ise şunlar olabilir (Pinedo, 2002):

Akış zamanı (F_j): *j* işinin sistemde geçirdiği zamanı gösterir. Akış zamanı Denklem 2.8'e göre hesaplanabilir.

$$Fj = Cj - rj \quad (2.8)$$

En büyük gecikme (L_{max}): Hedeflenen teslim tarihinden en büyük ihlalin ölçümünde kullanılır. *Max (L1, ..., Ln)* olarak tanımlanır.

Ağırlıklandırılmış toplam tamamlanma zamanı $\Sigma(w_jC_j)$: *n* adet işin ağırlıklandırılmış toplam tamamlanma zamanı çizelgeye bağlı olarak toplam stok maliyeti veya elde tutma maliyetinin bir ölçüsünü verir.

Ağırlıklandırılmış toplam geçlik $\Sigma(w_jT_j)$: Toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanından daha genel bir maliyet fonksiyonudur.

Ağırlıklandırılmış geciken iş sayısı $\Sigma(w_jU_j)$: Akademik çalışmalarda kullanılan bir ölçüt olmasının yanı sıra gerçek hayatta da ölçümünün kolaylığı ile sıkça kullanılan bir amaç fonksiyonudur.

Yukarıda açıklanan amaç fonksiyonları birer sürekli fonksiyondur. Sürekli performans fonksiyonları C_1, ..., C_n sıralamasında azalmayan fonksiyonlardır. Son zamanlarda ise sürekli olmayan amaç fonksiyonları araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Örneğin bir işin erkenliği sürekli olmayan bir fonksiyon içerir. Bu da Denklem 2.9'a göre bulunur.

$$Ej = max(dj - Cj, 0) \quad (2.9)$$

Bir işin teslim tarihinden önce tamamlanmasının bir ölçüsü olan E_j fonksiyonu C_j'ye bağlı olarak azalmayan bir fonksiyondur. Çizelgeleme problemlerinin tanımlanmasında kullanılan gösterime ait örnekler vermek gerekirse; $FF_c \mid r_j \mid \Sigma w_jT_j$ gösterimi esnek akış tipi üretim ortamında serbest bırakma zamanı kısıtlarına sahip, toplam ağırlıklı gecikmeyi en küçüklemek amaçlı bir çizelgeleme problemine karşılık gelmektedir. Benzer şekilde $1 \mid r_j, prmp \mid \Sigma w_jC_j$ gösterimi ise tek makinenin olduğu bir

sistemde, serbest bırakma zamanı ve işlerin bölünebilirliği kısıtları altında toplam ağırlıklı tamamlanma zamanının en küçüklenmesini amaçlamaktadır.

2.3.3. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Çizelgeleme, belli bir başarım ölçütünü en iyileyecek iş akışını (makinelere gelen işlerin işlenme sırası) belirlerken, dört faktöre bağlı olarak farklı sınıflara ayrılabilmektedir Bunlar tezgah sayısı, başarım ölçütü, üretim tipi ve işlerin geliş şeklidir (Acar, 2001).

Tezgah sayısı: İş merkezinde yer alan tezgah sayısına göre çizelgeleme problemleri, tek tezgahlı veya çok tezgahlı olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirilir. İş merkezine gelen işler tek bir işleme ihtiyaç duyuyor ise burada tek tezgahlı çizelgeleme probleminden bahsedilmekte ve işlerin hangi sırada yapılacağının belirlenmesine çalışılmaktadır. Ayrıca çok tezgahlı bir iş merkezinde darboğaz oluşturan tek tezgah üzerinden de çizelgeleme gerçekleştirilebilir. Tezgah sayısının artması ile doğru orantılı olarak çizelgeleme problemlerinin çözümü de zorlaşır (Tekin, 2008).

Başarım ölçütü: Çizelgenin performansını ölçmek için, aynı çizelgeleme probleminde çizelgelemenin bazı şartları değiştirilerek veya farklı öncelik kuralları kullanarak birkaç kez yapılması gerekmektedir. Çizelge performansını değerlendirmek için kullanılan başarım ölçütü, çizelgeleme problemlerinde önemli rol oynamaktadır. Bu başarım ölçütlerinden en önemlileri aşağıda verilmektedir (Acar, 2001; Baskak ve Erol, 2004):

- Ürünlerin, üretim ve bekleme zamanlarını içeren akış zamanı,
- Geciken işlerin, toplam işlere oranı,
- Kuyrukta bekleyen işlere göre belirlenen hammadde, yarı mamül ve mamul stok seviyeleri,
- İşlerin tezgahlarda bekleme süreleri,
- İşlerin maksimum gecikme süreleri,
- İşlerin maksimum tamamlanma zamanları,
- Geciken iş sayısı,
- Ortalama iş hacmi,
- Siparişlerin gecikme süreleri,
- Tezgah hazırlama zamanı kayıpları,
- Tezgah ve işgücü kullanım oranları,

- Bu ölçütlerin ortalama ve standart sapmaları gibi istatistiksel ölçümleri.

Üretim tipi: Farklı üretim sistemleri için farklı çizelgeleme problemleri oluşturulur. Çizelgeleme problemi, küçük, karmaşık, tek müşteriye çalışan atölyelerden, yüksek hızlı üretim yapan transfer hatlarına, kesikli parça imalatından, sürekli proses akışlarının olduğu pek çok farklı durumda ortaya çıkabilir. Bu nedenle çizelgeleme problemlerini uygulandığı ortama göre sınıflandırmak mümkün olur. Aşağıda bunlardan bazıları örnek olarak verilmiştir (Morton ve Pentico, 1993):

- Atölye tipi üretim
- Açık atölye tipi üretim
- Parti tipi üretim
- Akış tipi üretim
- İmalat hücresi
- Montaj atölyesi
- Montaj hattı
- Esnek iletim hattı

Yukarıdaki üretim türlerinden akış tipi üretim ve atölye tipi üretim en önemli üretim tipleridir. Bunlar dışındaki üretim tipleri bunların çeşitliliğinden ortaya çıkmıştır. Tez çalışmasında, atölye tipi üretim konusu ele alınmaktadır.

İşlerin geliş şekli: İşlerin geliş şekline göre çizelgeleme problemleri statik ve dinamik çizelgeleme olarak iki farklı şekilde değerlendirilmektedir. Statik çizelgeleme problemlerinde, belirli bir dönem için iş listesinin tamamı bilinmektedir ve işler boş olan bir iş merkezine hemen işlenmek üzere düzenli olarak gelir. Statik çizelgeleme problemlerinde, genellikle iş listesinde değişiklik meydana gelmez. İş listesi sürekli olarak ve rastgele bir şekilde değişiyorsa ve işler düzensiz aralıklar ile iş merkezine gelmekte ise, bu durumda problem dinamik çizelgeleme olarak nitelendirilir. Dinamik çizelgeleme problemlerinde herhangi bir zamanda gelebilecek olan işin özellikleri sıralamanın sürekli değişmesini gerektirir (Tekin, 2008).

2.3.4. Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Yöntemleri

Matematiksel çözüm teknikleri: Problemlerin çözümü için en uygun değeri bulmayı garanti eden tekniklerdir. Doğrusal programlama ve dal sınır teknikleri olmak üzere 2 kısımda ele alınabilir.

- **Doğrusal programlama**: Çizelgeleme problemleri doğrusal programlama teknikleriyle çözüm elde etmek için kullanılabilir. Fakat gerçek hayattaki çizelgeleme problemlerinin karmaşık olması nedeniyle pratikte uygulamak oldukça zordur. Bu yüzden daha sonraları farklı teknikler ortaya çıkmıştır.
- **Dal sınır teknikleri**: Çizelgeleme problemlerinde kullanılan en önemli en iyileme yaklaşımlarından biri de dal sınır yöntemidir. Bu yöntem çözümün bulunduğu uygun çözüm alanını belirlemekte ve daha sonra aramayı bu bölgedeki en iyi değeri aramak için daraltmaktadır. Bu yöntemde uygun çözüm alanı dal olarak isimlendirilen daha küçük bölgelere ayrılmakta ve arama prosedürü en iyi çözüm bulununcaya kadar devam etmektedir. Dal olarak adlandırılan bölgeler bir ağaç yapısı altında gösterilmekte ve her bir küçük bölge ağacın bir dalını oluşturmaktadır. Burada her dal için bir alt sınır ve üst sınır söz konusudur. Bu sınırlar uygun çözüm alanındaki çözümlerin alabileceği en düşük ve en büyük değerleri belirtmektedir. Alt ve üst sınırları belirleme işlemine "sınırlandırma" adı verilir. Bu yüzden yöntemin adı "Dal Sınır"dır.

Sezgisel çözüm teknikleri: Bu teknikler, matematiksel çözüm yöntemlerinin elde ettiği başarıyı yakalayan ve buna ek olarak daha zor problemlere de sezgisel yöntemlerle yakın çözümler sunan tekniklerdir. En iyileme yöntemleri olarak adlandırılan bu teknikler en iyi çözümü garanti ederler fakat problemin boyutları büyüdükçe bu tekniklerin uygulanması oldukça zorlaşmakta ve problemin çözüm zamanı, problemin boyutuna göre polinom olmayan bir şekilde üstel olarak artmaktadır. Bazı problemlerin çözümü en iyileme teknikleri ile çok uzun yıllar alabilecek niteliktedir. Bu nedenle çözüm sürecini hızlandıracak yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Bundan dolayı, atölye tipi çizelgeleme problemleri gibi büyük ve karmaşık problemler için kullanılabilecek fakat en iyi çözüme ulaşmayı her zaman garanti edemeyen ancak iyi sonuçlar üreten benzetim tavlaması, genetik algoritmalar, karınca kolonileri, tabu arama, yapay bağışıklık algoritmaları, yapay sinir ağları gibi yöntemler üretilmiştir. Tez çalışmasında, bu algoritmalardan yapay bağışıklık algoritması atölye tipi çizelgeleme problemine uygulanmıştır.

2.4. Atölye Çizelgeleme Problemi

Çizelgeleme problemleri arasında atölye tipi çizelgeleme problemleri, sınıflandırma bakımından en karmaşık yapılı olanıdır. Çünkü belirli bir işe ait işlem

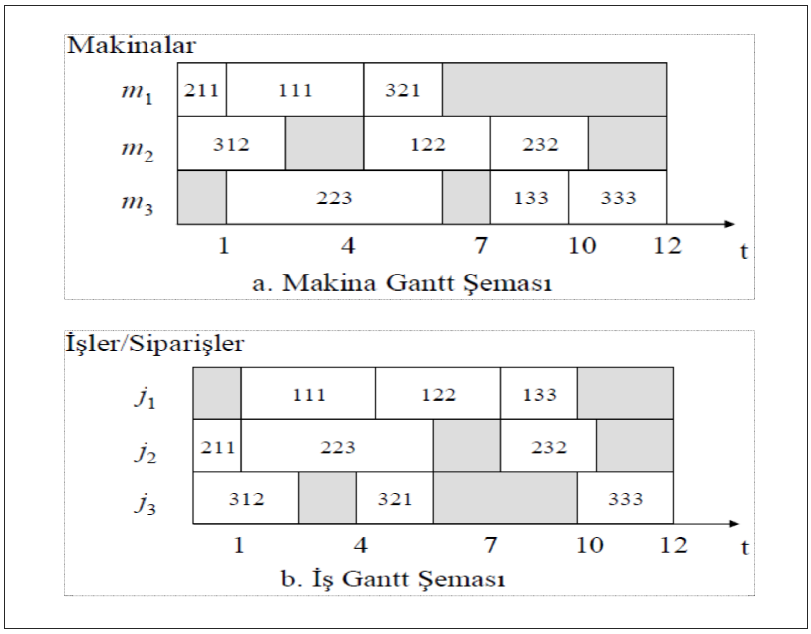
sayısı hakkında hiçbir kısıtlama yoktur ve alternatif olarak kabul edilecek birçok üretim rotaları da bulunur. Atölye tipi çizelgelemede her sipariş farklı makinelerde işlenmek üzere kendine özgü işlem ve işlem sıralarına sahiptir (Biroğul, 2005).

Atölye tipi çizelgelemede problem çözümünün gösteriminde, genel olarak Gantt şemaları kullanılır. Uygun çizelge şekli Gantt şemaları ile ifade edilir. Genellikle iki tip Gantt şeması vardır: makine Gantt şeması (a) ve iş Gantt şeması (b). Bunlar Şekil 2.23'te verilmiştir. 3 iş ve 3 makineli atölye tipi çizelgeleme problem örneği Çizelge 2.2'de verilmiştir. Burada *j*, işe ait işlemi ve *m* ise bu operasyonun yapılacağı makineyi ifade eder. O halde 321 indeksi 3. işin 2. operasyonu 1. makinede işlenir demektir (Pinedo, 1995; Gen ve Cheng, 1997).

Çizelge 2.2. Atölye tipi çizelgeleme problemi örneği (Aydemir, 2009)

İşleme Zamanları				Makina Sıraları			
	Operasyonlar				Operasyonlar		
İş	1	2	3	İş	1	2	3
j_1	3	3	2	j_1	m_1	m_2	m_3
j_2	1	5	3	j_2	m_1	m_3	m_2
j_3	3	2	3	j_3	m_2	m_1	m_3

Uygun çizelgenin makine ve iş Gantt şemalarında çözüm gösterimi Şekil 2.23'te verildiği gibidir. Zaman düzlemi boyunca işlerin operasyonları ilgili makinede çizelgelenmiştir.



Şekil 2.23. Atölye tipi çizelgelemede makine ve iş Gantt şemaları (Aydemir, 2009)

2.4.1. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genel Özellikleri

Çizelgelemede optimal veya optimale yaklaşan kuralları belirlemek için önemli olan konular şunlardır (Nahmias, 2001; Tekin, 2008):

- **İşlerin makineye ulaşması**: Genellikle iş sıralama probleminin anlık bir fotoğrafı çekilerek, statik olarak kabul edilip, problemin o anki değerleri üzerinden çözülmeye çalışılması yaygındır. Bunun yanında, işlenecek işlerin sayısı sürekli değişebilir. Bu nedenle çizelgeleme problemlerinin çözüm algoritmalarının çoğunun statik olmasına rağmen, pratikteki çizelgeleme problemlerinin büyük kısmı dinamiktir.
- **Atölyedeki makinelerin sayısı ve niteliği**: Belirli bir iş atölyesi, bir çizelgeleme algoritmasından elde edilecek çözümü zorlaştıran ve daha da karmaşık hale getirecek bazı özelliklere sahip olabilir. Örnek olarak, genellikle tüm makineler aynı özellikte kabul edilirler. Fakat pratikte bu durum her zaman böyle olmayabilir. Belirli bir makinenin üretim oranı, makinenin durumu veya operatörün deneyimi gibi, farklı faktörlere dayanır. İşlerin niteliğine ve atölyenin yerleşim planına bağlı olarak, amaç fonksiyonunu en iyilemeyi engelleyecek bazı kısıtlar ortaya çıkabilir.
- **Atölyedeki çalışan sayısı**: Atölyedeki çalışan sayısı ve aynı zamanda makinelerin çeşitliliği ve sayısı atölyenin kapasitesini ortaya çıkarır. Kapasite

planlama, üretim planlamanın önemli bir yönüdür. Bir çok kontrol sistemi, kapasite kısıtlarını problem içine dahil etmez. Kapasite dinamik bir kısıttır. Kritik bir makinenin arızalanması veya kritik bir çalışanın kaybedilmesi, atölye kapasitesinde darboğaza neden olabilir. Bu durum kapasiteyi azaltıcı bir faktördür.

- **Belirli iş akışı**: Çizelgeleme algoritmaları çözümlerinde, genellikle işlerin belirli bir sırada işlenmesi gerekliliği ortaya çıkar. Fakat tüm işlerin makinede işlenmek üzere hazır bulunmaları her zaman mümkün değildir. İşler, üretim sisteminin gerektirdiği akış şemasına göre oluşur ve işlenmeye hazır hale gelirler. Bunun sebebi üretim sistemi ile çizelgelemenin birbirinden bağımsız olusudur. Dolayısıyla, algoritma için uygun olmayan iş akışları ortaya çıkabilir.
- **Alternatif kuralların değerlendirilmesi**: Amaç fonksiyonunun seçimi, kullanılacak kuralın seçimindeki en önemli etkendir. Bazen birden fazla amaç fonksiyonunun optimalliği gerekebilir. Bu durumda, tek bir kural veya algoritma belirlemek imkansız hale gelir. Örnek olarak, işlenecek tüm işlerin minimum zamanda işlenmesinin yanında, işlerden herhangi birinin de teslim tarihinden sonra tamamlanması engellenmek istenebilir.

2.4.2. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Varsayımları

Atölye tipi çizelgeleme problemi için genellikle aşağıdaki varsayımlar geçerlidir (Morton ve Pentico, 1993; Biroğul, 2005):

a. Her bir iş bütündür: İş farklı operasyonlardan oluşmasına rağmen, aynı işin iki operasyonu hiçbir şekilde aynı anda işlenemez.
b. İş bölme yoktur: Her bir operasyon, başladığı zaman, diğer operasyon o makinede başlatılmadan önce tamamlanmalıdır.
c. Her bir iş, her bir makinede bir tane olmak üzere, *m* tane farklı operasyona sahiptir: İşin aynı makinede iki defa işlem görmesi olasılığı hesaba katılmaz.
d. İş iptali yoktur: Her bir iş tamamlanıncaya kadar işlenmelidir.
e. İşlem zamanları çizelgeden bağımsızdır: Burada iki durum varsayılır;
    - Her bir hazırlık zamanı iş sırasından bağımsızdır. Yani işe ait makineyi ayarlamak için gereken zaman en son işlem gören işten bağımsızdır.

- Makineler arasında işleri taşımak için gereken zaman ihmal edilebilmektedir.

f. Ara stoğa izin verilir: İşler bir sonraki makinenin boşalması için bekleyebilir.
g. Makinenin her bir tipinden sadece bir tane vardır: İşleri işlenmesi sırasında aynı işi yapan birden fazla makinenin olmadığı varsayılır. Bu varsayıma göre, beklemekten kaçınmak için belli makinelerin çoğaltılması durumunu ortadan kaldırır.
h. Makineler boş kalabilir.
i. Hiçbir makine, aynı anda birden fazla operasyonu işleyemez.
j. Makineler hiçbir zaman bozulmaz ve çizelgeleme periyodu boyunca kullanıma hazırdır.
k. Teknolojik kısıtlar önceden bilinir ve sabittir.
l. Rastsallık mevcut değildir. Özellikle;
    - İşlerin sayısı bilinir ve sabittir.
    - Makinelerin sayısı bilinir ve sabittir.
    - İşlem zamanları bilinir ve sabittir.
    - Hazırlık zamanları bilinir ve sabittir.
    - Belli bir problemi tanımlamak için gereken her türlü kalitatif değerler bilinir ve sabittir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda bu varsayımların dışına çıkan durumlarda olmuştur. Kontrol edilebilir işlem zamanı bunlardan biridir. Atölye tipi üretim çizelgeleme varsayımlarında işlem zamanlarının sabit olduğu ve bilindiği varsayılır. Ancak kontrol edilebilir işlem zamanında işlem zamanları kesin olarak bilinmemektedir.

2.4.3. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinde Öncelik Kuralları

Çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan işlem öncelik kuralları aşağıda belirtilmektedir (Pinedo ve Chao, 1999):

İlk gelen işi önce yap (FCFS): Bu kural literatürde ilk gelen ilk çıkar olarak da bilinir. Bu kuralın temel mantığına göre, iş merkezine gelen işler geliş sıralarına göre üretim ortamına alınır ve işlenir.

Son gelen işi önce yap (LCLS): Bu kural iş merkezinde gelen işlerin üretim ortamına alınmaları için geliş sıralarının tersine doğru bir sıralama yapmayı önerir. İş merkezine en son sırada gelen iş, ilk sırada, sondan bir önce gelen iş ikinci sırada üretim ortamına alınır ve sıralama bu şekilde devam eder.

En kısa işlem süreli işi önce yap (SPT): Bu kural, iş merkezine gelen işlerin, işlem sürelerinin kısalığı ile doğru orantılı bir ilişki kurarak sıralama yapmayı önerir. İş merkezine gelen işler arasından en kısa işlem süresine sahip olan işlerin önceliklendirildiği bu kural ile üretim sisteminin çıktısı en çoklanır ve geciken işlerin oranı azalır.

En uzun işlem süreli işi önce yap (LPT): Bu kurala göre, iş merkezine gelen işler, işlem sürelerinin uzunlukları ile doğru ilişkili olarak sıralanırlar. İş merkezine gelen işler arasından en fazla işlem süresine sahip olan iş, ilk olarak işlem görür.

Ağırlıklı en kısa işlem süreli işi önce yap (WSPT): Çizelgeleme problemlerinde her bir iş aynı önem derecesine sahip olmayabilir. Bu öncelik kuralında, işlerin önceliklerinin bulunmasında, işlem süreleri, ilgili işlerin önem dereceleri ile birlikte dikkate alınır.

Sonraki işlemlerin sayısı en fazla olan işi önce yap (LNS): Bu kural, üretim ortamında bulunan işlerin geriye kalan işlem sayılarının fazlalığı ile doğru ilişkili olarak sıralanmalarını önerir. Kurala göre, geriye kalan işlemlerinin sayısı en fazla olan iş ilk olarak yapılır.

Teslim tarihi en önce olan işi önce yap (EDD): İşlem görmek için sırada olan işlerin gecikmelerini en küçükleme amacında olan bu kurala göre sisteme gelen işler arasından en erken teslim tarihine sahip olan iş ilk olarak yapılır. Teslim tarihi en önce olan işi önce yap öncelik kuralının kullanımı ile işlerin söz verilen tarihlerde teslim edilme ihtimalleri artar.

Rastgele sıralama (SIRO): İş merkezine gelen ve işlem görmeyi bekleyen işler arasından bir tanesi tesadüfi bir şekilde seçilir. Herhangi bir amaç en iyilenmeye çalışılmaz.

Bolluk zamanı en az olan işi önce yap (LSF): Bu kurala göre sıralama, işlerin sistemdeki bolluk zamanlarının azlığı ile doğru orantılı bir şekilde yapılır. İşlerin bolluk zamanlarının dinamik olarak takip edilmesi ile geciken işlerin yüzde oranları azalır.

En kısa hazırlık zamanı olan işi önce yap (SST): Bu kural, üretime girmeyi bekleyen işlerin, hazırlık zamanlarının kısalığı ile doğru orantılı bir şekilde sıralanmalarını önerir.

En kısa hazırlık zamanına sahip olan işlere öncelik verilmesiyle ortalama gecikme zamanı azaltılabilir.

En az kritik orana sahip olan işi önce yap (CR): Bu kuraldaki kritik oran, *j* işinin teslim tarihine kadar kalan zamanın, ilgili işin bitmesi için gerekli üretim zamanına oranlanması ile bulunur. Kurala göre, üretime girmeyi bekleyen işler, sahip oldukları kritik oranların azlığı ile doğru orantılı bir şekilde sıralanır.

Kritik yol üzerindeki işleri önce yap (CP): Bu kurala göre işler öncelik kısıtlarına göre sıralanır ve kritik yol üzerindeki işler öncelikli olarak işlenir. Kritik yol, herhangi bir gecikmenin tüm projeyi geciktireceği işlerden oluşan yoldur. Bundan dolayı, kritik yol üzerinde bulunan işlere öncelik verilmesi ile proje boyutunda gecikmeler en küçüklenmeye çalışılır.

2.5. Önerilen Sistemler

Tez çalışmasında, atölye tipi üretim için farklı mutasyon ve seçim mekanizmalarına sahip iki farklı yapay bağışıklık sistemi algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen mekanizmalarda klonal seçim algoritmasının genel adımları kullanılmıştır. Bunun dışında her iki mekanizma için de kendine özgü seçim ve mutasyon özellikleri algoritmaya dahil edilmiştir.

Her iki algoritma için de antikorlar çizelgeleri, antikorların benzerlik değerleri (affinity) işlerin tamamlanma zamanını (cenb-makespan), populasyon tüm çözüm kümesini, en iyi antikorlar klonları, en kötü antikorlar reseptör kümesini, iyi antikorların mutasyonu tüm klonların geliştirilmesini, kötü antikorların mutasyonu reseptör kümesinin geliştirilmesini, tüm populasyondan iyilerin ve kötülerin ayıklanması seçimi, tüm nesildeki en iyi antikorların aktarıldığı küme hafıza kümesini ifade etmektedir. Geliştirilen her iki YBS algoritması için kullanılan ortak adımlar ve açıklamaları aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

- Önerilen algoritmalarda kullanılan antikor yapısı: Algoritmalarda kullanılan antikorlar, çizelgelenecek işleri temsil ederler. Antikor boyutu, problem boyutunu ifade eder. Örneğin 6X6'lık bir problemin antikor boyutu 36 olur. Buna benzer olarak 5X10'luk problemin antikor boyutu 50 olur. Her iş için kaç işlem varsa o kadar iş bir araya gelir ve antikoru oluşturur. Daha genel anlamda bir örnek verilecek olursa, Çizelge 2.3'te 3X3'lük bir problem verilmiştir.

Çizelge 2.3. 3X3'lük atölye tipi çizelgeleme problemi örneği

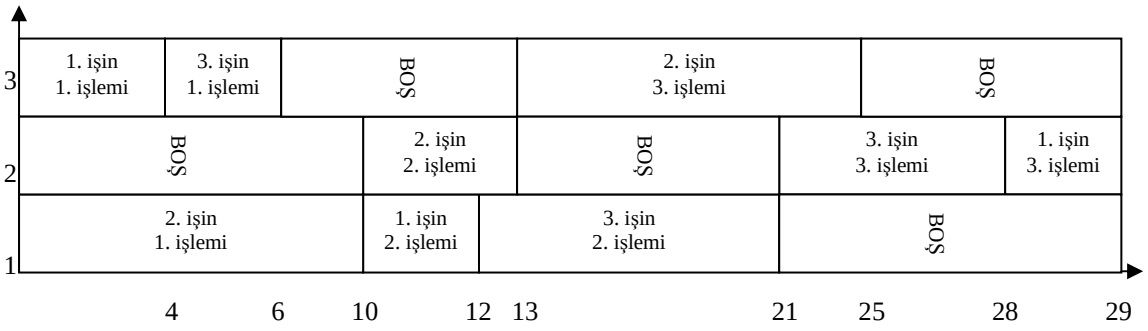
İşler	1	1	1	2	2	2	3	3	3
İşlemler	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Makineler	3	1	2	1	2	3	3	1	2
Süreler (s)	4	2	1	10	3	12	2	9	7

Burada problem 3X3'lük olduğu için antikor boyutu 9'dur. Örnek olarak başlangıçta rastgele oluşturulan bir antikor örneği Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. 9 boyutluk antikor

1	2	3	2	1	3	3	2	1

Yukarıda verilen 9 boyutlu dizideki ilk "1" elemanı, 1. işin 1. işlemini ifade eder. Yukarıdaki tablodan 1. işin 1. işleminin 3 nolu makinede 4 saat işlem göreceği belirtilir. Sonraki gelen "2" elemanı, 2. işin 1. işlemini ifade eder ve bu da 1 nolu makinede 10 saat işlem göreceğini gösterir. "3" elemanı, 3. işin 1. işlemini gösterir ve bu da 3 nolu makinede 2 saat işlem göreceğini ifade eder. Üçüncü elemandan sonra gelen "2" elemanı, 2. işin 2. işleminin 2 nolu makinede 3 saat işlem göreceğini ifade eder. Bu işlemler, en son "1" elemanın 3. işleminin 2 nolu makinede 1 saat işlem görmesiyle tamamlanır. Sonuç olarak makinelerin boş olması şartıyla her işin tüm işleminin sırasıyla tamamlanması sonucu cenb değeri 29 saat çıkmaktadır. Bu işlem sonunda elde edilen problem şeması Şekil 2.24'te verilmiştir. Dikey kısım makineleri, yatay kısım ise zamanı ifade eder.



Şekil 2.24. 3X3'lük problemin çözüm şeması

- Populasyonun oluşturulması: Yukarıda belirtilen boyutta ve belirlenen sayıda rastgele oluşturulan antikorlar kümesi populasyonu oluşturur. Populasyondaki

her antikor başlangıçta rastgele oluşturulur ve daha sonra uygunluk fonksiyonu değerine göre güncellenir.

2.5.1. Klon Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritma

Algoritmanın ilk aşamasında rastgele antikor üretimi ve bu antikorların populasyonu oluşturması işlemleri gerçekleşir. Bu mekanizmada, en iyi antikorları içeren klon kümesi daha iyi cenb değerine sahip antikorları içermesi için mutasyona tabi tutulur. Reseptör kümesi tüm populasyondan çıkarılır ve bunun yerine yine rastgele antikorlar üretilir. Bu mekanizmayı kullanan algoritmanın akış şeması Ek-1'de verilmiştir. Algoritmada gerçekleşen sonraki işlemler aşağıda sıralanmaktadır.

- Klon kümesinin oluşturulması: Klonlama oranı değerinin populasyon sayısı ile çarpılması sonucu elde edilen klonlama sayısı, populasyon içerisindeki en iyi değerlerin toplam sayısını ifade eder. Daha sonra bu sayı parametre olarak verilen klonlama çarpanı değeri ile çarpılarak elde edilen sayı kadar antikor içeren klon kümesi oluşturulur.
- Klon kümesinin mutasyona tabi tutulması: Elde edilen klon kümesi en iyi değerlerin klonlama çarpanı ile çarpılması sonucu elde edilmiştir. Bu kümenin elemanları klonlama çarpanı kadar aynı değeri içeren antikor kümesidir. Bu yüzden bu değerlerin aşağıda belirtilen mutasyon mekanizmasına göre mutasyona uğratılması en iyi çözümü elde etmek açısından çeşitlilik sağlamaktadır.

Antikor boyutu 36 kabul edilen 6X6'lık bir antikor, Çizelge 2.5'te verilmiştir. Bu antikor için mutasyon mekanizması ise Çizelge 2.6'daki gibi olur.

Çizelge 2.5. 6X6'lık antikor

2	**1**	**3**	**6**	**5**	**1**	**1**	**2**	**3**	**4**	**4**	**6**	**3**	**4**	**3**	**5**	**6**	**3**	**5**	**5**	**6**	**2**	**3**	**4**	**5**	**2**	**5**	**1**	**2**	**1**	**6**	**1**	**4**	**6**	**2**	**4**

Çizelge 2.6. 6X6'lık antikorun klon mutasyon mekanizması

Konum-1	*Konum-2*	*Değer-1*	*Değer-2*	*Değişim-1*	*Değişim-2*
1	10	2	4	**4**	**2**
21	13	6	3	**3**	**6**
5	26	5	2	**2**	**5**
28	35	1	2	**2**	**1**
24	16	4	5	**5**	**4**
31	2	6	1	**1**	**6**
11	30	4	1	**1**	**4**
7	3	1	3	**3**	**1**
33	12	4	6	**6**	**4**
4	27	6	5	**5**	**6**
36	8	4	2	**2**	**4**
17	14	6	4	**4**	**6**
9	19	3	5	**5**	**3**
23	22	3	2	**2**	**3**
25	6	5	1	**1**	**5**
15	34	3	6	**6**	**3**
32	29	1	2	**2**	**1**
20	18	5	3	**3**	**5**

Yukarıdaki tabloya göre her iki konum, aynı değere sahip olmamak şartıyla yer değiştirmektedir. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için sürekli olarak değiştirilen ve rastgele üretilen ondalıklı sayının kullanıcı tarafından belirlenen mutasyon oranı değerinden daha küçük olması gerekir. Bu işlemlerden sonra elde edilen yeni antikor Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Mutasyona uğrayan 6X6'lık antikor

4	**6**	**1**	**5**	**2**	**5**	**3**	**4**	**5**	**2**	**1**	**4**	**6**	**6**	**6**	**4**	**4**	**5**	**3**	**3**	**3**	**3**	**2**	**5**	**1**	**5**	**6**	**2**	**1**	**4**	**1**	**2**	**6**	**3**	**1**	**2**

- En iyi listenin seçilmesi: Kullanıcı tarafından belirtilen en iyi seçim oranının populasyon sayısıyla çarpılması sonucu en iyi seçim sayısı elde edilir. En iyi seçim sayısı kadar iyi antikor klon kümesi içersinden alınarak tüm populasyona eklenir.
- Kalan listenin rastgele oluşturulması: Populasyon sayısından en iyi seçim sayısı çıkarılınca elde edilen sayı, kalan seçim sayısı olarak ifade edilir. Tüm populasyonun kalan seçim sayısı kadar kısmı, çeşitlilik açısından rastgele üretilen antikorlarla doldurulur. Bu şekilde tüm populasyon, nesil boyunca sürekli olarak güncellenir.

  Algoritmanın adımları Şekil 2.25'te verilmiştir.

- *Başlangıç parametrelerini dışarıdan al*
- *Populasyon sayısı kadar rastgele antikor üret ve indekse, başlangıçta 0 değerini ver*
- *İndeksi 1 arttır ve her antikorun cenb değerini belirle*
- *Populasyondaki en iyi (en az) cenb değerine sahip antikorları sırala ve klon sayısı kadar en iyi antikoru belirle*
- *En iyi klonları, klon çarpanı sayısı kadar klonla ve P(klon) kümesini oluştur*
- *Bir "a" değeri belirle, buna 0 değerini verip döngüyü başlat*
- *Tüm klon kümesini "Rastgele üretilen sayı mutasyon oranından küçük mü?" şartına göre mutasyona uğrat*
- *P(klon) içerisindeki en iyi seçim sayısı kadar antikoru populasyona ekle ve o kadar eski antikoru listeden çıkar*
- *Kalan seçim sayısı kadar antikoru rastgele oluştur ve populasyondaki eski antikorlarla üretilenleri değiştir*
- *Tüm populasyonu güncelle, en iyiden en kötüye doğru sırala ve en iyi lokal antikoru belirle*
- *"En iyi lokal cenb değeri, en iyi global cenb değerinden daha iyi mi?" şartına göre en iyi çözümü güncelle*
- *Durdurma kriteri sağlanırsa sonuçları dosyalara ve grafik ekranına aktar ve işlemi sonlandır*

Şekil 2.25. Klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın adımları

2.5.2. Klon-Reseptör Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritma

- Normalizasyon işlemi: Bu algoritmada, popülasyondaki en iyi antikorların klon kümesine dahil edilmesinde normalizasyon değeri ve klonlama çarpanı etkilidir. Normalizasyon değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. En iyi cenb değerine sahip antikorun normalizasyon değeri 1, en kötü cenb değerine sahip antikorun normalizasyon değeri ise 0'dır. Normalizasyon işlemi için kullanılan formül Denklem 2.10'da verilmiştir.

$$\frac{Enb\text{üyük}Cenb - De\text{ğer}Cenb}{Enb\text{üyük}cenb - Enk\text{ücük}Cenb} \tag{2.10}$$

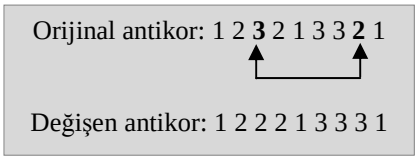
- Klon kümesinin oluşturulması ve mutasyon işlemi: Bu mekanizmanın klon kümesi seçiminde önceki mekanizmanın seçim yönteminden farklı bir yöntem kullanılır. En iyi klonlama sayısı kadar antikorun normalizasyon işlemi sonucu elde edilen normalizasyon değeri ile klonlama çarpanı değerinin çarpılması sonucu klonlanacak toplam sayı elde edilir.

  Populasyon sayısı 100, klonlama oranı 0.6 seçilirse, klonlama sayısı 60 olur. Tüm populasyon içinden 60 tane iyi antikor alınır. Yukarıda verilen formüle göre elde edilen normalizasyon değeri, klonlama çarpanı ile çarpılarak

her antikorun klon kümesine klonlanacak sayısı belirlenir. En iyi antikorun (listedeki ilk antikor) normalizasyon değeri 1 çıkacağından, klonlama çarpanı değeri 10 diye belirlenirse, ilk antikordan 10 tane P(klon) kümesine dahil edilir. İkinci antikorun normalizasyon değerinin 0.87 çıktığı farzedilirse, 10X0.87'den yuvarlanarak 9 değeri elde edilir. Bu da ikinci iyi antikorun 9 tane klonlanacağı anlamına gelir. Böylece 60. antikorun da normalizasyon değerinin 0.2 olduğu farzedilirse, 10X0.2'den 2 değeri elde edilir ve bu şekilde tüm iyi antikorların klonlandığı P(klon) listesi oluşturulur. Klonlanacak liste elde edildikten sonra bu antikorların daha da geliştirilebilmesi için mutasyon işlemi gerçekleştirilir. Mutasyon işleminde önceki mekanizmanın klon mutasyon mekanizması kullanılır. Burada farklı olan işlem, klonlanacak listenin klonlanma katsayısının sabit olmaması ve bu değerin normalizasyon değerine göre sürekli değişmesidir.

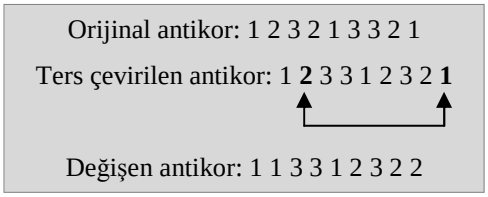
- Reseptör kümesinin oluşturulması: Populasyon sayısından klonlama sayısının çıkarılması sonucu reseptör sayısı elde edilir. Reseptör listesi, tüm populasyondan iyi antikorların çıkarılması sonucu kalan kötü antikor listesini ifade etmektedir.

- Reseptör kümesinin mutasyona tabi tutulması: P(reseptör) veya P(kötü) kümesinin elemanları 6 farklı mutasyon işlemine tabi tutulur. Tüm mutasyon işlemleri birlikte gerçekleştirilir ve orijinal antikor da dahil diğer mutasyonlar sonucu elde edilen antikorların cenb değerleri birbirleriyle kıyaslanır. En iyi cenb değerine sahip antikor ve cenb değeri orijinal antikor ve cenb değeriyle değiştirilir ve liste güncellenir. Tüm mutasyon işlemleri ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.
    a. İki farklı gen bölgesinin değiştirilmesi: Rastgele iki farklı bölge seçerek bu bölgedeki genlerin değiştirilmesi işlemini ifade eder. Örnek olarak verilen antikor için mutasyon işlemi Şekil 2.26'da verildiği gibi olur.



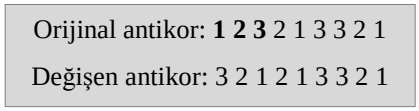
Şekil 2.26. İki farklı gen bölgesinin değiştirilmesi mutasyonu

b. Antikorun ters çevirilmesi ve iki farklı gen bölgesinin değiştirilmesi: Tüm antikorun elemanları baştan sona doğru, ilk gen son gen olacak şekilde değiştirilir ve rastgele belirlenen 2 farklı gen bölgesi seçilerek buradaki genler yer değiştirir. Şekil 2.27'de bu mutasyon işleminin nasıl gerçekleştirildiği gösterilmektedir.



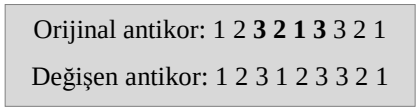
Şekil 2.27. Antikorun ters çevirilmesi ve ikili yer değiştirme mutasyonu

c. İlk üç genin ters çevirilmesi: Antikorun ilk 3 elemanı kendi aralarında yer değiştirir ve mutasyon işlemi Şekil 2.28'deki gibi gerçekleşir.



Şekil 2.28. İlk 3 genin ters çevirilmesi mutasyonu

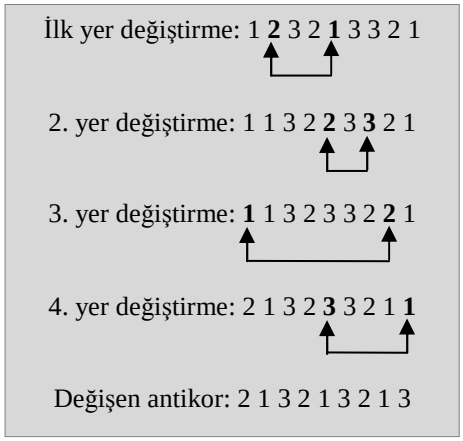
d. Rastgele belirlenen bölgeden itibaren ilk 4 genin ters çevirilmesi: Rastgele belirlenen gen bölgesinin konumu minimum '*antikor boyutu – 4*' olan antikorun ilk 4 geninin ters çevirilmesi sonucu Şekil 2.29'daki gibi mutasyon işlemi gerçekleşir. Antikor boyutu 9 ise ve rastgele 3. gen bölgesi seçilmişse 3., 4., 5. ve 6. gen bölgelerinin baştan sona ters çevirilmesi işlemleri gerçekleşir.



Şekil 2.29. Rastgele belirlenen ilk 4 genin ters çevirilmesi mutasyonu

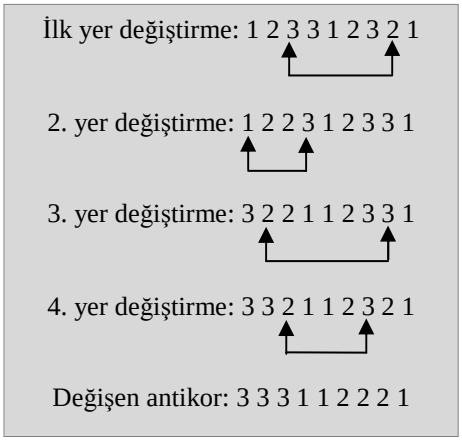
e. Genlerin ikili olarak yer değiştirilmesi: Bu mutasyon işleminde, 9 gen içerdiği düşünülen bir antikorun aynı değere sahip olmamak şartıyla tüm genlerinin rastgele olarak yer değiştirmesi işlemi gerçekleştirilir. 9 boyutluk antikorun 4 farklı gen bölgesi belirlenir ve buradaki tüm genler

yer değiştirir. Şekil 2.30'da, bu mekanizmaya göre gerçekleşen mutasyonu verilmiştir.



Şekil 2.30. Genlerin ikili olarak yer değiştirmesi mutasyonu

f. Antikorun ters çevirilmesi ve genlerin ikili olarak yer değiştirilmesi: Antikorun tüm genleri baştan sona yer değiştirir ve sonrasında 5. mutasyon işleminde gerçekleşen ikili olarak yer değiştirme işleminin benzeri gerçekleştirilir. Mutasyon işlemi 9 boyutluk antikor üzerinde Şekil 2.31'de verildiği gibi gerçekleşir.



Şekil 2.31. Antikorun ters çevirilmesi ve ikili olarak yer değiştirme mutasyonu

- Rastgelelik oranı ve populasyonun güncellenmesi: Klon kümesi içinden en iyi seçim sayısı kadar antikorun ve mutasyona uğrayan reseptör kümesi içindeki en iyi antikorların seçilerek populasyona eklenmesi işlemi gerçekleştirilir. Rastgelelik oranının populasyon sayısıyla çarpılması sonucu elde edilen rastgelelik sayısı, çözüme doğru çeşitliliği arttırmak amacıyla belirlenen sayı

kadar antikorun rastgele üretilmesi işlemlerini içerir. Böylece seçilen klon listesi, en iyi reseptör antikorları ve rastgele üretilen antikorlar popülasyondaki antikorlarla yer değiştirir ve tüm populasyon güncellenmiş olur. Bu şekilde tüm iterasyon tamamlanana kadar bu işlemler tekrarlanır. Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın akış şeması Ek-2'de verilmiştir. Algoritmanın adımları Şekil 2.32'de verildiği gibi gerçekleşir.

- *Başlangıç parametrelerini dışarıdan al*
- *Populasyon sayısı kadar rastgele antikor üret ve nesil indeks değerine, başlangıçta 0 değerini ver*
- *Nesil indeks değerini 1 arttır ve her antikorun cenb değerini belirle*
- *Populasyondaki en iyi (en az) cenb değerine sahip antikorları sırala ve klon sayısı kadar en iyi antikoru belirle*
- *Tüm populasyon için normalizasyon listesini al ve indeks değerine başlangıçta 0 değerini ata.*
- *Populasyondaki her antikorun normalizasyon değerini normalizasyon formülüne göre bul*
- *Populasyon içindeki klonlama sayısı kadar iyi antikorları (normalizasyon değeri x klonlama çarpanı) kadar klonla ve P(klon) kümesini oluştur*
- *i parametresini belirle, başlangıçta bu parametreye 0 değerini ver ve döngüyü klonlama sayısına kadar sürdür*
- *Tüm klon kümesini "Rastgele üretilen sayı mutasyon oranından küçük mü?" şartına göre mutasyona uğrat*
- *Şartı sağlayan P(klon) kümesi elemanlarını mutasyona uğrat*
- *P(klon) kümesini en iyiden en kötüye doğru sırala ve en iyi seçim sayısı kadar en iyi antikoru Klon(part)'a aktar*
- *Populasyondan (populasyon sayısı – klonlama sayısı) kadar en kötü antikoru P(reseptör) kümesine aktar*
- *j parametresini belirle, başlangıçta 0 değerini ver ve döngüyü, (populasyon sayısı - klonlama sayısı) sayısına ulaşana kadar devam ettir*
- *Antikor(j)'ye iki farklı gen bölgesinin değiştirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(1)'i oluştur ve cenb(1)'i hesapla*
- *Antikor(j)'yi ters çevir ve iki farklı gen bölgesinin değiştirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(2)'yi oluştur ve cenb(2)'yi hesapla*
- *Antikor(j)'ye ilk üç genin ters çevirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(3)'ü oluştur ve cenb(3)'ü hesapla*
- *Antikor(j)'nin rastgele belirlenen bir bölgesinden itibaren ilk 4 geninin ters çevirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(4)'ü oluştur ve cenb(4)'ü hesapla*
- *Antikor(j)'ye genlerin ikili olarak yer değiştirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(5)'i oluştur ve cenb(5)'i hesapla*
- *Antikor(j)'yi ters çevir ve genlerin ikili olarak yer değiştirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(6)'yı oluştur ve cenb(6)'yı hesapla*
- *cenb(1), cenb(2), cenb(3), cenb(4), cenb(5), cenb(6) ve cenb(orijinal) değerlerini ve antikorları kıyaslama fonksiyonuna gönder ve en iyi cenb değerini cenb(eniyi) değerine kopyala*
- *cenb(eniyi) değeri ile cenb(orijinal) değerini kıyasla ve cenb(eniyi) değerine sahip antikor daha iyi ise cenb(orijinal) değerini cenb(eniyi) değeriyle değiştir ve Antikor(orijinal)'i en iyi cenb değerine sahip antikor ile değiştir ve P(reseptör)'ü güncelle*
- *P(reseptör) kümesini en iyiden en kötüye doğru sırala ve en kötü seçim sayısı kadar antikoru Reseptör(part) kümesine ekle*
- *Rastgelelik sayısı kadar rastgele antikor üret ve Rastgele(part) kümesini oluştur*
- *Klon(part), Reseptör(part) ve Rasgele(part) kümelerini birleştir, tüm populasyonu güncelle, en iyiden en kötüye doğru sırala ve en iyi lokal antikoru belirle*
- *"En iyi lokal cenb değeri, en iyi global cenb değerinden daha iyi mi?" şartına göre en iyi çözümü güncelle*
- *Durdurma kriteri sağlanırsa sonuçları aktar ve işlemi sonlandır*

Şekil 2.32. Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın adımları

2.6. Test Problemleri

Geliştirilen uygulamalar 10 adet test problemine uygulanmış ve sonuçlar 3. bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Her bir test probleminin iş, işlem, makine ve işlemin aldığı süre parametrelerinin uygulamalar tarafından kullanıldığı format Şekil 2.33'te görüldüğü gibidir. İlk satırdaki bilgiler *n* tane işi, 2. satırdaki bilgiler *m* tane işlemi, 3. ve 4. satırdaki bilgiler ise sırasıyla işlemin atandığı makineyi ve aldığı süreyi ifade eder. Geliştirilen uygulamalar bu dosyalarda bulunan test problemi bilgilerini sırasıyla alarak algoritmaya uygun olarak işlemektedir.

```
1. iş      1. iş      ...   1. iş      ...   n. iş      n. iş      ...   n. iş
1. işlem   2. işlem   ...   m. işlem   ...   1. işlem   2. işlem   ...   m. işlem
makine     makine     ...   makine     ...   makine     makine     ...   makine
süre       süre       ...   süre       ...   süre       süre       ...   süre
```

Şekil 2.33. Test verilerinin dosyadaki formatı

Test problemleri, *http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/files/jobshop1.txt* isimli web sitesinden alınmış ve Şekil 2.33'teki formata uygun olarak not defterlerine kaydedilmiştir. Test problemlerinin tanımı ve özellikleri aşağıda verilmiştir. Verilen çizelgelerde ilk sütün iş sıralarını, diğer sütunlar ise makine-süre bilgilerini ifade etmektedir. Diğer sütunlarda verilen ve virgülle ayrılan iki değer sırasıyla işin makine ve süre bilgilerini ifade etmektedir.

2.6.1. FT06 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

Bu problem, 6 farklı iş ve 6 farklı makine içermektedir. Bu optimizasyon problemi, 36 boyutluk atölye tipi çizelgeleme problemidir. Problemin optimal çözümü 55'tir. FT06 atölye tipi çizelgeleme probleminin iş, işlem, makine ve süre bilgileri Çizelge 2.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.8. FT06 problemi

iş	makine/süre					
1	3, 1	1, 3	2, 6	4, 7	6, 3	5, 6
2	2, 8	3, 5	5, 10	6, 10	1, 10	4, 4
3	3, 5	4, 4	6, 8	1, 9	2, 1	5, 7
4	2, 5	1, 5	3, 5	4, 3	5, 8	6, 9
5	3, 9	2, 3	5, 5	6, 4	1, 3	4, 1
6	2, 3	4, 3	6, 9	1, 10	5, 4	3, 1

2.6.2. FT10 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

Bu optimizasyon problemi 10X10 şeklinde gösterilmektedir. 10 farklı iş ve 10 farklı makineye sahip 100 boyutluk problemin optimal çözümü 930'dur. Problemin makine-süre tablosu Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9. FT10 problemi

iş	makine/süre									
1	1, 29	2, 78	3, 9	4, 36	5, 49	6, 11	7, 62	8, 56	9, 44	10, 21
2	1, 43	3, 90	5, 75	10, 11	4, 69	2, 28	7, 46	6, 46	8, 72	9, 30
3	2, 91	1, 85	4, 39	3, 74	9, 90	6, 10	8, 12	7, 89	10, 45	5, 33
4	2, 81	3, 95	1, 71	5, 99	7, 9	9, 52	8, 85	4, 98	10, 22	6, 43
5	3, 14	1, 6	2, 22	6, 61	4, 26	5, 69	9, 21	8, 49	10, 72	7, 53
6	3, 84	2, 2	6, 52	4, 95	9, 48	10, 72	1, 47	7, 65	5, 6	8, 25
7	2, 46	1, 37	4, 61	3, 13	7, 32	6, 21	10, 32	9, 89	8, 30	5, 55
8	3, 31	1, 86	2, 46	6, 74	5, 32	7, 88	9, 19	10, 48	8, 36	4, 79
9	1, 76	2, 69	4, 76	6, 51	3, 85	10, 11	7, 40	8, 89	5, 26	9, 74
10	2, 85	1, 13	3, 61	7, 7	9, 64	10, 76	6, 47	4, 52	5, 90	8, 45

2.6.3. LA01 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

LA01 probleminde 10 iş ve 5 makine bulunmaktadır. Problemin genel gösterimi 10X5'tir. Problemin optimal çözümü 666'dır. Problemle ilgili iş, işlem, makine ve süre bilgileri Çizelge 2.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10. LA01 problemi

iş	makine/süre				
1	2, 21	1, 53	5, 95	4, 55	3, 34
2	1. 21	4, 52	5, 16	3, 26	2, 71
3	4, 39	5, 98	2, 42	3, 31	1, 12
4	2, 77	1, 55	5, 79	3, 66	4, 77
5	1, 83	4, 34	3, 64	2, 19	5, 37
6	2, 54	3, 43	5, 79	1, 92	4, 62
7	4, 69	5, 77	2, 87	3, 87	1, 93
8	3, 38	1, 60	2, 41	4, 24	5, 83
9	4, 17	2, 49	5, 25	1, 44	3, 98
10	5, 77	4, 79	3, 43	2, 75	1, 96

2.6.4. LA02 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

Problemin optimal çözümü 665'tir. Problem, Çizelge 2.11'deki gibi 10 iş ve 5 makine içeren atölye tipi çizelgeleme problemdir.

Çizelge 2.11. LA02 problemi

iş	makine/süre				
1	1, 20	4, 87	2, 31	5, 76	3, 17
2	5, 25	3, 32	1, 24	2, 18	4, 81
3	2, 72	3, 23	5, 28	1, 58	4, 99
4	3, 86	2, 76	5, 97	1, 45	4, 90
5	5, 27	1, 42	4, 48	3, 17	2, 46
6	2, 67	1, 98	5, 48	4, 27	3, 62
7	5, 28	2, 12	4, 19	1, 80	3, 50
8	2, 63	1, 94	3, 98	4, 50	5, 80
9	5, 14	1, 75	3, 50	2, 41	4, 55
10	5, 72	3, 18	2, 37	4, 79	1, 61

2.6.5. LA03 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

LA03 atölye tipi çizelgeleme problemi en zor optimizasyon problemlerinden biridir. 50 boyutluk problemin optimal çözümü 597'dir. Problemle ilgili bilgiler Çizelge 2.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.12. LA03 problemi

iş	makine/süre				
1	2, 23	3, 45	1, 82	5, 84	4, 38
2	3, 21	2, 29	1, 18	5, 41	4, 50
3	3, 38	4, 54	5, 16	1, 52	2, 52
4	5, 37	1, 54	3, 74	2, 62	4, 57
5	5, 57	1, 81	2, 61	4, 68	3, 30
6	5, 81	1, 79	2, 89	3, 89	4, 11
7	4, 33	3, 20	1, 91	5, 20	2, 66
8	5, 24	2, 84	1, 32	3, 55	4, 8
9	5, 56	1, 7	4, 54	3, 64	2, 39
10	5, 40	2, 83	1, 19	3, 8	4, 7

2.6.6. LA04 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

LA04 probleminin tanımı 10X5 olup optimal çözümü 590'dır. Probleme ait iş, işlem, makine ve süre bilgileri Çizelge 2.13'te verilmiştir.

Çizelge 2.13. LA04 problemi

iş	makine/süre				
1	1, 12	3, 94	4, 92	5, 91	2, 7
2	2, 19	4, 11	5, 66	3, 21	1, 87
3	2, 14	1, 75	4, 13	5, 16	3, 20
4	3, 95	5, 66	1, 7	4, 7	2, 77
5	2, 45	4, 6	5, 89	1, 15	3, 34
6	4, 77	3, 20	1, 76	5, 88	2, 53
7	3, 74	2, 88	1, 52	4, 27	5, 9
8	2, 88	4, 69	1, 62	5, 98	3, 52
9	3, 61	5, 9	1, 62	2, 52	4, 90
10	3, 54	5, 5	4, 59	2, 15	1, 88

2.6.7. LA05 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

Problem 50 boyutluk bir atölye tipi çizelgeleme problemidir. Problemin optimal çözümü 593'tür. Problemin genel tanımı Çizelge 2.14'te verildiği gibi 10X5 şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 2.14. LA05 problemi

iş	makine/süre				
1	2, 72	1, 87	5, 95	3, 66	4, 60
2	5, 5	4, 35	1, 48	3, 39	2, 54
3	2, 46	4, 20	3, 21	1, 97	5, 55
4	1, 59	4, 19	5, 46	2, 34	3, 37
5	5, 23	3, 73	4, 25	2, 24	1, 28
6	4, 28	1, 45	5, 5	2, 78	3, 83
7	1, 53	4, 71	2, 37	5, 29	3, 12
8	5, 12	3, 87	4, 33	2, 55	1, 38
9	3, 49	4, 83	2, 40	1, 48	5, 7
10	3, 65	4, 17	1, 90	5, 27	2, 23

2.6.8. LA16 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

Bu problem en zor optimizasyon problemlerinden biridir. 100 boyutluk problemin optimal çözümü 945'tir. Probleme ait iş, işlem, makine ve süre bilgileri Çizelge 2.15'te verilmiştir. Problem 10X10 şeklinde gösterilen atölye tipi çizelgeleme problemidir.

Çizelge 2.15. LA16 problemi

iş	makine/süre									
1	2, 21	7, 71	10, 16	9, 52	8, 26	3, 34	1, 53	5, 21	4, 55	6, 95
2	5, 55	3, 31	6, 98	10, 79	1, 12	8, 66	2, 42	9, 77	7, 77	4, 39
3	4, 34	3, 64	9, 62	2, 19	5, 92	10, 79	8, 43	7, 54	1, 83	6, 37
4	2, 87	4, 69	3, 87	8, 38	9, 24	10, 83	7, 41	1, 93	6, 77	5, 60
5	3, 98	1, 44	6, 25	7, 75	8, 43	2, 49	5, 96	10, 77	4, 17	9, 79
6	3, 35	4, 76	6, 28	10, 10	5, 61	7, 9	1, 95	9, 35	2, 7	8, 95
7	4, 16	3, 59	1, 46	2, 91	10, 43	9, 50	7, 52	6, 59	5, 28	8, 27
8	2, 45	1, 87	4, 41	5, 20	7, 54	10, 43	9, 14	6, 9	3, 39	8, 71
9	5, 33	3, 37	9, 66	6, 33	4, 26	8, 8	2, 28	7, 89	10, 42	1, 78
10	9, 69	10, 81	3, 94	5, 96	4, 27	1, 69	8, 45	7, 78	2, 74	6, 84

2.6.9. ABZ5 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

ABZ5 atölye tipi çizelgeleme problemi 100 boyutluk en zor optimizasyon problemlerinden biridir. Problemin optimal çözümü 1234'tür. Bu probleme ait iş, işlem, makine ve süre bilgileri Çizelge 2.16'da verilmiştir. Problemin genel tanımı 10X10 şeklindedir.

Çizelge 2.16. ABZ5 problemi

iş	makine/süre									
1	5, 88	9, 68	7, 94	6, 99	2, 67	3, 89	10, 77	8, 99	1, 86	4, 92
2	6, 72	4, 50	7, 69	5, 75	3, 94	9, 66	1, 92	2, 82	8, 94	10, 63
3	10, 83	9, 61	1, 83	2, 65	7, 64	6, 85	8, 78	5, 85	3, 55	4, 77
4	8, 94	3, 68	2, 61	5, 99	4, 54	7, 75	6, 66	1, 76	10, 63	9, 67
5	4, 69	5, 88	10, 82	9, 95	1, 99	3, 67	7, 95	6, 68	8, 67	2, 86
6	2, 99	5, 81	6, 64	7, 66	9, 80	3, 80	8, 69	10, 62	4, 79	1, 88
7	8, 50	2, 86	5, 97	4, 96	1, 95	9, 97	3, 66	6, 99	7, 52	10, 71
8	5, 98	7, 73	4, 82	3, 51	2, 71	6, 94	8, 85	1, 62	9, 95	10, 79
9	1, 94	7, 71	4, 81	8, 85	2, 66	3, 90	5, 76	6, 58	9, 93	10, 97
10	4, 50	1, 59	2, 82	9, 67	8, 56	10, 96	7, 58	5, 81	6, 59	3, 96

2.6.10. ABZ6 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

ABZ6 atölye tipi çizelgeleme problemi, 10X10 şeklinde gösterilir ve problem boyutu 100'dür. Problemin optimal çözümü 943'tür. Çizelge 2.17'de probleme ait iş, işlem, makine ve süre bilgileri gösterilmiştir.

Çizelge 2.17. ABZ6 problemi

iş	makine/süre									
1	8, 62	9, 24	6, 25	4, 84	5, 47	7, 38	3, 82	1, 93	10, 24	2, 66
2	6, 47	3, 97	9, 92	10, 22	2, 93	5, 29	8, 56	4, 80	1, 78	7, 67
3	2, 45	8, 46	7, 22	3, 26	10, 38	1. 69	5, 40	4, 33	9, 75	6, 96
4	5, 85	9, 76	6, 68	10, 88	4, 36	7, 75	3, 56	2, 35	1, 77	8, 85
5	9, 60	10, 20	8, 25	4, 63	5, 81	1, 52	2, 30	6, 98	7, 54	3, 86
6	4, 87	10, 73	6, 51	3, 95	5, 65	2, 86	7, 22	9, 58	1, 80	8, 65
7	6, 81	3, 53	8, 57	7, 71	10, 81	1, 43	5, 26	9, 54	4, 58	2, 69
8	5, 20	7, 86	6, 21	9, 79	10, 62	3, 34	1, 27	2, 81	8, 30	4, 46
9	10, 68	7, 66	6, 98	9, 86	8, 66	1, 56	4, 82	2, 95	5, 47	3, 78
10	1, 30	4, 50	8, 34	3, 58	2, 77	6, 34	9, 84	5, 40	10, 46	7, 44

3. UYGULAMA SONUÇLARI

3.1. Klon Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritmanın Sonuçları

Bu Algoritmanın 4 önemli parametresi olan klonlama oranı, mutasyon oranı, klonlama çarpanı ve en iyi seçim oranı parametrelerinin her bir değeri 10 adet optimizasyon probleminde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çizelgelere aktarılmıştır. Algoritmanın başlangıç parametre değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın başlangıç parametre değerleri

Populasyon sayısı	İterasyon sayısı	Deneme sayısı	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Klonlama çarpanı	En iyi seçim oranı
100	10,000	5	0.6	0.8	10	0.7

Verilen başlangıç parametre değerleri, program içinde algoritmaya uygun olarak sürekli değişmekte ve en uygun parametre değerleri kaydedilmektedir. Tüm iterasyonların 5 kez çalıştırılması sonucu elde edilen ortalama cenb değerleri grafiklere aktarılmıştır.

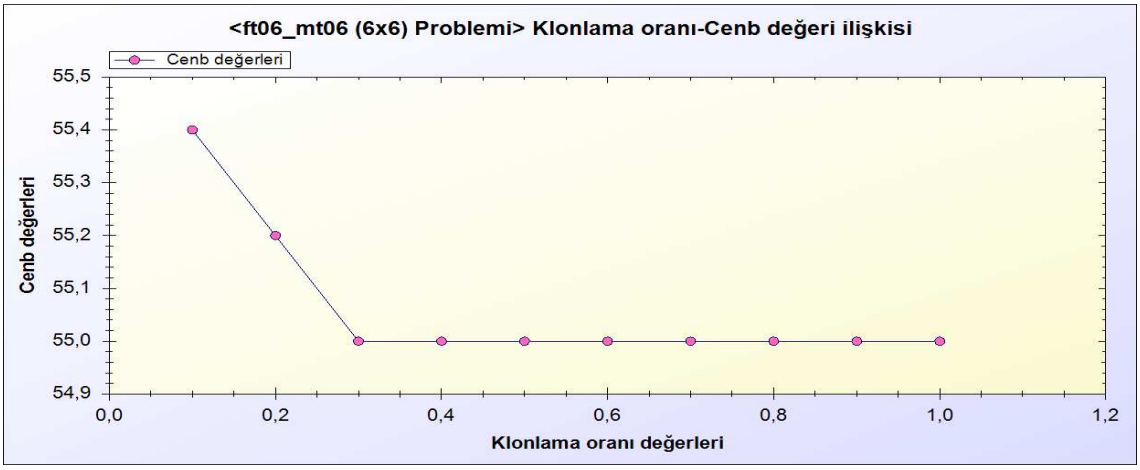
3.1.1. Klonlama Oranı Parametresinin Etkisi

Klonlama oranı parametresi, populasyonda kopyalanacak en iyi antikorların sayısını belirleyen önemli bir parametredir. Bu parametrenin populasyon sayısıyla çarpılması sonucu en iyi antikor sayısı olan klonlama sayısı elde edilir. Klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritma için klonlama oranı parametresinin değişik değerleri test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Tüm problemler için işlerin tamamlanma zamanını ifade eden cenb değeri çizelgede koyu olarak belirtilmiştir. Parantez içindeki değerler, nesil boyunca en iyi cenb değerine kaç kez ulaşıldığını göstermektedir. Bu değerlerin yüksek olması geliştirilen algoritmanın sağlamlılığını ortaya koymaktadır.

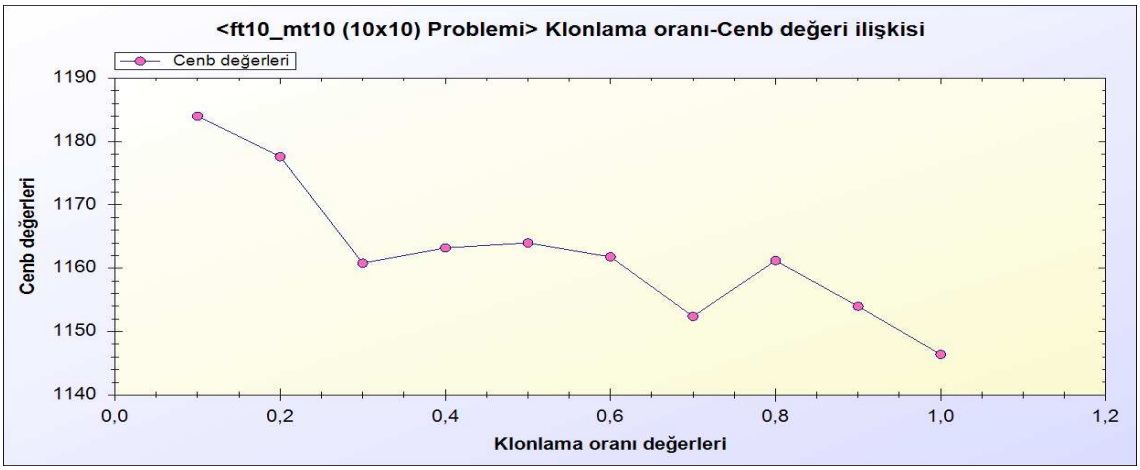
Çizelge 3.2. İlk uygulamanın klonlama oranına göre test sonuçları

Klonlama oranı	FT06	FT10	LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	LA16	ABZ5	ABZ6
0,1	***55 (5)***	*1157 (1)*	*696 (1)*	*723 (1)*	*668 (1)*	*646 (1)*	***593 (89)***	***1059 (1)***	*1464 (1)*	*1125 (1)*
0,2	*56 (1)*	*1202 (1)*	***666 (1)***	*720 (1)*	***636 (1)***	*646 (1)*	***593 (174)***	*1093 (1)*	*1457 (2)*	*1095 (1)*
0,3	***55 (3)***	*1172 (1)*	*675 (1)*	*735 (1)*	*662 (1)*	*647 (1)*	***593 (309)***	*1060 (1)*	*1448 (1)*	*1058 (1)*
0,4	***55 (6)***	*1136 (1)*	*679 (1)*	*714 (1)*	*660 (1)*	*647 (2)*	***593 (377)***	*1062 (1)*	*1410 (1)*	*1098 (2)*
0,5	***55 (8)***	***1130 (1)***	*675 (1)*	*725 (2)*	*662 (1)*	***628 (1)***	***593 (464)***	*1091 (2)*	*1438 (2)*	*1084 (1)*
0,6	***55 (11)***	*1162 (1)*	*676 (1)*	*707 (2)*	*658 (1)*	*632 (1)*	***593 (558)***	*1082 (1)*	*1392 (1)*	*1075 (1)*
0,7	***55 (8)***	*1167 (1)*	***666 (1)***	***703 (1)***	*649 (1)*	*632 (1)*	***593 (587)***	*1061 (1)*	*1412 (1)*	***1049 (1)***
0,8	***55 (10)***	*1162 (1)*	*671 (1)*	*708 (1)*	*646 (1)*	*632 (1)*	***593 (685)***	*1070 (1)*	*1424 (1)*	*1067 (1)*
0,9	***55 (12)***	*1169 (1)*	*681 (1)*	*711 (1)*	*657 (1)*	*634 (2)*	***593 (808)***	*1076 (1)*	*1394 (1)*	*1072 (1)*
1	***55 (26)***	*1148 (1)*	***666 (1)***	*711 (1)*	*655 (1)*	*634 (1)*	***593 (857)***	*1069 (1)*	***1373 (1)***	***1049 (1)***

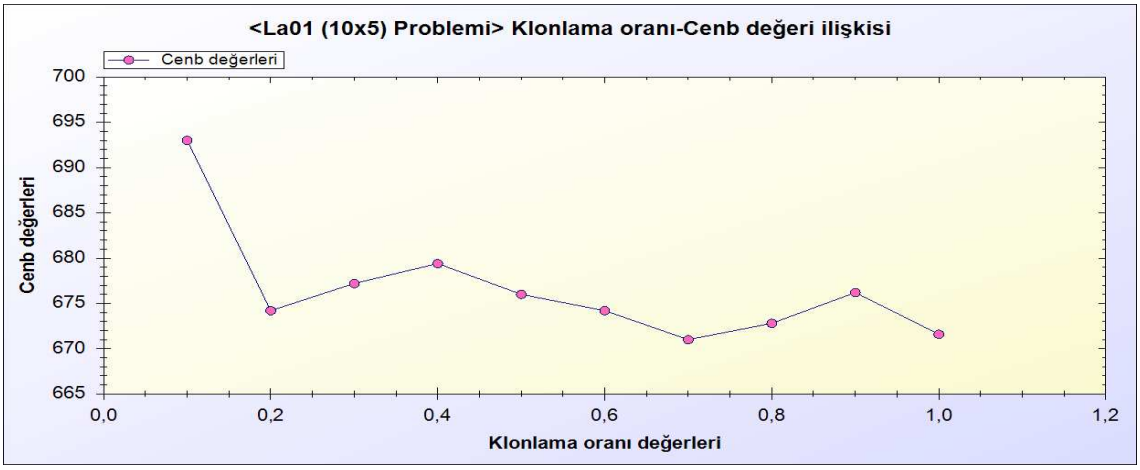
Klonlama oranı parametresinin her bir değeri için uygulama 5 kez çalıştırılmıştır. 10 adet problem için elde edilen sonuçlar Şekil 3.1 ile Şekil 3.10 arasında grafik olarak gösterilmiştir.



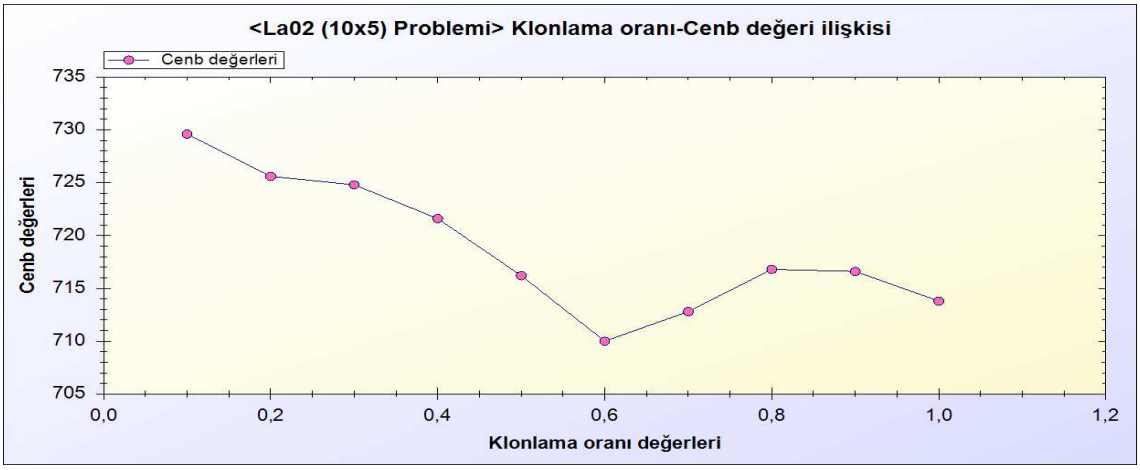
Şekil 3.1. FT06 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



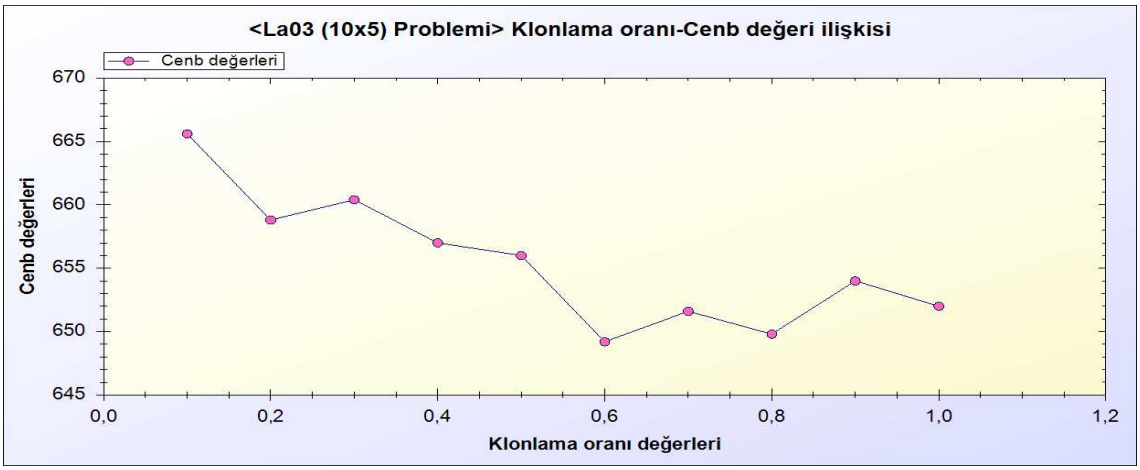
Şekil 3.2. FT10 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



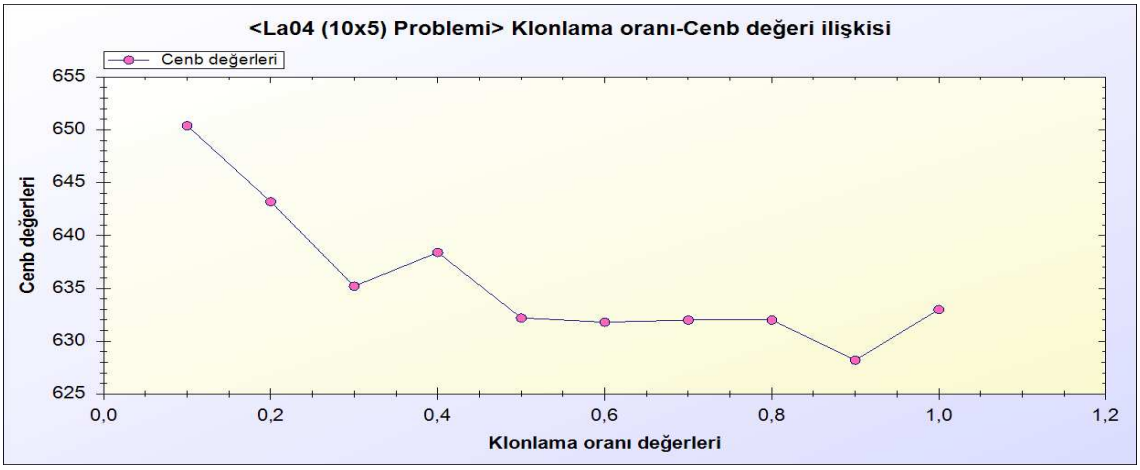
Şekil 3.3. LA01 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



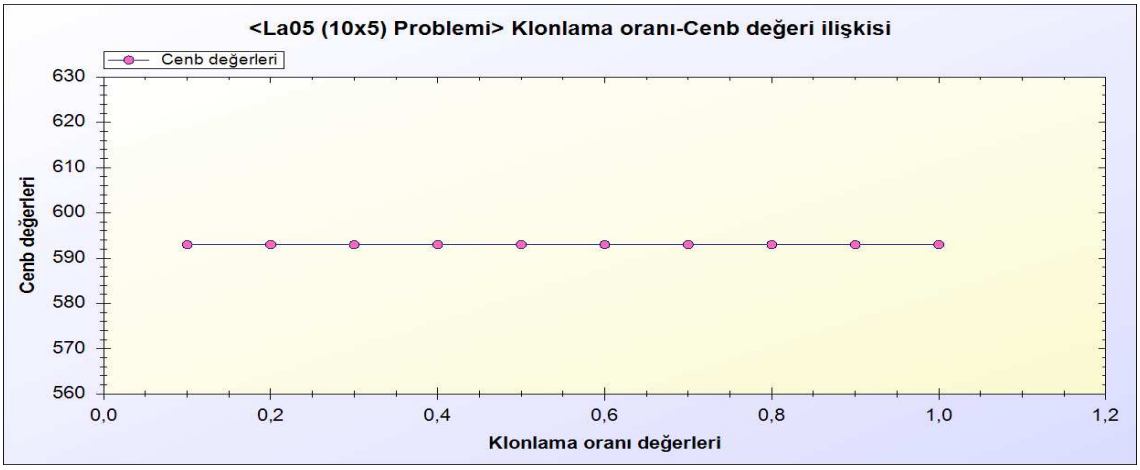
Şekil 3.4. LA02 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



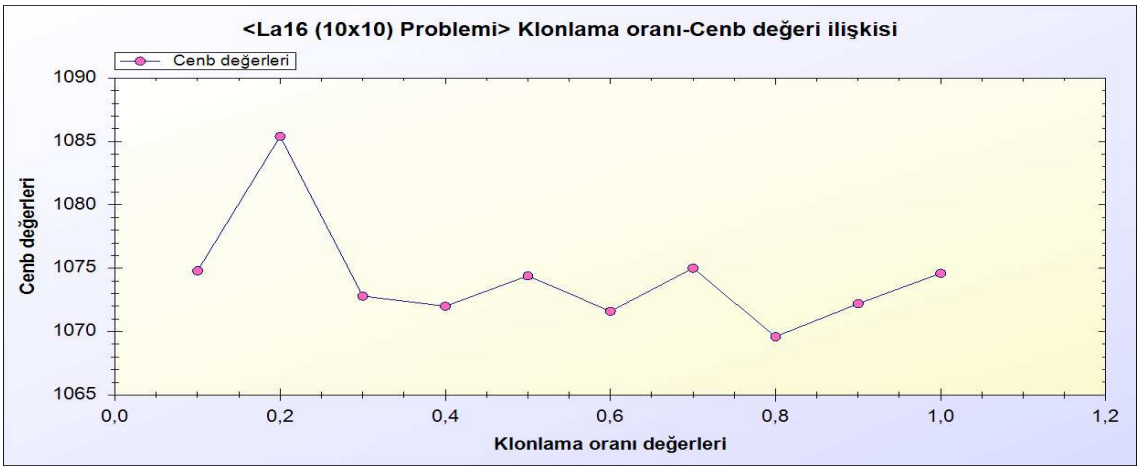
Şekil 3.5. LA03 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



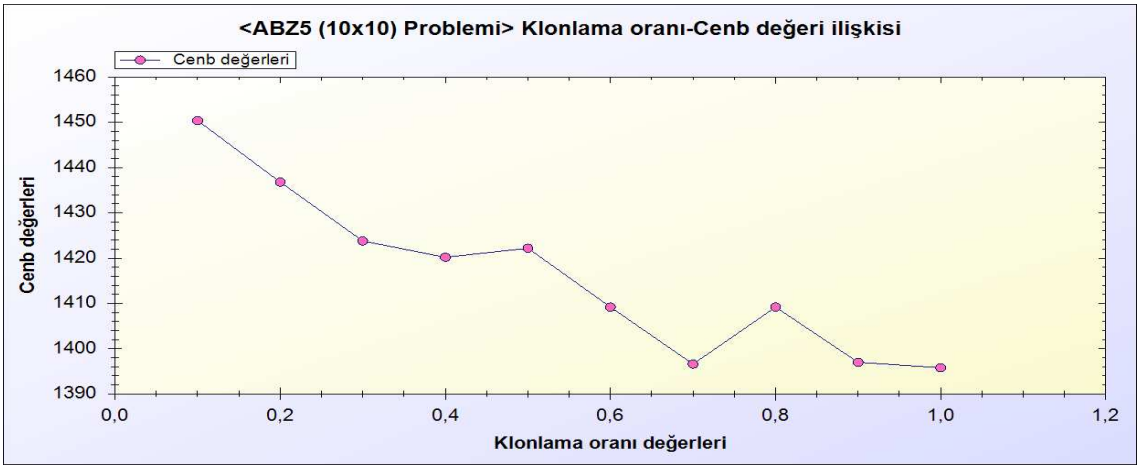
Şekil 3.6. LA04 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



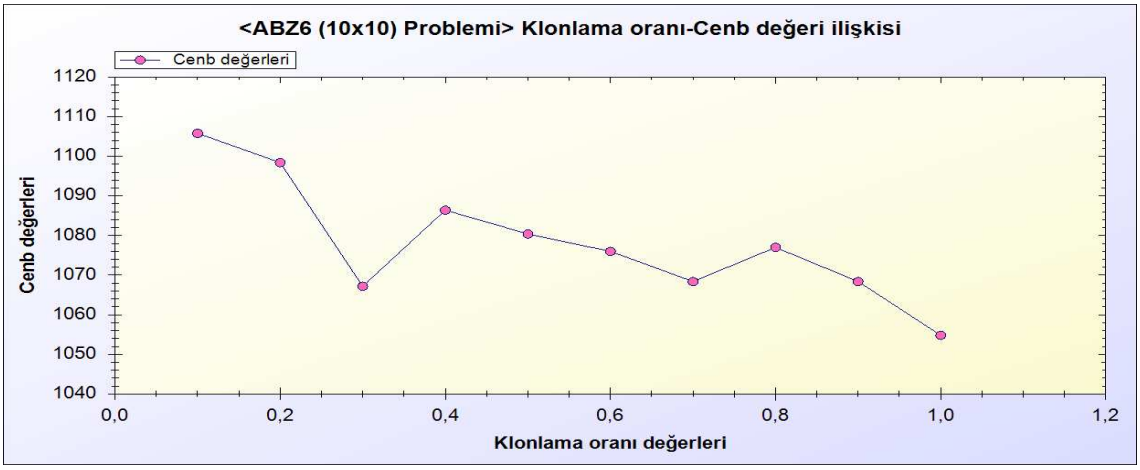
Şekil 3.7. LA05 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.8. LA16 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.9. ABZ5 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.10. ABZ6 probleminin klonlama oranı-cenb değerleri ortalaması

3.1.2. Mutasyon Oranı Parametresinin Etkisi

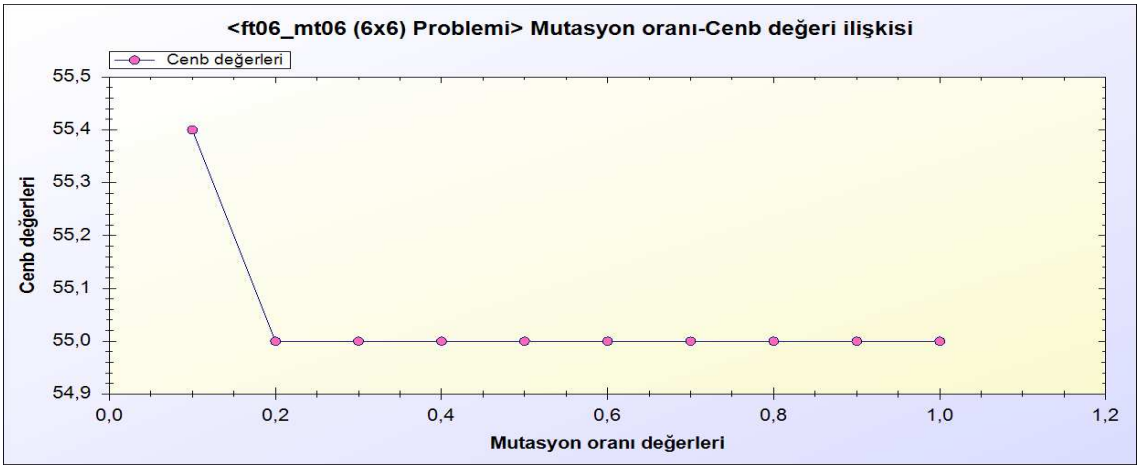
Mutasyon oranı parametresi, klonlanan antikorların mutasyonunun gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini belirleyen bir parametredir. Algoritmada rastgele üretilen ve 0.1 ile 1 arasında olan sayı, mutasyon oranıyla kıyaslanmaktadır. Bu sayı mutasyon oranından küçükse mutasyon gerçekleşir. Aksi durumda orijinal antikor ile işlem devam edilir. Klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritma için mutasyon oranı parametresinin değişik değerleri test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Tüm problemler için işlerin tamamlanma zamanını ifade eden cenb değeri çizelgede koyu olarak belirtilmiştir. Parantez içindeki değerler, nesil boyunca en iyi cenb değerine kaç kez ulaşıldığını göstermektedir. Bu değerlerin yüksek olması geliştirilen algoritmanın sağlamlılığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 3.3. İlk uygulamanın mutasyon oranına göre test sonuçları

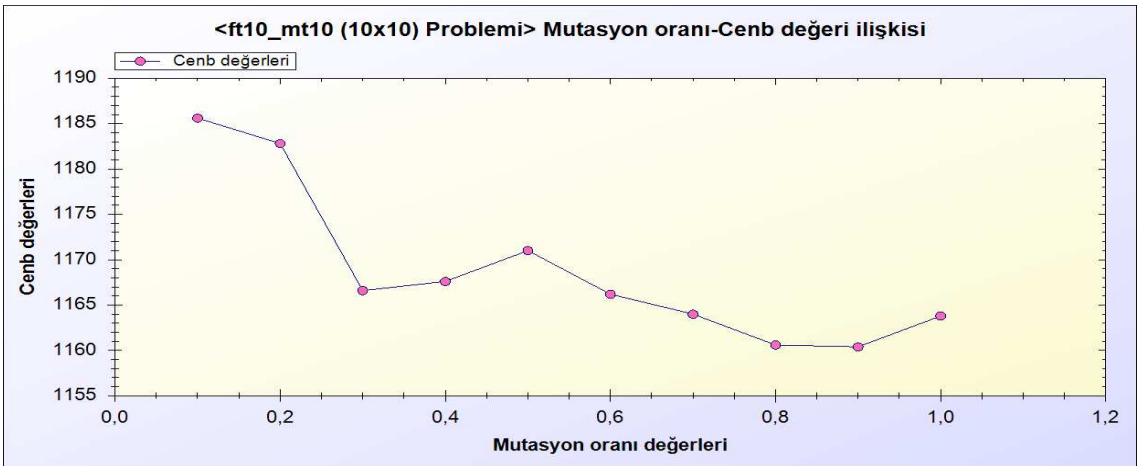
Mutasyon oranı	FT06	FT10	LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	LA16	ABZ5	ABZ6
0,1	***55 (2)***	*1165 (1)*	*686 (1)*	*738 (1)*	*667 (2)*	*644 (1)*	***593 (72)***	*1066 (1)*	*1437 (1)*	*1058 (1)*
0,2	***55 (1)***	*1204 (2)*	*691 (2)*	*740 (1)*	*675 (1)*	*638 (1)*	***593 (123)***	*1103 (1)*	*1444 (1)*	*1102 (1)*
0,3	***55 (5)***	*1179 (1)*	*677 (1)*	*732 (2)*	*671 (1)*	*632 (1)*	***593 (223)***	*1096 (1)*	*1423 (1)*	*1085 (1)*
0,4	***55 (6)***	*1159 (1)*	*676 (1)*	*733 (1)*	*651 (1)*	*634 (1)*	***593 (279)***	*1088 (1)*	*1401 (1)*	*1091 (1)*
0,5	***55 (6)***	*1162 (1)*	***666 (1)***	*729 (1)*	*649 (1)*	*640 (1)*	***593 (332)***	*1090 (1)*	***1369 (1)***	*1081 (1)*
0,6	***55 (5)***	*1194 (1)*	*678 (1)*	*724 (1)*	*645 (1)*	*630 (1)*	***593 (408)***	*1091 (1)*	*1409 (1)*	*1079 (1)*
0,7	***55 (10)***	*1165 (1)*	*675 (1)*	*729 (1)*	*656 (1)*	***624 (1)***	***593 (495)***	*1089 (1)*	*1423 (1)*	*1076 (1)*
0,8	***55 (6)***	***1148 (1)***	*671 (1)*	*715 (1)*	*651 (1)*	*637 (1)*	***593 (508)***	*1080 (1)*	*1373 (1)*	***1056 (1)***
0,9	***55 (8)***	*1160 (1)*	*671 (2)*	*713 (1)*	*654 (1)*	*639 (2)*	***593 (654)***	*1058 (1)*	*1424 (1)*	*1093 (1)*
1	***55 (14)***	*1169 (1)*	***666 (1)***	***705 (1)***	***640 (1)***	*625 (1)*	***593 (709)***	***1046 (1)***	*1417 (1)*	*1060 (1)*

Mutasyon oranı parametresinin her bir değeri için uygulama 5 kez çalıştırılmıştır. 10 adet problem için elde edilen sonuçlar Şekil 3.11 ile Şekil 3.20 arasında grafik olarak gösterilmiştir. Tüm problemler için en iyi cenb değerlerine genelde 0.6-1 arasındaki değerlerde ulaşılmaktadır. Bu değer 1 olduğunda 10 adet

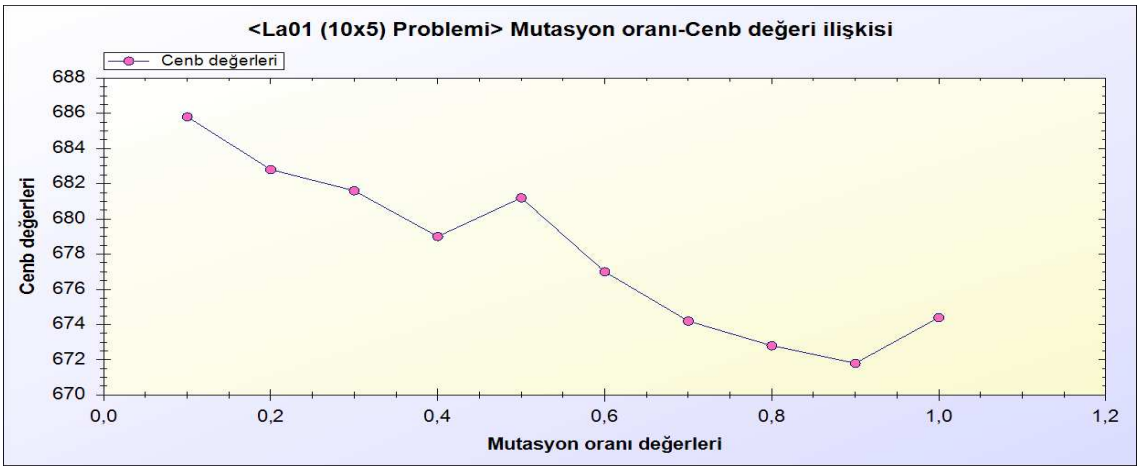
problemden 6'sında minimum tamamlanma zamanına ulaşıldığı ya da yaklaşıldığı görülmüştür.



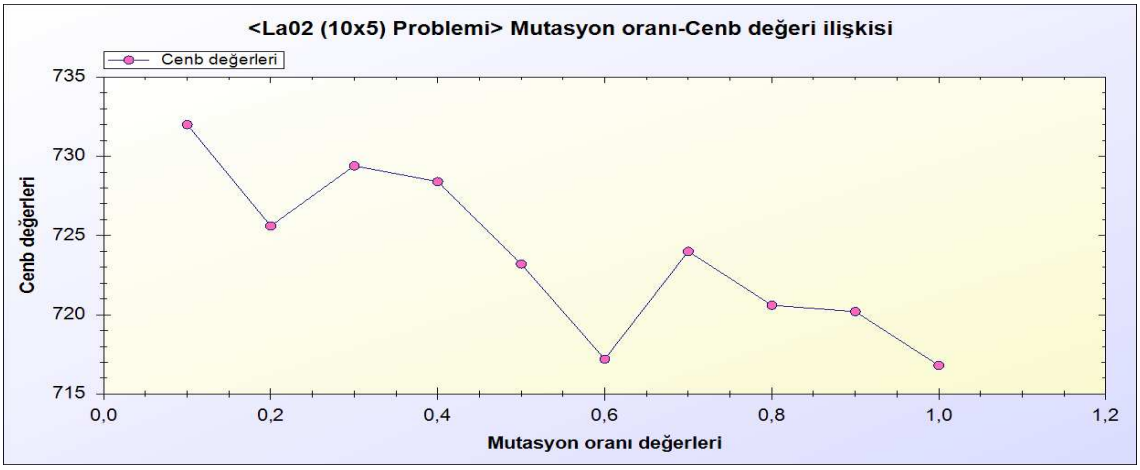
Şekil 3.11. FT06 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



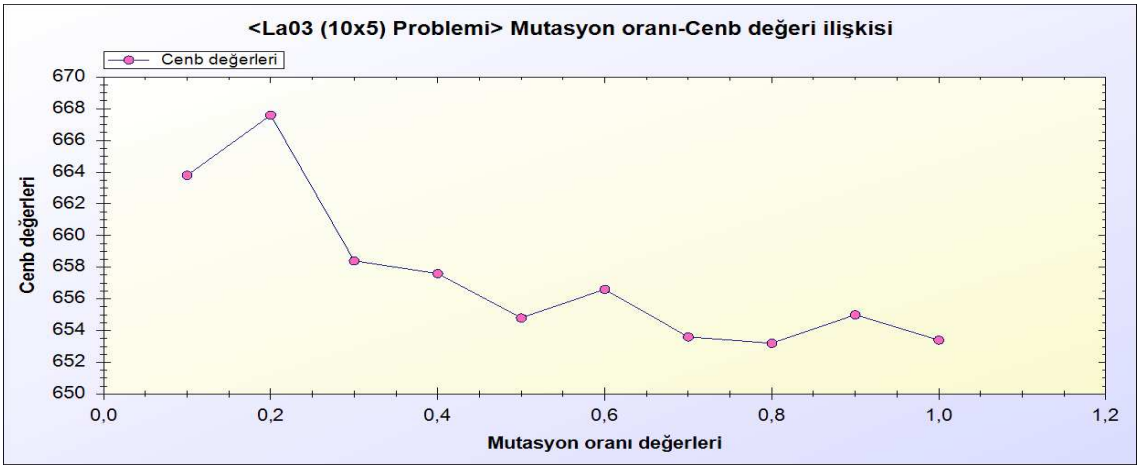
Şekil 3.12. FT10 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



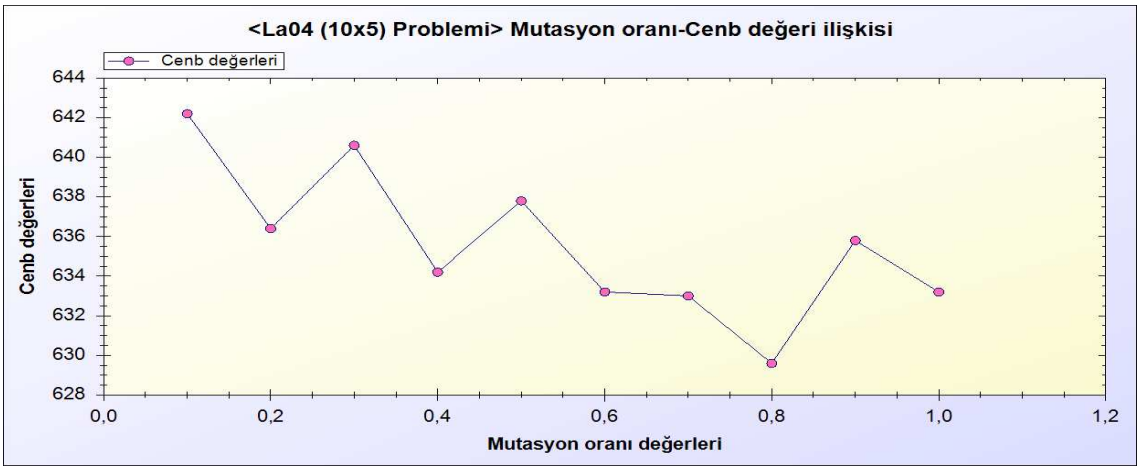
Şekil 3.13. LA01 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



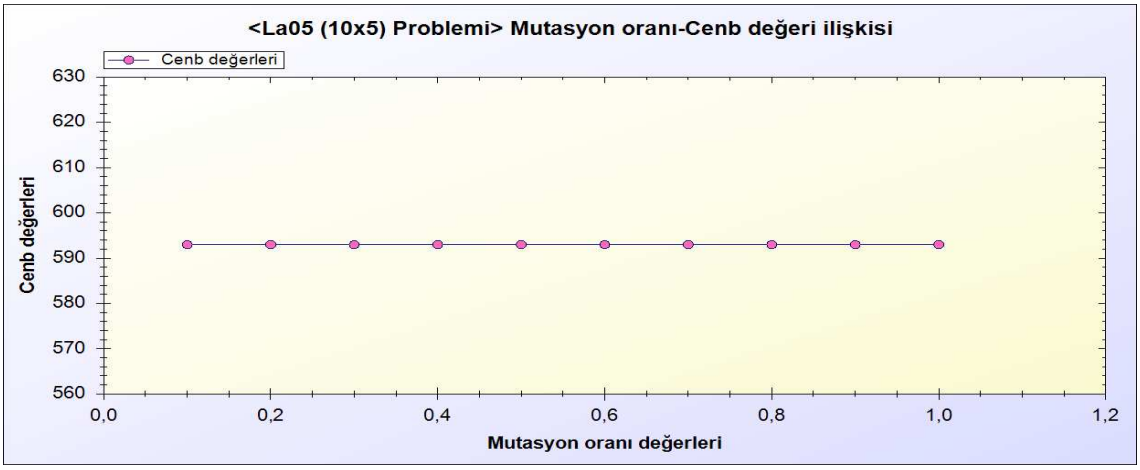
Şekil 3.14. LA02 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



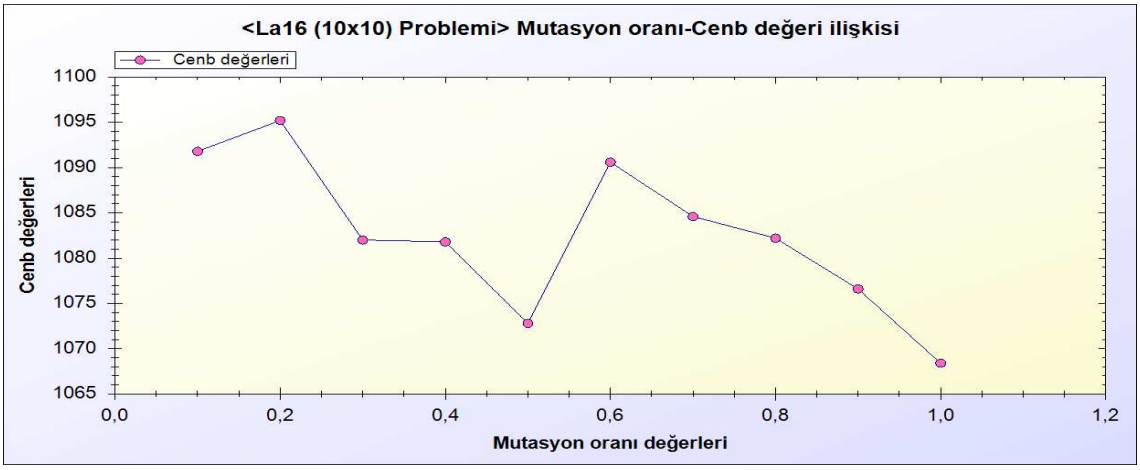
Şekil 3.15. LA03 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



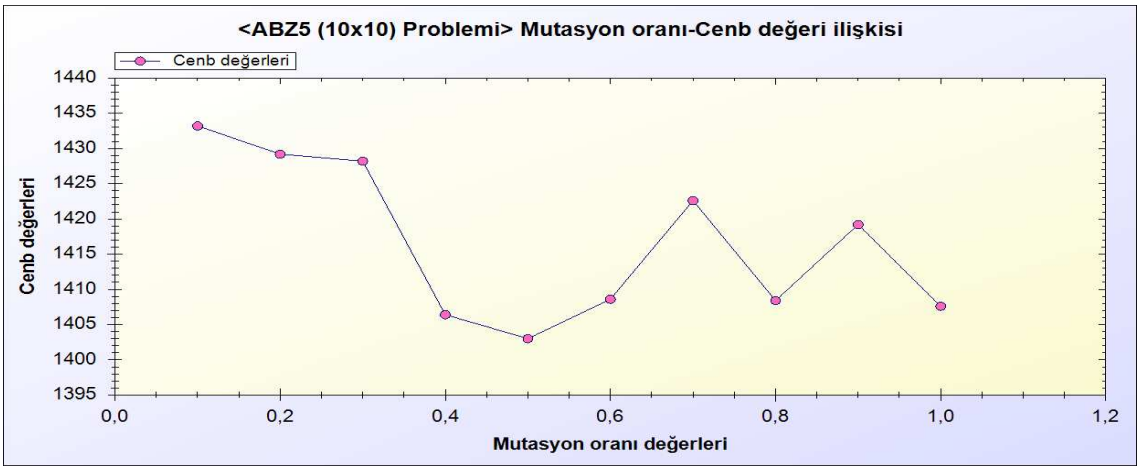
Şekil 3.16. LA04 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



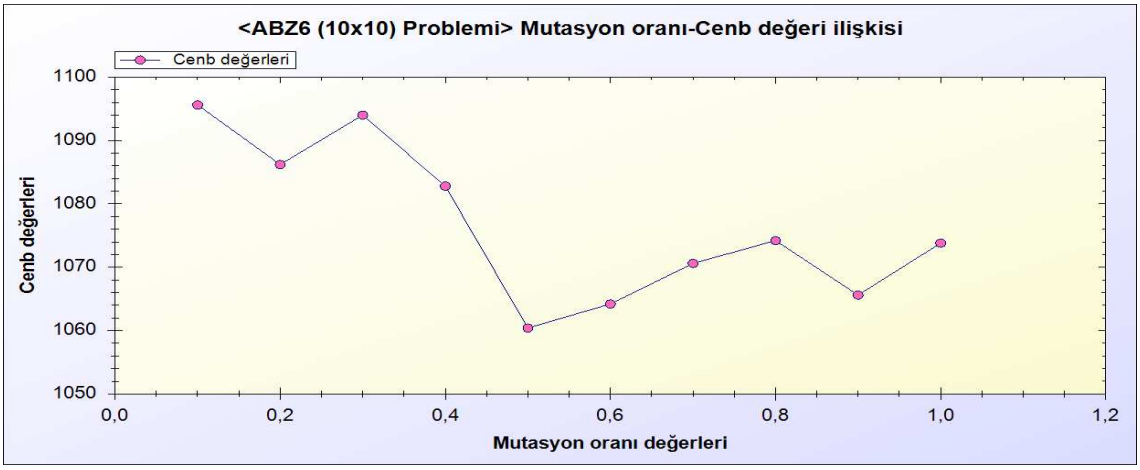
Şekil 3.17. LA05 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.18. LA16 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.19. ABZ5 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.20. ABZ6 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması

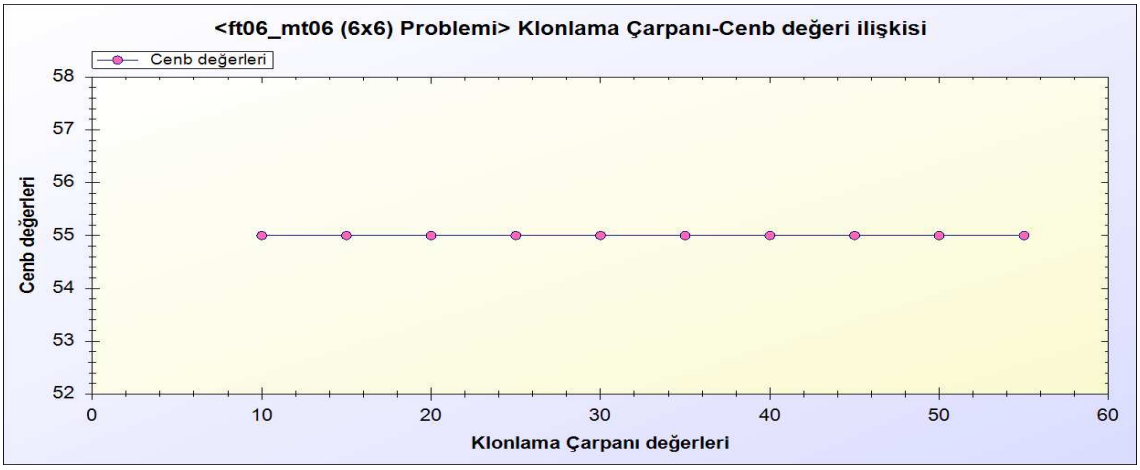
3.1.3. Klonlama Çarpanı Parametresinin Etkisi

Klonlama çarpanı parametresi, klonlanacak en iyi antikorların klon kümesinde bulunma sayısını belirleyen bir parametredir. Klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritma için klonlama çarpanı parametresinin değişik değerleri test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Tüm problemler için işlerin tamamlanma zamanını ifade eden cenb değeri çizelgede koyu olarak belirtilmiştir. Parantez içindeki değerler, nesil boyunca en iyi cenb değerine kaç kez ulaşıldığını göstermektedir. Bu değerlerin yüksek olması geliştirilen algoritmanın sağlamlılığını ortaya koymaktadır. Grafik ve tablolar incelendiğinde klonlama çarpanının en iyi çözüm değerini bulma konusunda diğer parametrelere göre daha belirleyici olduğu ortadadır.

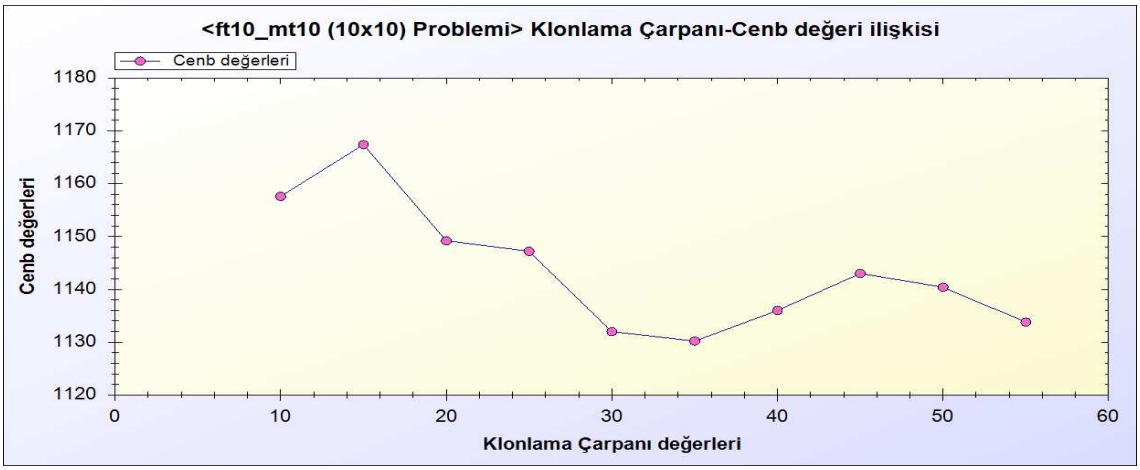
Çizelge 3.4. İlk uygulamanın klonlama çarpanına göre test sonuçları

Klonlama çarpanı	FT06	FT10	LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	LA16	ABZ5	ABZ6
10	***55 (8)***	*1158 (1)*	*674 (1)*	*724 (3)*	*655 (1)*	*637 (1)*	***593 (542)***	*1090 (1)*	*1425 (1)*	*1068 (1)*
15	***55 (16)***	*1163 (1)*	*684 (2)*	*705 (1)*	*662 (1)*	*634 (1)*	***593 (787)***	***1059 (1)***	*1403 (1)*	*1068 (1)*
20	***55 (15)***	*1122 (1)*	*677 (1)*	*720 (2)*	*654 (2)*	*632 (1)*	***593 (1018)***	*1070 (1)*	*1393 (1)*	*1063 (1)*
25	***55 (14)***	*1141 (1)*	*675 (2)*	***699 (1)***	*652 (1)*	*637 (1)*	***593 (1276)***	***1059 (1)***	*1375 (1)*	***1044 (1)***
30	***55 (33)***	***1120 (1)***	*667 (1)*	*713 (1)*	*647 (1)*	***619 (1)***	***593 (1532)***	*1073 (1)*	***1362 (1)***	*1067 (1)*
35	***55 (35)***	*1131 (1)*	*669 (1)*	*712 (1)*	*654 (1)*	*632 (2)*	***593 (1725)***	*1069 (1)*	*1391 (1)*	*1070 (1)*
40	***55 (48)***	*1147 (1)*	***666 (1)***	*704 (1)*	***638 (1)***	*624 (1)*	***593 (1912)***	*1069 (1)*	*1413 (1)*	*1079 (1)*
45	***55 (45)***	*1141 (1)*	***666 (3)***	*707 (1)*	***638 (1)***	*625 (1)*	***593 (2158)***	*1065 (1)*	*1403 (1)*	*1059 (1)*
50	***55 (52)***	*1145 (1)*	***666 (1)***	*713 (1)*	*642 (1)*	*628 (1)*	***593 (2360)***	*1063 (1)*	*1413 (1)*	*1061 (1)*
55	***55 (68)***	*1128 (1)*	*673 (1)*	*711 (1)*	*648 (1)*	*622 (1)*	***593 (2541)***	*1070 (1)*	*1390 (1)*	*1058 (1)*

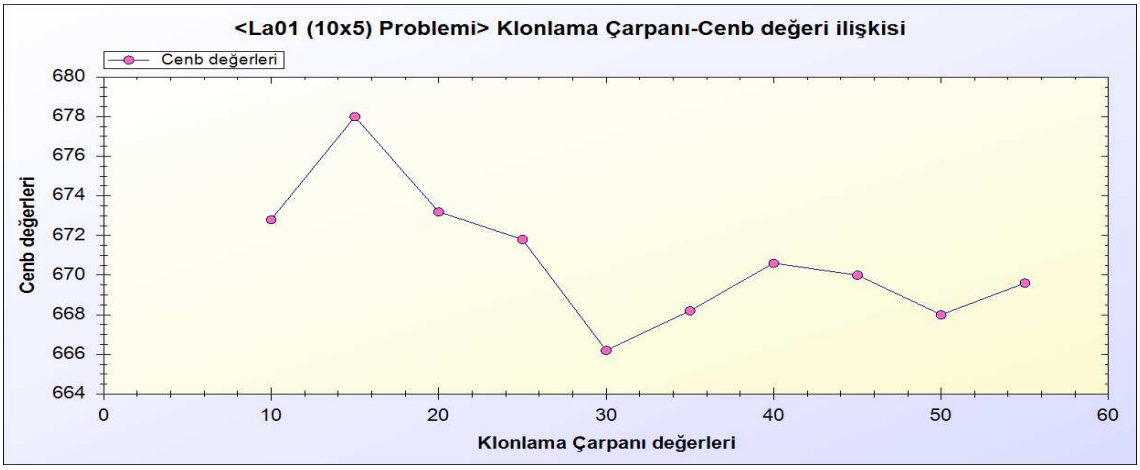
Klonlama çarpanı parametresinin her bir değeri için uygulama 5 kez çalıştırılmıştır. 10 adet problem için elde edilen sonuçlar Şekil 3.21 ile Şekil 3.30 arasında grafik olarak gösterilmiştir.



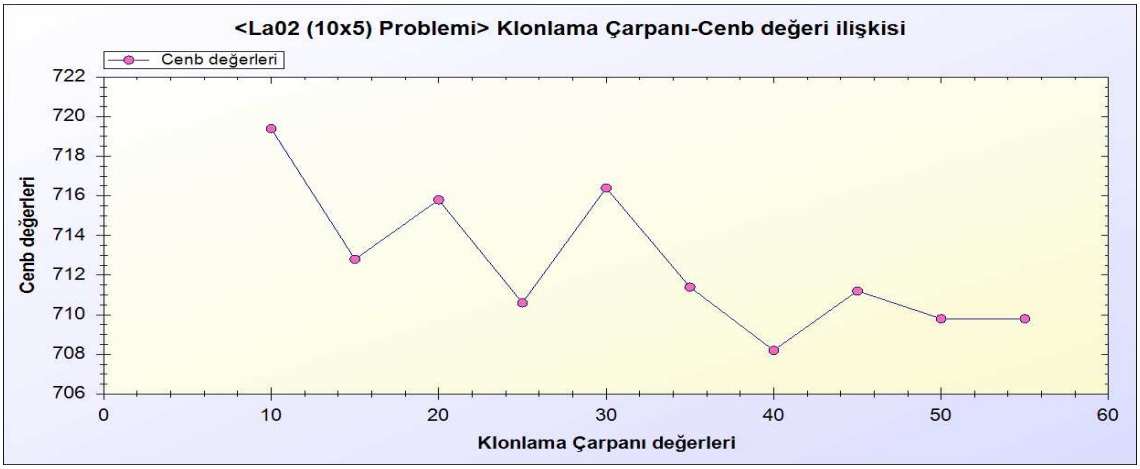
Şekil 3.21. FT06 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



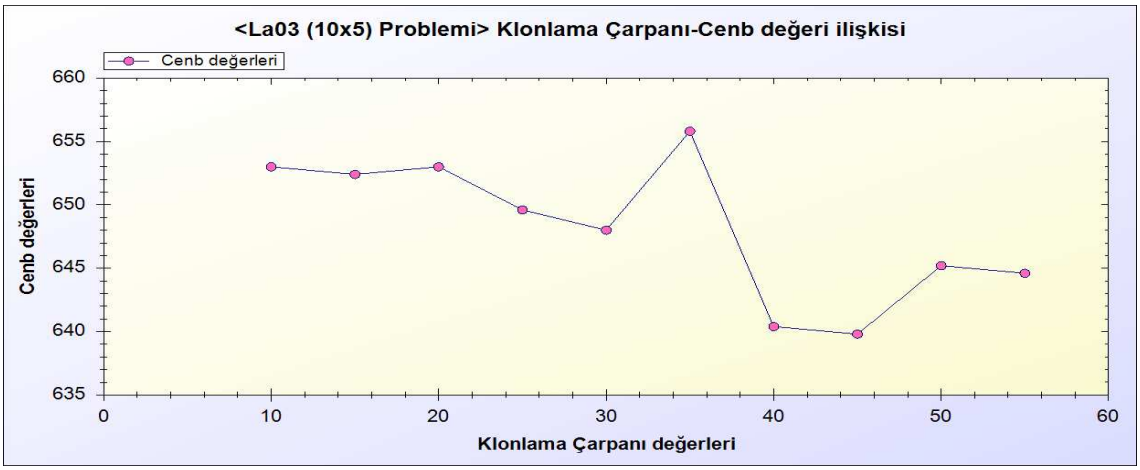
Şekil 3.22. FT10 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



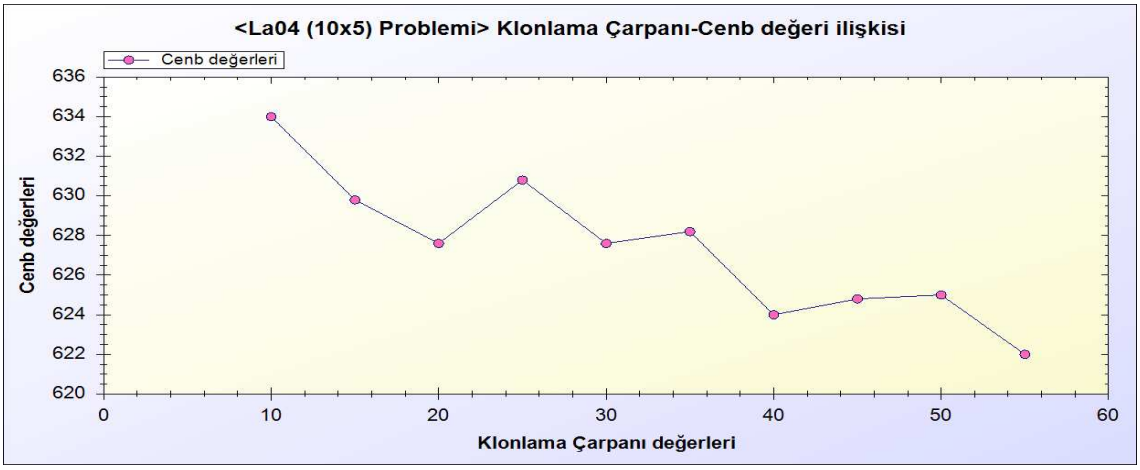
Şekil 3.23. LA01 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



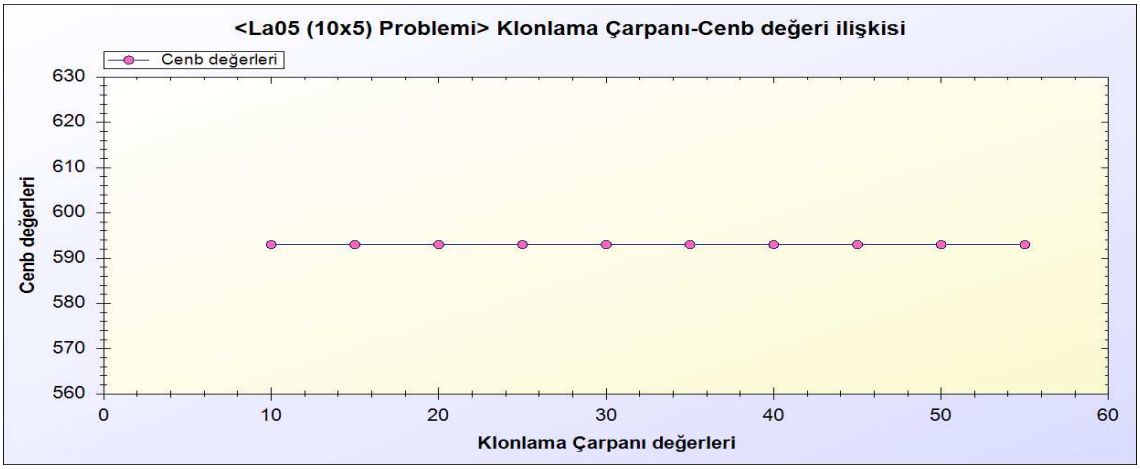
Şekil 3.24. LA02 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



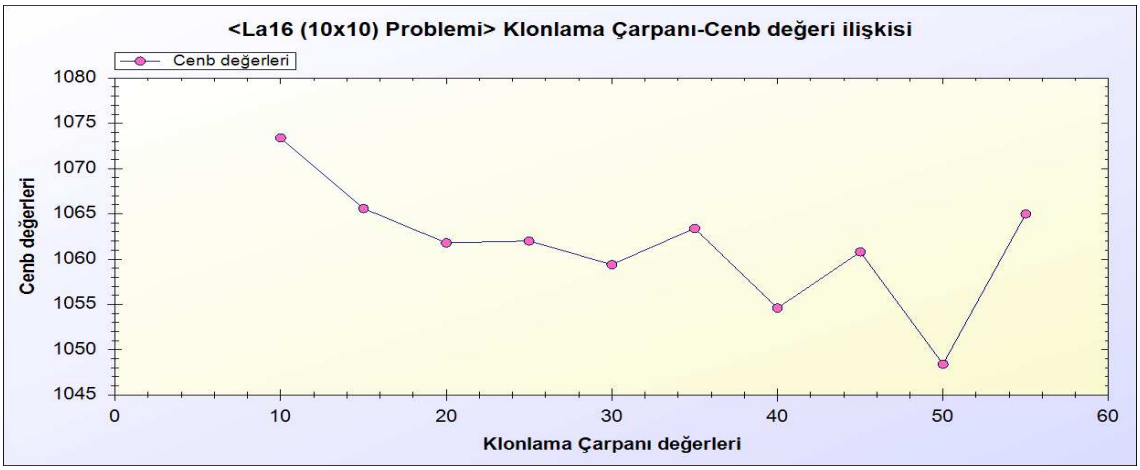
Şekil 3.25. LA03 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



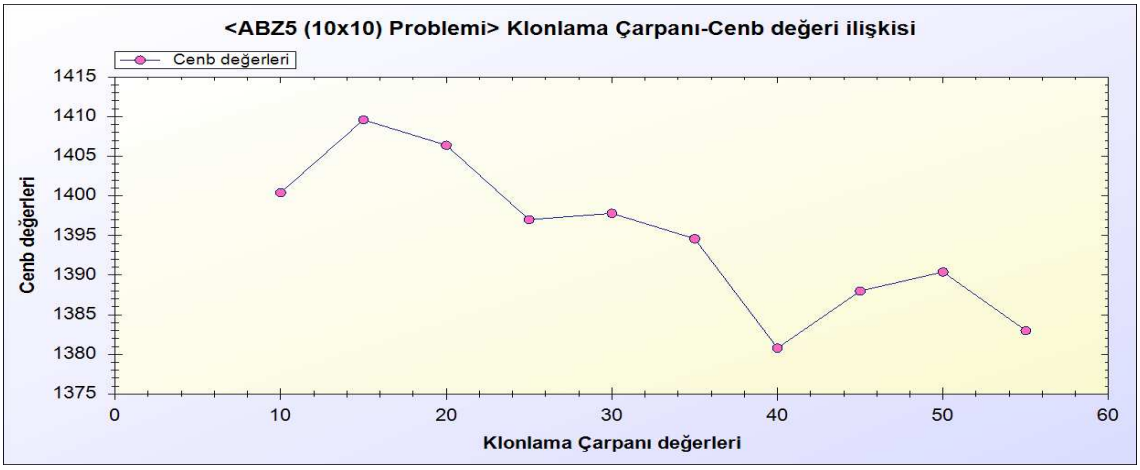
Şekil 3.26. LA04 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



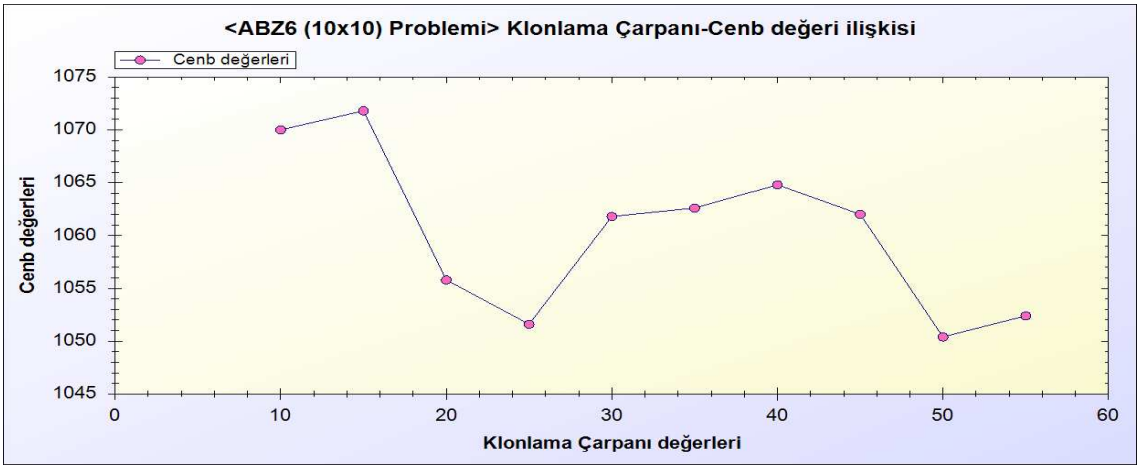
Şekil 3.27. LA05 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.28. LA16 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.29. ABZ5 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.30. ABZ6 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması

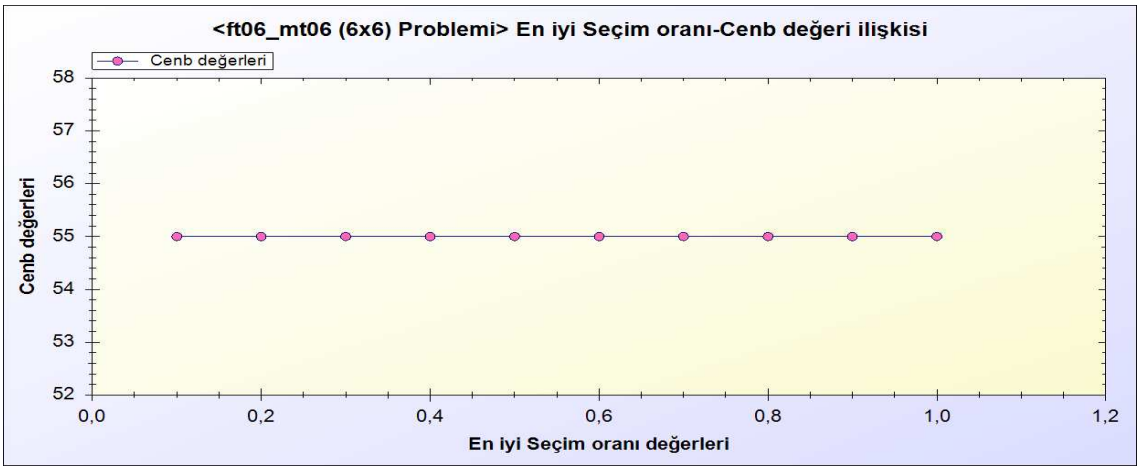
3.1.4. En İyi Seçim Oranı Parametresinin Etkisi

En iyi seçim oranı parametresi, klon kümesine aktarılan tüm iyi antikorların populasyona eklenme sayısını belirleyen önemli bir parametredir. Bu parametre değerinin populayon sayısıyla çarpılması sonucu en iyi seçim sayısı elde edilir. Bu sayı kadar iyi antikor populasyona eklenir. Klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritma için en iyi seçim oranı parametresinin değişik değerleri test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Tüm problemler için işlerin tamamlanma zamanını ifade eden cenb değeri çizelgede koyu olarak belirtilmiştir. Parantez içindeki değerler, nesil boyunca en iyi cenb değerine kaç kez ulaşıldığını göstermektedir. Bu değerlerin yüksek olması geliştirilen algoritmanın sağlamlılığını ortaya koymaktadır.

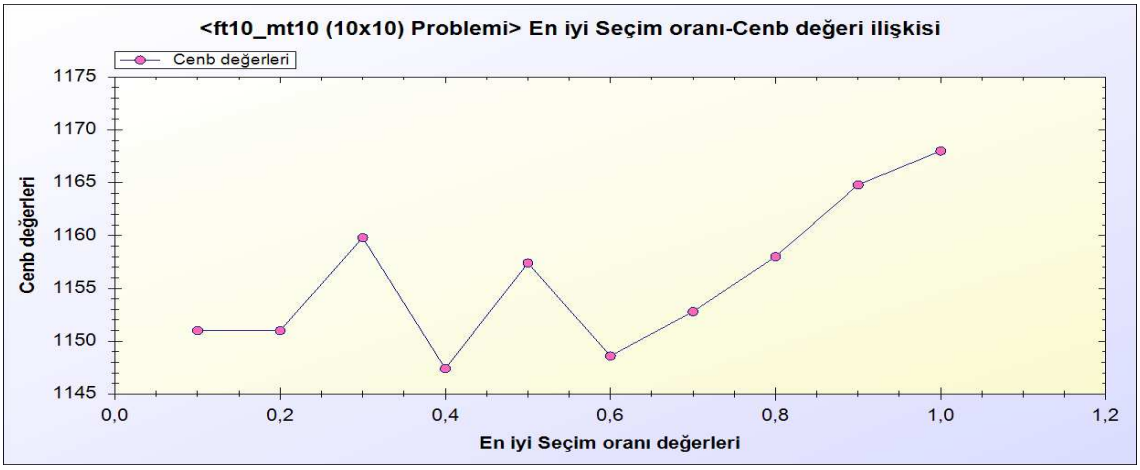
Çizelge 3.5. İlk uygulamanın en iyi seçim oranına göre test sonuçları

En iyi seçim oranı	FT06	FT10	LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	LA16	ABZ5	ABZ6
0,1	***55 (13)***	*1154 (1)*	*675 (1)*	***703 (1)***	*663 (1)*	*637 (1)*	***593 (555)***	*1064 (1)*	*1426 (1)*	***1061 (1)***
0,2	***55 (10)***	*1138 (1)*	*692 (2)*	*714 (1)*	*660 (1)*	*634 (1)*	***593 (532)***	*1061 (1)*	*1402 (1)*	*1089 (1)*
0,3	***55 (8)***	*1153 (1)*	*677 (1)*	*723 (1)*	*659 (1)*	*632 (1)*	***593 (529)***	*1072 (1)*	*1393 (1)*	*1068 (2)*
0,4	***55 (8)***	*1144 (1)*	*669 (1)*	*714 (1)*	*659 (1)*	*637 (1)*	***593 (545)***	*1069 (1)*	*1394 (1)*	*1077 (1)*
0,5	***55 (11)***	*1162 (1)*	*669 (1)*	*715 (1)*	*657 (1)*	***619 (1)***	***593 (543)***	*1081 (1)*	*1408 (1)*	*1068 (1)*
0,6	***55 (8)***	***1135 (1)***	*678 (1)*	*724 (1)*	*653 (1)*	*632 (2)*	***593 (571)***	*1073 (1)*	***1377 (1)***	*1077 (1)*
0,7	***55 (8)***	*1149 (1)*	***666 (1)***	*726 (1)*	*661 (1)*	*624 (1)*	***593 (509)***	*1077 (1)*	*1406 (1)*	*1087 (1)*
0,8	***55 (7)***	*1168 (1)*	***666 (2)***	*714 (1)*	*651 (1)*	*625 (1)*	***593 (559)***	*1076 (1)*	*1423 (1)*	*1074 (1)*
0,9	***55 (5)***	*1137 (1)*	*675 (1)*	*712 (1)*	***640 (1)***	*628 (1)*	***593 (526)***	***1052 (1)***	*1421 (1)*	*1075 (1)*
1	***55 (11)***	*1172 (1)*	*678 (1)*	*724 (1)*	*656 (1)*	*622 (1)*	***593 (565)***	*1081 (1)*	*1399 (1)*	*1089 (1)*

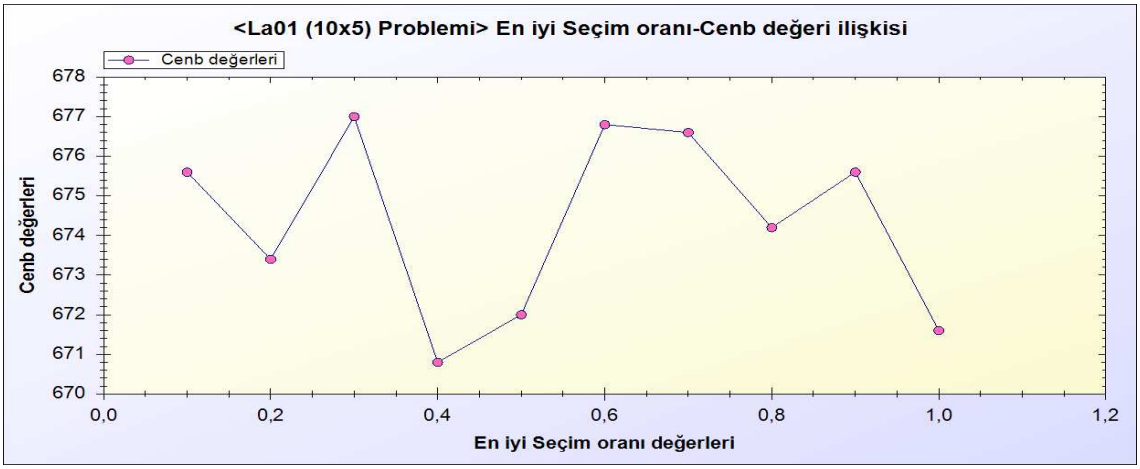
En iyi seçim oranı parametresinin her bir değeri için uygulama 5 kez çalıştırılmıştır. 10 adet problem için elde edilen sonuçlar Şekil 3.31 ile Şekil 3.40 arasında grafik olarak gösterilmiştir.



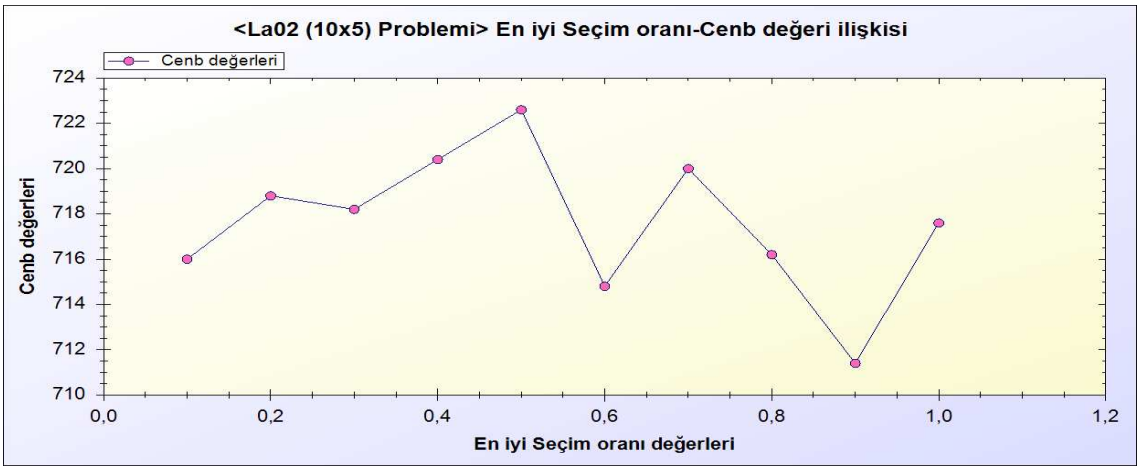
Şekil 3.31. FT06 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



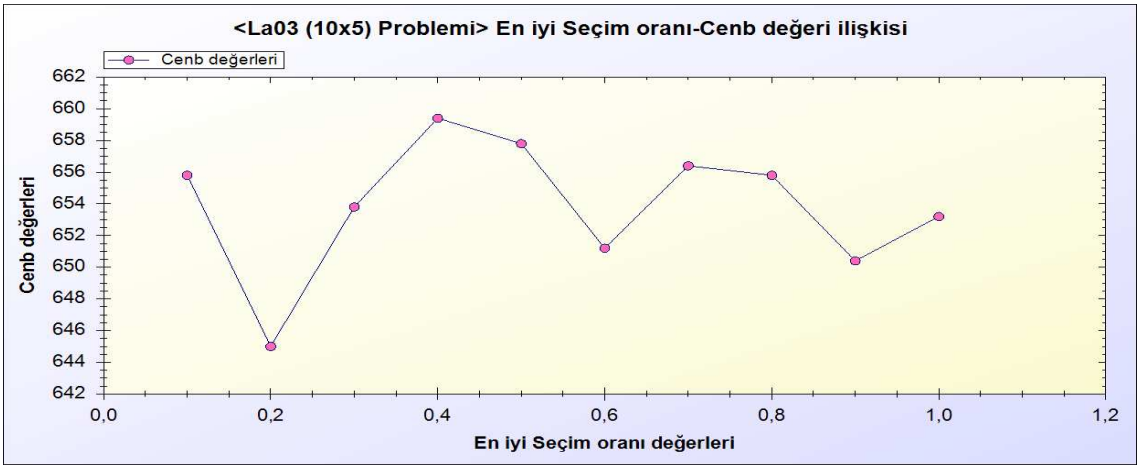
Şekil 3.32. FT10 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



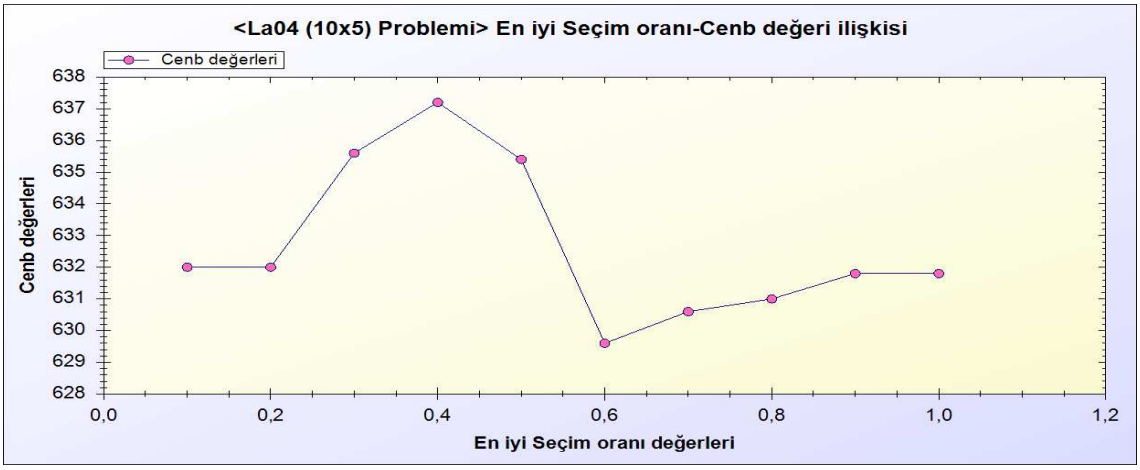
Şekil 3.33. LA01 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



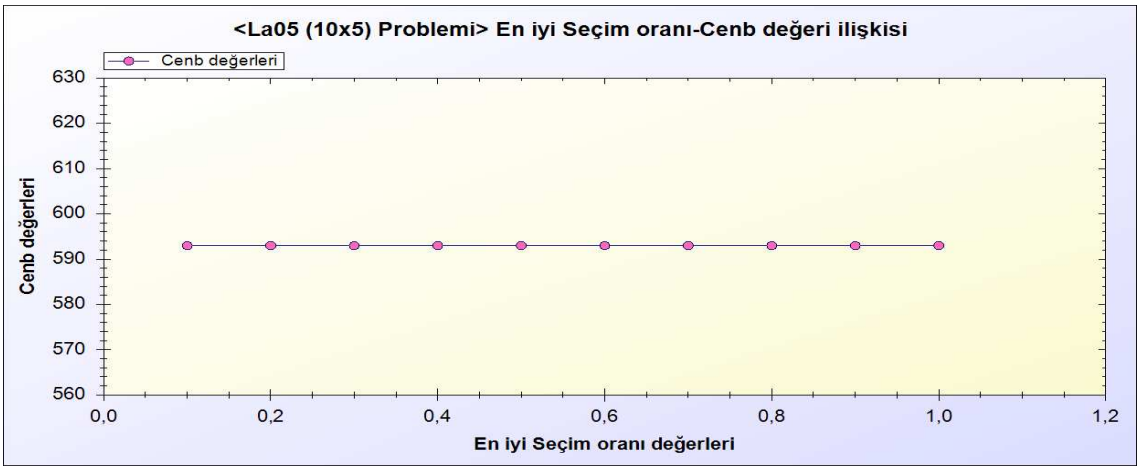
Şekil 3.34. LA02 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



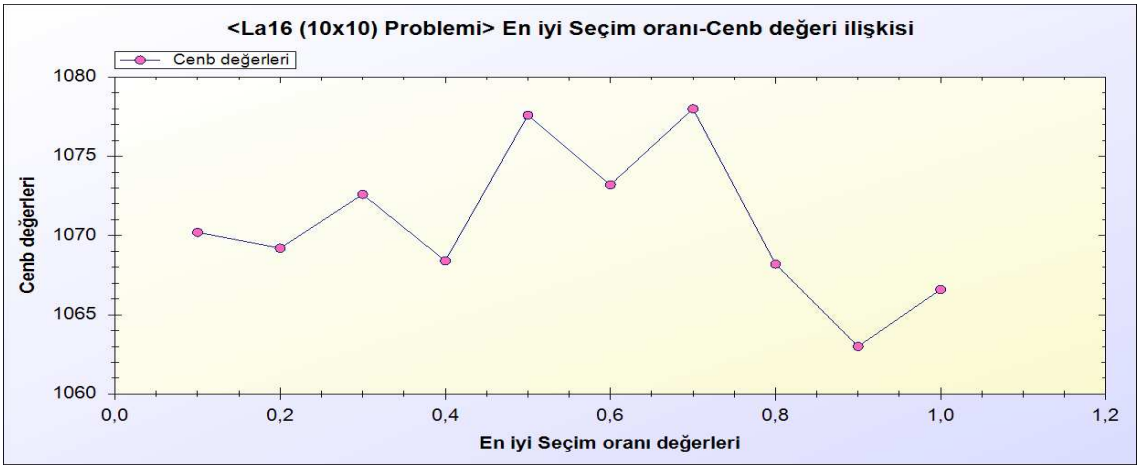
Şekil 3.35. LA03 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



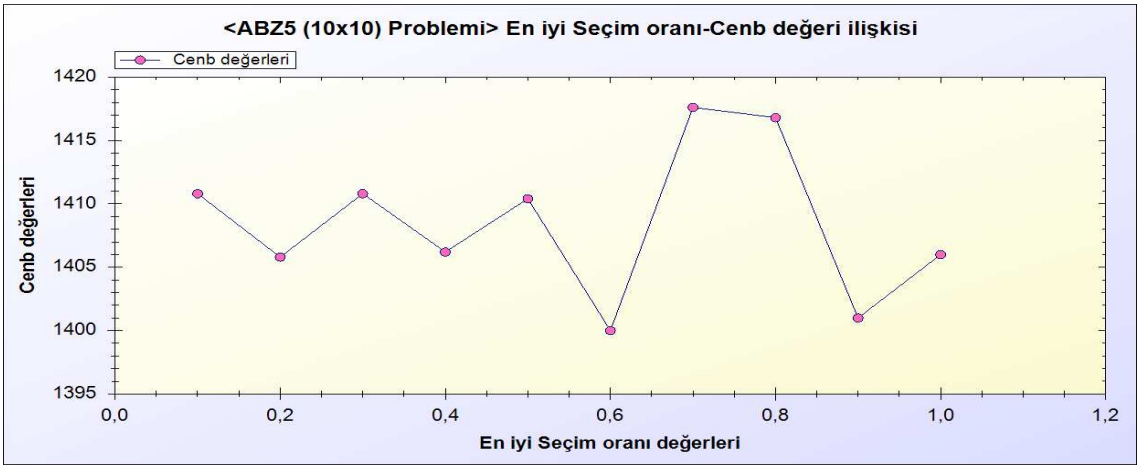
Şekil 3.36. LA04 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



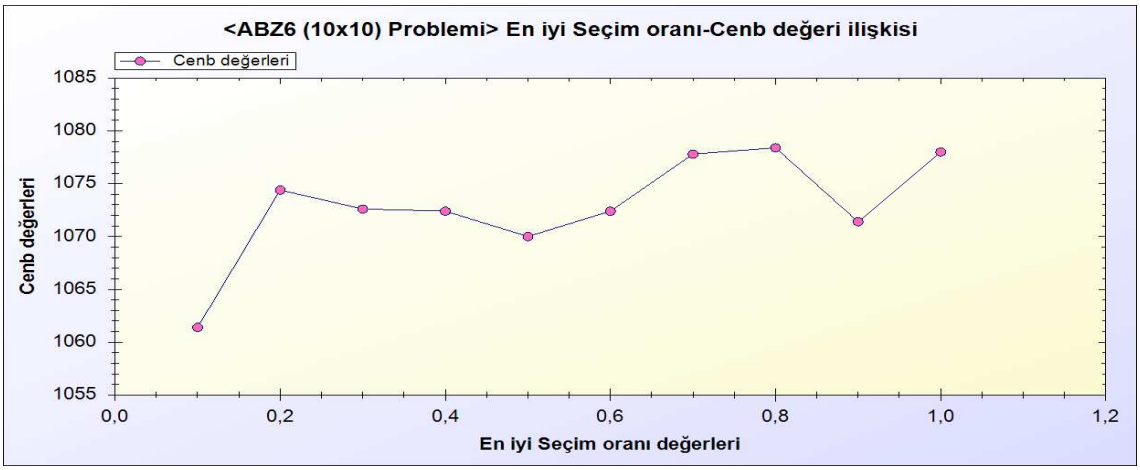
Şekil 3.37. LA05 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.38. LA16 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.39. ABZ5 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.40. ABZ6 probleminin en iyi seçim oranı-cenb değerleri ortalaması

3.2. Klon-Reseptör Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritmanın Sonuçları

Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın 3 önemli parametresi vardır. Bunlar, mutasyon oranı, klonlama çarpanı ve rastgelelik oranıdır. Bu parametrelerin her bir değeri 10 adet optimizasyon probleminde test edilmiştir. Tüm deneneme sonuçları çizelgelere aktarılmıştır. Bu algoritmanın başlangıç parametre değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. İlk algoritmadan farklı olarak burada rastgelelik oranı parametresi bulunmaktadır. Bu parametre, her nesilde rastgele üretilen antikorların sayısını belirlemektedir. Bunun yanında bu algoritmada önemli bir yere sahip olan normalizasyon değeri bulunmaktadır. Bu değer normalizasyon formülüne göre elde edilmektedir. Böylece en iyi antikorlar klon kümesine daha fazla eklenmektedir. Daha kötü cenb değerine sahip antikorlar ise listeye daha az eklenmektedir.

Çizelge 3.6. Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın başlangıç parametre değerleri

Populasyon sayısı	İterasyon sayısı	Deneme sayısı	Mutasyon oranı	Klonlama çarpanı	Rastgelelik oranı	Klonlama oranı	En iyi seçim oranı
100	10,000	5	0.8	10	0.2	0.6	0.7

Verilen başlangıç parametre değerleri, program içinde algoritmaya uygun olarak sürekli değişmekte ve en uygun parametre değerleri kaydedilmektedir. 10 farklı problemin 5 kez çalıştırılmasıyla ortalama cenb değerleri hesaplanmış ve bu sonuçlar grafiklere aktarılmıştır.

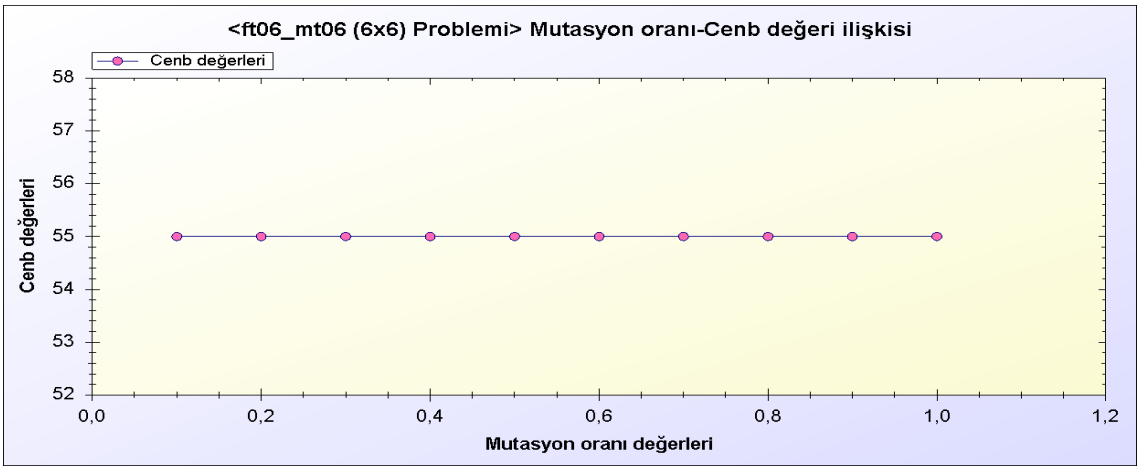
3.2.1. Mutasyon Oranı Parametresinin Etkisi

Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritma için mutasyon oranı parametresinin değişik değerleri test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Tüm problemler için işlerin tamamlanma zamanını ifade eden cenb değeri çizelgede koyu olarak belirtilmiştir. Parantez içindeki değerler, nesil boyunca en iyi cenb değerine kaç kez ulaşıldığını göstermektedir. Bu değerlerin yüksek olması geliştirilen algoritmanın sağlamlılığını ortaya koymaktadır.

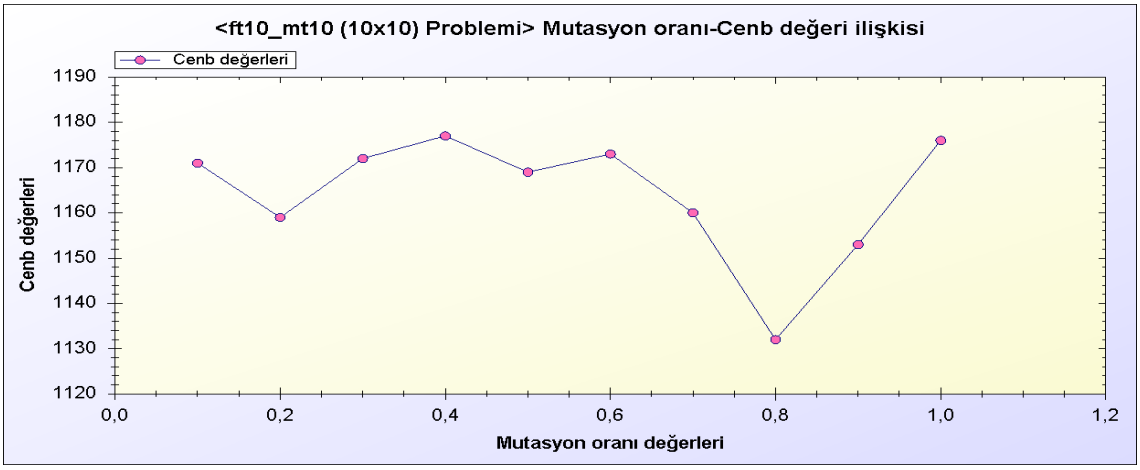
Çizelge 3.7. İkinci uygulamanın mutasyon oranına göre test sonuçları

Mutasyon oranı	FT06	FT10	LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	LA16	ABZ5	ABZ6
0,1	***55 (4)***	*1096 (1)*	*692 (1)*	*696 (2)*	*623 (1)*	*609 (1)*	***593 (125)***	*1094 (1)*	*1363 (1)*	*1034 (1)*
0,2	***55 (4)***	*1084 (1)*	*690 (1)*	*693 (1)*	*610 (1)*	*608 (1)*	***593 (187)***	*1106 (1)*	*1342 (1)*	*1032 (2)*
0,3	***55 (4)***	*1097 (1)*	*692 (1)*	*689 (1)*	*612 (1)*	*614 (5)*	***593 (221)***	*1078 (1)*	*1368 (1)*	*1026 (1)*
0,4	***55 (1)***	*1102 (1)*	*675 (2)*	*696 (1)*	*610 (1)*	*608 (1)*	***593 (268)***	*1093 (1)*	*1372 (1)*	*1012 (1)*
0,5	***55 (8)***	*1094 (1)*	***666 (2)***	*693 (1)*	*624 (1)*	*610 (2)*	***593 (347)***	***1044 (1)***	***1303 (1)***	*1008 (1)*
0,6	***55 (12)***	*1098 (1)*	*685 (1)*	*696 (1)*	*617 (1)*	*602 (2)*	***593 (392)***	*1080 (1)*	*1364 (1)*	***970 (1)***
0,7	***55 (9)***	*1085 (1)*	*687 (1)*	***683 (1)***	*623 (1)*	***590 (1)***	***593 (437)***	*1092 (1)*	*1341 (1)*	*1025 (1)*
0,8	***55 (7)***	***1057 (1)***	*686 (1)*	*693 (1)*	*616 (1)*	*593 (1)*	***593 (430)***	*1059 (1)*	*1337 (1)*	*1004 (1)*
0,9	***55 (8)***	*1078 (1)*	***666 (1)***	*687 (2)*	*620 (1)*	*604 (1)*	***593 (478)***	*1068 (1)*	*1342 (1)*	*999 (1)*
1	***55 (16)***	*1101 (1)*	***666 (1)***	*690 (1)*	***597 (1)***	*598 (1)*	***593 (494)***	*1058 (1)*	*1327 (1)*	*1010 (1)*

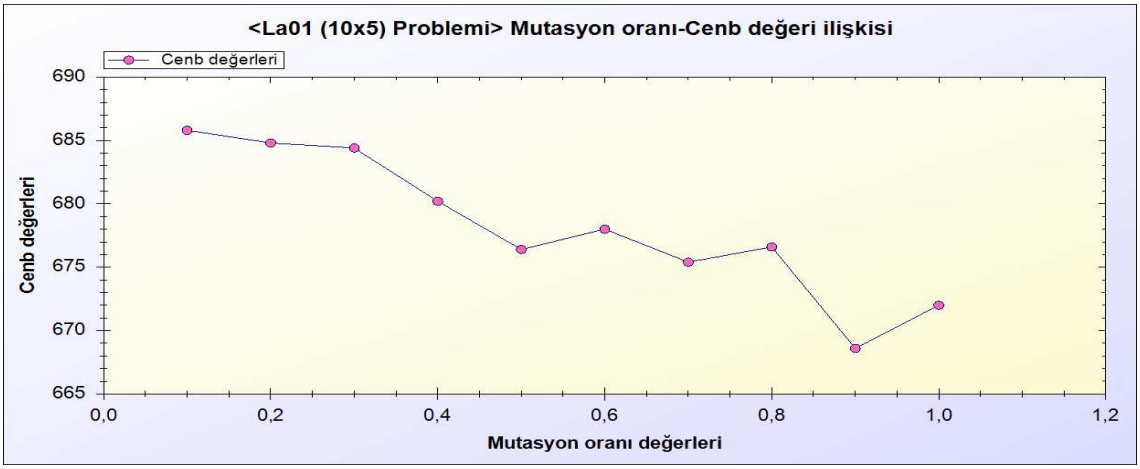
Mutasyon oranı parametresinin her bir değeri için uygulama 5 kez çalıştırılmıştır. 10 adet problem için elde edilen cenb değerleri ortalaması Şekil 3.41 ile Şekil 3.50 arasında grafik olarak gösterilmiştir.



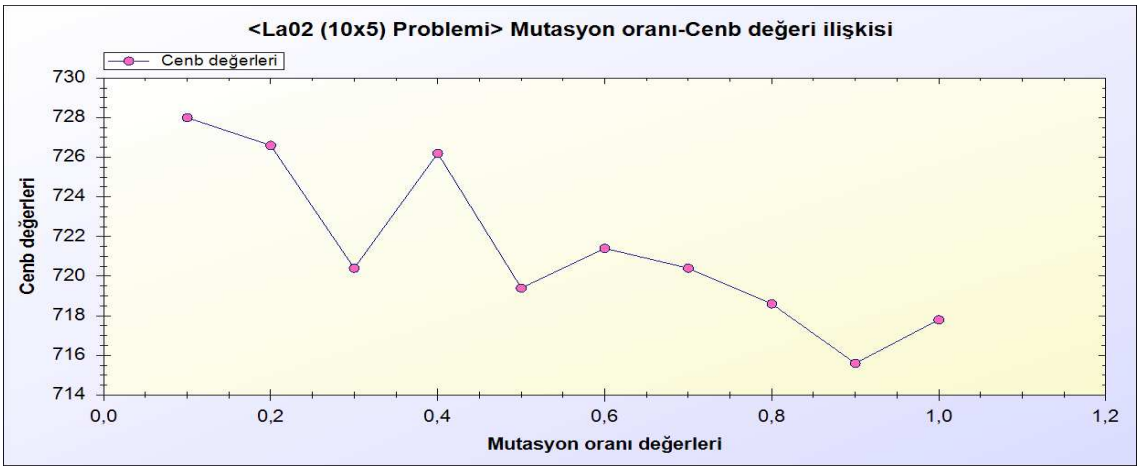
Şekil 3.41. FT06 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



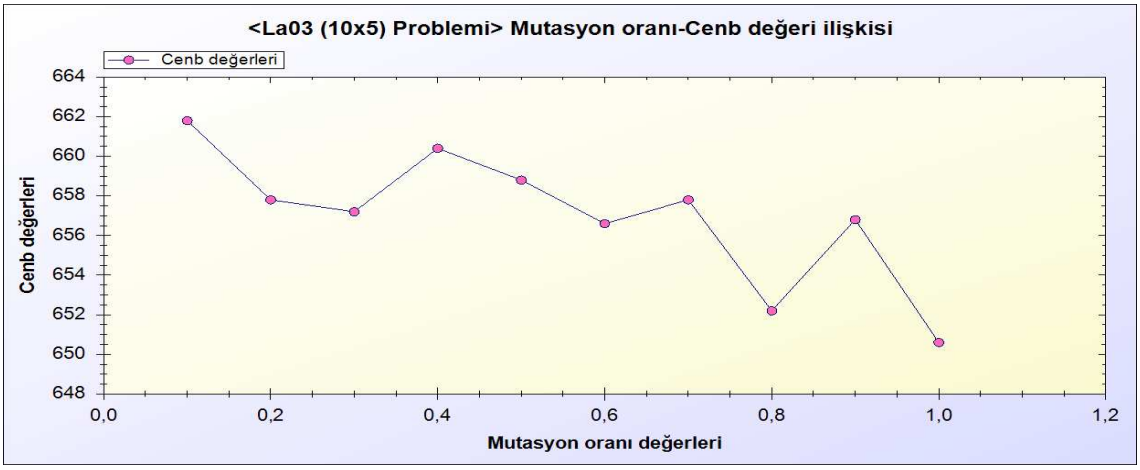
Şekil 3.42. FT10 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



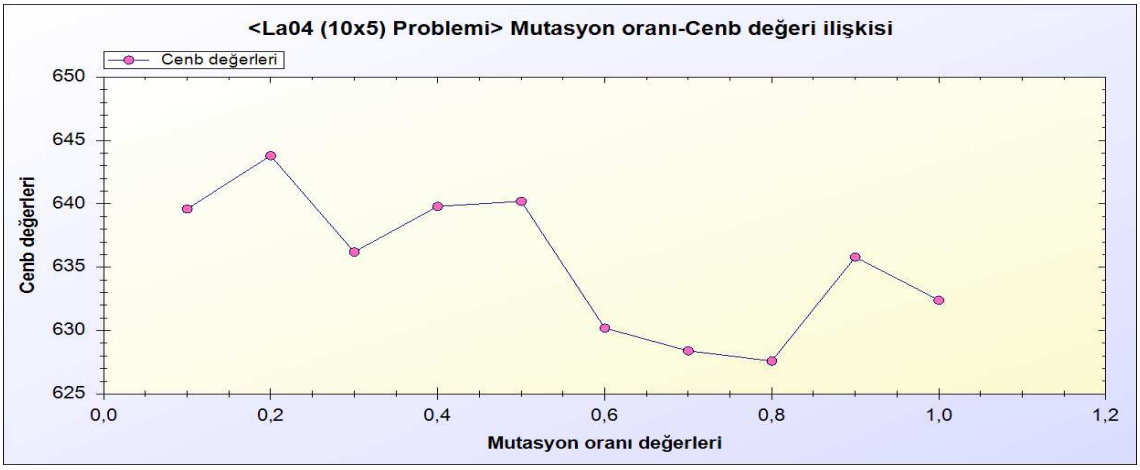
Şekil 3.43. LA01 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



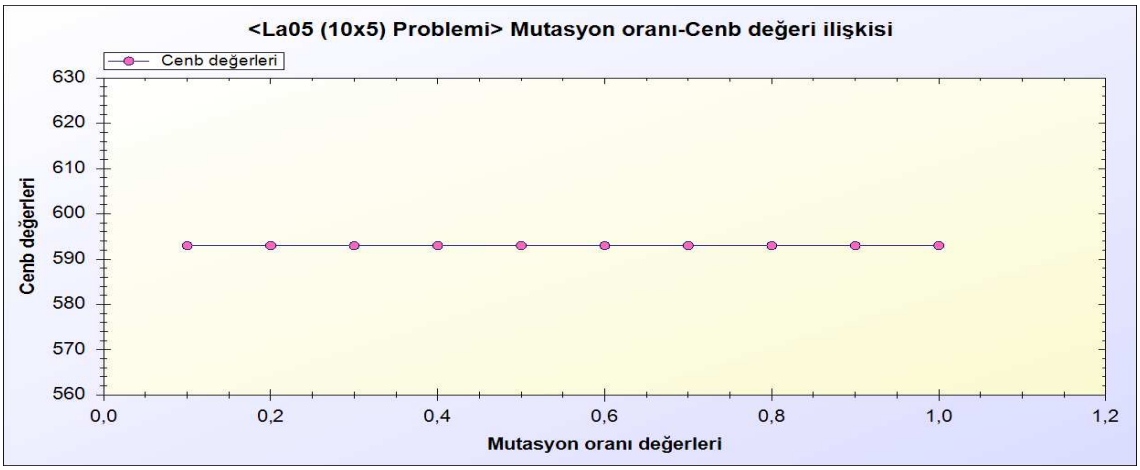
Şekil 3.44. LA02 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



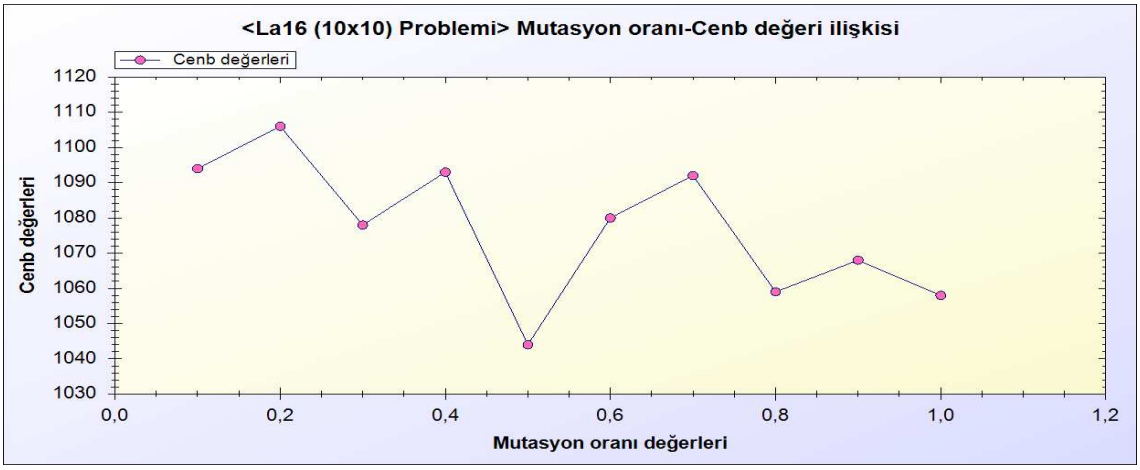
Şekil 3.45. LA03 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



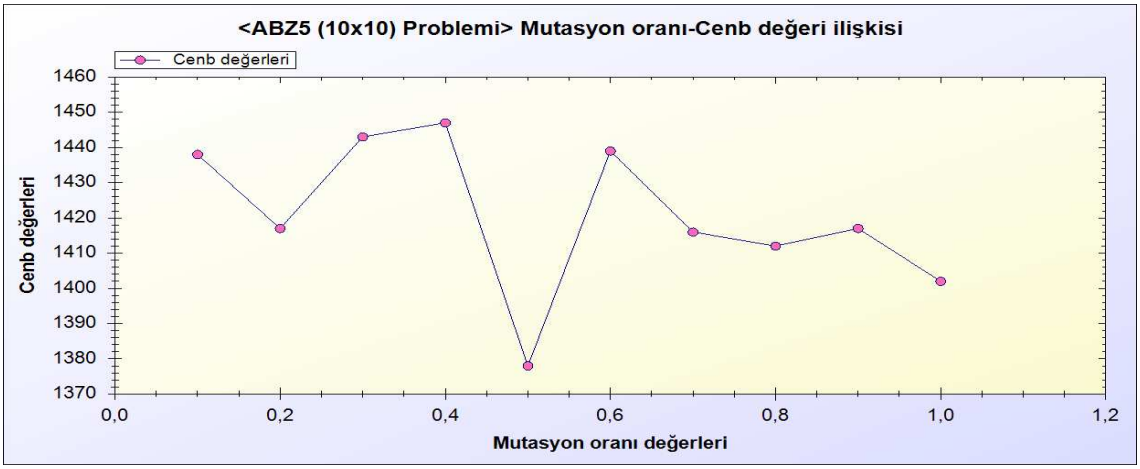
Şekil 3.46. LA04 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



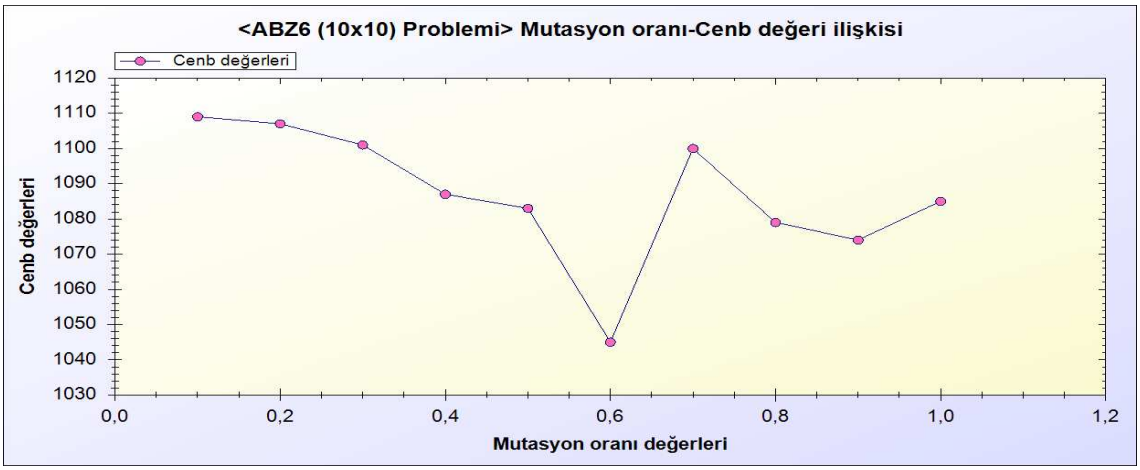
Şekil 3.47. LA05 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.48. LA16 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.49. ABZ5 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.50. ABZ6 probleminin mutasyon oranı-cenb değerleri ortalaması

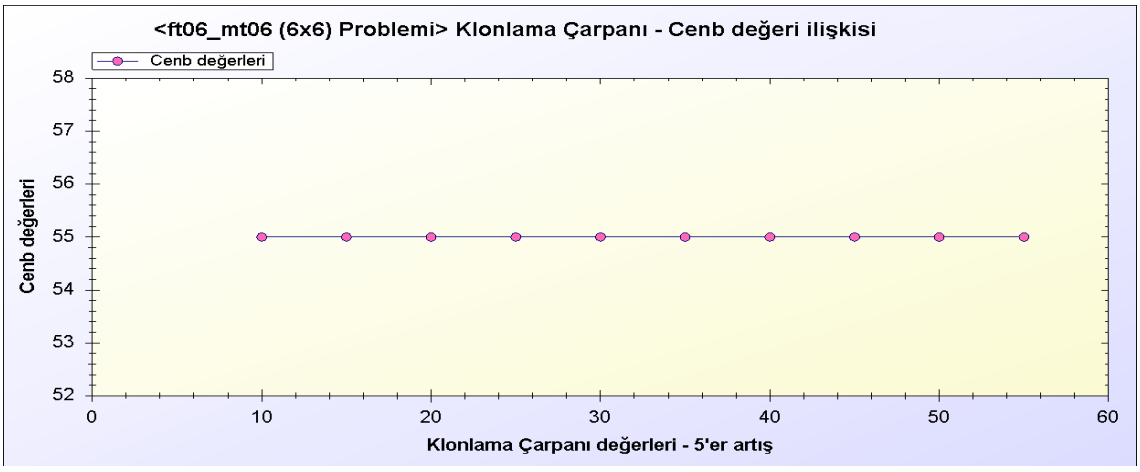
3.2.2. Klonlama Çarpanı Parametresinin Etkisi

Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritma için klonlama çarpanı parametresinin değişik değerleri test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. Tüm problemler için işlerin tamamlanma zamanını ifade eden cenb değeri çizelgede koyu olarak belirtilmiştir. Parantez içindeki değerler, nesil boyunca en iyi cenb değerine kaç kez ulaşıldığını göstermektedir. Bu değerlerin yüksek olması geliştirilen algoritmanın sağlamlılığını ortaya koymaktadır.

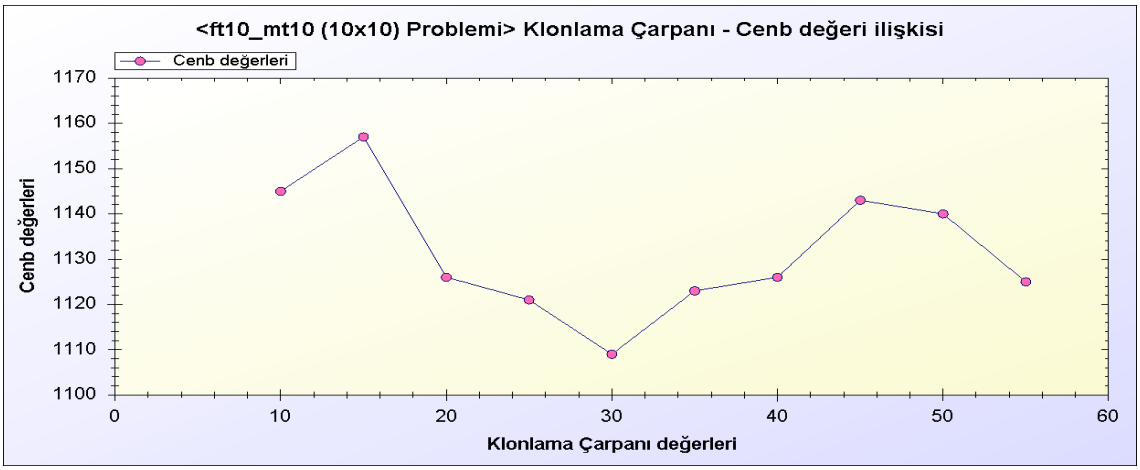
Çizelge 3.8. İkinci uygulamanın klonlama çarpanına göre test sonuçları

Klonlama çarpanı	FT06	FT10	LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	LA16	ABZ5	ABZ6
10	***55 (20)***	*1070 (1)*	*673 (1)*	*701 (1)*	*619 (1)*	*620 (1)*	***593 (856)***	*1056 (1)*	*1345 (1)*	*1020 (1)*
15	***55 (32)***	*1082 (1)*	***666 (1)***	*669 (1)*	*618 (2)*	*612 (1)*	***593 (1566)***	*1040 (1)*	*1321 (1)*	*967 (1)*
20	***55 (27)***	*1051 (1)*	*675 (1)*	*669 (1)*	*611 (1)*	*611 (1)*	***593 (2030)***	***1024 (1)***	*1324 (1)*	*955 (1)*
25	***55 (63)***	*1046 (1)*	***666 (1)***	*686 (1)*	*605 (1)*	*601 (1)*	***593 (2721)***	*1043 (2)*	*1330 (1)*	*956 (1)*
30	***55 (76)***	***1034 (1)***	***666 (2)***	*658 (1)*	*612 (1)*	*606 (1)*	***593 (3182)***	*1042 (1)*	*1321 (1)*	*1000 (1)*
35	***55 (79)***	*1048 (1)*	***666 (2)***	*659 (1)*	*608 (1)*	*613 (1)*	***593 (3625)***	*1066 (1)*	*1297 (1)*	*940 (1)*
40	***55 (97)***	*1051 (1)*	***666 (2)***	***655 (1)***	*601 (1)*	*601 (1)*	***593 (4398)***	*1058 (1)*	*1311 (1)*	*945 (1)*
45	***55 (144)***	*1068 (1)*	***666 (3)***	*702 (1)*	*610 (1)*	***590 (1)***	***593 (4279)***	*1053 (1)*	*1309 (1)*	*945 (2)*
50	***55 (139)***	*1065 (1)*	***666 (6)***	*656 (1)*	*603 (1)*	*603 (1)*	***593 (5157)***	*1041 (1)*	*1302 (1)*	*945 (1)*
55	***55 (119)***	*1050 (1)*	***666 (2)***	***655 (2)***	***597 (1)***	*606 (1)*	***593 (4983)***	*1041 (1)*	***1270 (1)***	***943 (1)***

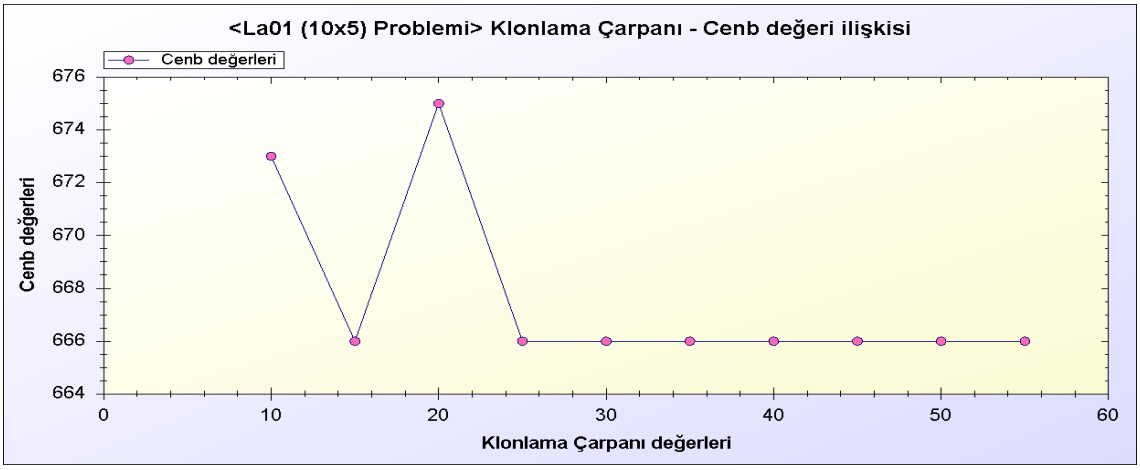
Klonlama çarpanı parametresinin her bir değeri için uygulama 5 kez çalıştırılmıştır. 10 adet problem için klonlama çarpanı parametresinin her bir değerine karşılık gelen cenb değerleri ortalaması Şekil 3.51 ile Şekil 3.60 arasındaki şekillerde ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu parametrenin değeri daha fazla arttırılırsa elde edilen sonuçlar da o derece daha optimum olmaktadır. Bu da klonlama çarpanı parametresinin algoritma üzerindeki önemini göstermektedir.



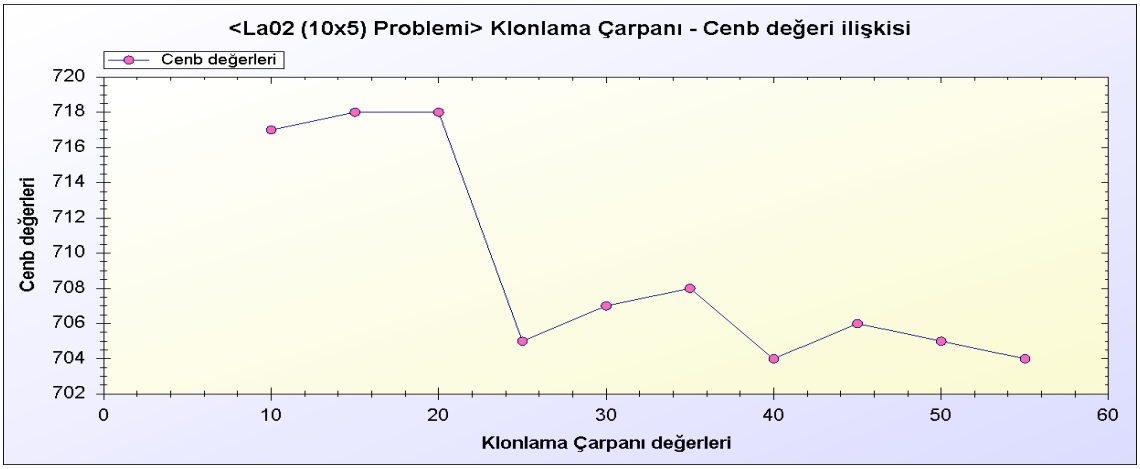
Şekil 3.51. FT06 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



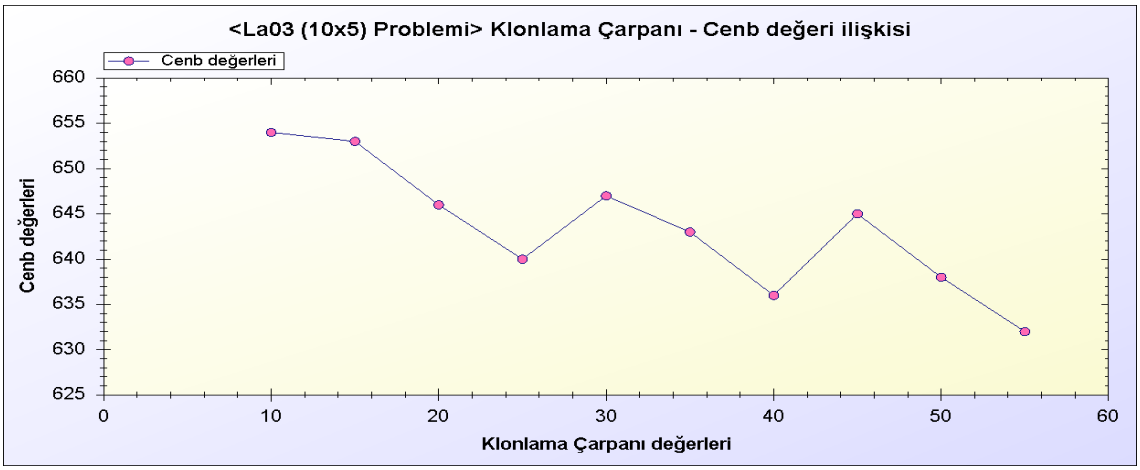
Şekil 3.52. FT10 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



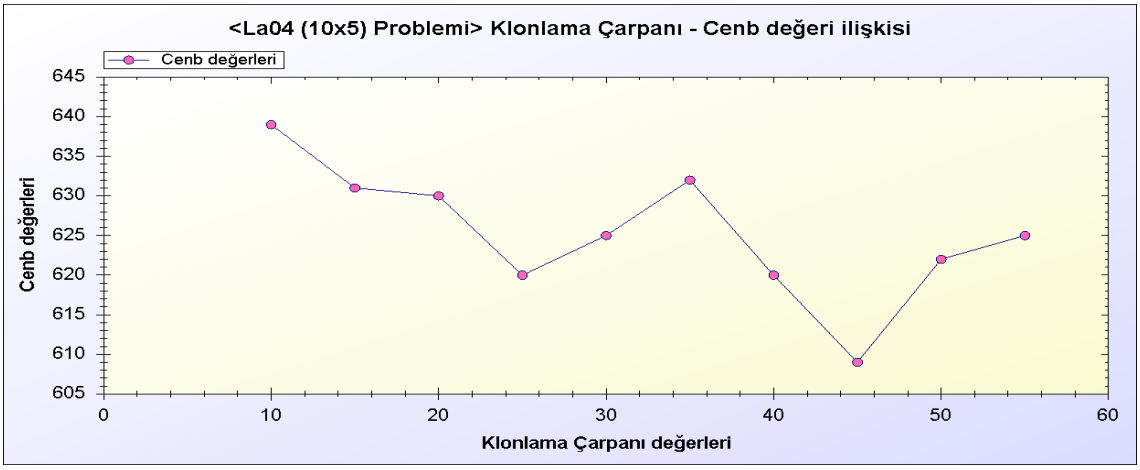
Şekil 3.53. LA01 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



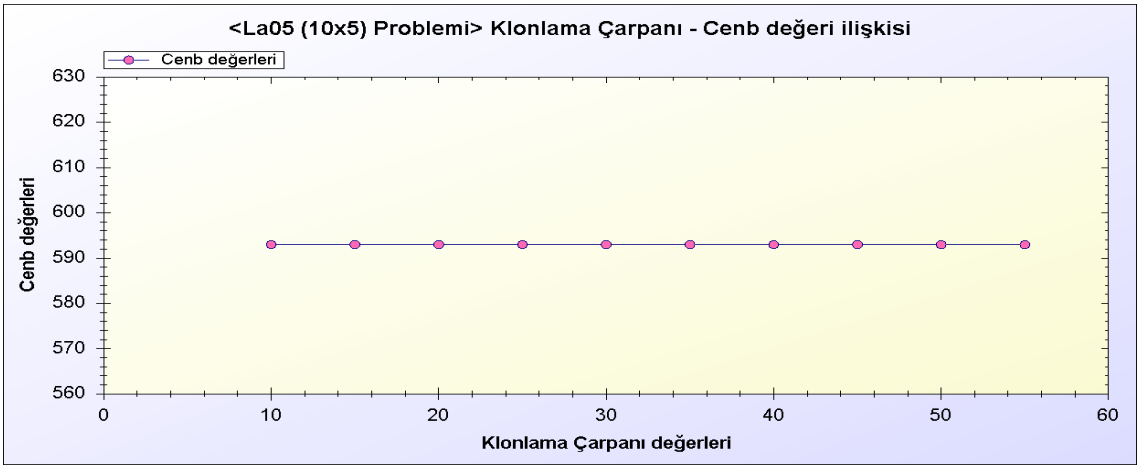
Şekil 3.54. LA02 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



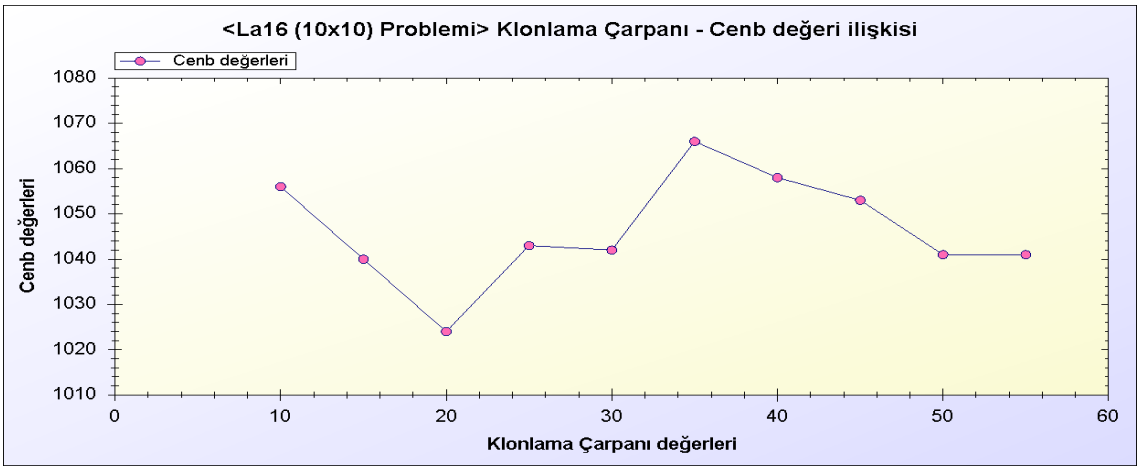
Şekil 3.55. LA03 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



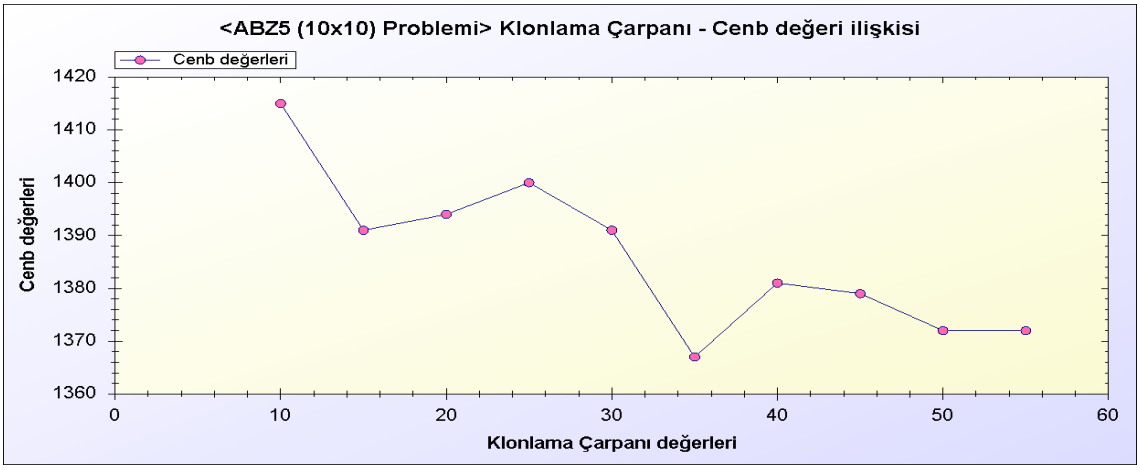
Şekil 3.56. LA04 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



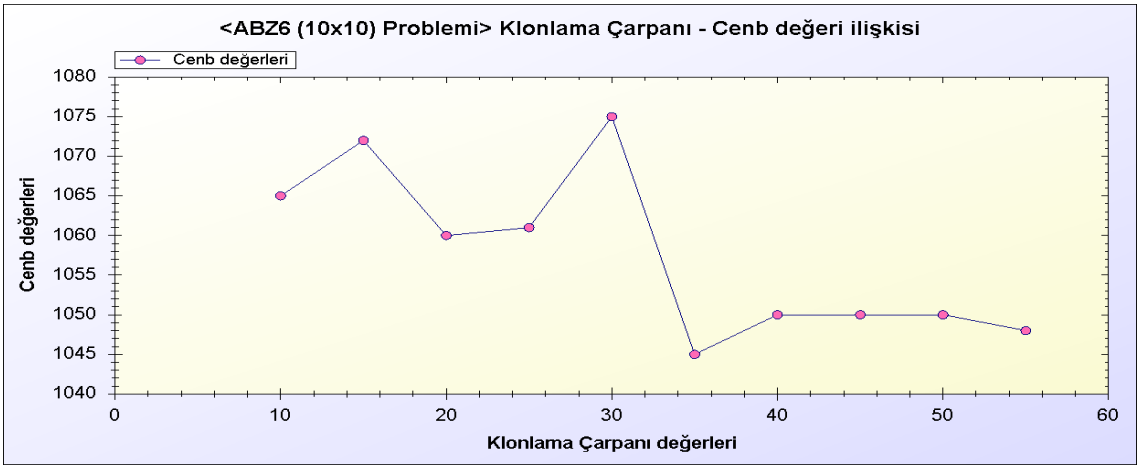
Şekil 3.57. LA05 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.58. LA16 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.59. ABZ5 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.60. ABZ6 probleminin klonlama çarpanı-cenb değerleri ortalaması

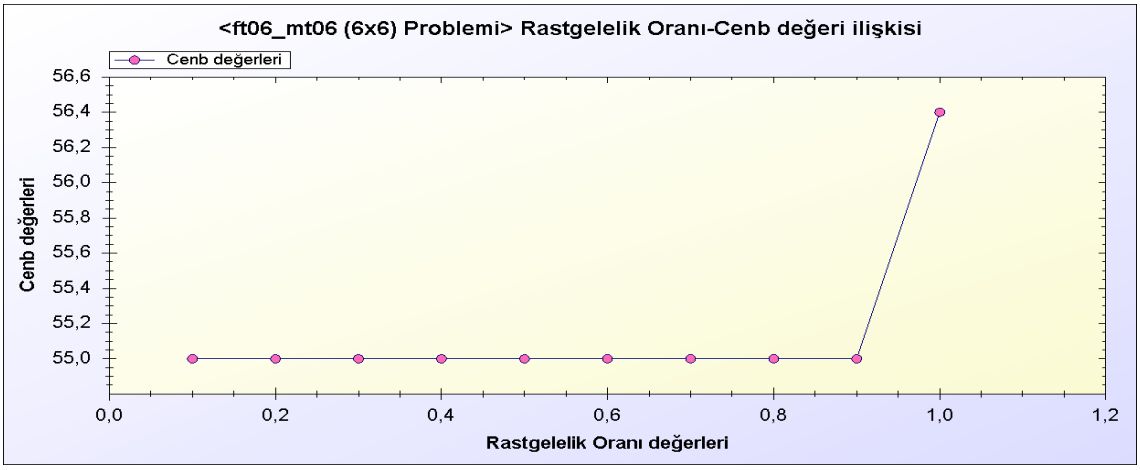
3.2.3. Rastgelelik Oranı Parametresinin Etkisi

Rastegelelik oranı parametresi populasyon içerisinde nesil boyunca ratgele üretilen antikor sayısını belirleyen parametredir. Bu parametre, algoritmadaki çeşitliliği arttırmaktadır. Böylece yerelde elde edilen en iyi değerlere takılma problemi bu parametreyle azaltılmış olur. Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritma için rastgelelik oranı parametresinin değişik değerleri test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.9'da gösterilmiştir. Tüm problemler için işlerin tamamlanma zamanını ifade eden cenb değeri çizelgede koyu olarak belirtilmiştir. Parantez içindeki değerler, nesil boyunca en iyi cenb değerine kaç kez ulaşıldığını göstermektedir. Bu değerlerin yüksek olması geliştirilen algoritmanın sağlamlılığını ortaya koymaktadır.

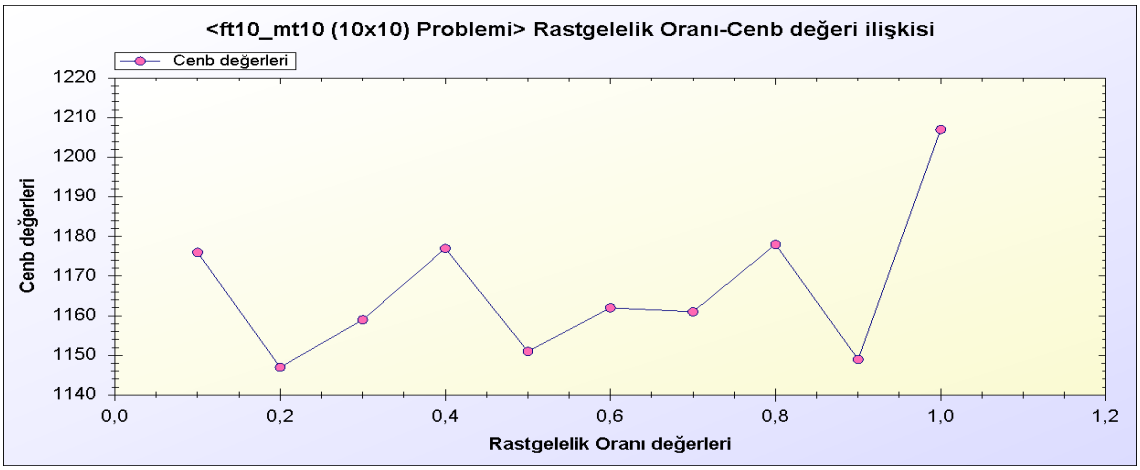
Çizelge 3.9. İkinci uygulamanın rastgelelik oranına göre test sonuçları

Rastgelelik oranı	FT06	FT10	LA01	LA02	LA03	LA04	LA05	LA16	ABZ5	ABZ6
0,1	***55 (10)***	*1126 (1)*	*675 (1)*	*677 (1)*	*622 (1)*	*600 (1)*	***593 (483)***	*1062 (1)*	*1367 (1)*	*1091 (1)*
0,2	***55 (11)***	***1097 (1)***	*675 (1)*	*659 (1)*	*628 (1)*	*609 (1)*	***593 (470)***	***1054 (1)***	*1352 (1)*	*1097 (1)*
0,3	***55 (12)***	*1109 (1)*	*678 (1)*	*679 (1)*	*619 (1)*	*602 (1)*	***593 (436)***	*1071 (1)*	***1334 (2)***	*1065 (1)*
0,4	***55 (12)***	*1127 (1)*	*682 (1)*	*672 (1)*	***605 (1)***	*612 (1)*	***593 (385)***	*1084 (1)*	*1395 (1)*	***1046 (1)***
0,5	***55 (6)***	*1101 (1)*	***666 (1)***	*662 (1)*	*634 (1)*	*602 (1)*	***593 (412)***	*1080 (1)*	*1372 (1)*	*1081 (1)*
0,6	***55 (6)***	*1112 (2)*	*679 (1)*	*664 (1)*	*628 (1)*	*600 (1)*	***593 (523)***	*1065 (1)*	*1378 (1)*	*1069 (1)*
0,7	***55 (11)***	*1111 (1)*	*671 (1)*	*666 (1)*	*624 (2)*	***590 (1)***	***593 (472)***	*1059 (1)*	*1390 (1)*	*1082 (1)*
0,8	***55 (12)***	*1128 (1)*	*675 (1)*	***655 (1)***	*625 (1)*	*603 (1)*	***593 (521)***	*1077 (1)*	*1373 (3)*	*1089 (1)*
0,9	***55 (9)***	*1099 (1)*	*675 (1)*	*675 (1)*	*617 (1)*	*602 (1)*	***593 (439)***	*1065 (1)*	*1352 (1)*	*1086 (1)*
1	***55 (1)***	*1157 (1)*	*700 (1)*	*697 (2)*	*625 (1)*	*618 (1)*	***593 (6)***	*1139 (1)*	*1482 (1)*	*1108 (1)*

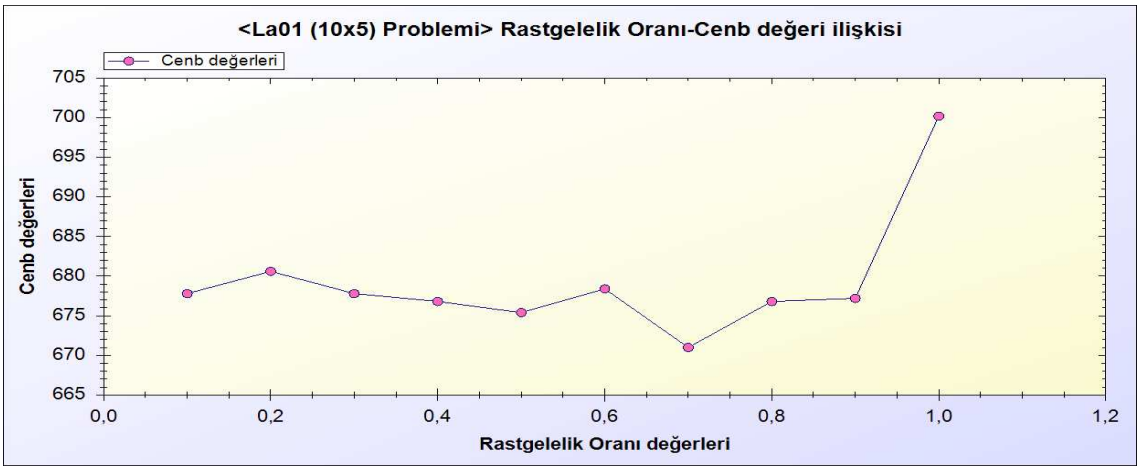
Rastgelelik oranı parametresinin her bir değeri için uygulama 5 kez çalıştırılmıştır. 10 adet problem için elde edilen cenb değerleri ortalaması ile rastgelelik oranı parametre değerleri Şekil 3.61 ile Şekil 3.70 arasında grafik olarak gösterilmiştir. Rastgelelik oranı parametresinin 0.9 veya 1 değeri gibi yüksek oranlarda alınması durumunda en iyi çözüme ulaşan problem sayısında azalma olmuştur. Bu sebeple bu parametrenin değer aralığını genelde 0.2 ile 0.8 arasında almak gerekmektedir.



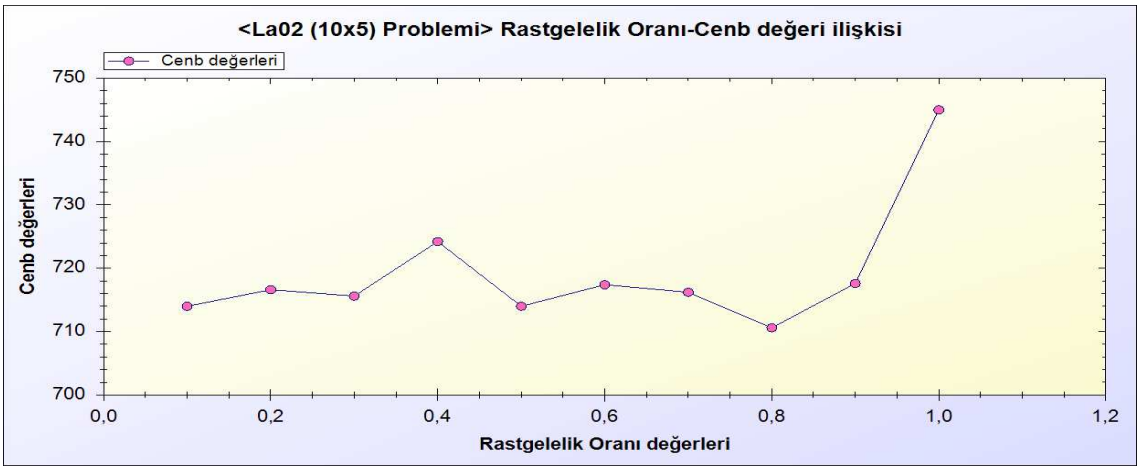
Şekil 3.61. FT06 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



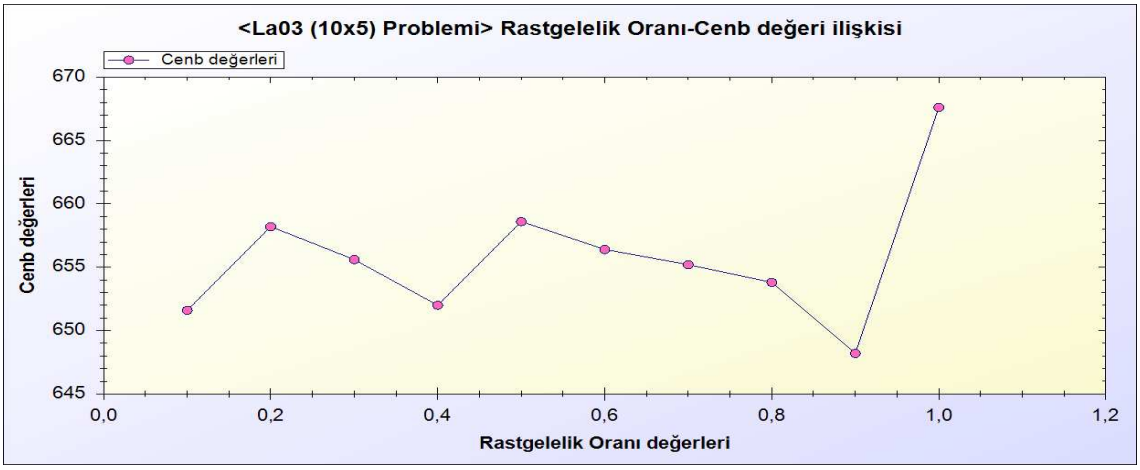
Şekil 3.62. FT10 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



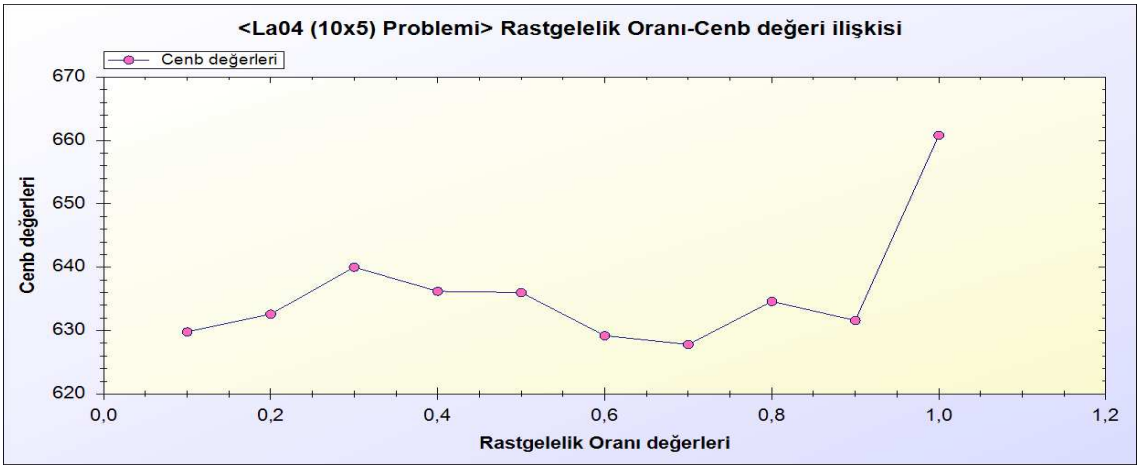
Şekil 3.63. LA01 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



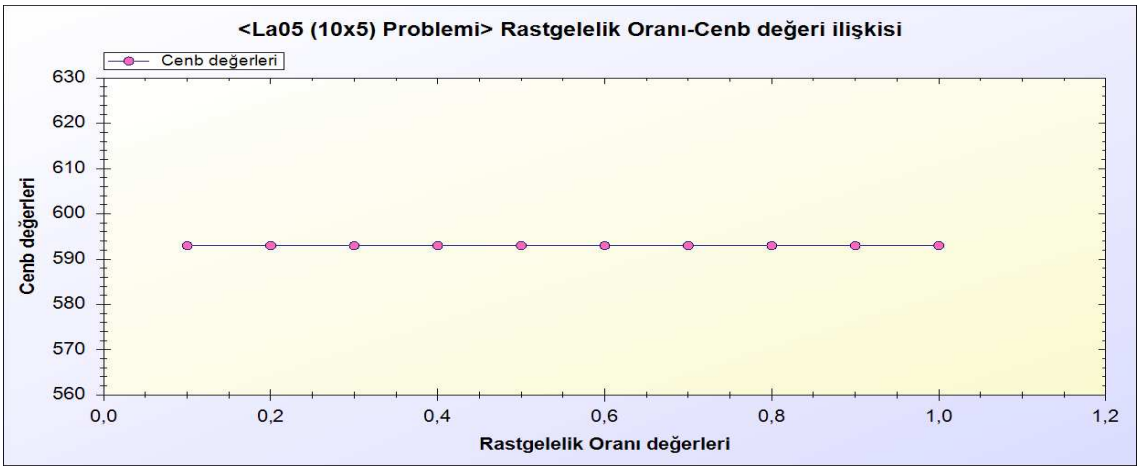
Şekil 3.64. LA02 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



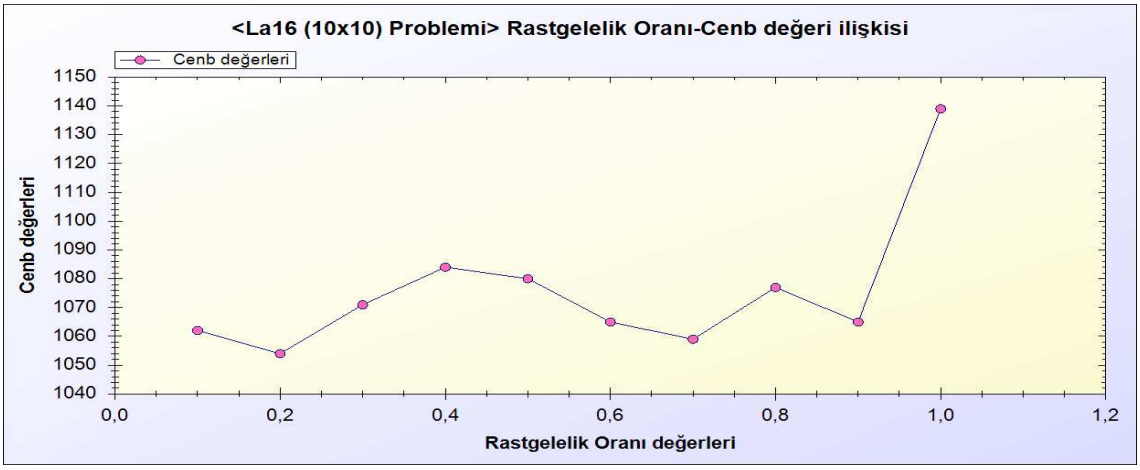
Şekil 3.65. LA03 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



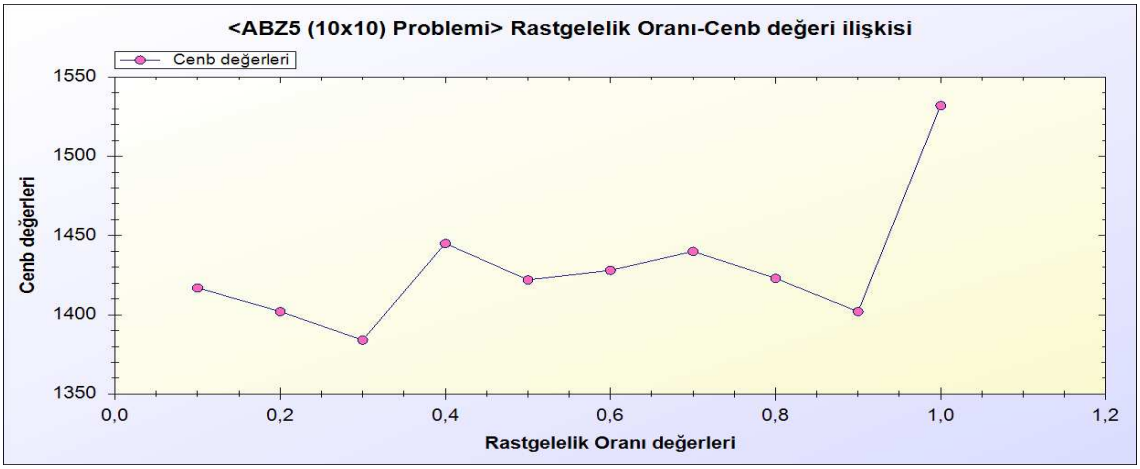
Şekil 3.66. LA04 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



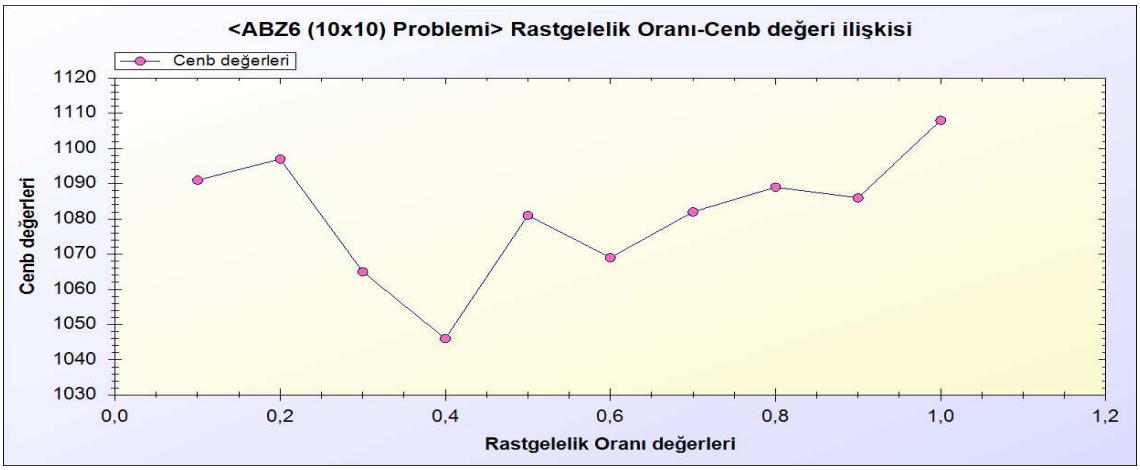
Şekil 3.67. LA05 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.68. LA16 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.69. ABZ5 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması



Şekil 3.70. ABZ6 probleminin rastgelelik oranı-cenb değerleri ortalaması

3.3. Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Geliştirilen iki algoritmanın 10 adet test problemine uygulanması sonucu elde edilen cenb değerleri incelendiğinde YBS'nin bu alanda başarılı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür. İlk uygulama sonucuna bakıldığında 10 adet test probleminden 3'ünde en iyi sonuca ulaşıldığı görülmüştür. Bunlar FT06, LA01 ve LA05 problemleridir. Kalan 7 adet problemin ise en iyi çözüme yaklaştığı ve iterasyon sayısı parametresine göre optimum değere ulaşılabileceği anlaşılmıştır. Klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın klonlama oranı, mutasyon oranı, klonlama çarpanı ve en iyi seçim oranı parametreleri analiz edilerek en iyi çözümlerin hangi parametreden ne derece etkileneceği grafik ve tablolarda gösterilmiştir.

İkinci algoritma ilk algoritmaya göre daha optimum sonuçlara ulaşmıştır. İlk algoritmada klon kümesi dışında tutulan ve en kötü olarak etiketlenen antikorlar daha iyi sonuçlar elde edilebileceği ihtimali göz önünde bulundurularak mutasyon ve seçim işlemine tabi tutulmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde bu görüşü destekleyen cenb değerleri elde edilmiştir. İkinci algoritmayla 10 adet problemden 7'sinde en iyi çözüme ulaşılmıştır. İterasyon sayısının veya klonlama çarpanı parametre değerinin daha fazla arttırılması sonucu kalan 3 adet problemin de optimum çözüme ulaşabileceği görülmüştür. Bu algoritmada önemli bir parametre olan klonlama çarpanı, en iyi çözüm uzayının daha da genişletilmesini sağlayarak global en iyi çözümü bulma konusunda daha önemli yaklaşımlar sunmaktadır. Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmada mutasyon parametresinin değişik değerleri için 5 adet problemde (FT06, LA01, LA03, LA04, LA05) en iyi cenb değerleri elde edilmiştir. Klonlama çarpanı

parametresinin 10 farklı değeri için FT06, LA01, LA02, LA03, LA04, LA05, ABZ6 problemlerinin en iyi çözüm değerleri elde edilmiştir. Rastgelelik oranı parametresinin değişik değerleri için FT06, LA01, LA03, LA04, LA05 problemlerinin en uygun çözüm değerleri elde edilmiştir. En iyi çözüm değerlerine klonlama çarpanı parametresinin değişik değerlerinde ulaşılmıştır. Bu değerler genellikle yüksek klonlama çarpanı değerleridir. 10 adet problemden 7'sinde en uygun çözüm değerleri elde edilmiştir. İkinci algoritmanın klonlama çarpanı parametresi dışındaki diğer parametrelerinin değişik değerleri için elde edilen sonuçlar genelde en iyi çözüm hakkında yakın sonuçlar vermiştir. Klonlama çarpanı parametresi değerleri sınırları içinde arttırılırsa veya iterasyon sayısı daha fazla arttırılırsa kalan 3 adet problemin de (FT10, LA16, ABZ5) optimum çözüme ulaşacağı ortadadır.

Geliştirilen iki algoritma kendi aralarında kıyaslandığında ikinci algoritmanın en iyi cenb değerinin bulunma sayısı konusunda da daha iyi olduğu verilen şekil ve grafiklerden anlaşılmaktadır. Bu iki algoritma birbirleri dışında referans olarak alınan çalışmadaki (Bondal, 2008) YBS ve GA ile de kıyaslanmıştır. Referans alınan çalışmadaki YBS algoritması (Bondal, 2008) 10 adet test probleminde denenmiş ve Çizelge 3.10'da gösterildiği gibi farklı ve yüksek iterasyonlarda çalıştırılmıştır.

Çizelge 3.10. Referans alınan çalışmadaki YBS algoritması (Bondal, 2008) iterasyon sayıları

Problemeler	**FT06**	**FT10**	**LA01**	**LA02**	**LA03**	**LA04**	**LA05**	**LA16**	**ABZ5**	**ABZ6**
İterasyon sayıları (Bondal, 2008)	*44500*	*96100*	*74000*	*173000*	*120000*	*707000*	*2400*	*93000*	*105000*	*118500*

Klon mutasyon ve klon-reseptör mutasyon mekanizmalarını kullanan algoritmaların iterasyon sayıları referans alınan çalışmadan (Çizelge 3.10) farklı olarak 10,000 alınmıştır. En iyi çözüm değerleri koyu olarak Çizelge 3.11'de verilmiştir. Referans alınan çalışmadaki YBS algoritması (Bondal, 2008) sonuçları incelendiğinde 10 adet problemden 2'sinde en iyi çözüm değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada, FT06 ve LA05 optimizasyon problemlerinde en iyi çözüme ulaşılmıştır. Referans alınan çalışmada verilen GA sonuçlarına bakıldığında 10 adet problemden 2'sinde (FT06 ve LA05) optimum değerlere ulaşılmıştır. Önerilen algoritmalar ve referans alınan çalışmalar (GA, YBS) cenb değerleri açısından kıyaslandığında Çizelge 3.11'de de görüldüğü gibi klon-reseptör mekanizmasını kullanan algoritma diğer çalışmalara göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Burada önerilen ikinci algoritma 10 adet problemden

7’sinde optimum çözüme ulaşmışken 3’ünde optimum değere ulaşamamıştır. Bu problemlerde en iyi cenb değerine ulaşılamamasına rağmen diğer çalışmalardan daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritma FT10 probleminde 1034, LA16 probleminde 1024, ABZ5 probleminde 1270 değerlerine ulaşmıştır. Bu değerler en optimum değerler olmasa da tüm çalışmalar içindeki en iyi cenb değerleridir. Algoritmada kullanılan iki önemli parametre (klonlama çarpanı ve iterasyon sayısı) değeri arttırılarak bu problemlerde en iyi cenb değerlerine ulaşılabilir.

Çizelge 33.11. Algoritmaların karşılaştırılması

Algoritmalar/Problemeler	**FT06**	**FT10**	**LA01**	**LA02**	**LA03**	**LA04**	**LA05**	**LA16**	**ABZ5**	**ABZ6**
Bilinen en iyi çözüm	*55*	*930*	*666*	*655*	*597*	*590*	*593*	*945*	*1234*	*943*
Klon Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritma	***55***	*1120*	***666***	*699*	*636*	*619*	***593***	*1046*	*1362*	*1044*
Klon-Reseptör Mutasyon Mekanizmasını Kullanan Algoritma	***55***	*1034*	***666***	***655***	***597***	***590***	***593***	*1024*	*1270*	***943***
YBS (Bondal, 2008)	***55***	*1208*	*702*	*708*	*672*	*644*	***593***	*1124*	*1434*	*1084*
GA (Bondal, 2008)	***55***	*1099*	***666***	*716*	*638*	*619*	***593***	*1033*	*1339*	*1043*

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Dünya üzerinde birçok firma incelendiğinde genel olarak üretim tipinin atölye tipi üretim olduğu görülmektedir. Atölye tipi üretimin günümüz firmalar içindeki kullanım oranı yaklaşık olarak % 75'tir (Yenigün, 2010). Teknolojinin ilerlemesiyle standart üretim çalışmalarının artmasına rağmen müşteri taleplerindeki çeşitliliğin azalmaması sebebiyle atölye tipi çizelgeleme, ürün çeşitliliğinin ve değişimlerinin fazla olduğu işletmelerde önemli optimizasyon problemlerinden biridir. Bu problemin çözümü için veya çözüme en yakın yaklaşımların ortaya çıkarılması için birçok çalışma yapılmıştır. Tez çalışmasında, atölye tipi çizelgeleme probleminin en optimum şekilde çözülmesi için geliştirilen iki farklı YBS algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada, YBS'nin klon-reseptör seçiminde ve mutasyon mekanizmasında değişiklik yapılarak veya sistemin mevcut haline yeni özellikler eklenerek atölye tipi üretime sahip işletmelerde kullanılabilecek iki farklı uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamalarla atölye tipi üretim yapan sistemlerde zaman çizelgesinin en optimum hale getirilmesi ve bu tür üretim yapan işletmeye endüstriyel ve teknolojik anlamda katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Önerilen algoritmalar, FT06, FT10, LA01, LA02, LA03, LA04, LA05, ABZ5 ve ABZ6 test problemlerine uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu algoritmalar için C# programlama dili kullanılarak iki farklı uygulama geliştirilmiştir. İlk uygulama için klonlama oranı, mutasyon oranı, klonlama çarpanı ve en iyi seçim oranı parametrelerinin değişik değerleri için parametre analizi yapılmıştır. İkinci uygulama için ise mutasyon oranı, klonlama çarpanı ve rastgelelik oranı parametrelerinin değişik değerleri için parametre analizi yapılmıştır. Her iki uygulama için de tüm parametre sonuçları tablo ve grafiklerde gösterilmiştir. Uygulama sonuçları hem birbirleriyle hem de referans alınan çalışmadaki YBS ve GA (Bondal, 2008) sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Klon-reseptör mekanizmasını kullanan algoritma, klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmaya ve referans alınan çalışmadaki (Bondal, 2008) GA ve YBS'ye göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

4.2. Öneriler

Atölye tipi çizelgeleme problemleri NP-Zor problemlerden olduğu için en iyi çözümü elde etme konusunda garanti vermemektedir. Bunun yerine en iyi çözüm ya da en iyi çözüme yakın sonuçları elde etmeye çalışacak mekanizmalar geliştirmek gerekmektedir. YBS'nin temel özeliklerini kullanarak geliştirilen yöntemlere ek olarak klonlama ve mutasyon mekanizmalarında atölye tipi üretime sahip problemlerin karakteristikleri göz önüne alınarak değişiklikler yapılabilir. Başlangıçta rastgele üretilen antikorlar yerine daha mantıklı başlangıç antikorları üretilebilir. Bunun için SPT, LPT gibi öncelik kurallarının özellikleri kullanılarak bir algoritma geliştirilebilir ya da başka bir algoritmayla hibrit bir sistem geliştirilebilir. Bunlara ek olarak makinelere gelen iş parçacıkları için makinede kullanılmayan süreleri azaltmaya çalışan yeni bir yöntem geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Acar, N., Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları, *Milli Prodüktivite Yayınları*, Yayın No:280, Genişletilmiş ve düzeltilmiş Sekizinci Basım, Ankara, 2001.

Ada, G. L. ve Nossal, G. J. V., 1987, The Clonal Selection Theory, *Scientific American* 257(2):50-57, Artificial Immune Systems and their Applications: 47-48.

Akhshabi, M., Akhshabi, M., Khalatbari, J., 2011, "Solving Flexible Job-Shop Scheduling Problem Using Clonal Selection Algorithm", *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 4 No. 10, ISSN: 0974- 6846.

Aladağ, A., 2010, "Tekrar İşlemeli Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi için Yapay Bağışıklık Sistemi ile Bir Çözüm Yaklaşımı", Yüksek Lisans, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

Arkin, E. M., Silverberg, E. B., 1987, Scheduling Jobs with Fixed Start and End Times, *Discrete Applied Mathematics*, 18, 1- 8.

Aydemir, E., 2009, "Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu", *Süleyman Demirel Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Bagchi, U., Julien, F. M., Magazine, M. J., "Note: Due Date Assignment To Multi Job Customer Orders", *Management Science*, No. 40-10, S. 1389-1392, 1994.

Baker, K., Elements of Sequencing And Scheduling, Amos Tuck School of Business, D. Hanover, NH., 1994.

Balachandran, S., Dasgupta, D., Nino, F. ve Garrett, D., 2007, A General Framework for Evolving Multi-Shaped Detectors in Negative Selection. Proc. of the 2007 *IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence (FOCI 2007):* 401-408.

Baskak, V. ve Erol, V., "Sipariş Tipi Atölyelerde İş Sıralama Problemi için Bir Genetik Algoritma Uygulaması", *Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi*, 2004.

Baysal, B., 2001, "Temel İmmünoloji Ders Notları", *Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji anabilim dalı*, Konya.

Biroğul, S. ve Güvenç, U., "Genetik Algoritma ile Çözümü Gerçekleştirilen Atölye Çizelgeleme Probleminde Ürün Sayısının Etkisi", *Akademik Bilişim 2007*, Kütahya, s. 1-10, 2007.

Biroğul, S., 2005, "Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Bondal, A. A., 2008, "Artificial Immune Systems Applied to Job Shop Scheduling", Tez çalışması, pp. 125, *Industrial and Manufacturing Systems Engineering*, Ohio University.

Carlier, J., ve Pinson, E., 1989, “An Algorithm for Solving the Job-Shop Problem”, *Management Science*, Vol. 35, No. 2, pp. 164-176.

Carpaneto, E., Cavallero, C., Freschi, F., ve Repetto, M., 2006, Immune Procedure for Optimal Scheduling of Complex Energy Systems, *ICARIS 2006*, LNCS 4163: 309-320.

Carter, J. H., 2000, The Immune System as a Model For Pattern Recognition and Classification, *Journal of the American Medical Informatics Association* 7(1): 28-41.

Carvalho, D. R. ve Freitas, A. A., 2001, An Immunological Algorithm for Discovering Small-Disjunct Rules in Data Mining, *Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*: 401-401.

Chandrasekaran, M., Asokan, P., Kumanan, S., Balamurugan, T., Nickolas, S., “Solving Job Shop Scheduling Problems Using Artificial Immune System”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2006, 31: 580–593, DOI 10.1007/s00170-005-0226-3.

Chen, J., ve Mahfouf, M., 2006, A Populastion Adaptive Based Immune Algorithm for Solving Multi-objective Optimization Problems, *ICARIS 2006*, LNCS 4163: 280-293.

Cheng T. C. E. ve Kovalyov M. Y., Complexity of Paralel Machine Scheduling with Processing-Plus-Wait Due Dates to Minimize Maximum Absolute Lateness, *European Journal of Operational Research*, 114, s. 403-410, 1999.

Cheng T. C. E. ve Kovalyov M. Y., Batch Scheduling and Common Duedate Assignment on a Single Machine, Discrete Applied Mathematics, 70(3), s.231-245, 1996.

Cutello, V., Narzisi, G., Nicosia, G. ve Pavone, M., 2005, Clonal Selection Algorithms: A Comparative Case Study Using Effective Mutation Potentials, *ICARIS 2005*, LNCS 3627: 13-28.

Çetin E. T., 1981, İmmünoloji, *İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Vakfı Bauda Yayını*, No:1, 240 s.

Dasgupta, D., Yu, S. ve Majumdar, N. S., 2003, MILA-Multilevel Immune Learning Algorithm, *GECCO 2003*, LNCS 2723: 183-194.

De Castro, L. ve Von Zuben, F. , Immune and Neural Network Models: Theoretical and Empirical Comparisons, *International Journal of Computational Intelligence and Applications (IJCIA)*, 1(3), pp. 239-257, 2001.

De Castro, L. N. ve Timmis, J., 2002a, "Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach", *Springer-Verlag*.

De Castro, L. N. ve Von Zuben, F. J., 2000, Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Special Issue on Artificial İmmune Systems.

De Castro, L. N. ve Von Zuben, F. J. 2000b, An Evolutionary Immune Network for Data Clustering. *Proc. of the IEEE Brazilian Symposium on Artificial Neural Networks*: 84-89.

De Castro, L. N. ve Von Zuben, F. J., "Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle", *In the Special Issue on Artificial Immune Systems of the Journal IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, June 6(3) (2002).

De Castro, L. N. ve Von Zuben, F. J., 2001a, "aiNet: An Artificial Immune Network for Data Analysis", "ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/lnunes/DMHA.pdf".

De Castro, L. N. ve Von Zuben, F. J., 1999, "Artificial Immune Systems:Part I – Basic Theory And Applications", *Technical Report*, Tr – Dca 01/99 December.

Engin, O. ve Döyen, A., 2004, Artıfıcıal Immune Systems and Applications In Industrial Problems, *ISSN* 1303-9709.

Essafi, I., Mati, Y., Dauzere-Peres, S., 2008, A Genetic Local Search Algorithm for Minimizing Total Weighted Tardiness in The Job-Shop Scheduling Problem. *Computers & Operation Research* (35), s. 2599-2616.

Freschi, F. ve Repetto, M., 2005, Multiobjective Optimization by a Modified Artificial Immune System Algorithm, *ICARIS 2005*, LNCS 3627: 248-261.

Garey, M. R., Johnson, D. S., Sethi, R., 1976, "The Complexity of Flow Shop and Job Shop Scheduling", *Mathematics of Operations Research*, Vol. 1, No. 2, pp. 117-129.

Garrett, S. M., 2003, A Paratope is not an Epitope: Implications for Immune Network Models and Clonal Selection, *ICARIS-2003*, LNCS 2787: 217-228.

Gaspar, A. ve Collard, P., 2000, Two Models of Immunization For Time Dependent Optimization, New Ideas in Optimization, D. Corne, M.Dorigo & F. Glover (eds.), *McGraw Hill*, London: 203-215.

Gen, M., Cheng, R., 1997, Genetic Algorithms and Engineering Design, John Wiley and Sons, Inc., *ISBN* 0-471-12741-8, 202 – 211.

Geyik, F., Cedimoğlu, İ. H., "Atölye Tipi Çizelgelemede Komşuluk Yapılarının Tabu Arama Tekniği ile Karşılaştırılması", *Politeknik Dergisi*, Cilt: 4 Sayı: 1 s. 95-103, 2001.

Gholami M. ve Zandieh M., 2009, "Integrating Simulation and Genetic Algorithm to Schedule a Dynamic Flexible Job Shop", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 20 N4, pp. 481-498.

Gonzalez, T., Sahni, Sartaj, 1978, "Flow Shop and Job Shop Schedules: Complexity and Approximation", *Operation Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 36-52.

Graham, R., Lawler, E., Lenstra, J., ve Kan, A. R., 1979, "Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling: A Survey", *Annals of Discrete Matematics*, Vol. 5, pp. 287-326.

Greensmith, J., Aichelin, U. ve Cayzer, S., 2005, Introducing Dentric Cells as a Novel Immune-Inspired Algorithm For Anomaly Dedection, *ICARIS 2005*, LNCS 3627: 153-167.

Gu, J., Lee, D., Park, S. ve Sim, K., 2000, An Immunity-Based Security Layer Model. *Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, Workshop on.

Güldalı, A., 1990, Seri İş-Akışlı Atölye Çizelgelemesinde Sezgisel Teknikler, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Gürel, S., M. S. Aktürk, "Considering Manufacturing Cost And Scheduling Performance On A Cnc Turning Machine", *European Journal Of Operational Research*, Vol. 177, 2007, pp. 325-343.

Hamaker, J. S. ve Boggess, L., 2004, Non-Euclidean Distance Measures in AIRS, an Artificial Immune Classification System, *IEEE Congress on Evolutionary Computation* 1: 1067-1073.

Hart, E., Ross, P., Nelson, J., "Producing Robust Schedules via an Artificial Immune System", *ICEC*, s. 464- 469, 1998.

Hasan, S. M. K., Sarker, R., Essam, D., Cornforth, D., 2009, "Memetic Algorithms for Solving Job-Shop Scheduling Problems", *School of Information Technology and Electrical Engineering*, University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy.

Hong, L., "A Novel Artificial Immune Algorithm for Job Shop Scheduling", *2009 International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing*, Department of Electronic Engineering Huaihai Institute of Technology, Lianyungang, China.

Horn, W., 1973, "Minimizing Average Flow Time with Paralel Machines", *Operations Research*, Vol. 21, pp. 846-847.

http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/files/jobshop1.txt, "FT06, FT10, LA01, LA02, LA03, LA04, LA05, LA16, ABZ5, ABZ6 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri", [Ziyaret Tarihi: 23 Temmuz 2012].

Huang, S. J., 2000, An Immune-Based Optimization Method to Capacitor Placement in a Radial Distribution System, *IEEE Trans*. On Power Delivery 15(2): 744-749.

Ihsıda, Y., 1996, The Immune System as a Self Identification Process: A Survey and a Proposal. *Proc. Of the ICMAS Int*, Workshop on Immunity-Based Systems: 2- 12.

Jensen, M., Hansen, T., "Robust Solutions to Job Shop Problems", *Dept. of Comput. Sci., Aarhus Univ.*, 1999.

Ji, Z. ve Dasgupta, D., 2004, Real-Valued Negative Selection Algorithm With Variable-Sized Dedectors, *GECCO 2004*, LNCS 3102: 287-298.

Junquiera, L. C., Carnero, J., Kelley, R.O., "Basic Histology", *Apleton & Lange*, 312-336, 1992.

Karaboğa, D., 2011, Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, *Nobel Yayın Dağıtım*, İstanbul.

Kaymaz, E. D., 2007, ”Yapay Bağışıklık Sistemi Tabanlı K-NN Sınıflandırma Algoritması İle Protein Örüntülerinin Hücredeki Yerleşim Yerlerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Kim, J., Wilson, W. O., Aichelin, U. ve McLeod, J., 2005, Cooperative Automated Worm Response and Dedection ImmuNE ALgorithm (CARDINAL) Inspired by T-cell Immunity and Tolerance, *ICARIS 2005*, LNCS 3627: 168-181.

King, R. L., Russ, S.H., Lambert, A.B. ve Reese, D.S., 2001, An Artificial Immune System Model for Intelligent Agents, *Future Generation Computer Systems* 17: 335-343.

Kodaz, H., 2007, ”Bilgi Kazancı Tabanlı Yapay Bağışıklık Tanıma Sistemi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Lomnicki, Z. A., “A Branch and Bound Algorithm for the Exact Solution of the Three Machine Scheduling Problem”, *Operational Research Quartely*, Vol. 16, No. 1, 1965, pp. 89–100.

Mahapatra, D. K., 2012, “Job Shop Scheduling Using Artificial Immune System”, Tez çalışması, *Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology*, Rourkela, India.

Moore, J., 1968, “An *n* Job, One Machine Sequencing Algorithm for Minimizing the Number of Late Jobs”, *Management Science*, Vol. 15, No. 1, pp. 102-109.

Morton, T. E., Pentico, D. W., “Heuristic Scheduling Systems”, *Wiley Series*, NY., 1993.

Nahmias, S., Production and Operations Analysis, *McGraw-Hill Irwin*, 2001.

Neal, M., Feyereisl, J., Rascuna, R., ve Wang, X., 2006, Don’t Touch Me, I’m Fine: Robot Autonomy Using an Artificial Innate Immune System. *ICARIS 2006*, LNCS 4163: 349-361.

Ogbu, F. A., D. K. Smith, “The Application of the Simulated Annealing Algorithm to the Solution of the *n*/*m*/*Cmax* Flowshop Problem”, *Computers & Operations Research*, Vol. 17, 1990, pp. 243-442.

Ong, Z. X., Tay, J. C., ve Kwoh C. K., 2005, Applying the Clonal Selection Principle to Find Flexible Job-Shop Schedules.

Özkazanç, Ü. A., Atölye Tipi Üretim Ortamında İşlerin Çizelgelenmesi için Yapay Sinirsel Ağ Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1999.

Özşen, S., 2008, ”Biyomedikal Sınıflama Problemleri için Problem-Tabanlı Bir Yapay Bağışıklık Sisteminin Geliştirilmesi ve Biyomedikal Sınıflama Problemlerine Uygulanması”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Özşen, S., Kara, S., Latifoğlu, F., Güneş, S., 2007, A New Supervised Classification Algorithm in Artificial Immune Systems with Its Application to Carotid Artery Doppler Signals to Diagnose Atherosclerosis, *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 88/3: 246-255.

Parmaksızoğlu, S., 2005, ”Yapay Bağışıklık Algoritması Kullanılarak Lineer Sistemlerin Kimliklendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.

Perelson, A. S. ve Oster, G. F., 1979, Theoretical Studies of Clonal Selection: Minimal Antibody Repertuarie Size and Reliability of Self-Nonself Discrimination. J. Theor. Biol. 81: 645-670.

Pinedo, M., 1995, Scheduling: Theory, Algorithms and Systems, *Printice Hall*, 378s., New Jersey.

Pinedo, M., Chao, X., 1999, “Operation Scheduling with Applications in Manufacturing and Services”, McGraw-Hill Irwin.

Pinedo, M., Scheduling Theory, Algorithms and Systems, *Printice Hall, Second Edition*, Upper Saddle River, New Jersey, 2002.

Polat, K., Kara, S., Latifoğlu, F., ve Güneş, S., 2006, A Novel Approach to Resource Allocation Mechanism in Artificial Immune Recognition System: Fuzzy Resource Allocation Mechanism and Application to Diagnosis of Atherosclerosis Disease, *ICARIS 2006*, LNCS 4163: 244-255.

Polat, K., Şahan, S., Kodaz, H., Güneş, S., 2005, Outdoor Image Classification Using Artificial Immune Recognition System (AIRS) with Performance Evaluation by Fuzzy Resource Allocation Mechanism, *CAIP'2005*, LNCS 3691: 81-87.

Schuurman, P., 2001, “Approximation Schedules”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Technische Universiteit Eindhoven*, Eindhoven.

Secker, A., Freitas, A.A. ve Timmis, J., 2003, AISEC: an Artificial Immune System for E-mail Classification. R. Sarker, R.Reynolds, H.Abbass, T. Kay-Chen, R.McKay, D.Essam and T.Gedeon (eds.), *Proc. of the Congress on Evolutionary Computation*: 131-139.

Shabtay, D., M. Kaspi, “Minimizing The Total Weighted Flow Time in A Single Machine with Controllable Processing Times”, *Computers and Operations Research*, Vol. 31, 2004, pp. 2279-2289.

Skormin, V. A., Delgado-Frias, J. G., McGee, D.L., Giordano, J.V., Popyack, L.J., Gorodetski, V.I. ve Tarakanov, A. O., 2001, BASIS: A Biological Approach to system Information Security, *Proc. of the Int. Workshop MMM-ACNS* 2001: 127-142.

Sotskov, Y., ve Shakhlevich, N., 1995, "NP-Hardness of Shop-Scheduling Problems with Three Jobs", *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 59, pp. 237-266.

Stibor, T., Timmis, J., ve Eckert, C., 2006, On the use of Hyperspheres in Artificial Immune Systems as Antibody Recognition Regions, *ICARIS 2006*, LNCS 4163: 215-228.

Sun, W. D., Tang, Z., Tamura, H. ve Ishii, M., 2003, A Hierarchical Artificial Immune Architecture and Its Applications, *SICE Annual Conference in Fukui*: 3265-3270.

Şahan, S., 2004, "Yapay Bağışıklıkta Yeni Algoritmalar", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Şahan, S., Kodaz, H., Güneş, S., Polat, K. 2004. A New Classifier Based on Attribute Weighted Artificial Immune System (AWAIS), *Lecture Notes in Computer Science 3280*: 11-20.

Şahan, S., Polat, K., Kodaz, H., Güneş, S., 2005, The Medical Applications of Attribute Weighted Artificial Immune System (AWAIS): Diagnosis of Heart and Diabetes Diseases, *LNCS 3627*: 456-468.

Şevkli, M., Yenisey, M. M., "Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri için Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi", *İTÜ dergisi*, mühendislik, Cilt: 5, Sayı: 2, Kısım: 1, 58-68, Nisan 2006.

Tarakanov, A., Sokolova, S., Abramov, B., Aikimbayev, A., 2000, Immunocomputing of the Natural Plague Foci. *Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, Workshop on Artificial Immune systems and Their applications: 38-39.

Taşgetiren, M. F., Cedimoğlu, İ. H., İnce., B., "Teslim Tarihi Oluşturma Yöntemleri Üzerine Bir Karşılaştırma", *YA/EM'95 Bildirileri*, ODTÜ, Ankara, 10-11 Temmuz 1995.

Tekin, S., 2008, "Çok Aşamalı Üretilen Birden Çok Ürünün Birden Çok Makineye Atanmasının Matematiksel Modellemesi", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kayseri.

Tersine, R., Production/Operations Management: Concepts, Structure and Analysis, Second Edition, *Elsevier Science Puplishing co.*, Newyork, 1985.

Timkovsky, V. G., 1998, "Is a Unit-Time Job Shop not Easier than Identical Paralel Machines?", *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 85, No. 2, Pp. 149-162.

Timmis, J. ve Neal, M. 2001. A Resource Limited Artificial Immune System, *Knowledge Based Systems* 14 (3-4): 121-130.

Udomsakdigool, A., Kachitvichyanukul, V., "Multiple Colony Ant Algorithm for Jobshop Scheduling Problem", *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 15, 1 August 2008, 4155–4175.

Ulutaş, B., 2008, ”Dinamik Yerleşim Probleminin Çözümü için bir Klonal Seçim Algoritması ve Uygulamaları”, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir.

Valls, V., Perez, M., Quintanilla, M., 1988, “A Tabu Search Approach to Machine Scheduling”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 106, pp. 277-300.

Vancheesworan, R., ve Townsend, M., 1993, “Two-Stage Heurictic Procedures for Scheduling Jop Shops”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 12, No. 4, pp. 315-325.

Vilcot, G., Billaut, J. C., 2008. A Tabu Search and a Genetic Algorithm for Solving a Bicriteria General Job Shop Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research* (190), s. 398-411.

Watanabe, M., Ida, K., Gen, M., 2005, A Genetic Algorithm with Modified Crossover Operator and Search Area Adaptation for The Job-Shop Scheduling Problem. *Computers & Industrial Engineering* (48), s. 743–752.

Watkins, A., 2001, AIRS: A Resource Limited Artificial Immune Classifier. M.S. Dissertion, Mississippi State University, Mississippi, USA.

Yang, S., Wang, D., “A New Adaptive Neural Network and Heuristics Approach for Job Shop Scheduling”, *Computers and Operations Research*, No. 28, s. 955-971, 2001.

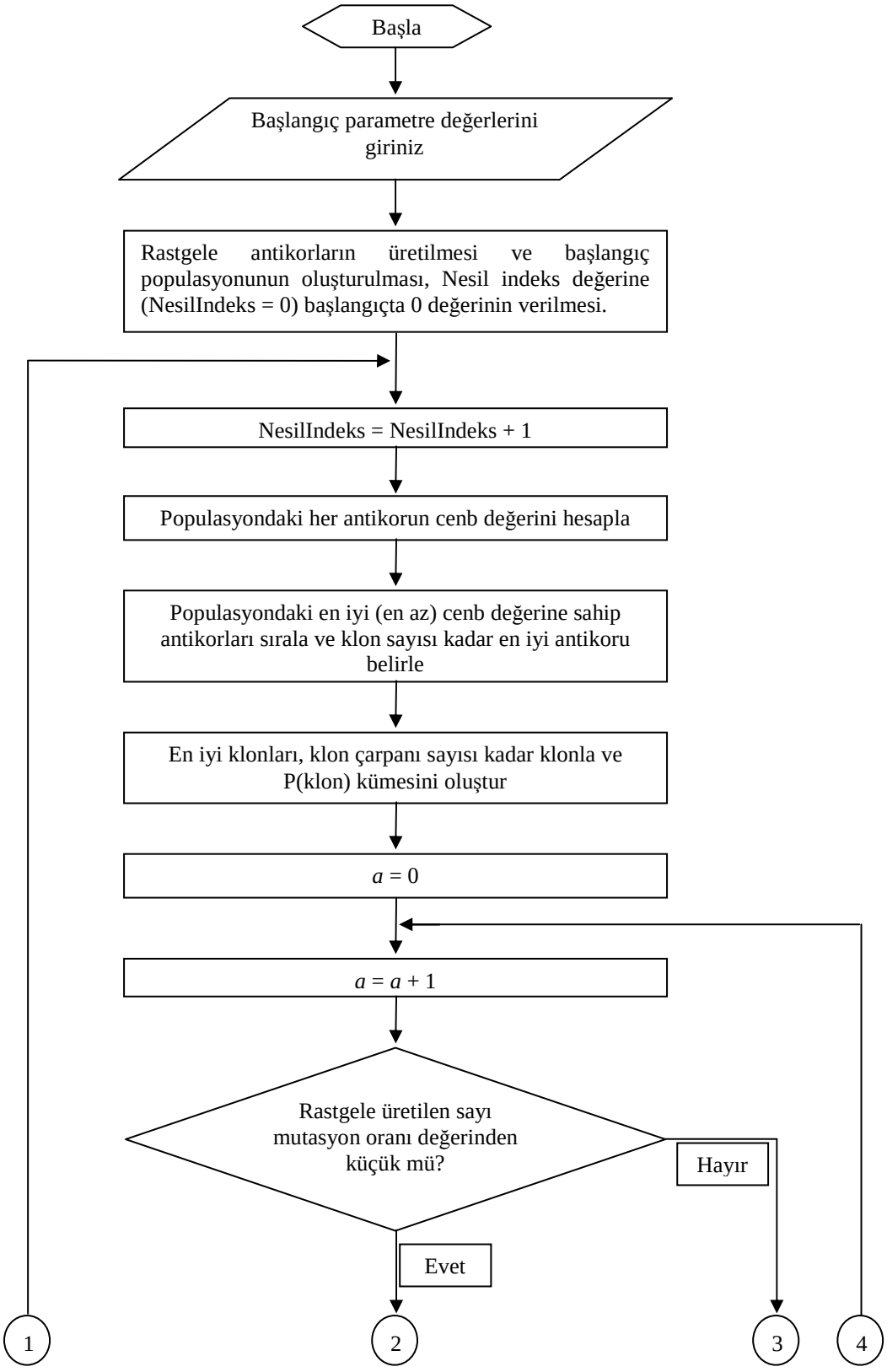
Yeğin, O., 1992, “Temel İmmünoloji ve İmmün Eksiklik Hastalıkları”, *Akdeniz Üniversitesi Yay.*

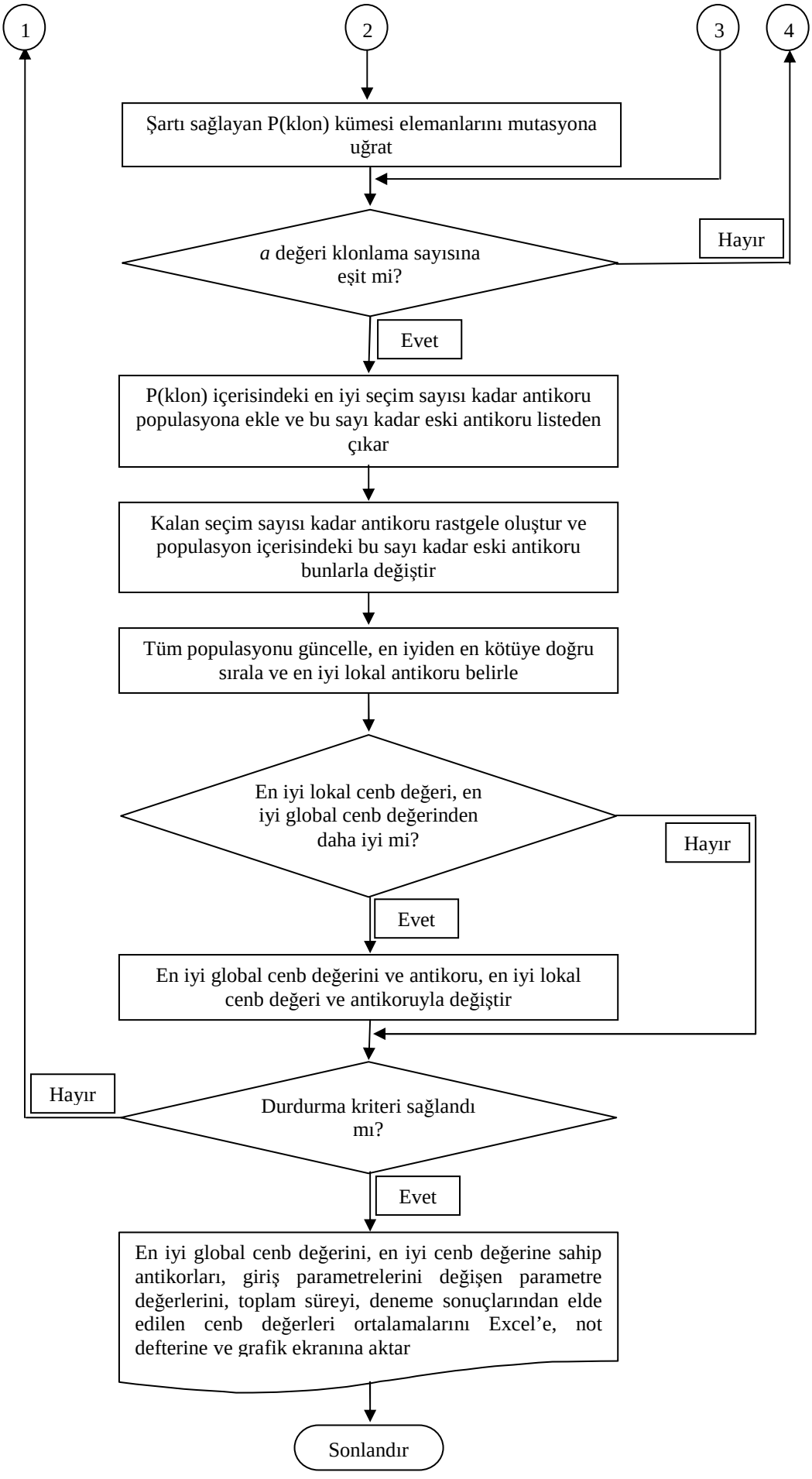
Yenigün, E., 2010, ”Atölye Tipi Üretimde Teslim Tarihi Verilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Zhou, H., Feng, Y., Han, L., 2001, The Hybrid Heuristic Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling, *Computers and Industrial Engineering* (40), s. 191-200.

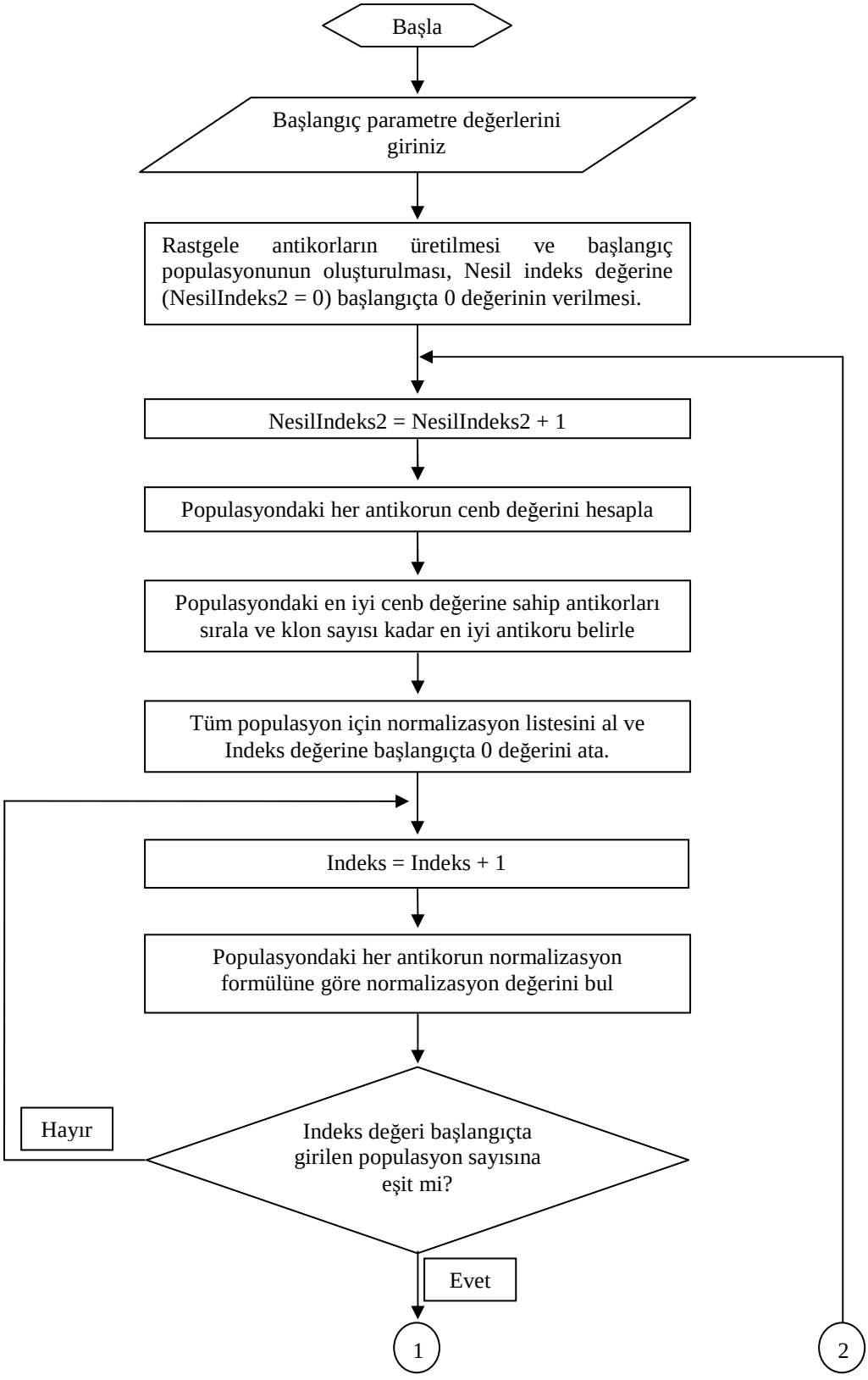
EKLER

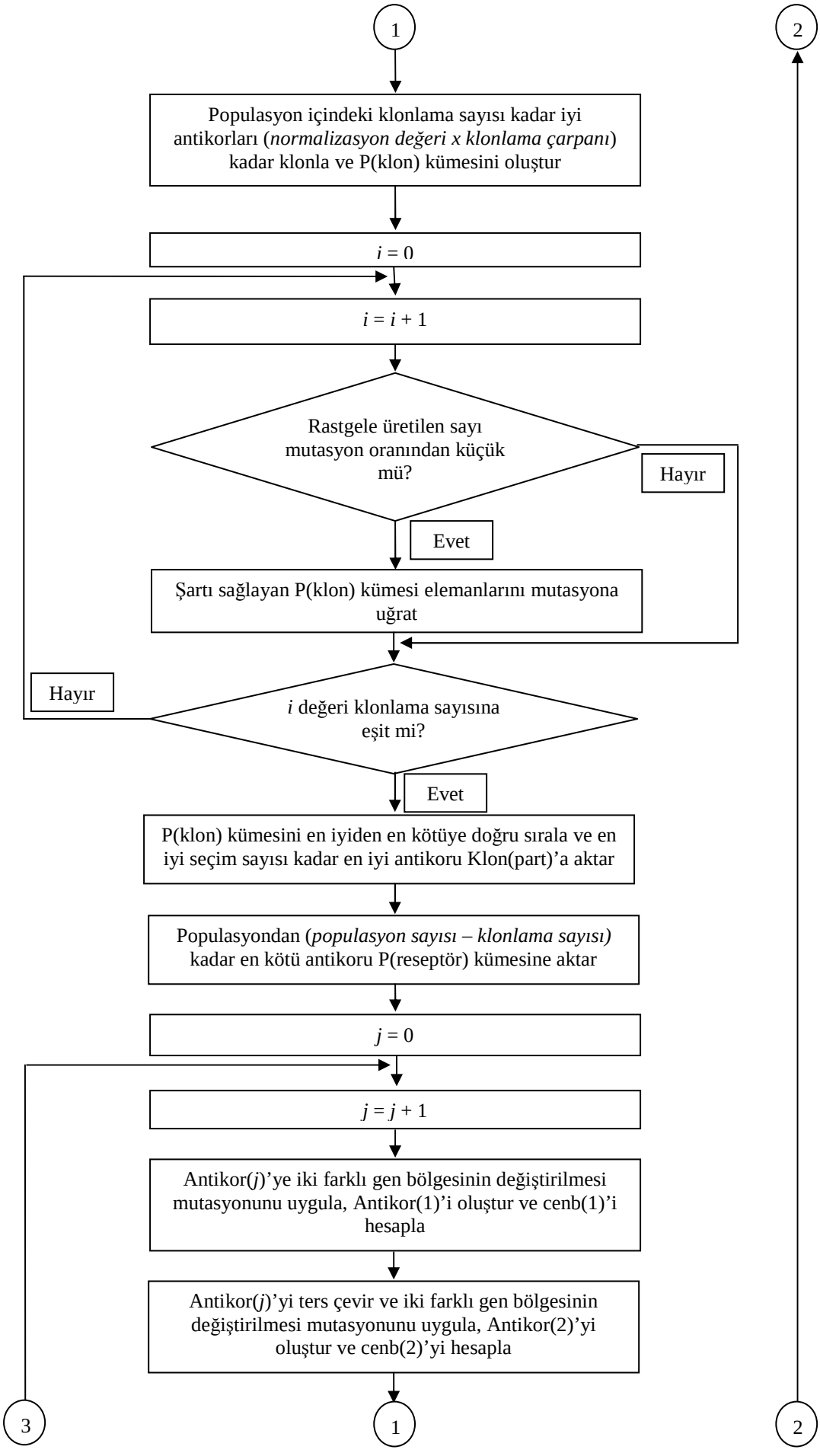
EK-1 Klon mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın akış şeması

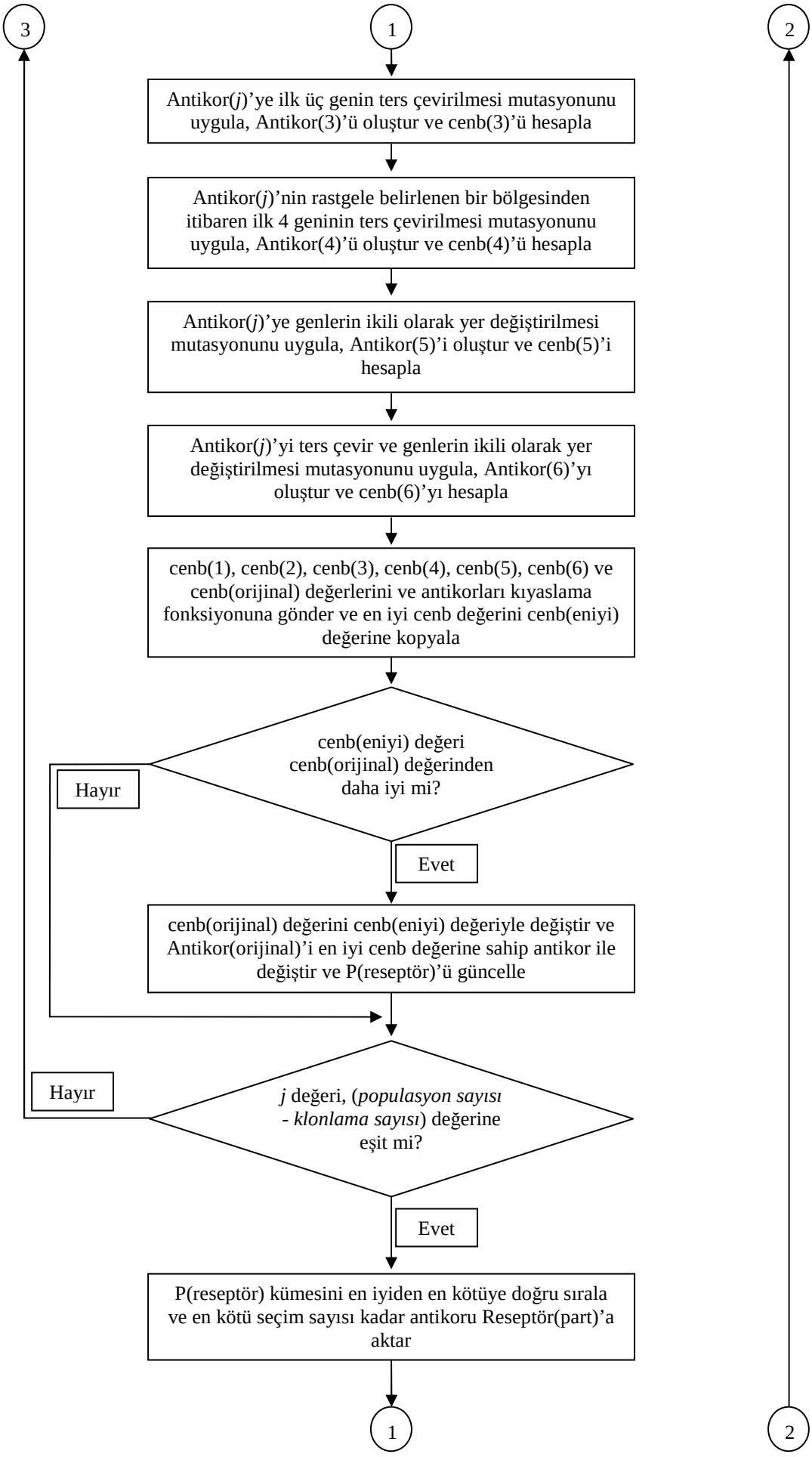


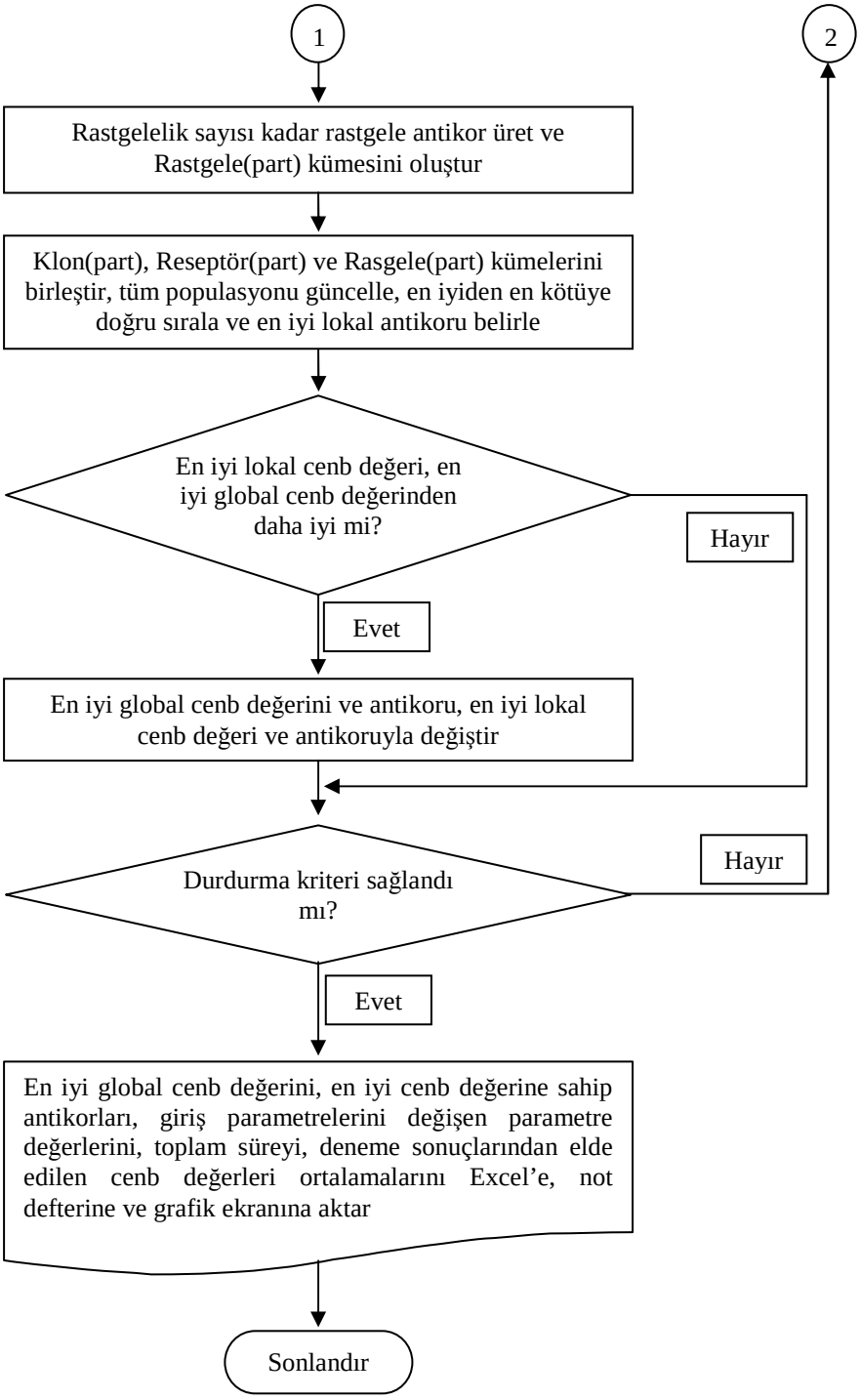

1
2
3
4
Şartı sağlayan P(klon) kümesi elemanlarını mutasyona uğrat
a değeri klonlama sayısına eşit mi?
Hayır
Evet
P(klon) içerisindeki en iyi seçim sayısı kadar antikoru populasyona ekle ve bu sayı kadar eski antikoru listeden çıkar
Kalan seçim sayısı kadar antikoru rastgele oluştur ve populasyon içerisindeki bu sayı kadar eski antikoru bunlarla değiştir
Tüm populasyonu güncelle, en iyiden en kötüye doğru sırala ve en iyi lokal antikoru belirle
En iyi lokal cenb değeri, en iyi global cenb değerinden daha iyi mi?
Hayır
Evet
En iyi global cenb değerini ve antikoru, en iyi lokal cenb değeri ve antikoruyla değiştir
Hayır
Durdurma kriteri sağlandı mı?
Evet
En iyi global cenb değerini, en iyi cenb değerine sahip antikorları, giriş parametrelerini değişen parametre değerlerini, toplam süreyi, deneme sonuçlarından elde edilen cenb değerleri ortalamalarını Excel'e, not defterine ve grafik ekranına aktar
Sonlandır

EK-2 Klon-reseptör mutasyon mekanizmasını kullanan algoritmanın akış şeması




1
2
Populasyon içindeki klonlama sayısı kadar iyi antikorları (*normalizasyon değeri x klonlama çarpanı*) kadar klonla ve P(klon) kümesini oluştur
i = 0
i = *i* + 1
Rastgele üretilen sayı mutasyon oranından küçük mü?
Hayır
Evet
Şartı sağlayan P(klon) kümesi elemanlarını mutasyona uğrat
Hayır
i değeri klonlama sayısına eşit mi?
Evet
P(klon) kümesini en iyiden en kötüye doğru sırala ve en iyi seçim sayısı kadar en iyi antikoru Klon(part)'a aktar
Populasyondan (*populasyon sayısı – klonlama sayısı)* kadar en kötü antikoru P(reseptör) kümesine aktar
j = 0
j = *j* + 1
Antikor(*j*)'ye iki farklı gen bölgesinin değiştirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(1)'i oluştur ve cenb(1)'i hesapla
Antikor(*j*)'yi ters çevir ve iki farklı gen bölgesinin değiştirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(2)'yi oluştur ve cenb(2)'yi hesapla
3
1
2


3
1
2
Antikor(*j*)'ye ilk üç genin ters çevirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(3)'ü oluştur ve cenb(3)'ü hesapla
Antikor(*j*)'nin rastgele belirlenen bir bölgesinden itibaren ilk 4 geninin ters çevirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(4)'ü oluştur ve cenb(4)'ü hesapla
Antikor(*j*)'ye genlerin ikili olarak yer değiştirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(5)'i oluştur ve cenb(5)'i hesapla
Antikor(*j*)'yi ters çevir ve genlerin ikili olarak yer değiştirilmesi mutasyonunu uygula, Antikor(6)'yı oluştur ve cenb(6)'yı hesapla
cenb(1), cenb(2), cenb(3), cenb(4), cenb(5), cenb(6) ve cenb(orijinal) değerlerini ve antikorları kıyaslama fonksiyonuna gönder ve en iyi cenb değerini cenb(eniyi) değerine kopyala
cenb(eniyi) değeri cenb(orijinal) değerinden daha iyi mi?
Hayır
Evet
cenb(orijinal) değerini cenb(eniyi) değeriyle değiştir ve Antikor(orijinal)'i en iyi cenb değerine sahip antikor ile değiştir ve P(reseptör)'ü güncelle
j değeri, (*populasyon sayısı - klonlama sayısı*) değerine eşit mi?
Hayır
Evet
P(reseptör) kümesini en iyiden en kötüye doğru sırala ve en kötü seçim sayısı kadar antikoru Reseptör(part)'a aktar
1
2


1
2
Rastgelelik sayısı kadar rastgele antikor üret ve Rastgele(part) kümesini oluştur
Klon(part), Reseptör(part) ve Rasgele(part) kümelerini birleştir, tüm populasyonu güncelle, en iyiden en kötüye doğru sırala ve en iyi lokal antikoru belirle
En iyi lokal cenb değeri, en iyi global cenb değerinden daha iyi mi?
Hayır
Evet
En iyi global cenb değerini ve antikoru, en iyi lokal cenb değeri ve antikoruyla değiştir
Durdurma kriteri sağlandı mı?
Hayır
Evet
En iyi global cenb değerini, en iyi cenb değerine sahip antikorları, giriş parametrelerini değişen parametre değerlerini, toplam süreyi, deneme sonuçlarından elde edilen cenb değerleri ortalamalarını Excel'e, not defterine ve grafik ekranına aktar
Sonlandır

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yılmaz ATAY
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Adana / 18.05.1987
Telefon : 0544 6191999
e-mail : yilmazatay@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Sunar Nuri Çomu Lisesi, Yüreğir, Adana	2004
Üniversite	:	S. Ü. Bilgisayar Mühendisliği, Selçuklu, Konya	2010
Yüksek Lisans:		S.Ü. Bilgisayar Mühendisliği A.B.D., Selçuklu, Konya	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	S. Ü. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü	Arş. Gör.
2011	O.K.Ü. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü	Arş. Gör.
2010	Ç.Ü. Teknokent B. İşteBilişim Ltd. Şti.	Bilgisayar Müh.

UZMANLIK ALANI: Yapay zeka, Optimizasyon, Programlama, Veritabanı

YABANCI DİL: İngilizce