

## ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS AND APPLICATIONS IN INDUSTRIAL PROBLEMS

Orhan ENGİN\*, Alper DÖYEN

*Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak. Endüstri Mühendisliği Bölümü,  
Alaeddin Keykubad Kampüsü, Selçuklu, Konya, TÜRKİYE  
e-mail: oengin@selcuk.edu.tr*

### ABSTRACT

Artificial Immune Systems (AIS) can be defined as computational systems inspired by theoretical immunology, observed immune functions, principles and mechanisms in order to solve complex problems. In this paper; description, problem solving technique and industrial applications of artificial immune systems are presented. Biologically inspired algorithms are artificial intelligence techniques that in recent years, have been improved to solve Non Polynomial-NP problems. These are; genetic algorithms, ant colonies optimization and artificial immune systems. Also in this paper the two biologically inspired techniques; artificial immune systems and genetic algorithms are compared, to determine their strong and weak aspects.

*Key Words: Artificial Immune Systems, Genetic Algorithms, Negative Selection, Clonal Selection.*

## YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMLERİ VE ENDÜSTRİYEL PROBLEMLERDE KULLANIMI

### ÖZET

Yapay bağışıklık sistemleri (YBS), teorik bağışıklık bilimi, gözlenen bağışıklık fonksiyonları, prensipleri ve mekanizmalarından ilham alan ve karmaşık hesaplama problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir hesaplama tekniğidir. Bu makalede, Yapay Bağışıklık Sistemlerinin tanımı, problem çözme tekniği ve endüstriyel uygulamaları yer almaktadır. Çözüm zamanı polinomial olmayan (Non Polynomial-NP) problemler kapsamında yer alan endüstriyel problemleri çözmek için son yıllarda geliştirilen yapay zeka tekniklerinden bir kısmı biyolojik tabanlı algoritmalar. Bunlar; Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonileri ve Yapay Bağışıklık Sistemleridir. Bu makalede ayrıca biyolojik tabanlı iki yöntem olan Yapay Bağışıklık Sistemleri ile Genetik Algoritma teknikleri karşılaştırılarak, güçlü ve zayıf yönleri belirlenmeye çalışılmıştır.

*Anahtar Kelimeler: Yapay Bağışıklık Sistemi, Genetik Algoritmalar, Negatif Seçim, Klonal Seçim.*

### 1. GİRİŞ

Optimizasyon problemleri, karar değişkenlerinin sürekli veya kesikli olmalarına göre ikiye ayrılır. Karar değişkenleri kesikli veya süreksiz olanlara kombinatoriyel optimizasyon problemleri denir (1). Son otuz yıllık periyotta yönetim bilimi, bilgisayar, mühendislik gibi bir çok farklı alanda bu tip problemler ortaya çıkmıştır. Kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin büyük çoğunluğu, "NP-Zor" problemler sınıfında yer almaktadır. Bu tür problemlerin çözüm zamanı problem boyutuna bağlı olarak üstel artış gösterir.

Kombinatoriyel optimizasyon problemleri için optimal veya yaklaşık çözümler elde etmeye yönelik metodların

### 1. INTRODUCTION

Optimization problems fall into two categories depending upon whether decision variables are continuous or interrupted. Optimization problems whose decision variables are interrupted or discontinued are called combinatorial optimization problems (1). Such problems have arisen during the last thirty years in a number of different areas such as management science, computer science and engineering. A considerable amount of combinatorial optimization problems are in the class of "NP-Difficult" problems. The time to solve such problems indicates an exponential increase depending on the dimension of a problem.

oluşturulması, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile hız kazanmıştır. Fakat pratikteki bir çok kombinatoriyel optimizasyon problemlerinin optimal çözümlerini veren etkin algoritmalar henüz geliştirilememiştir. Bu tip problemler için geliştirilen yöntemler iki sınıf altında incelenmektedir.

Bunlar;

- 1) Sayısal Yöntemler: Kesme düzlemi, dal-sınır veya dinamik programlama gibi.
- 2) Sezgisel Yöntemler:
  - a) Klasik sezgisel yöntemler.
  - b) Genel amaçlı-sezgisel yöntemler.

Genel amaçlı-sezgisel yöntemler, biyolojik tabanlı, fizik tabanlı ve sosyal tabanlı olmak üzere üç farklı grupta değerlendirilmektedir. Genetik Algoritma, Karınca Kolonileri, Yapay Sinir Ağları ve Yapay Bağışıklık Sistemleri; biyolojik tabanlı, tavlama benzetimi; fizik tabanlı ve tabu araştırmaları; sosyal tabanlı algoritmalarıdır.

Çalışmada biyolojik tabanlı olan yapay bağışıklık sistemlerinin, endüstrideki uygulamaları anlatılacak ve yapay bağışıklık sistemleri ile genetik algoritmaların karşılaştırması yapılacaktır.

## 2. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ

Yapay Bağışıklık Sistemleri 1990'larda Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks) ve Yapay Hayat (Artificial Life) gibi biyolojik tabanlı bir çok hesaplama yöntemini birleştiren yeni bir sistem olarak ortaya çıkmıştır (2). Son on yılda yapay bağışıklık sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar Çizelge 1'de verilmektedir.

Efforts to establish methods aiming to obtain optimal or approximate solutions for combinatory optimization problems have gained momentum with the improvements in computer technology. However, effective algorithms yielding optimal solutions pertinent to various combinatory optimization problems in practice have not been developed yet. The methods developed for such problems are scrutinized in the light of two classes.

These are:

- 1) Numerical Methods: As in an intersecting plane, branch-limit or dynamic programming
- 2) Heuristic Methods:
  - a) Classic heuristic methods.
  - b) General purposed heuristic methods.

General purposed heuristic methods are evaluated in three different groups which are respectively biologically-based groups, physically-based groups, and socially-based groups. Genetic Algorithm, Ant Colonies, Artificial Neural Networks and Artificial Immune Systems are biologically-based algorithms; dampening comparison simulated annealing is a physically-based algorithm; and tabu researches are socially-based algorithms.

In this study, industrial applications of artificial immune systems, which are biologically based, will be discussed and a comparison of artificial immune systems and genetic algorithms will be summarised.

## 2. ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM

Artificial Immune Systems have come on the scene in the 1990s as a new system consolidating a number of biologically-based calculating methods such as Artificial Neural Networks and Artificial Life. Studies regarding artificial immune systems conducted in the last decade are shown in Table 1.

**Table 1.** Studies regarding artificial immune systems

**Çizelge 1.** Yapay bağışıklık sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar

Authors /Yazarlar	Year /Yıl	Study Subject /Çalışma Konusu
Forrest, S et al. /Forrest, S. ve diğ.	1994	Computer and Network Security /Bilgisayar ve Ağ Güvenliği
Somayaji A. et al./Somayaji, A. ve diğ.	1997	
Hofmeyr, S.A., Forrest, S.	1999	
Forrest, S., Hofmeyr S.A.	1999	
Mori, M. et al./Mori, M. ve diğ.	1997	Logarithm /Çizelgeleme
Hart, E. et al./Hart,E. ve diğ.	1998	
Russ, S.H. et al./Russ, S.H. ve diğ.	1999	
Costa, A.M. et al./Costa, A.M. ve diğ	2002	
De Castro,L.N.,Von Zuben F.J.	2000	Model (Design) identification / Model (tasarım) tanıma, çok amaçlı multi-purpose combinatory optimization/ kombinatoriyel optimizasyon
DeCastro,L.N.,Von Zuben F.J.	2002	
De Castro,L.N., Timmis, J.	2002	
Dasgupta,D., Forrest, S.	1999	Device error detection /Alet hatası tespiti
Nasaroui O. et al./Nasaroui O. ve diğ.	2002	Data Mining /Veri madenciliği
Timmis, J., Neal, M. J	2000	Data Analysis /Veri Analizi
Dasgupta, D.,Forrest, S.	1996	Time series analysis /Zaman serileri analizi
Lee, D. et al./Lee, D. ve diğ.	1999	Choosing strategies for common control and group behavior /Ortaklaşa kontrol ve grup davranış stratejisi seçimi

Yapay bağışıklık sistemi, insan vücudundaki doğal bağışıklık sisteminin çalışma prensiplerine göre oluşturulmuştur. Vücuttaki doğal bağışıklık sistemi ile ilgili doku ve organlar; timüs bezi, kemik iliği, lenf düğümleri, dalak ve bademciklerdir. Bağışıklık sisteminde ilgili doku, organ, molekül ve hücrelerin çalışmalarını koordine edecek bir merkezi organ yoktur. Bağışıklık sistemi kendi özel hücreleri ile vücuda giren yabancı hücreleri tanıır ve onları etkisiz hale getirir. Temel bağışıklık hücresi lenfositlerdir (3). Lenfositler "T" ve "B" hücreleri olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. "B" hücreleri antijenleri çözelti içinde serbest olarak tanıyabilirken, "T" hücreleri antijenlerin diğer yardımcı hücreler tarafından tanıtılmasına ihtiyaç duyar (4). Doğal bir bağışıklık tepkisi basitçe şu şekilde verilir: Vücuda yabancı bir molekül girdiği zaman, özel moleküller (macrophages) bu yabancı molekülün etrafını sararak diğer bağışıklık hücrelerinin onu görmesini sağlar. Yardımcı "T" hücreleri özel molekülleri gördüğünde beyaz kan hücrelerini uyarır ve bu hücreler çoğalır. "B" hücreleri antikor denilen kimyasal maddeler üretmeye başlarlar, antikorlar antijenle birleşerek antijenin yok edilmesini daha kolay hale getirir. Yardımcı "T" hücreleri tarafından uyarılan yok edici "T" hücreleri antijenin yok edilmesini sağlar. Doğal bağışıklık sistemi hücrelerinin yukarıda tanımlanan faaliyetleri yerine getirmesi için vücudun kendi hücreleri ile yabancı hücre ve molekülleri (antijen) birbirinden ayırt edebilmesi gerekir. Vücudun kendisine ait hücreler "self" ve yabancı hücreler ise "nonself" olarak adlandırılır. "Nonself" hücreler yok edilirken "self" hücrelerin zarar görmemesi sağlanır.

Doğal bağışıklık sistemi temellerine göre çalışan yapay bağışıklık sistemlerinde farklı tip problemlerde çözüme ulaşmak için iki farklı seçim yöntemi kullanılmaktadır. Desen tanıma (pattern recognition), anormallik belirleme (anomaly detection) problemleri, bilgisayar ve ağ güvenliği, zaman serileri analizi gibi problemler için negatif seçim mekanizması kullanılmaktadır. Klonal seçim mekanizması ise özellikle çok amaçlı ve kombinatoriyel optimizasyon, bilgisayar ve ağ güvenliği ve hata denetimi problemleri için kullanılmaktadır.

Yapay bağışıklık sistemlerinde kullanılan bu problem çözme yöntemleri, insan vücudunun sahip olduğu doğal bağışıklık sistemindeki mekanizmaları aynen taklit etmektedir.

### 2.1. Negatif Seçim Mekanizması

Timüs, T hücrelerinin olgunlaşmasından sorumludur ve yabancı(nonself) antijenleri timük çevrenin dışında tutan bir kan bariyeri ile korunmaktadır. Bu nedenle timüs içinde bulunan çoğu eleman yabancı (nonself) değil vücudun kendisine ait(self) elemanlara örnek teşkil eder. T hücrelerinin timüsteki gelişimleri esnasında timüsteki self antijenleri tanıyabilen algılayıcıları (reseptörleri) 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

The artificial immune system has been formed on the basis of the working principles of the natural immune system found in the human body. Tissues and organs related with the natural immune system in the body are the thymus gland, the bone marrow, the lymph nodes, the spleen and the tonsils. A central organ coordinating the functions of the associated tissue, the organ, the molecule and the cells does not exist in the immune system. The immune system, via its special cells, recognizes the foreign (external) cells filtering through the body and neutralizes them. The basic immunity cell is the lymphocyte (3). The lymphocytes are grouped into two categories: "T" and "B" cells. The "B" cells can recognize the antigens without restraint in liquid solutions whereas the "T" cells need the recognition of antigens by means of other assisting cells (4). A natural immune response is given simply as follows: When an external molecule enters the body, the special molecules (macrophages) surround that external molecule and get other immunity cells to notice it. When the assisting "T" cells notice the special cells, they forewarn the white blood cells and these cells become larger in number. The "B" cells begin to produce chemical substances called antibodies; the antibodies combining with the antigens exterminate the antigens with ease. The exterminating "T" cells alerted by the assisting "T" cells make it possible for the antigen to be exterminated. The body needs to be able to distinguish between its own cells and external cells plus molecules (antigens) in order for the natural immune system cells to carry out the activities defined above. The cells belonging to the body itself are called the "self" cells and the external cells are called the "non-self" cells. It is important to keep the "self" cells unharmed in the course of exterminating the "non-self" cells.

Two different selection methods are utilized for purposes of reaching a solution in different types of problems as regards to artificial immune systems functioning on the basis of the natural immune system.

The negative selection mechanism is used for problems such as pattern recognition, anomaly detection, computer and network security and time series analysis. The clonal selection mechanism, on the other hand, is particularly used for problems such as multi-purpose and combinatory optimization, computer and network security and error detection.

These problem-solving methods that are used in artificial immune systems thoroughly imitate the mechanisms found in the natural immune system that the human body possesses.

### 2.1. The Negative Selection Mechanism

The thymus is responsible for the maturation of the T cells and is protected by a blood barrier that keeps the external (non-self) antigens away from the thymus environment. This being the case, most constituents in the thymus are examples of the constituents pertinent to the body itself, not of the external (non-self) elements. In the course of the growth of the T cells in the thymus, the T cells containing the receptors capable of recognizing the self-antigens in the thymus are removed from the repertoire of the T cells through a process called the negative selection.

When approaching to this case from the information

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 (5) 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 (dedektörler) (**M**) kümesi oluşturulur. Negatif seçim algoritmasının çalışma yöntemi şekil 1'de verilmiştir.

1. Aynı gösterim kabulünü kullanan rastgele aday elemanlarını (**C**) oluştur.
2. **C**'deki elemanlarla **P**'deki elemanları karşılaştır (eşle). Bir eşleşme olursa, örneğin, **P**'nin bir elemanı **C**'nin bir elemanı tarafından tanınırsa, **C**'nin bu elemanını at. Ters durumda, **C**'nin bu elemanını algılayıcı (dedektör) kümesi içinde sakla.

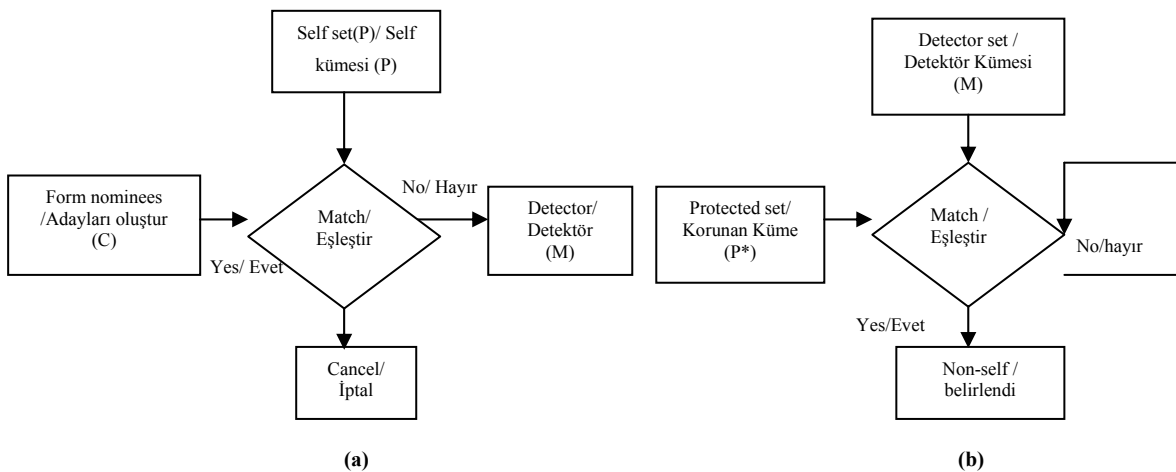
Algılayıcı kümesini (**M**) oluşturduktan sonra, algoritmanın diğer aşaması nonself modellerin varlığı için sistemi izlemekten oluşur (şekil 1(b)). Bu durumda bir **P\*** korunacak kümesi oluşturulur. Bu küme, **P** kümesi ve diğer yeni modellerden veya tamamıyla yeni bir kümeden meydana gelir. Nonself modellerine karşılık gelen, algılayıcı kümesinin tüm elemanları için, **P\*** kümesinin bir elemanını tanıyıp tanıyamadığını (eşleşme) 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.

processing perspective, the negative selection introduces a paradigm to realize pattern recognition. This paradigm functions with the logic of collecting information about the complementary set (non-self) of patterns to be recognized (self). In the literature, an algorithm of negative selection (5) has been proposed together with the applications with regard to anomaly detection problems such as computer and network attacks, time series estimations, form control and shaping, and equipment error tolerance.

First of all, a set of models to be protected is verified and this is called the 'self-set' (**P**). Based on the algorithm of negative selection, a set of receptors (detectors) (**M**) responsible for recognizing the elements that do not belong to the set of "self-set" is formed. The working method regarding the negative selection algorithm is shown in Figure 1.

1. Form random nominees making use of the same projection reception (**C**).
2. Match the elements in **P** with the elements in **C**. In case they match, for instance, when one of the elements in **P** is recognized by an element in **C**, omit this element. Otherwise, keep this element in **C** in the set of receptors (detectors).

After forming the set of receptors (**M**), the other phase of the algorithm is to follow the system for the presence of non-self models (Figure 1(b)). In this case, a **P\*** set of protection is formed. This set is composed of the **P** set, other new models or of a completely new set. For all the elements of the set of receptors matching the non-self models, control whether you recognize an element of the **P** set or not (matching). In case a matching occurs, then a non-self model is said to be recognized and the reaction should initiate. In detecting the non-self case, the result may vary depending upon the evaluation problem of the action; and it is out of the model recognition scope of the negative selection algorithm.



**Figure 1.** Model recognition through negative selection algorithm a) forming the detector set, b) Pursuing the presence of non-self substances [7].

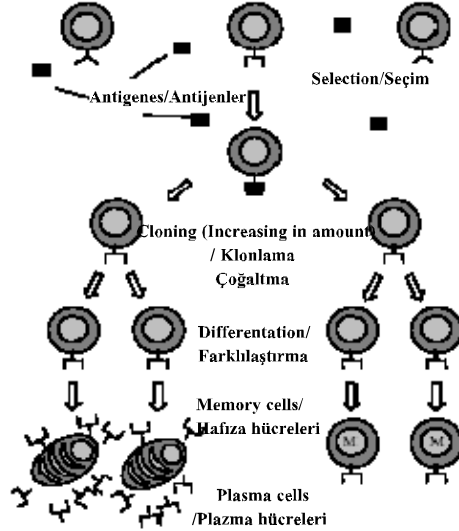
**Şekil 1.** Negatif seçim algoritması ile model tanıma a)detektör kümesini oluşturma, b)istenmeyen (nonself) maddelerin varlığını takip etmek[7].

## 2.2. Klonal Seçim Mekanizması

Klonal seçim mekanizması, negatif seçimin rolünü tamamlayıcı olarak, bir “nonself” hücre bir “B” hücresi tarafından tanındığı zaman nasıl bir bağışıklık tepkisi verileceğini açıklamak için kullanılmaktadır (4). Şekil 2 klonal seçim mekanizmasını göstermektedir.

## 2.2. The Clonal Selection Mechanism

The clonal selection mechanism, which is complementary to the role played by the negative selection, is used to account for how an immunity reaction is to be given when a non-self cell is recognized by a “B” cell (4). Figure 2 shows the clonal selection mechanism.



**Figure 2.** The Clonal selection principle  
**Şekil 2.** Klonal seçim prensibi(7)

Bir antijen vücutta tespit edildiği zaman, kemik iliğinden antikor üretilerek bağışıklık tepkisi veren hücreler salgılanır (B lenfositleri). Bu antikorlar (hücre algılayıcıları) antijenlerle birleştiği zaman yardımcı-T hücrelerinden gelen sinyallerin de etkisi ile B-hücresini uyarır. B-hücresi uyarma ile birlikte çoğalır (bölünür) ve plazma hücreleri denilen terminal (bölünmeyen) antikor salgılayan hücrelere dönüşür (farklılaşma). Hücre bölünmesi süreci (mitoz) bir klon (kopya) oluşturur. Bu klon bir tek yavru hücre veya bir küme yavrudur. Beyaz plazma hücreleri en aktif antikor salgılayıcılarıdır. Ayrıca, hızlı şekilde bölünen büyük B lenfositleri de daha düşük bir oranda antikor salgırlar.

Lenfositler çoğalma ve/veya plazma hücrelerine dönüşmenin (farklılaşma) dışında uzun ömürlü-B hücrelerine (hafıza hücreleri) dönüşebilirler. Hafıza hücreleri kan, lenf, dokular boyunca dolaşır ve ikinci bir antijenik durumla karşılaşıldığında yüksek benzerlikte antikorlar üretme kabiliyetinde olan büyük lenfositlere dönüşebilir (7).

Bağışıklık sisteminin en önemli özelliği kuşkusuz öğrenmedir. Bağışıklık sistemindeki öğrenme, antijenleri tanıyarak kendini kanıtlayan lenfositlerin göreceli popülasyon büyüklüğünü (kopyalama ile) ve antijenlere olan benzerliklerini artırmalarını (farklılaşma) içerir (7).

Normal bir bağışıklık sistemi evriminde, organizma, bir antijen ile hayatı boyunca defalarca karşılaşır. Bir antijen saldırısına ilk tepki her biri farklı benzerlik derecesinde antikor üreten, düşük benzerlik değerine sahip B hücreleri

When an antigen is detected in the body, the cells leading to an immune response are secreted through the production of antibody from the bone marrow, (B lymphocytes). These antibodies (cell receptors), when combined with antigens, forewarns the B cell together with the influence of incoming signals from the assisting T cells. The B cell increases in amount (divides) and transforms into the cells (differentiation) which provide terminal antibodies (non-divided) called the plasma cells. The cell division process (mitosis) brings a clone (copy) into existence. This clone is a young cell or a set of young cells. The white plasma cells are the most active secretors of antibodies. Furthermore, the big B lymphocytes being divided rapidly secrete antibodies at a lower rate.

Apart from multiplication and transformation into plasma cells (differentiation), the lymphocytes can transform into long-lived B cells (memory cells). The memory cells circulate along the blood, the lymph and the tissues; and when they encounter a second antigenic case, they can transform into big lymphocytes capable of producing antibodies with higher affinity (7).

The most important peculiarity of the immune system is, of course, the learning process. The learning process in the immune system includes the relative size of the population regarding the lymphocytes (through copying) exposing themselves via recognizing the antigens, and increasing their similarities with the antigens (differentiation) (7).

In a normal system of evolution, the organism meets an

tarafından verilir. Bağışıklık sisteminin 2. saldırıya verdiği tepkinin etkinliği ilk enfeksiyon sonucunda oluşan hafıza hücrelerinin varlığı ile artırılır. Hafıza hücreleri, yüksek benzerlikte antikor üretebilirler. Bu strateji ile her enfeksiyondan sonra bağışıklık tepkisinin sürati ve doğruluğu artar. Bu mutasyon ve seçim algoritmasını defalarca tekrar ederek, bağışıklık sistemi yüksek benzerlikteki antikorları üretmeyi “öğrenir”. Bu olay; sistemin yeteneğini sürekli olarak artırmayı sağlayan bir destekli öğrenme stratejisidir(6-7).

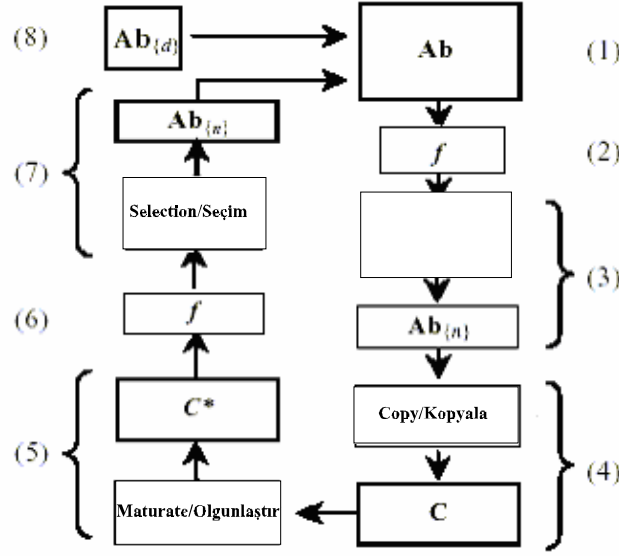
Klonal seçim; Charles Darwin'in evrim teorisinin üç temel fonksiyonu olan farklılaştırma, çeşitlendirme ve doğal seçim mekanizmalarını kullanır. De Castro ve Von Zuben (6), bu mekanizmaya göre optimizasyon problemleri için aşağıdaki algoritmayı (CLONALG) ortaya koymuşlardır.

1. Optimize edilecek bir  $g(.)$ , amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Bir antikorun benzerlik değeri, verilen antikor için hesaplanan amaç fonksiyonunun değerine karşılık gelir: her bir  $Ab_i$  antikoru, girdi kümesinin ( $Ab$ ) bir elemanıdır.
2. Her bir  $Ab_i$  için  $f$  benzerlik değeri (amaç fonksiyon değeri) hesaplanır.
3. En yüksek benzerliği (en yüksek uygunluğu) gösteren  $n$  tane antikor  $Ab$  kümesinden seçilir ve yeni bir  $Ab_{\{n\}}$  kümesi oluşturulur.
4. Seçilen  $n$  tane antikor bağımsız olarak ve antijenik benzerlikleriyle orantılı olarak klonlanır (kopyalanır), klonlar bir  $C$  repertuarı oluşturur: seçilen  $n$  antikorun her biri için oluşturulan klon sayısı  $f$  benzerlik değeri ile orantılıdır. Daha yüksek antijenik benzerlik (daha yüksek uygunluk değeri), daha fazla sayıda klon demektir.
5.  $C$  repertuarı, antijenik benzerlik ile ters orantılı olarak olgunlaştırma (hiper mutasyon) sürecine uğratılır. Bu süreç sonunda olgunlaştırılmış kopyaların oluşturduğu bir  $C^*$ ; mutasyona uğratılmış kopyalar popülasyonu oluşturulur. Kopyaların mutasyona uğratılma oranı benzerlik değerleri ile ters orantılıdır: Daha yüksek benzerlik (daha yüksek uygunluk değeri), daha az mutasyon oranı demektir.
6. Mutasyona uğratılmış  $C^*$  kopyalarının benzerlik (uygunluk) değerleri hesaplanır.
7. En yüksek uygunluk değerine sahip  $n$  tane antikor yeniden seçilir ve  $Ab$  kümesine eklenir.
8. Son olarak,  $Ab$  kümesinden en düşük benzerlik değerine sahip  $d$  tane antikor, yeni oluşturulmuş antikorlar ile değiştirilir.

antigen several times throughout its life. The first response to an antigen attack is given by the B cells, each of which produces antibodies at different affinity degrees and has a low affinity value. The effectiveness of the response given by the immune system towards the 2<sup>nd</sup> attack is increased by means of the presence of the memory cells emerging as a result of the first infection. The memory cells can produce antibodies at higher affinity. Through this strategy, the speed of the immune response and its accuracy increases after each infection. The immune system “learns” how to produce high-affinity antibodies through the repetition of this mutation and selection algorithm. This case is a supported learning strategy which enables the system to increase its capability at a continuing rate (6-7).

The clonal selection uses the three core functions of Charles Darwin's evolution theory, which are differentiation, variation and natural selection mechanisms. De Castro and Von Zuben (6) have proposed the following algorithm (CLONALG) for the optimization problems as regards to this mechanism.

1. A  $g(.)$  purpose function which is to be optimized exists. The affinity value of an Antibody matches the value of the purpose function calculated for the given antibody: each  $Ab_i$  antibody is an element of the input set ( $Ab$ ).
2. For each  $Ab_i$ , a  $f$  affinity value (purpose function value) is calculated.
3. An  $n$  amount of antibodies which show the highest affinity is selected from the  $Ab$  set and a new  $Ab_{\{n\}}$  is formed.
4. An  $n$  amount of antibodies are cloned (copied) separately, and in proportion to their antigenic similarities. The clones form a  $C$  repertoire: The clone amount formed for each of the selected  $n$  antibody is in proportion to the  $f$  affinity value. A higher antigenic similarity (a higher suitability value) means a higher amount of clones.
5. The  $C$  repertoire, in reverse proportion to the antigenic affinity, is exposed to the maturation process (hyper mutation). At the end of this process, a  $C$  that the mutated copies have formed, that is a population of copies exposed to mutation, is formed. The rate of the exposition regarding the copies is in reverse proportion to the affinity values: A higher affinity value (higher suitability value) means a lower rate of mutation.
6. The affinity (suitability) values of the  $C$  copies exposed to mutation are calculated.
7. An  $n$  amount of antibodies with the highest suitability value are reselected and added to the  $Ab$  set.
8. Finally, from the  $Ab$  set, a  $d$  amount of antibodies with a low affinity value is replaced with the newly formed antibodies.



**Figure 3.** Clonal selection algorithm for the optimization problems

**Şekil 3.** Optimizasyon problemleri için klonal seçim algoritması(6).

### 3. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI

1- Bilgisayarları virüslerden ve yetkisiz kullanıcılardan korumak model tanıma araştırmaları için geniş bir araştırma alanıdır. Bu alandaki problemler için negatif ve klonal seçim mekanizmaları kullanılmaktadır. Negatif seçim; hata denetimi, anormal durum tespiti, bilgisayar ve ağ güvenliği problemleri için kullanışlı iken, klonal seçim optimizasyon problemleri ve öğrenme becerilerinden dolayı negatif seçim ile beraber kullanılmaktadır.

Forrest ve diğ. (5)'de  $r$ -ardışık bit kuralı ve bir negatif seçim algoritması kullanılarak "self" ve "nonself" ayırımına dayanan bir bilgisayar güvenliği sistemi incelenmiştir. Sistem, Bölüm 2.1'de verilen negatif seçim algoritması mantığına göre çalışmaktadır. Önce bir algılayıcılar kümesi oluşturulmakta, sonra korunan veriler oluşturulan algılayıcılar ile karşılaştırılarak izlenmektedir. Eğer iki dizideki ortak ardışık bitlerinin sayısı bir  $r$  sayısından büyük veya eşit ise, bir eşleşmeden bahsedilebilir. Çalışmada ayrıca, iki rastgele dizi arasında bir eşleşme olma olasılığını ve sistemin farklı konfigürasyonları için değişiklik-tespit olasılığını tahmin etmek üzere formüller verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, korunacak dizilerin sayısı arttıkça, kullanılan algılayıcıların boyutunun artmasına gerek yoktur. Tespit olasılığı, bağımsız tespit algoritmalarının sayısı ile üstel olarak artmaktadır. Algılayıcı oluşturmanın maliyeti "self" kümesinin büyüklüğü ile üstel artmaktadır.

Bir yapay bağışıklık sisteminin dağıtılmış, sağlam (robust), dinamik, çeşitlendirilmiş, adapte edilebilen bir sistem olması özelliklerini kullanarak, bilgisayar ağı güvenliği konusunda yapılmış çalışmalar (8-9) bulunmaktadır. Bu yapay bağışıklık sistemlerinde, bağışıklık sisteminin kullanışlı özelliklerinin hepsini içeren temel bir tip algılayıcı tanımlanmıştır. Algılayıcılar ikilik bir Hamming şekil-uzayında bit-dizileri ile gösterilmiştir. Tespit olayı, iki dizi arasındaki  $r$ -ardışık bit'in eşleşmesi süreci ile sağlanır. Negatif seçim ile

### 3. APPLICATION AREAS OF THE ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM

1- Protecting computers against viruses and unauthorized users constitutes a large area for model identification studies. The negative and clonal selection mechanisms are used for the problems in this area. The negative selection is practical for problems of error detection, anomaly situation detection, computer and network security while the clonal selection is used with problems of optimization and with the negative selection due to learning capabilities.

In (5), Forrest et al. a computer security system based on the "self-" and "non-self-" distinction by using  $r$ -successive bit rule and a negative selection algorithm has been studied. The system works on the basis of the negative selection algorithm given in Section 2.1. At first, a set of receptors is formed, and then the protected data are compared with the formed receptors and observed. If the amount of common successive bits in the two series is bigger than or equal to a  $r$  number, a matching situation can be mentioned. Also, in the study, some formulae have been introduced to predict the matching probability between two random series and the alteration-detection probability for different configurations pertinent to the system. In the light of the data gathered, there is no need to increase the size of the receptors used as long as the number of the protected series is on the increase. The probability of the detection increases exponentially with the number of independent detection algorithms. The cost of forming receptors increases in direct proportion to the size of the "self" group.

Studies have been conducted in the field of computer network security through the use of the distributed, robust, dynamic, varied, adaptable features of this artificial immune system (8-9). In these artificial immune systems, one basic receptor which includes all the useful features has been defined. The receptors have been shown on a dual Hamming shape-space with the bit series. The

birlikte yalın algılayıcıların hafıza algılayıcılarına olgunlaştırılması sistemin öğrenme kısmının sorumluluğudur. Kurulan yapay bağışıklık sistemi, bir sınıflandırıcı sistemin (classifier system) çoğu önemli özelliği ile örtüşmektedir. Önerilen YBS, her birinde 100 algılayıcının bulunduğu, 50 bilgisayardan oluşan bir ağ sisteminde; sekiz tane normal dışı olayın tamamını tespit etmiştir. Bu alandaki bazı sistemler, bir ayda, milyonlarca yanlış alarm verirken; önerilen sistem günde ortalama iki yanlış alarm vermiştir.

Somayaji ve diğ.(10)'de, biyolojik bağışıklık sistemine dayanarak bir bilgisayar bağışıklık sisteminin geliştirilmesi sürecini geniş bir şekilde anlatmışlardır. Bağışıklık sisteminin kullanılabilir prensiplerini ve uygulama için mümkün olan yapıyı ortaya koymuşlardır.

2- Yapay bağışıklık sisteminin uygulama alanlarından biri de optimizasyon problemleridir. De Castro ve Von Zuben (6-7) optimizasyon problemleri için kendilerinin önerdiği CLONALG algoritmasını kullanmışlardır. CLONALG algoritmasını 30 şehirli bir gezgin satıcı problemine uygulamışlardır. Problem için çalışmada bir tam sayılı şekil uzayı (shape space) kullanılmıştır. L uzunluğundaki tamsayı değerli vektörler,  $C=\{1,2,\dots,L\}$  elemanlarının permütasyonlarından oluşur ve bu vektörler mümkün turları belirtirler. Tamsayı vektörünün her bir bileşeni bir şehri gösterir. Her bir turun toplam uzunluğu, bir tura karşılık gelen vektörün benzerlik ölçüsünü verir. Mutasyon basitçe, turları belirten antikorlar içindeki şehir çiftlerinin yerlerini değiştirmek ile sağlanır. Çalışmada, Moscato ve Fontanari (24) tarafından ele alınan problem YBS ile çözülmüştür. Popülasyon büyüklüğü (antikor popülasyonu) 300 bireydir. Her 20 nesilde bir, antikorların en kötü %20'lik kısmı yenileri ile yer değiştirir. Algoritma 300 adım sonra, optimal sonuca ulaşmıştır.

Costa ve diğ.(11)'de, paralel makinalarda toplam tamamlanma zamanının (makespan) enazlanması problemi üzerinde durmuşlardır. Çalışmada CLONALG algoritması üzerine kurulan bir yapay bağışıklık sistemi modeli ile bazı sezgiseller karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan sezgiseller; LPT, Multifit, Lokal Arama ve Tavlama Benzetimidir. Problem için her olurlu çözüm, örneğin tam bir çizelge, sabit  $n$  büyüklüğünde bir dizi olarak kodlanmıştır. Dizi üzerindeki her pozisyon bir süreç ile ilişkilidir. Her  $i$  pozisyonunun değeri işlemin yerleştirileceği makineyi belirtir.

Popülasyonun her bir antikorunu (çözümü) için bir benzerlik (affinity) değeri vardır. Aşağıdaki denklemde gösterilen bu benzerlik değeri, çözümün kalitesini yansıtır:

$$\text{Benzerlik}(k) = \frac{LB}{(1 + M(k) - LB)}$$

Burada;  $M(k)$ ;  $k$  antikorunu ile gösterilen çözümün toplam tamamlanma zamanını (makespan) gösterir.  $LB$ ; problemin alt limitini belirtir. Bu alt limit, tüm işlem zamanları toplamının işlemci sayısına oranı ile bulunur.

Denklemden payda;  $M(k)$ 'nin  $LB$ 'ye yakın olduğu durumlarda benzerliğin daha yüksek olmasını dolayısıyla çözümün iyileşmesini sağlar.

Durdurma kriteri, en iyi çözüm üzerinde ilerleme sağlamadan geçen belirli bir nesil sayısıdır, ayrıca bir zaman sınırı da verilmiştir. Algoritma, 390 örnek problem üzerinde test edilmiştir, her bir işin işlem süresi  $[I,k]$  aralığında uniform dağılımdan seçilmiştir. Algoritma diğer

detection case is supplied by means of the matching process between the two r-successive bits. The task in which the plain receptors is matured towards the memory receptors through the negative selection is the responsibility of the learning part of the system. The established artificial immune system matches most of the features owned by a classifier system. The suggested AIS (artificial immune system) has thoroughly detected eight abnormal cases in a system of network consisting of 50 computers in each of which 100 receptors are found. Some systems used in this area give millions of false alarms per month whereas the suggested system gives on average, two false alarms daily.

In (10), based on their accounts on the biological immunity system, Somayaji et al. have explained in detail the improvement process of a computer immunity system. They have revealed the working principles of the immune system and the possible structure for the application.

$$\text{Affinity}(k) = \frac{LB}{(1 + M(k) - LB)}$$

2- One of the application areas of the artificial immune system is optimization problems. De Castro and Von Zuben (6-7) have used the CLONALG algorithm, which is their own proposition, for the optimization problems. They have integrated the CLONALG algorithm into a problem of a wandering vendor with 30 cities. In the study, a shape space with a whole number has been used. The L-length vectors having whole number values consist of the permutations of  $C=\{1,2, \dots,L\}$  elements and these vectors determine the probable tours. Each component of the whole number vector indicates a city. The total length of each tour presents the affinity scale of a vector corresponding to a tour. The mutation is simply provided with the replacement of the city pairs in the antibodies indicating the tours. In the study, the problem dealt by Moscato and Fontanari (24) has been solved by means of the AIS. The size of the population (antibody population) consists of 300 entities. Once in every 20 generations, the worst 20 % part of the antibodies is replaced with the new ones. The algorithm reached the optimal result after 300 steps.

In (11), Costa et al. have dealt with the problem of the reduction of the total completion time (make-span) in parallel machines. In the study, an artificial immune system model established on the CLONALG algorithm has been compared with some intuitions. The compared heuristics are the LPT, Multifit, Local Search and Dampening Comparison Simulated Annealing. Every possible solution for the problem, for instance, a complete chart, has been coded as a series with a constant  $n$  size. Each position on the series is related with a process. The value of each  $i$  position indicates the machine in which the process is to be positioned. There is an affinity value for each antibody (solution) of the population. This affinity value shown in the equation below denotes the quality of solution.

Here  $M(k)$  indicates the total completion time of the solution (make-span) shown through the  $k$  antibody.  $LB$  indicates the lower limit of the problem. This lower limit is calculated (found) according to the proportion of the total of all the processing periods to the number of processors.



yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir, özellikle uzun işlem süreli ve az sayıda makinenin olduğu problemlerde algoritma oldukça etkilidir. Yazarlar, iyi performansın nedeninin bağışıklık sisteminin sunduğu yüksek çeşitlilikten kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Atölye tipi çizelgeleme problemlerine sağlam (robust) çözümler bulmak amacıyla Jensen ve Hansen (12) 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.

Hart ve diğ.(13), her işin belirli başlama ve bitiş tarihlerinin olduğu atölye tipi çizelgeleme problemlerinde maksimum gecikmeyi, enazlamak 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(GA) 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.

Mori ve diğ.(14), bir yarı iletken üretim hattını kontrol etmek için genel bir otonom dağıtılmış sistem tanımlamışlardır. Çalışmalarında, üretim hattının kontrolü bir ajanlar (agents) kümesi (detector, mediator, inhibitor ve restoration ajanları) ile yapılmaktadır. Her bir ajan üretim hattı ve diğer ajanlarla ilişki içindedir. Bu ilişki omurgalı bağışıklık sistemindeki ilişkiye dayanmaktadır. Örneğin, dedektör ajanlar, bağışıklık sistemindeki B-hücrelerine karşılık gelir ve sistemdeki belirli aksaklıkları tespit etmek için kullanılır. Sistem pratikte denenmemesine rağmen, çalışmada sistemin gerçek-zamanlı karar vermede ve değişen çevreye uyum sağlamada başarılı olacağı iddia edilmiştir.

3- Dasgupta, ve Forrest (15), alet hatası tespiti için bir yapay bağışıklık algoritması geliştirmişlerdir. Metod; bağışıklık sisteminin self (vücut elemanları) ve nonself (yabancı elemanlar) hücreleri birbirinden ayırmayı sağlayan negatif-seçim mekanizmasından ilham almıştır. Bu uygulamada 'self', normal kesme operasyonu değerlerini, "nonself" ise izin verilen kesme kuvveti farklılığının ötesinde herhangi bir sapmayı belirtir. Önerilen algoritma, torna operasyonları için bir simülasyon çalışması ile gösterilmiş ve kalem ucunun

The denominator in the equation, , makes it possible for the affinity to be higher in situations in which  $M(k)$  is close to LB and thus makes it possible for the solution to get ameliorated.

The ending criterion is a definite generation number elapsing without making a progress regarding the best solution; furthermore, a time limit has been given. The algorithm has been tested on 390 sample cases; and the processing time of each task has been selected from the uniform distribution in the  $[1,k]$  interval. The algorithm has yielded better results when compared to other methods; the algorithm is quite effective particularly for the long time-span problems and for the problems in which there are fewer machines. The authors have stated that the cause of the good performance is the higher level of variety presented by the immune system.

A study has been conducted by Jensen and Hansen (12) for the purpose of finding out robust solutions to the atelier-type charting problems. Instead of optimal charts, the authors, who have emphasized the finding of charts on which one can easily make alterations according to varying conditions for a real system, have developed an artificial system for this purpose. In the study, some libraries each of which is consisted of some genetic series have been established; each series is a part of the solution regarding the atelier-type problem set. The solution to the atelier-type problem can be found by way of selecting the series from each library and then decoding the series selected. An antigen is formed by way of changing the starting dates of each task. These antigens correspond to the charts that arise differently out of the existing plans due to various errors or lapses. In the study, a criterion of robustness has been defined. The evaluations made according to this criterion have indicated that robust solutions are available and these solutions can be found through AIS.

Hart et al. (13) have used the artificial immune system to reduce the maximum delay in the atelier-type charting problems in which each task has a certain starting and ending date. The model has two phases. In the first phase of the system, an immune system approach combined with genetic algorithm is used to detect the models of common task charts that are frequently used in the factory. In the second phase, the combinatory features of natural immune systems have been modeled in order to produce new charts through the use of the models detected beforehand. The results have been compared with a model that uses a large-scale research procedure. The suggested algorithm yielded quite successful results; for instance, the charts that have come out earlier and corresponded to any situation could easily be reconstituted.

Mori et al. (14) have defined a general system distributed autonomously in order to control a semi-conductive production line. In their study, the control of the production line is carried out with the help of a set of agents (detector, mediator, inhibitor and restoration agents). Each agent is interrelated with the production line and other agents. This relation is based on the relation found in the vertebrate immune system. For instance, the detector agents correspond to the B-cells of the immune system; and they are used to detect certain drawbacks in the system. Even though the system has not been tested practically, it has been asserted that the system could

bozulması durumunda algoritmanın bunu tespit etme performansı belirlenmiştir. Algoritma, tüm test durumları için kalem ucundaki bozulmaları tespit etmiştir.

4- Lee ve diğ. (16), yapay bağışıklık sistemini dağıtılmış, otonom robot sistemine (DARS-Distributed Autonomous Robot System) uygulamışlardır. Her robot; bir "B" hücresi, her bir çevresel durum; bir antijen, bir davranış stratejisi; bir antikör ve bir kontrol parametresi de bir "T" hücresi olarak ele alınmıştır. Sistemin çalışmasında; çevresel durum değiştiğinde her robot uygun bir davranış stratejisi seçer ve onun bu davranış stratejisi iletişim ile diğer robotlar tarafından tetiklenir ve yayılır. Sonuçta en çok kabul gören strateji, kümenin davranış stratejisi olarak belirlenir. Bu kontrol şeması klonal seçim ve idotopik ağ hipotezine dayanır. T hücre modellemesi kullanılarak, robotun dinamik ortamlara uyum yeteneği geliştirilmiştir.

5- Dasgupta ve Forrest (17), zaman serileri verilerindeki farklılaşmaları tespit etmek üzere bir negatif seçim algoritması önermişlerdir. Zamanla kesme kuvveti değerleri değişmektedir. İzin verilen sapmanın ötesindeki değerler sistemdeki 'non-self' leri belirtmektedir. Sistemin elemanlarını tasvir etmek için bir ikilik Hamming şekil-uzayı uygulamışlar ve algılayıcılar ile kodu çözülmüş veri arasındaki algılamanın derecesini belirlemek için bir r-ardışık bit kuralı uygulamışlardır. Yazarlar iki veri seti için sonuçları vermişlerdir: bir tornalama operasyonunun kesici dinamikleri ve bir sentetik sinyal. Eşleştirme fonksiyonu ile seçilen r-ardışık bitlerinin sayısının hataların tespitindeki riskin güvenilirliğini etkilediğini göstermişlerdir.

#### 4. GENETİK ALGORİTMALAR(GA) İLE YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Biyolojik rastsal arama tabanlı genel amaçlı sezgisel yöntemlerden birisi de Genetik Algoritmalarıdır. Genetik algoritma, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir (1). Genetik algoritmayı diğer arama yöntemlerinden farklı kılan özellikler (2):

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

Genetik algoritmalarda dört ayrı operatör kullanılmaktadır. Bunlar(3);

1. Parametre kodlama operatörü,
2. Üreme operatörü,
3. Çaprazlama operatörü,
4. Mutasyon operatörü.

Yapay bağışıklık sistemleri genetik algoritmalarda olduğu gibi, biyolojik esaslı rastsal arama tabanlı bir genel amaçlı sezgisel yöntemdir. GA'da olduğu gibi yapay bağışıklık sistemlerinde de çözüm uzayı kodlanır.

Her iki yöntemde de uygun çözüm popülasyon içerisinde aranır. Genetik algoritmalarda popülasyon

ensure success in making real-time decisions and in adapting to the changing environment.

3- Dasgupta and Forrest (15) have developed an artificial immune algorithm for device error detection. The method has been inspired by the negative selection mechanism which makes it possible for the self (body elements) and non-self cells (external elements) of the immune system to get separated from each other. In this application, the 'self' indicates the normal values of the separation operation while the 'non-self' shows any deviation beyond the allowed separation force divergence. The suggested algorithm has been shown through a simulation study for lathe operations; and in case the nib is damaged, the performance of the algorithm to detect this damage has been determined. The algorithm has detected the damages in the nib for all the test cases.

4- Lee et al. (16) have integrated the artificial immune system into the distributed autonomous robot system (DARS – Distributed Autonomous Robot System). Each robot has been dealt with as a B cell, each environmental situation as an antigen, a strategy of behavior as an antibody, and a control parameter as a T cell. The system functions as follows: when the environmental situation changes, each robot selects a suitable strategy of behavior and its strategy of this behavior is triggered through communication by other robots and it becomes spread. As a result, the most widely accepted strategy is regarded as the strategy of behavior pertinent to the set. This control scheme is based on the clonal selection and idotopic network hypothesis. The adaptation skills of the robot in dynamic environments have been improved through the use of T-cell modeling.

5- Dasgupta and Forrest (15) have proposed a negative selection algorithm in order to find out the data variations in time series. The separation values change in the course time. The values beyond the allowed deviation determine the 'non-self's in the system. They have applied a dual Hamming shape-space in order to describe the elements of the system; they have put an r-successive bit rule into practice to find out the perception degree between the receptors and the decoded data. The authors have provided the results for the two data sets: the intersecting dynamics of a lathing operation and a synthetic signal. They have indicated that the number of r-successive bits selected by means of a matching function influences the reliability of the risk in detecting the errors.

#### 4. A COMPARISON OF GENETIC ALGORITHMS (GAs) TO ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS

One of the general purposed heuristic methods based on biologically coincidental search is Genetic Algorithms. The genetic algorithm is a search technique based on parameter coding (1). The features that make the genetic algorithm different from other search methods are as follows:

1. The genetic algorithm is related with the codes of parameter sets; it does not have to do with the parameters themselves directly.
2. The search field of the genetic algorithm is the whole population or the mass; it does not conduct search operations within a single point or points (in areas

içerisindeki her bir birey kromozom olarak adlandırılır iken yapay bağışıklık sistemlerinde antikor olarak isimlendirilir.

GA'da yeni nesiller üreme operatörü yardımı ile oluşturulurken yapay bağışıklık sistemlerinde benzerlik değeri (uygunluk değeri) ile orantılı bir kopyalama (klonlama) ile oluşturulur.

Her iki yöntemde de çözüme ulaşmada popülasyon büyüklüğü önemli bir parametredir. Genetik algoritmada optimal veya optime yakın çözüme ulaşmada kullanılan en önemli operatör çaprazlama operatörüdür. Yapay bağışıklık sistemlerinde çaprazlama operatörleri kullanılmamaktadır.

Mutasyon, her iki yöntemde de ortak kullanılan bir operatördür. Mutasyon operatörü, algoritmaların yeni çözümlere ulaşma, yeni çözümler keşfetme sürecinde ince ayar yapmasını sağlar. Mutasyon yönteminde mutasyon oranının belirlenmesi önemlidir. Genelde GA'da mutasyon oranı oldukça küçük (%1) seçilmesine rağmen yapay bağışıklık sistemlerinde büyük mutasyon oranları seçilmektedir.

Her iki yöntemde de çözüme ulaşmada kullanılacak nesil sayısı çözümün ilk aşamasında seçilir.

Genellikle iki yöntemin kodlama şemaları ve değerlendirme fonksiyonları farklı olmasa da evrimsel araştırma süreçleri; ilham kaynakları, kullanılan terimler ve adımların sırası farklılık gösterir.

GA'yı başarılı kılan popülasyonun tamamında arama yapması ve lokal optimalliğe takılmadan en iyi aday çözüme doğru odaklanmasıdır. Yapay bağışıklık algoritmaları, GA'ya göre daha çeşitli lokal optimal çözümlere ulaşabilmekte fakat global optimuma doğru nispeten daha az bir eğilim göstermektedirler. Bu nedenle, optimizasyon ve statik çizelgeleme uygulamalarında YBS'nin optimum çözüme ulaşma performansı GA kadar iyi değildir.

Dasgupta (25), YBS'nin bir problem çözme metodu olarak başarılı olmasında aşağıdaki özelliklerinin önemine dikkat çekmiştir.

- Tanıma
- Çeşitlilik
- Öğrenme
- Hafıza
- Dağıtılmış algılama
- Kendi kendini düzenleme
- Eşik değeri mekanizması
- Dinamik koruma
- Yaklaşık algılama

Bu özellikler, YBS'nin özellikle bilgisayar ve ağ güvenliği uygulamalarında, dinamik çevredeki iş çizelgeleme problemlerinde, hata tespiti uygulamalarında GA veya başka herhangi bir yöneme göre üstün olmasını sağlamaktadır.

Son yıllarda özellikle bilgisayar-ağ güvenliği, ve dinamik çizelgeleme alanlarında gittikçe artan sayıda çalışma yapılmaktadır. Bilgisayar güvenliği konusunda virüs ve benzeri yabancı zararlıların, doğal bağışıklık sistemleri için zararlı antijenlere karşılık geldiği düşünülürse, YBS'nin bu tip problemler için başarılı sonuçlar vereceğini tahmin etmek zor olmayacaktır. Benzer şekilde, doğal bağışıklık sisteminde, optimal yapıdaki ve sayıdaki antikorların geliştirilmesi ve

where the solution set is narrowed down).

3. The purpose function is used in the genetic algorithm, but no deviation values or no error factors are used.
4. The operators used in the application of genetic algorithms are based on *stokastik methods*; and deterministic methods are not used.

Four different operators are used in genetic algorithms being (3):

1. The parameter coding operator,
2. The reproduction operator,
3. The crossover operator,
4. The mutation operator.

Artificial immune systems are treated as a biological and coincidental search-based general-purpose heuristic method as in genetic algorithms. As in GA, the solution space is coded in artificial immune systems.

The appropriate solution is searched within the population in both systems. In genetic algorithms each individual in the population is called a chromosome whereas in artificial immune systems it is called an antibody.

The new generations are formed by means of the reproduction engine in GA whereas in artificial immune systems they are formed through copying (cloning) in proportion to the affinity value.

In both systems the population size is an important parameter. The most important operator, which is used to reach an optimal or a more-or-less-optimal solution is the crossover operator. The crossover operators are not used in artificial immune systems.

The mutation operator is an operator that can be used in both methods. The mutation operator makes it possible for algorithms to conduct fine-tuning operations in the process of reaching and discovering new solutions. To determine the ratio of mutation is essential in the mutation method. Generally, in artificial immune systems higher mutation ratios are selected while in GA the selection of ratios become at a rather low level (1%).

In both methods the number of generations to be used in reaching the solution is selected in the initial phase of the solution.

Even though the coding schemes and the evaluation functions are not generally different, evolutionary searching processes, inspiration sources, the terms used and the order of steps are different.

What makes GA successful is that it conducts searching operations in the whole population and that it focuses on the best possible would-be solution without being hindered by local possibilities. Artificial immune algorithms, when compared to GA, can reach various local optimal solutions; however, they have relatively little tendency towards the global optimum. Arising out of this, AIS is not as good as GA in terms of its performance in reaching the optimum solution in applications of optimization and static charting.

Dasgupta (25) has emphasized the importance of the following features regarding AIS as a problem-solving method and its success.

- Recognition
- Variation
- Learning
- Memory
- Distributed perception

evrimleştirilmesi süreçlerini taklit ederek optimizasyon problemleri için etkin algoritmalar geliştirilmiştir. Aniden ortaya çıkan yeni bir zararlı antijene karşı, doğal bağışıklık sisteminin geliştirdiği tepki sürecinde uyguladığı tanıma, hafıza, ve etkin antikorları üretme mekanizmaları dinamik çizelgeleme problemlerinin başarılı şekilde çözümü için kullanılmıştır. YBS, bu tip uygulamalarda da oldukça başarılı olmuştur.

## 5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, henüz oldukça yeni bir problem çözme tekniği olan yapay bağışıklık sistemleri incelenmiştir. Yapay bağışıklık sistemleri, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalara benzer şekilde, bazı biyolojik sistemlerin özet modelleridir ve bir çok alanda uygulaması bulunmaktadır.

Çalışmada öncelikle Yapay Bağışıklık Sistemleri'nde kullanılan doğal bağışıklık mekanizmaları, bu mekanizmalara dayanan algoritmalar verilmiştir. Bu mekanizmalara dayanan modeller ile farklı problemlerin çözümleri için yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmalardaki sonuçlara göre YBS farklı uygulama alanlarında oldukça tatmin edici sonuçlar vermiştir. Son yıllarda özellikle bilgisayar-ağ güvenliği, ve statik-dinamik iş çizelgeleme alanlarında gittikçe artan sayıda çalışma yapılmaktadır.

İlk olarak Bagley (1967) tarafından ortaya çıkarılan genetik algoritmalar son 30 yıldır birçok optimizasyon probleminin çözümünde optimum veya optimuma yakın çözümler sunmuştur (1). GA, popülasyonun tamamında arama yapmakta ve lokal optimalliğe takılmadan en iyi aday çözüme doğru odaklanmaktadır. Yapay bağışıklık algoritmaları ise GA'ya göre daha fazla lokal optimale ulaşabilmekte fakat global optimuma doğru nispeten daha az bir eğilim göstermektedirler. Literatürdeki çok amaçlı optimizasyon problemlerinde yapay bağışıklık algoritmaları iyi sonuçlar vermesine rağmen kombinatoriyel optimizasyon problemleri için mevcut algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir. Kuşkusuz yapılan az sayıdaki çalışma yetersiz kalmış, kurulan az sayıdaki algoritma ve çalışmalarda kullanılan nispeten benzer arama operatörleri benzer sonuçların ortaya çıkmasına neden olmuştur. YBS ise doğal bağışıklık sistemlerinin uygulanabilir özelliklerinden dolayı desen tanıma, bilgisayar ve ağ güvenliği ve dinamik çevrede iş çizelgeleme uygulamalarında GA veya diğer başka yöntemlere göre başarılı olmuştur.

Literatürde önerilen algoritmaların içindeki kopyalama, mutasyon vs. gibi süreçlerin iyileştirilmesi veya önerilen algoritmaların başka tekniklerle melezlenmesi ile daha kaliteli çözüm veren algoritmalar elde edilebilir. Algoritmaların çalışması sırasında dinamik şekilde değişen kopyalama ve mutasyon oranlarının zamanla düzenlenerek optimal şekilde belirlenmesi için öğrenme algoritmaları veya başka evrimsel sistemler (genetik algoritmalar gibi) kullanılabilir. Kötü antikorların tamamen silinmesi yerine tabu aramalarındaki gibi bir tabu listesi içinde saklanabilecekleri bir prosedür geliştirilebilir.

- Self-organising
- Threshold value mechanism
- Dynamic protection
- Approximate perception

These features make AIS more superior than GA or any other methods particularly in applications of computers and network security, in work charting problems in dynamic environments and in error-detection applications.

The number of studies has been increasing in recent years particularly in areas of applications of computers and network security and in work charting problems. About computer security, for instance, if we consider that virus and external threats can be regarded as harmful antigens for natural immune systems, it will not be difficult for us to predict that AIS can yield good results for these types of problems. Similarly, in the natural immune system, effective algorithms have been developed for optimization problems through the imitation of the processes in which antibodies at an optimal structure and number get improved and become evolutionary. The recognition mechanism, memory mechanism and the mechanism for generating effective antibodies that the natural immune system applies in the response process, which it has developed, have been used to solve the dynamic charting problems successfully against a new harmful antigen appearing all of a sudden. AIS has been quite successful in these types of applications.

## 5. RESULTS

In this study, artificial immune systems, which are presently quite a new problem-solving technique, have been investigated. Artificial immune systems, like the artificial neural network and genetic algorithms, are synoptic models of some biological systems and can be applied in a number of areas.

In the study, natural immune mechanisms used particularly in artificial immune systems and algorithms based on such mechanisms have been introduced. The models based on such mechanisms and the studies conducted to show the solutions of various problems have been explained. According to the results obtained in the studies, AIS have yielded quite satisfactory outcomes in different areas of application. An increasing number of studies are being conducted in recent years, particularly in such areas as computer-network security and static-dynamic task charting.

The genetic algorithms introduced first by Bagley (1967) have offered optimum or near-optimum solutions to many optimization problems throughout the last 30 years (1). GA conducts search operations in the whole population and focuses on the best possible would-be solution without being hindered by locally optimum solutions. Artificial immune algorithms, however, can become far closer to local optimal solutions than GA does; but they tend to become relatively less closer towards the global optimum. Even though the artificial immune algorithms yield better outcomes in multi-purpose optimization problems in the literature, it seems necessary to improve the existing algorithms in order to deal with combinatory optimization problems. Without doubt, there are few studies conducted in the area and they are inadequate; in addition, the very few algorithms, that have

been set up and the relatively similar search operators that have been used, have resulted in similar outcomes. AIS, on the other hand, have been more successful than GA and other methods in applications of pattern recognition, computer and network security, and task charting in dynamic environments due to the applicability features of natural immune systems.

More effective solutions can be obtained through the improvements of processes like copying, mutation and so on in the algorithms proposed in the literature or through the hybridization of the proposed algorithms via other techniques. The learning algorithms or other evolutionary systems (e.g., genetic algorithms) can be utilized in order for the copying and mutation ratios changing dynamically in the course of the functioning of the algorithms to get organized through time and thus be detected optimally. A procedure in which bad antibodies can be put out of sight in a tabu list as in tabu searches can be developed instead of removing them thoroughly.

#### REFERENCES/ KAYNAKLAR

1. Reeves, R., *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, **Mc Graw-Hill Book Company**, UK (1995).
2. Nasaroui, O., Dasgupta, D., Gonzales, F., "The Promise and Challenges of Artificial Immune System Based Web Usage Mining: Preliminary Results" *Workshop on Web Analytics at Second SIAM International Conference on Data Mining(SDM)*, Arlington, VA, April 11-13 (2002).
3. Trojanowski, K., Wierzchon, S.T., "Searching for Memory in Artificial Immune System", *The Eleventh International Symposium on Intelligent Information Systems*, June 3-6 (2002).
4. De Castro, L.N. and Timmis J., "A Novel approach to pattern recognition". In L Alonso, J Corchado, and C Fyfe, editors, *Artificial Neural Networks in pattern Recognition*, **University of Paisley**: 67-84 (2002).
5. Forrest, S., Perelson, A., Allen, L., "Self-Nonself Discrimination in a Computer", *Proceedings of the IEEE Symposium on Research in Security and Privacy*: 202-212 (1994).
6. De Castro, L.N. and 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).
7. De Castro, L.N. and Von Zuben F.J., "The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications", *GECCO 2000*, Las Vegas, Nevada, USA, July 8 (2000).
8. Forrest, S., and Hofmeyr S.A., "John Holland's Invisible Hand: An Artificial Immune System", *presented at the FESTSCHIRIFT* (1999).
9. Hofmeyr, S.A., Forrest, S., "Immunity by Design: An Artificial Immune System", *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO)*, San Francisco, CA, 1289-1296 (1999).
10. Somayaji, A., Hofmeyr, S.A., and Forrest, S., "Principles of a Computer Immune System", *Proceedings of the New Security Paradigms Workshop*, 75-81 (1997).
11. Costa, A.M., Vargas, P.A., Von Zuben, F.J. and Franca, P.M., "Makespan Minimization On Parallel Processors: An Immune-Based Approach", In the proceedings of the special sessions on artificial immune systems in the 2002 Congress on Evolutionary Computation, *2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Honolulu, Hawaii (2002).
12. Jensen, M., Hansen, T., "Robust solutions to job shop problems", [http://www-iiuf.unifr.ch/~wangl/immune\\_reference.html](http://www-iiuf.unifr.ch/~wangl/immune_reference.html) (02.09.2002).

13. Hart, E., Ross, P., Nelson, J., “Producing Robust Schedules via an Artificial Immune System”, *ICEC*, 464-469 (1998).
14. Mori,K., Tsukiyama,M and Fukuda,T., “Artificial Immunity Based Management System for a Semiconductor Production Line”, *In IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 1: 852-856 (1997).
15. Dasgupta, D., Forrest S., “Artificial Immune systems in Industrial Applications”, *In the proceedings of the Second International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of materials (IPMM)*, Honolulu, July 10-15 (1999).
16. Lee, D., Jun, H., Sim, B., “Artificial Immune System for Realization of Cooperative Strategies and Group Behaviour in collective Autonomous mobile Robots”, *Proceedings of 4th Int. Symp. On Artificial Life and Robotics*:232-235 (1999).
17. Dasgupta,D., Forrest,S. “Novelty Detection in Time Series Data Using Ideas From Immunology”, *Proceedings of the ISCA’96* (1996).
18. Russ, S.H., Lambert, A., King, R., Rajan, R.,and Reese R.,”An Artificial Immune System Model for task Allocation”, *Proceedings of Symposium on High Performance Distributed Computing* (1999).
19. Bagley, J.D., “The behavior of adaptive systems which employ genetic and correlation algorithms”, Doctoral dissertation, *University of Michigan.*, Dissertation Abstracts International, (University Microfilms 68-7556), 28(12): 5106B (1967).
20. Timmis, J., Neal, M.J., A resource limited artificial immune system for data analysis, Research and Development in Intelligent Systems XVII, *in Proc. of ES2000*,Cambridge, UK.:19-32 (2000).
21. Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*, *Addison Weley Publishing Company*,USA (1989).
22. Engin O., “Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasında parametre optimizasyonu”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2001).
23. Croce, F.D., Tadei, R., Volta,G., “A genetic algorithm for the job shop problem”, *Computers and Operations Research*, 22 (1) (1995).
24. Moscato, P., Fontanari, F.J., “ Stochastic versus deterministic update in simulated annealing”, *Physics Letters A*, 146(4):204-208 (1990).
25. Dasgupta, D., “An Overview of Artificial Immune Systems and Their Applications” in: *Artificial immune systems and their applications*”, *Springer-Verlag*: 3-18 (1998).