

GENETIC ALGORITHMS IN ENGINEERING APPLICATIONS AND THE FUNCTION OF OPERATORS

Berna BOLAT^{*1}, K. Osman EROL², C. Erdem İMRAK³

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Maslak-İSTANBUL

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Gümüşsuyu-İSTANBUL

Geliş/Received: 23.07.2004 Kabul/Accepted: 04.11.2004

ABSTRACT

Genetic Algorithms are research algorithms which are based on natural selection and natural genetic mechanism. In this paper, the definition and the principle as operators of the genetic algorithms have been introduced and (crossover and mutation) have been analyzed. Various studies have been carried out for the engineering applications of genetic algorithms and information has been given about these studies. In the last part of this paper, An explanatory example related to genetic algorithms has been given.

Keywords: Genetic Algorithms, crossover, mutation.

MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA GENETİK ALGORİTMALAR VE OPERATÖRLERİN İŞLEVLERİ

ÖZET

Genetik algoritmalar, doğal seleksiyon ve doğal genetik mekanizmasına dayanan araştırma algoritmalarıdır. Bu çalışmada, genetik algoritmaların tanımı ve çalışma prensibi ele alınmış ve kullanılan çaprazlama ve mutasyon operatörleri incelenmiştir. Genetik algoritmaların mühendislik alanlarındaki uygulamaları için literatür araştırması yapılmış ve bu çalışmalar hakkında bilgiler sunulmuştur. Çalışmanın son kısmında ise genetik algoritma ile ilgili açıklayıcı bir örnek verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Genetik algoritmalar, çaprazlama, mutasyon.

1. GİRİŞ

Sayısal optimizasyon yöntemlerinden olan genetik algoritmalar, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmakta ve geleneksel yöntemlerle, çözümü zor veya hemen hemen imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Genetik algoritmalar, deneysel çalışmalarda optimizasyon aşamasında, endüstriyel uygulamalarda ve sınıflandırmalarda uygulama alanı bulunmaktadır. Mühendislik alanında en çok optimizasyon amaçlı olarak kullanılmakta ve diğer klasik yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedir.

Genetik algoritmalar, bazı doğal olayları modelleyen stokastik algoritmalarıdır. Bu algoritmalar biyolojik evrimin işleyiş biçimini taklit eder.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail:balpan@yildiz.edu.tr, Tel: (0212) 259 70 70/2213

Genetik algoritmalar doğal seleksiyon ve mekanizmasına dayanan sayısal optimizasyon algoritmalarıdır. Evrimsel hesaplama ilk olarak I.Rechenberg tarafından “Evrimsel Stratejileri” eserinde tanıtılmıştır [1]. İlk olarak John Holland evrim sürecini bir bilgisayar yardımıyla kullanarak genetik algoritmaları oluşturmuştur [2]. Holland’ın öğrencisi D.E.Golddberg 1989 yılında bu konuda çıkardığı kitabıyla genetik algoritmaların çeşitli konularda kullanılabilceğini göstermiştir [3]. 1992 yılında John Koza genetik algoritmayı kullanarak genetik programlamayı geliştirmiştir [4].

Bu çalışmada, genetik algoritmanın işlevleri ve yapısı ele alınmıştır. Ayrıca bu konuda çeşitli mühendislik alanlarında yapılmış çalışmalar irdelenmiş, konuyu açıklayıcı bir örnek üzerinde operatörlerin uygulanması ve etkileri incelenmiştir.

2. MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA GENETİK ALGORİTMALAR İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Konuyla ilgili çalışmalar incelendiğinde, araştırma alanı geniş ve karmaşık ise, konuyla ilgili bilgi az veya eldeki bilgi araştırma alanını daraltmada yeterli değilse, matematiksel analiz elde edilemiyorsa veya geleneksel araştırma metodları ile başarısız olunmuş veya iyi sonuç alınmamışsa genetik algoritmalarından faydalanıldığı görülmüştür. İncelenen literatürden önemli olanları aşağıda özetlenmiştir.

So ve Chan, asansör kontrol sistemine genetik algoritmayı uygulamış ve ortalama bekleme zamanını bu yöntemle azaltmışlardır [5].

Tobita ve arkadaşları, asansör grup kontrol sisteminde kullanılan genetik algoritma için yeni bir metod tanıtmış, bina çevrimi ve çevre şartlarıyla diğer metodlar arasındaki farklılıkları anlatmışlardır [6].

Turğut ve Arslan, altı açıklıklı sürekli bir kirişte maksimum açıklık ve mesnet momentlerini veren hareketli yük kombinezonlarının genetik algoritmalarla otomatik bir şekilde düzenlenmesini incelemişlerdir. Sunulan metodun hesaplama hızı, tesir çizgileri yöntemi gibi klasik yöntemlerle yapılan çözüme kıyasla oldukça yüksek olduğunu göstermişlerdir [7].

Fırlalı ve Engin, optimum çözümü zor olan (NP-zor), çok makinalı akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözümünde etkili olan parametreler ile genetik algoritmanın çözüm performansını artıracak parametre setlerini belirlemişlerdir [8].

Kandiller ve Küçükali, deniz savaşında filo konuşlandırma problemi ve akaryakıt tüketimi simülasyonu üzerine çalışmışlardır. Ortaya çıkan maksimum alan kapsama problemin çözümü için bir genetik algoritma geliştirilmişlerdir. Genetik algoritma çözümü, akaryakıt tüketim incelenmesi için geliştirilen simülasyon modeline girdi olarak kullanmışlardır. Bu model yardımıyla harp durumu, akaryakıt tüketimi açısından simüle edilmiş ve yüzer birliklerin harbe devamlılık süreleri analizi yapılmıştır [9].

Öztürk ve Yılmaz, makina tasarım optimizasyonu problemlerinin çözümünde genetik algoritmayı kullanmışlardır. Klasik yöntemlerle çözümü, uzun zaman alan ve optimuma ulaşılması sürecinde iraksama veya lokal optimuma yakalama problemi içeren makina tasarım problemlerinin genetik algoritma yaklaşım ile optimizasyonunu açıklamışlardır [10].

Cortes ve arkadaşları ise asansör grup kontrolünü genetik algoritma ile analizini ve simülasyonunu yapmışlardır. Bu çalışmayla öğlen saatlerindeki yoğun trafik akışında yolcuların bekleme zamanı azaltmayı başarmışlardır [11]. Ele alınan problem asansör grup kontrollerinin analizi ve simülasyonu olduğundan, genetik algoritma uygulamasına elverişli olduğu görülmüştür.

Bekiroğlu ve arkadaşları, çalışmalarında genetik algoritmada değer kodlaması kullanarak kafes sistemlerinin minimum ağırlıklı tasarımını amaçlamışlar ve değer kodlaması kullanılarak hazırlanan programın kafes sistemlerin genetik algoritma ile minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılmasında etkin bir şekilde kullanıldığını göstermişlerdir [12].

Toğan yaptığı çalışmada genetik algoritma kullanarak çatı makaslarının farklı yüklemeler altında optimum tasarımlarını yapmıştır. Gerilme, burkulma ve çökme sınırlayıcılar göz önüne alınmış ve iki tip tasarım problemi incelemiştir. Önce çeşitli çatı makaslarının minimum ağırlıklı boyut optimizasyonları gerçekleştirilmiş daha sonra çatı makaslarının eleman kesit alanlarıyla birlikte optimum geometrilerini de bulacak şekilde boyut ve şekil optimizasyonları gerçekleştirilmiştir [13].

Bingül ve Söke yaptıkları çalışmada, farklı çaprazlama teknikleri kullanan genetik algoritma ve geliştirilmiş aşağı sol algoritmasının ortak kullanımıyla iki boyutlu giyontinsiz bir kesme problemine çözüm geliştirmişlerdir. 200x200 birimlik bir alan ile sınırlandırılmış bir büyük parça ve yerleşecek 29 adet birbirinden farklı düzgün dikdörtgen parçadan oluşan bir test problemi üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda aynı problem için, farklı çaprazlama tekniklerinin birbirinden çok farklı sonuçlar verdiğini görmüşlerdir [14].

3. GENETİK ALGORİTMALARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Genetik algoritmalar doğal seçim ilkesine dayanan bir sayısal optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritma, çözüm dizilerinden oluşan bir başlangıç nesliyle, çaprazlama ve mutasyon gibi doğal seçim operatörlerini kullanmaktadır.

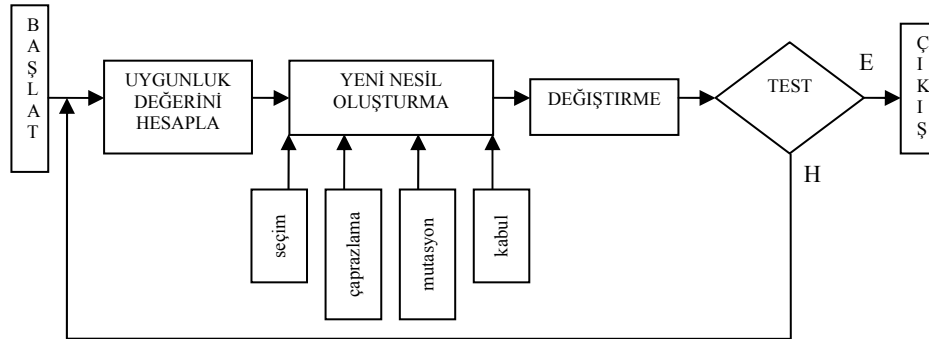
Genetik algoritmalar oldukça genel prensiplerle Şekil 1’de akış şemasında görüldüğü gibi çalışmaktadır. Öncelikle ele alınan problem için bir rastgele n kromozomlu populasyon oluşturulur. Daha sonra populasyondaki her bir kromozom için $f(x)$ uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Yeni bir populasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımlar tekrar edilir:

[Seleksiyon] : Uygunluk durumuna göre populasyondan iki tane kromozom, çaprazlanmak (crossover) amacıyla seçilir (çoğullama-reproduction). Burada uygunluk derecesi yüksek olanın seçilme şansı yüksektir.

[Çaprazlama] : Seçilmiş olan ebeveyn kromozomlar, çaprazlama oranına göre yeni bireyler oluşturmak üzere çaprazlanırlar. Eğer çaprazlama uygulanmazsa bireyler atalarının tamamen kopyası olacaktırlar.

[Mutasyon] : Kromozom üzerindeki bazı dizilerin (DNA dizilerinin) yerleri ile oynanarak belirli mutasyon oranına göre değişiklikler yapılır.

Yeni popülasyon kabul edildikten sonra, oluşturulan yeni populasyon eskileriyle yer değiştirilir. Hedeflenen uygunluk değerine ulaşıldığında program durdurulur ve populasyondaki en iyi çözüm alınır.



Şekil 1. Genetik algoritmanın genel akış şeması

Genetik algoritmalarda kromozomlarla bir başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulur. Burada popülasyon genişliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Büyük popülasyonlarda, çözüm

uzayı iyi örneklendiği için aramanın etkinliği artmakta, fakat buna bağlı olarak da arama süresi uzamaktadır. Küçük popülasyonlarda ise, çözüm uzayını yeterli örnekleyememe ve zamansız yakınsama oluşabilmektedir.

Genetik algoritmanın her çevriminde, yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla uygunluk değeri hesaplanır [15]. Uygunluk fonksiyonu, kromozomları problemin parametreleri haline getirmekte ve bunlara göre hesaplama yapmaktadır. Genellikle genetik algoritmaların başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlıdır.

Genetik algoritmada bağımsız parametrelerin kromozomlar içinde kodlanması gerekmektedir. İki çeşit kodlama yöntemi bulunmaktadır.

- 1- İkili kodlama: En yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Sayılar ikilik sisteme göre sıfır ve birden oluşmaktadır.
- 2- Permütasyonlu kodlama: Sıralama problemlerinde kullanılmaktadır. Her kromozom dizideki bir sırayı temsil eden sayılardan oluşmaktadır.

Çoğullama (reproduction), başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra yeni popülasyonun oluşturulabilmesi için seçim yöntemine karar verilmesi gerekmektedir ve yüksek uyuma sahip bireylerin seçilme olasılığı daha fazla olmaktadır. Burada yüksek uyuma sahip bireyin bir sonraki kuşağa kopyalanması hedeflenmiştir. Seçim yöntemi olarak geliştirilmiş birçok yöntem bulunmakla beraber, rulet çemberi, turnuva ve elitist seçim yöntemleri en yaygın kullanılanlardır.

Rulet Çemberi Seçim Yöntemi ilk defa Holland tarafından ortaya çıkarılmıştır [2]. Burada tüm bireylerin uygunluk değerleri bir çizelgede yazılır ve bu değerler toplanır. Tüm bireylerin uygunluk değerleri toplama bölünerek (0,1) aralığında sayılar elde edilir ve sayıların hepsi bir çizelgede toplanır. Çizelgedeki sayılar birbirine eklenerek rastgele olarak bir sayıya kadar ilerlenir ve bu sayıya ulaşıldığında son eklenen sayının ait olduğu çözüm seçilmiş olur.

Turnuva Seçim Yönteminde yerine koyarak ya da koymadan rastgele t adet birey seçilir ve bu büyüklüğe turnuva genişliği adı verilir. Bu gruptaki en iyi birey, yeni popülasyona kopyalanır. Bu işlem kullanıcı tarafından önceden kararlaştırılan çevrim sayısı kadar tekrarlanır.

Elitist Seçim Yönteminde popülasyonun en iyi bir bireyi korunup, popülasyonun geri kalan elemanlarını uyum orantılı seçim yöntemlerinden birini kullanarak yeni bireyler ile değiştirilir. Burada hedef en iyi uyum değerine sahip bireyin, genetik operetörler kullanıldığında kaybolmasını önlemektir.

Yeni çözümler elde etmek için seçim yönteminden sonra uygulanan çaprazlama ve mutasyon adı verilen iki genetik operatör vardır.

3.1. Çaprazlama Operatörü

Çaprazlama, genetik algoritma uygulamalarında en önemli operatördür. Çaprazlamada bireylerdeki iyi özellikleri birleştirerek daha iyi çözümler yaratması beklenir.

Ele alınan probleme bağlı olarak, kullanıcı tarafından seçilen 4 farklı çaprazlama operatörü bulunmaktadır.

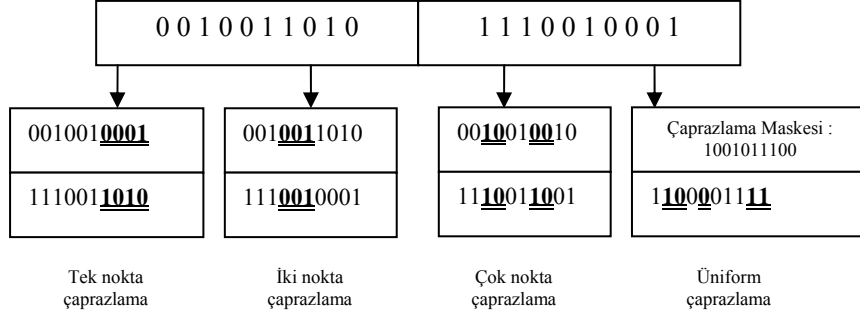
- Tek nokta çaprazlama
- İki nokta çaprazlama
- Çok nokta çaprazlama
- Üniform Çaprazlama

Çaprazlama operatörlerin uygulamaları aynı örnek üzerinde Şekil 2'de görülmektedir. Tek nokta çaprazlama, genetik algoritmanın kullandığı en basit çaprazlamadır. Rastgele seçilen kromozom çiftine çaprazlama uygulanır. Tek nokta çaprazlama işlemi için kromozomda çaprazlama yapılacak bölge kullanıcı tarafından rastgele seçilebilir. Oluşan yeni birey ebeveynlerin bazı özelliklerini alarak her ikisinin kopyası olacaktır [16].

İki nokta çaprazlamada iki nokta arasında kalan alt dizilerin değiştirilmesiyle iki yeni birey elde edilir.

Çok nokta çaprazlama yöntemi, iki nokta çaprazlamanın gelişmiş bir halidir. Kromozomlar daha fazla parçalara ayrılır ve bir atlanarak elde edilen çiftler arasında değiştirilerek yeni bireyler elde edilir.

Üniform çaprazlamada rastgele olarak çaprazlama maskesi oluşturulur. Birinci ve ikinci kromozoma karşılık gelen genin kopyalanmasıyla yaratılır. Çaprazlama maskesinde bir o genin birinci kromozomdan, sıfır ise o genin ikinci kromozomda kopyalanacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 2. Çaprazlama yöntemleri ve etkileri

İki kromozomdan çaprazlama yapılmış elemanlar, Şekil 2’de her bir çaprazlama operatörü için altı çizili olarak gösterilmiştir.

3.2. Mutasyon Operatörü

Genetik algoritmalarda bir diğer operatör olan mutasyon oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önlemek ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır [17]. Örneğin, ikili bir kodlamanın kullanıldığı bir dizide mutasyon operatörü ile rastgele olarak seçilen eleman değeri 1 ise 0 veya 0 ise 1 olarak değiştirilerek yeni bir dizi elde edilir. Mutasyon operatörü olarak, ele alınan problemin yapısına göre en uygun olan aşağıdakilerden biri seçilir.

- Ters çevirme
- Ekleme
- Yer değişikliği
- Karşılıklı Değişim

Mutasyon operatörlerinin uygulamaları Şekil 3’de görülmektedir. Şekilde altı çizili olarak verilen eleman değerleri mutasyona uğramış elemanları göstermektedir. Ters çevirmede, kromozomdan rastgele iki pozisyon seçilir ve iki ucu arasında ters çevrilir. Eklemede ise rastgele bir parça seçilir ve rastgele bir yere yerleştirilir. Yer değişikliği mutasyonunda, rastgele bir alt dizi seçilir ve rastgele bir yere yerleştirilir. Karşılıklı değişim mutasyonunda, rastgele seçilen iki genin yerleri değiştirilir.

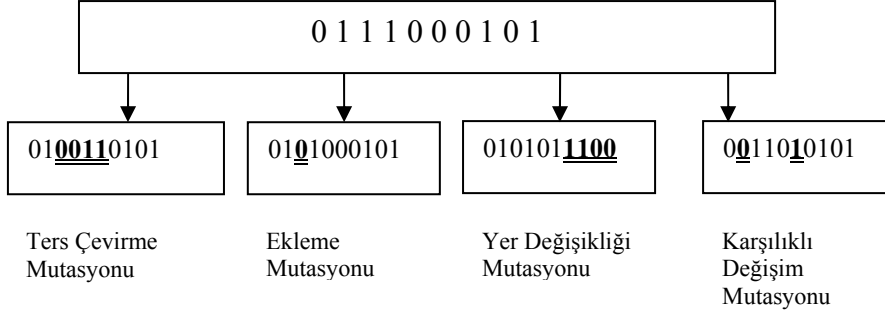
4. GENETİK ALGORİTMANIN BİR FONKSİYON OPTİMİZASYONUNDA UYGULAMASI

Genetik algoritmaların nasıl çalıştığını göstermek için tek değişkenli bir fonksiyonun optimizasyonu örnek olarak ele alınmıştır [18]. Fonksiyon $F(x) = x^2$ olup $0 \leq x \leq 31$ aralığında fonksiyonu maximum eden x değerini bulmaktır. Çözümü zor olmayan bu fonksiyonu elle çözülebilmekte ve $x = 31$ için en yüksek değer vereceği açıkça görülmektedir. Problemin çözümü

için ikili kodlama kullanılmış ve kromozomlar 5 bitlik dizilerden oluşturulmuştur. İlk populasyon oluşturulmuş ve maximum değer olarak 24 ($2^4 = 576$) elde edilmiştir. Problemin çözümü için çaprazlama ve mutasyon olmak üzere iki temel genetik operatör kullanılmıştır. Çizelge 1’de $F(x)$ fonksiyonun başlangıç populasyonu ve uygunluk değerleri gösterilmiştir. Fonksiyonun ortalama değeri,

$$\bar{F}_i = \sum \frac{x^2}{4} = \frac{1170}{4} = 293 \quad (1)$$

olarak elde edilir.



Şekil 3. Mutasyon yöntemleri ve etkileri

Çizelge 1. Başlangıç populasyonu ve uygunluk değeri çizelgesi

	Başlangıç Populasyonu	x	x^2	$F_i / \sum F_i$	\bar{F}_i / F_i
1	01101	13	169	$169 / 1170 = 0,14$	$169 / 293 = 0,58$
2	11000	24	576	$576 / 1170 = 0,49$	$576 / 293 = 1,97$
3	01000	8	64	$64 / 1170 = 0,06$	$64 / 293 = 0,22$
4	10011	19	361	$361 / 1170 = 0,31$	$361 / 293 = 1,23$

Çizelge 1’de bulunan F_i / F_i değerleri dikkate alınarak yapılan çaprazlama neticesinde ele alınan fonksiyonun çaprazlama değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çaprazlama Çizelgesi

	Populasyon Havuzu	Eşleştirme	Çaprazlama
1	0110 / 1	2	4
2	1100 / 0	1	4
3	11 / 000	4	2
4	10 / 011	3	2

Çizelge 2’de görülen çaprazlama işleminden sonra ele alınan fonksiyon yeni populasyonu ve uygunluk değeri Çizelge 3’de görülmektedir. Burada F_i değeri

$$\bar{F}_i = \sum \frac{x^2}{4} = \frac{1754}{4} = 439 \quad (2)$$

elde edilmiştir.

Çizelge 3. Yeni popülasyon ve uygunluk değerleri

	Yeni Popülasyon	x	x^2	F_i / \bar{F}_i
1	01100	12	144	$144 / 439 = 0,32$
2	11001	25	625	$625 / 439 = 1,42$
3	11011	27	729	$729 / 439 = 1,66$
4	10000	16	256	$256 / 439 = 0,58$

Çizelge 3’de görülen üçüncü satırdaki yeni popülasyondan **11011** kromozomuna mutasyon uygulandığında **11111** değeri elde edilir. İkili kodda bulunan (11111) değerinin ondalık karşılığı ise $(11111)_2 = 31_{10}$ olacaktır. Bu ise aranan maksimum x değeridir.

5. SONUÇ

Genetik algoritmalar, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmakta ve geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya hemen hemen imkansız olan problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanım imkanı bulmaktadır. Mühendislik alanında, daha çok optimizasyon için kullanılmakta ve diğer klasik yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, genetik algoritma yöntemi genel hatlarıyla incelenmiş ve en iyi bireyi elde etmek için kullanılan çaprazlama ve mutasyon operatörleri, yapıları ve kullanım yerine göre özellikleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ele alınan bir örnek problemde, çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak üçüncü nesilde mutasyon uygulanarak en iyi sonuç elde edilmiş ve böylece genetik algoritma ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritmalar, ele alınan basit problemlerden, daha zor ve hesaplaması daha karmaşık matematiksel ifadelerle (türev ve integral gibi) ve değişik mühendislik alanlarındaki optimizasyon probleminde başarılı ve tatminkar neticeler vermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Rechenberg, I., “Evolutionstrategie (Evolution Strategy)”, Frommann-Holzboog, Stuttgart, 1973.
- [2] Holland, J.H., ”Adaptation in Natural and Artificial Systems”, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [3] Goldberg, D.A., ”Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning”, Addison- Wesley Publ., Reading, 1989.
- [4] Koza, J.R., ”Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection”, MIT Press, 1992.
- [5] So, A.T.P., Chan W.L., “Comprehensive Dynamic Zoning Algorithms”, Elevator World, 99-103, 1997.
- [6] Tobita, T., Segawa K., Fujino A., Yoneda, K., Ichikawa, Y., “A Parameter Tuning Method for an Elevator Group Control System Using a Genetic Algorithm”, Electrical Engineering in Japan, 124: (1), 55-64, 1998.
- [7] Arslan, A., Turgut.P., “Sürekli Bir Kirişte Maksimum Momentlerin Genetik Algoritmalar ile Belirlenmesi”, DEÜ Mühendislik Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 3: (3), 1-9, 2001.
- [8] Engin.O., Fırlalı, A., “Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı ile Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi”, Doğu Üniversitesi Dergisi, 6, 27-35, 2002.

- [9] Kandiller, L., Küçükali, B., "Deniz Harbinde Filo Konuşlandırma Problemi ve Akaryakıt Tüketim Simülasyonu", SAVTEK 2002, Savunma Teknolojileri Kongre Bildiri Kitabı, 263-272, ODTÜ, Ankara, Ekim 2002.
- [10] Yılmaz, E., Öztürk, F., "Makine Tasarım Optimizasyon Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözümü", Proceedings of the International 12th Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks TAINN-03, 210-212, 2003.
- [11] Cortes, P., Larraneta, J., Onieva, L., "Genetic Algorithm for Controllers in Elevator Groups: Analysis and Simulation During Lunchpeak Traffic", Applied Soft Computing, 4:(2), 59-174, 2004.
- [12] Bekiroğlu, S., Ayvaz, Y., Dede, T., "Değer Kodlaması Kullanılarak Kafes Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması", 3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara, Ağustos 2003
- [13] Toğan, V., Daloğlu, A., "Genetik Algoritma ile Çatı Makaslarının Şekil ve Boyut Optimizasyonu", 3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara, Ağustos 2003 .
- [14] Bingül, Z., Söke, A., "Genetik Algoritmaların Farklı Çaprazlama Teknikleriyle İki Boyutlu Kesme Problemlerine Uygulanışı", Politeknik Dergisi, 7: (1), 1-11, 2004.
- [15] Dengiz, B., Altıparmak, F., "Genetik Algoritmalar", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11: (3), 523-541, 1998.
- [16] Eksin, I., Erol, O.K., "Evolutionary Algorithm with Modifications in the Reproduction Phase" IEE Proceedings-Software, 148 (2), 75-80, 2001.
- [17] Kurt, M., Semetay, C., "Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları", Mühendis ve Makina, 42 (501), 19-24, 2001.
- [18] Ertuğrul, Ş., "Intelligent Systems and Soft Computing", Yüksek Lisans Ders Notu, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.