



## Teknik Not

# Evrimsel Algoritmaların İnşaat Mühendisliği Sistemlerinde Kullanımı

Şaban YURTCU, Yılmaz İÇAĞA

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar

## ÖZET

Evrimsel Algoritmalar (EA), doğal seleksiyon ve doğal genetik mekanizmasına dayanan araştırma algoritmalarıdır. Evrimsel algoritmalar formülize edilişlerine göre genetik algoritmalar, evrimsel programlama, evrim stratejileri ve genetik programlama gibi değişik isimlerle anılmaktadırlar.

Bu çalışmada, bir çok farklı alanda başarıyla uygulanmalarından dolayı son yıllarda büyük ilgi gören, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturan genetik algoritmalar teknik yönleri ve temel prensipleri ile tanıtılmıştır. Ayrıca genetik algoritmaların İnşaat Mühendisliği alanındaki uygulamaları için literatür taraması yapılmış ve bu çalışmalar ve sonuçları hakkında bilgi sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Genetik algoritma, doğal seleksiyon, evrim stratejileri, genetik programlama.

## 1. GİRİŞ

Genetik algoritmalar yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Genetik algoritma doğada en iyinin yaşaması kuralından esinlenerek oluşturulan, bir veri öbeğinden özel bir veriyi bulmak için kullanılan bir arama yöntemidir. Genetik algoritmalar geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Herhangi bir problemin genetik algoritma ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek suretiyle yapılmaktadır [1].

Evrimsel hesaplama ilk olarak 1960'larda I. Rechenberg tarafından "Evrimsel Stratejileri (Evolutionstrategie)" isimli eserinde tanıtılmıştır [2]. Onun fikri daha sonra başka araştırmacıların da ilgisini çekmiş ve geliştirilmiştir. John Holland evrim sürecinin bir bilgisayar yardımıyla kullanılarak, bilgisayara anlayamadığı çözüm yöntemlerinin öğretilebileceğini düşündü. Evrimsel Algoritma (EA) böylece John Holland tarafından bu düşüncenin bir sonucu olarak bulundu. Onun öğrencileri ve arkadaşları tarafından geliştirildi ve bu sayede Holland'ın kitabı "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaptation in Natural and Artificial Systems)" 1975 yılında yayınlandı [3].

Genetik algoritmalar, deneysel çalışmalarda optimizasyon aşamasında, endüstriyel uygulamalarda ve sınıflandırmalarda uygulama alanı bulmaktadır. İnşaat mühendisliği alanında en çok optimizasyon amaçlı olarak kullanılmakta ve diğer klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında iyi sonuç verdiği görülmektedir.

## 2. GENETİK ALGORİTMALAR

Genetik algoritmalar, bazı doğal olayları modelleyen stokastik bir arama yöntemidir. Biyolojik evrimin işleyiş biçimini taklit eden, doğal seleksiyon mekanizmasına dayanan sayısal optimizasyon algoritmalarıdır [4]. Darwin'in en iyi olan yaşar (survival of the fittest) prensibine dayalı olarak bir popülasyonu oluşturan bireylerin rekabet etmelerini sağlayan, evrimsel süreci taklit eden Genetik algoritmalar ilk olarak John Holland tarafından ortaya atılmıştır [3]. Genetik algoritma tekniği, çözüm uzayının büyüklüğüne rağmen iyi bir çözüme kısa zamanda yakınsamaktadır [5].

Genetik algoritma evrim sürecinden etkilenecek, canlılarda yaşanan genetik sürecin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi işlemidir. İşlemler bilgisayar hafızasına depo edilmiş kromozomlar üzerinde icra edilmektedir. Çaprazlama operatörü vasıtasıyla, kromozomlar arasındaki genetik bilgi sürekli olarak değişmekte ve topluluğun başarısı artmaktadır.

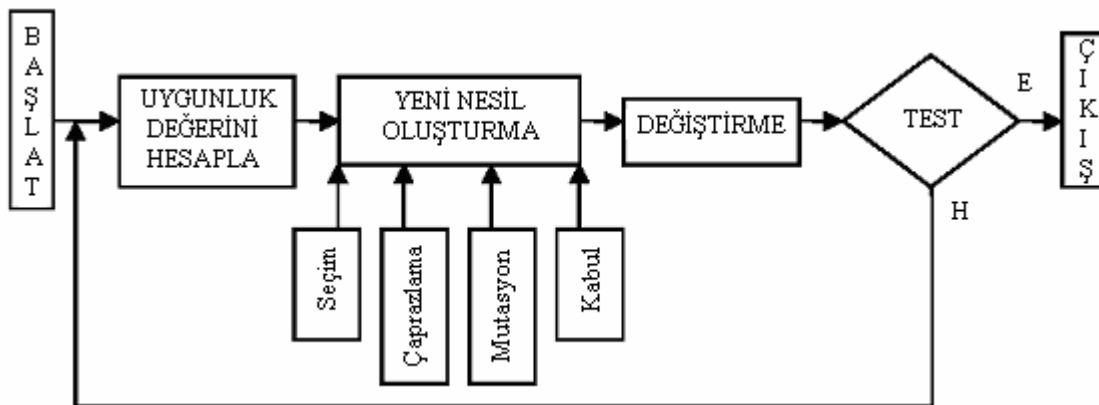
### 2.1. Çalışma Prensibi

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 [6].

Genetik algoritmada bağımsız parametrelerin kromozomlar içinde kodlanması gerekmektedir. Yığındaki her birey ikili düzende veya tamsayı olarak kodlanmaktadır.

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

1. Seleksiyon (Seçim): İki ebeveyn kromozomun  $f(x)$ 'e göre seçimi, burada uygunluk derecesi yüksek olanın seçilme şansı yüksektir.
2. Çaprazlama: Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanması. Eğer çaprazlama uygulanmazsa bireyler atalarının tamamen kopyası olacaklardır.
3. Mutasyon: Kromozom üzerindeki bazı genlerin değerleri değiştirilerek nesillerin yozlaşması önlenir.
4. Ekleme: Yeni bireyin yeni topluma eklenmesi,
5. Değiştirme: Algoritmanın yeniden çalıştırılmasında oluşan yeni toplumun kullanılması,
6. Test: Eğer sonuç tatmin ediliyorsa algoritmanın sona erdirilmesi ve son toplumun çözüm olarak sunulması,
7. Döngü: 2. adıma geri dönülmesi [7].



Şekil 1. Genetik algoritmanın genel akış şeması [4].

Yeni popülasyon kabul edildikten sonra hesaplama yeni popülasyonla tekrarlanır. Hedeflenen uygunluk değerine ulaşıldığında program durdurulur ve popülasyondaki en iyi çözüm alınır.

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 [4].

Genetik algoritmanın her çevriminde, yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla uygunluk değeri hesaplanır [8]. Uygunluk fonksiyonu her bir çözümün yeni nesil çözümlere katkı sağlayıp sağlamayacağına karar verir. Sonrasında insan üremesindeki gen transferine benzer operasyonlar kullanan algoritma yeni bir çözüm adayı popülasyonu oluşturur. Genellikle genetik algoritmaların başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlıdır [9].

### 2.1.1. Seçim Operatörü

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra yeni popülasyonun oluşturulabilmesi için seçim yöntemine karar verilmesi gerekmekte ve yüksek uyuma sahip bireylerin seçilme olasılığı daha fazla olmaktadır. Seçim operatörleri ile tıpkı gerçek doğada olduğu gibi en iyilerin hayatta kalması sağlanmaktadır. Seçim operatörü ile seçilmiş olan bireyler çaprazlama havuzuna girmeye hak kazanırlarken seçilemeyen bireyler yok olmaktadır. Seçim yöntemi olarak geliştirilmiş bir çok yöntem bulunmakta beraber, rulet çemberi, turnuva ve elitist seçim yöntemleri en yaygın kullanılanlardır. Goldberg, Turnuva, Rulet Çemberi gibi farklı seçim operatörlerinin avantaj ve dezavantajlarından bahsetmiştir [10].

Rulet Çemberi yöntemi ile üreme işlemi gerçekleştirilir. Bu seçim yönteminde tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır 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 yada 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 operatörler kullanıldığında kaybolmasını önlemektir [4].

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

### 2.1.2. Çaprazlama Operatörü

Kromozomların nasıl temsil edileceğine karar verildikten sonra yapılan çaprazlama, genetik algoritma uygulamalarında en önemli operatördür. Çaprazlama ile ebeveynlerden bazı genler alınarak yeni bireyler oluşturulur.

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

- Tek nokta çaprazlama
- İki nokta çaprazlama
- Çok nokta çaprazlama

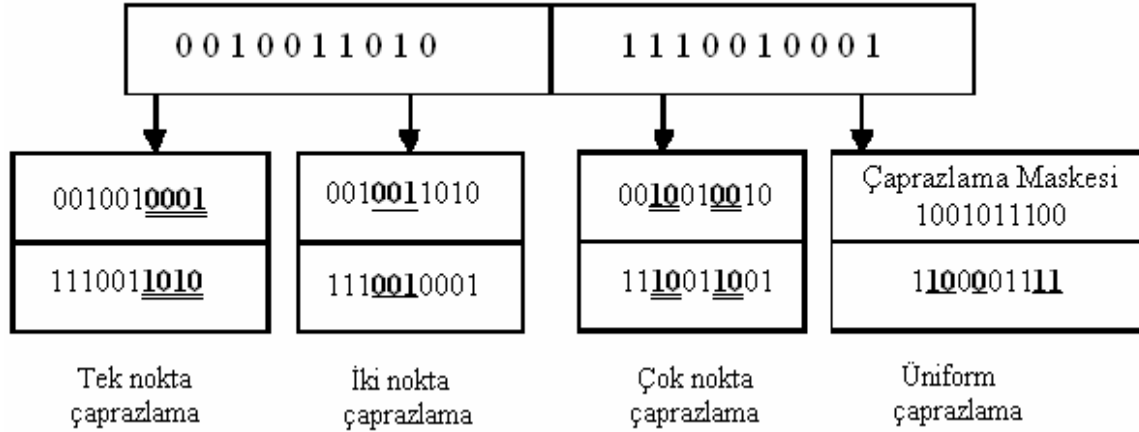
- Uniform çaprazlama [11].

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 [12].

İki nokta çaprazlamada iki nokta arasında 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.

Uniform çaprazlamada rastgele olarak çaprazlama maskesi oluşturulur. Birinci ve ikinci kromozoma karşılık gelen genin kopyalanmasıyla oluşturulur. Çaprazlama maskesinde bir 0 genin birinci kromozomdan, sıfır ise o genin ikinci kromozomda kopyalanacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 2. Çaprazlama yöntemleri ve etkileri [4].

İki kromozomdan çaprazlama yapılmış elemanlar, Şekil 2’de her bir çaprazlama operatörü için altı çizili olarak gösterilmiştir [4].

### 2.1.3. Mutasyon Operatörü

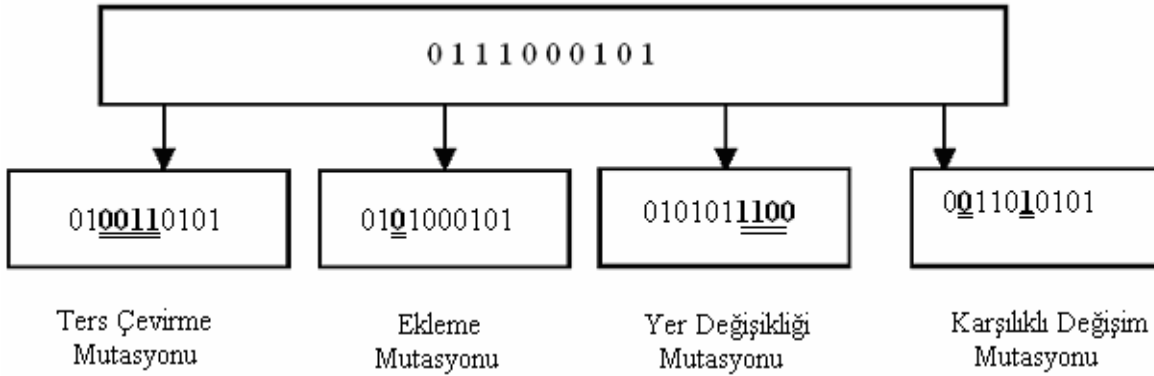
Mutasyon oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önlemek ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla yapılır [13].

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 çizgili olarak verilen eleman değerleri mutasyona uğramış elemanları göstermektedir. Ters çevirmede, mutasyon için seçilen kromozomdan iki pozisyon rastsal olarak seçilir ve bu iki pozisyondaki alt diziler ters çevrilir [14]. 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.



Şekil 3. Mutasyon yöntemleri ve etkileri [4].

### 3. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ SİSTEMLERİNDE EVRİMSEL ALGORİTMALAR İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Genetik algoritmaların inşaat mühendisliği alanında kullanımı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, araştırma alanı çok büyük boyutlu ve karmaşık ise, matematik analiz ile çözüm mümkün değilse veya geleneksel araştırma yöntemleri ile başarısız olunmuş veya iyi sonuç alınamamış ise optimum çözüme ulaşmak için genetik algoritmalarından faydalandığı görülmüştür. İncelenen yurt içi ve yurt dışı literatürden önemli olanları aşağıda özetlenmiştir.

#### 3.1. Betonarme

Sahab ve arkadaşları, yapılan çalışmada binalarda düz plaka betonarme betonu için genetik algoritma değişimine dayanarak iki aşamalı melez optimizasyon algoritması kullanmışlardır. İlk aşamada yüzey araştırma tasarımı, ikinci aşamada Jeeves ve Hooke metodlarının genetik algoritma ile çözümü kritiğe tabi tutulmuştur. Sonuç olarak optimum çözüm için genetik algoritma ile çözümden önce yeterli miktarda değerlendirme fonksiyonu sağlanması gerektiğine karar verilmiştir [15].

Sahab ve arkadaşları, binadaki her bir kolon ve döşeme boyutlarının bulunması ve betonarme plak betonu için optimum maliyetin hesaplanmasında başarılı şekilde melez optimizasyon algoritmalarını kullanmışlardır [16].

Lagaros ve arkadaşları, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturan genetik algoritmalar ve evrim stratejilerini, büyük ölçekli yapısal boyutlandırma problemlerinde kullanarak şekil ve boyut optimizasyonlarını gerçekleştirmişlerdir [17].

Govindaraj ve arkadaşları, Hindistan standartları şartnamelerini esas alarak sürekli kiriş betonarme betonunun optimum detaylı tasarımı için genetik algoritmaları uygulamış rasyonel, güvenilir, ekonomik ve kullanışlı tasarım elde etmişlerdir [18].

Çağdaş çalışmasında, betonarme döşemelerin akma çizgisi yöntemiyle çözümünde akma çizgisi deseninin belirlenmesi için genetik algoritma tekniğini uygulamıştır. Alışılmış döşemelerin yanı sıra değişik geometrilere sahip döşemeler, değişik mesnetlenme ve yükleme koşullarında analiz edilmiştir [19].

Kaya çalışmasında, yüksek kirişlerde donatı çaplarının optimum tasarımını gerçekleştirmek üzere kesit özellikleri pratikte hazır olan standart kesitlerden seçebilen bir genetik yaklaşım sunulmaktadır. Değerlendirme, seçim, kopyalama, çaprazlama, ve mutasyon operatörlerinden oluşan genetik algoritma

kullanılarak yüksek kiriş elemanları için üzerlerine etki eden yükleri belli bir emniyetle taşıyacak şekilde yatay ve düşey ortogonal donatı çapları belirlenmiştir. Yüksek kirişlerin ACI' da belirtilen koşullara göre analizi yapılarak ACI' nin yüksek kirişlerin analizinde uygulamada karşılaşılan güçlükler ve sınırlamalar ortaya konmuştur. Aynı problemlerin geliştirilen bilgisayar programı ile de analizi yapılarak bu programın ne derece kullanışlı olduğu ortaya konmuştur [20].

Daloğlu ve arkadaşları yapılan çalışmada , düzlem çelik çerçevelerin optimum tasarımı gerçekleştirmek üzere kesit özelliklerini pratikte hazır olan standart kesitlerden seçebilen bir genetik yaklaşım sunulmaktadır. Kopyalama, çaprazlama ve değişim operatörlerinden ibaret olan basit genetik algoritma kullanılmış ve yapı gerilme, stabilite ve izin verilebilen maksimum deplasman sınırlayıcıları altında boyutlandırılmıştır. Bileşik gerilme sınırlayıcısı TS 648'e göre dikkate alınmıştır. Yöntemin uygulanabilirliğini göstermek üzere çeşitli sayısal örnekler verilmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla örnekler literatürden seçilmiştir [21].

### 3.2. Statik

Toğan ve Daloğlu, genetik algoritma kullanarak, çeşitli paralel başlıklı düzlem kafes sistemlerin boyut ve şekil optimizasyonlarını gerçekleştirmiş ve sonuçta sistem ağırlılığının minimize edilebileceğini göstermişlerdir [22].

Turgut 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 [23].

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 [24].

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 [25].

### 3.3. Zemin

Zolfaghari ve arkadaşları, Zemin kayma stabilitesi analizinde deprem ve bina yükü etkisinin araştırılması için genetik algoritmaları başarıyla kullanmıştır [26].

Morcous ve arkadaşları çok büyük boyutlu ve karmaşık bir yapıya sahip olan alt yapı şebeke sistemlerinin bakım optimizasyonu için genetik algoritmaları başarılı bir şekilde uygulamışlardır [27].

### 3.4. şantiye

Wang ve arkadaşları, çevresel bina tasarımında optimal çözüme ulaşmak için genetik algoritmaları başarıyla uygulamışlardır [28].

Perng ve arkadaşları, tarihi binaların onarımında optimal bütçe tasarımı için genetik olgoritmaları uygulamışlardır. Uygulama sonunda genetik algoritma metodunun geleneksel metotlardan daha etkili ve ekonomik karar önerdiğini tespit etmişlerdir [29].

Fairbairn ve arkadaşları, kütle beton yapılarının inşasında (malzeme cinsi, ortam sıcaklığı, pompa yüksekliği vb. kriterleri kullanarak) optimum inşaat maliyetini elde etmek için genetik algoritmaları başarıyla uygulamışlardır[30].

### 3.5. Ulaştırma

Ceylan ve arkadaşları, GA'ların şehirlerarası ulaşım talep tahmin modellerinde kullanılabilirliği araştırmış ve oluşturulan modeller yardımı ile 2025 yılına kadar ülkemizde şehirler arası yollarda beklenen yolcu, yük ve taşıt hareketi talepleri bulunmuş ve hesaplanan değerler Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırılarak uzun dönemli planlama için talep yönünden bir değerlendirme yapılarak öneriler sunulmuştur [7].

### 3.6. Su

Uçaner ve arkadaşları, İçme suyu şebekelerinde ek klorlamanın yapılacağı yerler, klor miktarı ve düzeninin bulunmasında Genetik Algoritmaları kullanmışlardır. Uygulanma sonucu mevcut klorlama stratejisinin geliştirilebileceği görülmüştür [5].

Baylar ve arkadaşları, Su kaynakları sistemlerindeki dinamik, lineer ve lineer olmayan optimizasyon problemlerini Genetik Algoritmalar ile hesaplamışlardır. Bu amaçla, Genetik Algoritma esaslı bir optimizasyon programı geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, genetik arama metodunun hassas sonuçlar verdiği gözlenmiştir [31].

Karahan ve arkadaşları, Aylık akış serilerinin modellenmesinde Genetik Algoritma (GA) tekniğini uygulamışlardır. Çalışma sonuçları, GA yaklaşımının akış serilerindeki eksik verilerin tamamlanmasında ve geleceğe yönelik akış tahmininde kullanılabilceğini göstermiştir [32].

## 4. SONUÇ

Evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturan genetik algoritmalar geleneksel yöntemlerle yapılan çözümlerin yanında, geleneksel yöntemlerle çözümü zor olan veya çözülemeyen problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanım imkanı bulmaktadır. Mühendislik çalışmalarında, daha çok optimizasyon için kullanılmakta ve diğer klasik yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Bu çalışmada genetik algoritma yöntemi teknik yönleri ve temel prensipleri ile incelenmiş ve en iyi bireyi elde etmek için kullanılan çaprazlama ve mutasyon operatörleri, yapıları ve kullanım yerine göre özellikleriyle karşılaştırmalı olarak gözden geçirilmiştir. Son olarak genetik algoritmaların İnşaat Mühendisliği alanındaki uygulamaları için yurt içi ve yurt dışı literatür taraması yapılmış ve bu çalışmalar ve sonuçları hakkında bilgi sunulmuştur.

## KAYNAKLAR

1. ELMAS, Ç., 2003. Bulanık Mantık Denetleyiciler, Birinci Baskı, s. 24, Seçkin Yayınevi, ss. 225, Ankara.
2. RECHENBERG, I., 1973. Evolution strategy: optimization of technical systems according to the principles of biological evolution (in German), Frommann-Holzboog, Stuttgart.
3. HOLLAND, J., 1975. Adaptation in natural and artificial systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich.

4. BOLAT, B., EROL, K., ve İMRAK, C., 2004. Genetic Algorithms in Engineering Applications and the Function of Operators” Journal of Engineering and Natural Sciences, s. 264-265, Sigma.
5. UÇANER, M., ve ÖZDEMİR, O., 2002. Genetik Algoritmalar ile İçme Suyu Şebekelerinde Ek Klrlama Optimizasyonu, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 17, No 4, 157-170.
6. PAPADRAKAKİS, M., and LAGAROS, N.D., 1994. Advances in Structural Optimization, Institute of Structural Analysis and Seismic Research, National Technical University, Zografou Campus, GR-157 73 ,Civil-Comp Press, Athens, Greece.
7. CEYLAN, H., ve HALDENBİLEN, S., 2005. Şehirler Arası Ulaşım Talebinin Genetik Algoritma ile Modellenmesi, İMO Teknik Dergi, Yazı 238, 3599-3618.
8. DENGİZ, B., ve ALTIPARMAK, F., 1998. Genetik Algoritmalar, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11: (3), 523-541.
9. LUGER, G. F., 2002. Artificial Intelligence, Structures and Strategies for Complex Problem Solving, Fourth Edition, at page 471, Harlow, England: Addison-Wesley.
10. GOLDBERG, D. E., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley, Mass.
11. CHENG, R., GEN.M., ve TSUJIMURA,Y., 1999. A Tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms: Part II. Hybrid Genetic Search Strategies, Computers and Industrial Engineering 37, 51-55.
12. EKSİN, I., ve EROL, O. K., 2001. Evolutionary Algorithm with Modifications in the Reproduction Phase, IEE Proceedings-Software, 75-80, 148 (2).
13. KURT, M., ve SEMETAY, C., 2001. Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları, Mühendis ve Makine, 42 (501), 19-24.
14. ENGİN, O., 2001. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözümün Performansının Artırılmasında Parametre Optimizasyonu, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
15. SAHAB, M.G., ASHOUR, A.F and TOROPOV, V.V., 2005. Cost optimisation of reinforced concrete flat slab buildings, Engineering Structures 27, 313–322.
16. SAHAB, M.G., ASHOUR, A.F and TOROPOV, V.V., 2005. A hybrid genetic algorithm for reinforced concrete flat slab buildings, Computers and Structures 83, 551–559.
17. LAGAROS, N.D., PAPADRAKAKİS, M., and KOKOSSALAKİS, G., 2002. Structural optimization using evolutionary algorithms, Computers and Structures, 80, 571–589.
18. GOVİNDARAJ, V., and RAMASAMY, J.V., 2005. Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using Genetic Algorithms, Computers and Structures 84, 34–48.
19. ÇAĞDAŞ, İ.U., 2001. Betonarme Döşemelerin Akma Çizgileri Yöntemiyle Analizinde Akma Çizgisi Deseninın Genetik Algoritma İle Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Ankara.



20. KAYA, M., 2001. Betonarme Yüksek Kiriş Tasarımında Genetik Algoritmaların Kullanılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
21. DALOĞLU, A., ARMUTÇU, M., 1998. Genetik Algoritma İle Düzlem Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı, Teknik Dergi, Cilt 9, Sayı 2.
22. TOĞAN, V., ve DALOĞLU, A., 2003. Genetik Algoritma (GA) ile Paralel Başlıklı Düzlem Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu, Deprem Sempozyumu, s. 508, Kocaeli.
23. ARSLAN, A., ve TURGUT, P., 2001. Sürekli Bir Kirişte Maksimum Momentlerin Genetik Algoritmalar ile Belirlenmesi, DEÜ Mühendislik Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 3: (3), 1-9.
24. BEKİROĞLU, S., AYVAZ, Y., ve DEDE, T., 2003. Değer Kodlaması Kullanılarak Kafes Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması, 3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara.
25. TOĞAN, V., ve DALOĞLU, A., 2003. Genetik Algoritma ile Çatı Makaslarının Şekil ve Boyut Optimizasyonu, 3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara.
26. ZOLFAGHARI, A.R., HEATH, A.C., and MCCOMBIE, P.F., 2005. Simple genetic algorithm search for critical non-circular failure surface in slope stability analysis, Computers and Geotechnics 32, 139–152.
27. MORCOUS, G., and LOUNIS, Z., 2005. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms, Automation in Construction 14, 129– 142.
28. WANG, W., ZMEUREANU, R., and RIVARD, H., 2005. Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization, Building and Environment 40, 1512–1525.
29. PERNG, Y. H., JUAN, Y and HSU, H. S., 2005. Genetic algorithm-based decision support for the restoration budget allocation of historical buildings, Building and Environment, accepted 11 September 2005, (In press)
30. FAIRBAIRN, E.M.R., SILVOSO, M.M., FILHO, R.D.T., ALVES, J.L.D., and EBECKEN, N.F.F., 2004. Optimization of mass concrete construction using genetic algorithms., Computers and Structures 82, 281–299.
31. [BAYLAR, A., EMİROĞLU, M.E., ve ARSLAN, A., 2000. Su Kaynakları Sistemlerinde Optimizasyon Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözümü, Teknik Dergi, Cilt 11 Sayı 1
32. KARAHAN, H., CEYLAN, H., Akış Serilerinin Genetik Algoritma ile Tahmini, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü, 20017, Denizli.