

# TEKİL TEMELLERİN OPTİMUM TASARIMINDA GENETİK ALGORİTMA KULLANIMI

**Paki TURGUT**

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63000, Şanlıurfa

Geliş Tarihi : 12.09.2007

Kabul Tarihi : 14.05.2008

## ÖZET

Bu çalışmada, tekil temellerin optimum geometrik boyutlarının bulunması için, bir Genetik Algoritma (GA) programı geliştirilmiştir. Tekil temellerin boyutlarının el veya bilgisayarlı çözümlerinde, tecrübeli bir tasarımcı tarafından başlangıçta yaklaşık temel boyutlarının tahmin edilmesi zorunluluğu bulunmaktadır. Başlangıç temel boyutlarının tahmininden sonra, uzun zaman alan deneme-yanılma prosedürü takip edilerek boyutlar bulunmaktadır. Geliştirilen GA programında başlangıç temel boyutlarının tahmin edilmesine gerek kalmadan, tekil temel hacmi minimize edilerek, en uygun temel boyutları çok kısa sürede bulunmaktadır. Klasik metotların aksine, GA temel taban boyutları ile yüksekliğini eşzamanlı olarak hesaplamaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** *Genetik algoritma, Tekil temel, Tasarım.*

## OPTIMUM PAD FOOTING DESIGN BY USING GENETIC ALGORITHM

### ABSTRACT

In this study, a Genetic Algorithm (GA) has been developed in order to find the optimum geometrical sizes in pad footing design. In the solutions of pad footing sizes found by manually or/and software, there is a required assumption of pad footing sizes held by an experienced designer at the beginning. After the assumption of the initial pad footing sizes, the exact sizes have been determined by a time consuming trial and error process. In the developed GA software without the requirement in the assumption of initial pad footing sizes, the most suitable pad footing sizes has been determined within a short period by minimizing the pad footing volume. In contrast to classical methods, developed GA has simultaneously and relationally calculated the pad footing base sizes and its height.

**Key Words :** *Genetic algorithm, Pad footing, Design.*

### 1. GİRİŞ

GA canlılarda meydana gelen gelişim sürecinden esinlenerek oluşturulan ve bilgisayar hafızasına depo edilmiş kromozomlar üzerinde seçim, eşleştirme, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin kullanılmasıyla matematiksel modellemesi oldukça zor olan problemlerin çözümünü yapabilen yapay zekânın bir alt dalıdır. Genetik bilimindeki kromozomlar canlının yapısını ortaya koyan kritik

bilgilerin saklandığı birimlerdir. GA' da ise, çözümü aranan problemle ilgili bağımsız değişkenlerin kodlandığı birimler oluşturulmaktadır. (Goldberg, 1983). GA, sınırlayıcıların çözüm aşamasında, farklı değerler aldığı karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Klasik optimizasyon yöntemlerinde problem çözümünde çok karmaşık matematiksel ifadelerle ihtiyaç duyulmasına rağmen, GA türev gibi matematiksel bilgileri kullanmamaktadır. Bunun

yerine, rastgele çalışan operatörler kullanarak çözüm uzayını değişik noktalarla rastgele taramaktadır. Klasik optimizasyon yöntemlerinde çözüme tek noktali bir yaklaşım olmasına karşın, GA çözüm uzayını rastgele oluşturulmuş noktalarla taramaktadır. Her yeni generasyon oluşumunda birkaç kötü sonucu topluluğun dışına atarak, onların yerine aynı sayıda iyi sonuçlardan kopyalayarak problemin çözümüne doğru dengeli bir şekilde ilerlemektedir. Klasik optimizasyon metodlarında bir tek çözüm elde edilmesine rağmen, GA çözümlerinde birkaç alternatif çözüm aynı anda elde edilebilmektedir. Böylece, GA çok kısa sürede ve ekonomik bir şekilde değişik optimizasyon problemlerini çözebilmektedir.

GA kullanılarak bir optimizasyon probleminin çözümünde ilk önce yapılacak işlem, problemin değişkenlerinin alacağı değerlerin sonlu ve ayrık bir çözüm kümesini belirlemektir. Çözüm kümesinin sonlu ve ayrık olması zorunluluğu, kromozom uzunluğunun sonlu olması gerekliliğinin bir sonucudur. Dolayısıyla, kromozom uzunlukları direkt olarak çözüm kümesinin eleman sayısına bağlı olmaktadır. Genlerin ikilik sayı sisteminde yazılması ile elde edilen 0 veya 1 rakamları canlıların genetik yapılarını temsil eden dizilere benzemektedir. Örneğin,  $f(x_1, x_2)$  şeklindeki bir fonksiyon için  $x_1$ ,  $x_2$  bağımsız değişkenlerinin kromozom içerisindeki yerleşimi  $(x_1)_2$ ,  $(x_2)_2$  şeklindedir. Burada  $(x_1)_2$  ve  $(x_2)_2$ , bağımsız  $x_1$ ,  $x_2$  değişkenlerinin kromozom içerisindeki ikilik sayı sistemindeki ifadesini göstermektedir. Bu değerler  $x_1$  ve  $x_2$ 'nin gerçek değerlerinin doğrudan ikili ifadesi olabileceği gibi, dolaylı ikilik ifadesi de olabilmektedir.  $x_1$  ve  $x_2$ 'nin dolaylı olarak 1 ve 15 arasındaki tamsayılar kümesinden seçilebileceği düşünülürse, 15 sayısının ikilik sayı sistemindeki karşılığı 1111 olduğundan  $x_1$  ve  $x_2$  değerlerinden her biri en az 4 genden oluşan ve her ikisi birlikte en az 8 gen uzunluğundaki bir gen dizisiyle ifade edilmesi gerekmektedir (Turgut, 1995). Örneğin,  $x_1=5$  ve  $x_2=12$  için sırasıyla,  $x_1(5)_{10}=(0101)_2$  ve  $x_2(12)_{10}=(1100)_2$  olduğundan  $x_1$  ve  $x_2$ 'nin değerlerini temsil eden kromozom yapısı ikilik sayı sistemindeki değerlerin yan yana gelmesiyle oluşmakta ve 01011100 şeklinde olmaktadır. Kromozom olarak ifade edilen gen dizisinden gerçek değerler "Gen Çözücü Fonksiyon" yardımıyla elde edilmektedir (Turgut, 1995).

GA yardımıyla optimizasyon işleminde, kromozomları oluşturan belirli gen grupları problemin boyutlandırma değişkenlerini ifade etmektedir. Gen çözücü fonksiyon bu gen gruplarındaki genlerin değerini gerçekte ifade ettiği değerlere dönüştüren önemli bir işlemdir. Üniform dizilişli bir kromozom, genler yardımıyla kodlanan

değişkenlerin hepsinin de aynı değer uzayından olmalarını ifade etmektedir. Böyle bir kromozom için, ikili sayı sisteminde ifade edilmiş olan değişkenin onluk sayı sistemine dönüştürme işlemi denklem 1'de verilmektedir.

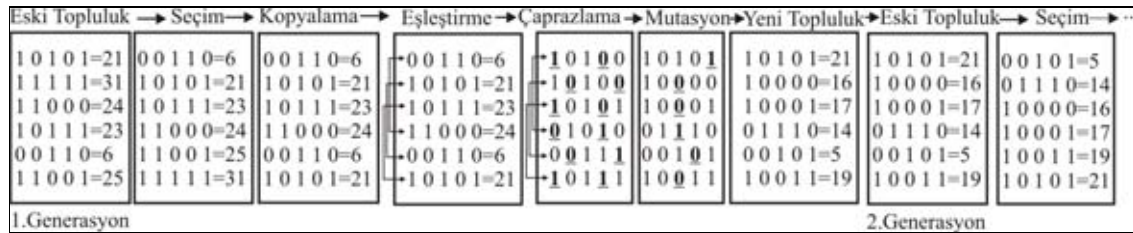
$$G = \sum_{j=1}^{k=n} ((n+1) - j) \times 2^{(j-1)} \quad (1)$$

Burada;  $G$ , popülasyonun belirli bir sırasındaki kromozomun tamamının onluk sayı sistemindeki değeridir.  $n$ , kromozomu oluşturan genlerin toplam sayısıdır.  $j$  değeri ise, kromozom içerisindeki genlerin sırasını göstermektedir.

GA kullanılarak optimizasyon problemleri çözümünde genellikle seçim, kopyalama, eşleştirme, çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmaktadır. Seçim işlemi bir topluluk içerisinde en iyi kromozomları yani çözümleri bulmada kullanılmaktadır. Örneğin, bir optimizasyon işleminde maliyetin düşük olması sağlanmak istiyorsa, maliyeti en düşük yapacak olan kromozomlar en küçükten en büyüğe doğru sıralanmaktadır. Şekil 1'de temel GA çevrimi ve operatörlerinin yaptığı işlemler gösterilmektedir. Buradaki kromozomların bir maliyeti minimize etmede kullanıldığını düşünebiliriz. Kromozomların ikilik sayı sistemi ve onluk düzendeki yazılışı yan yana verilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi, işlemler sonunda oluşturulan yeni topluluk bir sonraki aşamada eski topluluk ismini almaktadır. Bir sonraki aşamada seçim işlemi yapılmaktadır. Amaç fonksiyonu, herhangi bir fonksiyonu minimize etmek olduğundan değerler küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. Kopyalama işleminde üstteki iki başarılı birey, alttaki iki başarısız bireyin yerine kopyalanmaktadır. Böylece, gen havuzu içerisinde başarılı bireylerin sayısı adım adım artırılarak, başari düzeyi yüksek olan bireyler arasında genetik operatörleri kullanarak daha başarılı bireylerin elde edilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen bu programda kopyalama sayısı değiştirilebilmektedir. Topluluğun sayısı artırıldıkça, kopyalama sayısının da artırılması daha uygun olacaktır. Kopyalama işlemi tamamlandıktan sonra, bireyler arasında rastgele eşleştirme yapılmaktadır. Bir birey kendisine benzeyen bir bireyle eşleşebileceği gibi, kendisinden farklı bireylerle de eşleşebilmektedir. Bireylerin kendisine benzeyen bireylerle eşleşmesinin kısıtlanması durumunda problemin çözüm süresi uzamaktadır. Eşleştirme yapılan bireylerden yeni bireyler oluşturmak için çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmaktadır. Geliştirilen bu programda çaprazlama site sayısı değiştirilebilmektedir. Ancak, çaprazlama site sayısının kromozom uzunluğunun yarısından daha

büyük seçilmesi durumunda çözümün dengesinin bozulduğu gözlenmiştir. Şekil 1’de, çaprazlama işleminin yapıldığı kutuda koyu ve altı çizilmiş olan genler arasında bilgi alışverişi yapılarak çeşitlilik sağlanmıştır. Mutasyon işlemi ise, genlerin yapısını rastgele değiştirmektedir. Örneğin, kromozom üzerinde rastgele seçilmiş olan 1 geni yerine 0 geni yazılarak, kromozom mutasyona uğratılmaktadır. Bazen mutasyon operatörü, tam problemin çözümüne ulaşılmışken aniden çözüm uzayının dışına çıkılmasına sebep olabilmektedir ve genellikle kullanılması tavsiye edilmemektedir. Geliştirilen bu programda mutasyon operatörü kullanılmamıştır.

Genetik operatörler kullanılarak oluşturulan yeni topluluğun ismi 2. generasyonda eski topluluk olarak değiştirilmekte ve GA işlemleri benzer tarzda devam etmektedir. Bütün bu işlemler daha önceden verilmiş bir generasyon sayısına ulaşıncaya veya toplulukta başarı düzeyi sabit kalıncaya kadar devam ettirilmektedir. Görüldüğü gibi, GA belirli bir alanda rastgele işleyen operatörler kullanarak çözüm uzayını rastgele noktalarla tarayarak problemi çözmektedir. Dolayısıyla, GA’nın başarısı uygun bir gen yapısının oluşturulması ve rastgele çalışan operatörlerin doğru bir şekilde kullanılmasına bağlı olmaktadır (Turgut, 1995).



Şekil 1. GA Operatörleri ve işlemler.

Geçmiş yıllarda, bilgisayar kapasitelerinin düşük olmasından dolayı inşaat mühendisliği problemlerinin çözümünde GA uygulamaları sınırlı kalmıştır. Ancak, bilgisayarların kapasitelerinin artmasıyla birlikte GA’ya olan ilgi ve ihtiyaç ta artmaya başlamıştır. GA inşaat mühendisliğinde değişik problemlerin çözümünde başarıyla uygulanmıştır. Turgut v.d. (1996) betonarme bir kirişin maliyet optimizasyonunu yapmıştır. Arslan v.d. (1996) çok katlı bir yapı çerçevesinde hareketli yük yer değiştirmelerinden dolayı, yapı çerçevesindeki elemanlarda meydana gelen maksimum kesit tesirlerini bulmuşlardır. Saribas ve Erbatur (1996) istinat duvarlarının, Hasancebi ve Erbatur (2000a) kafes sistemlerin maliyet optimizasyonunu yapmışlardır. Hasancebi ve Erbatur (2000b), optimizasyon problemlerinin çözümü yanında, çaprazlama operatörünün çözümlere olan etkisini de incelemiştir. Turgut ve Arslan (2001) sürekli bir kirişte maksimum kesit tesirlerinin bulunmasında GA kullanmıştır. Ceranic v.d. (2001) bir istinat duvarının tasarımını, Louis ve Antoni (2001) kafes sistemlerin şekil ve kesit optimizasyonunu yapmıştır. Rong v.d. (2001) ağırlığı sabit olan bir elemanda maksimum burkulma yükünü bulmuştur. Hadi ve Arfiadi (2001) rijit kaldırımların optimum tasarımına, Greiner v.d. (2001) yapı çerçevesi sistemlerinin optimum tasarımına, Makris ve Provatidis (2002) bir kafes sistemin ağırlıkça optimizasyonuna, Matej ve Sejnoha (2003) bir kirişin optimum tasarımına GA’yı uygulamışlardır. Salajeg ve Heidari (2004) deprem yüklerini göz önüne alarak, bir yapının

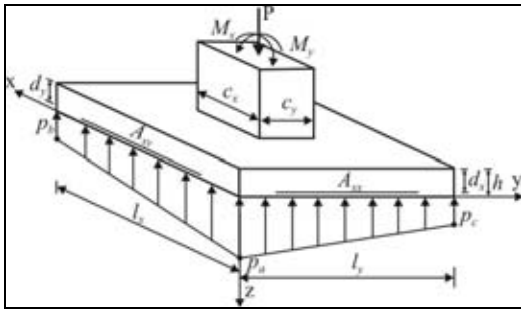
optimum tasarımını yapmışlardır. Rao v.d. (2004) titreşim etkisine maruz cisimlerdeki hasar derecesinin bulunması işleminde, Wang ve Tai (2004) bir yapının topolojik optimizasyonunun grafik yardımıyla yapılmasında, Eduardo v.d. (2004) kütle betonu yapımında kullanılacak beton karışım oranlarının tespitinde, Sahab v.d. (2005) betonarme kirişsiz döşemelerin maliyet optimizasyonunda GA’yı başarılı bir şekilde kullanmışlardır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Genel olarak, dikdörtgen veya kare şekilli tekil temellerin klasik yöntemlerle tasarımı, başlangıçta uygun temel tabanı boyutlarının tahmin edilmesiyle başlamaktadır. Bu tahmin hizmet şartları altında zemin güvenlik gerilmesine göre belirlenmektedir. Eurocode-7 (Anon., 1995)’yi temel alan TS ENV 1997 (Anon., 1997) standartları, zemin güvenlik gerilmesinin belirlenmesiyle ilgili geoteknik mühendisliğinde kullanılan hesaplama yöntemlerini vermektedir. Analitik olarak, bu hesaplamalar temel pabuç boyutlarına bağlıdır. Ancak ön tasarım açısından Eurocode-7 (Anon., 1995) ve TS ENV 1997 (Anon., 1997)’de verilen tablolar kullanılarak zemin güvenlik gerilmesi faktörü tanımlanarak kullanılabilir. Bu amaçla, BS 8004 (Anon., 1992)’de zemin çeşitlerine göre ön tasarımda kullanılacak zemin güvenlik gerilmesi değerleri verilmektedir. Bu çalışmada, temel boyutlarının

taşıma gücüne etkisi ihmal edilerek, yukarıda belirtilen referanslardaki değerler kullanılmıştır. Genelde uygun pabuç alanı tahmininden sonra, temel pabuç tasarımı, maksimum yükleme şartları altında, eğilme, kesme ve zımbalamaya göre yapılır. Bu, zemin güvenlik gerilmesinin belirlenmesi aşamasından (analitik olarak) başlayan uzun, karmaşık ve tekrara dayalı bir yöntemdir. Deneme-yanılma prosedürü aksel yük ve/veya bir veya iki aksel momentler ve değişik merkezlenmiş kolonun ilettiği, ölü, hareketli ve rüzgar yükleri kombinasyonlarını içermektedir. İki aksel yüklemeye maruz, minimum temel pabuç boyutlarının belirlenmesi için geliştirilmiş analitik formüller mevcuttur (Jarquio and Jarquio, 1983; 1984).

Deneme-yanılma metoduyla, tekil temel pabuçların taban boyutlarının belirlenmesi karmaşıklığı, problemin GA kullanılarak çözümü ihtiyacını doğurmuştur. Ayrıca, klasik metotlarda temel taban boyutlarıyla, temel yüksekliğini birbirine bağımlı olarak bulan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, amaç fonksiyonu tekil temelin hacmini minimize etmek olduğundan, temel taban boyutlarıyla temel yüksekliğinin birbirleriyle etkileşimi hesaba katılmıştır. GA kullanılarak temel boyutlarının bulunması işleminde, BS 8110: Part 1: ve Part 2: (Anon., 1985) standardındaki tasarım kriterleri esas alınmıştır. Şekil 2’de, tekil temel üzerine etki eden normal kuvvet ve momentlerin yanında temel tabanında oluşan basınçlar gösterilmektedir. Aksel kuvvet ve momentlerden dolayı, Şekil 2’de gösterilen basınç bloğunun a, b, c ve d noktalarında oluşan basınçlar aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Tekil temel boyutları, etkiyen dış kuvvetler ve taban basınç dağılımı.

$$p_{a,b,c,d} = \frac{\sum P}{A} \pm \frac{\sum M_x}{W_x} \pm \frac{\sum M_y}{W_y} \quad (2)$$

Burada,  $p_{a,b,c,d}$  temel köşelerindeki basınçları göstermektedir. Temelin taban alanı  $A = l_x \times l_y$  dir. Burada,  $l_x$  ve  $l_y$  temel tabanı boyutlarını göstermektedir.  $M_x$  ve  $M_y$  sırasıyla x ve y yönünde

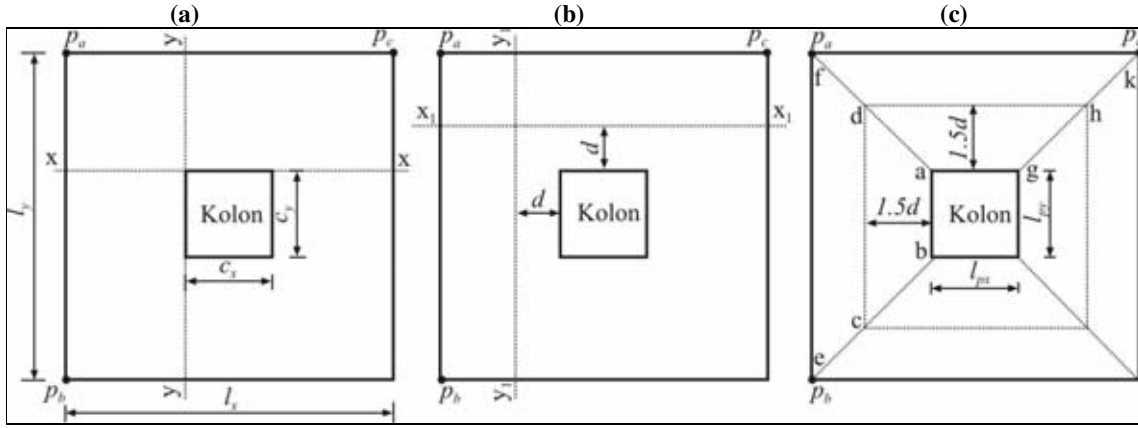
temele etkiyen kolon momentleridir.  $W_x$  ile  $W_y$  temel kesitinin sırasıyla x ile y yönündeki mukavemet momentleridir ve  $W_x = l_y h^2/6$  ve  $W_y = l_x h^2/6$  dir. Burada,  $h$  tekil temel yüksekliğidir.

BS-8110 (Anon., 1985)’da tekil temellerin tasarımında bazı kabuller yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, aksel olarak yüklenmiş bir tekil temelde, yükün temel tabanına üniform olarak dağıldığı kabul edilmektedir ve temel tabanındaki gerçek basınç dağılımı zemin tipine bağlı olmaktadır. İkincisi ise, eksantrik olarak yüklenmiş bir tekil temelde, basınçların temel tabanında lineer değiştiği kabulüdür.

Tekil bir temelde eğilme momenti bakımından en kritik kesitler, Şekil 3a’da gösterilen kolon yüzündeki x-x ve y-y doğrularıyla gösterilen kısımlardır. Klasik çözüm yöntemlerinde işlemleri basitleştirmek için, temel tabanındaki basınçların ortalama bir değeri alınarak temel tabanına etkiyen basınç kuvvetleri bulunmaktadır. Kesitlerin eğilme momentleri, donatı alanları, kesme ve zımbalama dayanımı değerleri de, bu ortalama basınç kuvvetlerine göre bulunmaktadır.  $M_x$  ve  $M_y$  momentlerinin temele aynı anda etkimesi durumunda, ortalama basınçları bulmak daha da zorlaşmakta ve hata miktarı artmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise, temel tabanına etkiyen basınç bloğunun yüzey fonksiyonu oluşturularak, basınç bloğunun herhangi bir kısımdaki gerçek değerleri bulunarak işlemler yapılmıştır. Temelin konsollarına etkiyen momentleri hesaplamada kullanılan moment kolu mesafesi de, geliştirilen yüzey fonksiyonu yardımıyla hesaplanmaktadır. x-x ve y-y doğrularıyla gösterilen kısımlardaki eğilme momentleri bulunduktan sonra kuvvet kolu ve donatı alanları aşağıda verilen formüllerle hesaplanmaktadır. BS 8110 (Anon., 1985)’da Şekil 4’de gösterilen kuvvet kolu olan z değerini hesaplamak için bir grafik verilmiştir. Bu çalışmada, bu grafik üzerindeki değerler arasında bir korelasyon yapılarak 3. dereceden bir fonksiyon elde edilmiş ve geliştirilen GA programı içerisinde kullanılmıştır. Buna göre, x ve y yönündeki kuvvet kolları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$m_x = \frac{M_{vx}}{l_y d_x^2 f_{cu}} \quad (3)$$

$$m_y = \frac{M_{vy}}{l_x d_y^2 f_{cu}} \quad (4)$$



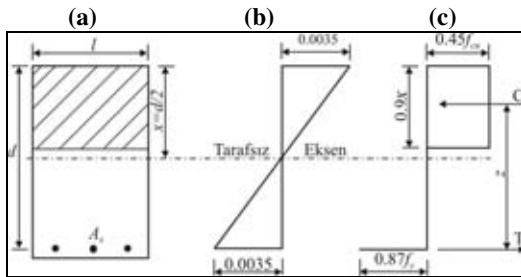
Şekil 3. Tekil temel hesaplarında esas alınan kritik kesitler. Momentlerin hesaplandığı kritik kesit (a), Kayma gerilmesi için kritik kesitler (b) ve Zımbalama ve maksimum kayma gerilmesi (c).

Burada,  $M_{vx}$  ve  $M_{vy}$  sırasıyla x-x ve y-y doğrularıyla gösterilen kısımlardaki eğilme momentleridir.  $d_x$  ve  $d_y$  ise, sırasıyla x ve y yönlerindeki faydalı yüksekliklerdir. Kullanılan donatının çapı  $\phi$  olarak alınırsa,  $d_y = d_x - \phi/2$  olmaktadır.  $f_{cu}$ , betonun hesap basınç dayanımıdır. Bu değerlere bağlı olarak x ve y yönündeki kuvvet kolu değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$z_x = (53.08m_x^3 + 20.28m_x^2 + 0.751m_x + 0.95)d_x \quad (5)$$

$$z_y = (53.08m_y^3 + 20.28m_y^2 + 0.751m_y + 0.95)d_y \quad (6)$$

Şekil 4'de gösterilen betonarme davranışı temel alınarak, tekil temelin x ve y doğrultularındaki donatı alanları sırasıyla  $A_{sx}$  ve  $A_{sy}$  olmak üzere, aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.



Şekil 4. Betonarme kesit ve iç kuvvetler. Kesit (a), Deformasyon diyagramı(b) ve Gerilme diyagramı (c).

$$A_{sx} = \frac{M_{vx}}{0.87f_y z_x} \quad (7)$$

$$A_{sy} = \frac{M_{vy}}{0.87f_y z_y} \quad (8)$$

Burada,  $f_y$  çeliğin hesap akma dayanımıdır. Şekil 3b'de, kolon yüzünden itibaren temelin faydalı yüksekliği olan  $d = d_x$  kadar mesafedeki  $x_1-x_1$  ve  $y_1-y_1$  kesitlerinde kesme gerilmesi değerleri hesaplanmaktadır. Kolon yüzünden  $d$  kadar ötedeki mesafe ile temel dış kenarı arasında kalan basınç bloklarının hacimleri  $x_1-x_1$  ve  $y_1-y_1$  eksenlerinde sırasıyla,  $V_x$  ve  $V_y$  olmak üzere, bu kesitlerdeki kesme gerilmesi değerleri aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$v_x = \frac{V_x}{l_y d_x} \quad (9)$$

$$v_y = \frac{V_y}{l_x d_y} \quad (10)$$

Burada,  $v_x$  ve  $v_y$  kesme gerilmelerini göstermektedir. BS 8110 (Anon., 1985)' a göre, kesitin taşıyabileceği kritik hesap kesme gerilmeleri x ve y yönünde aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$v_{cx} = \frac{0.79}{1.25} \sqrt[3]{\frac{100A_{sx}}{l_y d_x}} \sqrt[3]{\frac{f_{cu}}{25}} \quad (11)$$

$$v_{cy} = \frac{0.79}{1.25} \sqrt[3]{\frac{100A_{sy}}{l_x d_y}} \sqrt[3]{\frac{f_{cu}}{25}} \quad (12)$$

Burada,  $v_{cx}$  ve  $v_{cy}$  kritik hesap kesme gerilmelerini göstermektedir.

Şekil 3c'de gösterilen c-d-e-f basınç bloğunun hacmi  $V_{px}$  ve d-f-h-k basınç bloğunun hacmi de  $V_{py}$  olmak üzere, zımbalama kesme gerilmeleri aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$v_{px} = \frac{V_{px}}{l_{py}d_x} \quad (13)$$

$$v_{py} = \frac{V_{py}}{l_{px}d_y} \quad (14)$$

Burada,  $v_{px}$  ve  $v_{py}$  sırasıyla x ve y yönündeki zımbalama kesme gerilmelerini göstermektedir.

Şekil 3c'de gösterilen a-b ve a-g kolon kenarlarındaki maksimum kesme gerilmesi değerleri ise, sırasıyla aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$v_{mx} = \frac{V_{mx}}{c_y d_x} \quad (15)$$

$$v_{my} = \frac{V_{my}}{c_x d_y} \quad (16)$$

Burada,  $V_{mx}$  ve  $V_{my}$  sırasıyla a-b-c-d-e-f ve a-d-f-g-h-k basınç bloklarının hacmini göstermektedir.  $c_x$  ve  $c_y$  kolonun kesit boyutlarıdır.  $v_{mx}$  ve  $v_{my}$  sırasıyla x ve y eksenlerindeki maksimum kesme gerilmelerini göstermektedir. Kolon kenarlarındaki kritik maksimum kesme gerilmelerinin  $5.0 \text{ N/mm}^2$  ve,

$$v_{mc} = 0.8\sqrt{f_{cu}} \quad (17)$$

değerlerinden küçük olması gerekmektedir. Burada,  $v_{mc}$  kritik maksimum hesap kesme gerilmesidir.

Bu çalışmada, geliştirilen GA programı yardımıyla, Şekil 2'de verilen tekil temelin minimum  $l_x$ ,  $l_y$  ve  $h$  boyutları sınırlayıcılar göz önüne alınarak bulunmuştur. Amaç fonksiyonu, sınırlayıcıları göz önüne alarak temelin hacminin minimum değerini bulmaktır. Temel hacmi minimize edildiği zaman,  $l_x$ ,  $l_y$  ve  $h$  boyutları da minimum olmaktadır.

Problemin amaç fonksiyonu aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$\text{minimize } V_f(l_x, l_y, h) = l_x l_y h \quad (18)$$

Sınırlayıcılar:

Taban basıncı sınırlaması;

Zemin ile temel arasında çekme kuvveti oluşmayacağı için taban basıncının negatif değer almaması gerekmektedir. Yine, temelde oluşacak olan basıncın, zeminin güvenlik gerilmesinden küçük olması sağlanmalıdır. Bununla ilgili olan sınırlayıcı aşağıda verilmektedir.

$$0 \leq p_a, p_b, p_c, p_d \leq p_{max} \quad (19)$$

Burada,  $p_{max}$  zeminin güvenlik gerilmesidir.

Minimum donatı sınırlaması;

$$A_{sx} \geq 0.13l_y h \quad (20)$$

$$A_{sy} \geq 0.13l_x h \quad (21)$$

Basınç donatısı gerektirmeyecek tasarım için yapılan sınırlama;

$$\frac{M_{vx}}{l_y d_x^2 f_{cu}} \leq 0.156 \quad (22)$$

$$\frac{M_{vy}}{l_x d_y^2 f_{cu}} \leq 0.156 \quad (23)$$

Düşey kesme gerilmesi sınırlaması;

$$v_x \leq v_{cx} \quad (24)$$

$$v_y \leq v_{cy} \quad (25)$$

Zımbalama kesme gerilmesi sınırlaması;

$$v_{px} \leq v_{cx} \quad (26)$$

$$v_{py} \leq v_{cy} \quad (27)$$

Kolon kenarlarındaki maksimum kesme gerilmesi sınırlaması;

$$v_{mx} \leq v_{mc} \quad (28)$$

$$v_{my} \leq v_{mc} \quad (29)$$

$$v_{mx} \leq 5.0 \text{ N/mm}^2 \quad (30)$$

$$v_{my} \leq 5.0 \text{ N/mm}^2 \quad (31)$$

Temel yüksekliği sınırlaması;

$$h \geq 0.25 \text{ m} \quad (32)$$

Ta

$$l_x, l_y \geq 1.0 \text{ m} \quad (33)$$

$$l_x \geq c_x + 2 \times 1.5d_x \quad (34)$$

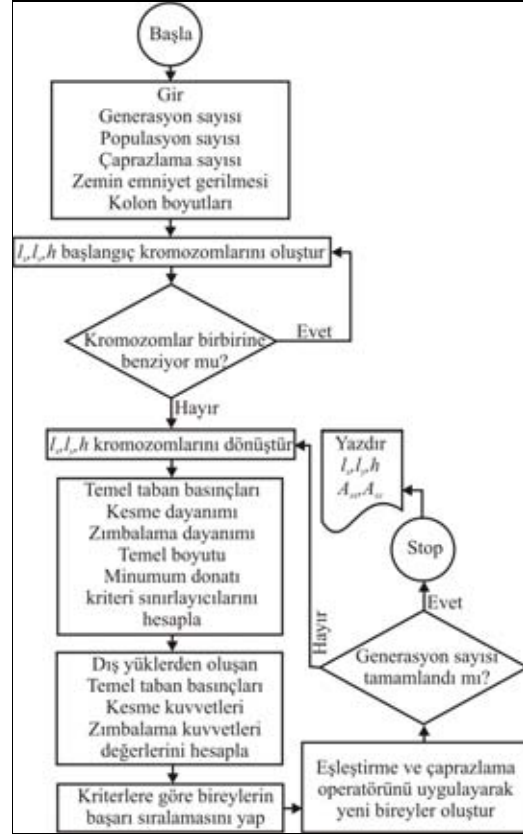
$$l_y \geq c_y + 2 \times 1.5d_y \quad (35)$$

GA işlemlerinin en önemli aşamalarından birisi, gen haritasının oluşturulmasıdır. Genlerin bir araya gelmesiyle problemin çözümünde kullanılacak kromozomlar oluşmaktadır. Bu çalışmada,  $l_x$ ,  $l_y$  ve  $d$  kromozomlarının her biri 10 adet genden oluşmuştur. Kromozomun toplam uzunluğu ise 30'dur. Bu çalışmada, donatı paspayı 40 mm ve kullanılacak donatı çapı da  $\phi 20$  mm seçilmiştir. Böylece, temel yüksekliği değeri  $h = d + 0.40 + 0.01$  olarak bulunmaktadır. Tablo 1'de verildiği gibi, temelin taban boyutları pratikte kullanılacağı şekilde, virgülden sonra iki basamak olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu işlem, kromozomların onluk tabandaki değerleri 100'e bölünerek yapılmıştır. Tablo 1'de, kromozomların vereceği maksimum değerler göz önüne alınarak, kromozom uzunluğu tespit edilmiştir. Kromozom uzunluğunun çok büyük seçilmesi işlem süresini uzatmaktadır. Bu nedenle, programa girilecek olan kromozom uzunluğunun ön denemeler yapılarak bulunması mantıklı bir yaklaşımdır.

Tablo 1. Maksimum kromozom uzunluğunun belirlenmesi ve dönüşümler.

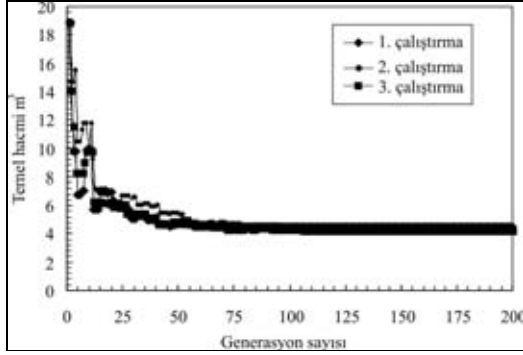
Değişken	$l_x$	$l_y$	$d$
İkilik	(1111111111) <sub>2</sub>	(1111111111) <sub>2</sub>	(1111111111) <sub>2</sub>
Onluk	(1023) <sub>10</sub>	(1023) <sub>10</sub>	(1023) <sub>10</sub>
Sayı	10.23	10.23	10.23

Şekil 5'de, geliştirilen GA programının akış şeması verilmektedir. Programa generasyon, popülasyon ve çaprazlama sayılarının yanında, zemin güvenlik gerilmesi ve kolon boyutları veri olarak girilmektedir. Bu aşamadan sonra, generasyon sayısı tamamlanıncaya kadar programa herhangi bir müdahale yapılamamaktadır. Bu çalışmada, generasyon, popülasyon ve çaprazlama sayıları sırasıyla 200, 200 ve 8 olarak alınmıştır. Başlangıç topluluğundaki kromozomların tamamının birbirinden farklı olması için, kromozomların onluk sayısı sistemindeki değerleri bulunmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Kromozomlar arasında benzerlik bulunması durumunda, yeni bir başlangıç topluluğu otomatik olarak oluşturulmaktadır. Topluluk içerisindeki tüm kromozomlar birbirine benzemeyinceye kadar bu işlemler tekrarlanmıştır. Bir sonraki aşamada, ikilik sayı sistemindeki kromozomlar onluk sayısına sisteminde kod çözücü fonksiyon yardımıyla dönüştürülmüştür.  $l_x$ ,  $l_y$  ve  $h$  değişken değerleri kullanılarak, temel altında oluşan basınçlar, sınırlayıcılar ve iç kuvvetler her bir generasyonda hesaplanmaktadır. Sınırlayıcılar kontrol edilerek, bireylerin başarı sıralaması yapılmakta ve sınırlayıcıları sağlamayan bireyler gen havuzunun dışına atıldıktan sonra, bunların yerine başarılı bireyler kopyalanmaktadır.



Şekil 5. Geliştirilen GA programının akış şeması.

Kopyalama sayısının çok küçük seçilmesi durumunda, problemin çözümüne daha geç ulaşılmaktadır. Kopyalama sayısının çok büyük seçilmesi durumunda ise, erken yaklaşım meydana gelmekte ve gerçek temel boyutlarından daha büyük bir temel boyutu elde edilmektedir. Turgut (1995) tarafından yapılan bir çalışmada kopyalama sayısının, popülasyon büyüklüğünün 1/50'si kadar olmasının uygun olacağı denemeler sonucunda bulunmuştur. Bu çalışmada, seçilen popülasyon büyüklüğü 200 olduğundan, kopyalama sayısı 4 olarak alınmıştır. Eşleştirme ve çaprazlama operatörleri kullanılarak bir sonraki generasyonda değerlendirilmek üzere yeni bireyler oluşturulmaktadır. Bu işlemler, daha önceden verilmiş generasyon sayısı tamamlanıncaya kadar devam etmektedir. Şekil 6'da gösterilen grafikte, bir temel çözümü örneğine ait generasyon sayısı ve temel hacmi arasındaki ilişki, programın üç defa çalıştırılmasıyla elde edilmiştir. Şekil 6'da görüleceği gibi, optimum temel hacmi 75. generasyonda bulunmuştur. Her bir generasyonda tekil temel boyutları ve donatı alanları bir çıktı dosyasına yazdırılmaktadır.



Şekil 6. Generasyon sayısı ile hacim ilişkisi.

### 3. ÖRNEK UYGULAMALAR

Bu kısımda, farklı tekil temel örneklerinin GA kullanılarak çözümü yapılmış ve elde edilen sonuçlar klasik yöntemden (el ile çözüm) elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. GA ile temel tasarımında kullanılan standart BS 8110 (Anon., 1985) dur. Microsoft Windows XP Professional işletim sistemi, Pentium III 1000 MHz, 512 MB (PC133 SDRam) özelliklerine sahip bilgisayar desteği kullanılarak her bir örnek için generasyon sayısı yaklaşık 50 sn de tamamlanmıştır.

#### 3. 1. Uygulama 1

Örneğin çözümü, TS 500 (Anon., 2000)'e göre klasik yöntemle Ersoy (1995) tarafından yapılmıştır. Bu örnekteki veriler,  $P=1500$  kN,  $M_x=370$  kNm,  $M_y=0$ ,  $f_{cu}=9$  N/mm<sup>2</sup>,  $f_y=191$  N/mm<sup>2</sup>,  $p_{max}=225$  N/mm<sup>2</sup>,

$c_x=0.55$  m,  $c_y=0.55$  m. İstenenler:  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $h$ ,  $A_{sx}$  ve  $A_{sy}$  dir.

Tablo 2'de GA'nın bulduğu çözüm ve klasik yöntem (el ile çözüm) sonuçları verilmektedir. Çözümü yapılan örnek, aynı zamanda BS 8110 (Anon., 1985) ile TS 500 (Anon., 2000)'in bir karşılaştırmasıdır. Tablo 2'de verildiği gibi, BS 8110 (Anon., 1985)'a göre GA ile elde edilen çözümde elde edilen temel hacmi ve donatı alanlarının toplamı daha küçük bulunmuştur. GA'nın bir diğer özelliği tabloda bulunan çözümlere alternatif temel boyutları ve donatı alanları vermesidir. Geliştirilen GA programında, temel taban boyutlarından birisinin istenildiği takdirde sınırlandırılabilmesidir. Böylece, temel taban boyutları oranı program içerisinde tanımlanarak boyutlar bulunabilmektedir. Bu çalışmada, temel taban boyutlarının bulunması işleminde herhangi bir oran kullanılmamış olup, program serbest bırakılmıştır. Tablo 2'de, tekil temel boyutlarına ait kromozom da verilmektedir.

Tablo 2. Ersoy (1995) ve GA sonuçları.

Metot	$l_x$ m	$l_y$ m	$h$ m	$V$ m <sup>3</sup>	$A_{sx}$ mm <sup>2</sup>	$A_{sy}$ mm <sup>2</sup>
Ersoy	3.25	3.25	0.55	5.81	5100	6800
GA	2.90	3.50	0.50	5.08	5512	5296
Kromozom						
$d$	$l_y$		$l_x$			
0100100000	0101100000		0000110000			

#### 3. 2. Uygulama 2

Bu örnekte, TS 500 (Anon., 2000)'e göre klasik yöntemle Celep ve Kumbasar (2005) tarafından tekil temelin el ile çözümü yapılarak, sadece,  $l_x$ ,  $l_y$  ve  $h$  boyutları bulunmuştur. Donatı alanları bu örnekte hesaplanmamıştır. Bu örnekteki veriler,  $P=1502.2$  kN,  $M_x=117.2$  kNm,  $M_y=234.4$  kNm,  $p_{max}=287.8$  N/mm<sup>2</sup>,  $c_x=0.60$  m,  $c_y=0.60$  m. İstenenler:  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $h$  değerleri.

Tablo 3'te verildiği gibi, BS 8110 (Anon., 1985)'a göre GA ile yapılan çözümde elde edilen temel hacmi daha küçük bulunmuştur. Bu örnekte, tekil temele  $M_x$  ve  $M_y$  momentlerinin uygulanması temel tabanında oluşan basınçtan dolayı problemin el ile çözümünü zorlaştırmaktadır.

Tablo 3. Celep ve Kumbasar (2005) ve GA sonuçları.

Metot	$l_x$ m	$l_y$ m	$h$ m	$V$ m <sup>3</sup>	$A_{sx}$ mm <sup>2</sup>	$A_{sy}$ mm <sup>2</sup>
Celep ve Kumbasar	2.80	2.80	0.65	5.10	-	-
G.A.	2.90	2.70	0.55	4.31	2378	2562
Kromozom						
$d$	$l_y$		$l_x$			
0100100000	0100010001		0000110001			

Temel tabanında oluşan basınçların ortalama değerlerini alarak işlem yapıldığında hata miktarı artmaktadır. GA ile yapılan çözümde ise, temel tabanında oluşan basıncın yüzey fonksiyonu oluşturulduğundan, hem problemin çözümü basitleştirilmiş hem de el ile çözümde yapılan hata miktarı ortadan kaldırılmıştır. GA programıyla elde edilen temel boyutlarına ait kromozom Tablo 3'te verilmektedir.

#### 3. 3. Uygulama 3

Bu örnek, BS 8110 (Anon., 1985)'a göre Macginly ve Choo (2001) tarafından çözümü klasik yöntemle (el ile) çözülmüştür. Bu örnekteki veriler,  $P=1598$  kN,  $M_x=200.1$  kNm,  $M_y=0$ ,  $f_{cu}=35$  N/mm<sup>2</sup>,  $f_y=460$  N/mm<sup>2</sup>,  $p_{max}=191.3$  N/mm<sup>2</sup>,  $c_x=0.45$  m,  $c_y=0.45$  m. İstenenler:  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $h$ ,  $A_{sx}$  ve  $A_{sy}$  değerleri.

Macginly ve Choo (2001) tarafından BS 8110 (Anon., 1985)'a göre el ile yapılan çözümde elde



edilen tekil temel boyutları ve donatı alanları Tablo 4'te verilmektedir. GA ile yapılan çözümde BS 8110 (Anon., 1985) standardı kullanılmıştır. Tablo 4'te görüldüğü gibi GA çözümünden elde edilen tekil temel hacmi biraz daha küçük bulunmuştur. Bu durum, Macginly ve Choo (2001) tarafından yapılan çözümde, temel boyutları bulunurken temel tabanında oluşan basınç değerlerinin ortalamasının alınmasından kaynaklanmaktadır. GA programından elde edilen temel boyutlarına ait kromozom Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Macginly ve Choo (2001) ve GA Sonuçları.

Metot	$l_x$ m	$l_y$ m	$h$ m	$V$ $m^3$	$A_{sx}$ $mm^2$	$A_{sy}$ $mm^2$
Macginly ve Choo	3.60	2.80	0.50	5.04	3686	2340
G.A.	2.90	3.60	0.50	5.22	3009	3461
Kromozom						
$d$	$l_y$			$l_x$		
0100100100	0101101000			0000101010		

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tekil temelin minimum geometrik boyutları sınırlayıcılar göz önüne alınarak geliştirilen GA programıyla başarılı bir şekilde bulunmuştur. Temel taban basıncının lineer olarak değişimi göz önüne alınarak, bir yüzey fonksiyonu geliştirilmiş ve temel boyutları hesaplanırken gerçek basınç değerleri alınmıştır. Böylece, el ile yapılan çözüme kıyasla hem zaman alan işlemler kısaltılmış hem de çözümlerde temel basıncının gerçek değerleri alınarak yapılacak olan hata ortadan kaldırılmıştır. Klasik metotlarda ve bazı bilgisayar programlarında, temel boyutlarının başlangıçta tecrübeli bir mühendis tarafından tahmin edilmesi zorunluluğu bulunmaktadır. Yapılan bu tahminden sonra, birtakım uzun ve karmaşık işlemler neticesinde yaklaşık bir sonuca ulaşılmaktadır. Bunların aksine, GA çözüm uzayını birçok noktalar topluluğu ile taramakta ve kullandığı çok basit genetik operatörler sayesinde çözüme kısa sürede ulaşmaktadır. GA'nın diğer metotlara kıyasla aynı anda birkaç alternatif çözüm vermesi de üstün bir özelliğidir. Bilgisayarların birçok bilim alanında egemen olduğu günümüzde, karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde evrimsel modellemelere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

#### 5. TEŞEKKÜR

Katkıları için Dr. H. Murat Algın'a teşekkür ederim.

#### 6. KAYNAKLAR

Anonymous, 1985. BS 8110, Structural code of concrete. Part 1: Code of practice for design and construction, Part 2: Code of practice for special circumstances.

Anonymous, 1992. BS 8004, Code of practice for foundations. BS 8004 incorporated into BS EN 1992-1-1 and BS EN 1997-1, british standards institution, London.

Anonymous, 1995. Eurocode-7, geotechnical design, european committee for standardization. draft report, british standards institution, London.

Anonymous, 1997. TS ENV 1997, Geoteknik tasarım, (Eurocode-7), Türk Standartları Enstitüsü, Necatibey caddesi, No.112 Bakanlıklar, Ankara.

Anonymous, 2000. TS 500 Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Arslan, A., Turgut, P. and Calayır, Y. 1996. A genetic search based arrangement of load combinations in structural frames. Civil Comp., Advances in Computational Structures Technology, Edinburgh.

Celep, Z. and Kumbasar, N. 2005. Betonarme Yapılar. BETA Dağıtım, İstanbul.

Ceranic, B., Fryer, C. and Baines, R.W. 2001. An application of simulated annealing to the optimum design of reinforced concrete retaining structures. Computers and Structures 79, 1569-1581.

Eduardo, M.R.F., Marcos, M.S., Romildo, D.T.F., Jose, L.D.A. and Nelson, F.F.E. 2004. Optimization of mass concrete construction using genetic algorithms. Computers and Structures 82, 281-299.

Ersoy, U. 1995. Betonarme II- Döşeme ve Temeller. Evrim yayınevi, İstanbul.

Goldberg, D.E. 1983. Computer-Aided gas pipeline operation using genetic algorithms and rule learning. PhD Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor.

Greiner, D., Winter, G. and Emperador, J.M. 2001. Optimising frame structures by different strategies of genetic algorithms. Finite Elements in Analysis and Design 37, 381-402.

- Hadi, M.N.S. and Arfiadi, Y. 2001. Optimum rigid pavement design by genetic algorithms. *Computers and Structures* 79, 1617-1624.
- Hasancebi, O. and Erbatur, F. 2000a. Constrain handling in genetic algorithm integrated structural optimization. *Acta Mechanica* 139, 15-31.
- Hasancebi, O. and Erbatur, F. 2000b. Evaluation of crossover techniques in genetic algorithm based optimum structural.
- Jarquio, R. and Jarquio, V. 1983. Design footing area with biaxial bending. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE.* 109, 1337-1341.
- Jarquio, R. and Jarquio, V. 1984. Vertical stress formulas for triangular loading. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE.* 110, 73-78.
- Louis, G. and Antoni, A. 2001. Shape and Cross-Section optimisation of a truss structure. *Computers and Structures* 79, 681-689.
- Macginly, T.J. and Choo, B.S. 2001. Reinforced Concrete: Design Theory and Examples. Taylor & Francis Co.
- Makris, P.A. and Provatidis, C.G. 2002. Weight minimisation of displacement-constrained truss structures using a strain energy criterion. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 191, 2159-2177.
- Matej, L. and Sejnoha, S. 2003. New approach to optimization of reinforced concrete beams. *Computers and Structures* 81, 1957-1966.
- Rao, M.A., Srinivas, J. and Murthy, B.S.N. 2004. Damage detection in vibrating bodies using genetic algorithms. *Computers and Structures* 82, 963-968.
- Rong, J. H., Xie, Y.M. and Yang, X.Y. 2001. An improved method for evolutionary structural optimisation against buckling. *Computers and Structures* 79, 253-263.
- Sahab, M.G., Ashour, A.F. and Toropov, V.V. 2005. Cost optimisation of reinforced concrete flat slab buildings. *Engineering Structures* 27, 313-322.
- Salajegheh, E., Heidari, A. 2004. Optimum design of structures against earthquake by adaptive genetic algorithm using wavelet networks. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 28, 277-285.
- Saribas, A. and Erbatur, F. 1996. Optimization and sensitivity of retaining structures. *Journal of Geotechnical Engineering* 122, 649-656.
- Turgut, P. ve Arslan, A. 2001. Sürekli bir kirişte maksimum momentlerin genetik algoritmalar ile bulunması. *D.E.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi* 3, 1-9.
- Turgut, P., Gürel, M. A. ve Arslan A. 1996. Genetik algoritma ile bir kirişin optimum tasarımı. Prof. Dr. Rıfat Yarar Sempozyumu, İTÜ, İstanbul.
- Turgut, P. 1995. Yapılarda hareketli yük kombinasyonlarının genetik algoritmalar ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Wang, S.Y. and Tai, K. 2004. Graph representation for structural topology optimization using genetic algorithms. *Computers and Structures* 82, 1609-1622.