

Genetik algoritmalar ile perdeli yapı sisteminin maliyet optimizasyonu

Şenay ATABAY*, F. Gülten GÜLAY

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, perdeli betonarme yapı sistemlerinin Genetik Algoritma Yöntemi ile maliyet optimizasyonu yapılmaktadır. Tasarım değişkenleri perde boyutlarıdır ve yapının toplam malzeme maliyetini minimize eden perde boyutları aranmaktadır. "ABYYHY" ve "TS 500" de perde boyutları ve donatı ile ilgili koşullar problemin kısıtlamaları olarak alınmıştır. Optimizasyon probleminin çözümünde yapıyı oluşturan diğer taşıyıcı sistem eleman boyutlarının sabit kaldığı kabul edilmiştir. Sayısal uygulamalarda kullanılmak üzere, yapısal sistemlerin minimum maliyet tasarımı için gerekli olan optimum perde boyutlarını belirleyen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Örneklerin çözümünde, minimize edilmek istenen maliyet fonksiyonu beton ve donatı maliyetlerini içermektedir. Sunulan çalışmada, sayısal uygulama olarak, 8 katlı bir perde yapının Genetik Algoritma ile optimizasyonu ayrıntılı olarak verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, perdeli sistemler, yapısal optimizasyon, yapay zeka.

Cost optimisation of shear-wall system by genetic algorithms

Abstract

In this present work, a cost optimisation has been done for r/c structural system by Genetic Algorithm Method. In the optimisation problem the shear-wall dimensions has been considered as design variables and it has been aimed at searching the optimum shear-wall dimensions that minimize total material cost of shear-wall. The constraints of structural optimisation problem are constructed according to the requirements of the r/c specification so-called as "TS 500" and the seismic code of Turkey, which is put into effect on 1998. The standard structural design procedure requires the predetermination of the dimensions of load carrying members that is generally based on designer's engineering skill, experience and intuition. In practical design applications, final dimensions are usually selected as one of the most suitable ones among numerous design selections that satisfy the regulations. However, the most of these design alternatives may generally be far away from being the most economical design solution, which could only be found by a more elaborated optimisation procedure. A computer program is also developed for determining the optimum shear-wall dimensions for the minimum cost design of structural systems. The proposed algorithm minimizes structural cost including the cost of concrete and the reinforcement where the costs dealing with transportation, workmanship and formwork prices are not included. An 8 story shear-wall system is presented as a numerical example and obtained.

Keywords: Genetic algorithm, shear-wall systems, structural optimisation, artificial intelligence.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Şenay ATABAY; satabay@yildiz.edu.tr; Tel: (212) 259 70 70 dahili: 2359.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Perdeli betonarme yapı sistemlerinin genetik algoritma ile optimum tasarımı" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 15.03.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 28.04.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Bir yapı sistemi projelendirilirken, yapının taşıyıcı sistemine ait elemanların ön boyutları, mühendislik yeteneği ve kazanılmış tecrübelerle dayanılarak seçilir. Kuvvete dayalı boyutlandırma tekniklerinde; malzemenin maruz kalacağı gerilmelerin limit değerler içinde kalmasına ve seçilen boyutların şartnamelerle verilen minimumlara uymasına dikkat edilir. Deneyimli bir mühendisin tahmin ettiği ön boyutlar, çok değişiklik gerektirmez; en çok iki-üç denemede uygun boyutlara ulaşılır. Aslında, taşıyıcı sistem, gerekli bütün koşulları sağlayan çok sayıda çözümle boyutlandırılabilir ve her bir taşıyıcı sistem seçeneğinin maliyeti de birbirinden oldukça farklı olabilir. Halbuki mühendislikte amaç, öngörülen kısıtlamaları sağlayan, en düşük maliyetli tasarımın bulunması olmalıdır.

Günümüzde, mühendisliğin bir çok dalında optimizasyon yöntemlerinden yararlanılmakta ve optimum çözümler için çeşitli matematiksel programlama teknikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunda, tasarım değişkenlerinin “sürekli” olduğu kabul edilmektedir; bilindiği üzere bu özellik, her tür mühendislik problemi için uygulanamayabilir. Özellikle yapı mühendisliğinde, matematiksel programlama tekniklerinin yanı sıra “ayrık” tasarım değişkenlerinin kullanılması gerekliliği ile karşılaşmaktadır. Sunulan çalışmada perdeli yapı sistemlerinin maliyet optimizasyonu için kullanılan *Genetik Algoritma* yöntemi, ayrık tasarım değişkenlerini kullanan yöntemlerden biri olması açısından yapı mühendisliği problemlerine oldukça uygun bir yöntemdir.

Genetik algoritmalar

Yapay Zeka yöntemlerinden biri olan Genetik Algoritma Yöntemi ilk olarak Goldberg (1989) tarafından önerilmiştir. Genetik Algoritma'nın, inşaat mühendisliği problemlerine ilk uygulamalarından biri Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) tarafından yapılmış ve yöntem üç çubuklu kafes sistem probleminde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Ramasamy ve Rajasekaran (1996) tarafından yapılan çalışmada ise, endüstriyel çatılar Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak optimize edilmişlerdir. Turgut vd., (1997), basit mesnetli betonarme bir kirişin optimizasyonunu bu

yöntemle yapmışlardır. Daloğlu ve Armutcu (1997) ise, gerilme, deplasman ve stabilite sınırlayıcıları altında kafes sistemlerin optimum tasarım problemini incelemişlerdir. Wei vd., (1997)'nin çalışmalarında da, zaman, maliyet iş optimizasyonu için Genetik Algoritmanın prensiplerine dayalı bir algoritma oluşturulmuştur. Friswell vd., (1998)'nin çalışmasında, titreşim verileri kullanılarak ortaya çıkan hasar problemine Genetik Algoritma'nın uygulanması anlatılmaktadır. Rafiq ve Southcombe (1998), Genetik Algoritmalar'ı kullanarak iki eksenli eğilme altındaki betonarme kolonların optimizasyonunu yapmışlardır. Saka (1998) tarafından yapılan çalışmada, eleman kesit özelliklerini uluslararası kesitlerden alan ızgara sistemlerin optimum tasarımı için bir Genetik Algoritma sunulmuştur. Hadi ve Arfiadi (1998)'nin çalışmasında, deprem etkisine maruz, çok serbestlik dereceli yapılar için kütle salınımlarını sönümleyen bir aracın parametreleri Genetik Algoritma kullanılarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Pezeshk vd., (2000), geometri bakımından doğrusal olmayan iki boyutlu çelik-çerçeve yapıların tasarımı için, Genetik Algoritma esaslı bir optimizasyon yönteminden faydalanmıştır. Park vd., (2003) ise, kompozit tabakalandırılmış plakların ağırlık optimizasyonunu Genetik Algoritma yöntemi yardımıyla yapmışlardır.

Yöntemin esası

Genetik Algoritmaların temel prensibi, her adımda bir önceki nesilden yeni bireyler oluşturularak amaç fonksiyonunun uygunluk derecesini arttırmak ve sonuç olarak belli kısıtlamaları sağlayacak şekilde amaç fonksiyonunun sağlayan en uygun değerini elde etmektir.

Genetik algoritmada, öncelikle bir başlangıç nesli belirlenerek işleme başlanır. Bu nesli oluşturan her bir birey ikili sayı sisteminde kodlanarak bir araya getirilir. Bu bireylere *yapay kromozomlar* adı verilir. Bu kromozomlar, sonlu sayıda diziden oluşurlar ve dizideki 0 veya 1'den oluşan her bir sayı yapay bir geni temsil eder. Her bir tasarım değişkeni için set içindeki sıra numarasını temsil eden ikilik kodlama yapılır. Buna dizi denir. Optimizasyon probleminde kaç adet tasarım değişkeni varsa o kadar sayıda dizi yan yana yazılır ve böylece bir birey oluşturulur.

Bir çok problemde iyi sonuçlar üreten basit bir genetik algoritma 3 ana süreçten oluşmaktadır: *Üreme* (kopyalama-reproduction), *eşleşme havuzu oluşturma* (mating pool) ve *çaprazlama* (gen alışverişi-crossover). Üreme, tekil dizilerin, amaç fonksiyonu değerlerine bağlı olarak kopyalandıkları aşamadır. Etkin şekilde yapılan bir kopyalama işleminde, uyumu yüksek olan bireylerin bir sonraki adımda seçilme şansları daha yüksek olacaktır ki, bu uyum derecesiyle orantılı olmaktadır.

Yaşamına devam eden bireyler eşleşme havuzunda toplanır ve yeni nesli oluşturmak üzere, çaprazlama operatörü kullanılarak rastgele eşleştirilir. Çaprazlama işlemi üç adımda gerçekleştirilir: Önce nesilden ikişer ikişer bireyler seçilir. Daha sonra seçilen bireylerin genleri arasında çaprazlama işlemi yapabilmek için rastgele bir konum belirlenir. Son olarak belirlenen konumdaki genetik bilgiler değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır. Yeni nesil, bu işlemin eski nesildeki tüm bireylere uygulanmasıyla elde edilir.

Optimum tasarım problemi

Çelik yapı sistemlerin optimizasyon işleminde yapının amaç fonksiyonu olarak genellikle yapı ağırlığının minimizasyonu alınır. Çünkü çelik sistemler tek malzemedan yapılırlar ve malzeme ağırlığının minimizasyonu genellikle maliyetinin de minimizasyonunu ifade eder. Ancak betonarme sistemlerin optimizasyonunda durum farklıdır. Betonarme yapılar iki farklı malzemedan meydana geldiği için yapı ağırlığının minimum olması her zaman maliyetinin de minimum olması anlamına gelmez. Bu nedenle betonarme sistemlerin optimizasyonu probleminde amaç fonksiyonu, ağırlığın değil maliyetin minimizasyonu olmalıdır.

Bu durumda minimize edilecek $f(x)$ amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$f(x) = C_{bc} W_{cl} + C_{bb} V_{bt} \quad (1)$$

Bu çalışmada, perdeli betonarme yapıların optimizasyonu için çeliğin birim ağırlık fiyatı ile betonun birim hacim fiyatı arasındaki oran $C_{bc}/C_{bb}=0.5$ kabul edilmiştir. Buna göre amaç fonksiyonu;

$$\text{Min } f(x) = 0.5W_{cl} + V_{bt} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Tasarım değişkenleri olarak ise perdelerin l_w enkesit uzunluk değerleri alınmıştır. Perde elemanındaki donatı miktarı (A_s), değişen her l_w tasarım değişkenleri için farklı değer aldığından bağımlı değişken olarak problemde yer almıştır.

Kısıtlamalar

ABYYHY (1997)'den yararlanılarak düzenlenen tasarım problemindeki $g_i(x)$ kısıtlamaları ve bu kısıtlamaların normalleştirilmiş formları aşağıdaki gibidir

a) V_{r1} 1. Kesme kuvveti kısıtlaması:

$$V_d \leq V_{r1} \quad (3a)$$

$$V_{r1} = A_{ch}(0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{yd}) \quad (3b)$$

olduğuna göre (3a) ifadesi normalleştirilerek;

$$g_{1i}(x) = \frac{V_{di}}{V_{r1i}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

elde edilir.

b) V_{r2} 2. Kesme kuvveti kısıtlaması:

$$V_{r2} = 0.22 A_{ch} f_{cd} \quad (5a)$$

$$V_d \leq V_{r2} \quad (5b)$$

olduğuna göre;

$$g_{2i}(x) = \frac{V_{di}}{V_{r2i}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

elde edilir.

c) ρ_i donatı yüzdesi kısıtlaması:

$$g_{3i}(x) = \frac{\rho_i}{\rho_{max}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

d) Yerdeğiştirme kısıtlamaları:

$$\frac{(\Delta_j)_{max}}{h_j} \leq 0.0035 \quad (8a)$$

$$\Delta_j = d_j - d_{j-1} \quad (8b) \quad g_{i,j}(x) > 0 \text{ ise } c_{i,j} = g_{i,j}(x) \quad (16a)$$

$$\text{olduğuna göre;} \quad g_{i,j}(x) \leq 0 \text{ ise } c_{i,j} = 0 \quad (16b)$$

$$g_{4j}(x) = \frac{(\Delta_j)_{\max}/h_j}{0.0035} - 1 \leq 0 \quad j=1, \dots, r \quad (9)$$

$$\frac{(\Delta_j)_{\max}}{h_j} \leq \frac{0.02}{R} \quad (10)$$

$$g_{5j}(x) = \frac{(\Delta_j)_{\max}/h_j}{(0.02/R)} - 1 \leq 0 \quad j=1, \dots, r \quad (11)$$

e) Boyut kısıtlamaları:

$$l_{wi} \geq l_{wi+1} \quad i=1, \dots, n \quad (12)$$

$$g_i(x) = \frac{l_{w(i+1)}}{l_{w(i)}} - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (13)$$

Burada, i , tasarım değişkeni numarası ($i=1, \dots, n$), j : kat sayısıdır ($j=1, \dots, r$).

Optimum tasarım algoritması

Genetik algoritma tarafından gerekli olan uygunluk kriterini elde etmek için kısıtlamalı amaç fonksiyonunun kısıtlamasız probleme dönüştürülmesi gerekir. Böylece, kısıtlamasız amaç fonksiyonu, her bir birey için, C zorlanma katsayısı da hesaba katılarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\Phi(x) = f(x)(1+KC) \quad (14)$$

$\Phi(x)$, kısıtlamasız bir fonksiyondur ve minimumu Genetik Algoritma tarafından belirlenir. K ise, kısıtlamaların zorlandığı problemlerde C zorlanma katsayısının etkinliğini artırmak ve bu tip sistemlerin bir sonraki nesle geçip geçemeyeceğini belirlemeye yardımcı bir katsayıdır. K değeri için, inşaat mühendisliğindeki diğer problemlerde kullanıldığı gibi (Rajeev ve Krishnamoorthy, 1992) 10 alınması uygun bulunmuştur. C değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C = \sum_{i=1}^m c_i \quad (15)$$

Buradaki m , kısıtlama sayısıdır.

Kısıtlamasız amaç fonksiyonu $\Phi(x)$, her bir birey için hesaplandıktan sonra en fazla uygunluğa sahip uygun değerlerle değiştirilmesi gerekir. Goldberg (1989)'in önerisine göre, minimizasyon problemleri için, $\Phi(x)$, büyük bir sabit değerden çıkarılmalıdır, böylece bütün uygun değerler pozitif olur ve etkili değerlerine göre bireylerin uygun değerleri elde edilir. Bu sabit değer, $\Phi(x)$ 'in bir tablodaki maksimum ve minimum değerlerinin toplanmasıyla elde edilmektedir. Uyum derecesi için hesap şu şekilde yapılır:

$$F_{udi} = [\Phi_i(x)_{\max} + \Phi_i(x)_{\min}] - \Phi_i(x) \quad (17)$$

Buradaki F_{udi} , i bireyinin uyum derecesini, i indisi bir nesildeki bireyi gösterir. $\Phi_i(x)_{\max}$ ve $\Phi_i(x)_{\min}$, bütün bireylerden oluşan topluluk içinde kısıtlamasız $\Phi(x)$ fonksiyonunun alacağı maksimum ve minimum değerleri temsil etmektedir.

Her bir bireyin uyum faktörü ise; F_{udi} / F_{ort} ile hesaplanır. Buradaki s topluluktaki toplam birey sayısı olmak üzere;

$$F_{ort} = \sum F_{udi} / s \quad (18)$$

dir. Bu orana bakılarak, her bir bireyin yok edilmesine veya bir sonraki nesil için eşleşme havuzuna kopyalanmasına karar verilmektedir.

Bir sonraki adım, bir sonraki nesil için yeni bir topluluk oluşturmaktır. Oluşturulan bu topluluk bir önceki neslin çocukları olacaktır. Eşleşme havuzu oluşturulduktan sonra bireyler burada rastgele eşleşmekte ve çaprazlama ve değişim operatörleri uygulanmaktadır. Böylece bir sonraki nesil meydana gelmektedir.

Daha sonra yeni nesil, eski neslin yerine konularak işlem tekrarlanır. Bu işleme yeni neslin %80 veya %85'i aynı bireyden oluşturulana kadar devam edilir ve bulunan bu birey optimum çözümü temsil eder.

Perde betonarme hesabı

Perde elemanın betonarme hesabı yapılırken eğik eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki dikdörtgen

betonarme kesitlerde taşıma gücü formüllerinden yararlanılmıştır (Çakıroğlu ve Özer, 1990).

Perde kesitlerinin hesabı için önce, gövde donatılarının bir kısmı kısa kenardaki uç donatılarına eklenerek dört kenar boyunca eşit ve düzgün yayılı donatı durumu elde edilir (Şekil 1). Perdeye yerleştirilecek donatı hesabı için, gerekli olan BÇIII çeliğine ait formüller kullanılmıştır:

$$n = \frac{N_d}{bh f_{ck}}, \quad m_x = \frac{M_{xd}}{bh^2 f_{ck}}, \quad m_y = \frac{M_{yd}}{b^2 h f_{ck}}, \quad \alpha = 0.80 \quad (19)$$

$$\mu = \frac{A_s f_{yk}}{bh f_{ck}} \quad (20)$$

$n < 0.20$ hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (21)$$

$$k = (2 - 6.65 n) m_y + 2.65 n + 0.20 \quad (22a)$$

$$\mu = 2.86 m + 2.92 n^2 - 1.48 n \quad (22b)$$

$0.20 \leq n \leq 0.30$ hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (23)$$

$$k = (-4.33 + 25 n) m_y - 2.05 n + 1.14 \quad (24a)$$

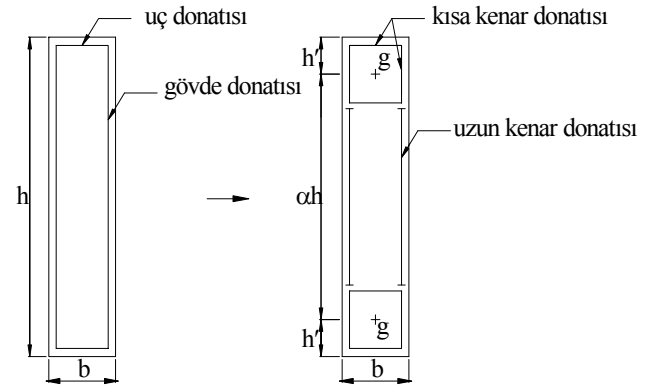
$$\mu = 2.92 m - 0.192 \quad (24b)$$

$n > 0.30$ hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (25)$$

$$k = (3.67 - 1.67 n) m_y + 0.75 - 0.75 n \quad (26a)$$

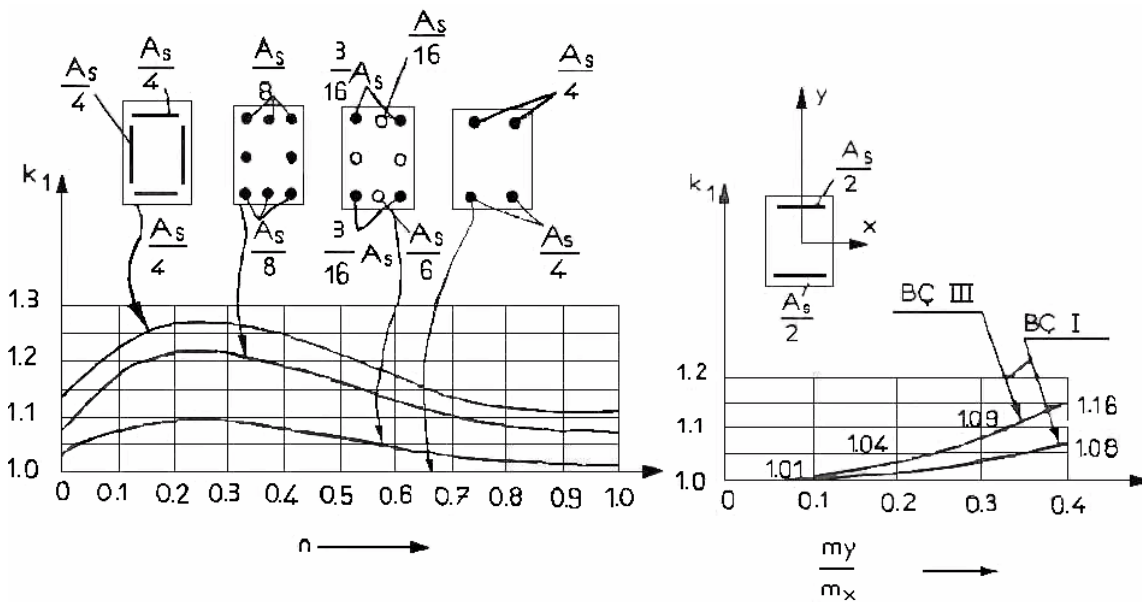
$$\mu = 2.92 m + 0.62 n^2 + 0.254 n - 0.32 \quad (26b)$$



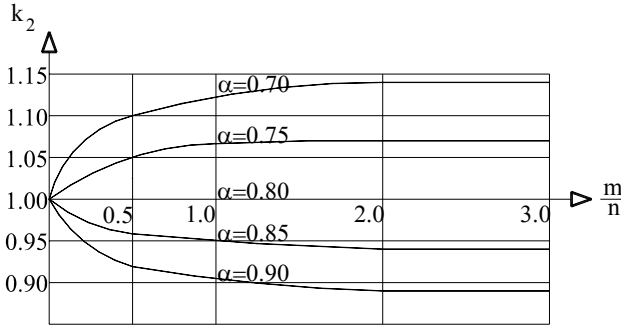
Şekil 1. Perde donatılarının belirlenmesi

Dört kenarda eşit yayılı donatı durumundaki k_1 için Şekil 2'ye göre ortalama olarak 1.25 değeri elde edilmiştir. $\alpha = 0.90$ alınmış ve Şekil 3'de $k_2 \cong 0.95$ olarak belirlenmiştir. Buna göre, A_s toplam donatısı için aşağıdaki ifade elde edilmiştir:

$$A_s = k_1 k_2 \mu bh \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 1.20 \mu bh \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \quad (26)$$



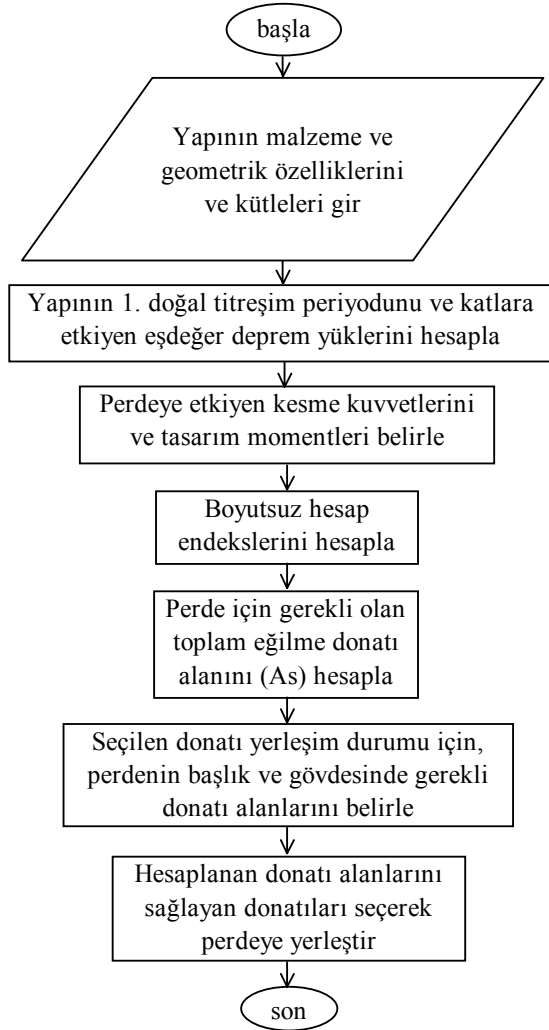
Şekil 2. Çeşitli donatı yerleşim durumları için k_1 katsayıları (Çakıroğlu ve Özer, 1990)



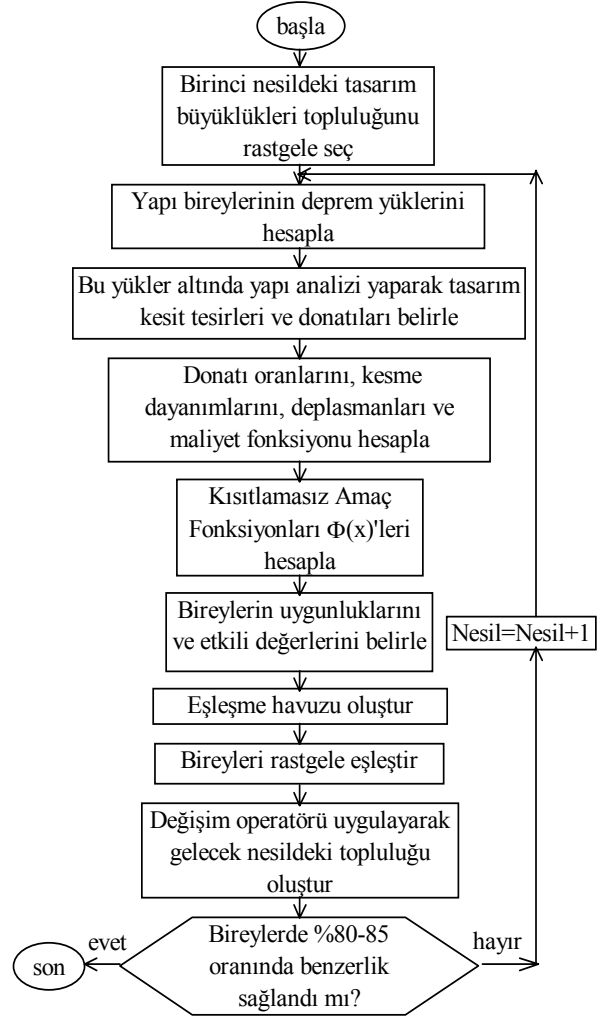
Şekil 3. k_2 katsayıları (Çakıroğlu ve Özer, 1990)

Bilgisayar programı

Geliştirilen optimizasyon algoritması için perde hesabı yapan PERHES programı akış diyagramı Şekil 4’de, betonarme perdeli sistemlerin optimum tasarımı için geliştirilen PERDEOPT algoritmanın akış diyagramı ise Şekil 5’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Perde donatı hesabı PERHES akış diyagramı



Şekil 5. Genetik algoritma ile maliyet optimizasyonu akış diyagramı

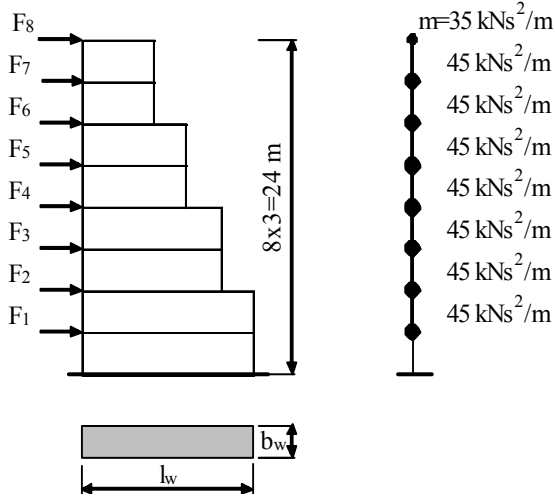
Şekil 4 ve Şekil 5’de akış diyagramları sunulan algoritma daha sonra üç boyutlu yapı sistemlerine uygulanmak üzere geliştirilmiştir.

Sayısal uygulama

Çalışmada örnek olarak, x ve y doğrultusunda tek perdeli, 8 katlı bir yapı örneği ele alınarak, genetik algoritma yöntemi ile çözümü incelenmiştir.

Şekil 6’da görülen söz konusu örnek yapının özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

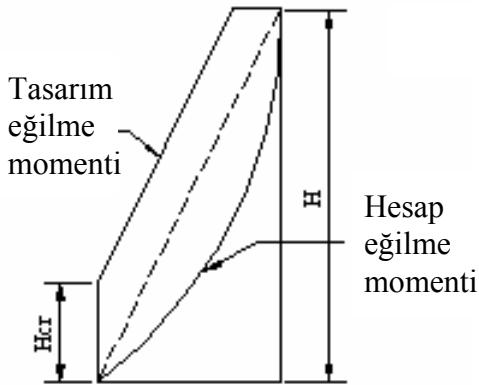
Perdenin l_w enkesit boyunun her iki katta bir değişmekte olduğu, b_w genişliğinin ise yapı yüksekliği boyunca sabit kaldığı ($b_w=0.25$ m) kabul edilmiştir.



Şekil 6. 8 katlı betonarme perde elemanı ve kat kütleleri

1. derece deprem bölgesinde yer alan binaya etki eden deprem kuvvetinin her iki doğrultuda yerleştirilen birer perde tarafından karşılanacağı kabul edilmiştir. Hesaplarda kütlelerin kat hizalarında toplandığı varsayılmış ve perdedeki boy değişiminden dolayı oluşacak ağırlık farkı ihmal edilerek kütleler sabit alınmıştır.

Yönetmelikte önerildiği üzere perde tasarım momentlerinin hesabı için H_{cr} (kritik perde yüksekliği) hesaplandıktan sonra tasarım eğilme momenti, bu yükseklik boyunca sabit alınmıştır. Kritik yükseklik üstünde kalan bölgede ise, perde tasarım momenti perde tabanında ve tepesinde hesaplanan eğilme momentini birleştiren lineer doğruya paralel olarak azaltılmıştır (Şekil 7) (ABYYHY, 1997).



Şekil 7. ABYYHY (1997)'e göre perdedeki tasarım ve hesap eğilme momentleri

Gen haritasının oluşturulması

Bu problemde kromozomlar ikili kodlama sistemi ile oluşturulacaktır. Tasarım değişkenlerinin ayrık olması nedeniyle, tasarım değişkenleri olarak alınabilecek muhtemel tasarım değişkenleri havuzunun hazırlanması gerekir. Taşıyıcı bir elemanın perde olabilmesi için l_{wi}/b_{wi} oranının minimum 7 olması gerekir. Tasarım değişkenleri için varsayılan uygun l_w değerinin bu örnekte minimum 180 cm'den başladığı kabul edilmiştir. Tasarım değişkenleri havuzu şöyle alınmıştır:

$S = (180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 440, 460, 480)$

Problemin çözümü için 16 adet farklı l_w uzunluk değeri arasından, maliyeti minimum yapan l_{w1} , l_{w2} , l_{w3} ve l_{w4} , yani dört adet l_w değeri optimum perde boyu olarak seçilecektir. Tasarım değişkenleri havuzunda toplam 16 farklı l_w değeri olduğuna göre:

X_i : değişken adedi = $(15)_{10} = (1111)_2$ 'dir.

Ancak, $(0000)_2 = (0)_{10}$ olduğundan değişken adedi $15+1 = 16$ tanedir. O halde 16 farklı değeri gösteren ikili sistemdeki kromozom uzunluğu 4 (1111) 'dür. Kromozomlar $A=0000$ ile $B=1111$ arasında değişen 16 farklı değer almakta ve her biri S listesindeki bir uzunluk değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 1'de 1. nesil, Tablo 2'de ise optimum çözümün belirlendiği 28. nesil gösterilmiştir.

Optimum birey "1001010000010000" olarak bulunmuştur. Bu birey dizilerine ayrılırsa optimum perde enkesit boyları $[360\ 260\ 200\ 180]$ olarak belirlenir. Yani $l_{w1}=360$ cm, $l_{w2}=260$ cm, $l_{w3}=200$ cm ve $l_{w4}=180$ cm'dir.

Optimum birey için hesap

Şekil 8'de, optimum hesap sonucunda bulunan perde boyutları ve bu perdelerle yerleştirilen donatılar gösterilmiştir.

Optimum perde yapısının analizi ile bulunan iç kuvvetler, donatı oranları, yerdeğiştirme durumları ile yönetmelik koşulları Tablo 3'de, özetlenmiştir.

Tablo 1. Perde enkesit uzunluk değerleri için 1. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	l_{w4} (cm)	$f(x)$	C	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş ça ₁	ça ₂	Gelecek nesil	
1	1011011110010101	400	320	360	280	37.3778	0.1250	1	1011011110010101	8	2	6	1011011110010101
2	0010010111000110	220	280	420	300	32.9656	0.7727	1	0010010111000110	6	0	4	0100010111000110
3	1000011101000000	340	320	260	180	31.8033	0.0000	2	1000011101000000	11	11	13	1000011101000000
4	1010000111101100	380	200	460	420	39.9351	1.3000	1	1010000111101100	14	8	12	1010000101101100
5	0000011111001011	180	320	420	400	35.6508	3.0724	0	1000011101000000	12	3	10	1000000110000000
6	0100001010010001	260	220	360	200	29.5414	0.6538	1	0100001010010001	2	0	4	0010001010010001
7	1101000111111000	440	200	480	340	40.1525	1.4000	1	1101000111111000	13	5	9	1101011001111000
8	0011010000001100	240	260	180	420	30.6738	2.1984	1	0011010000001100	1	2	6	0011010000001100
9	1001011000011101	360	300	200	440	36.3582	1.2000	1	1001011000011101	10	6	11	1001011001011101
10	1100011001000010	420	300	260	220	34.2407	0.0000	2	1100011001000010	9	6	11	1100011000000010
11	0001101011000101	200	380	420	280	34.4250	1.0282	1	0001101011000101	3	11	13	0001101011000101
12	0110000110000000	300	200	340	180	29.7360	0.8114	1	0110000110000000	5	3	10	0110011101000000
13	0010111000001111	220	460	180	480	36.4352	3.1787	0	1100011001000010	7	5	9	1100000111000010
14	1001010101100001	360	280	300	200	32.5577	0.0714	1	1001010101100001	4	8	12	1001010111100001

Tablo 2. Perde enkesit uzunluk değerleri için 28. nesil

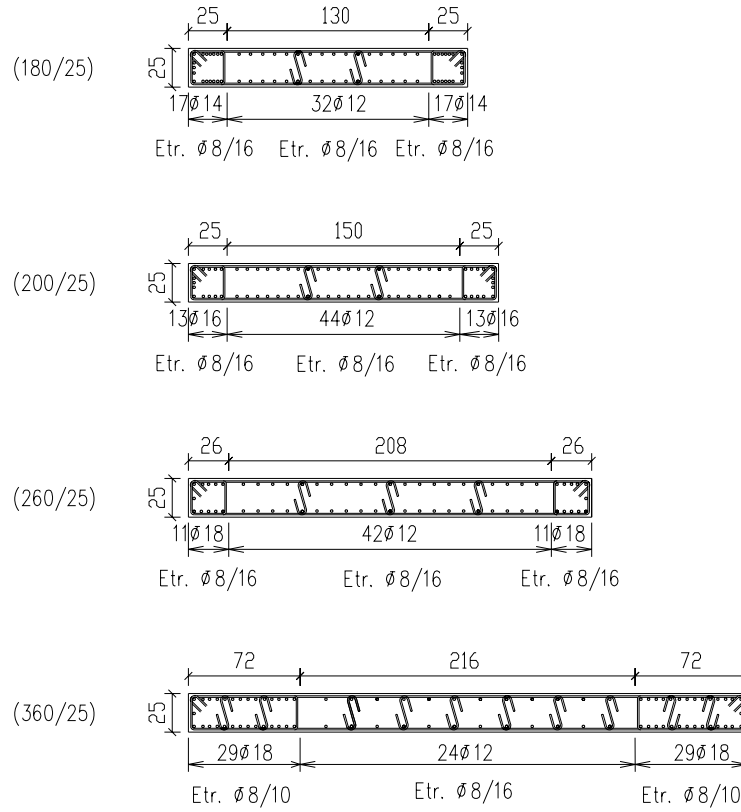
Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	l_{w4} (cm)	$f(x)$	C	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş ça ₁	ça ₂	Gelecek nesil	
1	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	2	1001010000010000	9	10	15	1001010000010000
2	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	4	2	6	1001010000010000
3	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	10	0	4	1001010000010000
4	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	2	2	6	1001010000010000
5	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	13	7	11	1001010000010000
6	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	11	9	16	1001010000010000
7	1001010000010000	360	260	220	180	30.1455	0.0000	1	1001010000010000	12	8	14	1001010000010000
8	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	14	5	12	1001010000010000
9	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	1	10	15	1001010000010000
10	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	3	0	4	1001010000010000
11	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	6	9	16	1001010000010000
12	1010010000010000	380	260	200	180	30.4744	0.0000	0	1001010000010000	7	8	14	1001010000010000
13	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	5	7	11	1001010000010000
14	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	1	1001010000010000	8	5	12	1001010000010000

Tablo 3 incelenirse optimum çözümde yerdeğiştirme kısıtlamasının maksimum değere oldukça yaklaştığı görülmektedir. Bulunan çözümün global optimum olup olmadığını kontrol etmek için problem farklı başlangıç değerleriyle bir kez daha çözülmüş ve her nesilde elde edilen minimum maliyetler her iki çözüm için Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere farklı başlangıç noktası ile yapılan çözüm ile elde edilen optimum maliyet 20.iterasyondan sonra ilk çözümle aynı sonucu vermiştir.

Sonuçlar ve tartışma

İnşaat mühendisliğinde karşılaşılan pek çok problemde tasarım değişkenleri ayrıktır. Tasarım değişkenlerinin ayrı olmaları durumunu ele alan çok az algoritma geliştirilmiştir. Genetik algoritma, ayrı tasarım değişkenleri kullanarak optimum çözümü belirlediğinden inşaat mühendisliği problemlerinin çözümü için oldukça uygun bir yöntem olduğu söylenebilir.

Genetik algoritmalar ile maliyet optimizasyonu



Şekil 8. 28. nesilde hesaplanan optimum perde boyutları ve perde donatıları

Tablo 3. Optimum birey için kısıtlama hesabı

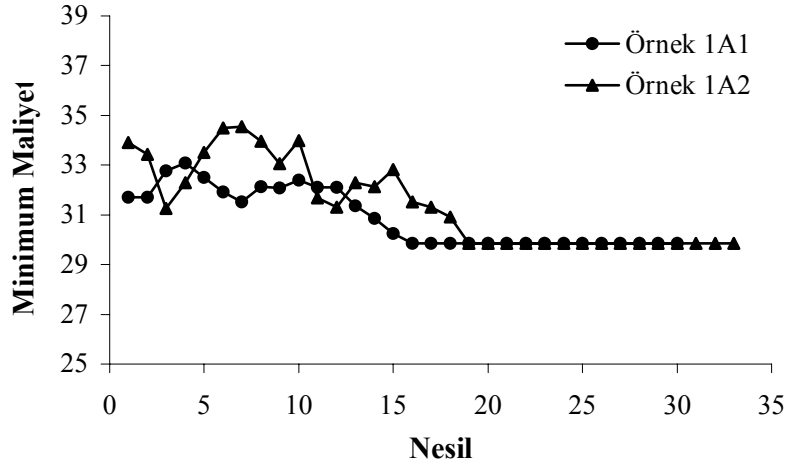
Kat No	Perde Tipi	V_d (kN)	V_{r1} (kN)	V_{r2} (kN)	ρ_i	ρ_{min}	ρ_{max}	$\Delta_{i(max)}/h_i$	0.02/R	l_{wi} (cm)
8	4	047.67	746.70	1653.30	0.0197	0.002	0.04	0.0032	0.0033	180
7	4	101.30	746.70	1653.30	0.0197	0.002	0.04	0.0031	0.0033	180
6	3	147.26	830.00	1837.00	0.0204	0.001	0.04	0.0028	0.0033	200
5	3	185.57	830.00	1837.00	0.0204	0.001	0.04	0.0023	0.0033	200
4	2	216.21	1079.0	2388.10	0.0141	0.001	0.04	0.0017	0.0033	260
3	2	239.20	1079.0	2388.10	0.0141	0.001	0.04	0.0012	0.0033	260
2	1	254.52	1494.0	3306.60	0.0129	0.001	0.04	0.0006	0.0033	360
1	1	262.18	1494.0	3306.60	0.0129	0.001	0.04	0.0003	0.0033	360

Genetik algoritmada türev, integral gibi matematiksel işlemlerin kullanılmıyor olması yöntemin kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Genetik algoritmanın, iteratif işlemlerin otomatik olarak yapılmasına olanak sağlayacak şekilde programlanabiliyor olması işlem kalabalığını azaltmakta, sistem tasarlanıp ön boyutlar, fiyat

ve araştırma uzayı bilgileri verildikten sonra ara işlemler otomatik olarak yapılmakta ve sonuca ulaşılmaktadır.

Genetik algoritmanın rastgele yöntemleri kullanıyor olması, diğer optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi, problemin tek başlangıç noktasından değil, bir çok farklı noktadan çözüme başlamasını



Şekil 9. Nesil-Minimum Maliyet grafiği

sağlamakta, böylece lokal optimuma yakalanma olasılığı ortadan kalkmakta ve büyük bir olasılıkla global optimum bulunmaktadır.

Perdeli betonarme yapı sistemlerinin genetik algoritma yöntemi kullanılarak perde boyutunun optimize edilmesi ile maliyet optimizasyonu için bir algoritma hazırlanan bu çalışma bir çok betonarme yapı sistemlerine uygulanabilir ve pratikte de kullanılabilir.

Çalışmanın daha sonraki aşamalarında hazırlanan çözüm algoritması diğer taşıyıcı elemanların boyutları sabit alınarak çeşitli üç boyutlu yapı sistemlerine de uygulanmış ve planda iki doğrultuda yerleştirilen perde boylarının minimum maliyetli tasarımı yapılmıştır.

Yapının toplam malzeme maliyetini minimize eden perde boyutlarının hesabını amaçlayan bu çalışma, taşıyıcı sistemine perde eklenerek güçlendirilmesi düşünülen mevcut betonarme binalarda, amaç fonksiyonunda sadece perde maliyetlerinin dikkate alınması ile, güçlendirme maliyetini minimum yapacak perde boyutlarının elde edilmesi için de kullanılabilir.

Semboller

A_{ch} : Perdenin brüt enkesit alanı
 A_s : Perdedeki toplam düşey donatı miktarı
 b_w : Perdelerin plandaki genişliği

C : Toplam zorlanma katsayısı
 C_{bb} : Betonun $1 m^3$ ' ünün fiyatı
 C_{bc} : Çeliğin $1 kN$ ' unun fiyatı
 c_i : Tek bir zorlamanın değeri
 d_i : i . kattaki yatay yerdeğiştirme
 $f(x)$: Amaç fonksiyonu
 f_{cd} : Betonun tasarım basınç dayanımı
 f_{ck} : Betonun karakteristik standart silindirik basınç dayanımı
 f_{ctd} : Betonun tasarım çekme dayanımı
 F_{ort} : Bir neslin ortalama uyum derecesi
 F_{udi} : i ' nci bireyin uyum derecesi
 f_{yd} : Donatının tasarım akma dayanımı
 f_{yk} : Donatının karakteristik akma dayanımı
 $g_{i,j}(x)$: Kısıtlamaların normalize edilmiş formları
 h_i : Binanın i . katının kat yüksekliği
 H : Yapının toplam yüksekliği
 H_{cr} : Kritik perde yüksekliği
 k : Katsayı
 K : Bir sonraki nesilde tek bir zorlamanın etkisine bağlı olarak seçilen bir katsayı
 $l_{w,j+1}$: Yapının j . ve $j+1$. perdelerinin plandaki uzunluğu
 M_{max} : Maksimum tasarım eğilme momenti
 m_x, m_y : Sırasıyla x ve y eksenleri etrafındaki hesap yüküne ait boyutsuz eğilme momentleri
 M_{xd} : x eksen etrafındaki eğilme momenti
 M_{yd} : y eksen etrafındaki eğilme momenti
 n : Hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet
 N_d : Eksenel basınç kuvvetinin hesap değeri
 R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
 V_{bt} : Perdelerdeki toplam beton miktarı (m^3)
 V_d : Kesme kuvvetinin hesap değeri
 $V_{r1,2}$: Perde kesitinin kesme dayanımları

- $W_{çl}$:Perdelerdeki toplam çelik miktarı (kN)
 Δ_i :Yapının görelî kat ötelemesi
 $\Phi(x)$:Değiştirilmiş (kısıtlanmasız) amaç fonksiyonu
 μ :Mekanik donatı oranı
 ρ_i :Perdedeki toplam düşey donatıların perde gövdesi brüt enkesit alanına oranı
 ρ_{sh} :Perdede yatay gövde donatılarının perde gövdesi brüt enkesit alanına oranı

Kaynaklar

- ABYYHY, (1997). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Camp, C., Pezeshk, S. ve Cao, G., (1998). Optimized Design of Two-Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **124**, 551-559.
- Çakıroğlu, A. ve Özer E., (1990). Dikdörtgen ve Daire Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri ve Yaklaşıklık Mertebeleri, *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 25-48.
- Daloğlu, A. ve Armutcu, M., (1997). Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile TS648'e Uygun Olarak Optimum Tasarımı, *İnşaat Mühendisliği'nde Gelişmeler III. Teknik Kongre*, ODTÜ, Ankara, 15-16 Eylül, 459-467.
- Friswell, M. I., Penny, J. E. T. ve Garvey, S. D., (1998). A Combined Genetic and Eigensensitivity Algorithm for the Location of Damage in Structures, *Computers and Structures*, **69**, 547-556.
- Goldberg, D. E., (1989). Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Redwood City, Mass.
- Hadi, M.N.S. ve Arfiadi, Y., (1998). Optimum Design of Absorber for MDOF Structures, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **124**, 1272-1280.
- Park, C. H., Lee, W. I., Han, W. S., ve Vautrin, A., (2003). Weight Minimization of Composite Laminated Plates with Multiple Constraints, *Composites Science and Technology*, **63**, 1015-106.
- Pezeshk, S., Camp, C. V. ve Chen, D., (2000). Design of Nonlinear Framed Structures Using Genetic Optimization, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **126**, 382-388.
- Rafiq, M. Y., Southcombe, C., (1998). Genetic Algorithm in Optimal Design and Detailing of Reinforced Concrete Biaxial Columns Supported by a Declarative Approach for Capacity Checking, *Computers and Structures*, **69**, 443-457.
- Rajeev, S. ve Krishnamoorthy, C. S., (1992). Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithm *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **118**, 1233-1250.
- Ramasamy, J. V. ve Rajasekaran, S., (1996). Artificial Neural Network and Genetic Algorithm for the Design Optimization of Industrial Roofs – A Comparison, *Computers and Structures*, **58**, 747-755.
- Saka, M. P., (1998). Optimum Design of Grillage Systems Using Genetic Algorithm, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **13**, 297-302.
- Turgut, P., Gürel, M. A. ve Arslan, A., (1997). Genetik Algoritma ile Betonarme bir Kirişin Optimum Tasarımı, *Prof. Dr. A. Rifat Yarar Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul, 10 Aralık, 349-361.
- Wei, C., Liu, L. ve Burns, S.C., 1997. Using Genetic Algorithm to Solve Construction Time-Cost Trade Off Problems, *Journal of Computing in Civil Engineering*, **11**, 184-189.