Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi
21 (2), 125-132, 2009

Fırat Univ. Journal of Enginering
21(2), 125-132, 2009

Betonarme Kirişlerin Optimum Tasarımında Genetik Algoritma Parametrelerinin Etkisinin Belirlenmesi

Babür DELİKTAŞ[1], Murat BİKÇE[2], Hilmi COŞKUN[2], Hakan T. TÜRKER[2]
[1] Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University, USA
[2] Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay
bdelik1@lsu.edu

(Geliş/Received:24.02.2009; Kabul/Accepted:06.05.2009)

Özet

Betonarme, çeşitli faktörlerden dolayı en yaygın kullanılan ve tercih edilen yapı türüdür. Betonarme taşıyıcı elemanların optimum tasarımı, bu nedenle, halen önemini koruyan konular arasında gelmektedir. Bu çalışmada, betonarme kiriş tasarımı kısıtlamalı bir optimizasyon problemi olarak ele alınmış ve çözüm için evrimsel algoritma esaslı genetik algoritma tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla, örnek olarak tek açıklıklı dikdörtgen kesitli betonarme kirişin boyutları, minimum maliyeti verecek şekilde optimize edilmiştir. Genetik algoritma ile elde edilen sonuçlar iteratif olarak elde edilen grafiksel çözümlerle karşılaştırılmıştır. Her iki çözüm ile elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Ele alınan örnek için, popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon oranları ile maksimum jenerasyon gibi genetik algoritma parametrelerinin çözüm üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, Optimizasyon, Betonarme kiriş tasarımı

Investigating The Effects Of The Genetic Algorithm's Parameters On The Optimum Design Of The Reinforced Concrete Beams

Abstract

Reinforced concrete is the most commonly used and preferred structural material due to various factors. Therefore, the optimum design of reinforced concrete structural elements becomes the factor of which many important ones. In this study, design of reinforced concrete beam is handled as a restricted optimization problem. To find a solution, genetic algorithm based on an evolutionary algorithm is used. As an example, the dimensions of a rectangular cross section reinforced beam with a single span are optimized to provide the minimum cost. The results obtained from the genetic algorithm method are compared to graphical results that were obtained iteratively. The results from both methods are found to be compatible. The effects of genetic algorithm parameters, such as population size, cross-over, mutation ratio, and maximum generation, on the results are determined for the example.

Keywords: Genetic algorithm, Optimization, Reinforced concrete beam design

1. Giriş

Günümüzde optimizasyon mühendislik alanında kullanılan yaygın konulardan birini oluşturmaktadır [1]. Mühendislik tasarımlarında optimizasyon yöntemlerini kullanmanın önemli avantajları olduğu bilinmektedir. Yapı elemanlarının tasarımı için, klasik yöntemler ampirik formülleri kullanarak sadece yapılabilirliğini esas alan çözümler içerirken, optimizasyon yöntemleri gerçeğine uygun fiziksel modelleri esas alarak optimum sonuçları araştırır. Mühendislik tasarımında kullanılan klasik optimizasyon metodları çok sayıda işlem yapmayı gerektirir. Çünkü, kompleks objektif fonksiyonun bir çok kez farklı potansiyel çözümler için irdelenmesi gerekmektedir.

Betonarmenin halen inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmasından dolayı, betonarme yapıların optimum tasarımı oldukça önemlidir. Klasik yöntemde, betonarme yapı elemanları tasarlanırken genellikle çok zaman alabilen deneme-yanılma metodu kullanılmaktadır. Deneme-yanılma yöntemi ile hesap sonucunda dayanıklı bir eleman tasarımı gerçekleştirilirken, maliyetler göz önüne alınmadığı için ekonomik olmayan sonuçlar üretilebilmektedir. Ayrıca bu yöntem, tasarımcılara deneyim kazandırmasına rağmen, zaman ve işgücü açısından bir maliyet getirmektedir. Betonarme yapıların yaygın olarak kullanıldığı, özellikle ülkemiz gibi kaynaklarının kısıtlı olduğu, yerlerde en uygun tasarımı yapmak bir ihtiyaçtır. Klasik yöntemle yapılan hesaplamalarda genellikle mukavemeti yeterli en uygun tasarımı yaparken maliyetinin de dikkate alınmasının gerekliliği vurgulanmaktadır [2].

Bu çalışmada, optimizasyon yöntemlerinden genetik algoritma (GA) tekniği kullanılmaktadır. GA, rastgele arama yöntemini kullanarak en uygun çözümü bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayalı optimizasyon metodudur [3]. GA, pek çok problem türü için, uygun parametreler ile çalışıldığı taktirde, optimuma yakın çözümler verir. GA'nın çalışma prensibi, doğadaki canlıların geçirdiği evrim sürecini dikkate alan Darwin'in doğal seçim teorisine dayanır. GA'da amaç, doğal sistemlerde bireylerin çevrelerine uyum sağlama özelliğini dikkate alarak yapay sistemleri tasarlamaktır.

2. Genetik Algoritma ile Optimum Tasarım Yöntemi

Genetik algoritmalar yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğidir. Adından da anlaşıldığı üzere, genetik algoritma Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Herhangi bir problemin GA ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek suretiyle yapılmaktadır. GA geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır [1].

GA, son yıllarda artan bir yoğunlukta mühendislik problemlerinde optimizasyon amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır [1]. Özellikle tasarımda çok iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bunlardan başka otomatik programlama, öğrenme kabiliyetli makineler, ekonomi, planlama, üretim hattı yerleşimi gibi alanlarda da uygulanmaktadır [4]. Bu problemlerin hemen hemen hepsi için, çok geniş bir çözüm uzayının tanımlanması gerekmektedir. Bu çözüm uzayının geleneksel yöntemlerle incelenmesi çok uzun sürmesine karşın genetik algoritmayla kısa bir sürede kabul edilebilir sonuçlar alınabilmektedir.

Algoritma ilk olarak popülasyon ismi verilen ve birden fazla çözüm (her bir çözüm bir kromozomla ifade edilir) içeren bir grup ile başlatılır. Bir popülasyondan alınan sonuçlar, bir öncekinden daha iyi olacağı beklenen yeni bir popülasyon oluşturmak için kullanılır. Yeni popülasyon oluşturulması için seçilen çözümler uygunluklarına göre tercih edilir. Çünkü uygun olanların daha iyi sonuçlar üretmesi olasıdır. Bu, istenen çözüm sağlanıncaya kadar devam ettirilir. Genetik Algoritmanın aşamaları kısaca aşağıda verilmiştir:

1. Başlangıç: N adet kromozom içeren popülasyon oluşturulur,

2.Uygunluk:Her kromozom için değerlendirme yapılarak uygunlukları hesaplanır,

3.Sonlandırma:Eğer sonuç tatmin ediyorsa, algoritma sona erdirilir ve popülasyonun en uygun kromozomu çözüm olarak sunulur, değilse yeni popülasyon için aşağıdaki adımlar izlenir,

4. Yeni popülasyon için;

- ***a. Seçim:*** İki kromozom, uygunluğuna göre rastgele esasta seçilir,
- ***b. Çaprazlama:*** Yeni kromozomlar oluşturmak için seçim aşamasında seçilen iki kromozom bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanır,
- ***c.Mutasyon:***Çaprazlanan kromozomun bilgileri bir mutasyon olasılığına göre değiştirilir,

5.Değiştirme:Yeni popülasyon kullanılacak şekilde düzenlenir,

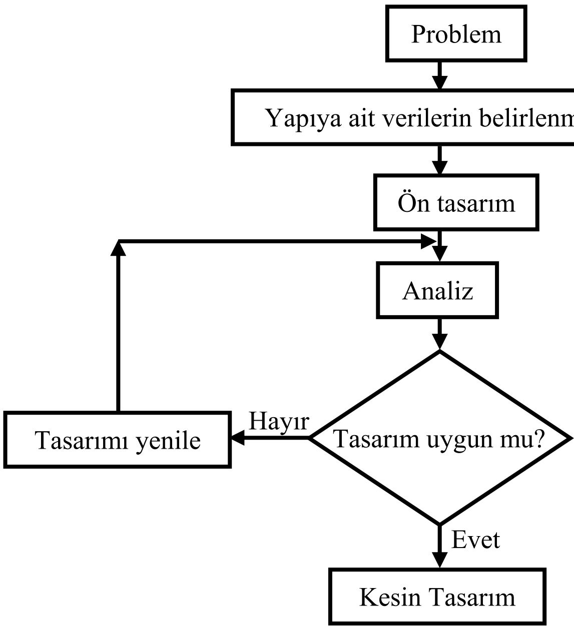
6. Döngü: 2. adıma geri dönülür.

Görüldüğü üzere genetik algoritmanın yapısı oldukça geneldir ve herhangi bir probleme uygulanabilir. İnşaat mühendisliği alanında değişik problemlerin optimum çözümlerinin GA ile bulunması araştırmacılar tarafından incelenegelmiştir. İnşaat mühendisliğinde yapısal tasarımlarda GA uygulanmış problemler için şu örnekler verilebilir:

Yapısal tasarımlarda yapıyı oluşturan elemanların boyutlarının ve elemanların konumlarının GA ile bulunması konusunda Xu ve Gong [5], Coello [6], Erbatur ve ark. [7] tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalarda iki ve üç boyutlu kafes kirişlerin, minimum ağırlığı sağlayacak şekilde eleman kesitlerinin, topolojilerinin ve konfigürasyonlarının tasarımı ele alınmıştır. Leps ve Sejnoha [8], sürekli betonarme bir kirişin minimum maliyeti sağlayacak şekilde boyutlarının tasarımını araştırmıştır. GA ile, betonarme bir kolonda, maksimum moment kapasitesini sağlayacak şekilde donatı alanının minimize edilmesi için optimum donatı çapı ve yerleştirilmesinin bulunması problemi Rafiq [9] tarafından incelenmiştir. Griffiths ve Miles [10] verilen bir dış yükü taşıyan bir kiriş kesitinin minimum ağırlığı verecek şekilde geometrisinin belirlenmesi probleminde GA uygulamıştır.

3. Betonarme Yapı Elemanlarının Tasarımı

Geleneksel tasarım yönteminde, yapı bir ön tasarım ile boyutlandırılarak analizi yapılır. Bu analiz sonuçlarında ön tasarımın yeterli olup olmadığı tespit edilir. Başlangıçta ön görülen tasarımın yetersiz olması durumunda boyutlar yeniden düzenlenerek analiz yenilenir (Şekil 1).



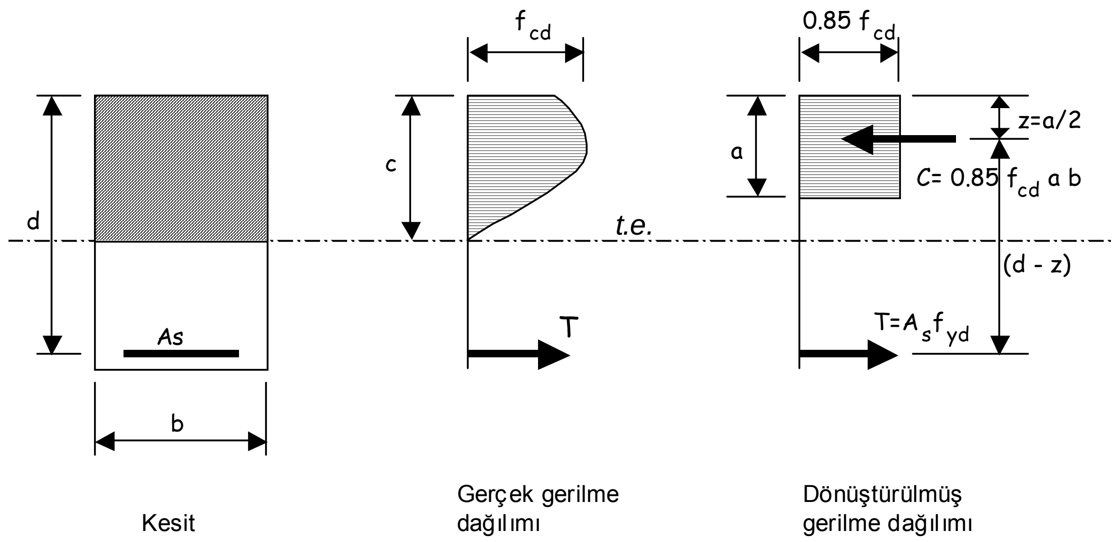
Şekil 1. Betonarme elemanların geleneksel tasarım süreci

Bu tip tasarım yönteminde yapılar güvenli bir şekilde tasarlanabilmesine rağmen gerektiğinden fazla maliyetle sonuçlanan kesitler üretilebilmektedir. Dolayısıyla daha ekonomik tasarım elde edebilmek için zaman ve iş gücü kaybına neden olmayan iteratif bir çözüm gerekmektedir [11].

Son yıllarda, betonarme elemanların optimum tasarımında GA'nın kullanımı, araştırmaları devam eden konular arasında gelmektedir. Bu çalışmada, betonarme kiriş tasarımı kısıtlamalı optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak evrimsel esaslı GA kullanılması ve GA parametrelerinin (popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları, vb.) kiriş probleminin optimum çözümü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, tek açıklıklı, basit donatılı, dikdörtgen kesitli betonarme kirişin boyutlarının minimum maliyeti verecek şekilde optimizasyon problemi ele alınmıştır. İki değişkenli bir optimizasyon probleminin, iteratif olarak grafik ortamda kesin çözümünü göstermek mümkündür. Ayrıca bu makalede, parametrik GA çalışma sonuçları ile optimum çözümün hesaplandığı analitik sonuçlar karşılaştırılarak, GA parametrelerinin etkileri belirlenmektedir.

4. Taşıma Gücüne Göre Betonarme Kiriş Esasları

Bu çalışmada Taşıma Gücü yöntemi esas alınmıştır. Bir çok ülkede yaygın olarak kullanılan Taşıma Gücü yönteminin kabulleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [2]. (a) Şekil değiştirmeden önce düzlem olan kesitler, şekil değişiminden sonra da düzlem kalır (Bernoulli-Navier Hipotezi). (b) Betonun çekme dayanımı ihmal edilir. (c) Donatı çubuğundaki birim boy değişimi komşu liflerdeki birim boy değişimi ile özdeştir. (d) Donatı çeliğinin gerilme-birim deformasyon ilişkisi elasto-plastiktir. (e) Taşıma gücüne erişildiğinde, basınç bölgesinin en dış lifindeki beton birim kısalması $\varepsilon_{cu} = 0.003$ olarak kabul edilir. (f) Donatının elastisite modülü 200.000 MPa'dır. (g) Kesit taşıma gücüne eriştiğinde, basınç bölgesindeki betonun ortalama gerilmesi $0.85 f_{cd}$ olarak kabul edilir (Şekil 2).



Şekil 2. Taşıma gücüne göre basit donatılı kirişte gerilme dağılımı

Kiriş tasarımında ilk olarak kesit içinde oluşan kuvvetlerin dengede olması koşulu uygulanır. Bu durumda yatay kuvvetlerin denge koşulundan,

$$T = C \quad (1)$$

$$A_s f_{yd} = 0.85 f_{cd} a b \quad (2)$$

ifadeleri elde edilir. Burada, b kiriş genişliği, d kiriş yüksekliği, f_{cd} betonun standart silindir hesap basınç dayanımı olarak tanımlanmaktadır. f_{yd} çeliğin hesap akma dayanımını ve A_s çekme donatı alanını ifade eder. Eğer eşitlik (1) düzenlenirse,

$$a = (A_s f_{yd}) / (0.85 f_{cd} b) \quad (3)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte verilmiş olan malzeme karakteristikleri, yani belirli bir f_{yd} ve f_{cd} değerleri için $T=C$ koşulunu sağlayan a'nın değeri deneme-yanılma yolu ile aranır. Sadece çekme donatısı olan dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin (Şekil 2) eğilme momenti taşıma kapasitesi, M_r, aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir,

$$M_r = C (d - z) \quad (4)$$

Eğer C ve z değerlerini eşitlik (4)'te yerine koyarsak,

$$M_r = 0.85 f_{cd} a b (d - a / 2) \quad (5)$$

ifadesi elde edilir. Sadece çekme donatısı olan bir kiriş analizinde $\Phi M_r \geq M_u$ olmalıdır. Burada, M_u dış yüklerden dolayı olan artırılmış momentlerdir ve Eşitlik (6) daki gibi bulunabilir.

$$M_u = 1.4 M_D + 1.7 M_L \quad (6)$$

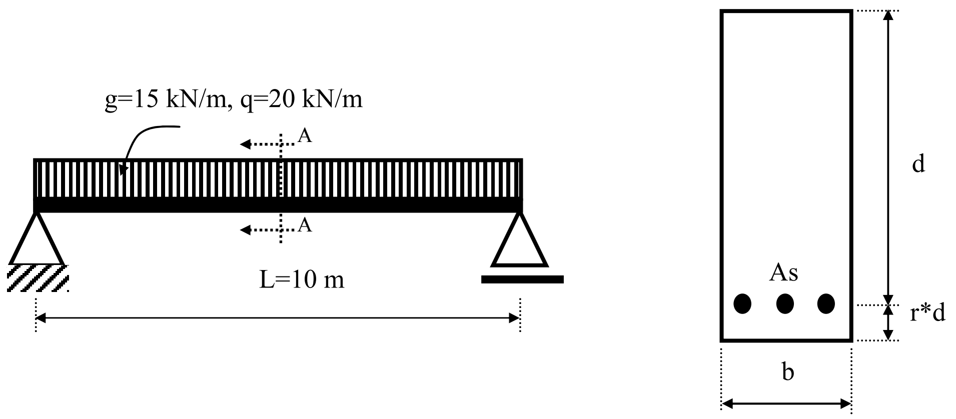
Burada, M_D ve M_L ölü ve hareketli artırılmamış yüklerden oluşan momentlerdir. Artırılmış moment kapasitesi, M_r, kesitte oluşan iç basınç (C) ve çekme (T) kuvvetlerinden oluşur ve eşitlik (5) ile hesaplanabilir.

Ele alına kiriş örneğinin tasarımı, ölü ve hareketli yüklerden oluşan eğilme momentine göre yapılmıştır. Burada, üç adet bilinmeyen b, d, As varken, sadece iki bağımsız eşitlik yani yatay kuvvetlerin eşitliği (1) ve kirişin eğilme momentinden oluşan bağıntı (5) vardır. Dolayısıyla, kiriş tasarımı bir adet varsayımın yapılmasını gerektiren iteratif bir yöntemi içermektedir. Bu iteratif çözüm yönteminde b, d ve As bilinmeyenlerinden biri için kabul edilebilir bir değer varsayımı yapıldıktan sonra, kesit hesaplanabilir. Hesaplanan değerler limitlerin dışında kalıyorsa yeni bir varsayım yapılarak diğer bilinmeyenler tekrar hesaplanır.

Bu iterasyon yöntemi ile kiriş boyutları belirlenir.

5. Sayısal Uygulamalar

Bu bölümde tek açıklıklı, basit donatılı, dikdörtgen kesitli betonarme kiriş problemi ele alınmış (Şekil 3) ve elde edilen sonuçlar, Coello vd. [11], tarafından kullanılan örnek ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Örnek Betonarme Kiriş ve A-A kesiti

Şekil 3'deki betonarme kiriş kesitinin toplam maliyetini veren objektif fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$min\ f(b,d) = c_1 A_s + c_2\, b\, d + c_3\, d + c_4\, b \quad (6)$$

Bu eşitlikte, c_1 donatının, c_2 betonun, c_3 kirişin yan yüzey kalıbının, c_4 kirişin taban kalıbının birim fiyat katsayılarını göstermektedir:

$$c_1 = \gamma_s \times c_s \quad (7a)$$

$$c_2 = (1+r)c_c \times 10^{-6} \quad (7b)$$

$$c_3 = 2 \times (1+r)c_r \times 10^{-4} \quad (7c)$$

$$c_4 = c_r \times 10^{-4} \quad (7d)$$

Sonuçların karşılaştırılabilmesi amacıyla, objektif fonksiyon içinde yer alan birim fiyatlar, Coello vd. [11]'nin makalesinde kullandıkları değerlerle aynı tutulmuştur. Buna göre, γ_s donatı çeliğinin birim ağırlığı (0.00785 kg/cm^3), c_s donatı çeliğinin birim fiyatı (0.72 \$/kg), c_c betonun birim fiyatı (64.5 \$/m^3), c_r kalıp birim fiyatı (2.155 \$/m^2), r paspayı oranı (0.10) olarak alınmıştır.

Eşitlik (6)'da görüldüğü gibi kirişin minimum maliyete göre optimizasyonu amacıyla enkesit boyutları değişken olarak ele alınmıştır. Objektif fonksiyonda yer alan değişkenler için aynı zamanda g_1, g_2, g_3, g_4, kısıtları aşağıda verildiği gibi konulmuştur.

$$g_1(b,d) = b - 0.60\, d \quad (8a)$$

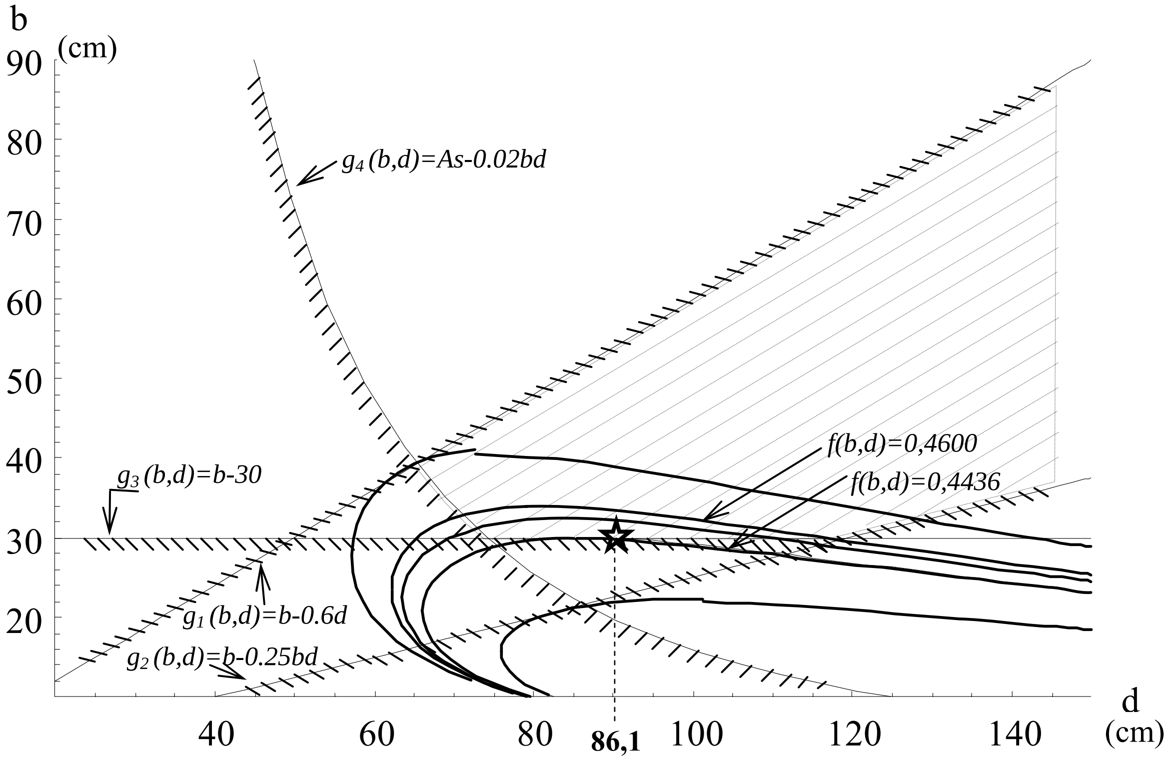
$$g_2(b,d) = b - 0.25\, d \quad (8b)$$

$$g_3(b,d) = b - 30 \quad (8c)$$

$$g_4(b,d) = A_s - 0.02\, b\, d \quad (8d)$$

Betonarme kirişlerin tasarımı için genelleştirilmiş kabullerden biri olan kiriş genişliği ile yüksekliği arasındaki oranlar olan 1/4 ve 1/6 değerleri g_1 ve g_2 kısıtları olarak belirlenmiştir. Kiriş genişliğinin belli bir değerden düşük olmaması şartı, TS 500'e uygun olarak ve g_3 kısıtı olarak verilmiştir. Pürsantaj olarak bilinen donatı alanının beton alanına olan oranı g_4 kısıtı olarak verilmiştir.

Kiriş probleminin, Mathematica'da, denge denklemleri, uygunluk denklemleri, taşıma gücü momenti ve geometrik kısıtlamaları dikkate alınarak yapılan analitik çözümü, grafik ortamda Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Problemin çözüm grafiği

Şekil 4'te gösterilen taralı bölge çözüm alanını göstermektedir. İteratif olarak elde edilen eş eğriler objektif fonksiyonun değerlerini ifade etmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, f(b,d)=0,4436 eş eğrisi optimum çözümü veren eğridir. Bu eğrinin çözüm değerlerini verdiği nokta yıldız ile gösterilmiştir. Bu nokta objektif fonksiyonu minimum yapan boyutları vermektedir. Bu grafikte gösterilen analitik çözüm sonuçları, Coello vd. [11] tarafından GA kullanılarak elde edilen sonuçlar ve bu çalışmada kullanılan GA yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar Tablo 1'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Örnek sonuçlarının karşılaştırılması

Değişkenler	Grafik çözüm sonuçları	Coello ve diğ., [11]	Bu çalışma
b (cm)	30,0000	30,0022	30,0000
d (cm)	86,4800	86,4776	86,0936
As (cm^2)	37,5222	37,5205	37,7040
Maliyet ($)	0,4436	0,4436	0,4436

Tablo 1'de görüldüğü gibi analitik sonuçlar ile Coello vd. [11]'nin sonuçları ve bu çalışmada elde edilen GA çözümlerinin iyi bir uyum gösterdiği görülmektedir. Bu amaç doğrultusunda Carroll [12] tarafından geliştirilen GA programına (GA90) betonarme altprogramı eklenerek kısıtlamalı optimizasyon problemlerinin çözümü elde edildi. Bu sonuçlar, eşitlik (8a) ve (8b) deki kısıtlamalar göz önünde bulundurulduğunda elde edilen sonuçlardır. Ancak, bu kısıtların dikkate alınmadığı durumda bu çalışmada yapılan GA analizlerinde elde edilen sonuçların Coello vd. [11] makalesinde verilen Chakrabarty [13] sonuçlarıyla örtüştüğü görülmüştür. Bunun anlamı, Chakrabarty [13] tarafından kısıtların dikkate alınmadığıdır. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında geliştirilen GA programı ile güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Aynı örneğin g_3 kısıtında belirtilen minimum kiriş genişliği 62,50 cm olarak ele alındığında elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Grafiksel çözümlerle kısıtlamasız GA çözümlerinin karşılaştırılması

Parametreler	Grafik çözüm sonuçları	Chakrabarty, [13]	GA90 (kısıtlamasız)
b (cm)	62,5010	62,5000	62,5000
d (cm)	104,3223	62,5974	62,4943
As (cm^2)	35,7172	55,4435	55,6780
Maliyet ($)	0,7274	0,6341	0,6343

Genetik Algoritma parametrelerinden değişkenlerin hassasiyetlerinin çözüm üzerindeki etkileri, aynı örnek üzerinde, incelenmiştir. Burada ele alınan değişkenlerin hassasiyeti aşağıdaki şekilde formüle edilebilir;

$$\frac{\mathbf{x}_i^{\text{üst}} - \mathbf{x}_i^{\text{alt}}}{2^q - 1} = \Delta \mathbf{x}_i \qquad \mathbf{i} = 1,2,3,...,\mathbf{n} \tag{9}$$

Burada x_i, değişkenlerin vektörünü, q, kromozom uzunluğu, n ise değişken sayısını göstermektedir. Bu eşitlikte görüldüğü gibi, değişken hassasiyetini Δx_i, etkileyen unsurlar olarak değişkenlerin alt ve üst limitleri arasındaki fark ve kromozom uzunluğu olduğu görülmektedir. Değişkenlerin hassasiyetinin çözüm üzerine etkilerini tespit edebilmek için, öncelikle kromozom uzunluğu ve popülasyon sayısı sabit tutularak, değişkenlerin alt ve üst limitleri değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Değişkenlerin Hassasiyetlerin çözüm üzerindeki etkileri

Δb=20/(2^{15}-1) cm, q=15, Popülasyon sayısı=20, Max. Jenerasyon sayısı: 150			
d		Δd	Min. Maliyet
alt	üst		
60	993640	30,32258	0,376379
60	488964	14,92063	0,372814
60	242587	7,401575	0,373137
60	120848	3,686275	0,372818
60	60336	1,83953	0,372587
60	30168	0,918866	0,372726
60	15107	0,459209	0,372576
60	7582	0,229548	0,372576
60	3820	0,11476	0,372721
60	1940	0,057377	0,372574
60	1000	0,028687	0,372574

Bu tablodan anlaşılacağı gibi çözümün Δd parametresine göre hassas olduğu görülmektedir. Hassasiyet arttıkça sonucun optimum değerle örtüştüğü görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda, popülasyon büyüklüğü ile kromozom uzunluğu arasında karşılıklı ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Örneğin, kromozom uzunluğunun artması fakat popülasyon büyüklüğünün aynı kalması durumunda optimum çözüme ulaşılması ancak popülasyon büyüklüğünün artırılması ile gerçekleşmektedir. Bunun sebebi, çözüm kümesini oluşturan b ve d'nin değişik değerlerinin popülasyon büyüklüğü artırıldığında daha artan oranda incelenmesi gerekliliğidir.

6. Sonuçlar

Ele alınan örnek betonarme kirişin boyutlarının minimum maliyeti verecek şekilde optimizasyonu problemi öncelikle analitik olarak incelendi. Analitik çözüm sonuçları grafik olarak gösterildiğinde, kiriş boyutlarının etkileri maliyetlerin eşeğrileri üzerinde gözlendi. Bu analitik çözüm sonuçlarının diğer araştırmacılar tarafından elde edilenlerle örtüştüğü görüldü. Aynı kiriş probleminin optimum boyutlarının bulunması genetik algoritma yöntemi ile gerçekleştirildi. Analitik çözüm ve genetik algoritma ile bulunan çözümlerin uyumlu olduğu görüldü. Buradan hareketle, geliştirilen genetik algoritma çözümünün betonarme bir kirişin optimum boyutlarının bulunmasında başarı ile uygulanabileceği sonucuna varıldı.

Bundan sonraki aşamada bu genetik algoritma tekniği geliştirilerek, daha fazla değişkenli (örneğin alt ve üst donatılı ve kayma donatılı bir kiriş gibi) ve çoklu-objektifli optimizasyon problemlerine uygulanması hedeflenmektedir.

7. Kaynaklar

1. Rao, S. S. (1996). Engineering Optimization. A Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 903p.

2. Ersoy, U. Özcebe, G. (2001). Betonarme. Evrim Yayınevi, İstanbul, 816s.

3. Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Addion Wesley Publishing Company, USA.

4. Croce, F. D. Tadei, R. Volta, G. (1995). A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem. *Computers and Operations*, **22** (1), 20-30.

5. Xu, L. Gong, Y. (2001). Preliminary Design of Long-Span King-Post Truss Systems With a Genetic Algorithm. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **16**, 94-105.

6. Coello, C. A, Christiansen, A. D. (2000). Multiobjective Optimization of Trusses Using Genetic Algorithms. *Computers and Structures,* **75**, 647-660.

7. Erbatur, F. Hasancebi, O. Tutuncu, I. Kılıc, H. (2000). Optimal Design of Planar and Space Structures With Genetic Algorithms. *Computers and Structures,* **75**, 209-224.

8. Leps, M. Sejnoha, M. (2003). New Approach to Optimization of Reinforced Concrete Beams. *Computers and Structures*, **81**, 1957–1966.

9. Rafiq, M.Y. Southcombe, C. (1998). Genetic Algorithms in Optimal Design and Detailing of Reinforced Concrete Biaxial Columns Supported by a Declarative Approach for Capacity Checking. *Computers and Structures*, **69**, 443-457.

10. Griffiths, D. R. Miles, J. C. (2003). Determining the Optimal Cross-Section of Beams, *Advanced Engineering Informatics*, **17**, 59–76.

11. Coello, C. C., Hernandez F. S., Farrera, F.A. (1997). Optimal Design of Reinforced Concrete Beams Using Genetic Algoritms, *Expert Systems with Applications*, **12**(1).101-108.

12. Carroll, D. (2001). GA Fortran Computer Program. University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, 299p.

13. Chakrabarty, B.K. (1992). A Model for Optimal Design of Reinforced Conrete Beam. *Journal of Structural Engineering*, **118**, 3238-3242.