



XVIII. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ
26 - 30 Ağustos 2013, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa

RASSAL ARAMA TEKNİĞİ İLE BETONARME KİRİŞLERİN FARKLI BETON DAYANIMLARI İÇİN OPTİMİZASYONU

Gebrail Bekdaş¹, Sinan Melih Nigdeli²

İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320 Avcılar/İstanbul/Türkiye

ÖZET

İnşaat mühendisliğinde betonarme elemanların tasarımında mühendisin deneyimine göre tasarım yapılmaktadır. Ancak bu tasarımların maliyet açısından en ekonomik olduğu bilinmemektedir. Bu çalışmada betonarme sürekli kirişlerin tasarımı maliyet açısından en ekonomik olacak şekilde optimum olarak belirlenmektedir. Optimizasyon işlemi için bir rassal arama tekniği (RAT) geliştirilmiştir. Geliştirilen metotta tüm kritik kesitlerin ve donatıların optimum değerleri, TS500-Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları yönetmeliğine göre bulunmaktadır. Kesit tesirleri üç moment denklemlerine göre belirlenmiş ve elverişsiz yükleme durumları dikkate alınmıştır. Geliştirilen metot en uygun maliyetli tasarımın bulunmasında etkilidir.

Anahtar kelimeler: *Rassal arama tekniği, Betonarme sürekli kirişler, Optimizasyon, Maliyet optimizasyonu.*

GİRİŞ

Betonarme yapıların tasarımında kesit boyutları mimari unsurlar ve standart koşulları göz önüne alınarak tasarım mühendisi tarafından deneyimlerine bağlı olarak belirlenir. Ancak belirlenen kesitler verilen yükleri güvenle taşımasına karşın, maliyet yönünden en uygun kesitler olmayabilir. Bu durumdan dolayı betonarme elemanların kesitlerinin bulunmasında optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca, belirli bir kesitteki yükleme durumu için elde edilmiş olan donatı alanı, piyasada belirli çaplarla üretilen donatı çubuklarından tam olarak sağlanamamaktadır. Bu unsurlardan dolayı da donatı demirinin sayısı ve çap optimizasyonu da önem kazanmaktadır.

Ülkemiz ve dünyada kullanımı oldukça yaygın olan betonarme yapıların maliyet açısından optimizasyonu çeşitli yayınlarda ele alınmıştır. Coello ve diğerleri [1], bir metasezgisel metot olan genetik algoritmayı kullanarak betonarme kirişleri optimize etmiştir. Eğik eğilme

¹ bekdas@istanbul.edu.tr

² melihnig@istanbul.edu.tr

altındaki betonarme kolonların optimum donatı çapı ve sayısı genetik algoritma kullanılarak Rafiq ve Southcombe [2] tarafından bulunmuştur. Koumoussis ve Arsenis [3], yüksek kirişler dahil betonarme elemanların optimum tasarımını genetik algoritma ile yapmışlardır. Eğilme etkisi altındaki betonarme elemanların şekil optimizasyonunu da içeren bir çalışma genetik algoritmanın kullanımı ile Rath ve diğerleri [4] tarafından yapılmıştır. Betonarme çerçeve yapıların optimum malzeme ve maliyeti ile tasarımı genetik algoritma kullanılarak, Camp ve diğerleri tarafından incelenmiştir [5].

Ferreira ve diğerleri farklı tasarım standartlarına göre T-kesitli kirişlerin optimum tasarımı üzerinde çalışmıştır [6]. Genetik algoritma gibi bir metasezgisel metot olan tavlama benzeşimi algoritması yardımıyla kirişlerin eğilme ve kesme etkisi altında optimizasyonu incelenmiştir [7]. Barros ve diğerleri tek ve çift donatılı kirişlerin optimum donatı alanı ve oranı için bağlantılar elde etmiştir [8]. Govindaraj ve Ramasamy sürekli betonarme kirişlerin [9] ve betonarme çerçevelerin [10] optimum tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Guerra ve Kioussis çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin optimizasyonunu ardışık karesel programlama ile incelemiştir [11]. Eğik eğilme altındaki betonarme kolonların donatı optimizasyonu Gil-Martin ve diğerleri tarafından incelenmiştir [12]. Barros ve diğerleri eğilme etkisindeki dikdörtgen kesitli betonarme elemanların optimum faydalı kesit yüksekliği ve donatı alanı için önerilerde bulunmuştur [13]. Fedghouche ve Tiliouine, Eurocode 2 standartlarına göre tek donatılı T-kesitli betonarme kirişlerin genetik algoritma ile optimizasyonunu yapmıştır [14].

Evrenin oluşumu sürecinden esinlenerek ortaya çıkan bir metasezgisel algoritma olan Büyük Patlama-Büyük Çöküş algoritması [15], betonarme perdelerin [16] ve betonarme çerçevelerin [17] optimizasyonu için kullanılmıştır. Bekdaş ve Niğdeli bir müzisyenin dinleyiciyi memnun etmek için en iyi notayı aradığı süreçten ilham alan armoni araştırma algoritması [18] ile eğilme etkisi altındaki betonarme kesitleri optimize etmişlerdir [19-20].

Bu çalışmada, sürekli kirişlerin maliyet açısından optimum tasarımı için bir Rassal Arama Tekniği (RAT) önerilmiştir. Metot, kirişlerin tüm kritik kesitleri için optimum kesit ve donatıları, TS500-Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları yönetmeliğinde [21] belirtilen tasarım kurallarına göre yapmaktadır. Kesit tesirleri, üç moment denklemleri (Clapeyron denklemleri) [22-23] kullanılarak gerçek çözümleriyle elde edilmektedir. Ayrıca, hareketli yükün tüm elverişsiz yükleme durumları dikkate alınmaktadır.

SÜREKLİ BETONARME KİRİŞLER OPTİMİZASYONU İÇİN RASSAL ARAMA TEKNİĞİ

Sürekli betonarme kirişlerin optimizasyonunda kullanılan rassal arama tekniği 6 adımda açıklanabilir.

- i. Sürekli kirişin özellikleri tanımlanmalıdır. Bu özellikler açıklık sayısı, her açıklığın uzunluğu ve yükleme durumlarıdır.
- ii. Açıklık uzunlukları ve mesnetlendiği noktaları belli olan betonarme sürekli kirişin kesit boyutları her açıklık için rassal olarak kullanıcı tarafından belirlenen bir çözüm alanından türetilmektedir. İnşaat sahasında üretime uygun olması için kesit boyutları 10 mm'nin katları olacak şekilde tanımlanmaktadır. Bu değer kullanıcı tarafından değiştirilebilir.
- iii. Kesitler de belli olduktan sonra üç moment denklemleri ile kesit tesirleri açıklık ve mesnetlerde hesaplanabilir. Kesit tesirleri tüm hareketli yük durumları için hesaplanmaktadır ve en kritik sonuçlar tasarımda ele alınmaktadır.

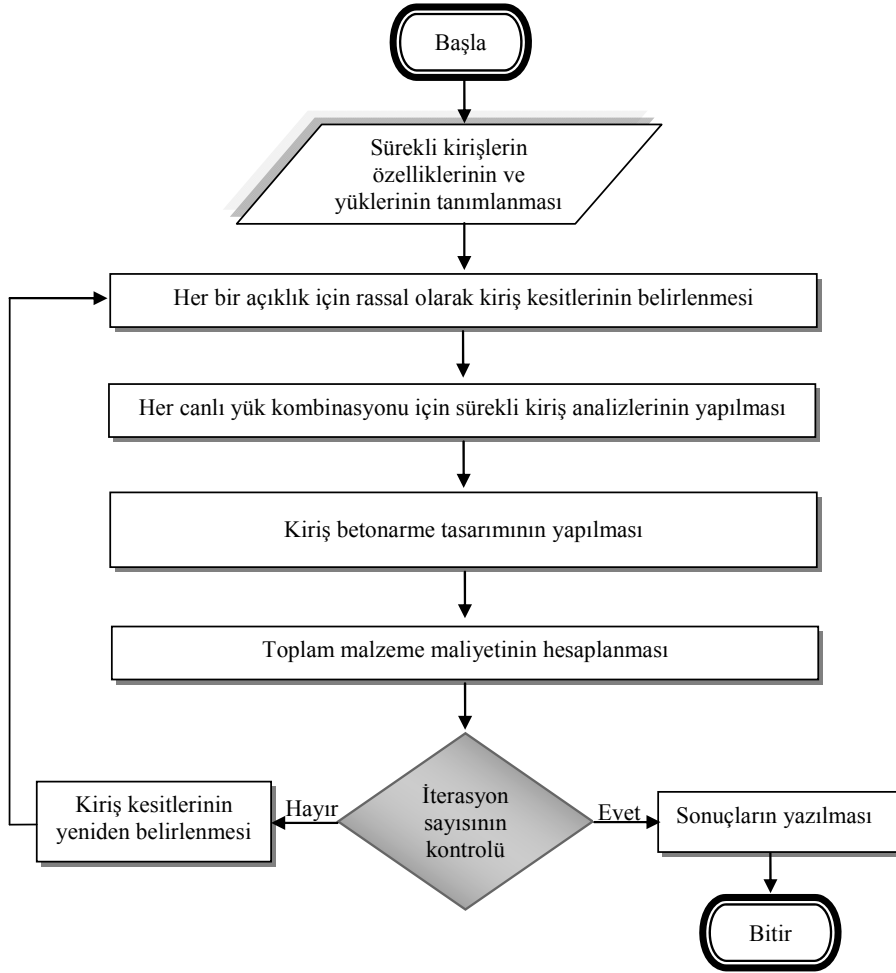
- iv. Kesit tesirleri bulunduktan sonra gerekli boyuna ve sargı donatıları elde edilir. Gerekli boyuna donatının alanı hesap ile belirlense bile, bu değeri uygulamada tam olarak elde etmek belirli çaplarda üretilen donatı çubukları ile mümkün değildir. Ayrıca donatının kesitte yerleşebilirliği de kontrol edilmeli ve gerekli ise çift sıralı yerleşime gidilmelidir. Bu nedenden dolayı, rasgele belirlenen bir donatı sayısı kadar donatı çapları rasgele belirlenmektedir. Tek donatılı kesit tasarımı kesit tesirleri için yeterli olmadığı zaman çift donatılı tasarım yapılmaktadır. İlk önce ön tasarım olarak, kirişin faydalı yüksekliği verilen minimum donatı boyutlarına göre bulunmaktadır. Donatılar rasgele tanımlandıktan sonra gerçek faydalı yükseklik miktarı belirlenip, gerekli donatı alanı güncellenmektedir. Bu aşamada yapılan donatı optimizasyonu 3 koşul sağlanana kadar devam eder.
- Çekme bölgesinde donatı alanı, maksimum donatı alanını geçmemelidir. Çift donatılı tasarım gerekli ise, basınç bölgesindeki donatıların gerilmesine bağlı olarak çekme bölgesindeki donatının azaltılmış değeri maksimum donatı alanı ile karşılaştırılmaktadır.
 - Belirlenen çap ve sayıdaki donatıların alanı, gerekli donatı alanı değerini %5'ten fazla aşmamalıdır.
 - Çift donatılı kirişlerde, çekme bölgesindeki donatı alanı basınç bölgesindekilerden daha fazla olmalıdır.
- v. Bu aşamada optimizasyonun amaç fonksiyonu olan kirişlerin toplam malzeme maliyeti hesaplanır.
- vi. Optimizasyon işleminde iterasyon sayısı kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Bu aşamada iterasyon sayısı kontrol edilir. İstenilen iterasyon sayısına ulaşılmış ise, optimizasyon işlemi sona erer. Aksi takdirde, kesitler için kullanıcı tarafından girilen çözüm alanı güncellenerek, ikinci adımdan işlemlere devam edilir. Kesit boyutlarının minimum veya maksimum boyutları, en düşük maliyetli kesitin değerleri olacak şekilde revize edilir. Bu revizyon %50 olasılık ile yapılmakta, bölgesel optimum sonuçlara takılmamak için kullanıcı tarafından belirlenen ilk sınırlarda da kullanılmaktadır

Geliştirilen metodun akış diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.

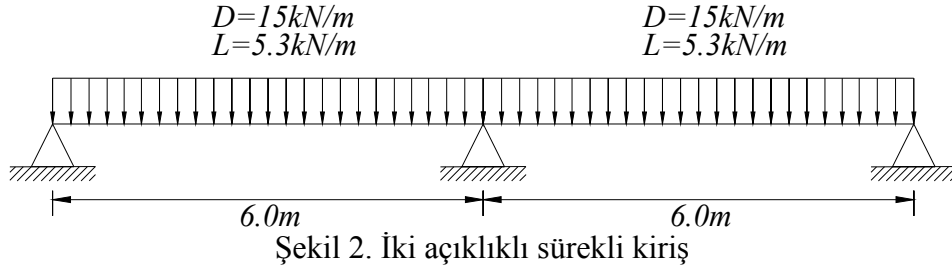
SAYISAL ÖRNEK

Bu çalışmada iki açıklıklı simetrik sürekli kiriş malzeme maliyeti açısından optimize edilmiştir. Çeşitli beton dayanımları için optimizasyon tekrarlanmıştır. Çelik sınıfı olarak S420 seçilmiş ve maliyeti 1375 TL/t olarak alınmıştır. Optimizasyonda C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 beton sınıfları kullanılmış ve maliyetleri sırasıyla 80 TL/m³, 85 TL/m³, 90 TL/m³, 95 TL/m³, 100 TL/m³ ve 105 TL/m³ alınmıştır. Tüm açıklıklarda 15 kN/m ölü ve 5.3 kN/m hareketli düzgün yayılı yük bulunmaktadır. Açıklık uzunlukları 6 m ve kiriş basit mesnetlenmiştir (Şekil 2).

İki açıklıklı simetrik sürekli kirişin kesit genişliği (bw) ve yüksekliği (h), sırasıyla 250-400 mm ve 350-600 mm arasında taranmıştır. Boyuna ve sargı donatısı çapları sırasıyla, 10-36 mm ve 8-14 mm arasında taranmıştır. Beton örtüsü kalınlığı 30 mm alınmıştır. Sürekli kiriş simetrik olduğu için her iki açıklıkta aynı sonuçlar elde edilmiştir. Optimum tasarım sonuçları ve toplam maliyetler tüm beton dayanımları için Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Optimizasyon yönteminin akış diyagramı



Tablo 1. Optimum tasarım sonuçları

	C25	C30	C35	C40	C45	C50
(b _w /h) (mm)	250/470	250/460	250/450	250/420	250/410	250/390
Açıklık donatıları	2Φ12+1Φ16 +1Φ18	2Φ12+1Φ14 +1Φ16	2Φ10+2Φ12 +1Φ16	2Φ12+1Φ14 +1Φ18	3Φ12+1Φ20	1Φ10+1Φ14 +1Φ16 +1Φ18
Mesnet donatıları	1Φ14+2Φ18 +1Φ20	3Φ16+1Φ22	1Φ24+1Φ26	1Φ24+1Φ28	1Φ10+1Φ12 +1Φ34	1Φ24+1Φ30
Sargı donatısı	Φ8/90	Φ8/90	Φ8/80	Φ8/90	Φ8/90	Φ8/80
Maliyet (TL)	240.25	245.35	250.57	254.87	260.66	265.19

SONUÇLAR

Optimum kesit genişlikleri (b_w) minimum sınırdan çıkmış, eğilme momenti tasıma kapasitesine daha önemli katkısı olan kesit yükseklikleri (h) verilen sınırlar içinde bulunmuştur. Beton dayanımı arttıkça, kesit yüksekliği azalmıştır. Verilen yükleme durumu için çift donatılı betonarme tasarıma ihtiyaç duyulmamıştır. Açıklık ve mesnette boyuna donatılar tek sıra olarak kesite yerleşebilmektedir ve böylelikle faydalı kesit yüksekliği (d) fazla miktarda düşmemiştir. Geliştirilen rassal arama tekniği ile betonarme sürekli kirişlerin maliyet açısından optimizasyonu başarı bir şekilde yapılmaktadır. Uygulama projelerinde mühendisin sağlamak üzerine çalıştığı önemli unsurlardan biri olan ekonomik tasarımda, geliştirilen yöntem ile betonarme kesitlerin güvenli bir şekilde boyutlandırması yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Coello, C.C., Hernandez, F. S., Ferrera, F.A., "Optimal Design of Reinforced Concrete Beams Using Genetic Algorithms", *Expert Syst. Appl.*, 12, 101-108, 1997.
- [2] Rafiq, M. Y., Southcombe, C., "Genetic algorithms in optimal design and detailing of reinforced concrete biaxial columns supported by a declarative approach for capacity checking", *Comput. Struct.*, 69, 443-457, 1998.
- [3] Koumousis, V. K., Arsenis, S. J., "Genetic Algorithms in Optimal Detailed Design of Reinforced Concrete Members", *Comput-Aided Civ. Inf.*, 13, 43-52, 1998.
- [4] D. P. Rath, A. S. Ahlawat, A. Ramaswamy, Shape Optimization of RC Flexural Members, *J Struct. Eng.-ASCE*. 125 (1999) 1439-1446.

- [5] Camp, C. V., Pezeshk, S., Hansson, H., “Flexural Design of Reinforced Concrete Frames Using a Genetic Algorithm”, *J Struct. Eng.-ASCE*, 129, 105-111, 2003.
- [6] Ferreira, C.C., Barros, M. H. F. M., Barros, A. F. M., “Optimal design of reinforced concrete T-sections in bending”, *Eng. Struct.*, 25, 951-964, 2003.
- [7] Leps, M., Sejnoha, M., “New approach to optimization of reinforced concrete beams”, *Comput. Struct.*, 81, 1957-1966, 2003.
- [8] Barros, M. H. F. M., Martins, R. A. F., Barros, A. F. M., “Cost optimization of singly and doubly reinforced concrete beams with EC2-2001”, *Struct. Multidiscip. O.*, 30, 236-242, 2005.
- [9] Govindaraj, V., Ramasamy, J.V., “Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using Genetic Algorithms”, *Comput. Struct.*, 84, 34-48.
- [10] Govindaraj, V., Ramasamy, J.V., “Optimum detailed design of reinforced concrete frames using genetic algorithms”, *Eng. Optimiz.*, 39(4), 471-494, 2007.
- [11] Guerra, A., Kioussis, P. D., “Design optimization of reinforced concrete structures”, *Comput. Concrete.*, 3, 313-334, 2006.
- [12] Gil-Martin, L. M., Hernandez-Montes, E., Aschheim, M., “Optimal reinforcement of RC columns for biaxial bending”, *Mater. Struct.*, 43, 1245-1256, 2010.
- [13] Barros, A. F. M., Barros, M. H. F. M., Ferreira, C. C., “Optimal design of rectangular RC sections for ultimate bending strength”, *Struct. Multidiscip. O.*, 45, 845-860, 2012.
- [14] Fedghouche, F., Tiliouine, B., “Minimum cost design of reinforced concrete T-beams at ultimate loads using Eurocode2”, *Eng. Struct.*, 42, 43-50, 2012.
- [15] Erol, O.K., Eksin, I., “A new optimization method: Big bang big crunch”, *Advances in Engineering Software*, 37,106-111, 2006.
- [16] Camp, C. V., Akin, A., “Design of Retaining Walls Using Big Bang-Big Crunch Optimization”, *J Struct. Eng.-ASCE*, 138(3), 438-448, 2012.
- [17] Kaveh, A., Sabzi, O., “Optimal design of reinforced concrete frames using big bang-big crunch algorithm”, *International journal of civil engineering*, 10(3), 189-200, 2012.
- [18] Geem, Z.W., Kim, J.H. and Loganathan, G.V., "A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search", *Simulation*, 76, 60-68, 2001.
- [19] Bekdaş, G. Niğdeli, S.M., Eğilme Etkisi Altındaki Betonarme Kirişlerin Maliyet Açısından Optimum Tasarımı, İnşaat Mühendisliği'nde 100. Yıl Teknik Kongresi, 22-24 Kasım 2012, İstanbul, Türkiye.
- [20] G. Bekdaş, S. M. Niğdeli, Cost Optimization of T-shaped Reinforced Concrete Beams under Flexural Effect According to ACI 318, In: 3rd European Conference of Civil Engineering, December 2-4 2012, Paris, France.
- [21] Türk standardı TS 500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2001.
- [22] Timoshenko, S.P., “History of Strength of Materials”, McGraw-Hill, New York, 1953.
- [23] Çakıroğlu, A., Çetmeli, E., “Yapı Statiği (Cilt II)”, Beta Basın Dağıtım, İstanbul, 1996.