



XIX. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ  
24-28 Ağustos 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

## ONDÜLİN GÖVDELİ KİRİŞLERİN STOKASTİK OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ KULLANILARAK OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

Ferhat Erdal<sup>1</sup>, Osman Tunca<sup>2</sup>, Serkan Taş<sup>3</sup> ve Erkan Doğan<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

<sup>2</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman

<sup>4</sup>Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa

### ABSTRACT

Corrugated structure of the web cross-section not only increases the resistance of the beam against to shear force and other possible local effects, but also prevents the buckling due to loss of moment of inertia before the plastic limit. This specific structure of the web leads to a decrease in the beam unit weight and increase in the load carrying capacity. In this study, corrugated web beams will be optimized by use of stochastic optimization methods. Web height, web thickness, distance between the peaks of the following two web curves as well as the width and thickness of flange of corrugated beam will be considered as the problem design variables. Optimum design problems, formulations of which are obtained depending on the shape of beams, will be solved with three new optimization methods namely hunting search and firefly algorithm. A number of design examples will be carried out and performances of each method in finding the minimum weight of built-up beams will be compared. Design restrictions for corrugated web beams will be taken from BS EN1993-1:2005 (Annex-D, Eurocode 3) and DIN 18-800 Teil-1.

**Key words:** Stochastic methods, Hunting Search, Fire Fly Algorithm, Corrugated Web Beams

### ÖZET

Gövde kesiti ince dalgalı çelik bir levhanın alt ve üst flanş görevi gören iki çelik plaka ile birleştirilmesi şeklinde tasarlanan ondülün gövdeli kirişler stabilite kaybına ve deformasyonlara engel olurken, yük altında kirişin plastik limit noktasına gelmeden rijitlik kaybına bağlı burkulmasını engelleyerek kesme kuvvetine ve yerel etkilere karşı kirişin yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Kiriş gövdesinin bu özel yapısı ile kiriş öz ağırlığının azalması ve yük taşıma kapasitesinin artması sağlanarak ekonomik kazanç elde edilmektedir. Bu çalışmada, dalgalı gövde yapısına ait kalınlık ve derinlik parametreleri ile flanşların kalınlıkları tasarım değişkenleri olarak alınarak ondülün gövdeli kirişlerin yeni optimizasyon yöntemleri ile tasarım sınırlayıcıları altında minimum ağırlığa sahip olacak şekilde optimum boyutlandırılması yapılacaktır. Formülasyonu oluşturulmuş yapısal optimizasyon problemlerinin çözümü yeni optimizasyon teknikleri olan av arama ve ateşböceği algoritması yöntemlerinin adaptasyonu ile elde edilecek ve bu şekilde aynı zamanda bu stokastik yöntemlerin yapıya ilk uyarlamaları gerçekleştirilerek her iki yöntemin minimum ağırlığının bulunması sürecinde sergilediği performanslar kıyaslanacaktır. Ondülün gövdeli çelik kiriş sistemlerinin tasarımları için BS EN1993-1:2005 (Annex-D, Eurocode 3) ve DIN 18-800 Teil-1 şartnamelerinde öngörülen tasarım kısıtları esas olarak kabul edilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Stokastik Methodlar, Av Arama, Ateş Böceği Algoritması, Ondülin Gövdeli Kirişler.

## GİRİŞ

Çelik I-kesitli kirişlerde flanşlar gelen dış yükleri karşılarken gövde kısmı ise yüklerden dolayı oluşan basınç gerilmelerini taşır ve kiriş içinde oluşan kesme kuvvetlerini iletir. Gövde kesiti ince dalgalı çelik bir levhanın aynı malzeme özelliklerine sahip alt ve üst flanş görevi gören iki çelik plaka ile birleştirilmesi şeklinde geliştirilerek tasarlanan ondülin gövdeli kirişler stabilite kaybına ve büyük deformasyonlara engel olurken, uygulanan yük kombinasyonları altında kirişin plastik limit noktasına gelmeden rijitlik kaybına bağlı burkulmasını engelleyerek kesme kuvvetine ve yerel etkilere karşı kirişin yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Kiriş gövdesinin bu özel yapısı ile kiriş öz ağırlığının azalması ve yük taşıma kapasitesinin artması sağlanarak ekonomik kazanç elde edilmektedir. Bu kirişlerin kompozit yapı sistemleri olarak da sunulabilir avantajları olmasına rağmen, davranışları ve tasarımları ile ilgili hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde henüz kapsamlı bir teknik standart mevcut değildir.

Bu çalışmada dalgalı gövdeli kirişlerin yeni optimizasyon yöntemleri kullanılarak minimum ağırlığa sahip olacak şekilde optimum boyutlandırılması yapılmıştır. Bunun için yapma profil olan ondülin gövdeli kirişlerde gövde yüksekliği, kalınlığı ve dalgalı gövdenin tepe noktaları arası mesafenin yanı sıra flanş genişliği ve kalınlığı tasarım değişkeni olarak kabul edilmiştir. Formülasyonu oluşturulmuş yapısal optimizasyon problemlerinin çözümü yeni optimizasyon teknikleri olan av arama ve ateşböceği algoritması yöntemlerinin adaptasyonu ile elde edilecek ve bu şekilde aynı zamanda bu stokastik yöntemlerin yapıya ilk uyarlamaları gerçekleştirilerek bu iki yöntemin minimum ağırlığının bulunması sürecinde sergilediği performanslar kıyaslanmıştır. Ondülin gövdeli çelik kiriş sistemlerinin tasarımları için BS EN1993-1:2005 (Annex-D, Eurocode 3) ve DIN 18-800 Teil-1 şartnamelerinde öngörülen tasarım kriterleri esas olarak kabul edilecektir. Elde edilen sonuçlar ışığında yük altındaki göçme durumları standart I-kesit profillerden farklılıklar gösteren ve tasarımları basit analiz yöntemleri ile yapılamayan bu kirişlerin optimum tasarımının nasıl yapılacağı ve ülkemizde yapılarında tercih nedeni olması planlanmaktadır.

## OPTİMUM BOYUTLANDIRMA PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Geometri ve notasyonları Şekil 1’de detaylı olarak gösterilen ondülin gövdeli kirişlerin optimum boyutlandırılması probleminde değişkenler aşağıdaki gibi alınır:

$$\text{Tasarım değişkenleri kümesi: } \{I\} = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5\} \quad (1)$$

Tanımlanan değişken kümesinde,  $I_1$  çelik alt ve üst flanş plakasının genişliğinin,  $I_2$  çelik flanş plakasının kalınlığının,  $I_3$  çelik gövdenin kalınlığının,  $I_4$  gövdenin sinüs eğrisi şeklinde dalga boyunun ve  $I_5$  ise gövde derinliğinin sıra numarasını tanımlar. Amaç, yapı ağırlığını minimize etmektedir. Çelik sinüs eğrisi fonksiyonlu ondülin gövdeli kirişin ağırlığı  $W_{SOB}$  olarak gösterilirse, amaç fonksiyonu denklem (2) gibi olacaktır.

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \min W_{SOB} = \rho_s \times ((2 \times b_f \times t_f \times L) + (h \times t_w \times L_{düz})) \quad (2)$$

Burada,  $\rho_s$  çeliğin yoğunluğunu,  $b_f$  flanşın genişliğini,  $t_f$  flanşın kalınlığını,  $L$  kiriş açıklığını,  $h$  dalgalı kiriş gövde boyunu,  $t_w$  dalgalı gövdenin kalınlığını ve  $L_{düz}$  ise dalgalı levhanın düzleştirilmiş boyunu ifade eder. Bu kirişlerin optimum tasarımında sağlanması gereken geometrik değişken ve sınırlayıcılar aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir. Geometrik sınırlayıcılar gövde yüksekliğine  $h$ , gövde kalınlığına  $t_w$ , gövde dalga boyuna  $s$ , gövde dalgaları arası mesafeye  $w$ , flanş genişliğine  $b_f$  ve flanş kalınlığına  $t_f$  bağlı olarak aşağıdaki eşitlikleri (Eşit. 3-6) sağlayacak şekilde ifade edilmiştir.

$$333\text{mm} \leq h \leq 1500\text{mm} \quad (3), \quad 1,5\text{mm} \leq t_w \leq 3,0\text{mm} \quad (4)$$

$$120\text{mm} \leq b_f \leq 450\text{mm} \quad (5), \quad 6\text{mm} \leq t_f \leq 30\text{mm} \quad (6)$$

Davranış sınırlayıcıları: Dalgalı gövde plakaların rijitlikleri için;

$$D_x = \frac{E \times w \times t^3}{12 \times s} \quad \text{ve} \quad D_y = \frac{E \times I_y}{w} \quad \text{olmak üzere} \quad D_x \leq D_y \quad (7)$$

Dalgalı gövdenin enine burkulması için;

$$\tau_{EG} = \frac{162}{5 \times t_w \times h^2} \sqrt[4]{D_x \times D_y^3} \quad (8)$$

Dalgalı gövdenin narinlik parametresi için;

$$\lambda_{GN} = \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3} \times \tau_{EG}}} \quad (9)$$

Dalgalı gövdenin burkulma katsayısı için;

$$K_b = \frac{1}{(\lambda_{GN})^{1,5}} \quad (10)$$

eşitlikleri göz önüne alınır. Tasarım için yukarıdaki parametreler dikkate alınırsa zaman dalgalı gövdenin enine yük taşıma kapasitesi için aşağıdaki ana ifade yazılabilir.

$$V_{TK-MAX} = \frac{K_b \times f_y \times h \times t_w}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

Dalgalı gövde için. 12. eşitsizlikteki sınırlayıcı; yük etkisiyle oluşacak  $P_v$  kiriş kesitinin maksimum enine yük taşıma kapasitesini ( $V_{TK-MAX}$ ) aşmamasını sağlar.

$$V_{TK-MAX} - P_v \leq 0 \quad (12)$$

Gövde kısmının dalgalı levhasının kalınlığı kirişin kesme yük taşıma kapasitesine göre belirlenir. Yük altında oluşacak kesme kuvveti ( $V_D$ ) kesme yük taşıma kapasitesini ( $V_{RD}$ ) aşmamalıdır.

$$V_D = \gamma_f \times V \leq V_{RD} \quad (13)$$

Flanş bölgeleri için davranış sınırlayıcıları: Çelik sinüs eğrisi fonksiyonlu ondülin gövdeli kirişlerin normal kuvvet altında flanş bölgelerinde oluşacak taşıma kapasitelerini hesaplamak amacıyla çekme ve basınç gerilmeleri ayrı bir şekilde dikkate alınır. Flanşların izin verilen çekme gerilmesi;

$$\sigma_{ALLOW} = \frac{N_{T-MAX}}{b_f \times t_f} \quad (14)$$

Basınç gerilmesi için flanşın burkulma riski de dikkate alınarak yük etkisi altında flanşda oluşacak lokal burkulma ile kiriş ekseninde oluşacak enine burkulma ayrı ayrı hesaplanır. Yerel burkulma etkisinde elastik limit gerilmesi;

$$\sigma_{EL} = \frac{4000}{(b_f/t_f)^2} \quad (15)$$

Burada gövdenin elastik uzama etkisini hesaba katabilmek için, flanş genişliği dalgalı gövde yüksekliğinin yarısı kadar azaltılıp plaka şeridin genişliği ( $b$ ) hesaplanır. Bu değer eşitlik 16'da belirtilen koşullarda ise;

$$\begin{aligned} f_y &= 240\text{MPa} \quad \text{için} \quad b \geq 12,9 \times t_f \\ f_y &= 355\text{MPa} \quad \text{için} \quad b \geq 10,5 \times t_f \end{aligned} \quad (16)$$

Sonuç itibarıyla flanşlardaki normal kuvvet eşitlik 17'deki gibi alınır.

$$N_{NORMAL} = \sigma_{EL} \times b_f \times t_f \quad (17)$$

Alt ve üst flanşların kritik boyutları belirlenirken normal kuvvet yük taşıma kapasitesi dikkate alınır. Burada, A flanşların kesit alanını, z ise flanşların ağırlık merkezleri arası mesafeyi ifade eder.

$$N_G = N_{\text{NORMAL}} \times \frac{A_g}{A} \pm \frac{M}{z} \quad (18)$$

Flanşlarda meydana gelebilecek yanal burkulma;

$$\tau_{EG} = \frac{\pi}{4\sqrt{3}} \sqrt{E \times f_y} \times \frac{b_f^2 \times t_f}{k_c \times c} \quad (19)$$

Burada,  $k_c$  basınç kuvvet faktörünü,  $c$  yanal destekler arası mesafeyi ifade eder. Basınç gerilmesi durumunda flanşın yük taşıma kapasitesi yukarıda gösterilen eşitliklerin arasından minimum olanına göre hesaplanır.

### STOKASTİK OPTİMİZASYON METOTLARI

Matematiksel Programlama yöntemlerinin tasarım değişkenlerini sürekli kabul etmesinden dolayı önceden belirlenen hazır kesitlere göre boyutlandırma gerektiren mühendislik yapılarının gerçeğe uygun tasarımları için ideal sonuç oluşturamamaktaydı. Bu tekniklerin uygulanmaları ile birlikte yapısal optimizasyon problemlerinin çözümü matematiksel programlama yöntemleri [1,2] ile elde edilenlere göre çok daha etkin hale gelmiş, büyük yapı sistemlerine uygulanmalarını kolaylaştırmış ve hazır kesitlere göre boyutlandırma gerektiren mühendislik yapılarının gerçeğe uygun tasarımları için ideal sonuç oluşturdukları gözlenmiştir. Sürü zekası [3], erimiş metallerin soğutulma işlemi [4], harmoni arama [5] en iyinin hayatta kalması [6], karınca kolonisi [7] gibi doğadaki evrimsel prensiplerin bilgisayar ortamında simüle edilmesi esasına dayalı olarak işleyen bu bulgusal yöntemler, ayrık çözüm üretebilirler ve başlangıç noktasına bakılmaksızın global optimuma yakın çözümler yakalayabilirler. Bu teknikler, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların türevlerine ihtiyaç duymadığı gibi, deterministik kurallar yerine olasılığa dayalı arama yollarını kullanırlar.

Formülasyonları ondülin gövdeli kirişler için ayrı ayrı oluşturulmuş yapısal optimizasyon problemlerinin çözümü av arama [8] ve ateşböceği algoritması [9] yöntemlerinin adaptasyonu ile elde edilecek ve bu şekilde aynı zamanda bu stokastik yöntemlerinin yapıya ilk uyarlamaları gerçekleştirilerek iki yöntemin minimum ağırlığının bulunması sürecinde sergilediği performanslar optimum çözüme yakınsamadaki becerileri açısından kıyaslanmıştır.

### AV ARAMA YÖNTEMİ

Av arama (HSA) yönteminin arkasında uzanan mantık doğada avcı olarak bilinen aslan ve kurt gibi hayvanların avlarının çevresinde kuşatma çemberi oluşturmaları ve sonrasında bu çemberi yavaşça daraltarak avlarını yakalamaları bu yöntemin olgusunu oluşturmaktadır. Her iterasyonda avcılarının pozisyonu güncellenerek amaç fonksiyonunun iyileştirilmesi hedeflenir. Bu amaçla öncelikle gurup içindeki her bir avcı için bütün ilk pozisyonlar rastgele başlatma prensibiyle oluşturulur. Bu işlem için değeri 0 ile 1 arasında değişen sayılar içinden rastgele sayı seçme uygulamasından faydalanılır. Tekniğin orijinalinde [1] değişkenler sürekli değer alabilen türde değişkenler olarak kabul edilmişlerdir. Başka bir ifadeyle boyutlandırma içinde yer alacak olan sayısal değerler, önceden belirlenmiş olan bir sayı kümesi içinden seçilmeksizin rastgele sayı seçme uygulamasından faydalanılarak elde edilen gerçek sayı değerleri ile ifade edilir. Hazır kesit tablolarından seçim yapabilmek için her profilin tablo içinde yer aldığı satır numarasının tasarım değişkeni olarak atanması gerekmektedir. Bunu yapabilmek ise ancak tamsayı değerlerinin seçimiyle mümkün olabilir. Bu çalışmada gerçek sayılardan tamsayı elde etmek üzere ikinci yöntem olan yuvarlama işlemi kullanılmıştır.

### TAMSAYI DEĞİŞKENLERİ İÇİN AV ARAMA OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

Tamsayı değişkenli optimum boyutlandırma problemi aşağıdaki gibi tasvir edilebilir.

$$\begin{aligned} \text{Min. } f(x_i), \quad i=1,2,\dots,n: \\ g_j(x_i) \leq 0, \quad j=1,2,\dots,m \\ x_i \in X, \quad X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_q\} \end{aligned} \quad (20)$$

Burada  $x_i$ ,  $q$  sayısı kadar değer içeren  $X$  setinden seçilecek olan  $i$  numaralı tamsayı değişkenini gösterirken,  $n$  tasarım değişkenlerinin sayısını ifade eder.  $f(x_i)$  amaç fonksiyonu,  $g_j(x_i)$  ise  $j$  nolu tasarım sınırlayıcısıdır ve  $m$  ise boyutlandırma problemi içindeki bu tasarım sınırlayıcılarının toplam sayısıdır.

Öncelikle tamsayı değerlerini içeren  $X$  kümesindeki  $x_i$  değerleri artan sayılar şeklinde sıralanır. Tasarım döngüsünün herhangi bir adımında, algoritma tarafından satır numarasının üretilmesiyle birlikte bu satır numarasına karşılık gelen gerçek tasarım değişkeni değeri set içerisinde kolaylıkla alınabilir. Prosedür altı temel adımdan oluşur.

**Birinci adım: Tasarım algoritması ve parametrelerinin başlatılması:** Bu adımda yöntemin parametreleri belirlenir. Toplam altı adet parametre vardır. Bunlar; av gurubu boyutu (HGS), lidere doğru maksimum hareket (MML), avcı gurubu değerlendirme oranı (HGCR), rastgele hareket yarıçapı değerleri ( $Ra_{max}$ ,  $Ra_{min}$ ), yakınsama oranı parametreleri  $\alpha$  ve  $\beta$  ve her bir epoktaki toplam iterasyon sayısı  $IE$  dir. Sırasıyla 90, 0.002, 0.32, 0.01, 0, 0.9, 0.02 ve 25 olarak seçilmişlerdir.

**İkinci adım: Av gurubunun oluşturulması:** Guruptaki avcılar (HGS) sayısına bağlı olacak şekilde her bir grup için çelik kesit satır numarası ( $I_i$ ) atamak suretiyle rastgele üretilirler.

$$I_i = \text{INT}[I_{min} + r(I_{max} - I_{min})] \quad i=1, \dots, n \quad (21)$$

**Üçüncü adım: Lidere doğru hareket:** Bu adımda avcılarının yeni pozisyonları (MML) dikkate alınarak üretilir.

$$I_i' = I_i + r(\text{MML})(I_i^L - I_i) \quad i=1, \dots, n \quad (22)$$

**Dördüncü adım: Avcılar arasında pozisyon alma:** Bu adımda avcılarının birbirleriyle ilişkileri modellenir. Lidere doğru hareketin ardından avcılar daha etkin avlanmak için pozisyonlarını değiştirirler.

$$I_i^j \leftarrow \begin{cases} I_i^j \in \{I_i^1, I_i^2, \dots, I_i^{\text{HGS}}\} \text{ muhtemelen HGCR ile} \\ \text{INT}(I_i^j = I_i^j \pm Ra) \text{ muhtemelen (1-HGCR) ile} \end{cases} \quad (23)$$

$$Ra(it) = Ra_{min}(I_{max} - I_{min}) \exp\left(\frac{\text{Ln}\left(\frac{Ra_{max}}{Ra_{min}}\right)it}{itm}\right) \quad (24)$$

**Beşinci adım: Av gurubunun pozisyonlarını güncellemesi:** İterasyon prosesinin her adımında avcılarının lokal optimuma yakalanma ihtimalleri vardır. Bunu engellemek ve global optimuma ulaşma şansını artırmak amacıyla avcılar pozisyonlarını güncellerler.

$$I_i = I_i^L \pm r(I_{min} - I_{min})\alpha(-\beta(EN)) \quad (25)$$

**Altıncı adım: Sonuçlandırma** Bu adım iterasyon döngüsünün tamamlanma adımıdır. Süreç maksimum iterasyon sayısı kadar devam ettirildikten sonra sonlandırılır.

### SINIRLAYICILARIN KONTROLÜ

Optimizasyon işlemi içinde değişkenler için belirlenen hazır profiller kullanılarak yapı analiz edilir ve sınırlayıcıları sağlayıp sağlamadığı incelenir. Bu durumun kontrolünü literatürde en etkin sonuçları verdiği belirlenmiş olan geri dönüş (fly-back) mekanizması üstlenir. Bu mekanizmaya göre ilk olarak bütün avcılar analiz edilir ve sınırlayıcıları sağlayıp sağlamadığı

kontrol edilir. Eğer bunlardan bir veya birkaçı sınırların dışında sonuç veriyorsa bunlar atılır ve yerlerine yenileri üretilir ve yeniden inceleme yapılır. Eğer sınırlardan sapma çok büyük değilse bu durumda bu avcılar iterasyon süresince sınırları sağlayabilen yeni avcılar üretebileceği düşünülerek çözüm içinde tutulur. Bunu yapabilmek için avcıların üretilmesi aşamasında hata payı büyük tutulur, avcıların üretilmesi işlemi tamamlandıktan sonra iterasyonlara geçildikten sonra adım adım küçültülerek son değeri olan 0.001'e ulaştırılır ve bu değer ile iterasyona devam edilir.

### ATEŞ BÖCEĞİ ALGORİTMASI

Ateş böceği algoritması, tropikal iklim bölgelerindeki ateş böceklerinin sosyal davranışlarını baz alan bir meta-sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Bir ateş böceğinin ışıklarını yakıp söndürmesinin birinci amacı, diğer ateş böceklerini çekmek için bir sinyal sistemi olarak kullanmasıdır.

Bütün ateş böcekleri tek cins olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla erkek ve dişi ayrımı olmadığı gibi, bütün ateş böcekleri diğer ateş böcekleri tarafından cezbedilebilir. Ateş böceklerinin çekiciliği, parlaklıkları ile doğru orantılıdır. Ateş böceklerinin aralarındaki mesafe, parlaklığı azalttığı için cazibeyi de azaltmaktadır. Ortamda bir ateş böceğinden daha parlak ateş böceği varsa, bu ateş böceği parlak olana doğru hareket edecektir. Eğer ortamda daha parlak ateş böceği yoksa rastgele yönlerde hareket ederler. Ateş böceği algoritmasında, optimum çözümler elde etmek için verilen bir optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu, ışık şiddeti ile ilişkili olmaktadır. Geliştirilmiş olan ateş böceği optimizasyon algoritmasının işleyiş adımlarını aşağıda gösterildiği şekilde özetlemek mümkündür.

Birinci adım: Ateş böceklerinin tasarım algoritması ve parametrelerinin başlatılması: Başlangıçta belli sayıdaki ateş böcekleri uygun arama uzayında yayılmak için rastgele üretilir. Ateş böceği algoritmasında, her bir ateş böceği ilk olarak rastgele konumlara yerleştirilir. Bu başlangıç konumu denklemi 26'da verilmiştir.  $r$  değeri 0 ile 1 arasındaki sayılar içinden rastgele seçilir.

$$x_0^i = x_{\min} + r^*(x_{\max} - x_{\min}) \quad (26)$$

İkinci adım: Ateş böceklerinin değerlerinin belirlenmesi: Tasarım uzayında her  $t$  konum değeri için  $f(x_i^t)$  amaç fonksiyonu değerleri belirlenir.

Üçüncü adım: Ateş böceğinin en iyi konumlarının güncellenmesi:  $i$  numaralı ateş böceğinin  $t$  numaralı iterasyon adımına kadar elde edilen en iyi konumu  $a_i^t$  ve ateş böceğinin global optimum konumu  $a_g^t$  güncellenir.

Dördüncü adım: Her bir Ateş böceğinin konumunun güncellenmesi: Bir ateş böceğinin  $o$  ana kadar elde edilen en iyi konum değeri,  $o$  parçacığın en iyi konum değeri olarak tayin edilir ve her ateş böceği için ayrı bir vektör içinde depo edilir. Belirlenen bu konum, optimizasyon sürecinin başından bu yana küme içerisindeki herhangi bir ateş böceği tarafından elde edilen en iyi konum ise bütün ateş böceklerinin en iyi pozisyon değeri olarak adlandırılır ve yine bir vektör içine kaydedilir. Ateş böceklerinin  $t+1$ 'deki konumu, denklem 27 [9] yardımıyla hesaplanır.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 \times e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \times \varepsilon_i \quad (27)$$

Buradaki  $x_i^{t+1}$  ifadesi  $i$ . nci ateş böceğinin  $t+1$  nci adımdaki konumunu belirtmektedir.

Ateş böceklerinin aralarındaki mesafe, parlaklığı azalttığı için cazibeyi de azaltmaktadır. Bu değer birçok uygulamada Gaussian formu kullanılarak tahmin edilebilir.

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (28)$$

Burada I ışık yoğunluğunu (parlaklık),  $I_0$  başlangıç ışık yoğunluğunu ve ışık yoğunluğu katsayısını ifade etmektedir. Işık yoğunluğu  $r$  mesafesine bağlı olarak değişir. Denklem 29'da yer alan çekicilik olarak tanımlanır [12]

$$\beta_{i+1} = \beta_i^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (29)$$

$r=0$  durumunda çekicilik  $\beta_0$  ile gösterilmektedir.  $i$  ve  $j$  noktalarındaki her iki ateş böceğinin arasındaki kartezyen mesafe;

$$r_{ij} = \sqrt{(x_{0j} - x_{1j})^2 + (x_{2j} - x_{2i})^2 + (x_{3j} - x_{3i})^2 + \dots + (x_{nj} - x_{ni})^2} \quad (30)$$

ile hesaplanırken, her bir ateş böceğinin iterasyonlar içerisinde ulaşacağı yeni konumu aşağıdaki denkleme göre belirlenir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 \times e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \times \varepsilon_i \quad (31)$$

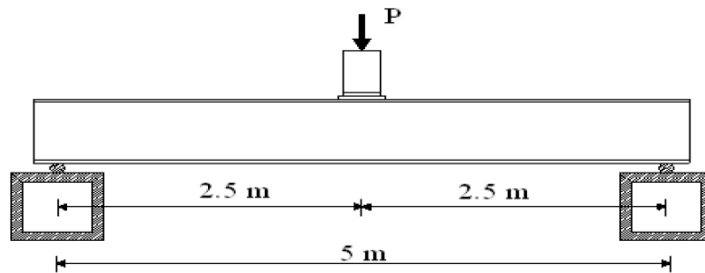
Denklem 2.6'daki ikinci terim çekicilikle ilgilidir. İkinci terim ise rastgele sıralama yapmak için kullanılır. Burada,  $\beta$  0 ve 1[10,11] arasında değişen rastgele bir sayıdır.  $\alpha$  ise rastgele sıralama parametresi olup,  $\varepsilon$ 'un ateş böceğinin yeni konumunun belirlenmesindeki ağırlığını ifade eden bir parametredir.

### ONDÜLİN GÖVDELİ KİRİŞ İÇİN BİLGİSAYAR UYGULAMALARI

Optimum tasarım problemlerinin çözümü amacıyla bilgisayar programlarından faydalanılmıştır. Tekniklerin işleyişi içerisinde var olan iterasyonlar hazırlanan kodlar ile otomatik hale getirilmiştir. Windows ortamında derlenen VISUAL FORTRAN programlama dilinden faydalanılarak üretilen programlar ondülün gövdeli çelik kiriş sistemlerinin tasarım sınırlayıcıları için BS EN1993-1: 2005 (Annex-D, Eurocode 3) ve DIN 18-800 Teil-1 şartnamelerinde öngörülen tasarım kistaslarına göre çözüm üretebilir ve optimum tasarım, çelik yapılar için şartnamelerce öngörülen narinlik oranı tahkiki, kiriş gövde burkulması, maksimum deplasman tahkiki, kesme gerilmesi tahkiki, kaynak hesabı göz önüne alınarak gerçekleştirilebilir:

#### 5-METRE AÇIKLIKLI ONDÜLİN GÖVDELİ KİRİŞİN OPTİMİZASYONU

Şekil 1'de gösterilen 5m açıklıklı ondülün gövdeli kiriş, kendi ağırlığının yanı sıra sırasıyla tam orta noktasından tekil noktasal yüke maruz bırakılmıştır. Tekil yük altında kiriş için izin verilebilir deplasman 17 mm ile sınırlandırılmıştır. Elastisite Modülü 205kN/mm<sup>2</sup> ve çelik kiriş St-37 sınıfındadır. Kirişin boyutlandırılmasında farklı av arama ve ateşböceği yöntemlerinin parametreleri optimum sonuç için test edilmiştir.



Şekil 1.5-metre Açıklıklı Çelik Ondülün Gövdeli Olarak Düşünülen Kiriş

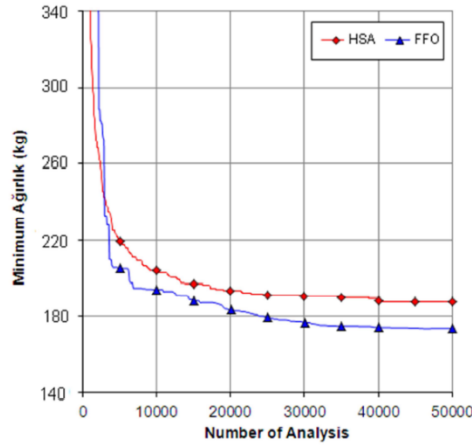
Optimum boyutlandırma probleminde ondülün gövde yüksekliği, gövde dalga boyu, dalga yüksekliği, flanş kalınlığı ve flanş genişliği tasarım değişkenleri olarak alınmıştır. Tasarım sınırlayıcıları olarak deplasman kısıtlayıcısı, kiriş profilin esneklik kapasitesi, kiriş kesme kapasitesi, narinlik ve kaynak hesabı alınmıştır. Ateş böceği algoritması (FFO) ve av arama

yöntemi (HSA) algoritması parametreleri kullanılarak optimum boyutlandırması yapılan ondülin gövdeli kirişin sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Optimizasyon Tekniklerinin Parametreleri

Yöntem	Parametre değerleri
HSA	HGS=90 MML=0.002 HGCR=0.9 Ra <sub>MAX</sub> =0.01 Ra <sub>MIN</sub> =0 par=0.45 $\alpha$ =0.9 $\beta$ =0.02 IE=25 N <sub>cyc</sub> =10000
FFO	$\mu$ =40 $\beta_0$ =0.25 $\beta$ =1 $\alpha$ =0.01 $\gamma$ =1 N <sub>ite</sub> =10000

Her iki yöntem için maksimum iterasyon sayısı 10000 olarak alınmıştır. Her iki optimizasyon tekniğiyle elde edilen sonuçların minimum ağırlık- zaman grafiği Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. OGK\_330 kirişi için tasarım geçmişi grafiği

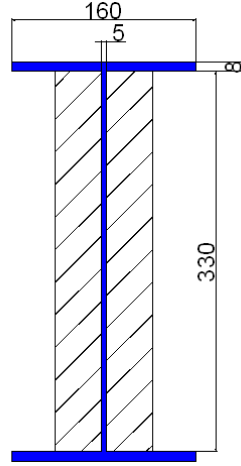
Tasarım geçmişi grafiği incelendiği zaman Av arama tekniğinin (HSA) daha hızlı bir şekilde optimum sonuca yakınsamaya başladığını fakat ateş böceği algoritması tekniği (FFO) ile elde edilen ondülin gövdeli kiriş optimum tasarımın 176.33 kg ile daha hafif olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Av arama tekniğinin de optimum sonuca güvenilir bir yakınsama ile iyi bir performansı göstermesine rağmen av arama tekniğinden % 7.4 daha ağır bir tasarım ağırlığı bularak 189.38 kg bulmuştur.

Tablo 2. 5-metre Açıklıklı Ondülin Gövdeli Kirişin Optimum Boyutları

Optimum kesit tasarımı	Gövde Kalınlığı (mm)	Gövde Yüksekliği (mm)	Flaş Kalınlığı (mm)	Dalga Yüksekliği (mm)	Dalga Boyu (mm)	Minimum Ağırlık (kg)
OGK-330	5	330	8	43	155	176.33

Ondülin gövdeli kirişin tekil yük altında optimum geometrik özellikleri Şekil 3’de gösterilmiştir.





Şekil 3. Optimum Boyutlandırılan Ondülin Gövdeli Kirişin Profil Kesitleri

### KAYNAKLAR

- [1] M.R. Hestenes, *Multiplier and Gradient Methods, Optimization Theory and Applications 4*, 1969: 303-320
- [2] V. B. Venkayya, N. S. Khot and L. Berke, Application of Optimality Criteria Approaches to Automated Design of Large Practical Structures: *Second Symposium Structural Optimization*, AGARD-CP-123, Milano, Italy, 1973.
- [3] R. E. Perez, K. Behdinan, Particle Swarm Approach for Structural Design Optimization, *Computers and Structures*. 1579-1588, (2007) 85 (19-20).
- [4] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi, *Optimization by Simulated Annealing, Science*, 1983: 671-680.
- [5] K. S. Lee, Z. W. Geem, A New Structural Optimization Method Based on the Harmony Search Algorithm, *Computers and Structures*, 82 (2004) 781-798.
- [6] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing, 1989.
- [7] M. Dorigo and T. Stützle, *Ant Colony Optimization, A Bradford Book*, Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [8] Oftadeh, M. J. Mahjoob, M. Shariatpanahi, A novel meta-heuristic optimization algorithm inspired by group hunting of animals: Hunting search, *Computers and Mathematics with Applications*, 60 (2010) 2087-2098.
- [9] X.S. Yang, Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimisation, *International Journal of Bio-Inspired Computation*, (2011) 78-84 Vol. 2, No. 2.
- [10] S. Łukasik, S. Żak, "Firefly Algorithm for Continuous Constrained Optimization", *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, (2009) 97-106 vol. 5796.
- [11] B. V. Babu and R. Angira, Optimization of non-linear chemical processes using evolutionary algorithm: *Int. Symp. 55th Annual Session IChE 2002 (CHEMCON-2002)*, OU. Hydrabad, December 19-32 Application No. 13.
- [12] X. S. Yang, Firefly Algorithms for Multimodel Optimization, *SAGA 2009 LNCS*, (2009) 169-178 vol.5792, pp.. Springer, Heidelberg