



## DAİRESEL BOŞLUKLU ÇELİK ÇERÇEVELERİN OPTİMUM TASARIMI ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA

Aybike ÖZYÜKSEL ÇİFTÇİOĞLU<sup>1</sup>, Tuğçe DOĞAN<sup>2</sup>, Betül ÜSTÜNER<sup>3\*</sup>, Erkan DOĞAN<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye  
<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Metasezgisel Algoritma,  
Çelik Çerçeve,  
Dairesel Boşluklu Kiriş,  
Optimizasyon.*

### Öz

Dairesel boşluklu kirişler kiriş ağırlığını azaltırken yüksekliğini ve atalet momentini arttırmakta, bu da daha fazla mukavemet ve rijitliğin sağlanması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada, dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeveler optimum tasarım problemi olarak formüle edilmiştir. Optimum boyutlara sahip dairesel boşluklu çelik çerçeveler ile temele etkiyen ağırlık en az olurken en az malzeme kullanımı ile kaynak yönetimi en iyi şekilde sağlanmış olur. Ek olarak malzemenin en az düzeyde kullanımı ile çerçeve toplam maliyeti de en az düzeye indirgenir. Tasarım kısıtlayıcıları olarak Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı, Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü (LRFD-AISC) yönetmeliğince belirtilen çelik çerçeve ve dairesel boşluklu kiriş sınırlayıcılarının hepsinin sağlanması beklenmiştir. Tasarım probleminin çözümünü elde etmek için metasezgisel algoritma yöntemlerinden av arama, parçacık sürü optimizasyonu, yapay arı kolonisi, ateş böceği ve yarasa yöntemleri ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Böylece algoritma performanslarının kendi içinde kıyaslanması sağlanmıştır. Tasarım algoritmaları, genel bir yüklemeye maruz kalan dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeve üretiminde kullanılacak optimum kolon ve kiriş kesitlerini, dairesel boşluklu kirişlerdeki optimum delik çapını ve optimum delik sayısını seçer. Bu seçim tasarım sınırlamalarını sağlayacak ve dairesel boşluğa sahip kirişli çelik çerçevenin ağırlığı minimum olacak şekilde gerçekleştirilir. Sunulan algoritmaların etkinliğini göstermek için üç katlı iki açıklıklı ve dört katlı dört açıklıklı, iki adet çelik çerçeve örneği dikkate alınmıştır.

## OPTIMUM DESIGN OF STEEL FRAMES WITH CELLULAR BEAMS: A COMPARATIVE STUDY

### Keywords

*Metaheuristic Algorithm,  
Steel Frame,  
Cellular Beam,  
Optimization.*

### Abstract

Cellular beams increase moment of inertia by increasing height while decreasing weight, resulting in increased strength and rigidity. In this study, steel frames with cellular beams are formulated as an optimum design problem. The use of steel frames with optimum cellular beams reduces the weight acting on the foundation and ensures the best resource management with the least material consumption. Moreover, using the least amount of material reduces the overall cost of the frame. Steel frame and cellular beam constraints specified in LRFD-AISC are chosen as design constraints. In order to obtain the solution to the design problem, hunting search, particle swarm optimization, artificial bee colony, firefly, and bat algorithms from metaheuristic algorithm methods are used separately. The performances of the algorithms are thus compared within themselves. The design algorithms choose the best column and beam sections, hole diameters in the cellular beams, and number of holes to utilize in the manufacturing of steel frames with cellular beams subjected to general loads. Furthermore, this choice is taken to minimize the weight of the cellular beam steel structure while meeting design constraints. To show the efficiency of the provided method, two steel frame cases are considered: three-story two-span and four-story four-span.

\* İlgili yazar / Corresponding author: betul.celik@cbu.edu.tr, +90-236 -201-2329

**Alıntı / Cite**

Çiftçioğlu, A.Ö., Doğan, T., Üstüner, B., Doğan, E., (2023). Çelik Çerçeve Optimum Boyutlandırılması Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 170-183.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

A.Ö. Çiftçioğlu, 0000-0003-4424-7622

T. Doğan, 0000-0001-8540-9187

B. Üstüner, 0000-0002-1936-3296

E. Doğan, 0000-0002-9691-2121

**Makale Süreci / Article Process**

**Başvuru Tarihi / Submission Date** 21.05.2022

**Revizyon Tarihi / Revision Date** 15.08.2022

**Kabul Tarihi / Accepted Date** 29.09.2022

**Yayın Tarihi / Published Date** 27.03.2023

## OPTIMUM DESIGN OF STEEL FRAMES WITH CELLULAR BEAMS: A COMPARATIVE STUDY

Aybike ÖZYÜKSEL ÇİFTÇİOĞLU<sup>1</sup>, Tuğçe DOĞAN<sup>2</sup>, Betül ÜSTÜNER<sup>3†</sup>, Erkan DOĞAN<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

**Highlights**

- Cellular beams improve strength and rigidity by increasing height while decreasing weight.
- Steel frames with cellular beams are optimally designed.
- Hunting search, particle swarm, artificial bee colony, firefly, and bat optimizers are employed.

**Purpose and Scope**

Cellular beams enhance moment of inertia by increasing height while reducing weight, resulting in more rigidity and strength. Steel frames with cellular beams are addressed as an optimal design problem in this study. The use of steel frames with optimal cellular beams decreases the weight acting on the foundation and provides the best resource management with the least amount of material usage. Furthermore, utilizing the least quantity of material minimizes the overall cost of the frame.

**Design/methodology/approach**

The problem addressed in the study is the optimum design of steel frames with cellular beams. As design constraints, the LRFD-AISC specification for steel frame and cellular beam constraints is used. The hunting search, particle swarm optimization, artificial bee colony, firefly, and bat algorithms from metaheuristic approaches are each utilized independently to discover the solution to the design challenge. Thus, the algorithm performances are evaluated against one another. The design algorithms choose the optimum column and beam sections, cellular beam hole diameters, and cellular beam hole numbers to be used in the production of steel frames with cellular beams exposed to general loads. Two steel frame cases—three-story two-span and four-story four-span—are taken into account to demonstrate the effectiveness of the proposed approach.

**Findings**

The two-span, three-story steel frame with cellular beams is designed with a minimal weight of 117.7 kN. The minimal weight of the four-story, four-span steel frame with cellular beams, which is constructed with optimum dimensions, is determined to be 57.96 kN. Although all algorithms can determine the best solution for both design problems, the HuS and ABC algorithms are the fastest converging methods. They are followed by the BA algorithm. The FA and PSO algorithms are those with the slowest rate of convergence.

**Research limitations/implications**

Future research can employ more samples than have been used in this study. Assessing the effectiveness of various algorithms is possible.

**Practical implications**

The purpose of this work is to increase the usage of steel frames with circular beams. It is possible to save cost, use less material, and lessen the load on the foundation by providing the optimal dimensions.

**Originality**

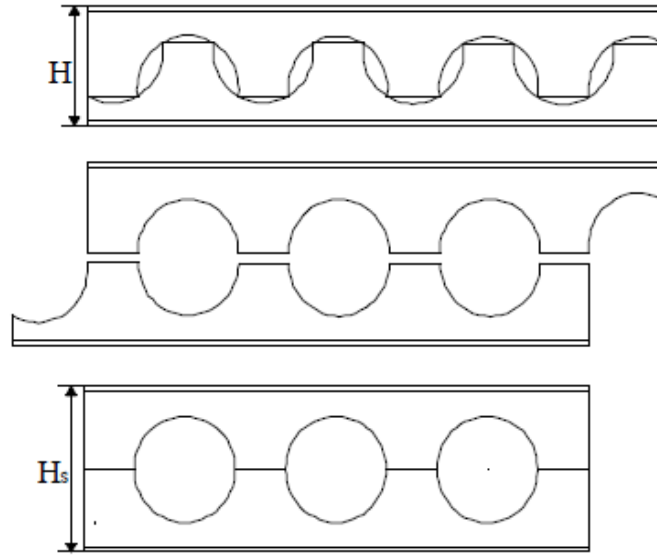
The optimal design of steel frames with cellular beams is evaluated for the first time in this research using various algorithms, and the min weight of the steel frames is searched for by comparing the methods.

<sup>†</sup> İlgili yazar / Corresponding author: betul.celik@cbu.edu.tr, +90-236 -201-2329

## 1. Giriş (Introduction)

Zaman ve kaynak yönetimi tasarımcılar için en zorlu alanlardandır. Bu amaçla mühendisler, özellikle karmaşık yapılarda bu sorunların üstesinden gelmek için uygun çözüm olarak meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerini kullanırlar. Çerçeve yapılar günümüzde en yaygın kullanılan yapılar arasındadır. Çerçeve yapılar, konut binaları, yüksek binalar ve endüstriyel binalar dahil olmak üzere inşaat sektöründe çok sayıda uygulamaya sahiptir. Bu nedenle çerçeve yapıların minimum ağırlıklı olarak tasarımı, malzemedan tasarruf edilmesi, temele etkiyen toplam yükün azaltılması vb., açılardan ekonomik tasarımda önemli bir yer tutmaktadır. Minimum ağırlıklı olarak tasarlanan yapı davranışının güvenli sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Yapıya etkiyen yüklere karşı gösterdiği davranışı güvenli sınırlar içerisinde kalan ve maliyeti en az olan bir yapının belirlenmesi problemi, optimum tasarım problemi olarak isimlendirilebilir (Erdal, 2011; Khalilpourazary ve Khalilpourazary, 2019; Rather ve Bala, 2020; Çiftçioğlu 2021).

Şekil 1’ de gösterildiği gibi dairesel boşluklu kirişler, I kesitli kirişlerin gövde merkezleri boyunca yarım daire şeklinde iki kez kesilerek gövdenin iki bölüme ayrılması ve elde edilen kısımların kaydırılarak uçlarından birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu dairesel boşlukların optimum şekilde tasarlanması ile tüm kiriş ağırlığı azaltılırken kiriş yüksekliği, atalet momenti ve mukavemet momenti artmaktadır. Çerçeve yapıların kirişlerinde dairesel boşluklu kirişlerin tercih edilmesi ile de malzemedan tasarruf edilirken (minimum maliyet) temele etkiyen toplam yapı ağırlığının azaltılması da sağlanmış olur.



Şekil 1. Dairesel Boşluklu Kirişlerin Yapım Süreci (Erdal,2011) (Construction Process of Circular Beams)

Bu çalışmada mühendislik yapılarında sıklıkla kullanılan çelik çerçevelerin kirişleri dairesel boşluklu olacak şekilde tasarlanmıştır. Beş farklı meta-sezgisel algoritma ile dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçevelerin optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede optimum boyutlara sahip, en düşük ağırlıklı dairesel boşluklu çelik çerçeveler elde edilirken optimizasyon algoritmalarının performanslarının kendi içinde kıyaslanması da gerçekleştirilmiştir.

### 1.1. Metasezgisel Algoritmalar (Metaheuristic Algorithms)

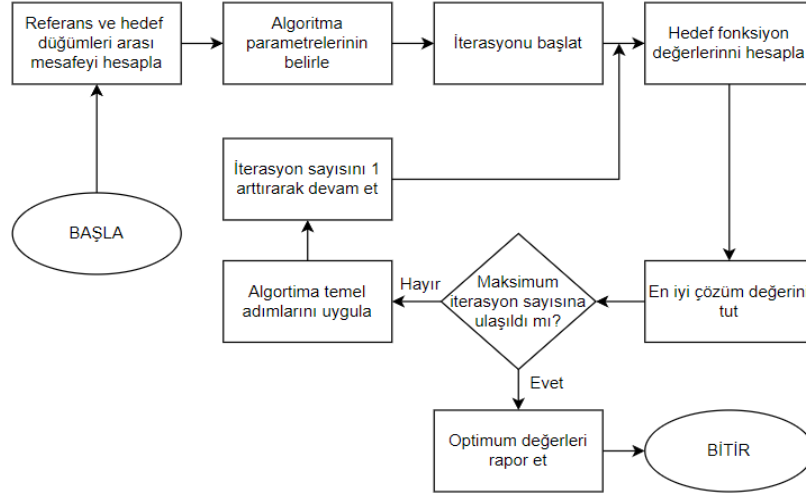
Geçmişten günümüze insanlar fayda sağlayacak unsurları en üst derecede, hesaplama maliyetlerini azaltmak için ise en alt derecede tutmaya çalışmışlardır. Doğanın bizlere sunduğu sınırlı kaynaklar insanı en iyi çözümü bulmaya yöneltmiştir. Optimizasyon, belirli kısıtlamaları sağlayacak şekilde en iyi sonucu elde etme işlemine verilen addır (Doğan, 2010). Optimizasyon problemlerinde çözüm yapabilmek için hedefin belirlenmesi gerekir. Amaç fonksiyonu, fayda veya maliyet gibi optimize edilecek bir miktarı belirtir. Daha sonra, kısıtlamalar ve tasarım değişkenleri tanımlanır. Optimizasyon problemi, kısıtların sağlandığı ve amaç fonksiyonunun en küçük veya en büyük yapıldığı optimum değerlerin (değişkenlerin) seçimi olarak tanımlanabilir.

Yıllar boyunca mühendisler, araştırmacılar ve uygulayıcılar, yapısal ve inşaat mühendisliği problemleri dahil olmak üzere çeşitli mühendislik dallarında karmaşık tasarım problemlerinin optimum çözümlerini araştırmak için yaratıcı optimizasyon teknikleri aradılar (Çarbaş ve diğ., 2021; Kaveh ve Ghazaan., 2018; Kaveh, 2016; Yang ve diğ. 2020). Optimum tasarım prosedürlerinin hesaplama maliyetini azaltmak için, güncel optimizasyon algoritmaları ile entegre bazı vekil modeller de araştırmacılar tarafından önerilmiş ve geliştirilmiş ve çok çeşitli mühendislik alanlarına uygulanmıştır (Zuhang ve diğ., 2021; Hamdia ve diğ., 2019).

Bu çalışmada dairesel boşluklu kirışlere sahip çelik çerçevelerin optimum tasarımı için av arama, parçacık sürü, yapay arı kolonisi, ateş böceği ve yarasa algoritmaları olmak üzere beş farklı optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

### 1.1.1. Yarasa Algoritması (Bat Algorithm)

Yarasa algoritması (BA), 2010 yılında Xin-She Yang tarafından geliştirilen biyo-ilhamlı bir algoritmadır. BA, doğadaki yarasaların yankı davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Yarasalar avlarının yerini belirleme, veya engellerden kaçınma amaçlarıyla çıkartıkları sesin yankısını dinlerler. Yankının kendilerine geri dönme süresine göre hedeflerinin yakınlığını tespit ederler. Yarasa algoritmasında, bu süreç çeşitli optimizasyon problemlerine uyarlanır (Yang, 2010). Şekil 2’de BA’ya ait akış diyagramı gösterilmektedir.



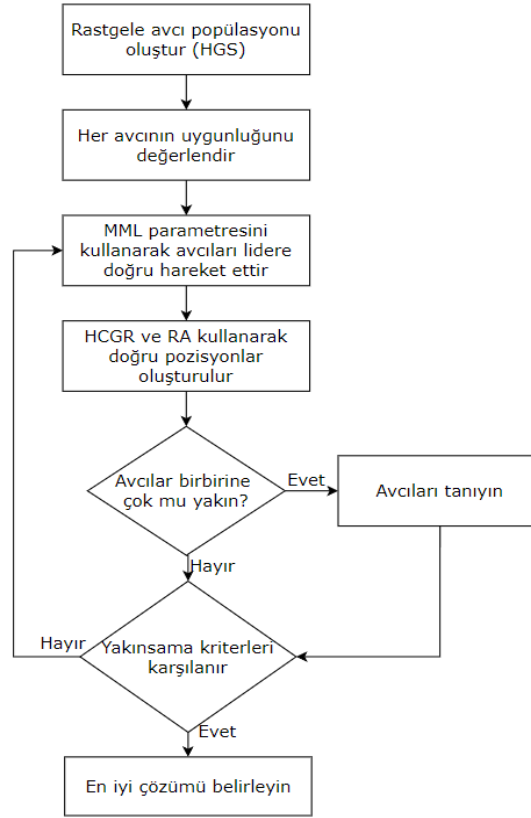
Şekil 2. Yarasa Optimizasyonu Akış Diyagramı (Bat Optimization Flowchart) (González-Patiño,2019)

### 1.1.2. Av Arama Algoritması (Hunting Search Algorithm)

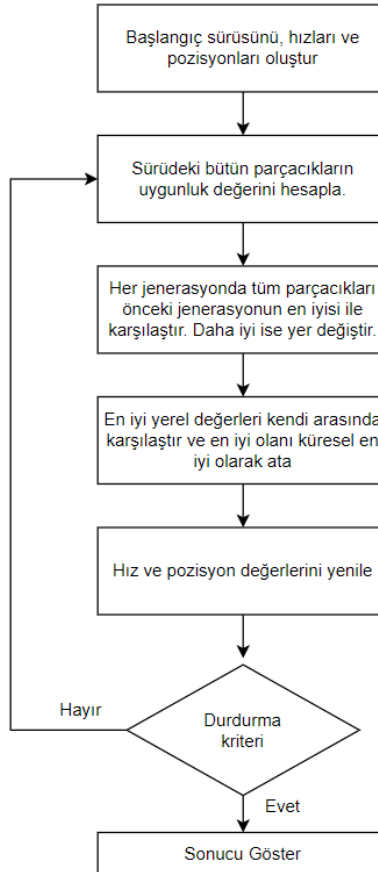
Av arama algoritması (HuS) hayvan gruplarının (aslanlar, yunuslar, kurtlar vb.) avlanmalarından esinlenerek geliştirilen bir optimizasyon yöntemidir. Bu hayvanların her birinin farklı bir avlanma şekli olsa da genellikle grupça bir av seçerler. Ve avı bir daire içine alıp, yakalayana kadar bu daireyi daraltırlar. Buna ek olarak grubun her üyesi pozisyonunu, avın pozisyonuna ve kendi pozisyonuna bağlı olarak belirler. Grubun her üyesi problem için bir çözüm sunar. Ve gruptaki yapay avcılar, gerçek hayvan avcılar gibi avı bulup yakalamakta iş birliği yapar. Çalışmadaki optimum çözüm av olarak düşünülebilir (Saka ve diğerleri, 2013). Şekil 3’te HuS için akış diyagramı gösterilmektedir.

### 1.1.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)

Parçacık Sürü optimizasyonu (PSO) yönteminin ilk çalışmasını Reynolds 1987 yılında kuş sürülerine benzer parçacıkları modelleyerek gerçekleştirmiştir (Reynolds,1987). Eberhart ve Kennedy bu modelleri optimizasyon problemlerinin çözümlerinde kullanmak üzerine yoğunlaşarak 1995 yılında popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon metodu olan PSO yöntemini geliştirmişlerdir (Kennedy ve Eberhart, 1995). Yöntem, sürünün besin kaynağı ararken veya bir tehlikeden kaçarken ortaya koyduğu davranış üzerine kuruludur. Sürüde bulunan bireylerden hiçbirinin besin kaynağının (optimum sonuç) yerini bilmediği halde tüm sürü bireylerinin başarılı bir şekilde kaynağa ulaşabilmesinden esinlenilmiştir. Şekil 4’te PSO için akış diyagramı gösterilmektedir.



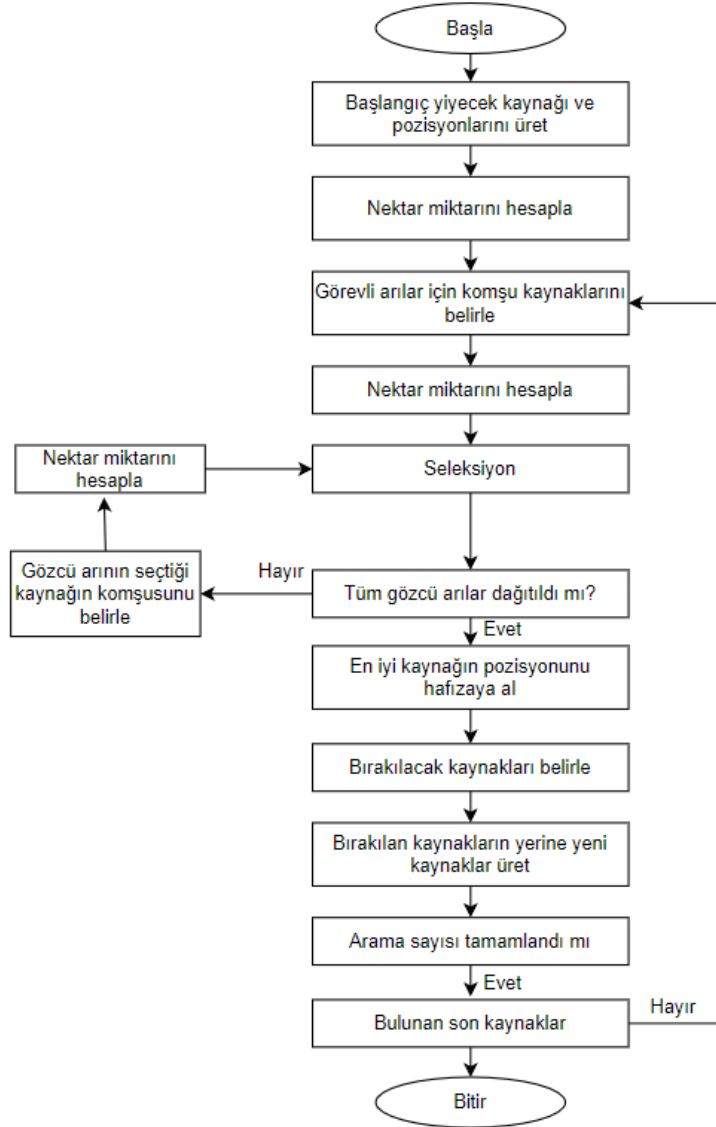
Şekil 3. Av Arama Optimizasyonu Akış Diyagramı (Prey Search Optimization Flowchart) (Bouzaida,2014)



Şekil 4. Parçacık Sürü Optimizasyonu Akış Diyagramı (Particle Swarm Optimization Flowchart) (Özsağlam, 2008)

### 1.1.4. Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm)

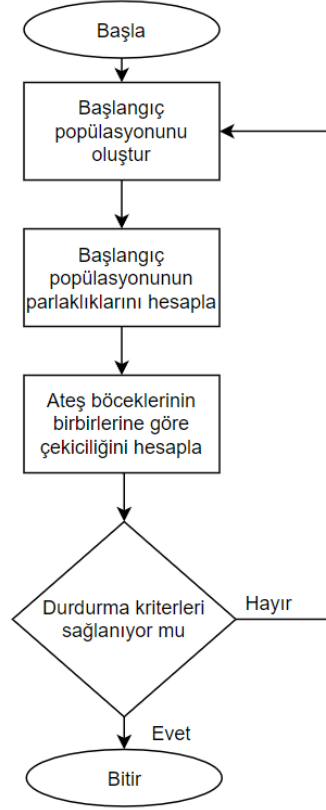
Yapay arı kolonisi algoritması (ABC) bal arılarının besin ararken gösterdiği davranıştan esinlenilerek geliştirilen bir algoritmadır. Algoritma mantığında farklı görevlere sahip olan üç çeşit arı bulunmaktadır. Besin kaynağını bulup nektarın miktarını ölçen ve nektara göre kıyaslama yaparak daha iyi besin kaynakları araştırıp bunların konumunu hafızasına alan grup 'işçi arılardır'. İşçi arılar kovanlarına döndüklerinde, hafızlarındaki bilgileri dans ederek diğer arı gruplarıyla paylaşırlar. Dansın süresi, besin kaynağındaki nektarın miktarına göre belirlenir. İkinci grup, işçi arıların dansını izleyen 'gözlemci arılardır'. Gözlemci arılar, gıda kaynağının ziyaret edilmeye değerliğini gözlemleyip, kaynağa uçup uçmamaya karar verir. Kovanın etrafında rastgele uçarak yeni gıda kaynaklarını araştıranlar 'izci arılardır'. Gıda kaynağı diğer arılar tarafından terk edilen işçi arılar, tekrar izci arı olarak yeni gıda kaynağı ararlar. Her gıda kaynağı, optimizasyon örneği için muhtemel bir çözüm olarak düşünülür ve gıda kaynağında bulunan nektar miktarı, çözümün uygunluk değerini temsil eder (Karaboga ve Basturk, 2008). Şekil 5'te ABC optimizasyonuna ait akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 5. Yapay Arı Optimizasyonu Akış Diyagramı (Artificial Bee Optimization Flowchart) (Kaya,2020)

### 1.1.5. Ateş Böceği Algoritması (Firefly Algorithm)

Ateş böceği algoritması (FA) üç prensibi temel alır (Yang, ve He,2013). Bunlar: İlk olarak tüm ateş böcekleri çift cinsiyetlidir. Bu şekilde her ateş böceği bir diğerini etkileme potansiyeline sahiptir. İkinci prensipte çekiciliğin, ateş böceğinin parlaklığı ile doğru orantılı olduğu ve uzaklık arttıkça parlaklığın ve dolayısıyla çekiciliğin azaldığı kabul edilir. İki ateş böceği arasında az parlak olan daha parlak olana doğru ilerler. Kendisinden daha parlak farklı bir ateş böceği olmayanlar rastgele hareket ederler. Üçüncü olarak ateş böceğinin parlaklığı amaç fonksiyonu etkinliği ile doğrudan ilgilidir (Çarbaş, 2016). Şekil 6' da FA'ya ait akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 6. Ateş Böceği Optimizasyonu Akış Diyagramı (Firefly Optimization Flowchart) (Baktır,2018)

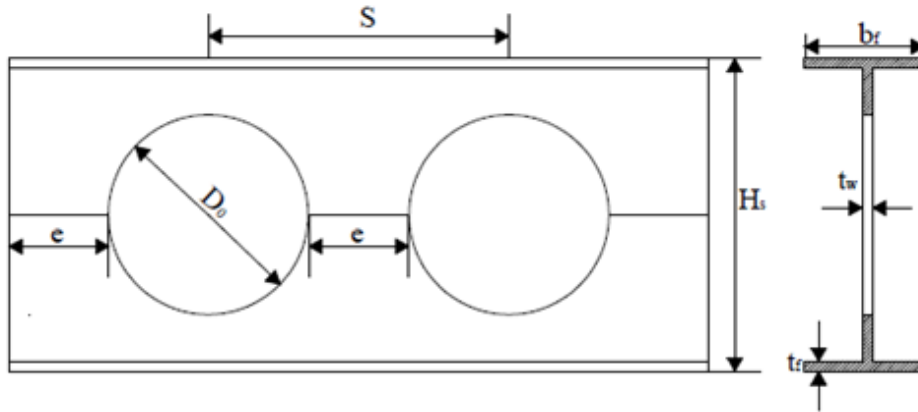
## 2. Optimum Tasarım Kriterleri (Optimum Design Criteria)

Minimum çelik çerçeve ağırlığını bulmanın amaçlandığı, dairesel boşluklu çelik çerçeve optimum tasarım problemi Eşitlik 1’de formüle edildiği gibidir.

$$W = \sum_{i=1}^q \gamma_i A_i L_i + \sum_{j=1}^m \gamma_j A_j L_j - \gamma_j \left( \pi \left( \frac{D_0}{2} \right)^2 N_b \right) \quad (1)$$

Bu denklemde,  $W$ : çelik çerçeve ağırlığı,  $\gamma$ : çelik yoğunluğu,  $L_i$ : i. eleman uzunluğu,  $A_i$ : i. eleman kesit alanı,  $q$ : tasarım değişkenleri toplam sayısıdır. Dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeve tasarımları, LRFD-AISC (LRFD-AISC, 1999) şartnamesince öngörülenler doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup çelik çerçeve ve dairesel boşluklu kiriş sınırlayıcılarının hepsinin sağlanması beklenmiştir.

### 2.1. Dairesel Boşluklu Kirişlerin Optimum Tasarım Kriterleri (Optimum Design Criteria for Circular Beams)



Şekil 7. Dairesel Boşluklu Kiriş Örneği (A Sample of Cellular Beam)

Şekil 7’de gösterilen  $D_0$  boşluk çapı,  $S$  boşluk merkezleri arasındaki mesafe ve  $H_s$  hesaplanan son profil yüksekliği olarak gösterilir. Çözüm yapabilmek için  $g_1, g_2, g_3$  ve  $g_4$  sınırlayıcılarının sağlanması gerekmektedir.

$$g_1 = 1.08D_0 - S \leq 0 \quad (2)$$

$$g_2 = S - 1.60D_0 \leq 0 \quad (3)$$

$$g_3 = 1.25D_0 - H_s \leq 0 \quad (4)$$

$$g_4 = H_s - 1.75D_0 \leq 0 \quad (5)$$

$M_u$  uygulanan moment değeri,  $M_p$  plastik moment kapasitesini göstermektedir. Kirişte eğilme kapasitesinin güvenli olarak sağlanması için Eşitlik 6’da verilen sınırlayıcıların içerisinde kalmalıdır.

$$g_5 = M_u - M_p \leq 0 \quad (6)$$

$V_{smax}$ , mesnette oluşan kesme kuvvetini,  $P_v$  izin verilebilir kesme kuvvetini belirtir. Kirişin mesnet bölgesinde kesme açısından güvenli davranış göstermesi için Eşitlik 7 ile gösterilen şartın sağlanması gerekir.

$$g_6 = V_{smax} - P_v \leq 0 \quad (7)$$

Kirişin dairesel boşluklarında hesaplanan kesme kuvveti  $V_{omax}$  ile, izin verilebilir dikey kesme kuvveti ise  $P_{vy}$  ile gösterilir. Eşitlik 8,  $V_{omax}$ ’ın üst sınırını formüle eder.

$$g_7 = V_{omax} - P_{vy} \leq 0 \quad (8)$$

$V_{\square max}$  hesaplanan yatay kesme kuvvetini,  $P_{v\square}$  ise izin verilebilir yatay kesme kuvvetini ifade eder. Eşitlik 9  $V_{\square max}$ ’ın üst sınırını göstermektedir.

$$g_8 = V_{\square max} - P_{v\square} \leq 0 \quad (9)$$

$M_w$  herhangi bir kesitte oluşan maximum moment değerini,  $M_{max}$  izin verilebilir gövde momenti değerini belirtir. Eşitlik 10,  $M_{max}$ ’ın  $M_w$ ’dan büyük olma kısıtını gösterir.

$$g_9 = M_w - M_{max} \leq 0 \quad (10)$$

$V_T$ ,  $t_i$  bölgesindeki dikey kesme kuvvetini,  $P_{vy}$  ise izin verilebilir dikey kesme kuvvetini temsil eder. Eşitlik 11,  $V_T$ ’nin üst sınırını ifade eder.

$$g_{10} = V_T - 0.5P_{vy} \leq 0 \quad (11)$$

$P_o$  kesit gövdesine uygulanan dış kuvveti ve  $M$  ise dış momenti;  $M_p$  plastik moment kapasitesini,  $P_u$  ise kuvvet kapasitesini temsil eder. Eşitlik 12 aralarındaki ilişkiyi gösterir.

$$g_{11} = \frac{P_o}{P_u} + \frac{M}{M_p} - 1 \leq 0 \quad (12)$$

$y_{max}$  kirişte oluşacak maximum deplasman değerini temsil eder. Eşitlik 13 ile  $y_{max}$ ’ın  $L$ ’nin  $1/360$ ’ından küçük olması gerektiği belirtilir

$$g_{12} = y_{max} - \frac{L}{360} \leq 0 \quad (13)$$

## 2.2. Çelik Çerçeveler için Optimum Tasarım Kriterleri (Optimum Design Criteria for Steel Frames)

Eşitlik 14 ve Eşitlik 15,  $P_u$  uygulanan aksenal yük,  $M_u$  uygulanan moment,  $P_n$  aksenal yük kapasitesi,  $M_n$  moment kapasitesi ve  $\phi$  azaltma katsayısı arasındaki bağıntıları gösterir.

$$g_1(x) = \left( \frac{P_u}{\phi P_n} \right) + \left( \frac{8}{9} \left( \frac{M_u}{\phi M_n} \right) \right) - 1.0 \leq 0 \quad \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \quad (14)$$



$$g_2(x) = \left( \frac{P_u}{2\phi P_n} \right) + \left( \frac{M_u}{\phi M_n} \right) - 1.0 \leq 0 \quad \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0.2 \quad (15)$$

$V_u$  uygulanan kesme kuvveti,  $V_n$  kesme kapasitesi ve  $\phi$  azaltma katsayısı olmak üzere aralarındaki bağıntı Eşitlik 16 ile formülize edilir.

$$g_3(x) = \frac{V_u}{\phi V_n} - 1 \leq 0 \quad (16)$$

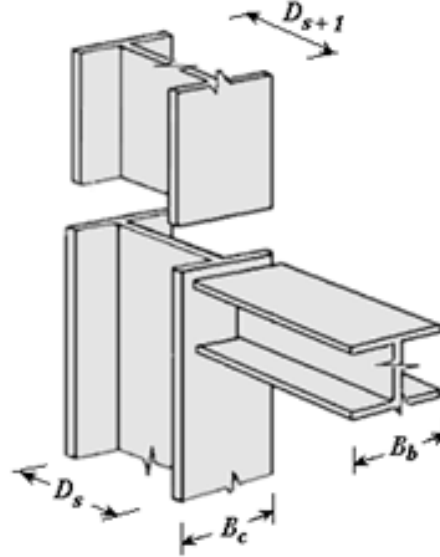
$\delta_j$ , j. kattaki yanal deplasman,  $\delta_{j-1}$ , 'j-1'. kattaki yanal deplasman,  $\delta_{ju}$ , izin verilebilir yanal deplasman ve  $ns$ , toplam kat sayısı olmak üzere Eşitlik 17, katlar arasındaki yanal deplasman kısıtını tanımlar.

$$g_4(x) = \frac{(\delta_j - \delta_{j-1})}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, \dots, ns \quad (17)$$

$\delta_i$ , en üst kat yanal deplasmanı ve  $nd$  kısıtlı deplasman sayısı olmak üzere Eşitlik 18 aralarındaki ilişkiyi gösterir.

$$g_5(x) = \frac{\delta_i}{\delta_{iu}} \leq 0 \quad i = 1, \dots, nd \quad (18)$$

Sınırlayıcılara ek olarak kolon ve kiriş bağlantıları açısından da tasarımın uygun olması için uygunluk sınırlayıcıları eklenir. Şekil 8'de  $B_b$  kiriş profilinin başlık genişliğini,  $B_c$  kolon profilinin başlık genişliği,  $D_s$  alt kolon profilinin yüksekliğini ve  $D_{s+1}$  üst kolon profilinin yüksekliğini temsil etmektedir.  $m_{s+1}$  üst kolonun birim boy ağırlığını,  $m_s$  alt kolonun birim boy ağırlığını temsil eder. Bu bağlamda 19., 20., ve 21. eşitliklerin uygunluk kısıtlayıcıları olarak sağlanması gerekmektedir.



Şekil 8. Kolon Kiriş Bağlantı Detayı (Column Beam Connection Detail)

$$g_6(x) = \frac{B_b}{B_c} - 1 \leq 0 \quad (19)$$

$$g_7(x) = \frac{D_{s+1}}{D_s} - 1 \leq 0 \quad (20)$$

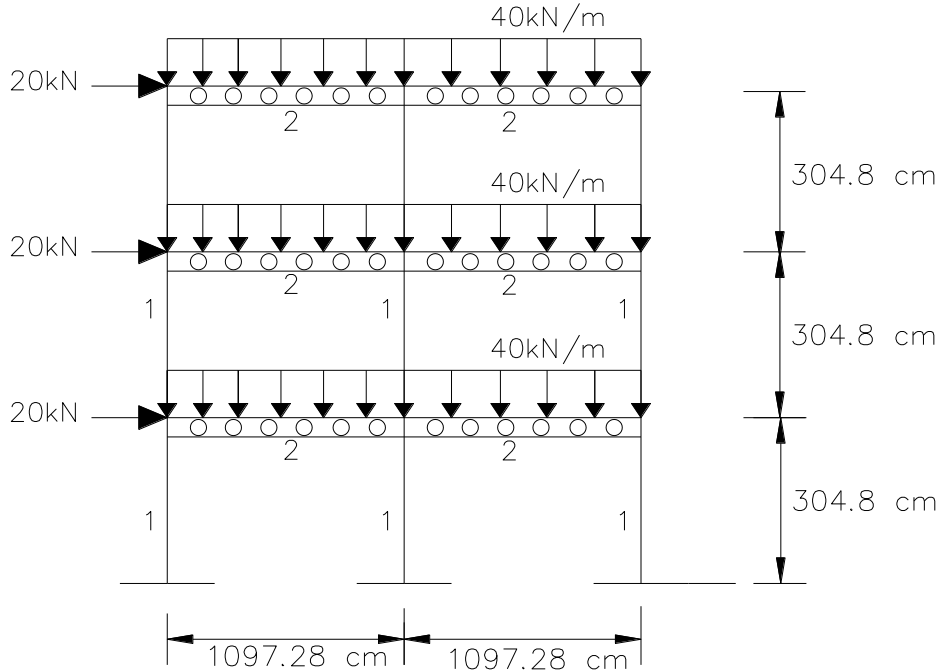
$$g_8(x) = \frac{m_{s+1}}{m_s} - 1 \leq 0 \quad (21)$$

### 3. Bulgular (Results)

Dairesel boşluklu kirişlere sahip üç farklı çelik çerçevenin beş farklı optimizasyon metodu ile (HuS, PSO, ABC, FA, BA) ağırlık optimizasyonu yapılırken LRFD-AISC yönetmeliğinin sınırlayıcıları kullanılmıştır. Tasarım değişkenleri (çerçeve çubuklarının çelik profil kesitleri) ayrık değişkenler olup LRFD'de belirtilmiş olan W kesitlerin tamamı çelik çerçeve kiriş ve kolonlarında kullanılmak üzere 1 ile 272 arasında numaralandırılmıştır. Çalışmada kıyaslama örneği olarak HuS algoritması ile minimum ağırlığa sahip kesitleri belirlenen dolu gövdeli kirişlere sahip çerçeve sonuçları da kıyaslanmıştır. Her algoritma 5000 iterasyon için çalıştırılmış, yakınsama sonuçları grafiklerle gösterilmiştir.

#### 3.1. Üç Katlı İki Açıklıklı, Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve (Three Storey Two Span Steel Frame with Cellular Beams)

Üç katlı ve iki açıklıklı bir rijit çelik çerçeve örneği kirişleri dairesel boşluklu olacak şekilde tasarlanmış ve beş farklı optimizasyon yöntemi ile optimizasyona tabi tutulmuştur. Ölçüler, elemanların grup numaraları ve sisteme etkileyen dış yükler Şekil 9'da görüldüğü gibidir.



Şekil 9. Üç Katlı İki Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve (Steel Frame With Three-Story Two-Span And Circular Hollow Beams)

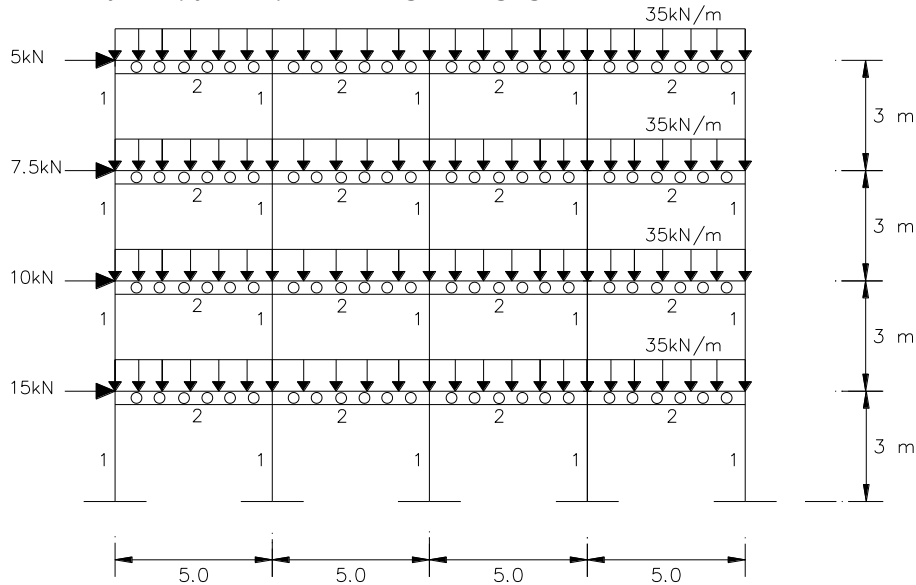
15 elemanlı bu çerçeve 2 farklı gruba ayrılmıştır. Fakat kirişler için de boşluk sayısı ve boşluk çapı olmak üzere 2 grup daha eklenmiştir. Çerçevdeki her yatay elemana 40 kN/m'lik yayılı yük ve bir tekil yanal yük uygulanmıştır. Bütün kolonlar zemine ankastre mesnetlerle mesnetlenmiş, en üst kat yatay ötelemesi 30.48 mm. ile sınırlandırılmıştır. Çeliğin elastisite modülü 200 Gpa alınmış, her bir çerçeve elemanının kontrolü LRFD şartnamesinde yer alan sınırlayıcılar dikkate alınarak yapılmıştır. Tablo 1'de optimizasyon algoritmalarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

**Tablo 1.** Üç Katlı İki Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve Optimum Tasarım Sonuçlarının Karşılaştırılması (Comparison Of Optimum Design Results Of Steel Frame With Three Storey Two Span And Circular Hollow Beams)

Grup No	Eleman Tipi	HUS ile Dolu Gövdeli Kirişlere Sahip Çerçeve [11]	HUS ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	PSO ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	ABC ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	BA ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	FA ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve
1	Kolon	W250X73	W250X73	W250X73	W250X73	W250X73	W250X73
2	Kiriş	W690X152	W610X140	W610X140	W610X140	W610X140	W610X140
En Üst Kat Yatay Öteleme(cm)		0.8	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Maksimum Zorlanma Oranı		0.98	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Minimum Ağırlık (kN)		117.7	106.35	106.35	106.35	106.35	106.35
Kiriş Boşluk Sayısı		-	12	12	12	12	12
Kiriş Boşluk Çapı (mm)		-	600	600	600	600	600

### 3.2. Dört Katlı Dört Açıklıklı, Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve (Four Storey Four Span Steel Frame with Cellular Beams)

Dört katlı ve dört açıklıklı bir rijit çelik çerçeve örneği kirişleri dairesel boşluklu olacak şekilde dizayn edilmiş ve proje kapsamında beş farklı optimizasyon yöntemi ile optimizasyona tabi tutulmuştur. Ölçüler, elemanların grup numaraları ve sisteme etkileyen dış yükler Şekil 10'da görüldüğü gibidir.



**Şekil 10.** Dört Katlı Dört Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve (Steel Frame With Four-Story Four-Span And Circular Hollow Beams)

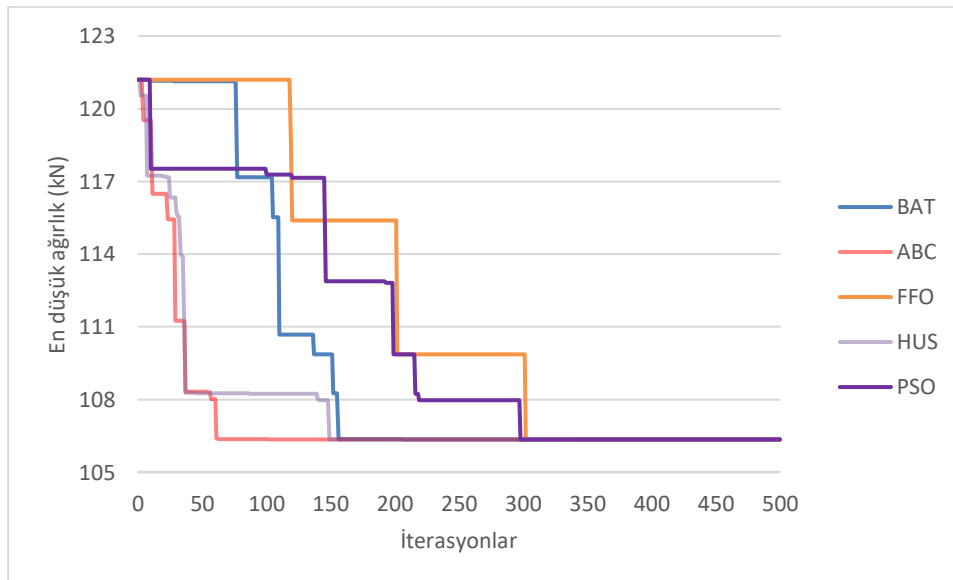
36 elemanlı bu çerçeve Şekil 10'da görüldüğü gibi 2 farklı gruba ayrılmıştır. Fakat kirişler için de boşluk sayısı ve boşluk çapı olmak üzere 2 grup daha eklenmiştir. Bütün kolonlar zemine ankastre mesnetlerle mesnetlenmiş, en üst kat yatay ötelemesi 4 cm ile sınırlandırılmış, çeliğin elastisite modülü 200 Gpa alınmıştır. Tablo 2'de optimizasyon algoritmalarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

**Tablo 2.** Dört Katlı Dört Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve Optimum Tasarım Sonuçlarının Karşılaştırılması (Comparison Of Optimum Design Results Of Steel Frame With Four-Story Four-Span And Circular Hollow Beams)

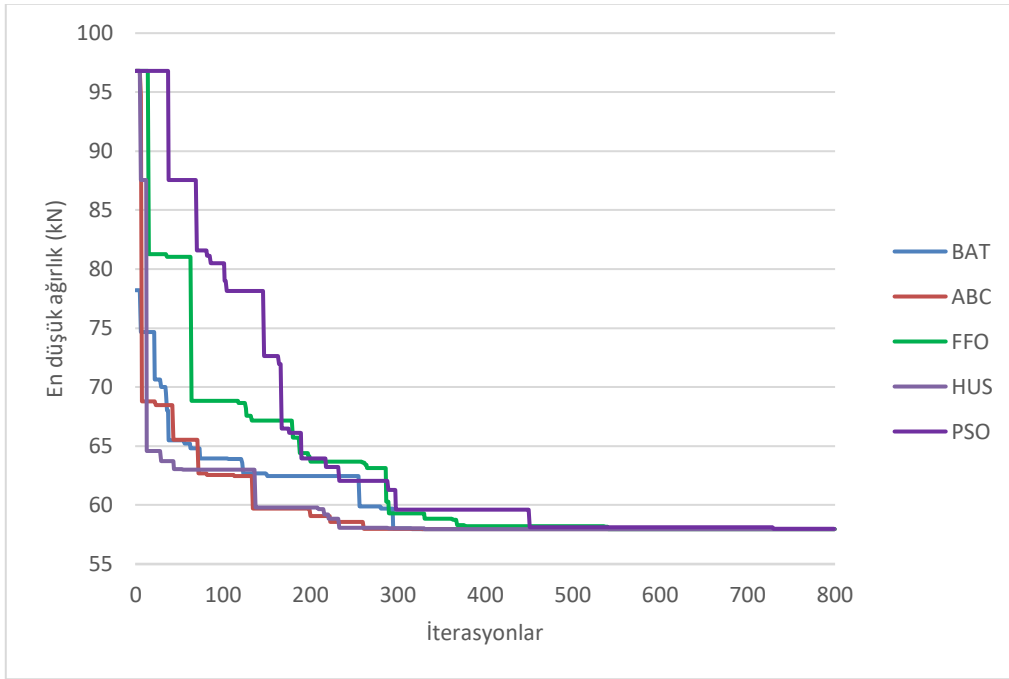
Grup No	Eleman Tipi	HUS ile Dolu Gövdeli Kirişlere Sahip Çerçeve [11]	HUS ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	PSO ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	ABC ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	BA ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	FA ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve
1	Kolon	W150X 37.1	W200X 35.9	W200X 35.9	W200X 35.9	W200X 35.9	W200X 35.9
2	Kiriş	W410X 46.1	W460X52	W460X 52	W460X52	W460X52	W460X52
En Üst Kat Yatay Öteleme(cm)		1.59	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Maksimum Zorlanma Oranı		0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Minimum Ağırlık (kN)		58.00	57.96	57.96	57.96	57.96	57.96
Kiriş Boşluk Sayısı		-	7	7	7	7	7
Kiriş Boşluk Çapı (mm)		-	561	561	561	561	561

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada aynı yükü taşıyan dolu gövdeli kirişli ve dairesel boşluklu kirişli çelik çerçevelerin ağırlık kıyaslaması yapılmıştır. Doğan (Doğan, 2010), üç katlı ve iki açıklıklı dolu gövdeli kirişlere sahip bir çelik çerçeveyi Av arama algoritması ile optimum boyutlandırmış ve minimum ağırlığını Tablo 1’de görüldüğü üzere 117.7 kN olarak bulmuştur. Tablo 1’de görüldüğü üzere çalışma kapsamında aynı yüklere maruz ve aynı ölçülerdeki çelik çerçeve kirişlerinde optimum boyutlara sahip dairesel boşluklu kirişler kullanılmış ve en düşük çerçeve ağırlığı 106.35 kN olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde dört katlı ve dört açıklıklı çelik çerçeve Doğan (Doğan,2010) tarafından kirişleri dolu gövdeli olarak tasarlanmış ve optimum ağırlığı 58 kN olarak bulunmuşken Tablo 2’de görüldüğü gibi aynı çerçevenin kirişlerinin optimum özelliklere sahip dairesel boşluklu olarak tasarlanması ile çerçeve ağırlığı 57.96 kN olarak hesaplanmıştır. Kiriş elemanların boşluklu seçilmesi ile yapılan çerçeve optimizasyonunda ağırlığın azaldığı görülmektedir.



**Şekil 11.** Üç Katlı İki Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve Optimizasyonunda Algoritma Yakınsama Grafiklerinin Karşılaştırılması (Comparison Of Algorithm Convergence Graphs In Optimization Of Steel Frame With Three-Story, Two-Span And Circular Gap Beams.)



**Şekil 12.** Dört Katlı Dört Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve Optimizasyonunda Algoritma Yakınsama Grafiklerinin Karşılaştırılması (Comparison Of Algorithm Convergence Plots In Steel Frame Optimization With Four-Story Four-Span And Circular-Gapped Beams)

Üç katlı iki açıklıklı ve dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeve optimizasyonunda beş farklı algoritmanın kendi içinde kıyaslanması Şekil 11’de, dört katlı dört açıklıklı ve dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeve optimizasyonunda beş farklı algoritmanın kendi içinde kıyaslanması Şekil 12’de sunulmuştur. Her iki şekilden de görüldüğü üzere, tüm algoritmalar optimum sonucu bulabilse de en hızlı yakınsayan algoritmalar HUS ve ABC algoritmalarıdır. BA algoritması da onları takip eden algoritma olmuştur. En yavaş yakınsama hızına sahip algoritmalar ise FA ve PSO algoritmaları olmuştur.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz. Proje, BAP birimi tarafından 2019-156 numarası ile desteklenmiştir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Baktır A. E., 2018. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Dinamik Ağırlık Ölçme Sisteminin Kimliklendirilmesi, Yüksek lisans Tezi, E.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Bouzaïda S., Sakly A., Faouzi M., 2014. Extracting TSK-type Neuro-Fuzzy model using the Hunting search algorithm, International Journal of General Systems, 43(1).
- Carbas S., 2016. Design optimization of steel frames using an enhanced firefly algorithm. Engineering Optimization, vol. 48, no. 12, 2007–2025.
- Carbas S, Toktas A, Ustun D., 2021. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms for Engineering Optimization Applications. Singapore: Springer Nature Singapore, 1st ed. Pte. Ltd.
- Çiftçioğlu Özyüksel A., 2021. Kısıtlı Mühendislik Problemlerinin Karşılaştırmalı Ağırlık ve Maliyet Optimizasyonu., Mühendis ve Makine, vol. 62, no. 705, 784–805.
- Dogan E., 2010. Optimum design of rigid and semi-rigid steel sway frames including soil-structure interaction. PhD Thesis, Middle East Technical University, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erdal F., 2011. Ultimate Load Capacity of Optimally Designed Cellular Beams. PhD Thesis, Middle East Technical University, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- González-Patiño D., Villuendas-Rey Y., Argüelles-Cruz A., Karray F., 2019. A Novel Bio-Inspired Method for Early Diagnosis of Breast Cancer through Mammographic Image Analysis, Journals Applied Sciences, Volume 9, Issue 21, 10.3390/app9214492. doi.org/10.3390/app9214492.

- Hamdia K M, Ghasemi H, Bazi Y, AlHichri H, Alajlan N, Rabczuk T., 2019. A novel deep learning based method for the computational material design of flexoelectric nanostructures with topology optimization. *Finite Elements in Analysis and Design*, 165:21–30.
- Karaboga D., Basturk B., 2008. On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing*. Vol 8, No 1, 687-697.
- Kaveh A, Ghazaan M I., 2018. *Meta-heuristic Algorithms for Optimal Design of Real-size Structures*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Kaveh A., 2016. *Applications of Metaheuristic Optimization Algorithms in Civil Engineering*. Springer International Publishing.
- Kaya B., Eke İ., 2020. Yapay Arı Kolonisi Algoritması İle Yapılan Geliştirmeler ve Sonuçları, *Verimlilik Dergisi*, Sayı: 1, T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayını.
- Kennedy J. and R. Eberhart R., 1995. Particle Swarm Optimization. In: *IEEE International Conference on Neural Networks*. IEEE Press, 1942–1948
- Khalilpourazari S. and Khalilpourazary S., 2019. An efficient hybrid algorithm based on Water Cycle and Moth-Flame Optimization algorithms for solving numerical and constrained engineering optimization problems. *Soft Computer*. vol. 23, no. 5, 1699–1722.
- LRFD-AISC, 1999. *Load and Resistance Factor Design*. American Institute of Steel Construction, IL, USA.
- Özsağlam M.Y., Çunkaş M., 2008. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması, *Journal of Polytechnic*, Vol: 11 No: 4, 299-305, 2008.
- Rather S.A. and Bala P.S., 2020. *Analysis of Gravitation-Based Optimization Algorithms for Clustering and Classification*. IGI Global.
- Reynolds C.W., 1987. Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. *ACM Computer, Graph*. vol. 21, no. 4, 25–34.
- Saka M.P., Doğan E., and Aydoğdu İ., 2013. Review and Analysis of Swarm-Intelligence Based Algorithms. In *Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation, Theory and Applications*. Elsevier, 26.
- Yang X.S., 2010. A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. In *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization*. Springer, 65–74.
- Yang X S, Dey N, Fong S., 2020. *Springer Tracts in Nature-Inspired Computing (STNIC)*. Cham: Springer Nature.
- Yang, X. S., & He, X., 2013. Firefly algorithm: recent advances and applications. *International journal of swarm intelligence*, 1(1), 36-50.
- Zhuang X, Guo H, Alajlan N, Zhu H, Rabczuk T., 2021. Deep autoencoder based energy method for the bending, vibration, and buckling analysis of Kirchhoff plates with transfer learning. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 87: 104225.