

## ÇELİK ÇERÇEVELERİN LRFD-AISC ŞARTNAMESİNE GÖRE PARÇACIK KÜME OPTİMİZASYONU YÖNTEMİ KULLANILARAK OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

E. Doğan<sup>1</sup>, M. P. Saka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Araştırma Görevlisi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, 06531 Ankara, Türkiye,  
derkan@metu.edu.tr.

<sup>2</sup> Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, 06531 Ankara, Türkiye.

### ABSTRACT

In this study the optimum design problem of unbraced steel frames is formulated according to LRFD-AISC (Load and Resistance Factor Design, American Institute of Steel Construction). Design constraints include the displacement limitations, inter-storey drift restrictions of multi-storey frames, strength requirements for beams and beam-columns. Furthermore, additional constraints are considered to satisfy practical requirements. These include three types of inequalities. The first type ensures that the flange width of the beam section at each beam-column connection of each storey is less than or equal to the flange width of column section. The second and third type of constraints are required to be included to make sure that the depth and the mass per meter of column section at each storey at each beam-column connection are less than or equal to width and mass of the column section at the lower storey. The design problem turns out to be discrete nonlinear programming problem. Particle swarm optimization technique is employed to determine the optimum solution. The design algorithm developed selects optimum W sections for beams and columns of unbraced frame such that above constraints described are satisfied and the frame has the minimum weight. It is noticed that particle swarm optimizer requires relatively less number of structural analysis steps in obtaining the optimum solution compare to the other stochastic search techniques.

Keywords: *Unbraced steel frames, Optimum structural design, Load and Resistance Factor Design, Combinatorial optimization, stochastic search techniques, Particle swarm*

### ÖZET

Bu çalışmada çelik çerçeveler için parçacık küme optimizasyon yöntemini temel alan bir optimum tasarım algoritması sunulmaktadır. Parçacık küme optimizasyon yöntemi hayvanlarda rastlanan böcek kümelenmesi, kuş sürüleri ve balıkların toplu hareketleri gibi sosyal davranışlarının taklit edildiği bir sayısal optimizasyon tekniğidir. Sürü içindeki her bir birey optimum tasarım problemine aday bir çözüm ifade eder. İki boyutlu çelik çerçevelerin

optimum tasarımının gereği olarak; yapı elemanlarının W profiline uygun olması, LRFD-AISC tasarım şartnamelerindeki sınırlayıcıları sağlaması ve çerçevenin minimum ağırlığa sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla burkulmayı da hesaba katan dayanım sınırlayıcıları göz önünde bulundurulmuş ve algoritmanın kolon ve kirişler için Amerikan Şartnamesindeki 272 kesit içerisinden seçim yapması sağlanmıştır. Her bir grup içindeki elemanlara aynı kesitin tayin edilebilmesi için eleman gruplandırılması yapılmıştır. Şartnamedeki sınırlayıcıları dikkate alarak minimum çerçeve ağırlığını hesaplayan bu algoritmanın etkinliği örnek problemlerle gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Optimum tasarım, minimum ağırlık, çelik çerçeve, sürü hareketi, parçacık küme optimizasyonu*

## 1. Giriş

Stokastik sayısal optimizasyon arama tekniklerinde kaydedilen ilerlemelerin sonucu olarak etkili bir şekilde çalışan yeni boyutlandırma teknikleri yapı mühendislerinin kullanımına sunulmuştur. Bu tekniklerin kullanımıyla birlikte yapısal optimizasyon problemlerinin çözümü matematiksel programlama yöntemleri ile elde edilenlere göre çok daha etkin hale gelmiştir. Bu stokastik optimizasyon yöntemlerinin temelindeki mantık sürü zekası, erimiş metallerin soğutulma işlemi, en iyinin hayatta kalması gibi prensiplerin sayısal algoritmalar içinde taklit edilmesidir. Bu metodlar üretilmelerinde esinlenen doğal fenomene bağlı olarak isimlendirilirler. Benzetimli tavlama erimiş metallerin soğutulma sürecindeki enerji minimizasyonunu kullanırken, karınca kolonisi optimizasyon yöntemi karıncaların yuvaları ve yiyecekleri arasındaki en kısa yolu bulma çabalarını simule eder. Bu stokastik arama teknikleri amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların türevlerine ihtiyaç duymadığı gibi, deterministik kurallar yerine olasılığa dayalı arama yollarını kullanırlar [1,2]. Tasarım mühendisleri son yıllarda alışılmadık dışında kalan bu etkili ve bir o kadar güçlü tekniklerden esinlenerek bir çok optimum boyutlandırma algoritması geliştirmişlerdir. [3] de bu algoritmalar hakkında detaylı bilgi yer almaktadır.

Sürü zekası mantığına dayalı olarak işleyen parçacık sürü optimizasyonu tekniği bu tekniklerden biridir [4-5]. Doğada bulunan kuş, balık gibi hayvanlar sadece çoğalmak için değil aynı zamanda yiyecek bulmak ve avcılardan korunmak için de sürü oluştururlar. Kuş sürüleri ve balık topluluklarındaki her bir bireyin birbirlerine çarpmadan senkronize bir şekilde hareket edebilmeleri için çevresindekilerle uyumlu olması gerekir. Sürü içindeki her birey sürünün bir yerden başka bir yere rahatça ulaşabilmesi için çevresindeki bireylerle arasına optimum ölçüde bir mesafe koyar. Parçacık sürü optimizasyonu tekniği kuşların hareketlerini temsil eden bu sosyal davranışın bir benzeşimi olarak tasvir edilebilir. Populasyon temelli bir algoritmadır. Populasyonu sürü olarak adlandırılırken sürü içindeki bireylere ise parçacık veya partikül ismi verilir. Sürü içerisindeki her bir parçacık optimum boyutlandırma problemi için birer aday çözümdür. Partiküller örnek uzaya doğru uçuş eğilimindedirler ve bir zaman aralığı için pozisyonları, eski pozisyonları ve yenilenmiş olan hız vektörleri kullanılarak güncellenir. Tekniğin orijinalinde [6] 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. Literatürde yer alan bir çok yapısal optimizasyon probleminde bu kabulün yapıldığı parçacık sürü optimizasyonu tekniği kullanılmıştır [7-9]. Ancak kiriş ve kolonların hazır kesit tablolarından

seçildiği optimum çelik yapı boyutlandırma problemlerinde bu kabulün yapılması mümkün değildir. Çünkü 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. Literatürde sürekli sayıları tamsayı haline getirmek için kullanılan iki adet yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi ilk olarak Kennedy ve Eberhart [10] tarafından ortaya konulmuştur. Bu yaklaşımda sürekli değişkenler 0 ve 1 sayı çifti kullanılarak tamsayı haline getirilir. İkinci yöntem ise Liu tarafından önerilmiş olan küsüratlı sayıların en yakın tamsayıya yuvarlanması şeklindedir [11]. Bu çalışmada gerçek sayılardan tamsayı elde etmek üzere ikinci yöntem olan yuvarlama işlemi kullanılmıştır. Bu çalışmada çerçevenin kolon ve kirişleri için kullanılacak W- kesitleri LRFD- AISC [12] Amerikan kodundaki kesit listesi içinden seçen parçacık- küme optimizasyon yöntemi temelli bir optimum boyutlandırma algoritması geliştirilmiştir.

## 2. Tamsayı değişkenleri için Parçacık Küme Optimizasyon Yöntemi

Tamsayı değişkenli optimum boyutlandırma problemi aşağıdaki gibi tasvir edilebilir.

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

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 ve  $g_j(x_i)$  ise j nolu tasarım sınırlayıcısıdır ve m ise boyutlandırma problemi içindeki bu tasarım sınırlayıcılarının toplam sayısıdır.

Parçacık küme optimizasyon yöntemi sürüyü temsil eden ve amaç fonksiyonu arama uzayı içinde rastgele seçilmiş olan parçacıklardan ibarettir. Orjinal parçacık küme optimizasyon yöntemi sürekli değişkenler için üretilmiştir. Tekniği tamsayı değerleri ile kullanabilmek için bazı değişiklikleri uygulamak gerekmektedir.

Öncelikle tamsayı değerlerini içeren X kümesindeki  $x_i$  değerleri artan sayılar şeklinde sıralanır. Daha sonra bu sayıların satır numaraları tasarım değişkeni olarak atanır. Örneğin 272 adet değer içeren tasarım setindeki 1 ile 272 arasındaki satır numaraları ana tasarım değişkenleridir. Tasarım döngüsünün herhangi bir adımında, algoritma tarafından satır numarasının üretilmesiyle birlikte bu satır numarasına karşılık gelen gerçek tasarım değişkeni değeri set içerisinden kolaylıkla alınabilir. Prosedür altı temel adımdan oluşur.

1. Adım: Bir partikül kümesi küme boyutunu temsil eden ve önceden belirlenmiş miktarda partikülden oluşur. Bu amaçla öncelikle sürü içindeki her bir partikül için bütün ilk pozisyonlar ve hızlar rastgele başlatma prensibiyle oluşturulur. Parçacıkların pozisyonları olan  $x_0^i$  değerleri,  $I_0^i$  satır numaraları olarak temsil edilir bununla birlikte her bir parçacık  $v_0^i$  hız vektörüne sahiptir. Bu değerler aşağıdaki formüller yardımıyla hesap edilir.

$$I_0^i = INT[I_{\min} + r(I_{\max} - I_{\min})] \quad (2)$$

$$v_0^i = [(I_{\min} + r(I_{\max} - I_{\min})) / \Delta t] \quad (3)$$

buradaki r değerinin tespiti için 0 ile 1 arasında değişen sayılar içinden rastgele sayı seçme uygulamasından faydalanılır.  $I_{\min}$  1 e eşittir ve  $I_{\max}$  set içindeki toplam değer sayısıdır.  $I_0^i$  in hesaplanmasıyla birlikte gerçek tasarım değişkeni olan  $x_0^i$  setten alınır.

2. Adım: Daha sonra tasarım değişkenlerini temsil eden pozisyon vektörleri  $x_k^i$  kullanılarak bütün partiküller için uyumluluk analizi yapılır ve amaç fonksiyonu değerleri  $f(x_k^i)$  hesaplanır.

3. Adım: Üçüncü adımda partiküllerin en iyi değerinin ve küme içindeki en iyi partikül değerinin güncellenmesi işlemi yapılır: Bir partikülün o ana kadarki en iyi pozisyonu  $p_k^i$  (minimum amaç fonksiyonu  $f(x_k^i)$  değerine sahip olan en iyi boyutlandırma) partikülün en iyi değeri olarak kabul edilir ve her bir partikülün en iyi değeri kaydedilir. Bunun yanı sıra işlemin başlangıcından itibaren herhangi bir partikül tarafından elde edilmiş olan en iyi pozisyon ise en iyi global pozisyon  $p_k^g$  olarak kaydedilir. Her iterasyon adımında her bir partikül ve sürü için en iyi pozisyon değerleri güncellenir.

4. Adım: Bu işlemden sonra her bir partikülün hız vektörü, partiküllerin mevcut pozisyonu, en iyi pozisyonu ve global en iyi pozisyon dikkate alınarak güncellenir.

$$v_{k+1}^i = wv_k^i + c_1r_1 \frac{(p_k^i - x_k^i)}{\Delta t} + c_2r_2 \frac{(p_k^g - x_k^i)}{\Delta t} \quad (4)$$

Burada  $r_1$  ve  $r_2$ , 0 ile 1 arasında yer alan rastgele sayılar,  $p_k^i$  o ana kadar bulunmuş en iyi pozisyon ve  $p_k^g$  ise k anında sürüde bulunan en iyi pozisyon değeridir. w algoritmanın keşif özelliklerini kontrol eden parçacık ataletini,  $c_1$  ve  $c_2$  ise parçacığın kendisine ve sürüye ne kadar bağlı kalacağını belirleyen güven parametrelerini gösterir.

5. Adım: Beşinci adımda bir önceki adımda güncellenen hız vektörü kullanılarak her bir partiküle ait satır numarası değeri yenilenir.

$$I_{k+1}^i = INT(I_k^i + v_{k+1}^i \Delta t) \quad (5)$$

Buradaki  $I_{k+1}^i$ , i numaralı parçacığın k+1 inci iterasyondaki  $x_{k+1}^i$  pozisyonuna karşılık gelen satır numarası,  $v_{k+1}^i$  hız vektörü ve  $\Delta t$  zaman adım aralığı değeridir.

6. Adım: Algoritmanın son adımı iterasyon döngüsünün tamamlandırılmasıdır. Optimizasyon döngüsü, işleme başlamadan önce belirlenmiş olan maksimum iterasyon sayısı kadar tekrarlanılarak durdurulur. Bu adımlar sonunda elde edilen amaç fonksiyonu değeri en iyi tasarımı verir.

## 2.1. Sınırlayıcıların kontrolü

Optimizasyon işlemi içinde değişkenler için belirlenen hazır profiller kullanılarak yapı analiz edilir ve sınırlayıcıları sağlayıp sağlamadığı incelenir. Bu durumun kontrolünü literatürde parçacık- sürü optimizasyon yöntemi için en etkin sonuçları verdiği belirlenmiş olan geri dönüş (fly-back) mekanizması üstlenir [8]. Bu mekanizmaya göre ilk olarak bütün parçacıklar analiz edilir ve sınırlayıcıları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Eğer bu parçacıklardan 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 parçacıklar iterasyon süresince sınırları sağlayabilen yeni parçacıklar üretebileceği düşünülerek çözüm içinde tutulur. Bunu yapabilmek için parçacıkların üretilmesi aşamasında hata payı büyük tutulur, parçacıkların üretilmesi işlemi tamamlanıp iterasyonlara geçildikten sonra adım adım küçültülerek son değeri olan 0.001 e ulaştırılır ve bu değer ile iterasyona devam edilir.

## 3. Çelik Çerçevelerin LRFD- AISC Ye Göre Optimum Boyutlandırılması

Çelik çerçevelerin boyutlandırılmasındaki ana prensip kolon ve kirişler için standart çelik kesit tablosundan kesit atamaktır. İki boyutlu çelik çerçevelerin optimum boyutlandırılmasının gereği olarak; yapı elemanlarının W profiline uygun olması, LRFD-AISC tasarım şartnamelerindeki sınırlayıcıları sağlaması ve çerçevenin minimum ağırlığa sahip olması gerekmektedir. LRFD- AISC sınırlayıcılarının tasarım problemi formülasyonunda kullanılmasıyla birlikte aşağıdaki programlama problemi elde edilir.

$$\text{Min } W = \sum_{k=1}^{ng} m_k \sum_{i=1}^{nk} L_i \quad (6a)$$

$$(\delta_j - \delta_{j-1})/h_j \leq \delta_{ju} \quad j = 1, \dots, ns \quad (6b)$$

$$\delta_i \leq \delta_{iu} \quad i = 1, \dots, nd \quad (6c)$$

$$V_u \leq \phi V_n \quad (6d)$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2 \quad \text{için} \quad \left( \frac{P_u}{\phi_c P_n} \right)_{il} + \left( \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right) \right)_{il} \leq 1.0 \quad (6e)$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 0.2 \quad \text{için} \quad \left( \frac{P_u}{2\phi_c P_n} \right)_{il} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right)_{il} \leq 1.0$$

$$B_{sb} \leq B_{sc} \quad s = 1, \dots, mu \quad (6f)$$

$$D_s \leq D_{s-1} \quad (6g)$$

$$m_s \leq m_{s-1} \quad (6h)$$

Buradaki (6a) denklemi çerçeve ağırlığını gösterir.  $ng$  sistemdeki toplam grup sayısını ifade ederken,  $m_k$  k numaralı gruba atanan hazır profil kesitinin birim ağırlığını,  $L_i$  k numaralı gruptaki elemanların uzunluğunu ve  $nk$  k grubundaki toplam eleman sayısını sembolize eder. (6b) denklemi katlar arası ötelenme sınırlayıcılarını gösterir.  $\delta_j$  ve  $\delta_{j-1}$  ardarda gelen iki katın yatay deplasmanları,  $h_j$  kat yüksekliği,  $\delta_{ju}$  izin verilen maksimum yatay deplasman değeri ve  $n_s$  ise yapıdaki toplam kat sayısıdır.

(6c) yatay deplasman sınırlayıcısıdır. nd yapıdaki deplasmanı sınırlanmış noktaların toplam sayısıdır. Birden fazla katlı yapılar için kolonların yatay yüklerden kaynaklanan yatay deplasman değeri kolon yüksekliği / 300 ile sınırlandırılmıştır. Sıva v.b. malzemeler taşıması durumunda kirişlerin maksimum sehim değeri açıklık / 300 olarak belirlenmiş ve denklemde  $\delta_{iu}$  sembolüyle belirtilmiştir.

(6d) kolon kirişler için kesme dayanımı kontrolü yapar.  $\phi$  kesme kuvveti için direnç faktörü,  $V_u$  etkiyen kesme kuvveti ve  $V_n$  taşınabilecek maksimum kesme kuvveti değeridir.

(6e) denklemi  $il$  no'lu yükleme koşulunda kiriş kolonlar için lokal kapasite kontrolü yapar.  $nm$  eleman sayısı,  $nl$  yükleme koşulu sayısı,  $M_{nx}$  eğilme dayanımı,  $M_{ux}$  uygulanan moment,  $P_n$  eksenel kuvvet dayanımı,  $P_u$  uygulanan eksenel kuvvet,  $\phi_c$  basınca maruz kalan kolonlar için direnç faktörü,  $\phi_b$  eğilme etkisindeki kolonlar için direnç faktörü değeridir. Açıkça anlaşılacağı üzere bir çerçeve elemanının basınç dayanımının hesabı için elemanın etkili uzunluğunun bilinmesi gerekmektedir. Bu değerinin hesabı için Jackson ve Moreland monografı kullanılmıştır [13].

6(f-h) denklemleri ile verilen geometrik sınırlayıcılar optimum yapı boyutlandırması örnek problemlerinin pratikteki kolon-kiriş uygulamalarıyla örtüşmesi için kullanılmıştır. (6f) ifadesi her bir kattaki kolon başlık genişliğinin bağlı olduğu kiriş başlık genişliğinden büyük veya ona eşit olması şartını sağlanmak için kullanılmıştır. (6g) ve (6h) denklemleri ile de her bir katta kullanılan kolonların birim ağırlıklarının bir üst katta bağlı oldukları kolonların birim ağırlıklarından büyük olması ve yine aynı şekilde her bir katta kullanılan kolonların gövde genişliklerinin bir üst katta bağlı oldukları kolonların gövde genişliklerinden büyük olması sağlanmaktadır.

#### 4. Optimum Boyutlandırma Algoritması

6(a-h) denklemlerinde verilen optimum boyutlandırma probleminin çözümü parçacık küme optimizasyonu yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Parçacık küme yöntemi ile hazırlanmış bu algoritma standart W-kesit listesinin satır numaralarını tasarım değişkenleri olarak kabul eder. Satır numarası seçilir seçilmez algoritma için gereken kesit özellikleri rahatlıkla bulunabilir hale gelir. Bu nedenle tasarım vektörü her bir grup için ayrı ayrı atanmış olan ve listenin satır numaralarına denk gelen bu tamsayı değerlerini içerir. Algoritma aşağıdaki adımlardan oluşur.

1. Parametre değerleri seçilir. Bu çalışma için parçacık ataleti  $w$ , parçacığın güven parametresi  $c_1$ , sürünün güven parametresi  $c_2$ , parçacığın maksimum hızı  $V_{max}$ , zaman adım aralığı  $\Delta t$  ve sürüdeki parçacık sayısı olan  $NPT$  sırasıyla 0.08, 2, 2, 2, 1,

40 olarak kullanılmıştır. Bu değerlere örnekler üzerinde birçok deneme yapıldıktan sonra karar verilmiştir.

2. Parçacıkların üretilmesi: çelik çerçeve içindeki her bir grup için listeden çelik kesit satır numarası seçilir.
3. Parçacıkların hızları rastgele seçme prensibiyle hesaplanır.
4. Bu kesitlerle çelik çerçeve analiz edilir ve tasarım sınırlayıcılarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Eğer sınırlayıcıları büyük ölçüde aşıyorsa bu durumda bu parçacıklar yok sayılarak yerine yenileri üretilir. Eğer sınırlayıcılar sağlanmıyor ama değerler sınırdan çok uzak değilse bu durumda sözkonusu parçacıklar sürü içinde tutulur.
5. Yeni parçacıkların kabul edilir olup olmadıkları irdelenir. Değilse bu durumda 4. adımdan tekrar işleme devam edilir.
6. Parçacıkların seçim işlemi tamamlandıktan sonra her bir parçacık için amaç fonksiyon değeri hesap edilir. Bunlardan en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip olan parçacık belirlenir.
7. Denklem 4 ve denklem 5 tekrar kullanılarak parçacıkların hız ve pozisyon vektörleri güncellenir.
8. Prosedürün başında seçilmiş olan maksimum iterasyon sayısına ulaşılan kadar 4. adımdan 7. adıma kadar olan işlemler tekrar edilir. Bu sayı amaç fonksiyonunda daha fazla iyileşme görülmeceği kanaatine varılabilecek derecede büyük seçilir

## 5. Boyutlandırma Örnekleri

İki adet çelik çerçeve bir önceki bölümde bahsedilmiş olan parçacık küme optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiş optimum boyutlandırma algoritmasıyla optimize edilmiştir. Algoritmanın kullanacağı kesit tablosu W100x19.3mm den başlayarak W1100x499mm de son bulan 272 adet W kesit içermektedir.

### 5.1 On katlı, bir açıklıklı çelik çerçeve

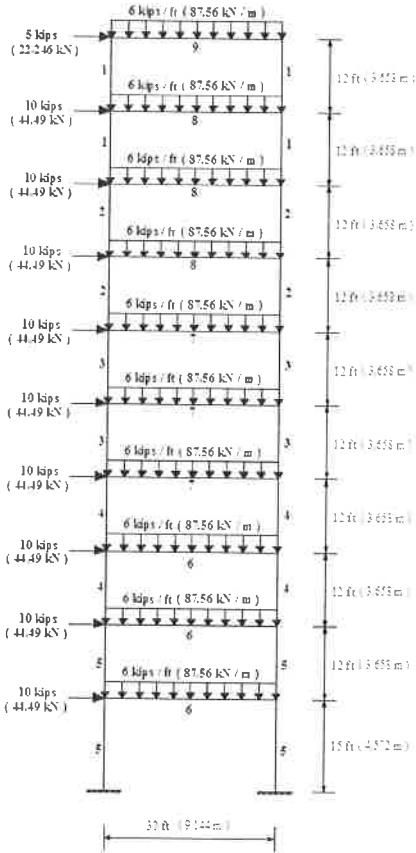
Şekil 1 de görülen on katlı bir açıklıklı çelik çerçeve ilk boyutlandırma örneği olarak dikkate alınmıştır. Şekilden de anlaşılacağı gibi çerçeve dokuz grupta toplanmış otuz adet elemandan oluşmaktadır. Müsade edilen katlar arası öteleme 0.04feet (12.19mm) iken en üst katın yatay deplasmanı 0.41feet (12.498cm) ile sınırlandırılmıştır. Elastisite modülü 200kN/mm<sup>2</sup> dir ve maksimum iterasyon sayısı 12000 olarak belirlenmiştir.

Daha önce [14]'de de tasarlanmış olan boyutlandırma örneği parçacık küme optimizasyonu metodu kullanılarak tekrar incelenmiş ve elde edilen W-kesit atamaları 1 numaralı tabloda verilmiştir. Bu sonuca 7500 iterasyon sonunda varılmıştır ve çerçevenin minimum ağırlığı 64948lb (29460kg) olarak hesaplanmıştır. Şekil 2'te problemin yakınsama derecesini gösteren minimum ağırlık- zaman grafiği bulunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre minimum ağırlığa sahip olan çerçevede katlar arası ötelenme sınırlayıcısının maksimum değeri yedinci katta üst sınır değeri 0.040ft e çok yakın bir değer olan 0.0399ft olarak hesap edilmiştir. Bu da tasarımda katlar arası ötelenme sınırlayıcısının baskın olduğunu gösterir. Bunun yanı sıra en üst

katta izin verilen yatay deplasman değeri 0.41ft iken, hesaplanan değer 0.359ft olmuştur. En yüksek taşıma kapasitesi oranı birinci katın dış kolonunda ve 1'e kıyasla 0.90 dır.

## 5.2 Onbeş katlı, üç açıklıklı çelik çerçeve

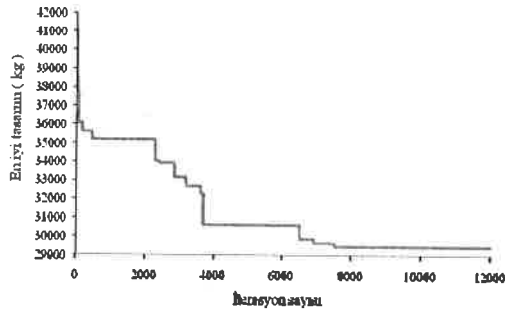
Şekil 3. da görülen üç açıklıklı, onbeş katlı çerçeve ikinci sayısal örnek olarak düşünüldü. Çerçevenin boyutları ve yüklemeler şekilde görülebilir. Çerçevenin kirişleri üzerine çatı katında 12.4kN/m ve normal katlarda 27kN/m değerinde yayılı yük ve ayrıca yatay olarak da rüzgar yükü ekimektedir. Malzeme elastisite modülü 200kN/mm<sup>2</sup> olarak kabul edilmiştir. Çerçeve 12 gruba ayrılmış 105 eleman içermektedir. Eleman gruplandırması şekilde de ifade edildiği üzere her üç kat için dış kolonlar, iç kolonlar ile çatı katı kirişleri ve normal kat için kirişleri şeklinde düzenlenmiştir. Katlar arası ötelenme sınırı 1.17cm ve en üst katın maksimum yatay deplasman değeri 17.67cm olarak belirlenmiştir. Yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri LRFD-AISC ye göre hesaplanmıştır.



Şekil 1. On katlı, bir açıklıklı çelik çerçeve

Tablo 1. On katlı, bir açıklıklı çelik çerçeve için optimum boyutlandırma

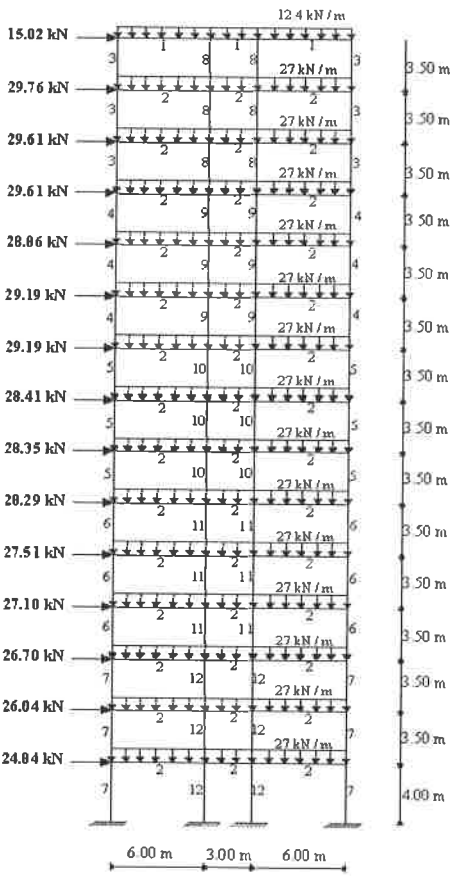
Grup No	Eleman çeşidi	Parçacık küme	Pezeşik ve diğerleri [14]
1	Kolon	W14x99	W12x79
2	Kolon	W14x99	W14x99
3	Kolon	W14x132	W14x159
4	Kolon	W14x159	W14x176
5	Kolon	W33x141	W14x232
6	Kiriş	W30x116	W33x118
7	Kiriş	W21x68	W30x90
8	Kiriş	W14x61	W27x84
9	Kiriş	W40x183	W24x55
Minimum Ağırlık (kg)		64948 (lb)	65136 (lb)
		29460 (kg)	29545 (kg)



Şekil 2. On katlı, bir açıklıklı çelik çerçeve için minimum ağırlık zaman grafiği



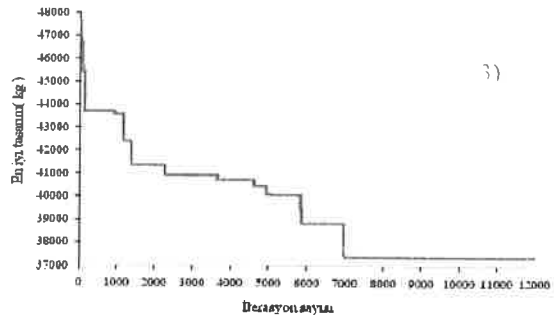
Parçacık küme metoduyla elde edilen optimum W kesitler Tablo 2 de ve minimum ağırlık-zaman grafiği şekil 4 de verilmiştir. Bu tasarıma 8000 iterasyonun ardından ulaşılmıştır ve minimum ağırlık 37360kg olarak hesaplanmıştır. Dokuzuncu katta ötelenme sınırlayıcısının maksimum değerine rastlanmış ve bu değer 1.07 olarak kaydedilmiştir. En üst kat yatay deplasmanı 12.77cm ve maksimum taşıma kapasitesi oranı 0.87 dir. Bu da göstermektedir ki rüzgar yüklerinin etkisiyle meydana gelen ötelenmeler bu tasarım için baskın değerlerdir. Sözkonusu problem [3] te aynı yüklerle ve sınırlayıcılar dikkate alınarak benzetimli tavlama ve genetik algoritmalar yöntemleri yardımıyla çözülmüş ve çerçeve ağırlığı olarak sırasıyla 39262kg ve 40949kg değerleri elde edilmiştir. Bu da göstermiştir ki parçacık küme optimizasyon algoritması benzetimli tavlama göre %4.84 ve genetik algoritma göre %8.76 daha hafif bir tasarım ortaya koymuştur. Fakat bu sonuçlar parçacık küme optimizasyon yönteminin genetik algoritma ve benzetimli tavlama yöntemlerine nazaran daha etkin bir yöntem olduğu yargısına varmak için yeterli değildir.



Şekil 3. Onbeş katlı, üç açıklıklı çelik çerçeve

Tablo 2. Onbeş katlı, üç açıklıklı çelik çerçeve için optimum boyutlandırma

Grup No	Eleman çeşidi	Parçacık Küme	Benzetimli Tavlama[3]	Genetik Alg.[3]
1	Kiriş	W6x9	W21x50	W21x50
2	Kiriş	W21x44	W21x57	W24x55
3	Kolon	W10x33	W10x33	W10x39
4	Kolon	W10x33	W10x39	W14x53
5	Kolon	W14x53	W12x53	W14x53
6	Kolon	W21x111	W16x67	W14x68
7	Kolon	W21x111	W24x104	W24x117
8	Kolon	W14x61	W10x39	W14x43
9	Kolon	W14x61	W14x48	W14x48
10	Kolon	W24x76	W14x61	W14x68
11	Kolon	W27x94	W14x99	W14x109
12	Kolon	W27x102	W14x99	W16x100
Min. ağırlık (kg)		37360	39262	40949



Şekil 4. Onbeş katlı, üç açıklıklı çelik çerçeve için minimum ağırlık zaman grafiği

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada elik düzlem çerçevelerin parçacık küme optimizasyonu yöntemi tabanlı optimum boyutlandırılmasını yapan bir algoritma geliştirilmiştir. Parçacık küme optimizasyonu yöntemi basit bir mantığa dayanmakla beraber optimizasyon problemlerinin üzümlerini bulmada oldukça etkin bir yöntemdir. Bu özelliğın doğruluğu bu çalışmada da kanıtlanmıştır. Geliřtirilen optimum boyutlandırma yöntemi ile elik düzlem çerçeveler için 272 adet W profilinden LRFDAISC şartnamesindeki sınırlayıcıları sağlayan ve aynı zamanda çerçeveyi minimum ağırlıklı yapan kesitleri kolaylıkla seebilmıştir. Diėer stokastik yöntemlerle karşılaştırıldığında parçacık küme optimizasyonu yönteminin daha etkin olduğu onbeş katlı,  açıklıklı çerçeve de gsterilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Kochenberger GA and Glover F “Handbook of Meta-Heuristics”, Kluwer Academic Publishers, 2003
- [2] Dreoj, Petrowski A, Siarry P and Taillard E, “Meta-Heuristics for Hard Optimization”, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006
- [3] Saka MP, “Optimum Design of Steel Frames Using Stochastic Search Techniques Based on Natural Phenomena: A Review “Civil Engineering Computations: Tools and Techniques”, Ed. B. H. V. Topping, Saxe-Coburgh Publications, Chapter 6, pp: 105-147, 2007.
- [4] Bonabeau E, Dorigo M and Theraulaz G, “Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems”, Oxford University Press, U.K., 1999
- [5] Kennedy J, Eberhart R and Shi Y, “Swarm Intelligence”, Morgan Kaufmann Publishers, 2001
- [6] Kennedy J, Eberhart RC. “Particle Swarm Optimization”, In: Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks NJ: Piscataway; 1942-48, 1995.
- [7] Tasgetiren MF, Liang YC, Sevkli M, Gencyilmaz G. “Particle Swarm Optimization Algorithm for Makespan and Maximum lateness minimization in Permutation Flowshop Sequencing problem”, In: Proceedings of the Fourth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Turkey: Sakarya; 2004. p. 431–41.
- [8] He S, Prempan E and Wu QH “An Improved Particle Swarm Optimizer for Mechanical Design Optimization Problems”, Engineering Optimization, 36, 5, 585-605, 2004.
- [9] Arumugam MS, Rao MVC, Chandramohan A, “A new and Improved Version of Particle Swarm Optimization Algorithm with Global–Local Best Parameters”, Knowl Inf. Syst. DOI 10.1007/s10115-007-0109-z.
- [10] Kennedy J, Eberhart RC, “A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Algorithm”, In Proceedings of the World Multi-Conference on Systemic, Cybernetics and Informatics. Pp: 4104-49, NJ: Piscataway; 1997.
- [11] Liu H, Shichang S, Ajith A, ”Particle Swarm Approach to Scheduling Work-Flow Applications in Distributed Data-Intensive Computing Environments”, Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'06) 0-7695-2528-8/06.
- [12] LRFDAISC, Manual of Steel Construction, “Load and Resistance Factor Design”, Metric Conversion of the Second Edition, AISC, Vol. I&II, 1999
- [13] McGuire W, “Steel Structures”, Prentice-Hall, 1968.
- [14] Pezeshk S, Camp CV, and Chen D, “Design of Nonlinear Framed Structures Using Genetic Optimization.” J. Struct. Eng., 2000. 126(3), 382–388.