Celal Bayar University Journal of Science
Volume 13, Issue 3, p 785-795

Yarı Rijit Çelik Çerçevelerin Stokastik Arama Yöntemleri Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması

Soner Şeker[1*], Erkan Doğan[2], Celal Kozanoğlu[2]

[1]Uşak Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, +90(276) 221 21 36, *soner.seker@usak.edu.tr
[2]Manisa Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, +90(236) 201 2311,
erkan.dogan@cbu.edu.tr
celalettin.kozanoglu@cbu.edu.tr
* İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş/Received: 2 Şubat (February) 2017
Kabul/Accepted: 16 Mayıs (May) 2017
DOI: 10.18466/cbayarfbe.339533

Özet

Bu çalışmada; geliştirilmiş olan bir bilgisayar programı ile farklı tiplerde kolon-kiriş bağlantı noktalarına sahip düzlemsel çelik çerçevelerin optimum tasarımı yapılmıştır. Çelik yapıların statik analizinde kolon-kiriş birleşim noktaları, mafsal ya da tamamen rijit olarak kabul edilir. Fakat gerçekte birleşim noktalarındaki davranış ne mafsal ne de tamamen rijit bir davranıştır. Birleşim noktalarının gerçek davranışı bu iki davranış arasında olup, bu davranış yarı rijit kolon-kiriş birleşimi davranışı olarak isimlendirilmektedir. Yapıların boyutlandırılması; AISC-LRFD şartnamesinin öngördüğü hususlar dikkate alınarak yapılmıştır. Optimizasyon problemleri için, parçacık sürü ve av arama tekniğinde geliştirilen algoritmalar kullanılarak rijit ve yarı rijit bağlantı noktalarına sahip çelik çerçevelerin tasarımı yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Parçacık sürü optimizasyon yöntemi, kuş vb. hayvan sürülerinin yiyecek ararken davranışını taklit eden bir arama tekniğidir. Av arama tekniği ise aslan ve kurt gibi avcı hayvanların, avlarını yakalayabilmeleri için geliştirdikleri stratejilerin izlenmesi ve bu davranışlarının taklit edilmeleri sonucunda ortaya çıkmış olan bir arama tekniğidir. Kullanılan optimizasyon teknikleri ile yapı ağırlının en küçük olan olduğu tasarıma ulaşılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Av arama yöntemi, çelik çerçeveler, optimum boyutlandırma, parçacık sürü yöntemi, yarı rijit kolon-kiriş birleşimler.

Optimum Design of Semi Rigid Steel Frames via Stokhastic SearchTechniques

Abstract

In this study; steel plane frames with column-to-beam connection points in different types are designed optimally with a developed computer program. In the static analysis of steel structures, column-beam joint points are considered as pinned or completely rigid connections. But in reality, behavior at connections are neither a hinge nor a rigid one. The actual behavior of junctions is between these two behaviors, and this behavior is called semi-rigid joint behavior. Design of frames are determined by taking into account the AISC-LRFD specifications. For optimum design of steel frames (rigid and semi-rigid); the best results obtained by using algorithms developed in the particle swarm and hunting search technique, were compared. Particle swarm optimization method, is a search technique that imitates the behavior of animal swarms, just as birds etc., looking for food. The hunting technique is a search technique that has been developed as a result of monitoring the strategies developed by hunter animals such as lions and wolves to catch their prey and imitating these behaviors. It was tried to reach the design which has the minimum wieght of the frames with the optimizations techniques used.

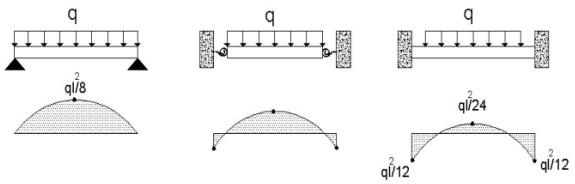
Keywords; Hunting search method, optimum dimensioning, particle swarm method, steel frames, semi-rigid column-beam junctions.

1 Giriş

Yapı mühendisliğinin temel amacı yapının kullanım amacına uygun şekilde, yapıya etkiyecek olan yükler altında, yapıları belirli bir güvenlik, yeterli bir rijitlik ve en ekonomik olarak tasarlamaktır. Yapıların yeterli güvenlikte olmasının yanında en düşük maliyetli olarak tasarlanmasının da büyük bir öneme sahip olması, yapı mühendislerinin kendilerine optimizasyonu bir çalışma konusu olarak seçmelerini zorunlu kılmıştır. Optimizasyon insanlar tarafından; en uygun, en rahat, en ekonomik, en kısa, en sağlam gibi sorulara cevap verebilmek adına yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmış olan bir

çözümdür. Optimizasyon problemlerinde en uygun çözümü bulmak için geliştirilmiş pek çok yöntem ve de optimizasyon algoritmaları bulunmaktadır [1]. Bir tasarım problemini optimizasyon yöntemiyle etkili bir şekilde çözmek için; ilk olarak tasarım değişkenlerinin belirlenmesi gerekir. Daha sonra, bu parametrelere bağlı olarak amaç fonksiyonu belirlenir ve bunlardan uygun olanlarını belirleyen kısıt fonksiyonları tanımlanır. Optimum tasarım, mevcut olabilecek çözümler arasında istenilen kriterlere en uygun olanıdır.

Çelik yapıların analiz ve tasarımında, kolon-kiriş birleşim noktaları tamamen rijit ya da ideal mafsallı olduğu düşünülerek yapı elemanları ve düğüm noktalarında oluşacak olan tesirler belirlenir. Rijit düğüm noktalarına sahip çerçevelerde kirişlerin uç noktalarında oluşan eğilme momentleri kolonlara aktarılırken, mafsallı olarak kabul edilen birleşimlerde ise kirişler kolonlara bağlandıkları noktalarda serbestçe dönme hareketi yapabilmekte ve böylece kiriş uç noktalarında moment oluşmamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, çelik bir çerçeve sistemde kolon-kiriş birleşimlerinin bilinenin aksine ne tamamen rijit ne de birleşim noktasında serbestçe dönme yapabilen mafsallı birleşim gibi davranmadıkları görülmüştür [2,3]. Birleşim noktalarının esnekliğinden dolayı bir miktar dönme yapabilmeleri ve kısmen moment aktarabilmeleri yarı-rijit birleşim kavramını ortaya çıkarmıştır. Düğüm noktalarında kısmen dönme oluşması, düğüm noktasının yer değiştirmesine dolayısıyla kolonlarda bulunan eksenel yüklerden ötürü yapıda ikincil mertebe momentleri diye bilinen (P-Δ) etkilerin ortaya çıkmasına sebep olur. Yapıların lineer olmayan analizinde bu etkilerin de hesaba katılması gerekmektedir [4]. Yapıların analizinde, yarı-rijit birleşimler düğüm noktalarına hem dönme davranışı özelliği olan hem de moment taşıma özelliği olan yaylar modellenerek sağlanmaktadır [5] , (Şekil1.).



Şekil 1. Ankastre , mafsallı ve yarı-rijit bağlantılı kirişlerin moment dağılımları

Çelik yapı sistemlerinde kolon kiriş bağlantı noktalarının birleşimi, kaynaklı ya da bulonlu olarak tertip edilebilir. Ayrıca yardımcı eleman olarak da levhalar veya korniyerlerden de faydalanılmaktadır. Bu elemanların bir arada kullanılmaları ile her bir bağlantı noktasının farklı şekillerde olacağı düşünülürse, birleşim mafsal davranışı ile rijit davranış arasında lineer olmayan bir şekilde davranacağı öngörülebilir.

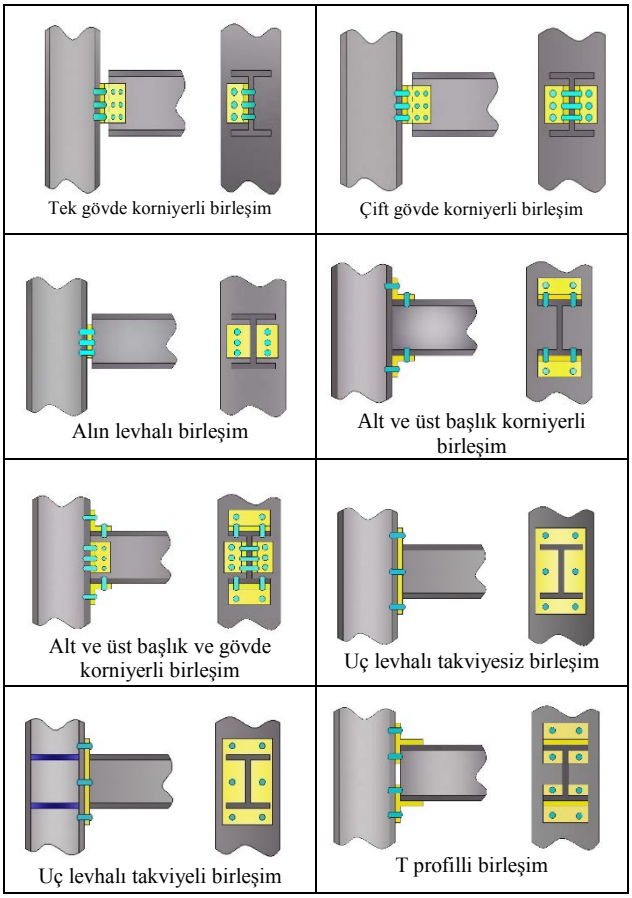
Bu çalışmada literatürde bahsi geçen yarı rijit birleşimler noktalarına sahip düzlemsel çelik çerçevelerin analizi yapılarak, AISC-LRFD şartnamesinin öngördüğü hususlar doğrultusunda tasarımları yapılmıştır. Elde edilen uygun tasarımlar içinden minimum yapı ağırlığına sahip olan çerçevenin belirlenmesi için geliştirilmiş stokastik arama yöntemlerinden olan parçacık sürü optimizasyon (PSO) ve av arama optimizasyon (HuS) algoritmalarından faydalanılmıştır [6]. Ele alınan tasarım örnekleri düğüm noktalarındaki esnekliğin yapının tasarımı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla öncelikle düğüm noktalarının rijit olması durumu için analiz ve tasarım yapılmıştır. Optimum yapı ağırlığına sahip tasarımı belirlemek üzere geliştirilen algoritmalardan faydalanılarak rijit ve yarı rijit çerçeveler ağırlık bakımından karşılaştırılmıştır.

2 Yari-Rijit Birleşim Noktalarina Sahip Çelik Çerçevelerin Analizi

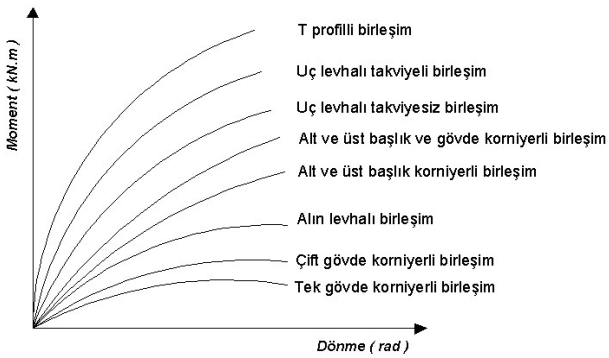
Literatürde bahsi geçen yapılmış deneysel çalışmalar sonucunda, çelik bir çerçeve sistemde kolon-kiriş birleşimlerinin bilinenin aksine ne tamamen rijit ne de birleşim noktasında serbestçe dönme yapabilen ideal mafsallı birleşim gibi davranmadıkları görülmüştür [2]. Böylece yarı rijit bağlantı davranışı diye bir tanım oluşmuş ve bağlantı detayına göre birleşimin aktarabileceği moment ve kolon-kiriş birleşimde oluşacak dönme kapasiteleri göz önüne alınarak farklı yarı rijit bağlantı tipleri ortaya çıkmıştır.

Birleşimler kuvvetleri bir elemandan diğer elemana aktaran araçlardır. Yapı sistemlerindeki birleşimlerin aktardığı en önemli tesir ise momenttir. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda birleşimler moment aktarabilme kapasitelerine göre sınıflandırmaya çalışılmıştır [7],(Şekil2). Şekil 3'de ise çok kullanılan yarı rijit birleşim tiplerinin moment – dönme eğrileri arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Bir birleşimin rijitlik veya esnekliği levha ve korniyer kalınlığı, bulon çapı, birleşim derinliği gibi geometrik parametrelere bağlıdır. Tüm yükleme durumlarına göre moment – dönme ilişkisi Şekil 3'te görüldüğü gibi lineer değildir ve birleşimin esnekliğine göre farklılıklar gösterir. Daha esnek bir birleşimin dönme kapasitesi daha fazla olurken, daha rijit birleşimin dönme kapasitesi daha sınırlı olacaktır [8].

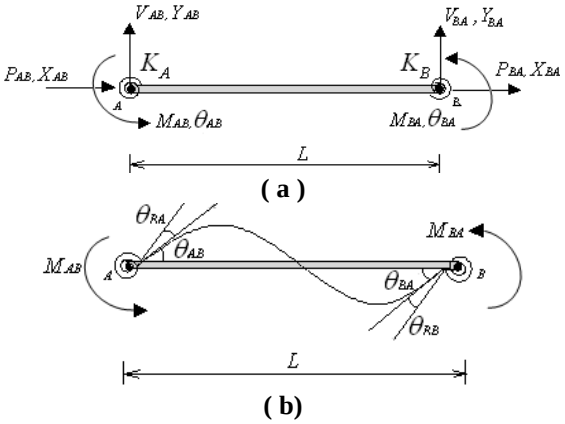


Şekil 2. Yarı rijit bağlantı tipleri



Şekil 3. Birleşim tipleri için moment–dönme eğrilikleri (9]

Yarı rijit bağlantı noktalarına sahip çelik çerçevelerin analiz ve tasarımında; düğüm noktaları dönmeye çalışan yaylar olarak da modellenebilir. Birleşim noktasının esnekliği Şekil 4'de görüldüğü gibi elemanın ilk ve son ucuna K_A ve K_B rijitlik modülleri ile dönmeye çalışan yaylar eklenerek modellenebilir.



Şekil 4. Dönmeye çalışan yay ile modellenen yarı-rijit kiriş eleman **(a)** uç kuvvetleri ve uç deplasmanları **(b)** eleman uç noktalarındaki dönmeler [10]

Yarı rijit bağlantı noktasına sahip bir kiriş elemanın lineer olmayan rijitlik matrisi Denklem 2.1'de gösterilmiştir.

$$[ST]=\left[\begin{array}{ccc|ccc} A & & & & & \\ B & D & & & & \\ C1 & E1 & F1 & & & \\ \hline -A & -B & -C1 & A & & \\ -B & -D & -E1 & B & D & \\ -C2 & -E2 & F2 & C2 & E2 & G \end{array}\right] \qquad (2.1)$$

$$A=\frac{EA}{L}+\frac{12EI}{L^3}f_{x1}\phi_5 \qquad E_1=\frac{6EI}{L^2}f_{x2}\phi_2$$
$$B=\frac{EA}{L}-\frac{12EI}{L^3}f_{x1}\phi_5 \qquad E_2=\frac{6EI}{L^2}f_{x3}\phi_2$$
$$D=\frac{EA}{L}-\frac{12EI}{L^3}f_{x1}\phi_5 \qquad F_1=\frac{4EI}{L}f_{x6}\phi_3$$
$$C_1=-\frac{6EI}{L^2}f_{x2}\phi_2 \qquad F_2=\frac{2EI}{L}f_{x5}\phi_3$$
$$C_2=-\frac{6EI}{L^2}f_{x3}\phi_2 \qquad G=\frac{4EI}{L}f_{x6}\phi_4$$

$$KK=K_AK_B+4(K_A+K_B)+12 \qquad f_{x4}=K_A(K_B+3)/KK$$
$$f_{x1}=(K_AK_B+K_A+K_B)/KK \qquad f_{x5}=K_AK_B/KK$$
$$f_{x2}=K_A(K_B+2)/KK \qquad f_{x6}=K_B(K_A+3)/KK$$
$$f_{x3}=K_B(K_A+2)/KK$$

Burada E; elastisite modülü , L; elemanın boyu , I; eleman kesitinin atalet momenti ve A ise eleman kesit alanı olarak belirtilmektedir. Denklem 2.1'de gösterilen rijitlik matrisi, birleşim noktasının esnekliğinin etkisini de içermektedir. Yukarıdaki verilen denklemlere göre hesaplanan katsayılar, rijitlik matrisine uyarlanmaya çalışılabilir. Eksenel yüklerin şekil değişimine etkilerinden dolayı, rijitlik matrisinde stabilite fonksiyonlarına da yer verilmektedir.

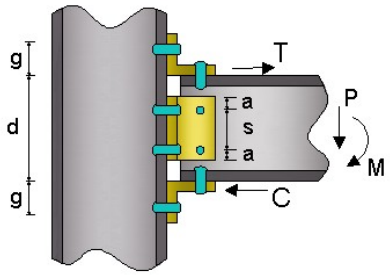
Literatürde birleşim noktalarındaki bağlantıların moment -

dönme davranışını temsil etmek üzere oluşturulmuş birçok model bulunmaktadır. Bu modeller moment-dönme ilişkisini tanımlama durumlarına göre lineer, polinom, kübik spline, kuvvet ve ekponansiyel modeller olarak sıralanabilir [11]. Bu çalışmada polinom modeli kullanılmıştır [12]. Buna göre moment dönme bağıntısı ;

$$\theta_r = C_1(\kappa M)^1 + C_2(\kappa M)^3 + C_3(\kappa M)^5 \qquad (2.2)$$

Denklem 2.2'de gösterildiği şeklindedir. Burada θ_r birleşimin dönmesini, M birleşime uygulanan momenti, C_1, C_2, C_3, eğri uydurma sabitlerini , κ ise birleşim tipine ve geometrisine bağlı olan standartlaştırma sabitini ifade etmektedir (13].

Bu çalışmada ele alınan çerçevelerin yarı rijit davranış gösterebilmeleri çerçevedeki tüm düğüm noktalarının alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim tipi olarak tasarlanması düşünülmüştür. Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim tipi detayı şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim modeli detayı

Bulonların yerleşim geometrisi LRFD-AISC şartnamesinde belirtilen hususlar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur (Denklem 2.3).

$$a \geq 3d_b \qquad 3d_b \leq s \leq 14t \qquad (2.3)$$

Burada; s bulonlar arası mesafeyi, t birleşimdeki en ince eleman kalınlığını, d_b ise bulon çapını ifade etmektedir.
Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim modelinin tasarımı aşağıdaki işlemler takip edilerek gerçekleştirilmektedir.

- Analiz sonucunda elde edilen eleman uç kuvvetleri alınır.
- LRFD-AISC de belirtilmiş olan korniyerler için hazırlanmış tablolardan uygun korniyer kesiti seçilir.
- Korniyerlerin akma dayanımı kontrol edilerek gerekirse korniyerin kesiti değiştirilmelidir.
- Korniyerde kesme kapasite kontrolü yapılmalıdır.
- Uygun bulon çapı seçilmeli ve bulon yerleşimi yapılmalıdır.
- Uç kuvvetlerden dolayı bulonlara gelen etkiler belirlenerek, bulonlarda kapasite kontrolü yapılmalıdır.

Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli bağlantı tipi için standartlaştırma ve eğri uydurma sabitleri

$\kappa = d^{-1,287} \cdot t^{-1,128} \cdot t_c^{-0,415} \cdot b^{-0,694} \cdot g^{1,350}$, $C_1 = 2,23x10^{-5}$, $C_2 = 1,85x10^{-8}$ ve $C_3 = 3,19x10^{-12}$ ve şeklindedir.

Burada; b ve t_c sırasıyla; kiriş başlık genişliği ve kolon başlık kalınlığını ifade emektedir. Burada momentler kip.inch , κ'yı oluşturan birleşime ait geometrik parametreler inch olarak verilmiştir ve birleşimin dönmesini ifade eden θ_r ise radyan olarak hesaplanmaktadır.

3 Stokastik Arama Yöntemleri

Optimizasyon problemleri; planlanma aşamasında sabit olmayan birçok parametreye dayanmaktadır. Mühendislik problemlerinden örnek verilecek olursa; moment kapasitesi, sürtünme kuvveti, atalet momenti ve malzeme parametreleri olan elastisite modülü, akma dayanımı, emniyet gerilmesi gibi parametrelerden söz edilebilir. Stokastik belirsizlikler nedeniyle, bu parametreler belirli bir olasılık dağılımına sahip rastgele değişkenler ile modellenmiş olmalıdır. Bu belirsizliklerin üstesinden gelmek için, sıradan deterministik optimizasyon yöntemleri yerine stokastik optimizasyon yöntemleri uygulanır (14]. Son zamanlarda, rastgele sayılar kullanılarak geliştirilen stokastik optimizasyon yöntemlerini kullanan yeni algoritmalar üzerinde araştırmalar hızla ilerlemektedir. Bu algoritmaların diğer lineer olmayan algortimalara göre avantajı kesikli değişken içeren optimizasyon yöntemlerine uygulanabilmesidir. Literatürde bahsi geçen çok sayıda optimizasyon algoritmaları bulunmaktadır. Bu çalışmada stokastik arama yöntemlerinden parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yöntemi kullanılarak geliştirilen algoritmalar kullanılmıştır.

3.1 Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi

Stokastik arama yöntemlerinden parçacık sürü yöntemi, Eberhart ve Kennedy tarafından geliştirilmiş olan populasyon tabanlı sezgisel bir algoritmadır. Parçacık sürü optimizasyon yöntemi, kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışları gözlemlenerek ve taklit edilerek geliştirilmiştir. Parçacık sürü optimizasyon yöntemindeki ana fikir, popülasyondaki bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını geliştirmektir. Her bir bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü ismi verilir [15]. Şekil 6'da besin kaynağı arayan bir kuş sürüsü görülmektedir.



Şekil 6. Yiyecek arayan bir kuş sürüsü [16]

Sürünün bir besin kaynağına optimum sürede ve yoldan ulaşabilmesi;

- Her bir bireyin kendi hatıralarında yer etmiş olan iyi konuma gitme eğilimi olarak tanımlanabilecek bilişsel davranış biçimi,
- Her bir bireyin iyi konumlarda bulunan diğer bireyleri takip etme eğilimi olarak tanımlanabilecek sosyal davranış biçimi
- Her bir bireyin rastgele olarak arama yapma eğilimi olarak tanımlanabilecek keşifsel davranış biçimleri arasında bir denge olduğu varsayımına dayanmaktadır [17].

Parçacık sürü algoritmasında, sürü birçok parçacıktan meydana gelmekte ve her bir parçacık bir olası bir çözümü göstermektedir.
Geliştirilmiş olan parçacık sürü optimizasyon algoritmasının işleyiş adımlarını aşağıda gösterildiği şekilde özetlemek mümkündür.

- Yönteme göre, başlangıçta parçacıklar uygun arama uzayında yayılmak için rastgele üretilir. Parçacık kendine ait pozisyon ve uçuş hızına sahiptir. PSO algoritmasında, her bir parçacık ilk olarak rasgele konumlara yerleştirilir. Her bir parçacığın başlangıç konum ve başlangıç hızları denklem 3.1 ve denklem 3.2 ile tanımlanmıştır.

$$x_o^i = X_{\min} + r(X_{maks} - X_{\min}) \quad (3.1)$$

$$v_o^i = [(X_{\min} + r(X_{maks} - X_{\min}))/\Delta t] \quad (3.2)$$

Burada; r ifadesi [0;1] arasında rastgele bir sayı, X_{maks} ve X_{min} ise sırasıyla tasarım değişkenleri için üst ve alt sınırı belirtmektedir.

- Tasarım uzayında her x_k^i konum değeri için $f(x_k^i)$ amaç fonksiyonu değerleri belirlenir.
- i numaralı parçacığın k numaralı iterasyon adımına kadar elde edilen en iyi konumu p_k^i ve global optimum parçacığın konumu p_k^g güncellenir.
- Her bir parçacığın konumları güncellenir. Bir parçacığın o ana kadar elde edilen en iyi konum değeri, o parçacığın en iyi konum değeri olarak tayin edilir ve her parçacık için ayrı bir vektör içinde depo edilir. Öte yandan, belirlenen konum, optimizasyon sürecinin başından bu yana sürü içindeki her hangi bir parçacık tarafından elde edilen en iyi konum ise bütün sürünün en iyi pozisyon değeri olarak adlandırılır ve yine bir vektör içine kaydedilir.

$$x_{k+1}^i = x_k^i + v_{k+1}^i \Delta t \quad (3.3)$$

Burada; x_{k+1}^i ifadesi i.nci parçacık için k+1'nci adımdaki kunumu, v_{k+1}^i ifadesi ise hızı göstermekte olup, Δt ifadesi de adımda geçen süreyi belirtmektedir.

- Her bir parçacığın hız vektörü, o parçacığın mevcut pozisyonu, en iyi pozisyonu ve sürünün en iyi pozisyonu dikkate alınarak güncellenir (Denklem3.4).

$$v_{k+1}^i = wv_k^i + c_1 r_1 \frac{\left(p_k^i - x_k^i\right)}{\Delta t} + c_2 r_2 \frac{\left(p_k^g - x_k^i\right)}{\Delta t} \quad (3.4)$$

Burada; w eylemsizlik ağırlık parametresini, c_1, c_2 kontrol parametrelerini ve r_1 ve r_2 ise (0:1) arasına seçilen rastgele sayıları belirtmektedir.

- Bütün bu adımlar değeri önceden belirlenmiş olan sayıda iterasyon kadar aynı şekilde tekrar edilir.

3.2 Av Arama Optimizasyon Yöntemi

Av arama optimizasyon yöntemi; avcı hayvanlar olan aslan ve kurtların avlarını yakalayabilmeleri için geliştirdikleri stratejilerin izlenmesi ve bu davranışlarının taklit edilmeleri sonucunda ortaya çıkmış olan bir arama tekniğidir. Şekil 7'de kendi aralarında geliştirmiş oldukları strateji neticesinde kendilerinden daha büyük bir hayvanı yiyecek olarak yakalamış olan bir kurt sürüsü görülmektedir. Bu avcı hayvan grupları içindeki her birey avın yakalanması süreci içinde çeşitli görevler üstlenir. Bu hayvanlar seçtikleri ava doğru grup halinde hissettirmeden yavaş yavaş yaklaşırlar. Kokularını avlarına hissettirmemek için sinsice hareket ederler ve daha sonra yakalamak istedikleri avı kuşatarak kolayca yakalayabilmektedirler. Her bir bireyin sürü içerisindeki konumu, hızı gibi parametreler avın en kısa sürede yakalanabilmesi için önem teşkil etmektedir [18].



Şekil 7. Kurt sürüsünün avlarını yakalamaları [19]

Optimizasyon problemi ile sürünün avlanmasını karşılaştıracak olursak; sürüde bulunan her bir avcı hayvanı problemin bir çözümüne benzetebiliriz. Hayvanların avlanması ile optimizasyon probleminin çözümü arasındaki en önemli fark, avlanma sürecinde avın hareket etmesi sonucu avcı hayvanlar, av ile birlikte sürekli olarak konumunu ve durumunu değiştirmesidir. Fakat optimizasyon problemlerinde çözüm sabittir ve optimum çözüm aranırken her hangi bir değişim olmamaktadır. Bu hareketlilik geliştirilen algoritmada, yapay avcıların çözüme göre en iyi pozisyonda olan liderlerine doğru hareketi ile benzeştirilmiştir. Lidere doğru hareket etmekte olan diğer yapay avcılar, çözüm için liderden daha iyi bir konuma ulaştıklarında lider değişmektedir. Bu arayışın devam etmesi ve en iyi konumdaki yapay avcının sürekli lider olarak değ/işmesi ile arayış optimum çözüme doğru ilerlemektedir.

Av arama algoritması için; işleyiş adımları aşağıda belirtilmiştir.

- Optimizasyon probleminin çözümü için gerekli olan algoritma katsayıları belirlenir. Bunlar; çözüm vektörlerinin sayısı olan avcı sürü boyutu (HGS), lidere doğru en büyük hareket (MML), 0 ile 1 arasında bir değer alan avcı grubu dikkate alma yüzdesi (HGCR)'dir.
- Avcı sayısına(HGS) bağlı av grubu matrisi; uygulanabilir rastgele çözüm vektörleri ile doldurulur. Amaç fonksiyonunun alacağı değerler hesaplanır ve bu değerlere göre bir lider belirlenir.

- Grup içerisinde en iyi konuma sahip olan lidere doğru hareket sebebiyle yeni avcı konumları yani yeni çözüm vektörleri $x' = (x_1', x_2', \ldots . x_N')$ geliştirilir (Denklem 3.5).

$$x_i' = x_i + rast. * MML * (x_i^L - x_i) \qquad (3.5)$$

Burada; "MML" lidere doğru en büyük hareket iken ; "rast."; değerleri 0 ile 1 arasında değişen rastgele değişen bir sayı ve x_i^L ise *i*'inci değişken için liderin konumunu gösteren değerdir. Bu algoritmada bireyler her zaman mevcut konumlarını bir önceki konumları ile kıyaslarlar ve dolayısıyla iyi olan çözüm hiçbir zaman terk edilmemiş olur.

- Bu adımda bireyler birbirleri ile işbirliği içerisinde konumlarını düzeltirler. Lidere doğru yapılan hareketten sonra en iyi çözüm için bireyler kendilerine yeni bir konum seçerler. Bu değişiklik aşağıda gösterildiği gibi belirtilebilir.

$$x_i^{j'} \leftarrow \begin{cases} x_i^{j'} \in \{x_i^1, x_i^2 \ldots\ldots x_i^{HGS}\} \; HGCR \; ihtimali \; ile \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad i = 1,\ldots\ldots,N \;,\; J = 1,\ldots\ldots,HGS \\ x_i^{j'} = x_i^j \pm R_a \qquad (1 - HGCR) \; ihtimali \; ile \end{cases}$$

Burada; HGCR katsayısı, av grubundan bir değer seçilmesi ihtimali ve (1-HGCR) ise konum düzetilme ihtimali şeklinde ifade edilebilir. R_a ise sürekli tasarım değişkeni için keyfi alınan ve optimizasyon sürecinde azaltılması yada sabit kalması öngörülen uzaklık yarıçapı diye adlandırılan ve 0 ile 1 arasında seçilen bir değerdir. R_a değeri

$$R_a(it) = R_{amin}(x_i^{\max} - x_i^{\min}) \exp\left(\frac{\ell n\left(\frac{R_{amax}}{R_{amin}}\right) \times it}{itm} \right) \qquad (3.6)$$

ile tanımlanır. Burada; $x_i^{\max}$ *ve* $x_i^{\min}$ değerleri x_i'nin alabileceği en büyük ve en küçük bağıl arama yarıçapı değerlerdir. *it* mevcut adım sayısını belirtirken, *itm* ise maksimum adım sayısını ifade etmektedir.

- Bireyler yerel bir optimum noktada karar kılmak yerine, yeniden organize olarak başka bir çözüm arayışına girerler. Lider birey konumunu değiştirmezken diğer bireyler rastgele konumlar seçerler. Yeniden organize olma işlemi denklem3.7 kullanılarak gerçekleşir.

$$x_i' = x_i^{\ell} \pm rast \times (x_i^{\max} - x_i^{\min}) \times \alpha \times \exp(-\beta \times EN) \qquad (3.7)$$

Burada; x_i^{ℓ} liderin *i*'nci değişkene göre konum değeri, *rast* ise 0 ile 1 arasında değişen rastgele bir sayıdır. $x_i^{\max}$ ve $x_i^{\min}$ sırasıyla x_i değişkeninin olası en büyük ve en küçük değerleridir. α ve β pozitif gerçek sayılardır. Algoritma ilerledikçe çözüm kademeli olarak optimum çözüme doğru yaklaşır.

4 Çelik Çerçevelerin Aisc-Lrfd Şartnamesine Göre Optimum Tasarimi

Yapıların tasarımında; öncelikle yapının taşıyıcı sistemi ve yapıya etkiyen yükler belirlenmelidir. Kritik yükleme durumlarına göre yapı analiz edilerek yapısal elemanlar ve düğüm noktalarında oluşan tesirler bulunmalıdır. Elemanlar ve düğüm noktalarına gelen tesirleri karşılayacak şekilde kapasite değerleri dahilinde boyutlandırma yapılmalıdır. Yapının tasarımında, elemanlarda oluşan gerilmeler ve deplasmanlar kontrol edildiği gibi yapının kullanılabilirliğinin de sağlanması gerekmektedir. Ayrıca yapıları tasarlarken elde edilecek en küçük ağırlığa sahip olan kesitleri kullanmak yapının maliyeti ile doğrudan alakalıdır. Bir optimizasyon problemine başlamadan önce problem için amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve tasarım sınırlayıcılarının belirlenmesi gerekmektedir. En küçük yapı ağırlığına sahip olan uygun tasarımı elde etmek için oluşturulan optimizasyon probleminde amaç fonksiyonu;

$$W = \sum_{k=1}^{ng} m_k \sum_{i=1}^{nk} L_i \qquad (4.1)$$

şeklinde belirlenmiştir(Denklem4.1). Burada; W yapının toplam ağırlığını, ng yapıda bulunan toplam grup sayısını, mk k grubu için seçilen profil kesitlerin birim ağırlığını, Li k grubunda grupta bulunan i numaralı elemanın boyunu ve nk ise k grubunda bulunan toplam eleman sayısını ifade etmektedir.

AISC-LRFD şartnamesine göre yapılacak olan düzlemsel çelik çerçevelerin optimum tasarım için tasarım sınırlayıcıları olarak aşağıdaki kısıtlar kullanılır.

Deplasman; $(\delta_j - \delta_{j-1})/h_j \le \delta_{ju} \quad (j = 1,.., ns)$ (4.2)

Kat ötelemesi ; $\delta_i \le \delta_{iu} \quad (i = 1,...., nd)$ (4.3)

Kesme kapasitesi; $V_u \le \phi V_n$ (4.4)

Birleşik dayanım oranı için;

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \ge 0{,}2 \quad için \quad \left(\frac{P_u}{\phi_c P_n}\right)_{il} + \left(\frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}}\right)\right)_{il} \le 1{,}0$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \le 0{,}2 \quad için \quad \left(\frac{P_u}{2\phi_c P_n}\right)_{il} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}}\right)_{il} \le 1{,}0 \qquad (4.5)$$

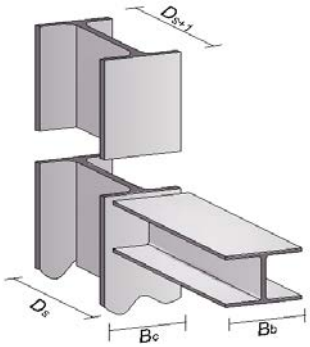
Geometrik uygunluk için;

$$B_{sb} \le B_{sc} \quad (s = 1,...., nu) \qquad (4.6)$$

$$D_s \le D_{s-1} \qquad (4.7)$$

$$m_s \le m_{s-1} \qquad (4.8)$$

Burada; denklem 4.3 için *nd* deplasman açısından sınırlandırılmış eleman sayısı, δ_i , i nolu elemanda oluşan deplasman ve δ_{iu} ise deplasman sınır değerlerini ifade etmektedir. Kirişlerde düşey deplasman sınır değeri için kiriş açıklığının 1/300'ü, kolonlarda yatay deplasman sınır değeri için ise kat yüksekliğinin 1/300'ü olarak alınmaktadır. Denklem 4.2da; δ_j ve δ_{j-1} komşu iki katta bulunan yanal ötelemeyi, δ_{ju} yanal öteleme için sınır değeri, h_j kat yüksekliğini ve *ns* ise çerçeve sistemde bulunan toplam kat sayısını ifade etmektedir.Denklem 4.4 elemanlardaki kesme kapasitesini ifade ederken; ϕ_b direnç faktörünü, V_n artık kesme gerilmesini, V_u gerekli kesme gerilmesini göstermektedir. Denklem 4.5 ise bileşik dayanım oranı olmakla birlikte; ; *nm* eleman sayısını, *nl* yükleme durumu sayısını, *Mnx* artık eğilme momenti kapasitesini, *Mux* uygulanan moment değerini, *Pu* uygulanan eksenel yük değerini, ϕ_c eksenel çekme yükü altında kolonun direnç faktörünü, ϕ_b eğilme altında kolonun direnç faktörünü ifade etmektedir. *nm* eleman sayısını, nl yük durumlarını, *Pn* ise eksenel çekme dayanımı göstermektedir. Denklem 4.6'da, B_{jb} ve B_{jc} sırasıyla kiriş başlık genişliği ve kolon başlık genişliğini ifade ederken *nj* ise çerçevede bulunan toplam birleşim noktası sayısını, D_{s+1} , m_{s+1} sırasıyla birleşim noktasının üstündeki kolona ait profil kesit yüksekliği ve birim ağırlığını ifade ederken, *D* ve m_s ise sırasıyla birleşim noktasının altındaki kolona ait profil kesit yüksekliği ve birim ağırlığını ifade etmektedir (Şekil 8, Denklem 4.7 ve 4.8).



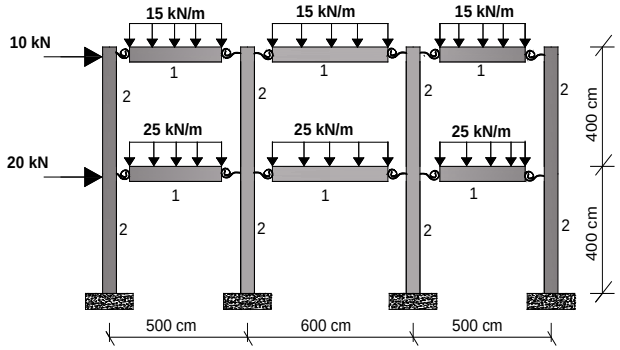
Şekil 8. Kolon-kiriş birleşiminin geometrisi

5 Tasarim Örnekleri

Bu çalışmada, ele alınan problem kesikli bir optimizasyon problemidir. LRFD'de belirtilmiş olan I (W) kesitli profillerin tamamı 1 ile 272 arasında numaralandırılarak, eleman üzerinde oluşacak gerilmeleri ve tasarım sınırlarını sağlayacak şekilde uygun kesit sıra numaraları seçilerek yapının tasarımı yapılmıştır. Tüm sınırlayıcıları ve gerilme koşullarını sağlayan çözümler arasında optimum olan yani yapı ağırlığının minimum olduğu çözüm ise parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması ve av arama optimizasyon (HuS) algoritması kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır.

5.1 İki Katlı Düzlemsel Çerçeve

Şekil 9'da iki katlı ve üç açıklıklı düzlemsel çerçeve üzerine etkiyen yatay ve düşey yükler ile yapı yüksekliği ve açıklık uzunlukları görülmeltedir. Yapıdaki kirişler 1 numaralı, kolonlar ise 2 numaralı grup olarak belirlenmiştir. Yapıya etkiyen yükler altında AISC-LRFD şartnamesine uygun bir şekilde çerçeve hem tüm bağlantı noktaları rijit olacak, hem de yarı rijit birleşim olacak şekilde tasarımı yapılmıştır.



Şekil 9- İki katlı ve üç açıklıklı çelik çerçeve

Tablo1- İki katlı çerçeve için av arama algoritması ile bulunan optimum değerler

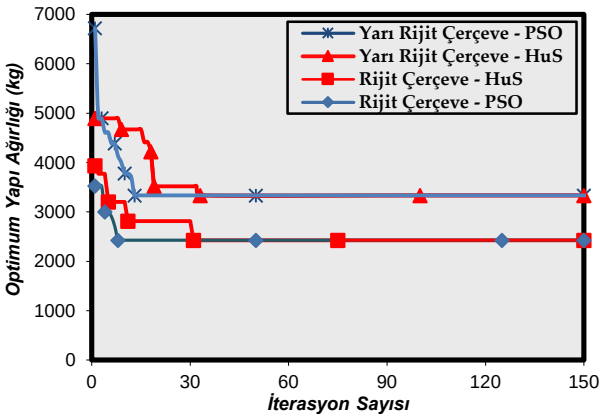
Av Arama Optimizasyon Algoritması (HuS)			
Grup No	**Elaman**	**Rijit**	**Yarı Rijit**
1	Kiriş	W410X46,1	W250X58
2	Kolon	W150X29,8	W200X46,1
En büyük Göreli Kat Öteleme Or.		0,73	0,67
En büyük gerilme oranı		0,98	0,99
Yapı Ağırlığı (kg)		**2427,749**	**3331,630**

Çerçeve sistemdeki tüm düğüm noktalarının gerek rijit, gerekse alt ve üst başlık ve gövde korniyerli bağlantı tipi ile tasarlandıklarında optimizasyon algoritmaları ile belirlenen optimum sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo2- İki katlı çerçeve için parçacık sürü algoritması ile bulunan optimum değerler

Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması (PSO)			
Grup No	**Elaman**	**Rijit**	**Yarı Rijit**
1	Kiriş	W410X46,1	W250X58
2	Kolon	W150X29,8	W200X46,1
En büyük Göreli Kat Öteleme Or.		0,46	0,60
En büyük gerilme oranı		0,98	0,95
Yapı Ağırlığı (kg)		**2427,749**	**3331,630**

İki katlı ve üç açıklıklı düzlemsel bir yapı için her iki yöntemle, aynı yapı ağırlıklarına sahip optimum sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 10'da her iki yöntemle elde edilmiş iterasyon adımları görülmektedir. Grafikten görüldüğü üzere parçacık sürü optimzasyon yöntemi daha az iterasyon adımında optimum çözüme ulaşmıştır.



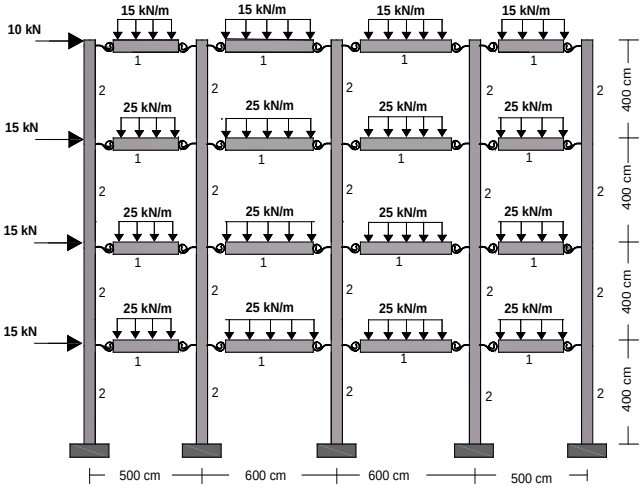
Şekil 10- İki katlı çerçeve için optimum tasarım geçmişi

Düğüm noktalarındaki birleşimi, alt ve üst başlık ve gövde koriniyerli olarak tasarlandığında rijit birleşime göre, iki katlı bir yapı için toplam yapı ağırlığı yaklaşık olarak %37 kadar arttığı görülmektedir.

5.1 Dört Katlı Düzlemsel Çerçeve

Şekil 11'de görülmekte olan dört katlı ve dört açıklıklı düzlemsel çerçeve, düğüm noktalarının esnekliğinin yapı ağırlığı üzerindeki etkileri incelenmek üzere ele alınmıştır. Yapının üzerinde etkili olan yükler, açıklık ve kat yüksekilkleri ile elemanların grup numaraları Şekil 11 üzerinde görülebilmektedir.

Yapıda toplam otuz altı eleman bulunmaktadır ve kirişler ve kolonlar için olmak üzere tüm elemanlar iki farklı grup altında ele alınmıştır. Kirişler 1 numaralı, kolonlar için ise 2 numaralı grup numarası altında toplanmıştır. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Taşıyıcı elemanların kapasite değerleri LRFD – AISC şartnamesine göre hesaplanırken, yapının tepe noktasının yatay deplasmanı, yapı yüksekliğinin 1/300'ü kadar sınırlandırılmıştır. Çelik malzemesi için elastisite modülü olarak 200 kN/mm² kabul edilmiştir. Ele alınan çerçevede öncelikle tüm düğüm noktalarının rijit bir davranış içinde olacağı düşünülerek, yapının AISC-LRFD şartnamesine gore tasımı yapılmış ve optimizasyon algoritmaları yardımıyla en düşük ağırlığa sahip olan tasarım elde edilmiştir.



Şekil 11. Dört katlı ve dört açıklıklı çelik çerçeve

Aynı yapı örneği düğüm noktalarındaki birleşimin alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim tipi ile modellendiğinde, düğüm noktalarının bir miktar esneklik kazanacağı ve bu durumun yapı ağırlığı üzeride nasıl etkili olacağı incelenmiştir. Düğüm noktalarındaki birleşimlerim hem rijit hem de alt ve üst başlık ve gövde korniyerli olarak tasarlandığında, yapı ağırlığı için optimum sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

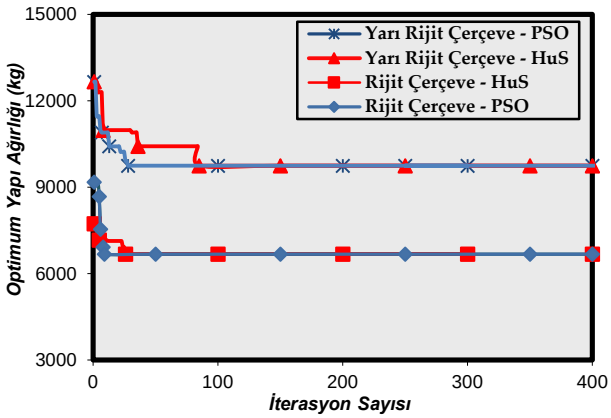
Tablo3- Dört katlı çerçeve için av arama algoritması ile bulunan optimum değerler

Av Arama Optimizasyon Algoritması (HuS)			
Grup No	**Elaman**	**Rijit**	**Yarı Rijit**
1	Kiriş	W410X46,1	W250X58
2	Kolon	W250X32,7	W250X58
En büyük Gör. Kat Öt.Or.		0,70	0,94
En büyük gerilme oranı		0,99	0,86
Yapı Ağırlığı (kg)		**6674,679**	**9747,710**

Tablo4- Dört katlı çerçeve için parçacık sürü algoritması ile bulunan optimum değerler

Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması (PSO)			
Grup No	**Elaman**	**Rijit**	**Yarı Rijit**
1	Kiriş	W410X46,1	W250X58
2	Kolon	W250X32,7	W250X58
En büyük Gör. Kat Öt.Or.		0,70	0,95
En büyük gerilme oranı		0,99	0,87
Yapı Ağırlığı (kg)		**6674,679**	**9747,710**

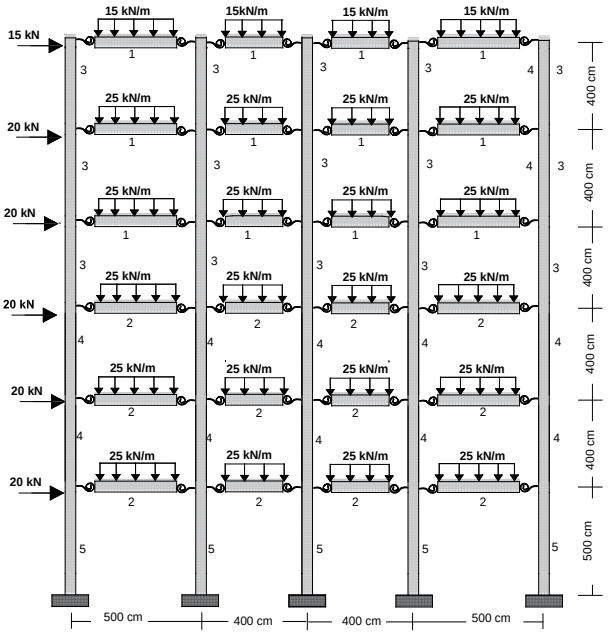
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her iki optimzasyon yöntemlerinde elde edilen tasarımlar için aynı değerlere ulaşılmıştır. Şekil 12'deki grafikten de anlaşılacağı üzere optimum tasarımlar için her iki yöntem ile aynı yapı ağırlığını veren tasarımlar elde edilirken, optimum çözüme parçacık sürü optimizasyon yöntemi daha az iterasyon soncunda ulaştığı görülmektedir.



Şekil 12- Dört katlı çerçeve için optimum tasarım geçmişi

Grafikten ve tablodaki değerlerden anlaşılacağı üzere, çalışmada bahsi geçen yarı rijit birleşim tipi kullanılan dört katlı bir çerçeve, rijit düğüm noktalarına sahip çerçeveye göre yaklaşık olarak %46 oranında daha ağır olarak tasarlanmıştır.

5.2Altı Katlı Düzlemsel Çerçeve



Şekil 13. Altı katlı ve dört açıklıklı çelik çerçeve

Yapı yüksekliğinin artırılması ile düğüm noktalarının esnekliğinin, toplam yapı ağırlığı üzerindeki etkilerini incelemek için ele alınan bir diğer örnek ise altı katlı ve dört

açıklıklı bir düzlemsel çerçevedir. Şekil 13'te görülmekte olan çerçeve sistemde elemanlar toplam beş grup altında toplanmıştır. AISC-LRFD'de belirlenmiş olan tasarım kısıtlayıcılarına göre çerçeve düğüm noktalarındaki birleşim detayları göz önüne alınarak uygun tasarımlar elde edilmiştir.

Elde edilen uygun tasarımlar arasından en küçük yapı ağırlığının belirlenmesi için geliştirilen optimizasyon algoritmaları sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 5 ve Tablo 6'da göterilmiştir.

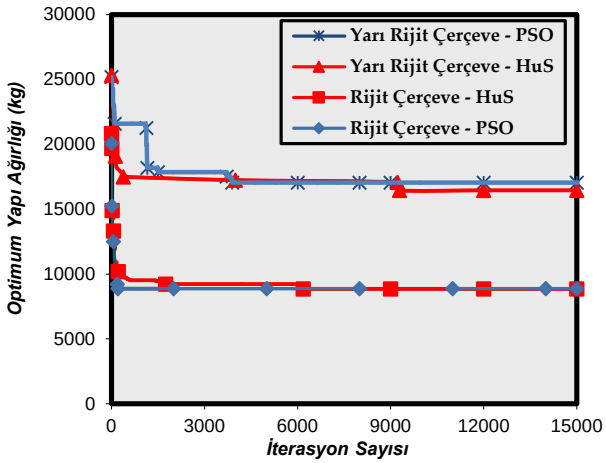
Tablo5- Altı katlı çerçeve için av arama algoritması ile bulunan optimum değerler

Av Arama Optimizasyon Algoritması (HuS)			
Grup No	**Elaman**	**Rijit**	**Yarı Rijit**
1	Kiriş	W410X38,8	W250X44,8
2	Kiriş	W410X38,8	W250X67
3	Kiriş	W250X32,7	W360X64
4	Kolon	W410X38,8	W610X101
5	Kolon	W410X46,1	W610X101
En büyük Gör. Kat Öt.Or.		0,88	0,98
En büyük gerilme oranı		0,94	0,83
Yapı Ağırlığı (kg)		**8866,264**	**16445,940**

Tablo6- Altı katlı çerçeve için parçacık sürü algoritması ile bulunan optimum değerler

Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması (PSO)			
Grup No	**Elaman**	**Rijit**	**Yarı Rijit**
1	Kiriş	W360X39	W250X44,8
2	Kiriş	W410X38,8	W250X67
3	Kiriş	W250X32,7	W460X74
4	Kolon	W410X38,8	W610X101
5	Kolon	W510X46,1	W610X101
En büyük Gör. Kat Öt.Or.		0,90	0,99
En büyük gerilme oranı		0,95	0,91
Yapı Ağırlığı (kg)		**8877,276**	**17045,540**

Bulunan optimum tasarımlar neticesinde eleman sayısının arttığı daha yüksek yapılarda optimizasyon algortimaları birbirlerine yakın çözümler ortaya koymuş olsalar da; av arama algoritması ile elde edilen tasarımlarda daha hafif yapı ağırlıklarını veren değerlere ulaşılmıştır.



Şekil 14- Altı katlı çerçeve için optimum tasarım geçmişi

Altı katlı bir çerçevede optimum tasarım geçmişini gösteren Şekil 14'te görüldüğü gibi birleşim noktalarının yarı rijit olarak kullanıldığı tasarımlar, rijit olan tasarımlara göre; av arama yönteminde %85, parçacık sürü optimizasyon yönteminde ise %92 daha ağır yapılar olarak elde edilmiştir.

6 SONUÇLAR

Yapısal sistemler; düğüm noktalarındaki birleşimlerin, rijit davranış olduğu veya serbest dönme yapabilen ideal mafsal davranışında oldukları kabul edilerek analiz edilmektedir. Fakat yapılan çalışmalar neticesinde; bağlantı noktalarında bulunan birleştirme vasıtalarının özelliklerine göre, birleşim noktaları gerçekte ne ideal mafsal ne de tam rijit bir davranış sergilemedikleri ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada incelenmiş olan, 2, 4 ve 6 katlı düzlemsel çerçeve örnekleri üzerinde tüm birleşim noktalarının literatürde bahsi geçen yarı rijit bağlantı tiplerinden, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli olarak tertip edildiğinde toplam yapısal ağırlıkları bulunmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda söz konusu örnekler için düğüm noktalarının tamamen rijit olduğu düşünülerek elde edilmiş olan yapı ağırlıkları ile yarı rijit birleşim noktalarına sahip çerçeveler ağırlık yönünden kıyaslanmıştır.

Elde edilen sonuçlar neticesinde, rijit düğüm noktalarına sahip yapıların, düğüm noktaları daha esnek olarak dizayn edilen yapılara göre daha hafif bir şekilde tasarlandıkları ortaya çıkmıştır. Bu durum; yapıların düğüm noktalarındaki esnekliği göz ardı edilerek projelendirilmesinde, yapı taşıyıcı sistemindeki bazı elemanların kesitlerinin yetersiz kalacağını işaret etmektedir. Toplam yapı yüksekliği arttıkça düğüm noktalarındaki esneklik tasarım sınırlayıcıları tarafından daha fazla önemsenmekte olup, bu durum yüksek yapılarda yarı rijit birleşim kullanılmasının yapı ağırlığını ciddi oranda artırdığını göstermektedir.
Sonuçlar incelendiğinde, gerek parçacık sürü

optimizasyon algoritması gerekse av arama optimizasyon algoritması yöntemi ile birbirine yakın çözümler elde edilmişitir. Parçacık sürü optimizasyon algoritması ile daha az iterasyon sayısında optimum sonuca ulaşılırken, av arama algoritması ile optimum sonuc daha ileri iterasyon adımlarında ortaya çıkmıştır. Av arama optimizasyon algoritması yönteminin, iterasyonun ilerleyen adımlarında bile optimum sonuca ulaşabilme özelliğinden dolayı bu yöntemin, eleman sayısı daha fazla olan yüksek yapıların optimum tasarımında daha etkili sonuçlar ortaya koyacağı düşünülmektedir.

Ayrıca ele alınan örneklerde, grup sayılarının artırılması, özellikle yüksek yapılarda toplam yapı ağırlığının daha düşük olduğu sonuçları ortaya koyması açısından önemlidir. Aynı örnek problemler grup sayıları değiştirilerek de optimum tasarım değerleri açısından incelenelebilir.

Referanslar

1. Karaboğa, D., Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Yayın Dağıtım, 2011.

2. Chen W.F., Kishi N., Practical analysis for semi-rigid frame design, World Scientific, *Singapore* , 1999, 268-275 .

3. Faella, C., Piluso, V., Rizzano, G., Structural Steel Semi Rigid Connection, New Directions in Civil Engineering, Washington, 1999.

4. Kameshki E.S., Saka M.P., Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a genetic algorithm, *Computers and Structures*, 2001, 79:1593-1604.

5. Lui E.M. , Lopes A., Dynamic analysis and responce of semi rigid frames, *Engineering Structures*, 1997, 19(8), 644-654.

6. LRFD-AISC, Load and Resistance Factor Design, *American Institute of Steel Construction*, IL, USA, 1999, 62-564.

7. Kishi, N., Chen W.F., Database of steel frames beam-to-column connections, Structural Engineering Report No: CE-STR-86-26, Purdue University, West Lafayette , 1986.

8. Değertekin S.Ö., Yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve sistemlerin genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı, Dicle Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001

9. Chen, W. F, Goto, Y. , Liew, J. Y. R., "Stability Design of Semi-Rigid Frames", John Wiley & Sons Inc., New York, 1996.

10. Doğan, E., Optimum design of rigid and remi rigid steel sway frames including soil- structure interaction" , A Thesis Submitted to The Graduate School of Natural and Applied Sciences , METU , 2010.

11. Abdalla, K.M., Chen W.F., Expanded databese of semi-rigid steel connections, *Computers & Structures*, 1995, 56(4), 553-564.

12. Frye M.J. , Morris G.A., Analysis of flexibly-connected steel frames, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1975, 2, 280-291.

13. Dhillon, B.S., O'Malley, J.W., Interactive design of semi-rigid steel frames, *Journal of Structural Engineering*,1999, 125(5), 556-564.

14. Kurt M., "Stochastic optimization methods", Springer, Munich, Germany, 2005.

15. Gencer C., Bali Ö., Parçacık sürü algoritması ile U tipi hat dengelemesi, KHO Bilim Dergisi ,2010,Cilt: 20 Sayı: 1.

16. http://footage.framepool.com/shotimg/442939268-rohrweihe-weihe-vogel-flussseeschwalbe-stumpf.jpg (accessed 06.09.2017)

17. Eberhart, R. C., and Kennedy, J., A new optimizer using particle swarm theory. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, Nagoya, Japan, 39-43. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995

18. Oftadeh, R., Mahjoob, M.J. and Shariatpanahi, M., A novel meta-heuristic optimization algorithm inspired by group hunting of animals Hunting search, *Computers Mathematics with Applications*, 2010, 60, 2087-2098.

19. https://animals.desktopnexus.com/wallpaper/1614101/ (accessed 06.09.2017)