



XIX. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ

24-28 Ağustos 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

SUNİ ARI KOLONİSİ YÖNTEMİ KULLANILARAK SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ İNCE CİDARLI ÇELİK KESİTLERDEN YAPILAN AZ KATLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN TASARIM OPTİMİZASYONU

Serdar Çarbaş¹ ve Mehmet Polat Saka²

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye

²Bahreyn Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İsa-Town, Bahreyn

ABSTRACT

The environment is at risk, and thus the structural engineering design profession needs to carefully reconsider design approaches to structures. Embodied carbon of structural systems in buildings has been established to be considerable and detrimental the environmental impact of the buildings. Structural materials use mostly natural resources. Large amounts of carbon are emitted into the atmosphere during the extraction, refinement, and installation of structural materials. Using cold-formed thin-walled steel sections as structural members provides a sustainable structures framework that reconciles initial environmental impacts of innovative, green materials and long-term durability for construction industry. This paper highlights a research on the development and implementation of a design algorithm to obtain cold-formed thin-walled steel sections in order to reach minimum frame weight while satisfying the constraints specified by design codes. Artificial Bee Colony (ABC) technique is used as a solution tool in improved design algorithm. This technique is a recent numerical optimization technique which mimics the intelligent behavior of honey bee swarm. The recent studies with the ABC method have shown its effectiveness and robustness in finding the optimum solution of combinatorial optimization problems. A design example is included to demonstrate the efficiency of the optimum design algorithm developed.

ÖZET

Çevre risk altında ve bu yüzden yapı mühendisliği tasarımı uzmanlık alanı yapılar için tasarım yaklaşımlarını dikkatli bir şekilde yeniden gözden geçirmelidir. Binaların yapısal sistemlerinde bulunan gömülü karbonun hatırı sayılır derecede önemli olduğu ve binaların çevresel etkilerinin zararlı olduğu tespit edilmiştir. Yapısal malzemeler çoğunlukla doğal kaynakları kullanır. Büyük miktarda karbon, yapısal malzemelerin çıkartılması, artırılması ve kurulumu sırasında atmosfere yayılır. Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik kesitlerin yapı elemanı olarak kullanılması, yapı sektörü için başlangıçta ki çevresel etkileri uzlaştırılmış yenilikçi, çevreci malzemeler ve uzun vadeli dayanıklılığa sahip sürdürülebilir (çevreci) yapı sistemleri sağlar. Bu makale, tasarım yönetmeliklerinde belirtilmiş olan sınırlayıcıları sağlayacak şekilde minimum çerçeve ağırlığına ulaşmak için soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik kesitleri elde eden bir tasarım algoritmasının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi üzerine bir araştırmaya ışık tutmaktadır. Suni Arı Kolonisi (SAK) yöntemi geliştirilen tasarım algoritmasında çözüm aracı olarak kullanılmıştır. Bu yöntem, bal arısı kolonilerinin zeka davranışlarını taklit eden yeni optimizasyon yöntemlerinden biridir. SAK metodu ile

yapılan en son çalışmalar, birleşimsel optimizasyon problemlerinin optimum çözümünü bulmada bu yöntemin etkinliğini ve sağlamlığını göstermiştir. Bir tasarım örneği geliştirilen optimum tasarım algoritmasının etkinliğini göstermek için eklenmiştir.

GİRİŞ

İçinde yaşadığımız ve çalıştığımız binalar bizleri doğanın zorluklarına karşı korur fakat sayısız yolla sağlığımızı ve çevreyi etkilerler. İnşaatları süresince binaların çevresel etkileri daha belirgin hale geldikçe “çevreci ve/veya sürdürülebilir bina” olarak nitelendirilen yeni bir alan ivme kazanmaktadır [1]. Çevreci veya sürdürülebilir bina, daha sağlıklı ve kaynak verimli yapı modelleri oluşturan ve kullanan bir uygulamadır. Sürdürülebilir inşaatın genel amacı kaynakların korunması yoluyla çevre üzerinde daha hafif bir ayak izi bırakmak için rekabetçi bir düşük maliyetle sünekliğin, mukavemetin, dayanıklılığın ve estetik esnekliğin benzersiz bir bileşimini sağlayacak yenilikçi yüksek performanslı binaları geliştirirken aynı zamanda inşaat ihtiyaçları için enerji tasarruflu, uygun maliyetli, az bakım isteyen ürünleri dengelemektir. Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik kesitlerden yapılan sürdürülebilir (çevreci) binalar güvenli, rahat, sağlam, ekonomik ve enerji tasarruflu olarak bilindiklerinden dolayı çevresel etkileri ve bakım-onarımı azalttıkları için çoğu kez üretim ve ulaştırma gibi diğer çevresel kirlenmeleri tamamen ortadan kaldırmayı beraberinde getirirler. Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik kesitlerin inşaatlarda kullanımı şu potansiyel faydaları içerebilir; *i) Çevresel Faydalar*; biyolojik çeşitliliği ve ekosistemi korur ve iyileştirir, hava ve su kalitesini artırır, atık yığınlarını azaltır, doğal kaynakları muhafaza eder ve yeniden canlandırır, *ii) Ekonomik Faydalar*; işletim maliyetlerini azaltır, çevreci ürün ve hizmetler için pazarı şekillendirir, genişletir ve oluşturur, kullanıcı verimliliğini artırır, kullanımı süresince ekonomik performansı optimize eder, *iii) Sosyal Faydalar*; kullanıcı rahatlığını ve sağlığını iyileştirir, estetik kaliteyi yükseltir, yerel altyapı üzerindeki deformasyonu minimize eder, genel yaşam kalitesini artırır [2].

Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı elemanlar inşaat endüstrisinde birçok alanda kullanılmaktadır. Muhtemelen geleneksel olarak en yaygın kullanıldığı alan endüstriyel çelik yapılarda, çelik veya betonarme birincil bir yapı üzerinde aşık veya kaplama levhası gibi ikincil veya üçüncül yük taşıyıcı elemanlar olarak kullanılırlar. Soğuk şekillendirilmiş elemanlar Kuzey Amerika ve Avustralya/Yeni Zelanda bölgelerinde konutlarda birincil taşıyıcı yapı olarak kullanılırlar; bu tip yapı sistemleri gün geçtikçe popülerite kazanmakta ve geleneksel yapı malzemeleri ile yarışır hale gelmektedir. Aynı zamanda birincil taşıyıcı sistemleri tamamen soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik profillerden oluşan çok katlı iş yeri bina örneklerini görmekte mümkündür. Bir diğer geniş kullanım alanı ise, yenileme yapılan binalarda veya soğuk şekillendirilmiş elemanlardan yapılan binalarda hafif kat sistemi uygulaması olarak karşımıza çıkan trapez kaplama ve soğuk şekillendirilmiş profillerin çekme ve ince beton döşemenin basınç parçaları olduğu kompozit tabliye uygulamalarıdır. Ayrıca soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı kesitler yaygın olarak büyük depolama alanlarının raf sistemlerinde de kullanılırlar [3].

Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı açık kesitlerin tanımında, profilin duvar kalınlığı temsili bir boyutundan oldukça küçük olarak kabul edilir. Bu kalınlık, aksenal yüke, kesmeye, eğilmeye ve taşımaya maruz kaldığı zaman akma gerilmesine ulaşmadan önce burkulma elemanın cidar genişliği ile kıyaslandığında oldukça küçüktür. Bu yüzden başlıca tasarım kriterlerinden biri bu kesitlerin cidarlarında ki lokal (yerel) burkulmayı esas alır [4,5]. Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı açık kesitler genellikle düzlem içi ve düzlem dışı yüklere maruz kalırlar. Bu genel yükleme durumundan dolayı diğer iç etkilere ilaveten ince cidarlı elemanlarda yüksek seviyelerde burulma momentleri oluşur. Bu tip ince cidarlı kirişlerin davranışlarını tahmin etmede basit kiriş teorisi yetersiz kalmaktadır [6]. Bunun sebebi en kesitte burulma momentlerinden dolayı büyük çarpılma deformasyonlarının yer almasıdır ve

sonuç olarak kesit düzlemi artık düz olarak kalmayacaktır. Böyle bir durumda kesit içinde diğer iç etkilerden dolayı meydana gelen gerilmelerin yanında eğilme bükülmelerinden meydana gelen gerilmeleri de dikkate almak gerekir. Bu tip gerilmeleri hesaplamak için basit kiriş teorisinden daha karmaşık bir teori olan Vlasov teorisini [7,8] kullanmak gereklidir. Bu teorisin temeli, ince cidarlı bir kiriş kesitinin ana hattının dış etkilere maruz kaldığı zaman değişmeden kaldığı varsayımına dayanmaktadır. Bu yaklaşımın basitliği, çarpılma kısıtlamasının etkisine yer vermek için basit eğilme ifadelerine benzer ilave terimleri içermesindedir. Bu ilave terimler kesit üzerine etkiyen moment çifti, kesitin sektöriyel koordinatı ve çarpılma sabiti gibi yeni ifadeleri içermektedir. Bu yüzden Vlasov teorisinde, kesit özelliklerine ilaveten en kesitin sektöriyel özelliklerinin hesabına da ihtiyaç duyulmaktadır [8,9]. Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik kesitler kullanılarak yapılan çelik çerçeve sistemlerin optimum boyutlandırma tasarımında çarpılmanın önemli bir etkisinin olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur [10,11].

Bu çalışmada soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı kesitlerden yapılan az katlı çelik çerçevelerin optimum tasarımını yapan bir algoritma geliştirilmiştir. Tasarım sınırlayıcıları AISI-LRFD (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü, Yük ve Mukavemet Faktörü Tasarımı) yapı yönetmeliğine göre uygulanmıştır [12]. Tasarım sınırlayıcıları, kirişler için deplasman kısıtlayıcılarını, ara kat ötelenmelerini, etkin narinlik oranını, taşıma gücü gereksinimlerini içerirken kiriş-kolonlar içinse elastik burulmaya bağlı yanal burkulma muhteva eden kombine eksenel ve eğilme mukavemeti gereksinimlerini içerir. Ayrıca uygulamaya yönelik tasarım gereksinimlerini karşılamak için ilave sınırlayıcılarda dikkate alınmıştır. Geliştirilen tasarım algoritması, çelik çerçeve yapının elemanları için AISI yapı tasarım yönetmeliğine bağlı olarak listelenmiş olan soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı C-kesitleri, şartnamede belirtilen tasarım sınırlayıcılarını uygulayarak çelik çerçevenin ağırlığını minimum yapacak şekilde seçer.

AISI-LRFD'ye GÖRE OPTİMUM TASARIM PROBLEMİ

Çelik çerçeve elemanları için soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı C-kesitlerin seçimi, seçilen C-kesitlerin uygulama kurallarında belirtildiği şekilde hizmete elverişlilik ve mukavemet gereksinimlerini karşılamalarının yanında çerçevenin tümünde veya malzeme bazında maliyet tasarrufunu da göz önünde tutmalıdır. AISI-LRFD [12] yapı yönetmeliğinden alınan sınırlayıcılar tasarım probleminin formülizasyonuna uygulandığında aşağıdaki gibi bir ayrık programlama problemi elde edilmiş olur.

Eleman gruplarına (n_g) atanacak C-kesitlerin sıra numarasını gösteren ve tam sayı değerlerinden oluşan \mathbf{I} vektörü (Eşitlik 1) çerçevenin ağırlığını (W) minimize etmek için oluşturulur (Eşitlik 2).

$$\mathbf{I}^T = [I_1, I_2, \dots, I_{n_g}] \quad (1)$$

$$\text{Min } W = \sum_{k=1}^{n_g} m_k \sum_{i=1}^{n_k} L_i \quad (2)$$

Yapının ağırlığı şu sınırlayıcılara maruz bırakılmıştır;

- **Hizmete Elverişlilik Sınırlayıcıları;**

$$\frac{\delta_{jl}}{L / \text{Ratio}} - 1.0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n_{sm}, \quad l = 1, 2, \dots, n_{lc} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta_{jl}^{top}}{H / \text{Ratio}} - 1.0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n_{jtop}, \quad l = 1, 2, \dots, n_{lc} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta_{jl}^{oh}}{h_{sx} / \text{Ratio}} - 1.0 \leq 0 \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n_{st}, \quad l = 1, 2, \dots, nlc \quad (5)$$

burada, δ_{jl} , j 'inci elemanın l 'inci yük durumu altında ki maksimum sehmidir. L elemanın uzunluğu, n_{sm} sehim kısıtlamalarının uygulandığı toplam eleman sayısıdır, nlc yük durumu sayısıdır, H çelik çerçeve yapının yüksekliğidir, n_{jtop} en üst katta bulunan düğüm noktası sayısıdır, Δ_{jl}^{top} , j 'inci düğüm noktasının l 'inci yük durumu altında ki en üst kat deplasmanıdır, n_{st} çerçevede bulunan kat sayısıdır, Δ_{jl}^{oh} , j 'inci katın l 'inci yük durumu altında ki ara kat deplasmanıdır, h_{sx} kat yüksekliğidir ve *Ratio* ise Ad Hoc Komite Raporu'nda [13] tarif edilen yanal burkulmaların kısıtlama oranıdır. Bu rapora göre, birinci derece analize göre kabul edilebilir sehim limitlerinin aralığı $(1/750)*H$ 'den $(1/250)*H$ 'ye kadar değişebilir. Önerilen değer ise $(1/400)*H$ 'dir. Ara kat sehim limitleri için önerilen tipik değerler ise $(1/500)*h_{sx}$ 'den $(1/200)*h_{sx}$ 'e kadar değişir. Önerilen değer ise $(1/400)*h_{sx}$ 'dir.

- **Taşıma Gücü (Mukavemet) Sınırlayıcıları; Kombine Edilmiş Eksenel Çekme Yükü ve Eğilme**

Soğuk şekillendirilmiş elemanlar, eşzamanlı eğilme ve eksenel çekme yüküne maruz bırakıldıkları zaman AISI-LRFD yapı yönetmeliğinin C5.1'inci bölümünde [12] belirtildiği üzere aşağıda verilen etkileşim denklemlerini sağlamalıdır.

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nxt}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{nyt}} + \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1.0 \quad (6)$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} - \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1.0 \quad (7)$$

burada;

M_{ux}, M_{uy} = Merkezi eksenlere göre gerekli olan eğilme mukavemetleridir (ilgili yapı yönetmeliğinde belirtilen katsayılarla çarpılarak elde edilmiş olan momentler).

ϕ_b = 0.90'a veya 0.95'e eşit olan eğilme mukavemetleri (moment dayanımı).

M_{nxt}, M_{nyt} = $S_{ft}F_y$ (burada, S_{ft} uygun eksen etrafında ki aşırı çekme lifine göre tam azaltılmamış kesitin kesit modülü ve F_y ise tasarım akma gerilmesidir).

T_u = Gerekli olan eksenel çekme mukavemetidir (ilgili yapı yönetmeliğinde belirtilen katsayılarla çarpılarak elde edilmiş olan çekme).

ϕ_t = 0.95.

T_n = Geçerli eksenel çekme mukavemeti (dayanım).

M_{nx}, M_{ny} = Merkezi eksenlere göre gerekli eğilme mukavemetleri (moment dayanımları).

- **Taşıma Gücü (Mukavemet) Sınırlayıcıları; Kombine Edilmiş Eksenel Basınç Yükü ve Eğilme**

Soğuk şekillendirilmiş elemanlar, eşzamanlı eğilme ve eksenel basınç yüküne maruz bırakıldıkları zaman AISI-LRFD yapı yönetmeliğinin C5.2'inci bölümünde [12] belirtildiği üzere aşağıda verilen etkileşim denklemlerini sağlamalıdır.

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} > 0.15 \text{ için,}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_{ny} \alpha_y} \leq 1.0 \quad (8)$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_{no}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0 \quad (9)$$

$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 0.15$ için,

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0 \quad (10)$$

burada,

M_{ux}, M_{uy} = Merkezi eksenlerin etkili kesitine göre gerekli olan eğilme mukavemetleridir (ilgili yapı yönetmeliğinde belirtilen katsayılarla çarpılarak elde edilmiş olan momentler).

ϕ_b = 0.90'a veya 0.95'e eşit olan eğilme mukavemetleri (moment dayanımı).

ϕ_c = 0.85.

P_u = Gerekli olan aksenal basınç mukavemetidir (ilgili yapı yönetmeliğinde belirtilen katsayılarla çarpılarak elde edilmiş olan basınç).

M_{nx}, M_{ny} = Merkezi eksenlere göre gerekli eğilme mukavemetleri (moment dayanımları)

ve $\alpha_x = 1 - \frac{P_u}{P_{Ex}} > 0, \quad \alpha_y = 1 - \frac{P_u}{P_{Ey}} > 0 \quad (11)$

burada,

$$P_{Ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}, \quad P_{Ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (12)$$

burada,

I_x = x eksenine göre atalet momenti

K_x = x eksenine göre burkulma için etkili uzunluk katsayısı

L_x = x eksenine göre eğilme için çapraz bağımsız uzunluk

I_y = y eksenine göre atalet momenti

K_y = y eksenine göre burkulma için etkili uzunluk katsayısı

L_y = y eksenine göre eğilme için çapraz bağımsız uzunluk

P_{no} = $F_n = F_y$ alınarak hesaplanan geçerli aksenal mukavemet.

C_{mx}, C_{my} = 0.85 veya 1.0 alınan katsayılar.

• İzin Verilen Narinlik Oranı Sınırlayıcıları;

Soğuk şekillendirilmiş basınç elemanlarının izin verilen maksimum narinlik oranı 200 olarak sınırlandırılmıştır.

$$\frac{K_x L_x}{r_x} \text{ veya } \frac{K_y L_y}{r_y} < 200 \quad (13)$$

burada,

K_x = x eksenine göre burkulma için etkili uzunluk katsayısı.

L_x = x eksenine göre eğilme için çapraz bağımsız uzunluk.

K_y = y eksenine göre burkulma için etkili uzunluk katsayısı.

L_y = y eksenine göre eğilme için çapraz bağımsız uzunluk.

r_x, r_y = x ve y eksenlerine göre en kesitin atalet yarıçapı.

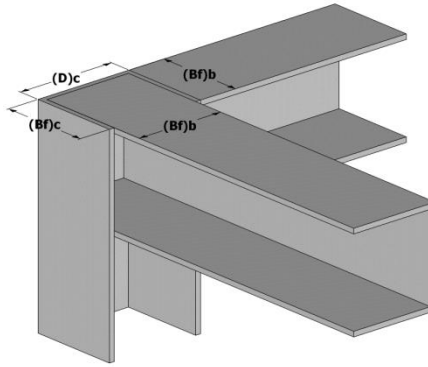
• **Geometrik Sınırlayıcılar;**

Geometrik sınırlayıcılar, peşpeşe iki katın kolonları için seçilen C-kesitlerin ya eşit ya da üst kattakilerin alt kattakilerden küçük olması için gereklidir. Benzer şekilde, bir kiriş bir kolonun başlık kısmına bağlandığı zaman kirişin başlık kısmının genişliği kolonun başlık kısmının genişliğine ya eşit ya da küçük olmalıdır. Ayrıca, bir kiriş bir kolonun gövdesine bağlandığı zaman kirişin başlık genişliği kolonun gövde genişliğinden ya küçük ya da $(D-2t_b)$ boyutunda olmalıdır. Burada, D ve t_b sırasıyla C-kesitin derinlik ve başlık kalınlığıdır (Şekil 1).

$$\frac{D_i^a}{D_i^b} - 1 \leq 1.0 \text{ ve } \frac{m_i^a}{m_i^b} - 1 \leq 1.0 \quad , i = 1, \dots, n_{ccj} \quad (14)$$

$$\frac{B_i^{bi}}{D_i^{ci} - 2t_b^{ci}} - 1 \leq 1.0 \quad , i = 1, \dots, n_{j1} \quad (15)$$

$$\frac{B_f^{bi}}{B_f^{ci}} - 1 \leq 1.0 \quad , i = 1, \dots, n_{j2} \quad (16)$$



Şekil 1. Bir C-kesit için tipik kiriş-kolon bağlantısı

burada, n_{ccj} problemde tanımlanan kolon-kolon geometrik sınırlayıcısının sayısı, m_i^a üst kat için seçilen C-kesitin birim ağırlığı, m_i^b alt kat için seçilen C-kesitin birim ağırlığı, D_i^a üst kat için seçilen C-kesitin derinliği, D_i^b alt kat için seçilen C-kesitin derinliği, n_{j1} bir kolonun gövdesine bağlanan kirişlerin bulunduğu düğüm noktalarının sayısı, n_{j2} bir kolonun başlığına bağlanan kirişlerin bulunduğu düğüm noktalarının sayısı, D_i^{ci} düğüm noktası i 'de bulunan kolon için seçilen C-kesitin derinliği, t_b^{ci} düğüm noktası i 'de bulunan kolon için seçilen C-kesitin başlık kalınlığı, B_f^{ci} düğüm noktası i 'de bulunan kolon için seçilen C-kesitin başlık genişliği, B_f^{bi} düğüm noktası i 'de bulunan kiriş için seçilen C-kesitin başlık genişliğidir.

Eşitlik (2)'den (16)'ya kadar tanımlanan tasarım problemi ayrık programlama problemi halini almıştır. Tasarım programının çözümü, tasarım yönetmeliğinden alınan Eşitlik (3)'den (16)'ya kadar tasarım sınırlayıcılarını sağlayacak şekilde ve Eşitlik (2)'de verilmiş olan amaç

fonksiyonunun değerini minimum yapacak şekilde soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı C-kesitlerin seçimini gerektirmektedir.

SUNİ ARI KOLONİSİ YÖNTEMİ

Suni Arı Kolonisi (SAK) yöntemi, bal arısı kolonilerinin zekice yiyecek arama davranışlarını taklit eder [14]. Suni arı kolonisi algoritmasında, farklı görevler yerine getiren üç tip arı vardır. İlk arı grubu olan *işçi arılar* yiyeceğin yerini belirler, yiyecek miktarını değerlendirir ve en iyi yiyecek kaynağının yerini hafızalarında tutarlar. Bu arılar kovana geri geldiklerinde, dans alanında yaptıkları dans ile topladıkları bilgiyi diğer arılar ile paylaşırlar. Dans süresi yiyecek kaynağında ki nektar miktarını belirtmektedir. İkinci arı grubu olan *izleyici arılar* yapılan dansı gözlemlerler ve yiyecek kaynağını gidilmeye değer bulurlar ise yiyecek kaynağına uçarlar. Bu nedenle nektar bakımından daha zengin olan yiyecek kaynağı daha fazla izleyici arı çeker. Üçüncü grup arı olan *kâşif arılar* kovan etrafında rastgele yeni yiyecek kaynakları keşfederler. Yiyecek kaynağı diğer arılar tarafından terkedilen işçi arılar kâşif arı olurlar. Sonuç olarak, kâşif arılar keşif icra ederlerken işçi ve izci arılar ise işletme ve/veya kullanma görevini icra ederler. Her yiyecek kaynağı optimizasyon probleminin olası sonucu olarak düşünülür ve yiyecek kaynağındaki nektar miktarı, uygunluk değeri ile tanımlanan çözümün kalitesini temsil eder. Suni arı kolonisi algoritması dört evreden oluşur. Bu evreler başlangıç aşaması, işçi arılar aşaması, izleyici arılar aşaması ve kâşif arılar aşamasıdır.

1. **Başlangıç Aşaması:** Eşitlik (17) kullanılarak tüm yiyecek kaynakları popülasyon vektörleri başlatılır (X_p , $p=1, \dots, np$). Burada, np popülasyon büyüklüğüdür (suni arıların toplam sayısı). Her bir yiyecek kaynağı n değişken içeren çözüm vektörüdür (X_{pi} , $i=1, \dots, n$) ve bunlar optimizasyon probleminin potansiyel çözümleridir.

$$x_{pi} = x_{li} + \text{rand}(0,1)(x_{ui} - x_{li}) \quad (17)$$

burada, X_{li} ve X_{ui} , X_i 'nin alt ve üst sınırlarıdır.

2. **İşçi Arılar Aşaması:** İşçi arılar Eşitlik (18)'i kullanarak yeni yiyecek kaynakları ararlar.

$$v_{pi} = x_{pi} + \phi_{pi}(x_{pi} - x_{ki}) \quad (18)$$

$$\text{uygunluk}(x_p) = \begin{cases} \frac{1}{1 + f(x_p)} & \text{eğer } f(x_p) \geq 0 \\ 1 + \text{abs}(f(x_p)) & \text{eğer } f(x_p) < 0 \end{cases} \quad (19)$$

burada, $k \neq i$ rastgele seçilmiş yiyecek kaynağıdır, ϕ_{pi} , $[-1, 1]$ aralığında rastgele bir sayıdır. Yeni yiyecek kaynakları üretildikten sonra, bunların uygunluk değerleri hesaplanır. Eğer bunların uygunluk değerleri X_{pi} 'den daha iyi ise yeni yiyecek kaynağı önceki ile yer değiştirir. Yiyecek kaynaklarının uygunluk değerleri Eşitlik (19) kullanılarak hesaplanır.

3. **İzleyici Arılar Aşaması:**

$$P_p = \frac{\text{uygunluk}(x_p)}{\sum_{p=1}^{np} \text{uygunluk}(x_p)} \quad (20)$$

İşçi olmayan arılar iki gruba ayrılırlar. Bunlar izleyici arılar ve kâşiflerdir. İşçi arılar yiyecek kaynağı hakkındaki bilgilerini izleyici arılar ile paylaşırlar. İzleyici arılar, popülasyonda ki her yiyecek kaynağının uygunluk değeri kullanılarak Eşitlik (20) yardımı ile hesaplanan olasılık değerine, P_p , bağlı olarak yiyecek kaynaklarını

seçerler. Bir izleyici arı için olasılığa bağlı olarak yiyecek kaynağı, X_{pi} , seçildikten sonra bir komşu kaynak, V_{pi} , Eşitlik (18) kullanılarak hesaplanır ve bunun uygunluk değeri belirlenir.

4. **Kâşif Arılar Aşamasi:** Yiyecek kaynağını rastgele seçen işçi olmayan arılara kâşif denir. Eğer işçi arıların çözümleri önceden belirlenmiş deneme sayısından sonra ilerleme göstermezse bu arılar kâşif arı olurlar. Bu kâşifler yeni çözümler için yeni yiyecek kaynağı aramaya başlarlar.
5. 2 ile 4 arasında ki aşamalar sonlandırma kriterine ulaşıncaya kadar tekrar edilir.

AYRIK DEĞİŞKENLERLE OPTİMUM TASARIM ALGORİTMASI

Eşitlik (2)'den Eşitlik (16)'ya kadar verilen ayrik optimum tasarım probleminin çözümü SAK yöntemi ile elde edilmiştir. SAK tabanlı optimum tasarım algoritmasında yönetmelikte yer alan listelerde ki çelik C-kesitlerin sıra numaraları tasarım değişkeni olarak alınmıştır. Bu amaçla AISI yapı yönetmeliğinde [12] yer alan 85 adet dudaklı C-kesitten oluşan 4CS2x059'dan 12CS4x105'e kadar isimlendirilen çelik kesitlerin tam listesi, optimum tasarım algoritması bu listeden çelik çerçeveli yapının elemanlarına C-kesit seçebilsin diye tasarım havuzu olarak alınmıştır. Bir sıra numarası seçildikten sonra algoritma için seçilen kesit tanımlaması ve kesit özellikleri kullanılabilir hale gelir. Bir önceki bölümde detayları verilmiş olan SAK yöntemi sürekli tasarım değişkenleri kabulü yapar. Fakat bu çalışmada düşünülen problem ayrik tasarım değişkenlerine sahiptir. Bu gereksinim algoritma süresince elde edilen sayıların yuvarlanması ile halledilmiştir. Bu bağlamda Eşitlik (17) şu şekilde yazılmıştır;

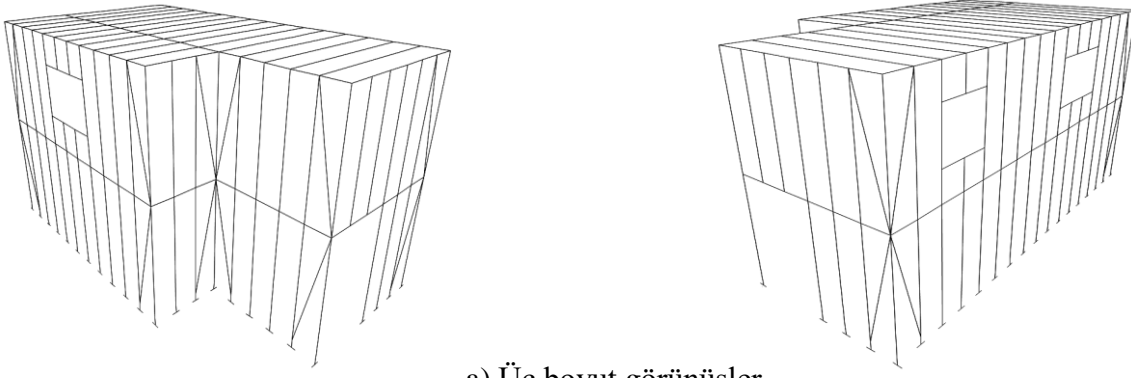
$$I_{pi} = I_{min} + INT[rand(0,1)(I_{max} - I_{min})] , i = 1, \dots, ng , p = 1, \dots, np \quad (21)$$

burada, I_{pi} , X_{pi} 'nin tamsayı değeridir, $rand(0,1)$ terimi 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıyı temsil eder, I_{min} , 1'e eşittir ve I_{max} C-kesitlerin toplam sayısına yani 85'e eşittir. ng tasarım değişkenlerinin toplam sayısı ve np kolonide bulunan toplam arı sayısına yani $neb+nob$ toplamına eşittir. Burada, neb işçi sayılarının sayısı ve nob ise izleyici arıların sayısıdır.

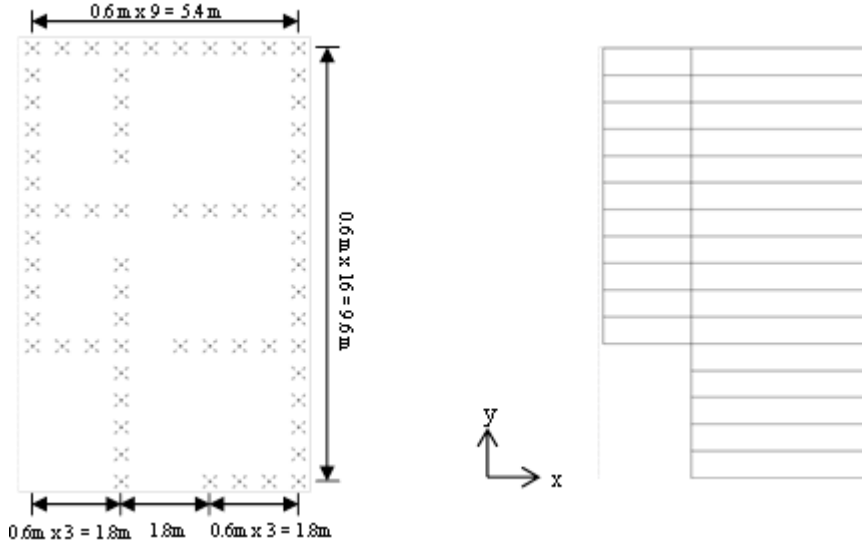
Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı kestilerden yapılan çelik çerçevelerin analizi matris-deplasman yöntemi ile yapılır. Bu tip çelik çerçeveli yapılar oldukça narindirler ve dış yükler altında ilk boyutlarıyla kıyaslandığında büyük deformasyonlar oluşur. Büyük deplasman gösteren yapılarda, malzeme doğrusal elastik özelliği gösterse bile yapının tepkisi doğrusal değildir [17]. Yani belli tip yüklemeler altında küçük deformasyonlar farz edilse bile doğrusal olmayan davranış tahmin edilebilir. Yapı deforme oldukça rijitlikte ve yükte değişim olur. Bu tip yapılarda eleman rijitliklerinde eksenel kuvvetlerin etkisi göz önüne alınmalıdır. Bu da rijitlik metodu uygulamasında P- δ analizinin gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Her bir tasarım döngüsünde çerçeve elemanlarının en kesit özellikleri değiştiği zaman, denge fonksiyonlarının kullanımıyla eğilme momenti ve eksenel kuvvetler arasında ki etkileşimi dikkate alan doğrusal olmayan rijitlik matrisinin oluşturulmasıyla çelik çerçeveli yapı analiz edilir. Doğrusal olmayan rijitlik matrisinin çıkarılması ve soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı kesitlerden yapılan çelik çerçevelerin analizinde geometrik doğrusalsızlığın göz önünde tutulması ile ilgili detaylara literatürde [10] yer verilmiştir.

TASARIM ÖRNEĞİ

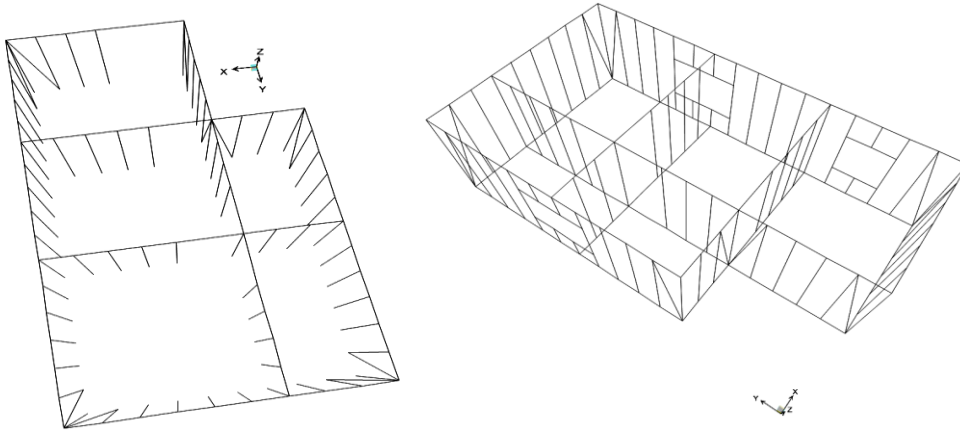
İki katlı, 379 elemanlı, üç boyutlu, soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı kesitlerden yapılan az katlı bir çelik çerçeve bu çalışmanın tasarım örneği olarak seçilmiştir. Bu yapının üç boyut, plan ve kat görünüşleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Yapının her bir kolonunun arası 0.6m açıklığa sahiptir ve kat yüksekliği 2.8m'dir. Yani yapının toplam yüksekliği 5.6m'dir.



a) Üç boyut görünüşler



b) Plan görünüşler



c) Birinci ve ikinci kat döşemesiz kuş bakışı görünüşler

Şekil 2. İki katlı 379 elemanlı soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı kesitlerden yapılan az katlı çelik çerçeve; a) Üç boyut görünüşler, b) Plan görünüşler, c) Birinci ve ikinci katın döşemesiz kuş bakışı görünüşleri.

Bu uzay çerçeve sistemi 230 düğüm noktasına ve 379 elemana sahiptir. Bu elemanlar birbirinden bağımsız 10 eleman grubunda toplanmıştır. Bu gruplandırma Çizelge 1’de gösterilmiştir. Yapıya ASCE 7-05’de [18] bahsedilmiş olan yerçekimi ve yanal yükler etkilmiştir. Buna göre, ölü yük 2.89kN/m^2 , hareketli yük 2.39kN/m^2 , kar yükü ise 0.755kN/m^2 olarak alınmıştır. Katsayılar ile çarpılmamış rüzgâr yükü değerleri de Çizelge 2’de verilmiştir. Yük ve kombinasyon katsayıları LRFD-AISC yönetmeliğine [19] göre

uygulanmıştır. Buna göre Yük Durumu 1: 1.2D+1.6L+0.5S, Yük Durumu 2: 1.2D+0.5L+1.6S, Yük Durumu 3: 1.2D+1.6WX+L+0.5S. Burada, D ölü yükü, L hareketli yükü, S kar yükünü ve WX global X doğrultusunda uygulanan rüzgar yükünü temsil eder. Yapının en üst katının hem x hem de y yönlerinde ki sehimi 14mm ile sınırlandırılırken ara kat sehimi ise 7mm ile sınırlandırılmıştır. AISI yapı yönetmeliğinde [13] yer alan 85 adet dudaklı C-kesitten oluşan çelik kesitlerin tam listesi tasarım değişkenleri için tasarım havuzu olarak düşünülmüştür.

Çizelge 1. İki Katlı, 379 elemanlı uzay çelik çerçevenin eleman grupları

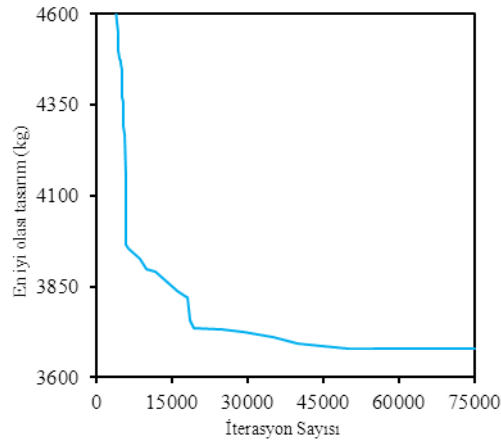
| Kat no. | y yönü kirişleri | x yönü kirişleri | Pencereler | Kısa kirişleri bağlayan kolonlar | Uzun kirişleri bağlayan kolonlar | Çaprazlar |
|---------|------------------|------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| 1 | 1 | 2 | - | 6 | 7 | 10 |
| 2 | 4 | 5 | 3 | 8 | 9 | 10 |

Çizelge 2. İki Katlı, 379 elemanlı uzay çelik çerçevenin rüzgâr yükleri

| | |
|---|-----|
| Çatının rüzgâr yönü tarafında bulunan düğüm noktalarına | 4kN |
| Birinci katın rüzgâr yönü tarafında bulunan düğüm noktalarına | 8kN |
| (Rüzgar yönü global X doğrultusundadır) | |

Çizelge 3. İki Katlı, 379 elemanlı uzay çelik çerçevenin optimum tasarım sonuçları

| Group No | Group tipi | SAK tarafından seçilen kesitler |
|--------------------------------|--|---------------------------------|
| 1 | 1 ^{ci} kat y yönü kirişleri | 4CS4x065 |
| 2 | 1 ^{ci} kat x yönü kirişleri | 8CS2.5x059 |
| 3 | pencereler | 4CS2x059 |
| 4 | 2 ^{ci} kat y yönü kirişleri | 7CS4x105 |
| 5 | 2 ^{ci} kat x yönü kirişleri | 12CS4x070 |
| 6 | 1 ^{ci} kat kısa kirişleri bağlayan kolonlar | 8CS4x059 |
| 7 | 1 ^{ci} kat uzun kirişleri bağlayan kolonlar | 4CS4x059 |
| 8 | 2 ^{ci} kat kısa kirişleri bağlayan kolonlar | 12CS4x085 |
| 9 | 2 ^{ci} kat uzun kirişleri bağlayan kolonlar | 6CS4x059 |
| 10 | çaprazlar | 4CS2x059 |
| Minimum ağırlık (kN (kg)) | | 36.076 (3678.73) |
| Maximum en üst kat sehimi (mm) | | 13.06 |
| Maximum ara kat sehimi (mm) | | 0.378 |
| Maximum deplasman (mm) | | 2.647 |
| Maximum taşıma gücü oranı | | 1.0 |
| Maximum iterasyon sayısı | | 75000 |



Şekil 3. İki Katlı, 379 elemanlı uzay çelik çerçevenin tasarım geçmişi grafiği

Tasarım örneği SAK yöntemi kullanılarak farklı parametre değer kümeleri ile beş defa birbirinden bağımsız çalıştırılmıştır ve algoritma tarafından elde edilen en iyi sonuçlar arı kolonisi boyutu 50, maksimum döngü sayısı 1500 ve limit 250 olarak alındığı zaman bulunmuştur. SAK yöntemi tabanlı tasarım algoritması problemin optimum çözümünü yapının minimum ağırlığı 36.076kN (3678.73kg) olacak şekilde bulmuştur. Bu optimum tasarım Çizelge 3’de gösterilmiştir. Çelik çerçevenin elemanlarına atanan çelik kesit tanımlamaları da bu tabloda belirtilmiştir. Çizelge 3’den açıkça görüldüğü üzere en üst kat sehimi hemen hemen en üst limitindedir ve bu da sehim sınırlayıcısının optimum tasarım probleminde baskın olduğunun işaretidir. Fakat taşıma gücü oranı 1.0 olarak optimizasyon işlemi yönetmektedir. SAK yöntemi tarafından optimizasyon işlemi süresince üretilen en iyi olası çözümlerin değişimini gösteren yakınsama geçmişi grafiği Şekil 3’de verilmiştir.

SONUÇLAR

İnsan nüfusunun çok hızlı artması sebebiyle sürdürülebilir (çevreci) yapılar oldukça önem kazanmıştır. Her hafta kentsel nüfusa bir milyon insan eklenmekte ve barınma problemi ortaya çıkmaktadır. Soğukta şekillendirilmiş ince cidarlı elemanlardan oluşturulan çelik çerçeveli yapı inşaat sektöründe kullanılması diğer malzemeler ile aynı yükü daha az malzeme kullanarak taşıyan sürdürülebilir binalar yapılmasına olanak verir. Bu tip yapılar için geliştirilen optimum tasarım algoritması gerekli malzeme miktarını en az seviyelere kadar indirebilmektedir. Suni Arı Kolonisi (SAK) algoritması tabanlı tasarım prosedürü AISI yapı tasarım yönetmeliğinde listelenmiş olan soğukta şekil verilerek üretilen ince cidarlı dudaklı C-kesitleri şartnamede belirtilen tasarım sınırlayıcılarını uygulayarak çelik çerçevenin ağırlığını minimum yapacak şekilde seçer. Elde edilen sonuçlar ışığında, geometrik doğrusalsızlığı ve çarpılma etkisini dikkate alan SAK yönteminin bu tip yapıların optimum tasarımını elde etmek için oldukça etkili ve sağlam bir teknik olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] www.epa.gov.tr/greenbuilding, (ulaşım Ağustos 10, 2015).
- [2] <http://greenmaltese.com>, (ulaşım Ağustos 11, 2015).
- [3] G. Jakab, *Analysis and Design of Cold-Formed C-Section Members and Structures*, Doktora Tezi, Budapest University of Technology and Economics, 2009.
- [4] A. Ghersi, R. Landolfo, F.M. Mazzolani, *Design of Metallic Cold-Formed Thin-Walled Members*, Spon Press, 2005.
- [5] W-W Yu, R.A. LaBoube, *Cold-Formed Steel Design, 4th Edition*. John Wiley, 2005.
- [6] P. Goltermann, Linear Distortional Beam Theory, *Journal of Constructional Steel Research*, 24, 1 (1993), 1-23. doi:10.1016/0143-974X(93)90061-V.
- [7] V.Z. Vlasov, *Thin-Walled Elastic Beams*, National Science Foundation, 1961.
- [8] K.Z. Koscia, *Thin-Walled Beams*, Crosby-Lockwood Ltd, 1967.
- [9] P.Waldron, Sectorial Properties of Straight Thin-Walled Beams, *Computers&Structures*, 24 (1986), 147-156. doi:10.1016/0045-7949(86)90344-5.
- [10] S. Carbas, *Optimum Design of Low-Rise Steel Frames Made of Cold-Formed Thin-Walled Steel Sections*, Doktora tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2013.
- [12] I. Aydogdu, M.P. Saka, Ant colony optimization of irregular steel frames including elemental warping effect, *Advances in Engineering Software*, 44 (2012), 150-169. doi:10.1016/j.advengsoft.2011.05.029.
- [13] AISI (American Iron and Steel Institute), *Cold-Formed Steel Design Manual*, 2007.

- [14] Ad Hoc Committee on Serviceability, Structural Serviceability: A critical Appraisal and Research Needs, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 112 (1986), 2646-2664. Doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445112:12(2646).
- [15] D. Karaboga, B. Basturk, Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving Constrained Optimization Problems, *Advances in Soft Computing: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing*, 2007: 789-798.
- [16] ASCE 7-05, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American Society of Civil Engineers, 2005.