Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 1, 2018 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.414427

ÇELİK YAPILARDA KULLANILAN DİYAGONAL ÇELİK ÇAPRAZLARIN YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI İLE OPTİMİZASYONU

Turan KARABÖRK [*]
Mustafa SÖNMEZ [*]
Ersin AYDIN [**]
Tülin ÇELİK [*]
Yakup BÖLÜKBAŞ [*]

Alınma:08.04.2016 ; düzeltme: 11.05.2017 ; kabul: 12.02.2018

Öz: Diyagonal çelik çapraz (DÇÇ) sistemler, mevcut yapının deprem performansının iyileştirilmesinde veya yeni yapının depreme dayanıklı olarak tasarlanmasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu sistemler yapının yatay yük taşıma kapasitesini arttırır ve yapının yanal rijitliğine katkı sağlamaktır. Çelik diyagonal çaprazların yapı sistemindeki yerleşimi, yapı sistemin performansını etkileyen önemli etkenlerden birisidir. Bu çalışma, çelik çaprazların yerleşimdeki optimum dağılımın belirlenmesi için yapay arı koloni optimizasyon tekniği kullanılarak yeni bir algoritma sunulmuştur. Tepe deplasmanına ve taban kesme kuvvetine bağlı transfer fonksiyonları amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir. Buradaki temel amaç, belirlenen kısıtlar altında amaç fonksiyonlarının minimize edilmesidir. Tasarım değişkeni olarak her kata yerleştirilen çelik çaprazların rijitlikleri seçilmiştir. Ayrıca, çelik çaprazların toplam rijitliği, optimizasyon probleminin aktif kısıtlı olarak belirlenmiştir. Hazırlanan optimizasyon algoritmasının performansının test edilmesi amacıyla 20 katlı çelik yapı modeli oluşturulmuş ve El Centro depremi kaydı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Yapay arı koloni algoritması kullanılarak elde edilen optimum çelik çapraz yerleşimi, düzgün dağılım ile karşılaştırılmıştır. Bu bulgular göstermiştir ki, tasarlanan algoritma ile belirlenen optimum diyagonal çelik çapraz dağılımı, her bir amaç fonksiyonu için tatmin edici sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Diyagonal çelik çaprazlar, yapay arı koloni algoritması, yapısal optimizasyon, transfer fonksiyonları

Optimizing Diagonal Steel Braces Used in Steel Structures via Artificial Bee Colony Algorithm

Abstract: Steel diagonal braces (SDB) systems, are one of widely used methods for improving the seismic performance of existing structures or new construction of earthquake-resistant design. These systems contribute to the stiffness of the structure as well as increased lateral load carrying capacity of the structure. Placement on the steel diagonal braces is one of the significant factors affecting the performance of the system. In this study, a new algorithm to find the optimal distribution of SDB using artificial bee colony optimization technique is presented. The objective functions are chosen as the transfer function amplitude of the top displacement and the transfer function amplitude of the base shear force. The main purpose is to minimize the objective function under specific constraints. Stiffness parameters of steel braces located on each floor is chosen as the design variables. Additionally, the sum of the stiffness parameter of the SDB is accepted as an active constraint. In order to test the response the performance of results obtained from ABC, 20 story steel braced building is modeled and analyzed using

[*] Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
[**] Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
İletişim Yazarı: Yakup BÖLÜKBAŞ (ybolukbas@aksaray.edu.tr)

time history methods under the El-Centro earthquake. Optimum SDB location obtained using artificial bee colony algorithm is compared to uniform distribution of SDB's. The findings show that, the optimum SDB distribution give satisfactory results for each of the objective functions.

Keywords: Steel diagonal braces, artificial bee colony algorithm, structural optimization, transfer functions.

1. GİRİŞ

Son yıllarda meydana gelen depremlerde, performansı zayıf olan pek çok yapının büyük hasarlar aldığı gözlenmiştir. Bu durum mevcut yapıların deprem performanslarının iyileştirilmesini ve yeni yapıların bu durum göz önüne alınarak tasarlanmasını zorunlu hale getirmektedir. Yapıların deprem performansını iyileştirmek amacıyla; diyagonal çelik çaprazlar, perde duvarlar ve yapısal kontrol sistemleri gibi birçok yöntem geliştirilmiştir. Diyagonal çelik çapraz (DÇÇ) sistemler, uygulama kolaylığı ve görece düşük maliyeti sebebiyle tercih edilmektedir (Colunga ve Vergara, 1997). Ayrıca geleneksel moment taşıyan çerçeveler ile karşılaştırıldığında, DÇÇ eklenen çerçevelerin yanal rijitlikleri daha yüksektir.

Çelik çaprazlı çerçevelerin dış merkezli (eksantrik) ve eş merkezli (konsantrik) olmak üzere iki farklı uygulama şekli bulunmaktadır. Dış merkezli çapraz çerçevelerde, enerji çapraz elemanlar tarafından sönümlenirken diğer yapı elemanları elastik davranış sergilemektedir. Diğer taraftan eş merkezli çapraz çerçevelerde ise yapısal elemanlar orta noktada kesişen düşey kafes sistemden oluşmaktadır. Eş merkez çaprazlı sistemlerde, çerçeve elemanları elastik sınır içerisinde sadece normal kuvvet taşımaktadır. Aynı zamanda diyagonal çapraz elemanlar doğrusal davranış sergiler.

Literatürde çelik çaprazların yapıda kullanımı incelendiğinde; Mitchell ve Dandurand (1988) DÇÇ'leri çerçeve açıklığına ekleyerek, mevcut yapının davranışını incelemişlerdir. Türker ve Bayraktar (2011), çelik çerçeveler ve kafes sistemlerin yapının dışına eklenmesi durumunu araştırmışlardır. Çelik perde duvarların yapıya eklenmesi ile meydana gelen davranış şeklini Yamamato ve Aoyama incelemiştir (1987). Miranda (1991) ise ön gerilmeli çelik kabloların çerçeve içerisindeki deliklere eklenmesi ile çerçevenin sismik performansını iyileştirmeye çalışmıştır. Ayrıca literatürdeki diğer çalışmalara bakıldığında, Görgülü ve diğ.,(2012), betonarme çerçevelerde X çelik çaprazların kullanımının dayanım ve rijitlikte kayda değer iyileşmelere neden olduğunu belirlemişlerdir. Bartera ve Giacchetti (2003), betonarme tek katlı çerçevede, farklı çelik çapraz sistemlerinin dinamik davranışa etkisini incelemişlerdir. Öte yandan literatürde, betonarme çerçevelere uygulanan çelik çaprazların, yapının dinamik davranışına etkisinin analitik olarak irdelenmesi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Downs ve diğ., 1991; Valle, ve diğ., 1988; C. E. Valle, 1980; Maheri ve Sahebi, 1997).

Literatürde optimum çelik çapraz dağılımının ve özelliklerinin belirlenmesi için hazırlanan optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu olarak; en üst kat ötelenmesi (I. Takewaki 2000), taban kesme kuvveti (Aydin ve diğ., 2007), en üst kat mutlak ivmesi (I. Takewaki, 1999) ve taban momenti (Wang, 2006) seçilmiştir. Bu problemlerin çözümünde ise gradyan tabanlı teknikler kullanıldığı gibi (Aydin ve Boduroglu, 2008), gradyan olmayan (non-gradyan) tekniklerde kullanılmaktadır (Aydin ve diğ., 2015).

Bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmeler sonrasında böcekler arası sosyal etkileşim tabanlı (arı, termit, eşek arısı vb.), direkt arama tekniklerinin sayısı hızla artmıştır. Kullanım kapasitesi ve güçlü arama mekanizmalarının oluşturulması, bu yöntemlerin yaygınlaşmasına önayak olmuştur. Tek başına, kısıtlı mental kapasiteye sahip böceklerin, sürü ile beraber karmaşık ve zor görevleri yerine getirebilme becerilerinin olması bilim adamlarının bu davranışı modelleyen optimizasyon algoritmalarını tasarlaması için büyük motivasyon kaynağı olmaktadır (Frisch, 1967). Bu optimizasyon teknikleri sürü zekası tabanlı teknikler olarak isimlendirilir. Parçacık sürü optimizasyonu (Lee ve Geem, 2004), karınca kolonisi

optimizasyonu (ACO) (Kennedy ve diğ., 2001) ve arı tabanlı algoritmalar (Karaboga ve Akay, 2009; Karaboga ve Basturk, 2008; Karaboga, 2005; Pham ve diğ., 2006) sürü zekası tabanlı optimizasyon algoritmalarına örnek olarak verilebilir.

Çalışmanın amacı, çelik çerçevelere eklenen diyagonal çaprazların optimal boyut ve yerleşiminin belirlenmesinde farklı amaç fonksiyonları kullanılarak, ABC optimizasyon algoritmasının geliştirilmesidir. Yapıya eklenen DÇÇ elemanların rijitlik parametreleri, tasarım değişkenleri olarak tanımlanmıştır. Rijitlik parametrelerinin toplamı, algoritmanın eşitlik kısıtı olarak belirlenmiştir. Belirlenen optimum DÇÇ dağılımları, 20 katlı çelik yapı modeline uygulanmış ve El Centro depremi kayıtları altında, zaman tanım aralığı yöntemi ile dinamik analiz yapılmıştır. ABCA ile elde edilen optimum dağılım; göreli yer değiştirmelerin toplamı ve taban kesme kuvveti değerlerinde önemli derecede azalma sağlamıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Yapısal Model

Çalışma için tasarlanan ve DÇÇ' lerin yerleştirildiği model Şekil 1' de verilmiştir. DÇÇ' lerin yapıya sadece orta açıklıkta eklendiği göz önünde bulundurularak tasarlanan optimizasyon algoritması, DÇÇ 'lerin üniform olarak dağıtıldığı geleneksel model ile karşılaştırılacaktır.

Normal kuvvet taşıyan diyagonal çelik çaprazların rijitlik matrisleri, Eşitlik 1'deki gibi ifade edilebilir. Burada T_i dönüşüm matrisini, k_i i. kattaki diyagonal çapraz için rijitlik parametresini gösterir. Bu parametre diyagonal çelik çaprazın uzunluğu L_i, elastisite modülü E_i ve en kesit alanı A_i kullanılarak, Eşitlik 2'deki gibi yazılabilir.

$$K_{DÇÇ} = \sum_{i=1}^{n} T_i^T k_i T_i \tag{1}$$

$$k_i = \frac{E_i A_i}{L_i} \tag{2}$$

Yatay yer hareketlerine maruz, çapraz eleman bulunmayan çerçevenin, matris-vektör formundaki hareket denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir. Burada u(t), u̇ (t) ve ü(t) sırasıyla yer değiştirmeyi, hızı ve ivmeyi simgelemektedir. M, C ve K ise kütle, yapısal sönümleme ve rijitlik matrisini simgelemektedir. Öte yandan r, taban ivme yönündeki etki vektörünü ve $ü_g(t)$ yer hareketinin yatay ivmesini simgeler.

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -Mr\ddot{u}_g(t) \tag{3}$$

Buradaki u(t) ve $ü_g(t)$, Fourier Dönüşümü sonrasında U(ω) ve $Ü_g(ω)$ olarak tekrar düzenlenirse, aşağıdaki eşitlik elde edilir ki, burada ω açısal frekans ve i=√(-1) olmak üzere eşitlik,

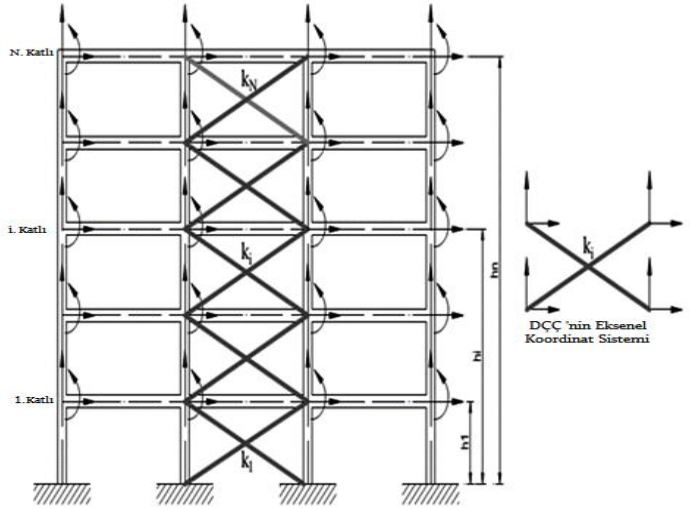
$$(K + i\omega C - \omega^2 M)U(\omega) = -Mr\ddot{U}_g(\omega) \tag{4}$$

şeklinde olacaktır. Eğer sisteme diyagonal çelik çaprazlar eklenirse, hareket denkleminin Fourier Dönüşümü aşağıdaki şekilde yazılabilir. Burada $K_{DÇÇ}$, Eşitlik 1'de hesaplanmaktadır. $U_{DÇÇ}$ ise yerdeğiştirme vektörünün Fourier Dönüşümünü tanımlamaktadır.

$$\{(K + K_{DÇÇ}) + i\omega C - \omega^2 M\}U_{DÇÇ}(\omega) = -Mr\ddot{U}_g(\omega) \tag{5}$$

Takewaki (Takewaki I., 2000), tarafından verilen yerdeğiştirme transfer fonksiyonu genliği aşağıdaki gibidir.

$$\hat{U}(\omega) = \frac{U_{DÇÇ}(\omega)}{\ddot{U}_g(\omega)} \tag{6}$$



Şekil 1:
Çalışma için tasarlanan yapı modeli ve DÇÇ' nin koordinat sistemi

Eğer sistemin birinci modu dikkate alınacak olursa, Eşitlik 5 ve 6 kullanılarak, Eşitlik 7 ve 8 yazılabilir. Eğer yapının birinci modu dikkate alınırsa, $\omega=\omega_1$ olarak alınır. Burada A ise tasarım değişkenlerini de gösteren matristir.

$$A\hat{U}(\omega_1) = -Mr \tag{7}$$

$$A = K + K_{DÇÇ} + i\omega_1 C - \omega_1^2 M \tag{8}$$

Eşitlik 7 de verilen eşitlikte, $\hat{U}(\omega_1)$ tek başına bırakılırsa, yerdeğiştirme transfer fonksiyonu aşağıdaki denklem yardımı ile çözülebilir.

$$\hat{U}(\omega_1) = -A^{-1}Mr \tag{9}$$

Bu vektör aşağıdaki gibi bir transformasyon matririsi ile çarpılarak katlar arası göreli yerdeğiştirme transfer fonksiyonu vektörü bulunabilir.

$$\delta = D\hat{U}(\omega_1) \tag{10}$$

Buradaki D matrisi bir dönüşüm matrisidir. İki katlı bir kayma çerçevesi için, aşağıdaki şekilde verilebilir. Yukarıda yazılan, göreli yerdeğiştirmenin transfer fonksiyonu Takewaki (2000) tarafından geliştirilmiştir

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{11}$$

Diğer taraftan Aydın ve Boduroğlu (2008) tarafından önerilen fonksiyonda, birinci mod için elastik kuvvetlerin transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F(\omega_1) = -KA^{-1}Mr \tag{12}$$

δ_i ve F_i i. kattaki rölatif yerdeğiştirmenin ve elastik kesme kuvvetinin transfer fonksiyonu değerlerini belirtmekle birlikte, aşağıdaki gibi reel ve imajiner parçalardan oluşmaktadır.

$$\delta_i = \mathrm{Re}[\delta_i] + \mathrm{Im}[\delta_i] \tag{14}$$

$$F_i = \mathrm{Re}[F_i] + \mathrm{Im}[F_i] \tag{15}$$

Bu parametrelerin mutlak değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir.

$$|\delta_i| = \sqrt{(\mathrm{Re}[\delta_i])^2 + (\mathrm{Im}[\delta_i])^2} \tag{17}$$

$$|F_i| = \sqrt{(\mathrm{Re}[F_i])^2 + (\mathrm{Im}[F_i])^2} \tag{18}$$

2.2. Yapay Arı Koloni Algoritması (ABCA)

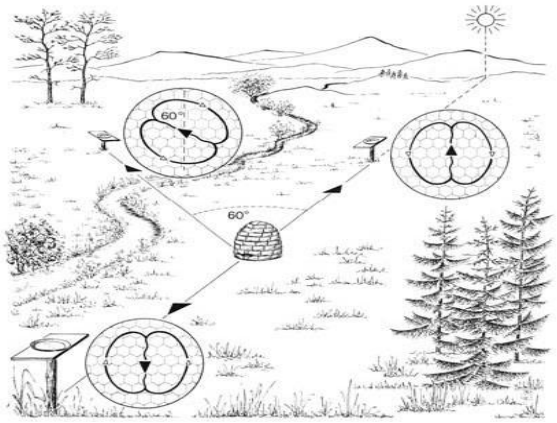
Son yıllarda oldukça popüler olan sürü zekası tabanlı optimizasyon yöntemleri, araştırmacılar için yeni bir araştırma alanı olmuştur. Sürü halinde yaşayan ve sosyal hiyerarşiye sahip böceklerin (arılar, termitler, karıncalar vb.) besin toplama davranışları, araştırmacılara ilham kaynağı olmuştur. Bal arıları koloni halinde yaşar ve sosyal hiyerarşiye sahiptir. Kolonideki her işçi arının temizlik, petek yapımı veya yiyecek arama gibi bir görevi bulunmaktadır. İşçi arılar üç haftalık olduklarında yiyecek bulmak için görevlendirilirler ve bol gıda kaynaklarını keşfetmek için çeşitli yönlere 14 km'ye kadar uzun mesafelerde uçabilirler. Bu arılar yiyecek bulma işlemi için rastgele bir alandan diğerine verimli çiçek parçaları keşfetmek ve çiçeklerdeki nektarı toplamak için uçarlar. Arılar kovana geri döndüklerinde, taşıdıkları nektar miktarı belli bir kalitenin üstünde ise sallanma dansı yaparak diğer arılarında iyi nektar alanına gitmesi için bilgi verir. Bu dans keşfedilen besin kaynağının konumu ve kovana uzaklığı hakkında bilgi verir. Dans süresi daha uzun olması, gıda kaynağının daha kaliteli olduğunu gösterir. Böylece diğer arılar bu kaynağa yönlendirilir (Karaboga, 2005).

Her bir işçi arı, keşifleri sırasında farklı kalitede kaynaklara ulaşır. Nektarların boşaltılmasından sonra, aşağıdaki üç durumdan biri ortaya çıkar.

a) Eğer nektar kalitesi çok düşükse, mevcut kaynağı terk edip yeni kaynaklar aranır.

b) Eğer nektar istenilen kalitede değilse, yuva arkadaşlarından yeni eleman almadan gıda kaynağından yiyecek toplamaya devam eder.

c) Eğer bol miktarda nektar kaynağı bulunduysa, sallanma dansı ederek yeni arıların oraya yönlendirilmesi sağlanır.



Şekil 1:
Farklı besin kaynakları için sallanma dansı (Lemmens ve diğerleri 2007)

2.3. DÇÇ' nin Optimizasyonu

Yapısal optimizasyonun amacı, önceden belirlenen kısıtlar göz önüne alınarak, amaç fonksiyonlarının istenilen düzeye indirgenme problemidir. Çalışmada optimizasyon problemi matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$f(K_{DÇÇ}) = f(k_1, k_2, k_3, \dots, k_N) \tag{19}$$

Sisteme eklenen her bir DÇÇ'nin rijitlik katsayılarının üst ve alt sınırı, problemin eşitsizlik kısıtı olarak tanımlanmıştır. Problemin eşitlik kısıtı ise rijitlik katsayılarının toplamı olarak eşitlik 17 ve 18 kullanılarak, aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir.

$$0 \leq k_i \leq \bar{k} \qquad (i = 1, 2, \dots, N) \tag{20}$$

$$\sum_{i=1}^{N} k_i = \bar{K} \tag{21}$$

Çalışmada kullanılan amaç fonksiyonları; göreli kat yer değiştirmeleri transfer fonksiyonu genliklerinin toplamı ve taban kesme kuvvetinin transfer fonksiyonu genliği, n katlı bir yapı için aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$f_1 = \sum_{i=1}^{n} |\delta_i(k)| \tag{22}$$

$$f_2 = |V_b(k)| = \sum_{i=1}^{n} |F_i(k)| \tag{23}$$

2.4. DÇÇ' nin ABCA ile Optimizasyonu

ABC'de arıların amacı en zengin nektar kaynağının konumunu bulmaktır. Bu çalışmanın amacı da her kattaki çelik çapraz rijitliğini değiştirerek amaç fonksiyonunu minimum yapmaktır. Yani burada nektar kaynağının konumu, DÇÇ' lerin yerleşimindeki tasarım değişkenlerine (k_1, k_2, …k_n) karşılık gelecektir. ABC algoritmasının genel yapısı aşağıda verilmiştir.

1.Başlangıç

2.Döngü

a. kaynaklara işçi arıların istihdamı

b. kaynaklara gözcü arıların istihdamı

c. yeni gıda kaynaklarını aramak için kâşif arıların yollanması

d. en iyi çözümün kaydedilmesi

3. Döngü bitir (şartlar sağlanana kadar)

ABC algoritmasında üç kontrol parametresi vardır. Bunlar toplam işçi arı sayısı (BN), maksimum döngü sayısı (MCN) ve LİMİT sayısıdır. Eğer bir yiyecek kaynağında belli bir adım içinde nektar miktarında artış olmasa bu kaynak terk edilir. Bu önceden belirtilen sayıya LIMIT denir. Optimizasyonun ilk adımında tüm arılar (BN) çiçek alanlarını keşfetmeye giderler. Nektar kaynağının ilk konumu (s) belirlenmek istenirse

$${}_s k_i^{yeni} = k_i^{alt} + \gamma(k_i^{üst} - k_i^{alt}) \tag{24}$$

$$k_i^{alt} \leq k_i \leq k_i^{üst} \quad (i = 1,2, \dots, n) \tag{25}$$

eşitlikleri kullanılmalıdır. Toplam kat rijitlikleri eşitlik (21)'ye uygun olmalıdır. Burada γ, 0 ile 1 arasında rastgele reel sayı, k_i^{alt} ve $k_i^{üst}$ tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını göstermektedir (eşitlik 20). Nektar aramaya giden tüm arılar belli bir miktar (f_i) yiyecek ile dönerler. Bu arıların yarısı "işçi arı" (SN=BN/2) olarak tanımlanacaktır. Geri kalan arılar ise "gözcü arılar" olarak tanımlanacak ve çalışan arıların sallanma dansını takip edeceklerdir.

Gözcü arılar bulunan nektar kaynaklarının kalitesine göre bir seçim yapacaklardır. Kaynağın kalitesinin yüksek olma olasılığı (P_s) hesaplanmak istenirse,

$$P_s = \left(\frac{1}{{}_sf_j(k)}\right) \Big/ \left(\sum_{s=1}^{SN} \frac{1}{{}_sf_j(k)}\right) \tag{26}$$

eşitliği kullanılmalıdır. Her bir yiyecek kaynağı için yalnızca bir arı görevlendirilecektir. Gözcü arıların içinden yiyecek kaynağına giden işçi arı sayısı nektar kaynağının miktarına bağlıdır. Gözcü arılar nektarın kalitesine göre yiyecek kaynağını seçerler.

İşçi arılar ikinci iterasyonda, tekrar eski yiyecek kaynağına giden diğer işçi arılardan etkilenerek yiyeceği kendine yakın bölgelerde arar. Bu durum matematiksel olarak aşağıda verilmiştir.

$${}_sk_i^{yeni} = {}_sk_i^{eski} + \emptyset({}_sk_i^{eski} - {}_mk_i^{eski}) \tag{27}$$

Burada ø, -1 ile 1 arasında rastgele sayı, ${}_sk_i^{yeni}$ güncellenen tasarım değişkenlerini gösterir. Terimlerin sol yanındaki indis (s) işçi arı sayısını, sağ tarafındaki indis ise (m) tasarım değişken sayısını göstermektedir. Burada m rastgele seçilmiş bir tamsayı ve s'ye eşit olamaz. ${}_sk_i^{eski}$ terimi arıların keşif yeteneğinin kontrol ettiği için ABC algoritmasının yakınsama davranışında önemli bir yer tutar.

Eğer LİMIT olarak tanımlanmış yiyecek miktarında bir artış yoksa bu besin kaynağı işçi arı tarafından işlemden çıkarılır. Burada yiyecek taşıyan arılar ise kâşif arı olarak görev yapmaya başlarlar. Kâşif arıların yapacakları araştırmalarla ilgili bir ön bilgi bulunmamaktadır. Bu araştırmalar sırasında tesadüfen zengin bir nektar kaynağı bulunursa kâşif arılar tekrar nektar taşıyan arı olarak işlerine döneceklerdir. Bu işlem, önceden belirlenen döngü sayısına ulaşılıncaya kadar devam eder.

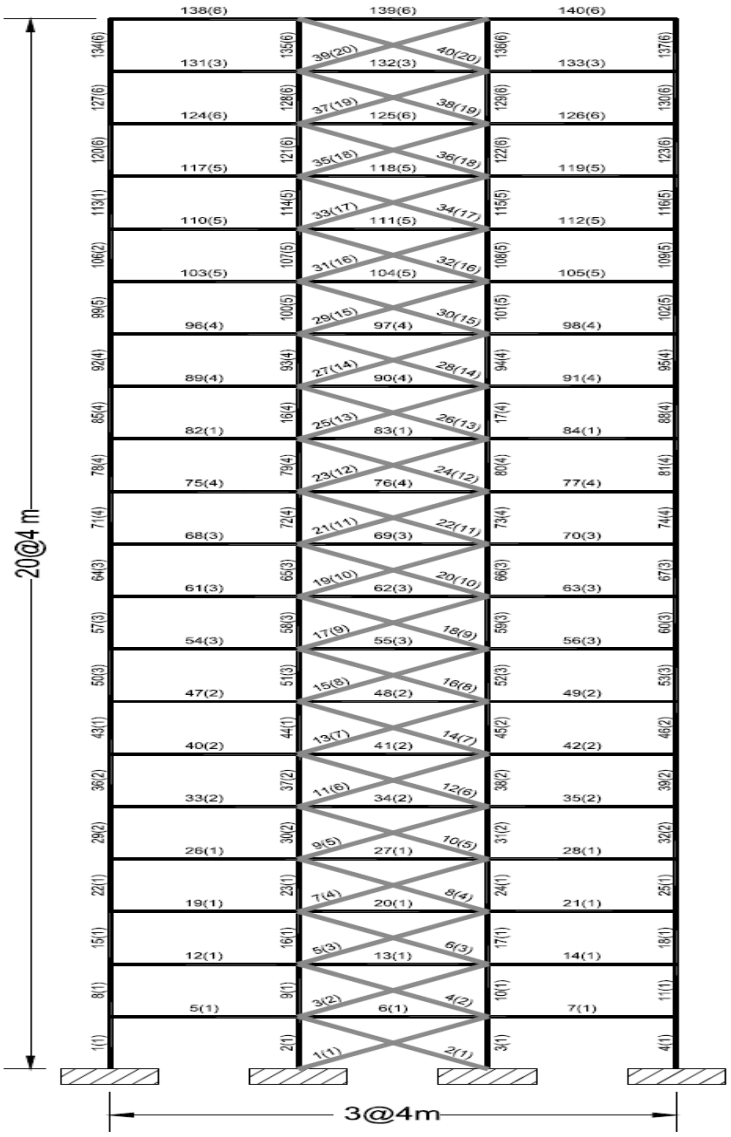
3. SAYISAL ÖRNEK

Yapıya eklenen DÇÇ'lerin etkilerini incelemek amacıyla Şekil 3'de gösterilen 20 katlı düzlem çerçeve sistem tasarlanmıştır. Sistem 3 açıklıklı olup, her bir açıklığın uzunluğu 8 m ve kat yüksekliği 4 m olarak belirlenmiştir. Çerçeve elemanlarının kesit ve malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Şekil 3'de malzeme numaraları parantez içerisinde verilmiştir. Kolon ve kirişlerin elastisite modülü $2{,}06 \times 10^5$ MPa olarak tanımlanmıştır. Yapı elemanlarının kesme yerdeğiştirmeleri dikkate alınmamıştır. Ancak eklenen DÇÇ'lerin eksenel yerdeğiştirmeleri, kolon ve kirişlerin hem eğilme hem de eksenel yerdeğiştirmeleri dikkate alınmıştır. Model çerçevenin doğal titreşim frekansı 2,7358 rad/s olarak hesaplanmıştır. Çelik yapının sönümlenmemiş ilk doğal titreşim frekansındaki sönüm oranı ξ=0,02 olarak alınmıştır. Rijitlik katsayılarının toplamı $\bar{K}$=$6{,}85 \times 10^9$ N/m olarak kabul edilmiştir. Algoritmada arı sayısı olarak tasarım değişkenlerinin 3 katı ve maksimum iterasyon sayısı olarak tasarım değişkenlerinin 10 katı kullanılmıştır.

İki farklı amaç fonksiyonuna bağlı olarak geliştirilen optimum DÇÇ dağılımları Şekil 4'de gösterilmiştir. Yatay eksende her bir kattaki rijitlik dağılımı, düşey eksende ise kat numaralarını göstermektedir.

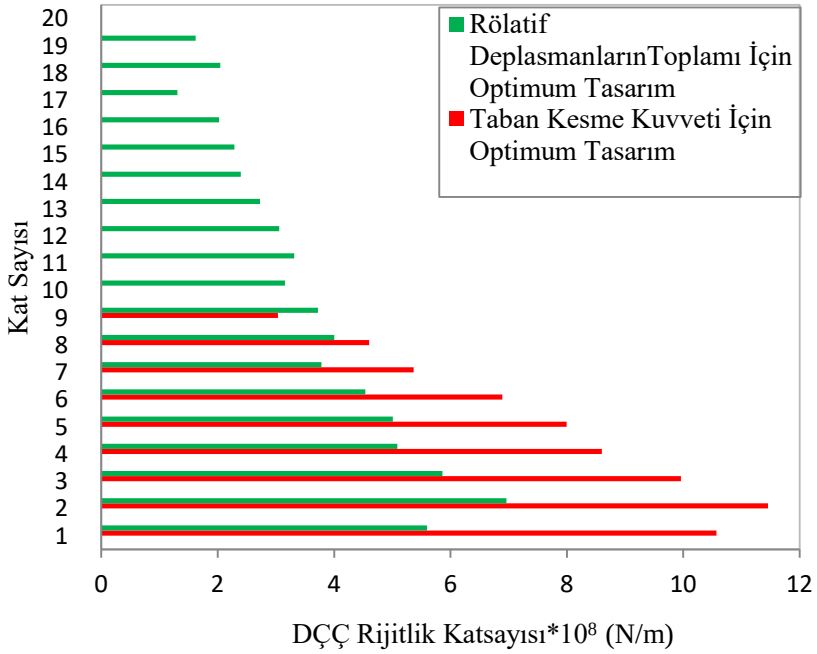
Göreli kat yerdeğiştirmelerinin toplamını ifade eden amaç fonksiyonunun minimize edilmesi probleminde DÇÇ'lerin dağılımına bakıldığında, rijitlik katsayısının en alt kattan üst kata doğru azaldığı gözlenmektedir. Taban kesme kuvveti amaç fonksiyonuna bakıldığında ise optimum dağılım, 2.kattan itibaren bina orta kat yüksekliğine kadar azalan bir dağılım gözlenmektedir. Optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen verilen en iyi, en kötü ve ortalama değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2:
Üç açıklıklı, çelik çaprazlı çerçeve

Tablo 1. Yapı çerçeve elemanlarının kesit ve malzeme özellikleri

Eleman No	Kat Seviyesi	Kirişler		Kolonlar		Kütle (kg)		Kütle Atalet Momenti ($kg.m^2$)	
(Malzeme No)		A (m^2) (10^{-4})	I (m^4) (10^{-5})	A (m^2) (10^{-4})	I (m^4) (10^{-5})	İç düğümler (10^3)	Dış Düğümler (10^3)	İç düğümler (10^5)	Dış düğümler (10^5)
1-28 (1)	1-4	1512	689,4	1512	689,4	51,2	25,6	5,46	1,71
29-49 (2)	5-7	1210	574,5	1210	574,5	51,2	25,6	5,46	1,71
50-70 (3)	8-10	983	459,5	983	459,5	51,2	25,6	5,46	1,71
71-98(4)	11-14	756	383	756	383	51,2	25,6	5,46	1,71
99-119(5)	15-17	683	353	683	353	51,2	25,6	5,46	1,71
120-140(6)	18-20	365	205	365	205	51,2	25,6	5,46	1,71



Şekil 3:
DÇÇ'lerin optimum rijitlik dağılımları

Tablo 2. Optimizasyon işlemi sonrası elde edilen amaç fonksiyonlarının minimum değerleri ve doğal frekanslar

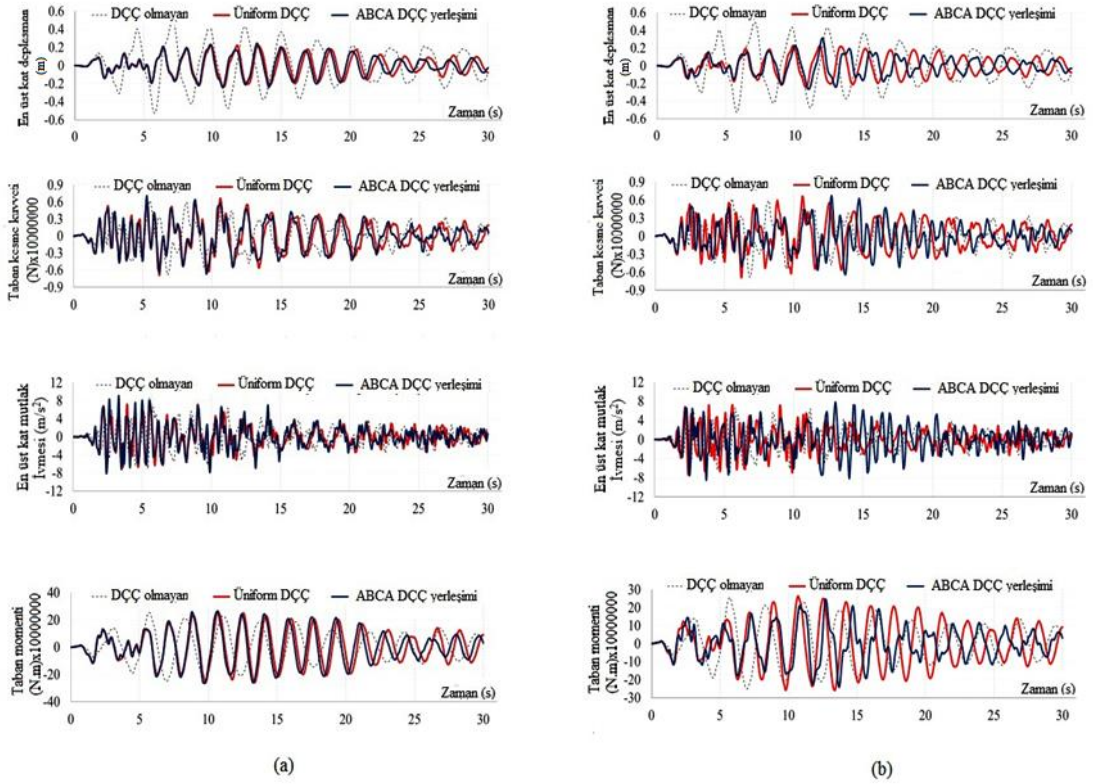
Amaç Fonksiyonu Tipi		Transfer Fonksiyonu Genliği		Doğal Frekans	
		İlk Adım	Son Adım	İlk Adım (rad/s)	Son Adım (rad/s)
Taban Kesme Kuvveti	En İyi	27739266,6	23259190,3	3,7974	3,4469
	En Kötü	28652663,0	23259206,1	3,7168	3,4473
	Ortalama	27914712,0	23259195,32	3,7524	3,4445
Rölatif Kat Deplasmanları Toplamı	En İyi	1,2452	1,184600	3,7595	3,9042
	En Kötü	1,2877	1,184610	3,6471	3,9047
	Ortalama	1,2833569	1,184604	3,7057	3,9041

3.1. Zaman Tanım Alanında Deprem Analizi

ABCA ve frekans alanından elde edilen optimum DÇÇ yerleşimi, El-Centro (NS) deprem ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında deprem analizi yapılmıştır. ABCA ile elde edilen optimum DÇÇ yerleşimi, üniform dağılım ve DÇÇ olmayan tasarım ile karşılaştırılarak sonuçlar Şekil 5'de gösterilmiştir.

Şekil 5'de görüldüğü gibi, DÇÇ olmayan tasarıma göre her iki optimum DÇÇ yerleşimi (Göreli yerdeğiştirmelerin toplamı ve taban kesme kuvveti amaç fonksiyonları) Göreli yerdeğiştirmelerin toplamını azaltmıştır. Ancak göreli kat yerdeğiştirmelerin toplamının maksimum değerleri arasındaki farklara bakıldığında, 1. amaç fonksiyonunun kullanılarak bulunan optimizasyon tasarımı taban kesme kuvvetine göre bulunan tasarıma göre daha iyi

performans gösterdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre optimum DÇÇ tasarımı, üniform dağılıma göre az miktarda iyileşme sağlamıştır.



Şekil 5:
20 katlı bina için elde edilen sonuçlar, (a) Amaç fonksiyonu göreli yerdeğiştirmelerin toplamı olan ABCA, (b) Amaç fonksiyonu taban kesme kuvveti olan ABCA

Sonuçlar incelendiğinde, amaç fonksiyonu olarak taban kesme kuvveti seçilen optimum tasarımda kuvvet değerlerinde önemli iyileştirmeler gözlenmiştir. Öte yandan amaç fonksiyonu olarak göreli yerdeğiştirmelerin toplamına göre bulunan optimum tasarımda ise, yerdeğiştirme değerlerinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Yine de her iki ABCA tasarımı, DÇÇ olmayan tasarıma ve üniform dağılıma göre daha iyi performans sergilemiştir.

Tablo 3'de iki ayrı amaç fonksiyonunun, zaman tanım alanındaki deprem analizleri sonucundaki maksimum performansları karşılaştırılmıştır. Göreli yerdeğiştirmelerin toplamına karşı gelen davranış söz konusu olduğunda, birinci amaç fonksiyonu için belirlenen çapraz yerleşimi daha iyi sonuç vermiştir. Ancak, taban kesme kuvveti söz konusu olduğunda ikinci amaç fonksiyonu için bulunan tasarım daha iyi performans göstermiştir.

Tablo 3. Optimizasyon algoritmasında kullanılan amaç fonksiyonlarının performans karşılaştırılması

Amaç Fonksiyonu Tipi	Rölatif Deplasmanların Toplamı İçin Tasarım ABCA	Taban Kesme Kuvveti İçin Tasarım ABCA
Rölatif Deplasmanların Toplamı (m)	0,245	0,312
Taban Kesme Kuvveti (N)x10^7	0,708	0,674

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yapay arı kolonisi optimizasyonu kullanılarak diyagonal çelik çaprazların (DÇÇ) optimum dağılımlarının bulunması için yeni bir algoritma sunulmuştur. Her bir DÇÇ rijitlik parametresi tasarım değişkeni olarak belirlenmiştir. Ayrıca aktif kısıt olarak, DÇÇ' lerin rijitlik parametrelerinin toplamı kullanılmıştır. Göreli yerdeğiştirmelerin toplamı ve taban kesme kuvveti olarak iki farklı amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Hazırlanan optimizasyon algoritmalarının DÇÇ dağılım sonuçları incelendiğinde, göreli yerdeğiştirmelerin toplamının amaç fonksiyonu olarak kullanıldığı algoritmada rijitlik dağılımlarının en alt kattan üst kata doğru azaldığı gözlenmektedir. Öte yandan amaç fonksiyonu olarak taban kesme kuvveti kullanılan algoritmada, rijitlik dağılımları 2.kattan itibaren bina orta kat yüksekliğine kadar azalan bir dağılım oluşturduğu gözlenmektedir.
- Zaman tanım alanında yapılan dinamik analiz sonuçları incelendiğinde; amaç fonksiyonu olarak taban kesme kuvveti seçilen optimum tasarımda kuvvet değerlerinde önemli iyileştirmeler gözlenmiştir. Öte yandan amaç fonksiyonu olarak göreli yerdeğiştirmelerin toplamının seçildiği tasarımda ise, göreli yerdeğiştirmelerin toplamında önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Yine de her iki ABCA tasarımı, DÇÇ olmayan tasarıma ve üniform dağılıma göre daha iyi performans sergilemiştir.
- Çalışmada ortaya konulan algortimalar ile, hangi tasarım amacı ön plana alınırsa o davranışın minimize edildiği gerek frekans davranışları gerekse zaman davranışları ile gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Aydin, E. and Boduroglu, M. H. (2008) Optimal placement of steel diagonal braces for upgrading the seismic capacity of the existing structures and its comparison with optimal dampers, J.Constr.SteelRes., 64(1), 72-86. doi: 10.1016/j.jcsr.2007.04.005

2. Aydin, E., Boduroglu, M. H. and Guney, D. (2007) Optimal damper distribution for seismic rehabilitation of planar building structures, Eng. Struct., 29(2), 176-185. doi: 10.1016/j.engstruct.2006.04.016

3. Aydin , E., Sonmez, M. and Karabork, T. (2015). Optimal placement of elastic steel diagonal braces using artificial bee colony algorithm, *Steel and Composite Structures, 19*(2), 349-368. doi:10.12989/scs.2015.19.2.349

4. Bansal, J. C., Sharma, H. and Jadon, S. S. (2013) Artificial bee colony algorithm: A survey, Int. J. Adv. Intell. Paradigms, 5(1-2), 123-159. doi: 10.1504/IJAIP.2013.054681

5. Bartera, F. and Giacchetti, R. (2003) Steel dissipating braces for upgrading existing building frames, J.Constr. Steel Res., 60(3-5), 751-769. doi: 10.1016/S0143-974X(03)00141

6. Cimellaro, G. P. (2007) Simultaneous stiffness-damping optimization of structures with respect to acceleration displacement and base shear, Eng. Struct., 29(11), 2853-2870. doi: 10.1016/j.engstruct.2007.01.001

7. Colunga, A. T. and Vergara, A. A. (1997) Comparative study on the seismic retrofit of a mid-rise steel building: steel bracing vs. energy dissipation, Earthq. Eng. Struct. D., 26(6), 637-655. doi: 10.1002/(SICI)1096-9845(199706)26:6

8. Downs, R. E., Hjelmstat, K. D. and Foutch, D. A. (1991). Evaluation of two RC building retrofit with steel bracing, IL: Department of Civil Engineering, University of Illinois at.

9. Frisch, V. K. (1967) Dance Language and Orientation of Bees. Cambridge: Harvard University Press. İsbn: 9780674418776

10. Gorgulu, T., Tama, Y. S., Yilmaz, S. and Kaplan, H. (2012) Strengthening of reinforced concrete structures with external steel shear walls, J. Constr. Steel Res., 70, 226-235. doi: 10.1016/j.jcsr.2011.08.010

11. Karaboga, D. (2005) An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, Kayseri: Computer Engineering Department: Computer Engineering Department, Erciyes University.

12. Karaboga, D. and Akay, B. (2009) Survey: Algorithms simulating bee swarm intelligence, Artif. Intell.Rev., 31, 61-85. doi: 10.1007/s10462-009-9127-4

13. Karaboga, D. and Basturk, B. (2008) On the performance of artificial bee Colony (ABC), Appl. Soft.Comp., 8, 687-697. doi: 10.1016/j.asoc.2007.05.007

14. Karaboga, D., Gorkemli, B., Ozturk, C. and Karaboga, N. (2014) A comprehensive survey: Artificial bee colony (ABC) algorithm and applications, Artif. Intell. Rev., 42, 21-57. doi: 10.1007/s10462-012-9328-0

15. Kawamata, S. and Masaki, Q. (1980) Strengthening effect of eccentric steel diagonal braces to existing RC frames, Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, İstanbul, Türkiye.

16. Kennedy, J., Eberhart, R. C. and Shi, Y. (2001) Swarm Intelligence, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers. Isbn:1-55860-595-9

17. Lee, K. S. and Geem, Z. W. (2004) A new structural optimization method based on the harmony search algorithm, Comput. Struct., 82(9-10), 781-798. doi: 10.1016/j.compstruc.2004.01.002

18. Lemmens, N., Jong, S., Tuyls, K. and Nowe, A. (2007) Bee behaviour in multi-agent systems: A bee foraging algorithm, Proceedings of the 7th ALAMAS Symposium, The Hague.

19. Maheri, M. R. and Sahebi, A. (1997) Use of steel bracing in reinforced concrete frames, Eng. Struct., 19(12), 1018-1024. doi: 10.1016/S0141-0296(97)00041-2

20. Miranda, E. (1991) Seismic evaluation and upgrading of existing structures, CA, USA: University of California at Berkeley.

21. Mitchell, D. and Dandurand, A. (1988) Repair and upgrading of concrete structures in Mexico City after the 1985 earthquake, Can. J. Civil Eng., 15(6), 1052-1066. doi: 10.1139/l88-138

22. Pham, D. T., Granbarzadeh, A., Koc, E. and Otri, S. R. (2006) The bee algorithm– A novel tool for complex optimization problems, Proceedings of Intelligent Production Machines and Systems (IPROMS). Cardiff.

23. Sonmez, M. (2011a) Artificial bee colony algorithm for optimization of truss structures, Appl. Soft.Comput. J., 11(2), 2406-2418. doi: 10.1016/j.asoc.2010.09.003

24. Sonmez, M. (2011b) Discrete optimum design of truss structures using artificial bee colony algorithm, Struct. Multidisc. Optim., 43(1), 85-97. doi: 10.1007/s00158-010-0551-5

25. Takewaki, I. (1999) Displacement-acceleration control via stiffness-damping collaboration, Earthq. Eng. Struct. D., 28(12), 1567-1585. doi: 10.1002/(SICI)1096-9845(199912)28:12

26. Takewaki, I. (2000) Optimum damper placement for planar building frames using transfer functions, Struct. Mult.-Disp. Optim., 20(4), 280-287. doi: 10.1007/s001580050158

27. Turker, T. and Bayraktar, A. (2011) Experimental and numerical investigation of brace configuration effects on steel structures, J. Construct. Steel Res., 67(5), 854-865. doi: 10.1016/j.jcsr.2010.12.008

28. Valle, C. E. (1980) Some lessons from the March 14, 1979 earthquake in Mexico City, Proceedings of 7th World Conference on Earthquake Engineering, İstanbul.

29. Valle, C. E., Foutch, D. A., Hjelmstad, K. D., Gutierrez, E. F. and Colunga, A. T. (1988) Seismic retrofit of RC building: A case study, Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering, Kyoto,Tokyo.

30. Wang, D. (2006) Optimal design of structural support positions for minimizing maximal bending moment, Finite Elem. Anal. Des., 43, 95-102. doi: 10.1016/j.finel.2006.07.004

31. Yamamato, Y. and Aoyama, H. (1987) Seismic behaviour of existing RC frame strengthened with retrofitting steel elements, Proceedings of U.S.-Japan Seminar on Repair and Retrofit of Existing Structures, Tsukuba, Japan.