





Araştırma Makalesi / Research Article


Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma Yöntemiyle 2018 Türk Çelik Tasarım Yönetmeliğine Göre Optimum Tasarımı

Optimum Design of Steel Frames According to 2018 Turkish Steel Design Code Using Genetic Algorithm

Zeynep ACAR ^{1,*}, Mehmet Sedat HAYALİOĞLU ²

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 21280, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1453030>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 14 Mart 2024

Revize, 16 Nisan 2024

Kabul, 16 Nisan 2024

Online Yayınlama, 27 Mayıs 2024

Anahtar Kelimeler

Çelik çerçeveler, Genetik algoritma, Optimum tasarım, SAP 2000

ARTICLE INFO

Article History

Received, 14 March 2024

Revised, 16 April 2024

Accepted, 16 April 2024

Available Online, 27 May 2024

Keywords

Steel frames, Genetic algorithm, Optimum design, SAP 2000

ÖZ

Yapısal taşıyıcı sistemlerinin optimum tasarımı yapı mühendisliğinde önemli bir konudur. Tasarımdaki amaç yeterli güvenliği sağlayan en ekonomik yapıyı oluşturmaktır. Öte yandan, bu amaç doğrultusunda projelendirilen yapıların ise, etkiyen yükler altındaki davranışının kabul edilebilir sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Böylece, etkiyen yüklerle emniyetle, belirli rijitlikle dayanabilen ve ağırlığı minimum olan yapının belirlenmesi, optimum tasarım problemini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, çelik bina çerçevelerinin 2018 Türk Çelik Yönetmeliği'nin yük ve tasarım koşullarıyla Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak optimum tasarımı yapılmıştır. Tasarımlarda gerekli koşulları sağlayan minimum ağırlıklı çerçevelerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle Genetik Algoritma optimizasyon yöntemini, çerçeve analizi ve Türk Çelik Tasarım Yönetmeliği koşullarıyla birleştiren bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Her aşamada programın doğruluğu test edilerek diğer aşamalara geçilip ve sonunda tüm aşamalar birleştirilmiştir. Program doğru çalıştıktan sonra geliştirilen programla farklı boyutlarda iki çerçeve örneğinin optimum tasarımı yapılarak sonuçlar SAP 2000 programının tasarımlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca geliştirilen yöntemin üstün ve zayıf yanları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak geliştirilen Genetik Algoritma yönteminin çelik çerçeve tasarım örneklerinde SAP 2000 programının tasarımlarına göre daha hafif çerçeveler elde edilmiştir.

ABSTRACT

Optimum design of structural skeletal systems is an important issue in structural engineering. The purpose of the designs is to create the most

***Sorumlu Yazar**

E-posta Adresleri: zeynepacar3633@gmail.com (Zeynep ACAR), hsead@dicle.edu.tr (Mehmet Sedat

HAYALİOĞLU)

economical structures that provides adequate safety. On the other hand, the behavior of the structures designed for this purpose under the applied loads must remain within acceptable limits. Thus, determining the structure that can withstand the applied loads safely and with a certain rigidity and whose weight is minimum constitutes the optimum design problem. In this study, the optimum design of steel building frames was made using the Genetic Algorithm method with the load and design conditions of the 2018 Turkish Steel Code. Obtaining the minimum weight frames which satisfy the required conditions has been aimed. First of all, a computer program which combines Genetic Algorithm optimization method with frame analysis and specifications of the Turkish Steel Design Code has been developed. At each stage, the accuracy of the program will be tested and the next stages will be passed, and at the end, all stages are combined. Moreover, the advantages and disadvantages of the developed method were evaluated. As a result, lighter frames were obtained in the steel frame design examples of the developed Genetic Algorithm method when compared to the designs of SAP 2000 program.

1. GİRİŞ

Çelik, insanlık tarihinin en eski dönemlerinden beri kullanılan bir malzemedir. İlk olarak çeşitli alet ve silah yapımında kullanılmıştır. Mühendislik yapılarında ise yaklaşık olarak 300 yıl öncesinde çelik köprüler, portatif çelik evler ve prefabrik evlerin uygulama alanına girmesiyle kullanılmaya başlandı. Çelik, mukavemeti, sünekliği, kullanım kolaylığı ve geri dönüşebilirliği nedeniyle günümüzde tercih edilen bir malzeme oldu. Günümüzde mühendislik yapıları tasarlanırken en iyisinin kısa zamanda ve minimum maliyetle modellenmesi gerekmektedir. Modellemeler, yapı çözümlerini pratikleştirirken problemlerini de basitleştirir bu sayede mühendislik çalışmalarında önemli rol oynar. Böylece optimum tasarım problemi olarak adlandırılan yapıya etkiyen yükleri emniyetle taşıyabilen, belirli rijitliğe dayanan ve minimum ağırlığı olan yapının belirlenmesi problemidir. Yapı, belirli deplasman ve mukavemet sınırlayıcıları altında analiz ve tasarım aşamasına gereksinim duyar. Böylesine karmaşık bir işlem hacminin elle yapılması oldukça zaman alıcı ve hata payı kaçınılmazdır. Böylece çözüm işlemlerinin bilgisayar programlarıyla yapabilmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir.

Optimizasyon yöntemlerinden biri olan Genetik Algoritma (GA) bu çalışmada anlatılmıştır. Bu yöntem, üreme (reproduksiyon), çaprazlama (krosuvır) ve mutasyon operatörlerini kullanarak en sağlıklı bireylerin hayatta kalma ilkesine göre en uygun bireyleri elde etmektedir. Burada çelik çerçevelerin 2018 Türk Çelik Tasarım Yönetmeliğinde [1] hesaplanan Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarımına (YDKT) göre GA optimizasyon yöntemini, çerçeve analizi ve adı geçen yönetmeliğinin koşullarıyla birleştiren bir bilgisayar program kodları geliştirilmektedir. İki çerçeve tasarım örneği bu programla çözümlenerek sonuçları SAP 2000 programının tasarım çözümleriyle karşılaştırılmıştır. Geliştirilen yöntemin üstün ve zayıf yanları değerlendirilmiştir.

Genetik algoritmaların (GA) ilk adımları Michigan Üniversitesi'nde John Holland, tarafından ortaya atıldı [2]. Bu konudaki temel çalışmalar Goldberg tarafından sürdürülmüştür [3]. Saka, optimum kriteri yaklaşımına dayanan optimum tasarım algoritmalarını kullanmıştır [4]. Çalışmasında AISC'ye göre yer değiştirme ve gerilme sınırlayıcıları altında yapı sisteminin minimum ağırlıklı ve problemlerin çözümü için bir program kodlamıştır. Düzlem çelik çerçevelerin optimum tasarımı için TS 648 yönetmenliğine göre standart kesitlerden oluşan bir genetik algoritma geliştirilmiştir [5]. Değertekin, yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin TS648 yönetmenliğine göre optimum tasarım yapan algoritma ve bilgisayar programı geliştirilmiştir [6]. Yarı-rijit birleşimli kirişlerde daha ekonomik bir kiriş tasarımı sonucuna varılmıştır. Bekiroğlu, GA ile çelik çerçeve sistemlerin minimum ağırlıklı tasarımını çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile yapmıştır [7]. Çalışmada elde edilen sonuçlar, GA'nın çelik çerçevelerin optimizasyonunda kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Değertekin, Ülker, Hayalioğlu, uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımı ve bunun bilgisayar programı geliştirilmiştir[8]. Çalışmada tabu arama yöntemi ve GA yöntemi kıyaslanmıştır. Sonuç olarak tabu arama yöntemiyle daha ekonomik tasarımlar elde edilmiştir. Bayar, düzlem çelik çerçevelerin, AISC-ASD (1989) ve AISC-LFRD (2001) yönetmenliğine göre genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarım yapan algoritma ve program geliştirilmiştir [9]. Çalışma sonucunda ASD ve LFRD ile yapılan çözümler karşılaştırılmıştır. Şeker, düzlemsel çelik çerçevelerin GA ile ağırlık optimizasyonunu yapmıştır[10]. TS 648 yapı gerilme, stabilite ve izin verilen deplasman ile ilgili koşullar kısıtlama olarak alınmıştır. GA'nın problemleri çözebilecek kapasitede olduğu uygun görülmüştür. Değertekin, Hayalioğlu, Görgün, geometrik bakımından lineer olmayan çelik çerçevelerin gelişmiş armoni arama (GAA) yöntemi ile optimum tasarım için algoritma sunmuşlardır [11]. GAA yönteminin optimum tasarımında kullanılacak bir yöntem olduğunu göstermişlerdir. Efe, çelik çerçeve sistemlerin, bilgisayar programı yardımıyla memetik algoritma modifiye edilmiştir [12]. Memetik algoritma ile yapılan tasarımların daha hafif olduğu sonucuna varılmıştır. Özalp, çelik taşıyıcı sistemli çerçeve tipi yapının ÇYTHYDE 2016, AISC 360-10 ve EUROCODE 3 yönetmenliğine göre analiz ve tasarımını yapmıştır[13]. Tezde ÇYTHYDE 2016 yönetmenliğinin, dünya çapında güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Genetik algoritma, genetik evrim mekanizmasını bilgisayar programlama dillerine uyarlanmasıyla oluşturulan bir optimizasyon yöntemidir. Yöntem doğal genetik kanunlardan yararlanılmıştır. En sağlıklı bireylerin hayatta kalması ilkesine dayanır. En sağlıklı bireyin seçilimi, algoritmayı oluşturan adımlar ve adımların işleyişi bu kısımda açıklanmaya çalışılmıştır. Genetik algoritmada her bireyin ikili sayı sistemine göre 0 ve/veya 1 sayısından oluşan bir kodlaması vardır. Bu sayılara gen, genlerin oluşturduğu diziye de kromozom denir. Bu dizi alt dizilerden oluşur ve her alt dizi

onluk sayı sistemine çevrilerek bir tam sayı kodu elde edilir. Bir çerçeve yapıyı düşünürsek bu tamsayı çerçeveyi oluşturan eleman gruplarının, seçilen bir kesit listesindeki sıra numarası olmaktadır.

Genetik algoritmayı farklı operatörler bulunmaktadır. Program yapısına bakıldığında üreme (reproduction), çaprazlama (crossover) ve mutasyon (mutation) operatörleri kullanılmıştır. Üreme operatöründe, ilk olarak üremenin olacağı topluluk (popülasyon) belirlenir. Popülasyondaki uygun bireyler eşleşme havuzuna kopya verir. Uygun olmayan ise popülasyondan atılır. Uygun olduğu belirlenen bireyler tekrar üreme olasılığı olduğundan eşleşme havuzuna gönderilir ve rastgele eşleştirilir. Çaprazlama esnasında eşleştirilen bireyler (ebeveyn) arasında belirli bir bölgede gen alışverişi olmakta, her ebeveynden farklı koda sahip iki çocuk olmaktadır. Tek noktalı, çift noktalı, üniform çaprazlama gibi çeşitli çaprazlama operatörleri bulunmaktadır. Mutasyon ise üçüncü operatördür. Çaprazlama operatöründen oluşan yeni bireylerden daha iyi birey olup olmadığını araştırmaktadır. Çaprazlamadan elde edilen her bir karakter için bilgisayar tarafından rastgele sayı üretilip mutasyon olasılığı ile karşılaştırılır. Rastgele üretilen sayı mutasyon olasılığından küçükse genin değeri değiştirilerek yeni birey elde edilir. Yani '0' ise '1' olur, '1' ise '0' olur.

Optimizasyonda amaç fonksiyonu minimum ağırlıklı yapıyı elde etmek için kullanılan fonksiyon aşağıda tanımlanmıştır.

$$W(x) = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{mk} \rho_i L_i \quad (1)$$

(1) Denkleminde; ' $W(x)$ ' çerçeve sisteminin toplam ağırlığını gösterir. ' A_k ' k' inci eleman grubundaki elemanların kesit alanını, ' mk ' k' inci gruptaki toplam eleman sayısını ' ρ_i ' ve ' L_i ' i' inci elemanın özgül ağırlığı ve uzunluğunu gösterir[14].

Problemin çözümünde asıl amaç yapının minimum ağırlığı olsa da yapının uygunluğunu belirlememizdeki en önemli faktör sınırlayıcı koşullarının sağlanmasıdır. Yapının davranışına bağlı kısıtlamalar, deplasman ve gerilme sınırlayıcılarıdır.

Deplasman sınırlayıcıları;

$$g_j(x) = \frac{\delta_j}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0, j=1, \dots, p \quad (2)$$

' δ_j ve δ_{ju} ': j'inci düğüm noktasının yer değiştirmesi ve onun üst sınırı, p sınırlanmış yer değiştirme sayısıdır.

Çift simetri eksenli elemanlarda eksenel basınç/eksenel çekme ve eğilme momenti etkileşimi Kaynak [1] Denk. (11.1a) ve Denk. (11.1b)' deki formüller esas alınarak oluşturulmuştur.

$$(a) \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için}$$

$$g_j(x) = \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_r}{M_c} \right) - 1 < 0 \quad i=1, \dots, m \quad (3)$$

$$(b) \frac{P_r}{P_c} \leq 0.2 \text{ için}$$

$$g_j(x) = \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_r}{M_c} \right) - 1 < 0 \quad i=1, \dots, m \quad (4)$$

Denklemlerindeki P_r , P_c , M_r ve M_c değerlerini elde etmek için Yönetmelikteki 6.,7.,8. ve 9. bölümler esas alınarak oluşturulmuştur [1].

' P_c ': Bölüm 7' e ve 8'e göre mevcut eksenel çekme ve basınç kuvveti dayanımıdır.

' P_n ': Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı. Bölüm 8 denk. (8.1) esas alınmıştır.

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (5)$$

$$P_c = \phi_c \times P_n \quad \phi_c = 0.90 \quad (6)$$

' M_n ': Eğilme etkisindeki elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı. Bölüm 9 denk. (9.2.2) esas alınmıştır.

$$M_c = \phi_b \times M_n \quad \phi_b = 0.90 \quad (7)$$

Yanal yer değiştirmesi önlenmemiş çerçeveler için burkulma boyu katsayısı, K , kolonun üst ve alt uçlarında yönetmenlik denklem 6.4 ile belirlenen G_A ve G_B büyüklüklerine bağlı olarak, denklem 6.6'dan yararlanarak hesaplanmıştır.

$$K = \sqrt{\frac{G_A (1.6G_B + 4.0) + (4G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}} \quad (8)$$

Topluluktaki i'inci birey için uygunluk ifadesi:

$$F_i = [\phi(x)_{\max} + \phi(x)_{\min}] - \phi_i(x) \quad (9)$$

Şeklindedir. Burada $\phi_i(x)$ ve F_i i-no.lu bireyin değiştirilmiş amaç fonksiyonu ve uygunluğu $\phi(x)_{\max}$ ve $\phi(x)_{\min}$ topluluktaki en büyük ve en küçük değiştirilmiş amaç fonksiyon değeridir.

i-nolu bireyin değiştirilmiş amaç fonksiyonu:

$$\phi_i(x) = W(x)_i (1 + PC) \quad (10)$$

Burada 'P' seçilmesi gereken bir parametredir. Örneklerde 10 alınmıştır. C ise sınırlayıcı zorlama katsayısıdır.

$$C = \sum_{j=1}^r C_j \quad (11)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Eğer $g_j(x) > 0$ ise $C_j = g_j(x)$ veya $g_j(x) < 0$ ise $C_j = 0$ şeklindedir: Burada 'r' çerçevedeki toplam sınırlayıcı sayısıdır.

Eğer tüm sınırlar sağlanmışsa C sifira eşit olacağından fonksiyonun değeri yapı ağırlığına eşit olmaktadır. Dolayısıyla yapı ağırlığının minimum olduğu ve tüm sınırlayıcıların sağlandığı durumlar optimum çözümü vermektedir.

Bu formüller doğrultusunda genetik algoritma FORTRAN programlama dilinde yazılmıştır.

Çelik çerçeve sistemlerin GA yöntemiyle optimum boyutlandırma adımları verilmiştir:

1. Giriş verisi olarak, çerçeve geometrik, malzeme ve yük özellikleri verilir. GA'nın parametreleri verilir.
2. Başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulur. Popülasyondaki her birey (çerçeve) ikili koda sahiptir. Bu kodlar onluk sayı sistemine çevrilerek, çerçeve eleman gruplarının önceden oluşturulmuş bir kesit listesindeki sıra numarası belirlenir.
3. Belirlenen bu kesitlerle YDKT yük birleşimlerini dikkate alarak, her çerçevenin analizi yapılır. Analiz sonucu çerçevenin deplasmanları ve iç kuvvetleri hesaplanır.
4. (1)-(13) Denklemleri kullanılarak, her bireyin (çerçevenin) uygunluğu hesaplanır.
5. Her birey uygunluk değerleriyle orantılı olarak eşleşme havuzuna kopyalarını verir. Bu arada uygunluğu kötü olan bireyler popülasyondan atılır. Sonuçta popülasyon büyüklüğü

(popülasyondaki toplam birey sayısı) değişmeyecek şekilde ayarlanır.

6. Eşleşme havuzunda bireyler rastgele eşleştirilir. Her çiftte belirlenen çaprazlama yöntemine göre, çaprazlama operatörü uygulanır (karşılıklı genler değiştirilir) ve böylece iki yeni evlat üretilir.
7. Yeni üretilen her bireye belirli bir olasılıkla mutasyon operatörü uygulanır. Böylece yeni bir nesil üretilmiş olur.
8. Üretilen her yeni nesile 3-7 arası adımlar, en son neslin popülasyonundaki bireylerin en az %80'ninin aynı olmasına kadar, tekrar uygulanır. Bu kriter sağlandığı zaman birbirinin aynı olan bireylerden bir tanesi optimum birey (çerçeve) olarak seçilir ve program durdurulur.

Veri yapısı sayısal ve açıklamalı olarak bir sonraki bölümde verilen tek açıklıklı dört katlı çerçeve için verilmektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

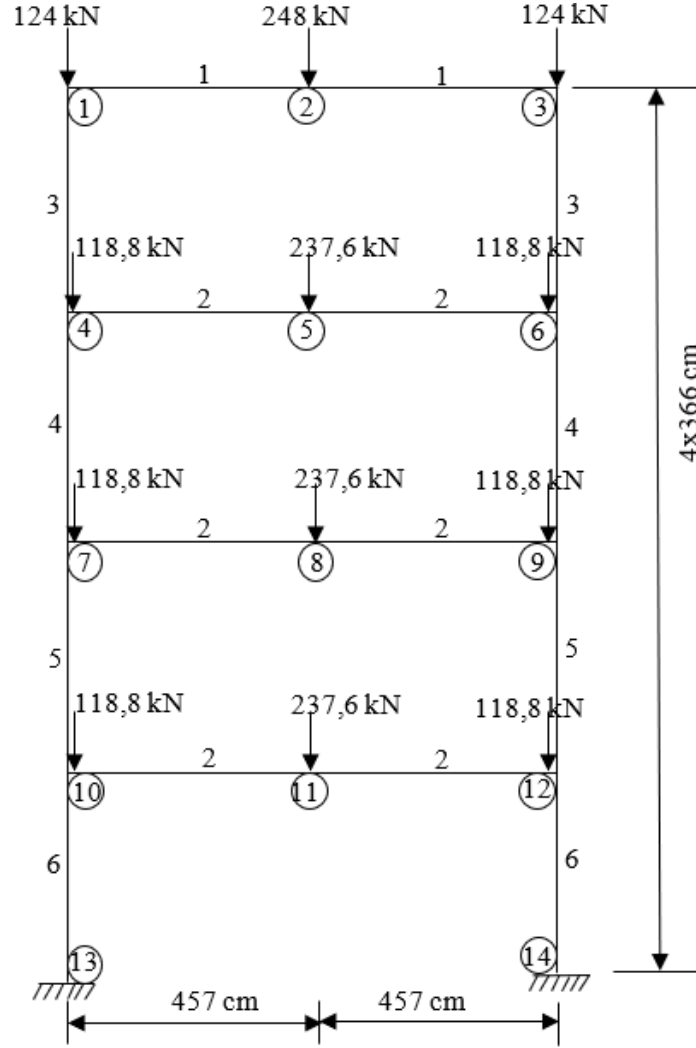
3.1 Sayısal Örnekler

Bu bölümde çelik çerçeve sistemlerin genetik algoritma ile optimum tasarımı için geliştirilen bilgisayar programının uygulaması olarak çeşitli örnekler çözülmüştür. Bütün örneklerde malzeme çelik olup elastisite modülü $E=20000 \text{ kN/cm}^2$, özgül ağırlığı $\rho=0,000076982 \text{ kN/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Tasarım değişkenlerini oluşturan çelik profillerin, kesit özellikleri Avrupa HE kesit profil listesinden A, B, M tipleri kullanılarak veri listesine girilmiştir. Bireylerdeki her bir kesit grubu 6 genden oluşmuştur. Dolayısıyla listedeki kesit sayısı 64 olarak belirlenir. Maksimum iterasyon sayısı 250 olarak belirlenmiştir. Popülasyon büyüklüğü ise 30 olarak seçilmiştir.

3.1.1 Tek Açıklıklı Dört Katlı Çerçeve

İlk tasarım örneği olan tek açıklıklı, dört katlı çelik çerçeveye ait eleman numaralandırılması, eleman gruplandırılması, yükleme durumu ve sistem geometrisi Şekil 1'de verilmiştir. Sistemin elemanları en üst kat kirişleri, sonraki kat kirişleri, her katın kolonları ayrı grup olacak şekilde 6 farklı eleman grubuna ayrılmıştır. Çerçevenin maruz kaldığı yükler, düşey doğrultuda her katta etki eden sabit yük (G)= 30 kN/m ve hareketli yük (Q)= 10 kN/m ve sadece çatı katına etki eden kar yükü (S)= $4,5 \text{ kN/m}$ etki etmektedir. Yatay doğrultuda ilk katta etki eden rüzgâr yükü (W_1)= 6 kN , $W_2=3 \text{ kN}$, ikinci kata etki eden $W_3=12 \text{ kN}$, $W_4=6 \text{ kN}$ ve diğer katlarda da $W_3=12 \text{ kN}$, $W_4=6 \text{ kN}$ etki etmektedir. Bu yükler TS 498-2021 Yönetmeliği [15] ve 2018 TBDY Deprem Yönetmeliğine [16] göre hesaplanmıştır. Kiriş yayılı yükleri düğüm noktalarına etkiyen tekil yüklere çevrilmiştir. Yük birleşimleri YDKT yönteminin yük birleşimlerine göre alınmıştır. Çeliğin yapı malzemesi S275 alınmıştır. Çeliğin karakteristik akma gerilmesi $F_y=27,5 \text{ kN/cm}^2$, çekme dayanımı $F_u=43 \text{ kN/cm}^2$ olarak alınmıştır.

1-3 numaralı düğüm noktalarının yatay deplasmanların sınır değerleri düşey yük birleşimlerinde 0,01 cm gibi küçük bir değer, deprem ve rüzgâr yüklerinin olduğu yük birleşimlerinde yapı yüksekliğinin üç yüzde biri, 4,88 cm, alınmıştır. 2, 5, 8, 11 numaralı düğüm noktalarının düşey deplasman sınır değerleri açıklığının üç yüzde biri; 3,047 cm alınmıştır. Kesit profil listesi HE 100A'dan başlayarak A, B, M tipleri olarak HE 700M'e kadar olan 64 kesitten oluşmaktadır.



Şekil 1. Tek Açıklıklı-Dört Katlı Çelik Çerçeve (1.2G+1.6Q+0.5S)

Problemin veri dosyası içeriği aşağıda açıklamasıyla sunulmuştur:

DÖRT KATLI TEK AÇIKLIKLI LINEER-ELASTİK DÜZLEM ÇERÇEVENİN GENETİK ALGORİTMAYLA OPTİMİZASYONU , KESİTLER : HE							
4	6	7	6	30	64	250	
16	14	6	2	20000.	27.5	43.	.000076982
1	0.	1464.					
2	457.	1464.					
3	914.	1464.					
4	0.	1098.					
5	457.	1098.					
6	914.	1098.					
7	0.	732.					
8	457.	732.					
9	914.	732.					
10	0.	366.					
11	457.	366.					
12	914.	366.					
13	0.	0.					
14	914.	0.					
2	1	2					
6	3	4	5	6	7	8	
2	9	10					
2	11	12					
2	13	14					
2	15	16					

Şekil 2. Veri Dosyası İlk Kısmı

Şekil 2'deki kısımda sistemin genel özellikleri girilmiştir. İlk satırda kat sayısı, grup sayısı, sınırlanmış deplasman sayısı, her grup için gen kodundaki bit sayısı, toplam popülasyon sayısı, listedeki kesit sayısı ve maksimum iterasyon sayısıdır. Daha sonra sistemin koordinat bilgileri ve elemanların grup bilgileri verilmektedir.

1	1	2	1	0			
2	2	3	1	0			
3	4	5	2	0			
4	5	6	2	0			
5	7	8	2	0			
6	8	9	2	0			
7	10	11	2	0			
8	11	12	2	0			
9	1	4	3	4			
10	3	6	3	4			
11	4	7	4	3			
12	6	9	4	3			
13	7	10	5	2			
14	9	12	5	2			
15	10	13	6	1			
16	12	14	6	1			
0	9	9	11	0	1	0	3
0	10	10	12	2	0	4	0
9	11	11	13	0	3	0	5
10	12	12	14	4	0	6	0
11	13	13	15	0	5	0	7
12	14	14	16	6	0	8	0
13	15	15	0	0	7	0	0
14	16	16	0	8	0	0	0
13	1	1	1				
14	1	1	1				
1	1						
12							

Şekil 3. Veri Dosyası İkinci Kısmı

Şekil 3'te, sistemi oluşturan elemanların başlangıç ve bitiş düğüm noktaları, hangi gruba ait oldukları ve kolon, kiriş ise kat numaraları girilmektedir. Daha sonra, kolonların A ve B ucuna birleşen sırasıyla üst-alt kolon ve sol-sağ kiriş numaraları verilmektedir. Son olarak, mesnet bilgileri ve yüklü düğüm sayısı verilmektedir.

1	0.	-124.00	0.
2	0.	-248.00	0.
3	0.	-124.00	0.
4	0.	-118.80	0.
5	0.	-237.60	0.
6	0.	-118.80	0.
7	0.	-118.80	0.
8	0.	-237.60	0.
9	0.	-118.80	0.
10	0.	-118.80	0.
11	0.	-237.60	0.
12	0.	-118.80	0.
1	0.	-124.00	0.
2	0.	-248.00	0.
3	0.	-124.00	0.
4	0.	-118.80	0.
5	0.	-237.60	0.
6	0.	-118.80	0.
7	0.	-118.80	0.
8	0.	-237.60	0.
9	0.	-118.80	0.
10	0.	-118.80	0.
11	0.	-237.60	0.
12	0.	-118.80	0.
1	0.	0.	0.
2	0.	0.	0.
3	0.	0.	0.
4	0.	0.	0.
5	0.	0.	0.
6	0.	0.	0.
7	0.	0.	0.
8	0.	0.	0.

Şekil 4. Veri Dosyası Üçüncü Kısım

Şekil 4'de, yüklü düğüm noktasının önce düşey ve yatay toplam yük değeri, sonra sadece düşey yükler, daha sonra sadece yatay yük değerleri verilmektedir.

8	0.	0.	0.
9	0.	0.	0.
10	0.	0.	0.
11	0.	0.	0.
12	0.	0.	0.
1	1	1	0.01
1	2	1	0.01
2	2	1	0.01
1	2	2	3.047
3	2	2	3.047
5	2	2	3.047
7	2	2	3.047

Şekil 5. Veri Dosyası Dördüncü Kısım

Şekil 5'te, sınırlanmış deplasmanlar ve üst sınır değerleri verilmektedir.

21.24	349.2	72.76	83.01	2.51	5.24	100.	8.	96.	56.	5.
26.04	449.5	89.91	104.2	2.53	9.25	100.	10.	100.	56.	6.
53.24	1143.	190.4	235.8	2.74	68.21	106.	20.	120.	56.	12.
25.34	606.2	106.3	119.5	3.02	5.99	120.	8.	114.	74.	5.
34.01	864.4	144.1	165.2	3.06	13.84	120.	11.	120.	74.	6.5
66.41	2018.	288.2	350.6	3.25	91.66	126.	21.	140.	74.	12.5
31.42	1033.	155.4	173.5	3.52	8.13	140.	8.5	133.	92.	5.5
42.96	1509.	215.6	245.4	3.58	20.06	140.	12.	140.	92.	7.
80.56	3291.	411.4	493.8	3.77	120.	146.	22.	160.	92.	13.
38.77	1673.	220.1	245.1	3.98	12.19	160.	9.	152.	104.	6.
54.25	2492.	311.5	354.	4.05	31.24	160.	13.	160.	104.	8.
97.05	5098.	566.5	674.6	4.26	162.4	166.	23.	180.	104.	14.
45.25	2510.	293.6	324.9	4.52	14.8	180.	9.5	171.	122.	6.
65.25	3831.	425.7	481.4	4.57	42.16	180.	14.	180.	122.	8.5
113.3	7483.	748.3	883.4	4.77	203.3	186.	24.	200.	122.	14.5
53.83	3692.	388.6	429.5	4.98	20.98	200.	10.	190.	134.	6.5
78.08	5696.	569.6	642.5	5.07	59.28	200.	15.	200.	134.	9.
131.3	10640.	967.4	1135.	5.27	259.4	206.	25.	220.	134.	15.
64.34	5410.	515.2	568.5	5.51	28.46	220.	11.	210.	152.	7.
91.04	8091.	735.5	827.	5.59	76.57	220.	16.	220.	152.	9.5
149.4	14600.	1217.	1419.	5.79	315.3	226.	26.	240.	152.	15.5
76.84	7763.	675.1	744.6	6.	41.55	240.	12.	230.	164.	7.5
106.	11260.	938.3	1053.	6.08	102.7	240.	17.	240.	164.	10.
199.6	24290.	1799.	2117.	6.39	627.9	248.	32.	270.	164.	18.
86.82	10450.	836.4	919.8	6.5	52.37	260.	12.5	250.	177.	7.5
118.4	14920.	1148.	1283.	6.58	123.8	260.	17.5	260.	177.	10.0
219.6	31310.	2159.	2524.	6.9	719.	268.	32.5	290.	177.	18.0
97.26	13670.	1013.	1112.	7.0	62.1	280.	13.	270.	196.	8.0
131.4	19270.	1376.	1534.	7.09	143.7	280.	18.	280.	196.	10.5
240.2	39550.	2551.	2966.	7.4	807.3	288.	33.	310.	196.	18.5

Şekil 6. Veri Dosyası Beşinci Kısım

Şekil 6'da profillerin kesit özellikleri tanımlanmaktadır.

112.5	18260.	1260.	1383.	7.49	85.17	300.	14.	290.	208.	8.5
149.1	25170.	1678.	1869.	7.58	185.	300.	19.	300.	208.	11.0
225.1	40950.	2559.	2927.	7.81	598.3	305.	29.	320.	208.	16.0
303.1	59200.	3482.	4078.	8.0	1408.	310.	39.	340.	208.	21.0
124.4	22930.	1479.	1628.	7.49	108.	300.	15.5	310.	225.	9.0
161.3	30820.	1926.	2149.	7.57	225.1	300.	20.5	320.	225.	11.5
312.	68130.	3796.	4435.	7.95	1501.	309.	40.	359.	225.	21.0
133.5	27690.	1678.	1850.	7.46	127.2	300.	16.5	330.	243.	9.5
170.9	36660.	2156.	2408.	7.53	257.2	300.	21.5	340.	243.	12.0
315.8	76370.	4052.	4718.	7.9	1506.	309.	40.	377.	243.	21.0
142.8	33090.	1891.	2088.	7.43	148.8	300.	17.5	350.	261.	10.0
180.6	43190.	2400.	2683.	7.49	292.5	300.	22.5	360.	261.	12.5
318.8	84870.	4297.	4989.	7.83	1507.	308.	40.	395.	261.	21.0
159.	45070.	2311.	2562.	7.34	189.	300.	19.	390.	298.	11.0
197.8	57680.	2884.	3232.	7.4	355.7	300.	24.	400.	298.	13.5
325.8	104100.	4820.	5571.	7.7	1515.	307.	40.	432.	298.	21.0
178.0	63720.	2896.	3216.	7.29	243.8	300.	21.	440.	344.	11.5
218.0	79890.	3551.	3982.	7.33	440.5	300.	26.	450.	344.	14.0
335.4	131500.	5501.	6331.	7.59	1529.	307.	40.	478.	344.	21.0
197.5	86970.	3550.	3949.	7.24	309.3	300.	23.	490.	390.	12.0
238.6	107200.	4287.	4815.	7.27	538.4	300.	28.	500.	390.	14.5
344.3	161900.	6180.	7094.	7.46	1539.	306.	40.	524.	390.	21.0
211.8	111900.	4146.	4622.	7.15	351.5	300.	24.	540.	438.	12.5
254.1	136700.	4971.	5591.	7.17	600.3	300.	29.	550.	438.	15.0
354.4	198000.	6923.	7933.	7.35	1554.	306.	40.	572.	438.	21.0
226.5	141200.	4787.	5350.	7.05	397.8	300.	25.	590.	486.	13.0
270.	171000.	5701.	6425.	7.08	667.2	300.	30.	600.	486.	15.5
363.7	237400.	7660.	8772.	7.22	1564.	305.	40.	620.	486.	21.0
241.6	175200.	5474.	6136.	6.97	448.3	300.	26.	640.	534.	13.5
286.3	210600.	6480.	7320.	6.99	739.2	300.	31.	650.	534.	16.0

Şekil 7. Veri Dosyası Altıncı Kısım

373.7	281700.	8433.	9657.	7.13	1579.	305.	40.	668.	534.	21.0
260.5	215300.	6241.	7032.	6.84	513.9	300.	27.	690.	582.	14.5
306.4	256900.	7340.	8327.	6.87	830.9	300.	32.	700.	582.	17.0
383.	329300.	9198.	10540.	7.01	1589.	304.	40.	716.	582.	21.0
HE 100A	HE 100B	HE 100M	HE 120A	HE 120B	HE 120M	HE 140A	HE 140B	HE 140M	HE 160A	HE 160B
HE 160M	HE 180A	HE 180B	HE 180M	HE 200A	HE 200B	HE 200M	HE 220A	HE 220B	HE 220M	HE 240A
HE 240B	HE 240M	HE 260A	HE 260B	HE 260M	HE 280A	HE 280B	HE 280M	HE 300A	HE 300B	HE 300C
HE 300M	HE 320A	HE 320B	HE 320M	HE 340A	HE 340B	HE 340M	HE 360A	HE 360B	HE 360M	HE 400A
HE 400B	HE 400M	HE 450A	HE 450B	HE 450M	HE 500A	HE 500B	HE 500M	HE 550A	HE 550B	HE 550M
HE 600A	HE 600B	HE 600M	HE 650A	HE 650B	HE 650M	HE 700A	HE 700B	HE 700M		

Şekil 8. Veri Dosyası Yedinci Kısım

Şekil 7 ve Şekil 8’de, profil kesit özelliklerinin devamı ve tanımlanan profillerin isimleri girilmektedir.

Programın çalıştırılmasından sonra çıkış dosyası yazdırılır. Çıkış dosyasında ilk kısımda veri dosyasından alınan yapıya ait genel bilgiler yer almaktadır. Verilen bilgiler doğrultusunda bireylerin analizi yapılarak ağırlık ve deplasman değerleri belirlenir.

```
-----
30 NOLU BİREYİN AĞIRLIĞI= .66278D+02
.66278E+02 .10687E+03 .94124E+02

MUTASYONLARIN SAYISI = 1
RT= .83333D+00
IPM= 30
SINIRLANMIŞ DEPLASMANLAR :
.737589315D-03 -.113427649D-14 -.737589315D-03 -.184502799D+01 -.300497160D+01
-.224023751D+01 -.233397650D+01
ÇUBUKLARIN MUKAVEMET KISIT FONKSİYON DEĞERLERİ :
-.51859D+00 -.51859D+00 -.27782D+00 -.27782D+00 -.37018D+00 -.37018D+00 -.34698D+00 -.34698D+00 -.50564D-02 -.50564D-02
-.37644D+00 -.37644D+00 -.42530D+00 -.42530D+00 -.40407D+00 -.40407D+00
132 NESİL SONRA OPTİMUM AĞIRLIK .66278D+02
53 38 7 29 35 35
HE 550A HE 340A HE 140A HE 280B HE 320A HE 320A
20:20:52:12
```

Şekil 9. Çıkış Dosyası Gösterimi

Programın çalıştırılması ile sistemin Genetik Algoritma ile optimum tasarım sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Genetik Algoritma ile Tek Açıklıklı- Dört Katlı Çerçeve Sistemin Tasarımı

Optimum Ağırlık(kN)	Kesitler						İterasyon Sayısı
	1.Grup	2.Grup	3.Grup	4.Grup	5.Grup	6.Grup	
66,278	53	38	7	29	35	35	132
	HE 550A	HE340A	HE 140A	HE 280B	HE 320A	HE 320A	

Burada GA ile elde edilen çerçeve 1.2G+1.6Q+0.5S yük birleşiminden elde edilmiş ve diğer yük birleşimlerinden elde edilen çerçevelere göre en ağır olanıdır. Bu tasarımda deplasman ve elemanların mukavemet sınırlayıcıları sağlanmıştır.

Aynı çerçevenin GA'da kullanılan kesit listesiyle SAP 2000'e göre tasarım sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Burada tasarım, 2018 Türk Çelik Yönetmeliği YDKT yöntemiyle aynı olan AISC 360-10 LFRD yöntemiyle yapılmıştır[17].



Şekil 10. SAP 2000 Tasarım Sonucu

Çizelge 2. SAP 2000 ile Tek Açıklıklı- Dört Katlı Çerçeve Sisteminin Tasarımı

Optimum Ağırlık(kN)	Kesitler					
	1.Grup	2.Grup	3.Grup	4.Grup	5.Grup	6.Grup
77,6184	HE 300B	HE 300B	HE 300B	HE 300B	HE 300B	HE 400A

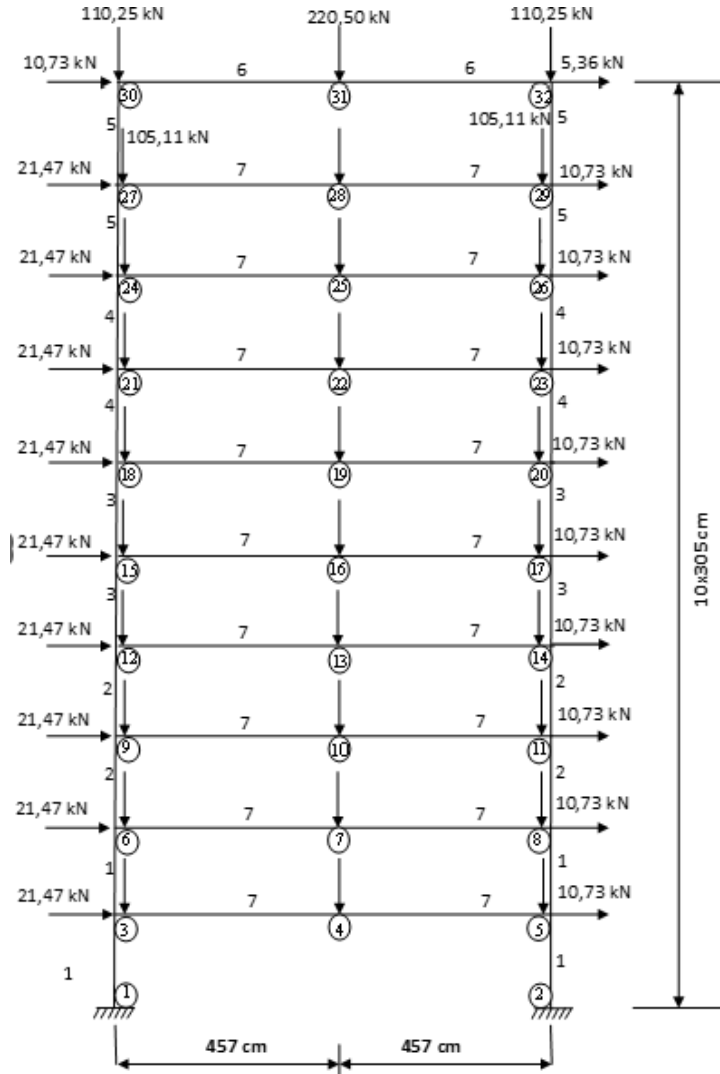
Problemin sonuçları karşılaştırıldığında Genetik algoritma ile tasarlanan optimum çerçevenin SAP 2000 ile elde edilen tasarıma oranla % 14,6 daha hafif olduğu görülmektedir.

3.1.2 Tek Açıklıklı On Katlı Çerçeve

İkinci tasarım örneği olan tek açıklıklı, on katlı çelik çerçeveye ait eleman numaralandırılması, eleman gruplandırılması, yükleme durumu ve sistem geometrisi Şekil 11'de verilmiştir. Sistemin elemanları en üst kat kirişleri, sonraki kat kirişleri, her iki katın kolonları ayrı grup olacak şekilde 7 farklı eleman grubuna ayrılmıştır. Çerçevenin maruz kaldığı yükler, düşey doğrultuda her katta etki eden sabit yük (G)=30 kN/m ve hareketli yük(Q)=10 kN/m ve sadece çatı katına etki eden kar yükü (S)=4,5

kN/m etki etmektedir. Yatay doğrultuda ilk katta etki eden rüzgâr yükü (W_1) =6 kN, W_2 =3 kN, ikinci kata etki eden W_3 =12 kN, W_4 =6 kN ve diğer katlarda da W_3 =12 kN, W_4 =6 kN etki etmektedir. Bu yükler TS 498-2021 Yönetmeliği ve 2018 TBDY Deprem Yönetmeliğine göre hesaplanmıştır. Kiriş yayılı yükleri düğüm noktalarına etkileyen tekil yüklere çevrilmiştir. Yük birleşimleri YDKT yönteminin yük birleşimlerine göre alınmıştır. Çeliğin yapı malzemesi S235 alınmıştır. Çeliğin karakteristik akma gerilmesi F_y =23,5 kN/cm², çekme dayanımı F_u =36 kN/cm² olarak alınmıştır.

En üst katın 31 ve 28'inci düğüm noktalarının en büyük deplasmanların sınır değeri yapı yüksekliğinin üç yüzde biri, 10,17cm, alınmıştır. 28 no.lu düğüm noktasının düşey deplasman sınır değeri açıklığının üç yüzde biri; 3,047 cm, alınmıştır. Kesit profil listesi HE 100A' dan başlayarak A, B, M tipleri olarak HE 700M'e kadar olan 64 kesitten oluşmaktadır.



Şekil 11. Tek Açıklıklı-On Katlı Çelik Çerçeve (1.2G+1.Q+0.5S+1.6WSOL)

Programın çalıştırılmasından sonra çıkış dosyası yazdırılır. Verilen bilgiler doğrultusunda bireylerin analizi yapılarak ağırlık ve deplasman değerleri belirlenir. Program durdurma kriteri sağlanıncaya kadar optimum yapının ağırlığı ve grupların kesit bilgileri verilir. Şekil 12’de verildiği gibi çıkış dosyası sonuç gösterimi verilmiştir.

```
-----
30 NOLU BİREYİN AĞIRLIğI= .20917D+03
.20917E+03 .21942E+03 .20982E+03

MUTASYONLARIN SAYISI = 1
RT= .86667D+00
IPM= 30
SINIRLANMIŞ DEPLASMANLAR :
.968202128D+01 .966686796D+01 .965171464D+01 -.282758345D+01 -.174482136D+01
ÇUBUKLARIN MUKAVEMET KISIT FONKSİYON DEĞERLERİ :
-.15544D-01 -.16738D-01 -.20504D+00 -.20440D+00 -.19844D-01 -.19932D-01 -.85253D-01 -.85253D-01 -.11510D+00 -.11510D+00
-.22631D+00 -.22631D+00 -.23370D+00 -.23371D+00 -.35982D+00 -.35980D+00 -.51404D+00 -.51418D+00 -.31648D+00 -.31638D+00
-.39024D+00 -.39024D+00 -.60639D+00 -.60009D+00 -.60133D+00 -.60133D+00 -.61469D+00 -.61469D+00 -.60746D+00 -.60746D+00
-.59616D+00 -.59616D+00 -.61583D+00 -.61583D+00 -.62572D+00 -.62572D+00 -.63062D+00 -.63062D+00 -.63129D+00 -.63129D+00
118 NESİL SONRA OPTİMUM AĞIRLIK .20917D+03
54 47 24 41 35 39 47
HE 550B HE 450A HE 240M HE 360A HE 320A HE 340B HE 450A
20:49:06:43
```

Şekil 12. 2. Örnek Çıkış Dosyası Gösterimi

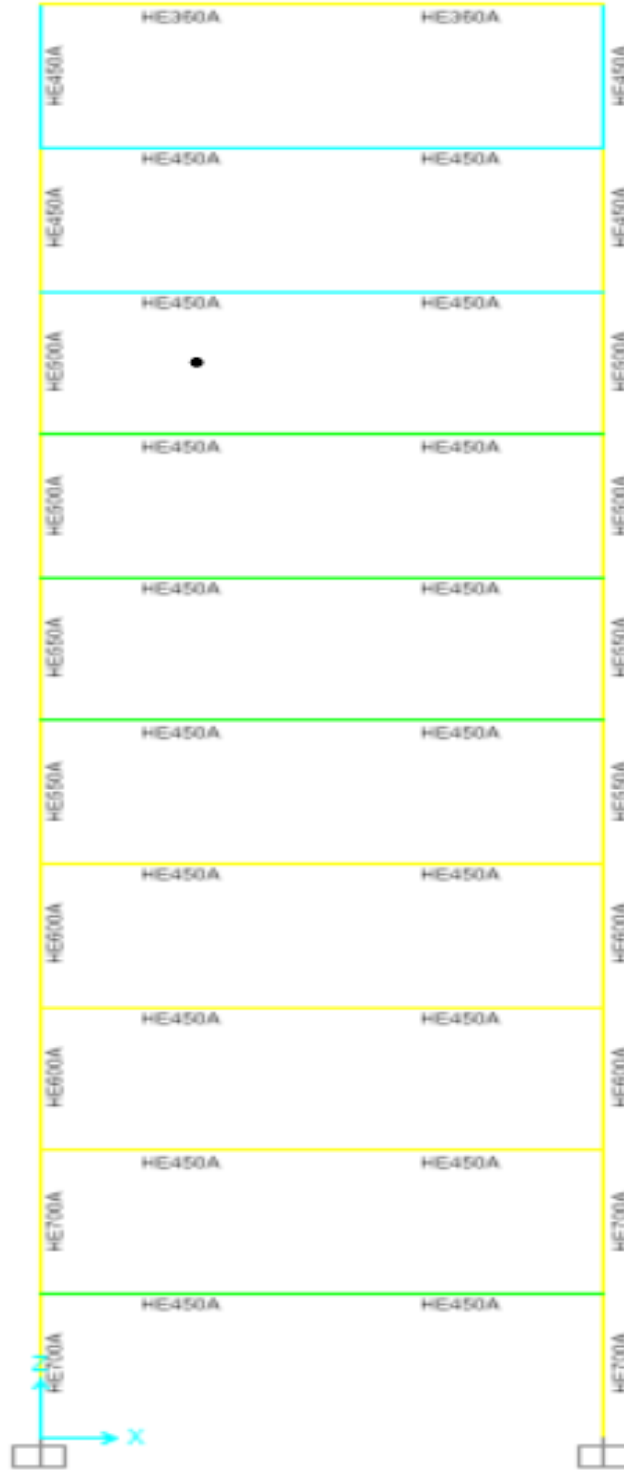
Programın çalıştırılması ile sistemin Genetik Algoritma ile optimum tasarım sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Genetik Algoritma ile Tek Açıklıklı- On Katlı Çerçeve Sistemin Tasarımı

Optimum Ağırlık(kN)	Kesitler						
	1.Grup	2.Grup	3.Grup	4.Grup	5.Grup	6.Grup	7.Grup
209,17	54	47	24	41	35	39	47
	HE 550B	HE450A	HE240M	HE 360A	HE 320A	HE 340B	HE 450A

Burada GA ile elde edilen çerçeve 1.2G+1.Q+0.5S+1.6WSOL yük birleşiminden elde edilmiş ve diğer yük birleşimlerinden elde edilen çerçevelere göre en ağır olanıdır. Bu tasarımda deplasman ve elemanların mukavemet sınırlayıcıları sağlanmıştır.

Problemin SAP 2000'e göre tasarımı Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. SAP 2000 Tasarım Sonucu

Çizelge 4. SAP 2000 ile Tek Açıklıklı- On Katlı Çerçeve Sistemin Sonucu

Optimum Ağırlık(kN)	Kesitler						
	1.Grup	2.Grup	3.Grup	4.Grup	5.Grup	6.Grup	7.Grup
223,910	HE 700A	HE 600A	HE 550A	HE 600A	HE 450A	HE 360A	HE450A

Problemin sonuçları karşılaştırıldığında genetik algoritma ile elde edilen tasarımının SAP 2000 ile elde edilen tasarıma oranla %6,6 daha hafif olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çelik çerçeve sistemlerinin GA optimizasyon yöntemiyle 2018 Türk Çelik Yönetmeliği [1] YDKT yönteminin yük birleşimleri ve tasarım denklemlerine göre optimum tasarım yapılmıştır. İlk olarak ilgili yönetmeliklere göre yapıya etkiyen yükler belirlenmiştir. Bu yükler altında adı geçen yönetmeliğinin koşulları altında minimum ağırlık tasarımı (optimum tasarım) yapılmıştır. GA ile tasarımda program farklı başlangıç popülasyonlarıyla 5-10 kere çalıştırılmış ve bu çözümlerden en uygun olanı alınmıştır. Bazı uygun olmayan çözümler: örneğin alt kat kolon kesitlerinin üst kat kolon kesitlerinden küçük çıkması durumunda bu tasarımlar elenmişlerdir. Bu GA tasarımında HE ayrık kesitlerinin sadece A, B, M tiplerinin kullanılmasından ve ara değerlerdeki kesitlerin kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Profil listesinde HE kesitlerin sadece A, B, M tipleri bulunmasından dolayı SAP 2000 çözümlerinde de aynı kesit listesi kullanılmıştır. GA tasarımında çeşitli yük birleşimlerinden elde edilen en ağır çerçeve göz önüne alınmıştır. SAP 2000 programı ise her eleman grubuna mümkün olan en küçük kesiti veren farklı yük birleşimlerinden seçmiştir. Buna rağmen, sayısal örneklerden aynı koşullar altında GA tasarımlarının SAP 2000 tasarımlarına göre %6,6- 14,6 daha hafif olduğu görülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uydıklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Zeynep ACAR: Veri toplama, verilerin düzenlenmesi, yazma, test ve kontrol. Mehmet Sedat HAYALİÖĞLU: Gözetim, analiz, veri düzenleme, inceleme, liderlik sorumluluğu ve sonuçların yorumlanması.

KAYNAKLAR

- [1] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik*. (2018). Erişim Tarihi: 10.02.2024. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://csb.gov.tr/>.
- [2] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Michigan: The university of Michigan Press, 1975.
- [3] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithm in Search Optimization and Machine Learning*. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [4] M. P. Saka, "Optimum Design of Steel Frames with Stability Constraints," *Computer and structures*, c. 41, sayı. 6, ss. 1365-1377, 1991.
- [5] A. Daloğlu ve M. Armutçu, "Genetik Algoritma ile Düzlem Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı", *Teknik Dergi*, c. 9, sayı. 42, ss. 483-487, 1998.
- [6] S. Ö. Değertekin, "Yarı-rijit Birleşimli Çelik Çerçeve Sistemlerin Genetik Algoritma Yöntemiyle Optimum Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2001.
- [7] S. Bekiroğlu, "Genetik Algoritma ile Çelik Çerçevelerin Optimum Boyutlandırılması," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2003.
- [8] S. Ö. Değertekin, M. Ülker ve M. S. Hayalioğlu, "Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama ve Genetik Algoritma Yöntemleri ile Optimum Tasarımı", *İMO Teknik Dergi*, c. 17, sayı. 83, ss. 3917-3934, 2006.
- [9] G. Y. Bayar, "Çerçeve Taşıyıcı Sistemlerin Optimum Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2008.
- [10] T. Şeker, "Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [11] S. Ö. Değertekin, M. S. Hayalioğlu ve H. Görgün, "Geometrik Bakımından Lineer Olmayan Yarı-rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Gelişmiş Armoni Arama Yöntemi ile Optimum Tasarımı," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 2, sayı. 1, ss. 45-56, 2011.
- [12] Y. Efe, "Çelik Çerçevelerin Memetik Algoritma ile Optimum Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2015
- [13] Y. Özalp, "Çelik Taşıyıcı Sistemli Çerçeve Tipi Yapının ÇYTHYDE 2016, AISC 360-10 ve EUROCODE 3 Yönetmenliğine Göre Analiz ve Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Ankara, 2020.

- [14] M. S. Hayalioğlu ve S. Ö. Değertekin, “Design of Non-linear Steel Frames for Stress and Displacement Constraints with Semi-Rigid Connections Via Genetic Optimization. Structural and Multidisciplinary Optimization”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, c. 27, ss. 259-271, 2004.
- [15] T. 498, *Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*. (2021). Erişim Tarihi: 16.03.2024. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://www.betoncelik.com>.
- [16] T. B. D. Yönetmenliği, *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*. (2018). Erişim Tarihi: 12.02.2024. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr>.
- [17] A. 360-10, *Specification for Structural Steel Buildings*. (2010). Erişim Tarihi: 13.02.2024 [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://docs.google.com>.

Copyright © 2024 Acar ve Hayalioğlu. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).