



**SICAKLIK ETKİSİ ALTINDAKİ ÇELİK KÖPRÜ
YAPILARIN GUGUK KUŞU ARAMA ALGORİTMASI
İLE OPTİMUM TASARIMI**

Meryem KELEŞ

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği
Anabilim Dalı
Doç. Dr. Musa ARTAR
2022
(Her Hakkı Saklıdır)**

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI

**SICAKLIK ETKİSİ ALTINDAKİ ÇELİK KÖPRÜ YAPILARIN GUGUK KUŞU ARAMA
ALGORİTMASI İLE OPTİMUM TASARIMI**

(Optimum Design of Steel Bridge Structures Under the Influence of Temperature with Cuckoo Search
Algorithm)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meryem KELEŞ

Danışman: Doç. Dr. Musa ARTAR

Bayburt
Ağustos, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Doç. Dr. Musa ARTAR danışmanlığında, 192202007 numaralı Meryem KELEŞ tarafından hazırlanan “Sıcaklık Etkisi Altındaki Çelik Köprü Yapıların Guguk Kuşu Arama Algoritması ile Optimum Tasarımı” adlı bu çalışmatarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :..... İmza:

Jüri Üyesi :..... İmza:

Jüri Üyesi :..... İmza:

Bu tezin Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

...../...../.....

Doç. Dr. Murat KUL
Enstitü Müdürü

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sıcaklık Etkisi Altındaki Çelik Köprü Yapıların GUGUK KUŞU ARAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMUM TASARIMI” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

.../.../...

Meryem KELEŞ

TEŞEKKÜR

Çalışma süresince her türlü yönlendirici fikirleriyle, bana her zaman yardımcı olan beraber çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum danışmanım Doç. Dr. Musa ARTAR'a,

Hayatta yoluma çıkan kişilikleriyle en büyük şanslarımdan biri olarak gördüğüm beni her zaman motive eden can dostlarım Afranur Yaren AYDOĞDU'ya ve Elif YILMAZ'a,

Son olarak tüm mücadeleimde aldığım kararları destekleyen, güvenen ve bu günlere gelmemde en büyük rol oynayan babam Mehmet Salih KELEŞ'e, annem Aynur KELEŞ'e, aileme ve amcalarıma,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Meryem Keleş

Ağustos/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SICAKLIK ETKİSİ ALTINDAKİ ÇELİK KÖPRÜ YAPILARIN GUGUK KUŞU ARAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMUM TASARIMI

Meryem KELEŞ

Ağustos 2022, Sayfa 52

Optimum tasarım, geliştiriciler tarafından belirli standartlara ve sınırlamalara uyum sağlayan en verimli sonucu elde etmeyi amaçlayan işlemlerin tamamıdır. Yapı mühendisliğinde çelik yapıların minimum ağırlıkta optimum tasarımı, istenilen şartları sağlayacak minimum yapı ağırlığı ile yapının tasarımını gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla geliştirilen optimizasyon algoritma teknikleri yapı sistemlerinin optimum tasarım çözümleri için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, literatürden alınan düzlem çelik kafes sistem problemleri öncelikle literatürde belirtilen sınırlayıcılara göre minimum yapı ağırlığı için çözülmüştür. Akabinde bu sınırlayıcılara sıcaklık etkisi de dahil edilerek çözümler yenilenmiştir. Bunun için MATLAB programında sonlu elemanlar yöntemiyle (SEM) çalışan bir program kodlanmıştır. Bu çalışmada algoritma yöntemlerinden biri olan Guguk Kuşu Arama Optimizasyonu (CSO) tercih edilmiştir. Kullanılan sınırlayıcılar, gerilme sınırlayıcıları (AISC-ASD 1989), deplasman sınırlayıcıları ve ilave olarak da sıcaklık etkisidir. Elde edilen sonuçlar literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Sıcaklık etkisinin düzlem çelik kafes sistemlerin optimum tasarımında yapı ağırlığını artırdığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzlem çelik kafes sistem, guguk kuşu arama optimizasyonu, MATLAB, sıcaklık etkisi, optimum tasarım.

ABSTRACT

MASTER THESIS

OPTIMUM DESIGN OF STEEL BRIDGE STRUCTURES UNDER THE INFLUENCE OF TEMPERATURE WITH CUCKOO SEARCH ALGORITHM

Meryem KELEŞ

August 2022, Page 52

Optimal design is the whole process by the developers aimed at achieving the most efficient result, compliance with certain standards and limitations. In structural engineering, the optimum design of steel structures with minimum weight aims to realize the design of the structure with minimum structure weight that will provide the desired conditions. Optimization algorithm techniques developed for this purpose are used for optimum design solutions of structural systems. In this study, the plane steel truss system problems taken from the literature were first solved for the minimum structure weight according to the limiters specified in the literature. Subsequently, in addition to these limiters, the solutions were renewed by including the temperature effect. For this, a program that works with the finite element method (FEM) is coded in the MATLAB program. In this study, Cuckoo Search Optimization (CSO), one of the algorithm methods, was preferred. The limiters used are stress limiters (AISC-ASD 1989), displacement limiters and in addition the temperature effect. The results obtained should be compared with the results of the literature. It has been observed that the temperature effect increases the structure weight in the optimum design of plane steel truss systems.

Keywords: Plane steel truss system, cuckoo search optimization, MATLAB, temperature effect, optimum design.

İÇİNDEKİLER

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş.....	1
Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	1

İKİNCİ BÖLÜM

Optimum Tasarım	10
Tasarım Değişkenleri ve Parametreler	10
Amaç Fonksiyonu	10
Sınırlayıcılar	11
Gerilme Sınırlayıcıları	11
Deplasman Sınırlayıcıları	12

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Düzlem Kafes Sistemlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi.....	14
---	----

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Guguk Kuşu Arama Optimizasyonu.....	18
Guguk Kuşunun Üreme Biçimi.....	18
Guguk Kuşu Arama Optimizasyonu (CSO).....	19
Guguk Kuşu Arama Optimizasyonunun (CSO) Kodlaması	20
Guguk Kuşu Arama Optimizasyonunun Akış Şeması	20

BEŞİNCİ BÖLÜM

Köprü Yapılar	22
Çelik Köprüler.....	24
Sıcaklık Etkisi.....	26

ALTINCI BÖLÜM

Uygulamalar	29
-------------------	----

1. Çalışma 46 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği	29
2. Çalışma 113 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği	33
3. Çalışma 61 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği	37
4. Çalışma 157 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği	39
5. Çalışma 138 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği	41

YEDİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKÇA.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	52



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Düzlem kafes sistemde çubuk kuvvet elemanı.....	14
Şekil 2. Lokal koordinat sisteminde iki boyutlu düzlem kafes elemanı.....	15
Şekil 3. Global koordinat sisteminde iki boyutlu düzlem kafes elemanı.....	15
Şekil 4. Doğrultma kosinüsleri.....	16
Şekil 5. Guguk kuşlarının aynı desen ve renkteki yumurta taklidi.....	18
Şekil 6. Diğer yumurtaları yuvadan atan guguk yavrusu (a), guguk kuşu (b).	19
Şekil 7. CSO' nun akış şeması.....	21
Şekil 8. Kafes giriş köprü.....	23
Şekil 9. Warren tipi kafes giriş köprü.....	23
Şekil 10. Kemer köprüler (a), (b).	23
Şekil 11. Konsol köprü.	24
Şekil 12. Asma köprüler (a), (b).	24
Şekil 13. Aldatma geçidi köprüsü, Washington eyaleti (a), konsol makas köprü, Columbia (b).	25
Şekil 14. George Washington köprüsü (a), Manhattan köprüsü (b).	25
Şekil 15. Köprü yangını.	26
Şekil 16. Yüksek sıcaklıklarda karbon çeliğin sıcaklık-azaltma faktörü grafiği.	28
Şekil 17. 46 elemanlı düzlem kafes sistem.	31
Şekil 18. 46 elemanlı düzlem kafes sistemin ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.	32
Şekil 19. 113 elemanlı düzlem kafes köprü.	34
Şekil 20. 113 elemanlı düzlem kafes sistemin ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.....	37
Şekil 21. 61 elemanlı düzlem kafes köprü.	37
Şekil 22. 61 elemanlı düzlem kafes köprü sistemin ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.	39
Şekil 23. 157 elemanlı düzlem kafes köprü.	39
Şekil 24. 157 elemanlı düzlem kafes köprü sistemin ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.	41
Şekil 25. Burro Creek köprüsü.....	42
Şekil 26. 138 elemanlı Burro Creek köprüsü.....	42
Şekil 27. 69 elemanlı Burro Creek köprüsü.....	43
Şekil 28. 138 elemanlı Burro Creek köprüsünün ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.....	45

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. <i>Karbon Çeliğinin Yüksek Sıcaklıklarda Akma Dayanımına ve Elastisite Modülüne İlişkin Azaltma Faktörleri</i>	27
Tablo 2. <i>46 Elemanlı Düzlem Kafes Sistemin Düğüm Noktalarına Ait Koordinat Bilgileri</i>	30
Tablo 3. <i>46 Elemanlı Düzlem Kafes Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları</i>	31
Tablo 4. <i>113 Elemanlı Düzlem Kafes Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları</i>	35
Tablo 5. <i>61 Elemanlı Düzlem Kafes Köprüünün Optimum Tasarım Sonuçları</i>	38
Tablo 6. <i>157 Elemanlı Düzlem Kafes Köprüünün Optimum Tasarım Sonuçları</i>	40
Tablo 7. <i>Burro Creek Köprüsü Tasarım Değişkenleri</i>	43
Tablo 8. <i>69 Elemanlı Burro Creek Köprüsü Optimum Tasarım Sonuçları</i>	44

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\%$	: Yüzde
$f_{a,j}$	: İzin verilen deplasman değeri
$g_{1,j}$	: j'inci gerilme sınırlayıcısı
$g_{2,j}$	: j numaralı çubuk için deplasman sınırlayıcısı
g_2	: Deplasman sınırlayıcısı
l_e	: Eleman boyu
$x_{i \text{ yeni}}$	: Rastgele bir yuva
x_{ij}^{yeni}	: Yeni ana yuva
λ_j	: Narinlik değeri
$\sigma_{a,j}$	: j'inci çubuğa ait emniyet gerilmesi değeri
σ_j	: j numaralı çubukta oluşan gerilme değeri
A	: Kesit alanı
a	: Adım boyutu ölçeklendirme faktörü
A_k	: k grubuna ait çubuk elemanların kesit alanları
C	: Ceza fonksiyonu
C_c	: Plastik narinlik sınırı
cm	: Santimetre
$\cos$	: Kosinüs
$d_{\max}$	: Maksimum yer değiştirme sınır değeri
E	: Elastisite modülü
E_a	: Normal sıcaklıktaki (20°C) çeliğin elastisite modülü
$E_a.\theta$	: Lineer elastik aralığın eğimi
F_y	: Çeliğin akma dayanımı
f_y	: 20 °C 'deki akma dayanımı
$f_y.\theta$	: Etkili akma mukavemeti
g_1	: Gerilme sınırlayıcısı
K	: Etkili uzunluk çarpanı
k	: Kafes sistemdeki eleman grup sayısı
k	: Lokal eksenlerde eleman rijitlik matrisi
$k_{E,0}$	: 20 °C 'deki eğime göre lineer elastik aralığın eğimi
kN	: Kilo Newton

$k_{y,0}$	: 20 °C 'deki akma mukavemetine göre etkin akma mukavemeti
L	: Çubuk uzunluğu
L	: Dönüşüm matrisi
$L(s,\lambda)$	: Lévy uçuşu
L_j	: j'nci çubuğun boyu
m	: Metre
$\min W(x)$	: Elde edilen yapının minimum ağırlığı
MPa	: Megapaskal
N	: Newton
ng	: Sistemdeki toplam grup sayısı
nm	: Sistemdeki toplam eleman sayısı
P	: Probleme göre belirlenen sabit bir ceza katsayısı
q'_1	: Lokal koordinat sisteminde 1. düğüm noktasının yer değiştirmesi
q'_2	: Lokal koordinat sisteminde 2. düğüm noktasının yer değiştirmesi
r	: Atalet yarıçapı
s	: Adım boyutu
$\sin$	: Sinüs
$W(x)$	: Kafes sistemin ağırlığı
WTc	: Cezalı ağırlık
yz	: Kafes sistemdeki düğüm noktası sayısı
α	: Adım boyutu ölçeklendirme faktörü
α	: Çubuğun i ucunun yatayla yaptığı açı
Γ	: Gama fonksiyonu
ρ_j	: j'nci elemanın yoğunluğu
f_j	: j numaralı çubuğun deplasman değeri
l	: Doğrultman kosinüsü
m	: Doğrultman kosinüsü
β	: CSO'daki bir sabit parametre

Kısaltmalar

ABC	: Yapay Arı Kolonisi Algoritması
ACO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
AGA	: Asimetrik Genetik Algoritma
AISC	: Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü
AISC-ASD	: Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü -İzin Verilen
AISI	: Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü
BBO	: Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon
BIO	: Yarasadan İlham Alan Optimizasyon
BS 5950	: İngiliz Standardı 5950
CBO	: Çarpışan Cisimler Algoritması
CP	: Çökme Önleme
CSO	: Guguk Kuşu Arama Optimizasyonu
DA	: Yusufçuk Algoritması
DE	: Diferansiyel Gelişim
ESs	: Evrim Stratejileri
Eurocode EN 1993	: Çelik Yapıların Yangına Karşı Yapısal Tasarımı
FFA	: Ateş Böceği Algoritması
GA	: Genetik Algoritma
GSS	: Rehberli Stokastik Arama
HLBJA	: JA ile TLBO'nun öğrenme aşamasını birleştiren hibrid öğrenme esaslı Jaya algoritması
HS	: Armoni Arama Algoritması
HSMJA	: Hibrit Cıvık Mantar Jaya Algoritması
ICA	: Emperyalist Rekabetçi Algoritma
IO	: Acil Doluluk
JA	: Jaya Algoritması
LRFD-AISC	: Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü'nün Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım Yönetmeliği
MABC	: Modifiye Edilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması
MFA	: Modifiye Ateş Böceği Algoritması
MHBMÖ	: Modifiye Bal Arısı Çiftleşme Optimizasyonu
MJA	: Modifiye Jaya Algoritması
MÖ	: Milattan Önce
MTLBO	: Modifiye Öğretme-Öğrenme-Esaslı Optimizasyon
PHSMJA	: Paralel Hibrid Cıvık Mantar-Jaya Algoritması

PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
SAA	: Benzetilmiş Tavlama Algoritması
SAK	: Suni Arı Kolonisi
SEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
SMA	: Cıvık Mantar Algoritması
SSO	: Sosyal Örümcek Optimizasyon Tasarımı
TLBO	: Öğretme-Öğrenme Esaslı Optimizasyon
TLBO-MS	: Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon -Haritalama Stratejili
TLBO-PF	: Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon- Ceza Fonksiyonlu
TS 648	: Türk Çelik Yönetmeliği
TSM	: Tabu Arama Yöntemi
WCFBP	: Ardışık İleri Giden Geri Yayılımlı Dalgacık Yöntemi
yy	: Yüzyıl

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş

Yapı mühendisliğinde elde edilen veriler doğrultusunda çeşitli algoritma yöntemlerinden faydalanılarak yapı sisteminin tasarımı gerçekleştirilmektedir. Yapı probleminin ele alınan algoritma yöntemleriyle gerekli sınırlayıcıları sağlayacak şekilde optimum çözülmesi yapı optimizasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bazı bilim adamları optimum tasarım amacı doğrultusunda performansı yüksek optimizasyon yöntemlerini geliştirmek için tabiatta var olan olayları gözlemlemektedir. Tabiatta var olan bu olayları baz alarak oluşturulan algoritma yöntemleri sezgisel yapay zekâ yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu algoritmalar günümüzde mühendislik alanlarında karmaşık birçok problemin çözülmesinde kullanılmaktadır. Optimum çözümleme için Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSO), Genetik Algoritma (GA), Armoni Arama Algoritması (HS), Karınca Kolonisi Algoritması (ACO), Benzetilmiş Tavlama Algoritması (SAA), Tabu Arama Yöntemi (TSM) vb. optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı literatürden alınan çelik düzlem kafes problemlerinin sıcaklık etkisi yokken ve varken optimum ağırlıkta boyutlandırılmalarının yapılmasıdır. Bu kapsamda sezgisel optimizasyon algoritmalarından biri olan, 2009 yılında geliştirilen Guguk Kuşu Arama Algoritmasını (CSO) kullanan MATLAB programında sonlu elemanlar yöntemiyle (SEM) çalışan bir program geliştirilmiştir. Optimum çözümlerde sınırlayıcılar olarak, gerilme sınırlayıcıları (AISC-ASD 1989), deplasman sınırlayıcıları ve ilave olarak da sıcaklık etkisi dikkate alınmıştır. Literatürlerden alınan düzlem kafes örnekleri; 46 elemanlı, 113 elemanlı, 61 elemanlı, 157 elemanlı ve 138 elemanlıdır. Ele alınan literatür örnekleri sıcaklık etkisi yokken çözülerek literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve bu çalışmada kullanılan yöntemin doğruluğu teyit edilmiştir. Daha sonra bu düzlem çelik köprülerde herhangi bir sebepten dolayı (iki arabanın çarpışması, LPG tankerinin patlaması ve açık havada köprü üzerinde meydana gelebilecek vb. olaylar) ortaya çıkabilecek sıcaklık etkisi de optimizasyona dahil edilerek optimum çözümler yenilenmiştir.

Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Aydın (1999), çalışmasında Genetik Algoritma yöntemini düzlem kafes sistemlerine uygulamıştır. Optimum ağırlık elde etmeyi amaçlamıştır. Geliştirilmiş FORTRAN

programında kodlanan çözüm, TS 648 standardına bağlı kalınmıştır. Çalışmalarda gerilme, burkulma ve deplasman sınırlayıcılara tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, iterasyon sayısının çok olması istenilen ağırlığı bulmada daha fazla çözüm olduğunu ve pratik yapısıyla uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Kameshki ve Saka (2001), çalışmasında genetik algoritma tabanlı yöntemi optimum tasarım için kullanmışlardır. Amaçları, yarı rijit bağlantılara sahip doğrusal olmayan çelik çerçeveler için daha az ağırlıklı tasarım yöntemini bulmaktır. Çalışmalarında İngiliz çelik profili tablosundan ve BS5950' deki tasarım sınırlayıcılarına bağlı olarak bu algoritmayla optimum tasarım sunulmuştur.

Gero, García ve Díaz (2005), çalışmasında Genetik Algoritmadan yararlanmışlardır. Çelik yapısal elemanların minimum ağırlığını bulmayı amaçlamışlardır. Güvenlik faktörü ve sınırlayıcılar dikkate alınmıştır. Elde edilen verilere göre yapının optimum ağırlığı bulunmuştur. Sonuçlar, basit ve matematiksel karmaşıklığı çözebilen sağlam bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Bayar (2008), çalışmasında Genetik Algoritmayla çalışmıştır. Dört ayrı çelik çerçeve örneğinin optimum tasarımını bulmayı amaçlamıştır. Türk Çelik Yönetmeliğinden (TS 648) ve AISC-ASD yönetmeliğindeki yararlanmıştır. Bulunan veriler literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar genetik algoritmanın uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Şeker (2008), çalışmasında Genetik Algoritma yöntemiyle düzlem çelik çerçevelerin optimum ağırlığını bulmayı amaçlamıştır. Çalışmasında gerilme (TS 648), stabilite ve deplasman sınırlayıcılar kullanılmıştır. Sayısal yöntem uygulamalarını kullanmak amacıyla YZDOPT1 programından faydalanılmıştır. Genetik Algoritmanın karmaşık problemleri çözebilecek kapasitede ve uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Saka (2009), çalışmasında Armoni Arama Algoritması yöntemine dayalı çelik çerçevelerin optimum tasarımını bulmayı amaçlamıştır. Bu yöntem aramanın müzik sürecini simüle eden yeni bir skolastik arama yaklaşımı olan bir algoritmadır. Çalışmasında İngiliz çelik profili tablosundan ve BS5950' deki tasarım sınırlayıcılarından yararlanılmıştır. Sonuçlar çelik çerçeveler için Armoni Arama Algoritmasının matematiksel olarak basit ve çözümleri etkili olan bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Çarbaş ve Saka (2009), çalışmalarında Armoni Arama Algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmanın amacı optimum topolojik tasarımıdır. Tek katmanlı kafesli kubbe örneği ele alınmıştır. Bu örnek için çelik boru profiller kullanılmıştır. LRFD-AISC'den tasarım

sınırlamaları uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlarla Armoni Arama Algoritmasının basit ve sağlam bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Aydoğdu (2010), çalışmasında Karınca Kolonisi Optimizasyon yöntemini ve Armoni Arama Yöntemini kullanmıştır. Bükülme etkisindeki uzay çerçeveleri minimum ağırlıkta tasarlamayı amaçlamıştır. LRFD-AISC'e göre sınırlayıcılar dikkate alınmıştır. Söz konusu çalışmada altı tasarım örneğini ele alınmıştır. Çalışmanın sonucunda düzenli ve düzensiz çerçevelerde bükülme etkisiyle ortaya çıkan ağırlıkta artış olduğu görülmüştür. Karınca Kolonisi Optimizasyonu ve Armoni Arama yöntemlerinin birbirlerine optimum çözümü bulmada üstünlük sağlamadığı gözlemlenmiştir.

Doğan (2010), çalışmasında iki boyutlu çelik çerçeveleri, LRFD-AISC yönetmeliğine göre W profilleri kullanarak minimum ağırlıkta tasarlamayı hedeflemiştir. Zemin-yapı etkileşiminin ve kiriş-kolon bağlantısının esnekliği dikkate alınmıştır. Geliştirilen parçacık sürüsü optimizasyon yöntemiyle rijit ve yarı-rijit çelik çerçevelerin optimum boyutlandırması yapmıştır.

Hasançebi, Çarbaş, Doğan, Erdal ve Saka (2010), çalışmalarında yedi adet algoritma kullanarak çelik çerçevelerin minimum ağırlıkta bulmayı hedeflemişlerdir. Söz konusu çalışmada kullanılan algoritmalar; Parçacık Sürüsü Optimize Edici, Genetik Algoritma, Evrim Stratejileri, Simüle Tavlama, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Tabu Arama ve Harmoni Arama Algoritmasıdır. Kullanılan bu algoritmalar ile 224 elemanlı düzlem çerçevenin minimum ağırlıkta tasarımını hedeflemişlerdir. Elde edilen verilerle literatürdeki çalışmalar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda pratik çerçeve yapısı için algoritmaların genel yol gösterici olduğunu kanıtlamışlardır.

Çakır (2011), çalışmasında ön gerilmeli çelik kafes kirişleri optimum olarak boyutlandırmıştır. Yanal burkulması önlenmiş kafes kiriş örnekleri ele almıştır. Tasarım için boru kesit profil kullanmıştır. Çelik kafes kirişlere ön gerilme uygulanması sonucunda %35 daha hafif ağırlıklı yapı elde etmiştir.

Değertekin, Özgür, Hayalioğlu ve Görgün (2011), çalışmalarında gelişmiş Armoni Arama Algoritması yönteminden yararlanmışlardır. Bu yöntemle lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçeveleri minimum ağırlıkta tasarlamayı amaçlamışlardır. Tasarımında TS 648' de bulunan gerilme sınırlayıcılarını belirlemişlerdir. Genetik Algoritma ve Klasik Armoni Arama Algoritması yöntemiyle minimum ağırlıkları bulunan çelik çerçeve örneğini, Gelişmiş Armoni Arama Algoritmasıyla karşılaştırmışlardır. Bu sonuçlara göre Gelişmiş Armoni Arama Algoritmasının, Klasik Armoni Arama Algoritmasına göre yakınsama hızının daha yüksek

olduğu görülmüştür. Gelişmiş Armoni Arama Algoritması daha hafif çelik çerçeveler için kullanılabilir bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

Çarbaş ve Saka (2012), çalışmalarında Armoni Arama Algoritmasını (HS) kullanmışlardır. Kubbelerin geometrisi için gereken verileri üreten bir tasarım algoritması geliştirmişlerdir. Böylelikle kubbelerin taç yüksekliğini ve boru şeklindeki kesit tanımlarını belirlemek için topolojik optimum tasarım hedeflemişlerdir. LRFD-AISC bulunan sınır tasarımları uygulanmıştır. Klasik ve geliştirilmiş Armoni Arama algoritmalarının optimum tasarımları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen HS algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Aydoğdu ve Saka (2012), çalışmalarında Karınca Koloni Optimizasyonunu kullanmışlardır. Dört uzay çelik çerçeveyi minimum ağırlıkta tasarlamayı amaçlamışlardır. Çerçeve elemanlarını W-kesit profil listesinden seçmişlerdir. Tasarım örnekleri simetrik olmayan kat planına sahip düzgün olmayan çerçeveler ve simetrik kat planına sahip düzgün çerçevelerden seçmişlerdir. Karınca Kolonisi Algoritmasının kullanılabilir olduğunu görmüşlerdir.

Kaveh, Bakhshpoori ve Ashoory (2012), çalışmalarında geliştirilmiş meta-sezgisel algoritmalar kullanmışlardır. Söz konusu çalışmada ağırlığı en aza indirmek amacıyla SAP2000 ve MATLAB programlarından yararlanmışlardır. Optimizasyon işleminde meta-sezgisel algoritmalarından biri olan Guguk Kuşu Arama Algoritmasını kullanmışlardır. AISC (Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü) standardından W profilleri seçmişlerdir. Örnek çerçevelere mukavemet, geometrik yer değiştirme tasarım sınırlamalarını uygulamışlardır. Çalışmanın sonucunda Guguk Kuşu Arama Algoritmasının yapıların optimizasyonunda etkili olduğunu görmüşlerdir.

Çarbas, Aydogdu ve Saka (2013), çalışmalarında üç tane meta-sezgisel algoritmadan yararlanmışlardır. Çalışmada kullanılan algoritmalar; Ateş Böceği Algoritması, Guguk Kuşu Arama Algoritması ve Yapay Arı Kolonisi algoritmalarıdır. 132 elemanlı uzay çelik çerçeve örneği, üç farklı algoritmadan yararlanılarak optimum olarak boyutlandırmışlardır. Optimizasyon sonucunu daha önce yapılan Karınca Kolonisi Algoritması ve Dinamik Armoni Arama algoritmasıyla karşılaştırmışlardır.

Çarbas ve Hasancebi (2013), çalışmalarında Yarasadan İlham Alan Optimizasyon (BIO) Algoritmasını kullanmışlardır. Söz konusu çalışmanın amacı minimum ağırlığa sahip yapı tasarlamaktır. Çalışmada çelik uzay çerçeveler kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar BIO algoritmasının optimizasyon işlemlerinde kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Değertekin, Ülker ve Hayalioğlu (2013), çalışmalarında sezgisel optimizasyon yöntemlerden biri olan Modifiye Edilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması (MABC) kullanmışlardır. Gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında 200 elemanlı kafes yapı örneğinin minimum ağırlıkta tasarlamayı amaçlamışlardır. Söz konusu çalışmayla elde edilen veriler ve literatürdeki veriler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Modifiye Edilmiş Arı Koloni Algoritmasının, Standart Arı Koloni Algoritmasından ve diğer algoritmalarından daha hafif olduğunu göstermiştir. Ayrıca Modifiye Edilmiş Arı Koloni Algoritması, Standart Arı Koloni Algoritmasından daha az analizde istenilen sonucu verdiğini böylece hesaplama süresini azalttığını görmüşlerdir.

Korkut (2013), çalışmasında Modifiye Dağınık Arama yöntemini kullanarak çelik kafes ve çerçeve yapıların optimum boyutlandırmalarını araştırmıştır. Söz konusu çalışmada AISC-ASD (Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsünün Emniyet Gerilmesi Tasarım Kuralları) alınan sınırlayıcılar kullanılmıştır. Ele alınan problemlerin çözümü SOP2012 program dilinde kodlanmış ve SAP200 programına entegre edilmiştir. Sonuç olarak Modifiye Dağınık Arama yöntemini çerçeve ve kafes yapılarda kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Eser (2014), çalışmasında, Yapay Arı Kolonisi Algoritmasından (ABC) faydalanmıştır. Dört çelik kafes yapısının minimum ağırlığını bulmayı amaçlamıştır. AISC-ASD (Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü-İzin Verilen Mukavemet Tasarımı) alınan sınırlayıcılar kullanmıştır. ABC algoritmasını ile elde edilen sonuçları literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarıyla karşılaştırmıştır. ABC algoritmasının kafes yapılar için kullanabilir bir yöntem olduğunu görmüştür.

Hasançebi ve Çarbas (2014), çalışmalarında ilham kaynağı yarasaların davranışı olan ve yakın bir zamanda geliştirilen Yarasadan İlham Alan Algoritmayı (BIO) kullanmışlardır. Çalışmanın amacı 3 tasarım örneğini olan gerçek boyuttaki 132 elemanlı desteksiz çelik çerçeve, 209 elemanlı endüstriyel bina ve son olarak 1860 elemanlı yüksek katlı destekli çelik çerçeveyi minimum ağırlıkta tasarlamaktır. Elde edilen çözümlerle literatürdeki çözümlerle karşılaştırmışlardır. Veriler sonucunda BIO algoritmasının güçlü bir yöntem olduğu görmüşlerdir.

Sevim ve Sönmez (2014), çalışmalarında Yapay Arı Koloni Algoritmasını (ABC) kullanmışlardır. Düzlem kafes çelik çerçeveleri minimum ağırlıkta boyutlandırmayı amaçlamışlardır. Söz konusu çalışmada 168 elemanlı ve 20 tasarım değişkenli iki örnek optimize etmişlerdir. Örneklerden biri üç açıklı, yirmi dört katlı düzlem çerçeve, diğer örnekse tek açıklı ve dört katlı uzay çelik çerçevedir. C# programlama dilinde kodlanan bu örnekler

SAP2000 yapı analiz programına entegre etmişlerdir. Sonuç olarak ABC algoritmasının etkili olduğu görmüşlerdir.

Yetkin (2015), çalışmasında Sosyal Örümcek Optimizasyonu (SSO) algoritmasını geliştirmiş ve kullanmıştır. SSO yöntemiyle düzlem çelik çerçevelerinin optimum tasarımını bulmayı amaçlamıştır. Sosyal Örümcek Optimizasyonu VBA dillinde kodlanmış SAP2000 programında analiz edilmiştir. 4 tane düzlem çelik çerçeve örneğiyle çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda SSO algoritmasıyla yapılan çözümler mevcut çözümlerle kıyaslanmıştır. SSO algoritmasının literatür çalışmalarına yakın ve iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Artar ve Daloğlu (2015), çalışmalarında Genetik Algoritma yöntemini kullanmışlardır. Çelik çerçevelerin minimum ağırlığını bulmayı amaçlamışlardır. TS648 Çelik yapıların standardına göre deplasman sınırlayıcıları ve gerilme sınırlayıcılarını belirlemişlerdir. MATLAB’da geliştirilen ve kodlanan tasarımın sonuçları SAP2000 programı ile doğrulanmıştır. Söz konusu çalışma ve literatürdeki çalışma sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Genetik Algoritmanın çelik çerçevelerin optimum tasarımında kullanılabileceği kanıtlanmışlardır.

Azad ve Hasançebi (2015), çalışmalarında rehberli stokastik arama (GSS) algoritmasını kullanmışlardır. Çelik kafes yapıların problemlerini ele almışlardır. AISC-LRFD (Amerikan Çelik Konstrüksiyonu-Yük ve Direnç Faktör Tasarımı Enstitüsü) standardına göre yer değiştirme sınırlayıcısını içerisinde minimum ağırlığı bulmayı hedeflemişlerdir. Algoritmayı Altı örnek üzerinde uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar önceki literatür çalışmalarıyla kıyaslanmıştır. Sonuçlar GSS algoritmasının başarılı olduğunu göstermiştir.

Çarbaş ve Saka (2015), çalışmalarında Suni Arı Koloni (SAK) algoritması yöntemiyle minimum ağırlıkta soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik çerçeve tasarlamayı amaçlamışlardır. Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik kesitlerini kullanarak çevreye zarar vermeyen malzemeler ve uzun süre dayanabilen çelikleri yapı sektörüne kazandırmayı hedeflemişlerdir. Soğukta şekillendirilmiş ince cidarlı çelik çerçeveyi AISI (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü) yönetmeliğine göre sınırlandırmışlardır. Sonuçlar SAK algoritmasının kullanılabilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Daloğlu, Artar, Özgan ve Karakaş (2015), çalışmalarında Genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır. Uzay çelik çerçeveleri minimum ağırlıkta tasarlamayı amaçlamışlardır. Söz konusu çalışmada gerilme, katlar arası yer değiştirme, kolon-kiriş ve kolon-kolon sınırlayıcılarını dikkate almışlardır. Optimum boyutlandırmayı AISC'den alınan W profilleriyle gerçekleştirmişlerdir. MATLAB programa dillinde kodlanan güncelleme, SAP2000

programına entegre edilmiştir. Sonuçlar çözüme pratik bir şekilde ulaşmada genetik algoritmanın kullanılabileceğini göstermiştir.

Gholizadeh (2015), çalışmasında geliştirmiş Ateşböceği Algoritmasını (FA) kullanmıştır. Çelik çerçeve yapıların optimum ağırlığını bulmayı amaçlamıştır. Bu çalışma iki hesaplama stratejisinden ibarettir. İlk stratejide Modifiye Ateşböceği Algoritmasını (MFA) optimum sismik tasarımı için kullanmıştır. İkinci stratejide ardışık ileri giden geri yayımlı dalgacık (WCFBP) diye isimlendirilen yeni bir sinir ağı modelini kullanmıştır. 3, 6 ve 12 katlı düzlem çelik çerçeveler optimize edilmiştir. Sonuçlar, MFA'nın FA'la ve WCFBP'la kıyasladığında optimum ağırlık açısından daha iyi olduğunu göstermiştir. Çelik yapıların performansa dayalı sismik tasarımı için WCFBP tabanlı optimizasyonun etkili olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Afzali, Darabi ve Niazkar (2016), çalışmalarında Modifiye Bal Arısı Çiftleşme Optimizasyonu (MHBMO) yöntemiyle, çelik çerçeveleri tasarlamayı hedeflemişlerdir. Tasarımın amacı çelik çerçeve yapıların minimum ağırlığını hesaplamaktır. Üç çelik çerçeveyi MHBMO algoritmasını kullanarak optimize etmişlerdir. Elde edilen sonuçları literatürdeki sonuçlarla karşılaştırmışlardır. MHBMO algoritmasının sağlam bir teknik olduğunu ve çelik yapıların tasarımında çok iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Saka, Çarbaş, Aydoğdu ve Akın (2016), çalışmalarında son zamanlardaki 5 adet meta-sezgisel algoritmayı geliştirmişlerdir. Kullandıkları yöntemler, Guguk Kuşu Arama Algoritması, Karınca Kolonisi Algoritması, Ateşböceği Algoritması, Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Parçacık Sürü Optimizasyondur. İki gerçek boyutlu çelik çerçeve örneği olan 354 elemanlı destekli kubbe ve 568 elemanlı çelik uzay çerçeveyi incelemişlerdir. Sonuç olarak bu beş algoritmadan en iyi sonucu Yapay Arı Koloni Algoritması vermiştir. En ağır tasarımların ise sırasıyla Guguk Kuşu Arama Algoritmasıyla ve Ateşböceği Algoritmasıyla elde edildiği görülmüştür.

Karakaş (2017), çalışmasında Armoni Arama (HS), Diferansiyel Gelişim (DE) ve Öğretme-Öğrenme Esaslı Optimizasyon (TLBO) algoritmaları yardımıyla hiperbolik soğutma kulesinin yapısal davranışlardaki zemin etkisini araştırmıştır. Analizleri simetrik rüzgâr, parametrik serbest titreşim, statik ve deprem etkisinde yapmıştır. Buna ek olarak dairesel betonarme temel sisteminin, rüzgâr türbinini taşıyan konik çelik kulenin minimum ağırlıkta tasarlamayı amaçlamıştır. Az iterasyon sayısı ile TLBO algoritması diğer algoritmalarından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Kaya (2017), çalışmasında dört ayrı düzlem kafes yapının minimum ağırlıkta tasarımı için Genetik Algoritma ve Memetik Algoritmayı kullanmıştır. Genetik Algoritma ve Memetik Algoritma birbirleriyle karşılaştırmıştır. Analiz sonucunda Memetik algoritmanın, Genetik Algoritmaya göre çözümleri uzun sürede gerçekleştirdiğini ve daha iyi olduğunu görmüştür.

Şeker,Doğan ve Kozanoğlu (2017), çalışmalarında Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Av Arama Algoritmasını kullanmışlardır. Yarı rijit kolon- kiriş birleşimli yapıları optimum olarak boyutlandırılmayı amaçlamışlardır. Bu boyutlandırmada AISC-LRFD yönetmeliği dikkate almışlardır. 3 adet çelik düzlem çerçeve örneğiyle çalışmışlardır. Sonuç olarak her iki optimizasyon yönteminden elde edilen verilerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Mansouri, Soori, Amraie, Hu ve Shahbazi (2018), çalışmalarında Yapay Arı Koloni (ABC) Algoritması kullanarak çökme önleme (CP) ve acil doluluk (IO) seviyelerine göre çerçevelerin optimum değerlerini bulmayı hedeflemişlerdir. 5 ve 9 katlı çelik çerçevenin örneğini kullanmışlardır. Çerçevelerin modellenmesinde ve analizinde MATLAB programından yararlanmışlardır. Yapay Arı Koloni Algoritması ile elde edilen sonuçların literatür sonuçlara yakın olduğu görülmüştür. Söz konusu çalışmanın sonucunda Yapay Arı Koloni Algoritmasının optimum tasarım için verimli ve yeterli hıza sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Çiftçioğlu ve Doğan (2019), çalışmalarında Parçacık Sürü Algoritmasını, Av Arama Algoritmasını ve Büyük Patlama- Büyük Çöküş Algoritmasını kullanmışlardır. 3 tane çelik çerçeve örneğinin optimum tasarımını amaçlamışlardır. LRFD-AISC yönetmeliğini dikkate almışlardır. W kesit profil kullanmışlardır. Elde edilen verilerle Parçacık Sürü Algoritmasını, Av Arama Algoritmasını ve Büyük Patlama- Büyük Çöküş Algoritmasını karşılaştırmışlardır. Örneğe bağlı olarak birbirine yakın sonuçlar gözlemlemişlerdir.

Peker (2019), çalışmasında çelik I-Kiriş köprülerin minimum ağırlıktaki tasarımını bulmayı amaçlamıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan algoritma yönteminin çelik I-Kiriş köprü problemleri için oldukça uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Abed (2020), çalışmasında Ağaç Tohumu Optimizasyon yöntemini, Simbiyotik Organizmalar Arama Optimizasyon yöntemini ve Karga Arama Optimizasyon yöntemini kullanmıştır. 2 tane sinüs boşluklu kiriş ve iki tane uzay kafes sistemin optimum boyutlandırmalarını araştırmıştır. AISC-ASD (1989) yönetmeliğini dikkate almıştır. Her üç yönteme göre bulunan sonuçları tablolar yardımıyla karşılaştırmıştır.

Es-Haghi, Shishegaran ve Rabczuk (2020), çalışmalarında yeni bir algoritma olan gelişmiş bir ceza fonksiyonundan oluşan Asimetrik Genetik Algoritmayı (AGA)

kullanmışlardır. Çelik çerçeve probleminde optimum çözümü bulmayı hedeflemişlerdir. Çalışmalarında, 15 katlı üç aralıklı çelik çerçeve örneği optimize edilerek bulunan sonuçlar literatürdeki farklı algoritmalarla elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. AGA algoritması hem ağırlık hem de analiz sayısı bakımından diğer algoritmalara oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tutar (2020), çalışmasında 5 tane algoritmadan yararlanmıştır. Bu algoritmalar Öğretme-Öğrenme-Esaslı Optimizasyon (TLBO), Jaya Algoritması (JA), Modifiye TLBO (MTLBO), Modifiye JA (MJA) ve Hibrid Öğrenme Esaslı Jaya Algoritması (HLBJA)'dır. Çelik çerçevelerde uygun sismik tasarımı bulmayı amaçlamıştır. 3 tane uzay çelik çerçeve ve 3 tane düzlem olmak üzere 6 tane örnekle çalışmıştır. Kullanılan algoritmalarla, kısa sürede optimum tasarımlar bulmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda sırasıyla HLBJA, MJA, MTLBO, JA ve TLBO algoritmalarının minimum ağırlıkta sonuçlar verdiğini görmüştür.

Shaban (2021), çalışmasında Rehberli Stokastik Arama Algoritması yöntemini kullanarak çelik uzay kafes sistemlerin optimum boyutlandırmasını amaçlamıştır. Elde edilen Pareto eğrisiyle çelik kesit ve optimum ağırlık ilişkisini göstermiştir.

Uğur (2021), çalışmasında Hibrit Cıvık Mantar Jaya Algoritmasıyla (HSMJA), Jaya Algoritmasıyla (JA) ve Cıvık Mantar Algoritmasıyla (SMA) çelik çerçevelerin minimum ağırlıktaki tasarımını bulmayı amaçlamıştır. 4 tane düzlem çelik çerçeve ve 4 tane uzay çelik çerçeve örneğiyle çalışmıştır. Hesaplama süresini kısa tutmak için PHSMJA (Paralel Hibrid Cıvık Mantar-Jaya Algoritması) adı verilen bir yöntem geliştirmiştir. HSMJA, JA ve SMA algoritmasının sonuçlarının literatürdeki çalışma sonuçlarından daha iyi olduğunu ve PHSMJA'nın hesaplama süresini kısalttığını görmüştür.

Jawad, Mahmood, Wang, Al-Azzawi ve Al-Jamely (2021), çalışmalarında Yusufçuk Algoritması (DA) yöntemini kullanmışlardır. Doğadaki davranışlarından (sürüdeki bireylerin uyumu, hizalanması, ayrılması, yiyecek bulması vb.) ilham alınan Yusufçuk Algoritmasını geliştirmişlerdir. Modifiye edilen bu algoritmayı düzlem ve uzay çelik kafes giriş sistemler üzerinde incelemişlerdir. Analiz sonucunda Yusufçuk Algoritmasının literatürdeki yöntemlerle kıyaslandığında en az ağırlığı verdiğini ve optimum sonucu bulmada etkili bir yöntem olduğunu görmüşlerdir.

Eren (2022), çalışmasında Genetik Algoritma yöntemiyle çelik çerçeveleri minimum ağırlıkta tasarlamayı hedeflemiştir. 30 elemanlı ve 70 elemanlı iki tasarım örneği ele almıştır. Söz konusu probleme ait bulunan sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

Optimum Tasarım

Mühendislikte optimum tasarım, fiziksel modellerin matematiksel problemlerinde iyi çözümü bulma işlemi olarak ifade edilmektedir. Optimizasyonda kullanılacak tekniklerin çeşitli problemlerde çözüm algoritmasının oluşturulması tekniğin incelenmesi ve bilgisayar ortamına aktarması gerekmektedir. Yapılarda optimizasyon tekniklerinin hedefi; yapıların statik davranışlarına, dinamik davranışlarına, yapı sistemlerin şekil tasarımına, geometrik tasarımına ve güvenilirliğine göre uygun boyutlandırılmasıdır.

Optimizasyon amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılar ile tanımlanmaktadır. Amaç fonksiyonu problemin ihtiyaçlarına ve tipine göre belirlenmektedir. Tasarım değişkenleri, minimum ağırlıktaki çözüme ulaşmak içindir. Optimizasyon işlemi süresince tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılar tasarım boyunca optimizasyon probleminde istenen kriterlere uygun çözümlerin oluşmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar. Optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu optimum sonuca kısa zamanda ulaşılması belirleyici rol olarak oynamaktadır.

Emniyet ve ekonomik yapı mühendisliğin temel prensiplerindendir. Bu prensiplere göre yeterli dayanımda yapıların minimum ağırlıktaki optimum yapı tasarımları gerçekleştirilmektedir.

Tasarım Değişkenleri ve Parametreler

Bu çalışmada düzlem kafes sistemler üzerine yapılan minimum yapı ağırlık optimizasyonu uygulanmakta olup, çubuğun en kesit alanı tasarım değişkeni olarak alınmaktadır. Kafes sistemlerin çubukları ele alınan problemlerde verilen gruplandırma bilgisine ve sınırlayıcılara göre W- profilleri AISC (Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü) içerisinden optimum boyutlandırmaya çalışılmaktadır. Kafes sistemdeki tasarım değişkeni sayısı grup sayısına eşit olmaktadır. Optimizasyona başlamadan önce analizler için gerekli giriş bilgilerinin (problem geometrisi, yükleme bilgileri, malzeme mekanik özellikleri vb.) programa dahil edilmesi gerekmektedir.

Amaç Fonksiyonu

Bu tez çalışmasında hedeflenen amaç fonksiyonu, düzlem çelik kafes köprülerin minimum ağırlığının bulunmasıdır. Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\min W(x) = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{j=1}^{nm} \rho_j L_j \quad (2.1)$$

Burada $W(x)$ kafes sistemin ağırlığını, k kafes sistemdeki eleman grup sayısını, A_k k gurubuna ait elemanların kesit alanlarını, ng sistemdeki toplam grup sayını ρ_j j 'inci elemanın yoğunluğunu, L_j j 'inci elemanın boyunu, nm sistemdeki toplam eleman sayısını göstermektedir.

Kafes sistemin ağırlık sınırlayıcı fonksiyonlarını içeren bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$WTc_j(x) = W_j (1 + PC) \quad (2.2)$$

$$g_j(x) \leq 0 \quad \text{ise } gc_j = 0, \quad g_j(x) > 0 \quad \text{ise } gc_j = g_j(x) \quad (2.3)$$

$$g_t(x) \leq 0 \quad \text{ise } gc_t = 0, \quad g_t(x) > 0 \quad \text{ise } gc_t = g_t(x) \quad (2.4)$$

$$C = \sum_{i=1}^{nm} gc_i + \sum_{j=1}^y gc_j \quad (2.5)$$

Burada P probleme göre belirlenen sabit bir katsayıyı, WTc cezalı ağırlığı, y kafes sistemde bulunan düğüm noktasını göstermektedir. C ceza fonksiyonu (2.3) ve (2.4)'den elde edilmektedir. Denklem (2.3) gerilme sınırlayıcısına, denklem (2.4) yer değiştirme sınırlayıcısına aittir.

Sınırlayıcılar

Çelik yapının statik güvenliğini sağlanması için gerekli sınırlamalara göre uygun tasarımlar yapılmalıdır. Bu çalışmada Guguk Kuşu Arama Algoritması ile sıcaklık etkisi yokken ve sıcaklık etkisi varken minimum ağırlıktaki yapı gerilme ve deplasman sınırlayıcılarına göre tasarlanmaktadır.

Gerilme Sınırlayıcıları

Gerilme sınırlayıcıları AISC-ASD (1989) standardına uygun olarak yapılmaktadır. Gerilme sınırlayıcısı (g_1) aşağıda verilen ifadeyle hesaplanmaktadır.

$$g_1 = \sum_{j=1}^{nm} g_{1,j} \quad (2.6)$$

Burada $g_{1,j}$ j 'inci gerilme sınırlayıcısını göstermektedir.

Gerilme sınırlayıcısının genel ifadesinin hesaplanması aşağıda verilmektedir.

$$g_{1,j} = \frac{\sigma_j}{\sigma_{a,j}} - 1 \leq 0 \quad j=1, \dots, nm \quad (2.7)$$

Burada σ_j j numaralı çubuktaki gerilmeyi, $\sigma_{a,j}$ j. çubuktaki emniyet gerilmesini göstermektedir.

Çekme durumunda çubuğun emniyet gerilmesinin hesaplanması aşağıda verilmektedir.

$$\sigma_{a,j} = 0.6 \cdot F_y \quad (2.8)$$

Burada F_y çelik akma dayanımını göstermektedir.

Basınç durumunda çubuğun emniyet gerilmesinin hesaplanması aşağıda sıralanmaktadır.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} \quad (2.9)$$

Burada C_c plastik narinlik değerini, E elastisite modülünü göstermektedir.

$$\lambda_j < C_c \text{ ise } \sigma_{a,j} = \frac{\left[1 - \frac{\lambda_j^2}{2 \cdot C_c^2}\right] \cdot F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 \cdot \lambda_j}{8 \cdot C_c} - \frac{\lambda_j^3}{8 \cdot C_c^3}} \quad (2.10)$$

$$\lambda_j \geq C_c \text{ ise } \sigma_{a,j} = \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot E}{23 \cdot \lambda_j^2} \quad (2.11)$$

Burada λ_j narinlik değerini göstermektedir.

Narinlik değerinin hesaplanması aşağıda verilmektedir.

$$\lambda_j = \frac{K \cdot L}{r} \quad (2.12)$$

Burada K etkili uzunluk çarpanı düzlem kafes sistemler için 1 olarak alındı, L elemanın boyutunu, r atalet yarıçapını göstermektedir.

Deplasman Sınırlayıcıları

Kafes sistemlerin düğüm noktalarının yer değiştirilmesi problemde verilen deplasman sınır değerini geçmemesi için belirlenen sınırlayıcı (g_2) değerinin hesaplanması aşağıda verilmektedir.

$$g_2 = \sum_{j=1}^{yz} g_{2,j} \quad (2.13)$$

Burada yz kafes sistemindeki düğüm noktası sayısını, $g_{2,j}$ j numaralı nokta için deplasman sınırlayıcısını göstermektedir.

$g_{2,j}$ değerinin hesaplanması aşağıda verilmektedir.

$$g_{2,j} = \frac{f_j}{f_{a,j}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, \dots, yz \quad (2.14)$$

Burada f_j j numaralı düğüm noktasının deplasman değerini, $f_{a,j}$ izin verilen deplasman sınır değerini ifade etmektedir.



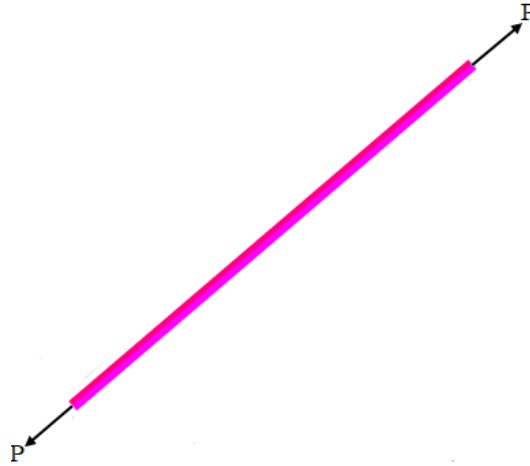
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Düzlem Kafes Sistemlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi

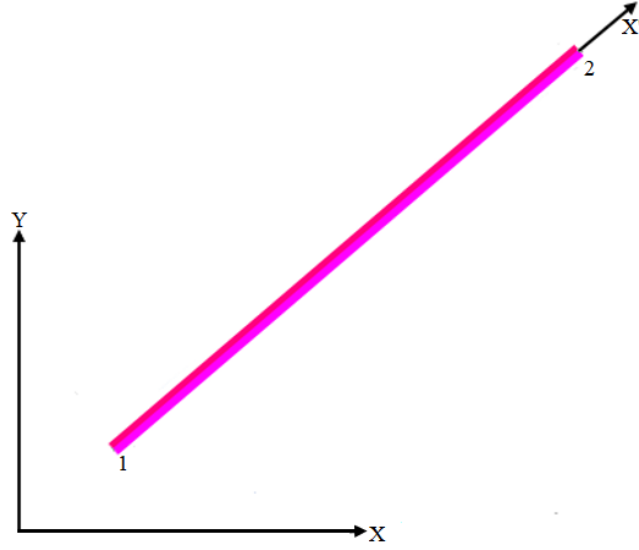
Düzlem kafes sistemler, çok sayıda çubuğun mafsalla uç uca bağlanmasından oluşmaktadır. Bu sistemlerde yüklerin sadece kafesi oluşturan mafsallara etki ettiği varsayılmaktadır. Bu yüzden her bir doğrusal çubuk aksel çekme ve basınç kuvvetine maruz kalmaktadır. Ayrıca kafes sistem çubuklarında eğilme momentinin meydana gelmediği kabul edilmektedir (Yılmaz, 2019).

Mühendislikte bir sürü karmaşık problemlere rastlanılmaktadır. Bu problemlere çözüm bulmak amacıyla pratik, sayısal bir yöntem olan sonlu elemanlar yönteminden faydalanılmaktadır. Karmaşık bir problemi sonlu elemanlar olarak alt bölgelere ayırıp basitleştirmek sonlu elemanlar yönteminin temelidir. Problemin basitleştirilmesi kesin sonuca oldukça yakın bir değer elde etmeyi sağlamaktadır (Yılmaz, 2019).

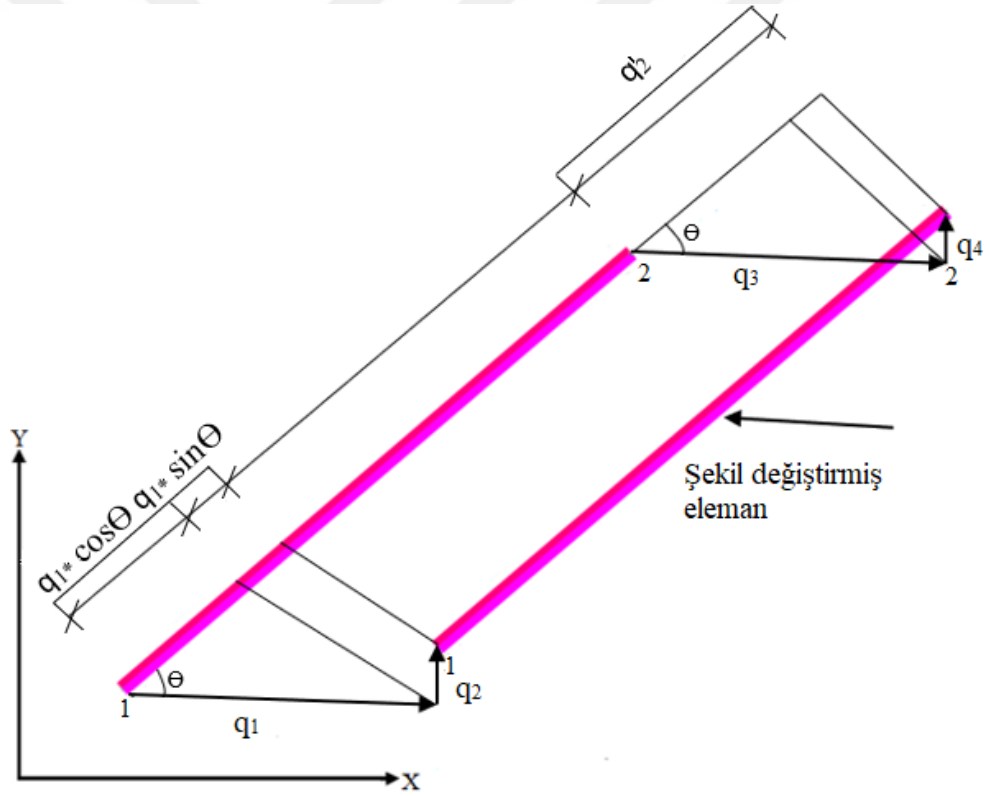
Düzlem kafes sistemlerin her bir düğüm noktasında iki adet serbestlik derecesi vardır. Aşağıda düzlem kafes sisteminde çubuk kuvvet elemanı (Şekil 1), lokal koordinat sisteminde iki boyutlu düzlem kafes elemanı (Şekil 2), global koordinat sisteminde iki boyutlu düzlem kafes elemanı (Şekil 3) ve doğrultman kosinüsleri (Şekil 4) verilmiştir.



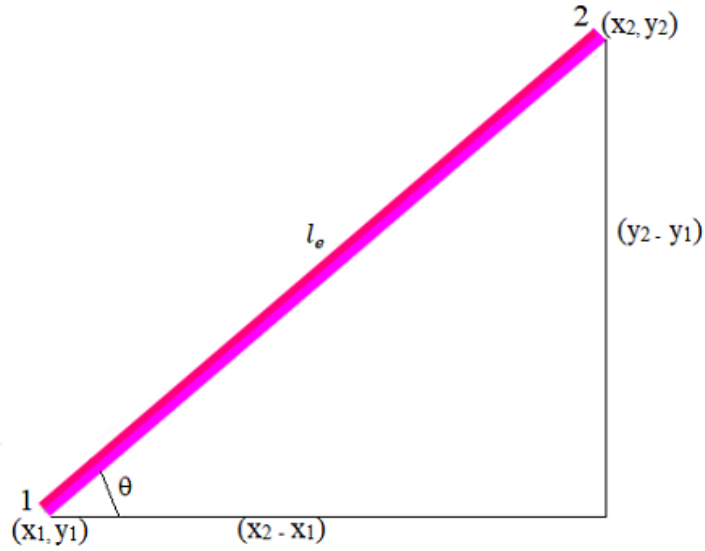
Şekil 1. Düzlem kafes sistemde çubuk kuvvet elemanı (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 2. Lokal koordinat sisteminde iki boyutlu düzlem kafes elemanı (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 3. Global koordinat sisteminde iki boyutlu düzlem kafes elemanı (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 4. Doğrultman kosinüsleri (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

Global koordinat sisteminde düğüm noktası sayısı j bir sistemde serbestlik derecesi $2j-1$ ve $2j$ ile ilişkilidir. (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017). Aşağıdaki denklemde lokal koordinat sisteminde eleman yer değiştirme vektörünün hesaplanması verilmiştir.

$$q' = q_1 \cos\theta + q_1 \sin\theta \quad (3.1)$$

$$q' = [q'_1, q'_2]^T \quad (3.2)$$

Burada q'_1 1. düğüm noktasına ve q'_2 2. düğüm noktasına ait lokal koordinat sistemindeki yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

Aşağıda global koordinat sisteminde yer değiştirme vektörünün hesaplanması verilmiştir.

$$q = [q_1, q_2, q_3, q_4]^T \quad (3.3)$$

q ile q' arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$q'_1 = q_1 \cos\theta + q_2 \sin\theta \quad (3.4a)$$

$$q'_2 = q_3 \cos\theta + q_4 \sin\theta \quad (3.4b)$$

Denklem (3.4a) ve (3.4b)'nin matris formu aşağıda verilmiştir.

$$q' = Lq \quad (3.5)$$

Burada L dönüşüm matrisidir. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$L = \begin{bmatrix} l & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & l & m \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Burada l ve m doğrultman kosinüsleridir. Bu doğrultman kosinüsleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$l = \frac{x_2 - x_1}{l_e} \quad (3.7)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{l_e} \quad (3.8)$$

Burada l_e eleman boyudur.

$$l_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3.9)$$

Aşağıda lokal koordinat sisteminde bir düzlem kafes elemanı için rijitlik matrisi verilmiştir.

$$k = \frac{E \cdot A}{l_e} * \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Burada k lokal eksenlerde elemanın rijitlik matrisini, E elastisite modülünü ve A eleman kesit alanını ifade etmiştir.

Lokal koordinatlardaki eleman şekil değiştirme denklemi aşağıdaki gibidir.

$$U_e = \frac{1}{2} q'^T k' q' \quad (3.11)$$

Burada $q' = Lq$ yerine yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$U_e = \frac{1}{2} q^T [L^T k' L] q \quad (3.12)$$

Bir düzlem kafes elemanının global eksenlerdeki şekil değiştirme bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$U_e = \frac{1}{2} q^T k q \quad (3.13)$$

Burada k global koordinatlardaki elemanın rijitlik matrisidir. Yukarıdaki denklemden, global koordinatlardaki eleman rijitlik matrisi şu şekilde ifade edilir.

$$K' = L^T k' L \quad (3.14)$$

Denklem (3.14)'de dönüşüm matrisi ve rijitlik matrisi yerine yazılırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$K' = \frac{E \cdot A}{l_e} * \begin{bmatrix} \ell^2 & \ell m & -\ell^2 & -\ell m \\ \ell m & m^2 & -\ell m & -m^2 \\ -\ell^2 & -\ell m & m^2 & \ell m \\ -\ell m & -m^2 & \ell m & m^2 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Guguk Kuşu Arama Optimizasyonu

Guguk Kuşunun Üreme Biçimi

Guguk kuşları, eşsiz üreme stratejileri sebebiyle büyüleyici kuşlardır. Üreme stratejileri şu şekilde gerçekleşmektedir. Guguk kuşları diğer kuşların yuvalarını gözetlemekte ve diğer kuşlar yuvalarından ayrıldığında guguk kuşu uçarak diğer kuşların yuvasına gelmektedir. Genellikle küçük kuşların yuvalarını tercih etmektedirler. Guguk kuşları yuva sahibi tarafından fark edilmemesi için müthiş bir taktik uygulamaktadır. Guguk kuşları diğer yuvadaki yumurtaları dikkatle gözlemlemektedir. Yuvadaki yumurtalar hangi desen ve renkte ise guguk kuşu da kendi yumurtasını ona göre bırakmaktadır. Yumurtasını bıraktıktan sonra yuvadaki diğer kuşun bir yumurtasını yemekte veya yuvadan atmaktadır (Noori, 2021). Üç farklı yuva ve guguk kuşlarının yumurta taklidi (siyah oklarla) aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5. Guguk kuşlarının aynı desen ve renkteki yumurta taklidi (URL-1).

Yuvanın gerçek sahibi guguk kuşunun yumurtasını fark ederse onu yuvadan atmakta ve kendi yuvasını terk edip tekrar yeni bir yuva kurmaktadır. Yuvanın gerçek sahibi fark etmezse kuluçkaya yatmaktadır. Diğer yumurtalarla birlikte kuluçkadan ilk olarak guguk kuşu yavrusu çıkmaktadır. Yavru içgüdüsel olarak diğer yumurtaları yuvadan atmaktadır. Eğer yuvadan atmazsa birkaç gün sonra guguk kuşunun üvey kardeşleri yumurtadan çıktığında ebeveyn yavruya besin bulmak için uzaklaşır ve guguk yavrusu bulduğu fırsatla diğer yavruları yuvadan atmaktadır. Böylece rekabeti ortadan kaldırıp kendi yaşamını en üst seviyeye getirmektedir. Konak yuvanın sahibi geldiğinde bir terslik olduğunu hissetmekte ancak içgüdüsel olarak davranmaktadır. Bundan sonra tek yapabileceği şey geri kalan tek yavrunun bakımını en iyi şekilde yapmaktır. Guguk yavrusu birkaç hafta geçtikten sonra üvey annesinden daha kocaman

olmaktadır. Altı haftadan sonra iyice beslenen guguk yavrusu, yuvayı dağıtıp yuvadan uçmakta ve nesillerini böyle devam ettirmektedir (Noori, 2021). Yuva sahibinin yumurtalarını yuvadan atan guguk yavrusu ve guguk kuşu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



(URL-2)



(b) (URL-3)

Şekil 6. Diğer yumurtaları yuvadan atan guguk yavrusu (a), guguk kuşu (b).

Guguk Kuşu Arama Optimizasyonu (CSO)

Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSO) Yang ve Deb tarafından geliştirilen bir algoritmadır (Yang & Deb, 2009). Bu algoritma yöntemi guguk kuşlarının doğal yaşam ortamında çoğalma davranışlarından ilham alınarak tasarlanmıştır. Guguk kuşları başka canlılarının yuvalarına yumurtalarını bırakmaktadır. Eğer yuvanın sahibi yumurtayı tanırsa yumurtayı dışarı atmakta veya o yuvayı terk etmektedir. Yuva sahibi yumurtaları tanıyamazsa kendi yumurtasıymış gibi guguk kuşu yumurtası üzerine oturmaktadır. Yumurtadan ilk çıkan guguk kuşu yavrusu ya diğer yumurtaları ya da yumurtadan çıkan diğer yavruları bulduğu ilk fırsatta yuvadan atmaktadır.

Bu algoritmada üç ana prensip vardır.

- Her guguk kuşu herhangi bir yuvaya bir tane yumurta bırakmaktadır.
- Yuvadaki en iyi yumurta bir sonraki nesle aktarılmaktadır.
- Bırakılan yumurtayı konak yuvanın sahibi belirli bir P_a $[0,1]$ olasılığında tanıyabilmektedir. Eğer yumurtayı fark ederse yuvadan yumurtayı dışarı atabilir ya da yuvayı terk edip yeni bir yuva yapabilmektedir.

Optimizasyonların temel amacı optimum çözüme ulaşmaktır. CSO algoritmasında da optimum çözüme ulaşmak için Lévy uçuşuyla arama yapılmaktadır. Lévy uçuşu yönleri rastgele olan dağılımdan rastgele adım uzunlukları türetmektedir. Lévy uçuşu yüksek oranda arama alanını keşfetmesi algoritma işlemlerini verimli hale getirmektedir.

Guguk Kuşu Arama Optimizasyonunun (CSO) Kodlaması

Bu algoritmada popülasyon, yuva sayısını ifade etmektedir. Guguk kuşu Lévy uçuşu yaparak uçmaktadır. Guguk kuşunun yuva arayışı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$x_{ij}^{yeni} = x_{ij} + a \cdot L(s, \lambda) \quad (4.1)$$

$$x_{ij}^{yeni} = x_{ij} + a \cdot s \cdot (x_{ij} - x_{i \text{ yeni}}) \quad (4.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde x_{ij}^{yeni} yeni ana yuva, x_{ij} ilk yuva, $x_{i \text{ yeni}}$ rastgele bir yuva, $L(s, \lambda)$ global Lévy uçuşu, s adım boyutudur. Guguk kuşunun (i) yeni ana yuva (x_i^{yeni}) ulaşmak için yaptığı, uçuş uzunluğu veya adım boyutudur.

Adım boyutu aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Noori, 2021).

$$s = \frac{u}{v^{1/\beta}} \quad (4.3)$$

u ve v fonksiyonları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$u \sim N(0, \sigma u^2) \quad (4.4)$$

$$v \sim N(0, \sigma v^2) \quad (4.5)$$

Burada u ve v değerleri normal dağılımın ortalamasıdır.

σu^2 ve σv^2 aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

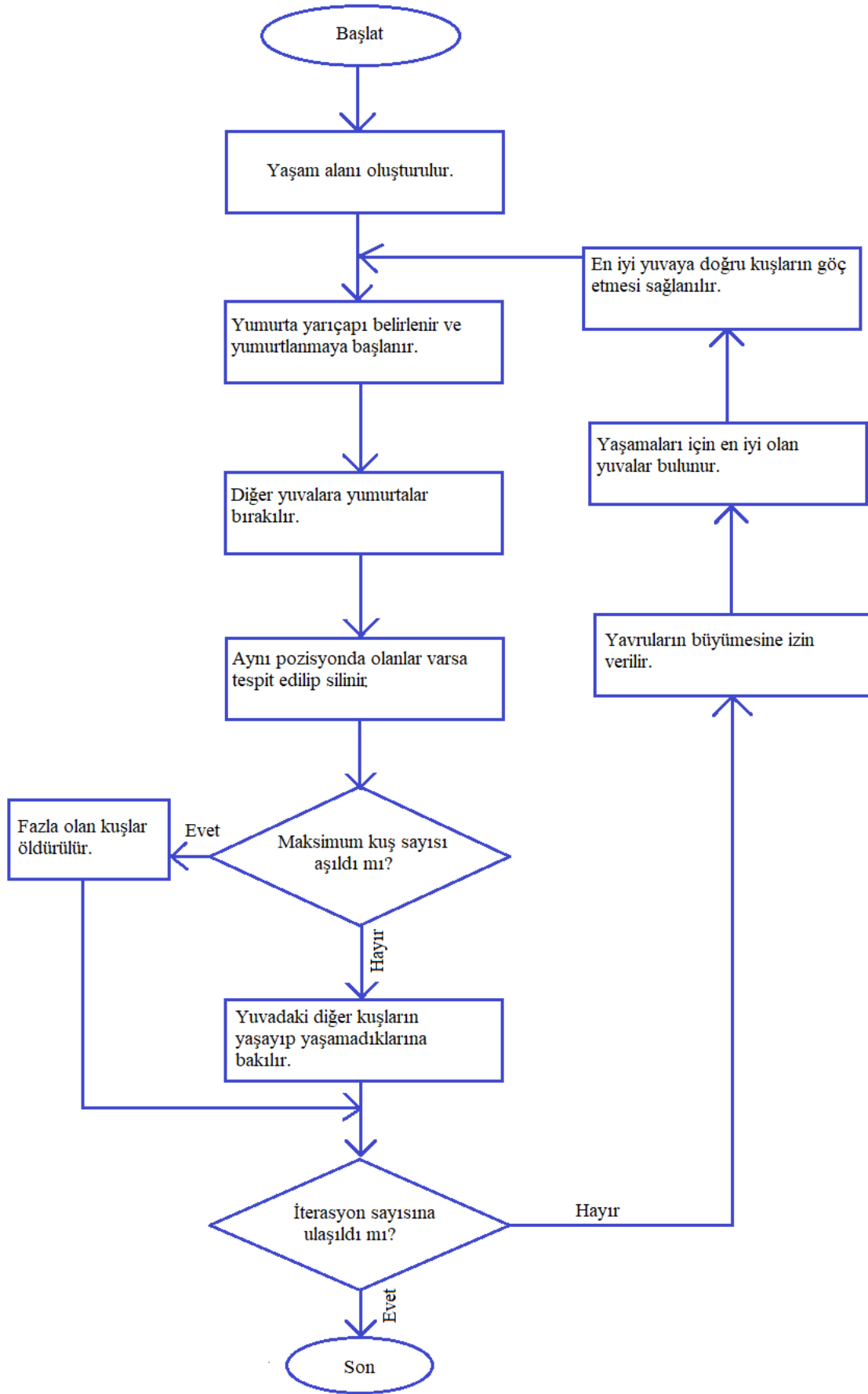
$$\sigma u = \left\{ \frac{\Gamma(1+\beta) \cdot \sin(\frac{\pi\beta}{2})}{\beta \cdot \Gamma^*[\frac{1+\beta}{2}] \cdot 2^{\frac{(\beta-1)}{2}}} \right\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (4.6)$$

$$\sigma v = 1 \quad (4.7)$$

Burada Γ gama fonksiyonu, β aralıktan alınan sabit parametre, a Adım boyutu ölçeklendirme faktörüdür. a problemlere göre değişkenlik göstermektedir (Noori, 2021).

Guguk Kuşu Arama Optimizasyonunun Akış Şeması

CSO'nun akış şeması aşağıda gösterilmektedir (Tuna, 2014).



Şekil 7. CSO'nun akış şeması.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Köprü Yapılar

Herhangi bir sebepten dolayı ayrılmış iki yakayı birbirine bağlayan ve taşıma işlemleri için yapılan yapılardır. İlk köprünün Çin'de inşa edildiği tahmin edilmektedir. Kemer köprü yapıların tarihi M.Ö 3000-4000 yıllarına dayanmaktadır. Gerilme prensibinin pratikleşmesiyle köprü yapılar gelişmeye başlamıştır. Böylece ahşap kafes sistemlerde büyük açıklıklı yapılar mümkün kılınmıştır. İlk ahşap kafes sistem köprü 1750 yılında İsviçre'de yapılmıştır. İlk demir köprü 1779 yılında İngiltere'de inşa edilmiştir. 19. yüzyıldaysa köprü inşaatlarında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Sonraki yıllarda geniş açıklıklı köprü yapılar inşa edilmeye başlanılmıştır (URL-4).

Köprü yapılar kullandıkları malzemelere göre ahşap, taş, tuğla, betonarme, metal ve kompozit malzemeli olarak inşa edilmektedir. Ahşap malzemelerin yeterince bulunmaması ve hava şartlarına uygun olmaması köprü yapılarda kullanımını sınırlandırmıştır. Taş ve tuğla malzemelerin basınç dayanımları iyidir. İnsanlar büyük açıklıklı yapıları geçmek için taş ve tuğla kullanmışlardır. Bundan dolayı kemer yapılar gelişmiştir. Betonun işlenmesi kolay olduğundan betonarme köprüler yaygınlaşmıştır. Metal malzeme, dış etkenlere dayanıklı ve mukavemeti yüksek olduğundan ağır yükleri taşımaktadır. Bu sebepten dolayı köprülerde çokça tercih edilmektedir. Kompozit malzeme, yapıların daha sağlam, hafif ve esnek olması için iki malzemenin birleşmesiyle elde edilmektedir. Bu malzemenin güvenilir ve uygun maliyetli olması köprü yapılarda kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Köprü yapısal sistemlerine göre kemer, kirişli, kafesli, konsol ve asma olarak 5'e ayrılmaktadır. Kemer köprüler genellikle basınç dayanımı iyi, çekme dayanımı zayıf olan malzemeden yapılmaktadır. Bu köprüler taştan yapıldığında ekstradan bir malzemeye ihtiyaç duyulmaz. Taşların uygun açılarla doğru bir biçimde kesilmesi yeterlidir. Kirişli köprüler ilk olarak ağaç gövdelerinden ve uzun taşlardan yapılmıştır. Bu yapılarla büyük açıklıkların geçilmesi için alttan ayaklarla desteklenmeye ihtiyacı vardır. Kafes köprüler doğrusal çubukların birbirine düğüm noktalarından bağlandığı yapılardır. Konsol köprüler bir ucu desteklenen yatay kirişlerdir. Asma köprüler geniş açıklıkları geçmek için yapılan, son zamanlarda ağır yükleri taşıması için kablolarla desteklenen yapılardır. Asma köprülerin ilk örnekleri bambu ve sarmaşık dallarından yapılmıştır (URL-5). Aşağıda bazı köprü örnekleri verilmiştir.



Şekil 8. Kafes kiriş köprü (URL-6).



Şekil 9. Warren tipi kafes kiriş köprü (URL-7).



a)(URL-8)



b) (URL-9)

Şekil 10. Kemer köprüler (a), (b).



Şekil 11. Konsol köprü (URL-10).



a) (URL-11)



b) (URL-12)

Şekil 12. Asma köprüler (a), (b).

Çelik Köprüler

Çelik karbon ve demirden oluşan bir alaşımdır. Bu alaşım içinde bulundurduğu karbon miktarına göre sınıflandırılmaktadır. Çelik içerisindeki alaşım elementleri süneklik, sertlik ve gerilme noktasını etkiler. Çeliğin mukavemeti iyi olduğundan ağır yükler taşıyabilmektedir. Bu nedenle çelik, köprü yapılarında kullanılmaya başlanılmıştır. Başlarda taş ve ahşap köprü yöntemine göre çelik yapılar inşa edilmiştir. Sonradan malzemenin kendine özgü imkanlarına göre tasarlanmıştır. 1828 yılında ilk çelik köprü yapılmıştır. Çelik üretimi zor ve pahalı olması köprülerde kullanımını kısıtlamıştır. 19. yy'da çeliğin elde etme yönteminin bulunmasıyla köprü yapımları artmaya başlamıştır. Ucuzlaşan çeliğin, kaynak tekniğinin ilerlemesiyle birleşme yerleri daha sağlam yapılmıştır. 1919 yılında paslanmaz çeliğin patentinin alınmasıyla köprü yapımları iyice artmıştır.

Köprü yapıların sağlam ve dış etkenlere dayanıklı olması için deneysel ve matematiksel araştırmalara gidilmiştir. Bu araştırmalar bilgisayar kullanımıyla hızlandırılmıştır.

Bilgisayarlara aktarılan verilerle beraber statik ve dinamik yükler altında köprü yapılarda oluşacak gerilmelerin hesaplanması sağlanmıştır. Böylece büyük açıklıklı köprü yapımına geçilmesini mümkün kılınmıştır. Sürekli araştırmalar sonucunda daha yenilikçi ve ekolojik köprü yapıların inşaatı tasarımlarda olumlu gelişim sağlamıştır.

Köprü yapılar inşa edilirken birçok faktör göz önünde bulundurulur. Depreme olan dayanıklılığı, sağlam bir malzemeden üretimi, hafifliği, taşınabilir malzeme olması, geri dönüşümlü ve kısa sürede tamamlanması köprü yapıların tasarım önceliğidir. Çelik bu tasarım amacını karşıladığı için günümüzde en çok tercih edilen malzemedir. Aşağıda bazı çelik köprü örneklerine yer verilmiştir.



a) (URL-13)



b) (URL-14)

Şekil 13. Aldatma geçidi köprüsü, Washington eyaleti (a), konsol makas köprü, Columbia (b).



a) (URL-15)



b)(URL-16)

Şekil 14. George Washington köprüsü (a), Manhattan köprüsü (b).

Sıcaklık Etkisi

Yapılarda taşıyıcı sistemin eğilmesine ve çökmesine sebep olacak bir sıcaklık etkisi istenilmez. Taşıyıcı sistemlerin yangın durumunda özelliklerini kaybetmemesi için yangına karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu yüzden yapıların ön tasarımında mimarlar ve inşaat mühendisleri yapıların yangından korunmalarını göz önüne bulundurmaları gerekmektedir.

Yapı elemanlarının yangına dayanma yeteneği elemanın yük taşıma işlevini kaybedene kadar olan süre ile ifade edilmektedir. Yapının yangına dayanması için yapı elemanlarının nasıl reaksiyon gösterildiği bilinmelidir. Yapı elemanları sıcaklığa bağlı olarak farklı gerilmeler üretebilmektedir. Yapı çökmeden önce mukavemetinde azalmalar başlamaktadır. Aşağıda (Şekil 15) köprü yangını gösterilmiştir.



Şekil 15. Köprü yangını (URL-17).

Liu, Lou, Ju ve Liu (2017) çelik köprünün yangın performans değerlendirmesini araştırmışlardır. Açık alanlarda araba yangınlarında en yüksek sıcaklığın 200°C'den az olduğu ve alevlerin boyutu küçük olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca aracın boyutuna, yanma performansına, taşıma mallarının miktarına, havalandırma koşullarına, yangın mahalline ve araç yangınlarına göre sıcaklık değerinin değiştiğini de belirtmişlerdir (Liu vd., 2017). Bu çalışmada, ele alınan literatür örnekleri sıcaklık etkisi yokken çözülerek literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve bu çalışmada kullanılan yöntemin doğruluğu ispat edilmiştir. Daha sonra bu düzlem çelik köprülerde herhangi bir sebepten dolayı (iki arabanın çarpışması, LPG tankerinin patlaması ve açık havada köprü üzerinde meydana gelebilecek vb. olaylar) ortaya çıkabilecek sıcaklık etkisi de optimizasyona dahil edilerek optimum çözümler yenilenmiştir. Bu çalışmada herhangi bir sebebe bağlı olarak oluşabilecek sıcaklık 200°C olarak varsayılmıştır.

Yangına maruz kalan çelik yapıları akma dayanımı ve elastisite modülü sıcaklığın etkisine bağlı olarak azalmalar göstermektedir. Öyle ki çok yüksek sıcaklıklarda yapı kalıcı

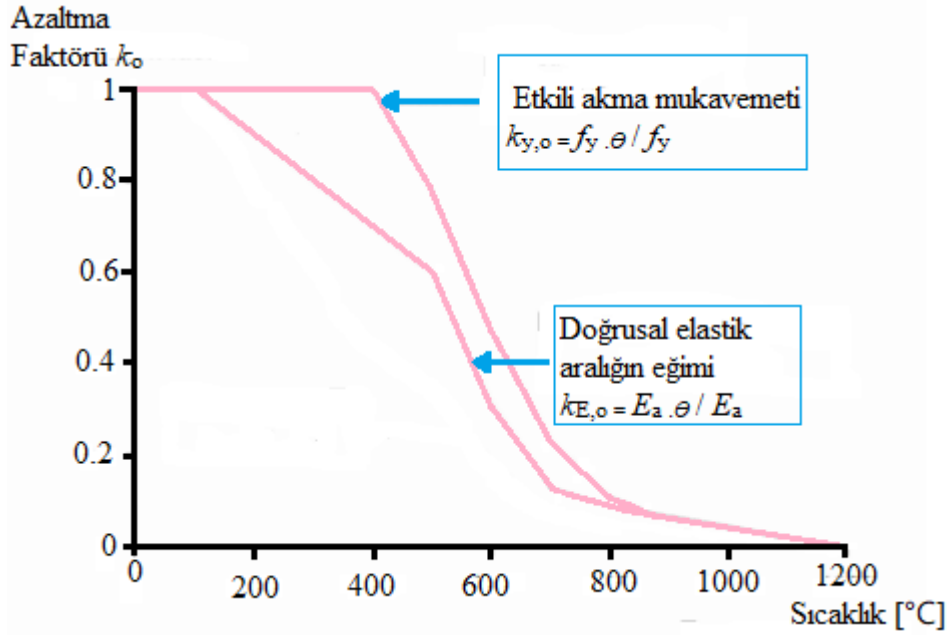
hasarlar alabilmekte hata çökebilmektedir. Bu risklerin bulunduğu çelik yapıların tasarımında bu durumun dikkate alınması gerekmektedir. Kullanılan çeliğin mekanik özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi 2005 yılında yayınlanan Eurocode EN 1993-1-2 (Çelik yapıların yangına karşı yapısal tasarımı- Bölüm 1-2: genel kurallar- Yangına karşı yapısal tasarım) standardında detaylı bir şekilde yer verilmektedir. Tablo 1’de karbon çeliğinin yüksek sıcaklıklarda akma dayanımına ve elastisite modülüne ilişkin azaltma faktörleri gösterilmiştir.

Tablo 1. *Karbon Çeliğinin Yüksek Sıcaklıklarda Akma Dayanımına ve Elastisite Modülüne İlişkin Azaltma Faktörleri (Eurocode EN 1993-1-2, 2005)*

Çelik Sıcaklığı θ_a (°C)	θ_a sıcaklığına göre f_y ve E_a için azaltma faktörü değerleri	
	Akma dayanımı için $k_{y,o} = f_y \cdot \theta / f_y$	Elastisite modülü için $k_{E,o} = E_a \cdot \theta / E_a$
	Azaltma faktörü	Azaltma faktörü
20	1.00	1.00
100	1.00	1.00
200	1.00	0.90
300	1.00	0.80
400	1.00	0.70
500	0.78	0.60
600	0.47	0.31
700	0.23	0.13
800	0.11	0.09
900	0.06	0.07
1100	0.02	0.02
1200	0.00	0.00

NOT: Çelik sıcaklığının ara değerleri için doğrusal enterpolasyon kullanılabilir.

Karbon çeliğinin akma dayanımı ve elastisite modülüne ait azaltma faktörünün yüksek sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Yüksek sıcaklıklarda karbon çeliğin sıcaklık-azaltma faktörü grafiği (Eurocode EN 1993-1-2, 2005).

Burada;

$f_{y,0}$: etkili akma dayanımı

f_y : 20 °C 'deki akma dayanımı

$E_{a,0}$: lineer elastik aralığın eğimi

E_a : Normal sıcaklıktaki (20°C) çeliğin elastisite modülü

Şekil 16’de görüldüğü gibi çelik 400°C-500°C aralığında akma dayanımı azalmaya başlanmaktadır. 600 °C civarında ise akma dayanımı yaklaşık olarak %50 azalmaktadır. Elastisite modülü 100°C-200°C aralığında azalmaya başlamakta ve 600 °C civarında ise yaklaşık olarak %70 azalmaktadır. Bu çalışmada açık havada çelik köprü üzerinde meydana gelebilecek çeşitli sebeplerden dolayı (iki arabanın çarpışması, LPG tankerinin patlaması ve açık havada köprü üzerinde meydana gelebilecek vb. olaylar) sıcaklığın 200°C’ye ulaşabileceği varsayılmıştır. Buna göre yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere çeliğin akma dayanımı değişmemekte, elastisite modülü kapasitesi %10 azalarak 0.9 azaltma çarpanı uygulanması gerekmektedir.

ALTINCI BÖLÜM

Uygulamalar

Bu çalışmada literatürden alınan 5 adet düzlem kafes köprü problemi Guguk Kuşu Arama Algoritması yöntemiyle öncelikle literatürde belirtilen gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında çözülmüş ve elde edilen sonuçlar literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar ile bu çalışmada kullanılan metodolojinin doğruluğu teyit edilmiştir. Akabinde ele alınan düzlem çelik köprüler üzerinde çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelebilecek sıcaklık etkisi de analize dahil edilerek tasarım çözümleri yenilenmiştir. Bu çalışmada algoritma kontrol parametreleri literatür çalışmalarına bağlı olarak $\beta=3/2$, $\sigma_v=1$ (Noori, 2021) ve $\alpha=1$ (Çimen ve Boz, 2017) alınmıştır. Ele alınan tüm örneklerin analizlerinde popülasyon büyüklüğü 20 çözüm vektörlü seçilmiştir. İterasyon sayıları ise problemlere bağlı olarak değişmektedir.

Ele alınan düzlem köprü tasarımı çözümlerinde gerilme sınırlayıcıları olarak Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü -İzin Verilen Dayanım Tasarımı (AISC-ASD 1989) standardı dikkate alınmıştır. Ayrıca bu örnekler için literatürde belirtilen yer değiştirme sınır değerleri de deplasman sınırlayıcıları olarak çözümlerde uygulanmıştır. Bu çalışmada ele alınan problemlerin çözümleri için MATLAB programında Guguk Kuşu Arama Algoritmasını uygulayan sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan bir program kodlanmıştır. Sıcaklık etkisi yokken ve varken elde edilen sonuçlar literatür çalışmalarının sonuçları ile karşılaştırılmalı olarak tablolar halinde sunulmuştur.

Bu çalışmada ele alınan örnek problemler sırasıyla; 46 elemanlı, 113 elemanlı, 61 elemanlı, 157 elemanlı ve 138 elemanlı düzlem kafes problemleridir. Sıcaklık etkisinin dikkate alınmadığı durumda elde edilen sonuçlar literatür sonuçlarıyla oldukça uyumludur. Sıcaklık etkisinin dikkate alınması durumunda minimum yapı ağırlığının arttığı gözlenmiştir. Problemlerde AISC'den alınan 297 adet W profili içerisinde optimum boyutlandırmalar gerçekleştirilmiştir.

1. Çalışma 46 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği

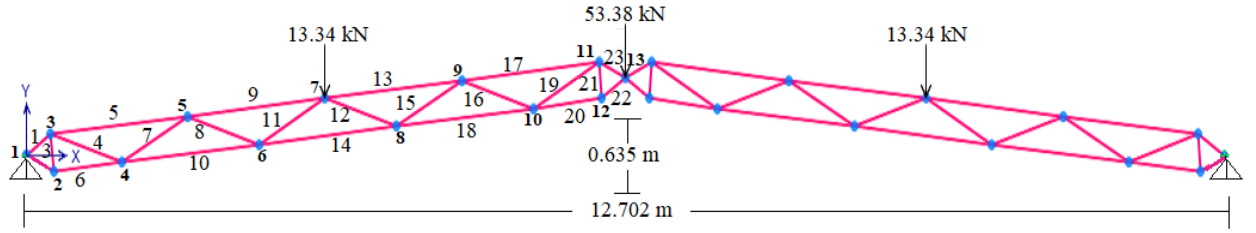
46 elemanlı düzlem kafes örneği literatürde daha önce birçok araştırmacı (Suleman ve Sedaghati (2005), Çarbaş ve Hasancebi (2013), Çarbaş ve Artar (2022)) tarafından incelenmiştir. 46 elemanlı düzlem kafes sistemin geometrisi, eleman ve düğüm noktası numaraları Şekil 17'de verilmiştir. Söz konusu düzlem kafes sistemin düğüm noktalarının

koordinat bilgileri Tablo 2’de sunulmuştur. Problemden Elastisite Modülü $E=203893.60$ MPa ve akma gerilmesi $F_y=253.10$ MPa olarak alınmıştır. Maksimum yer değiştirme sınır değeri $d_{\max}= 2.54$ mm’dir. Düzlem kafes sisteme negatif y yönünde sırasıyla 7, 13 ve 19 düğüm noktalarına 13.34 kN, 53.38 kN ve 13.34 kN yükler uygulanmıştır. Bu çalışmada Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSO) yöntemiyle sıcaklık etkisinin dikkate alınması ve alınmaması durumlarında 46 elemanlı düzlem kafes sistemin optimum tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada CSO yöntemiyle elde edilen optimum tasarım sonuçları, Çarbaş ve Hasancebi (2013) tarafından uygulanan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Armoni Arama Optimizasyonu (HSO) ve Genetik Algoritma (GA) yöntemleriyle, Çarbaş ve Artar (2022) tarafından uygulanan Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BBO) yöntemiyle elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmış ve Tablo 3’de sunulmuştur. Söz konusu tabloda ayrıca bu çalışmada CSO yöntemiyle optimize edilen düzlem kafes sisteme ait maksimum yer değiştirme değerleri ve maksimum gerilme kapasitesi değerleri de verilmiştir.

Tablo 2. 46 Elemanlı Düzlem Kafes Sistemin Düğüm Noktalarına Ait Koordinat Bilgileri

Düğüm noktası numarası	X(cm)	Y(cm)
1	0.00	0.00
2	27.78	-12.54
3	24.76	17.78
4	100.58	-5.26
5	170.38	32.33
6	246.20	9.27
7	316.08	46.91
8	391.78	23.85
9	461.62	61.47
10	537.57	38.43
11	607.16	76.02
12	610.21	45.69
13	635.10	63.50



Şekil 17. 46 elemanlı düzlem kafes sistem.

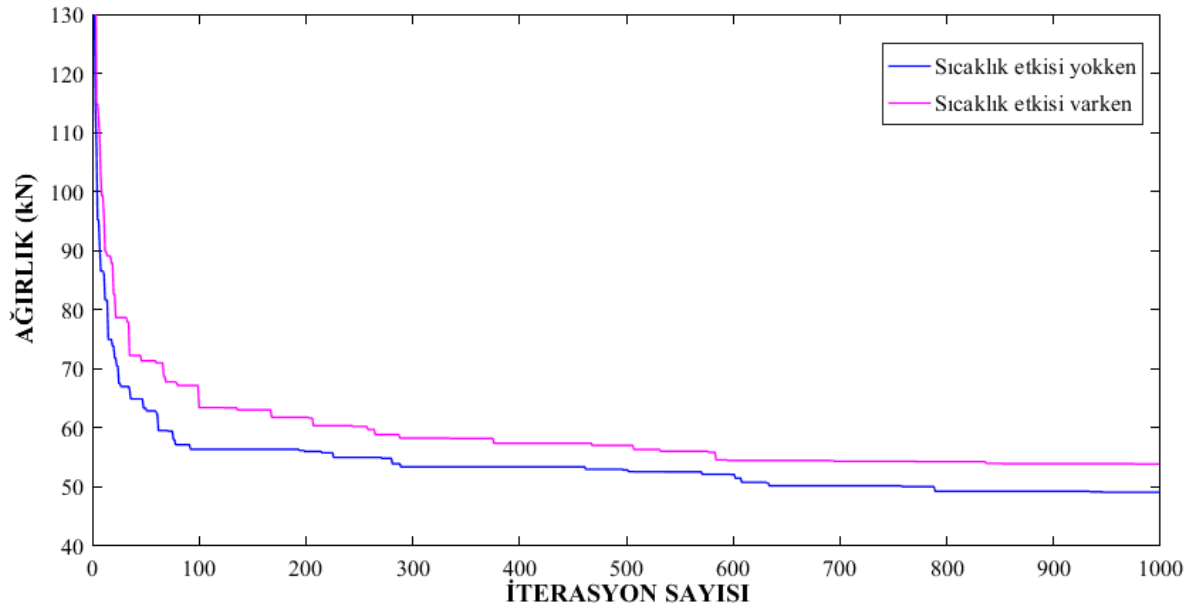
Tablo 3. 46 Elemanlı Düzlem Kafes Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları

GRUP NO	Çarbaş ve Hasancebi (2013)			Çarbaş ve Artar (2022)	Bu çalışma CSO	
	PSO	HSO	GA	BBO	Sıcaklık etkisi yok	Sıcaklık etkisi var
1	W33x130	W33x130	W30x124	W21x147	W18x130	W36x210
2	W14x145	W36x150	W24x112	W18x119	W14x132	W40x149
3	W14x68	W21x68	W18x55	W14x74	W18x60	W24x68
4	W27x114	W10x112	W30x108	W8x10	W4x13	W12x14
5	W6x9	W6x9	W6x9	W24x117	W12x120	W18x158
6	W30x124	W30x124	W27x117	W18x119	W33x141	W33x118
7	W6x9	W6x9	W6x9	W8x10	W5x16	W6x9
8	W24x104	W27x102	W18x106	W8x10	W6x16	W8x18
9	W6x9	W6x9	W6x9	W12x106	W27x161	W36x135
10	W30x132	W30x132	W12x136	W18x97	W21x111	W21x132
11	W6x9	W6x9	W6x9	W10x12	W8x10	W4x13
12	W14x90	W12x87	W12x106	W8x10	W5x16	W8x10
13	W6x9	W6x9	W6x9	W21x132	W27x146	W27x129
14	W36x135	W12x136	W30x124	W18x97	W10x100	W21x122
15	W6x9	W6x9	W6x9	W8x10	W5x16	W4x13
16	W21x101	W27x102	W27x102	W8x10	W14x22	W10x19
17	W6x9	W6x9	W6x9	W18x130	W10x100	W27x161
18	W21x122	W30x124	W24x131	W10x112	W10x100	W30x108
19	W6x9	W6x9	W6x9	W10x12	W5x19	W6x20
20	W30x116	W30x116	W33x118	W12x120	W27x84	W10x88
21	W8x67	W18x65	W18x60	W21x62	W16x31	W16x57
22	W36x135	W14x145	W14x132	W14x145	W27x114	W18x130
23	W36x135	W12x136	W36x135	W40x149	W14x145	W12x106
Optimum Ağırlık (kN)	47.15	47.16	47.50	47.08	49.11	53.90
Maks. Yer Değiştirme (mm)				2.54	2.53	2.54
Maks. Gerilme Kapasitesi (%)					10.03	7.93
Analiz Sayısı	50000	50000	50000		20000	20000

Tablo 3’de verilen sonuçlara göre Çarbaş ve Hasancebi (2013) tarafından PSO algoritması yöntemiyle 47.15 kN, HSO algoritması yöntemiyle 47.16 kN ve GA algoritması

yöntemiyle 47.50 kN; Çarbaş ve Artar (2022) tarafından BBO algoritması yöntemiyle 47.08 kN olarak minimum yapı ağırlığı bulunmuştur. Bu çalışmada ise CSO algoritması yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken minimum yapı ağırlığı 49.11 kN olarak bulunmuştur. CSO algoritması ile elde edilen bu ağırlık değerinin literatürdeki PSO yöntemine göre bulunmuş değerden %4.16, HSO yöntemine göre bulunmuş değerden %4.13, GA yöntemine göre bulunmuş değerden %3.39, BBO yöntemine göre bulunmuş değerden %4.31 daha ağır olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada sıcaklık etkisinin dikkate alınması durumunda CSO yöntemiyle minimum yapı ağırlığı 53.90 kN olarak bulunmuştur. Bu değer sıcaklık etkisi yokken CSO yöntemiyle bulunan 49.11 kN değerine göre %9.75 daha ağırdır. Sıcaklık etkisi için elastisite modülüne uygulanan azaltma faktörünün (0.9) minimum yapı ağırlığını oldukça artırdığı görülmektedir. CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum yer değiştirme değeri sıcaklık etkisi yokken 2.53 mm ve sıcaklık etkisi varken 2.54 mm olarak hesaplanmıştır. Bu durum CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde deplasman sınırlayıcısının oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum gerilme kapasitesi değeri sıcaklık etkisi yokken %10.03 ve sıcaklık etkisi varken %7.93 olarak hesaplanmıştır. Bu durum problemin CSO yöntemiyle yapılan çözümlerinde gerilme sınırlayıcılarının etkili olmadığını göstermektedir.

46 elemanlı düzlem kafes sistemin CSO yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken ve varken yapılan optimum çözümlerine ilişkin ağırlık-iterasyon sayısı grafiği Şekil 18’de sunulmuştur.

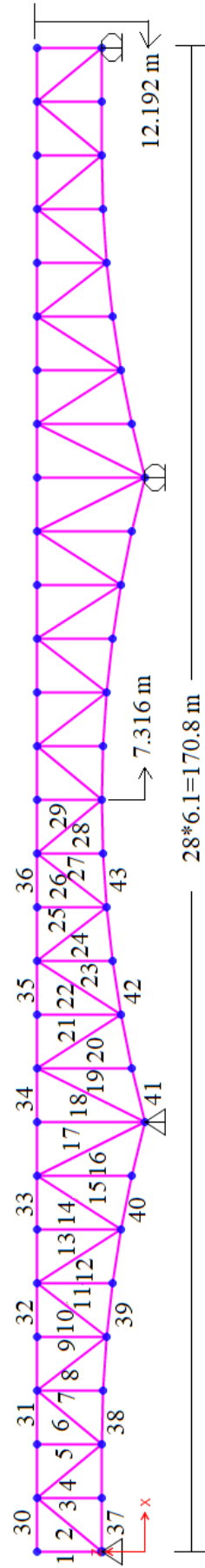


Şekil 18. 46 elemanlı düzlem kafes sistemin ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.

2. Çalışma 113 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği

113 elemanlı düzlem kafes örneği literatürde daha önce birçok araştırmacı (Hasancebi, Çarbas, Dogan, Erdal ve Saka (2009), Çarbaş ve Artar (2021)) tarafından incelenmiştir. 113 elemanlı düzlem kafes sistemin geometrisi ve eleman numaraları Şekil 19’da verilmiştir. 113 elemanlı düzlem kafes köprü simetrisinden dolayı 43 grupta tasarlanmıştır. Problemede, Elastite Modülü $E=203893.60$ MPa ve akma gerilmesi $F_y=253.10$ MPa olarak alınmıştır. Maksimum yer değiştirme sınır değeri $d_{max}=73.10$ mm’dir. Düzlem kafes sistemin her üst düğüm noktasına 355.86 kN’luk yük uygulanmıştır. Bu çalışmada Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSO) yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken ve varken 113 elemanlı düzlem kafesin optimum tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada CSO yöntemiyle elde edilen tasarım sonuçları, Hasancebi vd. (2009) tarafından Evrim Stratejileri (ESs), Çarbaş ve Artar (2021) tarafından Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BBO), Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması (TLBO) yöntemleriyle elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4). Tabloda ayrıca CSO yöntemiyle optimize edilen düzlem kafes sisteme ait maksimum yer değiştirme değerleri ve maksimum gerilme kapasitesi değerleri verilmiştir.



Şekil 19. 113 elemanlı düzlem kafes köprü.

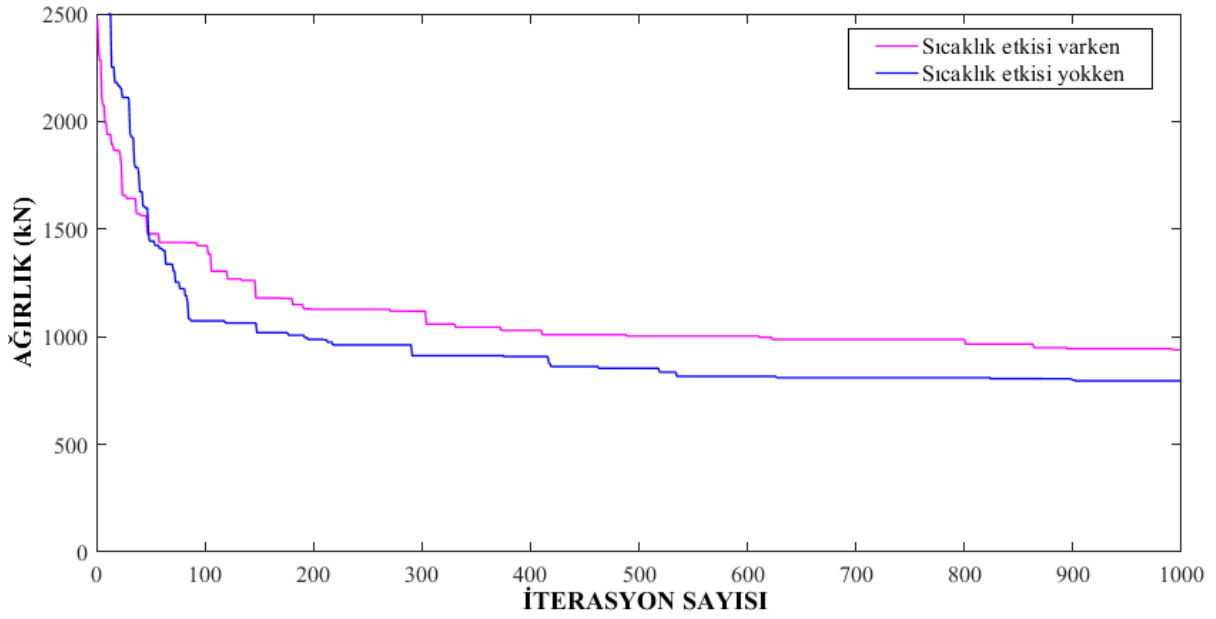
Tablo 4. 113 Elemanlı Düzlem Kafes Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları

Grup No	Hasançebi vd. (2009)	Çarbaş ve Artar (2021)		Bu çalışma CSO	
				Sıcaklık etkisi yok	Sıcaklık etkisi var
	ESs	TLBO	BBO		
1	W10×39	W10x22	W12x16	W12x22	W12x16
2	W12×72	W14x38	W18x40	W18x40	W12x40
3	W8x21	W6x12	W8x21	W6x25	W8x48
4	W8×21	W10x15	W6x16	W14x38	W10x22
5	W10×39	W12x22	W12x40	W8x35	W8x28
6	W8×21	W12x22	W8x28	W18x35	W10x30
7	W8×21	W6x15	W16x26	W4x13	W8x13
8	W12×65	W16x57	W24x68	W12×65	W14x38
9	W10×45	W10x19	W12x30	W21x44	W8x31
10	W8×35	W8x48	W12x40	W14x43	W8x67
11	W8×31	W6x16	W8x18	W10x15	W6x16
12	W14x99	W21x147	W14x99	W16x89	W10x88
13	W10×49	W18x35	W12x26	W18x46	W18x86
14	W10×49	W10x100	W12x53	W21x57	W21x122
15	W10×49	W6x12	W8x15	W14x48	W10x54
16	W14×159	W24x76	W14x99	W18x86	W21x122
17	W12×65	W14x22	W12x30	W21x44	W14x38
18	W14×176	W12x152	W21x101	W21x101	W24x162
19	W10×49	W10x12	W12x19	W14x43	W8x58
20	W12×79	W12x152	W18x60	W12x58	W18x76
21	W10×49	W14x22	W12x19	W12x35	W14x30
22	W14x120	W14x74	W14x120	W10x100	W12x106
23	W8×21	W8x10	W8x13	W6x9	W6x25
24	W14×68	W14x74	W12x106	W24x84	W12x45
25	W10×45	W10x19	W10x45	W14x48	W16x100
26	W12×79	W16x67	W12x45	W30x90	W14x82
27	W8×21	W8x10	W10x12	W12x16	W14x43
28	W8×35	W12x45	W18x55	W16x45	W10x68
29	W12×53	W14x26	W10x60	W18x86	W12x336
30	W10×49	W18x46	W10x45	W14x30	W27x84
31	W10×49	W16x31	W10x39	W14x30	W14x48
32	W12×40	W16x50	W12x45	W12x53	W21x73
33	W14×90	W10x100	W14x109	W33x141	W30x132
34	W10×88	W14x120	W27x94	W27x161	W21x101
35	W12×53	W14x74	W24x55	W24x62	W10x54
36	W10×88	W24x62	W30x148	W18x55	W18x76
37	W8×21	W10x45	W10x39	W14x53	W10x49
38	W6×25	W12x26	W12x30	W16x26	W14x43
39	W8×40	W10x22	W14x53	W14x68	W8x40
40	W14×90	W12x152	W27x84	W18x97	W33x152
41	W12×87	W12x152	W24x103	W27x146	W14x109
42	W8×21	W8x10	W12x14	W8x58	W6x12
43	W10×100	W18x71	W30x148	W21x44	W14x132

	Hasançebi vd. (2009)	Çarbaş ve Artar (2021)		Bu çalışma CSO	
	ESs	TLBO	BBO	Sıcaklık etkisi yok	Sıcaklık etkisi var
Optimum Ağırlık (kN)	810.78	763.22	753.49	795.41	939.07
Maks. Yer Değiştirme (mm)	73.10	73.07	72.34	71.33	73.05
Maks. Gerilme Kapasitesi (%)		99.00	98.00	90.29	98.28
Analiz Sayısı	50000			20000	20000

Tablo 4’de verilen sonuçlara göre Hasancebi vd. (2009) tarafından ESs algoritması yöntemiyle 810.78 kN; Çarbaş ve Artar (2021) tarafından TLBO algoritması yöntemiyle 763.22 kN, BBO algoritması yöntemiyle 753.49 kN olarak minimum yapı ağırlığı bulunmuştur. Bu çalışmada ise CSO algoritması yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken minimum yapı ağırlığı 795.41 kN olarak bulunmuştur. CSO algoritması ile elde edilen bu ağırlık değerinin literatürdeki ESs yöntemine göre bulunmuş değerden %1.90 daha hafif, TLBO yöntemine göre bulunmuş değerden %4.22, BBO yöntemine göre bulunmuş değerden %5.56 daha ağır olduğu görülmüştür. Bu çalışmada sıcaklık etkisinin dikkate alınması durumunda CSO yöntemiyle minimum yapı ağırlığı 939.07 kN olarak bulunmuştur. Bu değer sıcaklık etkisi yokken CSO yöntemiyle bulunan 795.41 kN değerine göre %18.06 daha ağırdır. Sıcaklık etkisinin minimum yapı ağırlığını oldukça artırdığı ortaya çıkmaktadır. CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum yer değiştirme değeri sıcaklık etkisi yokken 71.33 mm ve sıcaklık etkisi varken 73.05 mm olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum gerilme kapasitesi değeri sıcaklık etkisi yokken %90.29 ve sıcaklık etkisi varken %98.28 olarak hesaplanmıştır. Bu durum CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde deplasman ve gerilme sınırlayıcılarının oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

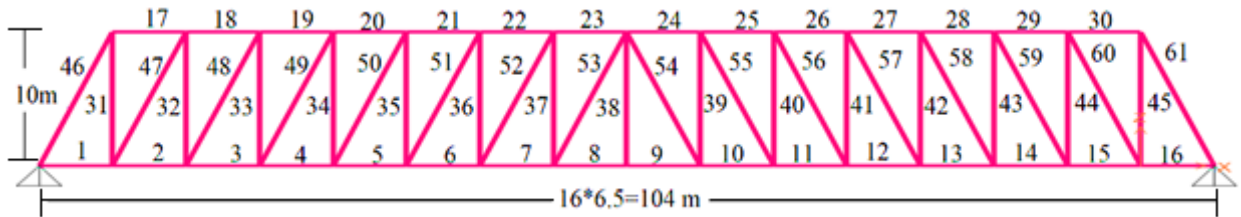
113 elemanlı düzlem kafes sistemin CSO yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken ve varken yapılan optimum çözümlerine ait ağırlık-iterasyon sayısı grafiği Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. 113 elemanlı düzlem kafes sistemin ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.

3. Çalışma 61 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği

61 elemanlı düzlem kafes örneği literatürde daha önce birçok araştırmacı (Artar, Çatar ve Daloğlu (2017)) tarafından incelenmiştir. 61 elemanlı düzlem kafes probleminin geometrisi ve eleman numaraları Şekil 21’de verilmiştir. Problemde, Elastite Modülü $E=29000$ ksi (199947.96 MPa) ve akma gerilmesi $F_y=36$ ksi (248.21 MPa) olarak alınmıştır. Maksimum yer değiştirme sınır değeri $d_{\max}=104.00$ mm’dir. 61 elemanlı düzlem kafes köprüsüne 320.00 kN’luk yük, her bir alt düğüm noktasına uygulanmıştır. Bu düzlem kafes köprü simetrik olup 8 grupta toplanmıştır. Bu çalışmada 61 elemanlı düzlem kafes sistemin Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSO) yöntemiyle sıcaklık etkisinin dikkate alınması ve alınmaması durumlarına ilişkin optimum tasarımları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen optimum tasarım sonuçları, Artar vd. (2017) tarafından Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) yöntemiyle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak Tablo 5’de sunulmuştur. Tablo 5’de ayrıca bu çalışmada CSO yöntemiyle çözülen düzlem kafes sisteme ait maksimum yer değiştirme değerleri ve maksimum gerilme kapasitesi değerleri verilmiştir.



Şekil 21. 61 elemanlı düzlem kafes köprü.

Tablo 5. 61 Elemanlı Düzlem Kafes Köprüünün Optimum Tasarım Sonuçları

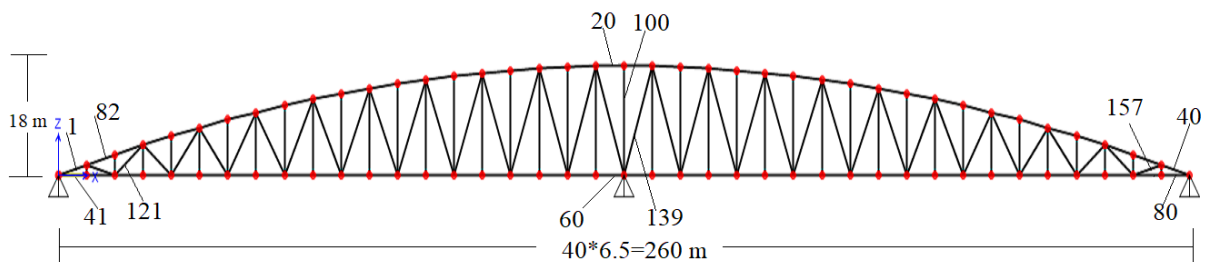
Grup No	Çubuk No	Artar vd. (2017)	Bu çalışma CSO	
		TLBO	Sıcaklık etkisi yok	Sıcaklık etkisi var
1	1-4	W40×298	W12x279	W36x260
2	5-8	W18×97	W10x88	W24x103
3	17-20	W44×285	W36x280	W36x359
4	21-23	W40×503	W14x550	W14x550
5	31-34	W30×191	W24x176	W21x223
6	35-38	W12×87	W16x100	W33x130
7	46-49	W36×194	W27x217	W12x190
8	50-53	W24×94	W30x90	W12x152
Optimum Ağırlık (kN)		1516.74	1544.40	1734.90
Maks. Yer Değiştirme (mm)		103.96	103.99	103.99
Maks. Gerilme Kapasitesi (%)			65.51	77.98
Analiz Sayısı		6000	10000	10000

Tablo 5’de verilen sonuçlara göre minimum yapı ağırlığı Artar, Çatar ve Daloğlu (2017) tarafından TLBO algoritması yöntemiyle 1516.74 kN olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise minimum yapı ağırlığı CSO algoritması yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken 1544.40 kN olarak bulunmuştur. CSO algoritması ile elde edilen bu ağırlık değerini literatürdeki TLBO yöntemine göre bulunmuş değerden %1.82 daha ağır olduğu görülmüştür. Bu çalışmada sıcaklık etkisinin dikkate alınması durumunda CSO yöntemiyle minimum yapı ağırlığı 1734.90 kN olarak bulunmuştur. Bu değer sıcaklık etkisi yokken CSO yöntemiyle bulunan minimum ağırlık değerine göre %12.33 daha ağırdır. Bu çalışmada sıcaklık etkisi minimum yapı ağırlığını artırmıştır. CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum yer değiştirme değeri sıcaklık etkisinin olması ve olmaması durumlarında 103.99 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değer yer değiştirme sınır değeri ile neredeyse aynıdır. Bu durum CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde deplasman sınırlayıcısının oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum gerilme kapasitesi değeri sıcaklık etkisi yokken %65.51 ve sıcaklık etkisi varken %77.98 olarak hesaplanmıştır.

İTERASYON SAYISI	Sıcaklık etkisi yokken (kN)	Sıcaklık etkisi varken (kN)
0	5000	5000
10	2000	2150
50	1850	2150
100	1550	2150
110	1550	1900
150	1550	1900
300	1550	1900
310	1550	1750
400	1550	1750
500	1550	1750

4. Çalışma 157 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği

Bu çalışmada CSO yöntemiyle sıcaklık etkisi varken ve yokken elde edilen optimum tasarım sonuçları, Artar vd. (2017) tarafından Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) yöntemiyle elde edilmiş sonuçlar ile Tablo 6’da karşılaştırılmıştır. Tabloda ayrıca bu çalışmada CSO yöntemiyle optimize edilen düzlem kafes köprüye ait maksimum yer değiştirme değerleri ve maksimum gerilme kapasitesi değerleri verilmiştir.



39

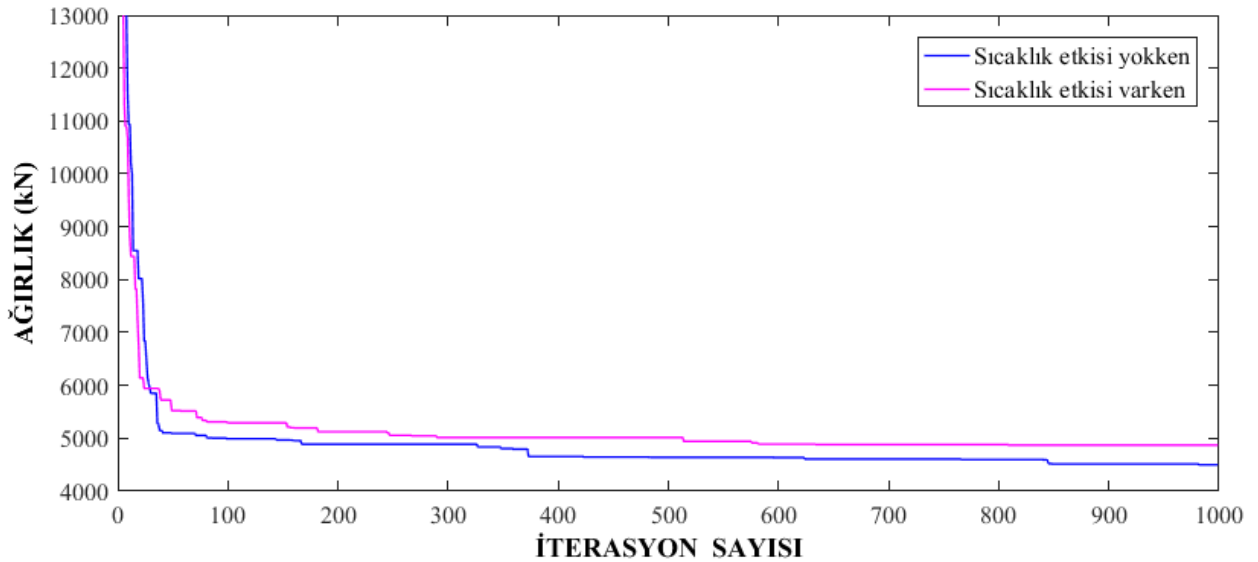
Tablo 6. 157 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü'nün Optimum Tasarım Sonuçları

Grup No	Çubuk No	Artar vd. (2017) TLBO	Bu çalışma CSO	
			Sıcaklık etkisi yok	Sıcaklık etkisi var
1	1-5	W40×397	W36x848	W36x848
2	6-10	W40×431	W33x468	W36x527
3	11-15	W12×120	W24x229	W36x160
4	16-20	W40×431	W27x281	W40x328
5	41-45	W40×503	W27x407	W40x297
6	46-50	W40×397	W44x248	W30x191
7	51-55	W44×224	W14x159	W40x249
8	56-60	W40×503	W24x370	W14x730
9	81-85	W14×34	W12x45	W18x50
10	86-90	W18×50	W18x71	W14x26
11	91-95	W6×15	W8x18	W4x13
12	96-100	W12×14	W12x19	W12x16
13	120-124	W14×48	W10x45	W18x40
14	125-130	W14×193	W27x161	W18x211
15	131-134	W44×224	W36x182	W30x191
16	135-138	W44×224	W24x250	W27x258
Optimum Ağırlık (kN)		4536.91	4497.80	4869.90
Maks. Yer Değiştirme (mm)		130.00	129.40	129.90
Maks. Gerilme Kapasitesi (%)			91.13	87.99
Analiz Sayısı			20000	20000

Tablo 6'da verilen sonuçlara göre söz konusu kafes köprüye ilişkin minimum yapı ağırlığı Artar vd. (2017) tarafından TLBO algoritması yöntemiyle 4536.91 kN olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise CSO algoritması yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken minimum yapı ağırlığı 4497.80 kN olarak bulunmuştur. CSO algoritması ile elde edilen bu ağırlık değerinin literatürde TLBO yöntemine göre bulunmuş değerden %0.86 daha hafif olduğu

görülmüştür. Bu çalışmada sıcaklık etkisinin analizlere dahil edildiği durumda CSO yöntemiyle minimum yapı ağırlığı 4869.90 kN olarak bulunmuştur. Bu değer sıcaklık etkisi yokken CSO yöntemiyle bulunan minimum ağırlık değerine göre %8.27 daha ağırdır. Bu çalışmada sıcaklık etkisi minimum yapı ağırlığını artırmıştır. CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum yer değiştirme değeri sıcaklık etkisi yokken 129.40 mm ve sıcaklık etkisi varken 129.90 mm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum gerilme kapasitesi değeri sıcaklık etkisi yokken %91.13 ve sıcaklık etkisi varken %87.99 olarak bulunmuştur. 157 elemanlı düzlem kafes köprü örneğinin boyutlandırılmasında deplasman ve gerilme sınırlayıcıları etkili olmuştur.

157 elemanlı düzlem kafes köprüünün CSO yöntemiyle yapılan optimum çözümlerine ait ağırlık-iterasyon sayısı grafiği Şekil 24’de verilmiştir.



Şekil 24. 157 elemanlı düzlem kafes köprü sistemin ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.

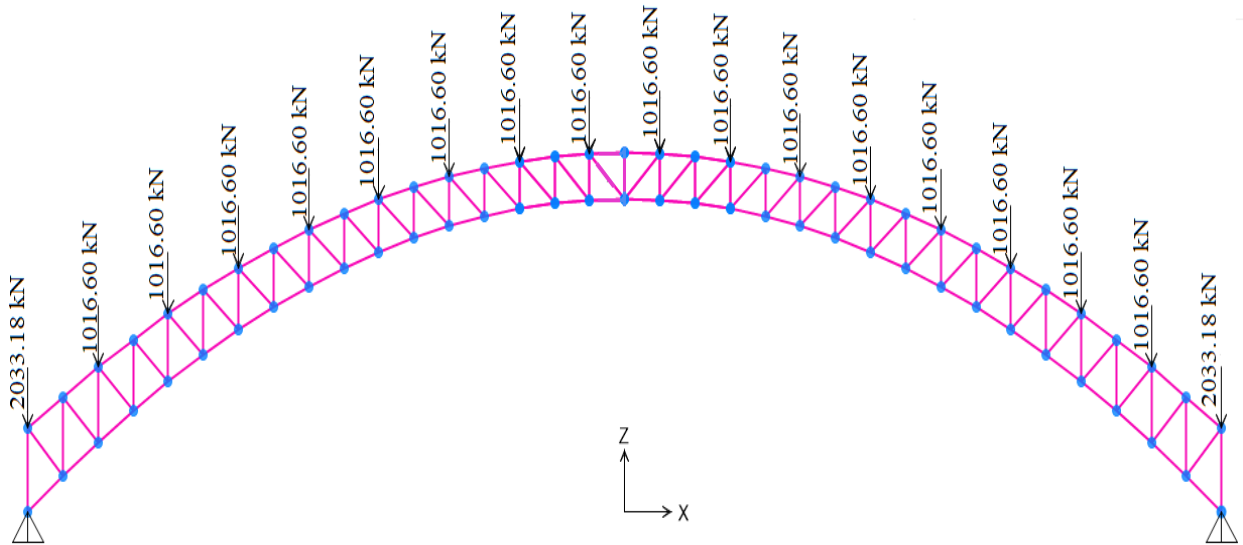
5. Çalışma 138 Elemanlı Düzlem Kafes Köprü Örneği

Burro Creek Köprüsü Arizona'da bulunan Las Vegas ile Phoenix arasındaki koridoru sağlayan bir yapıdır. Bu 138 elemanlı düzlem kafes yapının görünümü, geometrisi ve eleman numaraları Şekil 25-26'da verilmiştir. Bu problem literatürde daha önce birçok araştırmacı (Makiabadi, Baghlani, Rahnama ve Hadianfard (2013), Kaveh ve Mahdavi (2014), Makiabadi, Baghlani ve Maheri (2017)) tarafından incelenmiştir. Problemde Elastisite Modülü $E=201097.11$ MPa ve akma gerilmesi $F_y=344.74$ MPa olarak alınmıştır. Maksimum yer değiştirme sınır değeri $d_{max}= 259.08$ mm'dir. 138 elemanlı köprüye 1016.60 kN ve 2033.18 kN'luk yükler Şekil 26'da gösterildiği gibi uygulanmıştır. Yapı simetrik olduğu için analizler 69 eleman 36 düğüm noktası dikkate alınarak yapılmıştır (Şekil 27). Bu çalışmada Guguk Kuşu

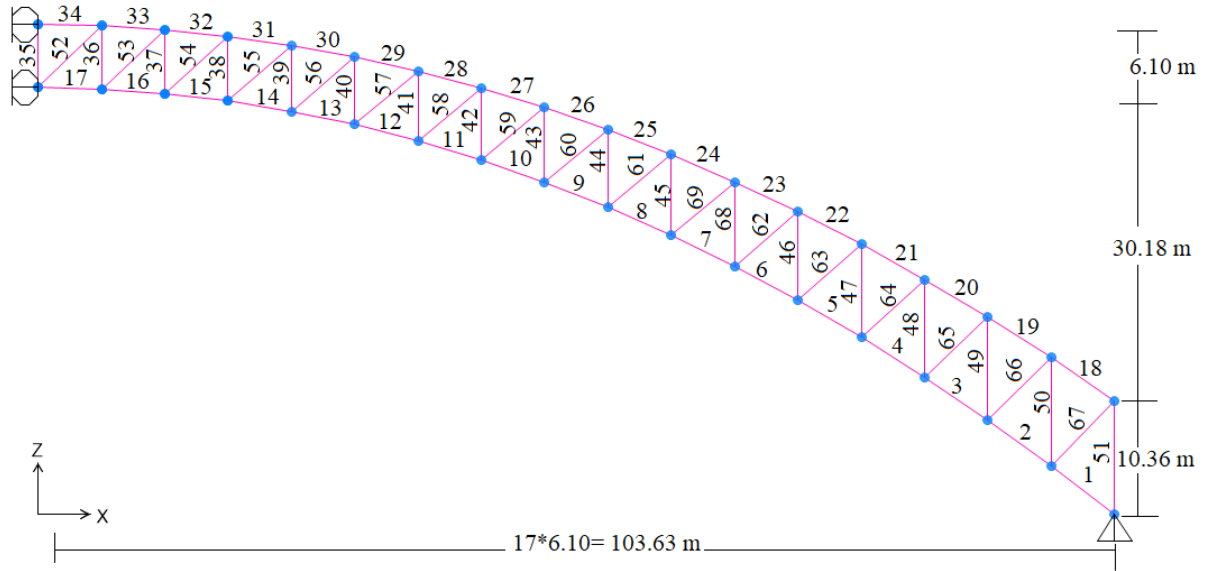
Arama Algoritması (CSO) yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken ve varken 138 elemanlı düzlem kafes köprünün optimum tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu optimizasyon yöntemine göre elde edilen tasarım sonuçları, Makiabadi vd. (2013) tarafından Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon-Ceza Fonksiyonlu (TLBO-PF), Kaveh ve Mahdavi (2014) tarafından Çarpışan Cisimler Optimizasyonu (CBO), Makiabadi, Baghlani ve Maheri (2017) tarafından Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon-Haritalama Stratejili (TLBO-MS) yöntemiyle elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Tablo 8).



Şekil 25. Burro Creek köprüsü (URL-18).



Şekil 26. 138 elemanlı Burro Creek köprüsü.



Şekil 27. 69 elemanlı Burro Creek köprüsü.

Elemanların gruplandırılması Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Burro Creek Köprüsü Tasarım Değişkenleri

Tasarım değişkenleri	Eleman Numarası (8 gruplu)
A1	52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,69
A2	34,33,32,31,30,29,28,27,26,25,24
A3	35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45
A4	17,16,15,14,13,12,11,10,9,8,7
A5	62,63,64,65,66,67
A6	23,22,21,20,19,18
A7	68,46,47,48,49,50,51
A8	6,5,4,3,2,1

69 elemanlı Burro Creek köprüsüne ilişkin literatürde farklı optimizasyon yöntemleriyle elde edilmiş tasarım sonuçlarıyla, bu çalışmada CSO yöntemiyle elde edilen minimum ağırlıklar, maksimum yer değiştirme değerleri ve maksimum gerilme kapasitesi değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

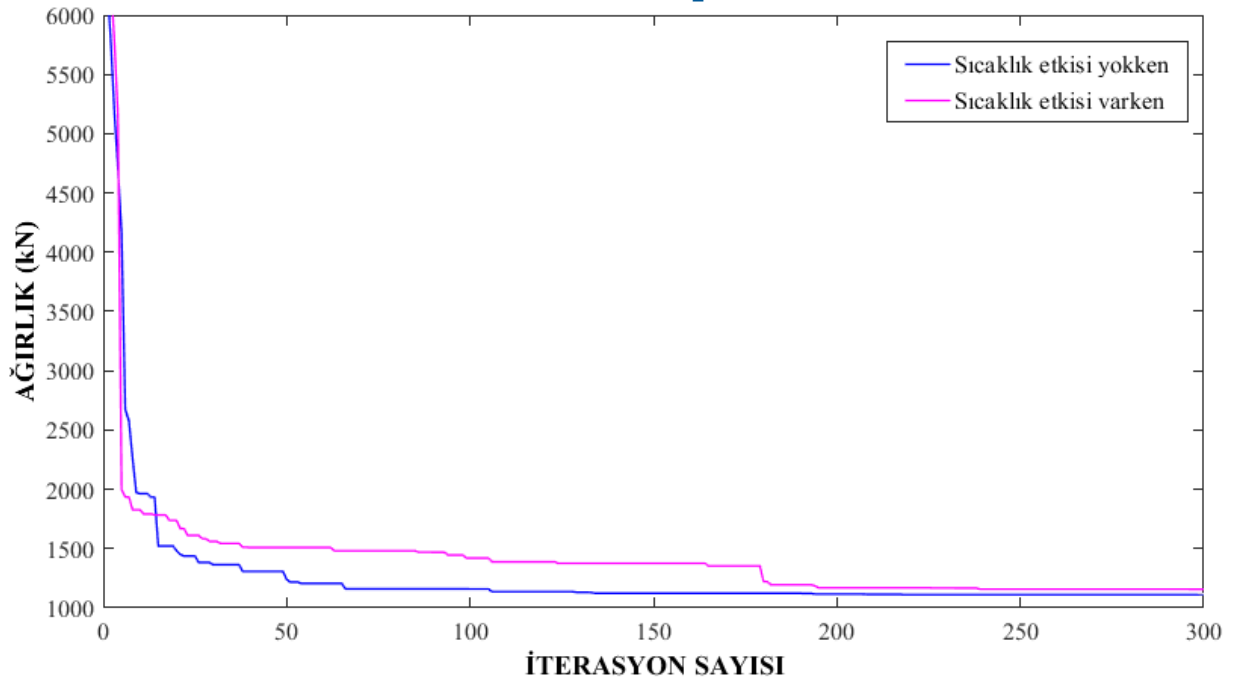
Tablo 8. 69 Elemanlı Burro Creek Köprüsü Optimum Tasarım Sonuçları (Kesit Alanları, cm²)

No	Grup No	Makiabadi vd. (2013)	Kaveh ve Mahdavi (2014)	Makiabadi vd. (2017)	Bu çalışma CSO	
		TLBO-PF	CBO	TLBO-MS	Sıcaklık etkisi yok	Sıcaklık etkisi var
1	A1	18580	18581	18581	18968	18774
2	A2	42965	43230	35613	31935	34581
3	A3	20655	18587	18581	18968	18774
4	A4	53017	45204	31736	41935	43355
5	A5	18592	18581	18581	18774	18774
6	A6	29011	18584	18581	18968	18774
7	A7	39754	18582	19039	20129	20645
8	A8	78187	75540	60969	68387	75484
Optimum Ağırlık (kN)		1405.12	1200.30	1038.25	1111.70	1157.40
Maks. Yer Değiştirme (mm)				259.08	236.25	243.40
Maks. Gerilme Kapasitesi (%)					99.77	98.92
Analiz Sayısı		35000	8000	7000	6000	6000

Tablo 8’de verilen sonuçlara göre minimum yapı ağırlığı Makiabadi vd. (2013) tarafından TLBO-PF algoritması yöntemiyle 1405.12 kN; Kaveh ve Mahdavi (2014) tarafından CBO algoritması yöntemiyle 1200.30 kN; Makiabadi vd. (2017) tarafından TLBO-MS algoritması yöntemiyle 1038.25 kN olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise CSO algoritması yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken minimum yapı ağırlığı 1111.70 kN olarak bulunmuştur. CSO algoritması ile elde edilen bu ağırlık değerinin literatürdeki TLBO-PF yöntemine göre bulunmuş değerden %20.88, CBO yöntemine göre bulunmuş değerden %7.38 daha hafif, TLBO-MS yöntemine göre bulunmuş değerden ise %7.07 daha ağır olduğu görülmüştür. Bu çalışmada sıcaklık etkisinin dikkate alınması durumunda CSO yöntemiyle minimum yapı ağırlığı 1157.40 kN olarak hesaplanmıştır. Bu değer sıcaklık etkisi yokken CSO yöntemiyle bulunan değere göre %4.11 daha ağırdır. Bu durum sıcaklık etkisi için elastisite modülüne uygulanan azaltma faktörünün (0.9) minimum yapı ağırlığını oldukça artırdığını göstermektedir. CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum yer değiştirme değeri sıcaklık etkisi yokken 236.25 mm, sıcaklık etkisi varken 243.40 mm ve TLBO-MS yönteminde ise

259.08 mm olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra CSO yöntemiyle yapılan çözümlerde maksimum gerilme kapasitesi değeri sıcaklık etkisi yokken %99.77 ve sıcaklık etkisi varken %98.92 olarak hesaplanmıştır. 138 elemanlı Burro Creek köprüsünün optimum boyutlandırılmasında deplasman ve gerilme sınırlayıcıları etkili olmuştur.

138 elemanlı Burro Creek köprüsünün CSO yöntemiyle sıcaklık etkisi yokken ve varken yapılan optimum çözümlerine ait ağırlık-iterasyon sayısı grafiği Şekil 28’de sunulmuştur.



Şekil 28. 138 elemanlı Burro Creek köprüsünün ağırlık-iterasyon sayısı grafiği.

YEDİNCİ BÖLÜM

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, literatürden alınan 5 adet düzlem kafes köprü probleminin Guguk Kuşu Arama Optimizasyon yöntemi kullanılarak sıcaklık etkisi yokken ve varken optimum boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Guguk Kuşu Arama Optimizasyon yönteminin aşamaları incelenmiştir. Daha sonra Guguk Kuşu Arama Optimizasyon (CSO) yöntemini kullanan ve sonlu elemanlar yöntemiyle (SEM) çalışan bir program MATLAB’de geliştirilmiştir. Optimum çözümlerde sınırlayıcılar olarak gerilme sınırlayıcıları (AISC-ASD 1989), deplasman sınırlayıcıları ve ilave olarak da sıcaklık etkisi dikkate alınmıştır. Literatürden alınan 5 düzlem kafes örneği sıcaklık etkisi yokken optimize edilerek literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve bu çalışmada kullanılan yöntemin doğruluğu teyit edilmiştir. Daha sonra ele alınan bu düzlem çelik köprülerde herhangi bir sebepten dolayı (iki arabanın çarpışması, LPG tankerinin patlaması ve açık havada köprü üzerinde meydana gelebilecek vb. olaylar) ortaya çıkabilecek sıcaklık etkisi de optimizasyona dahil edilerek optimum çözümler yenilenmiştir. Bu çalışmada sıcaklık etkisi için elastisite modülüne uygulanan azaltma faktörü minimum yapı ağırlığını artırmıştır. Örneklerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Bu çalışmada Guguk Kuşu Arama Optimizasyon (CSO) yöntemiyle sıcaklık etkisi varken bulunan minimum ağırlık değerinin, sıcaklık etkisi yokken bulunan değere göre;

- ❖ Tek açıklıklı 46 elemandan oluşan düzlem kafes köprü örneği için %9.75,
- ❖ Üç açıklıklı 113 elemandan oluşan düzlem kafes örneği için %18.06,
- ❖ Tek açıklıklı 61 elemandan oluşan düzlem kafes köprü örneği için %12.33,
- ❖ Tek açıklıklı 157 elemandan oluşan düzlem kafes sistem örneği için %8.27,
- ❖ Tek açıklıklı 138 elemandan oluşan düzlem kafes köprü örneği için %4.11 daha ağır olduğu görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalar için şu hususlar önerilebilir:

- ❖ Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSO) basit ve verimli bir yöntem olduğundan dolayı farklı çalışmalarda kullanılabilir.
- ❖ Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSO) farklı algoritmalarla birleştirilip etkili bir algoritma yöntemi ortaya çıkarılabilir.
- ❖ Açık ve kapalı ortamlarda sıcaklık etkisi dahil edilerek yapılar optimize edilebilir.

Kaynakça

- Abed, G. R. (2020). *Güncel metasezgisel optimizasyon algoritmalarının çelik yapıların optimum boyutlandırılması problemindeki performanslarının incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 623788)
- Afzali, S. H., Darabi A., & Niazkar M. (2016). Steel frame optimal design using MHBMO algorithm. *International Journal of Steel Structures*, 16(2), 455–65. doi: 10.1007/s13296-016-6016-y
- AISC. (1989). *Frames and Other Structures. Specification for structural steel buildings (Allowable Stress Design and Plastic Design)*. <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/manual/15th-ed-ref-list/specification-for-structural-steel-buildings-allowable-stress-design-and-plastic-design.pdf> adresinden erişildi.
- Artar, M., & Daloglu, A. (2015). Çok katli kompozit çelik çerçevelerin Genetik Algoritma ile dinamik sınırlayıcı optimizasyonu. *İMO Teknik Dergi*, 26(2), 7077–98.
- Artar, M., Catar, R., & Daloglu, A. T. (2017). Optimum design of steel bridges including corrosion effect using TLBO. *Structural Engineering and Mechanics*, 63(5), 607-615.
- Aydin, Z. (1999). “Kafes sistemlerin uygulamaya yönelik optimum tasarımı” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 951–957. <https://atif.sobiad.com/index.jsp?modul=makale-goruntule&id=w2snjXgBu-adCBSEcKRW> adresinden edinilmiştir.
- Aydoğdu, İ., & Saka, M. P. (2012). Ant Colony Optimization of irregular steel frames including elemental warping effect. *Advances in Engineering Software*, 44(2012), 150-169.
- Aydoğdu, İ. (2010). *Optimum design of 3-d irregular steel frames using ant Colony Optimization and Harmony Search Algorithms* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No.268794)
- Azad, S. K., & Hasançebi, O. (2015). Discrete sizing optimization of steel trusses under multiple displacement constraints and load cases using guided stochastic search technique. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 52(2), 383–404. doi: 10.1007/s00158-015-1233-0.
- Bayar, G. Y. (2008). *Çerçeve taşıyıcı sistemlerin optimum tasarım* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 255029)
- Chandrupatla, T. R., & Belegundu, A.D., (2017). *Mühendislikte sonlu elemanlara giriş*, (Prof.Dr. Sami Karadeniz, çev. ed.). İstanbul: Avcılar. (Çalışmanın orijinali 1992’te yayımlanmıştır.)
- Çakır, E. (2011). *Öngerilmeli çelik kafes kirişlerin minimum ağırlıklı boyutlandırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 297661)
- Çarbas, S., & Hasancebi, O. (2013). “Optimum design of steel space frames via Bat Inspired Algorithm.” *10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*, 1(1), 1–10.
- Çarbas, S., & Saka, M. P. (2012). Optimum topology design of various geometrically nonlinear latticed domes using improved Harmony Search method. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 45(3), 377–99. doi: 10.1007/s00158-011-0675-2.
- Çarbas, S., Aydogdu, İ., & Saka, M. P. (2013). *A comparative study of three metaheuristics for optimum design of engineering structures*. 10th World Congress on Structural and

Multidisciplinary, Orlando, Florida, ABD. <https://mae.ufl.edu/mdo/Papers/5202.pdf> adresinden edinilmiştir.

- Çarbaş, S., & Artar, M. (2022). Optimum discrete design of steel planar trusses comprising earthquake load impact. *Proceedings of 7th international conference on harmony search, soft computing and applications*, 369-379. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-2948-9_36 hesabından erişildi.
- Çarbaş, S., & Artar, M. (2021). Discrete sizing design of steel truss bridges Through Teaching-Learning-Based and Biogeography-Based Optimization algorithms involving dynamic constraints. *Structures*, 34, 3533-3547.
- Çarbaş, S., & Hasancebi, O. (2013). Optimal design of steel trusses using Stochastic Search techniques. *Proceedings of the Fourth International Conference on Mathematical and Computational Applications, Manisa*. 221-230.
- Çarbaş, S., & Saka, M. P. (2009). Optimum design of single layer network domes using Harmony Search method. *Archive of SID*, 10(1), 97-112.
- Çarbaş, S., & Saka, M. P. (2015, Ağustos). Suni arı kolonisi yöntemi kullanılarak soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik kesitlerden yapılan az katlı çelik çerçevelerin tasarım optimizasyonu. XIX. Ulusal Mekanik Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Çiftçioğlu, A.Ö., & Doğan, E. (2019). Çelik çerçevelerin farklı stokastik yöntemler kullanılarak optimum boyutlandırılması. *Konya Teknik Üniversitesi Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(4): 847–861. doi: 10.36306/konjes.654958
- Çimen, M.E., & Boz, A.F. (2017, December). *An interface design for controlling dead time systems using PSO, CS and FA algorithms*. 8th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.
- Daloğlu, A., Artar, M., Özgan, K., & Karakaş, A. İ. (2015). “Elastik zemine oturan uzay çelik çerçevelerin GA ile optimum tasarımı.” XIX. Ulusal Mekanik Kongresi 380–89. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Değertekin, S. Ö., Ülker, M., & Hayalioğlu, M. S. (2013). Kafes yapıların modifiye edilmiş yapay arı koloni algoritması ile optimizasyonu. XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi içinde (s. 196–206).
- Değertekin, S., Özgür, M. Hayalioğlu, S., & Görgün, H. (2011). Geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin gelişmiş Armoni Arama yöntemiyle optimum tasarımı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2(1), 45–56.
- Doğan, E. (2010). *Optimum design of rigid and semi-rigid steel sway frames including soil-structure interaction* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 268793)
- Eren, E. (2022). *Çerçeve sistemlerin sezgisel algoritma teknikleriyle optimum tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 710435)
- Eser, C. (2014). *Optimum design of steel structures via Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm and SAP2000* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 368744)
- Es-Haghi, M.S., Shishegaran, M., A., & Rabczuk, T. (2020). Evaluation of a novel asymmetric genetic algorithm to optimize the structural design of 3d regular and irregular steel frames. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(5), 1110–30. doi:

- Eurocode. (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures- Part 1-2: General rules- Structural fire design Authority: The European Union Per Regulation*. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.1.2.2005.pdf> adresinden erişildi.
- Gero.M. B. P., García, A. B., & Díaz, J. J. D. C. (2005). A modified elitist Genetic Algorithm applied to the design optimization of complex steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(2), 265–80. doi: 10.1016/j.jcsr.2004.07.007
- Gholizadeh, S. (2015). Performance-based optimum seismic design of steel structures by a Modified Firefly Algorithm and a new neural network. *Advances in Engineering Software*, 81(C), 50–65.
- Hasaıcebi, O., & arbas, S. (2014). Bat Inspired Algorithm for discrete size optimization of steel frames. *Advances in Engineering Software*, 67, 173-185. doi: 10.1016/j.advengsoft.2013.10.003
- Hasaıcebi, O., arbaş, S., Doğan, E., Erdal, F., & Saka, M.P. (2010). Comparison of non-deterministic search techniques in the optimum design of real size steel frames. *Computers and Structures* 88(17–18), 1033–1048. doi: 10.1016/j.compstruc.2010.06.006
- Hasaıcebi, O., arbaş, S., Doğan, E., Erdal, F., & Saka, M.P. (2009) “Performance evaluation of metaheuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures. *Computers and Structures*, 88(5–6), 284–302. doi: 10.1016/j.compstruc.2009.01.002
- Jawad, F. K., Mahmood, M., Wang, D., Al-Azzawi, O., & Al-Jamely, A. (2021). Heuristic Dragonfly Algorithm for optimal design of truss structures with discrete variables. *Structures*, 29, 843-862.
- Kameshki, E. S., & Saka, M. P. (2001). Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a Genetic Algorithm. *Computers & Structures*, 79(17), 1593-1604.
- Karakaş, A. İ. (2017). *Elastik zemine oturan kule tipi yapıların SAP2000-OAPI kullanılarak yapısal analizi ve optimum tasarımı* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 461840)
- Kaveh, A., & Mahdavi, V.R. (2014). Colliding Bodies Optimization method for optimum design of truss structures with continuous variables. *Advances in Engineering Software*, 70(2014), 1-12.
- Kaveh, A., Bakhshpoori, T., & Ashoory. M. (2012). An efficient optimization procedure based on Cuckoo Search Algorithm for practical design of steel structures. *International Journal Of Optimization In Civil Engineering*, 2(1), 1-14.
- Kaya, E. (2017). *Düzlem kafes sistemlerin Genetik ve Memetik Algoritmayla optimum tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 502497)
- Korkut, A. E. (2013). *A practical optimum design of steel structures with Scatter Search method and SAP2000* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 341143)
- Liu, Y., Lou, G., Ju, X., & Liu, X. (2017). Safety evaluation of a large-span double-deck cable-stayed steel bridge under fire. *The online collection for conference papers in civil engineering*.september 13-15.

- Makiabadi, M.H., Baghlani, A., Rahnema, H., & Hadianfard, M.A. (2013). Optimal design of truss bridges using Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 3(3), 499-510.
- Makiabadi, M.H., Baghlani, A., & Maheri, M.R. (2017). Sizing optimization of truss structures by an efficient constraint-handling strategy in TLBO. *International Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(4). doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000642
- Mansouri, I., Soori, S., Amraie, H., Hu, J., & Shahbazi, S. (2018). Performance Based Design optimum of CBFs using Bee Colony Algorithm. *Steel and Composite Structures*, 27(5), 613-622.
- Noori, M. (2021). *İnşaat projelerinde meta-sezgisel algoritmalar ile süre-maliyet-kalite ödünleşim problemlerinin optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 679180)
- Peker, F. Ü. (2019). *Kompozit çelik I-kiriş köprülerin sezgisel algoritma teknikleriyle optimum tasarımı* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 593910)
- Saka, M. P. (2009). Optimum design of steel sway frames to BS5950 using Harmony Search Algorithm. *Journal of Constructional Steel Research*, 65 (2009), 36-43.
- Saka, M. P., Çarbas, S., Aydogdu, I., & Akın, A. (2016). Use of Swarm Intelligence in Structural Steel Design Optimization. *Modeling and Optimization in Science and Technologies* 7(43), 73. doi: 10.1007/978-3-319-26245-1_3.
- Sevim, Ö., & Sönmez, M. (2014). Geliştirilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması ile kafes ve düzlemsel çelik yapıların optimum tasarımı. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2), 38-51.
- Shaban, S. S. S. (2021). *Optimization and standardization of free-form steel double-layer grids* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 682862)
- Suleman, A., & Sedaghati, R. (2005). Benchmark case studies in optimization of geometrically nonlinear structures. *Struct Multidisc Optim*, 30, 273-296. doi: 10.1007/s00158-005-0524-2.
- Şeker, S. Doğan, E., & Kozanoğlu, C. (2017). Yarı Rijit Çelik Çerçevelerin Stokastik Arama Yöntemleri Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3):785-795.
- Şeker, T. (2008). *Düzlemsel çelik çerçevelerin Genetik Algoritma ile optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 251191)
- Tuna, P. Ö. (2014). *Guguk Kuşu (Cuckoo) Algoritması ile bulanık sistem optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 364028)
- Tutar, H. (2020). *Çelik çerçevelerin Hibrit Öğrenme Esaslı Jaya Algoritması yöntemi ile performansa dayalı optimum sismik tasarımı* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 635657)
- Uğur, İ. B. (2021). *Büyük ölçekli çelik yapıların sezgisel optimizasyon yöntemleriyle optimum tasarımı* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 704889)

- (URL-1) <https://evrimagaci.org/kus-yumurtalari-neden-farkli-renklerde-olacak-sekilde-evrimlesti-426>
- (URL-2) <https://www.sipagetti.com/tr/yazi/117/dogadaki-en-tembel-anne-guguk-kusu>
- (URL-3) <https://www.akcakocatv.com/cemiyet-hayati-haberleri/31827-guguk-kusu-yuva-yapmaz-kuluckaya-yatmaz-hazira-konar>
- (URL-4) <https://tr.wikipedia.org/wiki/Köprü>
- (URL-5) <https://insapedia.com/kopru-cesitleri/>
- (URL-6) <https://www.sanalsantiye.com/kopru-turleri-ve-uygulamalari/>
- (URL-7) <https://www.sanalsantiye.com/kopru-turleri-ve-uygulamalari/>
- (URL-8) <https://docplayer.biz.tr/4475192-Insaat-muhendisligine-giris-bolum-3kopru.html>
- (URL-9) <https://docplayer.biz.tr/4475192-Insaat-muhendisligine-giris-bolum-3-kopru.html>
- (URL-10) <https://docplayer.biz.tr/4475192-Insaat-muhendisligine-giris-bolum-3-kopru.html>
- (URL-11) <https://tr.depositphotos.com/stock-photos/akashi-japan.html>
- (URL-12) <https://www.ntv.com.tr/dunya/golden-gate-koprusunde-intihar-edenleri-onlemek-icin-ilginc-karar,bY1kJz0Vvkyl01i6WKhWNQ>
- (URL-13) <https://www.mynet.com/galeri/dunyanin-en-korkunc-20-koprusu-190101149907/4>
- (URL-14) <https://structurae.net/en/structures/astoria-megler-bridge>
- (URL-15) https://stringfixer.com/tr/Suspension_bridge#wiki-2
- (URL-16) https://stringfixer.com/tr/Suspension_bridge#wiki-2
- (URL-17) <https://www.iha.com.tr/haber-romadaki-tarihi-kopru-yanginda-hasar-gordu-981136/>
- (URL-18) http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Burro_Creek_1966_Bridge
- Yang, X. S., & Deb, S. (2009). Cuckoo search via le'vy flights. *Nature and Biologically Inspired Computing, World Congress On* içinde (s. 210-214).
- Yetkin, M. (2015). *Düzlem çelik çerçevelerin Sosyal Örümcek Optimizasyonuna göre boyutlandırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 395571)
- Yılmaz, A. H. (2019). *Düzlem çelik kafes sistemlerin Karınca Kolonisi yöntemi ile optimum tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 575822)

Özgeçmiş

Meryem KELEŞ, ...yılında ...İlinin ...İlçesi ... Köyünde doğdu. İlköğretimini ...'da, ortaokulu ...'da ve lise öğrenimini ...'nde tamamladı ve ... yılında mezun oldu. ... yılında ... başlayıp ... yılında mezun oldu. ... yılında ...'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Meslek hayatına ...'de başlayıp ...ilinde bulunan ... 'de Yardımcı Kontrol Elemanı, ... yılından itibaren ise ...'da Sınav Yapıcısı olarak çalışmaktadır.

