



**ÇELİK KULE YAPILARIN GERİLME YIĞILMASI
ETKİSİ ALTINDA PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU
VE ATEŞ BÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE OPTİMUM
TASARIMI**

Elif YILMAZ

**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

**ÇELİK KULE YAPILARIN GERİLME YIĞILMASI ETKİSİ ALTINDA PARÇACIK
SÜRÜ OPTİMİZASYONU VE ATEŞ BÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE OPTİMUM
TASARIMI**

(OPTIMUM DESIGN OF STEEL TOWER STRUCTURES UNDER THE EFFECT OF
STRESS CONCENTRATION WITH PARTICLE SWARM OPTIMIZATION AND
FIREFLY ALGORITHM)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif YILMAZ

Danışman: Doç. Dr. Musa ARTAR

Bayburt
Ağustos, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Doç. Dr. Musa ARTAR danışmanlığında, 182002002 numaralı Elif YILMAZ tarafından hazırlanan “Çelik Kule Yapıların Gerilme Yığılması Etkisi Altında Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Ateş Böceği Algoritması ile Optimum Tasarımı” adlı bu çalışma tarihinde 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 “Çelik Kule Yapıların Gerilme Yığılması Etkisi Altında Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Ateş Böceği Algoritması ile Optimum Tasarımı” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.



Elif YILMAZ

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden tecrübelerini, bilgilerini ve hoş görüşünü esirgemeyen, bu çalışmanın tüm aşamalarında bana destek olan, karşılaştığım aksaklıklarda anlayış ve sabır gösteren değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Musa ARTAR' a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamda bana olan yardımlarından dolayı Arş. Gör. Dr. Mustafa ERGÜN' e teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca yanımda olan benden hiçbir desteğini esirgemeyen başta sevgili babam Abdulselim YILMAZ ve sevgili annem Nevin YILMAZ olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

Gerek tez çalışmamda gerekse sosyal hayatımda yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Afranur Yaren AYDOĞDU'ya ve Meryem KELEŞ'e teşekkür ederim.

Elif YILMAZ

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK KULE YAPILARIN GERİLME YIĞILMASI ETKİSİ
ALTINDA PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU
VE ATEŞ BÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE OPTİMUM TASARIMI

Elif YILMAZ

Ağustos 2022, 73 Sayfa

Çelik yapılara olan rağbet gün geçtikçe artmaktadır. Çelik yapıların betonarme yapılara göre maliyeti yüksektir. Bu nedenle daha az maliyetle çelik yapı üretmek gerekmektedir. Son yıllarda yapay zekaya dayalı optimizasyon teknikleri gün geçtikçe artmaktadır. Mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılan yapay zeka maliyeti düşürerek optimum sonuç vermektedir. İmalat sonrası çekme çubuklarında meydana gelebilecek yorulmaya veya malzeme kusurlarına (parçalardaki boşluklar, eleman üzerindeki ani kesit değişikliği, çentik veya delik gibi sebepler) bağlı olarak malzeme sürekliliği bozulabilmektedir. Malzeme sürekliliğinin bozulduğu noktalarda gerilmeler normal değerinden uzaklaşıp maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu durum gerilme yığılması olarak adlandırılmaktadır. Gerilme yığılmasının ortaya çıktığı elemanlarda gerilme durumu karmaşık olabilmektedir. Bu karmaşıklığı sadece basit eğilme ya da basınç, basit burulma ve basit eğilme yöntemleri ile çözmek mümkün olmayabilir. Bu durumda gerilme yığılması faktörü olan K katsayısı hesaplara dahil olmaktadır. Bu çalışmanın amacı farklı yıllarda geliştirilen sezgisel iki algoritmanın optimizasyon işlemi üzerindeki etkinliğini test etmektir. Bunun için sezgisel optimizasyon algoritmalarından 1995 yılında geliştirilen parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve 2009 yılında geliştirilen ateş böceği algoritması (FFA) kullanılmıştır. Optimizasyon işlemi için literatürde farklı algoritma teknikleri ile optimize edilmiş 25 elemanlı, 72 elemanlı ve 582 elemanlı uzay kafes kule yapıları ile 52 elemanlı düzlem kafes kule yapısı kullanılmıştır. Optimizasyon işleminde bulunan sonuçlar bu örneklerin farklı algoritma teknikleri ile optimize edildiği çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Daha sonra en yüksek gerilme kapasitesine sahip elemanda çentik olduğu düşünülerek bu elemana ait gerilme değeri gerilme yığılması katsayısı K ile çarpılıp optimizasyon işlemi yeniden yapılmış ve sonuçlar tablolarla sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Optimizasyon, parçacık sürü optimizasyonu, ateş böceği algoritması, gerilme yığılması, çelik kule.

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

OPTIMUM DESIGN OF STEEL TOWER STRUCTURES UNDER THE EFFECT OF STRESS CONCENTRATION WITH PARTICLE SWARM OPTIMIZATION AND FIREFLY ALGORITHM

Elif YILMAZ

August 2022, 73 Page

The demand for steel structures is increasing day by day. Steel structures are more expensive than reinforced concrete structures. For this reason, it is necessary to produce steel structures with less cost. In recent years, optimization techniques based on artificial intelligence have been increasing day by day. Artificial intelligence, which is also used in the solution of engineering problems, provides optimum results by reducing the cost. Material continuity may be impaired due to fatigue or material defects (cavities in the parts, sudden cross-section changes on the element, notches or holes) that may occur in the tension elements after manufacturing. The stresses deviate from their usual value and reach their maximum in locations where the material's continuity is disrupted. This situation is called stress concentration. The stress state can be complex in elements where stress concentration occurs. It may not be possible to solve this complexity with only simple bending or compression, simple torsion and simple bending methods. In this case, the stress concentration factor K is included in the calculations. The aim of this study is to test the effectiveness of two heuristic algorithms developed in different years on the optimization process. For this, particle swarm optimization (PSO) developed in 1995 and firefly algorithm (FFA) developed in 2009 were used among the heuristic optimization algorithms. For the optimization process, 25-element, 72-element and 582-element space truss tower structures and 52-element plane truss tower structures optimized with different algorithm techniques in the literature were used. The results of the optimization process were compared with the studies in which these samples were optimized with different algorithm techniques. Then, considering that the element with the highest stress capacity has a notch, the stress value of this element is multiplied by the stress concentration factor K and the optimization process is done again, and the results are presented in tables.

Keywords: Optimization, particle swarm optimization, firefly algorithm, stress concentration, steel tower.

İÇİNDEKİLER

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZ	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xi

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş.....	1
Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	2

İKİNCİ BÖLÜM

Kule Yapı.....	10
Kafes Kule Yapılar	11

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Optimizasyon	13
Tasarım Değişkenleri	13
Sınırlayıcılar.....	14
Amaç Fonksiyonu	15

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Parçacık Sürü Optimizasyonu.....	17
Ateş Böceği Algoritması	20

BEŞİNCİ BÖLÜM

Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	23
Düzlem Kafes Sistemler	23
Uzay Kafes Sistemler.....	27

ALTINCI BÖLÜM

Gerilme Yığılması	29
Gerilme Yığılmalarının Kuvvet Çizgileriyle Açıklanması	31
Kenarlarında Çentik Bulunan Levhada Gerilme Yığılması	32
Gerilme Yığılması Durumunda Plastik Şekil Değiştirme.....	33
Gerilme Yığılma Katsayısının (K) Belirlenmesi.....	33

YEDİNCİ BÖLÜM

Tasarım Örnekleri.....	36
Tasarım parametreleri	36
25 Elemanlı Uzay Kafes Kule Örneği	37
72 Elemanlı Uzay Kafes Kule Örneği	42
52 Elemanlı Düzlem Kafes Kule Örneği	48
582 Elemanlı Uzay Kafes Kule Örneği	54

SEKİZİNCİ BÖLÜM

Sonuçlar	66
Kaynakça	68
Öz Geçmiş.....	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Pisa Kulesi ve Galata Kulesi.....	10
Şekil 2. Eyfel kulesi	11
Şekil 3. Farklı amaçlarla yapılmış kafes kule örnekleri.....	12
Şekil 4. Yiyecek arayan kuş sürüsü	17
Şekil 5. PSO akış diyagramı.	18
Şekil 6. Parlayan ateş böcekleri.	21
Şekil 7. Ateş böceği algoritması akış diyagramı.....	21
Şekil 8. Eleman çubuk kuvvetleri.	24
Şekil 9. Lokal koordinat sisteminde iki boyutlu kafes eleman	24
Şekil 10. Global koordinat sisteminde iki boyutlu kafes eleman.....	24
Şekil 11. Doğrultman kosinüsleri.....	25
Şekil 12. Lokal ve global koordinat sisteminde üç boyutlu bir kafes eleman	27
Şekil 13. Gerilme yığılmasının oluşması	29
Şekil 14. Gerilme yığılmasına neden olabilecek süreksizlikler	30
Şekil 15. Basit çekme durumunda çentikli kısımlarda oluşan gerilme yığılmaları.	30
Şekil 16 . a) Çentiksiz bir çubukta kuvvet akışı b) Çentiksiz bir çubukta gerilme dağılımı c) Çentikli bir çubukta kuvvet akışı d) Çentikli bir çubukta gerilme dağılımı	31
Şekil 17. Kenarlarında çentik bulunan çekmeye çalışılan bir levhada orta kısımda meydana gelen x ve y yönündeki gerilme dağılımı.	32
Şekil 18 . Elasto plastik bir malzemede gerilme yığılması sonucu gerilme dağılımının artan yüklerle değişimi.....	33
Şekil 19. Dikdörtgen kesitli iki tarafı çentikli parçanın çekme veya basınç zorlaması altında teorik gerilme yığılma katsayısı	34
Şekil 20. Dikdörtgen kesitli delikli parçanın çekme veya basınç zorlaması altında teorik gerilme yığılma katsayısı.	35
Şekil 21. Dikdörtgen kesitli faturalı parçanın çekme veya basınç zorlaması altında teorik gerilme yığılma katsayısı.....	35
Şekil 22. 25 elemanlı uzay kafes kule.....	37
Şekil 23. 25 elemanlı uzay kafes kulenin PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi.	42
Şekil 24. 72 elemanlı uzay kafes kule.....	42
Şekil 25. 72 elemanlı uzay kafes kulenin PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi....	48

Şekil 26. 52 elemanlı düzlem kafes kule.....	49
Şekil 27. 52 elemanlı düzlem kafes kulenin PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi.	54
Şekil 28. 582 elemanlı uzay kafes kulenin üstten görünüşü.	55
Şekil 29. 582 elemanlı uzay kafes kulenin eleman gruplandırma bilgisi.....	56
Şekil 30. 582 elemanlı uzay kafes kulenin üç boyutlu görünümü.	57
Şekil 31. 582 elemanlı uzay kafes kulenin PSO, FFA, sanal alan PSO, sanal alan FFA, sanal alan gerilme yığılması PSO ve sanal alan gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi.	60



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kuleye ilişkin Yükleme Bilgisi	38
Tablo 2. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Eleman Gruplandırma Bilgisi.....	39
Tablo 3. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Düğüm Noktası Koordinatları	39
Tablo 4. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kule İçin Optimizasyon Değerleri.....	40
Tablo 5. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyon İşlemi Sonucunda Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri	41
Tablo 6. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Ateş Böceği Algoritması ile Optimizasyonu Sonucunda Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri.....	41
Tablo 7. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Eleman Gruplandırma Bilgisi.....	43
Tablo 8. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Yükleme Bilgisi	44
Tablo 9. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kule için Optimizasyon Değerleri	45
Tablo 10. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyon İşlemi Sonucunda Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri	46
Tablo 11. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Ateş Böceği Algoritması ile Optimizasyonu Sonucunda Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri.....	47
Tablo 12. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kulenin Eleman Gruplandırma Bilgisi.....	50
Tablo 13. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kulenin Yükleme Bilgisi	50
Tablo 14. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kule için Optimizasyon Değerleri	51
Tablo 15. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kulenin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyon İşlemi Sonucu Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri	52
Tablo 16. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kulenin Ateş Böceği Algoritması ile Optimizasyonu Sonucu Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri.....	53
Tablo 17. 582 Elemanlı Uzay Kafes Kule Yapısı için Optimizasyon Değerleri	58
Tablo 18. 582 Elemanlı Uzay Kafes Kule Örneği için Oluşturulan Sanal Alanlar.....	60
Tablo 19. 582 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyonu Sonucu Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri.....	62

Tablo 20. 582 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Ateş Böceği Algoritması ile Optimizasyonu Sonucu Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri.....	64
---	----



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

Simgeler

$\%$	:Yüzde
λ	: Elemanın Narinlik İfadesi
ρ_i	: i'nci Elemanın Yoğunluğu
δ_j	: j. Düğüm Noktasının Yer Değiştirme Değeri
δ_{ju}	: j. Düğüm Noktasının Yer Değiştirme Limit Değeri
A'	: Kesit Alanı
A_k	: k Grubuna Ait Elemanların Kesit Alanı
$A_{l,m}$	: Alttaki Düşey Elemanın Kesit Alanı
$A_{u,m}$	: Üstteki Düşey Elemanın Kesit Alanı
$D_{l,m}$	: Alttaki Düşey Elemanın Kesit Yüksekliği
$D_{u,m}$	: Üstteki Düşey Elemanın Kesit Yüksekliği
L_i	: i'nci Elemanın Boyu
f_a	: Hesaplanan Gerilme Değeri
$g_i(x)$	:Gerilme Sınırlayıcısı
$g_j(x)$	:Yer Değiştirme Sınırlayıcısı
l_e	: Eleman Boyu
σ_{ort}	: Dar Kesitteki Ortalama Gerilme
β_0	: r = 0 için Çekicilik Değeri
A	: Alan
B	: Levha Boyu
b	: Çentikten Sonraki Levha Uzunluğu
C	: Ceza Fonksiyonu
c_1, c_2	: Ölçeklendirme Faktörleri

Cc	: Plastik Narinlik Değeri
E	: Elastisite Modülü
F	: Uygulanan Kuvvet
F_a	: Emniyet Gerilmesi
F_y	: Akma Gerilmesi
g	: Çentik Yarıçapı
gbest	: Global En İyi Uygunluk Değeri
h	: Kesit Yüksekliği
K	: Etkili Uzunluk Çarpanı
K	: Gerilme Yığılma Katsayısı
k	: Lokal Koordinat Sisteminde Bir Kafes Eleman için Rijitlik Matrisi
L	: Dönüşüm Matrisi
m	: Kafes Sistemde Bulunan Düğüm Noktası Sayısı
pbest	: Yerel En İyi Uygunluk Değerine Ait Önceki Parçacığın Pozisyon Vektörü
q'₁	: Lokal Koordinat Sisteminde 1. Düğüm Noktasına Ait Yer Değiştirme
q'₂	: Lokal Koordinat Sisteminde 2. Düğüm Noktasına Ait Yer Değiştirme
r	: Atalet Yarıçapı
rand	: [0,1] Arasında Düzgün Dağılımlı Rastgele Sayılar
rij	: i. ve j. Ateş Böcekleri Arasındaki Mesafe
U	: Yer Değiştirme Vektörü
V	: Parçacığın Hızı
W	: Atalet Ağırlığı
X	: Parçacığın Konumu
α	: Çubuğun i Ucunun Yatayla Yaptığı Aç
β(r)	: İki Ateş Böceği Arasındaki Mesafe
γ	: Işık Emme Katsayısı
σ_{max}	: Maksimum Gerilme

P	: Probleme Göre Belirlenen Sabit Bir Katsayı
$W(x)$	: Kafes Sistemin Ağırlığı
WTc	: Toplam Sistem Ağırlığı (Cezalı Ağırlık)
k	: Kafes Sistemdeki Eleman Grup Sayısı
l, m, n	: Doğrultman Kosinüsleri
ng	: Sistemdeki Toplam Grup Sayısı
nm	: Sistemdeki Toplam Eleman Sayısı
μ	: Rastgele Seçim Parametresi
K'	: Global Koordinat Sistemindeki Eleman Rijitlik Matrisi



Kısaltmalar

FFA	: Ateş Böceği Algoritması
HS	: Harmoni Arama Algoritması
ICSO	: Tavuk Sürü Optimizasyonu
IFFOA	: Meyve Sineği Optimizasyonu
IGE	: Geliştirilmiş Genetik Algoritma
JA	: Jaya Algoritması
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
VBA	: Visual Basic Uygulamaları

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş

Dünya üzerindeki nüfus artışı kullanışlı yapı tasarlama ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Tek katlı endüstri yapılarında, geniş açıklıklı köprülerde, çok katlı yüksek yapılarda yapı ağırlığını azaltmak amacıyla da çelik malzeme kullanılmaktadır. Mühendisler kullanışlı yapılar tasarlarken tasarladığı yapının çevresel etkilere ve üzerindeki yüklere dayanıklı olmasına, kullanılacak amaca uygun olarak estetikliğinin de göz önünde bulundurulmasına ve ekonomik olarak tasarlanmasına önem vermektedirler. Ancak en ekonomik tasarımın, yönetmelikler ile müsaade edilen sınırlar içerisinde yapısal davranış sergilemesi beklenmektedir. Bu kapsamda yapıya etki eden yüklere ve sınırlayıcılara bağlı olarak hesaplanan minimum ağırlıktaki yapısal çözüm, optimum tasarım olarak ifade edilmektedir. Optimizasyon problemleri için birçok algoritma önerilmiştir. Sezgisel algoritmalar, büyük boyutlu optimizasyon problemleri için kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler verebilen algoritmalarlardır. Genel olarak sezgisel optimizasyon algoritmaları, biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı ve kimya tabanlı olmak üzere altı farklı grupta değerlendirilmektedir.

Kuvvet etkisi altındaki elemanlarda ortaya çıkan gerilme durumu $\sigma=F/A$ şeklindedir ve gerilme dağılımı üniformdur. Ancak imalat sonrası çekme çubuklarında meydana gelebilecek yorulma veya malzeme kusurlarına (parçalardaki boşluklar, eleman üzerindeki ani kesit değişikliği, çentik veya delik gibi sebepler) bağlı olarak malzeme sürekliliği bozulabilmektedir. Bu gibi durumlarda gerilme dağılımı üniform olmamaktadır ve elemanın gerilme durumu $\sigma=F/A$ ile açıklanamamaktadır. Ayrıca süreksizliğin olduğu kısımlarda gerilmeler normal değerinden uzaklaşıp maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu durum gerilme yığılması olarak adlandırılmaktadır. Eksenel yük altında sürekliliği bulunmayan elemanlarda kritik kesitlerde oluşacak olan maximum gerilmeyi hesaplamak için σ_{ort} değeri hesaplanmalı ve bu değer gerilme yığılması faktörü olan K değeriyle çarpılmalıdır. Bu şekilde maksimum normal gerilme elde edilmektedir (Yayla, 2010).

Bu çalışmanın amacı 1995 yılında geliştirilen sezgisel algoritmalarından parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ile 2009 yılında geliştirilen yine sezgisel optimizasyon yöntemlerinden olan ateş böceği algoritmasının (FFA) optimizasyon işlemlerindeki etkinliğinin karşılaştırmalı

olarak test edilmesidir. Bu kapsamda MATLAB programı kullanılarak düzlem kafes ve uzay kafes yapılara ait Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile çalışan bir program kodlanmıştır. Daha sonra bu koda PSO ve FFA kodu eklenmiştir. PSO ve FFA'nın etkinliğini kanıtlamak için literatürde bulunan farklı algoritma teknikleri ile optimize edilmiş 25 elemanlı, 72 elemanlı ve 582 elemanlı uzay kafes kule yapıları ile 52 elemanlı düzlem kafes kule yapısı PSO ve FFA ile optimize edilip sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra bu örneklerde çekme etkisi altındaki en yüksek gerilme kapasitesine sahip olan elemanda çeşitli nedenlerden (yorulma, malzeme kusuru ya da elemanda boşluk vb.) dolayı malzeme süreksizliğine neden olacak bir çentik olduğu düşünülerek optimum ağırlığın nasıl değişeceği değerlendirilmiş ve sonuçlar tablolarla sunulmuştur. Optimizasyonda sınırlayıcı olarak deplasman ve gerilme sınırlayıcılar kullanılmıştır. Ayrıca 582 elemandan oluşan uzay kafes örneğinde geometrik sınırlayıcı ve kesit yükseklik sınırlayıcıları da kullanılmıştır. Optimizasyon işleminde bulunan sonuçlar bu örneklerin farklı algoritma teknikleri ile optimize edildiği algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda PSO ve FFA algoritmalarının optimizasyon işlemlerinde kullanılabilir optimizasyon yöntemleri olduğu görülmüştür.

Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Sezgisel optimizasyon yöntemlerinin kullanımı yapı mühendisliği alanında giderek yaygınlaşmaktadır. Bu optimizasyon yöntemleri çalışmalarda bazen birbirleriyle karşılaştırmalı olarak bazen de kombine olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile yapılmış bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Daloğlu ve Aydın (1999) çalışmalarında düzlem kafes yapıları optimum olarak boyutlandırmak için ayırık tasarım değişkenleri kullanarak sonlu bir yaklaşımla sonuca giden genetik algoritma kullanmışlardır. Yapay bir genetik yaklaşıma dayanan genetik algoritmanın bu tür problemler için uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Erbatur, Hasançebi, Tütüncü ve Kılıç (2000) çalışmalarında tek boyutlu elemanlardan oluşan düzlemsel ve uzay yapıların ayırık optimizal tasarımı için genetik algoritma kullanmışlardır. Ayrıca bu çalışmada önerilen çok seviyeli optimizasyona dayalı bir yaklaşım test edilmiştir.

Daloğlu ve Toğan (2006) çalışmalarında TS 648'deki tasarım kriterlerini kullanarak 25, 72, 154 ve 52 elemanlı uzay kafes sistemleri genetik algoritma ile şekil ve boyut olarak optimize etmişlerdir. Çalışmada eleman en kesit alanlarının yanında düğüm noktalarının koordinatları tasarım değişkeni olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak sistem geometrisini de optimizasyon sürecine kattıklarında sistemin ağırlığının azalabileceğini göstermişlerdir.

Değertekin, Ülker ve Hayalioğlu (2006) çalışmalarında tabu arama algoritması ve genetik algoritma kullanılarak uzay çelik çerçevelerin minimum ağırlık tasarımını amaçlamışlardır. Söz konusu çalışmada iki adet tabu arama algoritması kullanılmış sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımında ilk kez tabu arama algoritması kullanıldığı için etkinliğini anlamak ve sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla genetik algoritma kullanılarak da optimizasyon yapılmıştır. Sonuç olarak görülmüştür ki tabu arama algoritması genetik algoritmaya göre daha optimum sonuçlar vermektedir.

Li, Huang, Liu ve Wu (2007) yaptıkları çalışmada pim bağlantılı yapıların optimum tasarımı için buluşsal parçacık sürüsü iyileştiricisi sunmuşlardır. Sunmuş oldukları bu yöntemin etkinliğini test etmek için literatürde bulunan 10 elemanlı, 17 elemanlı düzlem kafes ve 22 elemanlı, 25 elemanlı ve 72 elemanlı uzay kafes örnekleri ile test etmişlerdir. Sonuç olarak sunulan yöntemin karşılaştırıldığı yöntemlere göre daha hızlı yakınsama gösterdiği görülmüştür.

Perez ve Behdian (2007) yaptıkları çalışmada yapısal optimizasyon için kısıtlamaya uygun parçacık sürü optimizasyon algoritmasının arka planını ayrıntılı olarak sunmuşlardır. Farklı ayar parametrelerinin işlevselliğini test etmek için; 10 elemanlı düzlem kafes, 25 elemanlı uzay kafes ve 72 elemanlı uzay kafes örneklerini kullanmışlardır. Yapısal optimizasyon problemleri için önerdikleri algoritmanın optimum sonuç verme yeteneği olduğu sonucuna varmışlardır.

Kaveh, Gholipour, ve Rahami (2008) yılında yaptıkları çalışmada göç genetik algoritmasını kullanarak kule yapıları optimize etmişlerdir. Optimizasyon sonucunda göç genetik algoritmasının sınırlı sayıda elemana ait olan kulelerin optimizasyonunda uygun olduğunu ancak eleman sayısı fazla olan kule yapıların optimizasyonunda ise verimsiz olduğunu görmüşlerdir.

Özsağlam ve Çunkaş (2008) tarafından yapılan çalışmada optimizasyon problemleri için kullanılan parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritması performans bakımından test fonksiyonları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda parçacık sürü optimizasyonunun diğer iki optimizasyon tekniğine göre yakınsama hızı ve performans bakımından daha iyi çözümler verdiği görülmüştür.

Doğan ve Saka (2009) çalışmalarında çelik düzlem çerçeveleri optimum olarak boyutlandırmak amacıyla parçacık küme optimizasyonu yöntemi tabanlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu çalışma için literatürde bulunan on katlı bir açıklıklı çelik çerçeve ve 15

katlı 3 açıklıklı çelik çerçeveyi optimize etmişlerdir. Sonuç olarak parçacık küme optimizasyon yönteminin optimize çalışmalarında etkili bir yöntem olduğunu görmüşlerdir.

Hasançebi, Çarbaş, Doğan, Erdal ve Saka (2009) çalışmalarında meta sezgisel algoritmalarından olan genetik algoritmalar, simüle edilmiş tavlama, evrim stratejileri, parçacık sürüsü optimize edici, tabu arama, karınca kolonisi optimizasyonu ve uyum arama algoritmalarının yakınsama oranı ve güvenilirliğini kanıtlamak için pim eklemeli yapı kullanarak test etmişlerdir. Bunun için literatürde bulunan ASD-AISC şartnamesine göre formüle edilmiş dört örnek kullanmışlardır. Sonuç olarak simüle edilmiş tavlama algoritmasının diğer algoritmalarla göre yakınsama değerinin daha güvenilir olduğu ve daha optimum sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Yang (2009) yılında yaptığı çalışmada çok modlu optimizasyon uygulamaları için ateş böceği algoritmasını kullanmıştır. Söz konusu algoritmayı diğer metasezgisel algoritmalar ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda optimizasyon işlemlerinde ateş böceği algoritmasının diğer metasezgisel algoritmalarla daha üstün olduğu sonucuna varmıştır.

Hasançebi, Çarbaş, Doğan, Erdal ve Saka (2010) çalışmalarında genetik algoritma, simüle edilmiş tavlama, evrim stratejileri, parçacık sürü optimize edici, tabu arama, karınca kolonisi optimizasyonu ve uyum arama algoritmalarını kullanarak gerçek boyutlu rijit bağlantılı çelik çerçeveler için yedi adet optimum tasarım algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritmalar ile 224 elemanlı düzlem çelik çerçeve, 325 elemanlı uzay çelik çerçeve, 568 elemanlı uzay çelik çerçeve optimize edilmiştir ve sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bu 7 algoritma arasında en etkili algoritmanın evrim stratejileri algoritması olduğu görülmüştür.

Hasançebi, Çarbaş ve Saka (2010) benzetim tavlama arama tekniğinin bilinen dezavantajlarının iyileştirilmesi için bir çalışma yapmışlardır. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için yeni yaklaşımlar geliştirilmiş ve standart benzetim tavlama algoritmasına entegre edilmiştir. İyileştirilen bu yeni algoritmanın etkinliğini test etmek için 304 elemanlı düzlem çelik çerçeve ve 112 elemanlı çelik çerçeve optimize edilmiştir. Sonuçlar benzetim tavlama algoritması ile karşılaştırılmıştır. İyileştirilen benzetim tavlama algoritmasının iyileştirilmemiş haline göre daha optimum sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Carbas, Aydogdu ve Saka (2013) yaptıkları çalışmada metasezgisel algoritmalarla olan ateş böceği algoritması, yapay arı kolonisi ve guguk kuşu algoritmalarını kullanarak gerçek boyutlu 132 elemandan oluşan uzay çelik çerçeveyi optimum olarak boyutlandırmışlardır. Optimizasyon sonuçlarını birbirleriyle ve literatürde bulunan sonuçlarla karşılaştırmışlardır. En

optimum sonucu yapay arı koloni algoritmasının verdiğini ikinci optimum sonucu veren yöntemin ise ateş böceği algoritması olduğunu görmüşlerdir.

Durukan (2013) çalışmasında genetik algoritma ile doğrusal ve doğrusal olmayan düzlem ve uzay kafes sistemleri minimum ağırlık olarak optimize etmek istemiştir. Sonuçlar incelendiğinde doğrusal olan ve doğrusal olmayan çözümlere ait sonuçların değişmediği ya da küçük farklılıklar olduğu görülmüştür.

Sevim (2013) çalışmasında literatürde sunulan on elemanlı kafes yapıyı, tek açıklıklı on katlı ve üç açıklıklı yirmi dört katlı düzlem çerçeveyi, son olarak da tek açıklık ve dört katlı uzay çelik çerçeveyi yapay arı koloni algoritmasını kullanarak ağırlıkça minimize etmiştir. Tasarım kısıtları göz önüne alınarak bulunan optimum tasarım sonuçları yapay arı koloni algoritmasının başarılı bir optimizasyon yöntemi olduğunu göstermiştir.

Sevim ve Sönmez (2014) çalışmalarında düzlem ve kafes çelik çerçevelerin optimizasyonu için yapay arı koloni algoritmasını kullanmışlardır. Bunun için literatürde daha önce sezgisel arama teknikleri ile optimize edilmiş 168 elemana ve 20 tasarım değişkenine ulaşan 2 farklı örneği optimize etmişlerdir. Buldukları sonuçları sezgisel arama teknikleri ile kıyaslamışlar ve yapay arı koloni algoritmasının çelik çerçeveleri optimize etmede etkili bir yöntem olduğunu görmüşlerdir.

Artar ve Daloğlu (2014) çalışmalarında genetik algoritma ile geleneksel sınırlayıcıları ve dinamik sınırlayıcıları birlikte kullanarak çelik yapıları optimize etmeyi amaçlamışlardır. TS 648’de bulunan tasarım koşullarını kullanarak yapı analizlerini MATLAB programı yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Bu şekilde buldukları sonuçları SAP2000 programı yardımıyla doğrulamışlardır. Sonuç olarak genetik algoritmanın pratik olarak uygulanabilir olduğunu görmüşlerdir.

Hasançebi ve Carbaş (2014) yaptıkları çalışmada çelik çerçevelerin ayrık optimizasyonu için yarasadan ilham alan algoritmayı kullanıp optimizasyon işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları bu algoritmanın etkinliğini kanıtlamak için literatürde daha önce farklı metasezgisel algoritmalar ile optimize edilmiş üç gerçek boyutlu çelik çerçeve yapısını kullanmışlardır. Bu yapıları optimize edip elde ettikleri sonuçları literatür sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda yarasadan ilham alan algoritmanın verimli bir yöntem olduğunu görmüşlerdir.

Talatahari, Gandomi ve Yun (2014) yaptıkları çalışmada kule yapılarını optimum olarak boyutlandırmak için ateş böceği algoritmasını kullanmışlardır. Bu algoritmayı 25 elemanlı, 224 elemanlı ve 942 elemanlı uzay kafes kule yapıları üzerinde test etmişlerdir ve sonuçları literatür

sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda ateş böceği algoritmasının karşılaştırıldığı literatür sonuçlarından daha optimum sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Carbaş (2015) çalışmasında ayrık değişkenli tasarım problemlerini optimize etmek amacıyla yapay arı kolonisi yöntemine dayanan bir yapısal optimizasyon algoritması geliştirmiştir. Geliştirilen bu algoritma ile geometrik bakımdan doğrusal olmayan bir kubbe yapı tasarlanıp optimize edilmiştir. Sonuç olarak önerilen algoritmanın performansının yüksek olduğu ve yapay arı kolonisi algoritmasının optimizasyon problemlerinde optimum sonucu bulmak için bir alternatif sağladığı görülmüştür.

Saka, Carbas, Aydogdu ve Akin (2015) çalışmalarında tabanı sürü zekâsına dayanan metasezgisel tekniklerden beş tekniği geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu teknikler; karınca kolonisi optimizasyonu, parçacık sürüsü optimizasyonu, yapay arı kolonisi algoritması, ateş böceği algoritması ve guguk kuşu arama algoritmasıdır. Geliştirilen metasezgisel optimizasyonlar literatürde bulunan 568 elemanı olan çelik uzay çerçeve ve 354 elemanı olan çelik çaprazlı kubbe ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda en hafif optimum sonucu yapay arı kolonisi algoritmasının verdiği gözlemlenmiştir.

Değertekin ve Hayalioğlu (2015) çalışmalarında öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi kullanarak; kafes yapıların deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı olarak boyutlandırmayı amaçlamışlardır. Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yönteminden elde edilen sonuçları karşılaştırmak için daha önce armoni arama, hibrid parçacık sürü optimizasyonu, hibrid parçacık sürü-karınca koloni optimizasyonu, self-adaptif armoni arama yöntemleriyle minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılmış olan 25 elemanlı uzay kafes yapısı kullanılmış ve elde edilen sonuçlarla öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yönteminin etkinliği test edilmiştir. Sonuç olarak öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yönteminin karşılaştırıldığı diğer optimizasyon yöntemleri kadar etkili bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Değertekin, Lamberti ve Ülker (2015) yaptıkları çalışmada ateş böceği algoritmasının minimum ağırlık tasarımı üzerindeki etkisini test etmeyi amaçlamışlardır. Söz konusu çalışmada literatürde bulunan farklı algoritma teknikleri ile çözülmüş 25 elemanlı uzay kafes yapısını deplasman ve gerilme sınırlayıcılar kullanarak ateş böceği algoritması ile çözmüşlerdir. Buldukları sonuçları literatür sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak ateş böceği algoritmasının karşılaştırılan algoritmalar içerisinde en optimum sonucu verdiğini görmüşlerdir.

Yetkin (2015) yaptığı çalışmada sosyal örümcek algoritması tabanlı bir yazılım gerçekleştirerek düzlem çelik çerçeveleri optimize etmiştir. Sosyal örümcek algoritması Visual

Basic Applications (VBA) program dilinde kodlandıktan sonra SAP2000 programına entegre edilmiştir. Bu yöntem kullanılarak literatürde bulunan farklı optimizasyon yöntemleri ile optimize edilmiş düzlem çelik çerçeveleri optimize edip sonuçları karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda sosyal örümcek algoritmasının etkili bir yöntem olduğu görülmüştür.

Artar (2016b) çalışmasında öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemini kullanarak literatürde bulunan 942 elemanlı uzay kafes çelik kule yapısının minimum ağırlık optimizasyonu için MATLAB ve SAP2000'in birlikte çalıştığı bir kod oluşturmuştur. Gerilme, yer değiştirme ve düşey elemanlarda geometrik sınırlayıcılar kullanmıştır. Elde ettiği sonuçları literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırmıştır ve öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon yönteminin daha optimum sonuç verdiğini görmüştür.

Tort, Şahin ve Hasançebi (2017) çalışmalarında gerçek yaşamda kullanılan mühendislik uygulamalarında iletim hattı kulelerinin pratik olarak optimum tasarımını yapmak istemişlerdir. Bunun için benzetim tavlama algoritmasını PLS-TOWER yazılımına entegre etmişlerdir. Benzetim tavlama algoritması optimum çözümü verirken çok uzun hesaplama süresi gerektirdiğinden daha hızlı çözümler elde etmek için özel bir yöntem olarak iki fazlı benzetim tavlama yaklaşımı önermişlerdir. Gerçek hayatta kullanılan 3 farklı yapı benzetim tavlama algoritması ve önerilen iki fazlı benzetim tavlama algoritmaları ile çözümlenmiş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak iki fazlı benzetim tavlama algoritmasının gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Kaya (2017) çalışmasında düzlem kafes sistemleri gerilme ve yer değiştirme sınırlayıcıları altında optimum olarak tasarlamak istemiştir. Bunun için genetik algoritma ve memetik algoritma kullanmıştır. Bu algoritmalarla eleman sayıları değişen dört ayrı düzlem kafes yapısı için analizler yapmıştır. Analiz sonuçlarını değerlendirmek için genetik algoritma ve memetik algoritma sonuçlarını birbiri ile kıyaslamıştır. Kıyas sonucunda memetik algoritmaların daha optimum sonuçlar verdiği ancak genetik algoritmaya göre çözümün daha uzun sürelerde elde edildiği görülmüştür.

Ouedraogo (2018) çalışmasında, çelik kafeslerin optimal ağırlığını değerlendirmek için yapay arı kolonisi, armoni arama ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarını hem ayrı hem de sürekli problemler üzerinde test etmiştir. Bu algoritmaların başarısını değerlendirmek için toplamda dokuz adet tasarım problemi kullanmıştır. Değerlendirilen örneklerde parçacık sürü optimizasyonu çoğunlukla hem yakınsama hem de optimum sonuç açısından diğer iki algoritmaya kıyasla daha iyi sonuç vermiştir.

Karabörk, Sönmez, Aydın, Çelik ve Bölükbaş (2018) çalışmalarında yapay arı koloni algoritması tekniğini kullanarak yeni bir algoritma tekniği geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu algoritma ile diyagonal çelik çaprazların yapıdaki dağılımını optimize etmek için 20 katlı olarak tasarlanan çelik yapıyı kullanmışlardır. Bu yapıya El Centro depremini uygulayarak zaman tanım alanında dinamik analizler de yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda elde ettikleri verileri diyagonal çelik çaprazların düzgün dağılımı ile mukayese etmişler ve tatmin edici sonuçlar bulmuşlardır.

Li ve Lian (2018) yaptıkları çalışmada meyve sineği algoritması üzerinde bazı iyileştirmeler yaparak geliştirilmiş meyve sineği optimizasyonunu sunmuşlardır. Sundukları bu algoritmayı literatürde bulunan örnekler üzerinde test etmişlerdir. Sonuç olarak sundukları bu algoritmanın optimizasyon problemlerinde kullanılabilir olduğunu görmüşlerdir.

Kaymak (2019) çalışmasında kafes yapıları optimum olarak boyutlandırmak istemiş ve optimizasyon işleminde bakteri yiyecek arama optimizasyon algoritmasını kullanmıştır. Bunun için güvenilirlik, yaklaşım hızı ve tekrarlanabilir sonuçların bulunmasına yardımcı olan parametrelerin seçimini yapmak için ilk başta iki örnek kullanmıştır ve kafes yapılarda kullanılacak parametreleri belirlemiştir. Bulduğu bu parametreleri üçüncü bir örnekte test etmiştir. Sonuç olarak bulduğu parametrelerin hafif kafes yapı tasarımı için güvenilirlik, yaklaşım hızı ve tekrarlanabilirlik açısından uygun olduğu sonucuna varmıştır.

Le, Bui, Ngo, Nguyen ve Nguyen-Xuan (2019) çalışmalarında ayırık yapısal optimizasyonlar için elektromanyetizma benzeri algoritma ve ateş böceği algoritması arasında yeni bir melez algoritma önermişlerdir. Önerdikleri bu algoritma elektromanyetizma benzeri ateş böceği algoritmasıdır. Bu algoritmanın etkinliğini test etmek için literatürde bulunan altı adet problemi optimize etmiş ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda elektromanyetizma benzeri ateş böceği algoritması yönteminin mühendislik problemlerinde etkili sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Li, Wang ve Han (2019) çalışmalarında kafes yapılarda tasarımın verimliliğini artırmak amacıyla kafes yapı sistemleri için tavuk sürüsü optimizasyon algoritmasını önermişlerdir. Bu çalışma ile kafes yapı optimizasyonu için yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Abed (2020) çalışmasında karga arama algoritması, simbiyotik organizmalar arama yöntemi ve ağaç tohumu algoritmasını inşaat mühendisliği problemlerinden olan sinüs boşluklu kiriş ve uzay kafes sistem problemlerine uygulayarak performanslarını irdeleyip birbirleri ile karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda bu optimizasyon yöntemlerinin sinüs boşluklu kirişler ve uzay kafes sistemlerin optimum boyutlandırılmasında etkin performans gösterdiği

ve optimizasyon problemlerinde kullanılabilir olduğu görölmüştür. Bu üç optimizasyon yöntemi birbiri ile karşılaştırıldığında herhangi birinde belirli bir üstünlük görölmemiştir.

Adil ve Cengiz (2020) yaptıkları çalışmada literatürde ilk kez kafes yapıların optimal boyutlandırılması için ağırlıklı süperpozisyon çekimi adı verilen yeni geliştirilmiş, sürü tabanlı metasezgisel bir algoritma uygulamışlardır. Bu algoritmanın etkinliğini test etmek için literatürde bulunan 200 elemana kadar ulaşan düzlem ve uzay kafes yapıları optimize etmişlerdir. Sonuç olarak bu algoritmanın karşılaştırıldığı algoritma türlerine göre daha optimum sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Değertekin ve Bayar (2020) çalışmalarında jaya algoritmasını kullanarak düzlem kafes ve uzay kafes yapıları doğal frekans sınırlayıcılar altında optimum olarak boyutlandırmışlardır. Bu optimizasyon işleminde jaya algoritmasını kullanmışlardır. Jaya algoritmasının etkinliğini test etmek için literatürde bulunan farklı algoritma yöntemleriyle çözülmüş olan 72 elemanlı uzay kafes ve 200 elemanlı düzlem kafes yapılarını kullanıp analiz sonuçlarını karşılaştırmışlar ve jaya algoritmasının literatürdeki yöntemlerden daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir.

Pierezan vd. (2021) çalışmalarında çakal optimizasyon algoritmasının bazı parametrelerinin güncellenmesi için uyarlanabilir bir prosedür önermişlerdir. Bunun için 52 elemanlı düzlem kafes, 72 elemanlı uzay kafes, 120 elemanlı uzay kafes kubbe ve 200 elemanlı düzlem kafes problemlerini optimize etmişlerdir. Sonuçları literatürde bulunan metasezgisel algoritmalar ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak çakal optimizasyon algoritmasının metasezgisel algoritmalar ile rakabet edecek çözümler sunduğunu görmüşlerdir.

Carbas ve Artar (2022) çalışmalarında kubbe yapıları optimize etmek için su döngüsü algoritması, gri kurt algoritması ve beyin fırtınası algoritmalarını kullanmışlardır. MATLAB ve SAP2000'in birlikte çalıştığı bir kod oluşturmuşlardır. Söz konusu çalışmada kullanılan kubbe yapılar 120 elemanlı, 130 elemanlı, 354 elemanlı uzay kafes yapılardır. Optimizasyon sonucunda elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır

İKİNCİ BÖLÜM

Kule Yapı

Herhangi bir yapı malzemesi ile yapılmış, boyunun enine oranı en az 2 kat olan yapılara kule yapılar denir. Kule yapılar tarih öncesi dönemlerden beri varlığını sürdüren yapılardır. MÖ 8000' yıllara ait olan 8.5 m yüksekliğindeki taştan yapılmış olan Eriha kulesi bilinen en eski kule örneğidir (URL-1). Farklı yapılış amaçları olan kule yapılardan bazıları şu şekilde karşımıza çıkmaktadır. Televizyon ve radyo sinyallerinin taşınması için, haberleşme kuleleri, zararlı atıkların (gaz, kömür tozu vb.) güvenilir bir şekilde atılması için inşa edilen sanayi bacaları, su depolamak ve tüketiciye dağıtılan su hatlarında sabit basınç sağlamak amacıyla yapılan ayaklı su depoları, İslamiyet'te önemli ibadet yerlerinden olan camilerin bir parçası olan minareler, şehir manzarasını izlemek için yapılan seyir kuleleri (URL-2), eski dönemlerde savaşlarda stratejik avantaj sağlamak için yapılan askeri kuleler (URL-3) farklı tip kule yapı örnekleridir.



Şekil 1. Pisa Kulesi (URL-10) ve Galata Kulesi (URL-11).

Bazı Kuleler bulundukları şehrin simgesi haline gelmiştir. Fransa'nın sembolü haline gelen Eyfel Kulesi 1887 – 1889 yılları arasında yapılmıştır. 300 metre yüksekliğe sahip olan Eyfel Kulesi tepesindeki radyo vericisiyle 27 metre daha yükseklik kazanmıştır. Yapı malzemesi olarak demir kullanılmıştır (URL-4). İtalya'da bulunan Pisa Kulesi 1173 yılında yapılmıştır. 56 metre yüksekliğe sahip olan kule çan kulesi olarak yapılmıştır (URL-5). Pisa

Kulesi zemindeki yumuşamadan ötürü 5.5° eğilmiştir (URL-6). Yapımında yapı malzemesi olarak kireç taşı ve mermer kullanılmıştır (URL-5). İstanbul'da bulunan Galata Kulesi 1348 yılında yapılmıştır. Kule yüksekliği 67 metredir (URL-7). Kulenin yapımında işlenmiş taşlar ve molozlar kullanılmıştır (URL-8).

Kafes Kule Yapılar

Düğüm noktalarından birbirine bağlanan doğrusal çubuklardan oluşan sisteme kafes sistem denir. Çelik kafes sistemler günümüzde geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu sistemler kullanıldığı yere göre karşımıza çelik kafes kule yapısı olarak da çıkabilirler. Farklı kullanım amaçları taşıyan bu kuleler enerji iletim kuleleri, radyo kuleleri, gözlem kuleleri olarak sınıflandırılabilir. Bu kuleler zemine bağlı olarak 3-4 ayaklı ya da dairesel olarak tasarlanırlar. Yüksek olan bu kulelerin çevresel etkilere ve kendi ağırlıklarına dayanabilecek şekilde tasarlanmaları gerekmektedir. Eyfel kulesi çelik kafes kulelerin en önemli örneklerden biridir (URL-9).



Şekil 2. Eyfel Kulesi (URL-12).



Şekil 3. Farklı amaçlarla yapılmış kafes kule örnekleri (URL-13), (URL-14), (URL-15).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Optimizasyon

Mühendis, bireylerin ve toplumun problemlerine, isteklerine ve ihtiyaçlarına göre teknik açıdan çözüm üreten kişidir. Bu amaçla yapılan tasarımlarda temel hedef, belirlenen amaca göre tasarım yapmaktır. Bu tasarımı yaparken tasarıma uygun farklı alternatiflerle karşılaşılabılır. Mümkün olan alternatifler içerisinde en iyisini seçme işlemine optimizasyon denir. En uygun çözümden kasıt en uygun maliyet, minimum ağırlık, minimum boyut ya da en kârlı yatırım olabilir. Bütün bunları yaparken mühendis bilgi birikimini, muhakeme gücünü ve benzeri özelliklerini kullanır. Fakat bazı durumlarda bunlar yetersiz kalmaktadır. Bu durumda optimum sonucu elde etmek için optimizasyon yöntemleri kullanması gerekebilir. Bu sayede bilgisayar ile farklı kombinasyonları kullanıp kısa zaman içerisinde değerlendirmelerini yapabilmektedir.

Optimum tasarımın yapılabilmesi için tasarım değişkenlerinin, sınırlayıcıların ve amaç fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir.

Tasarım Değişkenleri

Optimizasyon işleminin yapılabilmesi için birbirinden bağımsız olarak seçilen değişkenlere tasarım değişkeni denilmektedir. Tasarım değişkenleri problemi tanımlamaktadır. Bu nedenle doğru ve tam olarak seçilmelidir. Yapı sistemlerinde tasarım değişkenlerine eleman kesit alanları, eleman sayısı, elemana ait düğüm noktası koordinatları, düğüm noktası sayısı, eleman boyları örnek verilebilir.

İhtiyaçlar doğrultusunda belirlenen yapının ilk olarak geometrisi ve özellikleri dikkate alınır. Geometrik özellik olarak açıklık sayısı ve ölçüleri; düğüm noktaları sayısı ve koordinatları; yapısal eleman grupları, ölçüleri ve sayısı; mesnet sayısı ve rijitlik koşulları sıralanabilir. Ayrıca kullanılacak malzemenin özgül ağırlığı, emniyet gerilmesi, elastisite modülü gibi özellikleri belirlenmelidir. Belirlenmiş malzemeye ait farklı kesitlerin alan ve atalet momenti bilgilerinden kesit havuzu oluşturularak, tasarımda belirtilen yapısal eleman gruplarının her birine kesit havuzundan değişik kesit atamaları yapılmaktadır. Analizler sonucunda en uygun kesitlerden oluşan optimum yapısal çözüm bulunmaktadır.

Sınırlayıcılar

Bu çalışmada gerçekleştirilen optimizasyon işleminde amaç en hafif yapı ağırlığını bulmaktır. Sistemde herhangi bir sınırlayıcı olmazsa belirlenen kesit havuzundaki en küçük kesit alanına sahip olan kesit çözüm olacaktır. Optimizasyon işleminde yapı belirli şartnameleri sağlamalıdır. Bu nedenle amaç fonksiyonlarının çözüm kümesi şartnamelere uygun olarak sınırlandırılmalıdır. Bu sınırlayıcılar kullanıldığında ise sınır şartlarını sağlayan en küçük kesit çözüm olacaktır. Sınırlayıcılar imalat sınırlayıcıları ve sistem davranış sınırlayıcıları olarak ikiye ayrılabilir. İmalat sınırlayıcıları yapıya yönelik kısıtlar olduğundan yapı geometrisi belirlenirken dikkate alınırlar. Sistem davranışına bağlı kısıtlar ise deplasman ve gerilme sınırlayıcılarıdır. Gerilme sınırlayıcıları AISC-ASD (1989) kriterlerine göre aşağıda belirtildiği üzere uygulanmıştır.

Çubuk elemandaki gerilmenin pozitif olması yani çekme durumunda;

$$F_a = 0.6F_y \quad (1.1)$$

Burada F_y akma gerilmesini ifade etmektedir.

Çubuk elemandaki gerilmenin negatif olması yani basınç durumunda;

$$\lambda = \frac{K.L}{r} \quad (1.2)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (1.3)$$

Burada λ , K , L , r , C_c , E sırası ile elemanın narinliğini, etkili uzunluk çarpanını (kafes yapılar için $K=1.00$ 'dir), eleman uzunluğunu, atalet yarıçapını, plastik narinlik değerini ve elastisite modülünü göstermektedir.

Eksenel basınca çalışan elemanların narinliği hesaplanarak plastik narinlik ile kıyaslanmaktadır.

$\lambda < C_c$ için burkulma plastik bölgede olup basınç emniyeti değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\lambda^2}{2C_c^2}\right]F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\lambda}{8C_c} - \frac{(\lambda^3)}{8C_c^3}} \quad (1.4)$$

$\lambda \geq C_c$ için burkulma elastik bölgede olup basınç emniyeti değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23\lambda^2} \quad (1.5)$$

Buna göre gerilme sınırlayıcısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$g_i(x) = \left[\frac{f_a}{F_a} \right]_i - 1 \leq 0 \quad i = 1, \dots, nm \quad (1.6)$$

Burada f_a , nm sırası ile hesaplanan gerilmeyi ve eleman sayısını ifade etmektedir.

Yer değiştirme sınırlayıcısı aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

$$g_j(x) = \frac{\delta_j}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (1.7)$$

Burada δ_j , δ_{ju} ve m sırasıyla j. düğüm noktasının yer değiştirme değerini, j. düğüm noktasının yer değiştirme limit değerini ve kafes sistemde bulunan düğüm noktası sayısını göstermektedir.

582 elemanlı kule örneğinde ayrıca düşey elemanlar arasında aşağıdaki geometrik sınırlayıcılar uygulanmıştır.

$$g_m(x) = \frac{A_{u,m}}{A_{l,m}} - 1 \leq 0 \quad (1.8)$$

$$g_m(x) = \frac{D_{u,m}}{D_{l,m}} - 1 \leq 0 \quad (1.9)$$

Burada $A_{u,m}$, $A_{l,m}$, $D_{u,m}$ ve $D_{l,m}$ sırasıyla üstteki düşey elemanın kesit alanını, alttaki düşey elemanın kesit alanını, üstteki düşey elemanın kesit yüksekliğini ve alttaki düşey elemanın kesit yüksekliğini ifade etmektedir.

Amaç Fonksiyonu

Bir problemi belirli koşullar altında maksimize ya da minimize etmek için kullanılan ifadeye amaç fonksiyonu denir. Amaç fonksiyonu matematiksel bir ifade olmalıdır. Örnek verilecek olursa amaç fonksiyonu olarak maliyet, boyut ve ağırlık girildiyse bunları minimize etmek istenir. Ancak amaç fonksiyonu olarak performans ve verimlilik girildiyse bunlar maksimize edilmek istenecektir. İnşaat mühendisliği problemlerinde genel olarak yapı ağırlığı ve yapı maliyeti amaç fonksiyonu olarak dikkate alınmaktadır. Uzay kafes sistemlere ait minimum ağırlık tasarımı için oluşturulan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\min W(x) = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{nm} \rho_i L_i \quad (2.1)$$

Burada $W(x)$, k , A_k , ng , nm , ρ_i ve L_i sırasıyla kafes sistemin ağırlığını, kafes sistemdeki eleman grup sayısını, k grubuna ait elemanların kesit alanlarını, sistemdeki toplam grup sayısını, sistemdeki toplam eleman sayısını, i 'nci elemanın yoğunluğunu ve i 'nci elemanın boyunu ifade etmektedir.

Kafes sistemin ağırlık sınırlayıcı fonksiyonlarını içeren bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$WTc_i(x) = W_i(1 + PC) , \quad (2.2)$$

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

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

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

Burada WTc , P ve C sırasıyla toplam sistem ağırlığını (cezalılı ağırlık), probleme göre belirlenen sabit bir katsayıyı ve ceza fonksiyonunu ifade etmektedir.

Gerilme sınırlayıcısına ait olan denklem (2.3)'de, yer değiştirmeye ait olan sınırlayıcı ise denklem (2.4)'de verilmiştir. Sınırlayıcılar sağlanıyorsa C bağıntısı sıfır, toplam sistem ağırlığı ise kafes sistemin ağırlığına eşit olacaktır. Amaç fonksiyonu sağlanarak sistem ağırlığı minimum değerine ulaşacaktır. Eğer sınırlayıcılar sağlanmaz ise C bağıntısının bir değeri olacaktır ve toplam sistem ağırlığı artacaktır. Böylece amaç fonksiyonu sağlanmamış olacaktır. Bu sebeple sınır şartlarını sağlamayan bir çözüm kümesinin sınır şartlarını sağlayan diğer çözüm kümelerine göre amaç fonksiyon değeri büyük olacaktır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Parçacık Sürü Optimizasyonu

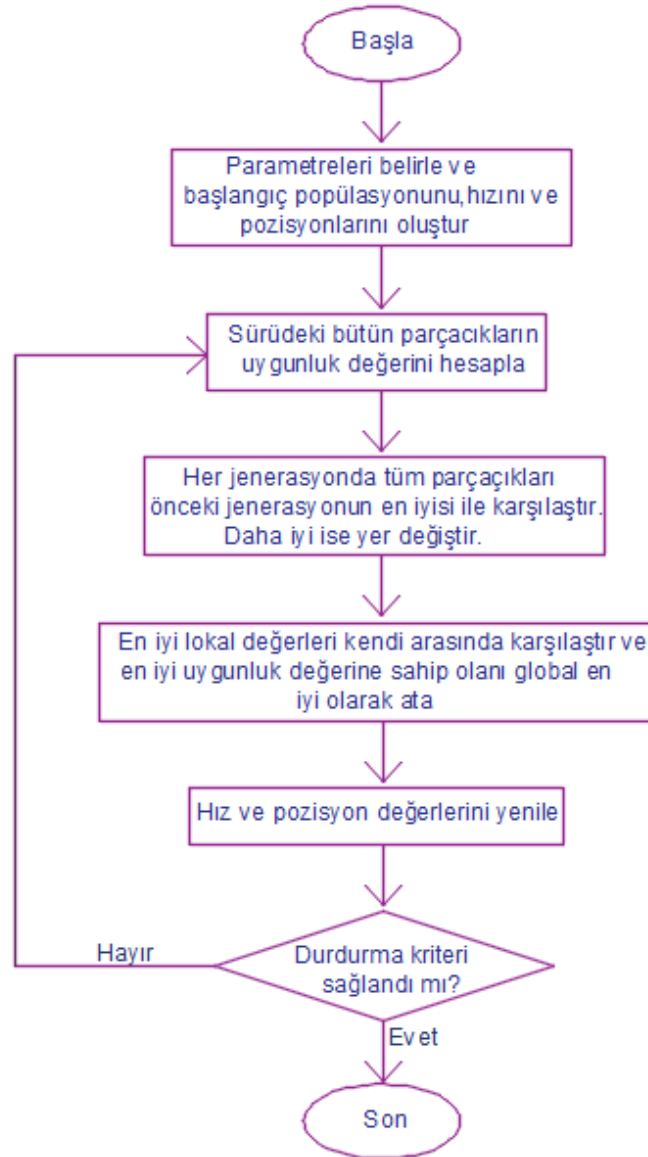
Evrimsel bir optimizasyon algoritması olan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) 1995 yılında Russell Eberhart ve James Kennedy tarafından bulunmuştur (Eberhart & Kennedy 1995). Kuş ve balık gibi sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek arama ve tehlikelerden kaçma gibi davranışlarından esinlenilerek oluşturulmuştur. Kuşlar yiyecek ararken aralarındaki sosyal bilgi paylaşımına dayanarak birbirlerinin konumlarına göre hareket ederler. Böylece yiyeceği bulan kuş diğer kuşlara rehberlik eder ve yiyeceğin konum bilgisini tüm sürüdeki kuşlar ile paylaşır. Optimizasyon problemlerinin çözümü ile kuş sürüsünün yerini bilmediği bir yiyeceği araması benzerlik göstermektedir. Şekil 4'te yiyecek arayan bir kuş sürüsü gösterilmektedir.



Şekil 4. Yiyecek arayan kuş sürüsü (URL-16).

Bu algoritma sürü zekâsına dayanmaktadır. PSO'da her bir birey bir parçacığı tanımlamaktadır. Parçacıklar ise sürüyü oluşturur. PSO'da her bir parçacık muhtemel bir çözümü göstermektedir. Başlangıçta kullanılacak parametreler belirlenir ve parçacıklar rastgele konumlar alır. Bu konumlara ait uygunluk değeri hesaplanır. Başlangıçtaki her bir uygunluk değeri o parçacığa ait yerel en iyi değerdir. Çünkü parçacıkların uygunluk değerlerini karşılaştıracakları geçmiş bir uygunluk değeri yoktur. Bu değer pbest olarak ifade edilir. Sürü içerisindeki en iyi uygunluk değeri ise global en iyi değer olarak adlandırılan gbest'tir. Bu iki değer hafızada saklanır. n adet parçacık ile çalışan bir PSO'da her iterasyonda n adet pbest var iken sadece bir adet gbest mevcuttur. Başlangıç çözümünden yararlanılarak hız değerleri

hesaplanır. Daha sonra önceki hız değerlerinden, sosyal ve kavramsal katsayılardan yararlanılarak parçacıkların yeni pozisyonları belirlenir. Bu yeni pozisyonların uygunluk değerleri hesaplanır ve hızlar güncellenir. Daha sonra parçacıklar bir sonraki konum güncellemesini yaparken önceki hız değerlerinden, sosyal ve kavramsal katsayılardan yararlanarak sürüdeki en iyi uygunluk değerine sahip parçacığa doğru hareket edip yeni konumlar alırlar. Aldıkları bu konumlara göre uygunluk değerleri yeniden hesaplanır. O ana kadarki en iyi yerel ve global çözümler hafızada saklanır. Böylece her iterasyon sonunda parçacıklar sürüdeki en iyi konuma sahip olan parçacığa yaklaşmaya çalışır. Parçacıklar her iterasyon sonunda bir önceki konumundan daha iyi bir konuma gelir. Parçacık en iyi konuma yaklaşma işlemini hedefine erişinceye kadar sürdürür. Şekil 5'te parçacık sürü optimizasyonuna ait akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 5. PSO akış diyagramı.

PSO algoritması temel olarak şu basamaklardan oluşur:

- Başlangıçta rastgele oluşturulan pozisyonlar ve hızlar ile birlikte başlangıç sürüsü oluşturulur.
- Sürüdeki her bir bireyin uygunluk değeri hesaplanır.
- Her bir parçacığa ait yerel en iyi değer olan pbest bulunur. pbest sayısı sürüdeki birey sayısı kadardır.
- Yerel en iyi değerler arasından global en iyi değer olan gbest seçilir.
- Pozisyon ve hızlar (3.1) ,(3.2) formülleri kullanılarak güncellenir

Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar bu maddelerden ilki hariç diğerleri tekrar edilir.

Bir sürüde D adet parametreden oluşan n adet parçacık olduğunu varsayalım. Bu durumda populasyon parçacık matrisi aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & x_{1D} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & \dots & x_{2D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & \dots & x_{nD} \end{bmatrix}_{n \times D}$$

Yukarıdaki matrisin i'nci parçacığının vektörü

$x_i = [x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{iD}]$ şeklindedir.

Yerel en iyi uygunluk değerine ait önceki parçacığın pozisyon vektörü

$pbest_i = [p_{i1} \ p_{i2} \ \dots \ p_{iD}]$ şeklindedir.

Global en iyi uygunluk değeri gbest her iterasyonda tektir ve gbest vektörü

$gbest = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_D]$ şeklinde gösterilir.

i'nci parçacığın hız vektörü

$V_i = [v_{i1} \ v_{i2} \ \dots \ v_{iD}]$ olarak ifade edilir.

En iyi iki değer bulunduktan sonra parçacıklara ait yeni hız ve pozisyonlar aşağıdaki denklemlere göre güncellenir.

$$V_{i+1} = W * V_i + c_1 * rand_1 * (pbest_i - x_i) + c_2 * rand_2 * (gbest - x_i) \quad (3.1)$$

Bu denklemde c_1 ve c_2 ölçeklendirme faktörleridir. Bu değerler her parçacığın yerel en iyi ve global en iyi pozisyonlara doğru hareket etmesini sağlayan skolastik hızlanma terimleridir. c_1 parçacığı kendi tecrübesine göre, c_2 ise parçacığı sürünün tecrübesine göre hareket ettirir. Bu

değerlerin küçük seçilmesi parçacığı hedefine gitmeden önce hedefine uzak bölgelerde gezinme imkânı tanırken hedefe ulaşma süresini uzatır. Bu değerler yüksek seçildiğinde ise hedefe ulaşma süresi kısalmıştır fakat beklenmedik hareketler ortaya çıkmıştır. Denklemdaki W atalet ağırlığını ifade etmektedir. $rand_1$ ve $rand_2$ $[0,1]$ arasında düzgün dağılımlı rastgele sayılardır.

Konum güncellemesi aşağıdaki denklem kullanılarak yapılır.

$$X_{i+1} = x_i + V_{i+1} \quad (3.2)$$

Bu denklemde denklem (3.1)'den elde edilen hız değeri kullanılarak parçacığın yeni konumu belirlenir.

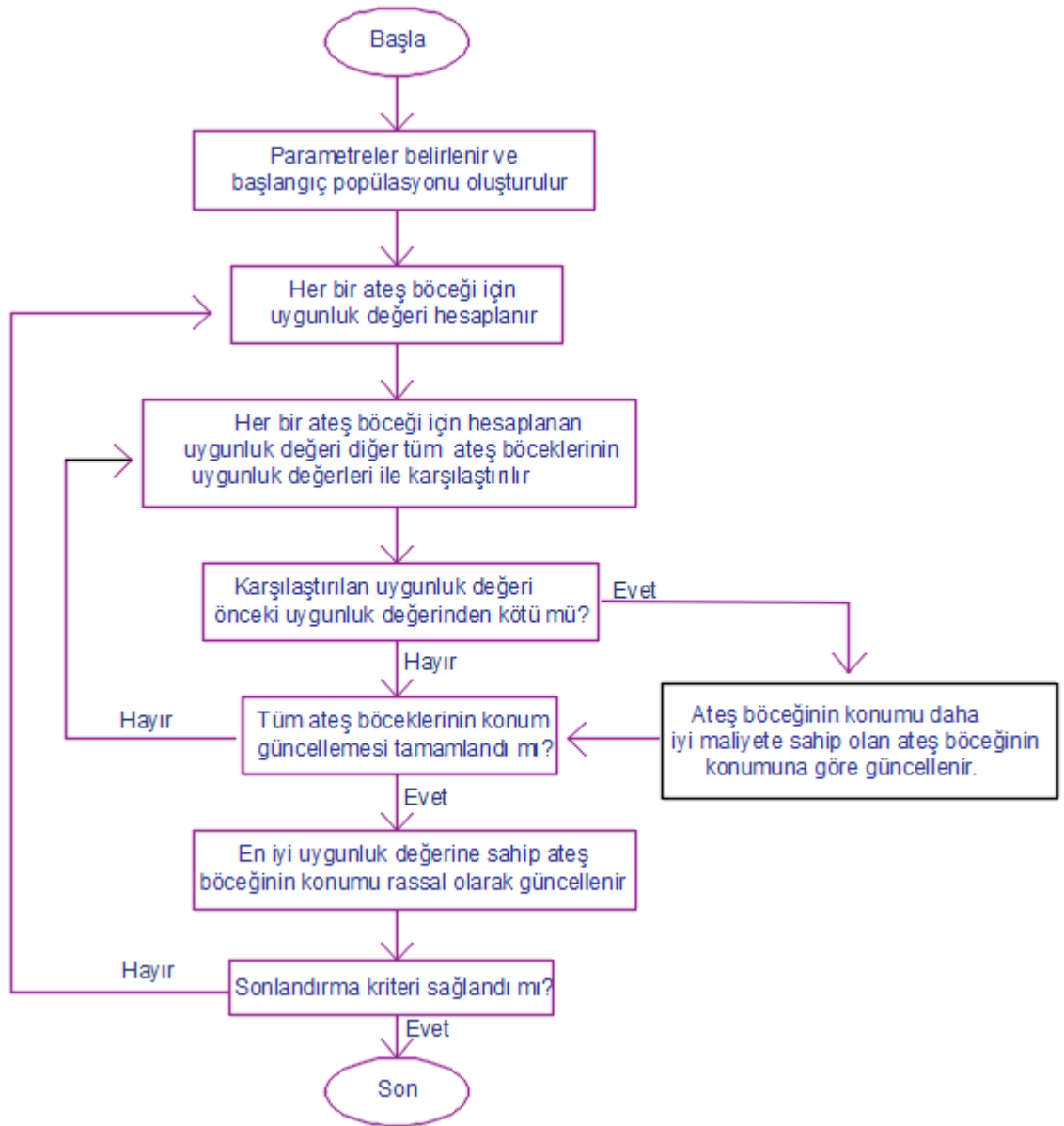
Ateş Böceği Algoritması

Karanlık ortamlarda parlama yeteneğine sahip olan ateş böceklerinin sosyal davranışlarını esas alan ateş böceği algoritması Cambridge Üniversitesi'nde araştırmacı olan Dr. Xin-She Yang tarafından geliştirilmiş metasezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır (Yang, 2009). Ateş böcekleri parlayarak diğer ateş böceklerini çeken bir sinyal sistemi gibi davranır. Araştırmacıların birçoğu ateş böceklerinin bu davranışlarını arkadaşlarını bulma, avlarını çekme ve avcılardan korunma olarak değerlendirmiştir. Bu algoritma ismini algoritmanın oluşmasına ilham olan ateş böceklerinden almıştır. Ateş böceklerinin tek cins kabul edilmesi ve parlaklıklarıyla birbirlerini çekmeleri algoritmanın temelini oluşturan bir unsurdur. Şekil 6'da parlayan ateş böcekleri gösterilmiştir.

Bu algorithmada ateş böcekleri tek cins olarak kabul edilir. Bu kabulden dolayı bütün ateş böcekleri diğer ateş böcekleri tarafından cezbedilirler. Ateş böceklerinin cezbediciliği parlaklık arttıkça artar ve ateş böcekleri en parlak ateş böceğine doğru yönelir. Ateş böcekleri arasındaki mesafe ne kadar fazla ise mesafeye bağlı olarak ışık şiddeti az olacağından cezbedicilik o kadar azdır. Ateş böceklerinin bulunduğu ortamda daha parlak bir ateş böceği yoksa ateş böcekleri hareketlerini rastgele yönlerle doğru yapar. Ele alınan bir optimizasyon probleminde ateş böceği algoritmasıyla verimli optimum çözümler elde etmek için probleme ait amaç fonksiyonu, ateş böceği sürüsünün parlak ve daha çekici yerlere gitmesiyle sağlanır. Bu gidiş yapıp sönen ışık ya da ışık şiddeti ile ilişkilidir (Apostolopoulos & Vlachos, 2011). Şekil 7'de ateş böceği algoritmasına ait akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 6. Parlayan ateş böcekleri (URL-17), (URL-18).



Şekil 7. Ateş böceği algoritması akış diyagramı.

Işık yoğunluğu değişimi ve çekiciliği ateş böceği algoritmasının iki önemli unsurudur. Ateş böceklerinde çekicilik mesafe ve parlaklığa bağlı olarak değişmektedir. Ateş böceklerinin her birinin farklı çekicilik değerleri vardır.

Herhangi bir ateş böceği için çekicilik değeri β ile gösterilir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\beta(r)=\beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (4.1)$$

Bu denklemde $\beta(r)$ iki ateş böceği arasındaki mesafeyi, β_0 $r = 0$ için çekicilik değerini, γ ise ışık yoğunluğunun azalmasını kontrol eden bir emilim katsayısıdır (Apostolopoulos & Vlachos, 2011).

r_{ij} , X_i ve X_j tasarım değişkenleri ile temsil edilen i. ve j. ateş böcekleri arasındaki mesafedir. Aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$r_{ij}=\|X_i - X_j\|=\sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (4.2)$$

i'nci ateş böceğinin kendinden daha çekici olan j'nci ateş böceğine doğru hareketi aşağıdaki denklemle belirlenir.

$$X^{i+1}=X^i+\beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2}(X_i - X_j) + \mu(rand - 0,5) \quad (4.3)$$

Burada, μ rastgele seçim parametresini, rand ise aralığı [0,1] olan rastgele üretilen bir reel sayıyı ifade etmektedir.

Denklem (4.3)'de ki ilk kısım ateş böceğinin mevcut pozisyonunu gösterir. İkinci kısım komşu ateş böcekleri tarafından görülen ışık yoğunluğu ve mevcut ateş böceğinin çekiciliği arasına ilişki kuran kısımdır. Son kısım ise mevcut ateş böceğinin etrafında daha çekici bir ateş böceği olmaması durumunda yapacak olduğu rastgele hareketi sağlayan kısımdır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi (SEM) fiziksel niceliklere sahip maddenin farklı analizlerini ortaya koymak için kullanılan sayısal bir yöntemdir. Bu yöntem genellikle mühendislik problemlerinin uygulamalarında kullanılır. Sonlu elemanlar yöntemi uçak mühendisliği endüstrisinde karşılaşılan problemlere çözüm bulma çabası sonucunda ortaya çıkmıştır. Bilgisayarların gelişmesiyle birlikte başta yapı mekaniği olmak üzere diğer bilim dallarında da hızla uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemde yapı sonlu sayıda parçacıktan oluşur düşüncesine dayanmaktadır. Bu sonlu elemanların sonlu sayıdaki düğüm noktaları ile birbirlerine bağlandığı varsayılır. Sistemin denge denklemlerinin kurulmasında karşılaşılan rijitlik matrisinin boyutu düğüm noktaları sayısı ile direkt ilgilidir. Bu yöntem 2 ve 3 boyutlu yapılarda da kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre ortada belirli şartlar altında çözülmesi gereken bir yapı vardır ve bu yapı sonlu elemanlar olarak adlandırılan belirli sayıda küçük parçalara bölünerek analiz edilir. Analizlerde her parçanın matematiksel olarak davranışının ölçülmesi amaçlanır (URL-19), (Cuburi, 1984) .

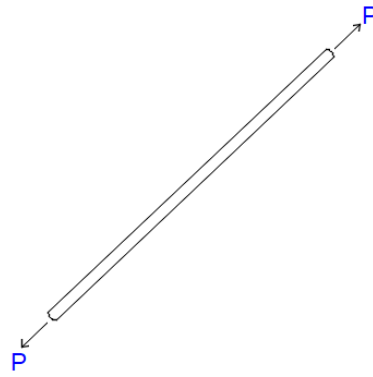
Kafes sistemler sonlu elemanlar yöntemi ile çözülürken aşağıdaki yol izlenir:

1. Analitik model oluşturulur.
2. Eleman eksen takımında rijitlik matrisleri oluşturulur.
3. Genel eksen takımında rijitlik matrisleri oluşturulur.
4. Tüm sistemin rijitlik matrisi oluşturulur.
5. Sisteme ait yük ve yer değiştirme vektörleri oluşturulur.
6. İndirgenmiş sistem rijitlik matrisi ile indirgenmiş yük ve yer değiştirme vektörleri oluşturulur.
7. Çözüm yapılır.

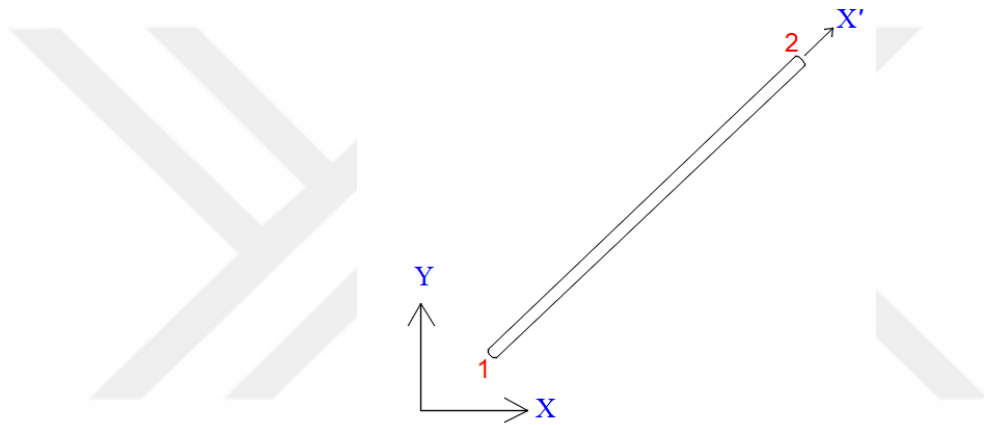
Düzlem Kafes Sistemler

Aynı düzlem içinde birbirlerine uç noktalarından bağlanarak bir rijit yapı oluşturan çubuklar topluluğuna düzlem kafes sistem denir. Kafes sistemlerdeki her bir çubuk bir sonlu elemanı temsil etmektedir. Düğüm noktaları mafsallıdır. Bu sistemde elemanlar sadece eksenel yük taşıyıcı eğilme yükü taşımazlar. Bu nedenle sonlu elemanlar metoduna göre her bir düğüm

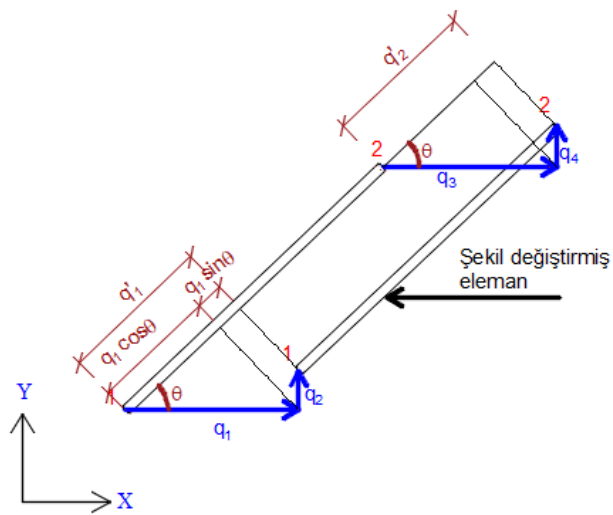
noktasında iki adet serbestlik derecesi mevcuttur. Sistemdeki dış kuvvetler sadece eleman düğüm noktalarına uygulanmaktadır.



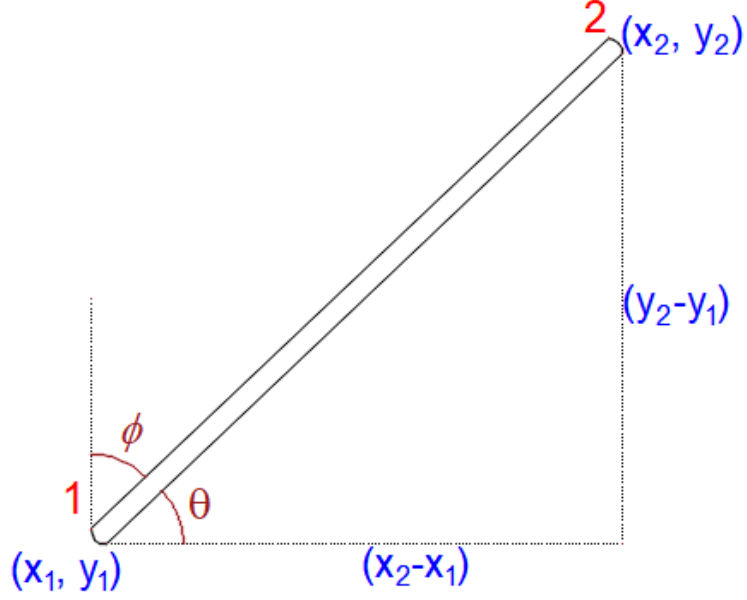
Şekil 8. Eleman çubuk kuvvetleri (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 9. Lokal koordinat sisteminde iki boyutlu kafes eleman (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 10. Global koordinat sisteminde iki boyutlu kafes eleman (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 11. Doğrultman kosinüsleri (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

Global koordinat sisteminde her bir düğüm noktası iki adet serbestlik derecesine sahiptir. Global koordinat sisteminde düğüm noktası sayısı j bir sistemde serbestlik derecesi $2j-1$ ve $2j$ ile ilişkilidir. (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017)

Yerel koordinat sisteminde eleman yer değiştirme vektörü aşağıdaki gibidir.

$$q' = [q'_1, q'_2]^T \quad (5.1)$$

Burada q'_1 ve q'_2 sırasıyla lokal koordinat sisteminde sırasıyla 1. ve 2. düğüm noktalarına ait yer değiştirmelerdir.

Global koordinat sisteminde yer değiştirme vektörü aşağıdaki gibidir.

$$q = [q_1, q_2, q_3, q_4]^T \quad (5.2)$$

q ile q' arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$q'_1 = q_1 \cos\theta + q_2 \sin\theta \quad (5.3a)$$

$$q'_2 = q_3 \cos\theta + q_4 \sin\theta \quad (5.3b)$$

Denklem (5.3a) ve (5.3b)'nin matris formu aşağıda verilmiştir.

$$q' = Lq \quad (5.4)$$

Burada L dönüşüm matrisini ifade etmektedir ve aşağıdaki gibidir.

$$L = \begin{bmatrix} l & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & l & m \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Burada l ve m doğrultman kosinüslerini ifade etmektedir. Bu doğrultman kosinüsleri lokal X' ekseninin sırasıyla global X ve Y ile yaptıkları açılarının kosinüsleridir. l ve m 'nin hesaplanması için basit formüller aşağıda verilmiştir.

$$l = \frac{x_2 - x_1}{l_e} \quad (5.6a)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{l_e} \quad (5.6b)$$

Burada l_e eleman boyunu ifade etmektedir.

$$l_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5.7)$$

Lokal koordinat sisteminde bir kafes eleman için rijitlik matrisi aşağıdaki gibidir.

$$k = \frac{E_e A_e}{l_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Burada E_e ve A_e sırasıyla Elastisite modülünü ve eleman kesit alanını ifade etmektedir.

Lokal koordinatlarda eleman şekil değiştirme bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$U_e = \frac{1}{2} q'^T k' q' \quad (5.9)$$

Denklem (5.4) denklem (5.9)'da yerine yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$U_e = \frac{1}{2} q^T [L^T k' L] q \quad (5.10)$$

Global koordinatlarda şekil değiştirme bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$U_e = \frac{1}{2} q^T k q \quad (5.11)$$

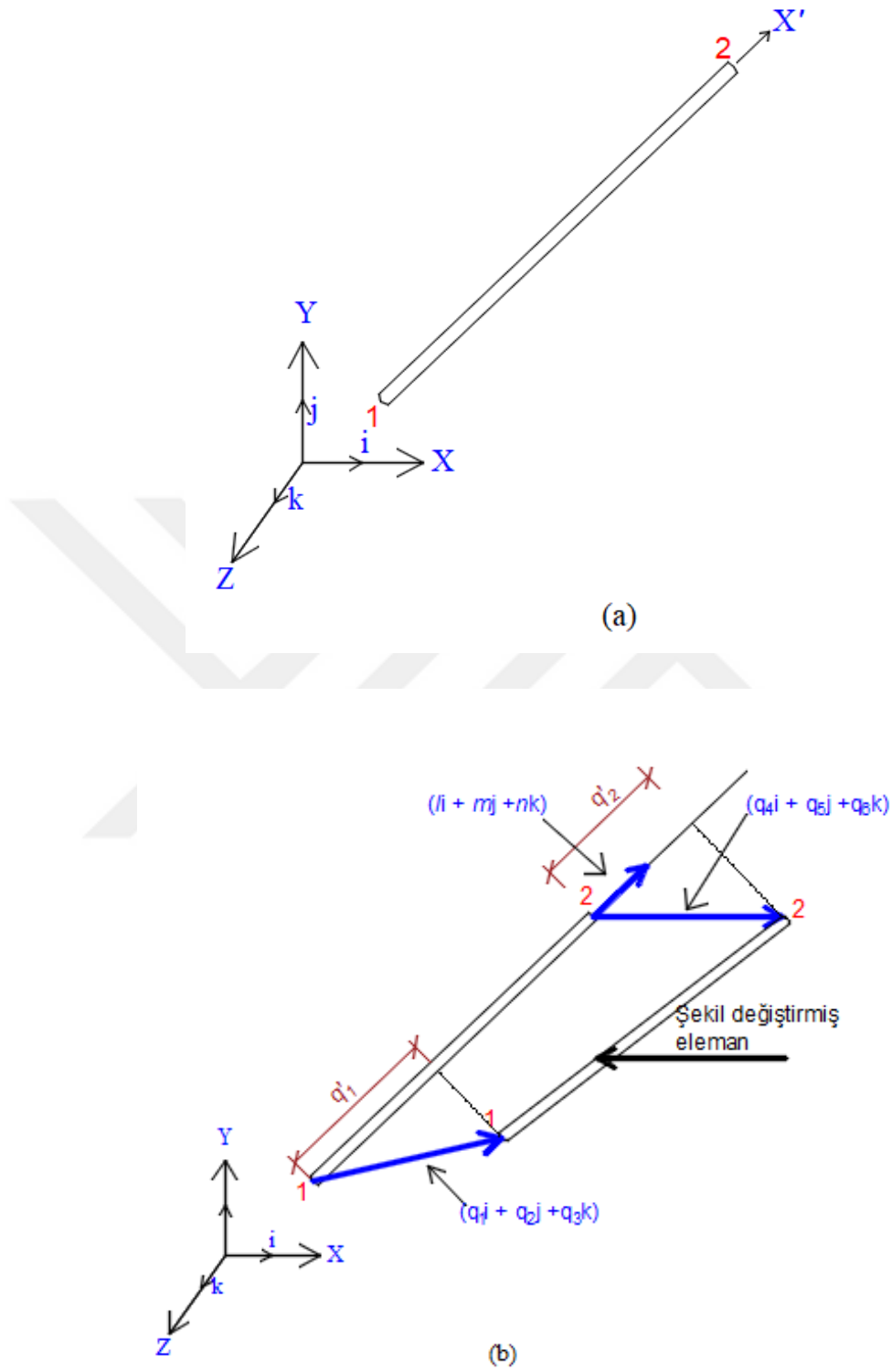
Burada k global koordinatlardaki elemanın rijitlik matrisini ifade etmektedir. Yukarıdaki denklemden, global koordinatlardaki eleman rijitlik matrisi şu şekilde ifade edilir.

$$K' = L^T k' L \quad (5.12)$$

(5.5) ve (5.8) ifadelerinde verilen L ve k değerleri yerine yazılırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$K' = \frac{E_e A_e}{l_e} \begin{bmatrix} l^2 & lm & -l^2 & -lm \\ lm & m^2 & -lm & -m^2 \\ -l^2 & -lm & m^2 & lm \\ -lm & -m^2 & lm & m^2 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

Uzay Kafes Sistemler



Şekil 12. Lokal ve global koordinat sisteminde üç boyutlu bir kafes eleman (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

Üç boyutlu kafes elemanı için lokal ve global koordinat sistemleri Şekil 12’de gösterilmiştir. Söz konusu şekilde lokal koordinat sistemi, eleman doğrultusundaki X’ eksenidir. Lokal koordinatlarda yer değiştirme vektörü aşağıdaki gibidir.

$$q' = [q'_1, q'_2]^T \quad (6.1)$$

Global koordinatlarda düğüm yer değiştirme vektörü aşağıdaki gibidir.

$$q = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]^T \quad (6.2)$$

Lokal ve global koordinatlar arasındaki dönüşüm aşağıdaki bağıntıdan elde edilir.

$$q' = Lq \quad (6.3)$$

Burada L dönüşüm matrisini ifade etmektedir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$L = \begin{bmatrix} l & m & n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l & m & n \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

Burada l , m ve n lokal X’ ekseninin sırasıyla global X, Y ve Z eksenlerine göre doğrultman kosinüsleridir. Global koordinatlarda eleman rijitlik matrisi denklem (5.12) verilmiştir ve sonuç olarak aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$K' = \frac{E_e A_e}{l_e} \begin{bmatrix} l^2 & lm & ln & -l^2 & -lm & -ln \\ lm & m^2 & mn & -m & -m^2 & -mn \\ ln & mn & n^2 & -ln & -mn & -n^2 \\ -l^2 & -lm & -n & l^2 & lm & ln \\ -lm & -m^2 & -mn & lm & m^2 & mn \\ -ln & -mn & -n^2 & ln & mn & n^2 \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

Burada,

$$l = \frac{x_2 - x_1}{l_e} \quad (6.6a)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{l_e} \quad (6.6b)$$

$$n = \frac{z_2 - z_1}{l_e} \quad (6.6c)$$

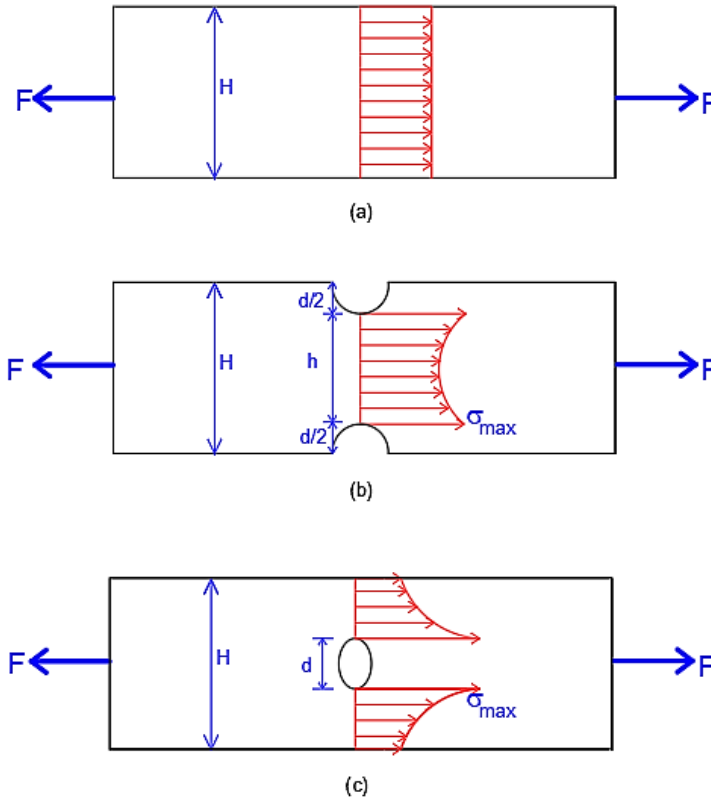
$$l_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (6.7)$$

Burada l_e eleman boyunu ifade etmektedir.

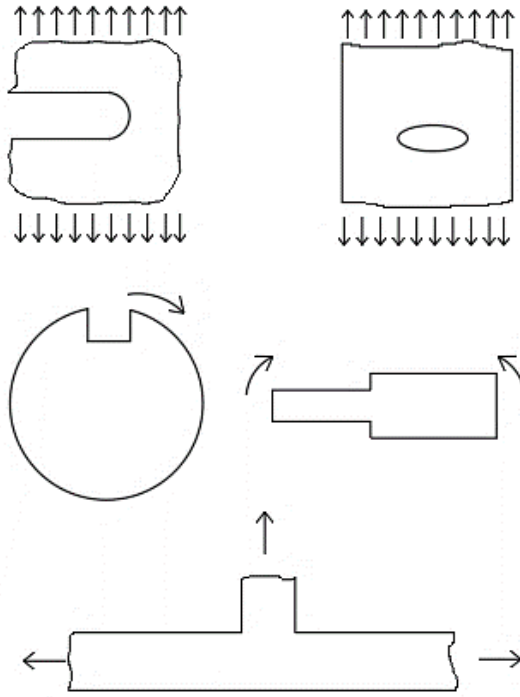
ALTINCI BÖLÜM

Gerilme Yığılması

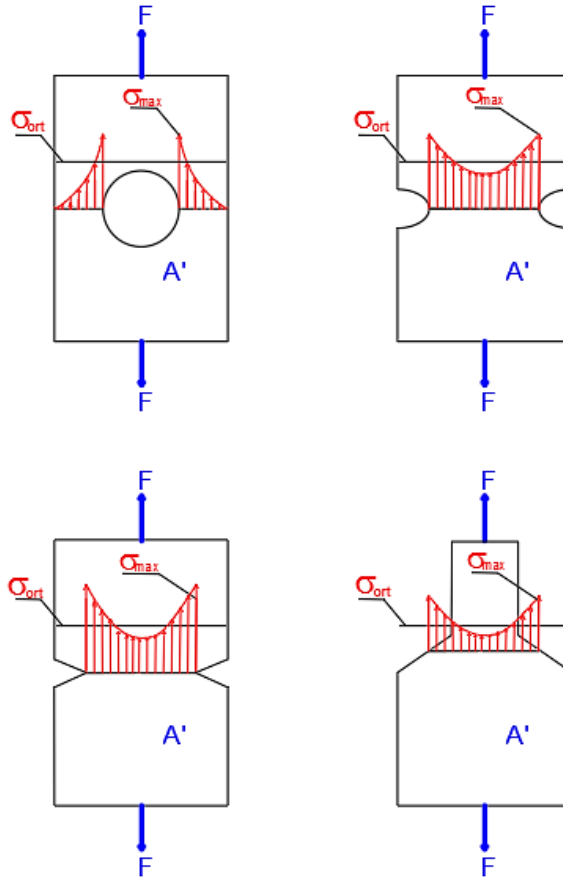
Kuvvet etkisi altında kalan elemanlarda gerilme bazı durumlarda karmaşık olabilmektedir ve bu karmaşıklığı sadece basit eğilme ya da basit basınç, basit burulma ve basit eğilme yöntemleri ile çözmek mümkün olmayabilir (Omurtag, 2014). Basit gerilmelerde gerilmelerin yayılışı üniform ve ortalama gerilme bağıntısı $\sigma=F/A$ olarak kullanılmaktadır (Şekil 13a). Ancak imalat sonrası çekme çubuklarında meydana gelebilecek yorulma (bu çalışmada yorulmaya bağlı malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim dikkate alınmamıştır) veya malzeme kusurları (parçalardaki boşluklar, eleman üzerindeki ani kesit değişikliği, çentik veya delik gibi sebepler) malzeme sürekliliğinin bozulmasına neden olduğundan ötürü oluşan gerilme dağılımları üniform olmayabilir. Bu durumda ortalama gerilme bağıntısı $\sigma=F/A$ 'dan farklı olmaktadır. Malzeme sürekliliğinin bozulduğu noktalarda gerilmeler normal değerinden uzaklaşıp maksimum seviyeye ulaşmaktadır (Şekil 13b,c). Bu durum gerilme yığılması olarak adlandırılmaktadır (Yayla, 2010).



Şekil 13. Gerilme yığılmasının oluşması (URL-20).



Şekil 14. Gerilme yığılmasına neden olabilecek süreksizlikler (Yayla, 2010).



Şekil 15. Basit çekme durumunda çentikli kısımlarda oluşan gerilme yığılmaları (Yayla, 2010).

Gerilme yığılmasına sebep olan süreksizlikler Şekil 14’de görüldüğü gibi çentikler, delikler, çıkmalar, kama yuvaları kesit alanındaki değişime bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu süreksizliklerin olduğu kısımlarda en kesit alanı küçüldüğünden en büyük normal gerilme σ_{max} bu kısımlarda oluşmaktadır (Yayla, 2010).

Bu durumlarda genellikle σ_{max} aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\sigma_{max} = K \frac{F}{A'} \quad (7.1)$$

Burada A' , F ve K sırasıyla kesit alanını, uygulanan kuvveti ve gerilme yığılma katsayısını göstermektedir.

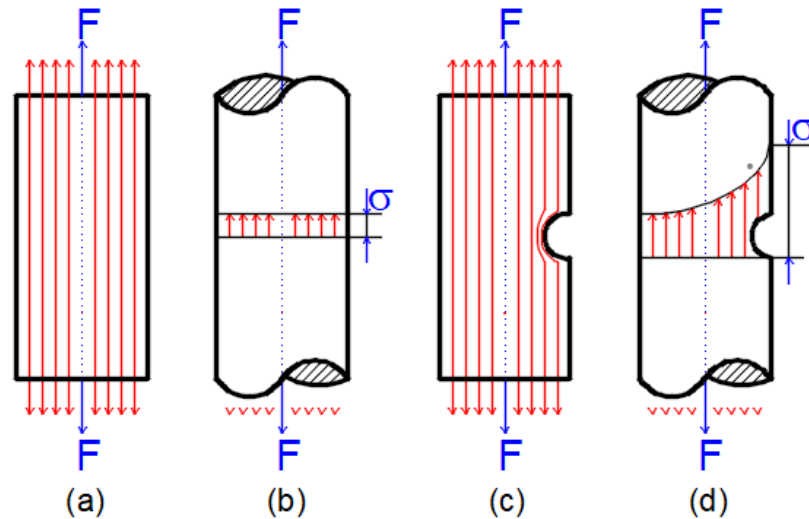
Her zaman $K \geq 1$ ’ dir. Gerilme yığılma katsayısı maksimum yerel gerilmenin ortalama gerilmeye oranı şeklinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ort}} \quad (7.2)$$

Burada σ_{ort} dar kesitteki ortalama gerilme değeridir ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Yayla, 2010).

$$\sigma_{ort} = \frac{F}{A'} \quad (7.3)$$

Gerilme Yığılmalarının Kuvvet Çizgileriyle Açıklanması



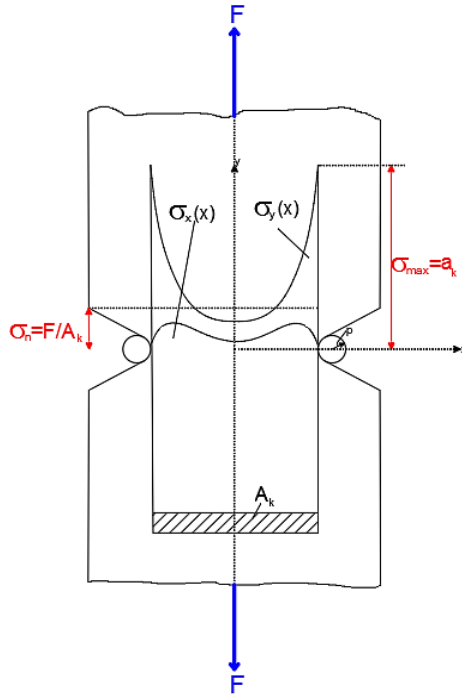
Şekil 16 . a) Çentiksiz bir çubukta kuvvet akışı b) Çentiksiz bir çubukta gerilme dağılımı c) Çentikli bir çubukta kuvvet akışı d) Çentikli bir çubukta gerilme dağılımı (Çolak, 1995).

Malzeme süreksizliğine neden olan çentikler kuvvet akış çizgilerini değiştirmektedir. Şekil 16’da çentik etkisi altındaki süreksiz elemanlarda ve çentik bulunmayan sürekli elemanlarda malzemenin kuvvet akış çizgileri gösterilmiştir.

Kenarlarında Çentik Bulunan Levhada Gerilme Yığılması

Kenarlarında çentik bulunan ve çekmeye çalışılan bir levhanın orta kısımlarında meydana gelen x ve y yönlerindeki gerilmeler Şekil 17’de gösterilmiştir. x yönündeki gerilme çentikten uzaklaştıkça artmakta daha sonra azalmaktadır. Çentik ucunda ise sıfır olmaktadır. y yönünde ise çentik ucunda maksimum gerilme oluşmaktadır ve çentikten uzaklaştıkça gerilme azalmaktadır. y yönündeki gerilme asimptotik olarak çentiksiz kısımdaki gerilme değerine yaklaşmaktadır.

Eksenel yük altında sürekliliği bulunmayan elemanlarda kritik kesitlerde oluşacak olan maximum gerilmeyi hesaplamak için σ_{ort} değeri hesaplanmalı ve bu değer gerilme yığılması faktörü olan K değeriyle çarpılmalıdır. Bu şekilde maksimum normal gerilme elde edilmektedir. Bulunan σ_{max} değeri akma gerilmesinden küçük olduğu sürece geçerliliğini korumaktadır. Gerilme yığılması sadece eksenel çekme etkisindeki elemanlarda oluşmaz. Yapısında süreksizlik bulunduran elemanlarda farklı yükleme durumlarında gerilme yığılması oluşmaktadır. Farklı yükleme durumlarına eğilme ve burulma örnek verilebilir.

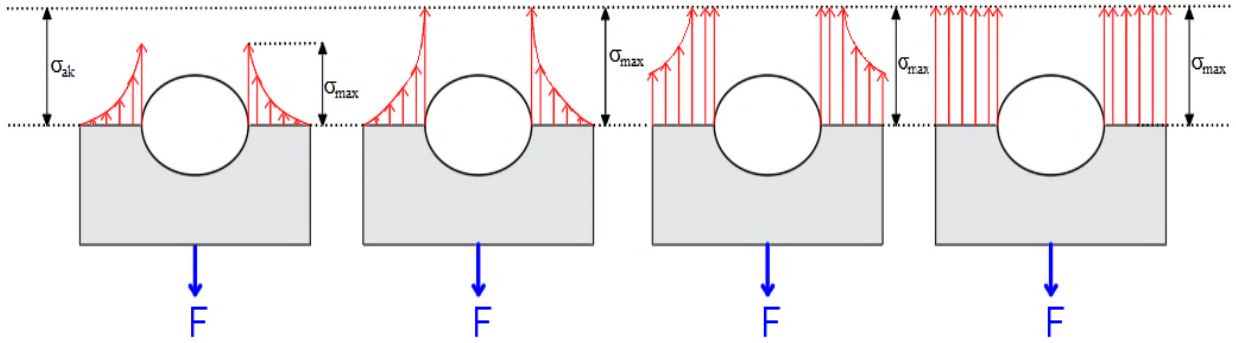


Şekil 17. Kenarlarında çentik bulunan çekmeye çalışılan bir levhada orta kısımda meydana gelen x ve y yönündeki gerilme dağılımı (Yayla, 2010).

Özellikle gevrek ve kırılğan yapıya sahip malzemeden oluşan elemanlarda gerilme yığılması durumu tehlike oluşturmaktadır. Fakat plastik şekil değiştirmeye yatkın olan sünek malzemeler gerilme yığılmasını önleyici rol oynamaktadır (Yayla, 2010).

Gerilme Yığılması Durumunda Plastik Şekil Değiştirme

Gerilme yığılması sonucunda oluşan gerilmeler elastik limitin üzerinde olduğu durumlarda gerilme dağılımları Şekil 18'deki gibi oluşmaktadır.

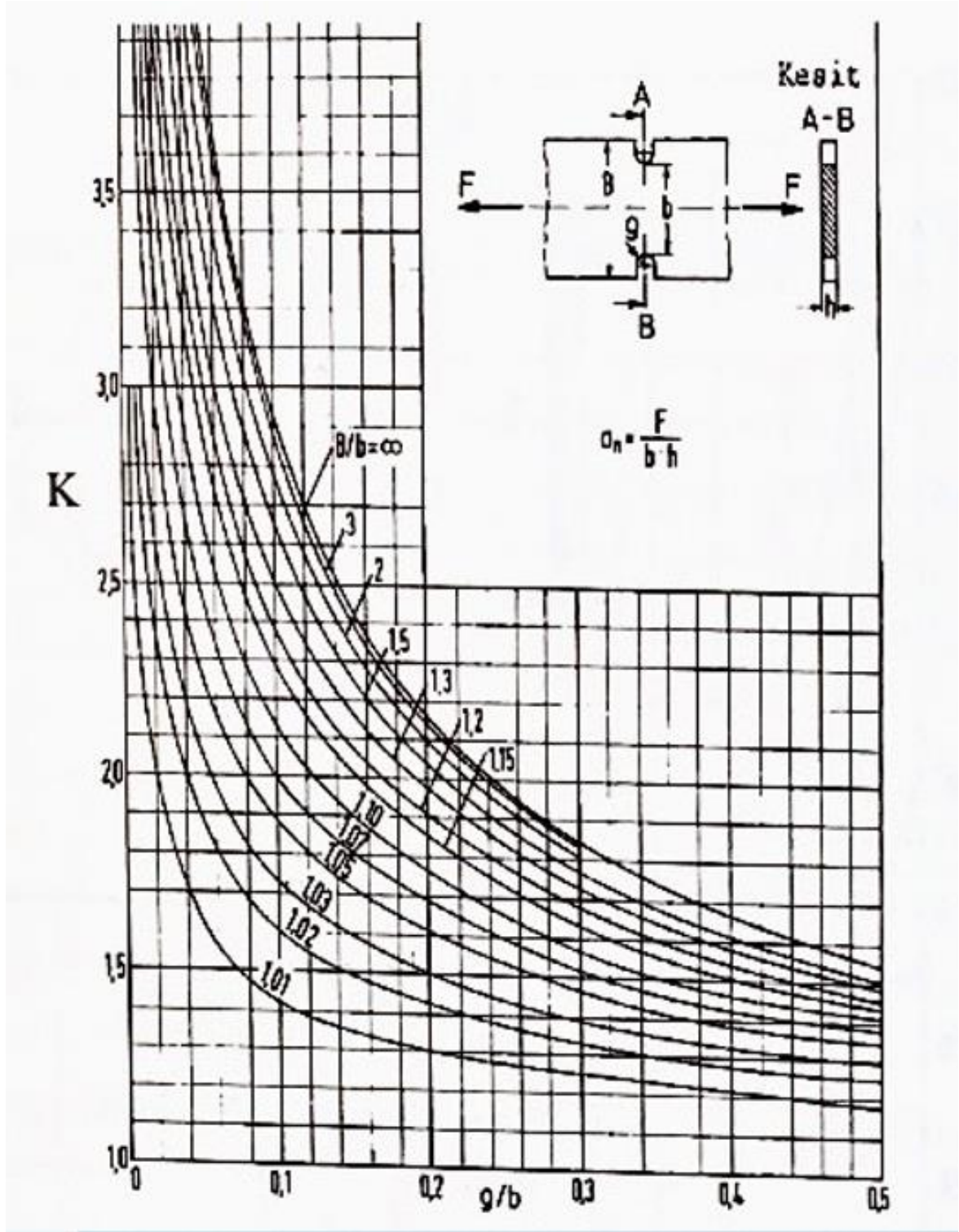


Şekil 18 . Elasto plastik bir malzemede gerilme yığılması sonucu gerilme dağılımının artan yüklerle değişimi (Yayla, 2010).

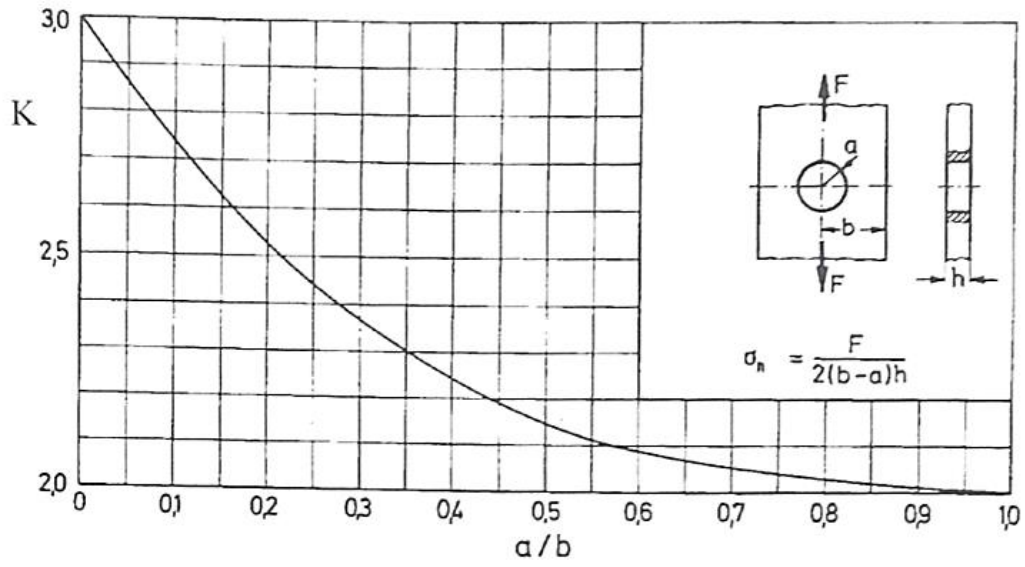
Süreksizliği bulunan elemanlarda gerilme yığılması nedeniyle oluşan maximum gerilme uygulanan gerilme arttıkça artmaktadır. Bu artış sonucu oluşan gerilme malzemenin akma sınır değerini aşamayacağından bu bölgelerde malzeme plastik deformasyona uğramaktadır (Yayla, 2010).

Gerilme Yığılma Katsayısının (K) Belirlenmesi

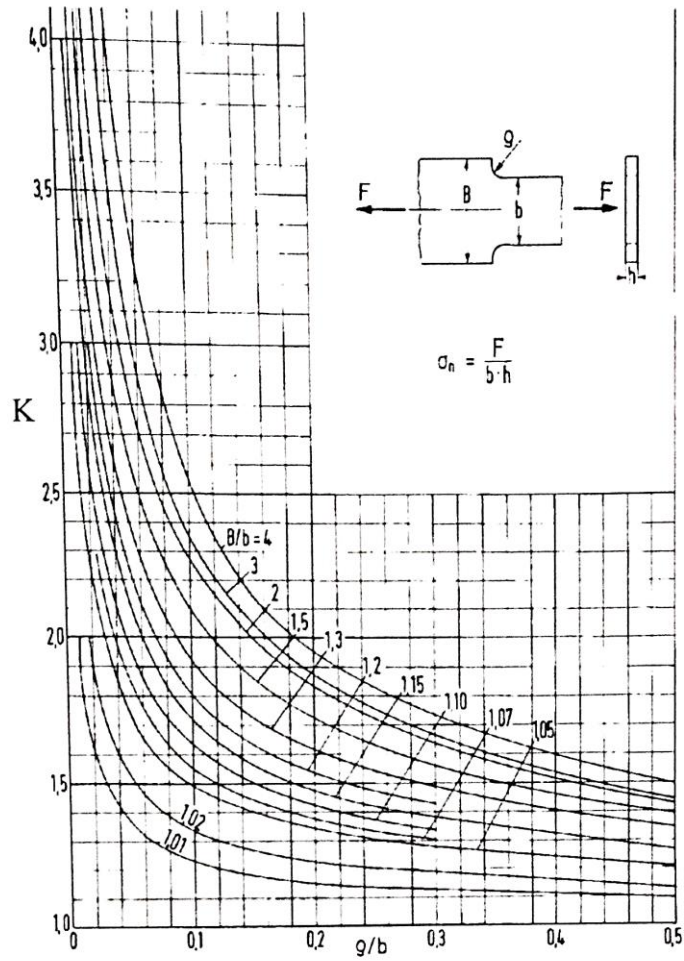
Malzemede bulunan süreksizlik bölgesinde oluşan en büyük gerilmenin ortalama gerilmeye oranı gerilme yığılması faktörü olan K katsayısını vermektedir. K katsayısı teorik bir katsayıdır. Gerilme yığılması için kullanılan katsayı belirli durumlar için bir kez hesaplanıp sonuçlar grafiksel olarak verilebilmektedir (Yayla, 2010). K değeri kullanılan malzeme ile ilişkili olmayıp çubuğun geometrisine ve süreksizlik durumuna göre değişmektedir. Bu nedenle gerilme analizi kitaplarında farklı geometri ve süreksizlik durumlarının K grafikleri verilmiştir. K 'ya ait eğriler statik yükleme durumunda ve gerilmenin orantılılık sınırları içerisinde kaldığı varsayımıyla çizilmektedir (Omurtag, 2014). K değerine ait grafikler Şekil 19 - 21'de verilmiştir.



Şekil 19. Dikdörtgen kesitli iki tarafı çentikli parçanın çekme veya basınç zorlaması altında teorik gerilme yığılma katsayısı (Yayla, 2010).



Şekil 20. Dikdörtgen kesitli delikli parçanın çekme veya basınç zorlaması altında teorik gerilme yığılma katsayısı (Yayla, 2010).



Şekil 21. Dikdörtgen kesitli faturalı parçanın çekme veya basınç zorlaması altında teorik gerilme yığılma katsayısı (Yayla, 2010).

YEDİNCİ BÖLÜM

Tasarım Örnekleri

Tasarım parametreleri

Bu çalışmanın amacı farklı yıllarda geliştirilen sezgisel iki algoritmanın optimizasyon işlemi üzerindeki etkinliğini test etmektir. Bunun için sezgisel optimizasyon algoritmalarından 1995 yılında Russell Eberhart ve James Kennedy tarafından geliştirilen parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve 2009 yılında Dr. Xin-She Yang tarafından geliştirilen ateş böceği algoritması (FFA) kullanılmıştır. İki farklı dönemde geliştirilen farklı iki sezgisel algoritmanın etkinliği, 52 elemanlı düzlem kafes ile 25 elemanlı, 72 elemanlı ve 582 elemanlı uzay kafes yapılarda test edilmiştir ve sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Daha sonra bu yapılarda en yüksek gerilme kapasitesine sahip olan çekme etkisindeki elemanda çentik olduğu düşünülerek bu elemana ait gerilme, gerilme yığılma katsayısı K ile çarpılıp optimizasyon işlemi yeniden yapılmış ve sonuçlar tablolar ile sunulmuştur.

Parçacık sürü optimizasyonunda kullanılan parametrelerden $c_1 = c_2 = 0.8$, $w = 0.9$ ve birey sayısı ise 20 olarak alınmıştır.

Ateş böceği algoritmasında kullanılan parametrelerden $\mu = 0.2$, $\beta_0 = 0.5$, $\gamma = 1$ ve birey sayısı ise 20 olarak alınmıştır.

Bu çalışmada kullanılan K değeri Şekil 19'daki grafikten alınmıştır. Çentik yarıçapının (g) çentikten sonraki levha uzunluğuna (b) oranı olan $g/b = 0.14$; levha boyunun (B), çentikten sonraki levha uzunluğuna (b) oranı olan $B/b = 1.02$ kabul edilmiştir. Bu kabulden K katsayısının 1.5 değerini aldığı tabloda görülmektedir.

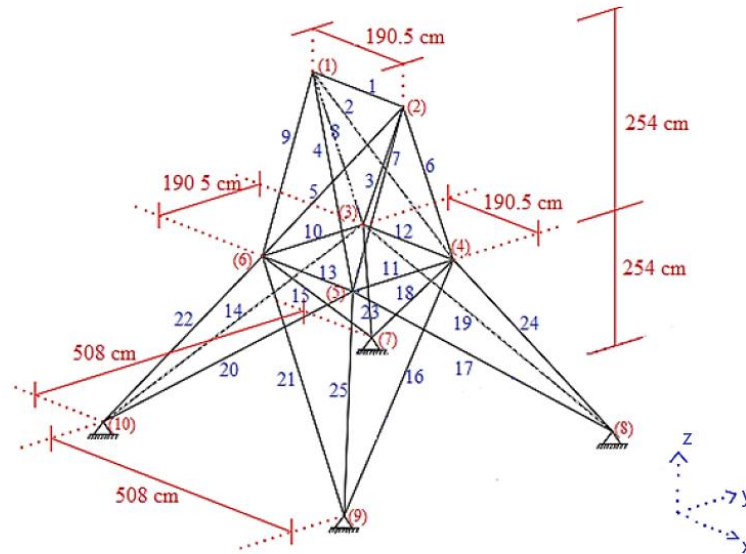
Sınırlayıcı olarak deplasman ve gerilme sınırlayıcıları AISC-ASD (1989) kriterleri dikkate alınarak uygulanmıştır. Ayrıca 582 elemana sahip uzay kafes kule örneğinde düşey elemanlara geometrik sınırlayıcı uygulanmıştır.

Her iki optimizasyon tekniğinde de 25 elemanlı uzay kafes kule için 10000, 72 elemanlı uzay ile 52 elemanlı düzlem kafes kule için 60000 ve 582 elemanlı uzay kafes kule için 20000 analiz yapılmıştır.

25 Elemanlı Uzay Kafes Kule Örneği

25 elemanlı uzay kafes kule örneği ilk olarak Zhu, D. M., (1986) tarafından optimize edilmiştir. Bu çalışmada 25 elemanlı uzay kafes kule, PSO ve FFA ile optimize edilip elde edilen sonuçlar literatürde bulunan Erbatur, Hasançebi, Tütüncü ve Kılıç (2000) tarafından yapılan geliştirilmiş genetik algoritma (IGa) , Rajeev ve Krishnamoorthy, (1992) tarafından yapılan genetik algoritma (Ga) ve Zhang vd., (2014) tarafından yapılan genelleştirilmiş şekil fonksiyonu tabanlı parametreleştirme yöntemi (GSFP) ile optimizasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

25 elemanlı uzay kafes kulenin eleman numaraları nokta numaraları ve eleman uzunlukları Şekil 22’de verilmiştir. Uzay kafes kuleye ilişkin yükleme bilgileri Tablo 1’de gösterilmiştir. Kule yüksekliği 508 cm olup Tablo 2’de görüldüğü gibi 8 farklı gruptan oluşmaktadır. Söz konusu kuleye ait düğüm noktası koordinatları Tablo 3’de verilmiştir. Optimum çözümde kullanılan profil alanları (0.65, 1.29, 1.94, 2.58, 3.2258, 3.87, 4.52, 5.16, 5.81, 6.45, 7.10, 7.74, 8.39, 9.03, 9.68, 10.32, 10.98, 11.61, 12.26, 12.90, 13.55, 14.19, 14.84, 15.48, 16.13, 16.77, 18.07, 19.36, 20.65, 21.94) cm^2 ’ dir. Toplamda 2951 profil alanı kullanılmıştır. Bu kafes kuleye ait malzemenin Elastisite Modülü 68950 MPa, özgül ağırlık değeri 2767.991 kg/m^3 tür. Çekme ve basınç gerilmesi sınır değerleri [275.8, - 275.8] MPa’ dır. Maximum yer değiştirme değeri ($d_{\max}$) 1. ve 2. düğüm noktalarında x ve y yönlerinde 8.899 mm’dir.



Şekil 22. 25 elemanlı uzay kafes kule.

Tablo 1. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kuleye İlişkin Yükleme Bilgisi

Düğüm Noktası	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)
1	4.448	-44.48	-44.48
2	0.	-44.48	-44.48
3	2.224	0.	0.
6	2.669	0.	0.

Bu çalışmada parçacık sürü optimizasyonu ile elde edilen ağırlık 2.18 kN ve ateş böceği algoritması ile elde edilen ağırlık değeri 2.17 kN'dur. Karşılaştırma sonucunda parçacık sürü optimizasyonu ve ateş böceği algoritmaları ile elde edilen ağırlık değeri genetik algoritmaya ait ağırlık değerinden sırasıyla yaklaşık %10.3 ve %10.7, geliştirilmiş genetik algoritmaya ait ağırlık değerinden sırasıyla yaklaşık olarak %0.9 ve %1.4, genelleştirilmiş şekil fonksiyonu tabanlı parametreleştirme yöntemine ait olan ağırlık değerinden ise sırasıyla yaklaşık olarak %12.8 ve %13.2 daha hafif olduğu gözlemlenmiştir. Parçacık sürü ve ateş böceği algoritmaları ile elde edilen ağırlık değerleri birbiri ile karşılaştırıldığında ise 25 elemanlı uzay kafes kulede ateş böceği algoritmasının daha optimum sonuçlar Tablo 4'te görülmektedir.

Bu örneğin parçacık sürü optimizasyonu ile optimizasyonu sonucu çekme çubuklarında oluşan gerilme değerleri ve gerilme kapasiteleri Tablo 5'te, ateş böceği algoritması ile optimizasyonu sonucu çekme çubuklarında oluşan gerilme değerleri ve gerilme kapasiteleri ise Tablo 6'da verilmiştir. İki optimizasyon yöntemine göre de gerilme kapasitesi en büyük çıkan eleman 11 numaralı elemandır. Bu elemana ait gerilme değeri her iki optimizasyon yönteminde de daha önce belirlediğimiz gerilme yığılma katsayısı ile çarpılıp optimizasyon işlemi yenilenmiştir ve tablo haline getirilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonuna ve ateş böceği algoritmalarına ait optimizasyon sonucunda elde edilen ağırlık değerlerine bakıldığında gerilme yığılması dikkate alınan ağırlık değeri gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık % 1.8 daha ağırdır. 25 elemanlı uzay kafes kulenin PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi Şekil 23'de gösterilmiştir.

Optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen maksimum deplasman değerlerinin deplasman sınır değerine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle 25 elemanlı uzay kafes kule örneğinin boyutlandırılmasında deplasman etkili olmuştur.

Tablo 2. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Eleman Gruplandırma Bilgisi

Grup No	Eleman No
1	A1
2	A2 ~A5
3	A6 ~A9
4	A10 ~A11
5	A12 ~A13
6	A14 ~A17
7	A18 ~A21
8	A22 ~A25

Tablo 3. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Düğüm Noktası Koordinatları

Düğüm Noktası	x (cm)	y (cm)	z (cm)
1	-95.25	0.0	508
2	95.25	0.0	508
3	-95.25	95.25	254
4	95.25	95.25	254
5	95.25	-95.25	254
6	-95.25	-95.25	254
7	-254	254	0.0
8	254	254	0.0
9	254	-254	0.0
10	-254	-254	0.0

Tablo 4. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kule İçin Optimizasyon Değerleri

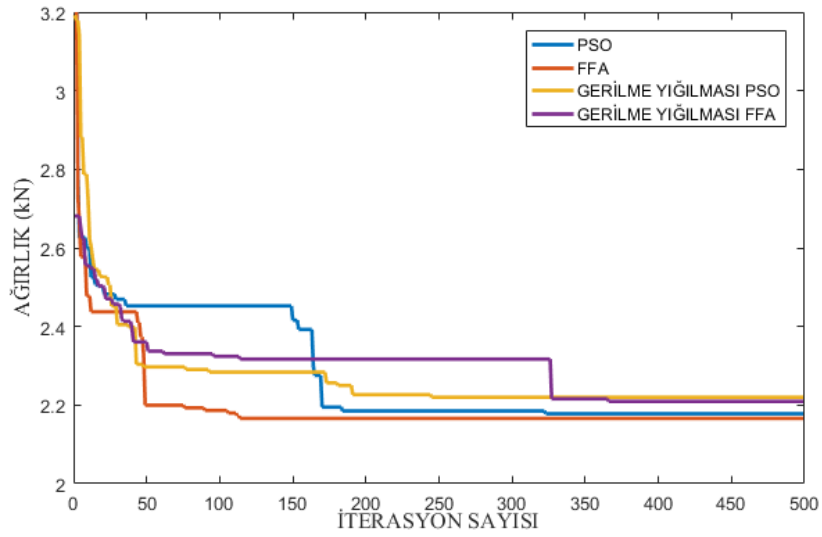
Grup Numarası	Optimum kesit alanları (cm ²)						
	GA (Rajeev & Krishnamoorthy, 1992)	IGA (Erbatur vd., 2000)	GSFP (Zhang vd., 2014)	<i>Bu çalışma Gerilme Yığılması yok</i>		<i>Bu çalışma Gerilme Yığılması var</i>	
				<i>PSO</i>	<i>FFA</i>	<i>PSO</i>	<i>FFA</i>
1	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
2	11.61	7.74	2.58	1.94	4.52	1.94	8.39
3	14.84	20.64	21.94	21.94	21.94	21.94	21.94
4	1.29	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
5	0.65	7.10	14.19	14.19	14.84	10.32	10.32
6	5.16	5.81	6.45	7.10	5.81	5.81	5.81
7	11.61	2.58	2.58	2.58	1.94	6.45	0.65
8	19.36	21.94	21.94	21.94	21.94	20.65	21.94
Toplam (kN)	2.43	2.20	2.50	2.18	2.17	2.22	2.21
Maks. Deplasman (mm)				8.874	8.877	8.873	8.892
Maks. gerilme kapasitesi (%)				72.61	74.57	92.58	99.22
Analiz sayısı	-	-	-	10000	10000	10000	10000

Tablo 5. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyon İşlemi Sonucunda Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri

Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)
10	160.69	58.26
11	162.48	58.91
13	11.8167	4.28
14	39.0743	14.17
15	17.0083	6.17
16	38.3036	13.89
17	15.0878	5.47

Tablo 6. 25 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Ateş Böceği Algoritması ile Optimizasyonu Sonucunda Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri

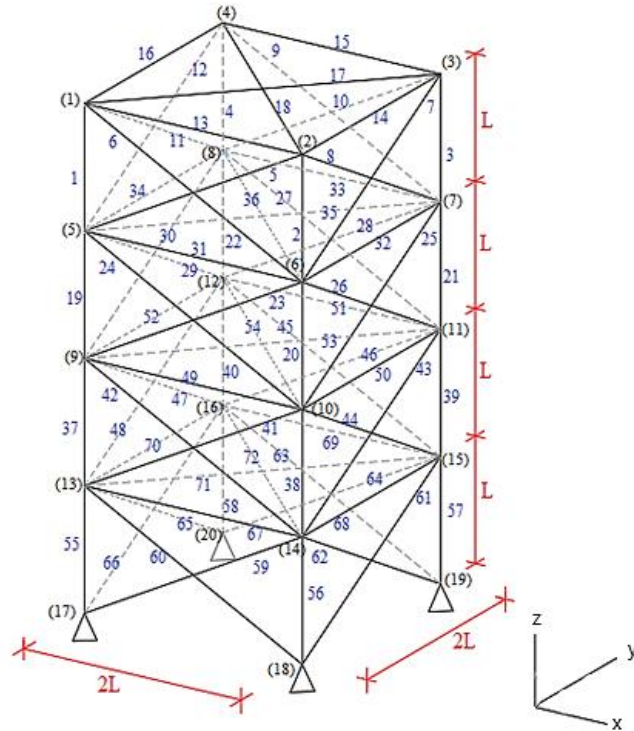
Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)
1	12.55	4.55
10	172.45	62.53
11	174.53	63.28
13	10.41	3.77
14	44.055	15.97
15	19.99	7.25
16	42.81	15.52
17	17.91	6.49



Şekil 23. 25 elemanlı uzay kafes kule için PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi.

72 Elemanlı Uzay Kafes Kule Örneği

72 elemanlı uzay kafes kule örneği PSO ve FFA ile optimize edilip elde edilen sonuçlar literatürde bulunan Venkayya (1971), Xicheng ve Guixu (1992) (paralel yenilemeli algoritması), Erbatur, Hasançebi Tütüncü ve Kılıç(2000) (genetik algoritma), Gellatly ve Berke (1971), Kaveh, Gholipour ve Rahami (2008) (göç genetik algoritması), Artar ve Daloğlu (2021) (öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon) çalışmalarına ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 24. 72 Elemanlı uzay kafes kule.

Şekil 24' te 72 elemandan oluşan uzay kafes kuleye ait eleman uzunlukları, eleman numaraları ve düğüm noktaları numaraları verilmiştir. L uzunluğu 152.4 cm olup toplam kule yüksekliği 609.6 cm'dir. Söz konusu kule Tablo 7'de görüldüğü gibi 16 farklı gruptan oluşmaktadır. Söz konusu kuleye ilişkin yükleme bilgisi Tablo 8'de verilmiştir. Bu çalışmada optimum çözümde kullanılan profil alanları 0.65 ile 20 cm² arasında değişmektedir. Toplamda 194 profil alanı kullanılmıştır. Kullanılan malzemeye ait Elastisite modülü (E) 68950 MPa, malzeme yoğunluğu (ρ) ise 0.0272 N/cm³'tür. Çekme ve basınç gerilmesi sınır değerleri [172.375, - 172.375] MPa'dır. Maximum yer değiştirme değeri 0.635 cm'dir.

Tablo 7. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Eleman Gruplandırma Bilgisi

Grup No	Eleman No
1	A1~A4
2	A5~A12
3	A13~A16
4	A17, A18
5	A19~A22
6	A23~A30
7	A31~A34
8	A35,A36
9	A37~A40
10	A41~A48
11	A49~A52
12	A53,A54
13	A55~A58
14	A59~A66
15	A67~A70
16	A71, A72

Tablo 8. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Yükleme Bilgisi

Yükleme No	Düğüm noktası	x (kN)	y (kN)	z (kN)
1	1 1	22.2685	22.2685	-22.2685
2	1	0	0	-22.2685
	2	0	0	-22.2685
	3	0	0	-22.2685
	4	0	0	-22.2685

Bu çalışma kapsamında parçacık sürü optimizasyonu ile elde edilen optimum ağırlık değeri 1.72 kN dur. Karşılaştırma sonucunda parçacık sürü optimizasyonu ile bulunan ağırlık değerinin; Venkayya (1971) ve Xicheng ve Guixu (1992) çalışmalarına ait ağırlık değerinden yaklaşık olarak %1.2, Kaveh vd. (2008)'nin çalışmalarına ait ağırlık değerinden yaklaşık olarak %1.8 daha ağır olduğu, Artar ve Daloğlu (2021) ile Gellatly ve Berke (1971) çalışmalarına ait ağırlık değerinden ise yaklaşık olarak %2.3 daha hafif olduğu, Erbatur vd. (2000)' in çalışmasına ait ağırlık değeriyle de aynı değere sahip olduğu görülmüştür. Ateş böceği algoritması ile optimizasyon sonucunda optimum ağırlık değeri 1.70 kN olarak elde edilmiştir. Söz konusu değer literatür sonuçlarıyla karşılaştırıldığında Erbatur vd. (2000)'nin çalışmalarına ait olan ağırlık değerinden yaklaşık %1.2, Artar ve Daloğlu (2021) ve Gellatly ve Berke (1971)'nin çalışmalarına ait ağırlık değerinden yaklaşık olarak %3.4 daha hafif olduğu, Kaveh vd. (2008)'nin çalışmalarına ait ağırlık değerinden yaklaşık olarak %0.6 daha ağır olduğu, Venkayya (1971) ve Xicheng ve Guixu (1992)'nun çalışma sonucuna ait olan ağırlık değeriyle ise aynı olduğu Tablo 9'da görülmektedir.

72 elemanlı uzay kafes kulenin parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak yapılan optimizasyon işlemi sonucu çekme çubuklarında oluşan gerilme değerleri ve gerilme kapasiteleri Tablo 10'da, ateş böceği algoritması kullanılarak yapılan optimizasyon işlemi sonucu çekme çubuklarında oluşan gerilme değerleri ve gerilme kapasiteleri Tablo 11'de verilmiştir. İki optimizasyon yöntemine göre de gerilme kapasitesi en yüksek çıkan eleman 36 numaralı elemandır. Bu elemana ait olan gerilme değeri her iki optimizasyon yönteminde de daha önce belirlediğimiz gerilme yığılma katsayısı ile çarpılıp optimizasyon işlemi yenilenmiştir ve tablo haline getirilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonuna ait optimizasyon sonucunda çıkan ağırlık değeri incelendiğinde gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değerinin gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık

% 1.2, ateş böceği algoritmasında ise gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değerinin gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden %1.8 daha ağırdır olduğu görülmüştür.

Tablo 9. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kule için Optimizasyon Değerleri

Grup Numarası	Optimum kesit alanları (cm ²)						Bu çalışma Gerilme Yığılması yok		Bu çalışma Gerilme Yığılması var	
	(Venkayya, 1971)	(Xicheng & Guixu, 1992)	(Erbatur vd. 2000)	(Gellatly & Berke 1971)	(Kaveh vd. 2008)	(Artar & Daloglu, 2021)	PSO	FFA	PSO	FFA
1	1.04	1.01	1.00	0.96	1.01	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
2	3.59	3.46	3.45	4.99	3.53	3.12	4.75	4.55	3.45	5.05
3	2.43	2.65	3.10	2.93	2.63	3.12	2.45	2.75	1.05	3.15
4	3.26	3.68	3.35	2.20	3.70	5.22	2.55	3.05	3.45	3.15
5	3.94	3.28	2.97	3.56	3.35	3.12	3.25	4.15	2.55	3.05
6	3.43	3.37	3.42	3.93	3.34	3.12	3.25	3.65	3.75	3.25
7	0.65	0.65	0.77	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.65
8	0.65	0.65	1.06	0.65	0.65	3.12	0.65	1.15	0.75	1.45
9	8.04	8.30	7.45	6.60	8.21	7.68	9.25	8.35	6.55	6.35
10	3.38	3.33	3.77	3.50	3.27	4.61	2.35	2.95	4.05	2.85
11	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	1.00	0.65	0.65	0.85	0.65
12	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
13	11.73	12.29	11.32	9.44	12.17	10.07	13.95	10.05	11.85	9.75
14	3.38	3.34	3.26	3.36	3.32	3.12	3.35	2.75	4.15	3.55
15	0.65	0.65	0.68	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
16	0.65	0.65	1.00	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.65
Toplam (kN)	1.70	1.70	1.72	1.76	1.69	1.76	1.72	1.70	1.74	1.73
Maks. Deplasman (mm)							6.349	6.348	6.348	6.349
Maks. gerilme kapasitesi (%)							88.15	86.62	85.15	85.17
Analiz sayısı	-	-	-	-	-	-	60000	60000	60000	60000

Optimizasyon işlemi sonucunda çıkan maksimum deplasman değerlerinin deplasman sınır değerine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle 72 elemanlı uzay kafes kule örneğinin

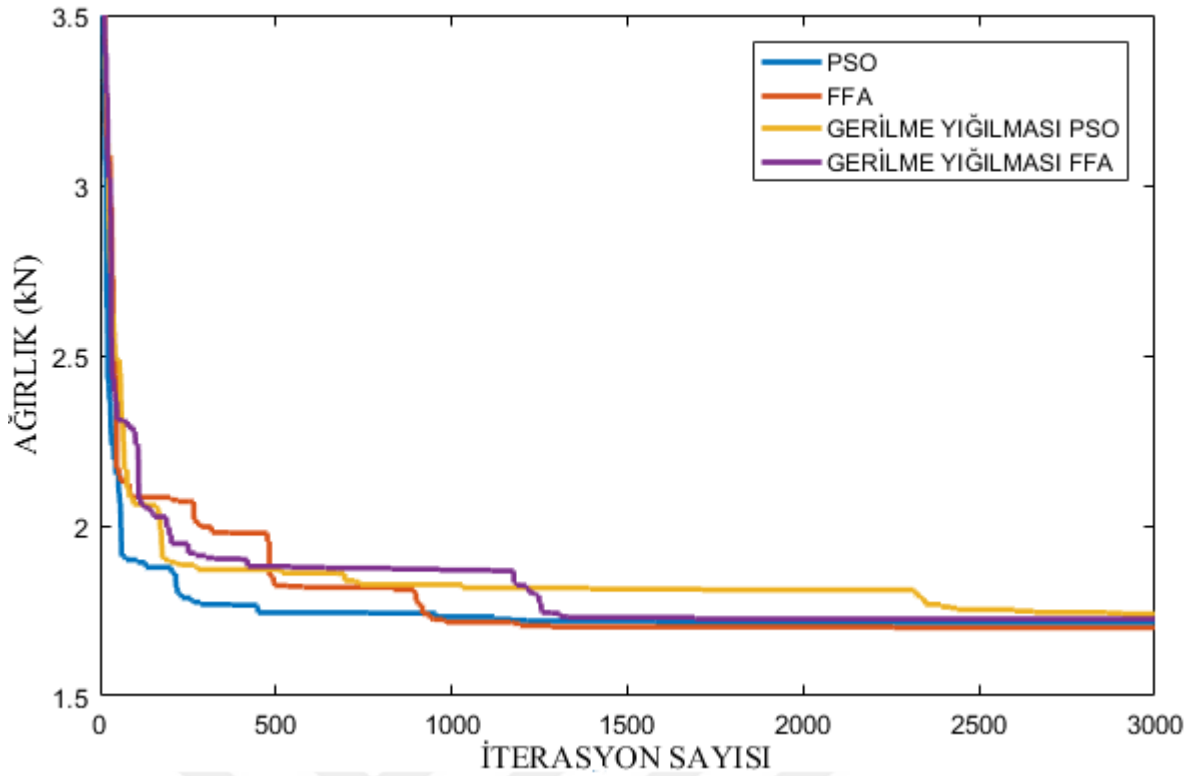
boyutlandırılmasında deplasman etkili olmuştur. 72 elemanlı uzay kafes kulenin PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi Şekil 25’de verilmiştir.

Tablo 10. 72 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyon İşlemi Sonucunda Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri

Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)
2	2.44	1.42	36	42.84	24.85
4	2.44	1.42	37	14.68	8.51
5	7.82	4.54	41	25.40	14.73
7	6.86	3.98	43	24.93	14.46
9	6.86	3.98	45	24.93	14.46
12	7.82	4.54	48	25.39	14.73
14	6.88	3.99	50	6.87	3.99
15	6.88	3.99	51	6.87	3.99
18	10.84	6.29	54	10.01	5.81
23	28.57	16.58	55	17.41	10.10
25	13.59	7.89	61	15.82	9.18
27	13.59	7.89	63	15.82	9.18
30	28.57	16.58	66	21.49	12.46
31	32.29	18.73	67	1.57	0.91
32	1.57	0.91	68	2.89	1.68
33	1.57	0.91	69	2.89	1.68
34	32.29	18.73	70	1.57	0.91

Tablo 11 .72 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Ateş Böceği Algoritması ile Optimizasyonu Sonucunda Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri

Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)
2	1.72	1.00	41	19.55	11.34
4	1.72	1.00	43	20.43	11.85
5	8.47	4.91	45	20.43	11.85
7	6.36	3.69	48	19.55	11.34
9	6.36	3.69	50	6.58	3.82
12	8.471	4.91	51	6.58	3.82
14	6.80	3.94	54	7.44	4.32
15	6.80	3.94	55	23.53	13.65
18	8.36	4.85	59	25.81	14.98
23	24.51	14.22	61	19.34	11.22
25	12.87	7.46	63	19.34	11.22
27	12.87	7.46	66	25.81	14.98
30	24.51	14.22	67	1.64	0.95
31	28.05	16.27	68	3.71	2.15
34	28.05	16.27	69	3.71	2.15
36	33.47	19.42	70	1.64	0.95
37	15.87	9.21	72	5.99	3.47



Şekil 25. 72 elemanlı uzay kafes kulenin PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi.

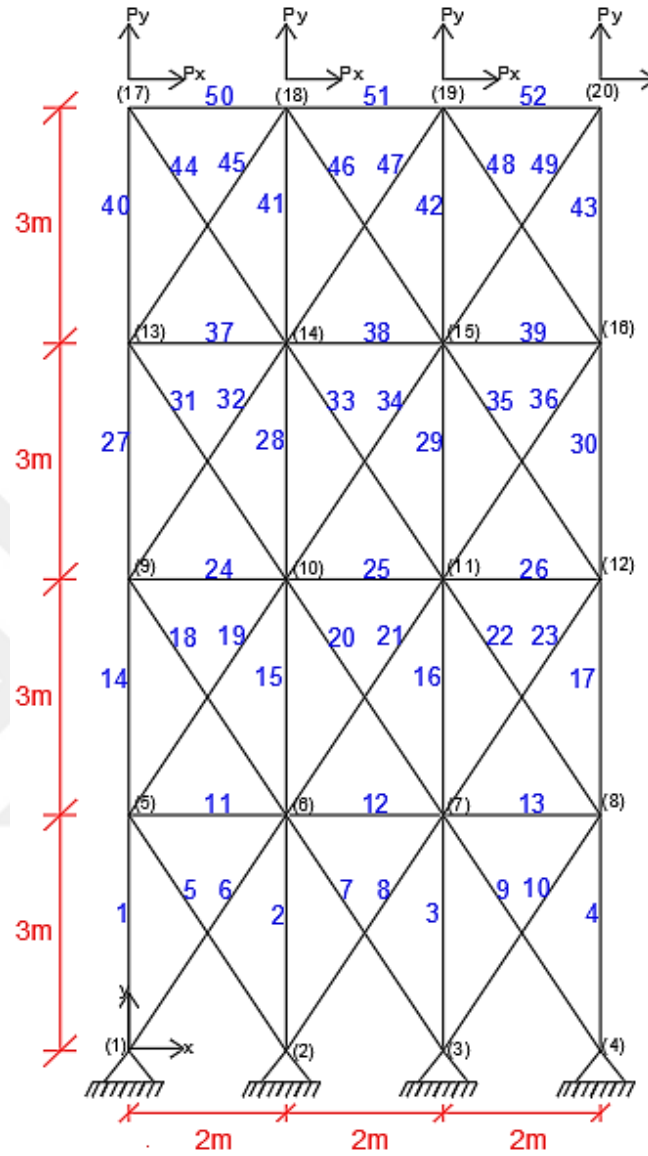
52 Elemanlı Düzlem Kafes Kule Örneği

52 elemanlı düzlem kafes kule ilk olarak Wu ve Chow (1995) tarafından optimize edilmiştir. Söz konusu kule PSO ve FFA ile optimize edilip elde edilen sonuçlar literatürde bulunan Li ve Lian (2018)'in yapmış olduğu meyve sineği optimizasyonu ve Li vd. (2019)'nin yapmış olduğu tavuk sürüsü optimizasyonu çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 26'da 52 elemandan oluşan düzlem kafese ait eleman uzunlukları, eleman numaraları ve düğüm noktaları numaraları verilmiştir. Kule yüksekliği 12 m olup Tablo 12'de görüldüğü gibi 12 farklı gruptan oluşmaktadır. Bu çalışmada optimum çözümde kullanılan profil alanları 1 ile 50 cm² arasında değişmektedir. Toplamda 491 profil alanı kullanılmıştır. Kullanılan malzemeye ait Elastisite Modülü (E) = 2.07×10^5 MPa, yoğunluğu (ρ) = 7860.0 kg/m³'tür. Çekme ve basınç gerilmesi sınır değeri 180 MPa'dır. Yükleme bilgisi Tablo 13'te verilmiştir.

Bu çalışmada parçaçık sürü optimizasyonu ile elde edilen optimum ağırlık değeri 18.80 kN'dur. Söz konusu değer Li ve Lian (2018)'nin çalışmalarına ait ağırlık değerinden yaklaşık %0.9 ve Li vd., (2019)'nin çalışmalarına ait ağırlık değerinden ise %1.1 daha ağırdır. Ateş böceği algoritması ile elde edilen optimum ağırlık değeri 18.32 kN'dur. Söz konusu değerin Li ve Lian (2018)'in çalışmalarına ait olan ağırlık değerinden yaklaşık %1.7 ve Li vd., (2019)'nin

çalışmalarına ait olan ağırlık değerinden ise %1.5 daha hafif olduğu görülmüştür. Ateş böceği algoritması ile elde edilen ağırlık değerinin parçacık sürü optimizasyonu ile elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık olarak % 2.6 daha hafif olduğu Tablo 14'te görülmektedir.



Şekil 26. 52 elemanlı düzlem kafes kule.

52 elemanlı düzlem kafes kulenin parçacık sürü optimizasyonu ile optimizasyonu sonucu çekme çubuklarında oluşan gerilme değerleri ve gerilme kapasiteleri Tablo 15'te ateş böceği algoritması ile optimizasyonu sonucunda ise çekme çubuklarında oluşan gerilme değerleri ve gerilme kapasiteleri Tablo 16'da verilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonu yöntemine göre gerilme kapasitesi en yüksek olan eleman 27 numaralı elemandır. Ateş böceği algoritmasına göre ise gerilme kapasitesi en yüksek olan eleman 14 numaralı eleman ve 27 numaralı elemandır. İki optimizasyon yönteminde de 27 numaralı elemana ait gerilme değeri daha önce belirlediğimiz gerilme yığılma katsayısı ile çarpılıp optimizasyon işlemi yenilenmiştir ve sonuçlar tablo halinde sunulmuştur. Parçacık sürü optimizasyonuna ait ağırlık

değerleri incelendiğinde gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değerinin, gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık % 6.8, ateş böceği algoritmasında ise gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değerinin gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık %9.3 daha ağır olduğu görülmüştür. 52 Elemanlı düzlem kafes kulenin PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi Şekil 27’de gösterilmiştir.

Tablo 12. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kulenin Eleman Gruplandırma Bilgisi

Grup No	Eleman No
1	A1~A4
2	A5~A10
3	A11~A13
4	A14~A17
5	A18~A23
6	A24~A26
7	A27~A30
8	A31~A36
9	A37~A39
10	A40~A43
11	A44~A49
12	A50~A52

Tablo 13. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kulenin Yükleme Bilgisi

Düğüm Noktası	F _x (kN)	F _y (kN)
1	100	200
18	100	200
19	100	200
20	100	200

Tablo 14. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kule için Optimizasyon Değerleri

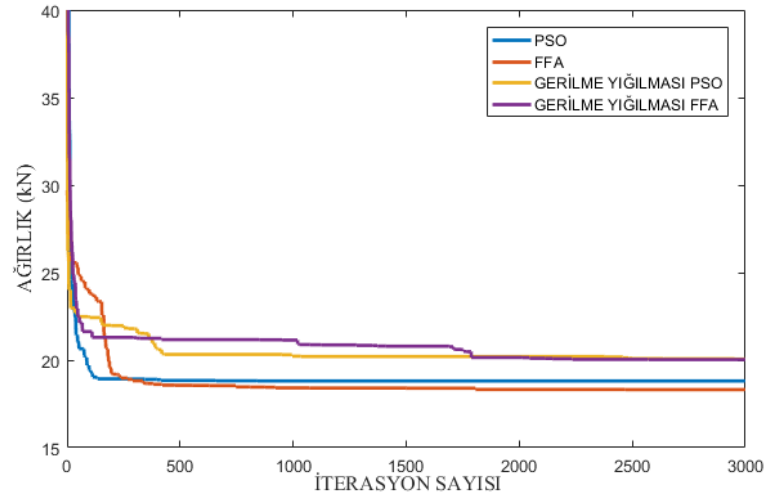
Grup Numarası	Optimum kesit alanları (cm ²)					
	(Y. Li & Lian, 2018) IFFOA	(Y. Li vd., 2019) ICSO	Bu çalışma Gerilme yığılması yok		Bu çalışma Gerilme yığılması var	
			PSO	FFA	PSO	FFA
1	46.48	46.50	42.30	43.40	43.70	41.60
2	11.41	11.60	13.40	11.40	11.70	14.80
3	4.54	3.63	7.70	3.30	11.90	7.20
4	33.33	33.03	32.60	32.90	32.10	32.40
5	9.20	9.35	10.60	9.70	11.10	9.80
6	4.90	4.94	4.00	6.60	5.10	5.40
7	22.18	22.10	22.30	22.30	35.50	35.20
8	10.28	10.05	10.80	10.20	10.00	9.50
9	4.74	3.88	4.80	6.50	5.80	7.60
10	12.54	12.80	13.10	13.30	12.70	12.20
11	11.81	11.54	11.00	10.70	10.90	11.10
12	4.90	7.92	4.40	4.40	5.30	7.10
Toplam (kN)	18.64	18.59	18.80	18.32	20.07	20.03
Maks. Deplasman (mm)			-	-	-	-
Maks. gerilme kapasitesi(%)			100	100	100	100
Analiz sayısı	-	-	60000	60000	60000	60000

Tablo 15. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kulenin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyon İşlemi Sonucu Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri

Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)
1	179.91	99.95	27	179.99	100
2	67.87	37.71	28	106.34	59.08
3	3.37	01.87	29	40.26	22.37
6	166.16	92.31	32	153.31	85.17
8	112.29	62.38	34	169.69	94.27
10	54.10	30.06	36	95.94	53.30
13	33.31	18.51	40	177.70	98.72
14	179.93	99.96	41	114.63	63.68
15	93.04	51.69	42	76.48	42.49
16	12.51	06.95	43	49.37	27.43
19	165.21	91.78	45	143.42	79.68
21	154.16	85.65	47	174.28	96.82
23	85.49	47.49	49	147.86	82.14
26	21.25	11.80	52	22.23	12.35

Tablo 16. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Kulenin Ateş Böceği Algoritması ile Optimizasyonu Sonucu Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri

Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi(%)
1	179.47	99.71	27	179.99	100
2	70.85	39.36	28	100.19	55.66
3	3.97	02.21	29	39.98	22.21
6	179.97	99.98	32	171.07	95.05
8	123.47	68.59	34	176.51	98.06
10	72.96	40.53	36	102.40	56.89
13	61.32	34.07	40	175.70	97.61
14	179.99	100	41	111.13	61.74
15	93.28	51.82	42	73.75	40.97
16	12.63	07.02	43	50.32	27.95
19	165.14	91.75	45	150.50	83.61
21	172.58	95.88	47	179.37	99.65
23	101.07	56.15	49	149.48	83.04
26	8.11	4.50	52	25.64	14.25



Şekil 27. 52 Elemanlı düzlem kafes kulenin PSO, FFA, gerilme yığılması PSO ve gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi.

582 Elemanlı Uzay Kafes Kule Örneği

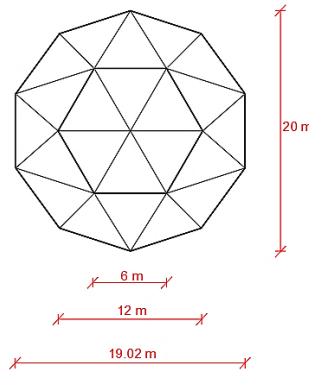
582 elemanlı uzay kafes kule örneği ilk olarak Hasancebi vd. (2009) tarafından optimize edilmiştir. Bu çalışmada 582 elemanlı uzay kafes kule, PSO ve FFA ile optimize edilip elde edilen sonuçlar literatürde bulunan Hasancebi vd., (2009) tarafından yapılan parçacık sürü optimizasyonu ile optimizasyon (PSO), Artar (2016a) tarafından yapılan harmoni arama algoritması (HS) ile optimizasyon, Artar ve Daloğlu (2019) tarafından yapılan Jaya algoritması (JA) ile optimizasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

582 elemana sahip olan uzay kafes kulenin üstten görünüşü Şekil 28’de verilmiştir. 80 m yüksekliğe sahip olan kule Şekil 29’da verildiği gibi 32 farklı gruptan oluşmaktadır ve üç boyutlu görünümü Şekil 30’da sunulmuştur. Bu kule yapısının optimum çözümünde Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü’nden (AISC) alınan 297 adet W profilleri kullanılmıştır. Bu kulede kullanılan çeliğin Elastisite Modülü (E) 203893.6 MPa’dır. Akma gerilmesi (Fy) 253.1 MPa’dır. deplasman sınır değeri 80 mm’dir. Söz konusu kuleye x ve y yönlerinde her noktada olmak üzere 5 kN yanal tekil yük ve z yönünde her noktada -30 kN düşey tekil yük uygulanmaktadır.

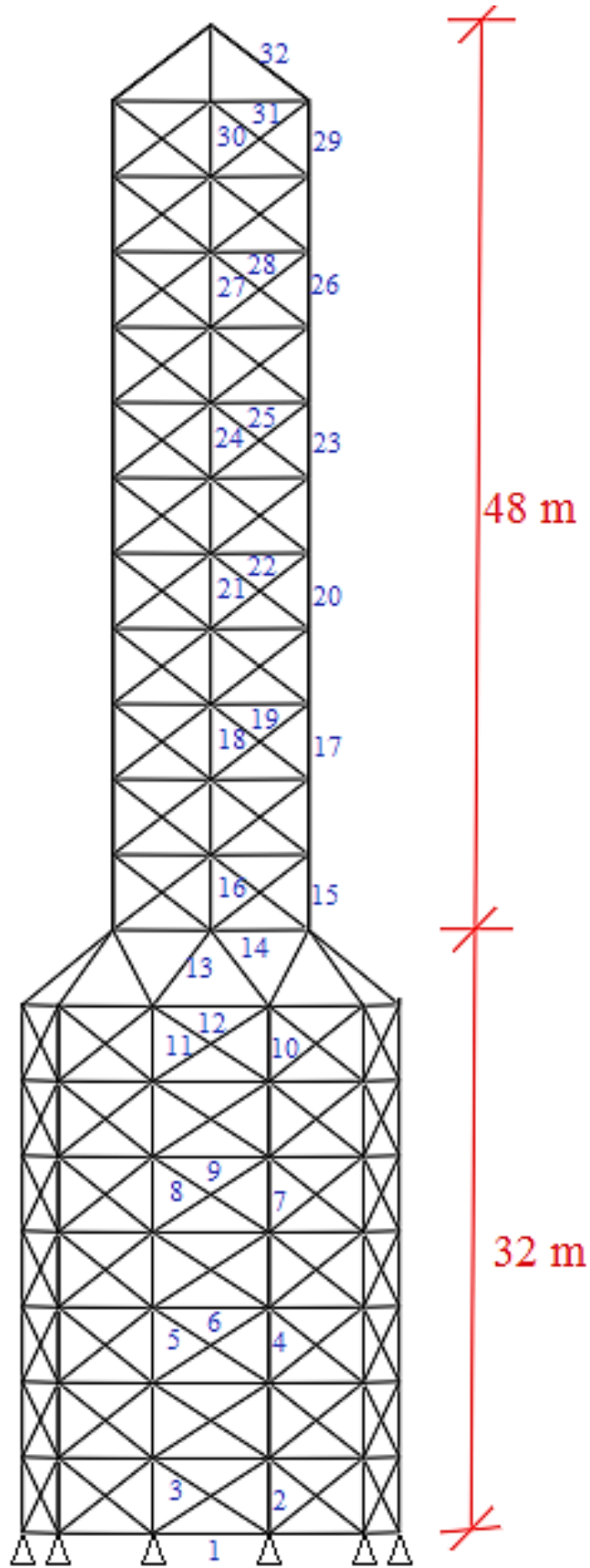
Bu çalışmada parçacık sürü optimizasyonu ile elde edilen optimum ağırlık değeri 1601.3 kN ateş böceği algoritması ile elde edilen optimum ağırlık değeri ise 1593.3 kN dur. Parçacık sürü optimizasyonu ile elde edilen ağırlık değeri Hasancebi vd. (2009)’nin optimizasyon sonucuna ait olan ağırlık değerinden yaklaşık %1.1 daha hafiftir. PSO ile elde edilen optimizasyon sonucu Artar (2016a) ve Artar ve Daloğlu (2019)’nun optimizasyon sonucu ile karşılaştırıldığında ise PSO sırasıyla yaklaşık %1.4 ve %4.2 daha ağır sonuç vermiştir. Ateş böceği algoritması ile elde edilen optimizasyon sonucunun Hasancebi vd. (2009)’nin optimizasyon sonucuna göre yaklaşık %1.6 daha hafif olduğu, Artar (2016a)’ın

optimizasyon sonucundan %0.9, Artar ve Daloğlu (2019)'nın optimizasyon sonucundan ise yaklaşık %3.7 daha ağır olduğu görülmüştür. Parçacık sürü optimizasyonu ve ateş böceği algoritması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ise ateş böceği algoritmasının daha hafif sonuç verdiği görülmüştür.

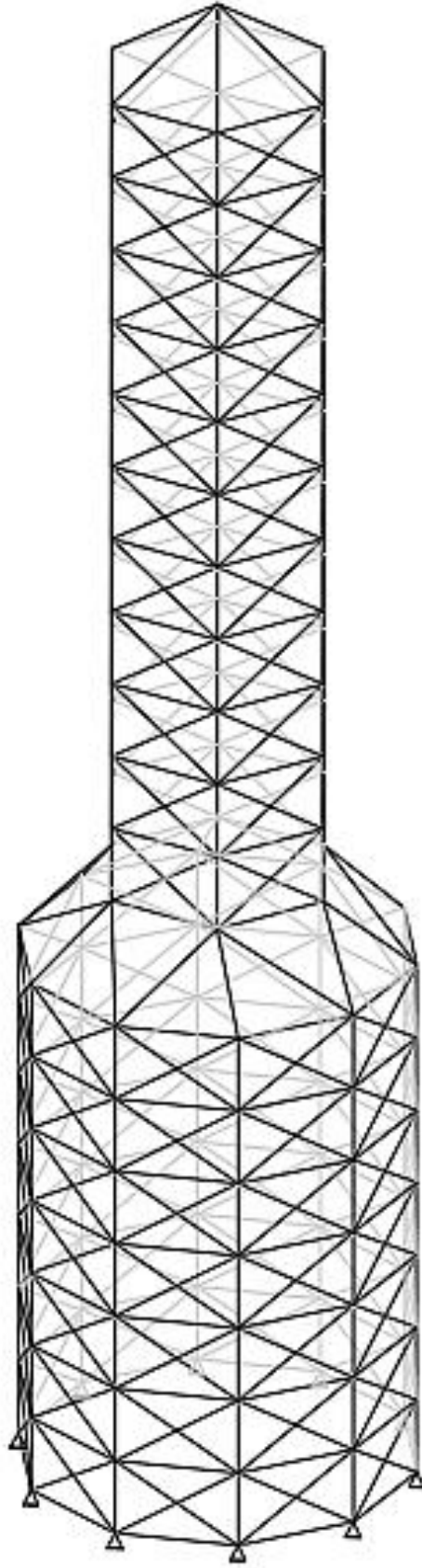
Bu örnekte maksimum gerilme kapasitesine sahip olan çekme çubuğu elemanına gerilme yığılma katsayısı uygulamak için Tablo 18'de görülen sanal alanlar oluşturulmuş ve optimizasyon işlemi parçacık sürü optimizasyonu ve ateş böceği algoritmaları kullanılarak yenilenmiştir. PSO ile optimizasyon işlemi sonucunda ağırlık 1676.4 kN, ateş böceği algoritması ile optimizasyon sonucunda ağırlık 1651.8 kN olarak elde edilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonu ile sanal alan kullanılarak yapılan optimizasyon sonucu çekme çubuklarında oluşan gerilme değerleri ve gerilme kapasiteleri Tablo 19'da, ateş böceği algoritması ile sanal alan kullanılarak yapılan optimizasyon sonucu çekme çubuklarında oluşan gerilme değerleri ve gerilme kapasiteleri ise Tablo 20'de verilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonu ile yapılan optimizasyon sonucunda maksimum gerilme kapasitesine sahip olan eleman 333 numaralı elemandır. Ateş böceği algoritması ile optimizasyon sonucunda maksimum gerilme kapasitesine sahip olan eleman 289 numaralı elemandır. Bu elemanlarda farklı nedenlerden dolayı çentik olduğu varsayılmıştır. Bu elemanlarda oluşan gerilme değeri her iki optimizasyon yönteminde de daha önce belirlediğimiz gerilme yığılma katsayısı ile çarpılıp optimizasyon işlemi yenilenmiştir ve sonuçlar tablo yardımıyla sunulmuştur. Parçacık sürü optimizasyonuna ait sonuçlar incelendiğinde gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değerinin gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık % 0.9 daha ağır olduğu görülmüştür. Ateş böceği algoritmasında ise gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değerinin gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık %1.3 daha ağır olduğu Tablo 17' de gösterilmiştir.



Şekil 28. 582 elemanlı uzay kafes kulenin üstten görünüşü.



Şekil 29. 582 elemanlı uzay kafes kulenin eleman gruplandırma bilgisi.



Şekil 30. 582 elemanlı uzay kafes kulenin üç boyutlu görünümü.

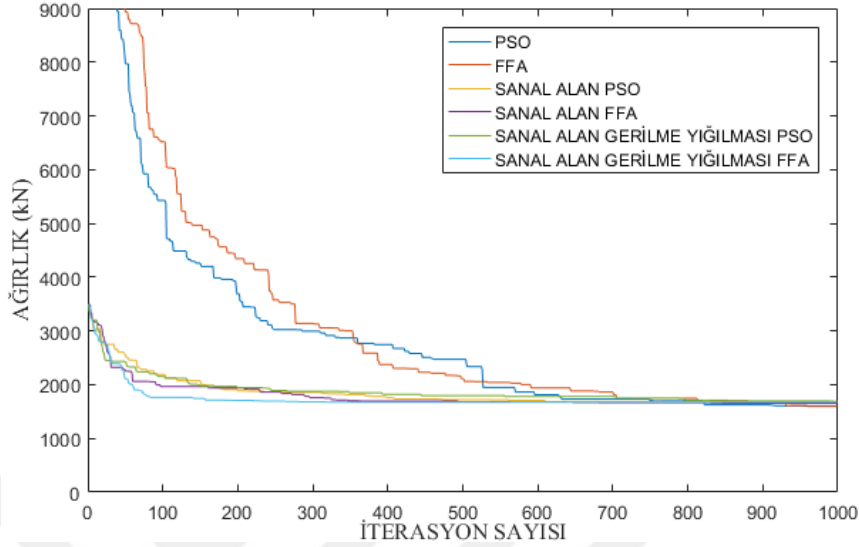
Tablo 17. 582 Elemanlı Uzay Kafes Kule Yapısı için Optimizasyon Değerleri

Grup Numarası	Optimum kesit alanları (cm ²)					Bu Çalışma Sanal Alan Gerilme Yığılması yok		Bu Çalışma Sanal Alan Gerilme Yığılması var	
	Hasancebi vd (2009) (PSO)	Artar (2016a) (HS)	Artar ve Daloğlu (2019)	PSO	FFA	PSO	FFA	PSO	FFA
1	W8X21 (39.74)	W10×12 (22.84)	W6×12 (22.9)	W6x16 (30.58)	W10x15 (28.45)	42.00	37.80	46.40	43.40
2	W12X79 (149.68)	W30×108 (204.52)	W12×152 (288.39)	W24x117 (221.94)	W33x152 (288.39)	132.00	176.80	163.20	126.00
3	W8X24 (45.68)	W8×10 (19.1)	W8×10 (19.1)	W12x26 (49.35)	W14x22 (41.87)	38.40	42.00	42.00	46.40
4	W10X60 (113.55)	W16×67 (127.1)	W12×152 (288.39)	W18x76 (143.87)	W21x93 (176.13)	126.00	130.00	126.00	126.00
5	W8X24 (45.68)	W8×15 (28.65)	W8×10 (19.1)	W8x15 (28.65)	W10x17 (32.19)	38.40	38.40	46.40	38.40
6	W8X21 (39.74)	W6×20 (37.87)	W8×10 (19.1)	W10x19 (36.26)	W10x22 (41.87)	37.80	42.00	44.40	44.40
7	W14X48 (90.97)	W16×50 (94.84)	W10×60 (113.55)	W12x45 (85.16)	W21x73 (138.71)	77.00	77.00	126.00	126.00
8	W8X24 (45.68)	W6×20 (37.87)	W8×10 (19.1)	W8x21 (39.74)	W6x12 (22.90)	37.60	49.50	44.40	37.60
9	W8X21 (39.74)	W10×15 (28.45)	W8×13 (24.77)	W6x16 (30.58)	W5x16 (30.19)	32.20	49.00	37.60	37.60
10	W10X45 (85.81)	W16×31 (58.84)	W10×39 (74.19)	W10x39 (74.19)	W21x68 (129.03)	43.20	49.00	126.00	88.80
11	W8X24 (45.68)	W5×16 (30.19)	W8×15 (28.65)	W10x12 (22.84)	W12x14 (26.84)	38.40	38.40	37.60	46.40
12	W10X68 (129.03)	W10×68 (129.03)	W16×31 (58.84)	W16x40 (76.13)	W14x43 (81.29)	210.00	114.80	77.00	126.00
13	W14X74 (140.64)	W16×67 (127.1)	W10×68 (129.03)	W10x60 (113.55)	W16x50 (94.84)	198.00	115.20	100.80	96.60
14	W14X74 (140.64)	W18×106 (200.64)	W14×48 (90.97)	W21x101 (192.26)	W14x43 (81.29)	49.50	126.00	108.00	126.00
15	W18X76 (143.87)	W16×100 (189.68)	W12×152 (288.39)	W27x217 (411.61)	W36x194 (367.74)	140.00	140.00	177.60	130.00
16	W8X31 (58.9)	W12×19 (35.94)	W8×13 (24.77)	W10x22 (41.81)	W8x24 (45.68)	81.20	49.00	61.20	66.00
17	W16X67 (127.1)	W16×89 (169.03)	W12×152 (288.39)	W24x68 (129.68)	W27x114 (216.13)	140.00	130.00	130.00	126.00
18	W8X24 (45.68)	W12×19 (35.94)	W10×12 (22.84)	W5x19 (35.74)	W12x14 (26.84)	37.80	38.40	43.40	44.40
19	W8X21	W12×35	W10×12	W6x20	W4x13	42.00	37.80	46.40	32.20

	(39.74)	(66.45)	(22.84)	(37.87)	(24.71)				
20	W8X40	W16×50	W12×152	W21x50	W21x83	126.00	126.00	126.00	126.00
	(75.48)	(94.84)	(288.39)	(94.84)	(156.77)				
21	W8X24	W6×15	W10×15	W6x9	W6x12	42.00	46.40	49.50	42.00
	(45.68)	(28.58)	(28.45)	(17.29)	(22.90)				
22	W8X21	W14×30	W10×15	W10x12	W5x16	42.00	37.80	42.00	32.20
	(39.74)	(57.1)	(28.45)	(22.84)	(30.19)				
23	W10X22	W14×30	W14×43	W18x35	W24x55	126.00	126.00	61.20	126.00
	41.87	(57.1)	(75.48)	(66.45)	(104.52)				
24	W8X24	W8×10	W10×15	W6x9	W10x12	42.00	38.40	74.20	55.00
	(45.68)	(19.1)	(28.45)	(17.29)	(22.84)				
25	W8X21	W18×46	W12×14	W6x12	W8x28	42.00	42.00	32.20	37.60
	(39.74)	(87.1)	(26.84)	(22.9)	(53.23)				
26	W8X21	W14×22	W12×30	W12x30	W16x36	126.00	46.40	61.20	126.00
	(39.74)	(41.87)	(56.71)	(56.71)	(68.39)				
27	W8X24	W12×26	W10×15	W6x12	W10x12	37.80	50.40	32.20	37.60
	(45.68)	(49.35)	(28.45)	(22.9)	(22.84)				
28	W8X21	W10×39	W8×10	W8x28	W10x15	43.40	55.80	37.60	37.60
	(39.74)	(74.19)	(19.1)	(53.23)	(28.45)				
29	W8X24	W10×15	W6×12	W12x19	W12x26	49.00	46.40	32.20	38.40
	(45.68)	(28.45)	(22.9)	(35.94)	(49.35)				
30	W8X21	W8×13	W12×14	W12x22	W10x12	43.20	49.50	43.40	46.40
	(39.74)	(24.77)	(26.84)	(41.81)	(22.84)				
31	W8X21	W8×31	W10×15	W18x46	W6x9	50.40	46.40	42.00	37.80
	(39.74)	(58.9)	(28.45)	(87.1)	(17.29)				
32	W8X24	W16×26	W10×15	W10x26	W8x13	42.00	32.20	37.60	38.40
	(45.68)	(49.55)	(28.45)	(49.1)	(24.77)				
Toplam (kN)	1618.8	1579.8	1536.31	1601.3	1593.3	1676.4	1651.8	1690.8	1673.6
Maks.				78.34	77.05	79.60	79.99	79.97	80.00
Deplasman (mm)									
Maks.				73.30	67.61	98.41	92.79	69.69	67.07
gerilme									
Kapasitesi									
(%)									
Analiz sayısı	-	10000	10000	20000	20000	20000	20000	20000	20000

Optimizasyon işlemi sonucunda çıkan maksimum deplasman değerlerinin deplasman sınır değerine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle 582 elemanlı uzay kafes kule örneğinin boyutlandırılmasında deplasman etkili olmuştur. 582 elemanlı uzay kafes kulenin

PSO, FFA, sanal alan PSO, sanal alan FFA, sanal alan gerilme yığılması PSO ve sanal alan gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 31. 582 elemanlı uzay kafes kule için PSO, FFA, sanal alan PSO, sanal alan FFA, sanal alan gerilme yığılması PSO ve sanal alan gerilme yığılması FFA ile optimizasyonu sonucu ağırlık değerinin iterasyon adımları ile değişimi.

Tablo 18. 582 Elemanlı Uzay Kafes Kule Örneği için Oluşturulan Sanal Alanlar

b cm (Genişlik)	h cm (Yükseklik)	A cm ² (Alan)	r _x cm (Atalet Yarıçapı)	b cm (Genişlik)	h cm (Yükseklik)	A cm ² (Alan)	r _x cm (Atalet Yarıçapı)
1.4	23	32.2	6.64	1.4	75	105	21.65
1.6	23.5	37.6	6.78	1.6	77	123.2	22.23
1.8	24	43.2	6.93	1.8	79	142.2	22.81
2	24.5	49	7.07	2	81	162	23.38
2.2	25	55	7.22	2.2	83	182.6	23.96
2.4	25.5	61.2	7.36	2.4	85	204	24.54
2.6	26	67.6	7.51	2.6	87	226.2	25.11
2.8	26.5	74.2	7.65	2.8	89	249.2	25.69
1.4	30	42	8.66	1.4	82	114.8	23.67
1.4	31	43.4	8.95	1.6	84	134.4	24.25
1.2	32	38.4	9.24	1.8	86	154.8	24.83

1.5	33	49.5	9.53	2	88	176	25.4
1.8	34	61.2	9.81	2.2	90	198	25.98
1.2	35	42	10.1	2.4	92	220.8	26.56
1.4	36	50.4	10.39	2.6	94	244.4	27.14
1.2	37	44.4	10.68	2.8	96	268.8	27.71
1.4	27	37.8	7.79	1.4	100	140	28.87
1.6	29	46.4	8.37	1.6	102	163.2	29.44
1.8	31	55.8	8.95	1.8	104	187.2	30.02
2	33	66	9.53	2	106	212	30.6
2.2	35	77	10.1	2.2	108	237.6	31.18
2.4	37	88.8	10.68	2.4	110	264	31.75
2.6	39	101.4	11.26	2.6	112	291.2	32.33
2.8	41	114.8	11.84	2.8	114	319.2	32.91
1.4	52	72.8	15.01	1.4	118	165.2	34.06
1.6	54	86.4	15.59	1.6	120	192	34.64
1.8	56	100.8	16.17	1.8	122	219.6	35.22
2	58	116	16.74	2	124	248	35.8
2.2	60	132	17.32	2.2	126	277.2	36.37
2.4	62	148.8	17.9	2.4	128	307.2	36.95
2.6	64	166.4	18.48	2.6	130	338	37.53
2.8	66	184.8	19.05	2.8	132	369.6	38.11
1.4	58	81.2	16.74	1.4	134	187.6	38.68
1.6	59	94.4	17.03	1.6	136	217.6	39.26
1.8	60	108	17.32	1.8	138	248.4	39.84
2	61	122	17.61	2	140	280	40.41
2.2	62	136.4	17.9	2.2	142	312.4	40.99
2.4	63	151.2	18.19	2.4	144	345.6	41.57
2.6	64	166.4	18.48	2.6	146	379.6	42.15
2.8	65	182	18.76	2.8	148	414.4	42.72
1.4	62	86.8	17.9	1.4	120	168	34.64
1.6	63	100.8	18.19	1.6	115	184	33.2

1.8	64	115.2	18.48	1.8	110	198	31.75
2	65	130	18.76	2	105	210	30.31
2.2	66	145.2	19.05	2.2	100	220	28.87
2.4	67	160.8	19.34	2.4	95	228	27.42
2.6	68	176.8	19.63	2.6	90	234	25.98
2.8	69	193.2	19.92	2.8	85	238	24.54
1.4	69	96.6	19.92	1.2	80	96	23.09
1.6	70	112	20.21	1.4	75	105	21.65
1.8	71	127.8	20.5	1.6	70	112	20.21
2	72	144	20.78	1.8	65	117	18.76
2.2	73	160.6	21.07	2	60	120	17.32
2.4	74	177.6	21.36	2.2	55	121	15.88
2.6	75	195	21.65	2.4	50	120	14.43
2.8	76	212.8	21.94	2.6	45	117	12.99

Tablo 19. 582 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyonu Sonucu Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri

Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi (%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi (%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi (%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi (%)
17	4.78	0.03	159	20.84	0.14	304	10.96	0.07	450	7.78	0.05
18	17.22	0.11	164	5.5	0.04	307	8.8	0.06	451	1.05	0.01
19	13.01	0.09	165	11.67	0.08	312	26.28	0.17	452	3.76	0.02
23	9.8	0.06	166	16.01	0.11	314	5.09	0.03	453	5.77	0.04
25	26.24	0.17	167	17.16	0.11	315	12.78	0.08	454	5.08	0.03
28	22.82	0.15	168	14.29	0.09	319	5.22	0.03	455	2.29	0.02
30	18.32	0.12	169	8.76	0.06	320	7.05	0.05	456	0.27	0.002
34	23.34	0.15	170	2.33	0.02	325	11.19	0.07	464	8.74	0.06
36	15.74	0.1	178	11.7	0.08	330	11.13	0.07	467	8.15	0.05
37	7.54	0.05	179	5.21	0.03	332	29.84	0.2	469	1.82	0.01
39	25.04	0.16	183	7.4	0.05	333	47.28	0.31	471	5.06	0.03
44	5.72	0.04	185	18.28	0.12	334	39.33	0.26	472	0.24	0.002
45	13.48	0.09	188	15.69	0.1	335	6.93	0.05	474	6.32	0.04
46	19.01	0.13	190	13.31	0.09	338	4.02	0.03	475	1.06	0.01
47	20.37	0.13	194	16.46	0.11	339	12.23	0.08	476	3.05	0.02
48	17.01	0.11	196	9.92	0.07	344	9.37	0.06	477	4.53	0.03
49	9.72	0.06	197	3.89	0.03	347	11.77	0.08	478	4.03	0.03
50	1.74	0.01	199	17.25	0.11	349	1.63	0.01	479	1.96	0.01

57	2.83	0.02	203	0.17	0	351	8.75	0.06	480	0.48	0.003
58	14.38	0.09	204	7.27	0.05	352	4.44	0.03	488	7	0.05
59	10.22	0.07	205	14.38	0.09	354	6.58	0.04	491	6.62	0.04
63	14.14	0.09	206	19.93	0.13	355	0.89	0.01	493	1.21	0.01
65	24.68	0.16	207	21.01	0.14	356	1.3	0.01	495	4.25	0.03
68	20.62	0.14	208	17.81	0.12	357	3.56	0.02	496	0.43	0.003
70	20.97	0.14	209	10.62	0.07	358	3.21	0.02	498	4.91	0.03
71	4.62	0.03	210	3.4	0.02	359	2.4	0.02	499	0.92	0.01
74	24.42	0.16	219	2.47	0.02	360	0.15	0.001	500	2.32	0.02
76	13.16	0.09	223	8.84	0.06	362	1.04	0.01	501	3.36	0.02
77	5.19	0.03	225	16.6	0.11	363	7.38	0.05	502	3.01	0.02
79	24.69	0.16	228	14.17	0.09	368	17.92	0.12	503	1.55	0.01
84	4.51	0.03	230	14.12	0.09	371	14.87	0.1	504	0.51	0.003
85	10.23	0.07	231	1.48	0.01	373	6.09	0.04	512	5.92	0.04
86	14.3	0.09	234	16.72	0.11	375	7.78	0.05	515	5.69	0.04
87	15.31	0.1	236	8.61	0.06	378	14.26	0.09	517	0.82	0.01
88	12.79	0.08	237	2.93	0.02	379	0.14	0	519	3.81	0.03
89	7.47	0.05	239	16.03	0.11	380	6.12	0.04	520	0.67	0.004
90	1.58	0.01	243	0.69	0	381	10.22	0.07	522	4.02	0.03
97	1.09	0.01	244	6.52	0.04	382	8.71	0.06	523	0.6	0.004
98	11.97	0.08	245	14.94	0.1	383	2.65	0.02	524	1.53	0.01
99	7.78	0.05	246	18.95	0.12	387	4.15	0.03	525	2.22	0.01
103	12.19	0.08	247	21.48	0.14	392	16.02	0.11	526	1.98	0.01
105	22.54	0.15	248	16.63	0.11	395	14.82	0.1	527	1.02	0.01
108	18.95	0.12	249	12.6	0.08	397	4.49	0.03	528	0.32	0.002
110	18.65	0.12	250	2.98	0.02	399	9.02	0.06	536	4.1	0.03
111	3.18	0.02	258	12.57	0.08	400	0.32	0.002	539	4	0.03
114	21.94	0.14	259	0.8	0.01	402	12.17	0.08	541	0.41	0.003
116	12.06	0.08	264	5.32	0.04	403	0.7	0	543	2.82	0.02
117	4.77	0.03	266	14.41	0.09	404	4.85	0.03	544	0.74	0.01
119	22.28	0.15	269	11.75	0.08	405	7.98	0.05	546	2.68	0.02
124	4.6	0.03	271	8.56	0.06	406	6.9	0.05	547	0.67	0.004
125	10.21	0.07	275	9.81	0.06	407	2.63	0.02	548	1.35	0.01
126	14.24	0.09	277	6.6	0.04	411	1.56	0.01	549	1.85	0.01
127	15.22	0.1	278	2.36	0.02	416	12.24	0.08	550	1.68	0.01
128	12.72	0.08	280	13.31	0.09	419	11.01	0.07	551	0.98	0.01
129	7.49	0.05	281	39.12	0.26	421	3.3	0.02	552	0.48	0.002
130	1.71	0.01	282	16.04	0.11	423	6.32	0.04	560	1.42	0.01
138	9.45	0.06	283	11.44	0.08	426	9.29	0.06	563	1.39	0.01
139	5.33	0.04	286	1.77	0.01	427	0.96	0.01	567	0.92	0.01
143	12.79	0.08	287	20.12	0.13	428	4.64	0.03	568	0.01	0.0001
145	20.83	0.14	288	28.05	0.18	429	7.36	0.05	570	0.65	0.004

148	17.28	0.11	289	43.45	0.29	430	6.42	0.04	571	1.78	0.01
150	18.41	0.12	290	40.52	0.27	431	2.63	0.02	572	2.87	0.02
151	4.57	0.03	297	13.93	0.09	440	10.52	0.07	573	3.1	0.02
154	21.04	0.14	300	12.21	0.08	443	9.68	0.06	574	2.34	0.02
156	10.64	0.07	301	4.24	0.03	445	2.5	0.02	575	1.35	0.01
157	3.84	0.03	302	5.12	0.03	447	5.85	0.04	576	1.02	0.01

Tablo 20. 582 Elemanlı Uzay Kafes Kulenin Ateş Böceği Algoritması ile Optimizasyonu Sonucu Çekme Çubuklarında Oluşan Gerilmeler ve Gerilme Kapasiteleri

Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi (%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi (%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi (%)	Çekme Çubuğu No	Gerilme Değeri (MPa)	Gerilme Kapasitesi (%)
17	3.44	0.02	157	3.82	0.03	301	7.29	0.05	445	2.24	0.01
18	13.02	0.09	159	20.98	0.14	302	8.84	0.06	447	5.34	0.04
19	9.92	0.07	164	5.73	0.04	304	18.81	0.12	448	0.05	0
23	11.54	0.08	165	12.1	0.08	307	4.38	0.03	450	7.03	0.05
25	24.25	0.16	166	16.55	0.11	312	12.58	0.08	451	1.16	0.01
28	20.78	0.14	167	17.73	0.12	314	5.95	0.04	452	4.06	0.03
30	18.79	0.12	168	14.73	0.1	315	14.69	0.1	453	6.22	0.04
31	1.92	0.01	169	9.11	0.06	319	1.62	0.01	454	5.48	0.04
34	22.72	0.15	170	2.51	0.02	320	14.19	0.09	455	2.48	0.02
36	13.95	0.09	178	11.59	0.08	323	0.09	0.001	456	0.32	0.001
37	6.21	0.04	179	5.27	0.03	325	11.51	0.08	464	9.62	0.06
39	23.83	0.16	183	3.61	0.02	330	15.66	0.1	467	9.02	0.06
44	4.68	0.03	185	13.41	0.09	332	7.67	0.05	469	2.01	0.01
45	11.28	0.07	188	11.82	0.08	333	12.72	0.08	471	5.67	0.04
46	15.98	0.11	190	8.41	0.06	334	10.63	0.07	472	0.41	0.003
47	17.11	0.11	194	11.08	0.07	335	2.26	0.01	474	6.94	0.05
48	14.2	0.09	196	7.7	0.05	338	3.66	0.02	475	0.77	0.01
49	8.07	0.05	197	3.17	0.02	339	11.44	0.08	476	2.56	0.02
50	1.36	0.01	199	12.27	0.08	344	14.44	0.1	477	3.89	0.03
57	1.99	0.01	203	0.39	0.003	347	12.12	0.08	478	3.43	0.02
58	10.88	0.07	204	7.08	0.05	349	5.57	0.04	479	1.59	0.01
59	7.81	0.05	205	13.62	0.09	351	5.08	0.03	480	0.26	0.001
63	15.4	0.1	206	18.85	0.12	354	12.13	0.08	488	8.08	0.05
65	22.87	0.15	207	19.79	0.13	355	0.02	0.0001	491	7.79	0.05
68	18.81	0.12	208	16.82	0.11	356	2.87	0.02	493	1.6	0.01
70	21.16	0.14	209	10.07	0.07	357	5.09	0.03	495	5.3	0.03
71	6.94	0.05	210	3.49	0.02	358	4.34	0.03	496	1.17	0.01
74	23.68	0.16	218	8.76	0.06	359	1.4	0.01	498	5.71	0.04
76	11.66	0.08	219	2.46	0.02	362	1.21	0.01	499	2.01	0.01
77	4.13	0.03	223	2.72	0.02	363	8.03	0.05	500	4.14	0.03
79	23.51	0.15	225	11.57	0.08	368	17.21	0.11	501	5.73	0.04

84	4.23	0.03	228	10.58	0.07	371	14.76	0.1	502	5.2	0.03
85	9.66	0.06	230	7.56	0.05	373	5.8	0.04	503	2.97	0.02
86	13.54	0.09	234	10.31	0.07	375	7.53	0.05	504	1.37	0.01
87	14.47	0.1	236	6.87	0.05	378	13.77	0.09	512	2.69	0.02
88	12.04	0.08	237	2.62	0.02	379	0.36	0.002	515	2.04	0.01
89	7.03	0.05	239	10.36	0.07	380	6.8	0.04	519	0.17	0.001
90	1.48	0.01	243	0.37	0.002	381	11.55	0.08	522	1.67	0.01
97	0.91	0.01	244	2.8	0.02	382	9.88	0.07	523	2.25	0.01
98	11.61	0.08	245	8.36	0.06	383	3.3	0.02	524	3.91	0.03
99	7.64	0.05	246	9.73	0.06	387	4.47	0.03	525	5.17	0.03
103	12.06	0.08	247	11.97	0.08	392	15.78	0.1	526	4.76	0.03
105	22.47	0.15	248	8.4	0.06	395	14.47	0.1	527	3	0.02
108	18.98	0.13	249	7.85	0.05	397	4.44	0.03	528	1.74	0.01
110	18.53	0.12	250	1.04	0.01	399	8.78	0.06	536	1.88	0.01
111	2.97	0.02	258	11.86	0.08	400	0.19	0.001	539	1.61	0.01
114	21.74	0.14	259	0.97	0.01	399	8.78	0.06	543	0.53	0.004
116	12.15	0.08	264	14.34	0.09	402	11.99	0.08	546	0.98	0.01
117	4.77	0.03	266	17.1	0.11	403	0.78	0.01	547	1.28	0.01
119	22.26	0.15	269	12.16	0.08	404	5.42	0.04	548	2.05	0.01
124	4.11	0.03	271	14.92	0.1	405	8.87	0.06	549	2.63	0.02
125	9.19	0.06	272	8.03	0.05	406	7.67	0.05	550	2.44	0.02
126	12.85	0.08	275	13.33	0.09	407	2.91	0.02	551	1.63	0.01
127	13.72	0.09	277	5.77	0.04	411	1.58	0.01	552	1.05	0.01
128	11.42	0.08	278	1.4	0.01	416	11.09	0.07	560	1.27	0.01
129	6.71	0.04	280	17.99	0.12	419	10.02	0.07	563	1.28	0.01
130	1.53	0.01	281	69.01	0.45	421	2.96	0.02	567	0.88	0.01
138	9.17	0.06	282	28.29	0.19	423	5.81	0.04	568	0.09	0.001
139	5.24	0.03	283	20.18	0.13	426	8.4	0.06	570	0.58	0.004
143	12.98	0.09	286	3.12	0.02	427	1.09	0.01	571	1.9	0.01
145	20.85	0.14	287	35.5	0.23	428	5.06	0.03	572	3.04	0.02
148	17.36	0.11	288	49.54	0.33	429	8.01	0.05	573	3.29	0.02
150	18.58	0.12	289	76.71	0.51	430	6.99	0.05	574	2.49	0.02
151	4.74	0.03	290	71.53	0.47	431	2.9	0.02	575	1.44	0.01
154	21.06	0.14	297	23.99	0.16	440	9.52	0.06	576	1.1	0.01
156	10.73	0.07	300	20.98	0.14	443	8.79	0.06			

SEKİZİNCİ BÖLÜM

Sonuçlar

Bu çalışmada çelik kule yapıların minimum ağırlık tasarımı için farklı yıllarda geliştirilen iki optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu optimizasyon yöntemleri 1995 yılında Russell Eberhart ve James Kennedy tarafından geliştirilen parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve 2009 yılında Dr. Xin-She Yang tarafından geliştirilen ateş böceği algoritmasıdır. Bu iki algoritma 52 elemanlı düzlem kafes kule ve 25, 72, 582 elemanlı uzay kafes kule yapılarında test edilmiştir. Gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen sonuçlar literatür sonuçlarıyla oldukça benzerdir. Bu iki sezgisel yöntemin düzlem kafes sistemler ve uzay kafes sistemlerin boyutlandırılmasında etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Bu iki sezgisel algoritma birbiriyle karşılaştırıldığında ise bu dört tasarım örneğinde de ateş böceği algoritmasının parçacık sürü optimizasyonundan daha hafif sonuçlar verdiği görülmüştür.

Son olarak bu dört tasarım örneğinde çekme çubuklarında maksimum gerilme kapasitesine sahip olan elemanda farklı nedenlerden dolayı çentik oluştuğu düşünülmüştür. Bu elemanın sürekliliği çentik etkisiyle bozulduğundan gerilme değeri normal gerilme değerinden uzaklaşıp maksimum seviyelere çıkmaktadır. Bu durumda elemanda gerilme yığılması adı verilen bir durum ortaya çıkmaktadır ve gerilme yığılma katsayısı olan K ile eleman gerilmesi çarpılıp elemandaki maksimum gerilme hesaplanmıştır. Daha sonra optimizasyon işlemi yenilenmiş ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. 25 elemanlı uzay kafes kule örneğinde parçacık sürü optimizasyonuna ve ateş böceği algoritmasına ait sonuçlara bakıldığında gerilme yığılması dikkate alınan ağırlık değeri gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık % 1 daha ağır olduğu görülmüştür. 72 elemanlı uzay kafes kule örneğinde parçacık sürü optimizasyonuna ait sonuçlara bakıldığında gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değeri gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık % 1.2, ateş böceği algoritmasında ise gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değeri gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerine göre %1.8 daha ağır olduğu görülmüştür. 52 elemanlı düzlem kafes kule örneğinde parçacık sürü optimizasyonuna ait sonuçlara bakıldığında gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değeri gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık % 6.8, ateş böceği algoritmasında ise gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değeri gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık %9.3 daha ağır

olduğu görölmüştür. 582 elemanlı uzay kafes kule örneğinde parçacık sürü optimizasyonuna ait sonuçlara bakıldığında gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değeri gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerinden yaklaşık % 0.9, ateş böceği algoritmasında ise gerilme yığılması dikkate alınarak elde edilen ağırlık değeri gerilme yığılması dikkate alınmadan elde edilen ağırlık değerine göre %1.3 daha ağır olduğu görölmüştür.

Farklı bir çalışmada düzlem ve uzay kafes sistemlerin basınç çubuklarında meydana gelen gerilme yığılması durumu araştırılabilir.



Kaynakça

- Abed, G. R. (2020). *Güncel meta sezgisel optimizasyon algoritmaların çelik yapıların optimum boyutlandırılması problemindeki performanslarının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No:623788)
- Adil, B., & Cengiz, B. (2020). Optimal design of truss structures using weighted superposition attraction algorithm. *Engineering with Computers*, 36(3), 965–979. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00744-x>
- 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.
- Apostolopoulos, T., & Vlachos, A. (2011). Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem. *International Journal of Combinatorics*, 2011, 1–23. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2011/523806>
- Artar, M. (2016a). A comparative study on optimum design of multi-element truss structures. *Steel and Composite Structures*, 22(3), 521–535. Retrieved from <https://doi.org/10.12989/scs.2016.22.3.521>
- Artar, M. (2016b). Öğretme-Öğrenme Esaslı Optimizasyon Yöntemi ile Uzay Kafes Kule Yapı Sisteminin Optimum Boyutlandırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 471–480.
- Artar, M., & Daloglu, A. T. (2021). Teaching learning based optimum design of transmission tower structures. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-981-33-6773-9_1
- Artar, M., & Daloğlu, A. (2014). Çelik Sistemlerin Genetik Algoritma ile Dinamik Sınırlayıcı Optimizasyonu. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(1), 9–24.
- Artar, M., & Daloğlu, A. T. (2019). Optimum design of steel space truss towers under seismic effect using Jaya algorithm. *Structural Engineering and Mechanics*, 71(1), 1–12. Retrieved from <https://doi.org/10.12989/sem.2019.71.1.001>
- Carbas, S. (2015). Artificial Bee Colony Based Optimum Design Of Reticulated Domes To LRFD-AISC. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 2(4), 68–74. Retrieved from http://ijamce.iraj.in/paper_detail.php?paper_id=2848&name=Artificial_Bee_Colony_Based_Optimum_Design_Of_Reticulated_Domes_To_LRFD-AISC
- Carbas, S., Aydogdu, I., & Saka, M. P. (2013, Mayıs). *A Comparative Study of Three Metaheuristics for Optimum Design of Engineering Structures*. 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, Orlando Florida, USA.
- Carbas, S., & Artar, M. (2022). Comparative seismic design optimization of spatial steel dome structures through three recent metaheuristic algorithms, 16(1), 57–74. doi:<https://doi.org/10.1007/s11709-021-0784-y>
- Chandrupatla, T. R., & Belegundu, A.D., (2017). *Mühendislikte sonlu elemanlara giriş*, (Prof.Dr. Sami Karadeniz, çev. ed.). İstanbul: Avcılar. (Çalışmanın orijinali 1992’te yayımlanmıştır.)
- Cuburi, R. E., (1984) . Düzlem kafes sistemlerin sonlu elemanlar metodu ile çözümü(yüksek lisans tezi). <https://easiv.anadolu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11421/5340/12261.pdf?sequence=1&isAllowed=1> adresinden edinilmiştir.

- Çolak, Ö.Ü. (1995). Gerilme yığılması faktöründen çentik faktörüne geçiş önerilerinin mukayeseli olarak incelenmesi. (yüksek lisans tezi), <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/1/9627/0008821.pdf?sequence=1>
- Daloğlu, A. T., Toğan, V., (2006). Genetik Algoritma ile Üç Boyutlu Kafes Sistemlerin Şekil. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 17(82), 3809–3825. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/136690>
- Daloğlu, A., Aydın, Z. (1999). Kafe Sistemlerin UygulamayaYönelik Optimum Tasarımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 951-957–957.
- Değertekin, S. O., Ülker, M., & Hayalioğlu, M. S. (2006). Uzay çelik çerçevelerin tabu arama ve genetik algoritma yöntemleriyle optimum tasarımı. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 17(3), 3917–3934.
- Değertekin, S. Ö., & Bayar, G. Y. (2020). Kafes yapıların JAYA algoritmasıyla doğal frekans sınırlayıcıları altında optimum tasarımı JAYA algorithm for optimum design of truss structures under natural frequency constraints, 11(3), 1385–1396. Retrieved from <https://doi.org/10.24012/dumf.722958>
- Değertekin, S. Ö., & Hayalioğlu, M. S. (2015, Aralık). *Kafes yapıların öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemiyle boyutlandırılması*. 6. Çelik Yapılar Sempozyumu'nda sunulmuş sözlü bildiri, Eskişehir Osmangazi üniversitesi, Eskişehir
- Değertekin, S. Ö., Lamberti, L., & Ülker, M. (2015). Uzay Kafes Yapıların Ateşböceği Algoritması Yöntemi Optimizasyonu. XIX. *Ulusal Mekanik Kongresi*, 390–397
- Doğan, E., & Saka, M. P. (2009). Çelik Çerçevelerin LRFD-AISC Şartnamesine Göre Parçacık Küme Optimizasyonu Yöntemi Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması. XVI. *Ulusal Mekanik Kongresi*.
- Durukan, D. (2013). *Doğrusal ve doğrusal olmayan kafes sistemlerin genetik algoritma ile optimum tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.(Tez No. 324612)
- Eberhart , R.C., & Kennedy, J., (1995). A new optimizer using particle swarm theory at he micromechanics and human sciences symposium. Japonya: Nagoya, Piscataway, NJ
- Erbatur, F., Hasaıcebi, O., Tütüncü, İ., & Kılıç, H. (2000). Optimal design of planar and space structures with genetic algorithms. *Computers and Structures*, 75(2), 209–224. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(99\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(99)00084-X)
- Gellatly R, Berke L (1971) Optimal structural design. Technical Report AFFDL-TR-70-165. Air Force Flight Dynamics Laboratory (AFFDL)
- Hasaıcebi, O, Çarbaş, S., & Saka, M. P. (2010). Improving the performance of simulated annealing in structural optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41(2), 189–203. <https://doi.org/10.1007/s00158-009-0418-9>
- Hasaıcebi, O., & Carbas, S. (2014). Bat inspired algorithm for discrete size optimization of steel frames. *Advances in Engineering Software*, 67, 173–185. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.10.003>
- Hasaıcebi, O., Çarbaş, 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*, 87(5–6), 284–302. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2009.01.002>
- Hasaıcebi, O., Çarbaş, 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2010.06.006>
- Karabörk, T., Sönmez, M., Aydın, E., Çelik, T., & Bölükbaş, Y. (2018). Çelik yapılarda kullanılan diyagonal çelik çaprazların yapay arı koloni algoritması ile optimizasyonu. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(1), 51–64. Retrieved from <https://doi.org/10.17482/uumfd.414427>
- Kaveh, A., Gholipour, Y., & Rahami, H. (2008). Optimal design of transmission towers using genetic algorithm and neural networks. *International Journal of Space Structures*, 23(1), 1–19. Retrieved from <https://doi.org/10.1260/026635108785342073>
- 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)
- Kaymak, B (2019). En Hafif Kafes Yapı Tasarımı için Bakteri Yiyecek Arama Optimizasyon Algoritmasının Parametre. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,23(2), 300-314. <https://orcid.org/0000-0002-1318-0456>
- Le, D. T., Bui, D. K., Ngo, T. D., Nguyen, Q. H., & Nguyen-Xuan, H. (2019). A novel hybrid method combining electromagnetism-like mechanism and firefly algorithms for constrained design optimization of discrete truss structures. *Computers and Structures*, 212, 20–42. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2018.10.017>
- Li, L. J., Huang, Z. B., Liu, F., & Wu, Q. H. (2007). A heuristic particle swarm optimizer for optimization of pin connected structures. *Computers and Structures*, 85(7–8), 340–349. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2006.11.020>
- Li, Y., & Lian, S. (2018). Improved Fruit Fly Optimization Algorithm Incorporating Tabu Search for Optimizing the Selection of Elements in Trusses. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(12), 4940–4954. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12205-017-2000-0>
- Li, Y., Wang, S., & Han, M. (2019). Truss structure optimization based on Improved chicken swarm optimization algorithm. *Hindawi*, 2019. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2019/6902428>
- Omurtag, M. H. (2014). *Mukavemet*. (5.baskı). İstanbul: Eminönü
- Ouedraogo, P. J. D. (2018). *Artificial bee colony(abc),harmony search (hs) and particle swarm optimization (pso)based discrete and continuous optimum desing of steel trusses* (master of science).Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No:492411)
- Özsağlam, M. Y., & Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçaçık Sürü Optimizasyonu Algoritması. *Journal of Polytechnic*, 11(4), 299–305.
- Perez, R. E., & Behdinan, K. (2007). Particle swarm approach for structural design optimization, 85, 1579–1588. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2006.10.013>
- Pierezan, J., dos Santos Coelho, L., Cocco Mariani, V., Hochsteiner de Vasconcelos Segundo, E., & Prayogo, D. (2021). Chaotic coyote algorithm applied to truss optimization problems. *Computers and Structures*, 242, 106353. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2020.106353>
- Rajeev, S., & Krishnamoorthy, C. S. (1992). Discrete optimization of structures using genetic algorithms By. S. Rajeev 1 and C. S. Krishnamoorthy 2. *October*, 118(5), 1233–1250.

- Saka, M. P., Carbas, S., Aydogdu, I., & Akin, A. (2015). Use of Swarm Intelligence in Structural Steel Design Optimization. *Modeling and Optimization in Science and Technologies*, 7(December), 43–73. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-26245-1_3
- Sevim, Ö. (2013). *Yapay arı koloni algoritması kullanılarak 3 boyutlu çelik yapıların optimum tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No:346638)
- 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.
- Talatahari, S., Gandomi, A. H., & Yun, G. J. (2014). Optimum design of tower structures using Fire fly Algorithm, 361(September 2012), 350–361. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/tal>
- Tort, C., Şahin, S., & Hasançebi, O. (2017). Optimum design of steel lattice transmission line towers using simulated annealing and PLS-TOWER, 179, 75–94. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2016.10.017>
- (URL-1) <https://www.haberturk.com/htgastro/arkeoloji/dunyanin-en-eski-11-yapisi3071803/4>
- (URL-2) <https://volkanatabey.com.tr/kule-tipindeki-yapi-cesitleri/>
- (URL-3) https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrik_iletim_kulesi
- (URL-4) https://tr.wikipedia.org/wiki/Eyfel_Kulesi#:~:text=G%C3%BCn%C3%BCm%C3%BCzde%20yayg%C4%B1n%20olarak%20kullan%C4%B1lan%20%C3%A7elik,60%20ton%20boya%20ile%20boyan%C4%B1r.
- (URL-5) <https://www.eliteworldhotels.com.tr/blog/dunyacaunlupisakulesihakkindailgincbilgile54.aspx>
- (URL-6) https://tr.wikipedia.org/wiki/Pisa_Kulesi
- (URL-7) <https://www.milliyet.com.tr/gundem/sehirlerin-simgesi-kuleler-6014899>
- (URL-8) <https://www.bilgiustam.com/galatakulesi/#:~:text=Mimari%20%C3%B6zellikleri%20ise%20%3B%20uzunlu%C4%9Fu%2069.90,ise%20%3B%20i%C5%9Flenmemi%C5%9Fta%C5%9Flar%20ve%20molozlard%C4%B1r.>
- (URL-9) <https://bicisim.com/blog/kafes-yapilarin-mekanik-avantajlarivetasarimparametreleri>
- (URL-10) <https://tr.pinterest.com/pin/399624166905682221/>
- (URL-11) https://tr.wikipedia.org/wiki/Galata_Kulesi
- (URL-12) <https://www.emlak365.com/dunya-mirasi-eyfel-kulesinin-cok-ilginc-insahikayesi-eyfel-kulesi-ne-zaman-neden-ve-nasil-insa-edildi>
- (URL-13) https://stringfixer.com/tr/Electricity_pylon
- (URL-14) <https://www.meinberlin-erleben.de/langerlulatsch.html>
- (URL-15) <http://turkish.anglesteeltower.com/sale-13563408-20m-galvanizedfireobservation-military-guard-tower.>
- (URL-16) <https://figmentums.com/2016/09/12/swarm-stupidity-in-humans/>
- (URL-17) <https://www.aydinlatma.org/ates-boceklerinin-nano-yapisioldverimliligineilham kaynagi-oldu.html>

- (URL-18) <https://www.baristuncer.net/biliyor-musun/ates-boceklerivebilinmeyenyonleri.html>
- (URL-19) <https://pi404.com/sonlu-elemanlar-metodu-nedir-kullanim-alanlari/>
- (URL-20) <https://docplayer.biz.tr/9411925-Makine-elemanlari-i-ders-notlari.html>
- Venkayya, V. B. (1971). Design of optimum structures. *Computers and Structures*, 1(1–2), 265–309. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(71\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0045-7949(71)90013-7)
- Wu, S., & Chow, P. (1995). Steady-state genetic algorithms for discrete optimization of trusses. *Pergamon*, 56(6). Retrieved from [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0045-7949\(94\)00551-D](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0045-7949(94)00551-D)
- Xicheng, W., & Guixu, M. (1992). A parallel iterative algorithm for structural optimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 96(1), 25–32. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(92\)90096-3](https://doi.org/10.1016/0045-7825(92)90096-3)
- Yang, X. S. (2009). Firefly algorithms for multimodal optimization. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5792 LNCS, 169–178. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-642-04944-6_14
- Yayla, P. (2010). *Cisimlerin mukavemeti*. (3.baskı). İstanbul: Çağlayan
- Yetkin, M.(2015). *Düzlem çelik çerçevelerin sosyal örümcek optimizasyonuna göre boyutlandırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.(Tez No. 395571)
- Zhang, Y., Hou, Y., & Liu, S. (2014). A new method of discrete optimization for cross-section selection of truss structures. *Engineering Optimization*, 46(8), 1052–1073. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/0305215X.2013.827671>
- Zhu, D. M., (1986). An improved templeman's algorithm for the optimum design of trusses with discrete member sizes. *Engineering Optimization* 9 (4): 303–312.

Öz Geçmiş

Elif YILMAZ yılında’ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini’ta tamamladı. yılında Bayburt üniversitesi mühendislik fakültesi inşaat mühendisliği bölümünde yükseköğrenimini tamamladı ve yılında mezun oldu. Aynı yıl içerisinde bir mühendislik firmasında işe başladı. yılında Bayburt üniversitesi lisansüstü eğitim enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisansına başladı. yılında şahıs firması Aziz Proje Mühendisliği kurdu. Halen firmada çalışmaya devam etmektedir.

