



**KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ KAFES ÇATI  
SİSTEMLERİN KARINCA KOLONİSİ VE KELEBEK  
OPTİMİZASYON ALGORİTMA YÖNTEMLERİ İLE  
MİNİMUM AĞIRLIK BOYUTLANDIRILMASI**

**Afranur Yaren AYDOĞDU**

**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

**KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ KAFES ÇATI SİSTEMLERİN KARINCA KOLONİSİ VE  
KELEBEK OPTİMİZASYON ALGORİTMA YÖNTEMLERİ İLE MİNİMUM AĞIRLIK  
BOYUTLANDIRMASI**

(Minimum Weight Design of Truss Roof Systems Under Corrosion Effect by Ant Colony and  
Butterfly Optimization Algorithm Methods)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Afranur Yaren AYDOĞDU

Danışman: Doç. Dr. Musa ARTAR

Bayburt  
Ağustos, 2022

## KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Doç. Dr. Musa ARTAR danışmanlığında, 192202006 numaralı Afranur Yaren AYDOĞDU tarafından hazırlanan “Korozyon Etkisi Altındaki Farklı Çatı Sistemlerin Karınca Kolonisi ve Kelebek Optimizasyon Algoritma Yöntemleri ile Minimum Ağırlık Boyutlandırılması” 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 “Korozyon Etkisi Altındaki Kafes Çatı Sistemlerin Karınca Kolonisi ve Kelebek Optimizasyon Algoritma Yöntemleri ile Minimum Ağırlık Boyutlandırması” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

.../.../...

Afranur Yaren AYDOĞDU

## TEŞEKKÜR

Akademik lisansüstü eğitim sürecinde yaşadığım tüm zorluklarda, bilgisi, tecrübesi, sabrı ve samimiyeti ile bana yol gösteren, çalışma konumu bana önererek yöneticiliğimi üstlenen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Öğretim Üyesi Musa ARTAR' a ve her zaman yanımda olan kıymetli arkadaşlarım Elif YILMAZ ve Meryem KELEŐ' e yürekten teşekkür ediyorum.

İlkokul sürecinden lisansüstü eğitimime kadar her daim yanımda olan ödev ve sorumluluklarımı bana öğreten, iyi bir insan olmak için beni bugüne yetiştiren hayatta ki en büyük şansım olan değerli annem Netice AYDOĞDU' ya, sevgisi, sabrı, merhameti ve çalışkanlığıyla bu hayatta attığım adımlarda onu örnek aldığım, bu çalışmaya başlarken beni destekleyen fakat ebedi hayata göç eden rahmetli babam Sinan AYDOĞDU' ya ve bu çalışmamda yardımlarını esirgemeyen abim Ozan AYDOĞDU ve kardeşim Mustafa Emir AYDOĞDU' ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Afranur Yaren AYDOĞDU

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ KAFES ÇATI SİSTEMLERİN KARINCA KOLONİSİ VE KELEBEK OPTİMİZASYON ALGORİTMA YÖNTEMLERİ İLE MİNİMUM AĞIRLIK BOYUTLANDIRILMASI

Afranur Yaren AYDOĞDU

Ağustos 2022, 76 Sayfa

Optimum tasarım, elde edilen kaynakların en verimli halde kullanılmasını ve hedefe yönelik çalışmalara en sağlam şekilde ulaşmayı sağlayan işlemler toplamıdır. Yapıların optimum tasarımı ile yeterli dayanıma sahip yapılar arasından ağırlığı minimum olanının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Öte yandan, hedeflenen amaç doğrultusunda tasarlanan yapısal sisteme etki eden yükler altındaki davranışının da kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir. Böylece, tasarım sınırlayıcılarını sağlayan ve ağırlığı minimum olan yapının elde edilmesi, optimum tasarım problemini oluşturmaktadır. Optimum tasarımda yapı sistemlerinin çözüm yöntemlerinden biri olan yapay zekaya dayalı optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında uzay kafes çatı sistemlerde kullanılan çelik yapı elemanları üzerindeki korozyon etkisi incelenecektir. Düzlem kafes ve uzay kafes çatı sistemlerin korozyon etkisi dahil ve hariç olarak, belirlenen algoritma yöntemleri ile minimum ağırlık tasarımı gerçekleştirilecektir. Sürü zekasına dayanan en eski algoritma yöntemlerinden olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) ve son yıllarda geliştirilen yeni algoritma yöntemlerinden biri olan Kelebek Optimizasyon Algoritması (BOA) kullanılmıştır. Minimum ağırlık boyutlandırmasını kısa bir sürede gerçekleştirebilmek amacıyla gerekli hesaplamaları yapmak için MATLAB programlama dili kullanılmıştır. Öncelikle düzlem sistemler ve uzay kafes sistemlerin Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile analizi gerçekleştirilen iki ayrı analiz programı yazılmıştır. Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü-İzin Verilen Dayanım Tasarımı (AISC-ASD) (1989) standardında belirtilen gerilme, narinlik, deplasman koşulları programa dahil edilmiştir. Öne sürülen ACO ve BOA algoritmaları düzlem ve uzay kafes sistem tasarım örneklerinde MATLAB programlama dilinde kodlanarak oluşturulan analiz programına dahil edilmiştir. Son olarak korozyon etkisi dikkate alındığında minimum yapı ağırlığındaki değişimler tespit edilerek sunulmuştur. Elde edilen analiz sonuçları kendi aralarında ve literatürdeki mevcut sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarında önerilen ACO ve BOA yöntemlerinin düzlem ve uzay kafes sistemlerin çözümünde diğer algoritma yöntemlerinin sonuçlarına oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Böylelikle bu çalışmada kullanılan metodolojinin kabul edilebilirliği ispatlanarak korozyon etkisinin yapının minimum ağırlığının nasıl etkilediği araştırılmıştır. Korozyon etkisi altındaki farklı kafes çatı problemleri incelendiğinde yapının geometrisi, eleman sayısı, yükleme tipi vb. etmenlere bağlı olarak yapının bir miktar ağırlaştığı analiz sonuçlarında tespit edilmiş tablolarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Minimum ağırlık tasarımı, karınca kolonisi optimizasyonu, kelebek optimizasyon algoritması, kafes sistemler, MATLAB, korozyon.

## ABSTRACT

### MASTER THESIS

# MINIMUM WEIGHT DESIGN OF TRUSS ROOF SYSTEMS UNDER CORROSION EFFECT BY ANT COLONY AND BUTTERFLY OPTIMIZATION ALGORITHM METHODS

Afranur Yaren AYDOĞDU

August 2022, 76 Sayfa

Optimum design is the sum of the processes that ensure the most efficient use of the obtained resources and the most robust way to reach the target-oriented works. With the optimum design of the structures, it is aimed to obtain the minimum weight among the structures with sufficient strength. On the other hand, its behavior under loads affecting the structural system designed in line with the targeted purpose should also remain within acceptable limits. Thus, obtaining the structure that provides the design constraints and has a minimum weight constitutes the optimum design problem. Optimization techniques based on artificial intelligence, which is one of the solution methods of building systems, are used in optimum design. In this thesis, the effect of corrosion on steel structural elements used in space truss roof systems will be examined. The minimum weight design will be carried out with the determined algorithm methods, including and excluding the corrosion effect of the plane truss and space truss roof systems. Ant Colony Optimization (ACO), one of the oldest algorithm methods based on swarm intelligence, and Butterfly Optimization Algorithm (BOA), one of the new algorithm methods developed in recent years, were used. MATLAB programming language was used to make the necessary calculations in order to perform the minimum weight design in a short time. First of all, two separate analysis programs were written, in which plane and space truss systems were analyzed by Finite Element Method (FEM). The stress, slenderness and displacement conditions specified in the American Institute of Steel Construction-Allowable Strength Design (AISC-ASD) (1989) standard are included in the program. The proposed ACO and BOA algorithms were included in the analysis program created by coding in the MATLAB programming language in plane and space lattice system design examples. Finally, considering the corrosion effect, the changes in the minimum weight of the structure were determined and presented. The analysis results obtained were compared among themselves and with the existing results in the literature. In the analysis results, it was seen that the proposed ACO and BOA methods were very close to the results of other algorithm methods in the solution of plane and space truss systems. Thus, by proving the acceptability of the methodology used in this study, it was investigated how the corrosion effect affects the minimum weight of the structure. When different truss roof problems under the influence of corrosion are examined, the geometry of the structure, the number of elements, the type of loading, etc. It is presented in comparison with the tables determined in the results of the analysis, where the structure becomes a little heavier depending on the factors.

**Keywords:** Minimum weight design, ant colony optimization, butterfly optimization algorithm, truss systems, MATLAB, corrosion.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZ .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TABLOLAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x

### BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş .....	1
Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	2
Literatür Çalışmaları .....	3

### İKİNCİ BÖLÜM

<b>Kafes Sistemler .....</b>	<b>11</b>
Düzlem Kafes Sistemler .....	11
Uzay Kafes Sistemler.....	14
Kubbe çatı sistemler.....	15
Piramit kafes sistemler.....	16
Tonoz kafes sistemler.....	17

### ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

<b>Düzlem ve Uzay Kafes Sistemlerin Minimum Ağırlık Tasarımı.....</b>	<b>18</b>
Amaç Fonksiyonu .....	18
Tasarım Değişkenleri ve Parametreler.....	19
Sınırlayıcılar.....	19
Narinlik sınırlayıcısı.....	19
Gerilme sınırlayıcısı.....	20
Deplasman sınırlayıcısı.....	20
Ceza Fonksiyonu.....	21

### DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

<b>Sonlu Elemanlar Metodu (SEM).....</b>	<b>22</b>
Düzlem Kafes Sistemlerin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi .....	23

Elemanın Rijitlik Matrisi.....	26
Uzay Kafes Sistemlerin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi.....	27
Üç boyutlu bir kafes elemanı için yerel ve global koordinat sistemleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. ....	27

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

<b>Yapıların Minimum Ağırlık Tasarımında Kullanılan Yöntemler .....</b>	<b>29</b>
Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO).....	29
Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması Akış Şeması.....	33
Kelebek Optimizasyon Algoritması (BOA).....	33
Kelebek Kolonisi Algoritması Akış Şeması. ....	35

## **ALTINCI BÖLÜM**

<b>Korozyon Etkisi .....</b>	<b>36</b>
Çelik Elemanlar Üzerinde Oluşan Korozyon Etkisi .....	36

## **YEDİNCİ BÖLÜM UYGULAMALAR**

Uygulama 1. On Elemanlı Düzlem Kafes Sistem.....	41
Uygulama 2. On Yedi Elemanlı Düzlem Kafes.....	44
Uygulama 3. Yüz Yirmi Elemanlı Uzay Kafes Kubbe Sistem.....	47
Uygulama 4. Yüz Altmış Elemanlı Uzay Kafes Piramit Sistem .....	54
Uygulama 5. Altı Yüz Altmış Üç Elemanlı Uzay Kafes Tonoz Sistem .....	61

## **SEKİZİNCİ BÖLÜM**

<b>Sonuç ve Öneriler .....</b>	<b>70</b>
<b>Kaynakça.....</b>	<b>72</b>
<b>Öz Geçmiş.....</b>	<b>76</b>

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. <i>Endüstriyel Atmosferde 16 Yıl Bırakılan Yumuşak Çeliğin Korozyon Hızının Zamanla Değişimi (Yalçın ve Koç 1997, s.36)</i> .....	38
Tablo 2. <i>On Elemanlı Çelik Kafes Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları</i> .....	42
Tablo 3. <i>On Yedi Elemanlı Çelik Kafes Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları</i> .....	45
Tablo 4. <i>Optimum Tasarımda Kullanılacak 30 Boru Kesit Bilgisi</i> .....	50
Tablo 5. <i>30 Boru Kesitin Korozyon Etkisi Sonucu Değişen Kesit Bilgisi</i> .....	51
Tablo 6. <i>120 Elemanlı Uzay Kafes Kubbe Sistemin Optimum Sonuçları</i> .....	52
Tablo 7. <i>Optimum Tasarımda Kullanılacak 37 Boru Kesit Bilgisi</i> .....	58
Tablo 8. <i>37 Boru Kesitin Korozyon Etkisi Sonucu Değişen Kesit Bilgisi</i> .....	59
Tablo 9. <i>160 Elemanlı Çelik Uzay Kafes Piramit Sistemin Optimum Sonuçları</i> .....	60
Tablo 10. <i>693 Elemanlı Uzay Kafes Tonoz Modelin Gruplandırılması</i> .....	65
Tablo 11. <i>Optimum Tasarımda Kullanılacak 37 Boru Kesit Bilgisi</i> .....	66
Tablo 12. <i>37 Boru Kesitin Korozyon Etkisi Sonucu Değişen Kesit Bilgisi</i> .....	67
Tablo 13. <i>693 Elemanlı Uzay Kafes Tonoz Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları</i> .....	68

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kafes sistem yapı elemanı. ....	12
Şekil 2. Basit kafes sistem. ....	13
Şekil 3. (a), (b), (c), (d) Düzlem kafes sistem uygulama alanları. ....	13
Şekil 4. Basit uzay kafes sistem. ....	14
Şekil 5. (a), (b) CSO Ada Ankara, Ankara. ....	15
Şekil 6. Nihat Zeybekci Kongre ve Kültür Merkezi, Denizli (URL-4). ....	16
Şekil 7. Biosphere, Kanada (URL-5). ....	16
Şekil 8. Sabancı Fuar ve Kongre Merkezi, Antalya (URL-6)., (URL-7). ....	17
Şekil 9. Sabiha Gökçen Havalimanı, İstanbul (URL-8)., (URL-9). ....	17
Şekil 10. (a), (b), (c), (d) Farklı alanlarda kullanılan sonlu elemanlar metodu (URL-10). ....	22
Şekil 11. Yerel ve global koordinat sistemleri üzerinde düzlem kafes sistem elemanı (Chandrupatla ve Belegundu, 1992/2017). ....	23
Şekil 12. Bir elemanın hem yerel hemde global koordinat sistemlerinde deformasyonu (Chandrupatla ve Belegundu, 1992/2017). ....	24
Şekil 13. Doğrultman kosinüsler (Chandrupatla ve Belegundu, 1992/2017). ....	25
Şekil 14. Yerel ve global koordinat sistemlerinde üç boyutlu bir kafes elemanı (Chandrupatla ve Belegundu, 1992/2017). ....	27
Şekil 15. Karıncalar (URL-11). ....	29
Şekil 16. Karıncaların yol tercih gösterimi. ....	30
Şekil 17. Karınca kolonisi optimizasyon algoritmasına ait akış şeması. ....	33
Şekil 18. Besin arayan bir kelebek. ....	34
Şekil 19. Kelebek optimizasyon algoritmasına ait akış şeması. ....	35
Şekil 20. Korozyona uğramış metal (URL-12). ....	36
Şekil 21. Endüstriyel atmosferde kullanılan üç farklı çeliğin ortalama kalınlık azalması (korozyon hızı-zaman grafiği) (URL-13). ....	37
Şekil 22. Endüstriyel atmosferde 16 yıl bırakılan yumuşak çeliğin korozyon hızının zamanla değişim grafiği. ....	38
Şekil 23. On elemanlı düzlem kafes sistemin geometrisi ve yükleme şekli. ....	41
Şekil 24. Karınca ve kelebek optimizasyon algoritmasının ağırlık döngü sayısı ilişkisinin karşılaştırılması. ....	43
Şekil 25. On yedi elemanlı düzlem kafes sistemin geometrisi ve yükleme şekli. ....	44
Şekil 26. Karınca ve kelebek optimizasyon algoritmasının ağırlık döngü sayısı ilişkisinin karşılaştırılması. ....	46

Şekil 27. 120 elemanlı uzay kafes kubbe sistemin 3D görüntüsü.....	47
Şekil 28. 120 elemanlı uzay kafes kubbe sistemin kesit görünüşü ve geometri bilgisi. ....	47
Şekil 29. 120 elemanlı uzay kafes kubbe sistemin düğüm noktaları. ....	48
Şekil 30. 120 elemanlı uzay kafes kubbe sistemin eleman gruplandırılmasının gösterimi. ....	49
Şekil 31. Boru kesit profil boyut bilgisi.....	49
Şekil 32. Korozyon etkisinin olduğu ve korozyon etkisinin olmadığı ağırlık döngü sayısı ilişkisini gösteren grafiklerin birleşimi.....	53
Şekil 33. Uzay kafes piramit 3 boyutlu görünüşü.....	54
Şekil 34. Uzay kafes piramit sistemin kesit görünüşü. ....	54
Şekil 35. Uzay kafes piramit sistemin plan görünüşü.....	55
Şekil 36. Uzay kafes piramit sistemin çubuk eleman gruplandırılmasının gösterimi.....	55
Şekil 37. a), b), c), d) z eksenı boyunca artan 3 boyut görünümü. ....	57
Şekil 38. Piramit sisteme uygulanan korozyon etkisinin olduğu ve korozyon etkisinin olmadığı ağırlık döngü sayısı ilişkisini gösteren grafiklerin birleşimi. ....	61
Şekil 39. Thirumailai Tren İstasyonu'nun çatısı, Chennai, Hindistan (URL-14).....	62
Şekil 40. 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelin 3D görünüşü.....	63
Şekil 41. 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelin plan görünüşü.....	63
Şekil 42. 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelin kesit görünüşü. ....	64
Şekil 43. 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelin gruplandırılması. ....	64
Şekil 44. Tonoz sisteme uygulanan korozyon etkisinin olduğu ve korozyon etkisinin olmadığı ağırlık döngü sayısı ilişkisini gösteren grafiklerin birleşimi. ....	69

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$\%$	: Yüzde
$(\Delta T_{ji})_k$	: Kolonideki k'inci karınca tarafından ji yoluna eklenen feromon miktarı
$f_{a,i}$	: Maksimum deplasman değeri
$g_{2,i}$	: i numaralı çubuk için gerilme sınırlayıcısı
$g_{3,i}$	: i numaralı nokta için deplasman sınırlayıcısı
$T_{ji}^{(0)}$	: Başlangıçta tüm değişkenlerde bulunan feromon miktarı
$T_{ji}$	: i'inci tasarım değişkeni için yolun feromon seviyesi
$e_r$	: Buharlaştırma hızı
$f_i$	: Kelebeğin hissedilen kokusu
$g^*$	: Kelebek optimizasyon algoritmasında genel en iyi değeri
$p_{ji}$	: i'inci tasarım değişkeni için j'inci yolun seçim olasılığı
$x_i^t$	: Kelebek optimizasyon algoritmasında mevcut konumu
$x_k^t$	: Sürüde bulunan rastgele bir kelebeğin konumunu
$\lambda_i$	: i'ninci çubuğun narinlik değeri
$\sigma_{a,i}$	: i'inci çubuğa ait emniyet gerilmesi değeri
$\sigma_i$	: i numaralı çubukta oluşan gerilme değeri
$\varphi_k$	: Karıncanın amaç fonksiyonu değeri
<b>a</b> sayı	: Kelebek optimizasyon algoritmasında 0 ile 1 arasında değişen rastgele
<b>A<sub>i</sub></b>	: i'nci çubuğun en kesit alanı
<b>A<sub>j</sub></b>	: j'inci tasarım değişkeninin alanı
<b>A<sub>k</sub></b>	: k'nıncı gruba ait çubuk elemanların en kesit alanları
<b>A<sub>e</sub></b>	: Kesit alanı
<b>c</b> sayı	: Kelebek optimizasyon algoritmasında 0 ile 1 arasında değişen rastgele
<b>C</b>	: Ceza fonksiyonu
<b>C<sub>c</sub></b>	: Plastik narinlik sınırı
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>cos</b>	: Kosinüs
<b>f</b>	: Kelebek optimizasyon algoritmasında koku katsayısı
<b>F<sub>y</sub></b>	: Çeliğin akma dayanımı
<b>g<sub>1</sub></b>	: Narinlik sınırlayıcısı
<b>g<sub>1,i</sub></b>	: i'n inci çubuk için narinlik sınırlayıcısı

<b>g<sub>2</sub></b>	: Gerilme sınırlayıcısı
<b>g<sub>3</sub></b>	: Deplasman sınırı
<b>I</b>	: Kelebek optimizasyon algoritmasında uyarıcı yoğunluk değeri
<b>inç</b>	: inch, İngiliz uzuluk ölçü birimi
<b>k</b>	: Rijitlik matrisi
<b>K<sub>i</sub></b>	: Burkulma katsayısı
<b>kips</b>	: Kilopound kuvvet
<b>Kn</b>	: Kilonewton
<b>L</b>	: Dönüşüm matrisi
<b>lbf</b>	: Pound kuvvet
<b>L<sub>i</sub></b>	: i'nci çubuğun uzunluğunu
<b>m</b>	: Metre
<b>min</b>	: Minimum ağırlık
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>Mpa</b>	: Megapaskal
<b>n</b>	: Çubuk sayısı
<b>N</b>	: Newton
<b>N<sub>a</sub></b>	: Başlangıçta tüm yollarda bulunan feromon miktarı
<b>ng</b>	: Grup sayısı
<b>nm</b>	: Toplam eleman sayısı
<b>np</b>	: Kafes sistemde bulunan düğüm noktası sayısı
<b>N<sub>s</sub></b>	: Tasarım değişkeni sayısı
<b>P</b>	: Ceza katsayısı
<b>r</b>	: Kelebek optimizasyon algoritmasında 0 ile 1 arasında değişen rastgele
<b>sin</b>	: Sinüs
<b>T</b>	: i'inci tasarım değişkeni için tüm N <sub>s</sub> yollarında toplanan feromonlar
<b>W</b>	: Ağırlık
<b>W<sub>min</sub></b>	: Elde edilen yapının minimum ağırlığı
<b>WTc</b>	: Cezalandırılmış ağırlık
<b>x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub></b>	: Çubuk uç noktaları x koordinatları
<b>y<sub>1</sub>, y<sub>2</sub></b>	: Çubuk uç noktaları y koordinatları
<b>α</b>	: Alfa
<b>β</b>	: Beta
<b>γ</b>	: Gama
<b>ξ</b>	: 0 ile 1 arasında seçilen yerel güncelleme parametresi
<b>ρ</b>	: Yoğunluk
<b>μm</b>	: Mikrometre

$\beta$  : Görünürük ve feromon maddesi arasındaki önemi ayarlamak için kullanılan sabit ve sezgisel bir katsayı

$\theta$  : Teta



## Kısaltmalar

<b>ABC</b>	: Yapay Arı Kolonisi
<b>ACO</b>	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
<b>AFFA</b>	: Uyarlanabilir Ateşböceği Algoritması
<b>AISC-ASD</b> Tasarımı	: Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü-İzin Verilen Dayanım
<b>ATA</b>	: Ağaç Tohumu Optimizasyonu
<b>BBO</b>	: Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon
<b>BOA</b>	: Kelebek Optimizasyon Algoritması
<b>BSO</b>	: Beyin Fırtınası Optimizasyonu
<b>C</b>	: Ceza Fonksiyonu
<b>CDOA</b>	: Toplu Karar Optimizasyon Algoritması
<b>CS</b>	: Guguk Kuşu Arama
<b>DHS</b>	: Dinamik Uyum Arama
<b>DL</b>	: Ölü Yük
<b>FA</b>	: Ateşböceği Algoritması
<b>FEM</b>	: Sonlu Elemanlar Metodu
<b>GA</b>	: Genetik Algoritma
<b>GW</b>	: Gri Kurt
<b>HHO</b>	: Harris Hawks Optimizasyon Algoritması
<b>HPSO</b>	: Buluşsal Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
<b>HS</b>	: Armoni Arama Algoritması
<b>iPSO</b>	: Entegre Parçacık Sürü Optimizasyonu
<b>JAYA</b>	: Jaya Algoritması
<b>KA</b>	: Karga Arama Optimizasyonu
<b>LRFD-AISC</b> Enstitüsü	: Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı-Amerikan Çelik Kurumu
<b>MABC</b>	: Modifiye Edilmiş Yapay Arı Kolonisi
<b>OAPI</b>	: Açık Uygulama Programlama Arayüzü
<b>OFA</b>	: Optimal Yiyecek Arama Algoritması
<b>PBA</b>	: Pity Beetle Algoritması
<b>PGSL</b>	: Olasılıksal Algoritma Yöntemi
<b>PSO</b>	: Parçacık Sürü Optimizasyon
<b>PSOPC</b>	: Pasif Kümeleme Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
<b>SBO</b>	: Satin Bowerbird Optimizasyon Algoritması
<b>SGA</b>	: Arama Grubu Algoritması

<b>SOA</b>	: Simbiyotik Organizmalar Arama Optimizasyonu
<b>TBLO</b>	: Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon
<b>VBA</b>	: Visual Basic Applications
<b>WL</b>	: Rüzgâr Yüğü
<b>+WL</b>	: Pozitif Rüzgâr Yüğü
<b>-WL</b>	: Negatif Rüzgâr Yüğü
<b>WOA</b>	: Balina Optimizasyon Algoritması
<b>WS</b>	: Su Strider Algoritması
<b>WTc</b>	: Cezalandırılmış Amaç Fonksiyonu



## BİRİNCİ BÖLÜM

### Giriş

Her canlı sağlıklı bir yaşam sürdürebilmek için hayati ihtiyaçlarının yanında, çevresel etkilere karşı korunmaya ihtiyaç duyar. Gerek insanlar gerekse hayvanlar bu etmenlerden korunmak için sığınak, yuva yapmışlardır. İnsanoğlu var olduğu andan itibaren birçok malzeme keşfedip bunları bir araya getirip kendilerine korunup barınabilecek yaşam alanı oluşturmuştur. Kullanılan malzemeler buldukları coğrafyanın iklimine, yer şekillerine bağlı olarak zamanla değişmiştir. Mağara, ağaç kavuklarından başlayan serüven insanların doğadaki malzemeleri kullanmasıyla beraber hızla gelişip değişmiştir. Ahşap, doğal taş, kerpiç gibi doğal malzemelerin kullanımı sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte azalarak yeni malzemelerin (beton, cam, çelik, tuğla vb.) üretimi ve kullanımı artmıştır.

Yapılarda kullanılan çeliğin diğer yapı malzemelerine göre artı yönleri çoktur. Çelik kaliteli, çevreci, hızlı, esnek, depreme dayanıklı, değişimi ve yenilenmesi zor olmayan bir malzemedir. Çelik malzeme kullanılarak inşa edilen yapıların malzeme üretimi fabrikasyon üretim olduğundan hata payının çok düşük olmasıyla beraber uzun süre bakım, onarım masrafı gerektirmeden üretilir. Ayrıca yaratıcılığa açık olması tasarımcıya kolaylık sağlar. Bu gibi özellikler çeliğin kullanım alanını arttırmıştır. Köprüler, konutlar, kuleler, geniş açıklık gerektiren (spor salonu, fabrika, uçak hangarları, depolama alanları, stadyum, tren garı, kapalı yüzme havuzu) çatı sistemleri, gökdelenler çeliğin kullanım alanlarının örneklerindedir.

Birçok mühendislik probleminde ekonomik, hızlı, estetik bir çözüm sağlayan kafes sistemler, taşıyıcı sistem tiplerinden biridir. Genel bir tanım olarak kafes sistem, doğru eksenli çubukların uç kısımlarından birbirlerine mafsallı olarak birleştirilmesi ile oluşur. Kafes sistemler düzlem kafes ve uzay kafes sistemler şeklinde gruplandırılabilir. Düzlem kafes sistem iki boyutta oluşturulmuş aynı düzlem üzerinde birleştirilen çubuk topluluğudur. Uzay kafes sistemler ise üç boyutta oluşturulmuş yapı sistemleridir.

Mühendislerin yapı güvenliğini sağlamak şartıyla en ekonomik ve minimum ağırlıkta yapı elde edebilmek temel amaçlarındandır. Bu amaç doğrultusunda çalışmalarında mimari ve statik kriterler dikkate alınarak çok sayıda çözümler elde edilebilir. Ancak sonsuz çözüm uzayından en uygun çözümü bulabilmek için çok sayıda tekrarlı hesaplamalar yapmak ve çok fazla zaman harcamak gerekir. Çünkü yüzlerce kesit profilinden en uygunu seçmek, gerekli

kısıtlama ve tasarım değişkeleri ile istenilen amaç doğrultusunda en iyi sonuca ulaşmak oldukça zor bir iştir. Bu hesaplamaları kısa süre içerisinde bilgisayar yardımı ile optimizasyon algoritmandan yararlanarak yapmak mümkündür. Algoritma bir problemi çözmek veya bir amaca ulaşmak için ihtiyaç duyulan tüm işlemlerin mantıksal olarak sıralı bir şekilde adım adım ifade edilmesidir. Algoritmayı ilk kez Ebu Abdullah Muhammed bin Musa el Harezmi, "Hisab el-cebir ve el-mukabala" kitabında bahsetmiştir.

Optimizasyon ele alınan bir problemi en uygun şekilde çözmek veya bir sistemi istenilen amaç doğrultusunda en iyi duruma getirmektir. Optimizasyon problemi sınır değerler, amaç fonksiyonu ve tasarım değişkenlerinden oluşur. Sınır değerler her problemin koşullarına göre değişen istenmeyen çözümlere ulaşmasını engelleyen bir işlemdir. Amaç fonksiyonu ise minimum veya maksimum şekilde tasarım değişkenlerine bağlı olarak hesaplanan fonksiyonlardır. Tasarım değişkeni, optimizasyon işlemi süresince amaç ve sınır değere bağlı en optimum sonuç için gereken değişkenlerdir. Oluşturulan optimizasyon problemine optimizasyon yöntemi uygulanır.

Optimizasyon algoritmaları çözüm kümesine belirli olasılığa göre yaklaşmakta, büyük boyutlu ve karmaşık problemler için kısa sürede optimum sonuca yakın sonuçlar vermektedir. Bu algoritma yöntemleri biyoloji, fizik, sürü, kimya, sosyal ve müzik tabanlı olarak farklı gruplarda değerlendirilir.

### **Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Birçok uzay kafes çatı sistemlerinin farklı algoritma yöntemleri ile optimizasyonu literatürde mevcuttur. Bununla birlikte literatürdeki çalışmalarda çelik yapı elemanlar üzerindeki korozyon etkisi dikkate alınmamıştır. Bu yüksek lisans çalışmasının asıl amacı uygulamalarda yer alan çelik profiller üzerindeki korozyon etkisinin analizlerde hesaba dahil ederek minimum ağırlığı nasıl etkilediğidir.

Düzlem kafes ve farklı uzay kafes çatı sistemlerin minimum ağırlık tasarımı için sürü zekasına dayanan algoritma yöntemlerinden, Karınca Kolonisi Optimizasyon ve Kelebek Optimizasyon Algoritma yöntemleri kullanılmıştır. En eski algoritma yöntemlerinden biri olan karınca kolonisi optimizasyonu farklı alanlarda ve birçok problemlerde başarı ile uygulanmıştır. Kelebek optimizasyon algoritması ise son yıllarda geliştirilen güncel algoritma yöntemidir.

Elde edilen sonuçlar hem kendi aralarında hem de literatür sonuçları ile karşılaştırma yapılarak kullanılan algoritmaların mevcut problemler üzerindeki performansları araştırılmıştır. Yapılması hedeflenen tüm minimum ağırlık tasarımı çalışmaları AISC-ASD (1989) yönetmeliği esas alınmıştır. Gerekli hesaplamaları yapmak için bilgisayar programı

'MATLAB' dilinde kodlanmıştır. Elde edilen korozyon etkisi hariç ve dahil olan minimum ağırlık sonuçları, optimum sonucu veren kesit alan değerleri, gerilme, narinlik oranları, maksimum deplasman sınır değerleri ve literatür sonuçları tablolarda karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

### **Literatür Çalışmaları**

Dorigo, Maniezzo ve Coloni (1991), tarafından ilk kez karınca kolonisi algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma karıncaların yiyecek aramaya başlaması ile yön seçme duyularından ve besin kaynağına ulaşma mantığından esinlenerek geliştirilmiştir.

Rajeev ve Krishnamoorthy (1992), çalışmalarında genetik algoritma (GA) yöntemini kullanarak ayırık tasarım değişkenleri ile yapısal sistemlerin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Literatürde yer alan iki standart problem çözülmüş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Genetik algoritmanın etkinliği 160 elemanlı iletim kulesinin analizi yapılarak gösterilmiştir. Genetik algoritma yöntemi, ayırık değişkenleri verimli bir şekilde ele aldıkları için yapısal optimizasyon problemleri için en uygun yöntem olduğuna ulaşılmıştır. Elde edilen optimum çözüm hem matematiksel hem de pratik açıdan uygulanabilir olacağından, onları optimizasyon problemleri için iyi bir seçim haline getirdiği anlaşılmıştır.

Erbatur, Hasançebi, Tütüncü ve Kılıç (2000), çalışmalarında genetik algoritma yöntemi ile düzlemsel ve uzay yapıların optimum tasarımı yapılarak literatürdeki mevcut sonuçlar ile karşılaştırma yapmışlardır. Genetik algoritma yöntemi çeşitli sürekli ve ayırık optimizasyon algoritmaları ile rekabet edecek şekilde oluşturulmuştur. 1, 3, 5 ve 6 numaralı örnekler ayırık değişken optimizasyonu kategorisinde yer alırken, 2 numaralı örnek tamamen, 5 numaralı örnek ise sürekli bir davranış göstermektedir. 6 örnek ele alınarak genetik algoritma yönteminin 1, 3 ve 6. örnekler için iyi sonuçlar elde ettiği 2 ve 5 numaralı örnekler için ise kabul edilebilir derecede iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. 4 numaralı örnekte çok iyi bir optimum sonuç kısa sürede elde edildiğinden genetik algoritma yönteminin doğruluğu ve gücü kanıtlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda genetik algoritma yöntemi ayırık optimizasyon teknikleri arasında en ideal sonuç veren ve gelecek vaat eden yöntem olduğu gösterilmiştir.

Camp ve Bichon (2004), çalışmalarında karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) algoritma yöntemini kullanarak uzay kafes sistemlerin ayırık optimizasyonunu yapmışlardır. Amaç fonksiyonu uygulanan sistemin ağırlığı ve maliyeti olarak belirlenmiştir. Literatürde bulunan aynı uygulamaların farklı algoritma yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılma yapılmıştır. Ortalama çözümün en iyi çözümden küçük sapması ile gösterilen sonuçların tutarlılığı sunulan tüm örnek tasarımlar için %1 den az olduğu görülmüştür. ACO

yönteminin kısıtlı ayrık problemleri çözmek için büyük bir potansiyele sahip olduğuna ulaşılmıştır.

Lee ve Gem (2004), çalışmalarında harmoni arama (HS) algoritma yöntemini kullanarak optimum tasarımı amaçlamışlardır. Yöntemin etkinliğini ve sağlamlığını göstermek amacıyla 8 adet sabit geometrili çeşitli kafes sistemler sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde harmoni arama algoritmasının geleneksel matematiksel yöntemlere veya genetik algoritma tabanlı yaklaşımlara kıyasla yapısal mühendislik problemlerini çözmek için güçlü bir arama ve uygulanabilir bir optimizasyon yöntemi olduğunu gösterilmiştir.

Kaftan (2006), çelik yapılarda korozyon oluşumu ve korozyondan korunma yöntemlerinin maliyet açısından karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Sonuç olarak korozyondan korunma maliyetinin azaltılması için; tasarım aşamasında korozyon etkisini azaltan tekniklerin bilinçli ve doğru bir şekilde uygulanması faydalı olup bununla beraber uzun vadede bakım-onarım işlemlerinin titizlikle uygulanması gerektiğine ulaşılmıştır.

Chamoret, Qui ve Domaszewski (2009), çalışmalarında olasılıksal bir algoritma (PGSL) yöntemi kullanılarak kafes yapıların boyut optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonuçları literatürde yer alan farklı meta sezgisel algoritma yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Olasılıksal algoritma yönteminin (PGSL) diğer yöntemlere göre yakın sonuç verdiği gösterilmiştir.

Li, Huang ve Liu (2009), çalışmalarında ele alınan kafes yapıların minimum ağırlık tasarımı amaçlanmıştır. Standart parçacık sürüsü algoritması (PSO) ve uyum arama algoritma yönteminin (HS) şemasına dayalı olarak, ayrık değişkenlere sahip kafes yapılar için bir buluşsal parçacık sürüsü algoritmasının iyileştirilmiş (HPSO) algoritması ve yakınsamayı iyileştirebilen pasif kümeleme (PSOPC) parçacık sürüsü optimize ediciyi optimum ağırlık tasarımında yöntem olarak kullanılıp karşılaştırılma yapmışlardır. Bu üç algoritma yöntemi beş kafes yapı üzerinde uygulanıp en verimli olanının HPSO olduğuna ulaşılmıştır.

Aydoğdu (2010), çalışmasında düzensiz üç boyutlu çelik uzay çerçeve sistemlerin karınca kolonisi optimizasyonu ve harmoni arama yöntemleri ile optimum boyutlandırmasını gerçekleştirmiştir. Ayrıca bu çalışmada ince cidarlı kesitlerden oluşan çelik uzay çerçevelerin boyutlandırılmasında çarpılma etkisi göz önüne alınmıştır. Çarpılmanın optimum boyutlandırmadaki etkisini göstermek için geliştirilen ACO ve HS yöntemleri ile uzay çerçeve sistemler boyutlandırılmıştır.

Hadidi, Azad ve Azad (2010), çalışmalarında düzlemsel ve uzay kafes yapıların gerilme, yer değiştirme ve burkulma kısıtlamaları altında modifiye edilmiş yapay arı kolonisi (MABC)

yöntemi ile boyut optimizasyonunu yapmışlardır. Değiştirilmiş yapay arı kolonisi algoritması aynı zamanda klasik arı kolonisi algoritması yöntemi ile karşılaştırılma yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda MABC' nin klasik ABC yöntemine göre tüm örneklerde daha iyi sonuç verdiği ulaşılmıştır. Aynı zamanda literatürdeki mevcut sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha iyi ya da benzer sonuç verdiği ulaşılarak, önerilen MABC algoritmasının etkinliğini göstermektedir.

Değertekin (2011), çalışmasında armoni arama (HS) algoritma yöntemini kullanarak çelik çerçevelerin minimum ağırlıkta optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. HS yönteminin verimliliğini test etmek amacıyla literatürde yer alan daha önce tabu arama ve genetik algoritma yöntemleri ile minimum ağırlık tasarımı yapılan iki uzay çelik çerçeve sistemin analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre armoni arama yöntemiyle daha hafif bir tasarım sonucuna ulaşılmıştır.

Hasançebi ve Çarbaş (2011), çalışmalarında karınca kolonisi algoritma yönteminin iki farklı varyantı (ACO1) ve (ACO2) yapısal optimizasyon problemlerine uygulanmışlardır. ACO2 yönteminin ACO1 yöntemine göre daha verimli sonuç verdiği ulaşılmıştır.

Akyol ve Alataş (2012), çalışmalarında sürü zekâsı optimizasyon algoritmaları (Ateşböceği Algoritması, Ateşböceği Sürü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yapay Balık Sürüsü Algoritması, Bakteriyel Besin Arama Optimizasyon Algoritması, Kurt Koloni Algoritması) sunulmuş ve kedi sürüsü optimizasyonu ile yapay arı koloni algoritması ayrıntılı olarak incelenmişlerdir.

Asl, Aslani ve Panahi (2013) çalışmalarında hibritleştirilmiş genetik algoritma yöntemi kullanarak kafes yapıların boyut optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Önerilen algoritma yöntemi, çeşitli düzlemsel ve uzaysal kafes kirişlerin iskelet ağırlığının azaltılmasına uygulanmış ve tüm uygulamalarda daha iyi sonuçlar vererek üstün performans göstermiştir.

Carbas, Aydogdu, ve Saka (2013), çalışmalarında boyutları gerçek olan uzay çelik çerçeve sistemi Uyarlanabilir Ateşböceği Algoritması (AFFA), Yapay Arı Kolonisi (ABC) ve Guguk Kuşu Arama (CS) algoritma yöntemlerini kullanarak optimum tasarım üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışılan bu algoritma yöntemleri ile elde edilen sonuçlar hem kendi aralarında hem de Dinamik Armoni Arama (DHS) ve Karınca Kolonisi Optimizasyon (ACO) Algoritma yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. En iyi sonuç veren yapay arı kolonisi algoritma yöntemidir. İkincisi ise (AFFA) yöntemidir. Çerçeve sistemin tasarımında (DHS) ve (CS) yöntemlerinin birbirine benzer sonuç verdiği görülmüştür. Karınca Kolonisi Optimizasyon yöntemi en iyi

sonuca oranla %8.73 daha ağırdır ve bu yöntemler arasında ki en ağır tasarıma ulaşan yöntemdir.

Hasançebi, Teke ve Pekcan (2013), çalışmalarında yapısal optimizasyon probleminin çözümü için yarasadan ilham alınan bir algoritma yöntemi kullanmışlardır. Ancak bu tekniği yapısal optimizasyon tekniğine uyarlayabilmek amacıyla yarasa algoritması yönteminin formülasyonu yeniden oluşturulmuştur. Düzenlenen yöntem literatürde yer alan 4 örnek üzerine uyarlanarak verimliliği tespit edilmiştir. İlk iki örnek diğer algoritma yöntemleri ile elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırıldığında en iyi optimum sonucunun yarasa algoritmasının verdiğini ve son iki problem için geliştirilmiş tasarımlara yakınsayan bu algoritmanın etkinliğini açıkça göstermektedir.

Sevim (2013), çalışmasında sürü zekasına dayalı optimizasyon tekniklerinden biri olan yapay arı koloni algoritması (ABC) yöntemini kullanarak düzlem çelik çerçeve ve uzay çelik çerçevelerin ayrık optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Dört farklı yapısal örneğin analiz sonuçları, mevcut literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. ABC algoritma yönteminin düzlemsel ve uzay çelik çerçeve yapılarının çözümünde etkili ve güçlü bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Eser (2014), çalışmasında arı kolonisi yöntemi kullanarak literatürde yer alan üç farklı kafes sistem örnekleri ile gerçek hayatta inşa edilmiş uzay kafes sistemin optimum tasarımı amaçlanmıştır. Problemlerde verilen bilgi ve sınır değerler doğrultusunda ve ceza fonksiyonu ile optimum ağırlık amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçları karşılaştırmak için literatürde bulunan farklı algoritma yöntemleri ile çözülmüş bu problemler ile karşılaştırılma yapmıştır. Çalışmanın sonucunda literatürdeki çalışmalara benzer ve yakın netice elde etmiştir.

Sevim ve Sönmez (2014), çalışmalarında yapay arı koloni algoritması (ABC) kullanarak düzlem çelik çerçeve ve düzlem kafes sistemin ayrık optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar literatürde yer alan farklı sezgisel arama teknikleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında yapay arı koloni algoritması yönteminin düzlem kafes ve düzlem çerçeve sistemler için çok etkili ve güçlü bir algoritma yöntemi olduğunu göstermiştir.

Artar (2015), çalışmasında genetik algoritma yöntemi kullanarak farklı çelik çerçeve sistemlerin optimum boyutlandırılmalarını gerçekleştirmiştir. Yöntemin verimliliğini göstermek amacıyla farklı özellikte birçok örnek incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları literatürdeki sonuçlar ile doğrulanmıştır. Optimum boyutlandırmada dinamik sınırlayıcıların hâkim olduğunu göstermiştir. Ayrıca genetik algoritma kullanılarak sonlu eleman modeli güncellemesi yöntemi ile çerçeve elemanlarda hasar tespiti çalışılmıştır. Ele alınan

uygulamalarda hasar senaryolarının yerleri ve büyüklükleri başarılı bir şekilde belirlenebilmiştir.

Yetkin (2015), çalışmasında literatürden seçtiği düzlem çelik çerçeve sistemlerin optimum boyutlandırılması için sosyal örümcek algoritma yöntemini kullanmıştır. Bu yöntem için Visual Basic Applications (VBA) programlama dili kullanılmıştır. Yapı analizinde ise SAP2000 programından yararlanılmıştır. Yaptığı çalışmayı literatürde bulunan diğer çalışmalar ile karşılaştırmıştır ve kullandığı algoritma yönteminin diğer yöntemlere kıyasla benzer ve daha iyi sonuçlar verdiğini saptamıştır.

Çarbaş, Aydoğdu, Saka ve Akin (2016) çalışmalarında çelik uzay çerçevelerin LRFD-AISC hükümlerine göre minimum ağırlık tasarımı amaçlanmıştır. Optimum tasarımda karınca kolonisi optimizasyonu, parçacık sürüsü optimizasyonu, yapay arı kolonisi algoritması, ateş böceği algoritması ve guguk kuşu arama algoritmasına dayalı beş farklı yapısal optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Kullanılan algoritma yöntemlerinin optimizasyon problemlerinin minimum ağırlık tasarımı için çok fazla matematiksel mücadele gerektirmeden verimli bir şekilde belirleyen basit ve sağlam teknikler olduğu fark edilmiştir.

Artar (2016a), çalışmasında öğretim öğrenme esaslı optimizasyon yöntemiyle 942 elemanlı çelik uzay kafes kule yapı modelinin optimum boyutlandırılması amaçlanmıştır. MATLAB programında SAP2000 ile otomatik olarak birlikte çalışabilen bir program kodlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu algoritma tekniğinin yapısal optimizasyon açısından oldukça elverişli olduğu ve ele alınan uzay kafes kule örneğinin literatürdeki sonuçlardan daha hafif boyutlandırılabilirdiği gözlenmiştir.

Artar, Catar ve Daloğlu (2017) çalışmalarında öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon (TBLO) yöntemini kullanarak ve korozyon etkisi de göz önünde bulundurulup düzlem çelik köprü yapıların optimum tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonuçları incelendiğinde TLBO yönteminin karmaşık problemler için bile uygulanabilir, verimli ve sağlam sonuçlar elde edilebileceği tespit edilmiştir. Çelik profil yüzeylerindeki korozyon etkisi de incelendiğinde köprülerin optimum çelik ağırlıklarında önemli bir artışa neden olduğuna ulaşılmıştır.

Kaya (2017), çalışmasında düzlem kafes sistemlerin genetik ve memetik algoritmayla optimum tasarımını gerçekleştirmiştir. Dört farklı düzlem kafesin minimum ağırlık tasarımında memetik algoritma ile elde edilen sonuçların genetik algoritma yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre daha hafif sonuç verdiğine ulaşılmıştır.

Mortazavi ve Toğan (2017), çalışmalarında entegre parçacık sürü optimizasyonu (iPSO) algoritma yöntemi ile dinamik ve statik koşullar altında boyutlandırılması ve yerleşim tasarımı

gerçekleştirmişlerdir. Bu algoritma yöntemi beş problem üzerinde test edilmiş ve verimli bir yöntem olduğuna varılmıştır.

Değertekin, Lamberti ve Uğur (2018), çalışmalarında Jaya algoritma (JA) yöntemini kullanarak kafes yapıların boyutlandırma, yerleşim ve topoloji tasarımı optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. JA algoritma yönteminin etkinliğini göstermek amacıyla altı uygulamanın analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde diğer en gelişmiş metasezgisel ve gradyan tabanlı optimizasyon yöntemlerinden daha iyi tasarımlar elde edebileceğine ulaşılmıştır.

Kılıç (2018), çalışmasında yapay arı kolonisi (ABC), beyin fırtınası (BSO) ve biyocoğraya tabanlı optimizasyon (BBO) yöntemlerini kullanarak alüminyum kafes sistemlerin çelik kafes sistemlere göre ağırlık açısından sağladığı avantajın araştırılması amaçlanmıştır. Tasarım değişkenleri olarak çelik ve alüminyum profil çeşitleri alınmıştır. Bu çalışmada uygulanan algoritma yöntemlerinin alüminyum ve çelik kafes sistemlerin optimizasyonu problemlerinde uygulanabilir olduğu ve etkin performans gösterdiği tespit edilmiştir. ABC, BSO ve BBO yöntemleri kendi aralarında karşılaştırıldığında sonuçlar belirgin bir üstünlük göstermemiştir. Ayrıca bu çalışmada alüminyum kesit profilleri kullanıldığında oluşturulan alüminyum sistem çelik sistem çözümlerine göre ciddi derecede ağırlık avantajlarının bulunduğu tespit edilmiştir.

Ouedraogo (2018), çalışmasında üç farklı meta sezgisel yöntem olan Yapay arı Koloni (ABC), Harmoni Arama (HS) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) uygulanarak 2 boyutlu ve 3 boyutlu çelik kafes sistemlerin ayrık ve ayrık olmayan (sürekli) tasarım değişkenleri ile optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Gerilme ve yer değiştirme sınırlayıcıları altında, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmıştır. MATLAB' de kodlanan bir program ve SAP2000'den analiz sonuçlarını alarak, Açık Uygulama Programlama Arayüzü (OAPI) özelliği aracılığıyla, MATLAB üzerinde optimizasyon gerçekleştiren iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan algoritma yöntemleri kendi aralarında kıyaslandığında en iyi sonucu PSO daha sonra ABC vermiştir. HS iki yöntemden daha az verimli olsa da genel olarak optimum sonucu vermiş ya da yaklaşmıştır.

Arora ve Singh (2019), çalışmalarında küresel optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla doğadan ilham alan yiyecek arama ve çiftleşme davranışlarını taklit eden kelebek optimizasyon algoritması (BOA) yöntemini tanıtmaktadırlar. BOA yöntemi 30 kıyaslama test fonksiyonu üzerinde test edilmiş ve doğrulanmıştır. Performansı diğer metasezgisel algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar önerilen BOA'nın diğer metasezgisel algoritmalarından daha verimli olduğunu göstermektedir.

Artar ve Daloğlu (2019), alışmalarında Jaya algoritma yöntemini kullanarak sismik yükleme altında elik uzay kafes kulelerin optimum tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Daha önce literatürde yer alan farklı yöntemlerle zlen 2 farklı çok elemanlı uzay kafes kule yapının tasarım sonuçları Jaya algoritma yöntemi ile sismik yükleme olmadan elde edilen minimum ağırlık sonuçları ile karşılaştırıldığında bu çalışmanın diğerlerine göre daha hafif sonuç verdiği görülmüş­tür. Bu alışmada Jaya algoritma yönteminin yapısal optimizasyon problemleri için pratik ve sağlam bir algoritma yöntemi olduğunu göstermiştir. Daha sonra sismik yükleme problemlere dahil edilerek minimum ağırlık tasarımında ağırlıkta önemli artışa sebep olduğuna ulaşılmıştır.

elik, Yıldız ve Karadeniz (2019), literatürde son  yılda (2017-2019) nerilmiş olan, Harris Hawks Optimizasyon Algoritması (HHO), Satin Bowerbird Optimizasyon Algoritması (SBO), Optimal Yiyecek Arama Algoritması (OFA), Kelebek Optimizasyon Algoritması (BOA), Pity Beetle Algoritması (PBA) ve Toplu Karar Optimizasyon Algoritması (CDOA) olan metasezgisel algoritmalar ele alınmıştır. Bu algoritmaların çalışma mantıkları, arama stratejileri ve esinlendikleri alan incelenerek sunulmuştur.

Değertekin, Lamberti ve Uğur (2019), çalışmalarında kafes yapıların ayrıık boyutlandırma, düzen ve topoloji optimizasyonu için geliştirilmiş bir JA (DAJA) algoritma yöntemi uygulamışlardır. Yedi uygulama üzerinde kıyaslamalar yapıldığında DAJA algoritmasının üstünlüğü açıkça gösterilmiştir.

Grzywiński, Dede ve zdemir (2019), alışmalarında Jaya algoritma yöntemini kullanarak frekans kısıtlamaları altında aprazlı kubbe yapıların optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Ele alınan  kubbe sistemin farklı algoritma yöntemi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en iyi sonucun Jaya algoritmasının verdiğine ulaşılmıştır. Böylece Jaya algoritmasının sağlam ve etkin bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Yılmaz (2019), çalışmasında yeni bir basitleştirilmiş karınca kolonisi optimizasyon yöntemiyle düzlem kafes sistemlerin optimum tasarımı gerçekleştirmiştir. Kafes yapıların narinlik, deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılmasını amaçlamıştır. Elde edilen optimum tasarım sonuçları kullanılan algoritmanın basit bir formülasyon içermesine rağmen elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalardan daha iyi ya da benzer olduğu sonucuna varılmıştır.

Abed (2020), son yıllarda geliştirilen güncel metasezgisel algoritma yöntemlerinden olan ağaç tohumu optimizasyonu (ATA), karga arama optimizasyonu (KAA) ve simbiyotik organizmalar arama optimizasyonu (SOA) yöntemlerini kullanarak elik yapıların minimum

ağırlık optimum boyutlandırılması amaçlanmıştır. Bu yöntemler sinüs boşluklu kiriş ve uzay kafes sistemlere uyarlanarak birbirleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut literatür sonuçları ile karşılaştırıldığında diğer yöntemlere benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yöntemler kendi aralarında karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar verdiği ulaşılmıştır. Yalnız 354 elemanlı uzay kafes örneğinde SOA algoritması daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca sinüs boşluklu kiriş örneğinin optimum tasarımında maksimum dayanımın kirişin yanal burkulmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Dede, Grzywiński ve Selejdak (2020), çalışmalarında metasezgisel algoritma yöntemlerinden olan Jaya algoritma yöntemini kullanarak dinamik sınırlayıcılar altında büyük ölçekli kubbe yapıların optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Önerilen algoritma yönteminin sonuçları literatürdeki mevcut analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında en iyi yöntemin JAYA algoritması olduğu tespit edilmiştir. Bu algoritma yönteminin büyük ölçekli kubbe yapılar için optimal düzeyde etkin bir şekilde kullanılabileceğine ulaşılmıştır.

Souza ve Miguel (2020), kafes kirişlerin optimizasyonunu içeren problemlerin çözümünde beş farklı algoritma yöntemi uygulamışlardır. Bunlar Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Harmony Arama (HS), Ateşböceği Algoritması (FA), Arama Grubu Algoritması (SGA) ve Balina Optimizasyon Algoritması (WOA)'dır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, eski algoritmaların biraz daha düşük performansa sahip olmasına rağmen, beş algoritmanın etkinliği sunulmuştur. Düzlem kafes kirişlerin pek çok kısıtlama altında elde edilen optimum tasarımında, değerlendirilen tüm parametrelerde en iyi performansı SGA verdiği görülmüştür.

Özyürek (2020), kurt koloni algoritma yöntemini kullanarak literatürde bulunan kubbe ve tonoz sistemin optimum boyutlandırılması yapılmıştır. Kurt kolonisiyle yapılan optimum boyutlandırma sonuçları farklı algoritma yöntemleri ile yapılan boyutlandırma karşılaştırılarak benzer sonuçlar elde edildiğine ulaşılmıştır.

Çarbaş ve Artar (2022), çalışmalarında su strider (WS), gri kurt (GW) ve beyin fırtınası optimizasyonu (BSO) olmak üzere son yıllarda geliştirilen üç yeni metasezgisel algoritma ile çelik uzaysal kubbe yapıların sismik tasarım optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Sismik yük etkisi optimum kubbe tasarımında elde edilen yapı ağırlıklarında artışa sebep olmuştur. Literatürde yer alan farklı algoritma yöntemleri ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında ise daha iyi veya yakın sonuçlar verdikleri gösterilmiştir.

## İKİNCİ BÖLÜM

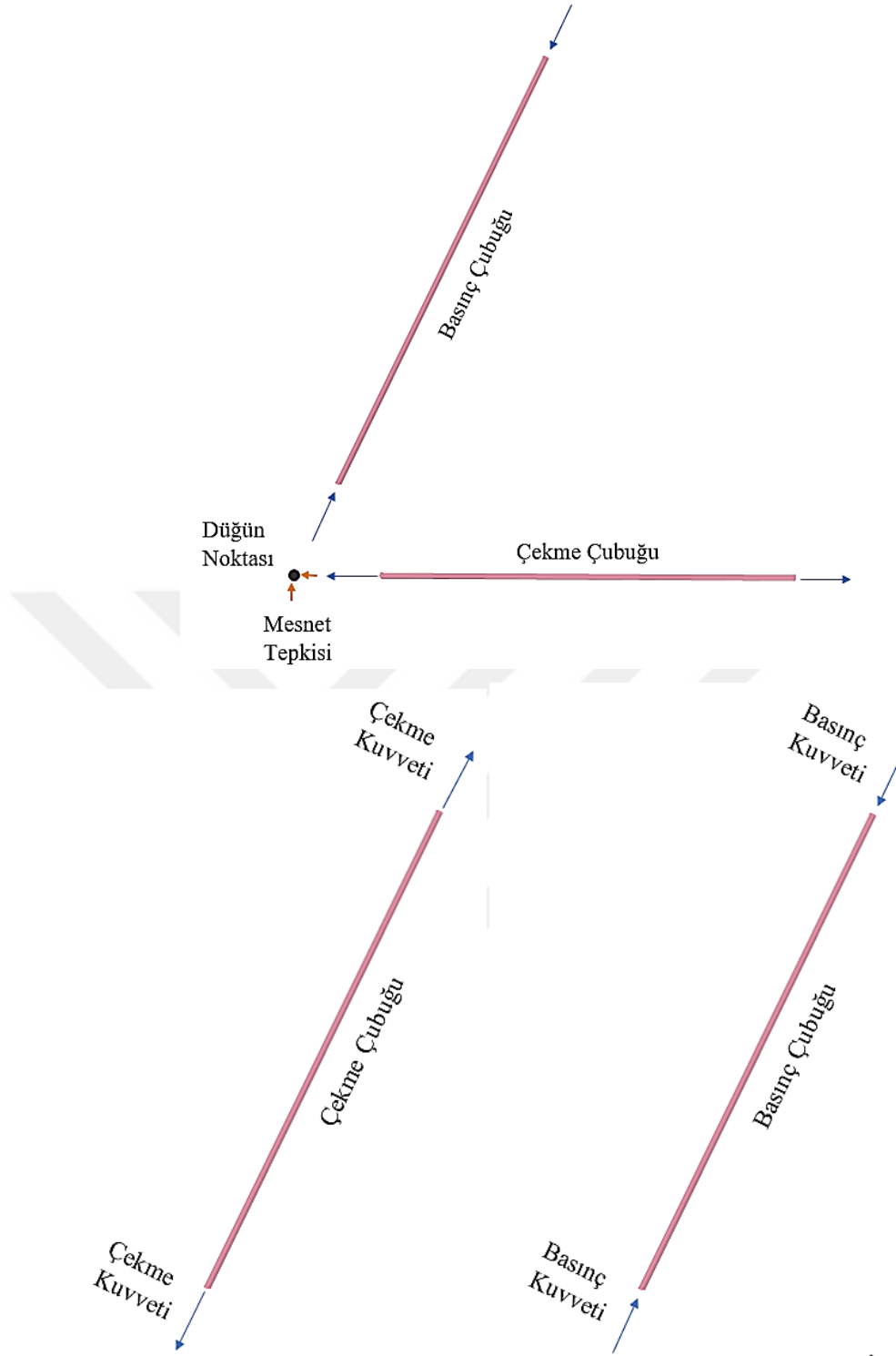
### Kafes Sistemler

Yapılarda geniş açıklıkların geçilmesi, örtülmesi durumunda dolu gövdeli sistemler kullanılırsa kesitler büyüyerek kullanım alanını daraltacak, en önemlisi sistem ağırlığını arttırarak, deprem kuvvetinin artmasını sağlayıp ekonomik olmayan bir çözüm elde edilecektir. Bu amaçla geniş açıklıkların kolonsuz geçilmesi daha estetik, hızlı ve ekonomik bir sistem olan kafes sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistem düz eksenden oluşan çubukların uç noktalarından birleştirilmesi ile oluşturulur. En az iki çubuğun birleştiği aynı zamanda mesnetle çubuğun birleştiği noktalara düğüm noktası adı verilir. Kafes sistemlerde düğüm noktaları mafsallı olarak kabul edilmektedir.

Kafes sistemlerin kullanım alanı oldukça geniştir. Bunlar köprüler, konutlar, kuleler, vinç kolları ve kuleleri, yüksek gerilim hattı direkleri, geniş açıklık gerektiren (spor salonu, fabrika, uçak hangarları, depolama alanları, stadyum, tren garı, kapalı yüzme havuzu) çatı sistemleri, gökdelenler kafes sistemin örneklerindedir. Kafes sistemleri düzlem sistem ve uzay sistem olarak iki gruba ayırabiliriz. Bu sistemleri de kendi içlerinde kullanım alanlarına ve tasarımlarına göre basit sistemler, birleşik sistemler ve karışık sistemler şeklinde ayırabiliriz.

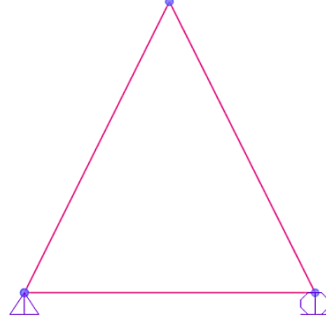
#### Düzlem Kafes Sistemler

Basit bir ifadeyle iki boyutta oluşturulan düzlem kafes sistemler köprü ve çatı yapılarında sıklıkla kullanılır. Düzlem kafes sistemler tasarım ve kullanım alanına göre kafes çerçeve, üç mafsallı çerçeve, kemer kiriş, gerber kafes, basit kafes kiriş, çıkmalı kafes kiriş, konsol kafes kiriş gibi çeşitli sistem sınıflarından oluşur. Basınç ve çekme eksenel (kendi eksenini doğrultusunda) kuvveti etkisinde olan yapı elemanları doğru eksenlidir (Şekil 1).



Şekil 1. Kafes sistem yapı elemanı.

Temel üçgen olarak adlandırılan basit bir kafes sistemi yalnızca üç çubuk elemanının uç noktalarından mafsallı olarak birleştirilmesi ile meydana gelir (Şekil 2).



Şekil 2. Basit kafes sistem.

Bazı köprü ve çatı taşıyıcı sistemlerde kullanılan düzlem kafes sistem örnekleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 3. (a) ve (b) de düzlem kafes köprü örnekleri verilmiştir. Şekil 3. (a) da gösterilen köprü örneği Eski Tappan Zee Köprüsü'dür. Şekil 3. (c) ve (d) de düzlem kafes çatı sistemlere örnek verilmiştir.



(a) (URL-1).



(b) (URL-2).



(c) (URL-3).

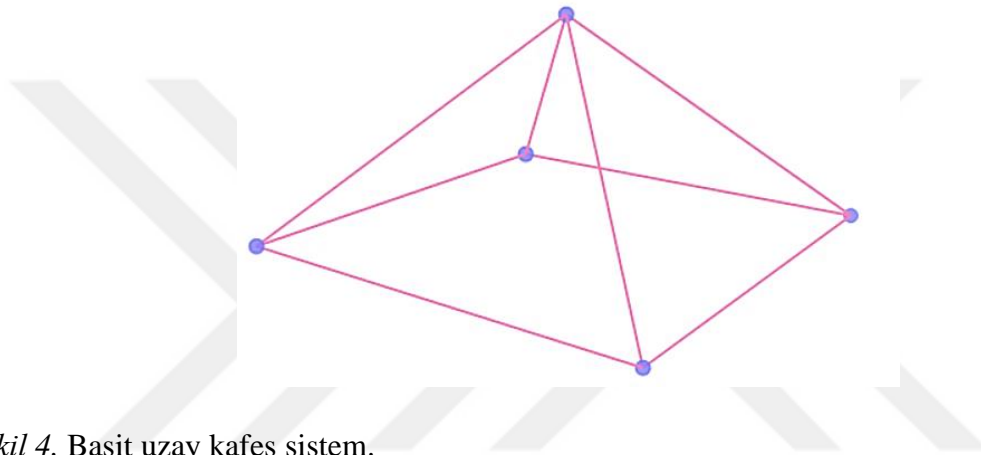


(d) (URL-3).

Şekil 3. (a), (b), (c), (d) Düzlem kafes sistem uygulama alanları.

## Uzay Kafes Sistemler

Temel üçgen olarak adlandırılan üç çubuktan meydana gelen düzlem kafes sisteme dışında bulunan bir noktanın bu sistemle üç boyut oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle en basit uzay kafes sistem oluşmaktadır (Şekil 4). Bu sistem çoğaltılıp birleştirilerek daha büyük uzay kafes sistemler elde edilir. Uzay kafes sistem olarak inşa edilen yapıdan kazanılan kullanım alanının, harcanan yapı malzemesi ile arasındaki oran diğer yapı malzemelerinin kullanım oranına göre daha uygundur. Geniş açıklıkların geçilmesi, görsel güzellik, ekonomik açıdan uygun sistemlerdir.



Şekil 4. Basit uzay kafes sistem.

Uzay kafes sistemlerin kullanım alanları oldukça geniştir. Stadyum, köprü, sanayi yapıları, sergi ve fuar yapıları, ulaşım yapıları, spor salonları, kule, çatı ve daha birçok alanda uzay kafes sistemler kullanılmaktadır. Uzay çatı sistemler düz çatı, kırık çatı, tonoz çatı, kubbe, piramit şeklinde sınıflandırılabilir. Uzay kafes sistemlere verilebilecek en güzel örneklerden birisi dünyaca ünlü Eyfel Kulesidir. Ankara ilinde yer alan CSO Ada Ankara, Cumhurbaşkanlığı Senfoni Orkestrası konserleri için inşa edilmiş uzay kafes çatı sisteme örnek olan bir yapıdır (Şekil 5).



(a)



(b)

Şekil 5. (a), (b) CSO Ada Ankara, Ankara.

### **Kubbe çatı sistemler.**

Kubbe, inşa edilen yapıların tamamı veya üst yüzeyinde kullanılan geniş açıklıkların estetik ve ekonomik olarak örtülmesini sağlayan uzay sistemdir. Tarihi MÖ 6000'lere dayanır. Yapılan araştırmalara göre ilk örneği Roma Dönemine aittir. Türklerin gökyüzünün olduğu her yer bizindir anlayışı kubbe yapıların önemini arttırmıştır. Böylece kubbe mimarisini İslamiyet'e yayan ve gelişmesini sağlayan topluluk olmamızı sağlamıştır. İlk dönemde kullanılan kubbe malzemeleri taş, tuğla ve ahşaptır. Araştırma bulgularına göre bilinen ilk kubbe örneği Pantheon Tapınağıdır. Ülkemizde ise Leşker-i Bazar Ulucami'deki mihrap önu

kubbesi, Konya Karatay Medresesi, Manisa Ulucami, Ayasofya Cami tarihi kubbe yapılar arasındadır.

Çeliğin, yapı malzemesi olarak kullanımının ardından kubbe sistemlerde de yerini almıştır. Çelik malzeme kullanılan kubbe yapıları geniş açıklıkları minimum malzeme ile geçerek daha hafif, ekonomik bir yapı elde etmeye olanak sağlamıştır (Şekil 6 ve Şekil 7).



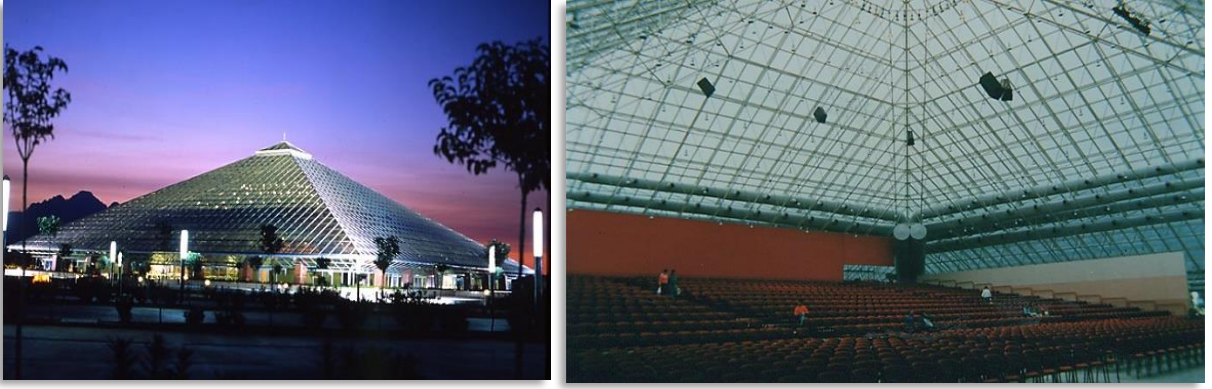
Şekil 6. Nihat Zeybekci Kongre ve Kültür Merkezi, Denizli (URL-4).



Şekil 7. Biosphere, Kanada (URL-5).

### **Piramit kafes sistemler.**

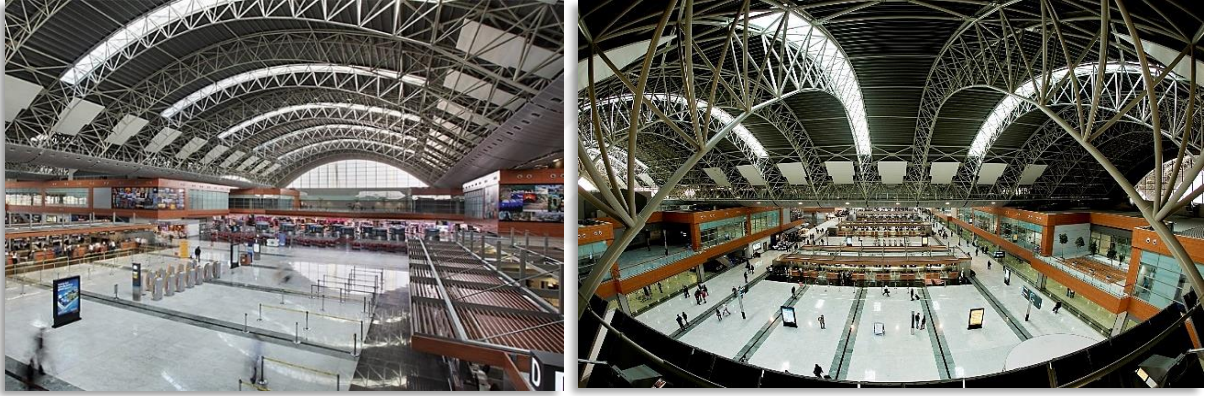
Tek tabaka veya çok tabaka şeklinde oluşturulan piramit kafes sistemler üçgen, kare ve poligon olarak yapılmaktadır. Türkiye’de bulan bir piramit kafes çatı örneği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 8. Sabancı Fuar ve Kongre Merkezi, Antalya (URL-6)., (URL-7).

### **Tonoz kafes sistemler.**

Tek yönde eğimli olup bir veya birden fazla katmandan oluşan uzay kafes çatı sistemlere tonoz kafes sistemleri denir. Aşağıdaki şekilde Sabiha Gökçen Havalimanında bulunan tonoz çatı sistemi gösterilmiştir.



Şekil 9. Sabiha Gökçen Havalimanı, İstanbul (URL-8)., (URL-9).

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### Düzlem ve Uzay Kafes Sistemlerin Minimum Ağırlık Tasarımı

Optimizasyon, elde edilen kaynakların en verimli halde kullanılmasını ve hedefe yönelik çalışmalara en sağlam şekilde ulaşmayı sağlayan işlemler bütünüdür. Optimizasyon problemleri çözüm çeşidi olarak şekil, boyut, topoloji optimizasyonu adı altında üçe ayrılır. Boyut optimizasyonunda tasarım değişkeni kesit alanları kabul edilip, eleman sayısı ve nokta koordinatları değişmez. Şekil optimizasyonunda tasarım değişkenleri sistemi oluşturan eleman sayısı değişmeden sadece düğüm noktalarının koordinatları değiştirilerek yapılır. Optimizasyonun en genel şekli olan topoloji optimizasyonu ise sistemi oluşturan eleman sayısı, kesitleri ve düğüm noktalarının koordinatlarının değiştirilmesiyle oluşturulur. Bu çalışmada farklı çelik çatı sistemlerin boyut optimizasyonu yapılacaktır. Minimum ağırlıkta optimum tasarım elde etmek boyut optimizasyonunun konusudur. Optimizasyon probleminden somut bir sonuç elde etmek için kullanılan parametreler, simgeler ile tanımlanarak ve bunlar arasındaki ilişkiyi gösteren fonksiyonlar oluşturularak matematik diline dönüştürülmelidir. Optimizasyon probleminin üç ana ilkesi sınır değerler, amaç fonksiyonu ve tasarım değişkenlerinden oluşmaktadır.

#### Amaç Fonksiyonu

Bu tez çalışmasında, problemde hedeflenen amaç fonksiyonu, yapının ağırlığı seçilmiştir. Optimum tasarım yapılabilmesi için amaç fonksiyonunun matematiksel bir dille ifade edilmesi gerekir. Bu genel ifade aşağıda gösterilmiştir.

$$\min W = \rho \sum_{i=1}^{nm} L_i A_i \quad (3.1)$$

Burada, W amaç fonksiyonunun simgesi,  $\rho$  yapı sisteminde kullanılan malzemenin yoğunluğu, L çubuk uzunluğu, A kesit alanını vermek üzere ağırlık bu parametrelere bağlıdır.  $L_i$ , i'nci çubuğun uzunluğunu,  $A_i$  i'nci çubuğun en kesit alanını, nm toplam eleman sayısının simgeleridir. Bu çalışmada optimizasyon probleminin çözümü için tasarım değişkeni olan çubuklar arasında gruplandırılma yapılmıştır. Gruplandırmanın amaç fonksiyonu üzerinde gösterimi aşağıdaki gibidir.  $A_k$  k'nıncı gruba ait çubuk elemanların en kesit alanlarını, ng grup sayısını belirtmektedir.

$$\min W = \rho \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{nm} L_i \quad (3.2)$$

## Tasarım Değişkenleri ve Parametreler

Bu tez çalışmasında çubuk en kesit alanları tasarım değişkeni olarak alınmıştır. Problemin çözümünde tasarım değişkeni her bir çubuk için ayrı ayrı seçilebildiği gibi benzer görevdeki çubuklar gruplandırılarak da değişken sayısı belirlenebilir. Bu sayı tamamen tasarımcının bilgisi, tecrübesi, birikimi ve ön görüşüne bağlıdır. Problemin tasarım değişkeni sayısı grup sayısına eşit olacaktır.

## Sınırlayıcılar

Sınırlayıcılar tasarımda statik güvenliği sağlamak için her problemin koşullarına göre değişen değerlerdir. Bu çalışmada dikkate alınan sınırlayıcılar narinlik, gerime ve deplasman sınırlayıcılarıdır. Narinlik ve gerilme sınırlayıcıları AISC-ASD (1989) standartlarından kullanılmıştır.

### Narinlik sınırlayıcısı.

Narinlik sınırlayıcısı ( $g_1$ ) aşağıda verilen ifade ile hesaplanmaktadır.

$$g_1 = \sum_{i=1}^{nm} g_{1,i} \quad (3.3)$$

Burada  $nm$  kafes sistemde bulunan çubuk sayısını göstermekte olup  $g_{1,i}$   $i$ 'nci çubuk için narinlik sınırlayıcısının değerini ifade etmektedir. Kafes yapılar için narinlik sınırlayıcısı, standartlaştırılmış formda genel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$g_{1,i} = \frac{\lambda_i}{(\lambda_i)_{all}} - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, nm \quad (3.4)$$

$\lambda_i$   $i$ 'nci çubuğun narinlik değeridir. Bu değer formüle edilmiş hali AISC-ASD (1989) standardına göre aşağıda gösterilmiştir.

$$\lambda_i = \frac{K_i L_i}{r_i} \quad (3.5)$$

Burada  $K_i$  burkulma katsayısını,  $r_i$  çubuğa ait atalet yarıçapını vermektedir. Narinlik oranı basınç çubukları için 200 ile sınırlı olup çekme çubukları için 300 olması önerilir. Bu sınırlamaları esas alan denklem AISC-ASD (1989) standardına göre basınç ve çekme çubukları için aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\lambda_i = \frac{K_i L_i}{r_i} \leq 200 \text{ (Basınç Çubuklarında)} \quad (3.6)$$

$$\lambda_i = \frac{K_i L_i}{r_i} \leq 300 \text{ (Çekme Çubuklarında)} \quad (3.7)$$

### Gerilme sınırlayıcısı.

Gerilme sınırlayıcısı ( $g_2$ ) çubuklarda oluşacak gerilmenin belirli standartlar arasında kalmasını sağlamaktadır. Aşağıda verilen ifade ile hesaplanmaktadır.

$$g_2 = \sum_{i=1}^{nm} g_{2,i} \quad (3.8)$$

Burada,  $g_{2,i}$ ,  $i$  numaralı çubuk için gerilme sınırlayıcısını ifade etmekte ve standartlaştırılmış formda genel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$g_{2,i} = \frac{\sigma_i}{\sigma_{a,i}} - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, nm \quad (3.9)$$

Yukarıda  $\sigma_i$ ,  $i$  numaralı çubukta oluşan gerilmenin,  $\sigma_{a,i}$  ise  $i$ 'inci çubuğa ait emniyet gerilmesi değerinin ifadesidir. Çekme çubukları için emniyet gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{a,i} = 0.6 \cdot F_y \quad (3.10)$$

Bu denklemde  $F_y$  çeliğin akma dayanımının değeridir. Basınç çubukları için emniyet gerilmesi ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\lambda_i < C_c \quad \text{ise} \quad \sigma_{a,i} = \frac{\left[1 - \frac{\lambda_i^2}{2 \cdot C_c^2}\right] \cdot F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 \cdot \lambda_i}{8 \cdot C_c} - \frac{\lambda_i^3}{8 \cdot C_c^3}} \quad (3.11)$$

$$\lambda_i \geq C_c \quad \text{ise} \quad \sigma_{a,i} = \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot E}{23 \cdot \lambda_i^2}$$

Burada,

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} \quad (3.12)$$

ifadesi ile hesaplanmakta,  $E$  elastisite modülü,  $C_c$  ise plastik narinlik sınırını belirtmektedir.

### Deplasman sınırlayıcısı.

Deplasman sınırlayıcısı ( $g_3$ ), çubukların birleşimini sağlayan düğüm noktalarının yapacağı deplasmanın güvenlik sınırları içerisinde kalmasını sağlamakta ve her bir düğüm noktası deplasman sınırlayıcısına bağlı olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$g_3 = \sum_{i=1}^{np} g_{3,i} \quad (3.13)$$

Burada, np kafes sistemde bulunan düğüm noktası sayısının değeridir.  $g_{3,i}$  ise i numaralı nokta için deplasman sınırlayıcısını ifade etmekte ve standartlaştırılmış formda genel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$g_{3,i} = \frac{f_i}{f_{a,i}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, \dots, np \quad (3.14)$$

Yukarıda  $f_i$  deplasman değerini,  $f_{a,i}$  ise oluşabilecek maksimum deplasman değerini göstermektedir.

### **Ceza Fonksiyonu**

Ceza fonksiyonu (C), bu çalışmada yer verilen sınırlayıcıların ihlal edilme derecesini hesaplamaktadır. Sınırlayıcılar yukarıdaki gibi standartlaştırılmış formda genel olarak gösteriminin ardından ceza fonksiyonu belirlenebilir. Yapı analizinde sınırlayıcılar sağlanmışsa ceza fonksiyonu sıfır değerini alır. Böylece fonksiyonun değeri yapının ağırlığına eşit olacaktır. Dolayısıyla ağırlığın minimum olduğu ve sınırlayıcıların sağlandığı durumun optimum tasarım sonucuna ulaşıldığını göstermektedir. Eğer sınırlayıcılar sağlanmazsa ceza değeri sıfırdan farklı bir değeri verecektir. Bu değer amaç fonksiyonunun değerini arttıracığından, ağırlık minimum değere ulaşamayacaktır. Bunun sonucunda uygun olan bireyler popülasyonda kalırken, uygun olmayan bireyler popülasyonun dışına çıkarılmaktadır.

Bu çalışmada uygulanan narinlik, gerilme ve deplasman sınırlayıcılarına bağlı olarak ceza fonksiyonu aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$C = g_1 + g_2 + g_3 \quad (3.15)$$

Amaç fonksiyonuna ceza fonksiyonu eklendiğinde, amaç fonksiyonu kısıtlayıcıları da kapsayan bir ifade olacaktır. Bu ifadenin matematiksel olarak gösterimi aşağıda verilen bağıntı gibi olacaktır.

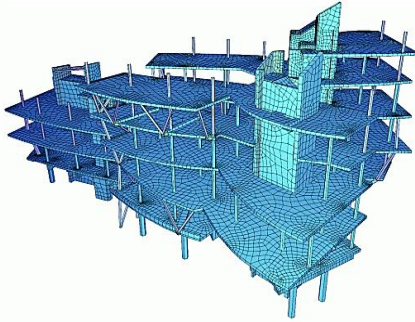
$$WTc = W \cdot [1 + P \cdot C] \quad (3.16)$$

Bu denklemde WTc cezalandırılmış amaç fonksiyonu, P ise ceza katsayısıdır. Ceza katsayısı değeri probleme göre belirlenmekte olup kısıtlayıcıların sonuç üzerindeki etkisini belirlemektedir.

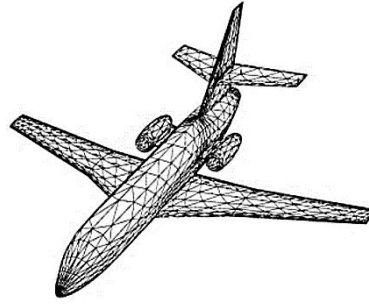
## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)

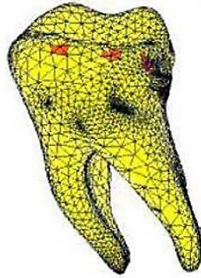
Matematik ve mühendislik modellerde sıklıkla kullanılan sonlu elemanlar metodu 1950’li yıllarda uçak mühendisliği alanında karşılaşılan çok karmaşık yapıdaki problemlere çözüm üretme çabası sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu metodun iki veya üç boyutlu problemlerde uygulanabilmesi bilgisayarın gelişimiyle birlikte yalnızca mühendislik alanında değil tıp, elektro-manyetik, akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, benzetim, makine mühendisliği... gibi birçok bilim dalında kullanılmıştır. Yöntemin temel ifadesi yapının sonlu sayıda elemandan oluştuğu ve bu elemanların sonlu sayıda eleman uç noktalarında bulunan düğüm noktalarından birbirine bağlandığı varsayılır. Problem modeli çubuk, üçgen, dörtgen gibi elemanlara bölünür ardından elemanların potansiyeli bulunur ve tüm eleman potansiyelleri toplanarak sistem potansiyeline ulaşılır. Eleman sayısının artması daha doğru bir sonuca ulaşmayı sağlar. Aşağıda gösterilen şekillerde farklı alanlarda kullanılan sonlu elemanlar metoduna örnekler verilmiştir.



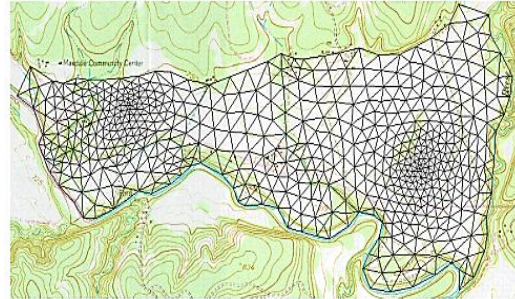
a) Perde-Çerçevesel Yapı



b) Uçak



c) Diş Modeli



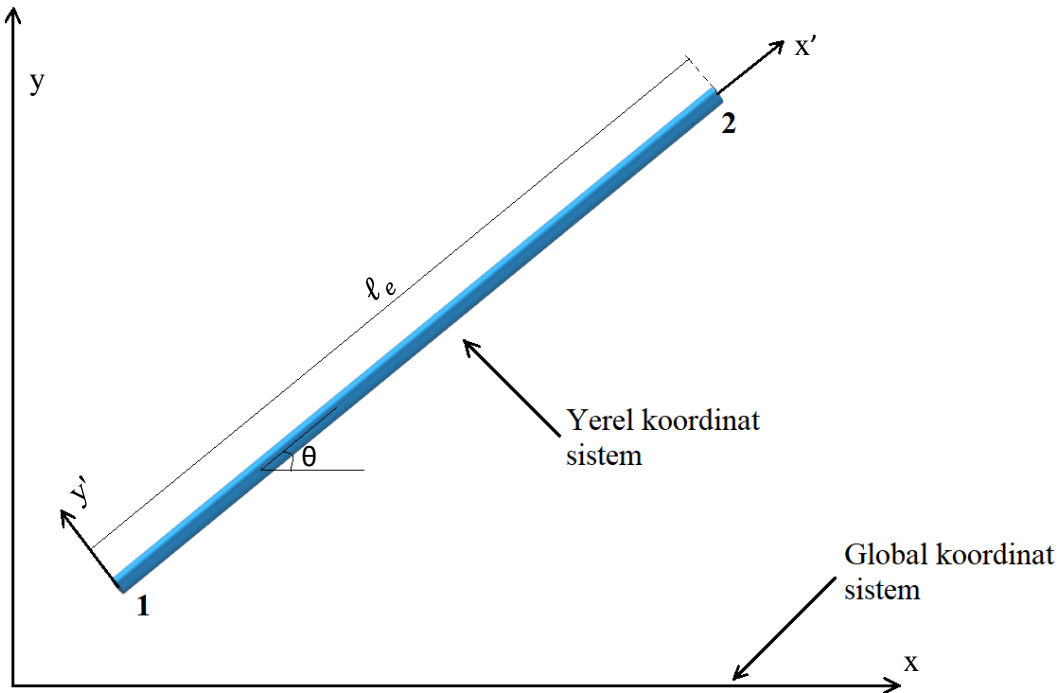
d) Yer altı suyu havzası

Şekil 10. (a), (b), (c), (d) Farklı alanlarda kullanılan sonlu elemanlar metodu (URL-10).

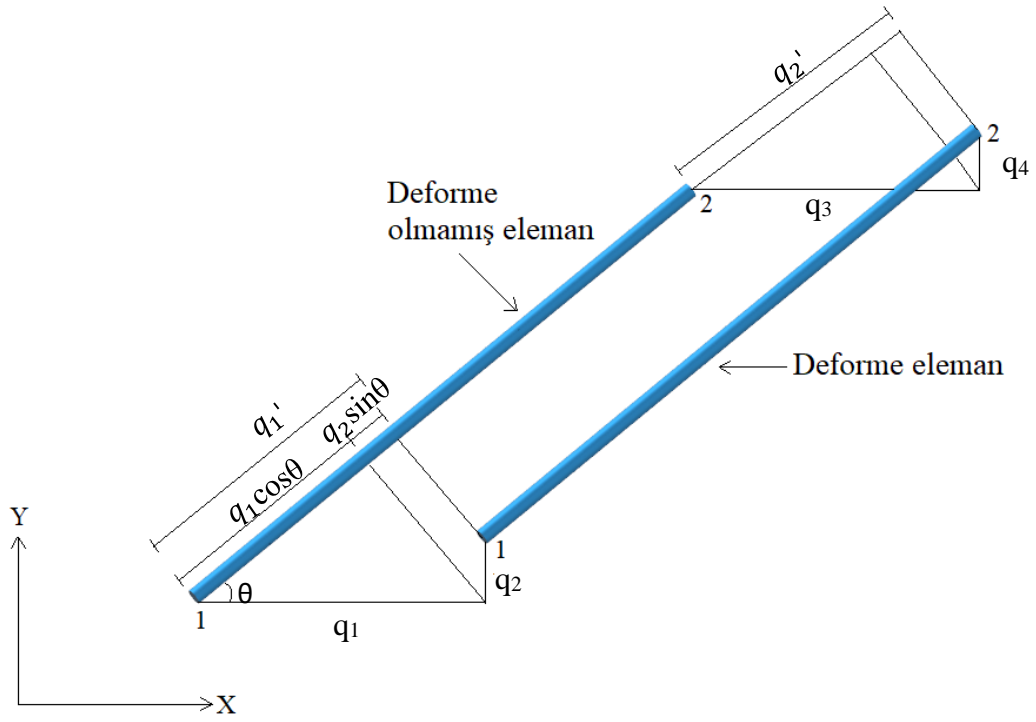
## Düzlem Kafes Sistemlerin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi

Sonlu elemanlar metodu bilgisayarda geliştirilen yazılımla yapı sistemlerinin statik ve dinamik analizini sayısal olarak gerçekleştirmektedir. Kafes sistem problemlerinde yer alan her bir çubuk eleman, sonlu eleman modelinde birer eleman durumundadır. Meydana gelen düğüm noktaları ise sonlu eleman modelinin düğüm noktalarını göstermektedir. Düzlem kafes sistemlerin tüm doğrusal çubuk elemanları çekme ve basınç kuvveti etkisi altındadır. Elemanların eğilmelerine izin verilmez. Sistem üzerindeki dış kuvvetlerin düğüm noktalarına etkidiği kabul edilir.

Şekil 11'de yerel ve global koordinat sistemlerinde tipik bir düzlem kafes sistem elemanı gösterilmiştir. Yerel koordinat sistemi 1. düğümden 2. düğüme kadar olan eleman boyunca uzanan  $x'$  ekseninden ibarettir. Yerel koordinat sistemindeki tüm değerler bir asal üssü ( $'$ ) işareti ile belirtilmektedir. Yerel koordinat sisteminde, elemanın iki düğümü 1 ve 2 olarak numaralandırılır. Global  $x$ - $y$  koordinat sistemi sabit olup ve elemanın yönelimine bağlı değildir. Aynı zamanda  $x$  ve  $y$ ' nin kâğıdın dışına doğru olan  $z$  eksenini sağda bir koordinat sistemi oluşturduğuna dikkat edilmelidir (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 11. Yerel ve global koordinat sistemleri üzerinde düzlem kafes sistem elemanı (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 12. Bir elemanın hem yerel hemde global koordinat sistemlerinde deformasyonu (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

Global koordinat sisteminde her düğüm noktası iki serbestlik derecesine sahiptir. Dolayısıyla, yerel koordinat sisteminde eleman yer değiştirme vektörü aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

$$q' = [q_1', q_2']^T \quad (4.1)$$

Global koordinat sisteminde ki eleman yer değişim vektörü aşağıdaki ile gösterilen bir (4x1) boyutunda bir vektördür.

$$q = [q_1, q_2, q_3, q_4]^T \quad (4.2)$$

Verilen  $q'$  ve  $q$  arasındaki ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilir.  $q_1'$  ifadesinin,  $x'$  ekseninde  $q_1$  ve  $q_2$ 'nin izdüşümleri toplamına eşit olduğu Şekil 12' de görülmektedir. Dolayısıyla, bu durum aşağıdaki denklem ile elde edilmektedir.

$$q_1' = q_1 \cos\theta + q_2 \sin\theta \quad (4.3)$$

Benzer şekilde,

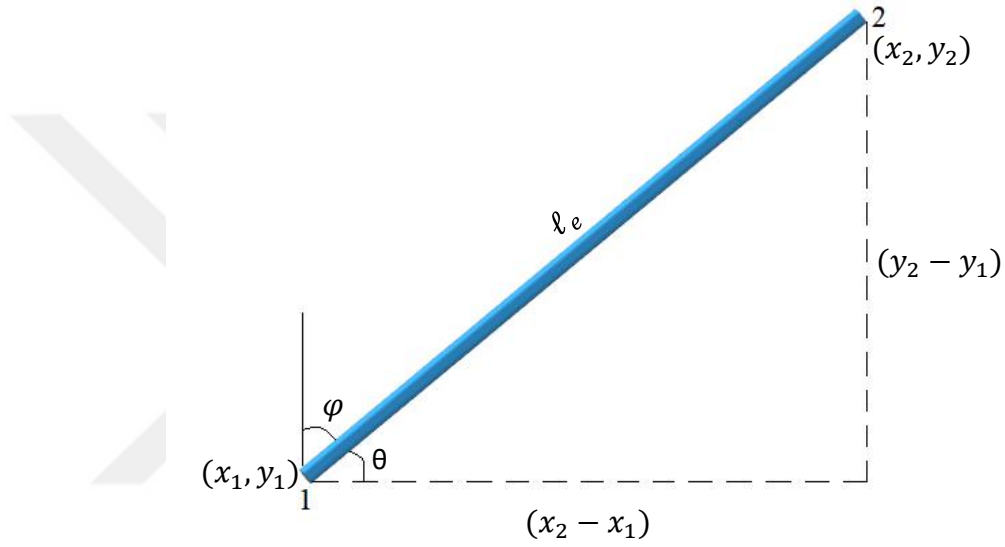
$$q_2' = q_3 \cos\theta + q_4 \sin\theta \quad (4.4)$$

Bu doğrultman kosinüsleri sırasıyla yerel  $x'$  eksenini global  $x, y$  eksenleri ile yaptığı açılarının kosinüsleridir. Doğrultman kosinüsleri  $\ell$  ve  $m$ ,  $\ell = \cos\theta$ ,  $m = \cos\varphi (= \sin\theta)$  olarak gösterilmektedir. Denklem (4.3) ve (4.4) artık aşağıdaki gibi matris şeklinde yazılabilir.

$$q' = Lq \quad (4.5)$$

Verilen ifadede dönüşüm matrisi olan  $L$ ' nin matris formu, aşağıdaki gibidir.

$$L = \begin{bmatrix} \ell & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ell & m \end{bmatrix} \quad (4.6)$$



Şekil 13. Doğrultman kosinüsler (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

Burada  $\ell$ ,  $m$  ve  $\ell_e$  değerleri aşağıda verilen (4.7), (4.8), (4.9) denklemleri ile hesaplanmaktadır.

$$\ell = \cos\theta = \frac{x_2 - x_1}{\ell_e} \quad (4.7)$$

$$m = \cos\varphi = \frac{y_2 - y_1}{\ell_e} = \sin\theta \quad (4.8)$$

$$\ell_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4.9)$$

### Elemann Rijitlik Matrisi.

Kafes sistem çubuk elemanı yerel koordinat sisteminde incelendiğinde tek boyutlu bir elemandır. Yerel koordinat sistemindeki bir kafes elemanı için eleman rijitlik matrisi aşağıdaki denklemde verilmiştir (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

$$k' = \frac{E_e A_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Bu ifadede  $A_e$  kesit alanını,  $E_e$  ise elastisite modülünü simgelemektedir. Eldeki problemde global koordinat sistemindeki eleman rijitlik matrisi için bir ifade oluşturulmuştur. Bu, elemanda ki potansiyel enerjiyi hesaba katarak elde edilebilir. Yerel koordinatlardaki eleman potansiyel enerjisi aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$U_e = \frac{1}{2} q'^T k' q' \quad (4.11)$$

$q' = Lq$  ifadesi (4.11) denkleminde yerine yazıldığında (4.12) denklemi elde edilir.

$$U_e = \frac{1}{2} q^T [L^T k' L] q \quad (4.12)$$

Global koordinatlardaki potansiyel enerji ise şu şekilde yazılabilir.

$$U_e = \frac{1}{2} q^T k q \quad (4.13)$$

Burada  $k$  global koordinatlardaki elemanın rijitlik matrisidir. Yukarıdaki denklemden, global koordinatlardaki eleman rijitlik matrisi denklem (4.14) deki gibi ifade edilir.

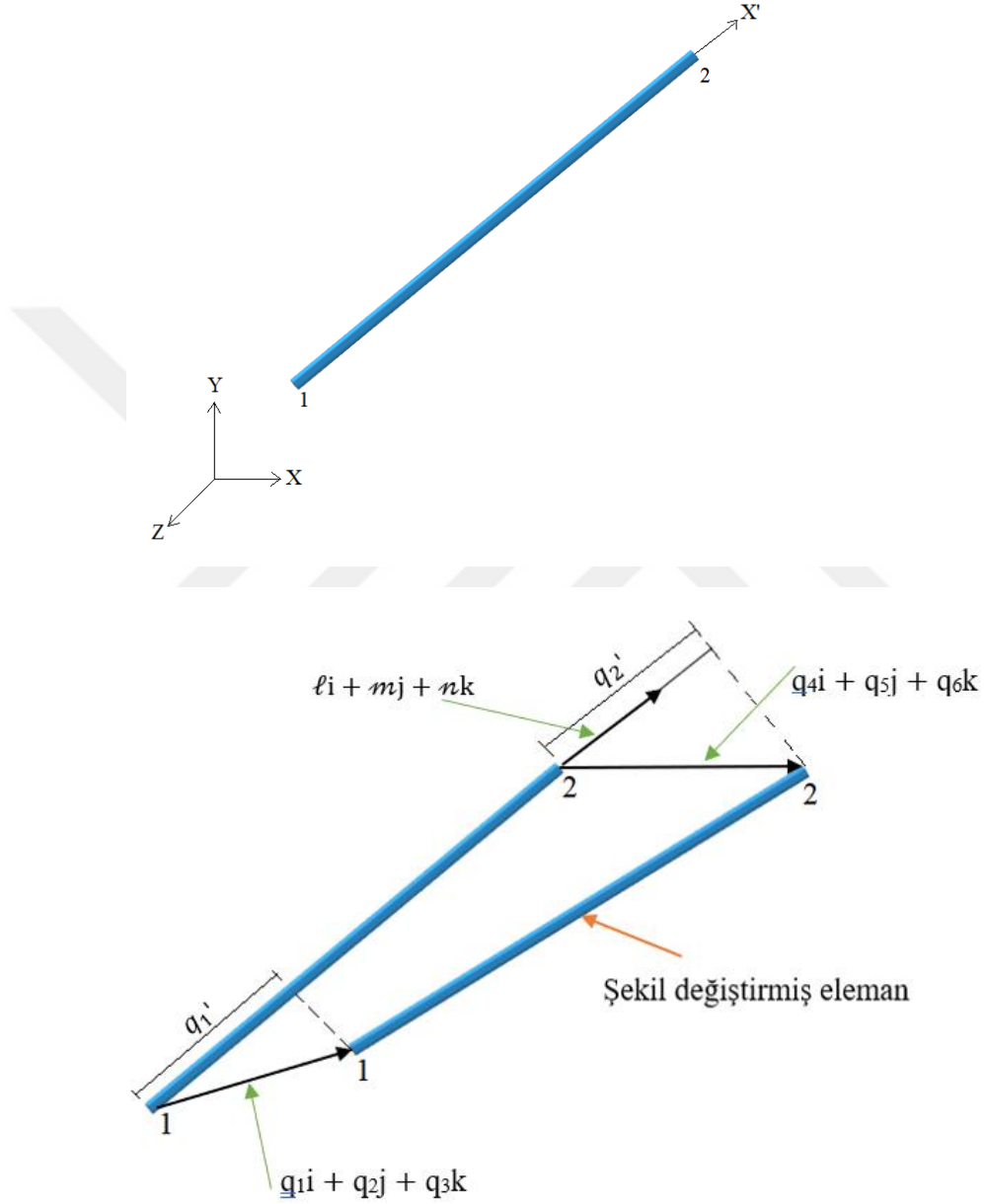
$$k = L^T k' L \quad (4.14)$$

$$= \begin{bmatrix} \ell & 0 \\ m & 0 \\ 0 & \ell \\ 0 & m \end{bmatrix} \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ell & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ell & m \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

$$= \frac{E_e A_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} \ell^2 & \ell m & -\ell^2 & -\ell m \\ \ell m & m^2 & -\ell m & -m^2 \\ -\ell^2 & -\ell m & m^2 & \ell m \\ -\ell m & -m^2 & \ell m & m^2 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

## Uzay Kafes Sistemlerin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi

Üç boyutlu bir kafes elemanı için yerel ve global koordinat sistemleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Yerel koordinat sistemi 1. düğümden 2. düğüme kadar olan eleman boyunca uzanan  $x'$  ekseninden ibarettir. Yerel koordinat sistemindeki tüm değerler bir asal üssü (') işareti ile belirtilmektedir (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).



Şekil 14. Yerel ve global koordinat sistemlerinde üç boyutlu bir kafes elemanı (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

Yerel koordinatlarda yer değiştirme vektörü aşağıdaki denklemdede gösterilmiştir (Chandrupatla & Belegundu, 1992/2017).

$$q' = [q_1', q_2']^T \quad (4.17)$$

Global koordinatlarda ise yer değiştirme vektörü,

$$q = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6] \quad (4.18)$$

Yerel ve global koordinatlar arasındaki dönüşüm aşağıdaki gibidir.

$$q' = Lq \quad (4.19)$$

Burada L dönüşüm matrisi,

$$L = \begin{bmatrix} \ell & m & n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ell & m & n \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

ile gösterilmektedir. Bu ifadede  $\ell$ ,  $m$  ve  $n$  yerel  $x'$  ekseninin, global  $x$ ,  $y$ ,  $z$  eksenleri ne gre doğrultman kosinüsleridir. Uzay kafes sisteme ait eleman rijitlik matrisi  $k$  aşağıdaki gibidir.

$$k = \frac{E_e A_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} \ell^2 & \ell m & \ell n & -\ell^2 & -\ell m & -\ell n \\ \ell m & m^2 & mn & -\ell m & -m^2 & -mn \\ \ell n & mn & n^2 & -\ell n & -mn & -n^2 \\ -\ell^2 & -\ell m & -\ell n & \ell^2 & \ell m & \ell n \\ -\ell m & -m^2 & -mn & \ell m & m^2 & mn \\ -\ell n & -mn & -n^2 & \ell n & mn & n^2 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

$\ell$ ,  $m$  ve  $n$  hesabı için gerekli bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$\ell = \frac{x_2 - x_1}{\ell_e} \quad (4.22)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{\ell_e} \quad (4.23)$$

$$n = \frac{z_2 - z_1}{\ell_e} \quad (4.24)$$

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### Yapıların Minimum Ağırlık Tasarımında Kullanılan Yöntemler

#### Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO)

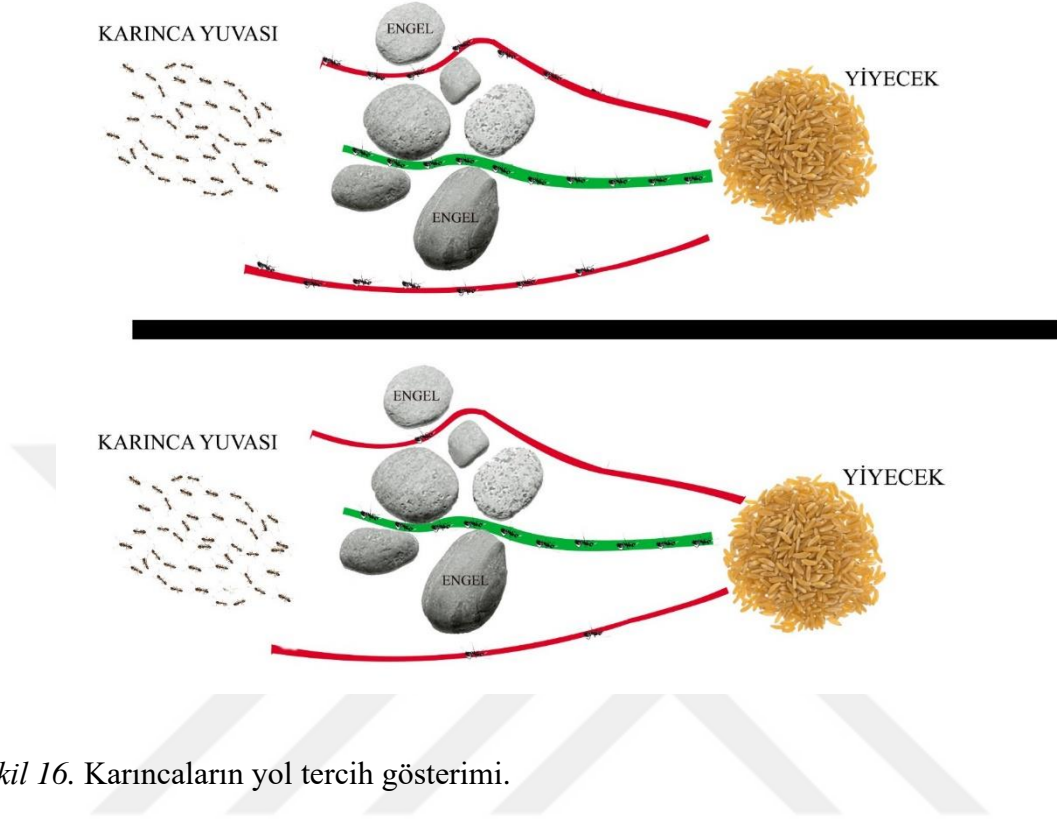
Sürü zekâsı doğada topluluklar halinde yaşayan arı, göçebe kuş, karınca, ateş böceği, kelebek gibi canlılar bir amaca ulaşmak için beraber hareket eden ve kendi aralarında iş paylaşımı yapan, davranış biçimidir. Bu canlıların karşılaştıkları problemleri çözme yöntemleri insanoğlunun dikkatini çekmiş ve bu davranış kendi problemlerinin çözümüne ilham kaynağı olmuştur.



Şekil 15. Karıncalar (URL-11).

Bu çalışmada optimizasyon problemlerinin çözümü için Sezgisel optimizasyon algoritmalarından sürü zekasına dayalı karınca kolonisi optimizasyon algoritması çalışılmıştır. Karınca koloni algoritması ilk kez Dorigo, Maniezzo ve Coloni, (1991) tarafından yapılmıştır. Bu algoritma karıncaların yiyecek aramaya başlaması ile yön seçme duyularından ve besin kaynağına ulaşma mantığından esinlenerek geliştirilmiştir. Yuva ile besin arasındaki en kısa yolu keşfeden karınca yuvaya ilk dönen karınca olacaktır. Bu döngü ile karıncaların birbirlerini takip etme özelliğini ortaya çıkaran feromon maddesi ortaya çıkmaktadır. Feromon, karıncaların hareket halinde iken salgılanan bir kimyasal olup belirli bir süre boyunca yol üzerinde kalmakta ve zamanla buharlaşmaktadır. Bu salgı karıncaların izlerini gösteren bir feromon yolunu oluşturmaktadır. Başlangıçta besin kaynağına ulaşmak için rastgele yola çıkan karıncalardan, en kısa mesafeli yolu kullanan karıncalar daha kısa sürede yuvaya dönecektir.

Feromon etki süresinin kısa yolda daha uzun süreceğinden diğer karıncaların bu kısa yolu tercih etme olasılığı artacaktır. Yuva yiyecek yuva döngüsü devam ettikçe kısa mesafeler üzerinde feromon yoğunluğu artacaktır. Aşağıda karıncaların yol tercihi şekil üzerinde modellenmiştir.



Şekil 16. Karıncaların yol tercih gösterimi.

Algoritmanın matematiksel ifadesi ve hesap adımları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

### Adım 1: Başlangıçta Belirlenen Feromon Miktarı

Başlangıçta optimum çözüm hakkında herhangi bir bilgiye sahip olunmadığından problemin çözümünü temsil eden yollarda bir miktar feromon olduğu varsayılmıştır. Kafes sistemdeki çubuk sayısı tasarım değişkeni olacaktır.  $N_s$  tasarım değişkeni sayısıdır ve algoritmanın yollarını temsil etmektedir.  $N_d$  başlangıçta tüm yollarda bulunan feromon miktarını göstermektedir. Bu ilk feromon miktarları  $i$ 'inci tasarım değişkeninin  $j$ 'inci değeri için aşağıda verilen  $T$  adı verilen matrisinde gösterilmektedir (Hasançebi & Çarbaş, (2011)).

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{21} & \dots & \dots & T_{1N_d} \\ T_{21} & T_{22} & \dots & \dots & T_{2N_d} \\ \dots & \dots & T_{ji} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{N,1} & T_{N,2} & \dots & \dots & T_{N,N_d} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$i$ 'inci tasarım değişkeni için tüm  $N_s$  yollarında toplanan feromonlar

Başlangıçtaki tüm değişkenlerde bulunan feromon miktarı aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda  $W_{min}$  elde edilen yapının minimum ağırlığıdır. Tüm üyelere en hafif çelik çubuklar atanarak bulunur.

$$T_{ji}^{(0)} = \frac{1}{W_{min}} \quad (5.2)$$

## Adım 2: Seçim olasılıkları

Feromon matrisi oluşturulduktan sonra yolların seçim olasılıkları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$p_{ji} = \frac{[T_{ji}] \cdot [v_j]^\beta}{\sum_{k=1}^{N_s} [T_{ki}] \cdot [v_k]^\beta} \quad (5.3)$$

Bu bağıntıda  $p_{ji}$ , i'inci tasarım değişkeni için j'inci yolun seçim olasılığını göstermektedir. Bu olasılık i'inci tasarım değişkeni için yolun feromon seviyesinin ( $T_{ji}$ ), diğer tüm değerlerine oranını veren değerdir. Bu sayede hangi yolun feromon seviyesinin fazla olduğu anlaşılabilir ve o yolun tercih edilme olasılığının artması sonucu ortaya çıkmaktadır. İfadede yer alan  $v_i$  ve  $v_j$  düğümleri arasındaki görünürlük sezgisel bir değerdir. Burada  $\beta$ , görünürlük ve feromon maddesi arasındaki önemi ayarlamak için kullanılan sabit ve sezgisel bir katsayıdır.  $v_j$  değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.  $A_j$  j'inci tasarım değişkeninin alanını temsil eder (Hasançebi & Çarbaş, (2011)).

$$v_j = \frac{1}{A_j} \quad (5.4)$$

## Adım 3: Karınca Kolonisi Oluşturma

Karınca kolonisinde karınca sayısı önceden tanımlanmış olup her biri olası bir çözümü ifade etmektedir. Her karınca Her tasarım değişkeni için yolların seçim olasılıklarına bağlı olarak koloni içindeki olasılıksal olarak oluşmaktadır. Her bir tasarım değişkeni tüm karıncalar tarafından seçilecek şekilde seçim süreci başlayarak diğerine geçilmektedir. Bir tasarım değişkeni için karıncalar tarafından bir yol seçildiğinde bu yolun feromon yoğunluğu ( $T_{ji}$ ) düşürülmektedir. Buradaki amaç sonraki karıncaları farklı yollar seçmeye ve böylelikle farklı çözümler üretmeye teşvik etmektedir. Feromon yoğunluğunun düşürüldüğü güncelleme denklemi aşağıda verilmiştir (Hasançebi & Çarbaş, (2011)).

$$T_{ji}^{yeni} = \xi \cdot T_{ji}^{eski} \quad (5.5)$$

Bu bağıntıda  $\xi$ , 0 ile 1 arasında seçilen yerel güncelleme parametresidir. Olasılıklar buna göre yeniden güncellenir. Tüm tasarım değişkenleri seçildiğinde karınca kolonisi tamamlanmış olacaktır.

#### Adım 4: Feromon Güncellemesi

Feromon güncellemesi lokal feromon güncellemesi ve global feromon güncellemesi olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Lokal feromon güncellemesinde tüm karıncalar turlarını tamamladıktan sonra kullandıkları yolların feromon miktarları belli bir oranda buharlaştırılır ve geçiş yaptıkları yolların feromon miktarları artırılır. Global feromon güncellemesinde ise tüm karıncalar turlarını tamamladıktan sonra en kısa yol tespit edilerek bu yolun feromon miktarı artırılır. Bu çalışmada global feromon güncellemesi uygulanmıştır.

#### Global Feromon Güncellemesi

Global feromon güncellemesi seçilen yolların feromon miktarının artırılmasıdır. Bu uygulama aşağıdaki bağıntıda gösterilmektedir (Hasançebi & Çarbaş, (2011)).

$$T_{ji}^{yeni} = (1 - e_r) \cdot T_{ji}^{eski} + \sum_{k=1}^{\mu} (\Delta T_{ji})_k \quad (5.6)$$

Bu bağıntıda,  $e_r$  buharlaşma hızı olarak adlandırılan sabit bir sayıdır.  $\mu$  ise karınca sayısıdır.  $(T_{ji})_k$  aşağıdaki bağıntıda verilmiştir. Bu değer kolonideki  $k$ 'nıncı karınca tarafından  $ji$  yoluna eklenen feromon miktarıdır. Burada  $\varphi_k$  bu karıncanın amaç fonksiyonu değerini ifade etmektedir.

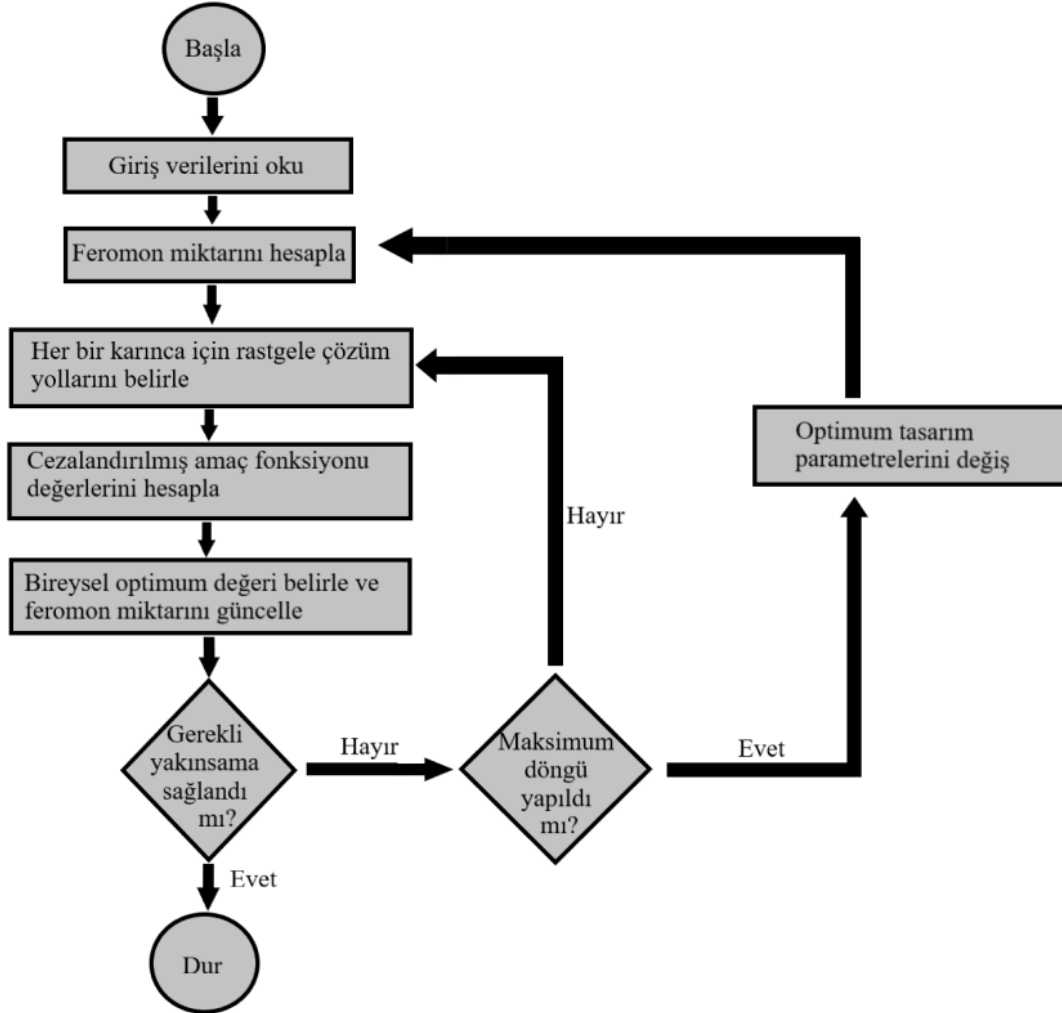
$$(\Delta T_{ji})_k = \begin{cases} 1/\varphi_k, & k'inci\ karınca\ en\ iyi\ ij\ yolunu\ kullanmışsa, \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \quad (5.7)$$

Global güncellemeden sonra yeni bir döngü başlar. Bu döngü belirlenen iterasyon sayısı tamamlanana kadar devam eder.

Karıncalar kolonisi optimizasyon algoritmasının kafes sisteme uyarlanmasını kısaca özetlenirse; karıncaların yuva yem arasındaki ilişki yuvanın başlangıç noktası yemin ise problemin amaç fonksiyonuna benzetilebilir. Kolonide bulunan her bir karıncanın yiyeceğe yani amaç fonksiyonuna ulaşmak için takip ettiği yol, problemin olası bir çözümünü ifade etmektedir. Kolonideki tüm karıncalar rastgele belirlenen yolları takip edecek ve cezalandırılmış amaç fonksiyonuna ulaşacaktır. Tüm karıncaların elde ettiği sonuç karşılaştırılarak en iyi sonuca karar verilecektir.

## Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması Akış Şeması.

Karınca koloni optimizasyon algoritması bu çalışmada optimum tasarım problemlerine uyarlanarak akış şeması aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 17. Karınca kolonisi optimizasyon algoritmasına ait akış şeması.

## Kelebek Optimizasyon Algoritması (BOA)

Kelebek optimizasyon algoritması Sankalap Arora ve Satvir Singh (2019) tarafından son yıllarda geliştirilen doğadan esinlenen güncel metasezgisel algoritma yöntemlerinden biridir. Kelebeklerin besin arama ve çiftleşme davranışını taklit etmektedir. Kelebekler birbirlerine ulaşmak için koku yayarlar. Bu koku sayesinde kelebekler yiyecek bulmayı ve çiftleşecek eşini bulmayı sağlamaktadırlar. Her kelebek kokunun yoğun olduğu kelebeğe doğru hareket etmektedir. Eğer kelebeğin bulunduğu ortamda koku bulunmuyorsa kelebek rastgele hareket etmektedir. Kelebeğin uyarılma yoğunluğu amaç fonksiyonuna göre hesaplanmaktadır.



Şekil 18. Besin arayan bir kelebek.

Algoritmanın hesap adımları için ilk olarak amaç fonksiyonu, çözüm uzayı, başlangıç popülasyonu tanımlanmakta ve optimizasyon algoritmasında kullanılan parametrelerin değerleri seçilerek mevcut probleme işlenmektedir. Arama alanı içinde oluşturulan kelebeklerin konumları rastgele oluşturulur. Koku ile canlılık değeri hesaplanmakta aynı zamanda saklanmaktadır. Çözüm için uygun başlangıç değerleri atanarak her döngüde çözüm uzayındaki tüm kelebekler yeni konumlara taşınır. Uygunluk değeri hesaplanarak global ve lokal arama gerçekleştirilir. Durdurma şartı sağlanana kadar bu döngü devam eder. Algoritmanın matematiksel ifadesi aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$f = cI^a \quad (5.8)$$

Bu bağıntı da  $a$  ve  $c$   $[0,1]$  arasında değişen rastgele seçilen bir sayı,  $I$  ise uyarıcı yoğunluğunu ifade etmekte  $f$  ise koku katsayısıdır. Her bir kelebeğin yeni konumu lokal arama şeklinde konum güncellemesi aşağıdaki gibidir (Sankalap Arora & Satvir Singh, (2019)).

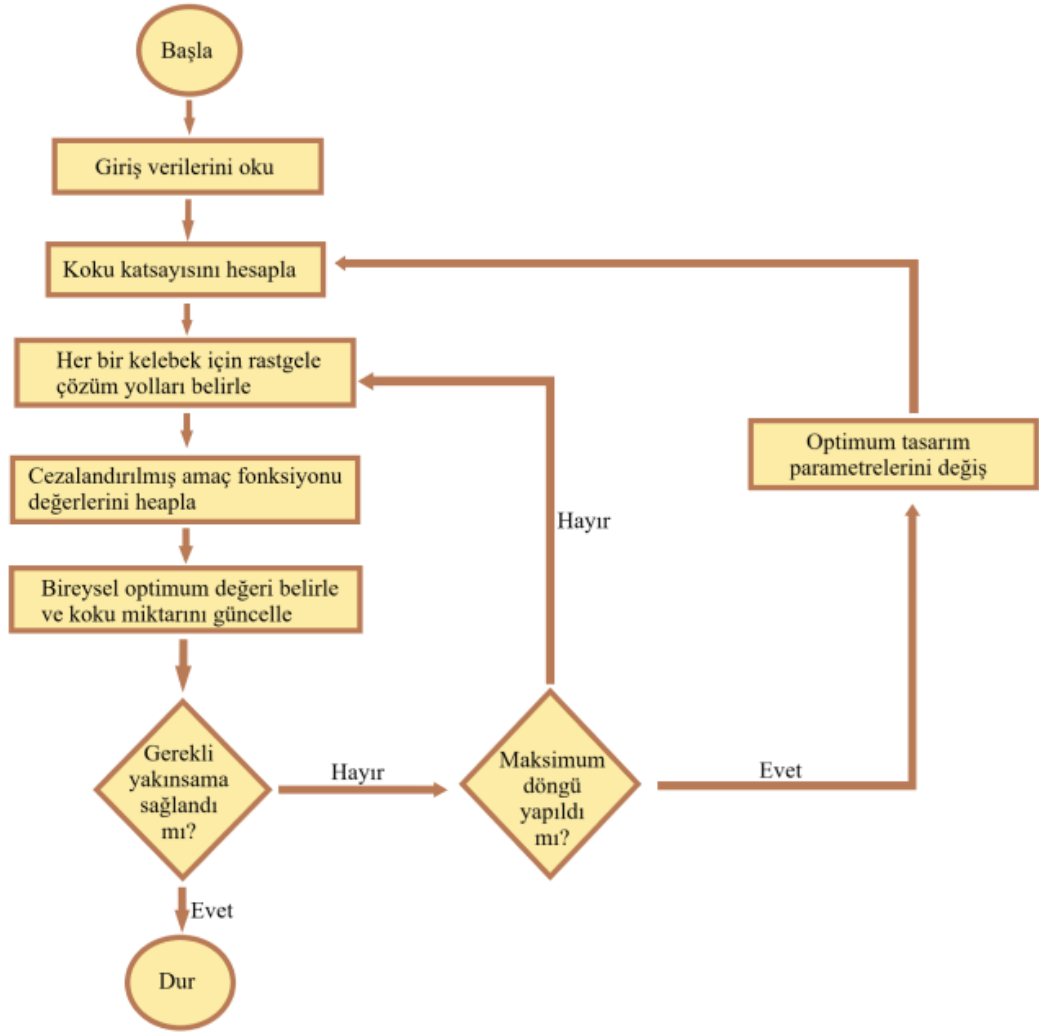
$$x_i^{t+1} = x_i^t + (r^2 \times x_j^t - x_k^t) \times f_i \quad (5.9)$$

Bu çalışmada global arama formülü kullanılacaktır. Her bir kelebeğin yeni konumu global arama şeklinde konum güncellenmesinin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + (r^2 \times g^* - x_k^t) \times f_i \quad (5.10)$$

Yukarıda verilen matematiksel ifadelerdeki  $x_i^t$  mevcut konumu,  $r$   $[0,1]$  arasında bulunan rastgele oluşturulan bir sayıyı,  $g^*$  genel en iyi değeri,  $x_k^t$  sürüde bulunan rastgele bir kelebeğin konumunu  $f_i$  ise kelebeğin hissedilen kokusunu ifade etmektedir.

## Kelebek Kolonisi Algoritması Akış Şeması.



Şekil 19. Kelebek optimizasyon algoritmasına ait akış şeması.

## ALTINCI BÖLÜM

### Korozyon Etkisi

#### Çelik Elemanlar Üzerinde Oluşan Korozyon Etkisi

Metallerin içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal tepkimeye girerek metalik özelliklerini kaybetme olayına korozyon denir. Demir oksit doğada yaygın olarak bulunmakta ve ısı enerjisi verilerek daha yüksek enerji durumundaki demir alaşımı olan çeliğe dönüşmektedir. Daha sonra çelik çevre koşullarının etkisi ile korozyona uğrayarak daha düşük enerjili durumdaki demir oksite yani özüne geri dönmektedir. Her yıl demir ve çeliğin büyük bir kısmı kullanım süresince az veya çok korozyona uğrayarak malzemenin mekanik özelliklerini değiştirip sağlamlığı ve işlevselliğini azaltmaktadır.



Şekil 20. Korozyona uğramış metal (URL-12).

Metaller, içinde buldukları ortam şartlarına, malzeme özelliklerine, malzemeye zarar verme şekline göre çeşitli şekillerde korozyona uğramaktadırlar. En sık karşılaşılan korozyon tipleri aşağıda sıralanmıştır.

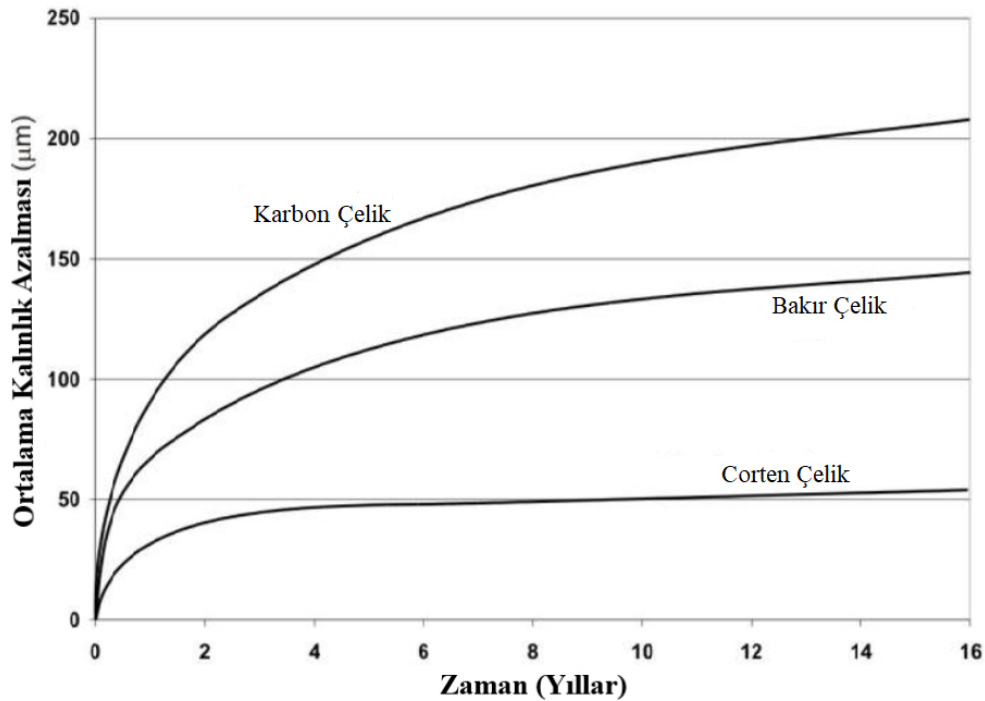
- 1.Üniform korozyon (Eşit dağılımlı)
- 2.Galnavik korozyon
- 3.Çatlak korozyonu
- 4.Çukur korozyonu
- 5.Erozyonlu korozyon
- 6.Taneler arası korozyon

## 7.Seçimli korozyon

Günlük hayatta en çok rastlanılan korozyon türü olan üniform korozyon metalin yüzeyinde homojen olarak dağılması sonucu oluşmaktadır. Atmosferin etkisiyle oluşan korozyon üniform korozyonun örneğidir. Çeliğin büyük bir bölümü köprüler, yüksek gerilim hatları, çatılar, kuleler, depolar atmosferin etkisi altındadır. Çeliğin atmosfere açık ortamda suya, toprağa ve havaya temas etmesi sonucu yüzeyinde pas oluşturarak kesit kaybına sebep olmaktadır. Oluşan bu kayıp diğer korozyon türleri sonucu oluşan kayıptan fazla olmasına rağmen korozyon hızı ve malzemenin ömrü kolay hesaplanabildiği için en az korkutan korozyon türüdür. Korozyon hızı, birim yüzey alanından uzaklaşan metal kütesidir.

Atmosferik korozyonun çevre koşullarına bağlı etkileri farklılık göstermektedir. Bu sebeple atmosferi korozyon açısından gruplandırılması 4 gruba ayrılmıştır. Bunlar kuru kırsal atmosfer, deniz atmosferi, kentsel atmosfer ve endüstriyel atmosferdir. Endüstriyel faaliyetler sonucu atmosfere çeşitli gazlar yayılmaktadır. Bu gazların metal yüzeyiyle karşılaşp tepkimeye girmesi sonucunda korozyon etkin bir şekilde kendini göstermektedir.

Bu çalışmada yer alan örnek problemlerin endüstriyel ortamda bulunduğu varsayılarak korozyon etkisi hesaplanacaktır. Aşağıda endüstriyel atmosferde kullanılan üç farklı çeliğin ortalama kalınlık azalması (korozyon hızı)-zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 21. Endüstriyel atmosferde kullanılan üç farklı çeliğin ortalama kalınlık azalması (korozyon hızı-zaman grafiği) (URL-13).

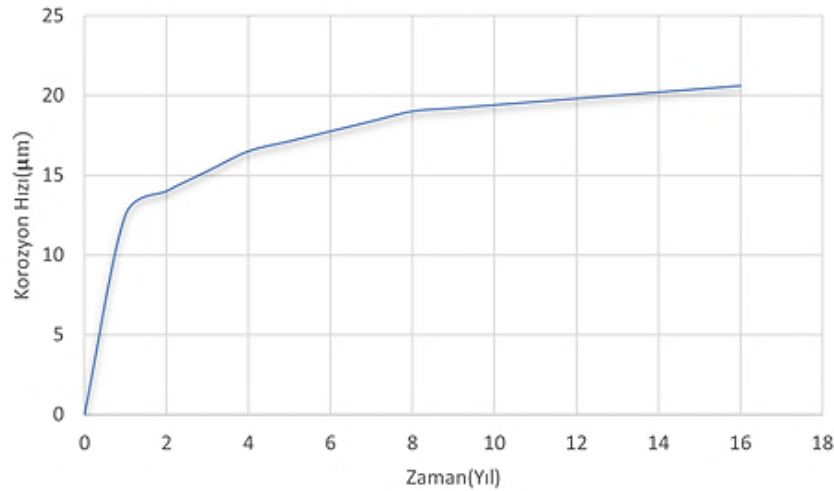
Karbon çeliği veya karbonlu çelik olarak da dile getirilen çelik İngilizcede de Carbon Steel olarak birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. Karbon çeliği, çeliğin içerisinde demir elementinden sonra belli oranda karbon elementinin bulunduğunu gösterir. İçerisinde bulunan karbon miktarına göre karbon çelikleri üç sınıfa ayrılır. Bunlar düşük karbonlu çelik, orta karbonlu çelik ve yüksek karbonlu çelik sınıflarıdır. İngilizcede Low Carbon Steel veya Mild Steel olarak karşımıza çıkan düşük karbonlu (yumuşak) çelikler içerisinde %20 ye kadar karbon içermektedir. Özellikle inşaat endüstrisinde ve temel yapılarda kullanılan çelik çubuk ve profiller düşük karbonlu çelik sınıfında yer almaktadır.

Endüstriyel atmosferde 16 yıl bırakılan yumuşak çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi üzerinde deney yapılmıştır ve deney sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Yalçın & Koç (1997)).

Tablo 1. Endüstriyel Atmosferde 16 Yıl Bırakılan Yumuşak Çeliğin Korozyon Hızının Zamanla Değişimi (Yalçın & Koç 1997, s.36)

Yıllar	Korozyon hızı $\mu\text{m}/\text{yıl}$	Toplam korozyonun bir yıla düşen payı, %
1.yıl	12,50	60
2.yıl	1,50	8
3-4 yıllar	1,25	6
5-8 yıllar	0,625	3
9-16 yıllar	0,200	1
Toplam 16 yıl	20,6	100

Yukarıda verilen tablodaki deney sonucunun grafik üzerinde gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 22. Endüstriyel atmosferde 16 yıl bırakılan yumuşak çeliğin korozyon hızının zamanla değişim grafiği.

Korozyon etkisi olduğunda, statik özümlede kesit alanı, narinlik ve eylemsizlik yarıçapında korozyon tabakasına bağlı olarak kesitle ilgili risk oluşmaktadır. Sonlu elemanlar çözümünde bu risk elemanın narinlik, kesit alanı ve eylemsizlik yarıçapı değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu çalışmada korozyon etkisi için bu riskli durum statik özümlede dikkate alınarak optimum çözümler yenilenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmalarda uzunluk birimi cm olarak alındığından kesit kaybı değerini aşağıdaki gibi cm birimine çevrilmiştir. Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere 16 yıl sonundaki korozyon hızı değerini 20.6  $\mu\text{m}/\text{yıl}$ ' dır.

$$20.6 \mu\text{m}/\text{yıl} * 16 \text{ yıl} = 329.6 \mu\text{m} = 0.03296 \text{ cm}$$



## YEDİNCİ BÖLÜM

### Uygulamalar

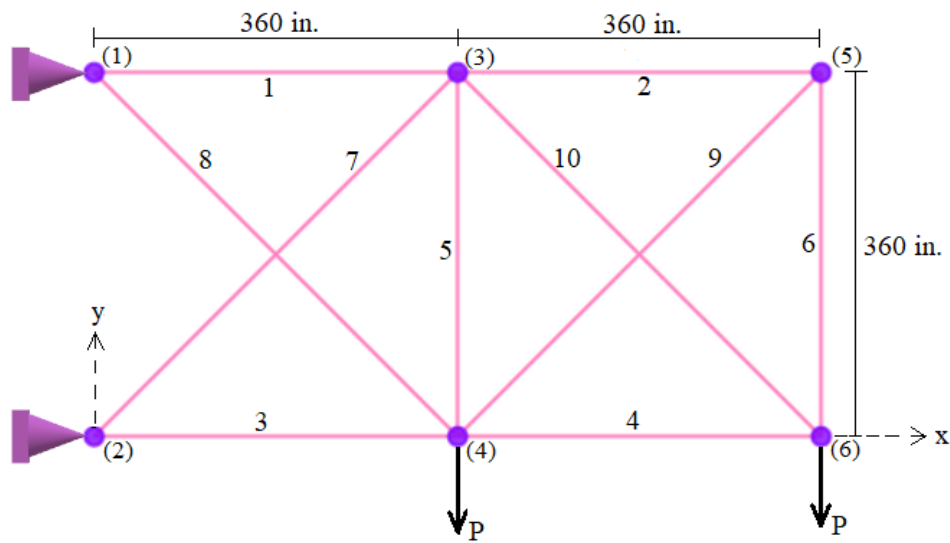
Literatürde yer alan bazı düzlem kafes ve farklı uzay çatı kafes sistemlerinin önerilen karınca ve kelebek optimizasyon algoritmalarıyla minimum ağırlık boyutlandırılması yapılarak mevcut literatür sonuçları ile karşılaştırılma yapılmıştır. Aynı zamanda kullanılan bu iki yöntem ile oluşturulan optimum tasarım sonuçları kendi aralarında da kıyaslanmıştır. Daha sonra çatı sistemlerde kullanılan çelik profillerin üzerinde oluşan korozyon riskine bağlı olarak, optimum tasarım sonuçlarında nasıl bir değişikliğe yol açtığı incelenmiştir. Bu çalışmalarda, algoritma kontrol parametreleri kapsamlı sayısal deneylere göre ve literatür çalışmalarının önerilerine bağlı olarak karınca kolonisi optimizasyon algoritması için;  $\mu = 20$ ,  $\beta = 0.2$ ,  $e_r = 0.5$ ,  $\xi = 0.90$  değerleri alınacaktır.

Yapı analizleri ve optimizasyon algoritmalarını içeren ana program MATLAB programlama dilinde kodlanmıştır. Optimizasyon problemlerinin sınırlayıcı fonksiyonları basınç ve çekme çubukları (AISC-ASD)(1989) standardında belirtilen gerilme, narinlik, deplasman koşullarından elde edilmiştir. Önerilen yöntemlerden elde edilen sonuçlarla doğru bir karşılaştırılma yapılabilmesi için literatürde bulunan çalışmalardaki aynı malzeme özellikleri ile yük değerleri kullanılmıştır. Uygulamalardan elde edilen minimum ağırlık sonuçları, optimum alan değerleri, deplasman ve gerilme, narinlik oran değerleri tablo halinde, ağırlık döngü sayısı arasındaki ilişki ise grafik üzerinde gösterilmiştir.

İlk örnek literatürde çok fazla yer alan 10 elemanlı düzlem kafes örneği, ikinci örnek 17 elemanlı düzlem kafes örneği, üçüncü örnek 120 elemanlı uzay kafes kubbe örneği, dördüncü örnek 160 elemanlı uzay piramit örneği, sonuncu örnek ise özgün bir model olup daha önce tasarımı yapıp inşası tamamlanmış Hindistan Chennai'deki Thirumailai Tren İstasyonu'nun çatısının kaplamak için oluşturulan çapraz destekli 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelidir. Böylece yapılan çalışma hem literatürde yer alan uygulamalarla hem de gerçek hayatta var olan yapı üzerinde uygulanarak algoritma yöntemlerinin etkinliği test edilmiş olacaktır.

## Uygulama 1. On Elemanlı Düzlem Kafes Sistem

İlk tasarım örneği literatürde sık karşılaşılan on elemanlı düzlem çelik kafes sistemidir. Aşağıdaki şekilde kafes sistemin geometrisi ve yükleme şekli gösterilmiştir. Literatürde bir çok araştırmacı tarafından kullanılan bu örnek Ringertz (1988), Camp *vd.* (1998), ayırık tasarım değişkenli olarak genetik algoritma (GA) kullanılarak Rajeev ve Krishnamoorthy (1992), karınca koloni algoritması (ACO) kullanılarak Camp ve Bichon (2004), höristik parçacık sürü optimizasyon algoritması (HPSO) kullanılarak Li, Huang ve Liu (2009), yapay arı koloni algoritması (ABC) kullanılarak Sevim (2013), öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) algoritması yöntemini kullanılarak Artar ve Daloğlu (2017) tarafından çalışılmıştır.



Şekil 23. On elemanlı düzlem kafes sistemin geometrisi ve yükleme şekli.

On adet çelik çubuk elemandan oluşan sistem altı düğüm noktasından bağlanılarak oluşturulmuştur. Her çubuk eleman ayrı bir grubu temsil etmekte böylece düzlem kafes sistem 10 gruptan oluşmaktadır. Sistemin 4 ve 6 düğüm noktalarından  $P = 100$  kips (444.82 kN) yük uygulanmıştır. Kullanılan malzemenin yoğunluğu  $0.10 \text{ lb/in.}^3$  ( $27.68 \text{ kg/m}^3$ ), elastisite modülü  $10000 \text{ ksi}$  ( $68947.59 \text{ MPa}$ ) olduğu varsayılmıştır. Her bir eleman için kesit alanları  $A = \{1.62, 1.80, 1.99, 2.13, 2.38, 2.62, 2.63, 2.88, 2.93, 3.09, 3.13, 3.38, 3.47, 3.55, 3.63, 3.84, 3.87, 3.88, 4.18, 4.22, 4.49, 4.59, 4.80, 4.97, 5.12, 5.74, 7.22, 7.97, 11.5, 13.5, 13.9, 14.2, 15.5, 16.0, 16.9, 18.8, 19.9, 22.0, 22.9, 26.5, 30.0, 33.5\}$  ( $\text{in.}^2$ ) olmak üzere 42 tasarım değişkeni kullanılmıştır. Her bir düğüm noktasının yer değiştirmesi her iki yönde de olmak üzere  $\pm 2 \text{ in.}$  ( $\pm 5.08 \text{ cm}$ ) değerinden az olmalıdır. Sistem için müsaade edilen gerilme değeri  $\pm 25 \text{ ksi}$  ( $\pm 172.25 \text{ Mpa}$ ) olarak kabul edilmiştir. Deplasman sınırlayıcısının yanı sıra gerilme sınırlayıcısı da AISC-ASD

(1989) standardına uygun olarak dikkate alınmıştır. Karınca kolonisi ve kelebek optimizasyonu algoritmalarında popülasyon sayısı 20 seçilerek 500 iterasyon adımı boyunca koşturulmuştur.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve çeşitli literatür sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bu çalışmada ele alınan karınca ve kelebek optimizasyon algoritma yöntemleri uygulanarak elde edilen maksimum deplasman değerleri, maksimum gerilme kapasitesi değerleri ve analiz sayıları aşağıdaki tablo üzerinde gösterilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tablo 2. On Elemanlı Çelik Kafes Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları

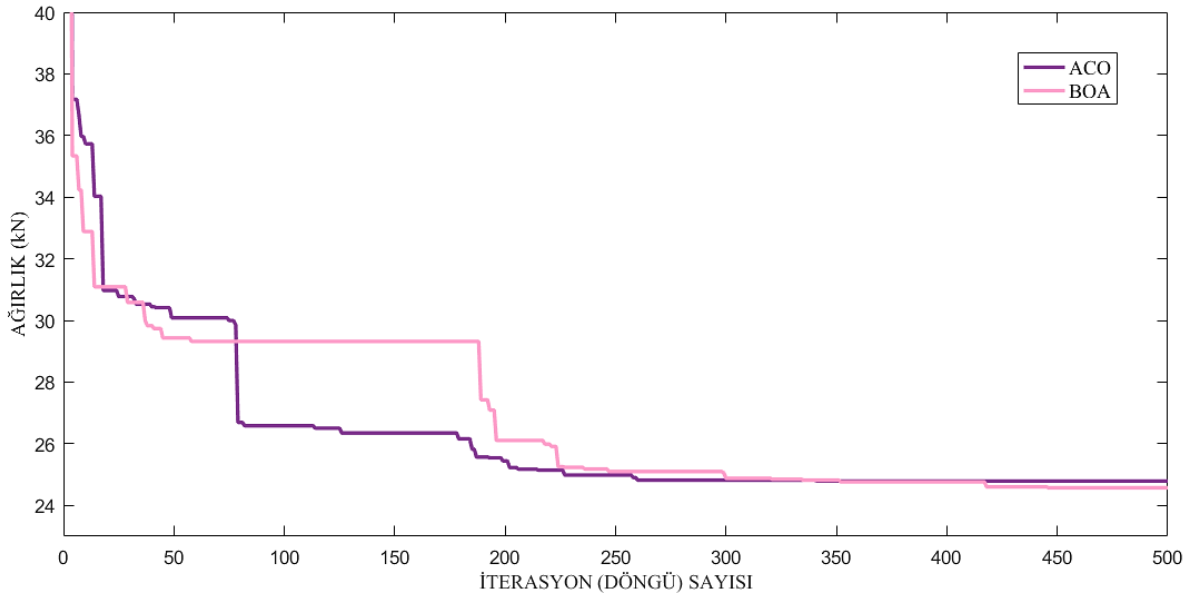
Numara	Değişkenler	Optimum en kesit alan (in <sup>2</sup> )							
		Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) GA	Camp ve Bichon (2004) ACO	Li vd. (2009) HPSO	Sevim (2013) ABC	Artar ve Daloğlu (2017) TLBO	Bu çalışma		
							ACO	BOA	
1	A <sub>1</sub>	33.50	33.50	30.00	33.50	33.50	30.00	33.50	
2	A <sub>2</sub>	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	
3	A <sub>3</sub>	22.00	22.90	22.90	22.90	22.90	26.5	26.5	
4	A <sub>4</sub>	15.50	14.20	13.50	13.90	14.20	14.2	13.90	
5	A <sub>5</sub>	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	
6	A <sub>6</sub>	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	
7	A <sub>7</sub>	19.90	22.90	26.50	22.90	22.90	19.90	22.90	
8	A <sub>8</sub>	14.20	7.97	7.97	13.90	7.97	7.97	7.97	
9	A <sub>9</sub>	2.62	1.62	1.80	1.62	1.62	1.62	1.99	
10	A <sub>10</sub>	19.90	22.00	22.00	16.00	22.00	26.5	19.90	
Ağırlık (kN)		24.70	24.16	24.34	24.37	24.43	24.79	24.57	
Maksimum Deplasman Sınırı (cm)								5.076	5.079
Gerilme Kapasitesi Oranı (%)								58	57
Analiz Sayısı		10000		50000	35000	10000			

Not: 1 in<sup>2</sup> = 6.452 cm<sup>2</sup>

Tabloda verilen optimum tasarım sonuçları incelendiğinde en iyi tasarım sonucunun Camp ve Bichon (2004) ACO algoritması kullanarak 24.16 kN ağırlık değerini elde ettiği görülmektedir. Farklı algoritma yöntemleri kullanılarak Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) 24.70 kN, Li vd. (2009) 24.34 kN, Sevim (2013) 24.37 kN optimum ağırlık değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada Camp ve Bichon'un uyguladığı karınca kolonisi algoritmasının farklı

parametrelerini içeren hali uygulanmıştır. Bu çalışmada ACO yöntemine göre bulunan 24.79 kN ağırlık değeri Camp ve Bichon'un bulduğu değerden yaklaşık %2.61 daha fazladır. Diğer algoritma yöntemi olan kelebek optimizasyon algoritması (BOA) ise 24.57 kN optimum ağırlık sonucunu vermiştir. Bu çalışmada kullanılan iki yöntem kendi aralarında karşılaştırıldığında kelebek optimizasyon algoritmasının karınca kolonisi optimizasyona göre ağırlıkça yaklaşık %0.90 daha hafif sonuç verdiği ulaşılmıştır. Maksimum deplasman sınırı karınca ve kelebek optimizasyon uygulanarak elde sonuçlara göre sırasıyla 5.076 ve 5.079 değerlerini verdiği yukarıdaki tabloda görülmektedir. Karınca kolonisi optimizasyon algoritması uygulandığında gerilme kapasitesi %58, kelebek optimizasyon algoritması uygulandığında ise gerilme kapasitesi değeri %57 olduğu tabloda görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde elde edilen deplasman değerleri soruda belirtilen maksimum deplasman değerine oldukça yakındır. Bu sonuç optimum tasarımda deplasman (yer değiştirme) sınırının hâkim olduğunu göstermektedir.

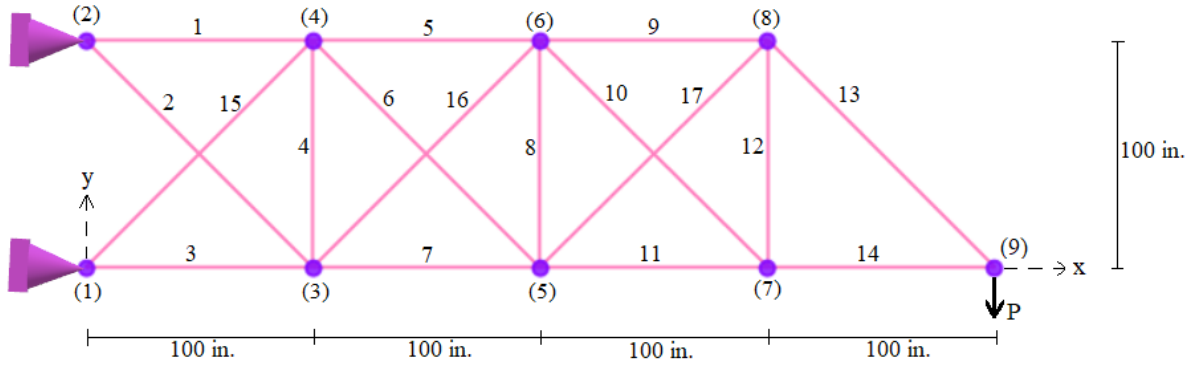
Aşağıdaki grafikte minimum ağırlığı veren tasarım için ağırlık-döngü sayısı ilişkisi karınca kolonisi optimizasyonu ve kelebek optimizasyon algoritması için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 24. Karınca ve kelebek optimizasyon algoritmasının ağırlık döngü sayısı ilişkisinin karşılaştırılması.

## Uygulama 2. On Yedi Elemanlı Düzlem Kafes

Aşağıdaki şekilde ikinci ağırlık optimizasyonu örneği olan on yedi elemanlı kafes kiriş sisteminin boyut ve yükleme şekli verilmiştir.



Şekil 25. On yedi elemanlı düzlem kafes sisteminin geometrisi ve yükleme şekli.

Aynı konu üzerinde çalışılmış bir çok literatür çalışmasında yer alan bu örnek ilk olarak Khot ve Berke (1984) tarafından optimalite kriterleri (OC) ile, önerilen değiştirilmiş yapay arı algoritması (MABC) kullanarak Hadidi *vd.* (2010), yapay arı kolonisi (ABC) ve uyum arama algoritması (HS) kullanarak Ouedraogo (2018) tarafından çalışılmıştır.

Sistem on yedi çubuk elemandan ve dokuz düğüm noktasından oluşmaktadır. Her çubuk eleman ayrı bir grubu temsil etmekte böylece düzlem kafes sistem 17 gruptan oluşmaktadır. Malzeme yoğunluğu  $0.268 \text{ lb/in}^3$  ( $7418.214 \text{ kg/m}^3$ ), elastisite modülü 30000 ksi (206842.8 MPa) dır. Sistemin 9 numaralı düğüm noktasına  $P=100$  kips (444.82 kN) lik tek bir yük etki etmektedir. Her bir eleman 50 ksi (344.738 MPa) gerilim sınırlamasına tabidir. Serbest düğümlerin yatay ve düşey yöndeki yer değiştirmeleri 2.0 inç ( $\pm 5.08 \text{ cm}$ ) değerini aşmamalıdır. Bu sistemde kullanılan kesitlerin minimum alan değeri  $0.1 \text{ in}^2$  ( $0.6452 \text{ cm}^2$ ) olduğu varsayılmaktadır. Deplasman sınırlayıcısının yanı sıra gerilme sınırlayıcısı da AISC-ASD (1989) standardına uygun olarak dikkate alınmıştır. Karınca kolonisi ve kelebek optimizasyonu algoritmalarında popülasyon sayısı 20 seçilerek 6000 iterasyon adımı boyunca koşturulmuştur.

Bu çalışma ve bahsedilen çalışmaların sonuçları aşağıdaki Tablo 3'te karşılaştırılmıştır. Bu çalışma için karınca ve kelebek optimizasyon algoritmaları ile elde edilen maksimum deplasman değerleri, maksimum gerilme kapasitesi değerleri ve analiz sayıları Tablo 3 üzerinde gösterilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

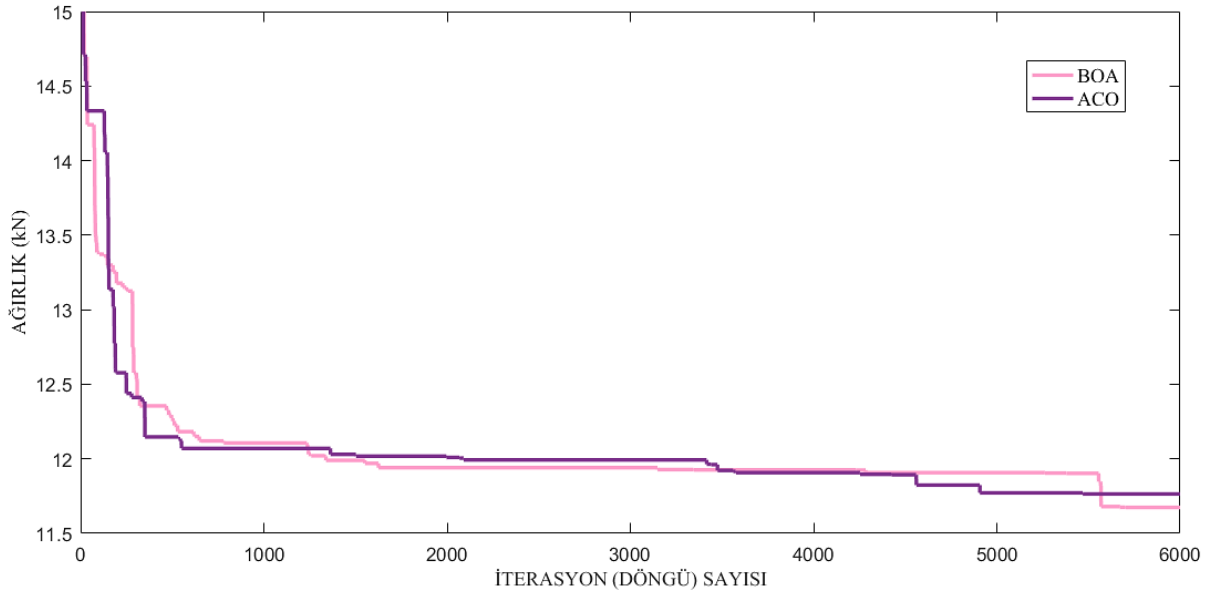
Tablo 3. On Yedi Elemanlı Çelik Kafes Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları

No	Değişkenler	Optimum en kesit alan (in <sup>2</sup> )				Bu çalışma	
		Khot ve Berke (1984) OC	Hadidi vd. (2010) MABC	Ouedraogo (2018) ABC	Ouedraogo (2018) HS	ACO	BOA
1	A <sub>1</sub>	15.93	15.6762	15.00	15.30	15.00	15.02
2	A <sub>2</sub>	0.10	0.10	0.66	1.56	0.77	0.53
3	A <sub>3</sub>	12.07	12.0491	12.90	13.20	11.57	12.21
4	A <sub>4</sub>	0.10	0.10	0.1	0.10	0.1	0.1
5	A <sub>5</sub>	8.067	8.1312	8.78	8.91	8.91	7.28
6	A <sub>6</sub>	5.562	5.6202	4.58	4.11	5.43	6.11
7	A <sub>7</sub>	11.933	11.8822	12.00	11.50	10.66	11.72
8	A <sub>8</sub>	0.10	0.10	0.17	0.32	0.36	0.12
9	A <sub>9</sub>	7.945	8.0517	7.60	7.63	8.38	8.66
10	A <sub>10</sub>	0.10	0.10	0.57	0.93	0.19	0.35
11	A <sub>11</sub>	4.055	4.0912	4.28	4.85	5.26	3.75
12	A <sub>12</sub>	0.10	0.10	0.83	0.59	0.25	0.68
13	A <sub>13</sub>	5.657	5.6746	5.83	5.46	5.26	6.12
14	A <sub>14</sub>	4.00	3.9864	3.88	4.10	3.61	5.01
15	A <sub>15</sub>	5.558	5.6729	5.06	4.06	5.29	5.26
16	A <sub>16</sub>	0.10	0.10	0.56	1.43	0.79	0.27
17	A <sub>17</sub>	5.579	5.4907	5.26	4.76	6.18	4.88
Ağırlık (kg)		1171.1	1171.3	1184.74	1192.95	1191.07	1190.43
Maksimum Deplasman Sınırı (cm)						5.076	5.079
Gerilme Kapasitesi Oranı (%)						55.38	56.36
Analiz Sayısı				300000	150000	120000	120000

Not: 1 in<sup>2</sup> = 6.452 cm<sup>2</sup>

Yukarıdaki tabloda verilen optimum sonuçlar incelendiğinde en iyi minimum ağırlık olan 1171.1 kg değeri Khot ve Berke (1984) tarafından elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında ACO yöntemi ile 1191.07 kg, BOA yöntemi ile 1190.43 kg minimum ağırlık sonucu elde edilmiştir. ACO yöntemi ile elde edilen minimum ağırlık değeri Tablo 3’de yer verilen literatür sonuçları ile karşılaştırıldığında Khot ve Berke (1984) ve Hadidi vd. (2010) çalışmalarından ulaşılan minimum ağırlık değerinden yaklaşık %1.71 daha ağır, Ouedraogo (2018) ABC yöntemi ile elde ettiği ağırlıktan ise yaklaşık %0.53 daha ağırdır. BOA yöntemi ile elde edilen minimum ağırlık değeri Khot ve Berke (1984) ve Hadidi vd. (2010) çalışmalarından ulaşılan

minimum ağırlık değerinden yaklaşık %1.65 daha ağır, Ouedraogo (2018) ABC yöntemi ile elde ettiği ağırlıktan ise yaklaşık %0.48 daha ağırdır. Karınca kolonisi optimizasyonu ile elde edilen minimum ağırlık değeri kelebek optimizasyon algoritmasıyla elde edilen değere göre yaklaşık %0.05 daha fazladır. Uygulanan bu iki yöntem ile elde edilen minimum ağırlık değeri, Ouedraogo (2018) nun uyguladığı uyum arama algoritması (HS) ile elde edilen ağırlık değerine oldukça yakındır. Maksimum deplasman sınırı karınca ve kelebek optimizasyon uygulanarak elde sonuçlara göre sırasıyla 5.076 ve 5.079 değerlerini verdiği yukarıdaki tabloda görülmektedir. Karınca optimizasyon algoritması uygulandığında gerilme kapasitesi %55, kelebek optimizasyon algoritması uygulandığında ise gerilme kapasitesi değeri %56 olduğu tabloda görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde elde edilen deplasman değerleri soruda belirtilen maksimum deplasman değerine oldukça yakındır. Buda optimum tasarımda deplasman (yer değiştirme) sınırının hâkim olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki grafikte minimum ağırlığı veren tasarım için ağırlık-döngü sayısı ilişkisi karınca kolonisi optimizasyonu ve kelebek optimizasyon algoritması için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

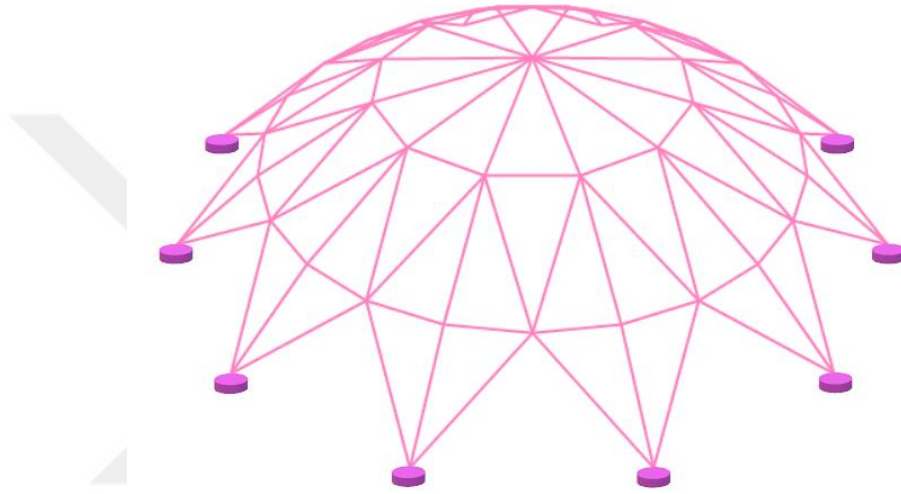


Şekil 26. Karınca ve kelebek optimizasyon algoritmasının ağırlık döngü sayısı ilişkisinin karşılaştırılması.

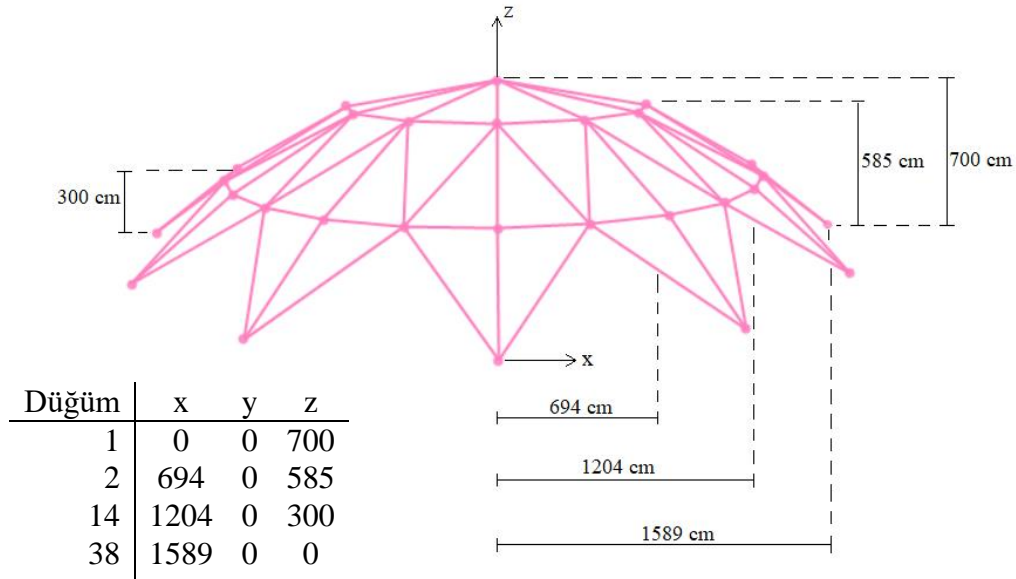
Grafiklerden de anlaşıldığı üzere kelebek optimizasyon algoritmasının karınca optimizasyon algoritmasına göre ağırlıkça daha optimum sonuç verdiği görülmektedir. Grafikte y eksenini sınır değeri azaltılarak farkın grafik üzerinden bakıldığında daha belirgin görülmesi sağlanmıştır.

### Uygulama 3. Yüz Yirmi Elemanlı Uzak Kafes Kubbe Sistem

Bu 120 elemanlı uzak kafes kubbe problemi ilk olarak Soh ve Yang (1996) tarafından daha sonra uyum arama algoritması (HS) yöntemi ile Lee ve Geem (2004), geliştirilmiş genetik algoritma yöntemi ile Toğan ve Daloğlu (2008), uyum arama algoritması (HS) ve genetik algoritma (GA) yöntemleri ile Artar (2016b) ve çalışmalarında güncel algoritma yöntemlerinin de bulunduğu uyum arama (HS), genetik algoritma (GA), kademeli optimizasyon (CO), beyin fırtınası optimizasyonu (BSO), gri kurt algoritması (GW), su strider algoritması (WS), hiper bant algoritması Çarbaş ve Artar (2022) tarafından çalışılmıştır. Aşağıda uzak çelik çatı sisteme örnek olan 120 elemanlı kubbe sistemin geometri bilgisi verilmiştir.

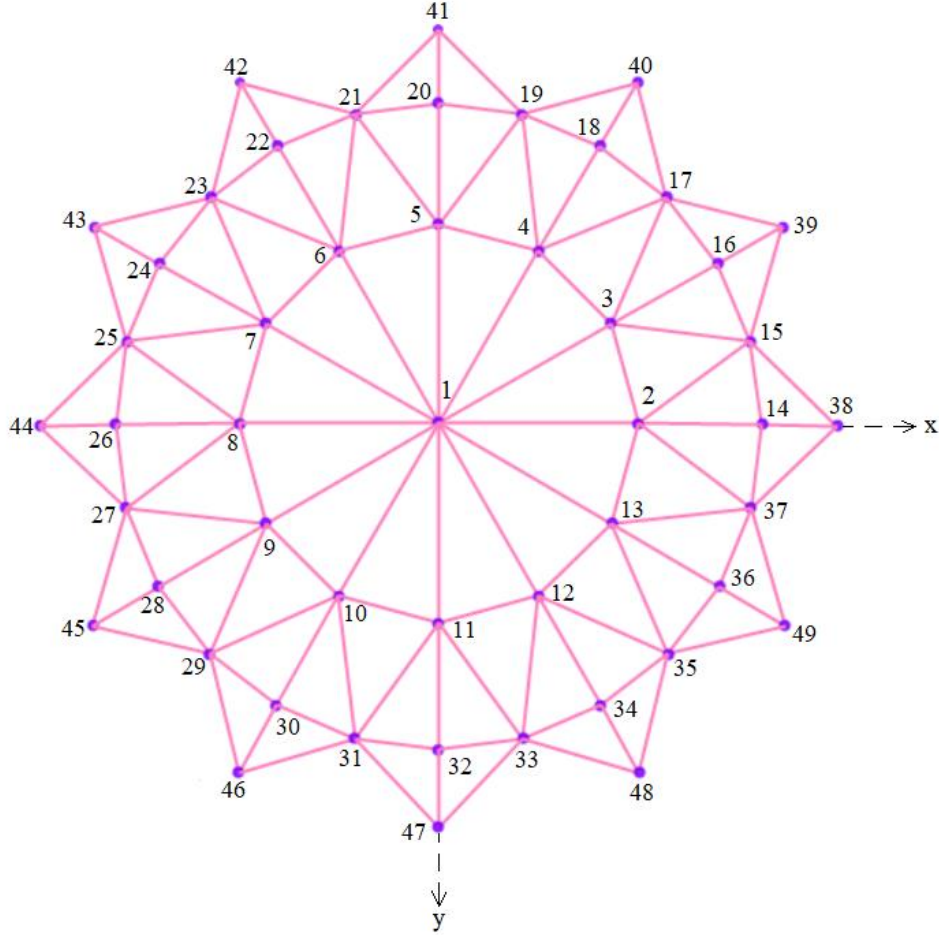


Şekil 27. 120 elemanlı uzak kafes kubbe sistemin 3D görüntüsü.



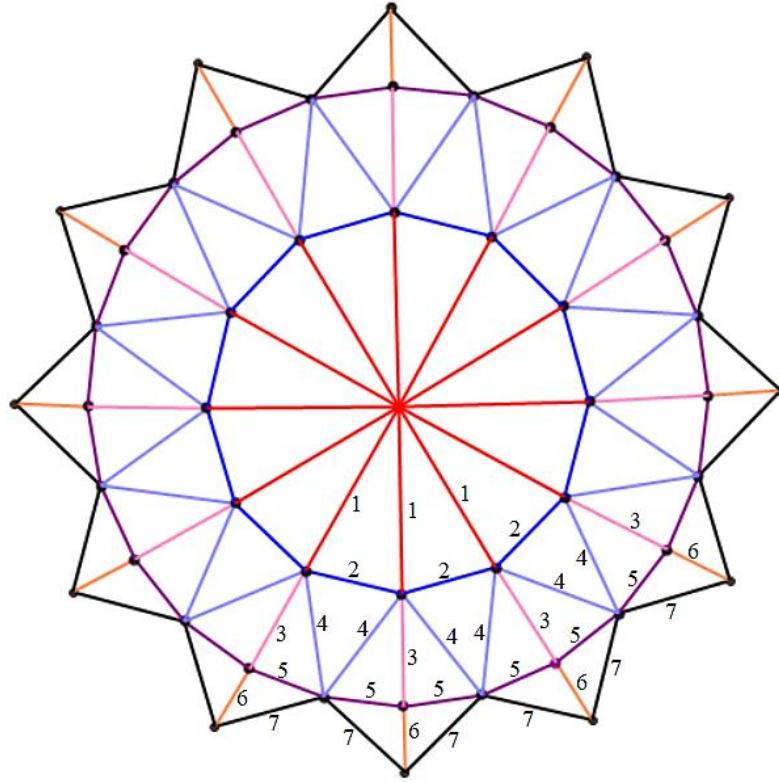
Şekil 28. 120 elemanlı uzak kafes kubbe sistemin kesit görünüşü ve geometri bilgisi.

Bu çelik kubbe sistem 120 çelik çubuk elemandan ve 49 düğüm noktasından oluşmaktadır. Kafes sistemin desteklenmeyen tüm düğüm noktaları dikey yüklemeye maruz kalmaktadır. Bunlar, 1. düğüm noktasında  $-13,49$  kips ( $-60$  kN), 2. ve 13. düğüm noktaları ve bunlar arasındaki düğüm noktalarında  $-6,744$  kips ( $-30$  kN) ve diğer tüm düğüm noktalarında ise  $-2,248$  kips ( $-10$  kN) olarak alınır. Aşağıdaki şekilde kubbe sistemin düğüm noktaları gösterilmektedir.



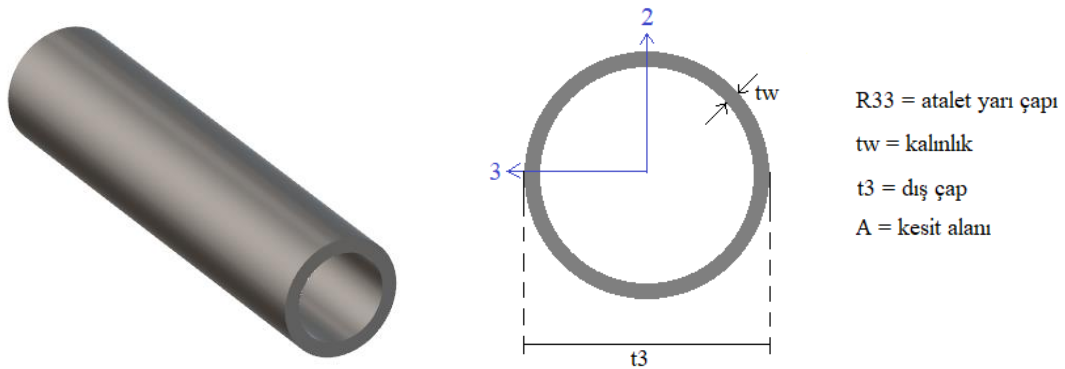
Şekil 29. 120 elemanlı uzay kafes kubbe sistemin düğüm noktaları.

Çubuk elemanlar, yapının simetri değerlendirmelerine göre Şekil 33’de renklendirilmiş olarak verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sistem 7 ana gruba ayrılmıştır.



Şekil 30. 120 elemanlı uzay kafes kubbe sistemin eleman gruplandırılmasının gösterimi.

Malzemenin elastisite modülü 210 GPa ve yoğunluğu 7971.810 kg/m<sup>3</sup> tür. Çeliğin akma dayanımı  $F_y$  58 ksi (400 MPa) olarak alınmıştır. Kafes kubbe, AISC-ASD' nin gerilme ve yer değiştirme sınırlarına tabidir. Bu sınırlayıcıların yanı sıra narinlik sınırlayıcısı da AISC-ASD (1989) standardına uygun olarak dikkate alınmıştır. Maksimum yer değiştirme x ve y yönlerinde her bir düğüm noktası için 0.1969 inç (0.5 cm) ile sınırlıdır. Minimum kesit alanı 0.775 inç olarak belirlenen 30 adet boru kesit AISC' den alınmıştır. Aşağıda verilen tabloda optimum tasarımda kullanılan boru kesit bilgileri verilmiştir.



Şekil 31. Boru kesit profil boyut bilgisi.

Tablo 4. *Optimum Tasarımda Kullanılacak 30 Boru Kesit Bilgisi*

No	İsim	t3 cm	tw cm	A cm <sup>2</sup>	R33 cm
1	P1.5	4.826	0.3683	5.15	1.5821
2	P10	27.305	0.9271	76.77	9.3427
3	P12	32.385	0.9525	94.19	11.1035
4	P2	6.0325	0.3912	6.9	2.0039
5	P2.5	7.3025	0.5156	10.97	2.4097
6	P3	8.89	0.5486	14.39	2.9559
7	P3.5	10.16	0.574	17.29	3.3957
8	P4	11.43	0.602	20.45	3.836
9	P5	14.13	0.6553	27.74	4.7755
10	P6	16.8275	0.7112	36	5.6999
11	P8	21.9075	0.8179	54.19	7.4621
12	PX1.25	4.2164	0.4851	5.68	1.3312
13	PX1.5	4.826	0.508	6.9	1.5354
14	PX10	27.305	1.27	103.87	9.217
15	PX12	32.385	1.27	123.87	11.029
16	PX2	6.0325	0.5537	9.55	1.9452
17	PX2.5	7.3025	0.701	14.52	2.3464
18	PX3	8.89	0.762	19.48	2.8827
19	PX3.5	10.16	0.8077	23.74	3.3181
20	PX4	11.43	0.856	28.45	3.7495
21	PX5	14.13	0.9525	39.42	4.6752
22	PX6	16.8275	1.0973	54.19	5.5773
23	PX8	21.9075	1.27	82.58	7.3094
24	PXX2	6.0325	1.1074	17.16	1.7825
25	PXX2.5	7.3025	1.4021	26	2.1435
26	PXX3	8.89	1.524	35.29	2.658
27	PXX4	11.43	1.712	52.26	3.4909
28	PXX5	14.13	1.905	72.9	4.3799
29	PXX6	16.8275	2.1946	100.64	5.2363
30	PXX8	21.9075	2.2225	137.42	7.0049

Bu çalışmada karınca ve kelebek algoritma yöntemleri uygulanarak ulaşılan optimum sonuçların kendi aralarında ve literatürde yer alan farklı algoritma yöntemleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırılmasının yanında korozyon etkisi çatı sistemlere uygulanarak karınca ve kelebek algoritmalarıyla elde edilen optimum tasarım sonuçları, korozyon etkisi olmadan karınca ve kelebek algoritmaları kullanılarak oluşturulan optimum tasarım sonuçları ile karşılaştırılma yapılacaktır. Korozyon etkisi olduğunda, statik çözümlerde kesit alanı, narinlik ve eylemsizlik yarıçapında korozyon tabakasına bağlı olarak kesitle ilgili risk oluşmaktadır. Sonlu elemanlar çözümünde bu risk elemanın narinlik, kesit alanı ve eylemsizlik yarıçapı değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu risk 120 elemanlı kubbe uygulamasında optimum

tasarım için kullanılan 30 adet boru profil üzerinde de oluştugu varsayılarak sayısal veriler kullanılıp gerekli hesaplamalar yapılarak aşağıdaki tablo üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. 30 Boru Kesitin Korozyon Etkisi Sonucu Değişen Kesit Bilgisi

No	İsim	t3 cm	tw cm	A cm <sup>2</sup>	R33 cm
1	P1.5	4.7601	0.33534	4.650282	1.5689
2	P10	27.2391	0.89414	73.94265	9.3197
3	P12	32.3191	0.91954	90.83663	11.1062
4	P2	5.9666	0.35824	6.275352	1.9869
5	P2.5	7.2366	0.48264	10.21385	2.394
6	P3	8.8241	0.51564	13.46947	2.9431
7	P3.5	10.0941	0.54104	16.23796	3.3829
8	P4	11.3641	0.56904	19.26646	3.8219
9	P5	14.0641	0.62234	26.27688	4.7575
10	P6	16.7616	0.67824	34.25756	5.6914
11	P8	21.8416	0.78494	51.92154	7.4498
12	PX1.25	4.1505	0.45214	5.243404	1.3173
13	PX1.5	4.7601	0.47504	6.400282	1.5243
14	PX10	27.2391	1.23704	101.0426	9.2035
15	PX12	32.3191	1.23704	120.5166	10.9979
16	PX2	5.9666	0.52074	8.925352	1.9342
17	PX2.5	7.2366	0.66804	13.76385	2.3343
18	PX3	8.8241	0.72904	18.55947	2.8736
19	PX3.5	10.0941	0.77474	22.68796	3.3063
20	PX4	11.3641	0.82304	27.26646	3.7382
21	PX5	14.0641	0.91954	37.95688	4.6587
22	PX6	16.7616	1.06434	52.44756	5.5626
23	PX8	21.8416	1.23704	80.31154	7.2979
24	PXX2	5.9666	1.07444	16.53535	1.7709
25	PXX2.5	7.2366	1.36914	25.24385	2.1302
26	PXX3	8.8241	1.49104	34.36947	2.6457
27	PXX4	11.3641	1.67904	51.07646	3.4753
28	PXX5	14.0641	1.87204	71.43688	4.3611
29	PXX6	16.7616	2.16164	98.89756	5.2181
30	PXX8	21.8416	2.18954	135.1515	6.9911

Artar (2016b), Çarbaş ve Artar (2022) çalışmalarında uyguladıkları farklı algoritma yöntemlerine göre en iyi sonucu veren algoritma yöntemine ait tasarım sonuçları tabloda verilmiştir. Bu çalışmada uygulanan karınca ve kelebek optimizasyon algoritmalarının sonuçlarının yanında korozyon etkisiyle oluşan tasarım sonuçları da Tablo 7’de gösterilmektedir. Ayrıca maksimum gerilme kapasitesi oranı, narinlik kapasitesi oranı, deplasman sınır değerleri ve analiz sayıları verilmiştir. Karınca kolonisi ve kelebek optimizasyonu algoritmalarında popülasyon sayısı 20 seçilerek 150 iterasyon adımı boyunca koşturulmuştur.

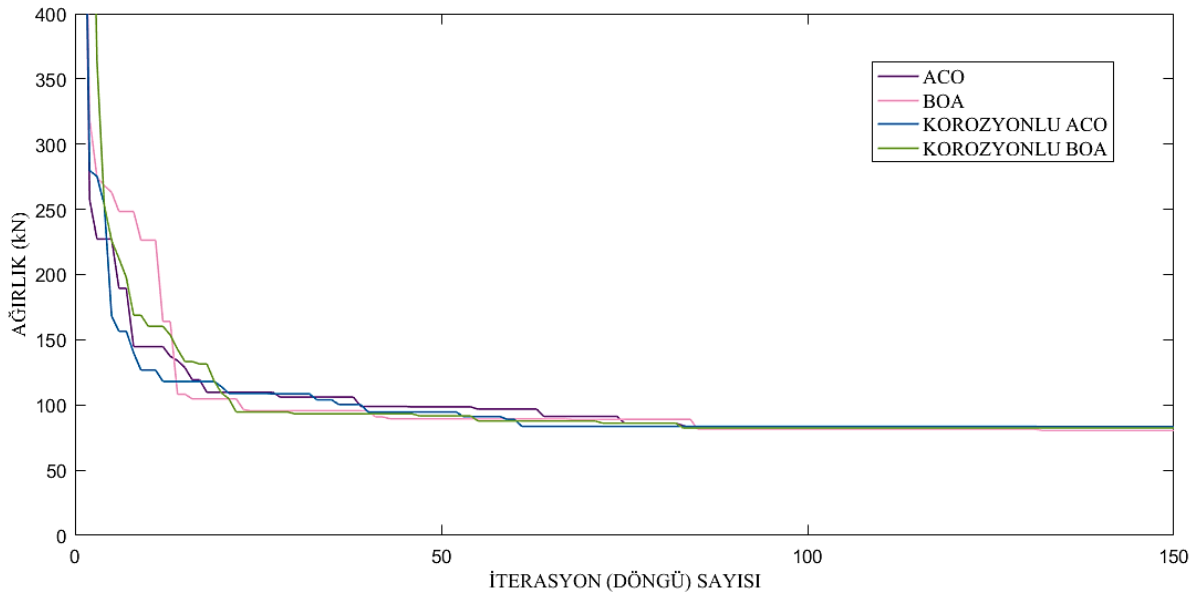
Tablo 6. 120 Elemanlı Uzay Kafes Kubbe Sistemin Optimum Sonuçları

Numara	Değişken	Optimum en kesit alan (cm <sup>2</sup> )							
		Lee ve Geem	Toğan ve Daloğlu	Artar	Çarbaş ve Artar	Bu çalışma			
		(2004)	(2008)	(2016b)	(2022)	KOROZYONSUZ		KOROZYONLU	
		HS	GA	) GA	GW	ACO	BOA	ACO	BOA
1-12	A <sub>1</sub>	21.27	17.29	17.29	21.24	20.45	20.45	20.45	20.45
13-24	A <sub>2</sub>	17.99	14.39	20.45	14.05	14.39	14.39	14.52	14.39
25-36	A <sub>3</sub>	24.98	27.74	10.97	15.61	17.29	20.45	17.29	17.29
37-60	A <sub>4</sub>	16.58	14.39	14.39	18.39	17.29	17.29	17.29	17.29
61-84	A <sub>5</sub>	7.41	5.16	9.55	8.08	5.15	5.15	6.9	6.9
85-96	A <sub>6</sub>	21.49	20.45	14.39	13.77	20.45	19.48	20.45	17.29
97-120	A <sub>7</sub>	17.94	17.29	23.74	23.26	20.45	17.49	20.45	20.45
Ağırlık (kN)		88.52	81.40	80.68	84.43	82.73	80.45	83.51	82.32
Maksimum Deplasman Sınırı (mm)						4.1	4.03	4.67	4.62
Gerilme Kapasitesi Oranı (%)						79	78	84	84
Narinlik Kapasitesi Oranı (%)						99	99	93	93
Analiz Sayısı				2400	2520	3000	3000	3000	3000

Tabloda verilen minimum ağırlık sonuçları incelendiğinde en iyi ağırlık sonucunun bu çalışmada uygulanan kelebek optimizasyon algoritması ile elde edilen 80.45 kN minimum ağırlık değeri olduğu görülmektedir. Tabloda verilen sonuçlar ile sırasıyla kelebek optimizasyon algoritmasıyla elde edilen sonuçla karşılaştırıldığında Lee ve Geem (2004) HS yöntemiyle elde edilen minimum ağırlık sonucundan yaklaşık %9.1, Toğan ve Daloğlu (2008) GA yönteminden yaklaşık %1.17, Artar (2016b) GA yönteminden yaklaşık %0.3 ve Çarbaş ve Artar (2022) GW yönteminden ağırlıkça yaklaşık %4.7 daha hafif tasarım sonucu vermiştir. Karınca optimizasyon algoritması ile elde edilen ağırlık sonucu ise kelebek optimizasyon sonucundan yaklaşık %2.8 daha ağır olan 82.73 kN minimum ağırlık değerini vermiştir. Karınca optimizasyon algoritması, uyum arama algoritması (HS) yöntemi ile Lee ve Geem (2004) in elde ettiği ağırlık sonucundan yaklaşık %6.5, gri kurt algoritması (GW) yöntemi ile Çarbaş ve Artar (2022) tarafından elde edilen sonuçtan yaklaşık %2.01 daha hafif ağırlık sonucu verdiği, Toğan ve Daloğlu (2008) genetik algoritma yönteminden yaklaşık %1.63 ve Artar (2016b) geliştirilmiş genetik algoritma yönteminden ise %2.54 daha ağır ağırlık sonucu verdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada korozyon etkisi olmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde

maksimum deplasman sınırının karınca ve kelebek algoritma yöntemleri için sırasıyla 4.1 ve 4.03 değerini verdiği, maksimum gerilme kapasitesi değeri ise sırasıyla %79 ve %78 değerini verdiği, maksimum narinlik oranının ise her iki algoritma yöntemi içinde %99 olduğu tabloda belirtilmiş ve bu değerler karşılaştırıldığında minimum ağırlık tasarımında narinlik kapasitesinin hâkim olduğu görülmektedir.

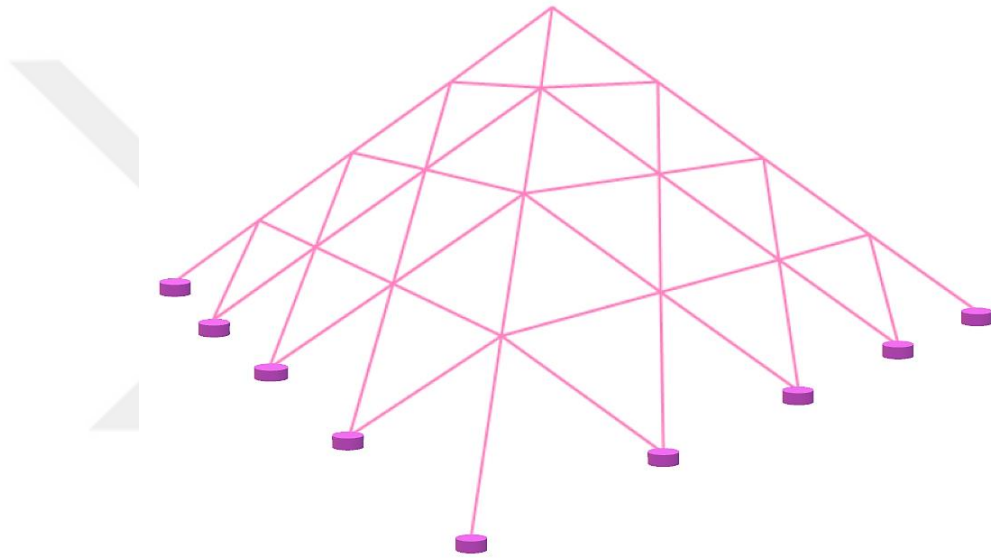
Korozyon etkisi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde kelebek optimizasyon algoritmasının karınca koloni algoritmasından ağırlıkça yaklaşık %1.45 daha hafif sonuç verdiği tabloda görülmektedir. Korozyon etkisi sonucunda ağırlık, maksimum deplasman ve gerilme kapasitesi değerleri artmış maksimum narinlik sınır değeri ise azalmıştır. Bu değerler göz önüne alındığında korozyon etkisi sonucu oluşturulan minimum tasarımda da narinlik kapasitesinin etkin olduğu tespit edilmiştir. Aşağıdaki şekilde korozyon etkisi olmadan oluşturulan karınca ve kelebek optimizasyon algoritmaları için iterasyon (döngü) sayısı ve ağırlık (kN) ilişkisini gösteren grafikler ve korozyon etkisiyle de oluşturulan grafikler birleştirilerek aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



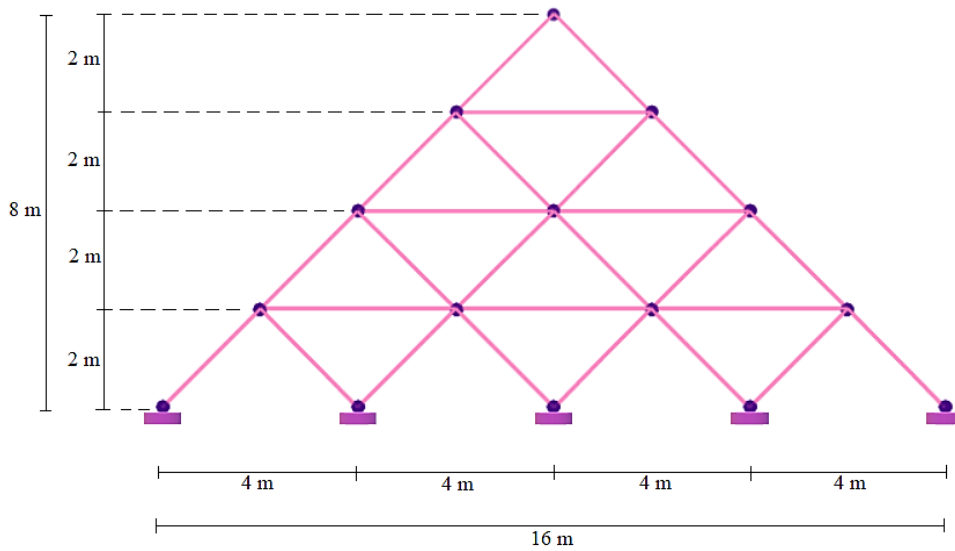
Şekil 32. Korozyon etkisinin olduğu ve korozyon etkisinin olmadığı ağırlık döngü sayısı ilişkisini gösteren grafiklerin birleşimi.

#### Uygulama 4. Yüz Altmış Elemanlı Uzak Kafes Piramit Sistem

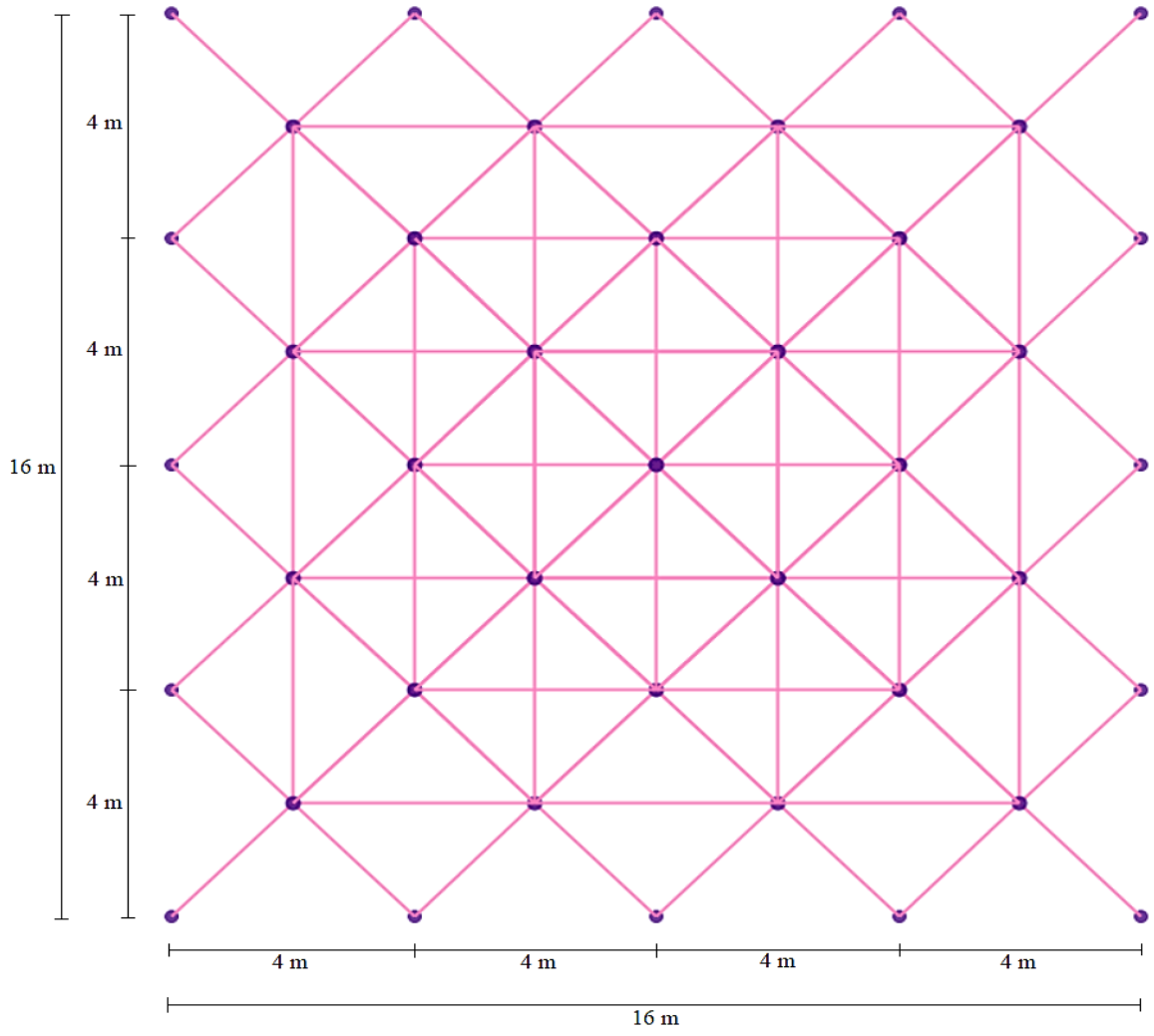
Ele alınan dördüncü tasarım örneği olan uzak kafes piramit sistem 55 düğüm noktasından bağlanan 160 çubuk elemandan oluşmuştur. Uzak kafes çelik piramit örneği daha önce farklı algoritma yöntemleri kullanılarak optimum tasarımı yapılmıştır. Hasançebi ve Çarbaş (2011) karınca kolonisi algoritmasının iki farklı varyansı olan ACO1 ve ACO2 ile, Kılıç (2018) yapay arı kolonisi (ABC), beyin fırtınası (BSO) ve biyocoğraya tabanlı optimizasyon (BBO) yöntemlerini kullanarak 160 elemanlı piramidin optimum tasarımı gerçekteşirmişlerdir. Eleman kesitleri AISC standardından alınan 37 adet çelik boru profil arasından minimum ağırlığı sağlayacak ve AISC-ASD (1989) standardında ki kısıtlamalara uyacak şekilde seçilmiştir. Aşağıdaki şekillerde piramit sistemin geometri bilgisi verilmiştir.



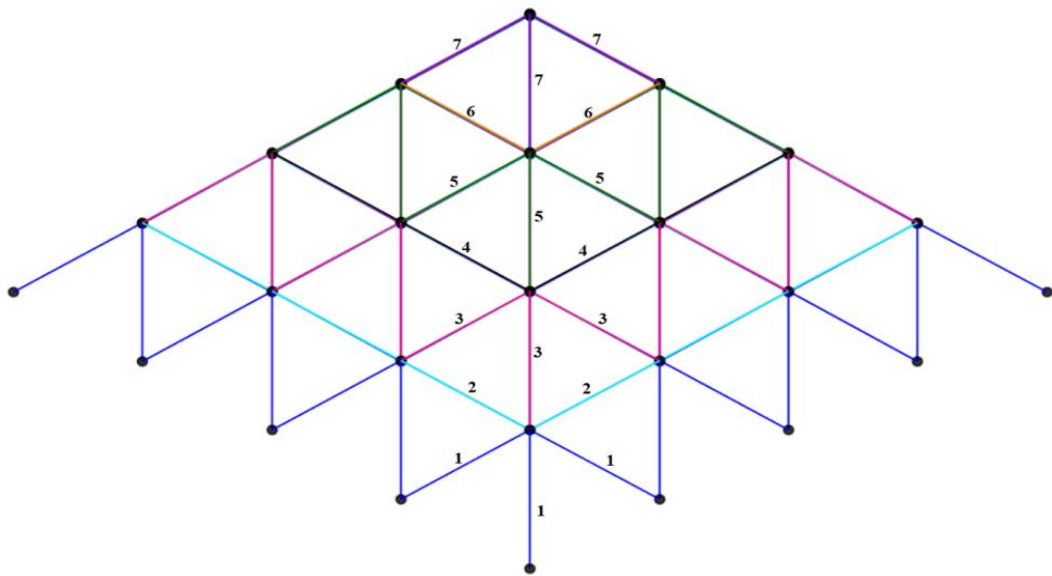
şekil 33. Uzak kafes piramit 3 boyutlu görünüşü.



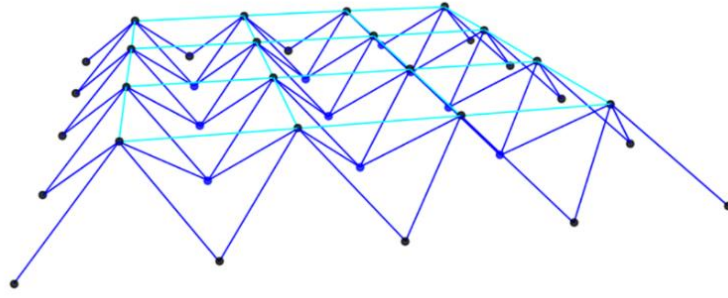
şekil 34. Uzak kafes piramit sistemin kesit görünüşü.



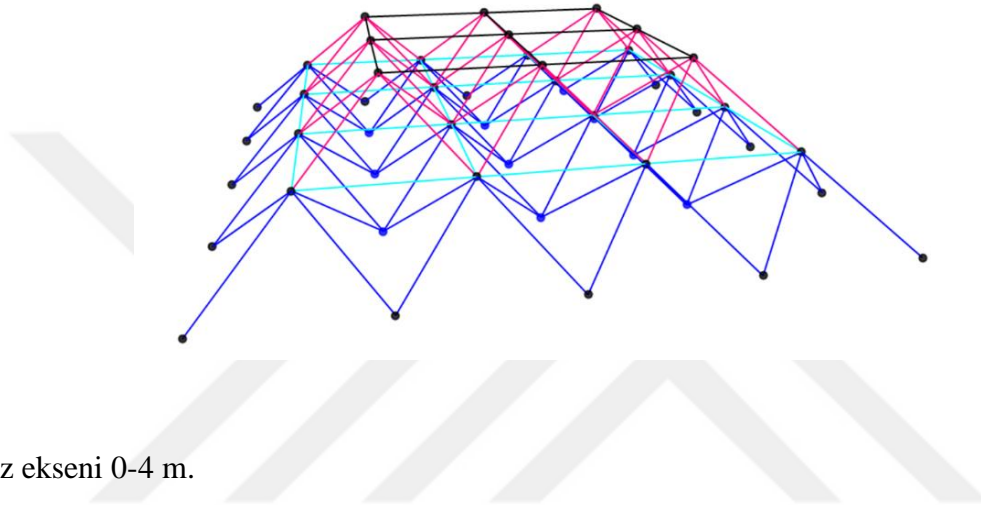
Şekil 35. Uzay kafes piramit sistemin plan görünüşü.



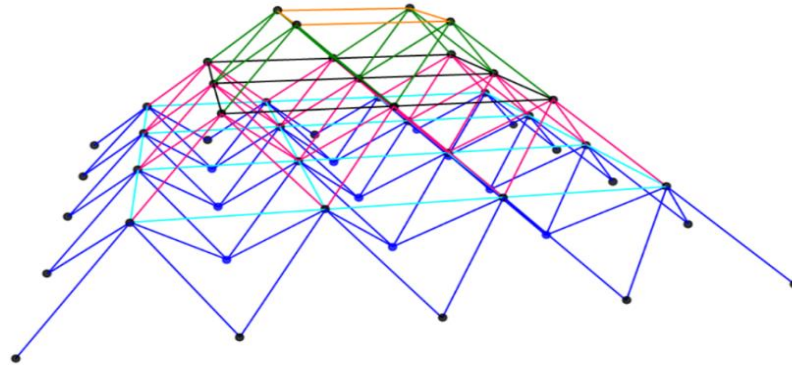
Şekil 36. Uzay kafes piramit sistemin çubuk eleman gruplandırılmasının gösterimi.



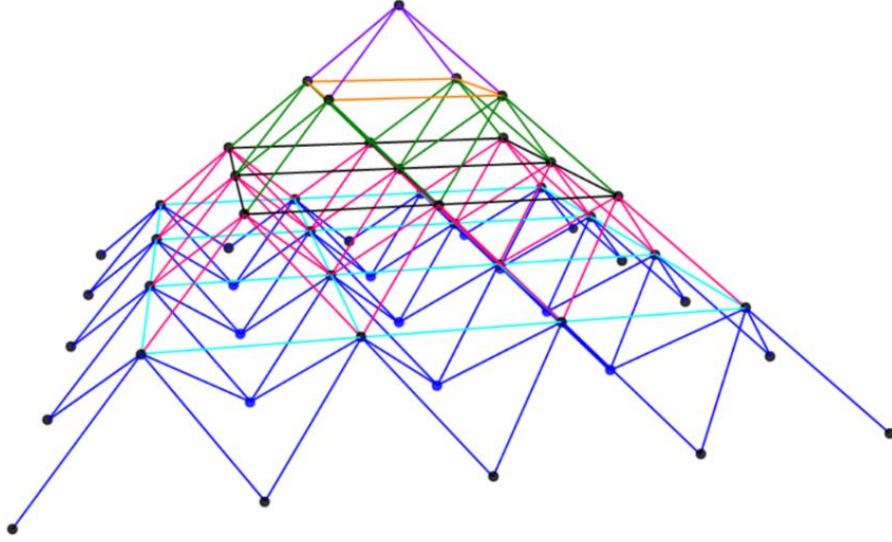
a) z akseni 0-2 m.



b) z akseni 0-4 m.



c) z akseni 0-6 m.



d) z ekseni 0-8 m.

Şekil 37. a), b), c), d) z ekseni boyunca artan 3 boyut görünümü.

Piramit sistemin taban kenar uzunlukları 16 m ve toplam yüksekliği 8 m'dir. Çubuk elemanların yapının boyut ve simetri değerlendirmelerine göre 7 farklı tasarım grubu oluşturulmuştur. Tasarım amacıyla piramit sistemin tüm düğüm noktalarına z ekseni yönünde  $-8.53$  kN yük etki ettirilmiştir. Piramit sistemin tüm düğüm noktaları her yönde maksimum 4.45 cm deplasman yapacak şekilde sınırlandırılmıştır. Malzemenin elastisite modülü 29.000 ksi (203893.6 MPa), akma dayanımı  $F_y$  36 ksi (253.1 MPa) olarak alınmıştır.

Bu çalışmada karınca kolonisi optimizasyonu kullanılarak 160 elemanlı uzay kafes piramit sistemin tasarımı için geliştirilen programda karınca sayısı 20 ve iterasyon sayısı 500 alınarak çalıştırılmıştır. Kelebek optimizasyon algoritması uygulanarak 160 elemanlı uzay kafes piramit sistemin tasarımı için geliştirilen programda kelebek sayısı 20 ve iterasyon sayısı 500 alınarak çalıştırılmıştır.

Tasarımda kullanılan 37 adet boru profil kesit bilgilerine Tablo 8'de verilmiştir. Korozyon etkisi olduğunda, statik çözümlerde kesit alanı, narinlik ve eylemsizlik yarıçapında korozyon tabakasına bağlı olarak kesitle ilgili risk oluşmaktadır. Sonlu elemanlar çözümünde bu risk elemanın narinlik, kesit alanı ve eylemsizlik yarıçapı değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu risk 160 elemanlı uzay kafes piramit sistem uygulamasında optimum tasarım için kullanılan 37 adet boru profil üzerinde de olduğu varsayılarak sayısal veriler kullanılıp gerekli hesaplamalar yapılarak Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 7. Optimum Tasarımda Kullanılacak 37 Boru Kesit Bilgisi

No	İsim	t3 cm	tw cm	A cm <sup>2</sup>	R33 cm
1	P.5	2.1336	0.2769	1.61	0.6624
2	P.75	2.667	0.287	2.15	0.8467
3	P1	3.3401	0.3378	3.19	1.0659
4	P1.25	4.2164	0.3556	4.32	1.3713
5	P1.5	4.826	0.3683	5.15	1.5821
6	P10	27.305	0.9271	76.77	9.3427
7	P12	32.385	0.9525	94.19	11.1035
8	P2	6.0325	0.3912	6.9	2.0039
9	P2.5	7.3025	0.5156	10.97	2.4097
10	P3	8.89	0.5486	14.39	2.9559
11	P3.5	10.16	0.574	17.29	3.3957
12	P4	11.43	0.602	20.45	3.836
13	P5	14.13	0.6553	27.74	4.7755
14	P6	16.8275	0.7112	36	5.6999
15	P8	21.9075	0.8179	54.19	7.4621
16	PX.5	2.1336	0.3734	2.06	0.635
17	PX.75	2.667	0.3912	2.79	0.8188
18	PX1	3.3401	0.4547	4.12	1.0345
19	PX1.25	4.2164	0.4851	5.68	1.3312
20	PX1.5	4.826	0.508	6.9	1.5354
21	PX10	27.305	1.27	103.87	9.217
22	PX12	32.385	1.27	123.87	11.029
23	PX2	6.0325	0.5537	9.55	1.9452
24	PX2.5	7.3025	0.701	14.52	2.3464
25	PX3	8.89	0.762	19.48	2.8827
26	PX3.5	10.16	0.8077	23.74	3.3181
27	PX4	11.43	0.856	28.45	3.7495
28	PX5	14.13	0.9525	39.42	4.6752
29	PX6	16.8275	1.0973	54.19	5.5773
30	PX8	21.9075	1.27	82.58	7.3094
31	PXX2	6.0325	1.1074	17.16	1.7825
32	PXX2.5	7.3025	1.4021	26	2.1435
33	PXX3	8.89	1.524	35.29	2.658
34	PXX4	11.43	1.712	52.26	3.4909
35	PXX5	14.13	1.905	72.9	4.3799
36	PXX6	16.8275	2.1946	100.64	5.2363
37	PXX8	21.9075	2.2225	137.42	7.0049

Tablo 8. 37 Boru Kesitin Korozyon Etkisi Sonucu Değişen Kesit Bilgisi

No	İsim	t3 cm	tw cm	A cm <sup>2</sup>	R33 cm
1	P.5	2.0677	0.24394	1.389072	0.6506
2	P.75	2.6011	0.25404	1.87384	0.8347
3	P1	3.2742	0.30484	2.844142	1.0554
4	P1.25	4.1505	0.32264	3.883404	1.3582
5	P1.5	4.7601	0.33534	4.650282	1.5689
6	P10	27.2391	0.89414	73.94265	9.3197
7	P12	32.3191	0.91954	90.83663	11.1062
8	P2	5.9666	0.35824	6.275352	1.9869
9	P2.5	7.2366	0.48264	10.21385	2.394
10	P3	8.8241	0.51564	13.46947	2.9431
11	P3.5	10.0941	0.54104	16.23796	3.3829
12	P4	11.3641	0.56904	19.26646	3.8219
13	P5	14.0641	0.62234	26.27688	4.7575
14	P6	16.7616	0.67824	34.25756	5.6914
15	P8	21.8416	0.78494	51.92154	7.4498
16	PX.5	2.0677	0.34044	1.839072	0.6224
17	PX.75	2.6011	0.35824	2.51384	0.803
18	PX1	3.2742	0.42174	3.774142	1.0195
19	PX1.25	4.1505	0.45214	5.243404	1.3173
20	PX1.5	4.7601	0.47504	6.400282	1.5243
21	PX10	27.2391	1.23704	101.0426	9.2035
22	PX12	32.3191	1.23704	120.5166	10.9979
23	PX2	5.9666	0.52074	8.925352	1.9342
24	PX2.5	7.2366	0.66804	13.76385	2.3343
25	PX3	8.8241	0.72904	18.55947	2.8736
26	PX3.5	10.0941	0.77474	22.68796	3.3063
27	PX4	11.3641	0.82304	27.26646	3.7382
28	PX5	14.0641	0.91954	37.95688	4.6587
29	PX6	16.7616	1.06434	52.44756	5.5626
30	PX8	21.8416	1.23704	80.31154	7.2979
31	PXX2	5.9666	1.07444	16.53535	1.7709
32	PXX2.5	7.2366	1.36914	25.24385	2.1302
33	PXX3	8.8241	1.49104	34.36947	2.6457
34	PXX4	11.3641	1.67904	51.07646	3.4753
35	PXX5	14.0641	1.87204	71.43688	4.3611
36	PXX6	16.7616	2.16164	98.89756	5.2181
37	PXX8	21.8416	2.18954	135.1515	6.9911

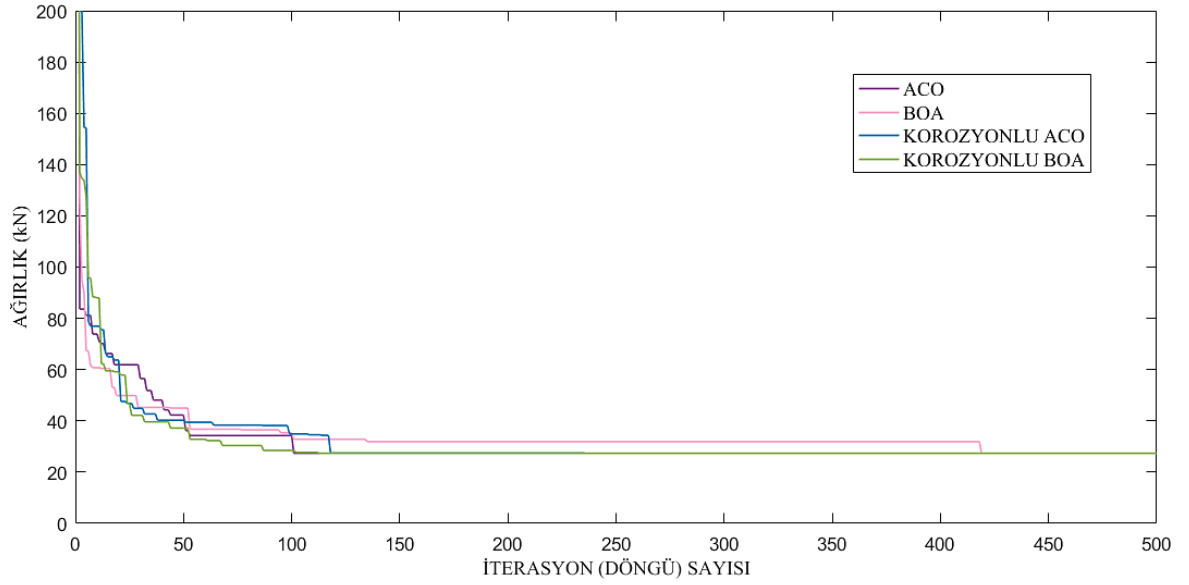
Aşağıdaki tabloda optimum tasarım sonuçları verilmiştir. Ayrıca korozyon riski sonucu oluşan tasarım sonuçları da tabloda gösterilmiştir.

Tablo 9. 160 Elemanlı Çelik Uzay Kafes Piramit Sistemin Optimum Sonuçları

Numara	Değişken	Optimum en kesit alan (cm <sup>2</sup> )							
		Hasançebi ve Çarbaş		Kılıç		Bu Çalışma			
		(2011) ACO1	(2011) ACO2	(2018) BSO	(2018) BBO	KOROZYONS		KOROZYONL	
						ACO	BOA	ACO	BOA
1-64	A <sub>1</sub>	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
65-88	A <sub>2</sub>	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25
89-124	A <sub>3</sub>	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
125-136	A <sub>4</sub>	P1.5	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25
137-152	A <sub>5</sub>	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
153-156	A <sub>6</sub>	P1.5	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25	P1.25
157-160	A <sub>7</sub>	P2.5	PX2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
Ağırlık (kN)		28.19	27.63	27.349	27.349	27.35	27.35	27.35	27.35
Maksimum Deplasman Sınırı (mm)						0.110	0.110	0.122	0.122
Gerilme Kapasitesi Oranı (%)						43	43	48	48
Narinlik Kapasitesi Oranı (%)						97	97	98	98
Analiz Sayısı		50000	50000			10000	10000	10000	10000

Tablo 10’da görüldüğü gibi bu çalışmada ACO ve BOA yöntemleri uygulanarak elde edilen sonuçlar 27.35 kN ağırlık değeri ile diğer literatür sonuçlarına benzer ya da aynı ağırlık değerini vermiştir. Bu değer Kılıç (2018) in elde ettiği tasarım sonucuyla aynı değeri vermiştir. Hasançebi ve Çarbaş (2011) in ACO1 ve ACO2 algoritma yöntemiyle elde ettiği sonuçlar sırasıyla 28.19 kN ve 27.63 kN dur. Bu çalışmada elde edilen minimum ağırlık 27.35 kN değeri ACO1 yöntemine göre elde edilen literatür sonucundan ağırlıkça yaklaşık %3, ACO2 yöntemine göre elde edilen ağırlık sonucundan ise yaklaşık %1 daha azdır. Korozyon etkisi olmadan elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde karınca ve kelebek optimizasyon algoritmaları için maksimum deplasman sınırı 0.110 mm değerini, %43 gerilme kapasitesi oranını, %97 narinlik kapasitesi oranını vermiştir. Böylece minimum ağırlık tasarımında narinlik kapasitesinin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Korozyon etkisi ile elde edilen tasarım sonuçları incelendiğinde karınca ve kelebek optimizasyon algoritmaları için maksimum deplasman sınır değeri 0.122 mm, gerilme kapasitesi oranı %48, narinlik kapasitesi oranı %98’dir. Korozyon etkisi olduğunda, statik çözümlerde kesit alanı, narinlik ve eylemsizlik

yarıçapında korozyon tabakasına bağlı olarak kesitle ilgili risk oluşmaktadır. Sonlu elemanlar çözümünde bu risk elemanın narinlik, kesit alanı ve eylemsizlik yarıçapı değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu örnekte narinlik kapasitesinin %97 değerinden korozyon etkisi sonucunda %98 değerine ulaştığı için kesitler değişmemiştir. Bu sebeple korozyon dahili ve haricinde minimum ağırlık değeri aynı olduğu görülmektedir. Korozyon etkisi ile elde edilen tasarımda da narinlik kapasitesinin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Korozyon etkisi olmadan karınca ve kelebek algoritma yöntemi için ve korozyon etkisi ile karınca ve kelebek algoritma yöntemlerinin arama geçmişleri aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 38. Piramit sisteme uygulanan korozyon etkisinin olduğu ve korozyon etkisinin olmadığı ağırlık döngü sayısı ilişkisini gösteren grafiklerin birleşimi.

### Uygulama 5. Altı Yüz Altmış Üç Elemanlı Uzay Kafes Tonoz Sistem

Son örnek olan çelik tonoz sistem Hindistan Chennai de bulunan Thirumailai Tren İstasyonu'nun çatısını kaplamak için inşa edilmiş yapıdır. Sistem 693 çubuk elemanın 259 düğüm noktasından birleşmesi ile oluşmaktadır. Aşağıdaki şekilde yapının gerçek görüntüsüne yer verilmiştir. Bu örnek daha önce Hasańebi ve Çarbaş (2011) karınca koloni algoritmasının iki farklı varyansı olan ACO1 ve ACO2 algoritma yöntemlerini uygulayarak, Eser (2014) yapay arı koloni algoritması (ABC) yöntemini uygulayarak sistemin optimum ağırlık tasarımı gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 39. Thirumailai Tren İstasyonu'nun çatısı, Chennai, Hindistan (URL-14).

Tüm düğüm noktalarının yer değiştirmeleri x, y, z yönlerinde maksimum 0.1 inç (0.254 cm) değeri ile sınırlıdır. Yapısal çelik elemanlar AISC-ASD (1989) standardından alınan 37 adet boru kesitten oluşmaktadır. Malzemenin elastisite modülü 29.000 ksi (203893.6 MPa), akma dayanımı  $F_y$  36 ksi (253.1 MPa) olarak alınmıştır.

Tonoz sistemin ölü yük (DL) ve rüzgâr yükü (WL) etkisine maruz kaldığı varsayılarak bu yükler ile aşağıda belirtildiği gibi z eksen yönünde iki yük kombinasyonu oluşturulmuştur.

Yükler;

$$\text{Ölü Yük (DL)} = 35 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pozitif Rüzgar Yükü (+WL)} = 160 \text{ kg/m}^2$$

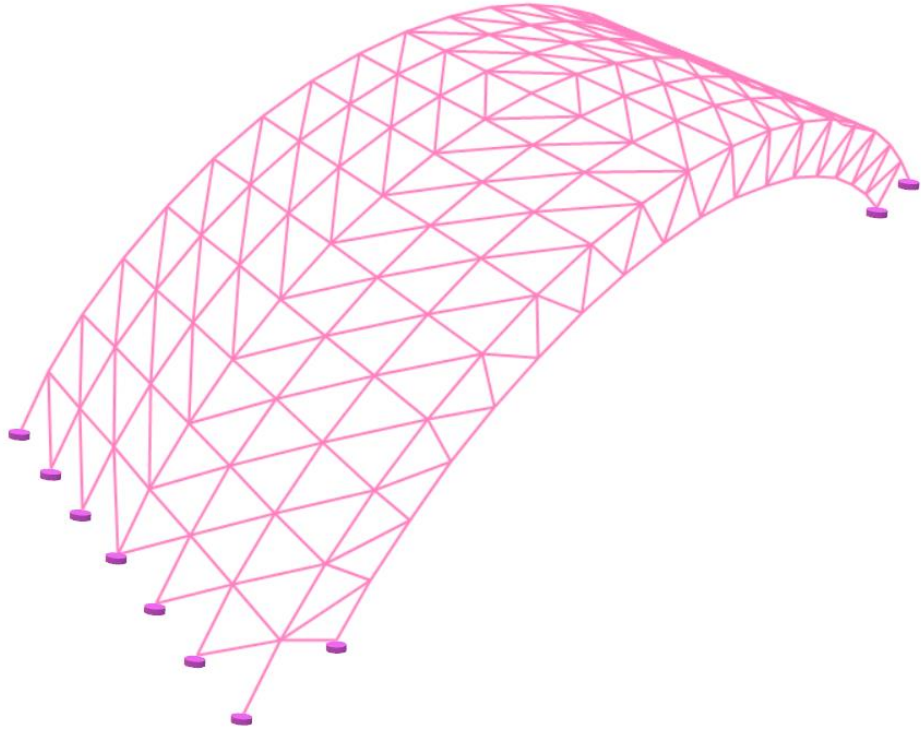
$$\text{Negatif Rüzgar Yükü (-WL)} = -240 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasyonlar;

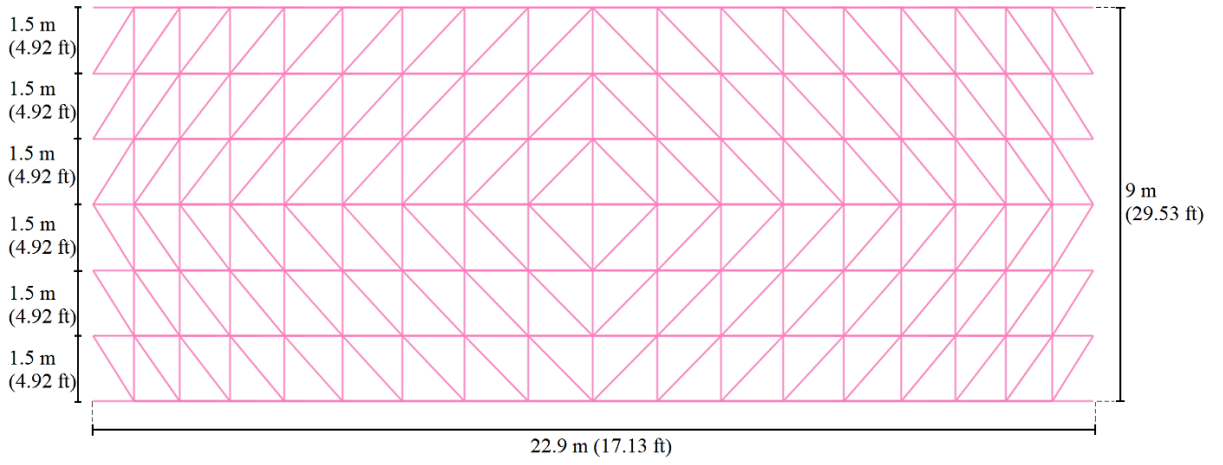
$$\text{Kombinasyon 1: } 1.5(\text{DL} + \text{WL}) = 1.5(35 + 160) = +292.5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Kombinasyon 2: } 1.5(\text{DL} - \text{WL}) = 1.5(35 - 240) = -307.5 \text{ kg/m}^2$$

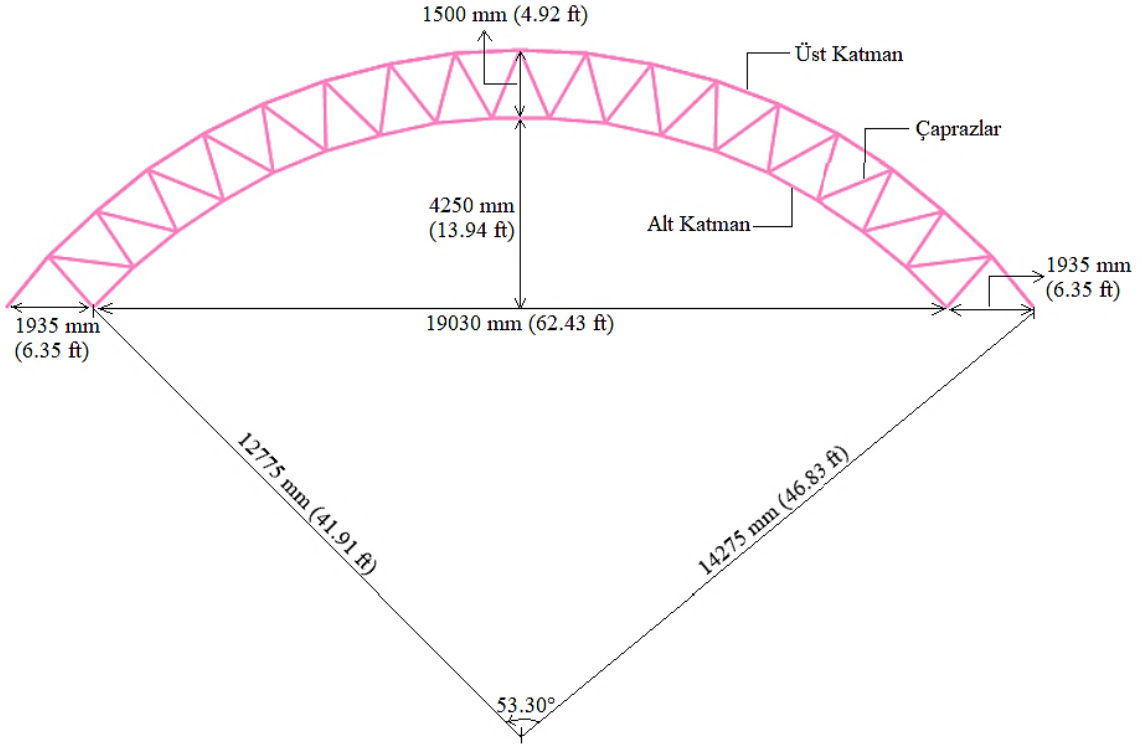
Deplasman sınırlayıcısının yanı sıra gerilme ve narinlik sınırlayıcıları da AISC-ASD (1989) standardına uygun olarak dikkate alınmıştır. Yapı merkez çizgisine göre simetrik olup üç boyutlu görüntüsü ve geometri bilgisi aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 40. 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelin 3D görünüşü.

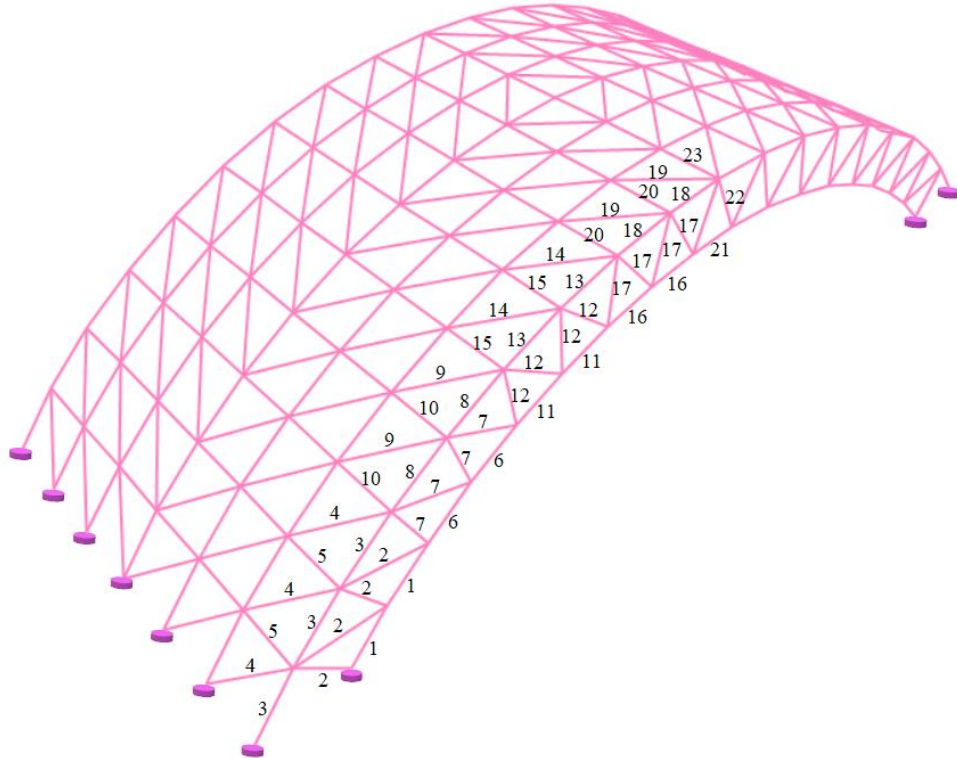


Şekil 41. 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelin plan görünüşü.



Şekil 42. 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelin kesit görünüşü.

Çubuk elemanlar boyut ve konum benzerliklerine göre 23 grup oluşturulmuştur.



Şekil 43. 693 elemanlı uzay kafes tonoz modelin gruplandırılması.

Tablo 10. 693 Elemanlı Uzay Kafes Tonoz Modelin Gruplandırılması

Grup No	Çubuk No	Toplam Eleman Sayısı
1	1-28	28
2	29-84	56
3	85-126	42
4	127-162	36
5	163-186	24
6	187-214	28
7	215-270	56
8	271-298	28
9	299-322	24
10	323-346	24
11	347-374	28
12	375-430	56
13	431-458	28
14	459-482	24
15	483-506	24
16	507-534	28
17	535-590	56
18	591-618	28
19	619-642	24
20	643-666	24
21	667-673	7
22	674-687	14
23	688-693	6

Korozyon etkisi olduğunda, statik çözümlerde kesit alanı, narinlik ve eylemsizlik yarıçapında korozyon tabakasına bağlı olarak kesitle ilgili risk oluşmaktadır. Sonlu elemanlar çözümünde bu risk elemanın narinlik, kesit alanı ve eylemsizlik yarıçapı değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu risk 693 elemanlı uzay kafes tonoz sistem uygulamasında optimum tasarım için kullanılan 37 adet boru profil üzerinde de olduğu varsayılarak sayısal veriler kullanılıp gerekli hesaplamalar yapılarak Tablo 13' de gösterilmiştir.

Tablo 11. *Optimum Tasarımda Kullanılacak 37 Boru Kesit Bilgisi*

No	İsim	t3	tw	A	R33
		cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm
1	P.5	2.1336	0.2769	1.61	0.6624
2	P.75	2.667	0.287	2.15	0.8467
3	P1	3.3401	0.3378	3.19	1.0659
4	P1.25	4.2164	0.3556	4.32	1.3713
5	P1.5	4.826	0.3683	5.15	1.5821
6	P10	27.305	0.9271	76.77	9.3427
7	P12	32.385	0.9525	94.19	11.1035
8	P2	6.0325	0.3912	6.9	2.0039
9	P2.5	7.3025	0.5156	10.97	2.4097
10	P3	8.89	0.5486	14.39	2.9559
11	P3.5	10.16	0.574	17.29	3.3957
12	P4	11.43	0.602	20.45	3.836
13	P5	14.13	0.6553	27.74	4.7755
14	P6	16.8275	0.7112	36	5.6999
15	P8	21.9075	0.8179	54.19	7.4621
16	PX.5	2.1336	0.3734	2.06	0.635
17	PX.75	2.667	0.3912	2.79	0.8188
18	PX1	3.3401	0.4547	4.12	1.0345
19	PX1.25	4.2164	0.4851	5.68	1.3312
20	PX1.5	4.826	0.508	6.9	1.5354
21	PX10	27.305	1.27	103.87	9.217
22	PX12	32.385	1.27	123.87	11.029
23	PX2	6.0325	0.5537	9.55	1.9452
24	PX2.5	7.3025	0.701	14.52	2.3464
25	PX3	8.89	0.762	19.48	2.8827
26	PX3.5	10.16	0.8077	23.74	3.3181
27	PX4	11.43	0.856	28.45	3.7495
28	PX5	14.13	0.9525	39.42	4.6752
29	PX6	16.8275	1.0973	54.19	5.5773
30	PX8	21.9075	1.27	82.58	7.3094
31	PXX2	6.0325	1.1074	17.16	1.7825
32	PXX2.5	7.3025	1.4021	26	2.1435
33	PXX3	8.89	1.524	35.29	2.658
34	PXX4	11.43	1.712	52.26	3.4909
35	PXX5	14.13	1.905	72.9	4.3799
36	PXX6	16.8275	2.1946	100.64	5.2363
37	PXX8	21.9075	2.2225	137.42	7.0049

Tablo 12. 37 Boru Kesitin Korozyon Etkisi Sonucu Değişen Kesit Bilgisi

No	İsim	t3 cm	tw cm	A cm <sup>2</sup>	R33 cm
1	P.5	2.0677	0.24394	1.389072	0.6506
2	P.75	2.6011	0.25404	1.87384	0.8347
3	P1	3.2742	0.30484	2.844142	1.0554
4	P1.25	4.1505	0.32264	3.883404	1.3582
5	P1.5	4.7601	0.33534	4.650282	1.5689
6	P10	27.2391	0.89414	73.94265	9.3197
7	P12	32.3191	0.91954	90.83663	11.1062
8	P2	5.9666	0.35824	6.275352	1.9869
9	P2.5	7.2366	0.48264	10.21385	2.394
10	P3	8.8241	0.51564	13.46947	2.9431
11	P3.5	10.0941	0.54104	16.23796	3.3829
12	P4	11.3641	0.56904	19.26646	3.8219
13	P5	14.0641	0.62234	26.27688	4.7575
14	P6	16.7616	0.67824	34.25756	5.6914
15	P8	21.8416	0.78494	51.92154	7.4498
16	PX.5	2.0677	0.34044	1.839072	0.6224
17	PX.75	2.6011	0.35824	2.51384	0.803
18	PX1	3.2742	0.42174	3.774142	1.0195
19	PX1.25	4.1505	0.45214	5.243404	1.3173
20	PX1.5	4.7601	0.47504	6.400282	1.5243
21	PX10	27.2391	1.23704	101.0426	9.2035
22	PX12	32.3191	1.23704	120.5166	10.9979
23	PX2	5.9666	0.52074	8.925352	1.9342
24	PX2.5	7.2366	0.66804	13.76385	2.3343
25	PX3	8.8241	0.72904	18.55947	2.8736
26	PX3.5	10.0941	0.77474	22.68796	3.3063
27	PX4	11.3641	0.82304	27.26646	3.7382
28	PX5	14.0641	0.91954	37.95688	4.6587
29	PX6	16.7616	1.06434	52.44756	5.5626
30	PX8	21.8416	1.23704	80.31154	7.2979
31	PXX2	5.9666	1.07444	16.53535	1.7709
32	PXX2.5	7.2366	1.36914	25.24385	2.1302
33	PXX3	8.8241	1.49104	34.36947	2.6457
34	PXX4	11.3641	1.67904	51.07646	3.4753
35	PXX5	14.0641	1.87204	71.43688	4.3611
36	PXX6	16.7616	2.16164	98.89756	5.2181
37	PXX8	21.8416	2.18954	135.1515	6.9911

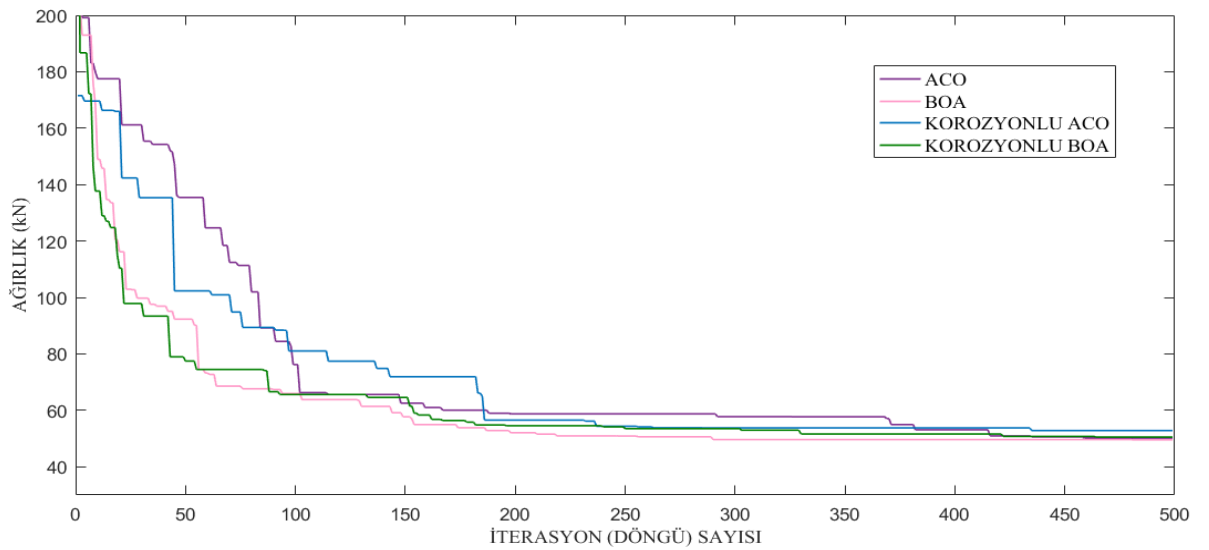
Korozyon etkisi olmadan ve korozyon etkisi olan minimum ağırlıklı analiz sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile literatürde yer alan farklı algoritma yöntemleri ile analizi gerçekleştirilen tonoz sistemin optimum ağırlık sonuçları karşılaştırılacaktır.

Tablo 13. 693 Elemanlı Uzay Kafes Tonoz Sistemin Optimum Tasarım Sonuçları

No	Değişkenler	Optimum en kesit alan (cm <sup>2</sup> )						
		Hasançebi ve Çarbaş (2011)		Eser (2014) ABC	Bu çalışma			
		ACO2	ACO1		KOROZYONSUZ		KOROZYONLU	
				ACO	BOA	ACO	BOA	
1	A <sub>1</sub>	20.45	19.48	19.48	17.16	23.74	27.74	23.74
2	A <sub>2</sub>	3.18	6.90	3.18	5.15	3.19	3.19	3.19
3	A <sub>3</sub>	4.32	3.18	2.15	5.68	2.79	3.19	3.19
4	A <sub>4</sub>	5.68	5.68	3.18	3.19	6.9	4.32	5.68
5	A <sub>5</sub>	2.15	4.32	2.15	3.19	2.79	4.12	2.15
6	A <sub>6</sub>	27.74	28.45	25.99	19.48	19.48	19.48	17.29
7	A <sub>7</sub>	4.32	4.32	4.12	4.32	4.12	5.15	5.68
8	A <sub>8</sub>	5.68	6.90	3.18	4.12	4.12	4.32	5.15
9	A <sub>9</sub>	23.74	17.16	3.18	3.19	3.19	5.68	3.19
10	A <sub>10</sub>	4.32	5.68	2.15	2.79	4.32	2.15	2.15
11	A <sub>11</sub>	2.79	3.18	14.39	14.39	9.55	6.9	14.52
12	A <sub>12</sub>	5.16	4.12	6.90	6.9	5.68	6.9	5.68
13	A <sub>13</sub>	5.16	5.68	6.90	6.9	4.12	6.9	4.32
14	A <sub>14</sub>	4.32	9.55	3.18	3.19	4.32	3.19	4.32
15	A <sub>15</sub>	2.79	2.15	2.79	2.15	2.15	2.15	2.15
16	A <sub>16</sub>	5.16	5.16	4.32	4.32	5.68	5.15	6.9
17	A <sub>17</sub>	9.55	10.97	4.12	4.32	3.19	5.15	4.12
18	A <sub>18</sub>	4.32	4.32	17.16	10.97	14.52	14.39	10.97
19	A <sub>19</sub>	4.32	5.16	3.18	3.19	5.15	6.9	4.32
20	A <sub>20</sub>	2.15	6.90	2.15	5.15	4.12	2.15	2.15
21	A <sub>21</sub>	14.52	20.45	3.18	5.15	3.19	3.19	5.68
22	A <sub>22</sub>	5.16	3.18	2.15	3.19	3.19	2.15	6.9
23	A <sub>23</sub>	2.15	2.79	2.15	6.9	2.15	5.15	5.15
Ağırlık (kg)		5503.65	6068.69	5001.8	5116.03	5054.13	5386.99	5155.80
Maksimum Deplasman Sınırı (cm)					2.42	2.43	2.42	2.53
Gerilme Kapasitesi Oranı (%)					33	70	89	71
Narinlik Kapasitesi Oranı (%)					92	92	90	90
Analiz Sayısı		50000	50000		10000	10000	10000	10000

693 elemanlı çelik uzay tonoz sistemin optimum ağırlık tasarımı ilk olarak Hasançebi ve Çarbaş (2011) karınca koloni algoritmasının iki farklı varyansı olan ACO1 ve ACO2 algoritma yöntemlerini kullanarak minimum ağırlık değerlerini sırasıyla 6068.69 kg ve 5503.65 kg olarak elde etmişlerdir. Eser (2014) ise yapay arı koloni algoritması (ABC) yöntemini uygulayarak en iyi minimum ağırlık sonucu olan 5001.8 kg değerini elde etmiştir. Bu çalışmada karınca kolonisi algoritma yöntemi ile elde edilen 5116.03 kg ağırlık değeri ACO1 e göre yaklaşık %7, ACO2 ye göre yaklaşık %15.7 daha hafif, ABC yöntemine göre ise %2.3 daha ağırdır. Kelebek optimizasyon algoritması ile elde edilen 5054.13 kg ağırlık değeri ACO1 e göre yaklaşık %8.2, ACO2 ye göre yaklaşık %16.7 daha hafif ABC yöntemine göre ise %1.05 daha ağırdır. Bu çalışmada kelebek optimizasyon algoritması karınca optimizasyon algoritmasına göre %1.2 daha hafif sonuç vermiştir.

Korozyon etkisi olmadan elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde karınca ve kelebek optimizasyon algoritmaları için sırasıyla maksimum deplasman sınırı 2.42 cm ve 2.43 cm değerini, %33 ve %70 gerilme kapasitesi oranını ve her ikisi için aynı olan %92 narinlik kapasitesi oranını vermiştir. Böylece minimum ağırlık tasarımında narinlik kapasitesinin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Korozyon etkisi ile elde edilen tasarım sonuçları incelendiğinde karınca ve kelebek optimizasyon algoritmaları için sırasıyla 2.42 cm ve 2.53 cm maksimum deplasman sınır değerini, gerilme kapasitesi oranı %89 ve %71 değerini, narinlik kapasitesi oranı her iki yöntem içinde %90'dır. Korozyon etkisi ile elde edilen tasarımda da narinlik kapasitesinin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Korozyon etkisi olmadan karınca ve kelebek algoritma yöntemi için ve korozyon etkisi ile karınca ve kelebek algoritma yöntemlerinin arama geçmişleri aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 44. Tonoz sisteme uygulanan korozyon etkisinin olduğu ve korozyon etkisinin olmadığı ağırlık döngü sayısı ilişkisini gösteren grafiklerin birleşimi.

## SEKİZİNCİ BÖLÜM

### Sonuç ve Öneriler

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, düzlem kafes ve uzay kafes çatı sistemlerin karınca kolonisi ve kelebek optimizasyon algoritma yöntemlerini kullanarak minimum ağırlık tasarımı gerçekleştirilmiştir. Korozyon etkisi olduğunda, statik çözümlerde kesit alanı, narinlik ve eylemsizlik yarıçapında korozyon tabakasına bağlı olarak kesitle ilgili risk oluşmaktadır. Sonlu elemanlar çözümünde bu risk elemanın narinlik, kesit alanı ve eylemsizlik yarıçapı değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu çalışmada korozyon etkisi için bu riskli durum statik çözümlerde dikkate alınarak optimum çözümler yenilenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tüm bu tasarım problemleri için MATLAB program dilinde analiz programı yazılmıştır. Sunulan yöntemlerin geçerliliği literatürden hazır alınan 2 adet düzlem kafes ve 3 adet çelik uzay çatı kafes üzerinde test edilmiştir. Analiz sonuçları tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Bu çalışmada elde edilen minimum ağırlık sonuçlarının, literatür sonuçlarına yakın veya daha iyi sonuçlar verdiğine ulaşılmıştır. Böylece bu çalışmada sunulan algoritmaların uygulanabilir ve sağlam performans gösteren yöntemler olduğu görülmüştür. Bu çalışmada uygulanan karınca kolonisi ve kelebek optimizasyon algoritma yöntemleri kendi aralarında kıyaslandığında ise kelebek optimizasyon algoritma yönteminin (BOA), karınca koloni algoritma yöntemine göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

120 elemanlı kubbe örneğinde korozyon etkisi yapı ağırlığını, ACO yöntemi ile tasarımında yaklaşık %1 oranında, BOA yöntemi ile tasarımında ise yaklaşık %2.3 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir.

160 elemanlı uzay kafes piramit örneğinde korozyon etkisi yapı ağırlığında bir değişikliğe sebep olmamıştır. Fakat narinlik kapasitesi oranı %1 civarında artış olmuştur. Ancak bu oranda %100 lük tam kapasiteye ulaşamadığı için yapı ağırlığında bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

693 elemanlı tonoz sistem örneğinde korozyon etkisi yapı ağırlığını, ACO yöntemi ile tasarımında yaklaşık %5 oranında, BOA yöntemi ile tasarımında ise yaklaşık %2 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir.

Analiz sonuçlarında, korozyon etkisi altındaki farklı kafes çatı problemleri incelendiğinde yapının geometrisi, eleman sayısı, yükleme tipi vb. etmenlere bağlı olarak yapının ağırlığını bir miktar arttırdığı görülmüştür.

Sayısal örneklerde; on elemanlı sistemde ve on yedi elemanlı sistemde deplasman sınırının, yüz yirmi elemanlı sistem, yüz altmış elemanlı sistem ve altı yüz doksan üç elemanlı sistemde narinlik kapasitesinin hâkim olduğu, optimum tasarımlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

Farklı yapı sistemlerinde korozyon riski durumu araştırılabilir.

Bu çalışmada uygulanan güncel algoritma yöntemi olan kelebek optimizasyon algoritma yöntemi farklı çalışmalarda uygulanabilir.



## Kaynakça

- Abed, G. R. (2020). *Güncel metasezgisel optimizasyon algoritmalarının çelik yapıların optimum boyutlandırılması problemi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 623788)
- AISC-ASD (1989). *Allowable Stress Design American Institute of Steel Construction, Chicago*
- Akyol, S., & Alataş, B. (2012). Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi*, 1, 36–50. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nufbed/issue/27853/294758> adresinden edinilmiştir.
- Arora, S., & Singh, S. (2019). Butterfly optimization algorithm: a novel approach for global optimization. *Soft Computing*, 23(3), 715–734. doi:10.1007/s00500-018-3102-4
- Artar, M. (2015). *Kompozit kirişli çelik çerçevelerin genetik algoritma ile optimizasyonu* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 397328)
- Artar, M. (2016a). Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile uzay kafes kule yapı sisteminin optimum boyutlandırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 471–480. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/302810> adresinden edinilmiştir.
- Artar, M. (2016b). A comparative study on optimum design of multi-element truss structures. *Steel and Composite Structures*, 22(3), 521–535. doi:10.12989/scs.2016.22.3.521
- Artar, M., Catar, R., & Daloglu, A. T. (2017). Optimum design of steel bridges including corrosion effect using TLBO. *Structural Engineering and Mechanics*, 63(5), 607–615. doi:10.12989/sem.2017.63.5.607
- 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. doi:10.12989/sem.2019.71.1.001
- Asl, R. N., Aslani, M., & Panahi, M. S. (2013). Sizing optimization of truss structures using a hybridized genetic algorithm. <http://arxiv.org/abs/1306.1454> adresinden edinilmiştir.
- Aydoğdu, İ. (2010). *Optimum desing of 3-D irregular steel frames using ant colony optimization and harmony search algorithms*. <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12611850/index.pdf> adresinden edinilmiştir.
- Berke L., & Khot NS. (1984) *Structural Optimization Using Optimality Criteria Methods*. Chichester, England and New York: Wiley-Interscience
- Camp, C. V., & Bichon, B. J. (2004). Design of space trusses using ant colony optimization. *Journal of Structural Engineering*, 130(5), 741–751. doi:10.1061/(asce)0733-9445(2004)130:5(741)
- Carbas, S., & Artar, M. (2022). Comparative seismic design optimization of spatial steel dome structures through three recent metaheuristic algorithms. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 16(1), 57–74. doi:10.1007/s11709-021-0784-y
- Carbas, S., Aydogdu, I., & Saka, M. P. (2013, May). *A comparative study of three metaheuristics for optimum design of engineering structures*. 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, Orlando, Florida, USA
- Çarbaş, S., Aydoğdu, İ., Saka, M. P., & Akin, A. (2016). Use of swarm intelligence in structural steel desing optimization. 7, 43–73. doi:10.1007/978-3-319-26245-1

- Çelik, Y., Yıldız, İ., & Karadeniz, A. T. (2019). Son Üç Yılda Geliştirilen Metasezgisel Algoritmalar Hakkında Kısa Bir İnceleme. *European Journal of Science and Technology*, 463–447 doi:10.31590/ejosat.638431
- Chamoret, D., Qiu, K., & Domaszewski, M. (2009). Optimization of truss structures by a stochastic method. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 3(1), 321–325. doi:10.1051/ijsmdo:2009005.
- Chandrupatla, T. R., & Belegundu, A.D., (2017). *Mühendislikte sonlu elemanlara giriş*, (Prof.Dr. Sami Karadeniz, çev. ed.). istanbul: Avcılar. (Çalışmanın orijinali 1992’te yayımlanmıştır.)
- Coloni, A., Dorigo, M., & Maniezzo, V. (1991). Distributed optimization by ant colonies. *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*, Paris, France, Elsevier.134–142. <https://www-public.imtbs-tsp.eu/~gibson/Teaching/Teaching-ReadingMaterial/ColoniDorigoManiezzo91.pdf> adresinden edinilmiştir.
- Dede, T., Grzywiński, M., & Selejdak, J. (2020). Continuous size optimization of large-scale dome structures with dynamic constraints. *Structural Engineering and Mechanics*, 73(4), 397–405. doi:10.12989/sem.2020.73.4.397
- Değertekin, Ö. S. (2011). Çelik çerçevelerin armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı, *New World Sciences Academy*, 6, 651–662. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/186235> adresinden edinilmiştir.
- Degertekin, S. O., Lamberti, L., & Ugur, I. B. (2018). Sizing, layout and topology design optimization of truss structures using the Jaya algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 70, 903–928. doi:10.1016/j.asoc.2017.10.001
- Degertekin, S. O., Lamberti, L., & Ugur, I. B. (2019). Discrete sizing/layout/topology optimization of truss structures with an advanced Jaya algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 79, 363–390. doi:10.1016/j.asoc.2019.03.058
- Erbatur, F., Hasançebi, O., Tütüncü, İ., & Kılıç, H. (2000). Optimal design of planar and space structures with genetic algorithms. *Computers and Structures*, 75(2), 209–224. doi:10.1016/S0045-7949(99)00084-X
- Eser, C. (2014). *Optimum deing of steel structures via artificial bee colony (ABC) algorithm and SAP2000* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 368744)
- Grzywiński, M., Dede, T., & Özdemir, Y. I. (2019). Optimization of the braced dome structures by using Jaya algorithm with frequency constraints. *Steel and Composite Structures*, 30(1), 47–55. doi:10.12989/scs.2019.30.1.047
- Hadidi, A., Kazemzadeh Azad, S., & Kazemzadeh Azad, S. (2010). Structural optimization using artificial bee colony algorithm. *2nd international conference on engineering optimization*. [http://www.dem.ist.utl.pt/engopt2010/Book\\_and\\_CD/Papers\\_CD\\_Final\\_Version/pdf/01/01564-01.pdf](http://www.dem.ist.utl.pt/engopt2010/Book_and_CD/Papers_CD_Final_Version/pdf/01/01564-01.pdf) adresinden edinilmiştir.
- Hasançebi, O., & Çarbaş, S. (2011). Ant colony search method in practical structural optimization. *Int. J. Optim. Civil Eng.*, 1, 91–105. [http://ijoc.iust.ac.ir/files/site1/user\\_files\\_5jkw45/admin-A-10-1-6-5c8a1cb.pdf](http://ijoc.iust.ac.ir/files/site1/user_files_5jkw45/admin-A-10-1-6-5c8a1cb.pdf) adresinden edinilmiştir.
- Hasançebi, O., Teke, T. & Pekcan, O. (2013). A bat-inspired algorithm for structural optimization. *Computers and Structures*, 128, 77–90. doi:10.1016/j.compstruc.2013.07.006

- Hayri Y., Timur K. (2014). *Mühendisler için korozyon*. Ankara: Korozyon Derneği
- Kaftan, M. A. (2006). Çelik yapılarda korozyon oluşumu ve korozyondan korunma yöntemlerinin maliyet açısından karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 181708)
- 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)
- Kılıç, V. (2018). *Alüminyum kafes sistemlerin meta sezgisel optimizasyon tekniklerine göre optimum tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 494899)
- Lee, K. S., & Geem, Z. W. (2004). A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. *Computers and Structures*, 82(9–10), 781–798. doi:10.1016/j.compstruc.2004.01.002
- Li, L. J., Huang, Z. B., & Liu, F. (2009). A heuristic particle swarm optimization method for truss structures with discrete variables. *Computers and Structures*, 87(7–8), 435–443. doi:10.1016/j.compstruc.2009.01.004
- Mortazavi, A., & Toğan, V. (2017). Sizing and layout design of truss structures under dynamic and static constraints with an integrated particle swarm optimization algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 51, 239–252. doi:10.1016/j.asoc.2016.11.032
- Ouedraogo, P. J. D. D. (2018). *Artificial bee colony(ABC), harmony search(HS) and particle swarm optimization(PSO) based discrete and continuous optimum desing of steel trusses*. (Master's Thesis). Obtained from the National Thesis Center of the Council of Higher Education. (Thesis No. 492411)
- Özyürek, C. (2020). *Eğrisel formdaki çatıların kurt kolonisi algoritması kullanılarak optimum boyutlandırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 617243)
- Rajeev, S., & Krishnamoorthy, C. S. (1992). Discrete optimization of structures using genetic algorithms. *J. Struct. Eng.*, 118(5), 1233–1250.
- Sevim, Ö. (2013). *Yapay arı koloni algoritması kullanarak 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. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/207834> adresinden edinilmiştir.
- Soh CK., Yang J. (1996). Fuzzy Controlled Genetic Algorithm Search for Shape Optimization. *J Comput Civ Eng* ;10:143–50. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1996\)10:2\(143\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1996)10:2(143)).
- Souza, O. A. P. De., & Miguel, L. F. F. (2020). Comparison of the performance of different metaheuristic optimization algorithms. <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/216803/001120209.pdf?sequence=1> adresinden edinildi.
- Toğan, V., & Daloğlu, A. T. (2008). An improved genetic algorithm with initial population strategy and self-adaptive member grouping. *Computers and Structures*, 86(11–12), 1204–1218. doi:10.1016/j.compstruc.2007.11.006

- (URL-1) [https://simple.wikipedia.org/wiki/Tappan\\_Zee\\_Bridge](https://simple.wikipedia.org/wiki/Tappan_Zee_Bridge)
- (URL-2) <https://www.sanalsantiye.com/kopru-turleri-ve-uygulamalari/>
- (URL-3) <http://www.konyacelikcatikonyaferforje.com/konya-celik-cati-konya-celik-konstruksiyon-konyada-celik-cati.htm>
- (URL-4) <https://nzkkm.denizli.bel.tr/>
- (URL-5) [https://www.tripadvisor.com.tr/Attraction\\_Review-g155032-d155431-Reviews-Biosphere-Montreal\\_Quebec.html](https://www.tripadvisor.com.tr/Attraction_Review-g155032-d155431-Reviews-Biosphere-Montreal_Quebec.html)
- (URL-6) <https://www.orayanasilgiderim.com/antalya/cam-piramit/>
- (URL-7) <https://www.sabancivakfi.org/tr/kultur/antalya/sabanci-kongre-ve-fuar-merkezi>
- (URL-8) [https://www.yapikatalogu.com/proje/ulasim-yapilari-sabiha-gokcen-airport\\_120](https://www.yapikatalogu.com/proje/ulasim-yapilari-sabiha-gokcen-airport_120)
- (URL-9) <https://www.havayolu101.com/2019/11/08/sabiha-gokcen-havalimani-ekim-ayinda-da-rekor-kirdi/>
- (URL-10) [http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index\\_dosyalar/Dersler/SonluElemanlarMetodu/SEM01\\_Giri%C5%9F\\_Ama%C3%A7.pdf](http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/SonluElemanlarMetodu/SEM01_Giri%C5%9F_Ama%C3%A7.pdf)
- (URL-11) <https://kulturveyasam.com/kucuk-ama-belki-de-dunyanin-en-sasirtici-hayvani/>
- (URL-12) <https://beserkimya.com.tr/korozyon-onleyiciler/>
- (URL-13) <https://corrosion-doctors.org/Corrosion-Atmospheric/Corrosion-resistance.htm>
- (URL-14) <https://www.flickr.com/photos/srinig/421719156/>
- Yetkin, M. (2015). *Düzlem çelik çerçevelerin sosyal örümcek optimizasyonuna göre boyutlandırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 395571)
- Yılmaz, A. H. (2019). *Düzlem çelik kafes sistemlerin karınca kolonisi yöntemi ile optimum tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 575822)

## Öz Geçmiş

Afranur Yaren AYDOĞDU, ..... yılında ..... 'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini ..... 'ta tamamladı. .... yılında ..... Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğine başlayıp ..... 'da buradan mezun oldu. .... yılında ..... Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Meslek hayatına ..... 'de başladığı ..... ilinde bulunan ..... Yapı Denetim Ltd. Şti. 'de Yardımcı Kontrol Elemanı görevine halen devam etmektedir.

