

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**GÜNCEL METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARIN ÇELİK
YAPILARIN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI PROBLEMİNDEKİ
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Ghulam Rasool ABED

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2020

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**GÜNCEL METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARIN ÇELİK
YAPILARIN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI PROBLEMİNDEKİ
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Ghulam Rasool ABED

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2020

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNCEL METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARIN ÇELİK
YAPILARIN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI PROBLEMİNDEKİ
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Ghulam Rasool ABED
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 31/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKGÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİR

ÖZET

GÜNCEL METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARIN ÇELİK YAPILARIN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI PROBLEMİNDEKİ PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Ghulam Rasool ABED

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Ocak 2020; 55 sayfa

Bu tez çalışmasında son yıllarda geliştirilen metasezgisel yöntem olan ağaç tohumu optimizasyon (ATA) yöntemi, karga arama optimizasyon (KAA) yöntemi ve simbiyotik organizmalar arama optimizasyon (SOA) yönteminin inşaat mühendisliği problemlerinden sinüs boşluklu kiriş ve kafes sistemlere uygulanarak performansları incelenmiştir.

Sinüs boşluklu kirişin optimizasyonunda tasarım sınırlayıcıları olarak Eurocode şartnamesinde belirtilen kapasite ve tasarım esasları dikkate alınmıştır. Kiriş tasarımı için profil tablosundan seçilecek kesit ve sinüs boşluklu kirişin boşluk geometrik boyutları tasarım değişkenleri olarak alınmıştır.

Kafes sistemin optimizasyonunda tasarım sınırlayıcıları olarak Amerikan yönetmeliğinde (ASD 89) belirtilen esaslar dikkate alınmıştır. Tasarım değişkenleri olarak ise boru kesit profil tablosundan seçilecek profil olarak belirlenmiştir.

Yukarda bahsedilen optimizasyon yöntemleri ile 2 adet sinüs boşluklu kiriş ve iki adet uzay kafes sistemin ağırlık optimizasyonu yapıp bunların problemlerde verdikleri sonuçlara göre performansları tartışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Optimizasyon, Optimum Tasarım, Sinüs Boşluklu KirişUzay Kafes Sistem, Ağaç Tohumu Yöntemi, Simbiyotik Organizmalar Yöntemi, Karga Arama Yöntemi

JÜRİ: Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKGÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİR

ABSTRACT

INVESTIGATING THE PERFORMANCE OF RECENT METAHEURISTIC OPTIMIZATION ALGORITHMS ON STEEL STRUCTURES OPTIMIZATION PROBLEMS

Ghulam Rasool ABED

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

January 2020; 55 pages

In this study recently developed meta-heuristic optimization techniques; Tree-Seed Algorithm (ATA), Crow Search Algorithm (KAA) and Symbiotic Organisms Search (SOA)'s performances has been investigated by applying on sinusoidal beam and space truss problems.

In the optimization of sinusoidal beam, evaluation capacity and design principles are taken into consideration in the Eurocode specification as design constraints. The profile chart for the design of the beam is designed as the design variables of the gap graphic design of the section and sinusoidal beam to be selected.

The basic principles in American steel regulation (ASD 89) have taken into account as design variables.

Weight optimization of two sinusoidal beams and two space truss systems with performance optimization methods and their performance according to the results of these problems are discussed.

KEYWORDS: Optimization, Optimum Design, Sinusoidal Beam, Space Truss System Tree Seed Method, Symbiotic Organisms Method, Crow Search Method

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Asst. Prof. Dr. Bekir AKGÖZ

Asst. Prof. Dr. Emre DEMİR

ÖNSÖZ

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir. Güncel metasezgisel optimizasyon algoritmaların çelik yapıların optimum boyutlandırılması problemindeki performanslarının incelemesi olan bu çalışma boyunca hiçbir konuda yardımını esirgemeyen, sağlamış olduğu motivasyon, destek ve anlatış için minnettar olduğum tez danışman hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU'ya şükran ve saygılarımı sunmaktan mutluluk duyarım.

Bu tez çalışmasına katkıda bulunacak öneri ve çabaları için tez komitesinde bulunan değerli hocalarıma teşekkür ederim ve saygılar sunarım. Ayrıca her zaman bana desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen bütün arkadaşlarıma ve maddi manevi her konuda yanımda olarak, beni bu yolda teşvik eden değerli aileme yürekten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
AKADEMİK BEYAN	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Gövdesi Yükseltilmiş Kirişlerin Optimizasyonu İle İlgili Çalışmalar	3
2.2. Kafes Sistemlerin Optimizasyonu İle İlgili Çalışmalar	3
2.3. Optimizasyon Yöntemleri İle İlgili Çalışmalar	4
3. MATERYAL VE METOT.....	7
3.1. Sinüs Boşluklu Kirişler	7
3.1.1. Sinüs boşluklu kirişlerin tasarım ilkesi	10
3.1.1.1. Moment kapasitesi	10
3.1.1.2. Kesme kuvveti kapasitesi.....	13
3.1.1.2.1 Düşey kesme kuvvetine karşılık gelen kesme kuvveti kapasitesi... ..	13
3.1.1.2.2 Yatay kesme kuvvetine karşılık gelen kesme kapasitesi.....	13
3.1.1.3. Yanal burulma burkulması kontrolü	14
3.1.1.4. T kesitlerinin Vierendeel eğilme kontrolü	15
3.1.1.5. Sehim kontrolü	16
3.1.2. Sinüs boşluklu kirişin optimum tasarım problemi	18
3.1.2.1. Problem tanımlanması	18
3.1.2.2. Amaç fonksiyonu.....	18
3.1.2.3. Tasarım sınırlayıcıları	19
3.2. Uzak Kafes Sistemler	21
3.2.1. Uzak kafes sistemlerin tasarım ilkeleri	21
3.2.1.1. Yapısal analiz	21
3.2.1.2. Tasarım.....	22
3.2.2. Kafes sistemlerin optimum tasarım problemi.....	23

3.2.2.1. Problem tanımlaması	24
3.2.3. Amaç fonksiyon değerlendirilmesi ve performans belirlenmesi	26
3.3. Optimizasyon Yöntemler	26
3.3.1. Karga araması optimizasyon yöntemi (KAA)	26
3.3.1.1. Teori.....	26
3.3.1.2. Yöntem adımları.....	27
3.3.2. Simbiyotik organizmalar arama optimizasyon yöntemi (SOA)	28
3.3.2.1. Teori.....	28
3.3.2.2. Yöntem adımları.....	30
3.3.3. Ağaç tohumu optimizasyon yöntemi (ATA)	34
3.3.3.1. Teori.....	34
3.3.3.2. Yöntem adımları.....	35
4. BULGULAR.....	37
4.1. Sinüs Boşluklu Kiriş Tasarım Örnekleri.....	37
4.1.1. 10 metre açıklıklı kiriş.....	37
4.1.2. 12 metre açıklıklı kiriş.....	38
4.2. Uzay Kafes Sistemi Tasarım Örnekleri	40
4.2.1. Uzay kafes piramit örneği	40
4.2.2. 354 elemanlı uzay kafes kubbe örneği	43
5. TARTIŞMA.....	49
6. SONUÇLAR.....	50
7. KAYNAKLAR	51
8. EKLER.....	53
8.1. Ek-1 Sinüs Boşluklu Kiriş Tasarımı İçin Kullanılan IPE Profil Tablosu	53
8.2. Ek-2 Uzay Kafes Modelleri İçin Kullanılan Profil Tablosu	54
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Güncel Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaların Çelik Yapıların Optimum Boyutlandırılması Problemindeki Performanslarının İncelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

31/01/2020

Ghulam Rasool ABED

Simgeler

m	: metre
kg	: kilogram
M_{max}	: Kirişte oluşan maksimum eğilme momenti
M_{Rd}	: Kiriş moment kapasitesi
F_y	: Çelik malzemesi akma dayanımı
V_{max}	: Kirişte oluşan maksimum kesme kuvveti
V_{Rd}	: Kiriş kesme kuvveti kapasitesi
V_{hm}	: Kirişin iki boşluğu arasında meydana gelen yatay kesme kuvveti
V_{hRd}	: Kirişin yatay kesme kuvveti kapasitesi
t_w	: I kesiti gövde kalınlığı
w	: Sinüs boşluklu kirişin boşluktaki düz kısmı uzunluğu
M	: eğilme momenti
n	: devir sayısı
A_v	: I çelik profili gövde kesit alanı
M_{Ed}	: Kiriş boşluk kesitinde oluşan lokal tasarım moment değeri
$V_{bw,Rd}$	: Kiriş kesme burulması kapasitesi
λ_w	: Kesit narinliğine bağlı kat sayısı
$N_{b,Rd}$	: Kirişin eksenel basınç kuvveti kapasitesi
α_{LT}	: Burulma eğrilerine karşılık gelen katsayı
H_{tot}	: Kiriş son yüksekliği
a_0	: göz yüksekliği
w	: boşluk düz kısım mesafesi
w_0	: mesnet ile ilk boşluk arasındaki mesafe
l_s	: Sinüsoidal kısmın yatay uzunluğu
e	: iki boşluk merkezi arasındaki mesafe

F	: Bükölme payı
h_w	: Gövde yüksekliği
t_w	: Gövde kalınlığı
d	: kesit gövdesinin düz yüksekliği
t_f	: Başlık kalınlığı
r	: başlık ve gövde birleşimindeki dairesel kısmın yarıçapı
f_y	: Çelik malzemenin akma dayanımı
W_{el}	: Kesitin elastik mukavemet momenti
M_{max}	: Kirişte oluşan maksimum moment
A_v	: Kesit kesme alanı
V_{max}	: Kirişe etkiyen maksimum (düşey) kesme kuvveti
γ_{M0}	: Dayanım faktörü
γ_{M1}	: Güvenlik faktörü
χ_w	: azaltma katsayısı
N_c	: üst T kesite etkiyen eksenel basınç kuvveti
E	: Çelik malzeme elastisitesi
L	: Yanal desteksiz kiriş uzunluğu
I_y	: Atalet momenti (zayıf eksen)
C_1	: İzostatik moment dağıtma katsayısı
A_t	: Bir T kesitin alanı
M	: Kesitteki moment
d_G	: Üst ve alt T kesitlerin ağırlık merkezleri arasındaki mesafe
M_A	: $\frac{L}{4}$ ' deki moment
M_B	: $\frac{L}{2}$ ' deki moment
M_C	: $\frac{3L}{4}$ ' deki moment

γ_f	: Malzeme emniyet katsayısı
C_s	: Çatı eğim faktörü
C_e	: Cephe kat sayısı
C_t	: Isıl faktör katsayısı
I_B	: Yapı önem katsayısı
p_g	: Zemin kar yükü değeri
p_s	: Tasarım kar yükü değeri
q_h	: Rüzgar yükü değeri
K_z	: Cephe katsayısı
K_{zt}	: Topografi faktörü
K_d	: Rüzgar yön faktörü
V	: Temel rüzgar hızı
G	: Ani rüzgar etki faktörü
C_p	: Dış basınç katsayısı
C_{pi}	: İç basınç katsayısı
λ	: Narinlik oranı
BF	: Fayda faktörü
MV	: Karşılık vektörü
$S_{i,j}$	: i'nci ağaç için üretilecek i'nci tohumun j'inci boyutu
$T_{i,j}$	: i'nci ağacın j'inci boyutu
B_j	: Şuana kadar saptanan en iyi ağaç lokasyonun j'inci boyutu
ST	: Arama eğilimi
$L_{j,min}$	: Arama uzayındaki alt sınır
$H_{i,max}$	: Arama uzayındaki üst sınır
$r_{i,j}$	: rastgele üretilen bir katsayı
kN	: Kilo Newton

(Γ_{brd}) : Kirişin yanal burulma burkulması kapasitesi

Kısaltmalar

ATA	: Ağaç Tohumu Algoritması
KAA	: Karga Araması Algoritması
SOA	: Simbiyotik Organizmalar Arama
ASD	: Allowable Stress Design
SCI	: Steel Construction Institute
AISC	: American Institute Of Steel Construction
UBA	: Uyarlanabilir Boyut Araması
YAK	: Yapay Arı Kolonisi
GA	: Genetik Algoritma
PSA	: Parçacık Sürüşü Algoritması
DE	: Diferansiyel Evrim
EA	: Evrimsel Algoritma
KKA	: Karınca Kolonisi Algoritması
BTO	: Biyocoğrafiya Tabanlı Optimizasyon
BFA	: Beyin Fırtınası Algoritması

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Petek Kiriş Modeli	8
Şekil 3.2. Dikdörtgen Boşluklu Çelik Kirişin Yıkılma Modu (Redwood 1978)	8
Şekil 3.3. Dairesel Boşluklu Kirişler	9
Şekil 3.4. Sinüs Boşluklu Kiriş	9
Şekil 3.5. Kesit Notasyon Gösterimi	16
Şekil 3.6. Tekil Yük Deplasman	17
Şekil 3.7. Tekil Yük Deplasman	17
Şekil 3.8. Yayılı Yük Deplasman	18
Şekil 3.9. Sinüs Boşluklu Kiriş Geometrisi	20
Şekil 3.10. Sinüs Boşluklu Kiriş T kesiti Geometrik Parametreleri.....	21
Şekil 3.11. KAA Algoritma Akış Şeması	28
Şekil 3.12. Bir ekosistemde beraber yaşayan bir takım simbiyotik organizmalar (Cheng Ve Prayogo 2014).....	30
Şekil 3.13. SOA Algoritma şeması.....	33
Şekil 4.1. Basit mesnetli 10 m açıklıklı sinüs boşluklu kiriş örneği.....	37
Şekil 4.2. 10 m açıklıklı kiriş optimizasyon arama geçmişi	38
Şekil 4.3. Basit mesnetli 12 m açıklıklı sinüs boşluklu kiriş örneği.....	39
Şekil 4.4. 12 m açıklıklı kiriş optimizasyon arama geçmişi	40
Şekil 4.5. Uzak kafes piramit modeli 3 boyutlu görünüşü (KILIÇ 2018)	41
Şekil 4.6. Uzak kafes piramit modeli plan görünüşü.....	41
Şekil 4.7. Uzak kafes piramit modeli kesti görünüşü	42
Şekil 4.8. Uzak kafes piramit modelinin KAA, SOA ve ATA algoritmaları arama geçmişi	43
Şekil 4.9. Uzak kafes kubbe modeli 3 boyutlu görünümü.....	44
Şekil 4.10. Uzak kafes kubbe modeli yan görünümü	44
Şekil 4.11. Uzak kafes modelinin plan görünümü	45
Şekil 4.12. Uzak kafes kubbe yapının yük durumları.....	46
Şekil 4.13. Uzak kafes kubbe modeli optimizasyon arama geçmişi	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Eurocode Kesit Sınıf Özellikleri (Eurocode 3 table 5.2).....	12
Çizelge 3.2. Burulma Eğrilerine Karşılık α_{LT} değeri (E.C 3 tablo 6.1)	15
Çizelge 3.3. Optimizasyon örneğini oluşturan parametreler.....	24
Çizelge 4.1. 10 m Açıklıklı kiriş optimum sonuçları	38
Çizelge 4.2. 12 m Açıklıklı kiriş optimum sonuçları	39
Çizelge 4.3. Uzak kafes piramit modeli optimum sonuçları.....	42
Çizelge 4.4. Uzak kafes kubbe yapı optimum sonuçları.....	47



1. GİRİŞ

Yapısal optimizasyon problemleri, özellikle çelik yapıların optimum boyutlandırılması problemleri oldukça zor bir problem olup çok fazla çözüm kombinasyonları içermektedir. Bu yüzden bu tarz yapıların/problemlerin en uygun çözümlerini tespit etmek geleneksel optimizasyon teknikleri ile, bir başka deyişle türev tabanlı optimizasyon teknikleri ile elde edilmesi oldukça zordur. Bu tip problemlerin çözümünde metasezgisel optimizasyon teknikleri oldukça başarılıdır.

Metasezgisel tekniklerin kullanımı 1980'li yıllarından başlamış olup günümüze kadar devam ederken bir çok değişik metasezgisel optimizasyon yöntemleri üretilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Metasezgisel yöntemler teorik olarak sotakastik (rastgelelik) taşıyan işlemler barındırdığı için performansları problemden probleme değişebilmekte dolayısıyla da her yöntemin birbirleri arasındaki üstünlükleri problemden probleme göre değişmektedir. Bu yüzden yeni çıkan metasezgisel yöntemlerin performanslarının değişik optimizasyon problemleri üzerinde araştırılması özgünlük taşımaktadır. Özellikle çelik yapıların optimum tasarım problemlerindeki tasarım değişkenlerinin oldukça düzensiz ve lineer olmayan denklemler içerdiğinden diğer matematiksel optimizasyon problemlerine göre davranışsal olarak büyük farklılık göstermektedir. Bu denklemler bu şekilde optimizasyon tekniklerin araştırılması çalışmamızın en önemli nedenidir.

Karga arama algoritması son zamanlarda geliştirilen metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. Bu yöntem kargaların yiyecek bulma ve birbiri arasında kovalama ilişkilerinin matematiksel programlamaya simüle edilmesi ile elde edilmiştir. Literatürde oldukça yeni olmasına karşın karga algoritması (KAA) bir çok matematiksel problemlere uygulanması gözlemlenmektedir. Ancak inşaat mühendisliği özellikle çelik problemlerin üzerindeki kullanımı oldukça azdır.

Simbiyotik organizmalar arama yöntemi (SOA) canlıların birbirileri üzerinden beslenmeleri veya yaşamaları ilkelerinden esinlenerek geliştirilmiştir. (SOA) literatürde yeni olmasına karşın bir çok örnekte başarılı performans göstermiştir. İnşaat mühendisliği çelik yapılar problemleri üzerinden etkin performansı henüz kanıtlanmamışsa da yöntemin etkin bir performans gösterebileceği öngörülmektedir.

Ağaç tohumu algoritması (ATA) 2015 yılında Mustafa Kıran tarafından geliştirilmiş olup güncel metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden bir tanesidir. Ağaç tohumu algoritması bir çok çalışmalarda kullanılmış ve performansı kanıtlanmıştır.

Bu tez çalışmasında yukarıda bahsedilen güncel metasezgisel optimizasyon yöntemlerin inşaat mühendisliği problemlerinden olan sinüs boşluklu kiriş ve uzay kafes sistem problemlerine uygulanarak performansları bir birleri ile karşılaştırılarak irdelenmiştir. Bunun için söz konusu yöntemler iki sinüs boşluklu kiriş optimizasyon problemlerine ve iki adet de uzay kafes sistemi optimizasyon problemine uygulanarak performansları karşılaştırılmıştır. Her iki problem türünde de amaç fonksiyonu yapı sistemlerin ağırlıkları olarak tespit edilmiştir. Sinüs boşluklu kiriş tasarımında tasarım değişkeni olarak boşluğun geometrik boyutları ve profil tablosundan seçilecek olan kiriş profil kesiti olarak belirlenmiştir. Uzay kafes sistemde ise profil tablosundan seçilecek kafes sistem elemanların kesiti tasarım değişkeni olarak belirlenmiştir.

6 bölümden oluşan bu tez çalışmasındaki anlatım akışı şu şekildedir. İkinci bölümde gövdesi yükseltilmiş çelik kirişlerin optimizasyonu, kafes sistemlerin optimizasyonu ve optimizasyon yöntemler hakkında özet literatür taraması yapılacaktır. Üçüncü bölümde sinüs boşluklu kirişler hakkında verilecek özet bilgiden sonra sinüs boşluklu kirişlerin tasarım ilkeleri, göçme modları ve sinüs boşluklu kirişlerin optimum tasarım problemi irdelenecektir. Benzer şekilde uzay kafes sistemlerin tasarım ilkeleri optimum tasarım problemi, amaç fonksiyonunun değerlendirilmesi ve performansının belirlemesinin yanı sıra bu çalışma kapsamındaki KAA, SOA ve ATA algoritmaları hakkında bilgi verilecektir. Dördüncü bölümde söz konusu optimizasyon yöntemleri ile iki sinüs boşluklu kiriş ve iki uzay kafes sistemi olmak üzere dört farklı örneğin boyut optimizasyonu yapılacaktır. Beşinci bölümde çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar üzerinden tez konusu olan KAA, SOA ve ATA algoritmalarının performansları irdelenecektir. Son olarak altıncı bölümde ise veriler ve değerlendirmeleri ile ortaya çıkan sonuç ve öneriler sunulacaktır.

2. KAYNAK TARAMASI

Bu tez çalışmasında yapılan kaynak taramaları üç ana başlıkta oluşur. Bunlar, gövdesi yükseltilmiş kirişlerin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar, kafes sistemlerin optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar ve optimizasyon yöntemleri üzerine yapılan çalışmalardır.

2.1. Gövdesi Yükseltilmiş Kirişlerin Optimizasyonu İle İlgili Çalışmalar

Literatürde gövdesi yükseltilmiş kirişlerin boyut optimizasyonu ile ilgili birçok çalışma yapılmış ise de bunlardan sinüs boşluklu kirişlerin optimizasyonu üzerine yapılan sadece 2 makaleye rastlanılmıştır.

Kumbhar ve Jamadar (2015) çalışmasında geleneksel gövde boşluklu kirişlerin lokal göçme moduna sahip olduğu ve gerilmelerin boşluk etrafına konsantre olduğu için göçmenin bu bölgelerde meydana geldiğini aktarmaktadır. Çalışmada, yeni çıkan sinüs boşluklu kirişlerin boşluk etrafı sinüsoidal bir eğriye sahip olduğu ve dolayısıyla daha yaygın bir gerilme alanı sunduğundan bu göçme modunun iyileştiği anlatılmaktadır. Çalışmada optimizasyon için herhangi bir metasezgisel yöntem kullanılmazken Abaqus sonlu elemanlar analiz programında değişik boşluk boyutlarına sahip örnekler analiz yapılmıştır. Çalışmada sinüs boşluklu kirişlerde boşluk boyutunun toplam kiriş yüksekliğinin 0.55 katı olması daha iyi dayanım vermektedir.

Erdal (2017) çalışmasında gövde boşluklu kirişlerin ağırlık optimizasyonunu metasezgisel optimizasyon yöntemi olan ateşböceği yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Çalışmada gövde boşluklu kirişlerden petek kirişi, dairesel boşluklu kiriş ve sinüs boşluklu kirişlerin optimizasyonunu yapmıştır. Kirişlerin optimizasyon tasarım problemleri SCI (Steel Construction Institute) de belirlenen tasarım kriterlerine göre yapılmıştır. Numerik problemler üzerine değişik yük kombinasyonlar etkisi altında kirişlerin ağırlık optimizasyonu yapılmıştır.

Sorkhabi vd (2013) çalışmasında paraçacık sürüsü optimizasyon yöntemini kullanarak petek kirişlerin maliyet optimizasyonunu yapmıştır. Çalışmada kiriş ağırlığının yanı sıra kaynak ve kesim parametrelerinin de maliyet üzerine etkisi irdelenmiştir. Kiriş tasarımında (AISC_ASD) şartnamelerin tasarım kriterleri dikkate alınmıştır. Çalışmada numerik örnekler işlenmiştir.

2.2. Kafes Sistemlerin Optimizasyonu İle İlgili Çalışmalar

Literatürde kafes sistemlerin optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar araştırıldığında 2014'e kadar yapılan çalışmalar Stolpe (2014) tarafından derleme makale şeklinde yayınlanmıştır.

Daha sonraki çalışmalarda ise; Farshchin vd (2015) çalışmasında çok sınıflı öğretim – öğrenme tabanlı optimizasyon yöntemi ile kafes sistem problemleri optimize etmiştir. Kanarachos vd (2016) çalışmasında kafes sistemi problemini kontrast tabanlı

meyve sineği optimizasyon yöntemi ile optimize etmiştir. Tejani vd (2019) çalışmada çoklu amaç fonksiyonlu optimizasyon yöntemi kullanmıştır. Önerdiği yöntemin üstünlüğünü savunan çalışmada kafes elemanlarının ağırlığını minimize ederek düğüm deplasmanlarını en üstte tutmaya çalışmıştır.

Hasancebi ve Azad (2015), yeni bir metasezgisel optimizasyon yöntemi olan uyarlanabilen boyutsal arama (UBA) optimizasyon yöntemini ayrık kafes sistemler için önermişlerdir. Gerçek modeller üzerinde yapılan farklı metasezgisel optimizasyon teknikleri ile de kıyaslandığında, önerilen metodların daha az hesaplama gayreti ile gelişmiş çözümleri bulma yeteneği olduğu tespit edilmiştir.

2.3. Optimizasyon Yöntemleri İle İlgili Çalışmalar

Literatür incelendiğinde optimizasyon üzerine bir çok çalışmaya rastlanılmaktadır. Ancak bu tez çalışmada ele alınan (ATA), (KAA) ve (SOA) yöntemlerinin inşaat mühendisliği problemlerine özellikle de sinüs boşluklu kiriş ve uzay kafes sistemi problemlerine uygulanarak performanslarını karşılaştırmış her hangi bir çalışma görülmemektedir. Optimizasyon ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları şu şekildedir:

Karaboğa ve Baştürk (2007) tarafından bal arılarının yiyecek arama, nektar toplama ve elde edilen kaynakları en verimli şekilde kovana getirme aşamalarından yola çıkarak geliştirilen Yapay Arı Kolonisi yöntemi ilk olarak çok değişkenli fonksiyonların analizinde kullanılmıştır. Bu çalışmada ABC yöntemi, Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Algoritması (PSA) ve Parçacık Sürü ilham alınan Evrim Algoritması (PS-EA) ile karşılaştırılmıştır. Karaboğa ve Baştürk (2008), ABC algoritmasını çok boyutlu sayısal problemler için diferansiyel evrim (DE), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve evrimsel algoritma (EA) ile karşılaştırılmıştır. Karaboğa ve Baştürk (2009), çok sayıda sayısal test fonksiyonunu optimize etmek için ABC algoritması kullanılmış ve bu algoritma tarafından üretilen sonuçlar, genetik algoritma (GA), parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (PSO), diferansiyel evrim (DE) algoritması ve evrim stratejileri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Zhu ve Kwong (2010) PSO'dan esinlenerek, sömürüyü iyileştirmek için küresel en iyi (GBEST) çözüm bilgisini çözüm arama denklemine dahil ederek en iyi güdümlü ABC (GABC) algoritması adı verilen gelişmiş bir ABC algoritma önermiştir. Ding vd. (2015) tarafından modal verilere dayalı hibrit arama stratejisi ile yapay arı kolonisi (ABC) algoritması kullanılarak yapısal hasar tespiti için bir yaklaşım önermiştir. Birçok mühendislik alanında bu yöntem kullanılmıştır. Örneğin, Çavuş ve Tuncer (2017) tarafından insansız hava araçları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması Rota Planlaması için kullanılmıştır. Saplıoğlu vd (2017) tarafından Köprü Çay örneği kullanılarak hazne kapasitesinin optimizasyonu için Yapay Arı Kolonisi yöntemi ile modellenmiş ve diğer modellerle karşılaştırılmıştır. Öztürk (2017) tarafından betonarme tekil temellerin minimum maliyetle optimum

tasarımları için Yapay Arı Koloni, Guguk Kuşu Arama, Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması adlarıyla bilinen çeşitli sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

Literatürde inşaat mühendisliği problemlerinin optimizasyonu ile ilgili son yıllarda çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak bir çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

Matisziw ve Demir (2012), nokta tabanlı gözlemlerden ağ yollarının çıkarılması için bir optimizasyon yöntemi önermiştir. Çalışmasında diğer mevcut modelleme tekniklerine göre önerdiği modelleme yaklaşımının çeşitli özelliklerini vurgulamak için GPS verilerine bir uygulama sunmuştur. Geliştirdiği yaklaşımın, yola erişim gerektiren tüm ağ düğümlerinin en kısa yoldan belirli bir mesafede olacağı şekilde bir ağ kaynağı ve hedefi arasında en kısa yolu arayan “en kısa kaplama yolu problem”ine dayandığını belirtmiştir. Bu modelleme bağlamında, nokta konumlarının bir ağ yolu tarafından ziyaret edileceği sıralamanın bilindiği duruma en uygun çözümü elde etmek için bir algoritma tasarlamıştır.

Saka vd. (2015) çalışmasında Amerikan Çelik Enstitüsü-Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı hükümlerine göre uzay çelik çerçeve probleminin optimum boyutlandırılmasını gerçekleştirmiştir. Birer meta-sezgisel yöntem olan karınca kolonisi optimizasyon yöntemi, parçacık sürüsü optimizasyon yöntemi, yapay arı kolonisi algoritması, ateşböceği algoritması ve guguklu arama algoritması kullanarak iki gerçek boyutlu uzay çelik çerçeve sistemlerinin (biri rijit bağlantılı diğeri mafsallı bağlantılı) optimum boyutlandırmasını gerçekleştirmiştir. Sistem ağırlığı olarak belirtilen amaç fonksiyonu baz alınarak söz konusu optimizasyon yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada sürü zekası tabanlı algoritmaların çoğunun, çok fazla matematiksel çaba gerektirmeden yapısal tasarım optimizasyon problemlerinin optimum çözümünü verimli bir şekilde belirleyen basit ve sağlam teknikler olduklarını vurgulamıştır.

Aydoğdu (2016), Levy uçuşu ile biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması kullanılarak sismik yükleme altındaki beton konsollu istinat duvarlarının maliyet optimizasyonu üzerine yaptığı çalışmada biyocoğrafya tabanlı optimizasyon yönteminin yeni versiyonu olan Levy uçuşu ile biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasını tanıtmıştır. Çalışmada beş tasarım örneği optimize edilmiş, sonuçlar sismik yükün ve tepe zemin ivmesinin duvarın optimum maliyeti üzerindeki etkisini belirlemek için levy uçuşu ile biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması ve biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmalarının performansını test etmek için karşılaştırılmıştır.

Aydoğdu vd. (2018) çalışmasında, çelik çatıda kullanılan mevcut bir aşık sistemini geliştirilen yazılım ile daha az maliyet ve maksimum yükü dikkate alarak optimize etmiştir. Tasarım yüklerini TS498-1997 şartnamesine göre ve aşık tasarımını TS648 şartnamesine göre hesapladığı çalışmada Ateşböceği algoritmasını kullanırken tasarım değişkenleri olarak çelik kesiti, aşıklar arası mesafe ve üçgen çapraz köşeli

ayraçlar seçmiştir. Geliştirdikleri yazılımı mevcut gerçek örnek üzerinden test ederek algoritmayı tasarım ve performansı açısından değerlendirmiştir.

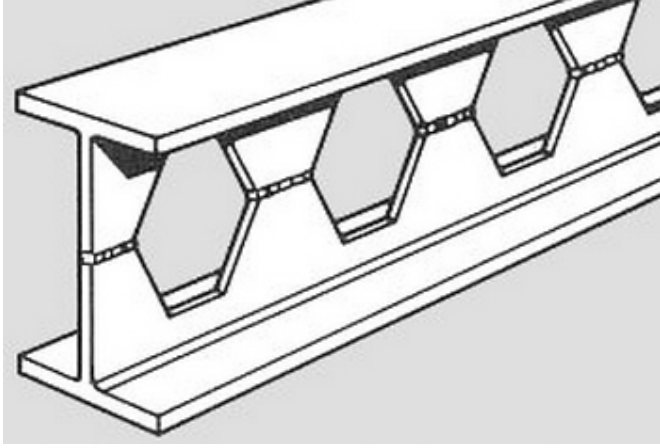
Uzun vd. (2019) çalışmasında farklı yük koşulları altında nano ölçekli kiriş elemanlarının optimum kesit boyutlarını araştırmıştır. Kirişin analizi için lokal olmayan esneklik teorisine dayanan Euler-Bernoulli ışın modelini kullanmıştır. Sosyal Örümcek Algoritmasını kullandığı çalışmada karbon nanotüpleri ve bor nitrür nanotüpleri olmak üzere iki tip nano ölçekli kiriş modellerken amaç fonksiyonunu kiriş kesit alanının minimize edilmesi olarak seçmiştir. Elde edilen optimum kesit alanı, kritik gerilme ve deplasman değerlerini malzeme tipi, kiriş uzunluğu ve yükleme durumlarına göre karşılaştırmıştır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Sinüs Boşluklu Kirişler

Geniş açıklıklı kirişler çelik endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır. Ancak özellikle kat yüksekliği az olan yapılarda uzun açıklıklı kirişler, tesisat döşenmesi sırasında sıkıntılara sebep olmaktadır. 1900’lu yılların sonunda çelik kısmının gövde kısmında boşluklar açılarak tesisatların bu boşluklardan geçirilmesine başlandı. Genelde dikdörtgen olarak açılan bu boşluklar tesisatta avantaj sağlamasına karşın, kirişteki iç kuvvetlerin yük transferinde özellikle kesme kuvvetinin aktarılmasında sorunlar meydana getirmiştir. 1978 yılında, (Redwood 1978) bu problemle ilgili deneysel çalışma yapmıştır. (Bkz Şekil 3.2.). Bu problemten petek kiriş modeli oluşturulup bu kirişlerin kullanımına başlandı. (Bkz Şekil 3.1.). Günümüzde de hala kullanılmaya devam edilen petek kirişlerin gerek teknik ihtiyaçlara veren gerekse de mimari açıdan yapıya estetiklik katan bir modeldi. Buna karşın petek kirişlerin imalatı sırasında özellikle sıcak haddeli çeliklerin kaynaklanmasında problemler meydana gelebiliyor ve kaynak birleşim noktaların gömme durumları ortaya çıkabiliyordu. Bu yüzden daha etkin kaynak birleşim noktalarında daha az sorun çıkacak bir model olan dairesel boşluklu çelik kirişler üretilmeye başlandı. (Bkz Şekil 3.3.) Türkiye’de de sıkça kullanılan dairesel boşluklu kirişler gerek mimari açıdan uygunluğu gerekse de kaynak birleşim kısımlarında daha az zorlanmalar meydana gelmesi nedenleriyle büyük avantaja sahiptir. (Chung ve Lawson 2001; Chung vd. 2001). Bu metotla aynı ağırlığa sahip kesitin yüksekliğini 1,5 katına kadar yükseltmek mümkündür. Bu da kirişin ciddi oranda eğilme kapasitesini arttırmaktadır. Dairesel boşluklu kirişlerle ilgili birçok çalışma yapılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. (Bihina vd. 2013; Ellobody, 2012; Liu ve Chung, 2003; Nadjai vd. 2007; Sebastien vd. 2013; Soltani vd. 2012; Tsavdaridis ve D’Mello, 2011). Estetik ve teknik açıdan dairesel boşluklu kesitler uygun olmasına karşın, imalat sırasında oluşan fazla kaynak işçiliği ve artık parça ortaya çıkması sebeplerinden dolayı imalat maliyetini oldukça arttırmakta ve imalat süresini uzatmaktadır. Özellikle büyük yapılarda bu tür kirişlerin yapılması imalat süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Bunu önlemek amacıyla boşluklara tam dairesel şekil vermek yerine sinüs fonksiyonuna bağlı özel bir şekil verilerek yeni bir boşluklu kiriş türü üretildi. Bilimsel ismi “sinüs (sinusoidal)” boşluklu kiriş olarak belirtilen bu boşluklu kiriş türü 2009 yılında ArcelorMittal(ArcelorMittal 2009) firması tarafından üretilmeye başlandı. Şekli film yıldızı Angelina Jolie’nin dudaklarına benzetildiği için “Angelina Beams” isminde patenti alındı. Sinüs Boşluklu Kirişin geometrik görünümü Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



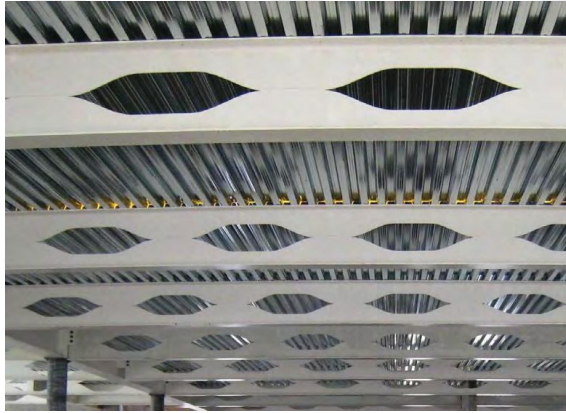
Şekil 3.1. Petek Kiriş Modeli



Şekil 3.2. Dikdörtgen Boşluklu Çelik Kirişin Yıkılma Modu (Redwood 1978)



Şekil 3.3. Dairesel Boşluklu Kirişler



Şekil 3.4. Sinüs Boşluklu Kiriş

Sinüs boşluklu kirişler gövde boşluklu kirişlerin en son geliştirilen türlerinden biridir. Geniş gövde boşluklarına olanak sağlaması kaynak işçiliğinde ciddi kolaylıklar sağlamasına rağmen sinüs boşluklu kirişlere ait uygulamalara ülkemizde sıkça rastlanmamaktadır. Bunun sebebinin özel sektörde sinüs boşluklu kirişlerin analiz tasarımı ile ilgili çok fazla bilgiye sahip olunmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sinüs boşluklu kirişler çelik profillerin gövdelerinde boşluklar oluşturularak elde edilirler. Böylelikle kirişlerdeki oluşturulan boşluklar sonucunda aynı ağırlıktaki kirişlerden daha çok verim elde etmek mümkün olmaktadır. Oluşturulan bu boşlukların boyutları artıkça malzemede edilen tasarruf da artmakta ancak malzeme verimi azalmaktadır.

3.1.1. Sinüs boşluklu kirişlerin tasarım ilkesi

Sinüs boşluklu kirişlerin tasarımı sırasında; boşluklarda net kesit kontrolü, geçiş bölgelerde tam kesit kontrolü ve yanal burulma burkulması kontrolü gerekmektedir. Her kısımda aşağıdaki kuvvetlere karşılık dayanımlar sağlanmalıdır.

Bunlar :

- i. Kesme kuvveti
- ii. M+N etkileşimi
- iii. M+N+V etkileşimi
- iv. Kesme burulması
- v. Lokal eğilme (boşluklarda)
- vi. Yanal burulma burkulması

Sinüs boşluklu kiriş tasarımında lokal eğilme dışındaki tüm dayanım parametreleri Eurocode'daki formül ve kıstaslar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Lokal eğilme dayanımı ise deneysel çalışmalar sonucu sinüs boşluklu kirişler için geliştirilmiş analitik formüllerle hesaplanmıştır. (Sebastien vd. 2013)

Sinüs boşluklu kirişlerin tasarımında kiriş profilinin yanı sıra boşluk geometrisini etkileyen boşluk göz yüksekliği, sinüsoidal kısım uzunluğu ve boşluktaki düz kısmın uzunluğu gibi boyutları değişkenlik gösterebilmektedir. Tasarımcı, seçimi kendisine bırakılmış boyutların belirlenmesinde bir takım koşullara dikkat etmelidir. (EUROCODE3, web kaynak: www.arcelormittal.com)

Bu koşullar bölüm 3.2.1'de detaylıca anlatılacaktır.

3.1.1.1. Moment kapasitesi

Farklı yük kombinasyonlarından kaynaklı kirişte meydana gelen maksimum moment değeri Angelina kirişin moment kapasitesi değerini aşmamalıdır.

$$M_{max} \leq M_{Rd} \quad (3.1)$$

Burada M_{max} kirişe etkiyen maksimum momenti ve M_{Rd} ise kirişin moment kapasitesini ifade etmektedir. M_{Rd} Eurocode'de belirtilen kesitin sınıflarına göre hesaplanır.

Sınıf 1 ve 2 için;

$$M_{Rd} = M_{pl,Rd} = f_y \times \frac{W_{pl}}{\gamma_{M0}} \quad (3.2)$$

Burada $M_{pl,Rd}$ kirişin plastik moment kapasitesini, f_y çelik malzemesi akma dayanımını W_{pl} elastik mukavemet momentini ve γ_{M0} dayanım faktörünü ifade etmektedir

Sınıf 3 için:

$$M_{Rd} = M_{el,Rd} = f_y \times \frac{W_{el}}{\gamma_{M0}} \quad (3.3)$$

Burada $M_{el,Rd}$ kirişin elastik moment kapasitesini ve W_{el} ise elastik mukavemet momentini ifade etmektedir.

Sınıf 4 için;

$$M_{Rd} = f_y \times \frac{W_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad (3.4)$$

Denklemdaki W_{eff} efektif mukavemet momentini ifade etmektedir. Burada bahsedilen ve daha sonraki formüllerde de bahsedilecek olan sınıflar(1,2,3 ve 4) Avrupa şartnamesi kesit sınıfları olup Eurocode EN 1993-1-1:2005 tablo 5.2'ye göre belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Eurocode Kesit Sınıf Özellikleri (Eurocode 3 table 5.2)

Sınıf	Eğilmeye maruz kalan kısım	Basınca maruz kalan kısım	Eğilme ve basınca maruz kalan kısım			
Gerilme dağılımı (basınç pozitif)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33 \varepsilon$	$\begin{aligned} \text{Eğer } \alpha > 0.5 : \frac{c}{t} &\leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha-1} \\ \text{Eğer } \alpha \leq 0.5 : \frac{c}{t} &\leq \frac{36\varepsilon}{\alpha} \end{aligned}$			
2	$c/t \leq 83 \varepsilon$	$c/t \leq 38 \varepsilon$	$\begin{aligned} \text{Eğer } \alpha > 0.5 : \frac{c}{t} &\leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha-1} \\ \text{Eğer } \alpha \leq 0.5 : \frac{c}{t} &\leq \frac{41.5\varepsilon}{\alpha} \end{aligned}$			
Gerilme dağılımı (basınç pozitif)						
3	$c/t \leq 124 \varepsilon$	$c/t \leq 42 \varepsilon$	$\begin{aligned} \text{Eğer } \psi > -1 : \frac{c}{t} &\leq \frac{42\varepsilon}{0.67+0.33\psi} \\ \text{Eğer } \psi \leq -1 : \frac{c}{t} &\leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{1-\psi} \end{aligned}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1.00	0.92	0.81	0.75	0.71

3.1.1.2. Kesme kuvveti kapasitesi

Sinüs boşluklu kirişlerde hesaplanması gereken iki tür kesme kuvveti kapasitesi mevcuttur.

Bunlar:

3.1.1.2.1 Düşey kesme kuvvetine karşılık gelen kesme kuvveti kapasitesi

Düşey kesme kuvveti; kirişin kesme kuvveti kapasitesini aşmamalıdır. Düşey kesme kuvveti kapasitesi iki T kesitin (alt ve üst T) kapasitesinin toplamından oluşmaktadır.

$$V_{max} \leq V_{Rd} \quad (3.5)$$

Burada V_{max} kirişe etki eden maksimum kesme kuvvetini ve V_{Rd} ise kirişin kesme kuvveti kapasitesini ifade etmektedir.

$$V_{Rd} = \frac{A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} \quad (3.6)$$

Denklemdaki A_v kesit gövde alanını ifade eder.

3.1.1.2.2 Yatay kesme kuvvetine karşılık gelen kesme kapasitesi

Yatay kesme kuvveti, eğilme momentinden dolayı oluşan üst T kesitteki basınç ve alt T kesitindeki çekme kuvvetinden meydana gelmektedir. Bu kuvvet kirişin geçiş bölgelerindeki yatay kesme kuvveti kapasitesini aşmamalıdır

$$V_{hm} \leq V_{hRd} \quad (3.7)$$

Burada V_{hm} kirişte meydana gelen yatay kesme kuvvetini ve V_{hRd} ise kirişin yatay kesme kuvveti kapasitesini göstermektedir.

$$V_{hRd} = \eta \times t_w \times w \times \frac{f_y}{(\sqrt{3})} \quad (3.8)$$

Burada t_w T kesit gövde kalınlığı, w kirişin boşluktaki düz kısım uzunluğu ve η ifadesi kesme alanı faktörü olup 1.3 alınmıştır.

$$V_{hm} = \frac{M_{Ed,l} - M_{Ed,r}}{d_G} \quad (3.9)$$

Bu parametreler Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Not: Aşağıdaki koşulun sağlanması durumunda ayrıca kesme burulması kontrolü de yapılmalıdır.

$$\frac{hw}{tw} > 72 \times \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (3.10)$$

ε ifadesi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

η : aşağıdaki gibi hesaplanır.

Eğer $f_y \leq 460$ MPa ise $\eta = 1.2$

Eğer $f_y > 460$ MPa ise $\eta = 1$ dir.

Kirişe etkiyen kesme kuvveti, kesme burulmasının dikkate alınması gerektiğinde kesme burulması kapasitesini aşmamalıdır.

$$V_{bw,Rd} \geq V_{max} \quad (3.11)$$

$$V_{bw,Rd} = z_w \times f_y \times \frac{A_v}{\sqrt{3} \times \gamma_{M1}} \quad (3.12)$$

Burada A_v kesit kesme alanı, γ_{M1} güvenlik faktörü ve z_w ise azaltma katsayısı olup aşağıdaki koşullara göre hesaplanır.

Eğer $\lambda_w < 0.83$ ise $z_w = 1$

Eğer $\lambda_w \geq 0.83$ ise $z_w = 0.83 / \lambda_w$

λ_w aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\lambda_w = \left(\frac{hw}{tw} \right) / (86.5 \times \varepsilon) \quad (3.13)$$

3.1.1.3. Yanal burulma burkulması kontrolü

Sinüs boşluklu kirişlerin üst T kesiti, momentten dolayı meydana gelen eksenel basınç kuvvetini taşımaktadır. Oldukça narin olan temel I profili sinüs boşluklu kirişe dönüşürken daha da narin hale gelmektedir. Bu durum yanal burulma burkulmasından dolayı kesitin eksenel basınç kapasitesini azaltmaktadır.

Üst T kesitte meydana gelecek eksenel basınç kuvveti yanal burulma burkulmasının da dikkate alınarak kesitin eksenel basınç kuvveti kapasitesini aşmamalıdır.

$$N_{b,Rd} \geq N_c \quad (3.14)$$

$$N_{b,Rd} = \chi \times A_0 \times \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (3.15)$$

χ burkulma moduna bağlı azaltma katsayısıdır. Ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\chi = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 + \lambda_b^2}} \quad \chi \leq 1 \quad (3.16)$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} \times (\lambda_b - 0.2) + \lambda_b^2] \quad (3.17)$$

α_{LT} , Eurocode'deki burulma eğrilerden hesaplanır. (Çizelge 3.2)

Çizelge 3.2. Burulma Eğrilerine Karşılık α_{LT} değeri (E.C 3 tablo 6.1)

Burkulma eğrisi	a_0	a	b	c	d
Kusur faktörü α_{LT}	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

Sınıf 1,2 ve 3 için

$$\lambda_b = \sqrt{A_0 \times f_y / N_{cr}} \quad (3.18)$$

Sınıf 4 için

$$\lambda_b = \sqrt{A_{0,eff} \times f_y / N_{cr}} \quad (3.19)$$

$$N_{cr} = \frac{C1 \times \pi^2 \times E \times I_y}{L^2} \quad (3.20)$$

$$C1 = \frac{12M_{max}}{3M_A + 4M_B + 3M_C + 2M_{max}} \quad (3.21)$$

Denklemdaki M_A , M_B VE M_C sırasıyla $L/4$, $L/2$ ve $3L/4$ 'deki moment değerini ifade ederken M_{max} ise kirişte meydana gelen maksimum moment değeridir.

3.1.1.4. T kesitlerinin Vierendeel eğilme kontrolü

Boşluklu kirişlerde dikkate alınması gereken bir başka husus da boşluk etrafındaki kesme kuvvetlerinin oluşturdukları lokal eğilme momentidir. Vierendeel eğilmesi denilen bu etkinin T kesitlerde (boşluktaki üst ve alt T kesitler) kontrol yapılmasını gerekmektedir. Kesme kuvvetlerinden dolayı oluşan lokal eğilme momenti

kesitin lokal eğilmeye karşı dayanımını (M_{Rd}) aşmamalıdır. Sinüs boşluklu kirişin boşluklardaki lokal eğilme momenti kapasitesi Sinüs boşluklu kiriş için (DURIF, 2012) tarafından çeşitli deneysel çalışmalar sonucu geliştirilen analitik formüllerle hesaplanmıştır.

$$M_{Rd} \geq M_{S,Ed} \quad (3.22)$$

$$N_{Rd} \geq N_{S,Ed} \quad (3.23)$$

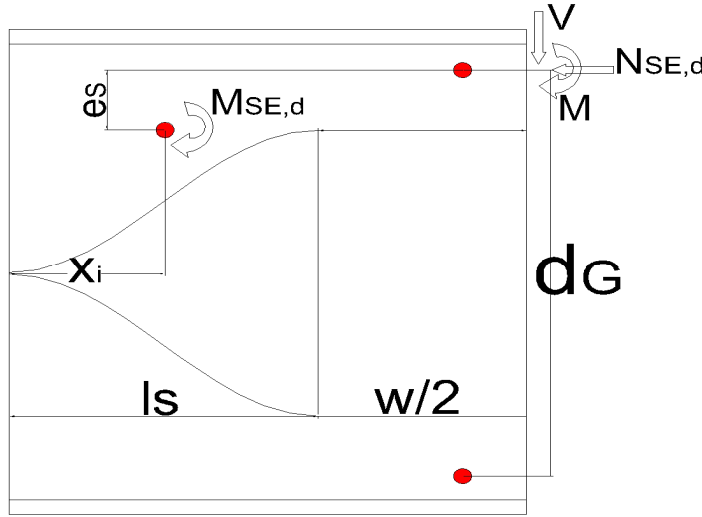
$$N_{Rd} = A_t \times f_y \quad (3.24)$$

$M_{S,Ed}$, $N_{S,Ed}$ ve N_{Rd} aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$N_{S,Ed} = \frac{M}{d_G} \quad (3.25)$$

$$M_{S,Ed} = V \times \left(l_s + \frac{w}{2} - x_i \right) - N_{S,Ed} \times e_s \quad (3.26)$$

Parametereler Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kesit Notasyon Gösterimi

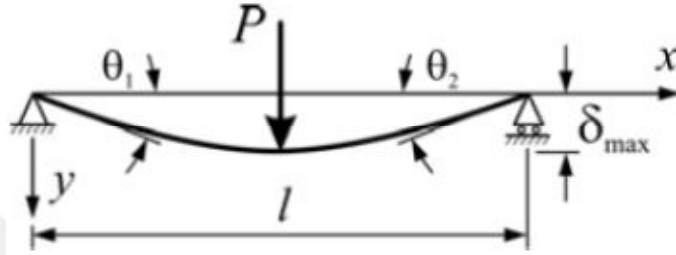
3.1.1.5. Sehim kontrolü

Geniş açıklıklı kirişlerde dikkat edilmesi gereken bir başka unsur da kirişin yapacağı düşey deplasmandır. kirişte oluşacak maksimum düşey deplasman izin verilebilir değeri aşmamalıdır. Bu değer kirişin mesnet durumuna göre değişim göstermektedir. Bu çalışmada kiriş mesnet türünün basit mesnet olduğu için oluşacak maksimum deplasman Eurucode'de belirtilen açıklık/250 değerini aşmamalıdır.

Kirişin ortasına salt tekil yük etki ettiğinde,

$$\frac{px}{12EI} \left(\frac{3l^2}{4} - x^2 \right) \leq \frac{l}{250} \quad , \quad 0 < x < \frac{l}{2} \quad (3.27)$$

Denklemdaki E, elastisite modülü ve I kirişin atalet momentidir x, p ve l ifadeleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



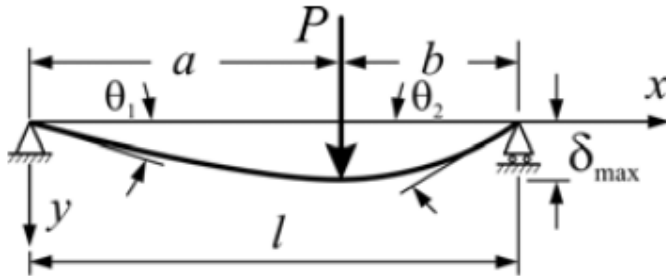
Şekil 3.6. Tekil Yük Deplasman

Kirişin her hangi noktasına salt tekil yük etki ettiğinde,

$$\frac{pbx}{6EI} (l^2 - x^2 - b^2) \leq \frac{l}{250} \quad , \quad 0 < x < a \quad (3.28)$$

$$\frac{pb}{6EI} \left(\frac{l}{b} (x - a)^3 + (l^2 - b^2)x - x^3 \right) \leq \frac{l}{250} \quad , \quad a < x < l \quad (3.29)$$

x, p, l, b ve a ifadeleri şekil 3.7'de gösterilmiştir.

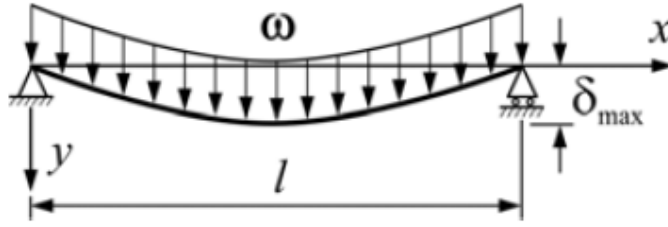


Şekil 3.7. Tekil Yük Deplasman

Kiriş üzerine yaylı yük etki ettiğinde,

$$\frac{\omega x}{24EI} (l^3 - 2lx^2 + x^3) \leq \frac{l}{250} \quad (3.30)$$

ω , l ve x ifadeleri şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Yayılı Yük Deplasman

3.1.2. Sinüs boşluklu kirişin optimum tasarım problemi

Çelik kirişin sinüs boşluklu kirişe dönüştürülmesi sırasında kiriş yüksekliği önemli bir oranda artmaktadır. Bu durum sadece oluşturulan boşlukların tesisat gibi durumlara imkan sağlamakla birlikte birincil eksen doğrultusundaki atalet momentini ciddi oranda arttırmaktadır (Sebastien vd., 2013). Böylece aynı ağırlıktaki bir kirişin taşıma kapasitesi de artmaktadır. Bir başka deyişle mevcut ağırlıktan daha düşük ağırlıktaki bir profil ile aynı oranda veya daha yüksek oranda taşıma kapasitesine sahip kirişin elde edilmesi mümkündür.

Bu kısımda sinüs boşluklu kirişin ağırlık optimizasyonu yaparken kayda alınan tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılar irdelenmiştir.

Genel bir ifade ile optimizasyon problemine örnek verilecek olursa;

$F(\vec{x})$ fonksiyonunu $g(\vec{x}) \leq 0$; $h(\vec{x}) = 0$ koşulları altında minimum veya maksimum yapan $\vec{x}$ değerlerinin belirlenmesi bir optimizasyon problemidir.

Burada $F(\vec{x})$ amaç fonksiyonunu ve $\vec{x}$ tasarım değişkenlerini ifade ederken $g(\vec{x})$ ve $h(\vec{x})$ ise sınırlayıcıları göstermektedir.

3.1.2.1. Problem tanımlanması

Sinüs boşluklu kirişin ağırlığını minimize etmek için Eurocode'da belirtilen tasarım ilkeleri dikkate alınmıştır.

Yapısal analiz sonucunda kirişe etkiyen dış yük kombinasyonundan en kritiğine göre şartnamedeki kriterleri ve geometrik sınırlamaları riayet edecek şekilde profil tablosundan IPE ve IPN kesitleri seçilecektir.

3.1.2.2. Amaç fonksiyonu

Sinüs boşluklu kirişin optimizasyon probleminde amaç kirişin ağırlığını minimize etmektir. Kiriş ağırlığını minimize edecek amaç fonksiyonu denklem (3.31)'de verilmiştir.

$$W(x) = \rho_m (A \times L - 4(\int_0^x y dx) \times tw \times N) \quad (3.31)$$

Yukarıdaki denklemde W kirişin ağırlığı, x vektörü seçilen profil türü ve sinüs boşluğunun geometrik parametrelerini içeren tasarım değişkeni vektörü, A kiriş dolu kesitinin alanını, L kiriş uzunluğunu, ρ_m çelik malzemesi birim hacim ağırlığını, tw çeliğin I kesiti gövde kalınlığını ve N kirişteki boşluk sayısını ifade etmektedir. y ise denklem (3.32) belirtilmiş olup boşluğun sinüsoidal kısmının bağıntısıdır.

$$y = (0,5 \times \frac{a_0}{2}) \times \sin[\pi(\frac{x}{l_s} + \frac{3}{2})] + \frac{a_0}{4} \quad (3.32)$$

Kiriş tasarımına boyutlar optimize edilirken aşağıdaki şartnamece belirtilen ve geometrik koşullar sağlanmalıdır.

3.1.2.3. Tasarım sınırlayıcıları

Sinüs boşluklu kirişlerin tasarım ve geometrik sınırlayıcılar olmak üzere iki tür sınırlayıcıları vardır.

- a) Tasarım sınırlayıcıları Eurocode de belirtilen çelik kirişin sağlaması gereken şartlardan oluşmaktadır. Bu sınırlayıcılar aşağıdaki denklemlerde verilmiştir:

$$M_{max} - M_{Rd} \leq 0 \quad (3.33)$$

$$V_{max} - V_{Rd} \leq 0 \quad (3.34)$$

$$M_{S,Ed} - M_{Rd} \leq 0 \quad (3.35)$$

$$N_{S,Ed} - N_{Rd} \leq 0 \quad (3.36)$$

$$\delta - \frac{L}{250} \geq 0 \quad (3.37)$$

İfadelerin hesabı ve açıklamaları bölüm 3.1.1.'de verilmiştir.

- b) Geometrik sınırlayıcıları kesim kiriş kesim olanağını zorlamaması açısından belirtilen sınırlayıcılarıdır.

$$w - 150 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad (3.38)$$

$$a_0 - 1.3h < 0 \quad (3.39)$$

(h: kiriş temel profil yüksekliği)

$$l_s - w > 0 \quad (3.40)$$

$$a - 10 \text{ mm} \geq 0 \quad (3.41)$$

$$c - 50 \text{ mm} \geq \quad (3.42)$$

$$\frac{hw}{tw} - 124\varepsilon \leq 0 \quad (3.43)$$

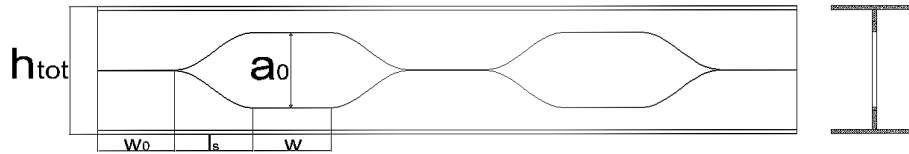
Burada hw profilin gövde kalınlığı ve tw profilin başlık kalınlığıdır. Diğer ifadeler şekil 3.10'da gösterilmiştir.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (3.44)$$

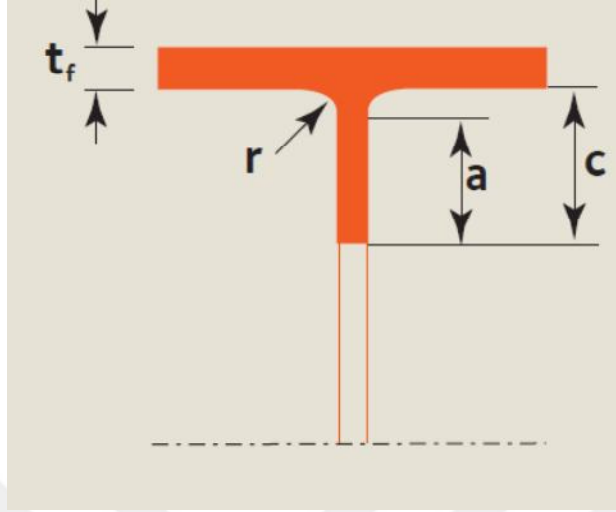
f_y: çelik malzeme akma dayanımı

$$hw = d + \frac{a_0}{2} \quad (3.45)$$

$$d = h - 2 \times (tf + r) \quad (3.46)$$



Şekil 3.9. Sinüs Boşluklu Kiriş Geometrisi



Şekil 3.10. Sinüs Boşluklu Kiriş T kesiti Geometrik Parametreleri

3.2. Uzay Kafes Sistemler

Uzay kafes sistemleri büyük açıklıklı alanlar için dünya da en çok kullanılan yapı türüdür. Uzay kafes sistemlerinde yapı elemanlarının kesme kuvveti ve moment etkisine maruz kalmadığı, sadece eleman doğrultusunda aksel çekme veya basıç kuvvetine maruz kaldığı kabulü yapılır. Bu da malzemelerin daha verimli kullanılmasını sağlar ve güvenilir hafif yapılarla sonuçlanır. Uzay kafes sistemler havalimanı terminalleri, futbol statları, tiyatro ve konser salonları, fuar alanları gibi bir çok yapıda tercih edilmektedir.

3.2.1. Uzay kafes sistemlerin tasarım ilkeleri

Uzay kafes sistemlerin tasarımı genel anlamıyla yapısal analiz ve boyutlandırma olmak üzere iki kısma bölünebilir. Dış yüklerden gelen kuvvete göre hangi çubuğa hangi miktarda kuvvet etki ettiği hesaplanıp daha sonra bu kuvvete göre eleman boyutlandırılır.

3.2.1.1. Yapısal analiz

Uzay kafes sistemlerin analizi doğrusal kafes sistemlere göre daha karmaşık olduğu için bilgisayar programlarından faydalanılabilir. Analizde kullanılan bir çok programın (SAP 2000, ANSYS, FRAMECAD) algoritması sonlu elemanlar (matris deplasman) yöntemi ile oluşturulmuştur. Bu yöntemde çubuğun i noktasından uygulanan bir birim deplasmanın j noktasında meydana getirdiği kuvvetin bulunması ile iç tesirler bağıntı (4.47)'ye göre hesaplanır.

$$[K] * \{D\} = \{F\} \quad (3.47)$$

Burada $[K]$ sistemin rijitlik matrisi $\{D\}$ deplasman vektörü ve $\{F\}$ dış yük vektörüdür.

Sabit mesnetlerde deplasmanlar sıfır olduğundan düğüm noktalarının deplasmanları belirlenerek çubuk iç kuvvetleri bulunur.

3.2.1.2. Tasarım

Daha önce bulunan çubuk kuvvetlerine göre tasarım yapılır. Günümüzde tasarım için kullanılmakta olan iki yöntem vardır. Bunlar emniyet gerilmeleri yöntemi (ASD) ve sınır durumlara (LSD) göre tasarımıdır.

Geleneksel bir boyutlandırma yöntemi olan emniyet gerilmeleri yöntemi (ASD) elastik bölgede yapılan hesaptır. Emniyet koşullarını sağlayan işletme yüklerini esas alırken göçmenin hiçbir zaman gerçekleşmeyeceği varsayılır. Emniyet gerilmelerine göre malzemenin akma dayanımı güvenlik katsayısına bölünerek emniyet gerilmesi değeri bulunur ve gerilme kontrolü bu değere göre yapılır.

ASD'ye göre elemanda oluşan gerilme değeri emniyet gerilme değerini aşmamalıdır. Bu değer elemanın en kesit alanı ve/veya en kesit atalet momentine bağlıdır. Kafes sistemlerde elemanlar sadece eksenel kuvvetlere (çekme/basınç) maruz kaldığı varsayılır. Bu yüzden tasarım çubuğun çekme veya basınç etkisinde kaldığına göre değişiklik gösterir.

Çekme çubukların statik yüklerle yüklenilmesi için çubuk kesitinin tarafsız eksene en uzak noktasının akma dayanımına ulaşacağı kabul edilir bu yüzden malzemenin akma dayanımı güvenlik sayısına bölünerek “emniyet gerilmesi” değeri bulunur. Çelik malzeme için güvenlik sayısı 1.67 alınır.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{P}{F} \leq \sigma_{\zeta em} \quad (3.48)$$

$$\sigma_{\zeta em} = \frac{\sigma_F}{\gamma_F} \quad (3.49)$$

Burada σ_F çeliğin akma gerilmesi γ_F emniyet katsayısıdır.

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki yapı elemanlarına basınç çubukları denir. Basınç çubuklarında yükler eleman yük kapasitesini aştığında doğrusallığını kaybederek eğilmeye başlar bu duruma burkulması denir. Bu durum bir stabilite problemi olduğundan dolayı tahkikler burkulmaya göre yapılır. Uzun kafes elemanının uçlarında moment taşımadığı varsayımı yapıldığı için iki ucu mafsallı bir eleman gibi düşünülebilir. Bu elemanın kritik burkulma yükü Euler denkleminde (3.50) göre hesaplanır.

$$P_{kritik} = \frac{\pi^2 EI}{L_b^2} \quad (3.50)$$

Burada P_{kritik} Çubuğun taşıyabileceği kritik basınç yükünü, E elastisite modülünü I kesitin atalet momentini ve L_b çubuğun burkulma boyunu ifade etmektedir

P_{kritik} yükü altında çubukta oluşan burkulma gerilmesi ise (3.51) bağıntısına göre hesaplanır.

$$\sigma_{kritik} = \frac{P_{kritik}}{F} = \frac{\pi^2 * E * I}{F * L_b^2} \quad (3.51)$$

$$i^2 = \frac{I}{F} \quad (3.52)$$

$$\lambda = \frac{k * L}{i} \quad (3.53)$$

Denklem (3.52) ve (3.53) denklem (3.52) de yerine konulursa denklem (3.54) elde edilir.

$$\sigma_{kritik} = \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2} \quad (3.54)$$

Burada σ_{kritik} Çubuğun taşıyabileceği kritik basınç gerilmeyi, F basınç çubuğu kesit alanını, L_b çubuğun burkulma boyunu λ basınç çubuğunun narinlik oranını ve k ise burkulma boyu katsayısını ifade etmektedir.

Kullanım yerine göre narinlik oranı için kabul edilen en büyük değerler aşağıdaki gibidir.

$\lambda \leq 20 \rightarrow$ Burkulma kontrolü gerekmediği yerler

$\lambda \leq 150 \rightarrow$ Yol ve demiryolu köprülerinde

$\lambda \leq 200 \rightarrow$ Yol ve demiryolu köprülerinin sadece tali kuvvete çalışan bağlantı çubukları ve genel olarak hafif çelik yapılarda

$\lambda \leq 250 \rightarrow$ Yüksek yapılarda

3.2.2. Kafes sistemlerin optimum tasarım problemi

Optimizasyon modelleri ise sistemin işleyişini ve özelliklerini yansıtan, sistemin içindeki ve çevresindeki diğer sistemlerle olan etkileşimleri kapsayan matematiksel ifadelerden oluşmaktadır (Williams 1999). Problemin matematik diline dönüştürülmesi için sistemi oluşturan veya etkileyen elemanlarının simgeler ile tanımlanarak aralarındaki ilişkiyi gösteren fonksiyonların oluşturulması gerekir.

Optimizasyon işlemi çözüm türü açısından üçe ayrılır. Bunlar boyut, şekil ve topoloji optimizasyonudur. Tasarımı yapılacak modelde kullanılacak elemanların en kesitlerinin belirlenerek ağırlığın minimize edilmesi boyut optimizasyonunun konusudur.

Bir kafes sistemin yönetmelikle belirlenmiş kısıtlar çerçevesinde en hafif tasarımını yapmak için optimizasyon probleminin doğru tanımlanması gerekir. Bunun için optimizasyon probleminin matematiksel ifadeye dönüştürülmüş biçimi alan amaç fonksiyonunun belirlenir. Amaç fonksiyonu ağırlığı minimize etmek olan bir problemde amaç fonksiyonunun içindeki ağırlığı etkileyen parametreler tasarım değişkenleridir. Tasarım değişkenleri bulunması hedeflenen değerlerdir. Hesap edilen amaç fonksiyonun değeri ne kadar iyi olsa da kabul edilebilecek bir tasarım olmayabilir. Kabul edilebilir bir tasarım değeri için amaç fonksiyonunun en iyi değeri aynı zamanda sınırlayıcılarla belirlenmiş çözüm kümesinin içinde olmalıdır.

Genel bir ifade ile optimizasyon problemine örnek verilecek olursa;

$F(\vec{x})$ fonksiyonunu $g(\vec{x}) \leq 0 ; h(\vec{x}) = 0$ koşulları altında minimum veya maksimum yapan $\vec{x}$ değerlerinin belirlenmesi bir optimizasyon problemidir.

Çizelge 3.3. Optimizasyon örneğini oluşturan parametreler

Sembol	Anlamı
$F(\vec{x})$	Amaç Fonksiyonu
$\vec{x}$	Tasarım değişkenleri
$g(\vec{x}) \leq 0$ $h(\vec{x}) = 0$	Sınırlayıcılar

3.2.2.1. Problem tanımlaması

Bu çalışmada uzay kafes sistemlerinin yapı ağırlığı optimizasyonu için ASD 89'daki tasarım ilkeleri kullanılmıştır. Bu kapsamda uzay kafes sistemin boyutlandırılmasında eleman kesitleri profil tablosundan seçilecektir. Bu şekilde yapının uygulanabilirliği ön planda tutulmaktadır.

N_m adet elemandan oluşan bir uzay kafes sistem tasarım değişkenlerine göre N_d adet grup oluşturularak problem formüle edilmiştir.

3.2.2.2. Amaç fonksiyonu

Amaç fonksiyonu oluşturmak için profil tablosundan her bir eleman eleman grubu için seçilecek kesit değerlerinin vektörü denklem (3.55) de verilmiştir.

$$R^T = [R_1, R_2, R_3, \dots, R_{N_d}] \quad (3.55)$$

Uzay kafes sistemin N_m adet elemanı için kesit alanlarının genel formülü denklem (3.56) de verilmiştir.

$$F^T = [F_1, F_2, F_3, \dots, F_{N_m}] \quad (3.56)$$

Kesit alanı değiştirerek ağırlığı minimize edecek amaç fonksiyonu denklem (3.57)' deki gibidir.

$$W(\vec{R}) = \sum_{m=1}^{N_m} \rho_m L_m F_m \quad (3.57)$$

Burada W kafes sistemin ağırlığını, ρ_m kullanılan malzemenin özgül ağırlığını, A_m profilin kesit alanını, L_m profilin uzunluğunu gösterir.

3.2.2.3. Tasarım sınırlayıcıları

Mafsal bağlı uzay kafes sistemlerin yapısal davranış ve performans limitleri aşağıda denklem (3.58), (3.59), (3.60) da belirtildiği gibi olmalıdır.

$$g(\vec{R})_{g_m} = \frac{\sigma_m}{(\sigma_m)_{all}} - 1 \leq 0 \quad m = 1, \dots, N_m \quad (3.58)$$

$$g(\vec{R})_{s_m} = \frac{\lambda_m}{(\lambda_m)_{all}} - 1 \leq 0 \quad m = 1, \dots, N_m \quad (3.59)$$

$$g(\vec{R})_{\delta_{jk}} = \frac{d_{j,k}}{(d_{j,k})_{all}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, \dots, N_j \quad (3.60)$$

Denklemlerdeki g_m , s_m , $\delta_{j,k}$ ile sembolize edilen ifadeler gerilme, narinlik oranı ve deplasmanlardaki kısıtlama sınırlarını formüle etmek için kullanılmıştır. Formüllerde geçen diğer ifadeler sırasıyla σ_m ve $(\sigma_m)_{all}$ m'inci eleman için hesaplanan ve izin verilebilir eksenel gerilmeyi, λ_m ve $(\lambda_m)_{all}$ m'inci eleman için narinlik oranını ve onun en üst limitini, N_j toplam düğüm noktası sayısını, $d_{j,k}$ ve $(d_{j,k})_{all}$, j'inci düğümün k'inci doğrultusunda hesaplanan deplasmanı ve izin verilebilir deplasman değerini simgeler.

3.2.3. Amaç fonksiyon değerlendirilmesi ve performans belirlenmesi

Kısıtlı optimizasyon problemlerinde çözüm yaparken algoritmalar doğrudan uygulanamaz. Bu sebeple çözüm yaparken en çok kullanılan yöntem ceza fonksiyonu yöntemidir. Bu tez çalışması kapsamında amaç fonksiyonu, denklem (3.61) de verilen fonksiyon kullanılarak tasarım kısıtlarının ihlalinin büyüklüğüne göre cezalandırılır.

$$W_p = W * (1 + T_{ceza})^\epsilon \quad (3.61)$$

Yukarıdaki denklemde W_p cezalı amaç fonksiyon değerlerini, T_{ceza} toplam ceza değerini ve ϵ ise ceza katsayısını temsil etmektedir. Bu tez çalışmasında ceza katsayısı (ϵ) 2 olarak alınmıştır. Toplam ceza (T_{ceza}) değeri denklem (3.58) - (3.60) arasında belirtilen sınırlayıcı fonksiyonlara göre aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$T_{ceza} = \sum_{i=1}^{NC} Ceza_i; Ceza_i = \begin{cases} 0 & \text{for } g_i(\vec{x}) \leq 0 \\ g_i(\vec{x}) & \text{for } g_i(\vec{x}) > 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, ss \quad (3.62)$$

Yukarıdaki denklemde ss ifadesi toplam sınırlayıcı fonksiyonunu temsil eder.

3.3. Optimizasyon Yöntemler

Literatürde son yıllarda doğadaki canlıların hareketlerinden esinlenerek bir çok metasezgisel optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada son yıllarda geliştirilen her biri metasezgisel optimizasyon yöntemi olan Karga Arama Optimizasyon Yöntemi (KAA), Simbiyotik Organizmalar Arama Optimizasyon Yöntemi (SOA) ve Ağaç Tohumu Optimizasyon Yöntemi (ATA) irdelenecektir.

3.3.1. Karga araması optimizasyon yöntemi (KAA)

3.3.1.1. Teori

Metasezgisel bir optimizasyon yöntemi olan karga araması optimizasyon yöntemi (KAA) ilk olarak (Askarzadeh 2016) tarafından geliştirilmiştir. Karga sürülerinin akıllı davranışlarına dayanan yöntem karga sürüsünün sosyal zekasını ve onların yiyecek toplama sürecini taklit etmeye çalışmaktadır. Bir karga bireyi, sürünün diğer karga üyeleri de dahil olmak üzere diğer türlerin besin kaynaklarına başvurma eğilimindedir. Aslında her karga fazla olan yiyeceğini kendi bileceği bir yerde saklamaya ve ihtiyaç anında geri almaya çalışır. Ancak kendi yemek stokları olan sürünün diğer üyeleri de bu saklanma noktasını bulmaya ve yiyecekleri yağmalamaya çalışır. Standart (KAA)'da karga sürüsü belirtilen saklanma noktaları boyunca yayılır ve arama yapar. Daha sonra karga sürüsünün her bireyi (KAA)'nın iki temel ilkesine dayanarak bir hareket yapar: (i) kendi besinini sakladığı noktayı korumak ve (ii) sürünün diğer bireyinin besin sakladığı noktayı bulmak. (Zolghadr ve Bozorg 2018)

3.3.1.2. Yöntem adımları

1. Değişkenler, amaç fonksiyonu ve tasarım sınırlayıcıları belirlenir.
2. Düzeltilebilir parametreler belirlenir. Bu parametreler, karga sayısı (N) maksimum iterasyon sayısı (maxit), uçuş mesafesi (fl) ve farkındalık olasılığı (AP) dır.
3. Kargalar için başlangıç lokasyon belirlenir. Rastgele fonksiyon kullanılarak d boyutlu bir arama uzayında N adet kargalar için rastgele noktalar belirlenir. Her bir karga, problemin olası bir çözümünü gösterirken d ise karar değişkenini belirler.
4. Kargaların ilk lokasyonu kayıt edilir. Başlangıçta kargalar için oluşturulan rastgele lokasyon karganın besin sakladığı ilk nokta olarak kabul edilir.
5. Oluşturulan ilk lokasyonların fizibilitesi kontrol edilir. Sınırlayıcı koşulları sağlayıp sağlamadığı incelenir. Bu olay sınır koşulları sağlayarak makul bir çözüme ulaşınca kadar devam edilir.
6. Rastgele bir karga seçilir (j).

eğer $r_{(j)} \geq AP_{(i,iter)}$ ise; diğer kargalar lokasyonlarını Denk. 3.63'de gösterildiği gibi günceller;

$$X_{(i,iter+1)} = X_{(i,iter)} + r_{(i)} \times f_{1(i,iter)} \times (m_{(j,iter)} - x_{(i,iter)}) \quad (3.63)$$

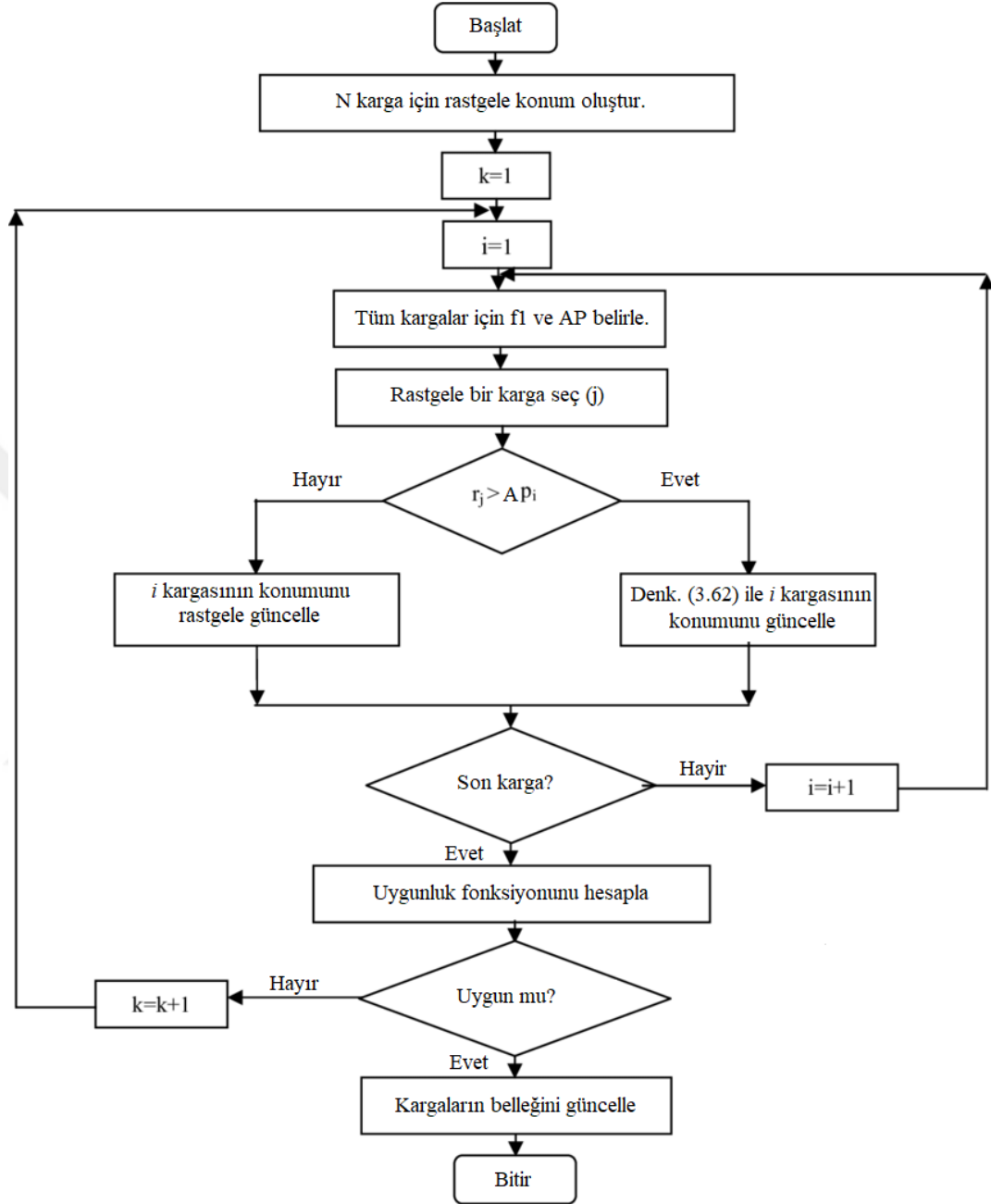
eğer $r_{(j)} < AP_{(i,iter)}$ ise;

Arama uzayında rastgele bir uygulanabilir çözüm (konum) üretilir

Burada $r_{(j)}$ 0 ile 1 arasında üniform dağılım sayısı iken $AP_{(i,iter)}$, j

kargasının iter iterasyonundaki farkındalık olasılığını gösterir.

7. Her karganın yeni lokasyondaki çözüm uygunluğu kontrol edilir. Eğer uygun değilse yeni bir rastgele çözüm üretilir.
8. Eğer yeni lokasyon uygun ise karga konumunu günceller. Değilse, karga olduğu yerde kalır ve yeni üretilen lokasyona yerleşmez.
9. Kargaların yeni lokasyonu değerlendirilir. Her karganın yeni lokasyonu için uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. Eğer karga için atanan yeni lokasyon eskisinden daha iyiyse karga lokasyonunu yenisi ile günceller.
10. Bu işlem girilen maksimum iterasyon sayısına kadar devam eder. Tüm sınırlayıcı koşullar sağlandığında amaç fonksiyonuna yakınlığı açısından en iyi çözüm optimizasyon çözümü olarak bildirilir.



Şekil 3.11. KAA Algoritma Akış Şeması

3.3.2. Simbiyotik organizmalar arama optimizasyon yöntemi (SOA)

3.3.2.1. Teori

Yeni ve güçlü bir meta sezgisel optimizasyon yöntemi olan (SOA) organizmaların ekosistemde hayatta kalmak için kullandıkları etkileşim stratejilerini simüle eder. (SOA) algoritmasının diğer birçok meta-sezgisel algoritmalara göre en

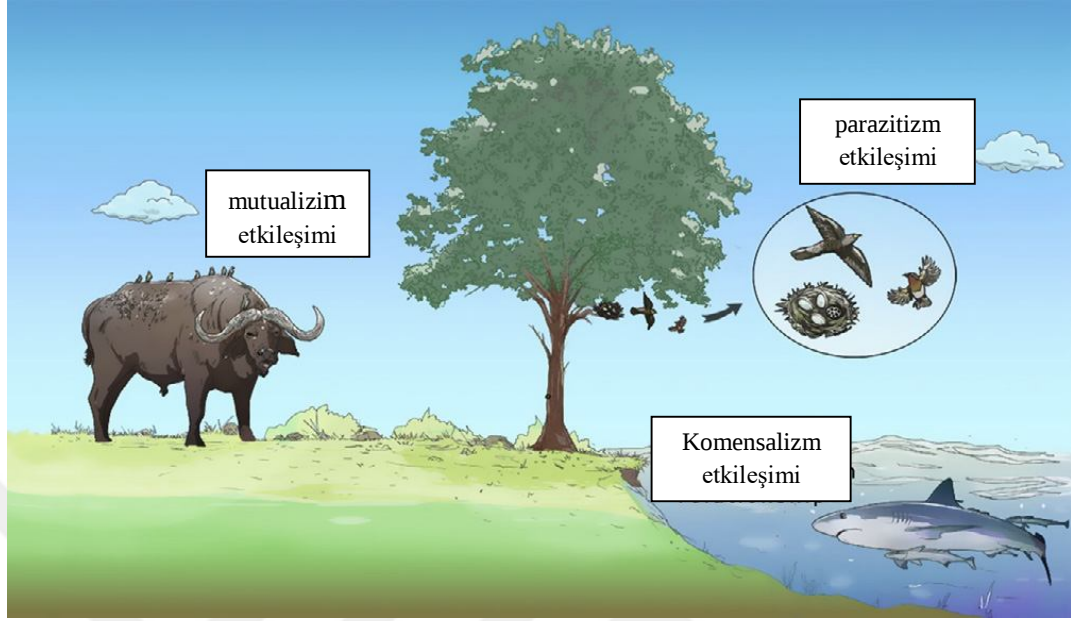
büyük avantajı işlemlerde belirli bir algoritma parametresi gerektirmemesidir. (Cheng ve Prayogo 2014)

(SOA) algoritması doğadaki organizmalar arasında görülen etkileşimli davranışı simüle eder. Organizmalar beslenme ve hatta hayatta kalmak için diğer türlere güvenme nedeniyle nadiren tecrit halinde yaşarlar. Bu güvene dayalı ilişkiye simbiyoz denir.

Yunanca'da birlikte yaşam anlamına gelen Symbiosis'ten türeyen kavram ilk olarak 1878 yılında De Bary tarafından farklı organizmaların birlikte yaşamlarını tanımlamak için kullanılmıştır (Sapp 1994). Günümüzde Symbiosis kavramı her hangi iki tür arasında olan etkileşimi tanımlamak için kullanılmaktadır. Simbiyotik etkileşimleri zorunlu veya seçmeli olabilir. Zorunlu olan etkileşim; iki organizmaların hayatta kalmaları bir birine bağlı olmalarını ifade ederken seçmelide ise organizmalar zorunluluk içermeyen ancak tarafların ortak çıkarları doğrultusunda oluşturdukları etkileşim anlamına gelir.

Doğada bulunan en yaygın simbiyotik etkileşimler mutualizm, komensalizim ve parazitizimdir. Mutualizm, her ikisinin de fayda sağladığı iki farklı tür arasında simbiyotik bir etkileşimi; Komensalizim, birinin yararlandığı ve diğerinin etkilenmediği veya tarafsız olduğu iki farklı tür arasında simbiyotik bir etkileşimi; Parazitizm ise birinin yararlandığı ve diğerinin aktif olarak zarar gördüğü iki farklı tür arasındaki simbiyotik etkileşimi ifade eder.

Şekil 3.12 bir ekosistemde beraber yaşayan bir takım simbiyotik organizmaları göstermektedir. Genel olarak, organizmalar, ortamlarındaki değişikliklere uyum sağlamak için bir strateji olarak simbiyotik etkileşimler geliştirirler. Simbiyotik etkileşimler organizmaların uzun vadede zindelik ve hayatta kalma avantajını artırmalarına yardımcı olabilir. Bu nedenle simbiyozun tüm modern ekosistemleri inşa ettiği ve şekillendirdiği ve sürdürdüğü sonucuna varmak mantıklıdır.



Şekil 3.12. Bir ekosistemde beraber yaşayan bir takım simbiyotik organizmalar (Cheng Ve Prayogo 2014)

3.3.2.2. Yöntem adımları

SOA algoritmasında yeni çözüm üretimi, ekosistemdeki iki organizma arasındaki biyolojik etkileşimi taklit edilerek gerçekleştirilir. Bunun için gerçek dünyadaki biyolojik etkileşim modeline benzeyen üç aşama tanımlanmaktadır: mutualizm aşaması, komensalizm aşaması ve parazitizm aşaması.

Etkileşimin karakteri her aşamanın ana prensibini tanımlamaktadır. Mutualizm aşamasında etkileşim her iki tarafa da yarar sağlar; komensalizm aşaması taraflardan birisine yarar sağlarken diğerine herhangi bir etki yaratmamaktadır; parazitizm aşamasında ise etkileşiminden bir taraf yararlı çıkarken diğer taraf aktif olarak zarar görmektedir. Bütün aşamalar boyunca her organizma diğeri ile etkileşim sağlarken bu işlem amaç sınırlayıcılar sağlayana kadar devam etmektedir. Aşağıdaki algoritma özeti yukarıda belirtilen açıklamaları yansıtmaktadır:

- Başlat
- Tekrarla
 - Mutualizm Aşaması
 - Komensalizm Aşaması
 - Parazitizm Aşaması
- Sınırlayıcı şartlar sağlayana kadar tekrarla

Mutualizm aşaması

Etkileşim halinde olan iki organizmaların da yararı ile sonuçlanan mutualizm aşaması için arı ve çiçekler arasındaki etkileşim örnek verilebilir. Arıların bal üretmek için çiçeklerin arasında uçup nektar toplama aktiviteleri arılara yarar sağlamaktadır. Bu aktivite aynı zamanda çiçekler için de faydalıdır çünkü arılar polenleri dağıtır, bu da tozlaşmayı kolaylaştırır. SOA aşaması bu karşılıklı etkileşim taklit eder.

SOA'ta X_i , ekosistemin i 'inci üyesiyle eşleşen bir organizmadır. Ekosistemden bir başka organizma (X_j) daha sonra rastgele seçilerek X_i ile etkileşim halinde olmaktadır. Her iki organizma da ekosistemde birlikte hayatta kalma avantajını artırmak amacıyla karşılıklı (mutual) bir etkileşim içersindedir. X_i ve X_j için yeni aday çözümler, X_i ve X_j organizması arasındaki karşılıklı simbiyoz temel alınarak formül (3.64) ve (3.65)'ye göre hesaplanmaktadır.

$$X_{i\text{new}} = X_i + \text{rand}(0,1) \times (X_{\text{best}} - MV \times BF_1) \quad (3.64)$$

$$X_{j\text{new}} = X_j + \text{rand}(0,1) \times (X_{\text{best}} - MV \times BF_2) \quad (3.65)$$

$$MV = \frac{X_i + X_j}{2} \quad (3.66)$$

Burada ;

$\text{rand}(0,1)$: rastgele sayılardan oluşan bir vektördür.

MV: karşılıklı vektör

BF_1 ve BF_2 (Fayda Faktörü) ise aşağıdaki gibi açıklanır:

Doğadaki bazı mutualizm etkileşimde organizmaların birisine diğerine göre daha iyi avantajlar sağlanabilir. Bir başka deyimle; A ve B organizmaları etkileşim halindeyken A organizması B organizmasına göre daha iyi yarar sağlayabilir. aynı zamanda organizma B sade organizma A ile etkileşime girerken yeterli veya çok önemli bir fayda elde edebilir. Burada fayda faktörleri (BF_1 ve BF_2) rastgele 1 veya 2 olarak belirlenir. Bu faktörler her organizma için fayda düzeyini temsil eder. Yani, bir organizmanın etkileşimden kısmen mi yoksa tamamen mi faydalandığını gösterir.

Karşılıklı Vektör (Mutual Vector) denilen denklem (3.66) ise X_i ve X_j organizmalarının etkileşim karakteristiklerini temsil eder. Denklemin bir parçası olan ($X_{\text{best}} - MV \times BF_1$), organizmaların hayatta kalma avantajlarını arttırmak için sarf ettikleri çabayı yansıtmaktadır. Darwin'in evrim teorisine göre, “ Sadece en uygun organizmalar galip gelecektir”. Tüm canlılar ekosistemlerine uyum derecelerini artırmak zorunda kalırlar. Bazıları hayatta kalma adaptasyonunu artırmak için diğerleriyle simbiyotik etkileşimi kullanırlar. X_{best} de burada gereklidir çünkü X_{best} en yüksek adaptasyonu temsil etmektedir. Bu nedenle, her iki organizmanın kondisyon artışı için hedef nokta olarak en yüksek adaptasyon derecesini modellemek için X_{best} / global çözümü kullanıyoruz.

Son olarak, organizmalar yalnızca yeni kondisyonları etkileşim öncesi kondisyonlarından daha iyi olduğunda güncellenir.

Komensalizm aşaması

Komensalizmin bir örneği, remora balığı ve köpekbalıkları arasındaki ilişkidir. Remora kendini köpekbalığına bağlar ve yiyecek atıkları yer, böylece bir fayda sağlamış olur. Köpek balığı ise remora balığının kendine bağlanmasından etkilenmez ve (varsa) bu etkileşimden minimum fayda sağlar.

Mutualizm aşamasına benzer olarak, ekosistemden rastgele bir organizim (X_j) seçilerek bir başka organizma olan (X_i) ile etkileşime girer. Bu durumda, organizma X_i , bu etkileşimden fayda sağlamaya çalışırken X_j organizması bu etkileşimden ne fayda sağlar ne de bundan muzdarip olur. X_i 'nin yeni aday çözümü denklem (3.67)'de modellenen X_i ve X_j arasında gerçekleşen ortak simbiyozla göre hesaplanır. kurallara uygun olarak, organizma X_i sadece yeni kondisyonu etkileşim öncesi kondisyonundan daha iyi ise güncellenir.

$$X_{i_{new}} = X_i + rand(-1, 1) \times (X_{best} - X_j) \quad (3.67)$$

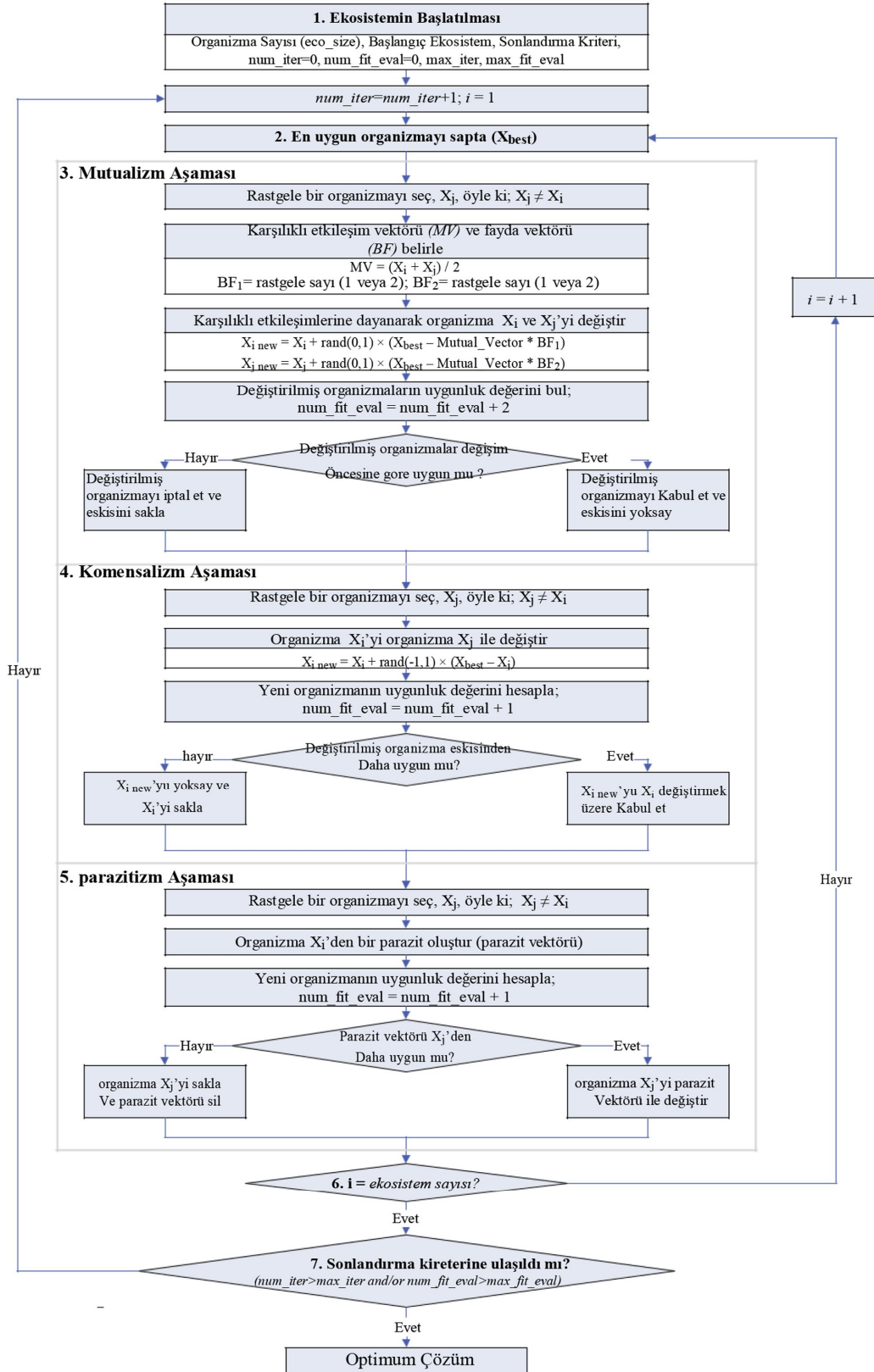
Denklemin bir parçası olan ($X_{best}-X_j$), X_i 'nin ekosistemdeki hayatta kalma avantajını (mevcut organizmada X_{best} ile gösterilen) en yüksek dereceye çıkarmasına yardımcı olmak için X_j tarafından sağlanan yararlı avantaj olarak yansıtır.

Parazitizm aşaması

Parazitizme bir örnek, insan vücuduna geçiş yapmak için anofel sivrisinek ile etkileşimini kullanan plazmodyum parazittir. Parazit insan vücudunun içinde büyür ve çoğalırken insan bünyesin sıtmaya maruz kalır ve sonuç olarak ölebilir.

SOA'ta organizma X_i 'ye, parazit vektörü (Parasite Vector) adı verilen yapay bir parazit oluşturulması yoluyla anofel sivrisineğine benzer bir rol verilir.

Parazit vektörü, organizma X_i çoğaltılıp ardından rastgele bir sayı ile rastgele seçilen boyutlar değiştirilerek arama uzayında oluşturulur. Organizma X_j ekosistemden rastgele seçilir ve parazit vektörüne bir konakçı olarak hizmet eder. Parazit vektörü ekosistemdeki X_j 'yi değiştirmeye çalışır. Organizmalar daha sonra uygunluklarını ölçmek için değerlendirilir. Her iki organizma daha sonra kondisyonlarını ölçmek için değerlendirilir. Parazit vektörünün daha iyi bir kondisyon değeri varsa, X_j organizmasını öldürür ve ekosistemdeki yerini alır. X_j 'nin uygunluk değeri daha iyi ise, X_j parazitten bağışıklığa sahip olur ve parazit vektörü artık bu ekosistemde yaşamaz.



Şekil 3.13. SOA Algoritma şeması

3.3.3. Ağaç tohumu optimizasyon yöntemi (ATA)

3.3.3.1. Teori

Ağaç ve tohumları arasındaki ilişkiyi örnek alan ATA Mustafa Kıran tarafından geliştirilmiştir (Kıran 2015). Doğada ağaçlar tohumları vasıtasıyla yüzeye çıkar. Bu tohumlar zamanla büyür ve bu tohumlardan yeni ağaçlar oluşur. Bu ağaçların yüzeyinin optimizasyon problemi için bir arama uzayı olduğunu, ağaçların ve tohumların yeri optimizasyon problemi için olası çözümler olarak düşünülebilir. Bir ağaçtan üretilecek bir tohum yeri bulmak optimizasyon problemi için önemlidir, çünkü bu süreç araştırmanın çekirdeğini oluşturur. Bu işlem için iki arama denklemi önerilir (Kıran 2015). Birinci Denklem (3.68) bu ağaç için tohumun üretileceği ağaç konumunu ve ağaç popülasyonunun en yerini dikkate alır. Bu arama denklemi ayrıca önerilen algoritmanın lokal arama veya yoğunlaştırma yeteneğini de geliştirir. İkinci Denklem (3.69) ağaca yeni bir tohum üretmek için iki farklı ağaç yeri kullanır.

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (B_j - T_{r,j}) \quad (3.68)$$

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (T_{i,j} - T_{r,j}) \quad (3.69)$$

Burada $S_{i,j}$, i'nci ağaç için üretilecek i'nci tohumun j'nci boyutu, $T_{i,j}$, i'nci ağacın j'inci boyutu, B_j şuana kadar saptanan en iyi ağaç lokasyonunun j'inci boyutu, $T_{r,j}$, topluluktan rastgele seçilen r'nci ağacın j'nci boyutu, α , $[-1, 1]$ arasında rastgele üretilen ölçek faktörü, i ve r ise, farklı indislerdir.

En önemli nokta yeni bir tohum lokasyonu üretmek için hangi denklemin seçilmesidir. Bu seçim $[0, 1]$ arasında değişen arama eğilimi (ST) adı verilen bir kontrol parametresi tarafından kontrol edilir. ST değerinin yüksek olması güçlü bir lokal arama ve hız yakınsaması sağlarken, ST değerinin düşük olması yavaş yakınsamayı ancak güçlü global aramayı sağlar. Başka bir deyişle, ATA'nın arama ve kullanma yetenekleri ST parametresi ile kontrol edilir.

ATA ile arama başlangıcında optimizasyon problemi için olası çözümler olan başlangıç ağacı konumları Denklem 3.70 ile gerçekleştirilir.

$$T_{i,j} = L_{j,min} + r_{i,j}(H_{j,max} - L_{j,min}) \quad (3.70)$$

Burada, $L_{j,min}$ arama uzayındaki alt sınırı, $H_{j,max}$, arama uzayındaki üst sınırı, $r_{i,j}$ ise $[0, 1]$ arasında her bir boyut ve lokasyon için üretilen rastgele bir sayıdır.

Minimize etmek için topluluktan en iyi çözüm Denklem 3.71 ile seçilir.

$$B = \min\{f(\bar{T}_i)\} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.71)$$

Burada N, topluluktaki ağaç sayısıdır.

Ağaç için yeni tohum lokasyonları oluşturulurken tohum sayısı birden fazla olabilir ve bu sayı topluluğun sayısına bağlıdır. Kontrol parametrelerinin ATA performansına etkilerinin analizinde, topluluk büyüklüğünün %10'unu bir ağaç için üretilen minimum tohum sayısı ve topluluk büyüklüğünün %25'i bir ağaçtan üretilen maksimum tohum sayısıdır. ATA'da tohum üretim sayısı ise tamamen rastgeledir. (Kıran 2015)

ATA'nın ayrıntılı algoritmik akışı aşağıda verilmiştir. Algoritmada ST kontrol parametresinin ATA'da nasıl kullanılacağı açıkça görülebilir.

Eğer $[0, 1]$ aralığında rastgele üretilen sayı (rand), ST'den küçük ise boyut güncellemek için Denk. 3.68 kullanılır. Değilse, Denk. 3.69 kullanılır.

3.3.3.2. Yöntem adımları

1. adım: Algoritmanın başlatılması

Popülasyon sayısı belirlenir (N).

Metodun ST parametresi ayarlanır.

Problemin boyutu belirlenir (D).

Sonlandırılma kriteri belirlenir.

Denk. 3.70 kullanılarak D boyutlu arama uzayında N adet rastgele ağaç oluşturulur (T).

Problem için belirlenen amaç fonksiyonu kullanılarak ağaç konumu değerlendirilir.

Denk. 3.71 kullanılarak en iyi çözüm seçilir.

2. Adım: Tohumlar ile arama

Tüm ağaçlar için döngü başlatılır.

Ağaçlar için üretilen tohum sayısına karar verilir.

Tüm tohumlar için döngü başlatılır.

eğer $(rand < ST)$ ise,

Denk. 3.68 kullanılarak bu boyut güncellenir.

değilse,

Denk. 3.69 kullanılarak bu boyut güncellenir.

Koşullu döngü sonlandırılır

Döngü sonlandırılır.

Döngü sonlandırılır.

En iyi tohum seçilir ve ağaç ile karşılaştırılır.

Eğer tohumun lokasyonu ağacın lokasyonundan daha iyi ise, tohum bu ağacın yerini alır.

Döngü sonlandırılır.

3. Adım: En uygun çözümün seçilmesi

Denk. 5 kullanılarak popülasyonun en uygun çözümü seçilir.

Eğer yeni en uygun çözüm eskisinden daha iyi ise yeni çözüm eskisi yerine seçilir.

4. Adım: sonlandırma kriterinin test edilmesi

Eğer sonlandırma kriteri sağlanmamışsa ikinci adıma gidilir.

5. Adım: Raporlama

En uygun çözüm rapor edilir



4. BULGULAR

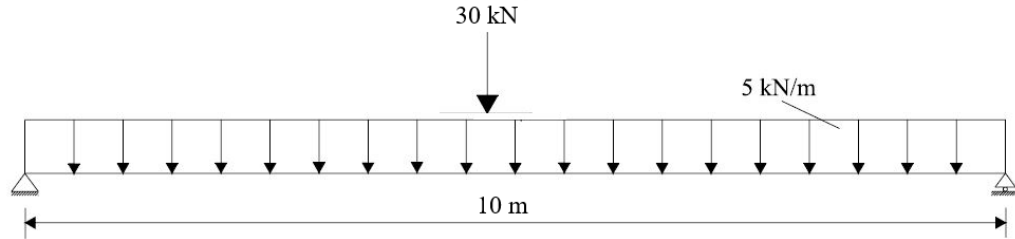
Bu tez çalışmasında sinüs boşluklu kirişten iki ve uzay kafes sistemden de iki olmak üzere 4 örnek problem çalışmada ele alınan optimizasyon yöntemleriyle optimize edilip algoritmaların performansları analiz edilmiştir. Sinüs boşluklu kiriş örneklerinin ikisi de basit mesnetlidir. Birinci örnek 10 metre açıklığa sahipken açıklık boyunca 5 kN/m yayılı ve açıklık ortasında 30 kN tekil yüke maruz kalmaktadır. Uzay kafes örneklerin birisi 354 elemanlı uzay kafes kubbe modeli ve diğeri ise 160 elemanlı uzay kafes piramit modelidir. Söz konusu kafes örnekleri daha önce farklı optimizasyon yöntemleri ile çözülmüştür. böylece çalışmada ele alınan optimizasyon yöntemlerin daha önce örneklere uygulanmış optimizasyon yöntemlerle kıyaslanarak performansları tartışılmıştır.

4.1. Sinüs Boşluklu Kiriş Tasarım Örnekleri

Sinüs boşluklu kiriş tasarımında Eurocode şartnamesinde bulunan ilkeler dikkate alınmıştır. Optimizasyonda, minimum kiriş ağırlığı sağlamak üzere kiriş kesiti ek-1’de verilen IPE profillerden seçilmiştir. Çelik malzemesi elastisite modülü $E=210000$ MPa ve akma dayanımı $F_y=335$ MPa olarak alınmıştır.

4.1.1. 10 metre açıklıklı kiriş

Kesiti sinüs boşluk IPE profilden oluşacak basit mesnetli 10 metre açıklıklı kirişin ortasından 30 kN tekil yük etki etmektedir Şekil 4.1. Ayrıca kiriş açıklığı boyunca 5 kN/m yayılı yük etki etmektedir. Kirişin ortasında oluşacak maksimum deplasman 3.2 cm ile sınırlandırılmıştır. Kiriş yanal olarak desteklenmediği varsayılmıştır.

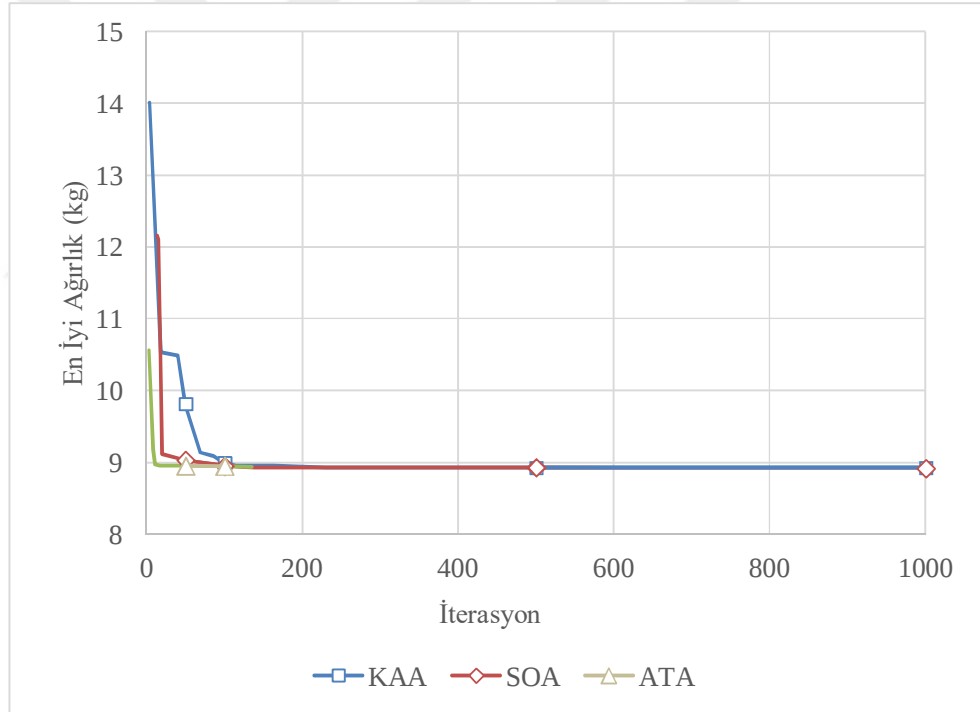


Şekil 4.1. Basit mesnetli 10 m açıklıklı sinüs boşluklu kiriş örneği

Optimizasyon sonucu kiriş için 3 yöntemle de seçilen kiriş kesit özellikleri ve kiriş ağırlığı Çizelge 4.1’de verilmiştir. Optimizasyon arama geçmişi ise Şekil 4.2’de verilmiştir.

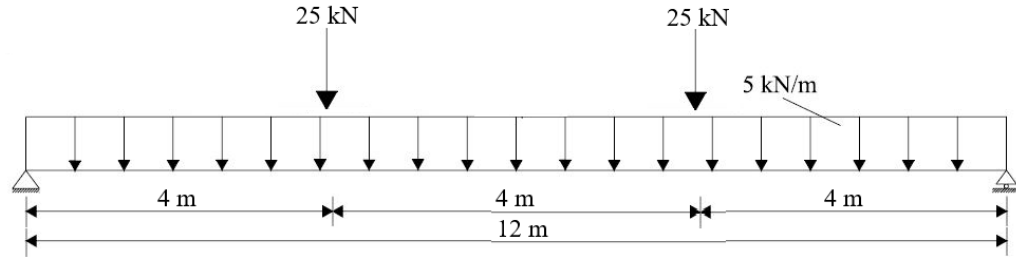
Çizelge 4.1. 10 m Açıklıklı kiriş optimum sonuçları

Kesit Özellikleri	KAA	SOA	ATA
n	14	15	14
Seçilen Kesit	IPE 500	IPE 500	IPE 500
a0 (mm)	443	401	455
w (mm)	164	164	168
ls (mm)	186	164	182
Maksimum mukavemet oranı (Γ_{brd})	0.909	0.944	0.900
Kiriş ağırlığı (kN)	8.929	8.920	8.930

**Şekil 4.2.** 10 m açıklıklı kiriş optimizasyon arama geçmişi

4.1.2. 12 metre açıklıklı kiriş

Kesiti sinüs boşluk IPE profilden oluşacak basit mesnetli 12 metre açıklıklı kirişin iki noktadan her biri 25 kN olan tekil yük etki etmektedir Şekil 4.3. Ayrıca kiriş açıklığı boyunca 5 kN/m yayılı yük etki etmektedir. Kirişin ortasında oluşacak maksimum deplasman 4.8 cm ile sınırlandırılmıştır. Kirişin yanal destek almadığı varsayılmıştır.

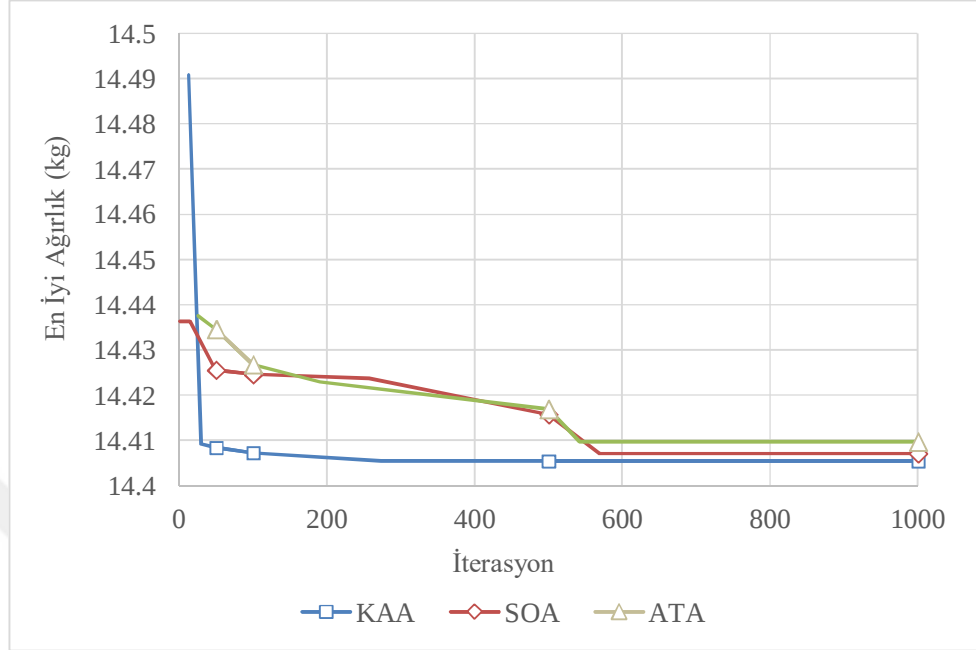


Şekil 4.3. Basit mesnetli 12 m açıklıklı sinüs boşluklu kiriş örneği

Optimizasyon sonucu kiriş için 3 yöntemle de seçilen kiriş kesit özellikleri ve kiriş ağırlığı Çizelge 4.2’de verilmiştir. Optimizasyon arama geçmişi ise Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 12 m Açıklıklı kiriş optimum sonuçları

Kesit Özellikleri	KAA	SOA	ATA
n	18	16	17
Seçilen Kesit	IPE 600	IPE 600	IPE 600
a0	549	568	568
w	162	154	159
ls	166	215	188
Maksimum mukavemet oranı (Γ_{brd})	0.998	0.985	0.985
kiriş ağırlığı (kN)	14.404	14.407	14.410



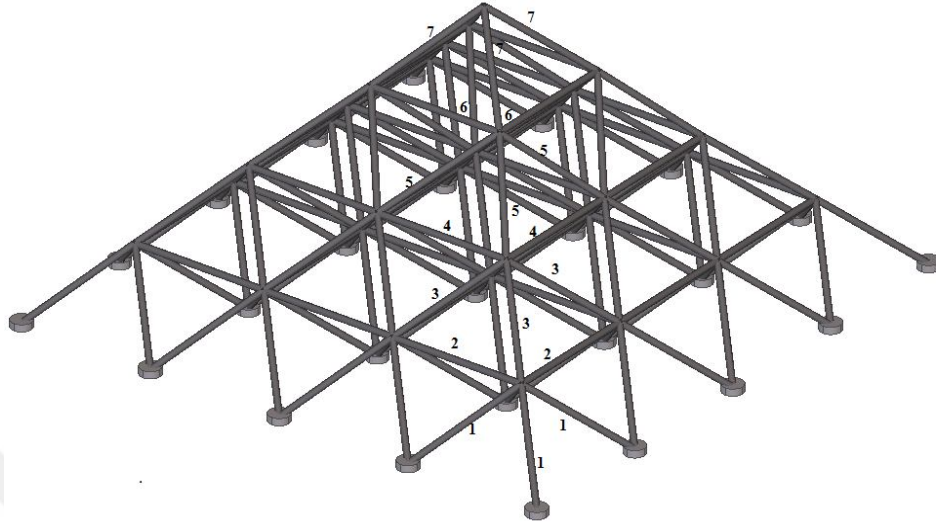
Şekil 4.4. 12 m açıklıklı kiriş optimizasyon arama geçmişi

4.2. Uzay Kafes Sistemi Tasarım Örnekleri

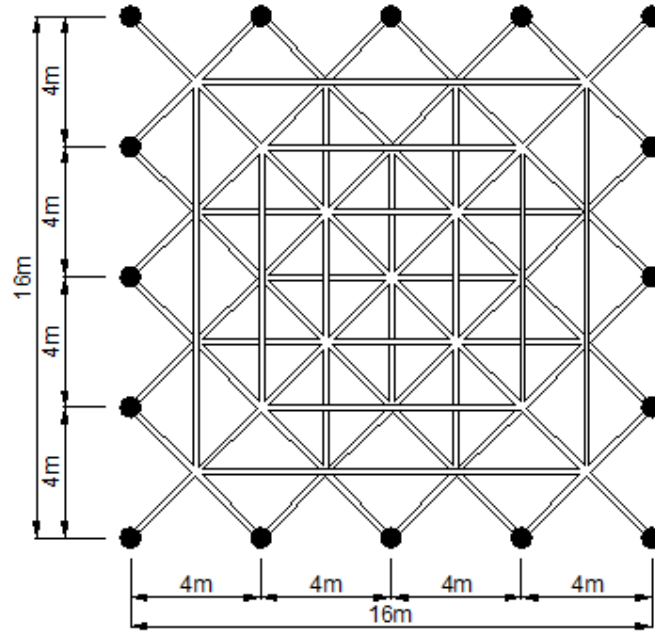
Bu çalışmada iki uzay kafes sistemi örnekleri işlenmiştir. 160 elemanlı piramit modeli ve 354 elemanlı kubbe modeli API (program arayüz uygulaması) özelliği ve Sap2000 programı ile entegre çalışan Visual Basic tabanlı yazılım ile analiz edilmiştir. Her iki örnek için de optimizasyon sırasında eleman kesitleri Ek-2’de verilen 37 adet çelik boru profilleri arasından yapı ağırlığını minimize edecek ve ASD 89 şartnamesindeki kısıtlamalara uyacak şekilde seçilmiştir. Kullanılacak çelik malzemesi elastisite modülü $E=2.1 \times 10^5$ Mpa ve akma dayanımı $F_y= 220$ Mpa

4.2.1. Uzay kafes piramit örneği

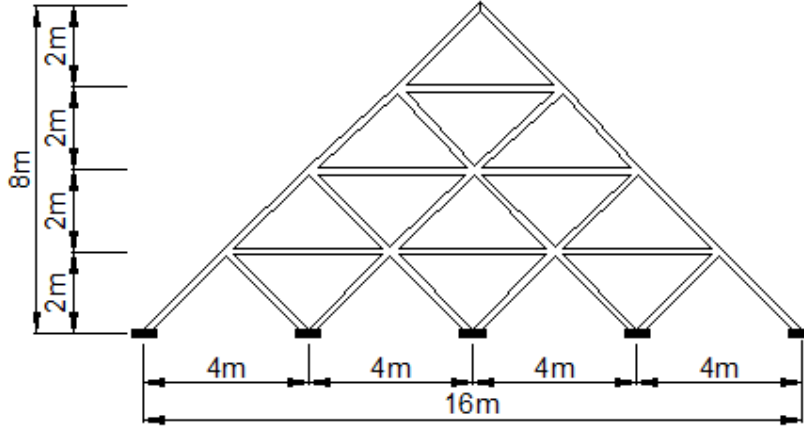
Bu çalışmada ele alınan uzay kafes piramit örneği 160 çubuk elemandan oluşmaktadır. Elemanlar mafasallı (moment almayan) 55 düğüm noktasından bağlanmıştır. Yapının kenarlarının izdüşüm uzunlukları 16m ve toplam yüksekliği 8m’dir. Simetriden yararlanılarak çubuk elemanları için 7 farklı tasarım grubu oluşturulmuştur Şekil 4.5. Yapının tüm düğüm noktasına gravite yönünde 8.53 kN yük etki etmektedir. Yapı düğüm noktalarında yükün etki ettiği yönde oluşacak maksimum deplasman 4.45 cm ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 4.5. Uzay kafes piramit modeli 3 boyutlu görünüşü (KILIÇ 2018)



Şekil 4.6. Uzay kafes piramit modeli plan görünüşü



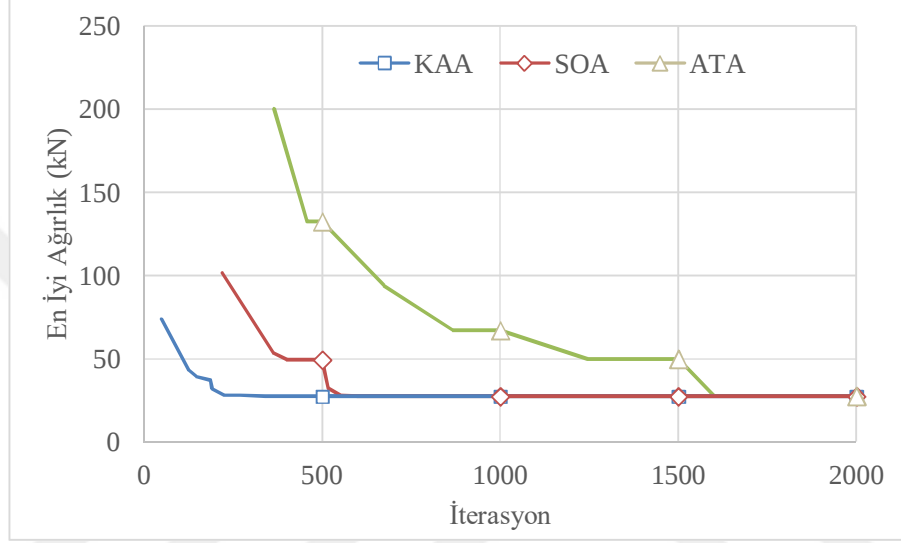
Şekil 4.7. Uzak kafes piramit modeli kesti görünüşü

Çizelge 4.3. Uzak kafes piramit modeli optimum sonuçları

	KA	SO	AT
Grup No	Seçilen Kesit		
1	P2	P2	P2
2	P1.25	P1.25	P1.25
3	P2	P2	P2
4	P1.25	P1.25	P1.5
5	P2	P2	P2
6	P1.25	P1.25	P1.25
7	P2	P2	P2
Maks. Muk. Oranı	0.372	0.372	0.843
Maks. Deplasman (cm)	0.012	0.012	0.013
Ağırlık (kN)	27.349	27.349	27.658

Bu çalışmada analiz edilen uzak kafes piramit modeli literatürde daha önce de farklı optimizasyon yöntemleri ile optimize edilmiştir. Hasaıebi ve Çarbaş (2011) iki farklı versiyonlu karınca kolonisi (ACO1 ve ACO2) algoritmasını kullanarak model ağırlığını sırasıyla 28.19 kN ve 27.63 kN bulmuştur. Hasaıebi ve Azad (2012), BB-BC ve MBB-BC algoritmaları kullanarak yaptıkları çalışmada 27.67 kN ve 27.35 kN değerlerini, Eser (2014) yaptığı çalışmada YAK algoritması kullanarak 27.35 kN değerini elde etmişlerdir. En az ağırlığa sahip model optimizasyonunu ise Kılıç (2018) yaptığı çalışmada YAK, BFA ve BTA yöntemleri ile 27.35 kN olarak bulmuştur.

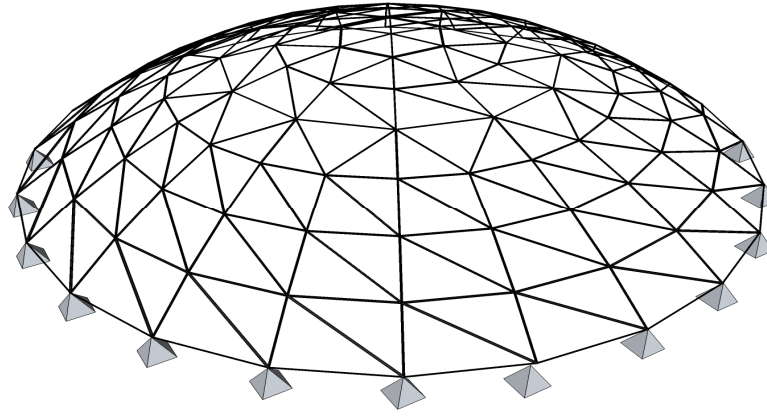
Bu çalışmada KAA, SOA ve ATA yöntemleri kullanılarak model için en uygun ağırlık 27.35 kN olarak bulunmuştur. Optimizasyon sonucu bulunan modele ait değerler Çizelge 4.3'te listelenmiştir. Söz konusu yöntemlere ait arama geçmişleri ise Şekil 4.8'de verilmiştir.



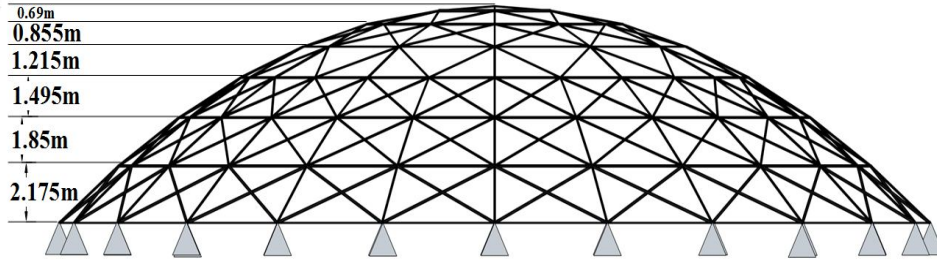
Şekil 4.8. Uzay kafes piramit modelinin KAA, SOA ve ATA algoritmaları arama geçmişi

4.2.2. 354 elemanlı uzay kafes kubbe örneği

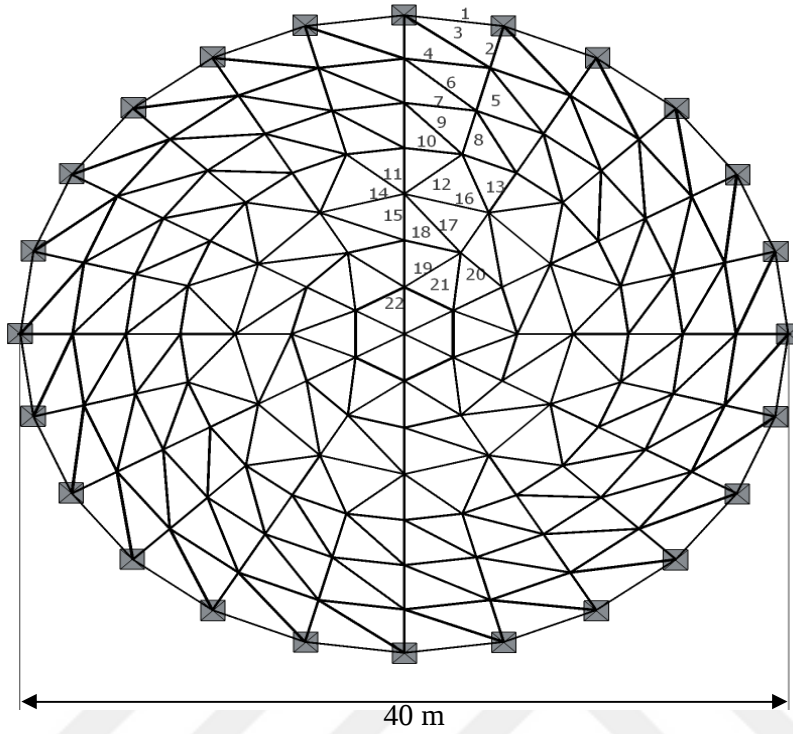
354 çubuk elemanından oluşan uzay kafes kubbe modeli 127 düğüm noktasından moment aktarmadığı varsayılan mafsallı olarak bağlantı ile oluşturulmuştur. Çapı 40 m ve yüksekliği 8.28 m olan kubbe analizinde simetri ve benzerlikten faydalanarak çubuk elemanları 22 farklı gruptan oluşturulmuştur Şekil 4.9 ve Şekil 4.10.



Şekil 4.9. Uzay kafes kubbe modeli 3 boyutlu görünümü



Şekil 4.10. Uzay kafes kubbe modeli yan görünümü



Şekil 4.11. Uzay kafes modelinin plan görünümü

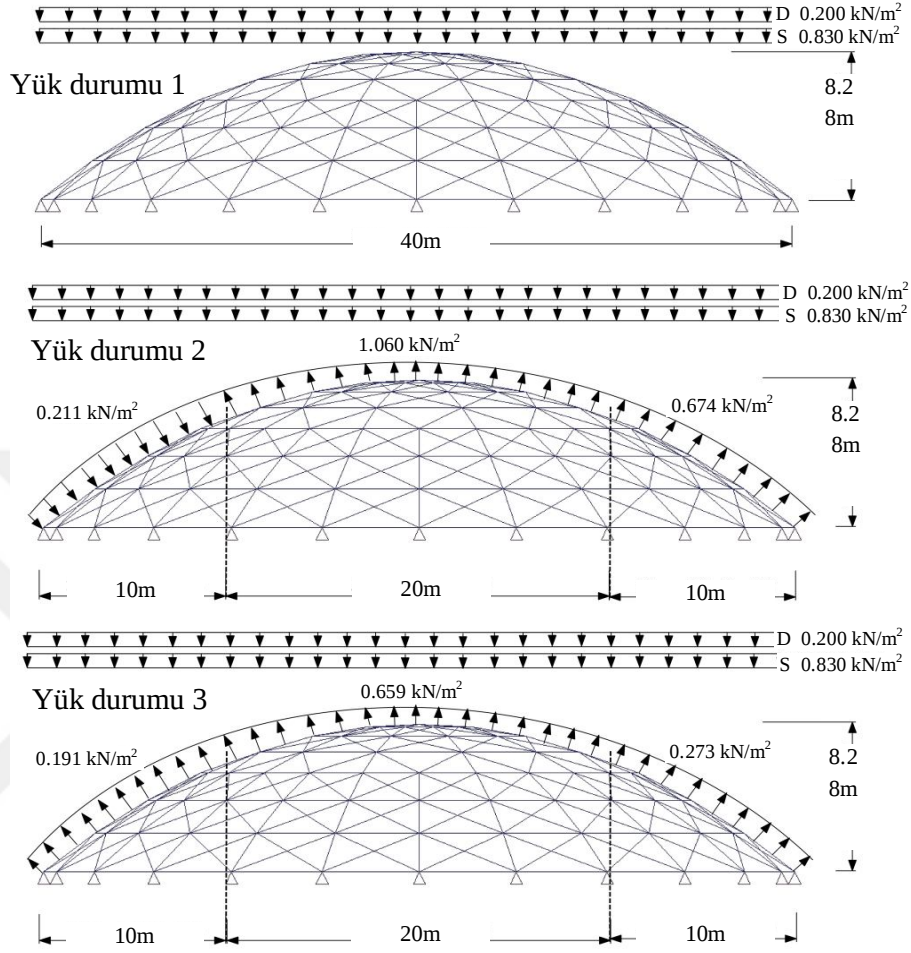
Modelde ASCE 7-98’de verilen şartlara göre hesaplanmak üzere 3 yük kombinasyonu tanımlanmıştır. Ölü (D), rüzgar (W) ve kar (S) yüklerinden oluşan bu kombinasyonlar aşağıda verilmiştir. Bu kombinasyonların açıklaması Şekil 4.12’de verilmiştir.

- Yük durumu 1 : D+S
 Yük durumu 2 : D+S-W
 Yük durumu 3 : D+S+W

Rüzgar yükü, kubbe yüzeyinde ölü ve kar yükleri varken etki ettiği varsayılmıştır. Kaplama malzemesi olarak alüminyum sandviç panel kullanıldığı düşünülmüştür. Buna göre ölü yük değeri 200 N/mm^2 olarak hesaplanmıştır. Tasarım kar yükü ise ASCE 7-98’e göre Denklem (4.1)’de verilmiştir.

$$p_s = 0.7C_sC_eC_tI_Bp_g \quad (4.1)$$

Burada; P_s tasarım kar yükü, C_s çatı eğim faktörü, C_e cephe katsayısı, C_t ısı faktör katsayısı, I_B yapı önem katsayısı ve p_g zemin kar yükü değeridir. Bu uygulamada $C_s=1$, $C_e=0.9$, $C_t=1$, $I_B=1.1$, $p_g= 1.1975 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Buna göre p_s değeri 830 N/m^2 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kar birikme yükü ihmal edilmiştir.



Şekil 4.12. Uzay kafes kubbe yapının yük durumları

$$q_h = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I_B \quad (4.2)$$

q_h rüzgar yükü ASCE 7-98' göre yapının zeminden olan yüksekliğe bağlı olarak hesaplanır. k_z cephe katsayısı, K_{zt} topoğrafi faktörü, K_d rüzgar yön faktörü, V temel rüzgar hızı ve I_B önem faktörüdür. Kubbe yapı için ise bu ifadeler $K_z=1.07$, $K_{zt}=1.087$, $K_d=0.85$, $V=40$ m/s, $I_B=1.15$ alınarak $q_h=1115$ N/m² olarak hesaplanmıştır. Rüzgar basıncı çatı iç ve dış basınçlarının bileşkesi dikkate alınarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$q_h = q_h G C_p - q_h (G C_{pi}) \quad (4.3)$$

Denklemdaki q_h rüzgar tasarım basıncı, G ani rüzgar etki faktörü (bu örnekte 0.85 alınmıştır.), C_p dış basınç katsayısı ve $G C_{pi}$ ise iç basınç katsayısıdır. Denklem (4.3)'te görüldüğü gibi birinci kısım dış basıncı ikinci kısım ise iç basıncı dikkate

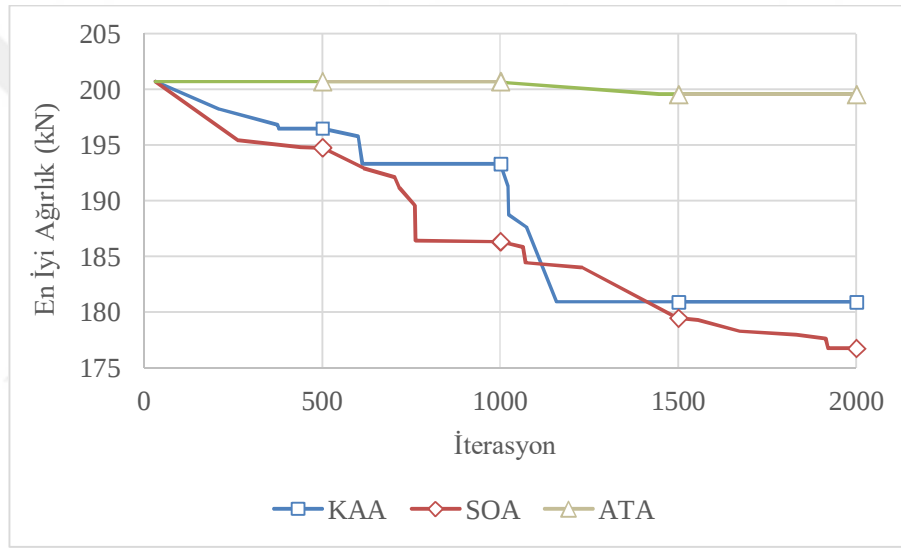
almaktadır. Dış rüzgar basıncı hesabında kubbe Şekil 4.12’de gösterildiği gibi üç bölüme ayrılmıştır. Bunlar rüzgarın geliş yönü, merkezi ve gidiş yönü kısımlarıdır. Dış basınç katsayısı C_p bu üç kısma göre sırasıyla 0.0105, 0-0.907 ve -0.5 olarak alınmıştır. GC_{pi} katsayısı yük durumu iki ve üç için emme ve kaldırma etkileri dikkate alınarak +0.18 ve -0.18 olarak alınmıştır. Kubbenin farklı kısımlarında oluşan net basınç Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Tüm düğümler için yer oluşacak deplasman 11.1 cm ile sınırlandırılmış olup kubbe çubuk kesitlerinin gerilme ve stabilitesi ASD-89’e göre hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Uzay kafes kubbe yapı optimum sonuçları

Grup No	CAA	SOA	ATA
	Seçilen Kesit		
1	P2	P2	P2
2	PX3	P3.5	PX3
3	P3.5	P3.5	PX3.5
4	P3.5	P3.5	P3.5
5	P3.5	P3.5	PX3.5
6	P3.5	P3.5	P3.5
7	P3.5	P3.5	P4
8	PX3	P3.5	P4
9	P3.5	P3.5	P4
10	P3.5	P3.5	P4
11	P3	PX2.5	P3.5
12	PX3	P3.5	P4
13	PX3	P3.5	P3.5
14	P3.5	P3.5	PX3
15	P2.5	P2.5	P2.5
16	P3.5	PX3	P3.5
17	PX2.5	P2.5	P2.5
18	PX2.5	PX3	PXX2
19	P3	P3	P3
20	P3.5	P3	PX3
21	P3	PX2.5	P3
22	P3	P3	PXX2
Maks. Muk. Oranı	0.885	0.903	0.877
Maks. Deplasman (cm)	0.066	0.066	0.055
Ağırlık (kN)	180.897	176.748	200.706

Bu çalışmadaki uzay kafes kubbe örneği literatürde farklı optimizasyon yöntemleri ile optimize edilmiştir. Hasaıçebi ve diğlerleri (2009) SA, ESs, ve PSO algoritmaları ile minimum ağırlığı 144.90 kN olarak bulmuştur. Hasaıçebi ve Azad (2012) BB-BC ve MBB-BC algoritmalarıyla model ağırlığını sırasıyla 184.22 kN ve 144.90 kN olarak bulmuştur. Yine aynı örneği Kılıç (2018) YAK, BFA ve BTO algoritmaları kullanarak model ağırlıklarını sırasıyla 155.81 kN, 152.75 kN ve 151.07 kN olarak bulmuştur. Bu çalışma kapsamında analiz edilen aynı modelin sonuçları Çizelge 4.4'te listelenmiştir. Optimizasyona ait arama geçmişi ise Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Uzay kafes kubbe modeli optimizasyon arama geçmişi

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında malzemesi çelik olan iki sinüs boşluklu kiriş ve iki uzay kafes sistemi modeli olmak üzere 4 örnek modelin ilgili şartnamelerin esaslarına uygun olarak boyut optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyonda birer metasezgisel optimizasyon yöntemi olan KAA, SOA ve ATA optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Oluşturulan tüm modellerde yapı ağırlığı amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

Sinüs boşluklu kiriş ve uzay kafes sistemi modellerinin üç farklı optimizasyon yöntemi ile boyut optimizasyonu yapılması bu üç yöntemin performanslarını inceleme imkanı sunması açısından önemlidir. Çözülen örneklerin bazıları daha önce literatürde farklı optimizasyon yöntemleri ile çözülmüş olduklarından dolayı mevcut tezde incelenen optimizasyon yöntemini diğer metasezgisel optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırma imkanı sunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre uzay kafes sistemi modellerde bu tezde kullanılan KAA, SOA ve ATA yöntemleri aynı örnekler için literatürde boyut optimizasyonu yapılmış diğer yöntemlere yakın sonuçlar vermiştir. Sinüs boşluklu kirişler için daha önce boyut optimizasyonu yapılmış gövde boşluklu kirişler kıyaslandığında mevcut çalışma daha yüksek çelik metrajı verdiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi I türü çelik profillerin gövdeleri oldukça narinken aynı kalınlıktaki gövdelerini yükselterek daha da narin hale getirilmesidir. Literatürde optimize edilen gövde boşluklu kirişleri tekil yüklerin etkidığı yüklerin ikincil kirişlerden geldiği varsayımına dayanarak optimizasyonu yapılmış kirişlerin o noktalardan yanal destek aldığı ve ikincil kirişlerin birer berkitme işlevi gördüğü düşünüldüğü içindir. Bu tezde optimizasyonu yapılmış sinüs boşluklu kirişlerin maksimum mukavemet oranı da kirişin yanal burkulmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Böylece gövde boşluklu kirişleri için berkitme gibi yanal desteğin önemine de vurgu yapılmıştır.

KAA, SOA ve ATA yöntemleri kendi aralarında karşılaştırdığımızda sinüs boşluklu kirişin optimum tasarımı bu çalışmada incelemeye alındığı optimizasyon yöntemlerinin üçü de birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Uzay kafes sisteminin 160 elemanlı piramit modelinde de benzer şekilde KAA, SOA ve ATA optimizasyon yöntemleri birbirine yakın sonuçlar verirken 354 elemanlı uzay kafes kubbe modelinde yapı ağırlığı olarak SOA optimizasyon yöntemi diğer iki yöntemle göre daha iyi sonuç vermiştir.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışması sonucunda ortaya çıkan sonuçları aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir.

Tez çalışması kapsamında incelenen KAA, SOA ve ATA optimizasyon yöntemleri sinüs boşluklu kirişler ve uzay kafes sistemlerin optimum boyutlandırılmasında etkin performans göstermiş ve bunun optimizasyon problemlerinde kullanılabilir özelliktedirler.

KAA, SOA, ve ATA optimizasyon yöntemleri kendi aralarında mukayese edildiklerinde bariz bir üstünlük görülmemiştir. Nitekim daha az yapı elemanına sahip uzay kafes modelinde yöntemlerin üçü de aynı sonuçları verirken yapı elemanı fazla olan uzay kafes modeli için algoritmalar arasında en iyi çözümü SOA algoritmasının verdiği gözlemlenmiştir.

Sinüs boşluklu kirişlerin optimum boyutlandırılmasında her iki örnekte de göçme modunun açık arayla yanal burkulmadan meydana geldiği görülmüştür. Bu doğrultuda sinüs boşluklu kiriş uygulamalarında boşluğun olmadığı noktalardan yanal berkitme gibi yanal destekler kullanılması önerilebilir. Dolayısıyla gövdesi yükseltilmiş boşluklu kirişlerde berkitme ve yanal desteğin etkisi üzerine çalışmalar yapılması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- ArcelorMittal, 2009, <http://amsections.arcelormittal.com/products-services/constructive-solutions/angelina.html>, ArcelorMittal.
- Askarzadeh, A. 2016. A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems, Crow search algorithm. *Computers & Structures*, 169, 1–12.
- Aydoğdu I. 2017. Cost optimization of reinforced concrete cantilever retaining walls under seismic loading using a biogeography-based optimization algorithm with levy flights: *Engineering Optimization*, 49(3), 381-400.
- Aydoğdu I. et al. 2018. Optimum Design of Purlin Systems Used in Steel Roofs: *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 4(3), 89-94.
- Durif S., B. AbdelHamid, and V. Olivier, 2013, Validation of an analytical model for curved and tapered cellular beams at normal and fire conditions: *Periodica Polytechnica-Civil Engineering*, v. 57, p. 83-95.
- Durif S., A. Bouchair, and O. Vassart, 2013, Experimental tests and numerical modeling of cellular beams with sinusoidal openings: *Journal of Constructional Steel Research*, v. 82, p. 72-87.
- Erdal F. (2017), A firefly algorithm for optimum design of newgeneration beams *Engineering Optimization*, 49:6, 915-931.
- Eser, C. 2014. Optimum design of steel structures via atrificial bee coloney (abc) algorithm and sap2000. *Middle East Technical University*.
- EuroCode 3., 1995, Design of steel structures-part 1-1: general rules and rules for buildings, annex N, ENV 1993-1-1.
- EuroCode 3., 2004, Design of steel structures Part 1 Plated structural elements, annex C.
- Farshchin M. vd (2015), Multi-class teaching–learning-based optimization for truss design withfrequency constraints: *Engineering Structures* 106 (2016) 355–369
- Hasançebi, O., ve Çarbaş, S. 2011. Ant colony search method in practical structural optimization.
- Hasançebi, O., ve Azad, S. K. 2012. Discrete size optimization of steel trusses using a refined big bang–big crunch algorithm. *Engineering Optimization*, 46(1), 61-83.
- Hasançebi, O., Çarbaş, S., Doğan, E., Erdal, F., and Saka, M. 2009. Performance evaluation of metaheuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures. *Computers & Structures*, 87(5), 284-302.
- Kanarachos S. vd (2016), Efficient truss optimization using the contrast-based fruit fly optimization algorithm: *Computers and Structures* 182 (2017) 137–148

- Kılıç V. 2018, alüminyum kafes sistemlerin meta sezgisel optimizasyon tekniklerine göre optimum tasarımı. Yüksek lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya 41 s.
- Kiran M. S. 2015. Tree-seed algorithm for continuous optimization
Expert Systems with Applications 42(2015) 6686-6698
- Kumbhar P. D. ve Jamadar A.M. 2015, Optimization of opening size for castellated beam with sinusoidal openings: *Int. J. Optim. Civil Eng.*, 2015; 5(3):301-313
- Matisziw T. C. & Demir E. 2012, Inferring network paths from point observations: *Int. J. Geographical Inf. Science*, 26(10), 1979-1996
- Cheng M.Y. ve Prayogo D. 2014. A new metaheuristic optimization algorithm, Symbiotic Organisms Search. *Computers and Structures* 139 (2014) 98-112
- Redwood, R., 1978, Analyse et dimensionnement des poutres ayant des ouvertures dans les âmes, *Rev Constr Mét (CTICM)*, p. 15-27.
- Saka M. P. vd. 2015, Use of Swarm Intelligence in Structural Steel Design Optimization: *Metaheuristics and Opt. in Civil Eng.* 7(MOST) 43-73.
- Sapp J. Evolution by association: a history of symbiosis: a history of symbiosis. New York: *Oxford University Press*; 1994.
- Tejani G. 2019, Multi-objective heat transfer search algorithm for truss optimization: *Engineering with computers* 10.1007/s00366-019-00846-6
- Uzun B. Civalet O. Aydoğdu I. 2019, Optimum Design of Nano-Scaled Beam Using the Social Spider Optimization Algorithm: *JACM*.2019.31406.1870
- Zolghadr-Asli, B., Bozorg-Haddad, O., & Chu, X. 2018. Crow search algorithm (KAA). In: *Advanced Optimization by Nature-Inspired Algorithms*, Springer, Singapore, 143-149.

8. EKLER

8.1. Ek-1 Sinüs Boşluklu Kiriş Tasarımı İçin Kullanılan IPE Profil Tablosu

TASARIM ÖLÇÜLERİ				KESİT ALANI	ÖLÇÜLER					KESİT	
I_y	G	d	h_i	A	r	t_f	t_w	b	h	G	
cm^4	kg/m	mm	mm	cm^2	mm	mm	mm	mm	mm	kg/m	
141.2	6.9	74.6	88.6	8.78	7	4.7	3.6	55	98	6.9	IPE A 100
171.0	8.1	74.6	88.6	10.32	7	5.7	4.1	55	100	8.1	IPE 100
257.4	8.7	93.4	107.4	11.03	7	5.1	3.8	64	117.6	8.7	IPE A 120
317.8	10.4	93.4	107.4	13.21	7	6.3	4.4	64	120	10.4	IPE 120
434.9	10.5	112.2	126.2	13.39	7	5.6	3.8	73	137.4	10.5	IPE A 140
541.2	12.9	112.2	126.2	16.43	7	6.9	4.7	73	140	12.9	IPE 140
689.3	12.7	127.2	145.2	16.18	9	5.9	4.0	82	157	12.7	IPE A 160
869.3	15.8	127.2	145.2	20.09	9	7.4	5.0	82	160	15.8	IPE 160
1063	15.4	146.0	164.0	19.58	9	6.5	4.3	91	177	15.4	IPE A 180
1317	18.8	146.0	164.0	23.95	9	8.0	5.3	91	180	18.8	IPE 180
1505	21.3	146.0	164.0	27.10	9	9.0	6.0	92	182	21.3	IPE O 180
1591	18.4	159.0	183.0	23.47	12	7.0	4.5	100	197	18.4	IPE A 200
1943	22.4	159.0	183.0	28.48	12	8.5	5.6	100	200	22.4	IPE 200
2211	25.1	159.0	183.0	31.96	12	9.5	6.2	102	202	25.1	IPE O 200
2317	22.2	177.6	201.6	28.26	12	7.7	5.0	110	217	22.2	IPE A 220
2772	26.2	177.6	201.6	33.37	12	9.2	5.9	110	220	26.2	IPE 220
3134	29.4	177.6	201.6	37.39	12	10.2	6.6	112	222	29.4	IPE O 220
3290	26.2	190.4	220.4	33.31	15	8.3	5.2	120	237	26.2	IPE A 240
3892	30.7	190.4	220.4	39.12	15	9.8	6.2	120	240	30.7	IPE 240
4369	34.3	190.4	220.4	43.71	15	10.8	7.0	122	242	34.3	IPE O 240
4917	30.7	219.6	249.6	39.15	15	8.7	5.5	135	267	30.7	IPE A 270
5790	36.1	219.6	249.6	45.95	15	10.2	6.6	135	270	36.1	IPE 270
6947	42.3	219.6	249.6	53.84	15	12.2	7.5	136	274	42.3	IPE O 270
7173	36.5	248.6	278.6	46.53	15	9.2	6.1	150	297	36.5	IPE A 300
8356	42.2	248.6	278.6	53.81	15	10.7	7.1	150	300	42.2	IPE 300
9994	49.3	248.6	278.6	62.83	15	12.7	8.0	152	304	49.3	IPE O 300
10230	43.0	271.0	307.0	54.74	18	10.0	6.5	160	327	43.0	IPE A 330
11770	49.1	271.0	307.0	62.61	18	11.5	7.5	160	330	49.1	IPE 330
13910	57.0	271.0	307.0	72.62	18	13.5	8.5	162	334	57.0	IPE O 330
14520	50.2	298.6	334.6	63.96	18	11.5	6.6	170	357.6	50.2	IPE A 360
16270	57.1	298.6	334.6	72.73	18	12.7	8.0	170	360	57.1	IPE 360
19050	66.0	298.6	334.6	84.13	18	14.7	9.2	172	364	66.0	IPE O 360
20290	57.4	331.0	373.0	73.10	21	12.0	7.0	180	397	57.4	IPE A 400
23130	66.3	331.0	373.0	84.46	21	13.5	8.6	180	400	66.3	IPE 400
26750	75.7	331.0	373.0	96.39	21	15.5	9.7	182	404	75.7	IPE O 400
29760	67.2	378.8	420.8	85.55	21	13.1	7.6	190	447	67.2	IPE A 450
33740	77.6	378.8	420.8	98.82	21	14.6	9.4	190	450	77.6	IPE 450
40920	92.4	378.8	420.8	117.7	21	17.6	11.0	192	456	92.4	IPE O 450
42930	79.4	426.0	468.0	101.1	21	14.5	8.4	200	497	79.4	IPE A 500

Ek 1'in devamı

48200	90.7	426.0	468.0	115.5	21	16.0	10.2	200	500	90.7	IPE 500
57780	107.0	426.0	468.0	136.7	21	19.0	12.0	202	506	107.0	IPE O 500
59980	92.1	467.6	515.6	117.3	24	15.7	9.0	210	547	92.1	IPE A 550
67120	106.0	467.6	515.6	134.4	24	17.2	11.1	210	550	106	IPE 550
79160	123.0	467.6	515.6	156.1	24	20.2	12.7	212	556	123	IPE O 550
82920	108.0	514.0	562.0	137.0	24	17.5	9.8	220	597	108	IPE A 600
92080	122.0	514.0	562.0	156.0	24	19.0	12.0	220	600	122	IPE 600
118300	154.0	514.0	562.0	196.8	24	24.0	15.0	224	610	154	IPE O 600
166100	147.0	685.0	719.0	187.5	17	17.0	13.2	265	753	147	IPE 750 x 147
205800	173.0	684.8	718.8	221.3	17	21.6	14.4	267	762	173	IPE 750 x 173
240300	196.0	685.2	719.2	250.8	17	25.4	15.6	268	770	196	IPE 750 x 196

8.2. Ek-2 Uzak Kafes Modelleri İçin Kullanılan Profil Tablosu

Kesit İsmi	t3 (cm)	tw(cm)	Alan(cm²)
P.5	2.13	0.28	1.61
PX.5	2.13	0.37	2.06
P.75	2.67	0.29	2.15
PX.75	2.67	0.39	2.79
P1	3.34	0.34	3.19
PX1	3.34	0.45	4.12
P1.25	4.22	0.36	4.32
P1.5	4.83	0.37	5.15
PX1.25	4.22	0.49	5.68
P2	6.03	0.39	6.90
PX1.5	4.83	0.51	6.90
PX2	6.03	0.55	9.55
P2.5	7.30	0.52	10.97
P3	8.89	0.55	14.39
PX2.5	7.30	0.70	14.52
PXX2	6.03	1.11	17.16
P3.5	10.16	0.57	17.29
PX3	8.89	0.76	19.48
P4	11.43	0.60	20.45
PX3.5	10.16	0.81	23.74
PXX2.5	7.30	1.40	26.00
P5	14.13	0.66	27.74
PX4	11.43	0.86	28.45
PXX3	8.89	1.52	35.29
P6	16.83	0.71	36.00
PX5	14.13	0.95	39.42
PXX4	11.43	1.71	52.26

Ek 2'nin devamı

P8	21.91	0.82	54.19
PX6	16.83	1.10	54.19
PXX5	14.13	1.91	72.90
P10	27.31	0.93	76.77
PX8	21.91	1.27	82.58
P12	32.39	0.95	94.19
PXX6	16.83	2.19	100.64
PX10	27.31	1.27	103.87
PX12	32.39	1.27	123.87
PXX8	21.91	2.22	137.42

ÖZGEÇMİŞ

Ghulam Rasool ABED
rasool.aabed@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2017-2020	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2016	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Serbest Mühendis	Antalya
2016-Devam Ediyor	