

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AYRIK TASARIM DEĞİŞKENLİ KAFES YAPILARIN MODİFİYE
EDİLMİŞ ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İLE
OPTİMİZASYONU

Cemal KARAASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Eylül 2015

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Cemal KARAASLAN tarafından yapılan “Ayrık Tasarım Değişkenli Kafes Yapıların Modifiye Edilmiş Armoni Arama Yöntemi ile Optimizasyonu” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. S. Özgür DEĞERTEKİN

Üye : Prof. Dr. Arif GÜREL

Üye : Doç. Dr. Halil GÖRGÜN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 07/09/2015

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

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

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Enstitü Müdürü

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim süresince, bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, beni çalışmaya sürekli teşvik eden ve tez çalışması döneminde kısıtlı olan kıymetli zamanını benimle paylaşan değerli danışman hocam Prof. Dr. S. Özgür DEĞERTEKİN'e, tez hazırlama sürecinde yardımcı olan İlhan TEKİZ ile Ercan KORKMAZER'e ve üzerimde emeği olan tüm öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Ayrıca bu konuda beni cesaretlendiren ve benden desteklerini hiç esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olan arkadaşlarıma da çok teşekkür ederim.

Cemal KARAASLAN

2015 Diyarbakır

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR	I
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
KISALTMA VE SİMGELER	VIII
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE METOT	5
3.1. Materyal	5
3.2. Metot	5
3.2.1. Optimizasyon	5
3.2.2. Optimizasyon Probleminin Matematik İfadesi	8
3.2.2.1. Tasarım Değişkenleri	8
3.2.2.2. Tasarım Sınırlayıcıları	9
3.2.2.3. Amaç Fonksiyonu	10
3.2.2.4. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması	10
3.2.3. Optimizasyon Metotları	11
3.2.3.1. Matematik Programlama Yöntemleri	12
3.2.3.2. Optimumluk Kriteri Yöntemi	12
3.2.3.3. Sezgisel Araştırma Yöntemleri	12
-Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithm, GA)	13
-Tavlama Benzeşimi (Simulated Annealing, SA)	13
-Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO)	14
-Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization, ACO)	14
-Armoni Arama Yöntemi (Harmony Search, HS)	15
-Yapay Arı Koloni Algoritması (Artificial Bee Colony, ABC)	15
-Öğretme-Öğrenme Esaslı Optimizasyon Yöntemi (Teaching-Learning Based Optimization, TLBO)	15
-Mayın Patlatma Algoritması (Mine Blast Algorithm, MBA)	16
-Çarpışan cisimler Optimizasyonu (Colliding Bodies Optimization, CBO)	16

3.2.4. Düzlem ve Uzay Kafes Yapıların Analizi	16
3.2.6. Armoni Arama Yöntemi.....	23
3.2.7. Armoni Arama Algoritması.....	25
3.2.7.1. Armoni Arama Parametrelerinin Atanması	25
3.2.7.2. Armoni Hafızanın Çalıştırılması.....	25
3.2.7.3. Yeni Armoninin Geliştirilmesi	26
3.2.7.4. Armoni Hafızanın Güncellenmesi.....	27
3.2.7.5. Arama İşleminin Bitirilmesi	27
3.2.8. Modifiye Edilmiş Armoni Arama Algoritması (MHS).....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29
4.1. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Yapı	29
4.2. 25 Elemanlı Uzay Kafes Yapı	33
4.3. 72 Elemanlı Uzay Kafes Yapı	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
6. KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	51

ÖZET

AYRIK TASARIM DEĞİŞKENLİ KAFES YAPILARIN MODİFİYE EDİLMİŞ ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemal KARAASLAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2015

Bu çalışmada, ayrik tasarım değişkenli düzlem ve uzay kafes yapıların optimizasyonunda modifiye edilmiş armoni arama algoritması (MHS) kullanılmıştır. Armoni arama; müzisyenlerin beste yaparken en iyi armoniyi bulmak için izledikleri yol ile optimizasyon problemlerinin çözümünde izlenen yol arasında benzerlik kuran bir optimizasyon yöntemidir. Optimum tasarımda amaç; gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı kafes yapıların elde edilmesidir.

Kafes yapıların optimizasyonunda modifiye edilmiş armoni arama algoritmasının etkinliğini test etmek için literatürde hazır bulunan 52 elemanlı düzlem kafes yapı ile 25 ve 72 elemanlı uzay kafes yapıları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar; armoni arama, sezgisel parçacık sürü optimizasyonu, sezgisel parçacık sürü-karınca koloni algoritması, mayın patlatma algoritması, modifiye edilmiş ateş böceği algoritması, çarpışan cisimler algoritması, öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemleri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar neticesinde, modifiye edilmiş armoni arama algoritması ile daha hafif kafes yapı tasarımlarının elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Modifiye edilmiş armoni arama, Optimum tasarım, Kafes yapılar

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES WITH DISCRETE VARIABLES USING MODIFIED HARMONY SEARCH ALGORITHM

MSc THESIS

Cemal KARAASLAN

**DEPARTMENT OF STRUCTURE
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE**

2015

In this study, Modified harmony search algorithm (MHS) is used for the optimum design of truss structures with discrete variables. The harmony search, bases on the analogy between the musical process of searching for a perfect state of harmony and searching for solutions to optimization problems. The objective of the optimum design is to obtain minimum weight truss structures under the displacement and stress constraints.

52 member plane truss structure and 25, 72 member space truss structures, which were optimized previously using harmony search, heuristic particle swarm optimization, particle swarm ant colony optimization, mine blast algorithm, the enhanced accelerated firefly algorithm, colliding bodies optimization and teaching-learning based optimization, are used to test the efficiency of modified harmony search algorithm. The results obtained from modified harmony search algorithm are compared with the results obtained from these methods. The comparisons showed that the modified harmony search algorithm yielded lighter truss structures designs.

Key Words: Modified harmony search, Optimum design, Truss structures

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. 52 elemanlı düzlem kafes yapı için enkesit listesi (cm ²).....	30
Çizelge 4.2. 52 elemanlı düzlem kafes yapının optimum tasarımlarının karşılaştırılması	32
Çizelge 4.3. 25 elemanlı uzay kafes yapının koordinatları	34
Çizelge 4.4. 25 elemanlı uzay kafes yapının yük durumu	35
Çizelge 4.5. 25 elemanlı uzay kafes yapının optimum tasarımlarının karşılaştırılması ..	36
Çizelge 4.6. 72 elemanlı uzay kafes yapının yük durumu	38
Çizelge 4.7. 72 elemanlı uzay kafes yapının optimum tasarımlarının karşılaştırılması ..	40

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Klasik tasarım adımları	6
Şekil 3.2. Optimum tasarım adımları	7
Şekil 3.3. Rijitlik matrisinin oluşturulması	17
Şekil 3.4. Düğüm bileşenleri	18
Şekil 3.5. Tipik i çubuğu	19
Şekil 3.6. i düğümünün dengesi	20
Şekil 3.7. Kafes eleman rijitliği	21
Şekil 3.8. Armoni arama	24
Şekil 3.9. Kafes yapı tasarımı	24
Şekil 4.1. 52 Elemanlı düzlem kafes yapı	30
Şekil 4.2. 52 elemanlı düzlem kafes yapının optimum ağırlığa yakınsaması	33
Şekil 4.3. 25 Elemanlı uzay kafes yapı	34
Şekil 4.4. 25 elemanlı uzay kafes yapının optimum ağırlığa yakınsaması	37
Şekil 4.5. 72 Elemanlı uzay kafes yapı	38
Şekil 4.6. 72 elemanlı uzay kafes yapının optimum ağırlığa yakınsaması	41

KISALTMA VE SİMGELER

ABC	: Artificial Bee Colony (Yapay Arı Koloni Algoritması)
ACO	: Ant Colony Optimization (Karıncı Kolonisi Optimizasyonu)
AFA	: The Enhanced Accelerated Firefly Algorithm (Modifiye Edilmiş Ateş Böceği Algoritması)
APM	: Adaptive Penalty Scheme for Genetic Algorithms (Genetik Algoritmalar için Adaptif Ceza Düzeni)
<i>bw</i>	: Neighbouring Index (Komşu Derinlik İndeksi)
CBO	: Colliding Bodies Optimization (Çarpışan cisimler Algoritması)
DHPSACO	: A Particle Swarm Ant Colony Optimization (Sezgisel Parçacık Sürü-Karıncı Koloni Optimizasyonu)
GA	: Genetic Algorithms (Genetik Algoritmalar)
HGA	: Improved Hybrid Genetic Algorithm (Gelişmiş Hibrid Genetik Algoritmalar)
HPSO	: Heuristic Particle Swarm Optimization (Sezgisel Parçacık Sürü Optimizasyonu)
HS	: Harmony Search (Armoni Arama Yöntemi)
ICA, ICACO	: Imperialist Competitive Ant Colony Algorithm (Yayılmacı-Rekabetçi Karıncı Koloni Algoritması)
IHMS	: Harmony Memory Size (Armoni Hafıza)
MBA	: Mine Blast Algorithm (Mayın Patlatma Algoritması)
MHS	: Modify Harmony Search (Modifiye Edilmiş Armoni Arama Yöntemi)
PAR	: Pitching Adjusting Parameter (Ses Düzeltme Oranı)
PSO	: Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu)
PSOPC	: Particle Swarm Optimizer with Passive Congregation (Pasif Toplanmalı Parçacık Sürü Optimizasyonu)
RBAS	: Rank-Based Ant Colony Algorithms (Sıralama Esaslı Karıncı Koloni Optimizasyonu)
SA	: Simulated Annealing (Tavlama Benzeşimi)

SSGA	: Steady-State Genetic Algorithm (Kararlı Durumlu Genetik Algoritmalar)
TLBO	: Teaching-Learning Based Optimization (Öğretme-Öğrenme Esaslı Optimizasyon)
$\vec{x}$	: Design Variable Vector (Tasarım Değişkenleri Vektörü)
$f(\vec{x})$	: Objective Function (Amaç Fonksiyonu)
$g_j(\vec{x})$	: Inequality Constraints (Eşitsizlik Sınırlayıcıları)
$l_k(\vec{x})$	: Equality Constraints (Eşitlik Sınırlayıcıları)
K_E	: Elastik Rijitlik Matrisi
δ	: Düğüm Noktası Deplasman Matrisi
P	: Düğüm Noktaları Yük Matrisi
F	: Eleman Yük Matrisi
Δ	: Eleman Deplasman Matrisi
K	: İlk Rijitlik Matrisi
σ_{ij}	: Gerilme Değeri
ε_{ij}	: Burkulma Değeri
$\lambda\mu$	: Lamé Sabitleri
u_i	: Deplasman Vektörü
f_j	: Cisim Yük Vektörü
δ_{ij}	: Kronecker Simgesi
$W(X)$	: Kafes Yapının Ağırlığı (Amaç Fonksiyonu)
ng	: Yapıdaki Toplam Eleman Grup Sayısı (Tasarım Değişkeni Sayısı)

x_k	: k 'nci Gruptaki Elemanların Enkesit Alanı
m_k	: k 'nci Gruptaki Eleman Sayısı
ρ_i	: i 'nci Elemanın Özgöl Ağırlığı
L_i	: i 'nci Eleman Uzunluğu
nm	: Kafes Yapıdaki Eleman Sayısı
nn	: Düğüm Noktaları Sayısı
κ	: Armoni Hafıza Kapasitesi
η	: Armoni Hafıza Kullanma Oranı
ζ	: Ses Düzeltme Oranı

1. GİRİŞ

Sezgisel araştırma yöntemleri son yirmi yılda optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler doğadaki herhangi bir süreç ile optimizasyon problemleri arasında ilişki kurma esasına dayanır. Genetik algoritmalar (GA), Karınca koloni optimizasyonu (ACO), Parçacık sürü optimizasyonu (PSO), Armoni arama (HS), Yapay arı koloni optimizasyonu (ABC), Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon (TLBO) en önemli sezgisel araştırma yöntemleri arasında sayılabilir.

Genetik algoritmalar, doğada mevcut şartlara en uygun olan bireyin hayatta kalması esasını optimizasyon problemlerine uygular. Karınca koloni optimizasyonu, karıncaların yuvaları ve besin kaynakları arasında en kısa yolu bulmak için uyguladıkları stratejileri taklit eder. Parçacık sürü optimizasyonu, böcek sürüsü, kuş sürüsü ya da balık sürüsü gibi yaşam kolonilerinin davranışıyla optimizasyon problemleri arasında benzerlik kurar. Armoni arama yönteminde müzisyenlerin en iyi armoniyi elde etmek için izledikleri yol ile optimizasyon problemleri arasında benzerlik kurulması esas alınır ve çözüm yöntemleri geliştirilir. Yapay arı koloni algoritması; arı kolonilerindeki çalışma mekanizması ve arıların nektar elde etmek için izledikleri stratejilerin taklit edilmesi esasına dayanır. Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi, bir öğretmenin öğrenciler üzerindeki etkisini ve öğrencilerin birbirleriyle olan etkileşimlerini modelleyen bir yöntemdir.

Bu çalışmada ise oldukça güçlü bir sezgisel araştırma yöntemi olarak kabul edilen armoni arama (HS) yöntemi kullanılmıştır. Armoni arama yöntemi ilk kez Geem ve ark. (2001) tarafından ileri sürülmüştür. Yöntem yapı sistemlerinin optimizasyonunda da kullanılmış ve oldukça başarılı sonuçlar vermiştir (Lee ve Geem, 2004, Lee ve ark. 2005, Degertekin 2008a, 2008b).

Armoni arama yönteminde ortaya çıkan bazı eksikliklerin giderilmesi ve yöntemin daha etkin bir hale getirilmesi amacıyla gelişmiş, modifiye edilmiş, ileri adı altında değişik tipte armoni arama yöntemleri sunulmuştur.

Bu çalışmada ayırık tasarım değişkenli düzlem ve uzay kafes yapıların modifiye edilmiş armoni arama yöntemiyle optimum tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Optimum tasarımda sınırlayıcı olarak deplasman ve gerilme sınırlamaları kullanılmış, amaç fonksiyonu kafes yapının ağırlığı seçilmiştir. Tasarım değişkenleri hazır olarak verilen enkesit listelerinden alınmıştır. Optimum tasarımda deplasman ve gerilme sınırlayıcıları göz önüne alınarak minimum ağırlıklı kafes yapıların elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada öne sürülen modifiye edilmiş armoni arama yönteminin (MHS) geçerliliği 52 elemanlı düzlem kafes yapı, 25 ve 72 elemanlı uzay kafes yapılar üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar literatürde hazır bulunan standart armoni arama algoritması (HS), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), sezgisel parçacık sürü - karınca koloni optimizasyonu (DHPSACO), modifiye edilmiş ateş böceği algoritması (AFA), sezgisel parçacık sürü optimizasyonu (HPSO), öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi (TLBO), mayın patlatma algoritması (MBA) ve çarpışan cisimlerin optimizasyonu (CBO) yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda öne sürülen modifiye edilmiş armoni arama algoritmasının yukarıda adı geçen sezgisel optimizasyon yöntemleri kadar güçlü olduğu ve birçok durumda daha uygun (daha hafif) değerler verdiği tespit edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sezgisel araştırma yöntemleri kullanılarak ayırık tasarım değişkenli kafes yapıların optimizasyonu konusunda literatürde hazır bulunan başlıca çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Lee ve ark. (2005), ayırık tasarım değişkenli kafes yapıların optimizasyonu için armoni arama yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında 25 ve 72 elemanlı iki adet uzay kafes yapı ile 47 ve 52 elemanlı iki farklı düzlem kafes yapıyı minimum ağırlıklı olarak boyutlandırmışlardır. İleri sürdükleri yöntemden elde ettikleri sonuçları; daha önce genetik algoritma (Rajeev ve Krishnamoorthy 1992), (Wu ve Chow 1995a, b), (Erbatur ve ark. 2000) ve tavlama benzeşimi (Park ve Sung 2002) yöntemleriyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmalar sonucunda armoni arama ile daha hafif kafes yapılar elde etmişlerdir.

Li ve ark. (2009), sezgisel parçacık sürü optimizasyonu yöntemiyle (HPSO) ayırık tasarım değişkenli beş farklı kafes yapının optimizasyonunu gerçekleştirdiler. Daha önce genetik algoritmalar (Rajeev 1992), (Wu ve Chow 1995b), (Zhang ve ark. 2003) ve armoni arama (Lee ve ark. 2005) yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla *HPSO*'dan elde ettikleri sonuçları kıyasladılar. Bu kıyaslamalar ile *HPSO*'nun daha hafif kafes yapı ağırlıklarını daha fazla analiz sayılarında bulabildiğini belirlemişlerdir.

Kaveh ve Talatahari (2009), ayırık tasarım değişkenli kafes yapıların optimizasyonu için sezgisel parçacık sürü – karınca koloni optimizasyonunu (DHPSACO) geliştirdiler. Yöntemlerinde parçacık sürü optimizasyonu (PSO), karınca koloni optimizasyonu (ACO) ve armoni arama (HS) yöntemlerini bir araya getirerek her üç yöntemden daha güçlü hibrid bir yöntem elde etmeyi amaçladılar. 25 ve 72 elemanlı uzay kafes; 52 elemanlı düzlem kafes ve 582 elemanlı kule yapıdan elde edilen sonuçlara göre ileri sürdükleri (DHPSACO) yöntemi; gerek ağırlık gerekse optimum sonuç elde etmek için gereken kafes yapı analiz sayısı bakımından genetik algoritmalar (Wu ve Chow 1995b), armoni arama (Lee ve Geem 2004), sezgisel parçacık sürü optimizasyonu (Li ve ark. 2009) yöntemlerinden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Sadollah ve ark. (2012), mayın patlatma algoritmasını (MBA) ayırık tasarım değişkenli kafes yapıların optimizasyonunda kullanmışlardır. Çalışmalarında mayın patlatma algoritmasını (MBA); Ringertz (1988), sabit-genetik algoritmalar (Wu ve Chow 1995b), modifiye edilmiş hibrid genetik algoritmalar (Zhang ve ark. 2003), klasik armoni arama (Lee ve ark. 2005), sezgisel parçacık sürü optimizasyonu (Li ve ark. 2009) ve sezgisel parçacık sürü-karınca koloni algoritması (Kaveh ve Talatahari 2009) ile kıyaslamışlardır. 10, 15 ve 52 elemanlı düzlem kafes yapı ile 25 ve 72 elemanlı uzay kafes yapılar üzerinde yapmış oldukları kıyaslamalarla, *MBA*'nın oldukça etkili bir yöntem olduğunu göstermişlerdir.

Dede (2014), öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon (TLBO) yöntemini ayrık tasarım değişkenli kafes yapıların optimizasyonu için kullanmıştır. 10, 15 ve 52 elemanlı düzlem kafes yapı ile 25 ve 72 elemanlı uzay kafes yapılardan elde edilen sonuçlar; genetik algoritma (Rajeev ve Krishnamoorthy 1992, Ghasemi ve ark. 1997), *HS* (Lee ve ark. 2005), sıralama esaslı karınca koloni optimizasyonu (RBAS) (Capriles ve ark. 2007), genetik algoritmalar için adaptif ceza düzeni (APM) (Lemonge ve Barbosa 2004), *ACO* (Camp ve Bichon 2004), *PSO* (Li ve ark. 2009), *ABC* (Sönmez 2011), gelişmiş hibrid genetik algoritmalar (HGA) (Zhang ve ark. 2003), yayılımcı rekabetçi karınca koloni algoritması (ICACO, ICA) (Eskandar ve ark. 2011), kararlı durumlu genetik algoritmalar (SSGA) (Wu ve Chow 1995b) ve *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009) çalışmalarıyla kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar sonucunda *TLBO* ile daha hafif tasarımlar elde edildiği belirlenmiştir.

Baghlani ve ark. (2014), modifiye edilmiş ateş böceği algoritmasını (AFA) ayrık tasarım değişkenli kafes yapıların optimum tasarımını yapmak için kullanmışlardır. 10 ve 52 elemanlı düzlem kafes yapı ile 25 ve 72 elemanlı uzay kafes yapıların optimum tasarımını yapmışlardır. Elde ettikleri tasarımları (Ringertz 1988), *GA* (Rajeev ve Krishnamoorthy 1992, Wu ve Chow 1995b), tavlama benzeşimi (SA) (Kripka 2004), *PSO*, pasif toplanmalı parçacık sürü optimizasyonu (PSOPC) ve *HPSO* (Li ve ark. 2009), *ACO* (Camp ve Bichon 2004), *ABC* (Sönmez 2011), *HS* (Lee ve ark. 2005) ve *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009) çalışmalarıyla mukayese etmişler ve kendi yöntemlerinin daha az sayıdaki analizlerde daha hafif (uygun) tasarımları verdiğini gözlemlemişlerdir.

Kaveh ve Mahdavi (2014), çarpışan cisimlerin optimizasyonu (CBO) yöntemini, ayrık tasarım değişkenli kafes yapıların optimum tasarımı için kullanmışlardır. Çalışmalarında 47 ve 52 elemanlı düzlem kafes yapı, 72 elemanlı uzay kafes yapı ve 582 elemanlı kule yapının tasarımını yapmışlardır. Tasarımlarını *GA* (Wu ve Chow 1995b), *HS* (Lee ve ark. 2005, 2011), *HPSO* (Li ve ark. 2009) ve *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009) çalışmalarından elde edilen sonuçlarla kıyaslamışlardır. Kıyaslama sonucunda hem optimum (daha hafif) tasarım hem de daha az sayıdaki analizde optimum değeri bulması açısından *CBO* yönteminin oldukça güçlü bir optimizasyon yöntemi olduğunu tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, ayırık tasarım değişkenli düzlem ve uzay kafes yapıların modifiye edilmiş armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı için bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritma FORTRAN programlama dilinde kodlanarak icra edilmiştir.

3.2. Metot

Bu tezde sunulan modifiye edilmiş armoni arama yöntemiyle klasik armoni arama yöntemine göre daha güçlü bir yöntem elde edilmesi amaçlanmıştır. Optimizasyon probleminde amaç; minimum ağırlıklı kafes yapı elde etmektir. Sınırlayıcılar olarak gerilme ve deplasman sınırlayıcıları kullanılmıştır.

3.2.1. Optimizasyon

Hayatımızın her safhasında karşılaştığımız değişik olaylar ve problemleri çözmek için karar vermemiz gerekmektedir. Bu durum günlük yaşamımızdaki çok basit problemler için bile geçerlidir. Çünkü en basit problemi çözmek için bile birden fazla seçenek olabilir ve bu seçeneklerden bazıları diğerlerine göre daha uygundur. Amacımıza en uygun şekilde ulaşmak için bu seçeneklerden en iyisini, yani optimumu seçeriz. Örneğin; bir yol inşaatının güzergahına karar verecek proje mühendislerini düşünelim. Bu mühendisler için amaç, en kısa ve en ekonomik güzergahı tespit etmektir. Bir yolda yapılması mümkün olan bir çok güzergah olabilir. Bu güzergahlar içinde en kısa olanı seçmek bunun en ekonomik olacağı anlamına gelmez. İlk incelemede kısa olan güzergahın yapılabilmesi için çok sayıda yarma, dolgu ve sanat yapısı gerekebilir ve uzun olan güzergaha göre maliyeti çok daha fazla olabilir. Ayrıca kısa güzergahta bir çok kurp olabileceğinden sürüş standardı düşecek ve kısa olmasına rağmen bu güzergahtan yapılan seyahatler daha uzun zaman alacaktır. Dolayısıyla proje mühendisleri tüm bu olasılıkları düşünerek farklı güzergahlardan birisini seçmek zorundadırlar, işte bu seçim bir optimizasyon problemidir.

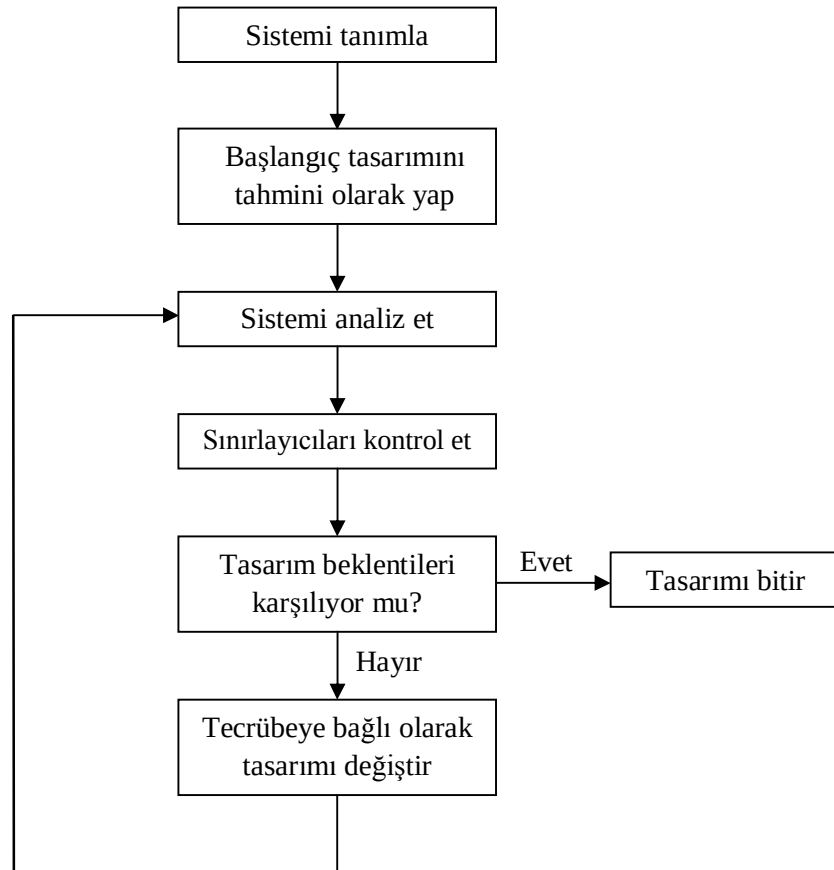
Optimizasyon problemlerine her alanda rastlanmaktadır. Uçak tasarımı yapan bir mühendis uçağın kritik yükler altında yeterli dayanıma sahip olmasının yanında yapım maliyetini de minimum seviyeye indirmelidir. Bir beton santralinden sorumlu mühendis; beton karışımına giren su, çimento, agrega miktarlarının beton dayanımını maksimum yapacak şekilde belirlemesi gerekir. Yapı mühendisi projelendirdiği yapının güvenli ve minimum maliyetli olmasını ister.

Bir problemin optimizasyon problemi olarak formüle edilebilmesi için şu sorular sorulmalıdır.

1. Amaç nedir? Minimum maliyeti mi? Maksimum kazanç mı?
2. Problem için herhangi bir sınırlama var mı?
3. Problemin hangi hususu kontrol altındadır? Hangileri kontrol dışıdır?

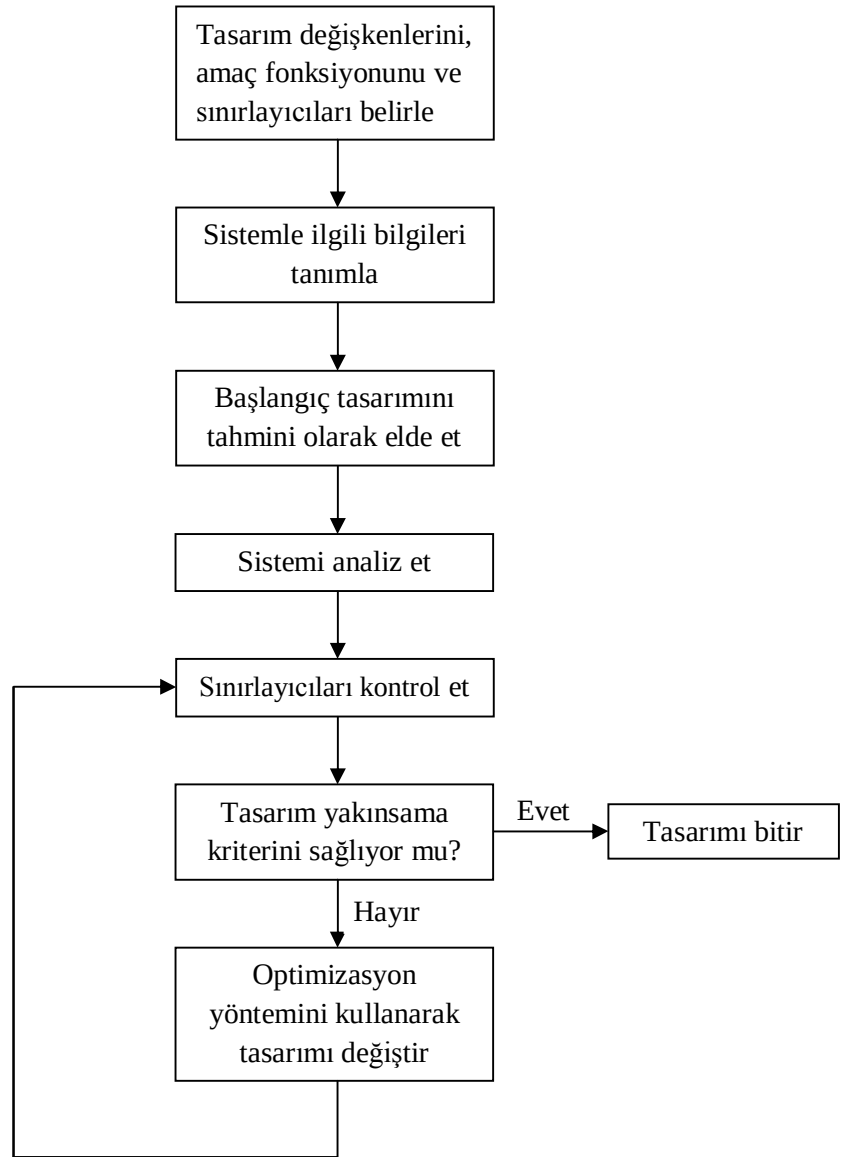
Karmaşık problemlerin çözümü için gerekli kararların alınmasında insanlara yardımcı olacak bir bilim dalı geliştirilmiştir. Bu bilim dalı yöneylem araştırması veya optimizasyon olarak adlandırılır. Optimizasyon önceden belirlenen sınırlayıcılar altında belli bir amaç veya amaçlara ulaşılmasını sağlayan en uygun yolun bulunması sanatıdır.

İnşaat mühendisliğinde herhangi bir yapının tasarımı değişik adımlardan oluşur. Klasik bir yapı tasarımı Şekil 3.1.'deki adımlardan meydana gelmektedir.



Şekil 3.1. Klasik tasarım adımları

Optimum tasarım genel olarak Şekil 3.2.'de verilen adımlardan oluşur. Şekil 3.2.'den de görüleceği üzere klasik tasarımdan farklı olarak optimum tasarımda, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcıların açık biçimde tarif edilmesi gerekmektedir. Şekil 3.1. ve 3.2.'nin incelenmesi sonucunda klasik tasarımla optimum tasarım arasında şu farklılıkların bulunduğu söylenebilir. Klasik tasarımda maksimum veya minimum değeri istenen değişkenlerin ve sınırlayıcıların açık biçimde verilmesi gerekmez. Ayrıca tasarımda mühendisin bilgi ve becerisi belirleyici olmaktadır. Buna karşın optimum tasarımda mühendisin bilgi ve becerisinden daha az yararlanılır. Değişken ve sınırlayıcıların açık biçimde verilmesi istenir.



Şekil 3.2. Optimum tasarım adımları

Hem klasik tasarım hem de optimum tasarım her aşamada en iyiyi elde etmeyi amaçlayan iteratif bir süreçtir. Optimizasyon ise karar verme problemlerine çözüm getiren bir bilim dalı olduğundan bir çok bilim dalında olduğu gibi inşaat mühendisliğinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm optimizasyon problemleri maksimum veya minimum değeri aranan bir amaç fonksiyonu ve problemin uygulama alanına bağlı olarak değişen sınırlayıcılardan oluşur. İnşaat mühendisliğinde amaç fonksiyonu genel olarak yapının ağırlığı veya maliyeti olurken; sınırlayıcılar yönetmeliklerde alt ve üst sınır değerleri verilmiş olan deplasman ve gerilme sınırları ile konstrüktif nedenlerle kullanılan kesit sınırlamaları olabilir (Değertekin 2005).

3.2.2. Optimizasyon Probleminin Matematik İfadesi

En genel hali ile optimizasyon problemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$f(\vec{x})$ fonksiyonunu minimum yapan ve

$$g_j(\vec{x}) \leq 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.1)$$

$$l_k(\vec{x}) = 0 \quad k = 1, 2, 3, \dots, p \quad (3.2)$$

Şartlarını sağlayan $\vec{x} = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ 'lerin bulunmasıdır. Buradaki $\vec{x}$, n boyutlu bir vektördür ve tasarım değişkenleri vektörü (design variable vector) denir. Tasarım değişkenleri vektöründeki her bir eleman tek bir tasarım değişkenini temsil eder; $f(\vec{x})$ amaç fonksiyonu (objective function); $g_j(\vec{x})$ eşitsizlik kısıtları (inequality constraints) ve $l_k(\vec{x})$ eşitlik kısıtları (equality constraints) olarak tanımlanır. n, m ve p ise birbiri ile ilişkisi olmayan tamsayılardır; sırası ile tasarım değişkenlerinin, eşitsizlik kısıtlarının ve eşitlik kısıtlarının sayısını göstermek için kullanılmıştır. Denklem 3.1. ve 3.2.'de verilen kısıtlar sınırlı optimizasyon probleminde vardır. Bazı problemlerde sınırlar yoktur ve bu tür problemlere sınırsız optimizasyon denir. Sınırsız optimizasyon aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$f(\vec{x})$ fonksiyonunu minimum yapan

$$\vec{x} = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'deki gibi problemler sınırsız optimizasyon problemi olarak adlandırılır (Sevim 2013).

3.2.2.1. Tasarım Değişkenleri

Optimum tasarım probleminde amaç fonksiyonunu tanımlamak için kullanılan değişkenlere tasarım değişkenleri denir.

Problemin uygun biçimde formülasyonunda yapılacak ilk iş, tasarım değişkenlerini tanımlamaktır. Tasarım değişkenleri uygun biçimde seçilmezse yapılacak formülasyon ya yanlış olacak ya da hiçbir zaman optimum tasarımı vermeyecektir.

Tasarım değişkenlerinin tanımlanmasında şu hususlara dikkat edilmelidir.

1. Tasarım değişkenleri mümkün mertebe birbirlerinden bağımsız olmalıdır.
2. Problemin tanımlanmasında olabildiğince az sayıda tasarım değişkeni kullanılmalıdır.
3. Tasarım problemlerinin başlangıç safhasında çok sayıda bağımsız değişken kullanılabilir. Sonraki safhalarda bu tasarım değişkenlerinin bazılarına sabit değerler atanabilir.

Yapı mühendisliğinde tasarım değişkenleri; yapının geometrisi, topolojisi, enkesit boyutları ve kullanılan malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini temsil edebilirler.

Optimizasyonda kullanılan tasarım değişkenleri ayrık ve sürekli olmak üzere iki grupta incelenebilir. Sürekli değişkenler belli bir aralıkta her değeri alabilirken, ayrık değişkenler belli bir aralıkta tek bir değer alabilir. Örneğin; bir çelik çerçeve standart çelik elemanlardan oluşur ve her eleman ayrık bir değişkeni temsil eder (Değertekin 2005).

3.2.2.2. Tasarım Sınırlayıcıları

Optimum tasarımda sağlanması gereken tüm kısıtlamalara sınırlayıcılar adı verilir. Tüm sınırlayıcıları sağlayan tasarıma yapılabilir (mümkün) tasarım denir. En az bir veya daha fazla sayıda sınırlayıcıları sağlamayan tasarım ise yapılabilir olmayan (mümkün olmayan) tasarım olarak isimlendirilir. Optimum tasarım, sınırlayıcıları sağlayan tüm tasarımlar içinde en iyi amaç fonksiyonu değerini veren tasarımdır.

Sadece birinci derece fonksiyonlarla ifade edilen sınırlayıcılara lineer sınırlayıcılar denir. Birinci dereceden daha yüksek mertebe fonksiyonlarla ifade edilen sınırlayıcılara ise lineer olmayan sınırlayıcılar denir. Bunun yanında matematiksel olarak eşitlik biçimde verilen sınırlayıcılara eşitlik sınırlayıcıları denir. Örneğin belli bir işlemin yapılabilmesi için bir makine parçasının belli bir miktar hareket etmesi bir eşitlik sınırlayıcısı olarak düşünülebilir. Çoğu tasarım probleminde ise sınırlayıcılar eşitsizlik biçiminde verilir. Örnek olarak hesaplanan gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşmaması, deplasmanların belli bir değerden küçük olması veya yapıya etki eden yüklerin burkulma yüklerinden büyük olmaması zorunluluğu ve benzeri eşitsizlik sınırlayıcıları olabilir.

Herhangi bir yapıda ise sınırlayıcılar genel olarak iki grupta incelenir. Birincisi; gerilme, deplasman, burkulma ve benzeri gibi davranışını ilgilendiren davranış sınırlayıcıları,

ikincisi ise minimum plak kalınlığı, minimum çatı eğimi gibi estetik ve fonksiyonellik açısından uyulması gereken imalat sınırlayıcılarıdır.

Yönetmeliklerde yaygın olarak kullanılan eşitlik ve eşitsizlik sınırlayıcıları (3.4) ve (3.5) denklemleriyle gösterilebilir.

$$g_i(x) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3.4)$$

$$h_j(x) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.5)$$

burada k ve m sırasıyla eşitlik ve eşitsizlik sınırlayıcıları sayısı, x tasarım değişkeni vektörüdür (Değertekin 2005).

3.2.2.3. Amaç Fonksiyonu

Optimum tasarımda sınırlayıcıları sağlayan bir çok tasarım bulunmaktadır. Bunların içinde en iyi tasarımın elde edilmesi karşılaştırma yapmakla mümkündür. İşte bu karşılaştırma için kullanılan fonksiyona amaç fonksiyonu denir. Amaç fonksiyonu optimum tasarımda tasarım değişkenlerinin fonksiyonu olup bu fonksiyonunun maksimum veya minimum değeri aranır.

Yapısal sistemin maliyeti, ağırlığı, enerji tüketimi literatürde en çok kullanılan amaç fonksiyonlarıdır. Çoğu durumda amaç fonksiyonu açık biçimde ifade edilebilir. Örneğin yapı ağırlığı kolayca hesaplanabilir. Ancak bazı durumlarda aynı anda iki veya daha fazla sayıda amaç fonksiyonu olabilir. Aynı anda hem yapı ağırlığı minimize edilirken hem de yapının belli bir noktasındaki şekil değiştirmenin minimum olması istenebilir.

Amaç fonksiyonunun seçimindeki bir diğer yöntem problemdeki en önemli kriteri amaç fonksiyonu olarak seçmek diğer tüm değişkenleri ise sınırlayıcı olarak tanımlamaktır (Değertekin 2005).

3.2.2.4. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması

Optimizasyon problemleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu bölümde bunlardan bazıları üzerinde durulacaktır. Optimizasyon problemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Rao 2009):

- Kısıtların var olup olmadığına göre sınırsız/sınırlı optimizasyon problemleri.
- Tasarım değişkenlerinin optimizasyon işlemleri için her noktada sabit kaldığı (statik optimizasyon) veya tasarım değişkeninin belli noktalar arası değişmesine müsaade edildiği (dinamik optimizasyon problem) durumlarına göre ayrılır. Örnek olarak sabit

kesitli bir kirişteki boyut optimizasyonu statik optimizasyon olarak adlandırılırken, değişken kesitli bir kirişin boyut optimizasyonu dinamik optimizasyon olur.

- Tasarım değişkenlerinin alabileceği değerlere göre sürekli (continuous) / ayrık (discrete) değişkenli optimizasyon problemleri.
- Amaç fonksiyonunun yapısına göre doğrusal (linear), doğrusal olmayan (nonlinear) ve geometrik (geometric) optimizasyon problemleri.
- Tasarım değişkenlerinin deterministik veya stokastik olarak elde edilmesine göre sınıflandırılabilir.
- Amaç fonksiyonunun sayısı ile ilgi olarak tek amaç fonksiyonlu veya çok amaç fonksiyonlu optimizasyon problemleri olarak sınıflandırılır (Sevim 2013).

3.2.3. Optimizasyon Metotları

Optimizasyon metotları şu şekilde sınıflandırılabilir.

1. Matematik programlama yöntemleri

Lineer programlama

Liner olmayan programlama

2. Optimumluk kriteri yöntemi

3. Sezgisel araştırma yöntemleri

3.1. Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms, GA)

3.2. Tavlama Benzeşimi (Simulated Annealing, SA)

3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO)

3.4. Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization, ACO)

3.5. Armoni Arama Yöntemi (Harmony Search, HS)

3.6. Yapay Arı Koloni Algoritması (Artificial Bee Colony, ABC)

3.7. Öğretme-Öğrenme Esaslı Optimizasyon Yöntemi (Teaching-Learning Based Optimization, TLBO)

3.8. Mayın Patlatma Algoritması (Mine Blast Algorithm, MBA)

3.9. Çarpışan cisimler Algoritması (Colliding Bodies Optimization, CBO)

3.2.3.1. Matematik Programlama Yöntemleri

Matematik programlama yöntemleri optimizasyon problemini sayısal yöntemler kullanarak çözmektedir. Bu yöntem sadece sürekli değişkenler için uygundur. Optimizasyonda türev, gradyan gibi matematiksel operatörler kullanılır. Bu yöntemler çok sayıda tasarım değişkeni ve sınırlayıcısı olan problemlere çözüm bulabilmektedir. Matematik programlama yöntemleri amaç fonksiyonunu tasarım değişkenlerinin lineer ve lineer olmayan terimleri olarak ifade etmelerine göre iki grupta incelenirler (Değertekin 2005).

3.2.3.2. Optimumluk Kriteri Yöntemi

Optimumluk kriteri yöntemi yapının davranışına bağlı bir kriterin optimum çözümde sağlanması esasına dayanır. Bu yöntem dolaylı yöntem olarak da adlandırılır. Dolaysız yöntemlerde (matematik programlama) amaç fonksiyonu farklı sayısal algoritmalarla minimize edilirken, dolaylı yöntemlerde yapı davranışıyla ilgili bir kriterin optimum değeri sağlandığında çözüm elde edilir. Tam gerilmeli boyutlandırma bir optimumluk kriteri yaklaşımıdır. Optimum yapıda en az bir yükleme durumu için yapının her elemanının maksimum gerilmesi izin verilen bir gerilme ile sınırlandırılmıştır. Bunun yanında deplasman, burkulma, dinamik veya lineer olmayan davranışla ilgili optimumluk kriteri de vardır. Yöntem yapının tekrarlı analizleri ve her analiz sonrası boyutlandırma değişkenlerinin değiştirilmesi esasına dayanır. Önceden belirlenmiş optimumluk kriteri sağlanıncaya kadar bu iteratif işlemlere devam edilir (Değertekin 2005).

3.2.3.3. Sezgisel Araştırma Yöntemleri

Sezgisel arama metotları doğadaki belli bir süreci veya davranışı taklit ederek çözüm ararlar. Bu yöntemler modern ya da geleneksel olmayan optimizasyon yöntemleri olarak da adlandırılabilir. Bu yöntemlerin çoğu son yıllarda geliştirilmiş olmasına rağmen karmaşık mühendislik problem çözümleri için heyecan verici ilerlemeler göstermişlerdir. Bu yöntemlerde hem amaç fonksiyonunun hem de sınır şartlarının türevlerine ihtiyaç duyulmaz, sadece fonksiyon değerlerine ihtiyaç vardır. Aşağıda bu yöntemlerden bazıları kısaca açıklanacaktır (Sevim 2013).

Sezgisel optimizasyon yöntemleri son yıllarda farklı mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin ana felsefesi; ele alınan ana problem ile doğadaki bir süreç veya yaşam biçimi arasında benzerlik kurmaktır. Son yirmi yılda giderek artan bir şekilde rağbet gören sezgisel optimizasyon yöntemlerinin en önemlileri arasında genetik algoritmalar, tabu arama, tavlama benzeşimi, armoni arama, parçacık sürü optimizasyonu ve yapay arı koloni algoritması sayılabilir (Değertekin ve ark. 2013).

Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithm, GA)

Biyolojik prensiplerin hesaplamalı algoritmalara uygulaması olan genetik algoritmalar, son yıllarda optimum tasarım çözümlerinin elde edilmesinde kullanılmaktadırlar. Genetik algoritmalar yöntemi Holland (1975) tarafından geliştirilmiştir. Genetik algoritmalar en sağlıklı (uygun) bireylerin hayatta kalma prensibini uygulayarak ve aynı zamanda ayırık tasarım değişkenlerini kullanırlar.

GA'lar bir amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek üzere bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılabilirler. GA'lar, doğal genetik ve doğal seleksiyon olayına dayanan araştırma teknikleridir. Bunlar güçlü bir araştırma mekanizması kurmak için doğadan alınmış operatörler yardımıyla yapay bir şekilde en sağlıklı (uygun) olanın hayatta kalma kavramını kullanırlar. GA'da kullanılan değişik operatörler bulunmaktadır. GA'larda bir tasarım değişkeni belirlenmiş bir ayırık tasarım değişkenleri takımında bir sıra numarasına sahiptirler. Bu numaralar için ikili kodlama sistemi kullanılmaktadır. Bir topluluktaki bireyler 1 veya 0 karakterlerinden oluşan sonlu uzunluktaki dizilerdir. Bireyler kromozomlar, karakterler ise yapay genler olarak adlandırılırlar. Bir dizi, her biri bir tasarım değişkenini temsil eden bir takım alt dizilerden oluşabilmektedir.

Üreme operatörü en uygun olanın hayatta kalma ilkesini uygular. Çaprazlama operatörü ise çiftleşme havuzundaki bireylerin genetik bilgilerini yeniden birleştirerek probleme yeni çözümler üretir. Üçüncü operatör olan mutasyon ise optimizasyonda farklı çözümlerin araştırmasını sağlamaktadır. Bu operatör topluluktaki her yeni bireye önceden belirlenmiş bir olasılıkla uygulanır. Bu operatörle bireyden rasgele seçilen bir gen 0'dan 1'e veya 1'den 0'a değiştirilir (Hayalioğlu ve Değertekin 2001).

Tavlama Benzeşimi (Simulated Annealing, SA)

Tavlama benzeşimi (SA), katılardaki fiziksel tavlama işlemiyle optimizasyon problemleri arasındaki benzerliği esas alan bir arama yöntemidir. Tavlama benzeşimi ilk olarak Kirkpatrick ve ark. (1983) tarafından öne sürülmüş ve gezgin satıcı problemi ile elektronik devre tasarımının optimizasyonuna uygulanmıştır. Ve sonrasında yapı sistemlerinin optimizasyonunda da kullanılmıştır (Balling 1991, Pantelidis ve Tzan 2000, Hasancebi ve Erbatur 2002).

Tavlamada; önce katının tüm parçacıklarının erimesi için ortamın sıcaklığı artırılır, ardından sıcaklık yavaş bir şekilde azaltılarak yer durumu adı verilen minimum enerjili durum elde edilmeye çalışılır. Ancak sıcaklık yeteri kadar yükseltilmemiş veya soğutma işlemi yeterince

yavaş yapılmamışsa yarı kararlı olan kusurlu bir yapı elde edilir (Değertekin ve Hayalioğlu 2007).

Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO)

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ilk olarak Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilmiş popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. *PSO* kuşların sürü davranışlarının taklit edilmesi esası üzerine kurulmuştur. Kuş, balık ve hayvan sürülerinin bir “bilgi paylaşma” yaklaşımı uygulayarak çevrelerine adapte olabilmeye, zengin yiyecek kaynağı bulabilme ve avcılardan kaçabilme yeteneklerinden esinlenmiştir. *PSO*, optimum ya da optimuma yakın çözüm bulmak için önce her biri aday çözümler (parçacıklar) oluşturur. Bu bireylerin oluşturulması gelişigüzel, düzenli ya da her iki şekilde yapılabilir. Bireylerin bir araya gelmesiyle sürü meydana gelir.

PSO, bireyler arasındaki bilginin paylaşımını esas alır. Her bir parçacık kendi pozisyonunu sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlarken, bir önceki tecrübesinden de yararlanır. *PSO*; fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, yapay sinir ağlarının eğitimi, bulanık mantık sistemleri, yapı sistemlerinin çözümü ve görüntü işleme gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Parçacık sürü optimizasyonunda her bir parçacık bir kuşu ifade eder ve her parçacık bir çözüm sunar. Tüm parçacıkların uygunluk fonksiyonu ile bulunan uygunluk değerleri vardır. Parçacıklar, kuşların uçuşlarını yönlendiren hız bilgisine benzer bir bilgiye sahiptir. *PSO* rastgele üretilmiş belirli sayıda çözümle (parçacıkla) başlatılır ve parçacıklar güncellenerek en uygun çözüm değeri araştırılır. Parçacıkların her biri, en iyi kendi çözümü (*pbest*) ve tüm parçacıkların en iyi çözümü (*gbest*) kullanılarak güncellenir. (Aydın 2013).

Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization, ACO)

Karınca koloni optimizasyonu (ACO), karıncaların beslenme ihtiyaçlarını gidermek için yapmış oldukları çalışmaya dayanır. Karıncalar yuvalarından yiyecek kaynağına en kısa yolu bulabilen ve bazen bu yolda engeller çıktığında ona alternatif en kısa yolu sezebilen bir yapıya sahiptirler. Yöntem ilk kez Dorigo (1991) tarafından, zor olan kombinatorik (birleşimsel) optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmıştır (Dede 2014).

Karınca koloni optimizasyonu (ACO), yuvalarından yiyecek kaynağına en kısa yolu bulabilen gerçek karınca kolonilerinin kooperatif davranışlarını temel alır (Sevim 2013). Karınca kolonisi optimizasyonu diğer çalışma alanlarında olduğu gibi yapı sistemlerinin çözümünde de oldukça uygun sonuçlar vermiştir (Camp ve Bichon 2004, Eskandar ve ark. 2011)

Armoni Arama Yöntemi (Harmony Search, HS)

Bu yöntemlere göre nispeten yeni olan bir diğer modern optimizasyon yöntemi armoni aramadır (HS). *HS* müzisyenlerin en iyi armoniyi elde etmek için izledikleri yol ile optimizasyon problemleri arasında benzerlik kurulması ile geliştirilen bir arama yöntemidir (Geem ve ark. 2001). Müzisyenler beste yaparken kullandıkları enstrümanlar vasıtasıyla farklı armoniler elde ederler. Bu armoniler içinde tecrübelerine göre beğenmediklerini veya uygun olmayanları elerken, iyi olanları daha iyi armoniler elde etmek için kullanırlar. Bu esnada akort ayarları tekrar yapılarak mevcut armoniden daha iyi bir armoni elde edilmeye çalışılır. En iyi armoninin bulunduğu kanaat getirilinceye kadar bu işlemler tekrarlar (Değertekin 2010).

HS farklı mühendislik uygulamalarının yanında düzlem ve uzay kafes yapıların optimizasyon alanında da kullanılmıştır (Lee ve Geem 2004, Lamberti ve Pappalettere 2009, Değertekin 2012).

Yapay Arı Koloni Algoritması (Artificial Bee Colony, ABC)

Yapay arı koloni algoritması (ABC); arı kolonilerindeki çalışma mekanizması ve arıların nektar elde etmek için izledikleri stratejilerin taklit edilmesi esasına dayanır. İlk olarak Karaboğa (2005) tarafından geliştirilen bu yöntem; nümerik optimizasyon problemleri için kullanılmıştır. Bu yöntem uzay ve düzlem kafes yapıların optimizasyonunda da kullanılmıştır (Sonmez 2011).

Herhangi bir arı kolonisinde işçi arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar olmak üzere üç ayrı arı grubu bulunmaktadır. İşçi arılar, çevredeki besin kaynaklarından en iyi noktaları toplayarak koloninin bulunduğu kovana getirmekle sorumludur. Daha fazla nektar toplayan işçi arılar bu durumu kovan çevresinde daha fazla dans ederek belli ederler. Gözcü arılar, işçi arıların danslarını gözlemleyerek fazla miktarda nektar toplayan işçi arıların besin kaynaklarına yönelirler. Kâşif arılar ise, arı kovanı yakınında olabilecek nektar kaynaklarını rastgele olarak araştırırlar (Değertekin ve ark. 2013).

Öğretme-Öğrenme Esaslı Optimizasyon Yöntemi (Teaching-Learning Based Optimization, TLBO)

Öğretme-Öğrenme Esaslı Optimizasyon Yöntemi (TLBO) bir öğretmenin öğrenciler üzerindeki etkisini ve öğrencilerin birbirleriyle olan etkileşimlerini modelleyen bir yöntemdir. Yöntem ilk kez Rao ve ark. (2011) tarafından optimizasyon problemlerine uygulanmıştır. Bu yöntemde öğretmenin başarısı kendi öğretme yeteneğine ve sınıftaki öğrencilerin kalitesine bağlıdır. Bu iki özelliğin birbirini etkilemesiyle daha kaliteli bir öğretme-öğrenme ilişkisi elde edilmeye çalışılır. *TLBO* yöntemi farklı mühendislik alanlarında olduğu gibi yapı sistemlerinin

optimizasyonunda da uygulanmış ve uygun sonuçlar vermiştir (Degertekin ve Hayalioglu 2013, Dede 2014).

Mayın Patlatma Algoritması (Mine Blast Algorithm, MBA)

Mayın patlatma algoritması ilk olarak Sadollah ve ark. (2012) tarafından karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmak için geliştirilmiştir. Bu yöntemin ana fikri mayın patlatmalarının gözlemlenmesine dayanır. Mayın patlatma algoritması yöntemini anlamak için mayınlardan temizlenmesi amaçlanan bir mayın tarlasını düşünelim. Bu arama işleminde en önemli olan nokta patlama esnasında patlama bölgesinde en büyük etkiyi yapacak mayını bulmaktır. Yer altındaki bu mayınların boyutları ve patlayıcı güçleri birbirinden farklıdır. Mayın patlamasında en büyük patlamaya sebep olan mayın parçası optimizasyon problemindeki amaç fonksiyonuna karşılık gelmektedir.

Bu yöntemin etkinliğini test etmek için Sadollah ve ark. ayrık tasarım değişkenli kafes yapıların optimizasyonunu yaptılar. Bu yöntemi literatürde hazır bulunan diğer yöntemlerle kıyasladıklarında bu yöntemin optimum değere yakınsamada ve optimum çözümlerde yaklaşık olarak aynı veya daha hafif sonuçları elde ettiğini gözlemlemişlerdir (Sadollah ve ark. 2012).

Çarpışan Cisimler Optimizasyonu (Colliding Bodies Optimization, CBO)

Son zamanlarda ileri sürülen sezgisel araştırma yöntemlerinden biri olan Çarpışan Cisimler Optimizasyonu (CBO) ilk olarak, sürekli tasarım değişkenli kafes yapıların optimum tasarımı için Kaveh ve Mahdavi (2014) tarafından tanımlanmıştır. CBO algoritması cisimler arasındaki çarpışma yasasını esas almaktadır. Çarpışmadan önce, her bir cisim tanımlanan kütle ve hızda bir nesne olarak kabul edilir; çarpışmadan sonra, çarpışan her bir cisim yeni hızıyla yeni bir konuma hareket eder.

Cisimler, sabit nesneler ve hareketli nesneler olmak üzere iki eşit ana gruptan oluşur. Hareketli nesneler sabit nesneleri takip etmek için hareket ederler ve bu nesne çiftleri arasında bir çarpışma meydana gelir. Bu durum iki amaç için gerçekleştirilir; hareketli nesnelerin konumlarını iyileştirmek ve sabit nesneleri daha iyi bir konuma yönlendirmek için onları itmek. Çarpışmadan sonra, çarpışma yasası kullanılarak çarpışan cisimlerin yeni konumları güncellenir. Çarpışan cisimler optimizasyonu yöntemi, doğada gerçekleşen bu olayı optimizasyon problemine uygulamıştır (Kaveh ve Mahdavi 2014).

3.2.4. Düzlem ve Uzay Kafes Yapıların Analizi

Bu kısımda düzlem ve uzay kafes yapıların çubuk uç kuvvetleri ve düğüm deplasmanlarının elde edilmesi için kullanılan analiz programı açıklanacaktır. Bu tez

çalışmasında gerek düzlem gerekse uzay kafes yapıların analizi için Levy ve Spillers (2003) tarafından verilen analiz algoritması ve Fortran programlama dilinde kodlanmış olan bilgisayar programı kullanılmıştır.

Düğüm yönteminin kullanılması ile her bir yapı düğümünde denge denklemleri düğüm deplasmanları cinsinden yazılır. Bu şekilde oluşturulan denklemler bilgisayar yardımı ile çözülmektedir. Bu denklemler genellikle matris formda aşağıdaki şekilde yazılır:

$$K_E \delta = P \quad (3.6)$$

burada;

K_E : elastik rijitlik matrisi ($n \times n$)

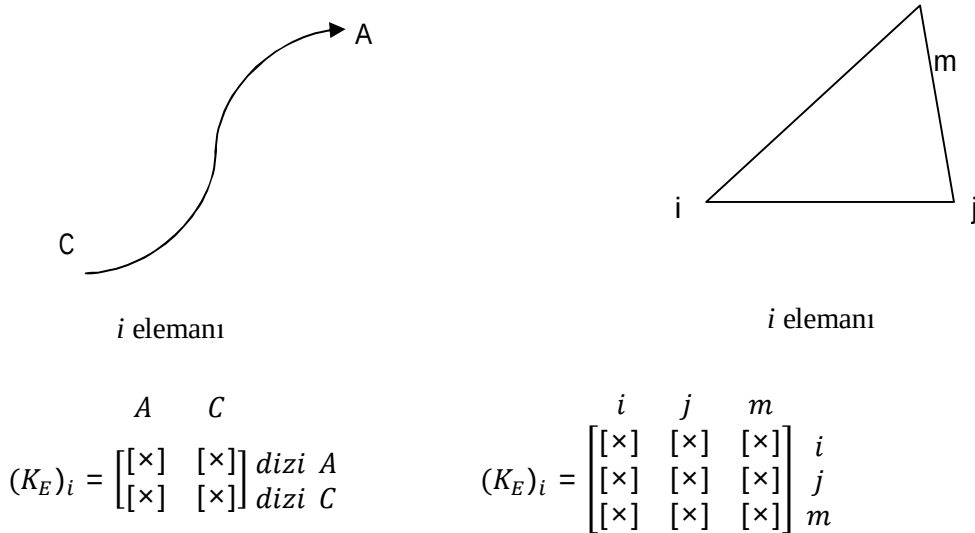
δ : düğüm noktası deplasman matrisi ($n \times 1$)

P : düğüm noktaları yük matrisi ($n \times 1$)

Fiziksel olarak, bu matristeki $(K_E)_{ij}$, “j” deki bir birimlik deplasmana bağlı “i” deki kuvveti göstermektedir. Aşağıda Denklem 3.7.’de gösterildiği gibi δ ’nın seçilmesiyle $K_E \delta$ çarpımı elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \dots & (K_E)_{1j} & \dots \\ & \vdots & \\ \dots & (K_E)_{ij} & \dots \\ & \vdots & \\ & \vdots & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \text{ dizi } j = \begin{Bmatrix} (K_E)_{1j} \\ \vdots \\ (K_E)_{ij} \\ \vdots \end{Bmatrix} \text{ dizi } i \quad (3.7)$$

Elastik rijitlik matrisi aynı zamanda simetriktir.



Şekil 3.3. Rijitlik matrisinin oluşturulması

Pratik olarak K_E elastik rijitlik matrisi, yapı sistemindeki her bir elemanın bu matrise olan katkısının toplanmasıyla elde edilir. Yukarıdaki matrisin terimlerinin boyutu her bir düğümün 3 serbestlik derecesine bağlıdır. Örneğin düzlem kafesler için matris teriminin boyutu 2×2 iken; düzlem çerçeveler için ise 3×3 'tür. Çünkü düzlem kafesler her bir düğümde 2 dereceli serbestliğe ve düzlem çerçeveler ise her bir düğümde 3 serbestlik derecesine sahiptir.

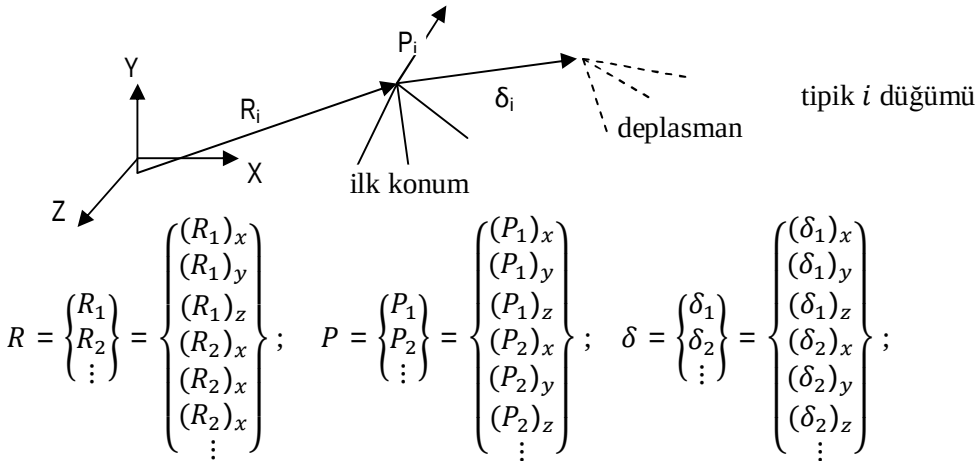
Düğüm metodu denklemleri çeşitli formlarda yazılabilir. Burada kullanılan form hem ağ yöntemleri hem de doğrusal elastik süreklilik denklemleri ile oluşturulur:

	düğüm metodu	elastisite
<i>düğüm dengesi</i>	$N^T F = P$	$\sigma_{ij,i} + f_j = 0$
<i>temel denklemler</i>	$F = K \Delta$	$\sigma_{ij} = 2\mu \varepsilon_{ij} + \lambda \delta_{ij} \varepsilon_{kk}$
<i>eleman düğüm deplasman denklemleri</i>	$\Delta = N \delta$	$\varepsilon_{ij} = (u_{i,j} + u_{j,i})/2$
F - eleman yük matrisi	~ gerilme	σ_{ij}
Δ - eleman deplasman matrisi	~ burkulma	ε_{ij}
K - ilk rijitlik matrisi	~ lamé sabitleri	$\lambda \mu$
δ - düğüm deplasman matrisi	~ deplasman vektörü	u_i
P - düğüm yük matrisi	~ cisim yük vektörü	f_j

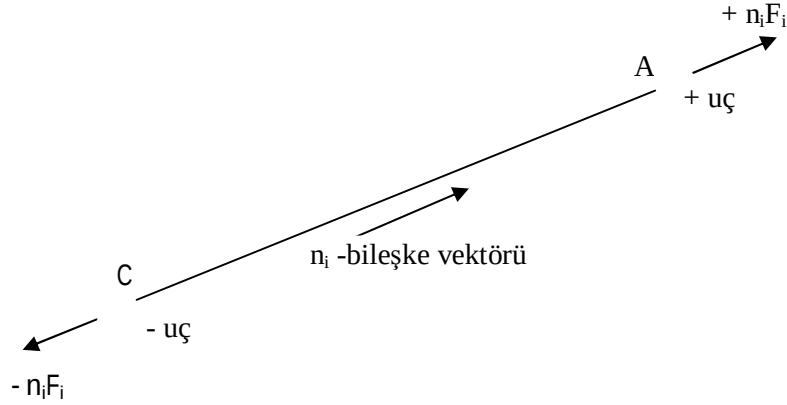
ve δ_{ij} Kronecker'in simgesidir.

$N^T F = P \rightarrow N^T K \Delta = P \rightarrow N^T K N \delta = P \rightarrow K_E = N^T K N$ bu eşitliklerden hareketle δ için $K_E \delta = P$ çözülür. F ve Δ için, $\Delta = N \delta$ ve $F = K \Delta$ denklemleri elde edilir. Buna ek olarak, $K_E, K_E = N^T K N$ olarak yazılabilir.

Kafes problemlerinin matris formülasyonu aşağıdaki şekilde tarif edilebilir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Düğüm bileşenleri



Şekil 3.5. Tipik i çubuğu

Buradaki şekillerden anlaşıldığı gibi, bir kafes yapısı; yüklerin sadece düğümlere uygulandığı mafsallı bağlantılı elemanların bir birleşimidir. Her bir i düğümü ile bağlantılı tipik bir kafeste pozisyon vektörü R_i , yük vektörü P_i ve deplasman vektörü δ_i 'dir. Bu değerler matris formlarında, Şekil 3.4.'te de gösterildiği gibi sütun matris olarak ifade edilir.

Tipik bir kafes yapısı elemanının; kuvvet elemanı F_i , deplasman elemanı (boy değişimi) Δ_i ve çubuk eğimini tanımlayan bir birim vektörü n_i olarak tanımlanabilirler (Şekil 3.5.).

Düğüm denge denklemlerinin bulunması için Şekil 3.6.'dan yararlanılır. Burada bir çubuk, herhangi bir düğüm üzerine etki eden pozitif ya da negatif bir yükü ifade eder. Şekil 3.6. vasıtasıyla düğüm dengesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$-n_a F_a + n_b F_b + n_\gamma F_\gamma - n_\delta F_\delta + P_i = 0 \quad (3.8)$$

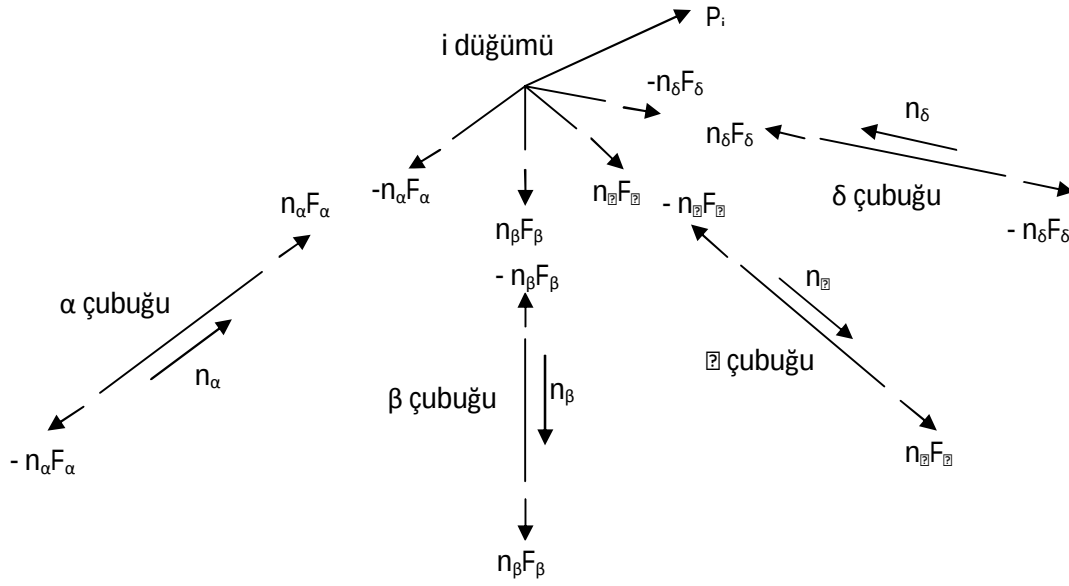
Düğüm dengesi matris formunda aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$N^T F = P \quad (3.9)$$

Burada, N matrisi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$N_{ij} = \begin{cases} n_i^T & \text{eğer } j, i \text{ elemanının sonunda + ise} \\ -n_i^T & \text{eğer } j, i \text{ elemanının sonunda - ise} \\ 0 & \text{yoksa} \end{cases} \quad (3.10)$$

Burada n , 3×1 birim vektör bileşenin sütun matrisidir.

Şekil 3.6. i düğümünün dengesi

Lineer eleman-düğüm deplasmanı ilişkisi şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta_i = n_i \times (\delta_A - \delta_C) \quad (3.11)$$

$$\Delta = N\delta \quad (3.12)$$

Sistemdeki her bir çubuk için Denklem 3.11. tekrardan elde edilir.

Sonuç olarak, $F_i = k_i \Delta_i$ ve $k_i = A_i E / L_i$ biçiminde ifade edilir. Burada A_i ; i elemanının kesit alanı L_i ; i elemanın uzunluğu ve E ; Elastisite modülüdür. Temel bağıntılar matris formunda şu şekilde yazılabilir;

$$F = K\Delta \quad (3.13)$$

Sistem matrisi: $K_E = N^T K N$ dir.

Buradan;

$$(K_E)_i = \begin{bmatrix} (K_E)_i^{AA} & -(K_E)_i^{AC} \\ -(K_E)_i^{CA} & (K_E)_i^{CC} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{sütun A} \\ \text{sütun C} \end{matrix} \quad (3.14)$$

ile

$$(K_E)_i^{AA} = \frac{A_i E}{L_i} (n_i n_i^T) = \frac{A_i E}{L_i} \begin{bmatrix} (n_i)_x^2 & (n_i)_x (n_i)_y & (n_i)_x (n_i)_z \\ (n_i)_y (n_i)_x & (n_i)_y^2 & (n_i)_y (n_i)_z \\ (n_i)_z (n_i)_x & (n_i)_z (n_i)_y & (n_i)_z^2 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

ve

$$n_i = \{(n_i)_x \ (n_i)_y \ (n_i)_z\}^T$$

olur.

Buradaki n_i , şekil değiştirmemiş çubuğun ilk doğrultusunu ve aynı zamanda (lineer teori dikkate alındığında) şekil değiştirmiş çubuğun doğrultusunu gösterir. Sıfırda düzenlenen diğer tüm deplasman bileşenleri $(\delta_A)_x = 1$ olur (Şekil 3.7.). Bu durumda;

Elemandaki uzunluk değişimi:

$$\Delta_i = n_i \times (\delta_A - \delta_C) = (n_i)_x$$

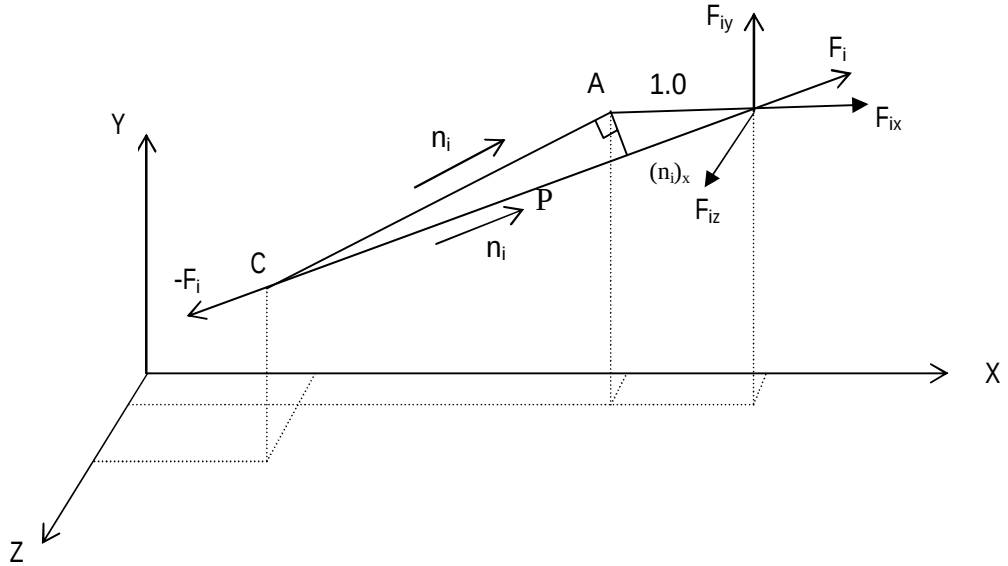
Eleman Kuvveti:

$$F_i = K_{ii}\Delta_i = (n_i)_x A_i E / L_i$$

Ve eleman ucundaki kuvvetler:

$$\mp (n_i)_x n_i A_i E / L_i$$

olur.



$$F_i = (n_i)_x A_i E / L_i ;$$

$$F_{ix} = (n_i)_x (n_i)_x A_i E / L_i ; \quad F_{iy} = (n_i)_x (n_i)_y A_i E / L_i ; \quad F_{iz} = (n_i)_x (n_i)_z A_i E / L_i$$

Şekil 3.7. Kafes eleman rijitliği

Bu adım ile global rijitlik matrisinin (3*A-2) sütununda yer alan $(K_E)_i$ elemanları elde edilmiştir. Diğer sütunlarda bulunan terimler de benzer şekilde elde edilir. Lineer yapı analizi algoritması 3 adımdan oluşur:

Adım 1. Yapı elemanlarının K_E rijitlik matrisine olan katkılarının toplanması ile K_E rijitlik matrisinin oluşturulması.

Adım 2. δ için $K_E \delta = P$ denklem takımının çözülmesi.

Adım 3. Yapı elemanlarında, kuvvet (F) ve eleman deplasmanlarının (4) hesaplanmasıdır (Levy ve Spillers 2003).

Bu kısımda kafes sistemlerinin analizi ile ilgili hesap açıklamaları özet biçimde verilmiş olup, detaylı bilgiler Levy ve Spillers (2003) çalışmasından alınabilir.

3.2.5. Kafes Yapıların Optimum Tasarım Formülasyonu

Bir kafes yapının optimum tasarım problemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$W(X) = \sum_{k=1}^{ng} x_k \sum_{i=1}^{mk} \rho_i L_i \quad (3.16)$$

$$\frac{|\sigma_i|}{|\sigma_{im}|} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, nm \quad (3.17)$$

$$\frac{|\delta_i|}{|\delta_{im}|} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, nn \quad (3.18)$$

$$x_{min} \leq x_k \leq x_{maks} \quad k = 1, 2, \dots, ng \quad (3.19)$$

bu denklemlerde X tasarım değişkenlerini ihtiva eden bir vektör ($X = \{x_1, x_2, \dots, x_{ng}\}$), $W(X)$ kafes yapının ağırlığı (amaç fonksiyonu), ng yapıdaki toplam eleman grup sayısı (tasarım değişkeni sayısı), x_k k 'nci gruptaki elemanların enkesit alanı, mk k 'nci gruptaki eleman sayısı, ρ_i i 'nci elemanın özgül ağırlığı, L_i i 'nci eleman uzunluğu, nm kafes yapıdaki eleman sayısı, nn düğüm noktaları sayısı, σ_i i 'nci elemandaki gerilme, σ_{im} i 'nci eleman için müsaade edilen gerilme değeri, δ_i i 'nci düğümdeki deplasman değeri, δ_{im} i 'nci düğüm için müsaade edilen deplasman değeri, $maks$ ve min indisleri ise gerilme ve deplasman sınırlayıcıları ve eleman enkesit değerleri için maksimum ve minimum değerleri göstermektedir (Değertekin 2011).

Kafes yapıların optimum tasarımı sonucunda elde edilen tasarımların, Denklem 3.17-3.19'da verilen sınırlayıcıları sağlaması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında Kaveh ve Talatahari (2009) tarafından sunulan modifiye edilmiş amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bu yöntemin kafes yapıların optimum tasarımındaki geçerliliği daha önce yapılan çalışmalarla test edilmiştir (Kaveh ve Talatahari 2009, Değertekin 2012).

Modifiye edilmiş amaç fonksiyonunda aşağıda verilen 4 kural uygulanmıştır:

- I. Sınırlayıcıları sağlayan tasarım her zaman sınırlayıcıları sağlamayan tasarıma tercih edilir.
- II. Sınırlayıcıları çok küçük değerlerde (ilk armonide 0,01 ve son armonide 0,001) ihlal eden tasarımlar yapılabilir bir tasarım olarak göz önüne alınır.
- III. Sınırlayıcıları sağlayan iki tasarım arasında daha hafif olan tasarım tercih edilir.
- IV. Sınırlayıcıları sağlamayan tasarımlar arasında daha az ihlal eden tasarım tercih edilir.

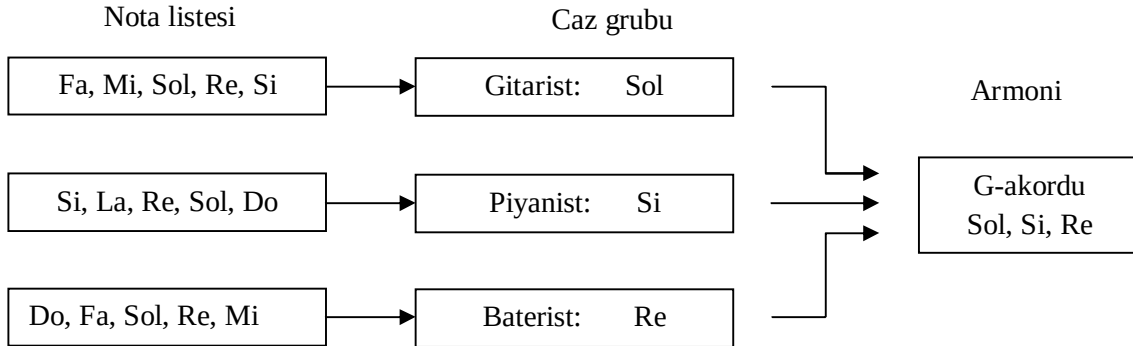
Burada *I. kural* optimizasyon işleminin sınırlayıcıları sağlayan tasarımlar etrafında kalmasını sağlarken, *III. kural* sınırlayıcıları sağlayan tasarımlardan daha hafif olan tasarımlar etrafında arama işleminin devam etmesini sağlamaktadır. *II. kural* ise optimizasyon işleminde sınırlayıcıları çok az oranda ihlal eden tasarımların yakınında olabilecek optimum tasarımların araştırılmasını sağlar. Ancak bu kurala göre elde edilen tasarımlar arama işlemine dahil edilirken optimum tasarım olarak kabul edilmez (Değertekin ve Hayalioğlu 2011).

3.2.6. Armoni Arama Yöntemi

İki veya daha fazla sesin aynı anda kulağa hoş gelecek biçimde uyumlu olması armoni olarak adlandırılmaktadır. Günlük hayatta armoni, uyum ve ahenk kelimelerine karşı gelmektedir. *HS* müzisyenlerin en iyi armoniyi bulmak için izledikleri yolu taklit eden gelişmiş bir arama yöntemidir. Çeşitli sesleri belirtmek ve bunların birbirine karışmasını engellemek için sesleri temsil eden notalara *Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si* gibi özel isimler verilmiştir. Bir enstrüman çalındığında istenen notayı vermesi için enstrümanın ayarlanması işlemine ise akort denir. Birbiriyle uyumlu notaların bir araya gelmesi ile beste oluşur. Müzisyenler beste yaparken kullandıkları enstrümanlar vasıtasıyla farklı armoniler elde ederler. Bu armoniler içinde tecrübelerine göre beğenmediklerini veya uygun olmayanları elerken, iyi olanları daha iyi armoniler elde etmek için kullanırlar. Bu esnada akort ayarları tekrar yapılarak mevcut armoniden daha iyi bir armoni elde edilmeye çalışılır. En iyi armoninin bulunduğu kanaat getirilinceye kadar bu işlemler tekrarlar. *HS* yönteminin esasını armoni hafıza (IHMS) oluşturur.

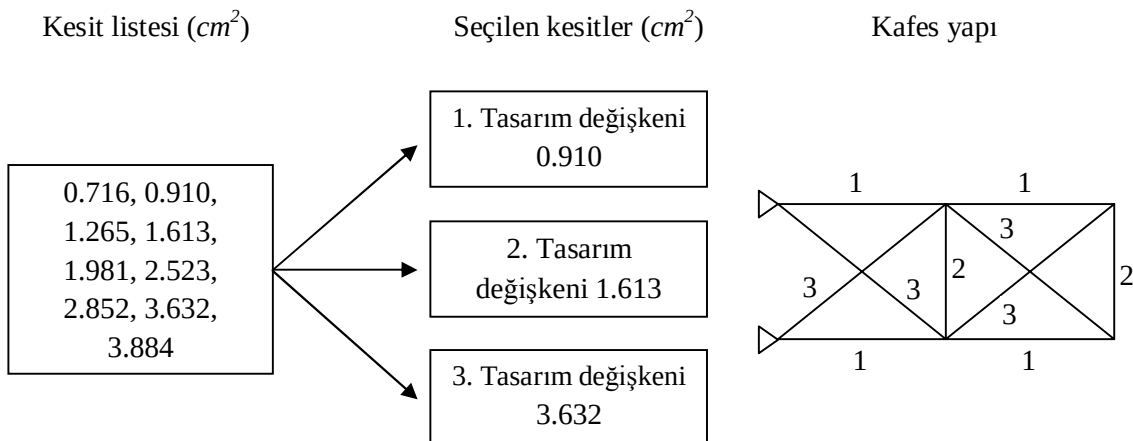
IHMS'yi açıklayabilmek için verilebilecek en iyi örnek bir caz grubudur. Herhangi bir caz grubu genel olarak gitarist, piyanist ve baterist olmak üzere üç müzisyenden oluşmaktadır. Başlangıçta üç müzisyenin de aklında farklı notalar olacaktır. Şekil 3.8.'den görüleceği gibi, örneğin gitarist [Fa, Mi, Sol, Re, Si]; piyanist [Si, La, Re, Sol, Do]; baterist [Do, Fa, Sol, Re, Mi] notalarını rasgele olarak düşünsün. Bu notalar içinde Gitarist Sol, piyanist Si ve baterist Re notalarını kullansın. Böylece üç müzisyen [Sol, Si, Re] şeklinde müzikte *G-akordu* adı verilen bir armoni oluşturur. Bu şekilde oluşturdukları armoni, hafızalarında mevcut olan en kötü

armoniden daha iyi ise mevcut en kötü armoni'yi eleyip onun yerine yeni armoniyi kaydederler. Bu işlemleri en iyi armoniyi elde ettiklerine kanaat getirinceye kadar tekrarlarlar.



Şekil 3.8. Armoni arama

Benzer şekilde 3 tane eleman grubuna (tasarım değişkeni) sahip bir kafes yapının tasarımını düşünelim (Şekil 3.9.). Bu tasarım için $[0.716, 0.910, 1.265, 1.613, 1.981, 2.523, 2.852, 3.632, 3.884]$ cm^2 enkesit listesi oluşturulsun. Bu listeden $0.910, 1.613, 3.632$ cm^2 enkesit alanlı kesitler birinci, ikinci ve üçüncü tasarım değişkeni olarak rasgele seçilsin. Bu durumda $[0.910, 1.613, 3.632$ $cm^2]$ enkesitlerinden oluşan bir kafes yapı tasarımı elde edilir. Bu tasarım için Bölüm 3.2.4.'te açıklanan kafes yapı analizi yapılarak çubuk uç kuvvetleri ve düğüm deplasmanları elde edilir. Bu değerler kullanılarak (3.17)-(3.19) denklemleri vasıtasıyla amaç fonksiyonu hesaplanır. Eğer bu kafes yapının amaç fonksiyonu, daha önce armoni hafızada mevcut olan kafes yapıları içindeki en büyük amaç fonksiyonu değerinden daha küçükse bu kafes yapı tasarımı tasarım işlemine dahil edilirken en büyük amaç fonksiyonuna sahip tasarım elenir. Bu işlemler kabul edilen bir durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır.



Şekil 3.9. Kafes yapı tasarımı

HS ve kafes yapı tasarımı arasındaki ilişki şu şekilde kurulabilir: *HS*'deki armoni kafes yapı tasarımıdaki amaç fonksiyonunu, farklı armoniler farklı kafes yapı tasarımlarını gösterir. Her enstrüman bir tasarım değişkenini, her nota ise enkesit listesindeki bir enkesiti ile gösterilir. Daha iyi armoniler lokal optimumlara, en iyi armoni ise global optimuma karşı gelir (Değertekin 2010).

3.2.7. Armoni Arama Algoritması

Son yıllarda kullanılan sezgisel optimizasyon yöntemlerinden bir tanesi de armoni arama yöntemidir. Armoni arama (*HS*), müzisyenlerin en iyi armoniyi elde etmek için izledikleri yol ile optimizasyon problemleri arasında benzerlik kuran bir arama yöntemidir (Geem 2001). *HS* farklı mühendislik uygulamalarının yanında yapı sistemlerinin optimizasyonu alanında da kullanılmıştır (Lee ve Geem 2004), (Lee ve ark. 2005), (Değertekin 2008a,b), (Değertekin 2010).

Bu çalışmada Değertekin (2008a)'da açıklanan *HS* algoritması esas alınmıştır. Buna göre *HS* algoritması şu adımlardan oluşmaktadır:

3.2.7.1. Armoni Arama Parametrelerinin Atanması

İlk adımda *HS*'de kullanılacak parametreler atanır. Bunlar; *IHMS* kapasitesi (κ), armoni hafıza kullanma oranı (η), ses düzeltme oranı (ζ) ve durdurma kriteridir. Bu parametreler probleme bağlı olarak seçilmektedir.

3.2.7.2. Armoni Hafızanın Çalıştırılması

IHMS, κ kadar rasgele üretilen tasarımdan meydana gelen bir matris olarak aşağıdaki gibi verilebilir (Denklemler 3.20.). Bu matriste her satır bir tasarımı, her sütun ise bir tasarım değişkenini gösterir. $x^1, x^2, \dots, x^{K-1}, x^K$ tasarımları, $W(x^1), W(x^2), \dots, W(x^{K-1}), W(x^K)$ bu tasarımlara ait amaç fonksiyonlarının değerleridir. *IHMS*'deki tasarımlar amaç fonksiyonlarına göre sıralanmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri en küçük olan tasarım *IHMS*'nin ilk satırında, amaç fonksiyonu değeri en büyük olan tasarım *IHMS*'nin son sırasında yer alır ($W(x^1) < W(x^2) < \dots < W(x^K)$). *IHMS*'nin amacı, arama esnasında elde edilen iyi tasarımları koruma altına almak ve bu tasarımlardan faydalanarak daha iyi tasarımları bulmaktır.

$$IHMS = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{ng-1}^1 & x_{ng}^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{ng-1}^2 & x_{ng}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{K-1} & x_2^{K-1} & \dots & x_{ng-1}^{K-1} & x_{ng}^{K-1} \\ x_1^K & x_2^K & \dots & x_{ng-1}^K & x_{ng}^K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W(x^1) \\ W(x^2) \\ \vdots \\ W(x^{K-1}) \\ W(x^K) \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

3.2.7.3. Yeni Armoninin Geliştirilmesi

HS 'de yeni tasarım (yeni armoni); $IHMS$ 'nin değerlendirilmesi, ses ayarı ve rasgele üretim ile geliştirilir. $IHMS$ 'nin değerlendirilmesinde; yeni tasarımdaki $\{x_1^{ya}, x_2^{ya}, x_3^{ya}, \dots, x_{ng-1}^{ya}, x_{ng}^{ya}\}$ ilk tasarım değişkeni $\{x_i^{ya}\}$, η armoni hafıza kullanma oranı değerine bağlı olarak ya $IHMS$ 'de mevcut olan ilk tasarım değişkenlerinden $\{x^1, x^2, \dots, x^{K-1}, x^K\}$ ya da kafes yapı enkesit listesinden (X_{ks}) seçilir. Yeni armoninin diğer tasarım değişkenleri de aynı şekilde belirlenir. η şu şekilde uygulanır:

$$\begin{cases} x_1^{ya} \in \{x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^{K-1}, x_1^K\} & \text{ise } rn \leq \eta \\ x_1^{ya} \in X_{ks} & \text{ise } rn > \eta \end{cases} \quad (3.21)$$

İlk olarak, $[0,1]$ aralığında rasgele bir sayı (rn) üretilir. Eğer $rn \leq \eta$ ise yeni tasarımdaki i 'nci tasarım değişkeni x_i^{ya} $IHMS$ 'nin i 'nci sütunundan seçilir. Aksi halde i 'nci tasarım değişkeni kesit listesinden seçilir. Örneğin $\eta=0.9$ değeri, HS 'de i 'nci tasarım değişkeninin %90 olasılıkla $IHMS$ 'nin i 'nci kolonundaki kesitlerden, %10 olasılıkla kafes yapı enkesit listesinden seçileceğini gösterir. HS 'de, $IHMS$ 'de olmayan kesitlerin kullanılmasıyla daha iyi tasarımların elde edilebileceği olasılığı göz önüne alınarak η için 1.0 değeri kullanılmaz. η 'nın kullanılmasının amacı, aramanın lokal optimumlara yakınsamasına engel olmaktadır.

Yeni tasarımda $IHMS$ 'den seçilen her tasarım değişkenine ξ ses düzeltme oranı kullanılarak ses ayarının yapıp yapılmayacağına karar verilir. ξ mevcut tasarıma komşu olan daha iyi tasarımları araştırmak için kullanılan bir parametre olup şu şekilde uygulanır:

$$x_i^{ya} \text{ için ses ayarı} \leftarrow \begin{cases} Yap & \text{ise } rna \leq \xi \\ Yapma & \text{ise } rna > \xi \end{cases} \quad (3.22)$$

Öncelikle yeni tasarımda ses ayarı yapılacak tasarım değişkeni (x_i^{ya}) için $[0,1]$ aralığında rasgele bir sayı (rna) üretilir. Eğer $rna \leq \xi$ ise bu tasarım değişkeni kesit profil listesinde kendisine komşu olan bir profil kesitle değiştirilir, aksi halde tasarım değişkeni aynı kalır. Örnek olarak $\xi = 0.4$ değeri HS algoritmasının $0.4 \times \eta$ olasılığıyla x_i^{ya} yerine kesit listesinde kendisine komşu olan profil kesitin atayacağını gösterir. Tasarım değişkeninin kesit listesinde kendisine komşu olan profil kesitle değiştirilmesi komşu derinlik indeksi kullanılarak

yapılır. Örneğin x_i^{ya} enkesit listesindeki $[1.613] \text{ cm}^2$ komşu derinlik indeksi ± 2 ve enkesit listesi $[0.910, 1.265, 1.613, 1.981, 2.523] \text{ cm}^2$ olsun. $[+2, -2]$ aralığında rasgele olarak $+2$ sayısı üretildiğini kabul edelim. Bu durumda algoritma $0.4 \times \eta$ olasılığıyla 2.523 cm^2 enkesiti 1.613 cm^2 'nin yerine atar veya $(1 - 0.4 \times \eta)$ olasılığıyla 1.613 cm^2 değişmeden kalır.

3.2.7.4. Armoni Hafızanın Güncellenmesi

Eğer yeni geliştirilen tasarımın $\{x_1^{ya}, x_2^{ya}, x_3^{ya}, \dots, x_{ng-1}^{ya}, x_{ng}^{ya}\}$ amaç fonksiyonu değeri $W(x^{ya})$ IHMS'deki en büyük amaç fonksiyonuna sahip olan ve son sırada yer alan tasarımın amaç fonksiyonu değerinden $W(x^K)$ daha küçükse ($W(x^{ya}) < W(x^K)$), yeni tasarım IHMS'ye dahil edilirken son sıradaki tasarım IHMS'den çıkartılır. Bu işlem sonrasında amaç fonksiyonları değerine göre IHMS'deki tasarımlar tekrar sıralanır.

3.2.7.5. Arama İşleminin Bitirilmesi

HS yönteminde, yeni armoninin geliştirilmesi ve armoni hafızanın güncellenmesi kısımlarında açıklanan işlemler kabul edilen durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar tekrarlanır.

Bu çalışmada geliştirilen HS algoritmasında önceden belirlenen sayıda armoni(tasarım) üretilmesi durumunda arama işlemi bitirilmiştir.

3.2.8. Modifiye Edilmiş Armoni Arama Algoritması (MHS)

Klasik armoni arama yönteminde başlangıçta verilen PAR ve bw değerleri optimizasyon boyunca sabit kalmaktadır. Ancak bu değerlerin optimizasyon boyunca değişen şartları göz önüne alacak şekilde güncellenmesi HS yönteminin etkinliğini artırabilir. Optimizasyon işleminin başlangıcında araştırılacak bölge oldukça geniştir. Bununla birlikte, zamanla optimum çözümlerin elde edilmesiyle araştırma bölgesi gittikçe daralmakta ve belli çözümlerin etrafında kümelenmeye başlamaktadır. Bu gerçeği göz önünde bulundurarak başlangıçta 1'e yakın alınan ses düzeltme (PAR) oranının zamanla azaltılması ve başlangıçta nispeten büyük bir değer seçilen komşu derinlik indeksinin (bw) ilerleyen adımlarda küçültülmesi gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bu durumun ifade edilmesi için klasik armoni arama yöntemindeki PAR ve bw değerleri şu şekilde güncellenmelidir:

$$PAR(n) = PAR_{maks} - \frac{(PAR_{maks} - PAR_{min})}{n_{maks}} \times n \quad (3.23)$$

$$bw(n) = bw_{maks} \exp(c \times n) \quad (3.24)$$

$$c = \frac{\ln\left(\frac{bw_{min}}{bw_{maks}}\right)}{n_{maks}} \quad (3.25)$$

burada $PAR(n)$, n 'nci armoni arama için ses düzeltme oranı, PAR_{maks} ve PAR_{min} maksimum (ilk armoni aramadaki) ve minimum (maksimum armoni aramadaki) ses düzeltme oranı, bw_{min} ve bw_{maks} minimum ve maksimum komşu derinlik indeksi ve n_{maks} maksimum armoni arama sayısıdır (Değertekin ve Hayalioğlu 2011).

Ses düzeltme oranı (PAR) ve komşu derinlik indeksinin (bw) bu şekilde her adımda güncellenmesiyle 'Modifiye edilmiş armoni arama yöntemi (MHS)' elde edilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında ileri sürülen modifiye edilmiş armoni arama algoritması (MHS) yönteminin etkinliğini test etmek için literatürde hazır bulunan 52 elemanlı düzlem kafes yapı ile 25 ve 72 elemanlı uzay kafes yapılar kullanılacaktır.

Bu çalışmada ileri sürülen modifiye edilmiş armoni arama algoritmasından elde edilen sonuçlar; daha önce armoni arama *HS* (Lee ve ark. 2005), sezgisel parçacık sürü optimizasyonu *HPSO* (Li ve ark. 2009), sezgisel parçacık sürü-karınca koloni optimizasyonu *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009), mayın patlatma algoritması *MBA* (Sadollah ve ark. 2012), çarpışan cisimler algoritması *CBO* (Kaveh ve Mahdavi 2014), öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi *TLBO* (Dede, 2014) ve modifiye edilmiş ateşböceği algoritması *AFA* (Baghlani ve ark. 2014) yöntemleriyle elde edilmiş olan sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Modifiye edilmiş armoni arama yönteminin stokastik (olasılığa dayalı) yapısından dolayı her tasarım örneği 10 kez icra edilmiştir. Bu farklı icralarda elde edilen tasarımlardan en hafif olanına ait sonuçlar (optimum) çizelgelerde verilmiştir. Ayrıca 10 farklı icra için ortalama ağırlık, standart sapma değerleri de çizelgelerde sunulmuştur. Buna ilaveten literatürden alınan çalışmalar ve bu tezde sunulan yöntemden elde edilen tasarım sonuçlarına ait sınırlayıcı ihlal oranları da çizelgelerde mevcuttur. Tüm tasarım örnekleri için durdurma kriteri olarak Lee ve ark. (2005)'de verilen değerlere uygun olarak 50000 armoni arama sayısı (kafes yapı analiz sayısı) seçilmiştir. Kafes yapılar geometrik bakımdan lineer ve malzeme olarak elastik kabul edilerek analiz edilmiştir.

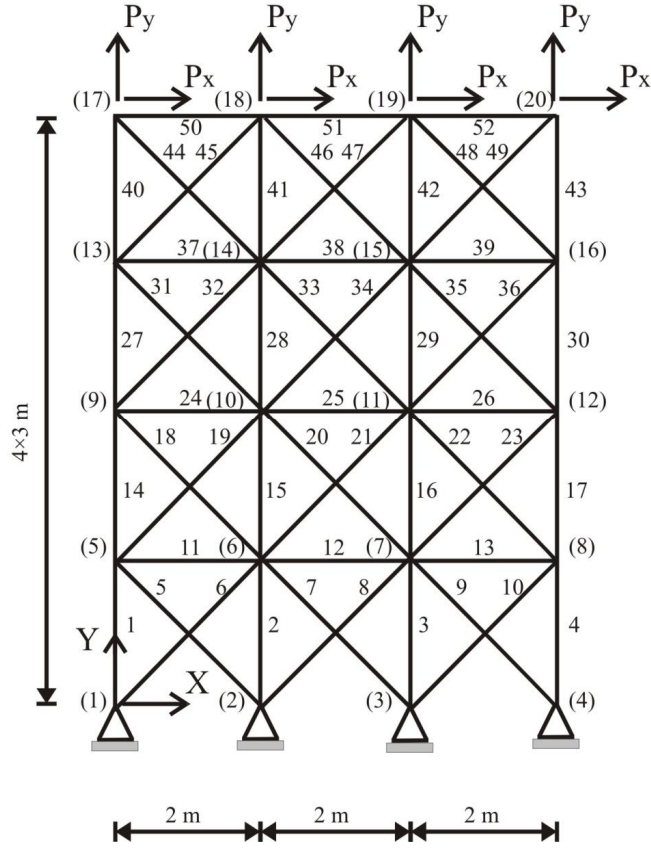
Bu tez çalışmasında sunulan *MHS* yöntemine ait algoritma FORTRAN programlama dilinde kodlanmış ve Intel(R) Core(TM) i7-2670QM CPU @ 2.20GHz mikro işlemcili bilgisayarda icra edilmiştir.

4.1. 52 Elemanlı Düzlem Kafes Yapı

52 Elemanlı düzlem kafes yapı Şekil 4.1.'de verilmiştir. Bu şekilde $P_x = 100kN$ ve $P_y = 200kN$ olarak atanmıştır.

Kafes yapıda malzeme özgül ağırlığı $\rho = 7860 \text{ kgf/m}^3$, elastisite modülü $E = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$ 'dır. Kafes yapı 12 tasarım değişkeninden (eleman grubundan) oluşmaktadır. Bu eleman grupları: (1) $A_1 - A_4$, (2) $A_5 - A_{10}$, (3) $A_{11} - A_{13}$, (4) $A_{14} - A_{17}$, (5) $A_{18} - A_{23}$, (6) $A_{24} - A_{26}$, (7) $A_{27} - A_{30}$, (8) $A_{31} - A_{36}$, (9) $A_{37} - A_{39}$, (10) $A_{40} - A_{43}$, (11) $A_{44} - A_{49}$, (12) $A_{50} - A_{52}$ şeklindedir. Eleman gruplarına Çizelge 4.1.'de verilen 64 adet enkesit arasından kesit ataması yapılmıştır. Optimizasyon probleminde sadece gerilme sınırlayıcısı mevcut olup

çekme kuvvetine maruz elemanlarda 180 MPa , basınç kuvvetine maruz elemanlarda -180 MPa 'ın aşılmasına müsaade edilmeyecektir.



Şekil 4.1. 52 Elemanlı düzlem kafes yapı

Çizelge 4.1. 52 elemanlı düzlem kafes yapı için enkesit listesi (cm^2)

Eleman	Alan	Eleman	Alan	Eleman	Alan	Eleman	Alan
1	0.71613	17	10.08385	33	24.77414	49	74.193400
2	0.90968	18	10.45159	34	24.96769	50	87.096600
3	1.26451	19	11.61288	35	25.03221	51	89.677240
4	1.6129	20	12.83868	36	26.96769	52	91.612720
5	1.98064	21	13.74191	37	27.22575	53	99.999800
6	2.52258	22	15.35481	38	28.96768	54	103.22560
7	2.85161	23	16.90319	39	29.61284	55	109.03204
8	3.63225	24	16.96771	40	30.96768	56	121.29008
9	3.88386	25	18.58061	41	32.06445	57	128.38684
10	4.94193	26	18.90319	42	33.03219	58	141.93520
11	5.06451	27	19.93544	43	37.03218	59	147.74164
12	6.41289	28	20.19351	44	46.58055	60	158.06420
13	6.4516	29	21.80641	45	51.41925	61	170.96740
14	7.92256	30	22.38705	46	55.03215	62	180.64480
15	8.16773	31	22.90318	47	59.99988	63	193.54800
16	9.39998	32	23.41931	48	69.99986	64	216.12860

Bu kafes yapı daha önce *HS* (Lee ve ark. 2005), *HPSO* (Li ve ark. 2009), *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009), *MBA* (Sadollah ve ark. 2012), *CBO* (Kaveh ve Mahdavi 2014), *TLBO* (Dede 2014) ve *AFA* (Baghlani ve ark. 2014) tarafından optimize edilmiştir. Bu yöntemlerin hepsinde gerilme sınırlayıcısının farklı oranlarda aşıldığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı bu çalışmada biri sınırlayıcı ihlali yapan biri de sınırlayıcı ihlali yapmayan olmak üzere iki tasarım değeri önceki yöntemlerle beraber Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2.'nin incelenmesiyle bu çalışmada önerilen *MHS* yöntemiyle 10714 yapı analizi sonunda 1965.9 kgf ağırlığında bir kafes yapı elde edilmiştir. Bu tasarım literatürde hazır bulunan tasarımlardan daha iyi bir tasarımdır. Çünkü *MHS* yöntemiyle elde edilen tasarım için sınırlayıcı ihlali yok iken; önceki çalışmaların hepsinde tasarım sınırlayıcılarının ihlal edildiği tespit edilmiştir.

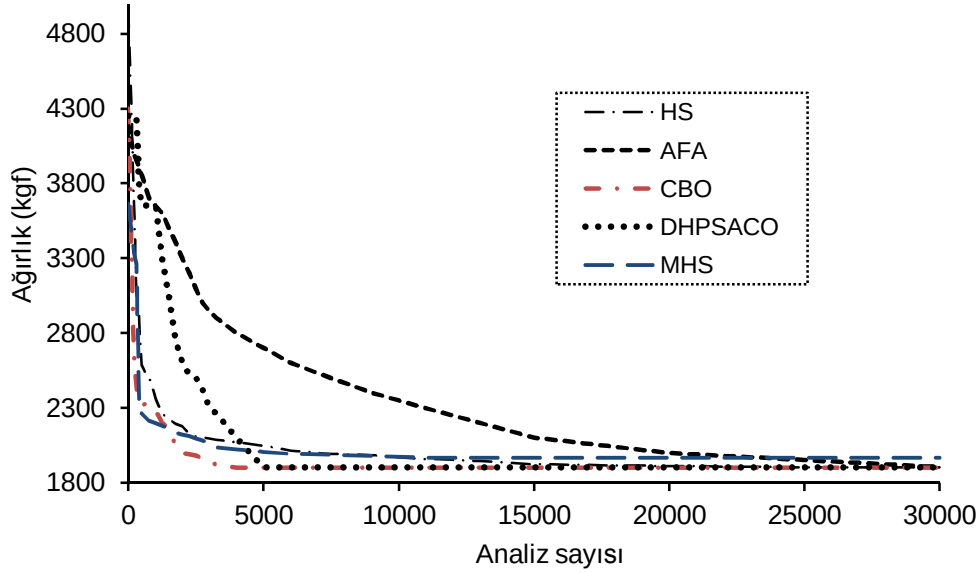
MHS'de sınırlayıcı ihlali yapan tasarım ile *MBA* (Sadollah 2012) ve *TLBO* (Dede 2014) yöntemleriyle elde edilen tasarımlarla aynı tasarım bulunmuştur. Her üç tasarımda sınırlayıcı ihlal yüzdesi % 0.23 olmakla beraber *MHS* 6369 yapı analizi sonucunda bu değeri elde ederken *MBA* (Sadollah 2012) ve *TLBO* (Dede 2014) aynı tasarımı sırasıyla 5450 ve 6000 yapı analizi sonunda elde etmişlerdir.

Çizelge 4.2. 52 elemanlı düzlem kafes yapının optimum tasarımlarının karşılaştırılması

Tasarım değişkenleri A_i (cm ²)		HS (Lee ve ark. 2005)	HPSO (Li ve ark. 2009)	DHPSACO (Kaveh ve Talatahari 2009)	MBA (Sadollah ve ark. 2012)	CBO (Kaveh ve Mahdavi 2014)	AFA (Baghlani ve ark. 2014)	TLBO (Dede 2014)	MHS (Bu Çalışma)	MHS (Bu Çalışma)
1	A_1 - A_4	46.58055	46.58055	46.58055	46.58055	46.58055	46.58055	46.58055	46.58055	46.58055
2	A_5 - A_{10}	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288
3	A_{11} - A_{13}	4.94193	3.63225	4.94193	4.94193	3.88386	3.63225	4.94193	4.94193	2.52257
4	A_{14} - A_{17}	33.03219	33.03219	33.03219	33.03219	33.03219	33.03219	33.03219	33.03219	37.03218
5	A_{18} - A_{23}	9.39998	9.39998	10.08385	9.39998	9.39998	9.39998	9.39998	9.39998	10.08385
6	A_{24} - A_{26}	6.41289	4.94193	2.85161	4.94193	5.06451	4.94193	4.94193	4.94193	6.41289
7	A_{27} - A_{30}	22.38705	22.38705	22.90318	22.83705	22.38705	22.38705	22.38705	22.38705	22.90318
8	A_{31} - A_{36}	10.08385	10.08385	10.08385	10.08385	10.08385	10.08385	10.08385	10.08385	10.08385
9	A_{37} - A_{39}	3.63225	3.88386	3.88386	4.94193	5.06451	6.41289	4.94193	4.94193	3.63225
10	A_{40} - A_{43}	12.8387	12.8387	12.83868	12.83868	12.83868	12.83868	12.83868	12.83868	16.96771
11	A_{44} - A_{49}	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	11.61288	10.45159
12	A_{50} - A_{52}	4.94193	7.92256	5.06451	4.94193	5.06451	4.94193	4.94193	4.94193	5.06451
Ağırlık (kgf)		1903.659	1905.49	1904.83	1902.605	1899.35	1903.37	1902.605	1902.605	1965.9
Ortalama ağırlık (kgf)		*	*	*	*	*	*	*	1906.304	1906.304
Standart sapma (kgf)		*	*	*	*	*	*	*	3.77	3.77
Sınırlayıcı ihlal oranı (%)		0.31	0.31	28.76	0.23	0.31	0.31	0.23	0.23	Yok
Kafes yapı analizi sayısı		22685	300000	*	5450	3840	52600	6000	6369	10714

* Mevcut değil

52 Elemanlı düzlem kafes yapıya ait optimum değere yakınsamasının analiz sayısına göre durumunu gösteren eğri verilmiştir (Şekil 4.2.). Bu şekilde modifiye edilmiş armoni arama yöntemi (MHS); *HS* (Lee ve ark. 2005), *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009), *CBO* (Kaveh ve Mahdavi 2014) ve *AFA* (Baghlani ve ark. 2014) ile kıyaslanmıştır.



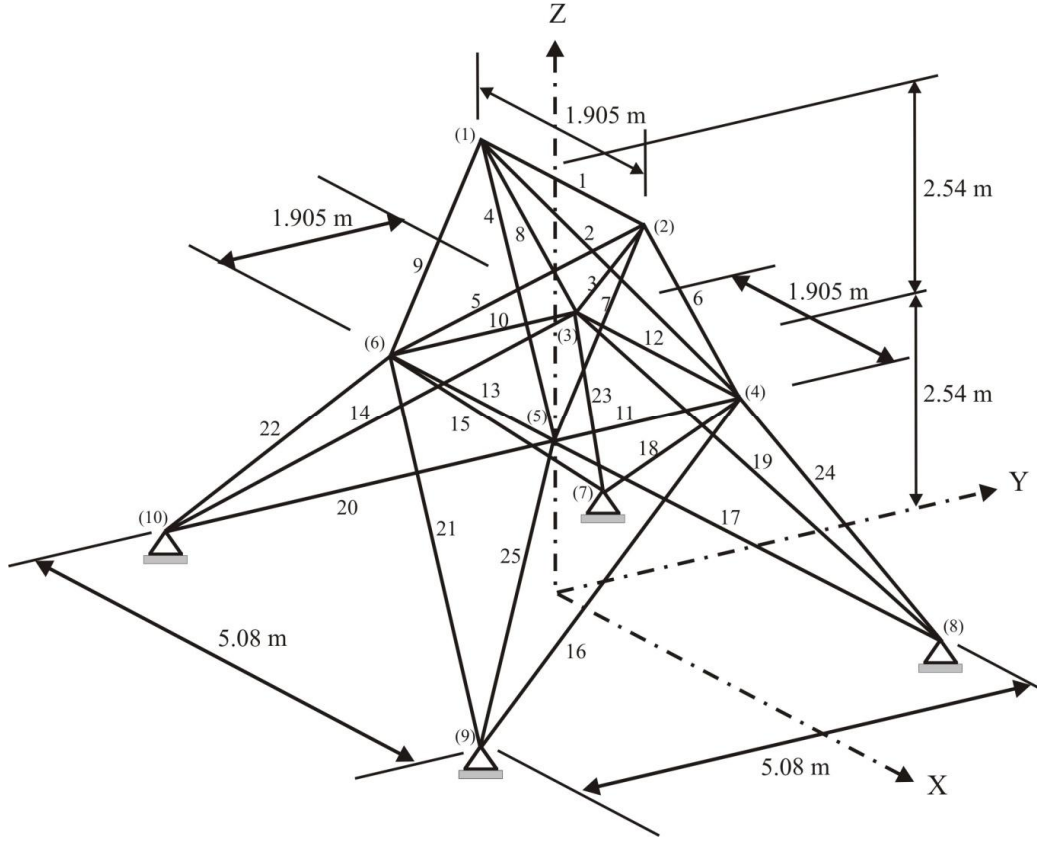
Şekil 4.2. 52 elemanlı düzlem kafes yapının optimum ağırlığa yakınsaması

Bu kıyaslama neticesinde Şekil 4.2.'den de görüleceği üzere 1000 yapı analizi sonucunda, *MHS*'nin kıyaslanan yöntemlerden daha hızlı bir şekilde optimum değere yakınsadığı tespit edilmiştir.

4.2. 25 Elemanlı Uzay Kafes Yapı

25 Elemanlı uzay kafes yapı Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Özgül ağırlığı: 0.0272 N/cm^3 , elastisite modülü: 68947.57 MPa 'dır. Basınç ve çekme elemanlarının gerilme sınırları $\pm 275.79 \text{ MPa}$ olarak verilmiştir. Kafes yapıdaki her düğüm noktasındaki yer değiştirmeler tüm doğrultularda (X , Y ve Z eksenlerinde) $\pm 0.889 \text{ cm}$ olarak sınırlanmıştır. Bu kafes yapıya ait düğümlere etki eden yükler Çizelge 4.4.'te ve bu düğümlerin koordinatları Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Kafes yapı 8 eleman grubuna ayrılmış olup bunlar: (1) A_1 , (2) $A_2 - A_5$, (3) $A_6 - A_9$, (4) $A_{10} - A_{11}$, (5) $A_{12} - A_{13}$, (6) $A_{14} - A_{17}$, (7) $A_{18} - A_{21}$, (8) $A_{22} - A_{25}$ şeklinde tasnif edilmiştir. Bu eleman gruplarına $\{0.64516, 1.29032, 1.93548, 2.58064, 3.2258, 3.87096, 4.51612, 5.16128, 5.80644, 6.4516, 7.09676, 7.74192, 8.38708, 9.03224, 9.6774, 10.32256, 10.96772, 11.61288, 12.25804, 12.9032, 13.54836, 14.19352, 14.83868, 15.48384, 16.129,$

16.77416, 18.06448, 19.3548, 20.64512, 21.93544} (cm²) enkesit listesinden (30 adet) kesit ataması yapılmıştır.



Şekil 4.3. 25 Elemanlı uzay kafes yapı

Çizelge 4.3. 25 elemanlı uzay kafes yapının koordinatları

Düğüm	X(cm)	Y(cm)	Z(cm)
1	-95.3	0.0	508.0
2	95.3	0.0	508.0
3	-95.3	95.3	254.0
4	95.3	95.3	254.0
5	95.3	-95.3	254.0
6	-95.3	-95.3	254.0
7	-254.0	254.0	0.0
8	254.0	254.0	0.0
9	254.0	-254.0	0.0
10	-254.0	-254.0	0.0

Çizelge 4.4. 25 elemanlı uzay kafes yapının yük durumu

Düğüm	F_x (kgf)	F_y (kgf)	F_z (kgf)
1	453.4	-4534.0	-4534.0
2	0.0	-4534.0	-4534.0
3	226.7	0.0	0.0
6	272.0	0.0	0.0

Bu uzay kafes yapının optimum dizaynı daha önce *HS* (Lee ve ark. 2005), *HPSO* (Li ve ark. 2009), *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009), *MBA* (Sadollah ve ark. 2012), *TLBO* (Dede, 2014) ve *AFA* (Baghlani ve ark. 2014) yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. 25 elemanlı uzay kafes yapı için *MHS* ile elde edilen sonuçlar literatürde hazır bulunan çalışmaların sonuçlarıyla beraber Çizelge 4.5.'te sunulmuştur.

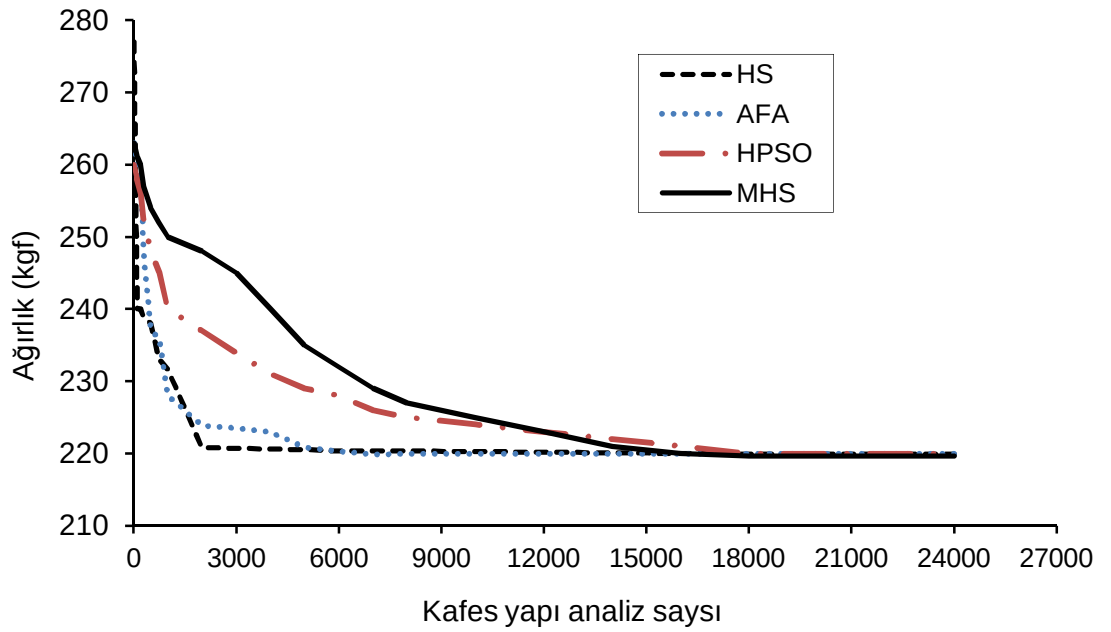
Çizelge 4.5. 25 elemanlı uzay kafes yapının optimum tasarımlarının karşılaştırılması

Tasarım değişkenleri A_i (cm ²)	HS (Lee ve ark. 2005)	HPSO (Li ve ark.2009)	MBA (Sadollah ve ark. 2012)	AFA (Baghlani ve ark. 2014)	TLBO (Dede 2014)	MHS (Bu çalışma)
1 A_1	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
2 A_2 - A_5	1.93548	1.93548	1.93548	1.93548	1.93548	2.58064
3 A_6 - A_9	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544
4 A_{10} - A_{11}	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
5 A_{12} - A_{13}	13.54836	13.54836	13.54836	13.54836	13.54836	14.19352
6 A_{14} - A_{17}	6.4516	6.4516	6.4516	6.4516	6.4516	6.4516
7 A_{18} - A_{21}	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	2.58064
8 A_{22} - A_{25}	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544
Ağırlık (kgf)	219.92	219.92	219.92	219.92	219.92	219.69
Ortalama ağırlık (kgf)	*	*	*	*	*	220.17
Standart sapma (kgf)	*	*	*	*	*	0.22
Sınırlayıcı ihlal oranı (%)	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kafes yapı analizi sayısı	13523	25000	2150	7100	4000	18077

*Mevcut değil

Çizelge 4.5.'in incelenmesiyle *MHS* ile 18077 yapı analizi sonunda 219.69 kgf ağırlığında bir kafes yapı tasarımı elde edildiği görülmektedir. *MHS* ile elde edilen bu değer; *HS* (Lee 2005), *HPSO* (Li ve ark. 2009), *MBA* (Sadollah ve ark. 2012), *AFA* (Baghlani ve ark. 2014) ve *TLBO* (Dede 2014) ile elde edilen tasarımlardan daha hafif bir tasarım olduğu tespit edilmiştir.

25 elemanlı uzay kafes yapı için analiz sayısına göre optimum ağırlığa yakınsama durumu; *HS* (Lee 2005), *HPSO* (Li ve ark. 2009), *AFA* (Baghlani ve ark. 2014) ile kıyaslanarak Şekil 4.4. 'te gösterilmiştir.



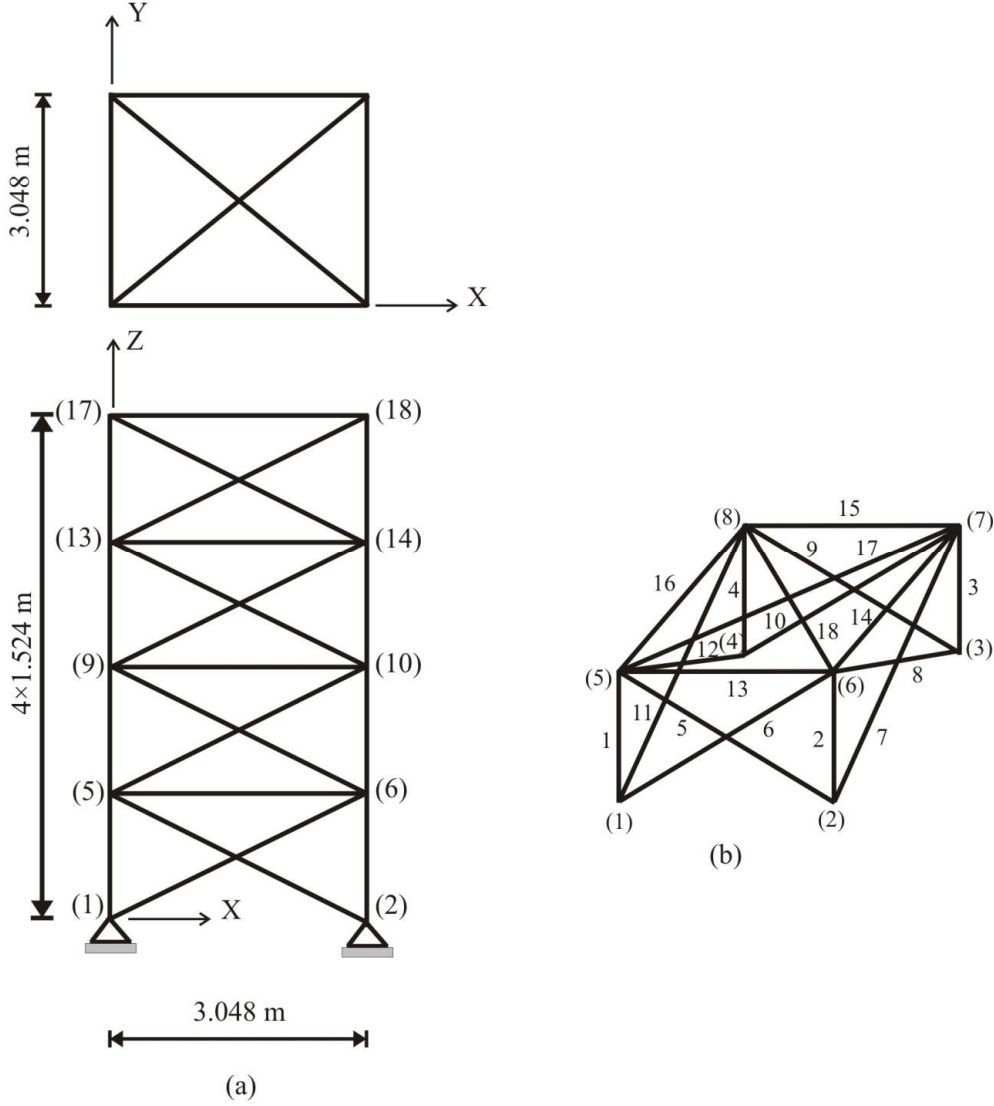
Şekil 4.4. 25 elemanlı uzay kafes yapının optimum ağırlığa yakınsaması

4.3. 72 Elemanlı Uzay Kafes Yapı

72 Elemanlı uzay kafes yapı Şekil 4.5.'te gösterilmiştir. Özgül ağırlığı: 0.0272 N/cm^3 , elastisite modülü: 68947.57 MPa 'dır. Basınç ve çekme elemanlarının gerilme sınırları $\pm 197 \text{ MPa}$ olarak verilmiştir. Kafes yapıdaki her düğüm noktasındaki yer değiştirmeler tüm doğrultularda (X, Y ve Z eksenlerinde) $\pm 0.635 \text{ cm}$ olarak sınırlanmıştır. Bu kafes yapıya ait iki farklı yükleme durumu Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Kafes yapı 16 eleman grubuna ayrılmış olup bunlar: (1) $A_1 - A_4$, (2) $A_5 - A_{12}$, (3) $A_{13} - A_{16}$, (4) $A_{17} - A_{18}$, (5) $A_{19} - A_{22}$, (6) $A_{23} - A_{30}$, (7) $A_{31} - A_{34}$, (8) $A_{35} - A_{36}$, (9) $A_{37} - A_{40}$, (10) $A_{41} - A_{48}$, (11) $A_{49} - A_{52}$, (12) $A_{53} - A_{54}$, (13) $A_{55} - A_{58}$, (14) $A_{59} - A_{66}$, (15) $A_{67} - A_{70}$ ve (16) $A_{71} - A_{72}$, şeklinde tasnif edilmiştir. Bu eleman gruplarına $\{0.64516$,

1.29032, 1.93548, 2.58064, 3.2258, 3.87096, 4.51612, 5.16128, 5.80644, 6.4516, 7.09676, 7.74192, 8.38708, 9.03224, 9.6774, 10.32256, 10.96772, 11.61288, 12.25804, 12.9032, 13.54836, 14.19352, 14.83868, 15.48384, 16.129, 16.77416, 17.41932, 18.06448, 18.70964, 19.3548, 19.99996, 20.64512} (cm²) enkesit listesinden (32 adet) kesit ataması yapılacaktır.



Şekil 4.5. 72 Elemanlı uzay kafes yapı

Çizelge 4.6. 72 elemanlı uzay kafes yapının yük durumu

Yük durumu	Düğüm	F_x (kgf)	F_y (kgf)	F_z (kgf)
1	17	2267.0	2267.0	-2267.0
2	17	0.0	0.0	-2267.0
	18	0.0	0.0	-2267.0
	19	0.0	0.0	-2267.0
	20	0.0	0.0	-2267.0

72 elemanlı uzay kafes yapı tasarımına ait optimum değer, bu optimum değerın elde edilmesi için gerekli yapı analiz sayısı ve sınırlayıcı ihlal oranı önceki çalışmalarla kıyaslamalı olarak Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Bu çizelgede ayrıca bu çalışmaya ait 10 farklı icradan elde edilen optimum ağırlık değerlerinin standart sapma ve ortalama ağırlık değerleri de sunulmuştur.

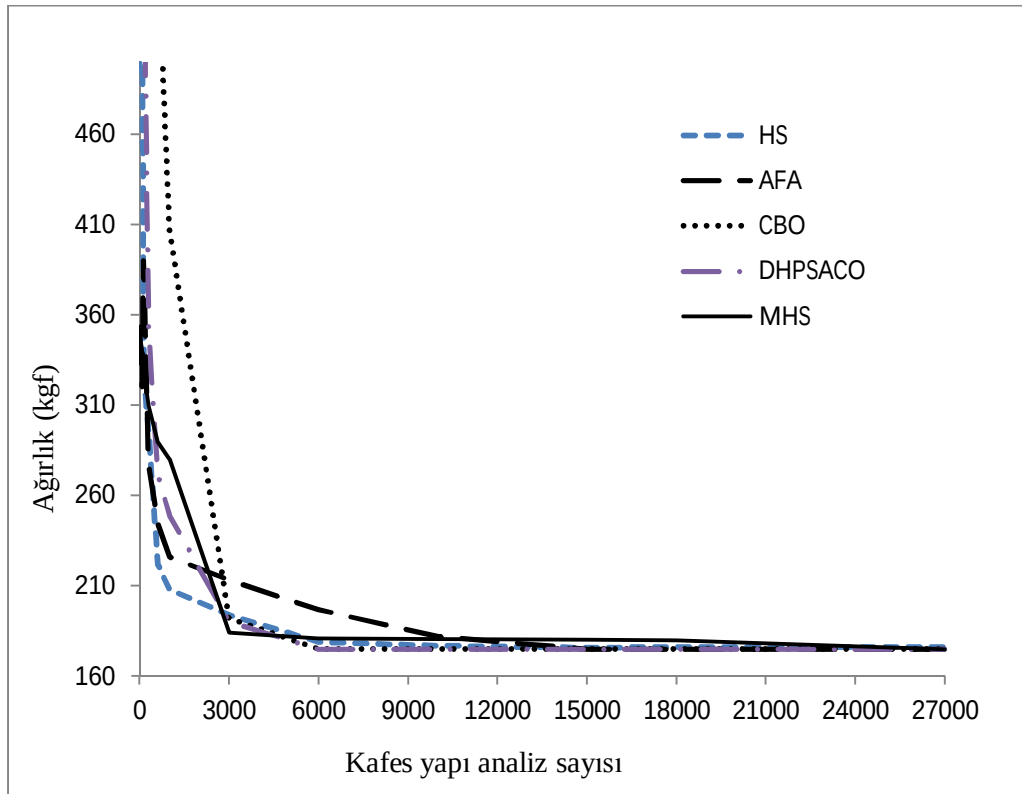
Çizelge 4.7. 72 elemanlı uzay kafes yapının optimum tasarımlarının karşılaştırılması

Tasarım değişkenleri A_i (cm ²)	HS (Lee ve ark. 2005)	HPSO (Li ve ark. 2009)	DHPSACO (Kaveh ve Talatahari 2009)	CBO (Kaveh ve Mahdavi 2014)	AFA (Baghlani ve ark. 2014)	TLBO (Dede 2014)	MHS (Bu çalışma)
1 A_1 - A_4	12.25804	13.54836	12.25804	12.25804	12.9032	12.25804	12.25804
2 A_5 - A_{12}	3.2258	3.87096	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258
3 A_{13} - A_{16}	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
4 A_{17} - A_{18}	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
5 A_{19} - A_{22}	9.03224	9.03224	8.38708	9.03224	8.38708	9.03224	9.03224
6 A_{23} - A_{30}	3.87096	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258
7 A_{31} - A_{34}	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
8 A_{35} - A_{36}	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
9 A_{37} - A_{40}	3.87096	3.2258	3.87096	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258
10 A_{41} - A_{48}	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258
11 A_{49} - A_{52}	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
12 A_{53} - A_{54}	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
13 A_{55} - A_{58}	1.29032	1.29032	1.29032	1.29032	1.29032	1.29032	1.29032
14 A_{59} - A_{66}	3.2258	3.2258	3.87096	3.87096	3.87096	3.87096	3.87096
15 A_{67} - A_{70}	2.58064	3.2258	2.58064	2.58064	2.58064	2.58064	2.58064
16 A_{71} - A_{72}	3.87096	1.93548	3.87096	3.87096	3.87096	3.87096	3.87096
Ağırlık (kgf)	175.96	176.42	174.88	174.88	174.88	174.88	174.88
Ortalama ağırlık (kgf)	*	*	*	*	*	*	175.87
Standart sapma (kgf)	*	*	*	*	*	*	0.42
Sınırlayıcı ihlal oranı (%)	Yok	Yok	0.016	Yok	Yok	Yok	Yok
Yapı analizi sayısı	16044	50000	5330	4500	12200	4000	26576

*Mevcut değil

Çizelge 4.7.'den görüldüğü gibi *MHS* ile 26576 yapı analizi sonunda 174.88 kgf ağırlığında bir optimum tasarım elde edilmiştir. Bu tasarım *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009), *CBO* (Kaveh ve Mahdavi 2014), *AFA* (Baghlani ve ark. 2014) ve *TLBO* (Dede 2014) yöntemlerinden elde edilen tasarımlarla aynı ağırlıkta olurken; *HS* (Lee ve ark. 2005) ve *HPSO* (Li ve ark. 2009)'dan elde edilen tasarımlardan daha hafiftir. Ayrıca *DHPSACO* (Kaveh ve Talatahari 2009) ile elde edilen ve *MHS* ile aynı ağırlıkta olan tasarımın, sınırlayıcıları % 0.016 mertebesinde ihlal ettiği tespit edilmiştir.

72 elemanlı uzay kafes yapı için *MHS* ile *HS* (Lee ve ark. 2005), *DHPSACO* (Li ve ark. 2009), *AFA* (Baghlani ve ark. 2014) ve *CBO* (Kaveh ve Mahdavi 2014) çalışmalarının analiz sayısına göre optimum değere yakınsamasını gösteren eğri verilmiştir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. 72 elemanlı uzay kafes yapının optimum ağırlığa yakınsaması

Şekil 4.6.'nın incelenmesiyle *MHS*'nin 3000 yapı analizi sonucunda optimum ağırlığa oldukça yaklaştığı görülür. Bu da *MHS* yönteminin optimum değere yakınsamada iyi bir yöntem olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında kafes yapıların optimum ağırlık tasarımını yapan bir algoritma ve bu algoritmaya ait bilgisayar programı geliştirilmiştir. Optimum tasarımda modifiye edilmiş armoni arama metodu kullanılmış ve literatürde hazır bulunan 52 elemanlı düzlem kafes yapı ile 25 ve 72 elemanlı iki uzay kafes yapının optimum tasarımı yapılmıştır.

1. Her tasarım örneği 10 farklı başlangıç tasarımı için icra edilmiş ve bu 10 icra sonunda elde edilen tasarımlara ait ortalama ağırlık ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. 25, 52 ve 72 elemanlı kafes yapı tasarımları için standart sapma değerleri sırasıyla 0.22 kgf, 3.74 kgf ve 0.42 kgf olarak bulunmuştur. Bu değerlerin ortalama ağırlığa göre oldukça küçük olması sunulan yöntemin farklı başlangıç tasarımları için global veya global optimuma yakın değerlere yakınsayabildiğini göstermektedir.
2. Gerek optimum ağırlıklar, gerek optimum tasarıma yakınsama hızı değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçlar, bu çalışmada sunulan modifiye edilmiş armoni arama algoritmasının literatürde mevcut olan optimizasyon yöntemleri kadar güçlü olduğunu göstermektedir.
3. Sunulan yöntem genel olup ileride yapılacak çalışmalarda farklı türdeki yapı sistemleri (çerçeve yapılar, plak yapılar v.b.) için de kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

- AYDIN, İ. 2013. Parçacık sürü optimizasyonu, BMÜ-579 Metasezgisel yöntemler [http://web.firat.edu.tr/iaydin/bmu579/bmu_579_bolum3.pdf], 21.05.2015.
- Baghlani, A., Makiabadi, M.H., Sarcheshmehpour, M. 2014. Discrete optimum design of truss structures by an improved firefly algorithm. **Advances in Structural Engineering**, 17 (10): 1517-1530.
- Balling, R.J. 1991. Optimal steel frame design by simulated annealing. **J Struct. Eng. ASCE**, 117: 1780-1795.
- Camp, C.V., Bichon, B.J. 2004. Design of space trusses using ant colony optimization. **Journal of Structural Engineering**, 130(7): 741-751.
- Capriles, P.V.S.Z., Fonseca, L.G., Barbosa, H.J.C., Lemonge, A.C.C. 2007. Rank-based ant colony algorithms for truss weight minimization with discrete variables. **Communications in Numerical Methods in Engineering**, 23(pp): 553-575.
- Dede, T. 2014. Application of teaching-learning-based optimization algorithm for the discrete optimization of truss structures. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 18 (6): 1759-1767.
- Değertekin, S.Ö. 2005. Lineer olmayan uzay çelik çerçevelerin tabu arama yöntemiyle optimum tasarımı. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 109.
- Değertekin, S.Ö. 2008a. Harmony search algorithm for optimum design of steel frame structures. **Structural Engineering Mechanics**, 29(4): 391-410.
- Değertekin, S.Ö. 2008b. Optimum design of steel frames using harmony search algorithm . **Structural and Multidisciplinary Optimization**, 36(4): 393-401.
- Değertekin, S.Ö. 2009. Düzlem çelik çerçevelerin armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı. XVI. Ulusal Mekanik Kongresi, 22-26 Haziran 2009, Kayseri. S, 475-484.
- Değertekin, S.Ö. 2010. Uzay çelik çerçevelerin armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı. Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, 14-16 Ekim 2010, Diyarbakır. S, 1094-1109.

- Değertekin, S.Ö. 2011. Adaptif armoni arama yöntemiyle düzlem ve uzay kafes yapıların optimizasyonu. IV. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu, 24-26 Ekim 2011, İTÜ, İstanbul, S, 295-304.
- Degertekin, S.O. 2012. Improved harmony search algorithms for sizing optimization of truss structures. **Computers and Structures**, 92-93: 229-241.
- Değertekin, S.Ö., Hayalioğlu, M.S. 2007. Tavlama benzeşimi yöntemiyle uzay çelik çerçeve sistemlerin optimum tasarımı. XV. Ulusal Mekanik Kongresi, 03-07 Eylül 2007, Isparta, S, 321-330.
- Değertekin, S.Ö., Hayalioğlu, M.S. 2011. Geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin modifiye edilmiş armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı. IV. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu, 24-26 Ekim 2011, İTÜ, İstanbul, S, 231-241.
- Degertekin, S.O., Hayalioğlu, M.S. 2013. Sizing truss teaching-learning-based optimization. **Computers and Structures**, 119: 177-188.
- Değertekin, S.Ö., Ülker, M., Hayalioğlu, M.S. 2013. Kafes yapıların modifiye edilmiş yapay arı koloni algoritması ile optimizasyonu. XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi, 26-30 Ağustos 2013, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, S, 196-206.
- Dorigo, M., 1991. Ant colony optimization, new optimization techniques in engineering, by Onwubolu, G.C. and Babu, B.V., **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, 101-117.
- Erbatur, F., Hasancebi, O., Tutuncil, I., Kihc, H. 2000. Optimal design of planar and space structures with genetic algorithms. **Comput. Struct.**, 75: 209-224.
- Eskandar, H., Salehi, P., Sabour, M.H. 2011. Imperialist competitive ant colony algorithm for truss structures. **World Applied Sciences Journal**, 12(1): 105-201.
- Geem, Z.W., Kim, J.H., Loganathan, G.V. 2001. A new heuristic optimization algorithm: harmony search algorithm. **Simulation**, 76(2): 60-68.
- Ghasemi, M.R., Hinton, E., Wood, R.D. 1997. Optimization of trusses using genetic algorithms for discrete and continuous variables. **Engineering Computations**, 16: 272-301.
- Hasancebi, O., Erbatur, F. 2002. Layout optimization of trusses using simulated annealing. **Adv. Eng. Softw.**, 33: 681-696.

Hasançebi, O., Çarbas, S., Doğan, E., Erdal, F., Saka, M.P. 2009. Performance evaluation of metaheuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures. **Comput Struct**, 87: 284-302.

Hayalioğlu, M.S., Değertekin, S.Ö. 2001. Lineer olmayan çelik çerçevelerin genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı. Mühendislikte Modern Yöntemler Sempozyumu, 26-28 Eylül 2001, İstanbul, S, 201-210.

Holland, J.H. 1975. Adaption in natural and artificial systems. The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

Karaboga, D. 2005. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.

Kaveh, A., Mahdavi, V.R. 2014. Colliding bodies optimization method for optimum discrete design of truss structures. **Computers and Structures**, 139: 43-53.

Kaveh, A., Talatahari, S. 2009. A particle swarm ant colony optimization for truss structures with discrete variables. **Journal of Constructional Steel Research**, 65: 1558-1568.

Kennedy, J., Eberhart, R. 1995. Particle swarm optimization. IEEE international conference on neural networks, 4: 1942-1948.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Vecchi, M.P. 1983. Optimization by simulated annealing. **Science**, 220: 671-680.

Kripka, M. 2004. Discrete optimization of trusses by simulated annealing. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, 82(9): 170-173.

Lamberti, L., Pappalettere, C. 2009. An improved harmony-search algorithm for truss structures optimization. In: Topping BHV, Neves LFC, Barros RC, editors. Proceedings of the twelfth international conference civil structural and environmental engineering computing. Stirlingshire: Civil-Comp Press.

Lee, K.S., Geem, Z.W. 2004. A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. **Computers and Structures**, 82(9-10): 781-798.

Lee, K.S., Geem, Z.W., Lee, S.H., Bae, K.W. 2005. The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization. **Engineering Optimization**, 37 (7): 663-684.

- Lee, K.S., Han, S.W., Geem, Z.W. 2011. Discrete size and discrete-continuous configuration optimization methods for truss structures using the harmony search algorithm. **Int J Optim Civil Eng**, 1: 107-26.
- Lemonge, A.C.C., Barbosa, H.J.C. 2004. An adaptive penalty scheme for genetic algorithms in structural optimization. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, 59(pp): 703-736.
- Levy, R., Spillers, W.R. 2003. Analysis of Geometrically Nonlinear Structures. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Li, L.J., Huang, Z.B., Liu, F. 2009. A heuristic particle swarm optimization method for truss structures with discrete variables. **Computers and Structures**, 87: 435-443.
- Mahdavi, M., Fesanghary, M., Damangir, E. 2007. An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. **Applied Mathematics and Computation**, 188: 1567-1579.
- Pantelidis, C.P., Tzan, S.R. 2000. Modified iterated annealing algorithm for structural synthesis. **Adv. Eng. Softw.**, 31: 391-400.
- Park, H.S., Sung, C.W. 2002. Optimization of steel structures using a distributed simulated annealing algorithm on a cluster of personal computers. **Comput. Struct.**, 80: 1305-1316.
- Rajeev, S., Krishnamoorthy, C.S. 1992. Discrete optimization of structures using genetic algorithms. **J. Struct. Eng., ASCE**, 118(5): 1233-1250.
- Rao, S.S. 2009. Engineering optimization – theory and practice, Fourth Edition Wiley Eastern: New Delhi.
- Rao, R.V., Savsani, V.J., Vakharia, D.P. 2011. Teaching-Learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. **Comput Aided Des**, 43:303-15.
- Ringertz, U.T., 1988. On methods for discrete structural constrains. **Engineering Optimization**, 13(1): 47-64.
- Sadollah, A., Bahreininejad, A., Eskandar, H., Hamdi, M. 2012. Mine blast algorithm for optimization truss structures with discrete variables. **Computers and Structures**, 102-103: 49-63.

Sevim, Ö. 2013. Yapay arı koloni algoritması kullanılarak 3 boyutlu çelik yapıların optimum tasarımı. Yüksek lisans tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 67.

Sonmez, M. 2011. Discrete optimum design of truss structures using artificial bee colony algorithm. **Struct Multidisc Optim**, 43:85-97.

Wu, S.J., Chow, P.T. 1995a. Integrated discrete and configuration optimization of trusses using genetic algorithms. **Comput. Struct.**, 55(4): 695-702.

Wu, S.J., Chow, P.T. 1995b. Steady-state genetic algorithms for discrete optimization of trusses. **Comput. Struct.**, 56(6): 979-991.

Zhang, Y.N., Liu, J.P., Liu, B., Zhu, C.Y., Li, Y. 2003. Application of improved hybrid genetic algorithm to optimize. **J South China Univ Technol**, 33(3): 69-72.

ÖZGEÇMİŞ

1988’de Iğdır’ da doğdu. 2005 yılında Iğdır Atatürk Lisesi’nden mezun oldu. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2014 yılında Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü'nde (Van) Üstyapı Kontrol Mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı görevde bulunmaktadır.