

156106

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAFES SİSTEMLERİN SABİT VE KATAR YÜKLERİ ALTINDA GENETİK
ALGORİTMA İLE BOYUT VE ŞEKİL OPTİMİZASYONU**

İnş. Müh. Vedat TOĞAN

156106

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“İnşaat Yüksek Mühendisi”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.01.2004

Tezin Savunma Tarihi : 30.01.2004

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ayşe DALOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Ayşe Daloglu
Yusuf Ayvaz
İsmail Hakkı Altaş

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Yusuf Ayvaz

Trabzon 2004

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyon yöntemleri arasında yer alan genetik algoritmada değer kodlaması ve $\frac{1}{4}$ düzenli+çift noktalı çaprazlama kullanılarak üç boyutlu kafes sistemlerin boyut ve şekil optimizasyonlarının, uyarlanabilen mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılarak hareketli yük altında köprü kirişlerinin minimum ağırlıklı olarak optimizasyonlarının yapıldığı bu çalışmayı öneren ve çalışmam süresince ilgisini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ayşe DALOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman desteğini gördüğüm Sayın Prof. Dr. Yusuf AYVAZ'a ve emeği bulunan diğer hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda görüş, eleştiri ve desteklerini aldığım Araştırma Görevlileri arkadaşlarım, Serkan BEKİROĞLU, Tayfun DEDE, Egemen ARAS, Ahmet Alper KAYA ve İnş. Müh. Cemhan KÜÇÜK'e teşekkür ederim.

TÜBİTAK'a TÜBİTAK-BAYG çerçevesinde sağlamış olduğu burstan dolayı teşekkür ederim.

İlgi, sevgi ve desteklerini esirgemeyen KARAMAN ve KÜÇÜK ailelerine, hayatımda yer almış ve alan diğer tüm dostlarıma teşekkürümü bir borç bilirim.

Aileme ve, Bozkırların Çobanı; Babam'a...

Vedat TOĞAN

Ocak, 2004

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMURAY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Optimizasyon.....	4
1.2.1. Optimizasyon Karakteristikleri.....	6
1.2.1.1. Problem Değişkenleri.....	6
1.2.1.2. Tasarım Değişkenleri.....	6
1.2.1.3. Amaç Fonksiyonu.....	7
1.2.1.4. Sınırlayıcılar.....	7
1.3. Topolojik Optimizasyon.....	8
1.4. Yapısal Optimizasyonda Kullanılan Teknikler.....	8
1.5. Deneme Yanılmaya Dayalı Teknik.....	9
1.6. Matematiksel Programlama.....	10
1.7. Optimumluk Kriteri.....	12
1.8. Doğal Süreçten Esinlenen Optimizasyon Teknikleri.....	13
1.8.1. Yapay Sinir Ağları.....	14
1.8.2. Benzetilmiş Tavlama.....	15
1.8.3. Bulanık Mantık.....	16
1.8.4. Genetik Algoritma (GA).....	16
1.9. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	20
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME.....	21
2.1. Yapısal Optimizasyon Problemi.....	21

2.2.	Yapısal Optimizasyon Probleminin Formülasyonu.....	23
2.3.	Genetik Algoritma İle Yapısal Optimizasyon	26
2.3.1.	Genetik Operatörler	29
2.3.1.1.	Seçme ve Kopyalama Operatörü	30
2.3.1.2.	Çaprazlama Operatörü.....	31
2.3.1.3.	Mutasyon Operatörü.....	36
2.3.1.4.	Elitist Strateji	37
2.4.	Optimum Tasarım Algoritması.....	38
2.5.	Tasarım Örnekleri.....	45
2.5.1.	On Çubuklu Düzlem Kafes Sistem.....	45
2.5.2.	49 Eleman, 26 Düğüm Noktalı Düzlem Kafes Sistem	48
2.5.3.	25 Eleman, 10 Düğüm Noktalı Uzay Kafes Sistem	49
2.5.4.	İletim Hattı Kulesi ile Kubbe Biçimli Sistemin Boyut ve Boyut-Şekil Optimizasyonu.....	51
2.5.4.1.	İletim Hattı Kulesi	51
2.5.4.2.	Kubbe Biçimli Sistem.....	51
2.5.5.	Çelik Kafes Köprü Kirişlerinin Optimizasyonu	56
2.5.5.1.	1. Tip Çelik Kafes Köprü Kirişi	63
2.5.5.2.	2. Tip Çelik Kafes Köprü Kirişi	71
2.5.5.3.	3. Tip Çelik Kafes Köprü Kirişi	74
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
4.	KAYNAKLAR.....	83
	ÖZGEÇMİŞ.....	88

ÖZET

Son 30-40 yıldır mühendislik problemlerini çözmek için yapay zekaya dayalı çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında ilgi görenlerden biri genetik algoritmadır (GA). GA biyolojik evrim sürecinin taklit edildiği stokastik ve global bir araştırma metodudur. GA genetik bilimindeki genleri, sayısal olarak, verilen problemin kodlanılmış parametreleri dizisine benzetmektedir. Problemin olası çözümlerini temsil eden tasarım uzayında, ardışık olan noktadan noktaya arama yaparak optimum çözüm bulan matematiksel metotların aksine, GA istenilen kriterleri optimum sağlayan çözüme, tasarım uzayındaki olası çözümler arasından ulaşır.

Bu çalışmada, GA'da uyarlanabilir mutasyon ve çaprazlama, karışık çaprazlama ve değer kodlaması kullanılarak, katar yükü altında kafes köprü kirişlerinin minimum ağırlıklı tasarımı, uzay kafes sistemlerin farklı yükleme durumlarında en uygun boyut ve şekil tasarımı gerçekleştirilmiştir. Amaç doğrultusunda, programlama dillerinden biri ile bir program yazılmıştır. Gerilme, stabilite ve maksimum deplasman sınırlayıcıları olarak TS 648 ve AISC'deki tasarım koşulları dikkate alınmıştır. Geliştirilen algoritmanın doğruluğunu göstermek için elde edilen sonuçlar literatürden alınan sayısal örneklerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra uzay kafes sistemlerle ilgili boyut ve şekil optimizasyonu yapılmıştır. Son olarak üç adet kafes köprü kirişi katar yükü altında optimize edilmiş ve çalışmada elde edilen sonuç ve izlenimler belirtilmiştir.

Sonuç olarak, uzay kafes sistemlerin minimum ağırlıklı boyutlandırılmasında şekil ve boyut optimizasyonunun sadece boyut optimizasyonundan daha uygun olduğu, uyarlanabilir mutasyon ve çaprazlama operatörlerinin GA'nın performansını arttırdığı ve katar yükü altında köprü kirişlerinin minimum ağırlıklı boyutlandırılmasında GA'nın kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Boyut ve Şekil Optimizasyonu, Genetik Algoritma, Değer Kodlaması, Uyarlanabilir Operatörler, Kafes Köprü Kirişi, Katar Yükü.

SUMMARY

Size and Shape Optimization of Trusses under Dead and Moving Loads Using Genetic Algorithm

Various artificial intelligence tools are used to solve engineering problems for last three or four decade. Genetic algorithm (GA) is one of the methods to take most attentions among these tools. The GA is stochastic global search method that imitates the process of natural biological evolution. Based on the concept of genetics, GA simulates the evolutionary process numerically analogous to genes in genetics, GA represent the parameters encoded in a string for a given problem. In contrast to mathematical optimization methods, which find the optimal solution with a sequential search, a set of points each representing the solution of problem or system in design space is used to search for the optimal solution in GA. GA tries to find the best solution ensuring desired criteria among these points.

In this study, the optimum size and shape design of 3D trusses under multiple loads and the minimum weight design of bridges trusses under moving load is performed using GA with value encoding, mixed crossover or adaptive mutation and crossover operators. A program is coded for the purpose. Stress, stability, and maximum displacements are considered as the design criteria obeying TS 648 / AISC. Numerical examples from the technical literature are solved to show the performance of the developed algorithm and results compared. Later, the size and shape optimization several 3D truss systems are performed. And finally, three bridge truss systems are optimized under moving load. Conclusions drawn from the study and the suggestions for the future research are summarized.

It can be concluded that to use size and shape optimization together to get the minimum weight of the 3D trusses is more appropriate than to use size optimization only. Adaptive mutation and crossover operators increase performance of GA, and GA performs well to find minimum weight of bridges trusses under moving load.

Keywords: Size and Shape Optimization, Genetic Algorithm, Value Encoding, Adaptive Operators, Bridge Trusses, Moving Load.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Basit kafes sistem	27
Şekil 2. Bireylerde tek noktalı çaprazlama tekniğinin işleyişi	32
Şekil 3. İkilik ve reel kodlamada, bireylerde tek noktalı çaprazlama tekniğinin işleyişi .	33
Şekil 4. Bireylerde iki noktalı çaprazlama tekniğinin işleyişi	34
Şekil 5. Değer kodlamasında 3 noktalı çaprazlama tekniğinin işleyişi	34
Şekil 6. Düzenli çaprazlama tekniği	35
Şekil 7. Mutasyon operatörü.....	37
Şekil 8. MATLAB’de kodlanan optimum tasarım algoritması akış diyagramı	44
Şekil 9. On çubuklu düzlem kafes sistem.....	45
Şekil 10. 49 eleman, 26 düğüm noktalı düzlem kafes sistem.....	48
Şekil 11. 25 eleman, 10 düğüm noktalı uzay kafes sistem	50
Şekil 12. 52 düğüm noktalı, 152 elemanlı iletim hattı kulesi	52
Şekil 13. İletim kulesinin optimizasyon işlemleri sonucunda elde edilen en az ağırlık değerlerinin iterasyon adımlarına göre değişimi.....	55
Şekil 14. İletim kulesinin koordinat değişkenlerinin iterasyon adımlarına göre değişimi	55
Şekil 15. 21 düğüm noktalı, 52 elemanlı kubbe biçimli sistem.....	57
Şekil 16. Dolu gövdeli enkesitin basit eğilme altında gerilme dağılımı (a), HS20 sınıfı hareketli yüke eşdeğer yük katarı (b)	61
Şekil 17. Yolu alt başlıkta olan kafes köprü kirişleri (a), yolu üst başlıkta olan kafes köprü kirişleri (b).....	61
Şekil 18. Yük katarının hareketi ve iki düğüm noktası arasında yük dağılımı.....	62
Şekil 19. 84 eleman, 45 düğüm noktalı 1. tip köprü kirişi	64
Şekil 20. 1. tip köprü kirişi ağırlığının, farklı tip çaprazlama operatörünün GA’da kullanımları durumunda iterasyon adımlarına göre değişimi.....	71
Şekil 21. 100 eleman, 53 düğüm noktalı 2. tip köprü kirişi	72
Şekil 22. Uyarlanabilen mutasyon ve çaprazlama operatörlerinin kullanım oranlarının iterasyon adımlarına göre değişimi.....	73
Şekil 23. 193 eleman, 99 düğüm noktalı 3. tip köprü kirişi	75
Şekil 24. 3.tip köprü kirişi ağırlığının ve 50 nolu düğüm noktasının düşey deplasman değerinin iterasyon adımlarına göre değişimi	77
Şekil 25. 3. tip köprü kirişinin optimizasyonu sürecinde gerilme ve deplasman sınırlayıcısının ihlal değerlerinin iterasyon adımlarına göre değişimi	78

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Sekiz bireyli bir popülasyonda seçme ve kopyalama operatörünün işleyişi	31
Tablo 2.	10 bireyli bir popülasyonda elitist stratejinin uygulanışı.....	38
Tablo 3.	On çubuklu düzlem kafes sistem için, sistem stabilitesinde göz önüne alınarak çalışmada elde edilen sonuçlar ile literatürdeki diğer bazı çalışmalardaki sonuçların karşılaştırılması.....	47
Tablo 4.	49 eleman, 26 düğüm noktalı düzlem kafes sistem için elde edilen optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	49
Tablo 5.	25 eleman, 10 düğüm noktalı uzay kafes sistem için elde edilen optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	50
Tablo 6.	Şekil 12'deki sistem için yükleme durumları	53
Tablo 7.	Şekil 12'deki sistem için eleman grupları	53
Tablo 8.	İletim kulesinin boyut-şekil optimizasyonu sonucunda tasarım değişkeni olarak alınan koordinatların elde edilen değerleri	56
Tablo 9.	Kubbe biçimli sistem için yükleme durumları	58
Tablo 10.	Kubbe biçimli sistemin boyut ve şekil optimizasyonunda elde edilen koordinat değerleri	59
Tablo 11.	Çelik kafes köprü kirişleri için profil tipleri ve enkesit alanları	66
Tablo 12.	1. tip köprü kirişinin optimizasyonu sonucunda elde edilen enkesit alanları....	70
Tablo 13.	2. tip köprü kirişinin optimizasyonu sonucunda elde edilen enkesit alanları....	74
Tablo 14.	3. tip köprü kirişinin optimizasyonu sonucunda elde edilen enkesit alanları....	79

SEMBOLLER DİZİNİ

A_j	: j . gruba ait eleman alanı
b	: Bir katsayı
BM	: Bulanık mantık
c_b	: Sistemde elemanların birleşim noktaları maliyetleri
c_i	: Her bir sınırlayıcının ihlal edilme değeri
c_m	: Sistemde elemanların ağırlıkları
c_k	: Sistemde elemanların malzeme özellikleri
E	: Elastisite modülü
f	: Birey uygunluğu
f'	: Çaprazlanacak ebeveynlerden küçük uygulamaya sahip olanının uygunluğu
\bar{f}	: Ortalama uygunluk
f_{\max}	: Maksimum uygunluk
f_{\min}	: Minimum uygunluk
F_i	: i . bireyin uygunluğu
F_{ort}	: Uyum derecesi ortalaması
FE	: Sonlu eleman
g_1, g_2, \dots, g_n	: Sistemdeki gerilme ve/veya deplasman sınırlayıcısı
GA	: Genetik algoritma
il	: Elemanın ilk ucu
ik	: Elemanın ikinci ucu
it	: İterasyon adımı sayısı
i_x	: Çubuğun x-x eksenine göre atalet yarıçapı
i_y	: Çubuğun y-y eksenine göre atalet yarıçapı
K	: Burkulma boyu katsayısı
L_i	: i . çubuğun boyu
l	: Bireyin gen uzunluğu
LP	: Lineer programlama (Linear programming)
m	: Sistemde toplam eleman sayısı
m	: Toplam sınırlayıcı sayısı

N	: Değişken sayısı
N	: Sistemde sınırlandırılan deplasman ve gerilme sayısı toplamı
ng	: Problemdaki toplam grup sayısı
nt	: Sistemdeki çubuk sayısı
n	: Bir katsayı
n	: Popülasyondaki birey sayısı
NLP	: Lineer olmayan programlama (Nonlinear programming)
OC	: Optimumluk kriteri metodu (Optimality criteria)
p	: Ceza katsayısı
P	: GA'da ceza katsayısı
p_c	: Çaprazlama oranı
p_m	: Mutasyon oranı
r_j	: Bir katsayı
SA	: Benzetilmiş tavlama (Simulated annealing)
SGA	: Basit genetik algoritma (Simple genetic algorithm)
S	: Çubuğun serbest boyu
S_k	: Çubuğun burkulma boyu
S_{kx}	: Çubuğun x-x eksenine dik düzlemdeki burkulma boyu
S_{ky}	: Çubuğun y-y eksenine dik düzlemdeki burkulma boyu
st_i	: i . deplasman ve gerilme değeri
st_{max}	: Deplasman ve gerilme değeri üst sınırı
t	: Sistemde bir eleman
YSA	: Yapay sinir ağları
z	: t . elemanın uç noktalarının sırası ile x, y, z olan koordinat değerleri
W	: Amaç fonksiyonu
x	: Enkesit ve/veya koordinat olan tasarım değişkenleri
δ_s	: s. düğüm noktasında hesaplanan yer değiştirme miktarı
δ_{su}	: s. düğüm noktası için belirlenen yer değiştirme miktarı üst sınırı
η_i	: Yoğunluğu temsil eden bir parametre
φ	: Dinamik etki katsayısı
λ	: Narinlik oranı
λ_p	: Plastik narinlik sınırı
λ_x	: x-x eksenine göre narinlik oranı

- λ_y : y-y eksenine göre narinlik oranı
 ρ_i : i. çubuğun yoğunluğu
 σ_a : Akma gerilmesi
 σ_{bem} : Basınç emniyet gerilmesi
 σ_{ed} : d. Elemanın çekme veya basınç gerilmesi
 σ_{emd} : Çekme veya basınç olan σ_{ed} gerilmesinin üst değeri
 $\Phi(x)$: Cezalandırılmış amaç fonksiyonu
 $\Phi(x)_{max}$: Popülasyondaki en büyük cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri
 $\Phi(x)_{min}$: Popülasyondaki en küçük cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri
 ψ : Ceza değeri



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Belirli bir amaca hizmet edecek yapı sistemlerinin tasarımı için, yapının maruz kalacağı dış etkenlerin etkin bir biçimde belirlenerek, yapıda kullanılacak malzeme ve taşıyıcı sisteme karar verme işlemleri sonucunda ulaşılan tasarımın, günümüzde optimum olmasına yönelik bir eğilim vardır. Optimum olması fikri yeni görünüyorsa karşın bu fikir arkasındaki temel amaç oldukça eskidir. Zira yüzyıllardan beri insanoğlu tasarımlarında doğrudan olmasa da dolaylı olarak optimizasyon işlemini gerçekleştirmektedir. Buna rağmen bu yüzyıl öncesine kadar oluşturulmuş düzenli bir optimizasyon sistematigi bulunmamaktaydı. Mısır piramitleri, Çin seti veya Mimar Sinan'ın eserlerinin çoğunda rastlanabildiği gibi bu yapıların inşasındaki düşünceler günümüz optimizasyon fikri ile birebir örtüşmemesine karşın gerçekleştirilen tasarımlar aynı amaca yöneliktir. Örneğin Selimiye Camii'nde oldukça geniş olan iç mekanı bir kerede geçmek için kullanılmış ve 8 fil ayağı denilen sütuna oturtulmuş kubbe, optimizasyon olarak düşünebileceğimiz bir düzenlemedir. Bu düzenlemeyle Mimar Sinan, kubbe ile örttüğü iç mekana, vermiş olduğu genişlik ve ferahlıkla birlikte mekanı yekpare olarak kolayca aşmıştır. Böylelikle o dönemde geçerliliğini koruyan Ayasofya'nın kubbesini aşacak büyüklükte başka bir kubbe yapılamayacağına dair düşünceleri, yıkarak gerçeğe dönüştürmüştür.

Gerçeğe dönüştürülen düşünce geçilmek istenen iç açıklık için olası seçeneklerden bir tanesidir. Bu nedenle belirli bir amaca hizmet edecek olan mühendislik yapılarını, belirli bir emniyet ve rijitliğe sahip olacak biçimde bir çok farklı şekilde tasarlamak şüphesiz ki mümkündür. Bunlar arasında bahsedilen unsurları sağlayan ve en ekonomik olanının bulunması yapı mühendisliği açısından araştırma konusu olmaktadır. Bu nedenle tasarım aşamasında ilk ve önemli olan adım tüm bu olası yapı sistemlerinin belirlenebilmesidir. Üretim maliyetinin %70 kadarı tasarım işlemi sırasında belirlendiğinden, tasarımcı aynı zamanda yapı sistemlerinin üretim maliyetlerinin büyük bir kısmının belirlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Tasarımcının üstlenmiş olduğu bu rolü yerine getirebilmesi için ihtiyacın karşılanmasına yönelik unsurları bilmesi gereklidir. Örneğin değişken koşullardan dolayı herhangi bir mühendislik yapısında doğabilecek olası

sorunların (aşırı sehim, kesit yetersizliği vb.) giderilmesi bir zorunluluktur. Sonraki adım bu sorunların giderilmesidir ki buda bu duruma neden olan etmenlerin daha geniş kapsamlı olarak belirlenebilmesiyle mümkündür. Günümüzde yapıların yapım maliyetlerinin emniyetten taviz vermeden makul düzeyde tutulması, çelik üretiminin yeterli olmadığı ülkemizde bir ihtiyaçtır (Daloğlu ve Armutçu, 1998). Bu ihtiyaca maliyete birinci sırada ve doğrudan etkileyen yapı ağırlığının en aza indirilebilmesi ile cevap verilebilir. Bu tür problemlerin çözümleri önceleri, genellikle deneme-yanılmaya veya mühendislerin önsözlerine dayalı olarak gerçekleştirilmekteydi. Eski tip bu yaklaşım yerine sistematik bir çözüm yolunun geliştirilebilmesi bilgisayarların ve sayısal optimizasyon tekniklerinin yapısal tasarımda kullanılmaya başlanılmasına kadar pek tatmin edici boyutta olmamıştır. Bunun ana nedeni analitik yöntemlerin, optimizasyon sürecinde aynı işlemlerin ardışık olarak bir çok kez tekrarlanabilmesinden dolayı kullanılmalarının pek uygun olmamalarıdır.

Ardışık olarak tekrarlanan işlemlerde bilgisayarların kullanılmaya başlanması farklı tür optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesini hızlandırmıştır. Bu farklı optimizasyon teknikleri çelik çerçeve veya çatı makası sistemleri, betonarme kirişler, çerçeveler, temeller, istinat duvarları ve kompozit yapılar gibi bir çok mühendislik yapılarına başarı ile uygulanmıştır. Bu mühendislik yapıları arasında çelik malzemeli olanlarının optimizasyonları çeliğin hem basınç hem de çekme etkisi altındaki özelliklerinin aynı olmasının yanı sıra diğer malzemelere (beton-kompozit vb.) kıyasla standartlarında belirtilen inşa koşullarının optimizasyon algoritmasına daha kolay katılabilmesi nedeniyle daha çok incelenmiştir (Tütüncü, 1995).

Yapısal optimizasyon alanındaki ilerlemeler matematiksel programlamanın bu alana uygulanmasıyla devam etmiştir. Uygulanan bu matematiksel programlamalar lineer olan, lineer olmayan ve optimumluk kriteri gibi programlamalardır. Bunlardan ilk ikisi tasarım probleminin unsurları olan amaç fonksiyonu, sınırlayıcılar ve tasarım değişkenleri arasında lineer olan ve lineer olmayan bir ilişkiye göre farklılaşmaktadır. Optimumluk kriteri yönteminde ise, tasarım probleminde tek bir tasarım değişkeni dikkate alınmakta diğer tüm unsurlar bu değişkene ilişkilendirilmektedir. Bu tip algoritmalar tasarım değişkenlerinin sürekli kabul edilmesi esasına göre işlemektedir. Bunun sonucu olarak üretilen çözüm teorik olarak doğru olmasına karşın pratikte doğrudan uygulanabilirliği olmamaktadır. Bu yüzden de bu tip algoritmalar pratiğe yönelik olarak yapı mühendisleri arasında rağbet görmemiştir.

Oysa yapı mühendisliğindeki tasarım problemlerinde, tüm tasarım değişkenleri ayrıktır. Yapının betonarme olması durumunda tasarım değişkenleri olabilecek donatıların çapı ve adedi, betonarme elemanların boyutları vb., yapının çelik olması durumunda da tasarım değişkeni olabilecek profil kesit özellikleri ayrıktır. Yani önceden bellidir (Tütüncü, 1995). Bu nedenle tasarım değişkenlerini ayrı olarak dikkate alan ve bu değişkenlere doğrudan uygulanabilir çözümler sunan optimizasyon teknikleri son dönemlerde tercih sebebi olmaktadır.

Bu tür optimizasyon yöntemlerinin çoğu yapay zekanın alt gruplarıdır. Yapay zeka, problemi çözmek için geliştirilmiş olan mantıksal yaklaşımlardır. Bu tür optimizasyon yöntemlerinde matematiksel ifadeler yerine, problemin doğruluğunu gerçekleyecek bir dizi mantıksal yaklaşımlar yer almaktadır. Grup içerisindeki bazı optimizasyon teknikleri ise yapay sinir ağı (Artificial neural network), benzetilmiş tavlama (Simulated annealing), bulanık mantık (Fuzzy logic) olarak sıralanabilir. Yapay sinir ağı, beynin biyolojik sistemini taklit eden esaslara dayalı bir bilgi işletim sistemidir. Benzetilmiş tavlama, bir sıcaklık havuzundaki fiziksel sistemin davranışından esinlenmektedir. Bulanık mantık ise, bir yöntemden çok bir düşünce yapısıdır. Bulanık mantık (BM) bir bilgi tabanından yararlanır. Bu bilgi tabanı BM’de kullanılacak çıkarım mekanizmasının kural tabanı yöntemlerini ve uygulama alanı ile ilgili bağlantıyı sağlayacak olan işlevlerin değişkenlerini içermektedir. BM bu bilgi tabanı içeriğini öğrenme ve adaptasyon özelliklerini kullanarak dinamik olarak değiştirebilmektir.

Yapıların optimum tasarım problemlerine ayrı tasarım değişkenleri kullanarak çözüm üreten tekniklerden biride genetik algoritmadır (GA). GA Darwin’ in doğal seçim savını taklit eder. Buna göre, doğada hayatta kalmak için yarış içerisinde olan bir toplulukta, yaşam ortamında karşılaşılan engelleri aşabilen toplumun birey veya bireyleri varlıklarını devam ettirebilecekken, aşamayan birey veya bireyler elenerek varlıklarını yitireceklerdir. Dolayısı ile bireylerin, kendi karakterlerini belirleyen genlerinde, değişen çevresel koşullarda yaşam şansını artıracak biçimde bir iyileştirme gerçekleştirmeleri kaçınılmazdır.

Genetik algoritmada genler kodlanmış olan tasarım değişkenleridir. Bu genlerden hareketle GA’da doğanın temel kuralı olan doğal seçilimi taklit eder ve amaç, daha iyi uyuma sahip bireylerin (tasarım değişkeni dizilerinin) yaşama devam etmesidir. Değişen çevresel koşullarda yaşamayı başarabilen bireyler doğada üstün ırklar olup sonraki nesillerin çoğalmasında etkin olmaktadır. GA’da da üstün olan bireyler değişen çevresel

koşullar olarak adlandırabileceğimiz sınırlayıcılara riayet eden bireylerdir. Bu bireyler GA'da taklit edilen doğaya, uygun olarak üç ana operatöre uğratarak çoğaltılırlar. Böylelikle bu iyi bireylerin karakteristikleri taşınarak bir önceki nesle oranla daha iyi bireyler elde edilir. Bu amaçla kullanılan operatörler, üreme, çaprazlama ve mutasyondur. Bu operatörlerden başka GA'da farklı bir çok tip operatör kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları inversion, elitist strateji, farklı tip çaprazlama teknikleri, dominant gen vb. dir. GA'da kullanımı tercih edilebilen bu tip operatörler optimizasyon sürecinde sonuca daha çabuk ulaşılmasını sağlamak içindir.

Ortaya konan probleme dair bir çözümün en uygun olması isteğinin var olmasının temel nedeni kısıt olan kaynakların etkin bir biçimde kullanılarak ihtiyaca cevap verilmesidir.

Bundan sonraki başlıklar altında optimizasyon işlemine yönelik tanımlamalardan, çalışmanın amaç ve kapsamından ve optimum çözümün elde edilmesine yönelik kullanılan yöntemlerden bahsedilmektedir.

1.2. Optimizasyon

Analiz, optimizasyon ve değerlendirme safhaları döngüseldir. Tasarım, tüm sınırlayıcılara uyum gösterecek biçimde bu safhalara uğratıldıktan sonra belirlenmektedir. Analiz işlemiyle beraber değerlendirme sınırlayıcılar karşılancaya kadar döngüsel bir şekilde yapılmaktadır ve bu esnada tasarım dinamik olarak değiştirilmektedir (Perçin, 2002). Değerlendirmede, çoğunlukla bir tasarım problemine çözüm teşkil eden veya prototip olarak nitelendirebileceğimiz yapı sistemleri maliyet açısından irdelenmektedir. Bu tekrarlama (döngü) işlemi, hem sınırlayıcılar hem de maliyet açısından en iyi tasarımın bulunmasına kadar devam etmektedir.

Tasarım, yaklaşım olarak seri ve paralel tasarım olmak üzere ikiye ayrılır (Perçin, 2002). Seri tasarımda, yapı sistemi, gerilme düzeyi, maliyet ve estetiklik gibi sınırlayıcılara tâbi tutulmaktadır. Örneğin gerilme seviyesi kriterini gerçekleyen bir prototip, maliyet olarak karlı olmayabilmektedir. Veya yapı sistemini maliyet açısından tatminkar duruma getirmek için yapılan tasarım değişiklikleri, sistemin gerilme seviyesi sınırlayıcısının ihlal edilmesine neden olabilmektedir.

İkinci durumda ise, aynı anda tüm hesaplamaların bir işlemciye yaptırılmasından ziyade, program alt parçalara bölünerek her bir bölüm değişik işlemcilere veya

bilgisayarlara yaptırılmaktadır. Ancak problemin çözümü için hazırlanan algoritmanın buna olanak tanınması gerekmektedir.

Mühendislik tasarımı ardışık bir işlem dizisidir. Yapılan tasarım genelde analiz sonuçlarına göre değiştirilmek istenmektedir. Bu değişiklikler yapısal elemanların kesit özelliklerinde veya sistemin düğüm noktaları koordinatlarında gerçekleştirilebilmektedir. Fakat söz konusu değişim süreci elle yapıldığında (bu basit geometri ve küçük ölçekli basit olan yapı sistemleri için mümkün olabilir) çoğunlukla çok külfetli ve yanlış işlemlerle dolu olabilmektedir. Bu yüzden bu tür işlemler için bilgisayarlarda çalıştırılan döngüsel algoritmalar yazılmıştır. Tüm bu değişimleri algoritma içerisinde yaparak gerçekleştirmek istediğimiz, tasarımın mukavemet, rijitlik, kararlılık ve maliyet açısından değerlendirilerek en uygun hale getirilmesidir. Bu işleme *optimizasyon* denmektedir. Optimumluk, tasarım probleminde öngörülmüş ihtiyaçlara yanıt veren *en uygun* çözümdür.

Geçmişteki çalışmaların pek çoğunda, sabit geometri olan yapı sistemlerinin yapısal optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Klâsik anlamda, yapısal optimizasyon, sistem geometrisinde herhangi bir değişikliğe yol açmadan sistemin eleman boyutlarında dolayısı ile kesit özelliklerinde (atalet momenti ve yarıçapı) ki değişikliklerle yapısal kütlenin en aza indirilmesi olarak düşünüle gelmiştir. Bununla beraber tasarım sürecinde, sistem geometrisinin de değiştirilerek kütlenin azaltılıp azaltılamayacağı düşünceleri ortaya çıkarılmıştır. Bu düşünceden hareketle, plâk ve kabukların tasarımında kalınlığın sadece tek tasarım değişkeni olarak alınıp, kalınlığın gerekli en ince sınıra ya da üretim işlemi için zorunlu olan boyut sınırına kadar değiştirilmesiyle plak veya kabuğun kütlesinde bir azalmanın olabileceği görülmüştür. Söz konusu bu işlem, kalınlığın üst ve alt değerleri arasında değişebilen bir tasarım değişkeni olarak karakterize edilip tasarım parametrelerine eklenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Buna *şekil optimizasyonu* denmektedir.

Optimizasyon geometrik ya da sonlu eleman (FE) tabanlı olabilir. Geometrik tabanlı optimizasyonda, eleman boyutları optimizasyon parametresi olarak seçilmekte ve sınır şartları elemanın geometrisine bağlı olarak verilmektedir. Sonlu eleman tabanlı optimizasyonda ise, optimizasyon parametreleri sistemdeki düğüm noktalarına ve elemanlara bağlı olarak tanımlanmaktadır. Böylelikle sonlu fiziksel özellikler, malzeme özellikleri ve giriş kesitleri optimize edilebilmektedir (Perçin, 2002).

Optimum tasarıma ulaşma konusunda oldukça büyük ilerlemeler elde edilmiştir. Bunlardan biri de hassaslık analizi konusudur. Hassaslık analizi, pek çok tasarım parametresi arasından en etkenini bulmaya yönelik bir analizdir. Tasarım için ortaya

konulan nesnel amaç fonksiyonunun gerçekleştirilmesinde, mevcut tasarım parametrelerinden hangisinin en etken olduğunun belirlenmesiyle sonuca gidilmektedir (Perçin, 2002).

1.2.1. Optimizasyon Karakteristikleri

Normalde bir optimizasyon problemi matematiksel olarak ifade edildikten sonra çözüme yönelik bir anlam taşır. Optimizasyon problemlerinin çözümünün temel hedefi nesnel amaç fonksiyonunu (object function) minimize veya maksimize etmektir. Optimizasyon işleminin sonucunda, tasarımın limitlerine ve amacına yanıt veren uygun bir çözüm elde edilir.

Bundan sonraki kısımda karşılaşılan optimizasyon problemlerinin genelinde ortak olarak kullanılan terimlere yönelik bir tanımlama oluşturulmaya çalışılacaktır.

1.2.1.1. Problem Değişkenleri

Bunlar tasarım değişkenlerinin herhangi bir fonksiyonu için önerilmiştir. Yani problem değişkenleri aslında tasarım değişkenlerinin bir türevidir fakat düzey olarak onların üzerinde yer almaktadır. Problem değişkenleri şunlardır (Perçin, 2002);

- Davranış değişkenleri: Uygunluk, Doğal frekans, burkulma özdeğeri, gerilme, uzama, şekil değiştirme.
- Maliyet değişkenleri: Hacim, ağırlık, yapının maliyeti.
- Yükleme değişkenleri: Yükleme faktörleri, şart koşulmuş bazı yükleme bileşenleri ya da bütün yükleme takımıyla çarpılacak katsayılar.

1.2.1.2. Tasarım Değişkenleri

Tasarım değişkeni terimi optimum tasarımı belirleyen sistem parametreleri olarak tanımlanabilmektedir. Bir tasarım değişkeni pek çok çeşitte olabilmektedir.

1. Geometrik tasarım değişkenleri: Yapının geometrisini optimize etmede tanımlanan parametrelerdir.
2. Kesit tasarım değişkenleri: Yapının elemanlarının kesit özelliklerini tanımlamak için kullanılan değişkenlerdir. Örneğin, eğrisel yada doğrusal çubukların alanları

yada atalet momentleri, kirişler, sütunlar ve kemerler, levhaların, disklerin ve kabukların kalınlıkları.

3. Malzeme tasarım değişkenleri: Bunlar esas bağıntılardaki sabitleri tanımlayan değişkenlerdir. Direkt olarak, elastisite modülü, poissons oranı, kütle yoğunluğu vs. olarakta seçilebilirler.
4. Yükleme tasarım değişkenleri: Yüklerin yeri, sayısı, tipi, sürekliliği yada kesikliği tasarım değişkeni olarak kullanılabilirler.

1.2.1.3. Amaç Fonksiyonu

Basit anlamda bir optimizasyonda amaç, mevcut sınırlayıcı koşullar altında, eldeki sorunla ilgili en iyi karara ulaşmak olarak tanımlanabilir. Tasarım probleminin tipine göre değişiklik gösterebilen amaç fonksiyonu özellikle mühendislik yapılarında maliyetin mevcut sınırlayıcılar altında minimize edilmesidir. Şüphesiz ki bir yapının maliyetine etkileyen birden fazla faktör vardır. İşçilik, malzeme, inşaat süresindeki aksaklıklar, malzemenin tedarik edildiği birimler vb. bu faktörlerden bazılarıdır. Yapının kesin yapım maliyeti bu unsurların doğrulukla ilişkilendirilmeleri sonucu belirlenebilmektedir. Optimizasyona yönelik bir algoritmada tüm bu etmenleri bir araya getirmek zordur (Tütüncü, 1995). Bu sebepten dolayı bu tür algoritmalarda, yapının yapım maliyetine birinci sırada etkileyen malzeme maliyeti dikkate alınmaktadır. Malzeme maliyeti yapısal elemanların oluşturulacağı malzeme miktarının belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Örneğin yapının çelik malzemedeki teşkil edilmesi durumunda yapısal elemanların sınırlayıcılara uygun biçimde minimum kesite sahip olmaları malzeme miktarını dolayısı ile maliyeti azaltacaktır. Öte taraftan beton veya betonarme malzemeler için de durum aynıdır. Böylelikle mühendislik yapılarındaki optimizasyonun amacı yapının ağırlığının veya hacminin en az yapılmasına indirgenmektedir.

1.2.1.4. Sınırlayıcılar

Düşünülen tüm eylemlerin hayatta karşılık bulabilmesi için uyması gerekli birtakım kısıtlar vardır. Örneğin daha hızlı yol almak isteyen bir sürücünün eylemini gerçekleştirebilmesi için hızlı bir arabaya ve geniş bir yola ihtiyacı vardır. Burada sürücüyü sınırlayan arabasının mevcut durumu ve yolların dar olmasıdır. Aynı biçimde daha yukarı sıçramak

isteyen bir şahsın doğal yeteneğinin yanı sıra kilosunun da uygun durumda olması gerekir. Yani bu eylemi gerçekleştirecek kilo sınırlayıcısına uyması gerekmektedir. Bu tip örnekleri çoğaltmak mümkündür. Yapısal optimizasyonda da gerçekleştirilen tasarımın uygulanabilir (kabul edilebilir) olması için bir dizi kriterlere uyması gerekmektedir. Bunlar standartlar, mimari durum, geometrik durum, kullanılabilirlik durumu vb. olabilmektedir. Dolayısı ile sınırlayıcılar optimizasyon probleminin türüne bağlı olarak bunların biri ve/veya bir kaçının kombinasyonu şeklinde olabilmektedir.

1.3. Topolojik Optimizasyon

Bazen “sarf optimizasyonu” olarak da ifade edilen topolojik optimizasyon şekil optimizasyonunun bir formudur. Topolojik optimizasyonun amacı, verilen sınırlayıcılar altında global rijitliğin alacağı en yüksek ve düşük değer için malzemenin kullanılacak en iyi durumunu bulmaktır. Klasik optimizasyon tekniklerinden farklı olarak, topolojik optimizasyon tanımlanmış optimizasyon parametrelerine ihtiyaç duymaz. Topolojik optimizasyonda, bütün yapıdaki malzeme dağılım fonksiyonu, optimizasyon parametresi olarak alınmaktadır (Perçin, 2002).

Bu teknikte, tasarım parametresi olarak eleman yoğunluğunu temsil eden η_i kullanılır ve ardışık işlemlerle, verilen sınırlayıcılar altında genel rijitlik bozulmayacak şekilde bünyede ‘sahte-yoğunluk’ olarak tespit edilen elemanlar, η_i sıfıra yakınsatılarak çıkartılmaktadır.

Problem, topolojik optimizasyonun standart formülasyonunda yapı hacmi üzerinde tanımlanan sınırlayıcının güvenli bir şekilde sağlanmasıyla yapısal bütünlüğün minimizasyonu yada doğal frekansın maksimizasyonu olarak tanımlanmaktadır.

1.4. Yapısal Optimizasyonda Kullanılan Teknikler

En genel halde mühendislikteki bir optimizasyon problemi, sınırlı zaman dilimi içerisinde belirli tasarım sınırlayıcıları ve koşulları altında tasarımı değerlendirebilen bir bilgisayar algoritması aracılığıyla en iyi çözüme ulaşmak olarak ifade edilebilmektedir (Rasheed, 1998). Tasarım problemini teşkil eden bir çok parametre ve bu parametrelerin yapılarından dolayı, tasarım problemi oldukça karmaşık olmakta ve dolayısı ile çözüme ulaşabilmek güçleşebilmektedir. Bu parametrelerin bazıları önceden belli olabilirken

(ayrık) bazıları sürekli olabilmektedir. Pratikte kullanıma uygunluk açısından boyut için alınan tasarım değişkenlerinin ayrık olmasına karşın şekil için alınan tasarım değişkenlerinin ise sürekli olması gerekmektedir (Rajaev ve Krishnamoorthy, 1997).

Mühendislik disiplinlerinde kullanılan yapısal optimizasyonlarda ileri düzeyde bir gelişim ve uygulama sahası görülebilmektedir (Arun, 1996). Optimizasyon tekniklerinin gelişimi ya yetersizlikten yada daha iyi bir tekniğe ulaşabilme arzusunun kaynaklanmıştır (Rasheed, 1998). Yapı mühendisliğinde ulaşılan optimizasyon tekniklerinin sınıflandırılması kaynaklarda farklılık gösterebilmektedir. Ancak bu farklılaşma daha ziyade içerikten çok isimlendirme olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin Cao'ya (1996) göre, (1) matematiksel programlama, (2) optimumluk kriteri, (3) hıristik arama, (4) melez optimizasyon teknikleri olarak yapılan bir sınıflandırma, Mahfouz'a (1999) göre, (1) matematiksel programlama, (2) optimumluk kriteri, (3) evrimsel algoritmalar olarak yapılabilmektedir. Mahfouz'a (1999) göre yapılan (3). tür sınıflandırma aslında Cao'nun (1996) yapmış olduğu (3). tür sınıflandırmayla aynı tip teknikleri ifade etmektedir. Bu türe Rasheed (1998) ise stokastik optimizasyon teknikleri sınıflandırması yapmıştır. Söz konusu örneklerden de görüldüğü üzere optimizasyon tekniklerinin sınıflandırması içerik olarak aynı olmakla beraber isimlendirmede bir görüş birliğine rastlanmamasına rağmen bunlar yapay zekanın uygulamaya yönelik biçimleridir..

Bu çalışmada, yapı mühendisliğinde, tasarım problemlerine çözüm getirmek üzere tercih edilen optimizasyon tekniklerinin sınıflandırılması, gelişim süreçlerine göre yapılmaktadır.

1.5. Deneme Yanılmaya Dayalı Teknik

Optimizasyonda kullanılan tekniklere dair bir sınıflandırma içerisine girmemesine karşın eskiden tasarım problemine çözüm aranırken izlenen süreci anlatabilmek için sınıflandırmaya katılmıştır. Bu tür teknikte, tasarım problemine tasarımı gerçekleştirecek olan mühendisin önsezine ve/veya deneyimine bağlı olarak çözüm bulunmaktadır. Kişiden kişiye değişebilecek olan deneyim veya yeteneğe göre bulunan çözümlerde farklı olmaktadır. Çözüme ulaşılırken izlenen süreç genellikle aşağıdaki biçimde olmaktadır.

- Mühendis, daha önce gerçekleştirdiği tasarımlardan veya katıldığı tasarımlardan esinlenerek probleme dair bir tasarım ortaya çıkarır.

- Bu aşamadan sonra bu prototip analiz edilerek elde edilen bilgiye bağlı olarak amaçlanan hedefe yönelik nasıl bir değişim yapılacağına karar verilir. Döngüsel olan bu safha tekniğin en önemli adımıdır. Bu adımın başarısı veya kısa sürede sonlanması tamamıyla mühendisin zekasına, yaratıcılığına ve deneyimlerine bağlıdır.
- Bahsedilen ve tasarım-analiz-yeniden tasarım olarak adlandırabileceğimiz yukarıdaki döngüsel adıma tasarımdan beklenen amacı gerçekleyecek düzeyde bir çözüm bulununcaya kadar devam edilir.

İnsan faktörünün bu teknikte etkin olmasından dolayı çözüme ulaşmak oldukça yavaş olmakta ve elde edilen çözümde genelde optimum olmaktan ziyade mühendisi tatmin edici düzeyde olmaktadır (Mahfouz, 1999). Ayrıca mühendis büyük olasılıkla daha önceki tasarımlarını taklit etmekte ve buda o probleme ait çözüm kümesinin, optimum çözümü bulamayacak şekilde araştırılmasına neden olmaktadır (Rasheed, 1998).

Bu yetersizliklerine rağmen deneme-yanılma tekniği küçük ölçekli tasarımlarda mühendisler tarafından hala ilgi görmektedir (Rasheed, 1998). Bahsedilen tasarım-analiz-yeniden tasarım döngüsünde bir bilgisayar algoritması oluşturularak bilgisayarlardan etkin biçimde faydalanılabileceği ve bu sayede teknikteki insan unsuruyla beraber gerekli zamanında azaltılabileceği fikri tekniğin geliştirilmesine olanak tanımıştır.

1.6. Matematiksel Programlama

Optimizasyon tekniklerinin geniş bir uygulama alanı bulması yüksek hızlı bilgisayarların gelişimiyle eşzamanlıdır. Mühendislik alanındaki uygulamalarının izleri ise 1940'lara kadar uzanabilmektedir. Süreç içerisinde geliştirilen matematiksel programlama teknikleri mühendislik problemlerine sınırlı bir başarı ile uygulanabilmiştir. Bu teknikler genellikle düşük boyutta ve düzgün bir çözüm kümesine sahip olan problemlerde iyi işlemektedir. Matematiksel programlama tekniklerinin temel karakteristikleri, tasarım probleminin amaç fonksiyonunun ve sınırlayıcılarının, tasarım değişkenlerinin bir kombinasyonu olarak tanımlanmasıdır (Mahfouz, 1999).

Tanımlanan bu kombinasyonun lineer olması veya lineer olmaması durumlarına göre matematiksel programlama farklılaşabilmektedir. Buna göre matematiksel programlama lineer olan ve lineer olmayan matematiksel programlama olarak iki gruba ayrılabilir. Lineer programlamanın (LP) bir yapısal tasarım problemine uygulanabilmesi

için kesin yaklaşımlar yapılmalıdır (Dorn vd., 1964; Hall vd., 1989; Erbatır ve Al-Hussainy, 1992). Bu işlem için birinci dereceden Taylor serisi gibi yaklaşık teknikler kullanılabilir. Ancak lineer olmayan bir davranış sergileyen bir yapıyı lineer bir ilişki kullanarak optimize etmede hata yapmak kaçınılmaz olmaktadır (Mahfouz, 1999; Cao, 1996).

Lineer olmayan (NLP) matematiksel programlama, lineer olmayan sınırlayıcısız optimizasyon problemleri için geliştirilmiştir. Bu programlamada çözüme ulaşılabilmesi için Kuhn-Tucker koşullarının (Kuhn vd., 1951) sağlanması gereklidir. Bu koşul literatürde N değişkenli lineer olmayan sınırlayıcısız bir fonksiyon için eğer N değişkenlerinden biri veya birileri için bir nokta optimum nokta ise fonksiyonun, o değişkeninin o noktaya göre birinci türevi sıfıra eşittir olarak ifade edilmektedir. Sınırlayıcılı olan tasarım problemini sınırlayıcısız hale dönüştürmek için Lagrange çarpanı kullanılmaktadır. Bir çok mühendislik problemi için Kuhn-Tucker koşullarının doğrudan uygulanması zordur. Zira eğimlerin hesabı ve aralarında ilişki kurulmuş lineer olmayan denklemlerin eş zamanlı çözümü Kuhn-Tucker koşullarının bir çok mühendislik problemlerinde doğrudan uygulanmasına engel olmaktadır (Camp vd., 1998).

Tasarımlarda ve analizlerde bilgisayar kullanımındaki ilerlemeden bu tarafa, pek çok araştırmacı matematiksel programlamanın yapı mühendisliğine uygulamalarına ilgi göstermiştir. Bu metod bu ilgiye karşın pratik tasarım koşullarını iyi yansıtamadığına inanan uygulamacı yapı mühendisleri tarafından pek kullanılmamıştır. Muhtemelen bu matematiksel programlamanın, matematiksel olarak kompleks ve metodun küçük ölçekli olmasındandır (Topping, 1983).

Sistem elemanlarındaki gerilme, deplasman vb. tasarım koşulları ışığında yapı sisteminin ağırlığı, en az yapılacak biçimde tekniklerle araştırılmaktadır. Ancak bu yöndeki teknikler pek çok yapıda tasarıma yönelik oldukça sınırlı ve dar bir yaklaşım sergilemektedir. Yapı sisteminin geometrisinin yada elemanlarının optimizasyon sürecinde yer değiştirmesine imkan kılınabilmesi sadece elemanların en kesit değişimlerinin göz önüne alınmasına göre en hafif ağırlığa ulaşmada kayda değer katkı sağlamaktadır (Topping, 1983)

Bu maksatla gerek iki gerekse üç boyutlu kafes sistemlerin çeşitli standartlarda belirtilen tasarım sınırlamalarına uyularak en az ağırlığı elde etmede matematiksel programlama ve türevleri olan (Dual, Complex, Sequential vb.) tekniklerle pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir (Dobbs ve Felton, 1969; Noor, 1974; Saka, 1980; Dorn vd.,

1964; Krish ve Topping 1992; Lipson ve Agrawal, 1974; Vanderplaats ve Moses, 1972; Lipson ve Gwin, 1977). Matematiksel programlamaya dayalı tekniklerle yapılan şekil optimizasyonları, (1) esas yapı ve eleman atılması, (2) düğüm noktası koordinatlarının da tasarım değişkeni olarak alınması olmak üzere ikiye ayrılır (Saka, 1981).

Barbieri ve Lombardi (1998) kafes sistemleri bazı deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında, sistemi oluşturan elemanların zorlanma durumlarına göre farklı rijitlik gösterebileceklerinden hareketle malzeme sabitlerini tanımlamadan değişken olarak alıp kafes sistemleri en az ağırlığa ve uygun geometriye sahip olacak şekilde incelemiştir.

Aydın'a (2000) göre, Fox ve Gottfried. (1970), Weisman (1973) tarafından yapılan çalışmalardan da görülebileceği üzere, lineer olmayan problemlerin çözümünde kullanılabilecek genel bir yöntem bulunmamaktadır. Bazı problemlerin çözümünde başarı ile uygulanan algoritmalar, başka bir problemin çözümünde başarılı olmayabilmektedirler. Bu bakımdan yapı mühendisleri, formüle ettikleri optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanacakları en uygun algoritmayı da belirlemek zorunda kalmaktadırlar (Aydın, 2000).

1.7. Optimumluk Kriteri

Prager (1968), Venkayya vd., (1968) gibi araştırmacıların alternatif bir yaklaşım olarak sunduğu ve optimumluk kriteri (Optimality Criteria, OC) olarak bilinen bu yaklaşım tasarım probleminin belirli sınırlayıcılar altında, yapıyı istenen hedefe yönelik optimize etme genel ifadesinden hareket etmektedir (Camp vd., 1998). Ancak hedefe yönelik olan amaç fonksiyonunu doğrudan minimize etmekten ziyade sınırlayıcılar altında amaç fonksiyonunun sağlanması durumunda, tasarımın optimum olarak nitelendirilebileceği şeklinde tanımlanır (Vanderplaats, 1981).

Optimumluk kriteri yöntemi büyük oranda sezgisel olmasına karşın optimizasyonda oldukça etkin olduğu görülmektedir. Bu metodun cazip edici noktası yöntemin bilgisayarlarda kolayca kodlanabilmesi, göreceli olarak problemin büyüklüğünden bağımsız olması ve genellikle 15 iterasyon adımına kadar optimuma yakın bir sonuç vermesidir. Bu son özelliği nedeniyle matematiksel programlama için gerekli olan analiz miktarında önemli ölçüde azalma olmuştur (Vanderplaats, 1981). Pek çok araştırmacı tarafından (Lin vd., 1982; Saka ve Ülker, 1991; Arora, 1980; Saka, 1990; Saka, 1991) mühendislik tasarım problemlerinin pek çoğunda uygulanmış olan OC Lagrange

çarpanıyla birleştirilmiş olan lineer olmayan matematiksel programlamaya Kuhn-Tucker koşullarının dolaylı biçimde uygulanmasıyla gelişimini devam ettirmiştir. Lagrange çarpanı ilgili sınırlayıcıların tasarıma katılabilmesi için kullanılmaktadır. OC metodunun sürekli tasarım değişkenlerine ihtiyaç duyması en eleştiriye açık yanını oluşturmaktadır (Thanedar ve Vanderplaats, 1995). Ayrık tasarım değişkenlerinin kullanımı tercih edildiğinde, tasarım problemi sürekli değişkenlere göre çözümlenmekte ve daha sonrada sürekli değerler yaklaşık olarak ayrık değerlerle eşleştirilmektedir. Böyle bir eşleşme genellikle birebir olamayacağından dolayı elde edilen çözüm değişime uğrayacak ve tasarım optimum olmaktan uzaklaşacaktır. OC metodunun diğer bir dezavantajı ise bağımsız tasarım değişkeni gereksinimidir. Öyle ki sadece bir kesit özelliği, kesiti temsil etmek üzere tasarım değişkeni olarak kullanılmakta ve diğer kesit özellikleri ise bu bağımsız değişkenin bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

En kesit alanı gibi bağımsız değişken olarak seçilen bir kesit özelliğini diğer en kesit özelliklerine (atalet momenti, elemanın boyu veya kalınlığı gibi) ilişkilendirmek için eğri uydurmaya dayalı yaklaşık farklı formülasyon türleri önerilmiştir (Saka, 1991; Srividya ve Ranganathan, 1995). Daha fazla kesit özelliklerinin gerekli olduğu bir çok yapısal elemanların şekillerinin belirlenmesi problemlerinde şeklin kesit özellikleri arasında bire bir eşleme veya ilişki yoktur. Özellikle üç boyutlu çerçeve sistemlerde her iki eksene göre olan atalet momentleri eşit derecede önem arz etmekte ve durum daha da önemli olmaktadır (Cao, 1996).

Tüm bu sorunları aşmak için ayrık tasarım değişkenli problemlere kolayca uygulanabilen ve türevsel bilgilerin önemli olmadığı hüristik arama, stokastik arama, evrimsel hesaplama gibi adlandırılabilen ve doğal süreçten esinlenen optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Son dönemlerde pek çok araştırmacı tarafından kullanım tercihi olan bu teknikler, yapısal optimizasyonda kullanılan optimizasyon tekniklerinin gelişim süreçlerinin son aşaması olarak görülmekte olan yapay zeka uygulamalarıdır.

1.8. Doğal Süreçten Esinlenen Optimizasyon Teknikleri

Bu tür optimizasyon teknikleri, doğada var olan gerçek olayları taklit ederek geliştirilmiş olup problemin çözümüne kesin matematiksel ifadeler yerine sadece problemin doğru sonuca gitmesini gerektirecek mantıksal yaklaşımların bilgisayara kodlanarak çözdürülmesiyle işlemektedir. Örneğin bu tür optimizasyon yöntemlerinden

yapay sinir ağlarında, beynin biyolojik sistemini taklit eden bilgi işletim sistemi aracılığıyla sonuca gidilirken, benzetilmiş tavlama termodinamik olaylar taklit edilmiştir. Kesin matematiksel ifadeler içermedikleri için bu tip teknikler ile elde edilen sonuçların en iyi (optimum) olma garantileri olmamaktadır. Ancak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, bu tip tekniklerin diğer yaklaşık yöntemlerde olduğu gibi sunduğu çözümler, en iyiye yakın ve kullanılabilir olmaktadır.

Mahfouz'a (1999) göre, bir çok alt grubu olan bu tip tekniklerin uygulamaya yönelik avantajları bir çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve aşağıdaki gibi özetlenebilecek avantajlarının olduğu belirtilmiştir.

- Bu tip tekniklerin bazılarında amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılarla ilgili olarak öncesinde bilgiye ihtiyaç yoktur.
- Farklı yükleme ve sınırlayıcılar altında karmaşık sistemleri çözme esnekliğine sahiptirler.
- Standart profil tablolarından ayırık tasarım değişkeni olarak kesit özellikleri alabilirler.
- Birden fazla olası çözüm üretirler.
- Tasarım problemiyle ilgili olarak tasarımcı, deneyimini ve yeteneklerini algoritmaya katabilmektedir. Problemdeki tasarım değişkenleri, tasarımcının daha önceki deneyimlerine göre bir biri ile ilişkilendirilerek azaltılabilmektedir.

Bundan sonraki bölümde bahsedilen bu genel özelliklere sahip ve doğal süreçten esinlenen optimizasyon teknikleri ana başlığı altında verilen optimizasyon tekniklerinden bazılarına değinilmeye çalışılacaktır.

1.8.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA) beynin bazı fonksiyonlarını özellikle öğrenme yöntemlerini benzetim yolu ile gerçekleştirmek üzere geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemler ile bilgisayarların yetersiz kaldığı sınıflandırma, kümeleme, duyu-veri işleme, çok duyulu makine gibi bir çok alanda kullanılmaktadır (URL-1, 2003). Gerek YSA gerekse beyin, katmanlara tanzim edilmiş olan basit hesap birimlerinden oluşmaktadır. Yapay sinir ağlarındaki her bir işlem birimi (nöronlar), basit anahtar görevi yapmaktadır ve şiddetine göre gelen sinyalleri söndürmekte yada iletmektedir. Böylece sistem içindeki her birim belli bir yüke sahip olmakta ve her birim sinyalin gücüne göre açık yada kapalı duruma

geçerek basit bir tetikleyici görev üstlenmektedir. Yükler, sistem içinde bir bütün teşkil ederek, karakterler arasında ilgi kurmayı sağlamaktadır.

Yapay sinir ağları öğrenebilir ve hiç karşılaşmadıkları bir problemi çözebilirler. Özellikle tahmin problemlerinde kullanılabilmeleri için çok fazla bilgi ile eğitilmeleri gerekmektedir. Eğitimleri oldukça zaman alıcı ve zordur. Çıkardıkları sonuçları nasıl ve neden çıkardıklarını açıklayamazlar (kapalı kutu). YSA'daki en büyük problem karmaşık sorunları çözmek için ya çok büyük yada çok katmanlı ve çok nöron içeren sinir ağlarına ihtiyaç olmasıdır (URL-1, 2003).

Ramasamy ve Rajasekaran , (1996) beş farklı tipteki sanayi yapısını, hem YSA'yı hemde genetik algoritmayı kullanarak optimize etmişlerdir. Bu optimizasyon işlemlerinde üç farklı yükleme durumuyla birlikte gerilme ve deplasman sınırlayıcıları dikkate alınmıştır. Her iki tekniğe göre elde ettikleri sonuçları karşılaştırarak kullandıkları yöntemlerin üstünlüklerini ortaya koymuşlardır.

1.8.2. Benzetilmiş Tavlama

Kirkpatrick vd. tarafından ortaya atılan benzetilmiş tavlama (Simulated Annealing, SA) yönteminin esası metallerin atomlarının serbestçe birinden diğerine hareket edebilecek düzeye kadar ısıtılıp daha sonra da bu ısısal serbestliğin kayboluncaya kadar soğutulması esasına dayanır (Srivinas ve Patnaik, 1994). Yani yöntem metallerin tavlama olarak nitelenebilen ısı işlem karakteristiklerinden esinlenen bir yaklaşımdır. Ayrıca SA'da fiziksel süreçten esinlenen diğer tekniklerde olduğu gibi olasılık mekânizmaları ile maliyeti en aza indirmektedir (Srivinas ve Patnaik, 1994). Leite ve Topping'e (1999) göre, sıfır derecenin üzerindeki herhangi bir sıcaklıkta metal atomları sıcaklıklarına bağlı olarak bir enerji ile titreşirler. Bu enerji ile atomlar, Boltzmann dağılımı olarak verilen bir olasılık dahilinde kendilerini yeniden şekillendirebilirler. Eğer soğutma işlemi yeterince yavaş bir şekilde gerçekleştirilirse, atomların kendileri düşük bir enerji seviyesinde düzgün ve saf bir kristal yapıda olacaktır. Aksi durumda atom yapısı bozuk olacaktır. Kristal yapısı için mükemmel olan, yapısal bozukluğun mümkün olduğu kadar düşük seviyede olmasıdır.

May ve Balling (1992) değiştirerek geliştirdikleri SA tabanlı bir algoritma aracılığıyla üç boyutlu bir çelik çerçevenin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

1.8.3. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından yapılan çalışmalar tarafından ortaya çıkarılmıştır. Sonraki dönemlerde bir çok araştırmacının ilgi odağı haline gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmek için kurulmuş bir matematik disiplini olarak tanımlanabilmektedir. Bilindiği gibi istatistikte ve olasılık kuramında, belirsizliklerle değil kesin sonuçlarla çalışılmaktadır. Ama insanlar günlük hayatta; tam olarak tanımlanmamış ve nümerik olmayan dilsel niteleyiciler (soğuk, hafif soğuk, ılık, sıcak, çok sıcak vb.) kullanarak kararlar verirler ve problemlerini çözerler (URL-2, 2003). Buradan hareketle insanoğlunun sonuç çıkarabilme yeteneğini taklit ederek belirsizliklerle çalışabilen bulanık mantıkta temel olan, bir sonuca varmaktır. Normal bir programın yapısı;

Temel girdiler - Program - Sabit bir sonuç şeklindedir. Oysa bir bulanık mantık uygulaması;

Sayısı belli olmayabilen girdilere ve varsayıma göre bir veri yığını - Program - Değişken olan bir veya birden fazla sonuç şeklindedir (URL-2, 2003). Bir bulanık mantık uygulamasında, sonuç aynı girdiler olsa bile değişiklik gösterebilir. Bulanık mantıktaki diğer bir özellik verilen verilerin örnekleme mantığı ile alınması ve tümü simgelediği varsayımı yapılarak buna göre bir olasılık değerinin elde edilmesidir.

Geleneksel mantık sisteminde yalnızca doğru veya yanlış vardır. Bu ikisinin arası yoktur. Belirsiz bir problemin çözümü güçtür. Kısacası bir bulanık mantık olayında doğruluğundan kesin emin olduğumuz veya olmadığımız bir grup veri girdisi, belirli bir varsayıma göre yorumlanarak sonuç elde edilmektedir (URL-2, 2003).

1.8.4. Genetik Algoritma (GA)

Doğada türler veya bireyler, kıt olan kaynaklar için yaptıkları rekabette en iyi konumda iseler yaşamlarını sürdürürler. Bu türlerin veya bireylerin yaşayabilmesi için bu rekabetçi ortama adaptasyon göstermeleri yani değişen ortam koşullarına kendilerini adapte etmeleri gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için bireyler, kendi biyolojik özelliklerini belirleyen ve o birey için eşsiz olan gen yapılarının birleşimiyle oluşan kromozomlarını bu rekabetçi ortama uygun olmasını sağlayacak yapıya ulaştırmalıdır. Türlerin özelliklerinde ortam koşullarına kendini uydurabilmesi için ardışık olarak gerçekleşen değişime *evrim* denir. Bu evrimi gerçekleştiren birey veya bireyler bu evrimi gerçekleştiremeyen bireye veya bireylere baskın gelirler.

Sadece bu baskın türler yaşabilirler ve üreyebilirler. Bu doğal olay *en uyumlunun yaşam'ı (doğal seçim)* olarak adlandırılmaktadır. Dolayısı ile doğal seçimle zayıf bireyler ölürken, baskın bireyler yaşamlarını devam ettirmektedirler. Evrim olayı, yaşamayı başarabilen bireylerden oluşan çiftlerin üreme ile genetik yapılarında oluşan yeni kombinasyonlarla devam eder. Genetik yapıdaki bu değişim *çaprazlama veya mutasyon* ile oluşmaktadır. Doğal seçim ve çaprazlamanın tekrarlanmasıyla evrim devam etmekte işlem rekabetçi ortama en uyumlu bireyin yaratılmasına kadar süre gelmektedir.

Doğadaki bu evrimsel süreci taklit eden bir bilgisayar programı ilk defa Holland (1975) tarafından ortaya çıkarılmıştır. Genetik algoritma (GA) doğadaki bireylerin genetik özelliklerine eş olan tasarım problemine ait olası çözümlerin doğrudan kendisiyle değil de şifrelenerek oluşturulduğu bir popülasyon ile işlemektedir. Doğada en iyi bireye ulaşabilmek için gerekli olan seçim sürecine eş olarak GA'da, her bir çözümün olası diğer çözümlere göre ne kadar iyi olduğunu yansıtan ve buna göre birey veya bireylerin yaşayıp yaşamayacağını kriteri olan *uyum değerleri* vardır. Doğada nasıl baskın bireyler ardışık olarak gelen nesillerin oluşmasında etkin iseler GA'da da en yüksek uyum değerli bireyler yaşamını devam ettireceğinden bu görevi üstlenmektedirler. Ayrıca GA'da doğadakine eş olarak kaybolan genlerin yeniden bireye kazandırılmasına yol açan *mutasyon* operatöründe uygulanmaktadır.

Yukarıda bahsedilen ve Holland (1975) tarafından sunulan ve daha sonra Goldberg (1989) tarafından geliştirilen GA, basit genetik algoritma (Simple Genetic Algorithm, SGA) olarak adlandırılmaktadır. Bu algoritmada olası çözümlerden oluşan popülasyon ikilik sayı sistemine göre şifrelenmiştir. Bu popülasyondan yeni nesiller üretebilmek için kopyalama, çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmıştır. Bu tekrarlı işlemler serisi bir sonlandırma kriterine ulaşıncaya kadar devam etmektedir.

Gerek SGA gerekse GA temel olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, tasarım değişkenlerinin şifrelenip şifrelerinin çözülmesi, her bir olası çözümün uyumunun belirlenmesi ve mevcut çözümlerden yeni çözümler üretebilmek için genetik operatörlerin uygulanması olarak sıralanabilir. Bir olası çözümün uyumu, amaç fonksiyonu ile buna ilişkilendirilmiş sınırlayıcılar arasındaki ilişki olarak tanımlanabilir. Uyumun değerlendirilebilmesi için sistemin analizinin yapılması gerekmektedir. Bu analize göre, eğer sınırlayıcılarda bir ihlal söz konusu değilse, olası çözümün uyumu amaç fonksiyonuna eşittir. Eğer bir ihlal söz konusu ise uyum, amaç fonksiyonu ile uygulanan bir ceza değerinin kombinasyonudur. Bu cezalandırma için belirgin bir biçim söz konusu değildir.

Ancak cezalandırmada ana ilke, ihlalin derecesine göre cezanın daha katı olmasıdır (Cao, 1996).

GA'da iki adet ana operatör vardır. Bunlar kopyalama, çaprazlamadır. Mutasyon operatörü ise bunlara nazaran daha az etkindir (Cao, 1996). Goldberg'e (1989) göre, bu operatörlerin kullanıldığı algoritmaların işleyişi, onların keyfi seçimlerine bağlıdır. GA'nın seçme ve kopyalama, çaprazlama ve mutasyon tipleri, popülasyon büyüklüğü ve çaprazlama-mutasyon oranı gibi genetik parametrelerin keyfi seçimlerine bağlı olarak yakınsaması aynı problemin bu parametrelerin farklı kombinasyonlarında birkaç kez koşturulmasını gerektirmektedir (Krishnamoorthy vd., 2002).

Popülasyondaki bir bireyin kopyalanması, iyi çözüme götürecek tasarım değişkenlerinin kodlanmış olduğu dizilerin varlıklarını bir sonraki nesilde sürdürebilmesi için uyumlarına göre seçimi olarak tanımlanabilir. Bu işlem dizilerin özelliklerinde bir değişiklik yapmamaktadır. Çaprazlama operatörü kopyalama ile seçilen bireylerden oluşan olası çözüm dizilerinden, farklı çözüm oluşturmak için uygulanır. Bunun için rasgele eşlenen dizilerin belirli kısımları kendi aralarında değiş tokuş ettirilir. Mutasyon operatörü ise çözüm dizilerinde keyfi değişiklikler aracılığıyla olası çözümlerin çeşitliliğinin artırılması amacıyla uygulanmaktadır. Ancak bu operatör bazen çözüm dizilerinde bozucu etki yapmaktadır. Mutasyon operatörünün bu etkisinden dolayı kullanılmadığı çalışmalarda literatürde yer almaktadır.

GA yapısal optimizasyonda, ayırık tasarım değişkenlerini kullanması, sınırlayıcıların kolaylıkla entegre edilebilmesi, birden fazla yük kombinezonunu dikkate alabilmesi ve tasarım problemine dair çok hassas bağıntılara ihtiyaç duymaması gibi avantajları sağlaması bakımından bir çok araştırmacı tarafından optimizasyon işlemlerinde sıkça kullanılmıştır. Lin ve Hajela (1992, 1993) deplasman sınırlayıcıları altında sekiz çubuklu, deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında ise yirmibeş ve yetmişiki çubuklu kafes sistemleri GA ile en az ağırlıklı olacak biçimde incelemişlerdir. Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) düzlem ve uzay kafes sistemleri en az ağırlıklı olacak şekilde GA'yı gerilme sınırlayıcıları altında kullanmışlardır. Rajan (1995), Rajeev ve Krishnamoorthy (1997), Wu ve Chow (1995), Ohsaki (1995, 1998) basit veya değiştirilmiş GA ile düzlem ve uzay kafes sistemlerin en az ağırlıklı olacak şekilde boyut ve şekil optimizasyonlarını, ayrıca yine en az ağırlıklı olacak şekilde boyut, şekil ve topoloji optimizasyonlarını deplasman, gerilme ve/veya burkulma sınırlayıcıları altında incelemişlerdir. Wu ve Chow (1995) GA kullanarak yaptıkları çalışmalarında yapısal elemanların kesit alanlarını ayırık, düğüm

noktaları koordinatlarını da sürekli tasarım değişkenleri olarak kullanmışlardır. Grierson ve Pak (1993) ise boyut, şekil ve topoloji optimizasyonunu çerçeve sistemlere uygulamışlardır.

Daloğlu ve Aydın (1999) farklı tip çelik çatı makaslarını TS 648'deki tasarım koşullarını gerçekleyecek biçimde minimum ağırlıklı olarak, Daloğlu ve Armutçu (1998) ise çelik düzlem çerçeve sistemleri yine TS 648'deki kriterlerle ve aynı amaç doğrultusunda optimize etmişlerdir. Chou ve Ghaboussi (2001) yapılarda yüklemeye veya kullanımdan kaynaklanan hasarların boyut ve yer tespitlerinde GA'yı kullanmışlardır. Yeo ve Agsei (1998) ise yer altı suyunu pompalayacak kuyu düzenini ve su isale hattını belirleme problemini, minimum maliyeti amaç fonksiyonu olarak incelemişlerdir. Sakla ve Elbeltagi (2003) ise farklı eğimlerdeki çatılarda karın, rüzgarın oluşturduğu akımdan dolayı yuvarlanarak düşük eğimli çatıda birikip düzgün olmayan bir etkiye sebebiyet vermesinden dolayı doğan etkiyi göz önüne alarak, çatı makas sisteminin gövde ve aşık elemanını GA ile optimize etmişlerdir. Jenkins (1992) kablolu köprü kirişini, kendi ağırlığı altında ve kabloların pozisyonları ile köprü ayağının yüksekliğini tasarım değişkeni olarak GA ile incelemiştir. Jenkins (1991) tanımladığı amaç fonksiyonunu maksimize edecek şekilde çatı makası ağırlığını gerilme, stabilite ve deplasman sınırlayıcıları altında quadratik ceza fonksiyonu kullanarak GA ile incelemiştir. Ayrıca Weldali ve Saka (1999), Erbatur ve Hasançebi (1997), Camp vd. (1998) tarafından yapılan yapı sistemlerinin farklı yüklemeye ve sınırlayıcılar altındaki optimizasyon işlemlerinde de GA kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, sırasıyla basit GA'daki genetik operatörlerden farklı olarak ilkinde elitist strateji, son ikisinde ise farklı ceza fonksiyonları ve çaprazlama teknikleri kullanılmıştır.

Bu farklı operatör kullanımı genellikle amaç fonksiyonu olarak dikkate alınan yapının yüklemeler ve sınırlayıcılar altında en az ağırlıklı olması gereğine ulaşmada harcanan zamanın kısaltılması ve dolayısı ile gerekli olan iterasyon adımı sayısının düşürülmesine yönelik kullanımlardır. Gelineen noktada artık GA'daki operatörlerin daha iyiye daha kısa sürede ulaşma fikriyle geliştirilme eğilimleri artmaktadır.

1.9. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Yapıların optimum tasarımlarını gerçekleştirmek üzere kullanılan ve ayırık tasarım değişkenli problemlere çözüm getiren yapay zeka tabanlı teknikler, günümüzde kolay ve etkin biçimde uygulanmaktadır. Bu teknikler öncelikle sistemlerin sabit geometride en uygun en kesit parametrelerinin belirlenmesi işlemlerinde kullanılmışlardır. Boyutsal optimizasyon olarak adlandırılan bu işleme ilaveten sistemlerin optimum topoloji ve/veya şekil parametrelerinin de belirlenmesiyle sistem ağırlığında önemli azalmalar sağlanabildiği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Ayrıca sistemlerin yükleme durumlarına bağlı olarak sergiledikleri davranışlarını da göz önüne alarak gerçekleştirilen yapısal eleman tasarımında da sistem ağırlığı değişebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı sinyalizasyon, tıp, sanayi, para piyasası, hemen hemen tüm mühendislik dalları vb. alanlarda yaygın olarak kullanılan bir evrimsel hesaplama tekniği olan GA' yı kullanarak çelik kafes köprü kirişlerinin *katar yükü* altında boyut, iletim hattı kulesi ile kubbe biçimli olan üç boyutlu çelik kafes sistemin çoklu yükleme durumlarında boyut, *boyut ve şekil* optimizasyonunu yapmaktır. GA tasarım probleminin çözümüne, çözüm dizilerinden oluşan bir başlangıç nesline, bir takım genetik operatörler uygulayarak ve sanal bir evrim sürecinden geçirerek ulaşır. Ulaşılan çözümler TS 648 ve AISC-ASD' de belirtilen tasarım koşullarına uygundur. Bahsedilen amaca yönelik yapısal analizinde Matris Deplasman yöntemini kullanan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program aracılığıyla literatürde yer alan bazı çalışmalar programın işlevliliği göstermek amacıyla incelenmiş daha sonra da çalışmaya konu olan sistemler incelenerek elde edilen bulgular belirtilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Yapısal Optimizasyon Problemi

Bundan önceki bölümlerde, yapısal optimizasyon problemine dair tanımlamalar yapılmıştır. Böyle bir problemin çözüme yönelik bir anlam taşıyabilmesi için çözüm işlemine başlamadan önce tasarıma yönelik beklentilerin ortaya konulması gerekmektedir. Çözüm aşamasının ilk adımını oluşturan bu safha bilinmeden tasarımı şekillendirmek mümkün değildir. Bir tasarım probleminde genellikle müşteri-mimar ikilisi aracılığıyla belirlenen bu beklentiler ana amacı oluşturmaktadır (Tütüncü, 1995). Mimarın kendi tecrübe ve yeteneğine bağlı olarak geliştirdiği mimari tasarım aşamasından sonra, mühendis, geliştirilen ve müşteri-mimar ikilisi tarafından ortaya konan istek grubunu karşılamak için probleme dair uygun topoloji, inşaat yöntemi, yapısal eleman boyutu, malzeme vb. unsurları belirlemek üzere ikinci safhaya iştirak eder. Ülkenin inşaat yapım standartlarındaki tasarım koşullarını gerçekleyecek, aynı zamanda uygulamaya yönelik olarak basit birleşim noktalarına, detaylarına ve standart eleman alanlarına sahip ekonomik açıdan yatırıma değer olası tasarımların analiz edilmesi, değerlendirilmesi ve geliştirilmesi probleme dair aşamanın oldukça zaman alıcı son safhasıdır (Tütüncü, 1995).

Tasarıma ulaşılacak döngüsel işlemleri elle yapmak mümkün olmakla beraber günümüzde bu işlemi bilgisayarları kullanarak bir algoritma aracılığıyla yapmak daha uygun olmaktadır. Bunu sağlayacak olan algoritmalara daha önceki bölümde kısaca değinilmiştir. Bu algoritmalar analitik veya sayısal metotları içermektedirler. Analitik yöntemler, matematiksel teoriye dayalı olarak kullanılmakta ve daha çok basit nitelikteki yapılara uygulanabilmektedirler. Daha büyük ölçekli yapılarda kullanılan analitik yöntemlerde ise genellikle gerçeklerle pek uygun olmayan tasarım değişkeni, sınırlayıcı ve amaç fonksiyonu ilişkisinin lineer ve lineer olmadığı kabulleri kullanılmaktadır. Oysa bir çok mühendislik probleminde böyle bir ilişkiden bahsedebilmek oldukça zordur (Mahfouz, 1998). Sayısal yöntemler ise rasgele olan bir başlangıç noktasını kullanarak iteratif adımlarla çözüm kümesindeki başka çözüm noktalarını araştırarak en uygun çözümü aramaktadırlar.

Yukarda anlatılmaya çalışılan döngüsel işlemler sonrası belirlenen tasarıma ait beklentiler *amacı*, bu amacı uygulanabilir kılan yapım standartları *sınırlayıcıları* ve bu

sınırlayıcılar altında amacı sağlayacak olan sistemin eleman kesit özellikleri, şekli ve topolojisi ise *tasarım değişkenlerini* nitelemektedirler.

Tasarım problemine sayısal veya analitik yöntemler uygulanarak, probleme ait önceden belli olan tüm sınırlayıcıları sağlayan, beklentilere cevap verebilen olası veya prototip olarak nitelendirebileceğimiz bir çok çözüm üretilebilmektedir. Bu sebeple sorun artık bu olası çözümler arasında hangisinin amaca yönelik olarak en iyisi olduğunun belirlenmesidir. Bu belirteç ise amaç fonksiyonudur.

Cao'a (1996) göre, bir tasarımda minimum maliyeti elde edebilmek için optimizasyon sürecinde aşağıdaki gibi özetlenebilecek faktörler dikkate alınabilmektedir (McCormac, 1992).

- Uygulamaya yönelik olarak özel sayılabilecek boyutlardan ve uzunluklardan sakınılmalıdır.
- Mümkün olduğunca aynı boyutta elemanlar kullanılarak karmaşık ve pahalı olabilecek farklı eleman birleşim noktası detaylarından kaçınılmalıdır.
- Ekonomi düşüncesi bir bütün olarak yapıya uygulanmalı sadece yapının bazı kısımlarında düzenlemelere gidilmemelidir.
- İnşa için gerekli olan malzeme tedarik noktaları koşulları dikkatli biçimde belirlenmelidir.

Bu faktörlerden de anlaşıldığı üzere yapının maliyetini belirleyen pek çok parametre vardır. Bu parametreleri algoritmaya bir bütün halinde amaç fonksiyonu olarak katmak zordur. Bu nedenle bir çok tasarım problemi için ağırlık veya hacim amaç fonksiyonu olarak alınmaktadır. Amaç fonksiyonu değeri minimum olan çözüm, koşullar altında en iyi olan tasarımdır. Çözümler probleme dair tasarım değişkenlerinin kombinezonundan oluştuğundan her bir kombinezon tasarım olarak görülmektedir. Bu tasarım değişkeni kombinezonundan oluşan çözüme kullanılabilirlik sağlayan sınırlayıcılardır. Bu sınırlayıcılar tasarımdan tasarıma değişmektedir. Ancak yapısal optimizasyonda genellikle, yapısal elemanların boyutlarına, gerilme düzeylerine, birleşim noktalarının deplasmanlarına sınırlayıcılar getirilmekte (Cao, 1996) ve bunlar ülkelerin inşa standartlarında belirtilen tasarım koşullarını gerçekleyecek düzeyde olmaktadır.

2.2. Yapısal Optimizasyon Probleminin Formülasyonu

Bir tasarım probleminde birden fazla amaç söz konusu olabilmektedir. Ancak yaygın olarak kullanılan amaç sadece yapı ağırlığıdır. Birden fazla amacın dikkate alınmak istendiği durumlarda, bu amaçlardan biri tek başına amaç fonksiyonu olarak alınıp diğerleri sınırlayıcılar olarak dikkate alınabilmektedir. Birden çok amaca sahip bir tasarım probleminde W amaç fonksiyonu (Rasheed, 1998);

$$W = f(c_m, c_b, c_k) \quad (1)$$

olarak ifade edilebilmektedir. Amaç fonksiyonu içerisinde yer alan c_m sistemdeki yapısal elemanların ağırlıklarını, c_b elemanların birleşim noktaları maliyetlerini, c_k ise malzeme özelliklerini ifade etmektedir. Yapısal optimizasyonda, ifade edilen amaç fonksiyonu sınırlayıcılar altında minimize edilmeye çalışılmakta ve bu amaç fonksiyonu yapı ağırlığı olmaktadır. Bu durumda (1) denklemi sadece c_m parametresini içerecek ve $g_1, g_2, g_3 \dots \geq 0$ şeklinde ifade edebileceğimiz sınırlayıcılar altında minimum olacak şekilde;

$$\text{Min } W = \sum_{i=1}^m \rho_i A_i L_i \quad (2)$$

olarak gösterilebilmektedir. GA kullanılarak yapılan yapısal optimizasyonlarda tasarım değişkenlerinde bir gruplandırma yapılabilmektedir. Bu çalışmada da böyle bir gruplandırma yapılmaktadır. (2) denkleminde bu durumun yansıtılması halinde (2) denklemi;

$$\text{Min } W = \sum_j^{ng} A_j \sum_i^m \rho_i L_i \quad (3)$$

biçiminde ifade edilebilmektedir. Bu denklemde ng grup sayısını, m sistemdeki toplam eleman sayısını göstermek üzere A_j j . gruba giren elemanların en kesit alanlarını, ρ_i L_i ise i . elemanın malzeme yoğunluğunu ve boyunu göstermektedir. (3) denkleminin koşulları altında minimum değerini aldığı sınırlayıcılar ise,

$$g_s = \delta_s - \delta_{su} \leq 0 \quad s = 1, \dots, rd$$

$$g_d = \sigma_{ed} - \sigma_{emd} \leq 0 \quad d = 1, \dots, nt \quad (4)$$

olarak ifade edilebilir. Bu formülasyonda δ_s s . düğüm noktası için deplasman değerini, δ_{su} ise bu deplasman değerinin üst değerini belirtmektedir. Sistemdeki sınırlandırılmış toplam deplasman sayısı rd ile gösterilmektedir. Çalışmada çubuk elemanlardan oluşan kafes sistemler optimum tasarım problemi olarak alındığından σ_{ed} d . eleman için çekme veya basınç gerilmesi değerini, σ_{emd} ise basınç veya çekme olan σ_{ed} gerilmesinin üst değerini yani basınç veya çekme emniyet gerilmesi göstermektedir. nt sistemdeki toplam çubuk sayısını belirtmektedir.

Basınç veya çekme eksenel yükü etkisi altındaki kafes sistem elemanları için eksenel etkinin çekme olması durumunda bu etki değeri σ_{emd} 'i çekme emniyet gerilmesi olarak alınıp gerilme denetimi yapılmaktadır. Etkinin basınç olması halinde ise σ_{emd} 'i basınç emniyet gerilmesi olarak alınarak gerilme denetimi yapılmaktadır. Ancak bir basınç çubuğundaki kabul edilebilir kritik gerilme narinlik oranı olarak bilinen burkulma boyunun atalet yarıçapına oranıyla ilgilidir. Bu orana bağlı olarak basınç emniyet gerilmesi TS 648'e göre aşağıda gibi ifade edilen bağıntılar ile hesaplanmaktadır.

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x}$$

$$\lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} \quad (5)$$

Bu bağıntılarda S_{kx} ile S_{ky} x ve y eksenlerine dik düzlemlerdeki burkulma boylarını, i_x ile i_y yine x ve y eksenlerine göre atalet yarıçaplarını, λ_x ile λ_y ise be eksenlere göre olan narinlikleri ifade etmektedir. Çubuğun narinliği (λ) ise eksenlere göre olan narinliğin büyük olanıdır. Eksenlere dik olan burkulma boyları çubuğun mesnetlenme koşullarına göre belirlenen bir K katsayısı ile serbest boyu olan S 'nin çarpımıdır ((6) nolu bağıntı).

$$S_k = K \times S \quad (6)$$

Çalışmada kafes sistemler dikkate alındığından sistemi oluşturan çubuklar düğüm noktalarında mafsallı bağlantılıdır. Bu mesnetlenme koşuluna göre K katsayısı 1 değerini almakta ve burkulma boyları da çubuğun serbest boyuna eşit olmaktadır. (5) nolu bağıntı ile belirlenen narinlik oranının büyüğü, λ_p olarak simgelenen ve plastik narinlik sınırı olarak adlandırılan bir değerle karşılaştırılarak burkulmanın elastik bölgede mi yoksa plastik bölgede mi gerçekleşeceğine karar verilmektedir. λ_p aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{\sigma_a}} \quad (7)$$

Bu bağıntıda E malzemenin elastisite modülü, σ_a ise aynı malzemenin akma gerilmesidir. Burkulmanın elastik veya plastik bölgede gerçekleşecek olmasına göre belirlenen ve basınç elemanı için gerilme denetiminde kullanılacak olan basınç emniyet gerilmesi (σ_{bem}),

$$n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3 \geq 1,67 \quad TS \ 648 \quad (8)$$

$$n = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3 \geq 1,67 \quad AISC - ASD$$

olarak belirtilen bir katsayı olmak üzere,

$$\sigma_{bem} = \begin{cases} b \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} & \lambda > \lambda_p & \text{burkulma elastik bölgede} \\ \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} & \lambda < \lambda_p & \text{burkulma plastik bölgede} \end{cases} \quad (9)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Elastik bölgedeki burkulmada b katsayısı TS 648' de 2/5, AISC-ASD' de ise 12/23 olarak dikkate alınmaktadır. Böylelikle çalışmaya konu olan yapısal optimizasyon problemine dair amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar tanımlanmış olmaktadır. Bundan sonraki bölümde çalışmadaki optimizasyon probleminin çözümüne ulaşmada kullanılan ve daha önce genel olarak bahsedilen GA'dan geniş kapsamlı olarak bahsedilecektir.

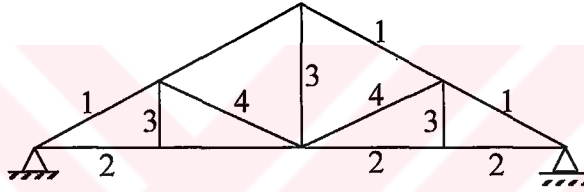
2.3. Genetik Algoritma İle Yapısal Optimizasyon

Genetik algoritma (GA), bir türün bireyleri arasında ancak doğal koşullara adaptasyon sağlayabilenler yaşamaya devam edebilirler ve sonraki nesillerin üremesinde bu üyeler rol oynayabilirler şeklinde özetlenebilen Darwin'in doğal seçim savından esinlenerek geliştirilen bir yöntemdir. Aşağıda GA yönteminde sıkça kullanılan bazı terimler ile bu terimlerin doğadaki karşılıkları, yöntemin daha kolay kavranmasına yardımcı olmak üzere verilmektedir.

- *Birey* : Tasarım problemine ait olan tasarım değişkenlerinin belirli bir sırada bir araya getirilmesiyle oluşturulan kodlanmış tasarım değişkenleri dizisidir. Doğada türe ait özellikleri taşıyan bu dizi kromozom olarak adlandırılırken GA'da birey olarak adlandırılmaktadır. Dolayısı ile bir dizi (birey) tasarım problemine dair olası bir çözümü temsil etmektedir.
- *Popülasyon* : Bireylerin belirli bir sayıda bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve doğada tür olarak adlandırılan birey topluluğudur.
- *Ebeveyn bireyler* : GA'da yeni bireylere ulaşmak üzere operatöre tabii tutulan rasgele seçilmiş birey çiftleridir. Doğadaki karşılığı anne ve babadır.
- *Nesil* : Çözüme ulaşmak için bir önceki popülasyondan üretilerek oluşturulan yeni popülasyondur. Doğada, türdeki anne ve babaların çiftleşmesiyle doğan çocukların oluşturduğu topluluktur.
- *Genetik operatörler* : Popülasyondaki bireylerden daha iyi bireylere ulaşmak üzere uygulanan işlem araçlarıdır.

GA yönteminin işleyebilmesi için öncelikle keyfi olarak bir popülasyon (başlangıç nesli) oluşturulur. Bu işlem tasarım problemine ait her bir tasarım değişkeninin genetik operatörlerin daha kolay uygulanabilmesi açısından gerçek değerleri yerine ikilik veya diğer kodlama biçimlerinden biriyle kodlanıp bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilir

(Erbatur ve Hasançebi, 1997). Bu çalışmada tasarım değişkenleri değer kodlaması kullanılarak kodlanılmıştır. Birey içerisindeki her bir karakter (bit) suni bir geni temsil etmektedir. Belirli uzunlukta bit grupları olarak kodlanan tasarım değişkenlerinin gen değerleri ile o tasarım değişkeninin ait olduğu profil listesindeki hazır kesit alanlarının sıra numaraları elde edilir. Örneğin Şekil 1'deki basit kafes sistemde, üst başlık (1), alt başlık (2), diyagonal (4) ve dikme (3) gibi sistem elemanları 4 farklı grupta tasarım değişkenleri olarak dikkate alınmıştır. Bu tasarım değişkenlerinin 8 adetlik hazır $\frac{1}{2}$ I çelik profillerinden seçilmeleri durumunda değer kodlaması gereği her bir tasarım değişkeni 1 bitlik bir genle temsil edilmek durumundadır. Buna göre keyfi olarak seçilen her bir tasarım değişkeninin değer kodlamasındaki karşılıkları sırası ile 1, 3, 7 ve 4 olmaları durumunda, kodlanmış tasarım değişkenleri dizisi olan bireyin değer kodlamasındaki karşılığı kodlanmış bu dört



Şekil 1. Basit kafes sistem

tasarım değişkeninin birleşmesiyle oluşan 1-3-7-4 gen dizisidir. Bu bireyin genlerinin birer birer gen değerlerinin alınmasıyla, sırasıyla üst başlık, alt başlık, dikme ve diyagonal olarak kodlanan tasarım değişkenlerinin sıra numaraları elde edilir. Bu sıra numaraları ile o tasarım değişkenine ait, sıralı olarak dizilmiş ve 8 adetlik profil alanından oluşan profil listesinden o sıra numarasına karşılık gelen alan değeri atanır. Buna göre bireyin tasarım değişkenlerine atanacak olan profil alanları listesinin 16.7, 19.8, 23.0, 26.7, 30.5, 34.5, 38.9 ve 43.3 cm² olması durumunda işlem aşağıdaki gibi olmaktadır.

1-3-7-4 olarak kodlanan bireyin ilk gen değeri üst başlık elemanlarının sıra numarasını belirtmektedir ve bu değer 1' dir. 1 değeri üst başlık elemanları için profil listesindeki sıra numarasını belirtmektedir. Bu sıra numarasının alan karşılığı listeye göre 16.7 cm² olmaktadır. Aynı şekilde bireyin 2. gen değeri alt başlık elemanları için sıra numarasını belirtmektedir ve bu değer 3' dür. Bu sıra numarasının listeye göre alan karşılığı ise 23.0 cm² olmaktadır. Aynı işlemler dikme ve diyagonal elemanlarının sıra numaralarını belirten 7 ve 4 genleri için tekrarlanırsa bu elemanların alacağı alan değerleri

38.9 ve 26.7 cm² olmaktadır. GA yukarda gösterilmeye çalışılan işlem sırasını 1-3-7-4 bireyi gibi keyfi olarak oluşturulan bireyler topluğuna (popülasyona) uygular. Bu birey topluğunun sayısı literatürde 30 ile 100 arasında değişmektedir. Ancak bu sayının belirlenmesinde temel unsur tasarım problemini yeterince temsil edilebilmesidir. Zira bu sayının çok düşük olması GA'nın uygun olmayan bir sonuca hızla ulaşmasını sağlarken büyük olması GA'nın en uyguna yakın veya en uygun bir çözüme ulaşma şansını artırırken çözüme ulaşma süresini uzatmaktadır.

Bahsedildiği üzere genlerin kodlanmasında literatürde de rastlanılan ve bu çalışmada da tercih edilen değer kodlaması haricinde ikilik ve reel kodlama biçimlerine de rastlanabilmektedir. İkilik kodlama biçiminde her bir karakter (bit) suni bir geni temsil eder ki bu ya "0" yada "1" dir. Birey içerisinde belirli uzunlukta bit grupları olarak kodlanan tasarım değişkenlerinin kod şifrelerinin (ikilik koddan onluk sisteme geçmek) çözümüyle tasarım değişkenleri için profil listelerindeki hazır kesit alanlarının sıra numaraları elde edilir. İkilik kodlamadaki şifre çözümüne değer kodlamasında ihtiyaç yoktur. Ayrıca değer kodlaması, dikkate alınacak profil listesindeki alan sayısını ikilik kodlamada olduğu gibi ikinin katı olması zorunluluğundan kullanıcıyı kurtarmakta ve tasarım değişkenlerinin fazla olması durumunda bireylerdeki toplam gen sayısını kısaltmaktadır. Örneğin Şekil 1'deki sistem elemanları 32 adetlik hazır ½ I çelik profillerinden seçilmeleri durumunda ikilik kodlama gereği her bir tasarım değişkeni 5 bitlik bir genle temsil edilmek durumundadır ve 4 tasarım değişkenini temsil eden bireyin uzunluğu ise $5 \cdot 4 = 20$ bit olmaktadır. Oysa bu durum değer kodlaması yapılması halinde her bir tasarım değişkeni bir sıra numarasıyla temsil edildiğinden birey uzunluğu $1 \cdot 4 = 4$ bit olmaktadır. İkilik kodlamada 01011-00011-10100-11110 olarak temsil edilen birey değer kodlamasında bireyin ikilik kodlamadaki kod şifrelerinin çözümüyle bulunacak sıra numaraları olan 12-4-21-31 sayılarıyla ifade edilmektedir.

Reel kodlamada ise bireyler, tasarım değişkenlerinin profil listesinde yer alan kesit alanlarının doğrudan kullanılmasıyla oluşturulmaktadır. Buna göre 12-4-21-31 olarak kodlanan birey reel kodlamada bu sıra numaralarının alan karşılıkları olan 66.2-26.7-22.3-81.9 değerleriyle kodlanmaktadır. Ancak reel ve değer kodlaması tercih edildiğinde mutasyon operatörünün bu kodlamalara uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

Genetik algoritmada başlangıç popülasyonun bir kodlama biçimiyle keyfi olarak oluşturulup popülasyondaki her bir bireyin kod şifreleri çözülüp tasarım değişkenlerine profil listesindeki alanların atanmasından sonra ki amaç bir sonraki neslin oluşumunda

etkin olacak olan popülasyondaki bireylerin belirlenmesidir. Başlangıç nesli rasgele oluşturulduğundan büyük bir olasılıkla başlangıç neslini teşkil eden bireyler tasarım problemine ait sınırlayıcılara uymayan bireyler olacaklardır. Bu nedenle bireye, popülasyondaki diğer bireylere göre sunduğu çözümün iyiliğini gösteren ölçüde sayısal uygunluk değeri aktarılır. Bireylere aktarılan bu uygunluk değeri, bir sonraki neslin oluşumunda etkin olacak olan bireylerin seçiminde kullanılmaktadır. Bu işlem için öncelikle, popülasyonun her bir bireyi için sistemin analizi yapılmaktadır. Bundan kasıt probleme dair sınırlayıcıların hesaplanmasında kullanılacak olan sistem elemanlarına ait olan gerilme ve düğüm noktası deplasman değerlerinin bulunmasıdır. Analiz sonuçlarına göre bireylerin sunmuş olduğu çözümlere ait amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların ihlal edilme değerleri belirlenmektedir. Buna göre sunmuş olduğu çözümle sınırlayıcılara riayet eden bireyler en iyi uyum değerine sahip olacaklar ve genetik süreçteki daha sonraki aşamalara katılabileceklerdir. Oysaki sunmuş olduğu çözümle sınırlayıcıları en ağır düzeyde ihlal eden bireyler, en kötü uyum değerine sahip olacaklar ve topluluktan ihraç edileceklerdir.

Topluluktan atılan bireyler nesildeki birey sayısının düşmesine neden olacağından bu durum, en iyi uyum dereceli bireylerin veya bireyin ihraç edilen bireyin veya bireylerin sayısı kadar yerine kopyalanıp topluluğa katılmasıyla giderilmektedir. Böylelikle nesildeki birey sayısı her adımda sabit kalmaktadır.

Daha sonraki aşamalara katılma hakkını kazanan bireylerle yenilen nesilden daha iyi çözümler üretmek amacıyla popülasyondaki bireylere bir seri genetik operatörler uygulanır. Kullanılan bu genetik operatörler çok çeşitli olmakla birlikte bu çalışmada seçme ve kopyalama (üreme), çaprazlama ve değişim (mutasyon) operatörleri kullanılmaktadır. Bu operatörlerin uygulanmasından sonra genetik süreç tamamlanır ve bu aşamada yeni nesil hazırdır. Genetik süreç belirlenen nesil sayısına veya varsa empoze edilmiş sonlandırma kriterlerinin sağlanmasına kadar tekrarlanır.

Bundan sonraki bölümde kullanılan ve literatürde rastlanılan diğer bazı operatörlerle ilgili detaylı bilgiye yer verilmektedir.

2.3.1. Genetik Operatörler

Keyfi olarak oluşturulan başlangıç neslinden hareketle optimum çözümlerin içinde bulunduğu sonuç nesline ulaşılması, önceden bilinmeyen iterasyon adımlarıyla genetik

sürecin başlangıç nesli ve bir birini takip eden nesillere uygulanmasını gerektirir. Bu süreç boyunca nesli oluşturan bireylerin kodlanmış biçimlerine genetik operatörler aracılığıyla bir takım değişiklikler yapılır. Operatörler aracılığıyla yapılan bu değişikliklerle sonraki nesil bir önceki nesle oranla tasarım problemine daha iyi çözümler sunan bireylerden oluşmaktadır. Genel olarak genetik süreçteki operatörler basit işlemlerden oluşuyor olmalarına karşın, çözüme ulaşma hızı ve elde edilen çözümün optimum ve/veya optimuma yakın olmasında etkili olmaktadır.

2.3.1.1. Seçme ve Kopyalama Operatörü

GA Darwin'in bahsedilen doğal seçilim teorisini taklit ettiğinden, doğaya benzer biçimde nesillerdeki güçlü olan, doğal çevre olarak nitelendirebileceğimiz sınırlayıcıları ihlal etmeyen ve bir sonraki neslin üremesinde rol oynayacak bireyler uyum derecesiyle belirlenir. Uyum değerlerinin bireylere atanabilmesi için sistemin analizinin yapılp gerekli denetimlerin yapılması gerekmektedir. Uyum derecesi bireyin, popülasyonun diğer bireylerine oranla tasarım probleminin amaç fonksiyonu değerini minimizasyon için en az, maksimizasyon için en çok yapmasının yanı sıra yine tasarım probleminin sınırlayıcılarını ihlal etmeme durumunu belirten sayısal değerlerdir. Bu sayısal değerler işlem kolaylığı sağlaması bakımından tam sayı değerlerine yuvarlatılarak kullanılırlar. Uyum derecesi en yüksek olan birey güçlü olduğundan daha sonraki aşamalar için seçilir. Uyum derecesi düşük olan birey ise doğal seçilime göre elenir. Seçilen bireyler üstün bireyler olduklarından neslin üremesinde yani iyi çözüme ulaşmada aktif olmalıdırlar. Kopyalama operatörü bu üstün bireyleri elenen zayıf bireyler yerine topluluğa katmaktadır. Bu işlem sonucu birey olduğu gibi alındığından gen yapısında bir değişiklik olmamaktadır.

Şekil 1'deki sistem için sekiz bireyden oluşan bir popülasyonun başlangıç nesli olarak seçildiği ve bireylerin 4 bitlik bir gen yapısı ile temsil edildiği kabulü ile açıklanmaya çalışılan seçme ve kopyalama operatörünün işleyişi Tablo 1'de sunulmaktadır.

Böylece kopyalama sonucu bir sonraki nesilde üstün bireyler en az iki kez yer alırken zayıf bireyler ise hiç yer almayacaklardır. Nesildeki birey sayısı da, kopyalamayla sabit tutulmaktadır. Ancak nesil artık sunmuş olduğu çözümü, optimum çözüme uzak olan derecesi zayıf bireylerden arındırılmış ve çoğunluğunu sunduğu çözümle optimum çözüme

Tablo 1. 8 bireyli bir popülasyonda seçme ve kopyalama operatörünün işleyişi

Birey No	Başlangıç nesli	Uyum Değerleri	Tamsayı Değerleri	Seçilen Bireyler	Kopyalama Adedi	Operatörlerden sonraki nesil
1	1-1-3-2	0.58	1	Elenir	0	5-2-4-2
2	5-1-6-2	1.23	1	Yaşar	1	5-1-6-2
3	7-3-2-4	0.89	1	Yaşar	1	7-3-2-4
4	5-2-4-2	1.58	2	Yaşar	2	5-2-4-2
5	2-1-3-4	0.45	0	Elenir	0	6-2-3-4
6	6-2-3-4	1.89	2	Yaşar	2	6-2-3-4
7	4-2-6-5	0.67	1	Yaşar	1	4-2-6-5
8	8-4-3-2	0.98	1	Yaşar	1	8-4-3-2

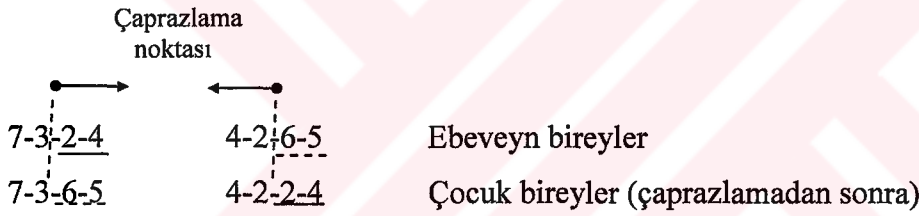
daha yakın olan bireylerin oluşturduğu nesil haline gelmiştir. Oluşan bu nesilden daha iyi çözümler üretmek üzere nesile genetik algoritmanın çaprazlama operatörü uygulanır.

2.3.1.2. Çaprazlama Operatörü

Uygulanan seçme ve kopyalama operatörü aracılığıyla nesildeki mevcut bireyler arasında daha iyi olanlar korunup çoğaltılmakta ve topluluğu teşkil eden bireylerin üstün bireylerden oluşması sağlanmaktadır. Bu işlemde mevcut bireylerde herhangi bir değişim gerçekleştirilmemektedir. Oysa GA, bireyleri keyfi olarak oluşturulduğundan optimum çözümden uzak olan başlangıç neslinden hareket ederek daha iyi çözümlere sahip yeni bireylerden oluşan yeni nesillere ulaşmayı hedeflemektedir. Bunun için zayıf bireylerden arındırılan nesle yeni bireyler katmak üzere bireylerde değişim yaparak daha iyiye ulaşmak amacıyla çaprazlama operatörü uygulanır.

Bu operatörün uygulanabilmesi için öncelikle bir önceki operatörün uygulanmasıyla elde edilen eşleme veya çaprazlama havuzu olarak adlandırılan (Tablo 1'deki son sütün) havuzdaki bireyler keyfi olarak çiftler halinde eşleştirilir. Eşleştirilen bu çiftlerin (ebeveynlerin) sahip oldukları kodlanmış tasarım karakterleri (genleri) değiş-tokuş yoluyla bu çiftlerden oluşturulan çocuk bireylere aktarılır. Böylelikle ebeveynlerden gelen ve yavru bireylerde birleşen iyi huylu karakterler aracılığıyla tasarım kümesine daha iyi adapte olmuş bireylerin oluşması sağlanır. Çiftler arasında tasarım karakterlerinin değiş-tokuşu literatürde değişik biçimlerine rastlanabilen çaprazlama teknikleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Literatürde GA'da çaprazlama tekniği olarak genellikle üç başlık altında toplanabilen teknikler kullanılmaktadır. Bunlar sabit noktalı, değişken noktalı ve düzenli çaprazlama teknikleridir.

Sabit Noktalı Çaprazlama: Ebeveyn bireylerden tasarıma daha iyi çözümler üretmek amacıyla bireylerin tasarım karakterlerinin değiştirilmesi işlemine, bu teknikte daha önceden keyfi olarak belirlenen ve çaprazlama noktası olarak adlandırılan bir sayısının belirlenmesiyle başlanmaktadır. Bu sayı ikilik kodlamada en az 1 değerini alırken, en fazla tasarım değişkenlerinin bir araya gelmesiyle oluşan bireyin gen uzunluğunun bir eksiği olmaktadır. Literatürde *tek noktalı çaprazlama* tekniği olarak adlandırılan bu tekniğin işleyişine, rasgele belirlenen çaprazlama noktasından ebeveyn bireylerin baş ve kuyruk diye isimlendirilen iki kısma ayrıştırılmasıyla devam edilir. Bundan sonra kuyruk kısımları ebeveyn bireyler arasında karşılıklı olarak değiş-tokuş yapılır. Böylelikle evlat bireyler oluşturulmuş olunur. Şekil 1'deki sistem için Tablo 1'in son sütununda verilen çaprazlama havuzundan keyfi olarak eşleştirilen bireylerin 3 ve 7, keyfi olarak belirlenen çaprazlama noktasının ise 2 olması durumunda tekniğin işleyişi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Bireylerde tek noktalı çaprazlama tekniğinin işleyişi

Tek noktalı çaprazlama tekniği, Şekil 2'de de gösterildiği gibi ebeveyn bireylerin tasarım karakteristiklerini belirli bir gen konumundan itibaren değiştirdiğinden başlangıç nesli gibi keyfi olarak belirlenen ve tasarımın optimum çözümünden, büyük olasılıkla uzak çözümler sunan bireylerden oluşan popülasyonlarda, yeni bireylerin elde edilmesinde etkin olmaktadır. Yani adaptasyonu düşük bireylerden daha iyi bireyler üretebilmektedir. Ancak iterasyon adımları ilerledikçe tasarım kümesine iyi adapte olmuş bireylerde büyük değişimlere neden olmaktadır. Bu nedenle GA'da kullanımları sık tercih edilmemektedir. Şekil 2'de bireylerin değer kodlamasındaki karşılıkları üzerinde işlem yapılmaktadır. GA'da farklı kodlama biçimleri tercih edilebilmektedir. Bireylerin ikilik ve reel kodlaması ile belirlenmesi durumunda yapılan işlem yine aynıdır. Ancak reel kodlamada keyfi olarak belirlenen çaprazlama noktası değeri en az bir olurken, en çok tasarım değişkeni sayısı

kadar olmaktadır. Keyfi olarak belirlenen bireylerin ve çaprazlama noktalarının aşağıdaki gibi olması durumunda tek noktali çaprazlama, ikilik ve reel kodlamasında Şekil 3'deki gibi işlemektedir.

001100 011010	111110 000111	Ebeveyn bireyler (ikilik kodlama)
001100 000111	111110 011010	Çocuk bireyler
19.8 30.5-26.7-23.0	43.3 38.9-16.7-43.3	Ebeveyn bireyler (reel kodlama)
19.8 38.9-16.7-43.3	43.3 30.5-26.7-23.0	Çocuk bireyler

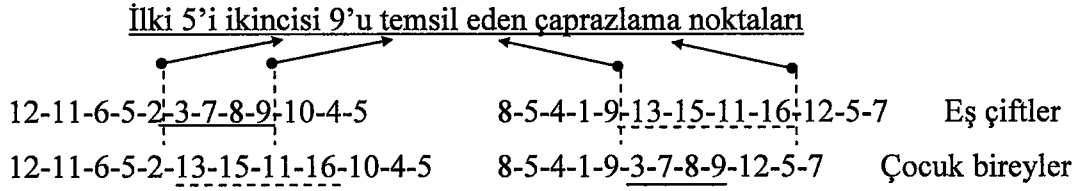
Şekil 3. İkilik ve reel kodlamada bireylerde tek noktali çaprazlama tekniğinin işleyişi

Değişken Noktali Çaprazlama Tekniği: Tasarım karakteristiklerinin seçilen çiftler arasındaki değişimi bu teknikte sabit noktali çaprazlama tekniğinin aksine genetik süreçte çaprazlama noktası sayısının değişimine izin verilmesiyle farklı sayıdaki noktalardan gerçekleştirilebilmektedir. Belirlenen maksimum çaprazlama nokta sayısı ile beraber çaprazlama noktası sayısı, bu maksimum değeri aşmayacak biçimde algoritma tarafından keyfi olarak belirlenmektedir. Belirlenen maksimum çaprazlama nokta sayısı genellikle 3 olmaktadır. Buna göre ebeveyn bireyler genetik süreçte keyfi olarak belirlenen 1, 2 ve 3 noktali çaprazlama tekniklerinden birine tabii tutulurlar. Böylelikle popülasyondaki çiftlerden bazıları 1, bazıları 2, bazıları da 3 noktali çaprazlamaya uğrayacaklardır.

Her bir ebeveyn çift için üç olası çaprazlama noktasının keyfi olarak belirlenmesinden dolayı teknik değişken noktali olarak anılmaktadır. Çaprazlama noktasının belirlenmesinden sonraki işleyiş sabit noktali çaprazlama ile aynı olmaktadır. Eğer algoritmaya seçtirilen çaprazlama noktaları doğrudan algoritmaya empoze edilirse gerçekleştirilen çaprazlama sabit noktali çaprazlama olarak tanımlanabilir. Ancak burada çaprazlama noktası sayısı birden farklı olabilmektedir. Eğer çaprazlama noktası sayısı olarak algoritmaya 2 değeri empoze edilirse gerçekleştirilen çaprazlama literatürde *iki noktali çaprazlama* olarak isimlendirilmektedir.

İki noktali çaprazlama tekniğinde sabit noktali ile farklı olarak keyfi olarak iki adet sayı belirlenmekte ve ebeveyn bireylerin bu belirlenen sayılar arasındaki genleri değiş-tokuş yapılmaktadır. Çaprazlama noktalarını belirten bu sayılar bireyin gen uzunluğunun l

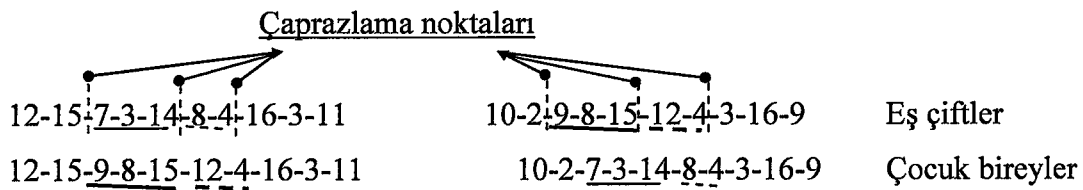
olması durumunda 1 ile ($\ell-1$) arasında olmaktadır. Ayrıca çalışmada bundan farklı olarak keyfi olan bu sayılar arasındaki farkın en az iki ve bu sayıların ilkinin 1 ikincisinin de ($\ell-1$) olmaması istenmektedir. İki noktalı çaprazlamanın, değer kodlamasıyla 12 bitlik bir gen dizisinden oluşturulan keyfi olarak eşleştirilen ebeveyn çiftlerde ve yine keyfi olarak seçilen çaprazlama noktalarının 5 ile 9 olması halinde uygulaması Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Bireylerde iki noktalı çaprazlama tekniğinin işleyişi

Bireyler için GA'da farklı kodlama türleri kullanmak istendiğinde de iki noktalı çaprazlama tekniğinin kullanımı aynı olmaktadır. Çaprazlama noktası olarak algoritmaya 3 değerinin empoze edilmesiyle eşlerin rasgele seçilen 3 gen pozisyonunu belirten çaprazlama noktaları arasındaki genlerin eş bireyler arasında değiştirilmesiyle çocuk bireyler elde edilmektedir. Gerçekleştirilen bu çaprazlama tekniği *3 noktalı çaprazlama* olmakta ve 1 ile 2 noktalı çaprazlamaya göre daha az etkin olmaktadır (Chen ve Chen, 1997).

Değer kodlamasının kullanılmasıyla 16 adetlik bir listeden enkesit alan değeri alabilen on tasarım değişkeninin birleştirilmesiyle oluşturulan bireylerin rasgele eşleştirilmesiyle elde edilen çiftlerde yine rasgele belirlenen değiştirilecek gen pozisyonlarını belirten 3 çaprazlama noktasının 2, 5, ve 7 olması durumunda 3 noktalı çaprazlamanın genetik süreçteki işleyişi Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Değer kodlamasında 3 noktalı çaprazlama tekniğinin işleyişi

Düzenli Çaprazlama Tekniği: Düzenli çaprazlamada, eşler arasında tasarım karakterlerinin değişimi, olası çözüm olan bireylerin gen dizisi uzunluğuna denk, bit karakterleri keyfi olarak belirlenen çaprazlama maskesi olarak adlandırılan bir üçüncü gen dizisinden faydalanarak yerine getirilir. Düzenli çaprazlama tekniği yapı olarak diğer çaprazlama tekniklerinden farklı bir yöntem takip etmektedir. Buna göre ebeveynlerden üretilecek çocuk bireyler, çaprazlama maskesinin “0” bit pozisyonlarında çaprazlama gerçekleştirilmeden birinci bireydeki, “1” bit pozisyonlarında ise çaprazlama gerçekleştirilerek ikinci bireydeki gen karakterlerinin çocuk bireye aktarılmasıyla elde edilmektedir. Birinci çocuğun üretilmesinde çaprazlama maskesine göre eş bireylerden kullanılan genlerden arda kalanlar ikinci çocuğun elde edilmesinde kullanılır.

Şekil 6’da her biri 16 adetlik bir profil listesinden enkesit alanı alabilen 4 adet tasarım değişkenine sahip eş bireyler için düzenli çaprazlama tekniğinin işleyişine ait bir örnek verilmektedir. Bu örnekte eş çiftler ikilik kodlama ile kodlanılmıştır. Düzenli çaprazlama genellikle bu tür kodlama biçiminde tercih edilse de işleyişi diğer kodlama biçimlerinde de aynı olmaktadır.

Cao (1996) düzenli çaprazlamayı algoritmaya daha önceden belirtilen bir çaprazlama oranında uygulamıştır. Buna göre çaprazlama maskesindeki bit karakterlerinin “0” pozisyonlarında eş çiftler arasında gen değişimi olmamakta ancak “1” pozisyonlarında sıfır ile bir arasında keyfi olarak belirlenen bir değer algoritmaya empoze edilen çaprazlama oranından küçük olması durumunda eşler arasında gen değişimi gerçekleşmektedir. Cao’ya (1996) göre düzenli çaprazlama için bu oran genellikle %20 ile %40 arasında belirlendiği belirtilmektedir (Adeli, 1993). Şekil 6’da örneklenen düzenli çaprazlamada bu oran %100 olmaktadır.

	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	çaprazlama maskesi
1. birey	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
2. birey	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
1. çocuk	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	
2. çocuk	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	

Şekil 6. Düzenli çaprazlama tekniği

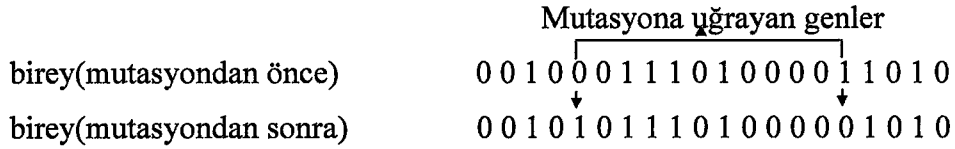
Erbatur ve Hasacebi (1997) aprazlama tekniklerinden tek noktali ve dzenli çaprazlama tekniklerinin çözme ulaştırma performanslarını yapı optimizasyonu problemi üzerinde deneyerek (Hasacebi ve Erbatur, 1996) bu tekniklerin verilen belirli bir iterasyon sayısı için, seçilen iterasyon oranlarında kullanımı esasına dayanan yeni bir karma çaprazlama tekniği sunmuşlardır. Bu teknikte özellikle seçilen iterasyon sayısının ilk dörtte birinde dzenli çaprazlama, kalan dörtte üçünde ise tek noktali çaprazlama kullanan karma çaprazlama tekniğinin, tekniklerin teker teker kullanılması veya başka karma olasılıklarının kullanılmasına kıyasla daha iyi çözümler ürettiğini gözlemlemişlerdir.

2.3.1.3. Mutasyon Operatörü

Mutasyon operatörü popülasyondaki bireyler kopyalanıp aprazlandıktan sonra, keyfi olarak belirlenen birey ve bireylerin genlerinde tasarım kümesinin belki de ulaşılamayacak bazı bölgelerinin araştırılması yönünde rasgele değişiklik yapan bir operatördür. Genlerdeki değişimin sağlanabilmesi için bireyin ikilik kodlama ile oluşturulması durumunda, bireyin “0” olan bir geninin “1” e, “1” olan geninin ise “0” a dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu operatör genellikle GA uygulamalarında düşük olasılıkta kullanılmakta veya kullanılmamaktadır. Zira mutasyon operatörünün yüksek oranlarda kullanımı bireylerin gen karakterlerinde aşırı değişime yol açacağından o ana kadar elde edilen yararlı bilgilerin kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle bu operatörün literatürde genellikle düşük bir olasılık altında kullanımı tavsiye edilmekte ve böylece tasarım kümesinin daha geniş ve etkin bir şekilde araştırılabileceği belirtilmektedir.

Operatörün bu şekilde bit değerlerini değiştirebilmesi ancak ikilik kodlamada mümkün olmaktadır. Değer veya reel kodlama biçimlerinde tasarım değişkenleri 0 veya 1 bit karakterleri ile temsil edilmediğinden değişim keyfi seçilen bit pozisyonuna yine keyfi yeni bir gen atanmasıyla olabilmektedir.

Algoritmada tasarım kümesinin farklı bölgelerindeki çözümleri araştırabilmek amacıyla rasgele belirlenen bireyin keyfi olarak belirlenen bir gen pozisyonuna uygulanan mutasyon Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Mutasyon operatörü

Jenkins (2002) mutasyon operatörünün büyük olasılık değerlerindeki yıkıcı (değiştirici) özelliğinden faydalanarak algoritmasında çaprazlama operatörü kullanmamıştır. Değer kodlaması yaparak rasgele oluşturduğu başlangıç popülasyonundan hareketle çözüme ulaşabilmek için keyfi ve zeki olarak adlandırdığı mutasyon operatörlerini kullanmıştır. Keyfi mutasyon operatörü kullanımında daha önceden empoze edilen bir mutasyon oranında, uyum değerlerine göre üst ve alt düzey bireyleri olarak ayırdığı bireylerden alt düzeyde olanlarının hepsinde değişim yapmıştır. Zeki mutasyon operatörü kullanımında ise yine alt düzey bireylerinin temsil ettiği tasarım değişkenlerindeki gerilme değerinin, emniyet gerilmesini aştığı hallerde bireylerde artırıcı, gerilme değerinin emniyet gerilmesi değerinden çok düşük olduğu hallerde bireylerde eksiltici bir değişim yapmıştır.

Bu operatörün uygulanmasından sonra üç operatörden (seçme ve kopyalama, çaprazlama ve mutasyon) oluşan ve çalışmada algoritması kurulan genetik süreç (döngü) tamamlanır. Bu aşamada yeni nesil hazır olmaktadır. Sonuca ulaşılıncaya kadar bir sonraki neslin oluşumu içinde aynı genetik işlemler tekrar edilmektedir.

GA'da bu üç operatörden farklı olarak başka operatörlerde kullanılabilir. Farklı tip genetik operatörlerle ilgili detaylı bilgi Goldberg (1989)'de yer almaktadır. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılan ve literatürde sıkça rastlanılan elitist stratejiye aşağıda yer verilmektedir.

2.3.1.4. Elitist Strateji

En iyi bireyin korunumu olarak tanımlayabileceğimiz elitist strateji ile ilgili değişik kullanımlar söz konusudur. Bazı kullanımlarında bir önceki iterasyon adımının en iyisi yeni adımdaki popülasyonun en kötüsü ile değiştirilmek suretiyle iterasyonlara devam edilmekte iken, diğer bazı kullanımlarında ise bir önceki iterasyon adımının en iyisi

mevcut adımdaki iyi bireyden iyi ise onunla değiştirilmek suretiyle genetik sürece devam edilmektedir.

Weldali ve Saka'ya (1999) göre, bir önceki iterasyon adımıdaki en iyi bireyin bir sonraki adımın en kötü bireyi ile değiştirmek popülasyonda hep iyilere yer verilerek önceki iyunin genetik süreç sonunda kaybolması engellenmiş olduğundan bu operatörün bu şekilde kullanımı daha iyi sonuç verebilmektedir.

Genetik süreçte bir önceki iterasyon adımının en iyi bireyini saklayarak mevcut adımdaki en kötü birey ile değiştirecek biçimde elitist stratejinde dahil olduğu bir algoritmada 10 bireyden oluşan popülasyon için i . ve $(i+1)$. iterasyon adımlarında uyum derecelerine göre belirlenen en iyi ve en kötü bireylerin elitist strateji ile değişimi Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. 10 bireyli bir popülasyonda elitist stratejinin uygulanışı

Birey No	i . İterasyon adımı	Uyum Derecesi	$(i+1)$. iterasyon adımı	Uyum derecesi	$(i+1)$. adımın operatörlere uğrayacak yeni popülasyonu
1	5-3-7-8-9-14	0.58	5-7-16-11-9-10	1.23	5-7-16-11-9-10
2	11-5-9-12-7-7	1.23	15-8-9-10-14-7	0.87	15-8-9-10-14-7
3	8-4-1-11-10-9	0.89	7-2-6-9-11-14	1.67	7-2-6-9-11-14
4	4-9-9-7-12-11	1.58	4-9-7-7-13-14	1.43	4-9-7-7-13-14
5	3-3-1-5-8-10	0.45	6-9-4-3-2-9	1.13	6-9-4-3-2-9
6	7-6-5-9-10-9	1.89	1-5-3-7-2-3	0.54	7-6-5-9-10-9
7	4-5-2-4-9-11	0.67	8-2-9-11-5-16	1.56	8-2-9-11-5-16
8	16-3-7-8-14-5	0.98	11-7-5-3-9-15	1.78	11-7-5-3-9-15
9	2-13-11-9-7-7	0.38	5-12-10-8-7-9	0.78	5-12-10-8-7-9
10	11-14-16-15-8	1.12	10-13-11-4-9-3	1.08	10-13-11-4-9-3

Tablo 2'nin 2. sütununda yer alan i . iterasyon adımına ait bireyler arasında en iyi olan 6. birey ile 4.sütununda yer alan $(i+1)$. iterasyon adımına ait bireyler arasında en kötü olan 6. birey elitist stratejiye göre değiştirilmiş ve $(i+1)$.iterasyon adımı için genetik operatörlere uğrayarak $(i+2)$.iterasyon adımı için elde edilecek yeni popülasyonun oluşumunda kullanılacak popülasyon elde edilmiştir (Tablo 2'deki son sütun).

2.4. Optimum Tasarım Algoritması

Tanımlanan tasarım problemine yönelik üretilen çözümün kabul edilebilir olması için sınırlayıcılara uyması gerekmektedir. Optimum çözüme ulaşmada kullanılan ve çalışmada

çelik kafes köprü kirişlerinin hareketli yük altında, iletim hattı kulesi ile kubbe biçimli olan üç boyutlu çelik kafes sistemin düşey ve yatay yükler altında optimizasyonunda kullanılacak GA, sınırlayıcısız optimizasyon problemlerine uygulanmaktadır.

Amaç fonksiyonu tek başına bir kromozomun tasarıma ne derecede iyi bir çözüm getirdiğini ölçebilir. Ancak, problemde sınırlayıcıların var olması kromozomların getirdikleri çözümlerin uygunluk değerleri, sadece amaç fonksiyonunu ne ölçüde sağladıklarıyla değil, aynı zamanda problem sınırlayıcılarını da ihlal edip etmediklerine göre de değerlendirilmelidir (Erbatur ve Hasançebi, 1997). Bu değerlendirme sınırlayıcıların amaç fonksiyonuna eklenmesiyle sağlanmaktadır.

GA'da sınırlayıcıların amaç fonksiyonuna entegrasyonu harici bir ceza fonksiyonu kullanımı ile gerçekleştirilir ve bir kaç tip ceza fonksiyonu kullanılmaktadır. Çift parçalı lineer ceza fonksiyonu, çok parçalı lineer ceza fonksiyonu ve lineer olmayan ceza fonksiyonu kullanımı tercih edilen ceza fonksiyonlarından bazılarıdır. Tüm ceza fonksiyonlarının ortak noktası çözüm dizisinin sunduğu çözümle sınırlayıcıları ihlal edip etmediğine dayanmaktadır. Eğer bir ihlal yoksa çözüm dizisine, ceza verilmemekte iken ihlalin olması durumunda çözüm dizisine ceza fonksiyonu aracılığıyla bir ceza değeri atanmaktadır.

Bu ceza değeri ceza fonksiyonlarının en basiti olan çift parçalı lineer ceza fonksiyonunda ihlalin olmadığı durumda, ceza olarak 1 değeri diziyeye atanmakta yani amaç fonksiyonuna bir ceza değeri gelmemektedir. İhlalin olduğu durumda ise p olarak simgelenen bir ceza katsayısı ile ihlal oranının çarpımıyla bulunan bir değer diziyeye atanmaktadır ((10) nolu bağıntı). p oranının düşük olması durumunda sınırlayıcıları hafif düzeyde ihlal eden bir bireyle ağır olarak ihlal eden birey ayırt edilebiliyorken, büyük olması durumunda ise hafif ihlalli bireylere büyük ceza değerleri atanabilmektedir (Cao, 1996).

$$\Psi_i = \begin{cases} 1 & \text{ise } \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| \leq 1 \\ p \cdot \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| & \text{ise } \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| > 1 \end{cases} \quad (10)$$

Çok parçalı lineer ceza fonksiyonunda iki parçalıdan farklı olarak ceza fonksiyonu, ihlal durumuna bağlı olarak birkaç seviye ayrılmaktadır. Yani ihlalin durumuna bağlı

olarak ceza atanmaktadır. Böylelikle hafif ihlal ile ağır ihlal durumu uygulanan ceza derecesine bağlı olarak ayrılmaktadır (bağıntı (11)).

$$\Psi_i = \begin{cases} 1 & \text{ise } \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| \leq 1 \\ p_1 \cdot \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| & \text{ise } 1 \leq \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| \leq c_1 \\ p_2 \cdot \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| & \text{ise } c_1 < \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| \end{cases} \quad (11)$$

Lineer olmayan ceza fonksiyonunda ise ihlalin karesi alınarak bireylere atanmaktadır (bağıntı (12)).

$$\Psi_i = \left[1 + p \sum_{j=1}^N (r_j - 1)^2 \right]$$

$$r_j = \begin{cases} 1 & \text{ise } \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| \leq 1 \\ \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| & \text{ise } \left| \frac{st_i}{st_{max}} \right| > 1 \end{cases} \quad (12)$$

(10), (11) ve (12) nolu bağıntılarda yer alan ifadelerde, st_i i . deplasman veya gerilme değerini, st_{max} bu değere getirilen üst değeri yani sınır değerini, p , p_1 ve p_2 ceza katsayılarını, c_1 ihlalin derecesini belirten bir değer ve N 'de sistemdeki sınırlanan deplasman ve gerilme değerlerinin toplamını simgelemektedir. Bağıntı (11)'de $p_2 > p_1$ olmaktadır.

Böylelikle , ilk amaç fonksiyonu, ceza fonksiyonunun eklenmesiyle değişmekte ve *cezalandırılmış (değiştirilmiş) amaç fonksiyonu* (bağıntı (13)) olarak anılmaktadır. Tasarımda amaç en az ağırlıklı sistemi, sınırlayıcılar altında veren çözümü elde etmek olduğundan ilk amaç fonksiyonu tek başına sistemin teşkil eden elemanların toplam ağırlığını belirtmektedir. Çözümün etkinliği hakkında bir görüş ortaya koyamamaktadır. Zira bulunan çözümün sınırlayıcıları ne ölçüde ihlal ettiğini bilmeksizin çözümün uygulanabilirliğinden söz edilememektedir. Oysa cezalandırılmış amaç fonksiyonu belirttiği sonuçla çözümün kalitesi hakkında da bir yargı ortaya koymaktadır. Böylelikle

kabul edilebilir çözümlerde cezalandırılmış amaç fonksiyonu değerinin sistem ağırlığına dolayısı ile amaç fonksiyonuna eşit olduğu görülebilmektedir.

$$\min \Phi(x_i) = W(x_i) \times (1 + ceza(x_i)) \quad (13)$$

Sınırlayıcıların ele alınması temel bir genetik işlem değildir, ancak GA'nın seçme işlemcisi üzerinde doğrudan doğruya çok kuvvetli bir etkisi vardır. Bu çalışmada Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) tarafından verilen ve çift parçalı lineer ceza olarak nitelendirebileceğimiz normalize edilmiş sınırlayıcı ihlaline dayanan ceza fonksiyonu kullanılmaktadır. Sınırlayıcıların normalize edilmiş biçimleri aşağıda ifade edilmektedir.

Deplasman sınırlayıcısı;

$$g_s(x) = \delta_s / \delta_{su} - 1 \leq 0 \quad s=1, \dots, rd \quad (14)$$

Çekme çubukları için gerilme sınırlayıcısı;

$$g_d(x) = \sigma_{ei} / \sigma_{cem} - 1 \leq 0 \quad d=1, \dots, nt \quad (14.1)$$

Basınç çubukları için gerilme sınırlayıcısı;

$$g_d(x) = \sigma_{ei} / \sigma_{bem} - 1 \leq 0 \quad d=1, \dots, nt \quad (14.2)$$

Burada σ_{bem} daha önce bahsedildiği üzere TS 648'e veya AISC-ASD' ye göre hesaplanan basınç emniyet gerilmesidir. Böylece artık sınırlayıcısız bir probleme dönüşen tasarıma ait *değiştirilmiş amaç fonksiyonumuz* $\Phi(x)$ aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir.

$$\Phi(x) = W(x) \left(1 + P \sum_{i=1}^m c_i \right) \quad (15)$$

Burada $W(x)$ (3)' de ifade edilen amaç fonksiyonudur. P problemin türüne göre önceden seçilen bir ceza katsayısıdır ve kafes sistemler için 10 değeri uygun bulunmaktadır (Rajeev ve Krishnamoorthy, 1992). Tasarımın kati suretle sınırlayıcılara riayet etmesinin ön planda olduğu durumlarda P katsayısı daha büyük seçilerek hafif ihlal düzeyli çözümlere de daha ağır ceza değerleri atanarak sınırlayıcıların kesinlikle ihlal edilmediği

çözümlerin aranması sürdürülebilir. Mühendislik tasarımlarında hafif düzeyli ihlallere izin verilebildiğinden tasarımın minimum ağırlıklı olması ön planda tutulduğu durumlarda da P katsayısı küçük alınarak aşırı ihlal düzeyli bireylerin yer almadığı ağırlığı daha az olan çözümlerin aranması sağlanabilmektedir (Aydın, 2000).

Weldali ve Saka (1999) P katsayısı için 1, 10, 20, 50 ve 100 değerlerini kullanarak tasarımlar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan tasarımlarda geometrinin ve makas açıklığının sabit olduğu durumlarda P katsayısı değişiminin duyarlı olmadığını ve farklı P değerleri için hep aynı sonuca gidildiğini gözlemlemişlerdir. Oysa makas yüksekliği ve açıklığının da değişken olması durumunda P katsayısı değişiminin duyarlı hale geldiğini ve 10 değeri için en hafif tasarımın elde edildiğini belirtmişlerdir. Bunun nedeni olarak da birinci durumda çözüm kümesinin küçük olmasından dolayı az olan yerel optimum çözümlere takılmadan optimum çözüme ulaşılabilirken, ikinci durumda tasarım değişkeni sayısının artması ile çözüm kümesi büyümekte bununla beraber yerel optimum noktalarıda artmaktadır. Bu yerel noktalara takılabildiğinden farklı P değerleri için farklı sonuçlara ulaşıldığı gösterilmektedir.

Bu çalışmada da P değeri 10 olarak dikkate alınmaktadır. Denklem (15)'deki c_i ise aşağıda belirtildiği gibi hesaplanan ihlal edilme katsayısıdır.

$$g_i(x) > 0 \text{ ise } c_i = g_i(x)$$

$$g_i(x) \leq 0 \text{ ise } c_i = 0 \quad (16)$$

Burada $i = 1$ ' den başlayarak sistemdeki toplam sınırlayıcı sayısı olan m ' ye kadar değişmektedir. $\Phi(x)$ 'in minimumu GA ile elde edilecek bir sınırlayıcı fonksiyondur. GA' da bireyler arasındaki seçilimin gerçekleştirilebilmesi için bir kritere ihtiyaç vardır. Tasarım problemine uygulanan GA'da bireylerin seçilimini sağlayan uyum değerlerinin belirlenebilmesi için gerekli formülasyon aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$F_i = (\Phi(x)_{\max} + \Phi(x)_{\min}) - \Phi_i(x) \quad (17)$$

Burada F_i i. bireyin uyumunu $\Phi(x)_{\max}$ ve $\Phi(x)_{\min}$ ise (15) ifadesinin tüm popülasyon içerisindeki maksimum ve minimum değerlerini göstermektedir. $\Phi_i(x)$ ise i. birey için (15) ifadesiyle hesaplanan değerdir. Her bir bireyin yaşamını yitirmesine veya

kopyalanmak üzere eşleme havuzuna gönderilmesine (yaşamaya devam etmesine) yarayan uyum faktörü ise, F_i / F_{ort} biçiminde hesaplanmaktadır. F_{ort} değeri ise popülasyondaki bireylerin uyum dereceleri toplamının popülasyondaki birey sayısına (n) bölümüyle $(\sum_{i=1}^n F_i) / n$ bulunmaktadır. Popülasyondaki her bir bireyin uyum faktörü değerleri hesaplandıktan sonra bu değerler tam sayı değerlerine yuvarlanır. Doğal olarak bu tam sayı değerlerine göre iyi bireyler en az bir kez eşleme havuzuna kopyalanırken, kötü bireyler hiç kopyalanmayacaktır (Kopyalama ve Üreme operatörü). Böylelikle ardışık adımlarda popülasyondaki birey sayısı aynı kalacaktır.

Eşleme havuzu oluşturulduktan sonra bireyler keyfi olarak eşlenir ve genetik algoritmanın çaprazlama operatörü daha önce bahsedildiği biçimde bu eşlere uygulanır. GA' da genetik süreçte çaprazlama operatöründen sonra değişim (mutasyon) operatörü kullanılır. Mutasyonun bireylerdeki tasarım kümesine iyi adapte olmuş genlerde yıkıcı bir etkiye yol açmadan kullanılması durumunda, tasarım kümesinin daha geniş ve etkin bir şekilde araştırılması beklenmektedir.

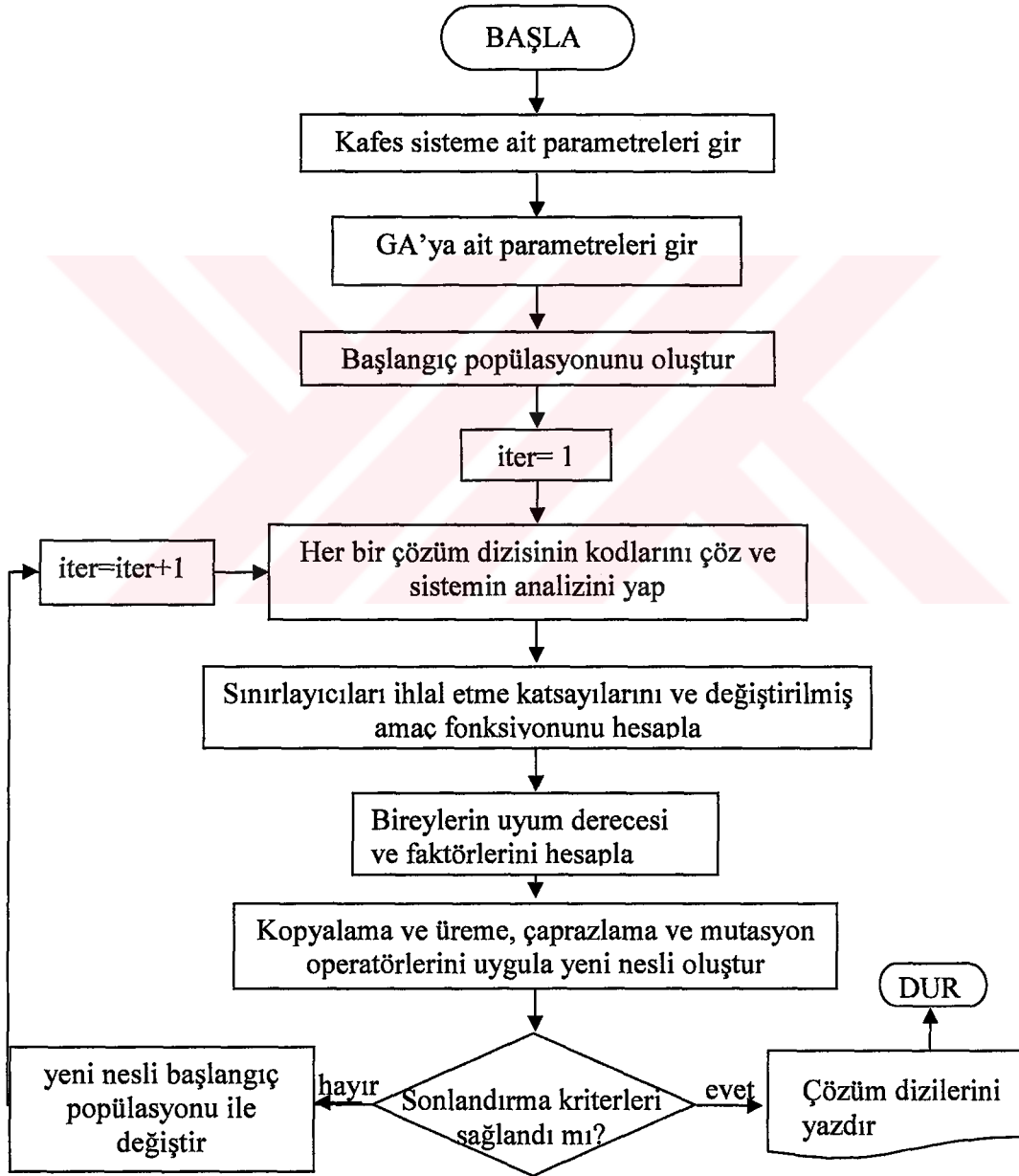
Bu operatörün uygulanmasından sonra süreç (döngü) tamamlanır ve bu aşamada yeni nesil hazırdır. Süreç belirlenen nesil sayısına veya varsa empoze edilmiş sonlandırma kriterlerinin sağlanmasına kadar tekrarlanır. Çalışmada sonlandırma kriteri olarak 200 iterasyon adımı ve %85 yakınsaklık dikkate alınmıştır.

Özetlenmeye çalışılan GA' ya dayalı optimizasyon tekniğinde izlenen adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

1. Yapı sistemine ait geometrik ve sistem elemanları özellikleri, dış yükleme durumu girilir.
2. Popülasyon büyüklüğü, tasarım değişkeni sayısı ve uzunlukları girilir.
3. Başlangıç popülasyonu oluşturulur.
4. Kodlama biçimine bağlı olarak her bir tasarım değişkeni için listedeki sıra numarası bulunur.
5. Yapının statik analizi yapılır.
6. Her bir birey için sınırlayıcıların ihlal edilme katsayıları ve sınırlayıcısız fonksiyon değerleri hesaplanır.
7. Bireylerin uyum dereceleri ve uyum faktörleri hesaplanır.
8. Uyum faktörlerine bağlı olarak bireyler eşleme havuzuna kopyalanır.
9. Çaprazlama ve değişim operatörü uygulanarak yeni nesil elde edilir.

10. Yeni nesil başlangıç popülasyonunun yerine konularak 4. adımdan 9. adıma kadar olan işlemler tekrarlanır. Bu işleme yeni topluluğun %85' i aynı bireyden teşkil olana kadar devam edilir. Bu birey optimum çözümü teşkil eder.

Yukarıda madde halinde verilen işlemleri düzlem kafes sistemlerin optimum tasarımlarında kullanmak üzere bir kodlama dilinde hazırlanan bilgisayar programının akış diyagramı Şekil 8'de gösterilmektedir. Bu program statik analiz için matris deplasman metodu kullanan bir analiz programı kodunu da içermektedir.



Şekil 8. Kodlanan optimum tasarım algoritması akış diyagramı

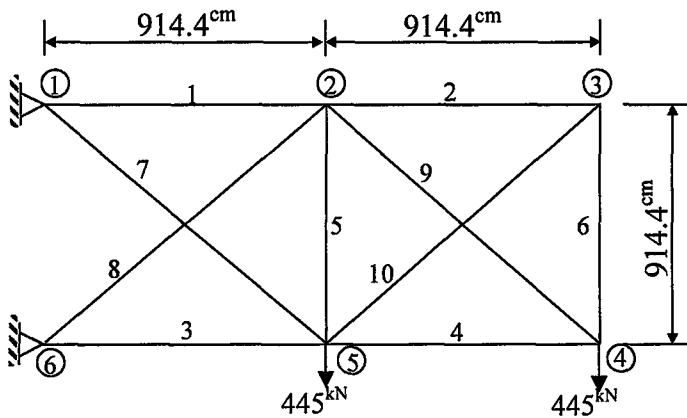
2.5. Tasarım Örnekleri

Çalışmada, sunulan algoritma aracılığıyla ilk önce üç boyutlu kafes sistemler olan iletim hattı kulesi ile kubbe biçimli bir sistemin önce en az ağırlıklı olacak biçimde boyutlandırılmaları (boyut optimizasyonu), daha sonrada aynı sistemlerin hem boyut hem de şekil optimizasyonları gerçekleştirilmektedir. Daha sonra üç farklı tip çelik kafes köprü kirişlerinin hareketli olan ve sistemler için dolaylı yükleme oluşturan taşıt yükü altında en az ağırlıklı olacak şekilde boyut optimizasyonları yapılmaktadır. Algoritmanın boyut ve boyut-şekil optimizasyonlarında kullanılabilirliğini gösterebilmek için literatürdeki bazı örneklerin sonuçları karşılaştırılmalı olarak aşağıda sunulmaktadır.

2.5.1. On Çubuklu Düzlem Kafes Sistem

On çubuklu konsol düzlem kafes sistem (Şekil 9) basit yapısı ve her bir elemanın tasarım değişkeni olarak kesit alanlarıyla temsil edilebildiğinden literatürde oldukça sık incelenmiştir. Bu sık kullanımından dolayı farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen optimizasyon tekniklerinin işlerliğini bu sistem üzerinde gösterebilmek geleneksel bir hal almıştır.

Sistem ilk olarak optimizasyon teknikleri ile incelenmeye tabii tutulduğunda, araştırmacıların pratiğe yönelik bir amaçtan ziyade optimizasyon yöntemlerine teorik açıdan yaklaşmalarından dolayı o dönemde basit sınırlayıcıların kullanımı tercih edilmiştir. Golberg ve Samtani (1986) çalışmalarında sistem için sadece gerilme sınırlayıcısını ve tek bir yükleme durumunu dikkate almışlardır.



Şekil 9. On çubuklu düzlem kafes sistem

Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) ise bu sistemi, değiştirerek yeniledikleri GA'nın işlerliğini gösterebilmede bu sistemi tercih etmişler ve tasarımlarında tek bir yükleme durumu dikkate almışlardır. Ayrıca 42 adetlik bir listeden seçilen 32 adetlik eleman kesit alanlarıyla ayırık tasarım değişkenlerini, gerilme sınırlayıcısına ilavetende deplasman sınırlayıcısını göz önüne almışlardır.

Geliştirilen yöntem veya değiştirilerek yenilenen algoritmaların işlerliğinin geleneksel olarak denendiği sistem olan Şekil 9'daki sistem, Groenwold vd. (1999) tarafından aksel stabiliteyi de kattıkları algoritmalarıyla yeniden incelenmiştir. Groenwold vd. (1999) tasarımlarında, Rajeev ve Krishnamoorthy'nin (1992) tasarımlarında dikkate aldıkları yükleme ve deplasman sınırlayıcısı durumlarını aynen alırlarken elastisite modülünü $E=206850 \text{ N/mm}^2$, malzeme yoğunluğunu $\rho= 0.000076 \text{ N/mm}^3$ olarak almışlardır. Tasarımda dikkate aldıkları aksel stabilite durumu için AISC-ASD şartnamesindeki tasarım koşulları geçerli olmaktadır.

Groenwold vd. (1999) tarafından tasarımda dikkate alınan alanlar ise 32 adet olup şöyledirler. 10.45, 13.74, 14.26, 15.16, 17.10, 18.97, 20.52, 24.71, 30.19, 35.74, 39.74, 45.68, 53.23, 58.9, 66.45, 75.48, 87.10, 90.97, 99.35, 110.32, 123.23, 136.13, 143.87, 149.68, 158.71, 165.16, 170.97, 181.94, 187.74, 197.42, 206.45, 216.13 cm^2 . Daha önceden de bahsedildiği üzere bu çalışmada kullanılan algoritmanın işlerliğini gösterebilmek için literatürden alınan örneklerden biride bu örnek olduğundan bu çalışmada sistemin incelenmesinden elde edilen sonuçlar ile literatürden alınan bazı sonuçların karşılaştırması Tablo 3 sunulmaktadır. Belirtilen profil alanların herhangi birisinin bir elemana kesit alanı olarak atanabilmesi için ikilik kodlamada karşılığının 5 bitlik bir karakterle temsil edilmesi gerekmektedir. Böylelikle Şekil 9'da görülen ve on elemandan oluşan sisteme olası tasarım çözümleri sunan birey $10 \times 5 = 50$ bitlik bir gen dizisine sahip olmaktadır. Başlangıç popülasyonu, algoritmaya keyfi olarak oluşturulmuş 30 adet bireyden meydana gelmektedir.

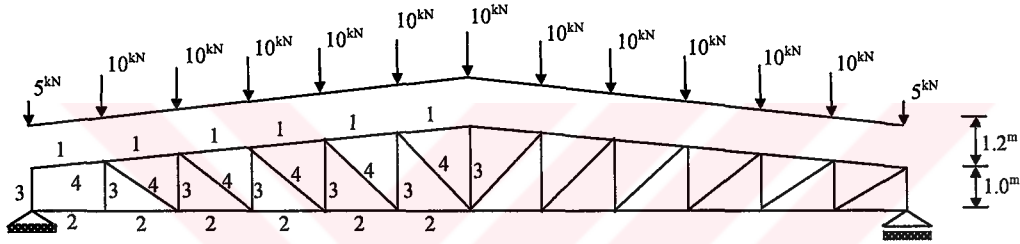
Tablo 3'den de görülebildiği üzere çalışma sonucu elde edilen sonuçlar diğer çalışma sonuçlarından daha hafiftir.

Tablo 3. On çubuklu düzlem kafes sistem için, eksenel stabiliteninde göz önüne alınarak çalışmada elde edilen sonuçlar ile literatürdeki diğer bazı çalışmalardaki sonuçların karşılaştırılması

Çalışma	A ₁ (cm ²)	A ₂ (cm ²)	A ₃ (cm ²)	A ₄ (cm ²)	A ₅ (cm ²)	A ₆ (cm ²)	A ₇ (cm ²)	A ₈ (cm ²)	A ₉ (cm ²)	A ₁₀ (cm ²)	Ağırlık (kN)
Bu çalışma	53.23	24.71	123.23	90.97	35.74	20.52	58.90	165.16	15.16	123.23	59.83
Aydın (2000)	53.23	30.19	149.68	90.97	10.45	30.19	66.45	149.68	15.16	123.23	60.16
Groenwold vd. (1999)	53.23	30.19	149.68	90.97	30.19	30.19	66.45	149.68	15.16	123.23	65.89

2.5.2. 49 Eleman, 26 Dügüm Noktalı Düzlem Kafes Sistem

GA ile Daloğlu ve Aydın (1999) tarafından da optimize edilen ve geometrisi, sistem eleman gruplandırması ile yükleme durumu Şekil 10'da görülen kafes sistem için Daloğlu ve Aydın (1999) tasarımlarında 4 gruba ayırdıkları sistem elemanları için 1 ve 2. grup için TS 911'den alınan $\frac{1}{2}$ I profili, 3 ve 4. grup için TS 908'den alınan eşit kollu L köşebenti kesit alanlarını kullanmışlardır. Ayrıca Daloğlu ve Aydın'ın (1999) çalışmalarında dikkate aldıkları diğer parametreler ise, elastisite modülü $E= 210 \text{ kN/mm}^2$, çelik malzemenin akma dayanımı $\sigma_a= 240 \text{ N/mm}^2$, açıklık ortasında sınırlana deplasman değeri 50 mm şeklindedir ve tasarımda TS 648'de yer alan tasarım koşullarına uyulmaktadır.



Şekil 10. 49 eleman, 26 düğüm noktalı düzlem kafes sistem

Bu çalışmada Şekil 10'daki sistem için Daloğlu ve Aydın'ın (1999) belirtmiş oldukları kesit alanları listesinden sistem elemanları için 1 ve 2. grup için TS 911'den alınan 8 adet $\frac{1}{2}$ I profili, 3 ve 4. grup için TS 908'den alınan 16 adet eşit kollu L köşebenti, kesit alanları kullanılmaktadır. Çalışmada dikkate alınan diğer parametreler Daloğlu ve Aydın (1999) ile aynıdır. Şekil 10'daki sistemin, bu çalışmada elde edilen optimizasyon sonuçları ile Daloğlu ve Aydın (1999) tarafından yapılan çalışmada elde edilen optimizasyon sonuçları Tablo 4'de sunulmaktadır.

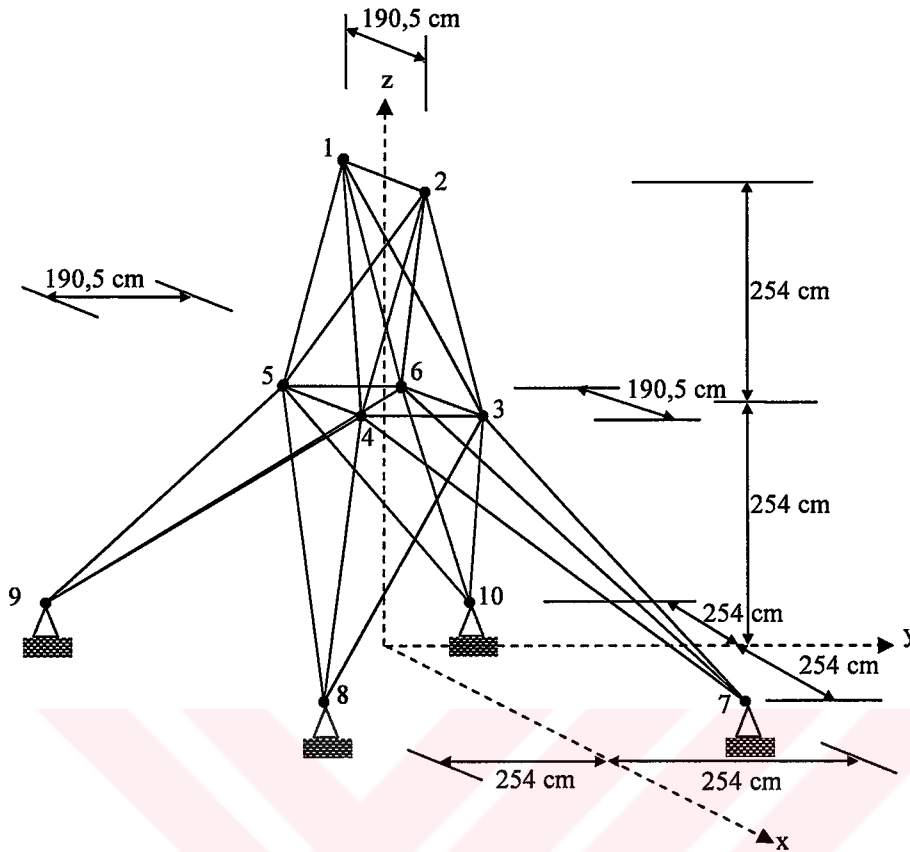
Tablo 4'den de görülebildiği üzere çalışma sonucu elde edilen çözüm diğer çalışma sonucundan daha hafiftir. Son olarak, çalışmada gerçekleştirilen boyut ve şekil optimizasyonunda kullanılan algoritmanın işlerliğini gösterebilmek için 25 eleman, 10 düğüm noktasından oluşan üç boyutlu bir sistem incelenmektedir.

Tablo 4. 49 eleman, 26 düğüm noktalı düzlem kafes sistem için elde edilen optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Çalışma	A ₁ (cm ²)	A ₂ (cm ²)	A ₃ (cm ²)	A ₄ (cm ²)	Hacim (cm ³)
Bu çalışma	20.90	17.10	6.31	8.70	133371.26
Profil tipi	T 10	T 9	L 55.55.6	L 65.65.7	
Daloğlu ve Aydın (1999)	20.90	17.10	6.31	9.40	135483.92
Profil tipi	T 10	T 9	L 55.55.6	L 70.70.7	

2.5.3. 25 Eleman, 10 Düğüm Noktalı Uzay Kafes Sistem

Tasarıma konu olan ve Şekil 11’de geometrik özellikleri ile elemanları verilen sistem, literatürde birçok araştırmacı (Dede 2003, Adeli vd. 1986, Wu ve Chow 1995, Vanderplats ve Moses 1972, Rajeev ve Krishnamorthy 1992, Aydın 2000) tarafından da burkulmalı veya burkulmasız olarak bir ila iki yük durumuna göre incelenmiştir. Tasarımda, sistemi oluşturan elemanlar 8 ayrı grupta toplanmaktadır ve 1 ile 2 nolu düğüm noktalarının x ve y doğrultularındaki deplasmanlarının üst sınırı 8.89 mm olarak dikkate alınmaktadır. Ayrıca tasarımda, Wu ve Chow (1995) tarafından verilen 32 adetlik bir profil listesinden sistem elemanlarına enkesit değeri atanmakta ve yine Wu ve Chow (1995)’de basınç elemanları için verilen Euler gerilmesi kullanılmaktadır. İlk önce Şekil 11’de belirtilen geometrik özelliklerle sistemin boyut optimizasyonu, daha sonrada sistemin 1 ve 2 nolu düğüm noktaları sabit kalmak koşulu ile diğer düğüm noktalarının koordinat değerlerinin de tasarım değişkeni olarak alınmasıyla boyut ve şekil optimizasyonu yapılmaktadır. Tasarım değişkeni olarak alınan düğüm noktalarının koordinatları için kullanılan değerler ve yükleme durumu Wu ve Chow (1995) ile aynıdır. Ancak bu koordinat değerleri belirtilen çalışmada sürekli tasarım değişkeni olarak dikkate alınmıştır. Burada ise Wu ve Chow (1995) belirtilen değer aralıklarında 16 adet değerden oluşan ayrık koordinat listesi 4 nolu düğüm noktasının x, y, z koordinatlarında, 8 nolu düğüm noktasının ise x ve y koordinatlarında kullanılmaktadır. Tasarımda sistemin, z-x ve z-y düzlemine göre simetrisi korunduğundan diğer düğüm noktalarının koordinat değerleri 4 ve 8 nolu düğüm noktasının atanan koordinat değerlerine ilişkilendirilmektedir. Sistemin gerek boyut gerekse boyut ve şekil optimizasyonu sonucu elde edilen çözümü ile literatürdeki bir çalışmada sistem için elde edilen çözüm sonuçları Tablo 5’de verilmektedir.



Şekil 11. 25 eleman, 10 düğüm noktalı uzay kafes sistem

Tablo 5. 25 eleman, 10 düğüm noktalı uzay kafes sistem için elde edilen optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması

	Bu Çalışma	Wu ve Chow (1995)		Bu Çalışma	Wu ve Chow (1995)
Boyut Opt.			Boyut ve Şekil Opt.		
A_1 (mm ²)	129.38	194	A_1 (mm ²)	387	580.6
A_2	710	580.6	A_2	968	516.13
A_3	1871	1935.5	A_3	774	838.71
A_4	65	258.06	A_4	65	322.58
A_5	194	645.16	A_5	129	193.54
A_6	710	710	A_6	323	387.09
A_7	903	774.19	A_7	645	774.19
A_8	1871	1938.48	A_8	839	1032.25
			x_4 (mm)	280	564.38
			y_4	1100	1244.85
			z_4	2470	2717.29
			x_8	800	1132
			y_8	2200	2601.97
Ağırlık (kN)	2,38	2,33	Ağırlık (kN)	1,226	1,35

Tablo 3, 4, ve 5’de karşılaştırmalı olarak sunulan bulgulardan algoritması kurulan ve kodlanan programın işlerliği görülebilmektedir. Önceki bölümde programın işlerliği, literatürden alınan birkaç sistem üzerinde gösterilmeye çalışılmıştır. Sonraki bölümde ise iletim hattı kulesi ile kubbe biçimli sistemin öncelikle sabit geometri boyut optimizasyonları daha sonrada boyut ve şekil optimizasyonları yapılmaktadır.

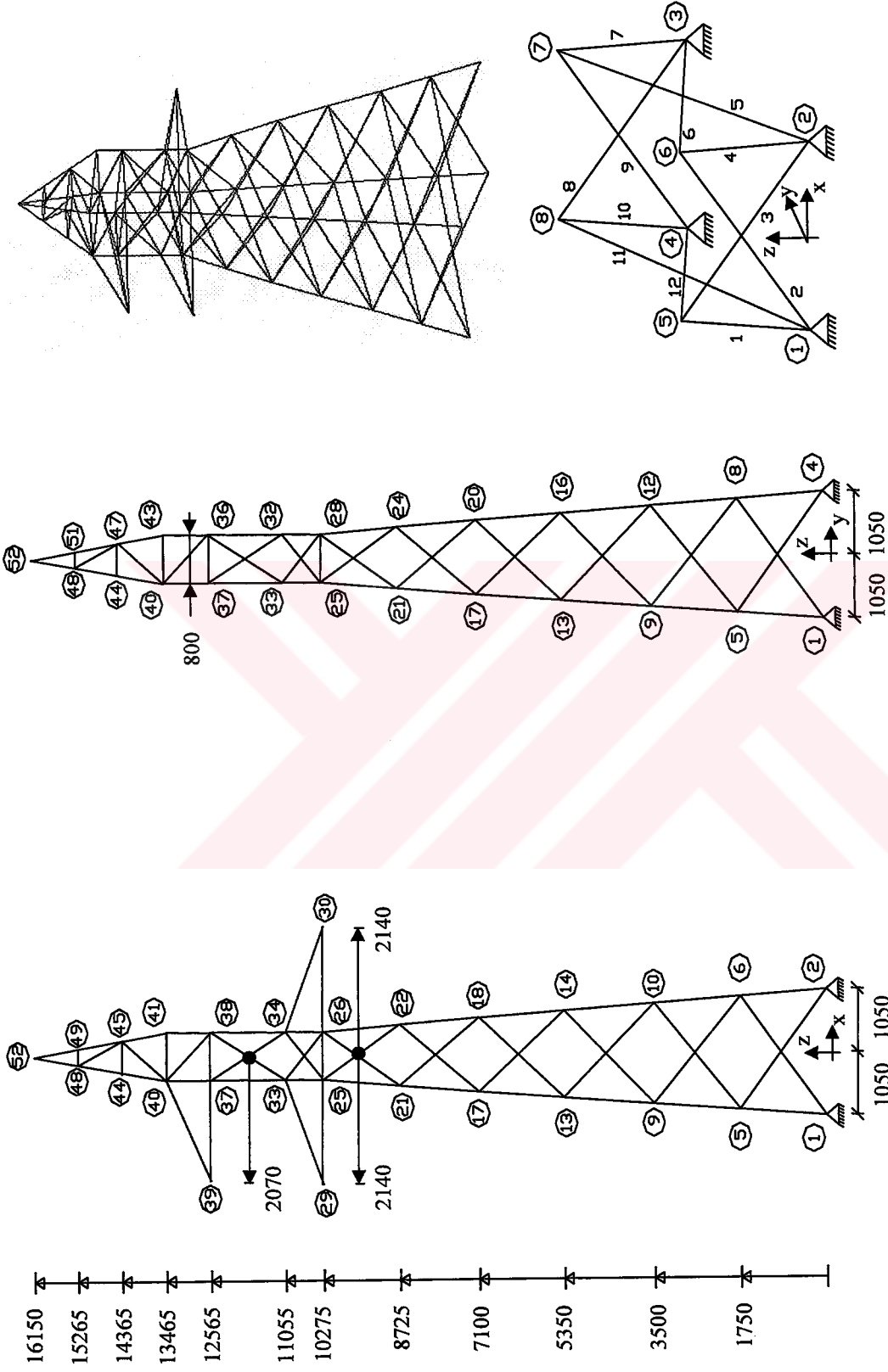
2.5.4. İletim Hattı Kulesi ile Kubbe Biçimli Sistemin Boyut ve Boyut-Şekil Optimizasyonu

2.5.4.1. İletim Hattı Kulesi

Çalışmaya konu olan sistemlerden biri olan iletim hattı kulesine ait geometri ve sistemin düğüm noktası ile eleman numaralandırılışı Şekil 12’de gösterilmektedir. Sistemin tasarımında dikkate alınan ilgili veriler ise aşağıda belirtilmektedir.

Elastisite modülü $E= 200,8 \text{ kN/mm}^2$, çelik malzeme için müsaade edilebilir gerilme değeri $\sigma= 147,15 \text{ N/mm}^2$, sistemin belirtilen düğüm noktalarındaki sınırlandırılmış deplasman değeri 100 mm ve kullanılan malzemenin yoğunluğu $\rho= 7.85 \times 10^{-8} \text{ kN/mm}^3$ ’dür.

Sistemi oluşturan çubuk elemanlar 14 ayrı grup olarak sınıflandırılmaktadır. 14 grupta toplanan tüm sistem elemanları için kesit alanları TS 908’ den alınan eşit kollu L köşebentlerinden seçilmektedir. Bu köşebentler 32 adet olup kesit alanları şöyledir. 480, 569, 586, 631, 656, 691, 824, 870, 903, 940, 1010, 1100, 1150, 1190, 1230, 1320, 1410, 1430, 1510, 1550, 1670, 1790, 1870, 1920, 2060, 2120, 2180, 2270, 2510, 2540, 2620, 2640 mm^2 dir. Tablo 6’ da sistem için göz önüne alınan yükleme durumu, Tablo 7’ de ise sistem için gruplandırılmaya gidilen eleman numaraları sunulmaktadır. Optimizasyon işlemlerinde TS 648’deki tasarım koşullarına uyulmaktadır. Deplasmanları sınırlandırılan düğüm noktaları 52, 39, 30 ve 29 nolu düğüm noktalarıdır. Optimizasyon işleminde 50 adetten oluşan bir başlangıç nesli dikkate alınmakta ve genetik sürecin ilk 50 iterasyon adımında düzenli daha sonraki iterasyon adımlarında ise çift noktalı çaprazlama uygulanmaktadır. Böyle kullanılmasının nedeni daha öncede bahsedildiği gibi keyfi oluşturulan başlangıç neslini, düzenli çaprazlamanın tasarıma daha uygun bireylerden oluşur hale daha kısa sürede getirebilmesidir. Daha sonraki iterasyon adımların da düzenli çaprazlamanın kullanılmamasının nedeni ise daha iyi adapte olmuş olan bireylerde fazla değişime neden olmasıdır.



Şekil 12. 52 Düğüm noktalı, 154 elemanlı iletim hattı kulesi (birimler mm' dir)

Tablo 6. Şekil 12' deki sistem için yükleme durumları

Yükleme No	Düğüm noktası	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
1	39	-9770.76	0	-5356.26
	52	-8515.08	0	-4816.71
2	29	-10702.71	0	-5356.26
	30	-10702.71	0	-5356.26
3	29	-10702.71	0	-5356.26
	30	-10702.71	0	-5356.26
	39	-9770.76	0	-5356.26
	52	-8515.08	0	-4816.71

Optimizasyon işlemi sonucunda iletim hattı kulesinin ağırlığı $W=14,856$ kN olarak elde edilmiştir. Bu optimizasyon işlemi boyunca kulenin geometrisi sabit kalmaktadır. Optimizasyon işlemlerinde algoritmaya katılacak bir yenilikle sistem elemanlarının yanı sıra sistem geometrisini de düğüm noktaları aracılığı ile optimize etmek sistem ağırlığında değişime neden olabilmektedir. Wu ve Chow (1995), Weldali ve Saka (1999),

Tablo 7. Şekil 12' deki sistem için eleman grupları

Eleman no	Grup no
1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52, 55, 58, 61, 64, 67, 70	1
2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 24	2
26, 27, 29, 30, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 47, 48	3
50, 51, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 68, 69, 71, 72	4
73, 80, 84, 91, 107, 119,	5
74, 81, 85, 92, 108, 120	6
93, 94, 110, 114, 117, 122, 125, 127, 130, 134, 136, 140, 143, 146	7
76, 77, 79, 82, 86, 87, 89, 90, 111, 113, 116, 121, 124, 128, 132, 137, 139, 142, 145	8
96, 97, 99, 100, 102, 103, 105, 106	9
75, 78, 83, 88, 109, 112, 115, 118	10
95, 98, 101, 104	11
148, 150, 152, 154	12
123, 126, 129, 131, 135, 138, 141, 144	13
147, 149, 151, 153	14

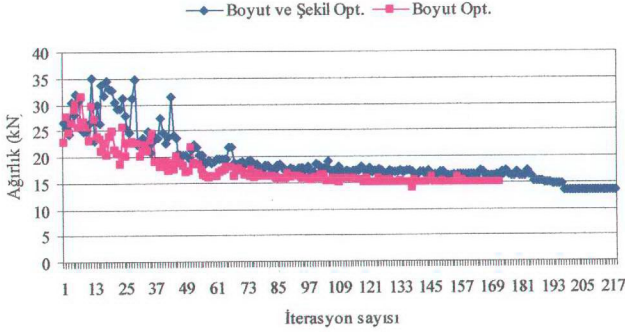
Rajan (1995), Saka (1991) çalışmalarında kafes sistemlerin şekil ve boyut optimizasyonunu GA kullanarak yapmışlar ve azalma olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada da kulenin boyut ve şekil optimizasyonu yapabilmek için 1 nolu düğüm noktasının x ve y, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 31, 35, 40, 44, 48 nolu düğüm noktalarının ise z koordinatları tasarım değişkeni olarak tanımlanmaktadır. Bu koordinatların değişmesiyle sistem geometrisi de genetik süreçte optimize edilebilmektedir. Böylelikle bağıntı (3)'de boyut optimizasyonunda eleman enkesit alanı (A)'nın bir fonksiyonu olan amaç fonksiyonu değişerek eleman enkesit alanı ve düğüm noktası koordinat değişkenlerinin (x) bir fonksiyonu olmaktadır ((18) nolu bağıntı).

$$\text{Min } W(A, x) = \sum_j^{ng} A_j \sum_i^m \rho_i \left[\sum_{z=1}^3 (x_{tz}^{ik} - x_{tz}^{il})^2 \right]^{1/2} \quad (18)$$

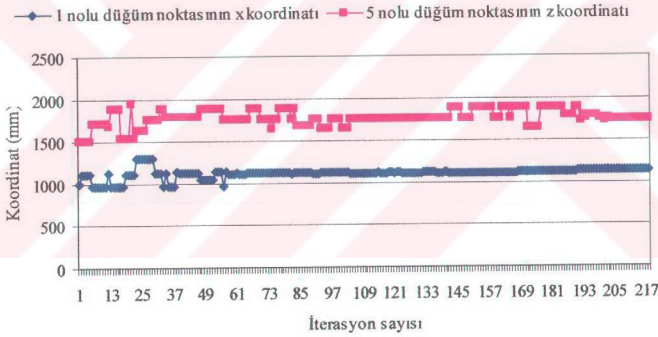
Burada z, t . elemanın uç noktalarının x, y, z olan koordinat değerlerini, ik t . elemanın ikinci ucunu (düğüm noktasını) ve il 'de birinci ucunu ifade etmektedir. Böylelikle t . elemanın boyu (L) her bir olası çözüm dizisi aracılığıyla dinamik olarak değişmektedir.

Sistemin boyut ve şekil optimizasyonunda 25, 26, ..., 51 nolu düğüm noktalarının x ve y koordinatları, 52 nolu düğüm noktasının ise tüm koordinatları sabit kalmakta ve sistemin eksenlere göre olan simetrikliği de korunmaktadır. Dikkate alınan geometri değişimi bu koordinat değerlerine atanabilen 32 adetlik ayrı koordinat değeri ile sağlanmaktadır. Detayları belirtildiği üzere kulenin boyut ve şekil optimizasyonu sonucunda ağırlığı $W=13,255$ kN olarak bulunmuştur. Sistemin optimizasyon işlemleri sonucunda elde edilen en az ağırlık değerlerinin iterasyon adımlarına göre değişimi Şekil 13'de, sistemin boyut ve şekil optimizasyonunda tasarım değişkeni olarak alınan 1 nolu düğüm noktasının x koordinatı ile 5 nolu düğüm noktasının z koordinatının iterasyon adımlarına göre değişimi Şekil 14'de sunulmaktadır.

İletim kulesinin boyut ve şekil optimizasyonunda bazı düğüm noktalarının koordinat değerlerinin tasarım değişkeni olarak alınmasıyla çözüm uzayı boyut optimizasyonuna göre daha da genişlediğinden çözüme daha fazla iterasyon adımıyla ulaşılmaktadır. Bu yüzden sistemin geometri değişimini sağlayacak tasarım değişkenlerinin belirlenmesine dikkat edilmelidir. Aksi durumda boyut ve şekil optimizasyonunda boyut optimizasyonuna göre çözüm uzayı kat be kat artmakta, çözüme ulaşmak oldukça zaman ve hatta boyut



Şekil 13. İletim kulesinin optimizasyon işlemleri sonucunda elde edilen en az ağırlık değerlerinin iterasyon adımlarına göre değişimi



Şekil 14. İletim kulesi koordinat değişkenlerinin iterasyon adımlarına göre değişimi

optimizasyonuna göre daha ağır sonuçlara ulaşılabilmektedir. Genetik süreçte geometri değişimini sağlayan tasarım değişkenlerinin olası çözüm dizileri aracılığıyla yenilenecek sistem ağırlığıyla beraber en uygun hale getirilebildiği Şekil 14'de görülebilmektedir. İletim kulesi için alınan tüm koordinat değişkenlerinin ağırlığı en az yapan en uygun değerleri Tablo 8'de verilmektedir.

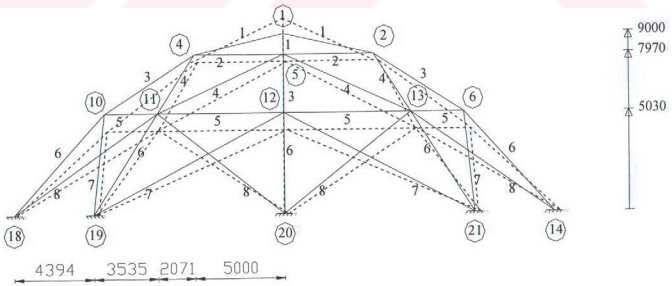
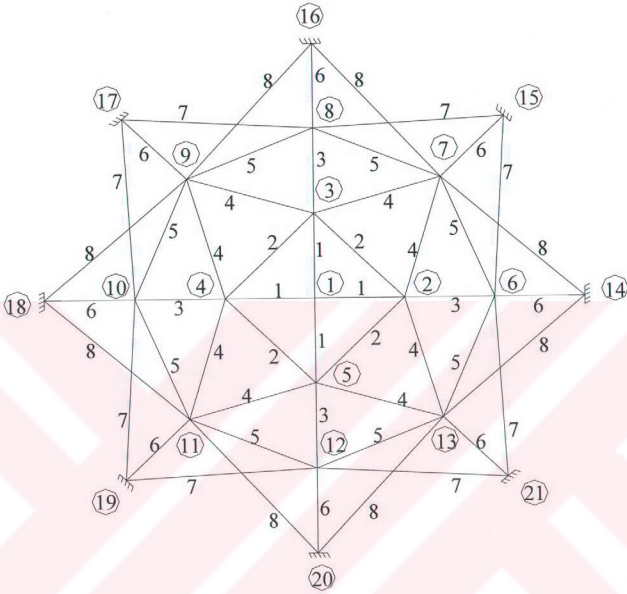
Tablo 8. İletim kulesinin boyut-şekil optimizasyonu sonucunda tasarım değişkeni olarak alınan koordinatların elde edilen değerleri

Düğüm noktası	Koordinat	Koordinat değeri (mm)
1	X	1165
1	Y	1165
5	Z	1750
9	Z	3800
13	Z	5365
17	Z	7125
21	Z	8745
25	Z	10025
31	Z	11250
35	Z	12410
40	Z	13265
44	Z	14365
48	Z	15015

2.5.4.2. Kubbe Biçimli Sistem

Kubbe biçimli sisteme ait şekil, sistem düğüm noktaları ile sistem için gruplandırılmaya gidilen elemanlar ve bu elemanların ait olduğu gruplar Şekil 15’de verilmektedir. Sistemin tasarımında dikkate alınan ilgili veriler ise aşağıda belirtilmektedir.

Elastisite modülü $E= 210 \text{ kN/mm}^2$, çelik malzeme için müsadde edilebilir gerilme değeri $\sigma= 130 \text{ N/mm}^2$, sistemin belirtilen düğüm noktalarındaki sınırlandırılmış deplasman değeri 10 mm ve kullanılan malzemenin yoğunluğu $\rho=7.85 \times 10^{-8} \text{ kN/mm}^3$. Sistemi teşkil eden sistem elemanları 8 ayrı grup olarak sınıflandırılmaktadır. Bu 8 grupta toplanan tüm sistem elemanları için kesit alanları AISC-ASD’ den alınan boru profillerinden seçilmektedir. Bu profiller 16 adet olup kesit alanları şöyledir. 161.29, 214.8, 318.7, 431.6, 515.4, 690.3, 1096.7, 1438.7, 1729, 2045.2, 2774.2, 3599.9, 5419.3, 7677.4, 9419.3 mm²’dir. Sistemin analizinde düşey deplasmanı sınırlandırılan düğüm noktası 1 nolu düğüm noktasıdır. Optimizasyon işleminde 50 adetten oluşan bir başlangıç nesli dikkate alınmakta ve yine bir önceki örnekte olduğu gibi genetik sürecin ilk 50 iterasyon adımında düzenli daha sonraki iterasyon adımlarında ise çift noktali çaprazlama uygulanmaktadır. Sistemin optimizasyonunda dikkate alınan yükleme durumu 4 adet olup Tablo 9’ da bu yüklemelere ait detaylar belirtilmektedir. Optimizasyon işlemi sonunda kubbe biçimli sistemin *ağırlığı* $W= 82,605 \text{ kN}$ olarak elde edilmiştir. Şekil 15’ deki sistem Dede (2003), Saka ve Ülker (1991) tarafından da incelenmişlerdir. Dede (2003) TS 648’ deki tasarım standartlarını ve



Şekil 15. 21 Düğüm noktalı, 52 elemanlı kubbe biçimli sistem (birimler mm' dir)

sistem elemanları için eşit kollu L köşebentlerini kullanarak, Saka ve Ülker (1991) AISC’deki tasarım koşullarını ve malzeme nonlineerliğini göz önüne alarak sistemin optimizasyonunu yapmışlardır.

Pedersen (1973) Şekil 15’deki sistemin boyut ve şekil optimizasyonunu matematiksel programlama kullanarak yapmıştır. Ancak matematiksel programlamada, optimizasyon sürecinde tasarım değişkenlerinin sürekli olduğu kabul edildiğinden sonucun doğrudan kullanılması mümkün olmamaktadır.

Tablo 9. Kubbe biçimli sistem için yükleme durumları

Yükleme no	Düğüm noktası	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)
1	1	-30000	0	0
2	1,2,3,.....,13	-30000	0	0
3	1	-15000	0	0
	4	-10000	0	0
	5	-10000	0	0
4	1	-15000	0	0
	2	-7000	0	0
	3	-7000	0	0
	4	-7000	0	0

Çalışmada kubbenin boyut ve şekil optimizasyonu 2 farklı şekilde yapılmaktadır. İlk önce 1, 2, ve 6 nolu düğüm noktalarının z koordinatı tasarım değişkeni olarak alınmış ve sistemin yükseklik değerleri eleman kesitleri ile optimize edilmiştir. Şekil 15’deki kesikli çizgilerle çizilmiş kubbe, bu optimizasyon işlemi sonucundaki koordinat değerleri ile elde edilmiştir. Optimizasyon işlemi sonunda sistemin *ağırlığı* $W=79.426$ kN olarak bulunmuştur. Daha sonra z koordinatlarının yanı sıra 2, 6 nolu düğüm noktalarının x, 7 nolu düğüm noktasının x koordinatı da tasarım değişkeni olarak dikkate alınmıştır. Bu optimizasyon işlemi sonunda ise sistemin *ağırlığı* $W=78.681$ kN olarak bulunmuştur. Koordinatların değişimi aracılığıyla genetik süreçte optimize edilen koordinat değerleri Tablo 10’ da verilmektedir. Bu işlem esnasında 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 nolu düğüm noktalarının tüm koordinatları, 1 nolu düğüm noktasının ise x ile y koordinatları sabit kalmakta ve sistemin eksenlere göre olan simetrikliği de korunmaktadır. Dikkate alınan geometri değişimi bu koordinat değerlerinden x olanına 16, z olanına atanabilen 32 adetlik koordinat değerleri ile sağlanmaktadır

Tablo 10. Kubbe biçimli sistemin boyut ve şekil optimizasyonunda elde edilen koordinat değerleri

Optimizasyon no	Düğüm noktası	Koordinat	Koordinat değeri (mm)
1	1	z	9350
	2	z	7220
	6	z	4030
2	1	z	8000
	2	x	3700
	2	z	7070
	6	x	8100
	6	z	4530
	7	x	5100

İncelen örneklerden görülebildiği gibi optimizasyon sürecine uygun düğüm noktası koordinatlarının tasarım değişkeni olarak katılıp sistemi oluşturan elemanların kesit alanlarının yanı sıra sistem geometrisini de optimize etmekle sistem ağırlığında değişim olabilmektedir. Bu değişim genellikle boyut optimizasyonuna göre daha hafif sistemlerin elde edilmesi yönündedir. Ancak sistemin tüm düğüm noktası koordinatlarını tasarım değişkeni olarak tanımlamak hem sonucun pratik açıdan uygulanabilir olmasını hem de çözüm kümesini artırdığından sonuca ulaşılmasını güçleştirmektedir. Vanderplaats ve Moses (1972)' e göre sabit geometriye sahip yapı sistemleri kendi içinde alt parçalara ayrılarak daha etkin biçimde optimize edilebilirler (Kirsch vd. 1969). Corcoran (1970)' e göre optimizasyon işlemine şekil değişkenlerinin katılmasıyla; sınırlayıcılar ihlal edilmeden yapı sisteminden eleman atılabilmekte (topoloji optimizasyonu), daha iyi düzenlenebilmiş yapı sistemleri elde edilebilmekte ve yapı sisteminin ağırlığında önemli ölçüde azalmalar olabilmektedir.

2.5.5. Çelik Kafes Köprü Kirişlerinin Optimizasyonu

Eski çağlardan günümüze kadar insanlar, ortaya koydukları uygarlıklar içinde, ulaşım amacıyla bir takım tesisler meydana getirmişlerdir. Önceleri, doğanın ulaşımı engelleyen kısımlarını aşma amacından öte işlevi olmayan köprüler, toplumların gelişimine paralel, ticari, iktisadi, askeri, sosyal ve kültürel konulara hizmet eden yararlı yapılar olarak, zamanla tarihin tamamlayıcı bir unsuru haline gelmişlerdir (İlter, 1978). Gereksinmelerdeki değişimler büyük boyutlara ulaşmış ve önceleri yol için araç gerekli

iken giderek araçlar için yol ve araç geçişleri için köprüler yapmak amaç haline gelmiştir (İlter, 1988).

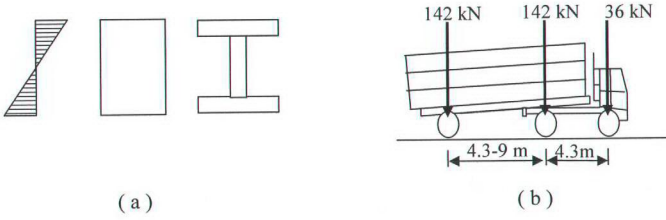
Aslında yolun bir parçası olan köprüler ve öteki sanat yapıları da yeni biçimlendirmelere uğramıştır. Köprüler gelişen teknolojinin verdiği olanaklarla daha zarif, daha ekonomik ve günün geçerli olan araçlarına uygun yapılmıştır. Köprü sözcüğünün kapsamına karayollarınca yapılan kabule göre iki kenar ayak arasındaki uzaklığı 10 m ve daha çok olanlar, “köprü” olarak tanımlanarak girmektedir. Bu arada iki kenar ayak arasında kaç açıklığın olduğu önemli olmamaktadır (İlter, 1988).

Yapı sisteminin açıklığı arttıkça, maruz kalacağı yüklerden evvel taşımak mecburiyetinde olduğu kendi ağırlığı da hızla artar. Bu durumda açıklık büyüdükçe, bu daimi yükü mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmak gerektiği de açıktır (Celasun, 1974). Açıklıkların büyümesiyle dolu gövdeli sistemler kendi ağırlıklarının artması sebebiyle ekonomik olmamaya başlar ve yerlerini kafes sistemlere bırakırlar. Bunun nedeni dolu gövdeli bir sistemin enkesitinde basit eğilme halindeki gerilme dağılımına (Şekil 16-a) göre üst ve alt kenarlardaki liflere göre orta kısımdaki liflerin, kesitin taşıyıcılığına daha az katılmalarından dolayı bu bölgenin bir kısmının çıkarılarak yapı ağırlığı azaltılabileceğinden (Çakıroğlu ve Çetmeli, 1990) ileri gelmektedir.

En uygun çözüme ulaşılma süreci olan her hangi bir tasarımda, ulaşılan çözümün uygun olanın en iyisi olup olmadığının değerlendirilebilmesi için belirgin unsurlar olmalıdır. Bir yapı için bu unsurlar tipik olarak, minimum maliyet, minimum ağırlık, minimum inşaat süresi, minimum işçilik vb. biçimindedir. Bu belirtilen unsurlar arasında kolayca sınanabilen maliyet ve ağırlık olmaktadır (Salmon ve Johnson, 1980).

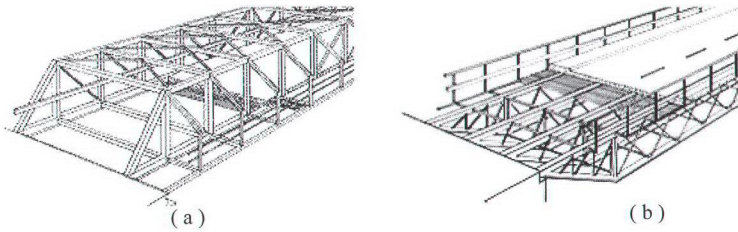
Çalışmada 3 farklı tip çelik kafes köprü kirişi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official)'dan alınan HS20 sınıfı hareketli yük (Şekil 16-b) altında en az ağırlıklı olacak biçimde boyutlandırılmaktadır. Hareketli yük sistem için dolaylı yükleme olarak tanımlanmaktadır. İncelenen üç tip köprü girişinin ikisinde yol alt başlıkta, birinde ise yol üst başlıkta. Yolun alt başlıkta olduğu girişlerde (Şekil 17-a) sadece iki giriş yapının daimi ve hareketli bütün yüklerini taşımaktadır. Bundan dolayı da bu girişlere gelen kuvvetler çok büyüktür (Celasun, 1974).

Bu tür sistemde kafes girişler alt taraftaki geçiş yer kazandırmak bakımından daha uygun iseler de, basınca çalışan üst başlıklarının yanal burkulmasını önlemek için, kesitlerini büyütme veya mümkün olan hallerde üst başlık düğüm noktalarından girişleri birbirine bağlamak gerekir (Çakıroğlu ve Çetmeli, 1990).



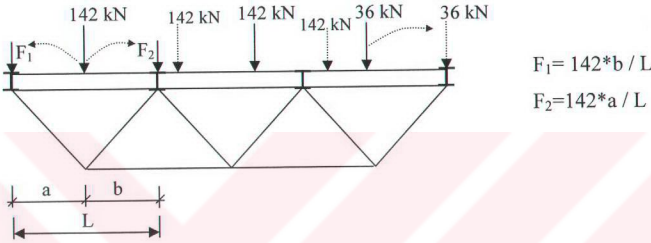
Şekil 16. Dolu gövdeli enkesitin basit eğilme altında gerilme dağılımı (a), HS20 sınıfı hareketli yüke eşdeğer yük katarı (b)

Yolu üst başlıkta olan kirişlerde (Şekil 17-b) ise alt taraftaki geçişe az yer kalır, buna karşılık basınca çalışan üst başlıklar, yol kirişleri ile birbirine bağlanmış olduklarından, yanal burkulma olayı kendiliğinden önlenmiş olur (Çakıroğlu ve Çetmeli, 1990). Bunun nedeni, kirişler tabliye altında eşit aralıklarla sıralandığından burkulmanın boylama veya enleme kullanımına gerek kalmadan önlenmesidir. Kafes sistemlerde dış kuvvetler düğüm noktalarına etkimelidir. Hareketli yük kafes sistemli köprü kirişleri için dolaylı yüklemeye olduğundan aks mesafelerine tekil yük olarak indirgenen hareketli yük, kafes sistemin düğüm noktalarına enlemeler aracılığıyla aktarılmaktadır. Çalışmada yük katarının hareketi iki düğüm noktası ara mesafesini üç aşamada kat etmesine göre dikkate alınmaktadır. Buna göre yük katarının ilk tekil yükü önce ilk düğüm noktasına, sonra iki düğüm noktasının ortasına, en son olarak da ikinci düğüm noktasına etkiyerek sistem üzerinde hareket etmektedir. Yükün iki düğüm noktası arasına düşmesi durumunda, yük indirekt yüklemeye olduğundan aks mesafelerine tekil yük olarak indirgenen hareketli yük kafes sistemin düğüm noktalarına enlemeler aracılığıyla aktarılmaktadır.



Şekil 17 Yolu alt başlıkta olan kafes kirişler (a), Yolu üst başlıkta olan kafes kirişler(b)

Çalışmada yük katarının hareketi iki düğüm noktası ara mesafesini üç aşamada kat etmesine göre dikkate alınmaktadır. Buna göre yük katarının ilk tekil yükü önce ilk düğüm noktasına, sonra iki düğüm noktasının ortasına, en son olarak da ikinci düğüm noktasına etkileyerek sistem üzerinde hareket etmektedir. Yükün iki düğüm noktası arasında düşmesi durumunda yükün düğüm noktalarına aktarılışı ve yük katarının hareketi Şekil 18' de verilmektedir.



Şekil 18. Yük katarının hareketi ve iki düğüm noktası arasında yük dağılımı

Şekil 18' de gösterilen kesikli oklar katarın ilk tekil yükün hareketini, F_1 ile F_2 ise tekil yüklerin düğüm noktaları arasında rast geldiğinde yüklerin düğüm noktalarına aktarılışında kabul edilen biçimi belirtmektedir. Yük katarının sistem üzerindeki hareketinde hassasiyeti artırmak trafik yükünü daha iyi karakterize etmeyi sağlayacaktır. Ancak artan hareket hassasiyeti beraberinde çözüm için harcanan zamanı da artırmaktadır (SAP 2000, 1997). Trafik yükü için göz önüne alınan HS20 sınıfı hareketli yük Karayolları yol köprüleri için teknik şartnamesinde $H_{20}-S_{16}$ sınıfı hareketli yüke tekbül etmektedir. Bu yük sınıfını belirten sembollerde H iki dingilli bir kamyon, S ise ona bağlı bir yarım treyleri simgelemektedir. Harflerden sonra gelen rakamlar ise dingillerden intikal ettirilen ağırlığa karşılık gelmektedir.

Köprüden geçen taşıtların dinamik etkisini hesaba katmak amacı ile standart kamyon veya şerit yüklerinden elde edilen gerilmeler, "dinamik etki katsayısı" ile çarpılmaktadır. Dinamik etki katsayısı gerek Karayollarının teknik şartnamesinde gerekse AASTHO (1977)' de aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\varphi = 1 + \frac{15}{L+37} \leq 1,30 \quad (19)$$

Burada L m cinsinden hesap uzunluğudur. Dinamik etki katsayısının 1,30 değerinden küçük veyahut eşit olması köprü tanımında yer alan 10 m açıklığa karşılık gelmektedir. Yani L değeri köprü tanımı gereği 10 m' den daha küçük olamadığından bu değere karşılık gelen 1,30 değeri üst sınırı belirlemektedir. Sürekli açıklıklarda L hesap uzunluğu komşu iki açıklığın ortalamasına eşit alınır (Yol Köprüleri için Teknik Şartname, 1982). Köprü uzunluğunun fazla olması durumunda tek bir hareketli yük yerine şerit yükler dikkate alınmakta ve sistem en elverişsiz durumun belirlenebilmesi için bu şerit yükün farklı konularında çözümlenmektedir. Buna bağlı olarak köprü sisteminde şerit yükün hem sağdan hem de soldan hareket etmesi durumu dikkate alınmaktadır. Köprülerde yüklemelerden dolayı gerçekleşecek deplasmanın izin verilen değeri, köprünün sadece trafiğe hizmet etmesi durumunda L/800, trafik ile beraber yaya geçişine izin vermesi durumunda L/1000 olmaktadır (Chen ve Duan, 2000).

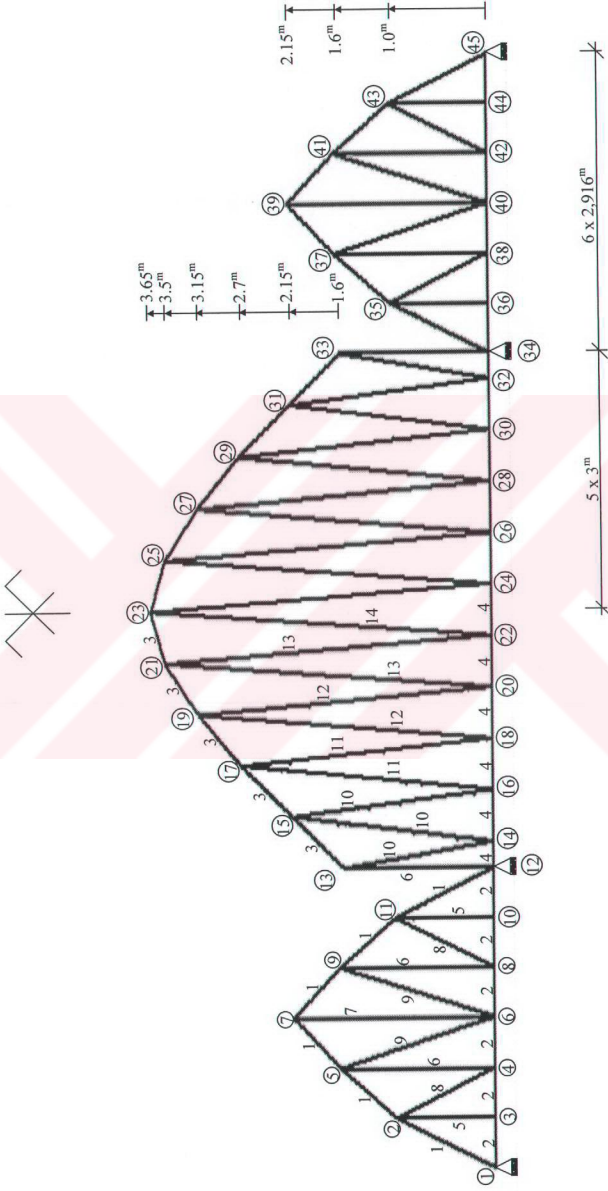
Guan vd., (2003) 4 farklı tip kafes köprü kirişini, (1) açıklığı boyunca düzgün yayılı, (2) açıklığı boyunca düzgün yayılı ve hareketli yükün kombinasyonundan oluşan iki tip yükleme durumu göz önüne alarak sistemlerin topoloji, boyut ve şekil optimizasyonu incelemiştir. Gil ve Andreu (2001) son dönemlerde inşası yapılmış çelik kafes köprü kirişlerinin boyut ve şekil optimizasyonunu matematiksel programlama kullanarak ve sistemler için kendi ağırlıkları ile açıklığındaki düğüm noktalarından tekil yük ile yüklü olması durumuna göre incelemiştir.

Bundan sonraki bölümde 3 ayrı tip olarak incelenen köprü kirişlerinin optimizasyon süreçlerine dair ayrıntılar ve elde edilen sonuçlar verilmektedir.

2.5.5.1. 1. Tip Çelik Kafes Köprü Kirişi

Çelik kafes sisteme ait şekil ve sistemin düğüm noktaları ile eleman numaralandırılışı Şekil 19'da gösterilmektedir. Sistemin tasarımında dikkate alınan ilgili veriler ise aşağıda belirtilmektedir.

Elastisite modülü $E = 210 \text{ kN/mm}^2$, çelik malzeme için müsadde edilebilir gerilme değeri $\sigma = 212 \text{ N/mm}^2$ ve malzemenin yoğunluğu $\rho = 7.85 \times 10^{-8} \text{ kN/mm}^3$. Sistemi teşkil eden sistem elemanları 14 ayrı grup olarak sınıflandırılmaktadır. Tüm köprü kirişlerinde



Şekil 19. 84 eleman, 45 düğüm noktalı 1. tip köprü kirişi

sistem elemanları için kesit alanları, AISC-ASD' den alınan $\frac{1}{2}$ I, L, çift L ve boru profillerinden seçilmektedir. Bu profiller sırasıyla 31, 40, 40 ve 28 adet olup kesit alanları Tablo 11' de verilmektedir. 1. tip köprü kirişi için 14 grupta toplanan tüm sistem elemanları için kesit alanları $\frac{1}{2}$ I, çift L ve boru profillerinden seçilmektedir. Sistemin analizinde düşey deplasmanları sınırlandırılan düğüm noktaları 6, 22, 24 ve 40 nolu düğüm noktalarıdır. Bu düğüm noktalarında sınırlandırılan deplasman değeri 6 ve 40 nolu düğüm noktaları için 22 mm, 22 ve 24 nolu düğüm noktaları içinse 38 mm' dir. Sisteme ait yüklem durumu hareketli yükün yukarıda bahsedilen biçimde köprü kirişi üzerinde hareket etmesiyle oluşmaktadır. Hareketli yükün sistemin bir ucundan diğeri ucuna hareketini temsil eden yüklem durumu 55 adettir.

Optimizasyon işleminde 50 adetten oluşan bir başlangıç nesli dikkate alınmaktadır. Daha önceki kısımlarda da bahsedildiği üzere algoritma tarafından rasgele oluşturulan bu başlangıç nesli, çözüm uzayında bir sonraki nokta kümesine erişmek için genetik süreçte tabi tutulur. Bu süreçte geleneksel olarak kullanılan GA operatörlerinde keyfiyet mekanizması geçerlidir. Örneğin çaprazlama noktalarının belirlenmesinde, düzenli çaprazlamadaki gen pozisyonlarının belirlenmesinde veya mutasyon operatörünün uygulanacağı gen pozisyonunun belirlenmesinde bu keyfiyet söz konusudur. Bu durum doğal evrim ile kıyaslandığında doğru değildir. Çünkü çaprazlama aslında dinamik ve değişkendir (Yang, 2002).

Uyarlanabilen kontrol parametrelerinin kullanımıyla geliştirilen pek çok yenileme performans gelişimi sağlayabilmektedir (Jenkins, 2002). Tüm bunlar göz önüne alındığında genetik süreçte çaprazlamada yapılan eşlemeler, mutasyonda yapılan birey ve gen pozisyonu belirleme işlemi keyfiyetten arındırılarak bireye ve nesle uyarlanabilmelidir. Çünkü bu keyfiyetle mutasyon aracılığıyla bireyin uygunluğunu düşüren tasarım değişkenlerinin tümünün veya bir kısmının değişimi yapılırken, bireye daha az ceza getiren bir tasarım değişkeni de değiştirilebilmektedir (Bekiroğlu, 2003). Aynı biçimde uyumu iyi olan birey keyfiyetle kötü birey ile eşleştirilmekte ve çaprazlama ile genleri değiş tokuş edilmektedir.

Genetik süreç içerisinde mümkün olabilen bu işlem çözüme ulaşmada iterasyon adım sayısını artırabilmekte ve GA'nın performansı üzerinde oldukça etkili olan mutasyon ve çaprazlama kullanım oranlarının değişik kullanımlarına göre ulaşılan sonucuda değişebilmektedir.

Tablo 11. Çelik kafes köprü kirişleri için profil tipleri ve enkesit alanları

Profil tipi	Profil enkesit alanları (mm ²)
½ I (ST' den)	538.71, 709.68, 729.03, 903.22, 948.39, 1180.64, 1400.00, 1451.61, 1632.25 1741.93, 1896.77, 2180.64, 2406.45, 3019.35, 3322.57, 3322.57, 3870.96 4070.96, 4741.93, 4741.93, 5187.09, 6258.05, 6645.15, 7096.76, 7548.37 8193.53, 8516.11, 9096.76, 9483.85, 10064.50, 11483.85
L (eşit kollu)	581.93, 605.16, 703.22, 741.93, 767.74, 877.42, 929.03, 941.93, 1090.32 1116.13, 1148.38, 1251.61, 1348.38, 1361.29, 1451.61, 1548.38, 1567.74 1600.00, 1774.19, 1845.16, 1851.61, 1954.83, 2096.77, 2135.48, 2329.03 2354.83, 2419.35, 2696.77, 2812.90, 2974.19, 3064.51, 3264.51, 3509.67 3709.67, 3780.64, 4148.38, 4477.41, 4587.09, 5148.38, 5445.15
Çift L	619.35, 922.58, 1161.29, 1212.90, 1406.45, 1483.87, 1535.48, 1754.84 1858.06, 1890.32, 2180.64, 2238.71, 2290.32, 2503.22, 2696.77, 2722.58 3096.77, 3206.45, 3548.38, 3690.32, 3903.22, 4658.06, 4838.70, 5625.80 5948.38, 6129.02, 7032.24, 7419.34, 8967.72, 9161.27, 9999.98, 10322.56 10903.20, 12387.07, 12580.62, 14193.52, 14774.16, 17096.74, 19354.80
Boru	161.29, 206.45, 214.84, 279.35, 318.71, 412.26, 431.61, 515.48, 568.39 690.32, 690.32, 954.84, 1096.77, 1438.71, 1451.61, 1729.03, 1948.38 2045.16, 2374.19, 2774.19, 2845.16, 3599.99, 3941.93, 5419.34, 5419.34 7677.40, 8258.05, 9419.34

Bundan kaçınılabilmek için son zamanlarda araştırmacılar GA' nın yeteneklerini iletirmek için uyarlanabilen çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanmaktadır. Uyarlamadan kasıt hangi bireyin ve bireyde hangi tasarım değişkenin mutasyona uğrayacağını, çaprazlamada eşleme yapılırken eş durumunun karar verilmesinde bireyin ve popülasyondaki diğer bireylerin uyumuna göre karar verilmesidir. Her iterasyon adımında popülasyon değiştiğinden uygulanan operatörlerde dinamik olmakta diğer bir deyişle bireylere uyarlanmaktadır.

Jenkins (2002)' e göre GA' da çaprazlama ve mutasyon operatörü iyi tanımlanmış ana operatörler olup, çaprazlama temel bir operatör olan mutasyonun tamamıyla keyfi işleyen türevi olmaktadır. Dolayısı ile çaprazlamadan yoksun sadece mutasyon tabanlı etkin bir evrimsel süreç oluşturabilmektedir. Jenkins (2002) çalışmasında oluşturduğu algoritmada çaprazlama operatörüne yer vermemiş ve iki farklı mutasyon operatörünü uyumlarına göre üst, orta ve alt olmak üzere üç gruba ayırdığı popülasyon bireylerine uygulayarak optimizasyon yapmıştır. Yang (2002) ise GA' nın, popülasyonun doğrudan olmasa da istatistikî bilgiler kullanıyor olmasından hareketle aslında fazla açık olmayan bu istatistikî bilgiler aracılığıyla uyarlanabilen, üniform olmayan çaprazlamayı GA' nın performansını geliştirmede kullanmıştır.

Yoshimito vd. (2003) ise GA' nın performansına büyük etki yapan çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin kullanım olasılıklarının (oranlarının) belirlenmesine dikkat çekerek her iki operatörün kullanım oranı için Srivinas ve Patnaik (1994) tarafından verilen bağıntıları kullanmışlardır. Bu bağıntılarda temel unsur birey uygunluğu artıkça her iki operatöründe etkinliğinin azalarak bireyi korumasıdır. Zira GA' da uyumu en yüksek birey veya bireyler popülasyondaki üstün yani iyi çözümleri ifade etmektedir.

Bu çalışmada da çelik kafes köprü kirişlerinin optimizasyonunda, iletim hattı kulesi ile kubbe biçimli sistemin optimizasyon işlemlerinde kullanılan algoritmadan farklı olarak mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi bu yeni operatörlerin özelliği uyarlanabilir olmasıdır. Literatürde “Akıllı Operatörler” olarak ta rastlanan bu yeni tip operatörler GA' nın keyfi yapısını fazla sınırlandırmadan operatörler üzerindeki keyfi karar mekanizmalarını değiştirerek performansını artırmaktadır.

Çalışmada Srivinas ve Patnaik (1994) tarafından verilen ve gerek Yoshimito vd. (2003) tarafından değiştirilerek gerekse (Bekiroğlu, 2003) tarafından doğrudan kullanılan operatörlerin kullanım oranlarını belirten bağıntılar, baz alınarak yenilenen bir biçimde kullanılmaktadır. Bağıntı (20.1) ve (20.2)' de kullanım oranlarının yenilenen biçimleri görülmektedir.

$$p_m = \begin{cases} 0.5(f_{\max} - f) / (f_{\max} - \bar{f}) & f \geq \bar{f} \\ (\bar{f} - f) / (\bar{f} - f_{\min}) & f < \bar{f} \end{cases} \quad \text{mutasyonda} \quad (20.1)$$

$$p_c = \begin{cases} (f_{\max} - f') / (f_{\max} - \bar{f}) & f' \geq \bar{f} \\ 1 & f' < \bar{f} \end{cases} \quad \text{çaprazlamada} \quad (20.2)$$

Bağıntı (20.1) ve (20.2)' de yer alan ifadelerde f_{\max} popülasyonda yer alan bireyler arasında bulunduğu çözümlerle en yüksek uyuma sahip olan bireyin uygunluğunu, \bar{f} popülasyondaki bireylerin uyumlarının ortalamasını, f' çaprazlanacak eş bireyler arasında

küçük uygunluğa sahip olanının uygunluğunu, f bireyin uygunluğunu, f_{\min} popülasyondaki bireylerden en küçük uyuma sahip olanının değerini, p_m mutasyon oranını ve p_c ' de çaprazlama oranını belirtmektedir. Mutasyon ve çaprazlama oranından amaç bireyi oluşturan tasarım değişkeni sayısında yapılacak değişiklik sayısını belirten miktardır. Literatürde bu oran, popülasyonu teşkil eden bireylerde yapılacak değişiklik sayısını da belirtebilmektedir.

Bağıntı (20.1)' deki $f < \bar{f}$ durumu için Bekiroğlu (2003) p_m değerini 1 almaktadır. Mutasyon operatörünün kullanımında birey ortalama uygunluk değeri ile kıyaslandığından $f < \bar{f}$ durumu kötü bireyleri, $f > \bar{f}$ durumu ise iyi bireyleri ifade etmektedir. Bireydeki uygunluk değeri artıkça birey operatörlerden daha az etkilenmektedir. Dolayısı ile en yüksek uygunluğa yaklaştıkça birey operatörlerden hiç etkilenmemektedir. Aynı durum kötü bireyler içinde geçerli olmalıdır. Yani minimum uygunluğa veya bu uygunluk değerine yakın uygunluğa sahip birey operatörden daha çok veya tamamıyla etkilenirken ortalama değere yakın olanlar daha az etkilenmelidir. Buradan hareketle $f < \bar{f}$ durumda tüm bireyler için 1 değeri yerine minimuma gidildikçe artan bir formülasyon kullanılmaktadır. $f > \bar{f}$ durumu söz konusu olduğunda p_m değerini belirten ifadede yer alan 0.5 katsayısı mutasyon oranı değerini iyi bireyler için daha az etkin yapmak içindir. Mutasyon oranları belirlendikten sonra bu oranlara tekabül eden ve bireyde değişime uğrayacak tasarım değişkeni sayısını belirten miktar, bireydeki tasarım değişkeni sayısı ile bu oran değerinin çarpımıyla bulunur. Bundan sonra işleme, bireydeki tasarım değişkenlerinin aldıkları ihlal değerine göre büyükten küçüğe sıralayıp en büyük ihlali tasarım değişkeninden başlanarak belirlenen sayı kadar bireyde tasarım değişkeni yenilenmesi takip etmektedir. Böylelikle bireyde tasarım değişkenleri sınıflandırılmakta ve keyfiyet söz konusu olmadığından iyi olan değişken saklanmaktadır. İhlali tasarım değişkeni ise yenilediğinden popülasyondaki çeşitlilik korunmaktadır.

Bekiroğlu (2003)' de f^* değeri çaprazlama oranının belirlenmesinde eş çiftler arasında büyük uygunluğa sahip olan bireyin uygunluğunu simgelemektedir. Çalışmada küçük uyuma sahip olan bireyin uygunluğunu simgelemesinin nedeni bu değerinin ortalama uygunluk değerinden büyük olması durumunda eş çiftin bireyleri iyi uygunluk değerine sahip olacağından çaprazlama iyi eş çiftler arasında gerçekleşecektir. Oysaki f^* değerinin büyük uygunluk değerini simgelemesi durumunda eş çiftin diğer bireyinin kötü olma

olasılığı mümkün olabilmektedir. Çaprazlama oranının belirlenmesinden sonraki işlem bireyin tasarım değişkeni sayısı ile bu oranın çarpılıp eş çiftler arasında değiş tokuşa uğrayacak tasarım değişkeni sayısının bulunmasıdır. Elde edilen bu sayıya göre değiş tokuşa uğrayacak tasarım değişkeni sayısı 1 ile bireydeki tasarım değişkeni sayısı kadar olabilmektedir. Dolayısı ile eş çiftler için belirlenen sayı çaprazlamanın türünü belirleyeceğinden her eş çift için farklı çaprazlama türü (1, 2, 3 noktalı çaprazlama vb) gerçekleştirilebilmektedir. Literatürde algoritma içinde farklı türlerde çaprazlama gerçekleştirebilmek “değişken (flexible) çaprazlama” olarak anılmaktadır. Çaprazlama oranının 1 eşit olması eş çiftler arasında tüm tasarım değişkenlerinin değiş tokuşunu gerektirmektedir. Bu işlem sonucunda eş çiftlerin genleri bir birine aktarılacağından eş çiftin bireyleri aynen korunacaktır. Çalışmada çaprazlama oranının 1 olması durumunda yukarıda bahsedilen durum nedeni ile böyle bir durumda çaprazlama yaptırılmamaktadır.

$f < \bar{f}$ durumda çaprazlama oranı için 1 değeri yerine minimuma gidildikçe artan bir formülasyona yer verilmemesinin nedeni çaprazlamada, mutasyondan farklı olarak bireyin tasarım değişkeni eşi ile değiş tokuş yapılmaktadır. Mutasyonda olduğu gibi yenilenmemektedir ve kötü gen hala korunmaktadır. Yine çalışmada mutasyon operatörü geleneksel olarak kullanılan gelen biçiminden farklı olarak çaprazlama operatöründen önce kullanılmaktadır. Uyarlanabilir mutasyon operatörünün bu şekilde kullanılmasının nedeni bireydeki tasarım değişkenlerinin ihlal düzeylerini belirten dizinin çaprazlama ile eş çiftler arasında değiş tokuş edilerek değişmesinin önüne geçmektir.

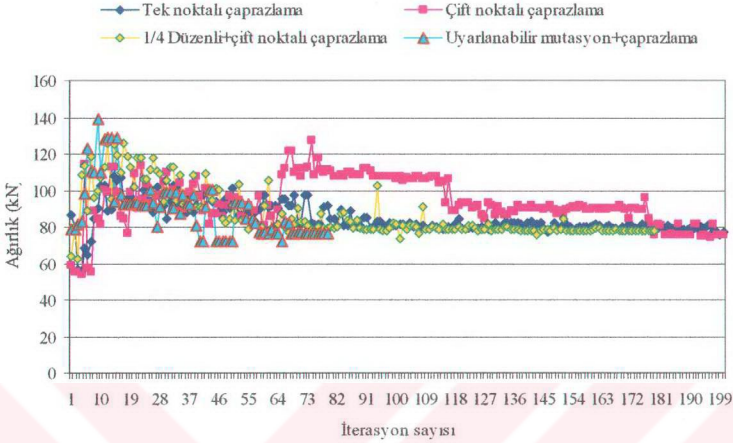
Yukarıda bahsedilen durumları barındıracak biçimde algoritmada yapılan yenilik ile optimum tasarımları incelenen çelik kafes köprü kirişlerinden 1. tip olanının *ağırlığı* $W=71,433$ kN olarak elde edilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda 14 gruba ayrılan 1. tip köprü kirişinin grup alanları ve bu grup alanlarının profil tipleri Tablo 12’de sunulmaktadır.

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere GA’da kullanılan pek çok tipte çaprazlama operatörü vardır. Çaprazlama operatörü eş çiftler arasında gen değiş tokuşu yaptığından mevcut nesilden hareketle çeşitliliği artırarak çözüm uzayının geniş kapsamlı olarak, bireyler aracılığıyla araştırılmasını sağlamaktadır. Bu çeşitliliğin farklı tip çaprazlama biçimleri kullanılarak sağlanabildiği çalışmalarla ortaya konmuştur. Ancak bunların tamamında kullanıcı tarafından önceden belirlenen bir kullanım oranı söz konusudur. Uyarlanırlar tipteki operatörler kullanıcıyı bu yükten kurtararak kullanım oranını bireyin ve popülasyonun uyum değerlerine bağlı hale getirerek dinamik olarak belirlemektedir.

Tablo 12. 1. tip köprü kirişinin optimizasyonu sonucunda elde edilen enkesit alanları

Grup no	Alan (cm ²)	Profil tipi
1	56,25	Çift L
2	59,48	
3	62,58	½ I
4	24,06	
5	23,74	Boru
6	23,74	
7	17,29	
8	23,74	
9	23,74	
10	20,45	
11	23,74	
12	23,74	
13	17,29	
14	19,48	

1. tip köprü kirişinin optimizasyonu sürecinde algoritmaya katılan yenilik yerine GA'da tek noktalı, çift noktalı, ¼ düzenli+iki noktalı çaprazlamadan birinin kullanılmaları durumunda, 200 iterasyon adımı ile %75 yakınsaklık sonlandırma kriteri altında, köprü kirişi ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi Şekil 20' de verilmektedir. Bu incelemede, her bir operatör durumu için sistemin sadece bir defa optimizasyonu yapılmıştır. GA' da tek noktalı ve çift noktalı çaprazlama operatörleriyle beraber, bilinen biçimiyle mutasyon operatörünün kullanılmaları durumunda sonlandırma kriteri olan 200 iterasyon adımına ulaşılırken sırasıyla %17,8, %23,3 yakınsama oranı elde edilmiştir. Bu yakınsama sonuçlarıyla elde edilen ağırlıkların, ¼ düzenli+iki noktalı çaprazlama ile uyarlanabilir tip operatörlerin kullanımları sonucunda elde edilen ağırlıklara oranla iyi olmadığı, özellikle %75' lik yakınsama oranına ulaşmada gerekli iterasyon adımı sayısının fazla olduğu görülmektedir. GA' da ¼ düzenli+iki noktalı çaprazlama operatörünün kullanılması durumunda 176. iterasyon adımı %75 yakınsamaya ulaşılmıştır. Bu yakınsama ile elde edilen ağırlık uyarlanabilir tip operatörlere oranla daha ağır olmakta ve bu değere ulaşılmada fazla iterasyon adımı gerekmektedir.



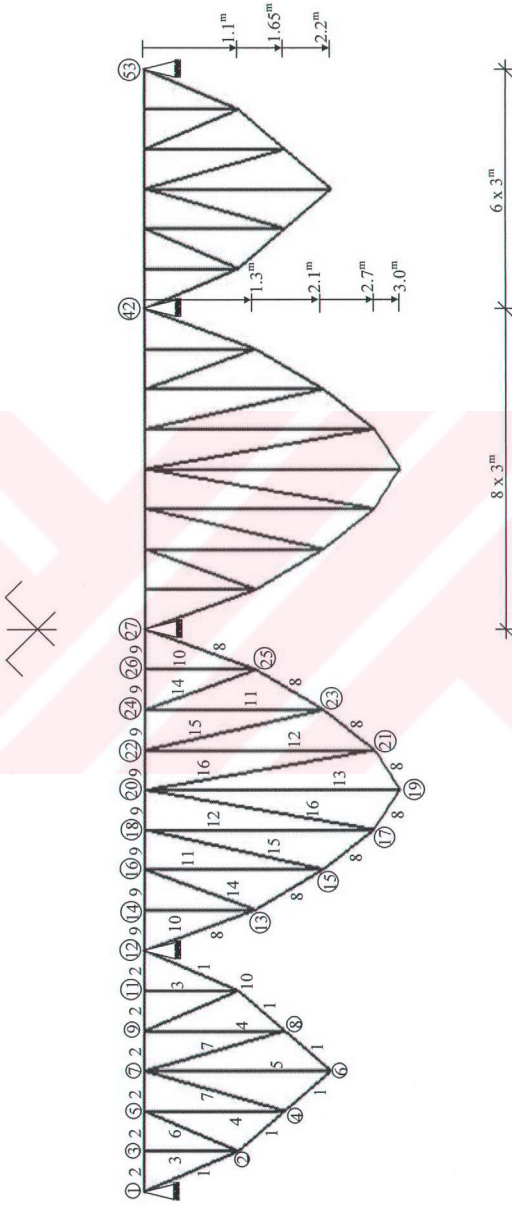
Şekil 20. 1. tip köprü kirişi ağırlığının, farklı tip çaprazlama operatörlerinin GA' da kullanımları durumunda iterasyon adımlarına göre değişimi

Son olarak GA'da uyarlanabilir tip mutasyon ve çaprazlama operatörünün kullanılması durumunda 79. iterasyon adımında %75 yakınsamaya ulaşılmıştır. Elde edilen ağırlık diğer sonuçlara oranla hafif olmakta ve bu ağırlığa ulaşmada gerekli iterasyon sayısı diğer operatörlerin kullanılmaları durumuna göre oldukça kısa olmaktadır. Bu bulgu ile algoritmaya katılan yeni tip operatörlerin, GA'nın performansını iyi yönde etkiledikleri ve kullanılabildiği görülmektedir.

2.5.5.2. 2. Tip Çelik Kafes Köprü Kirişi

Sisteme ait şekil, sistemin düğüm noktaları numaralandırılışı ve sistem için gruplandırılmaya gidilen elemanlar ve bu elemanların ait olduğu gruplar Şekil 21'de verilmektedir. Tasarımda dikkate alınan ilgili veriler ise aşağıda belirtilmektedir.

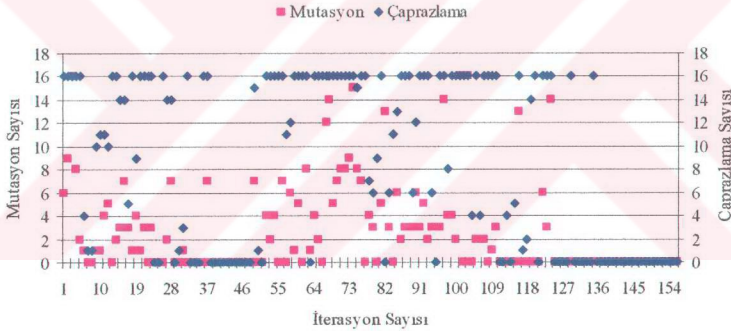
Elastisite modülü $E = 210 \text{ kN/mm}^2$, çelik malzeme için müsaade edilebilir gerilme değeri $\sigma = 212 \text{ N/mm}^2$ ve malzemenin yoğunluğu $\rho = 7.85 \times 10^{-8} \text{ kN/mm}^3$. Sistemi teşkil eden sistem elemanları 16 ayrı grup olarak sınıflandırılmaktadır. Bu 16 grupta toplanan



Şekil 21. 100 eleman, 53 düğüm noktalı 2. tip köprü kirişi

tüm sistem elemanları için kesit alanları Tablo 11’de verilen ½ I, L ve çift L profillerinden seçilmektedir. Sistemde düşey deplasmanları sınırlandırılan düğüm noktaları 7, 20, 35 ve 48 nolu düğüm noktalarıdır. Bu düğüm noktalarında sınırlandırılan deplasman değeri 7 ve 48 nolu düğüm noktaları için 23 mm, 20 ve 35 nolu düğüm noktaları içinse 30 mm’dir. Sistemde ait dolaylı yüklenme durumunu temsil eden hareketli yük hareketini 67 yüklenme durumunda tamamlamaktadır. Dolayısı ile sistemin analizinde dikkate alınan yüklenme durumu 67 olmaktadır. Optimizasyon işleminde 50 adetten oluşan bir başlangıç nesli dikkate alınmaktadır.

Optimizasyon süreci içerisinde algoritmaya katılan uyarlanabilen operatörlerin işleyişlerinin grafiksel biçimleri Şekil 22’de görülmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere her iki uyarlanabilen operatör toplumdaki bireylerin sundukları çözümleriyle daha iyiye gitmeleri durumunda etkinliğini yitirmektedir.



Şekil 22. Uyarlanabilen mutasyon ve çaprazlama operatörlerinin kullanım oranlarının iterasyon adımlarına göre değişimi

Ayrıca grafikte bazı durumlarda mutasyon oranının düşüken çaprazlama oranının büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni mutasyonun, her bir bireyin kendi uygunluk değeri ile işlemesidir. Oysa çaprazlama eş çiftlerin uygunluklarından küçük olanı ile işlem yapmaktadır. Dolayısı ile kendi uygunluğu yüksek iken düşük mutasyona uğrayan birey eş çiftin kendisinden küçük fakat ortalamaya yakın bir uygunluğa sahip olması durumunda yüksek çaprazlama oranına sahip olmaktadır. İleri iterasyon adımlarında ortalama

uygunluk değeri de birey uygunluk değerine yanaştığından eşlemelerden ileri gelen dalgalanmalara rastlanmamaktadır.

2. tip köprü kirişinin optimizasyon işlemi sonucunda 16 gruba ayrılan sistem elemanlarına ait grup alanları ve bu grup alanlarının profil tipleri Tablo 13' de sunulmaktadır. Elde edilen bu alanlarla köprü kirişinin *ağırlığı* $W=93,176$ kN olmaktadır.

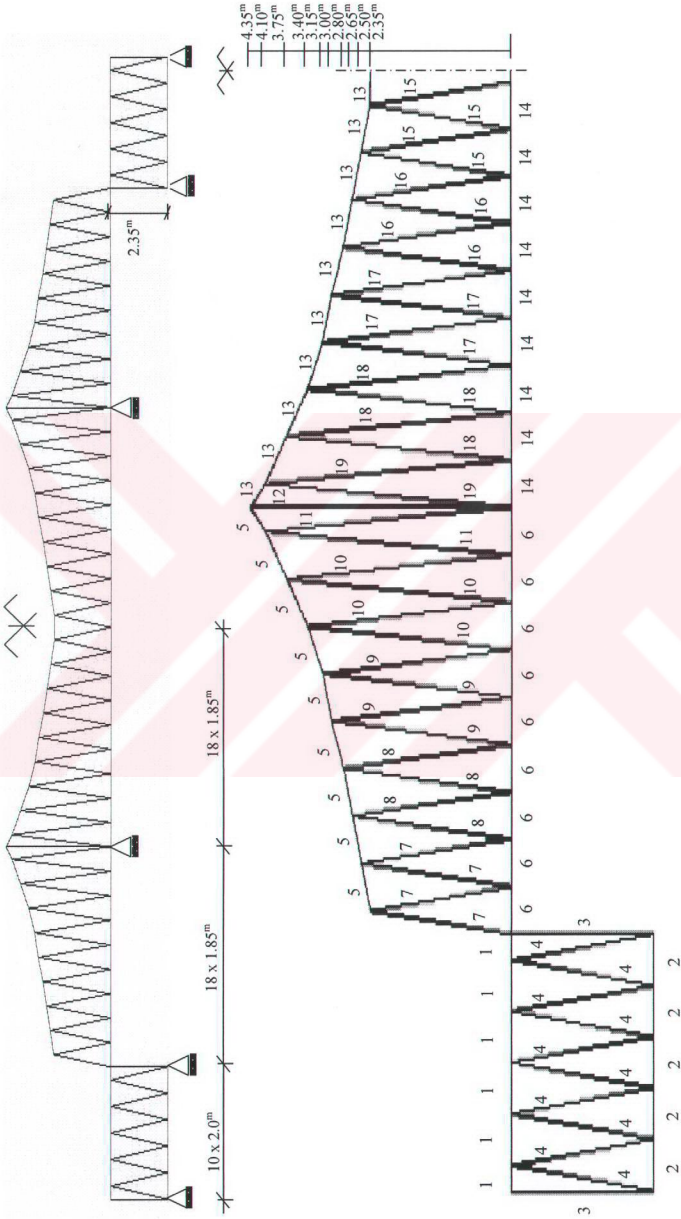
Tablo 13. 2. tip köprü kirişinin optimizasyonu sonucunda elde edilen enkesit alanları

Grup no	Alan (cm ²)	Profil tipi
1	62,58	½ I
2	51,87	
3	13,48	tek L
4	17,74	
5	19,54	
6	28,12	
7	15,48	
8	48,38	Çift L
9	59,48	
10	19,54	tek L
11	18,45	
12	19,54	
13	21,35	
14	23,29	
15	19,54	
16	23,54	

2.5.5.3. 3. Tip Çelik Kafes Köprü Kirişi

Tasarımında, elastisite modülü $E= 210$ kN/mm², çelik malzeme için müsaade edilebilir gerilme değeri $\sigma= 212$ N/mm², malzemenin yoğunluğu $\rho=7.85 \times 10^{-8}$ kN/mm³ ve sistemi teşkil eden sistem elemanları 19 ayrı grup olarak sınıflandırılarak dikkate alınan 3. tip köprü kirişine ait şekil ve sistem için gruplandırılmaya gidilen elemanlar ile bu elemanların ait olduğu gruplar Şekil 23' de gösterilmektedir.

Bu 19 grupta toplanan tüm sistem elemanları için, enkesit alanları Tablo 11'de verilen ½ I, L, çift L ve boru profillerinden seçilmektedir. Sistemde düşey deplasmanları sınırlandırılan düğüm noktaları; 7, 23, 48, 50, 52, 77 ve 93 nolu düğüm noktalarıdır. Bu düğüm noktalarında sınırlandırılan deplasman değeri 7 ve 93 nolu düğüm noktaları için 25

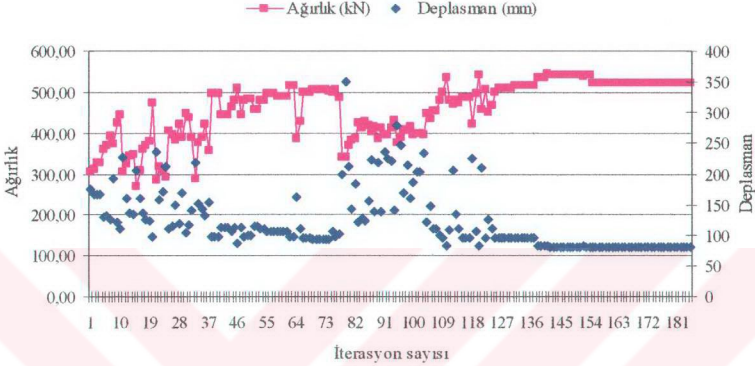


Şekil 23. 193 elemanlı, 99 düğüm noktalı 3. tip köprü kirişi

mm, 23 ve 77 nolu düğüm noktaları için 42 mm son olarak ta 48, 50, 52 nolu düğüm noktaları için de 83 mm' dir. Sistemde yükleme durumunu olarak 100 adet yükleme durumu tanımlanmaktadır. Dikkate alınan 100 yükleme durumu ile hareketli yük köprü üzerindeki hareketini, hareket tarzı daha önce bahsedildiği biçimde 100 defa tekrarlayarak bir ucundan girdiği köprünün diğer ucuna ulaşarak tamamlamaktadır. Optimizasyon işleminde 60 adetten oluşan bir başlangıç nesli dikkate alınmaktadır.

GA, optimizasyon probleminin çözüm uzayını tarayarak bu çözüm uzayındaki tepe noktası olarak nitelenen çözüme ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle kurulan algoritma ile bir defada problemin türüne bağlı olarak değişen çözüm uzayını tarayarak global çözüme ulaşmak söz konusu olmamaktadır. GA ile optimizasyon işlemlerinde kurulan algoritma aracılığıyla çözüm uzayının taranması işlemi tekrarlanmaktadır. Tekrarlanan tarama işlemi sonucunda tasarımcı elde edilen veriler ışığında çözüme dair ip uçları yakalaya bilmektedir. Bu ip uçlarından hareketle kullanıcı tanımlı başlangıç topluluğu oluşturabilmekte ve dahi sonuçlar elde edilebilmektedir. Bekiroğlu (2003)' e göre başlangıç neslinin kullanıcı tanımlı olmasından ziyade kullanılan veri tabanlarında (eleman grupları için kullanılan profil enkesit alanları) daraltmaya gitmek de etkili olabilmektedir. 3. tip köprü girişinin çözüme dair tekrarlanan çözüm uzayının taranması işlemleri sonucunda sınırlayıcılara riayet eden bir çözüm elde edilememiştir. Ancak birkaç kez tekrarlanan optimizasyon işlemi sonrasında çözümlerin tanımlanan veri tabanlarını tamamıyla kullanmadığı görülmüştür. Varılan bu kanı sonucunda başlangıçta 31 adet ½ I, 40 adet L, 40 adet çift L ve 28 adet boru profili olarak tanımlanan veri tabanında 10 adetlik bir daraltmaya gidilmiştir. Yeni tanımlanan bu veri tabanı aracılığıyla optimizasyon işlemi birkaç kez tekrarlanmış ancak elde edilen çözümlerin önceki çözümlere göre daha iyi olmalarına karşın, özellikle deplasman sınırlayıcısına riayet etmediği görülmüştür. Varılan sonuçlar ışığında köprünün 5, 6, 13 ve 14 nolu gruplar olarak tanımlanan elemanlar için veri tabanının yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Basınca çalışan ve köprünün orta açıklığının alt ile üst başlığını teşkil eden bu eleman grupları için yetersiz olan 21. sıradaki (en büyük alan) ½ I profili enkesit alanı artırılmıştır. Bu yenileme sonucunda birkaç kez taranan çözüm uzayından optimum çözüme ulaşılabilinmiştir. Bulunan bu çözümün, çözüm uzayının tepe noktası olan global çözüm olması ihtimaline karşın GA' nın yapısı gereği bu iddea edilememektedir. Ancak elde edilen çözüm, tüm nümerik yöntemlerde olduğu gibi kesin çözüme oldukça yakındır ve kullanılabilir. Doğal seçilimi taklit eden genetik süreç içerisinde sistem elemanları için ortam koşullunu temsil eden sınırlayıcılardan olan

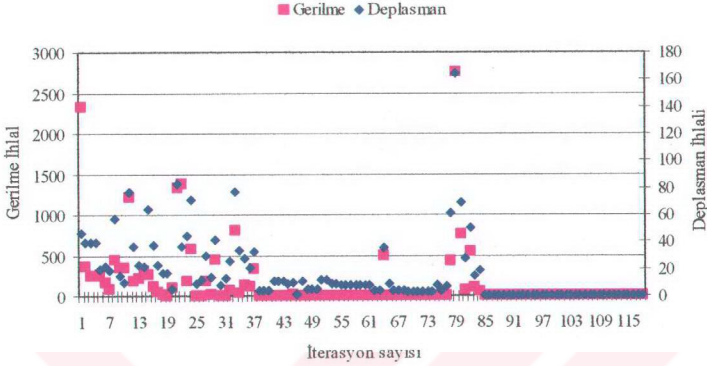
deplasman sınırlayıcısının ve sistemin ağırlığının iterasyon adımlarına bağlı değişimlerinin grafiksel biçimleri Şekil 24' de verilmektedir.



Şekil 24. 3. tip köprü girişinin ağırlığının ve 50 nolu düğüm noktasının düşey deplasman değerinin iterasyon adımlarına göre değişimi

Grafikten de görüldüğü üzere her iki değer, toplumdaki bireylerin sundukları çözümler ile çözüm uzayı içerisinde tasarım problemine ait tepe noktadaki çözüme yaklaşmaları durumunda iterasyon adımlarına göre değişimleri, yatay olarak seyir etmektedir. Bu durumda toplumdaki bireylerin çoğunluğu (%85'i) aynı bireyden oluşmakta ve bireylerin sundukları çözüm çeşitlilik arz etmemektedir. Tasarım süreci boyunca elde edilen veriler ışığında deplasman sınırlayıcısının gerilme ve stabilite sınırlayıcısına baskın gelerek optimum tasarıma ulaşmada etkin rol oynadığı görülmektedir (Şekil 25). İstenilen koşulları sağlamadan oldukça uzak olan başlangıç popülasyonunda gerek gerilme gerekse deplasman sınırlayıcısı ihlal edilmektedir.

Ancak uyarlanabilir operatörlerle etkin bir biçimde araştırılan çözüm kümesinde daha iyi tasarımlara ulaşıldıkça varılan çözümlerde gerilme sınırlayıcısı ihlal edilmezken deplasman sınırlayıcısı ihlal edilmektedir. En uygun olarak kabul edilen tasarıma ulaşıldığında ise elde edilen çözümün her iki sınırlayıcıya da riayet ettiği grafikten görülmektedir. Ayrıca Şekil 24 ve 25 incelendiğinde GA ile optimizasyonlarda alışıl gelen



Şekil 25. 3. tip köprü kirişinin optimizasyonu sürecinde gerilme ve deplasman sınırlayıcısının ihlal değerlerinin iterasyon adımlarına göre değişimi

ağırlığın iterasyon adımlarına göre azalarak en az değerine ulaşması grafiksel görünümünün aksine, gerçekleştirilen tasarımlarda deplasman sınırlayıcısının etkin olmasından dolayı, ağırlığın iterasyon adımlarına göre artarak ihlalsiz en az değerine ulaştığı görülmektedir. Deplasman sınırlayıcısının optimizasyonda etkin olması durumu köprü gibi hassas ve önemli olan bir yapı sisteminde kullanım durumuna göre farklılık gösteren ancak en büyüğü $L/800$ olarak dikkate alınan deplasman kriteri ile paralellik arz etmektedir.

Başlangıçta dikkate alınan veri tabanlarında yapılan daraltma ve bazılarında yapılan eklemeler sonucunda 3. tip köprü kirişine ait minimum *ağırlık* $W=523,777$ kN olarak elde edilmiştir. Bu ağırlığı oluşturan ve 19 grupta toplanan köprü kirişinin gruplarına karşılık gelen eleman kesit alanları ve bu alanların profil karşılıkları Tablo 14' de sunulmaktadır.

Tablo 14. 3. tip köprü kirişinin optimizasyonu sonucunda elde edilen enkesit alanları

Grup no	Alan (cm ²)	Profil tipi
1	109,03	Çift L
2	89,67	
3	37,80	tek L
4	32,64	
5	142,58	½ I
6	142,58	
7	82,58	Boru
8	76,77	
9	54,19	
10	35,99	
11	27,74	
12	76,77	
13	142,58	½ I
14	142,58	
15	94,19	Boru
16	76,77	
17	94,19	
18	76,77	
19	82,58	

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları bulunan ve ayrık olan tasarım değişkenlerinin kendileri yerine kodlanılmış biçimlerini kullanarak olasılık kuralları dahilinde işleyen GA ile gerek üç boyutlu sistemlerin boyut, boyut ve şekil gerekse iki boyutlu sistemlerin geleneksel olarak kullanılagelen operatörler haricinde uyarlanabilen çaprazlama ve mutasyon operatörleriyle minimum ağırlıklı tasarımlarını gerçekleştirmek, bu çalışmanın amacını teşkil etmektedir. Bu amaç doğrultusunda hem iki adet üç boyutlu kafes sistemin hem de 3 adet iki boyutlu kafes sistemin GA ile optimizasyonu incelenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar ve öneriler maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır.

- Bu çalışmada varılan sonuçlar, GA' nın kafes sistemlerin boyut optimizasyonlarının yanı sıra şekil ve boyut optimizasyonlarında da kullanılabilir olduğunu göstermektedir.
- Sistemlerin boyut ve şekil optimizasyonları aracılığıyla optimizasyon sürecine geometri değişimini katmakla boyut optimizasyonuna göre daha hafif sistemler elde edilebilmektedir.
- Sistem için tüm düğüm noktaları koordinat değerlerinin tasarım değişkeni olarak tanımlanmasıyla daha hafif sistemler elde edilebilir. Ancak böyle bir optimizasyon hem kullanılabilir olmamakta hem de çözüm havzası fazlaca büyüyeceğinden sonuca ulaşmak oldukça güçleşmektedir. Bu nedenle boyut ve şekil optimizasyonu gerçekleştirilirken tasarım değişkeni olarak alınacak koordinatların ve bu koordinatların diğer koordinatlara ilişkilendirilmelerine dikkat edilmesinde fayda bulunmaktadır.
- GA'da tasarım değişkenleri sürekli olarak ta alınabilmektedir. Çalışmada ayrık olarak dikkate alınan koordinat tasarım değişkenlerinin sürekli alınarak sistemlerin tekrardan boyut ve şekil optimizasyonları irdelenebilir.
- Şekil ve boyut optimizasyonu incelenen sistemlerde, sistemleri alt parçalara ayırarak inceleme yapılmamıştır. Bu nedenle sistemleri alt parçalara ayırarak koordinat tasarım değişkenlerinin, çalışmada olduğu gibi bir bütün olarak ele alınmasına göre daha iyi etkileşimlerinin sağlanıp sağlanamayacağı görülmelidir.

- Özellikle şekil ve boyut optimizasyonu yapılırken artan tasarım değişkeni sayısı, bireylerin uzun bit değerlerine sahip olmalarını gerektirmektedir. Bu sebeple ikilik kodlama kullanmak boyut ve şekil optimizasyonu için uygun olmayabilmektedir
- İncelenen ve inceleme sonucunda elde edilen veriler ışığında GA köprü kirişleri gibi çoklu yük durumlarını dikkate almada ve bu kirişlerin optimizasyonlarında kullanılabilir olmaktadır.
- Köprü taşıyıcı sistemi olarak seçilen ve açıklığı oldukça büyük düzlem kafes sistemlerde, deplasman sınırlayıcıları etkin olmuştur.
- Çalışmada sadece HS20 yük katarı dikkate alınmaktadır. Standartlarda belirtilen diğer yük katarı tipleri içinde incelemeler yapılabilir.
- Hareketli yükün sistem üzerindeki hareketini daha hassas almakla trafik yükü daha iyi ifade edileceğinden yük katarının çalışmada iki olarak alınan adım aralığı artırılarak yapılacak optimizasyon işlemiyle sistem ağırlığında bir değişme olup olmayacağı araştırılmalıdır.
- Köprü kirişlerinin boyut optimizasyonlarının yanı sıra şekillerini de optimize edecek biçimde bir algoritma geliştirilmeli ve köprü kirişleri içinde, boyut ve şekil optimizasyonu yapılarak kiriş ağırlığında boyut optimizasyonuna göre bir değişme olup olmayacağı araştırılmalıdır.
- Sistem elemanları için kullanılan profil veri tabanlarının, elde edilen çözümler göz önüne alınarak daraltılmaları veya genişletilmeleri tasarımı daha etkin sonuçlara götürebilmektedir.
- Keyfiyet mekanizması nedeni ile gereksiz olarak yapılan ve sonuca ulaşmada iterasyon sayısını arttıran geleneksel çaprazlama ve mutasyon operatörleri yerine yeni tip operatörler (uyarlanı çaprazlama ve mutasyon operatörü gibi) kullanmak GA' nın performansını artırabilmektedir.
- Uyarlanı hale gelen mutasyon operatörünün, tasarım değişkenlerinde ihlalin değerine göre gerçekleştirdiği keyfi değişim yerine ihlalin derecesine göre mevcut tasarım değişkenini artırmak veya azalmak yönünde işlemini sağlayarak algoritmaya katılmasının daha iyi sonuçlara götürüp götürmeyeceği görülmelidir. Ancak bu yapılırken tasarım değişkeninin artırılması veya azaltılmasını sağlayacak ihlalin ne kadar pozitif veya negatif olmasına izin verilip verilmeyeceğinin belirlenmesine dikkat edilmelidir.

- GA' nın sunduğu çözümleri iyi etüt ederek keyfi başlangıç nesli yerine kullanıcı tanımlı başlangıç topluluğu kullanmak, keyfiyet nedeni ile büyük olasılıkla çözümlerinde kötü bir konumda olan başlangıç neslinin iyileştirilmesi için harcanan zamanı kısaltabilmektedir.
- Karar verme mekanizması olan bulanık mantık gibi yapay zeka uygulamalarının GA ile özellikle uyarlanır hale getirilen operatörlerde karar mekanizması olan bireyin uygunluğu veya eş çiftten küçük uygunluğa sahip olanın uygunluğunun ortalama uygunluk ile kıyaslanmasında ne kadar kötü ne kadar iyi karşılaştırmasını yapmak üzere entegresinin GA' nın performansı nasıl etkileyeceği araştırılmalıdır.



4. KAYNAKLAR

- Adeli, H. ve Kamal, O., 1986. Efficient Optimization of space Trusses, Computer & Structures, 24 (3), 501-511.
- American Institute of Steel Construction (AISC-ASD), 1989. Manual of Steel Construction Allowable Stress Design, Chicago.
- Arora, J. S., 1980. Analysis of Optimality Criteria and Gradient Projection Methods for optimal Structural Design, Computer Meth. Appl. Eng., 23, 185-213.
- Arun, C. S., 1996. A Modular Genetic Algorithm and Its Implementation in A Distributed Environment for Structural Optimization, M. Sc. Thesis, The University of Texas at Arlington.
- Aydın, Z., 2000. Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Barbieri, E. ve Lombardi, M., 1998. Minimum Weight Shape and Size Optimization of Truss Structures Made of Uncertain Materials, Structural Optimization, 16, 147-154.
- Bekiroğlu, S., 2003. Genetik Algoritma ile Çelik Çerçeveselerin Optimum Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Camp, C., Pezeshk, S. ve Cao, G., 1998. Optimized Design of Two-Dimensional Structure Using A Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, 124, 551-559.
- Cao, G., 1996. Optimized Design of Framed Structures Using a Genetic Algorithm, Ph. D. Dissertation, The University of Memphis.
- Celasun, H., 1974. Çelik Köprüler, Çağlayan Kitapevi, İstanbul
- Chen, T. Y. ve Chen, C. J., 1997. Improvements of Simple genetic Algorithm in Structural Design, Int. Journal for Numerical Methods in Engineering, 40, 1323-1334.
- Chen, W.-F. ve Duan, L., 2000. Bridge Engineering Handbook, CRC Press LLC, New York.
- Chou, J.-H. ve Ghaboussi, J., 2001. Genetic Algorithm in Structural Damage Detection, Computer & Structures, 79, 1335-1353.
- Corcoran, P. J., 1970. Configurational Optimization of Structures, Int. Journal Mech. Sci., 12, 459-462.
- Çakıroğlu, A. ve Çetmeli, E., 1990. Yapı Statiği Cilt 1, Beta Basım Yayım Dağıtım A. Ş., İstanbul
- Daloğlu, A. ve Armutçu, M., 1998. Genetik Algoritma ile Düzlem Çelik Çerçeveselerin Optimum Tasarımı, İMO Teknik Dergi, 601-615.

- Daloğlu, A. ve Aydın, Z., 1999. Kafes Sistemlerin Uygulamaya Yönelik Optimum Tasarımı, Pamukkale Üniv. Müh. Fak. Mühendislik Bilimleri dergisi, 5, 948-954.
- Dede, T., 2003. Değer Kodlaması Kullanarak Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dobbs, M. W. ve Felton, L. P., 1969. Optimization of Truss Geometry, Journal of Structural Division, 95, 2105-2118.
- Dorn, W. S., Gomory, R. E. ve Greenberg, H. J., 1964. Automatic Design of Optimal Structures, Journal de Mecanique, 3, 25-52.
- Erbatur, F. ve Al-hussainy, M. M., 1992. Optimum Design of Frames, Computers & Structures Vol. 45, No. 5/6, 887-891.
- Erbatur, F. ve Hasańçebi, O., 1997. Uygulamaya Dönlük Yapı Otimizasyonu, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, ODTÜ Ankara, 127-136.
- Gil, L. ve Andreu, A., 2001. Shape and Cross-Section Optimization of Truss Structure, Computer & Structures, 79, 681-689.
- Goldberg, D. E., ve Samtani, M. P., 1986. Engineering optimization Via Genetic Algorithm, Proc. 9th Conf Electronic Computation ASCE, 471-482.
- Golberg, D. E., 1989. Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, New York.
- Grierson, D. E. ve Pak, W. H., 1993. Optimal Sizing Geometrical and Topological Desing Using a Genetic Algorithm, Structural Optimizaiton, 6, 151-159.
- Groenwold, A. A., Stander, N. ve Snyman, J. A., 1999. A Reginal Genetic Algorithm for the Discrete Optimal Desing of Truss Structures, International Journal for Num. Meth. in Engineering, 44, 749-766.
- Guan, H., Chen, Y.-J., Loo, Y.-C., Xie, Y.-M. ve Steven, G. P., 2003. Bridge Topology Optimizaiton with Stress, Displacement and Frequency Constrains, Computer & Structures, 81, 131-145.
- Hall, S. K., Cameron, G. E. ve Grierson D. E., 1989. Least Weight Design of Steel Frameworks Accounting for P-Δ Effects, Journal of Structural Engineering, 115-No.6, 1463-1475.
- İlter, F., 1978. Osmanlılara kadar Anadolu Türk Köprüleri, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara
- İlter, İ., 1988. Yol Ağlarımızdaki Köprülerimiz, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara

- Jenkins, W. M., 1991. Towards Structural Optimization Via The Genetic Algorithm, Computer & Structures, 40, 1321-1327.
- Jenkins, W. M., 1992. Plane Frame Optimum Design Environment Based on Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, 118, 3103-3112.
- Jenkins, W. M., 2002. A Decimal-Coded Evolutionary Algorithm for Constrained Optimization, Computer & Structures, 80, 471-480.
- Krisch, U. ve Yopping, B. H. V., 1992. Minimum Weight Design of Structural Topologies, Journal of Structural Engineering, 118, 1770-1785.
- Krishnamoorthy, C. S., Venkatesh, P. P. ve Sudarshan, R., 2002. Object-Oriented Framework for Genetic Algorithms with Application to Space Truss Optimization, Journal of Computing in Civil Engineering, 16, 66-75.
- Leiete, J. P. B. ve Topping, B. H. V., 1999. Parallel Simulated Annealing for Structural Optimization, Computers & Structures, 73, 545-564.
- Lin, C.-Y. ve Hajela, P., 1992. Genetic Algorithm in Optimization Problems with Discrete and Integer Design Variable, Engineering Optimization, 19, 309-327.
- Lin, C.-Y. ve Hajela, P., 1993. Genetic Search Strategies in Large Scale Optimization, Engineering Optimization, 19, 309-327.
- Lin, J. H., Che, W. Y. ve Yu, Y.S., 1982. Structural Optimization on Geometrical Configuration and Element Sizing with Statical and Dynamical Constraints, Computers & Structures, 15, 507-515.
- Lipson, S. L. ve Agrawal, K. M., 1974. Weight Optimizaition of Plane Trusses, Journal of the Structural Division, 100-ST4, 864-879.
- Lipson, S. L. ve Gwin, L. B., 1977. The Complex Method Applied to Optimal Truss Configuration, Computers & Structures, 7, 461-468.
- Mahfouz, S. Y., 1999. Design Optimization of Structural Steelwork, Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering University of Bradford.
- May, S. A. ve Balling, R.J., 1992. A Filtered Simulated Annealing Strategy for Discrete Optimization of 3D Steel Frameworks, Structural Optimization, 4, 142-148.
- Noor, A. K., 1974. Multiple Configuration analysis Via Mixed Method, Journal of the Structural Division, 100-ST9, 1991-1997.
- Ohsaki, M., 1995. Genetic Algorithm for Topology Optimizaition of Trusses, Computers & Structures, 57, 219-225.
- Ohsaki, M., 1998. Simultaneous Optimizaition of Topology and Geometry of a Regular Plane Truss, Computers & Structures, 66, 69-77.

- Pedersen, P., 1973. Optimal Joint Positions for Space Trusses, Journal of the Structural Division, 99-ST12, 2459-2476.
- Perçin, A. T., 2002. Optimizasyon Tekniklerini Kullanarak Tasarım Şekil Parametrelerinin Belirlenmesi, Savunma ve Güvenlik Bülteni, sayı 18, 25-35.
- Rajan, S. D., 1995. Sizing, Shape and Topology Design Optimization of Trusses Using Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, 121-No.10, 1480-1487.
- Rajaev, S. ve Krishnamoorthy, C. S., 1992. Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms, Journal of Structural Engineering, 118-No.5, 1233-1250.
- Rajaev, S. ve Krishnamoorthy, C. S., 1997. Genetic Algorithms-Based Methodologies for Design Optimization of Trusses, Journal of Structural Engineering, 123-No.3, 350-358.
- Ramasamy, J. V. ve Rajasekaran, S., 1996. Artificial Neural Network and Genetic Algorithm For The Design Optimization of Industrial Roofs, Computers & Structures, 58-No.4, 747-755.
- Rasheed, K. M., 1998. GADO: A Genetic Algorithm for Continuous Design Optimization, Ph. D. Dissertation, The State University of New Jersey.
- Saka, M. P., 1980. Shape Optimization of Trusses, Journal of the Structural Division, 106-ST5, 1155-1175.
- Saka, M. P., 1981. Structural Shape Optimization, 15. Jugoslovenski Kongres Teorijske Primenjene Mehanike, Kupari, Jugoslavije, 135-145.
- Saka, M. P., 1990. Optimum Design of Pin-Jointed Steel Structures with Practical Applications, Journal of Structural Engineering, 116-No.10, 2599-2620.
- Saka, M. P., 1991. Optimum Geometry Design of Roff Trusses By Optimality Criteria Method, Computers & Structures, Vol.38, No. 1, 83-92.
- Saka, M. P. ve Ülker, M., 1991. Optimum Design of Geometrically Nonlinear Space Trusses, Computers & Structures, Vol.41, No. 6, 1387-1396.
- Sakla, S. S. S. ve Elbaltagi, E., 2003. Design of Steel Roofs Subjected to Drifted Snow Using Genetic Optimization, Computers & Structures, 81, 339-348.
- Salmon, C. G. ve Johnson, J. E., 1980. Stell Structures: Design and Behavior, 2d Edition, Harper & Row Publishers, New York.
- SAP 2000, 1997. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Analysis Refences Volume 1, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.
- Srividya, A. ve Ranganathan, R., 1995. Reliability Based Optimal Design of Reinforced Concrete Frames, Computers & Structures, 57-No.4, 651-661.

- Srivinas, M. ve Patnaik, L. M., 1994. Genetic Algorithms: A Survey, Computer, IEEE, 17-26.
- Srivinas, M. ve Patnaik, L. M., 1994. Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithms, IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetic, Vol.24-No.4, 656-667.
- Thanedar, P. B. ve Vanderplaats, G. N., 1995. Survey of Discrete Variable optimization for Structural Design, Journal of Structural Engineering, 121-No.2, 301-306.
- Topping, B. H. V., 1983. Shape Optimization of Skeletal Structures: A Review, Journal of Structural Engineering, 109-No.8, 1933-1946.
- TS 648, 1982. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara.
- Tütüncü, İ., 1995. Optimization of Steel Frames by Genetic Algorithms, M. Sc., Thesis, The Middle East Technical University, Ankara.
- URL-1, <http://www.yapay-zeka.org>, Yapay Sinir Ağları, 02 Ocak 2004.
- URL-2, http://yapayzeka.hypermart.net/yz/uzman_sistemler.htm, Uzman Sistemlerin Ten Bileşenleri, 02 Ocak 2004.
- Vanderplaats, G. N. ve Moses, F., 1972. Automated Design of Trusses for Optimum Geometry, Journal of the Structural Division, 98-ST3, 671-690.
- Vanderplaats, G. N., 1981. Structural Optimization-Past, Present and Future, AIAA Journal, Vol 20, No.7, 992-1000.
- Weldali, S. H. ve Saka, M. P., 1999. Optimum Geometry and Spacing Design of Roof Trusses Based on BS 5950 Using Genetic Algorithm, Design Optimization, Vol.1, No.2, 198-219.
- Wu, S.-J. ve Chow, P.-T., 1995. Integrated Discrete and Configuration Optimizaition of Trusses Using Genetic Algorithms, Computers & structures, 55-No.4, 695-702.
- Yang, S., 2002. Adaptive Crossover in Genetic Algorithms Using Statistics Mechanism, In Artificial Life VIII, Standish, Abbass, Bedan (eds)(MIT Pres), 182-185.
- Yeo, M. F. ve Agyei, E. O., 1998. Optimising Engineering Problems Using Genetic Algorithms, Engineering Computations, Vol.15, 268-280.
- Yol Köprüleri için Teknik Şartname, 1982. Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Yoshimoto, F., Harada, T. ve Yoshimoto, Y., 2003. Data Fitting with A Spline Usig A Real-Coded Genetic Algorithm, Computer-Aided Design, 1-10.

ÖZGEÇMİŞ

Vedat TOĞAN 1978 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Fahri ÇALDAĞ İlköğretim Okulu, Ahmet YESEVİ İlköğretim Okulu ve Ankara İnşaat Teknik Lisesi olmak üzere Ankara’da tamamladı. 1996-1997 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Güm. Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başlayan TOĞAN 1999-2000 öğretim yılında K.T.Ü. Müh.-Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden bölüm birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl bu bölümde yüksek lisans eğitimine başlayarak 2001-2002 güz döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’ne araştırma görevlisi olarak atandı. İngilizce bilen TOĞAN halen bu görevini sürdürmektedir.