

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN KAFES SİSTEMLERİN GENETİK
ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Dursun DURUKAN

**OCAK 2013
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN KAFES SİSTEMLERİN GENETİK
ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI**

İnşaat Mühendisi Dursun DURUKAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28/12/2012

Tezin Savunma Tarihi : 23/01/2013

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU

Trabzon 2013

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Dursun DURUKAN tarafından hazırlanan**

**DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN KAFES SİSTEMLERİN GENETİK
ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 01 / 2013 gün ve 1488 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU

Üye : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU

Üye : Doç. Dr. Süleyman ADANUR

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

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

Uygulanabilirlik ve anlaşılabilirliğinin yanı sıra, esnekliğini de birçok sistem üzerinde kanıtlamış yöntemlerden biri olan genetik algoritma; bu çalışmada gerçek değer kodlaması kullanarak, düzlem ve uzay kafes sistemlerin doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla en az ağırlıklı çözüme gidecek doğrultuda kullanılmıştır.

Çalışmam süresince, gerek zaman yönetimim gerekse bilgi eksikliklerimin giderilmesi konusunda her türlü imkânını benimle paylaşmaktan ve her konuda yardımcı olmaktan mutluluk duyan, tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU'na, tezimi değerlendirmek için zaman ayıran jüri üyelerim Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU ve Doç. Dr. Süleyman ADANUR' a teşekkür ederim.

Kendileriyle her zaman gurur duyduğum aileme minnettarlığımı bir kez daha belirtmek isterim.

Dursun DURUKAN
Trabzon - 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sonra kadar danışmanım Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU’ nun sorumluluğunda tamamladığımı, veri ve örnekleri kendim topladığımı, örnek soruları kendi oluşturduğum programla çözdüğümü, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

04/02/2013

Dursun DURUKAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Genetik Algoritma	2
1.2.1. Genel Tanımlar	3
1.2.1.1. Başlangıç Neslinin Tanımı ve Oluşturulması.....	3
1.2.1.2. Genetik Algoritma Operatörleri ve Uygulanması	5
1.2.1.2.1. Kopyalama Operatörü.....	5
1.2.1.2.2. Çaprazlama Operatörü.....	5
1.2.1.2.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama.....	6
1.2.1.2.2.2. İki Noktalı Çaprazlama.....	7
1.2.1.2.2.3. Düzenli Çaprazlama	7
1.2.1.2.3. Mutasyon Operatörü	8
1.2.1.2.4. Elitist Strateji	8
1.2.2. GA 'nın Matematiksel Formülasyonu	9
1.3. Düzlem Kafes ve Uzay Kafes Sistemlerin Yapısal Çözümlemesi	12
1.3.1. Düzlem Kafes Sistemlerin Analizi	12
1.3.2. Uzay Kafes Sistemlerin Analizi	15
1.4. Geometrik Bakımdan Doğrusal Olmayan Düzlem Kafes ve Uzay Kafes Sistemlerin Matematiksel Olarak Tanımlanması	15
1.4.1. Düzlem Kafes Sistem Çubuklarının Geometrik Rijitlik Matrisi	16
1.4.2. Uzay Kafes Sistem Çubuklarının Geometrik Rijitlik Matrisi	17

1.4.3.	Tanjant Rijitlik Matrisinin Oluşturulması ve Ardışık Yaklaşım Yöntemi	18
1.5.	Örnek	20
1.5.1.	Çözüm.....	22
2.	YAPILAN ÇALIşMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	30
2.1.	Düzlem Kafes Sistemlerin Optimum Tasarımı	30
2.1.1.	On Çubuklu Düzlem Kafes Sistem.....	30
2.1.2.	Kırk Dokuz Çubuklu Düzlem Kafes Sistem.....	33
2.2.	Uzay Kafes Sistemlerin Optimum Tasarımı.....	40
2.2.1.	Yirmi Beş Çubuklu Uzay Kafes Sistem	40
2.2.2.	Elli İki Çubuklu Uzay Kafes Sistem.....	45
2.2.3	Yüz Elli Dört Çubuklu Enerji Nakil Hattı Kulesi.....	50
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
4.	KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİş		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN KAFES SİSTEMLERİN GENETİK
ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI

Dursun DURUKAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU

2013, 60 Sayfa

Bu çalışmada güncel optimizasyon yöntemlerinden biri olan Genetik Algoritma ile doğrusal olarak çözülmüş düzlem ve uzay kafes sistemlerin minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılması yapılmıştır. Ayrıca, geometrik bakımdan doğrusal olmayan sistemleri gerçeğe daha yakın temsil eden ardışık yaklaşım yöntemiyle doğrusal olmayan şekilde analiz edilmiş düzlem ve uzay kafes sistemlerin minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılması da gerçekleştirilmiştir.

Doğrusal sonlu elmanlar yönteminin ve ardışık yaklaşım metodunun matematiksel tanımı verilmiş ve bu yöntemlerin Genetik Algoritma (GA) ile minimum ağırlıklı tasarımda kullanılması matlab dilinde yazılan programla sağlanmıştır.

Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçları kullanılarak optimizasyonu gerçekleştirilen sistemlerin optimizasyon sonuçlarında farklılıklar olup olmadığı incelenmiş ve oluşan farklılıkların sebepleri belirlenmiştir. Ayrıca ulaşılan sonuçların literatürden elde edilenlerle karşılaştırması yapılmıştır.

Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz kullanılarak optimizasyonu yapılan sistemlerde, optimizasyon sonuçlarının neredeyse aynı olduğu, oluşan farklılıkların ise oldukça küçük değişiklikler şeklinde meydana gelip, sınır durumunda bulunan doğrusal analizle optimizasyon sonuçlarının bir üst kesite taşınması gerekliliğini ortaya çıkartmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, Değer kodlaması, Geometrik olarak lineer olmayan analiz, Kafes sistemlerin lineer olmayan analizi, İki ve üç boyutlu kafes sistemler.

Master Thesis

SUMMARY

OPTIMUM DESIGN OF LINEAR AND NONLINEAR TRUSS SYSTEMS USING
GENETIC ALGORITHM

Dursun DURUKAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU
2013, 60 Pages

In this study; genetic algorithms is used to perform optimum design of plane and space truss systems for minimum weight. Besides geometrically nonlinear behavior of the plane and space truss systems are considered using a successive iterative technique to represent the behavior of the system better in the optimum design of the truss structures.

The explanation for the finite element method and successive iteration technique is given and also application of Genetic Algorithm along with these methods to perform the optimum design of truss structures are shown by coding a computer program in Matlab.

The comparison is made to figure out the possible differences between the results obtained from the optimum design of linear and nonlinear design of the truss systems. The reasons of the possible differences are searched and results obtained in the study are also compared with the ones evaluated by other researchers from the literature.

It is seen that the optimum results using linear and nonlinear analysis are usually almost the same, and the differences are very small. It is also observed that it is necessary to go to an upper section if the section is on the limit when the linear analysis is used.

Key Words: Genetic Algorithm, Value Encoding , Truss Systems , Geometrical Non-Linearity, Non-Linear Analysis of Truss , Finite Element Method , Non-Linear Analysis, 2D – 3D truss.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.2.1.2.2.1.1. Tek noktalı çaprazlama	6
Şekil 1.2.1.2.2.2.1. İki noktalı çaprazlama	7
Şekil 1.2.1.2.2.3.1. Düzenli çaprazlama	8
Şekil 1.2.2.1. Genetik algoritma akış diyagramı	11
Şekil 1.3.1.1. Düzlem kafes sistem elemanı	12
Şekil 1.4.3.1. Ardışık yaklaşım yöntemi akış diyagramı	19
Şekil 1.5.1.1. Geometrik bilgiler	22
Şekil 1.5.1.2. Artık yükler	24
Şekil 1.5.1.3. Başlangıç nesli ve kopyalama işlemi.....	28
Şekil 1.5.1.4. Çaprazlama	28
Şekil 2.1.1.1. Sistemin geometrik özellikleri ve yükleme durumu.....	30
Şekil 2.1.1.2. Birey ağırlığının (kg) optimizasyon sürecindeki değişimi	33
Şekil 2.1.2.1. Kırk dokuz çubuklu sistem.....	33
Şekil 2.1.2.2. Birinci bireyin iterasyon sürecindeki ağırlık değişimi	37
Şekil 2.2.1.1. 25 Çubuklu uzay kafes sistem	40
Şekil 2.2.1.2. Birinci bireyin iterasyondaki toplam ağırlık değerleri	44
Şekil 2.2.2.1. Sistem geometrik özellikleri.....	45
Şekil 2.2.2.2. Sistemin plan görünüşü	46
Şekil 2.2.2.3. Birey ağırlığının iterasyon sürecinde değişimi.....	49
Şekil 2.2.3.1. İletim kulesi geometrik özellikleri ve genel vaziyeti	52
Şekil 2.2.3.2. Birey ağırlığının iterasyon sürecinde değişimi.....	57

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.2.1.1.1. Profil listesi ve kodlama.....	3
Tablo 1.2.1.1.2. Birey ve nesil.....	4
Tablo 1.5.1. Uygulanacak adımlar.....	20
Tablo 1.5.1.1. Kullanılacak sekiz adet kutu profile ait bilgiler	23
Tablo 1.5.1.2. Başlangıç nesli.....	23
Tablo 1.5.1.3. Başlangıç nesli 1. bireyi doğrusal analiz sonucu oluşan deplasmanlar.....	23
Tablo 1.5.1.4. Başlangıç nesli birinci bireyine ait iç kuvvetler ve doğrultu kosinüsleri ..	24
Tablo 1.5.1.5. İki numaralı düğüme ait artık yükler.....	25
Tablo 1.5.1.6. Başlangıç nesli birinci bireyi artık yük değerleri	25
Tablo 1.5.1.7. Birinci birey doğrusal olmayan analiz sonuçları.....	26
Tablo 1.5.1.8. Ceza değeri.....	26
Tablo 1.5.1.9. Başlangıç nesli birey uyum değerleri	27
Tablo 1.5.1.10 Mutasyon.....	29
Tablo 2.1.1.1. On çubuklu kafes sistem çözümü için gerekli olan bilgiler	31
Tablo 2.1.1.2. On çubuklu kafes sistem çubuk alanları ve atalet yarıçapları	31
Tablo 2.1.1.3. Sistemin TS 648 'e göre burkulmalı tasarım sonuçları.....	32
Tablo 2.1.2.1. Kesit alanı ve gruplama bilgileri	34
Tablo 2.1.2.2. Analiz verileri.....	35
Tablo 2.1.2.3. Sonuçlarının Karşılaştırılması	35
Tablo 2.1.2.4. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz deplasmanları	36
Tablo 2.1.2.5. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizde çubuk kuvvetleri.....	37
Tablo 2.1.2.6. Artık yüklerin iterasyonla değişimi.....	39
Tablo 2.2.1.1. Çubuk uç düğümleri ve çubuk numaraları	41
Tablo 2.2.1.2. Düğüm noktası koordinatları ve yükleme durumu.....	42
Tablo 2.2.1.3. Enkesit alanları ve gruplama bilgileri	42
Tablo 2.2.1.4. Kullanılan emniyet gerilmeleri.....	43
Tablo 2.2.1.5. Çözüm için gerekli olan parametreler	43
Tablo 2.2.1.6. Tasarım sonuçları ve literatürle sonuçların karşılaştırılması.....	44
Tablo 2.2.2.1. Kullanılacak enkesit alanları ve gruplama bilgileri.....	47

Tablo 2.2.2.2.	Çözüm için gerekli olan parametre ve bilgiler	48
Tablo 2.2.2.3.	Elli iki çubuklu sistem tasarım sonuçları	49
Tablo 2.2.2.4.	Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan kuvvetler.....	50
Tablo 2.2.3.1.	Çözümde kullanılan parametreler	51
Tablo 2.2.3.2.	Çubuk düğüm noktaları.....	53
Tablo 2.2.3.3.	Düğüm noktası koordinatları.....	54
Tablo 2.2.3.4.	Yükleme bilgileri.....	54
Tablo 2.2.3.5.	Profil enkesit alanları	55
Tablo 2.2.3.6.	Gruplama bilgileri	55
Tablo 2.2.3.7.	Sonuçların verilmesi ve literatürle karşılaştırılması.....	56

SEMBOLLER DİZİNİ

A	Çubuk enkesit alanı
ArtP	Düğümelerde bulunan artık yük değerleri
B_u	Doğrusal olmayan sistem çubuğu uç noktası tanım matrisi
C	Sınırlayıcı ihlalleri toplamı
c_i	Ceza değeri
d	Düğüm noktası deplasmanları
dg	Yeni deplasman değerleri
E	Malzeme elastisite modülü
F	Dış yük matrisi
F_{bi}	Birey uyumu
F_e	Çubuk iç kuvveti
FEM	Finite element method (sonlu elemanlar yöntemi)
F_{ort}	Grup ortalama uyum değeri
F_u	Birey grup uyum değeri
GA	Genetik algoritma (genetik algotirma)
GGe	Global geometrik rijitlik matrisi
$g_i(x)$	Ceza değeri tespit fonksiyonu
GLi	Global rijitlik matrisi
z	Düğüm noktası sayısı
k	Kafes çubuğu rijitlik matrisi
\bar{k}	Kafes çubuğunun bir ucunun rijitliği
K_{Gi}	Çubuk geometrik rijitlik matrisi
L	Çubuk boyu
l_c	Doğrultu kosinüsleri
m_c	Doğrultu kosinüsleri
n_c	Doğrultu kosinüsleri
Lo	Tamamlayıcı alt üçgen matris
l_p	Doğrultu kosinüsleri
m_p	Doğrultu kosinüsleri
n_p	Doğrultu kosinüsleri

L_y	Çubuk yeni boyları
m	Oluşan toplam ceza adeti
N	Çubuk kuvveti
n	Çubuk sayısı
n_e	Nesildeki birey sayısı
n_k	Düğüm noktası koordinatları
n_{ky}	Düğüm noktası yeni koordinatları
P	Ceza fonksiyonu katsayısı
P_n	Düğümde bulunan toplam iç yük değeri
r_y	Çubuk yeni açıları
SGA	Simple genetik algoritma(basitleştirilmiş genetik algoritma)
STA	Çubukta oluşan şekil değiştirme değeri
STE	Çubukta oluşan gerilme değeri
T	Transformasyon matrisi
TG	Tanjant rijitlik matrisi
U	Çubuk iç enerjisi (strain energy)
u	Deplasmanlar matrisi
\bar{u}	Kafes çubuğu uç noktalarının kendi eksenindeki deplasman matrisi
$\bar{u}_{i,j}$	Çubuk uç noktasının (i, j) çubuk eksenindeki yer değişimi
U_p	Üst üçgen matris
W	Amaç fonksiyonu
$W(x)$	Yapı ağırlığı(amaç fonksiyonu)
Δ	Düğüm noktasında oluşan yer değiştirme değeri
Δ_i	i numaralı düğüm noktasında oluşan yer değiştirme değeri
Δ_u	Düğüm noktasında izin verilen yer değiştirme değeri
σ	Çubuk elemanda oluşan gerilme değeri
σ_{em}	Çubuk elemanda emniyet (izin verilen) gerilmesi değeri
σ_i	i numaralı çubuk elemanda oluşan gerilme değeri
σ_u	Çubuk elemanda izin verilen gerilme değeri
$\Phi(x)$	Cezalandırılmış amaç fonksiyonu
$\Phi(x)_i$	i 'nci bireyin cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanlığın başlangıcından bu güne kadar gerekliliğini koruyan ve gün geçtikçe önemi ve insan hayatındaki yeri değer kazanan barınma ihtiyacı; günümüzde savunma, korunma, sosyalleşme, mimari ve yapısal olarak her alanda insanlığa cevap vermeye çalışan bir hale dönüşmüştür. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla yapılar üzerinde yıllarca çalışılmış; denemeler yapılmış, tasarımlar, yöntemler, teknikler uygulamaya konulmuştur. Bu uygulamalar neticesinde elde edilen gelişmeler incelendiğinde, yeni yapı sistemleri oluşturulduğu tespit edilmiş ve bu sistemler üzerinde çalışılmaya odaklanılmıştır.

Yapı sistemleriyle birlikte en büyük yeniliklerden biri yapı malzemeleri üzerindeki gelişmeler olmuş ve hatta bu gelişme günümüze kadar birçok alanda güncelliğini korumuştur. Her ne kadar yapı sistemleri, malzemeler ve belirtmediğimiz birçok alanda yenilik oluşmasına rağmen, gereksinimlerin yeter koşullar sağlanarak mümkün olduğunca ekonomik ve hızlı bir şekilde karşılanması olan ana amaç hiçbir zaman değişmemiştir. Gerek yeterli koşulları sağlama, gerek ekonomik olan çözümler elde etme amacı, giderek insanlığı bu amaçlar kapsamında çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, yapı malzemelerinin de sunduğu imkân ve ekonomik koşullar doğrultusunda geliştirilmeye çalışılmasıyla; olabileceğin en iyisini bulma gerekliliği öne çıkmıştır.

En iyiyi bulmak amacıyla tecrübenin ön plana çıkacağı deneme yanılma yöntemlerinin kullanılması optimumu ilk arama çalışmaları olarak görülürken (Toğan, 2004), fiziksel modellerin matematik modeller olarak ifade edilmeye başlanması optimizasyonun temeli olan uygulama olarak kabul edilebilir. Bu uygulamalar 1950'lerde bilgisayarın ortaya çıkışıyla, ardışık işlemlerin tekrarlanması şeklinde uygulanmış, 1960'larda sonlu elmanlar metodunun geliştirilmesiyle birçok alanda yapısal analizlerin yapılabilmesi; belirli şartları sağlayarak belirli amaca ulaşmayı hedefleyen matematik programlama ile mühendislik dallarında yaygın olarak uygulanan optimizasyon tekniği haline gelmiştir (Aydın, 2000).

Günümüzde optimizasyon teknikleri, farklı sistemler üzerinde uygulanabilir hale getirilerek hemen hemen her sistemin inşaa aşamasında büyük bir gider kalemi olan

malzeme gereksinimini (Daloğlu ve Toğan, 2006) en az seviyeye indirmeye çalışmaktadır.

Bu tekniklerin çoğu problemleri ozmek için üretilmiş mantıksal yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlarla en iyiyi, diğer bir deyişle optimumu arama işlemlerinde ana amaç; yapısal değişkenlerin amaç doğrultusunda kullanılırken ihlal etmek istemediğimiz sınırlayıcı değerlerin aşılmamasıdır.

Bu çalışmada; uygulanabilir olması için ayrıık tasarım değişkenlerini kullanan biyolojik kurallardan esinlenerek geliştirilmiş yapay sinir ağı, benzetilmiş tavlama, bulanık mantık, genetik algoritma gibi optimizasyon tekniklerinden *genetik algoritma* kullanılmış olup, doğrusal ve doğrusal olmayan kafes sistemlerin optimum boyutlu tasarımı gerçekleştirilmiştir.

1.2. Genetik Algoritma

Genetik algoritma(GA) John Holland ve çalışma gurubu tarafından oluşturulmuş (1975) ve daha sonra David E. Goldberg (Goldberg, 1989) tarafından geliştirilmiş ve basit genetik algoritma(SGA) olarak adlandırılmıştır (Daloğlu ve Toğan, 2006). Doğal seçme ve doğal gen değişimlerine dayanan, ayrıık tasarım değişkenleri kullanan ve seçilme amacına en uygun bireyin hayatta kalıp, bazı genlerini diğer bireylere aktarıp tüm bireyleri kendisi gibi, amaca en uygun hale getirmeyi amaçlayan bir optimizasyon yöntemidir.

Elde edilen sonuçların direkt kullanılabilir olması, çok fazla teorik bilgiye ihtiyaç duyulmadan uygulanabilmesi gibi pratik yönlerinin üstünlüğü sebebiyle; genetik algoritma oldukça rağbet gören optimizasyon yöntemlerinden biridir.

Genetik algoritma; genel olarak, kullanılmak üzere seçilmiş tasarım değişkenlerinden rastgele seçilerek oluşturulan bireylerin toplandığı bir toplulukla (nesil) optimizasyona başlar. Bu nesil içindeki uyum sağlayamayan zayıf bireylerin yok edilip yerlerine güçlü yani grup içindeki uyum faktörü yüksek bireylerin kopyalanmasını ve tüm bireylerin bir eş seçerek genlerini aprazlamasını sağlayıp güçlü bireylerin ardışık adımlarla ve elemelerle yeni nesiller oluşturmasını amaçlar. Oluşturulan her yeni nesilde bireyleri oluşturan tasarım değişkenlerinden rastgele biri ya da birkaçının belirli bir kural doğrultusunda tasarım değişkenlerinden herhangi biri haline dönüşecek şekilde mutasyona uğratmasıyla da güçlü bireyin buyruğundan kurtulma imknı sağlayarak farklı bireylerin oluşmasına dolayısı ile erken ve sabit ilerleyerek sonlanan optimizasyona engel olur. Her yeni nesil anlatılan işlemlerin tekrarlanmaya başlayacağının gstergesiyken bireylerin birbirine

benzeme oranı olarak kabul edilebilecek olan durdurma kriteri ise bu ardışık işlemlerin sonlandırıcısıdır.

1.2.1. Genel Tanımlar

GA ile optimizasyonda eleme işleminin başlaması ve gerçekleştirilmesi için bir takım topluluklar ve operatörler kullanılır. Başlama işlemi için bireyler ve bireylerden nesiller oluşturulması ve daha sonra bu nesiller çeşitli operatörlerle elenerek optimizasyon sürecinin sonuca doğru ilerlemesi sağlanır.

1.2.1.1. Başlangıç Neslinin Tanımı ve Oluşturulması

Optimizasyon işleminin başlaması için kullanılan ilk nesile başlangıç nesli denilmiştir. Bu nesil rastgele seçilen tasarım değişkenleri dizisi olan bireylerden oluşur. Bireyleri oluşturan tasarım değişkenleri bu çalışmada çubuk tanım ya da eleman tanım numarası olarak adlandırılmış olup genel olarak kullanılmak istenilen değişkenin (en kesit alanı) sıra numarasıdır. Bu numara ikilik tabanda kullanıldığında bitlerle ifade edilirken onluk sistemde kullanıldığında kendi sayı değeri ile ifade edilip değer kodlaması adını alır. Tablo 1.2.1.1.1. de üç çubuklu bir kafes sistem için on iki adet farklı en kesit alanına sahip profil grubu kullanılarak oluşturulan liste ile kodlama değerleri gösterilmiştir olup Tablo 1.2.1.1.2. de oluşturulan bireyler ve nesiller açıklamalı olarak verilmiştir.

Tablo 1.2.1.1.1. Profil listesi ve kodlama

On iki adet Profil enkesit alanı listesi		Kodlamalar	
Sıra no (Çubuk tanım no)	Enkesit alanı	İkilik Tabanda	Değer kodlaması
1	3,08	0 0 0 0	1
2	5,08	0 0 0 1	2
3	7,08	0 0 1 0	3
4	9,08	0 0 1 1	4
5	11,08	0 1 0 0	5
6	13,08	0 1 0 1	6
7	15,08	0 1 1 0	7
8	17,08	0 1 1 1	8
9	19,08	1 0 0 0	9
10	21,08	1 0 0 1	10
11	23,08	1 0 1 0	11
12	25,08	1 0 1 1	12

Tablo 1.2.1.1.2. Birey ve nesil

Dört bireyden oluşan nesil (değer kodlaması)				Açıklama
Sıra no	1. Çubuk	2. Çubuk	3. Çubuk	
1. Birey	1	3	5	Çubuklar sırasıyla 3,08 cm ² , 7,08 cm ² , 11,08cm ² kesit alanlarıyla analize girer
2. Birey	2	4	6	Çubuklar sırasıyla 5,08 cm ² , 9,08 cm ² , 13,08cm ² kesit alanlarıyla analize girer
3. Birey	10	11	12	Çubuklar sırasıyla 21,08 cm ² , 23,08 cm ² , 25,08cm ² kesit alanlarıyla analize girer
4. Birey	4	5	7	Çubuklar sırasıyla 9,08 cm ² , 11,08 cm ² , 15,08cm ² kesit alanlarıyla analize girer
Dört bireyden oluşan nesil (ikilik kodlama)				Açıklama
Sıra no	1. Çubuk	2. Çubuk	3. Çubuk	
1. Birey	0000	0010	0100	Çubuklar sırasıyla 3,08 cm ² , 7,08 cm ² , 11,08cm ² kesit alanlarıyla analize girer
2. Birey	0001	0011	0101	Çubuklar sırasıyla 5,08 cm ² , 9,08 cm ² , 13,08cm ² kesit alanlarıyla analize girer
3. Birey	1001	1010	1011	Çubuklar sırasıyla 21,08 cm ² , 23,08 cm ² , 25,08cm ² kesit alanlarıyla analize girer
4. Birey	0011	0100	0110	Çubuklar sırasıyla 9,08 cm ² , 11,08 cm ² , 15,08cm ² kesit alanlarıyla analize girer

Nesili oluşturan bireyler seçilirken optimizasyonu yapılacak yapının imalat aşaması düşünülerek çubukların gruplandırılması gerekebilir. Bu durumda bireyleri oluşturan çubuk tanım numaraları aynı değere sahip olmalıdır. Bu işlem başlangıç nesli oluşturulurken yapılır.

Başlangıç neslinin seçilmesi GA'nın işlevselliği açısından oldukça önemli bir adımdır. Nesilde bulunacak birey sayısı arttıkça en iyi bireyin elde edilme ihtimalide artmaktadır. Ayrıca tasarım değişkeni sayısının fazla olduğu durumlarda her değişkenin bir birey içinde bulunması hatta birey içinde farklı yerlerde bulunması gibi olasılıklar nesildeki birey sayısının artmasıyla mümkündür. Başlangıç neslinin oluşturulmasında ki diğer önemli unsur ise, seçilen bireylerin bir birlerine oldukça yakın karakterde olması veya belirli bir karakter grubunun dışına çıkamayacak özellikte olmasıdır. Böyle bir durumda doğal seçim ve eleme işlemleriyle oluşturulan yeni bireyler büyük oranda aynı karaktere sahip olacak ve amaç fonksiyonuna yaklaşmak zorlaşacaktır. Gerek optimizasyon için harcanacak zaman gerekse çözümün elde edilmesi ve hatta tasarım değişkenlerinin bireylerle temsil edilebilecek olasılıkların bir çoğunun oluşturulmuş yada oluşturulabilecek olması başlangıç neslinin seçimine bağlıdır.

1.2.1.2. Genetik Algoritma Operatörleri ve Uygulanması

Daha öncede belirtildiği gibi iyi bireylerin hayatta kalarak nesilden nesile aktarılması için çoğaltılıp zayıf olduğu için elenen bireylerin yerine geçmesi, bireyler arasında belirli kurallar doğrultusunda genlerin veya gen gruplarının eşleriyle karşılıklı değişimleri ve bazı bireylerde herhangi bir elemanın yine kurallar eşliğinde tamamen değişmesi gibi olaylara genetik algoritmanın operatörleri denilmiştir. Bu çalışma kapsamında kopyalama, çaprazlama ve mutasyon operatörlerine yer verilmiş olup elitizm operatörü bu tez kapsamında kullanılmayan operatörlerden biri olmuştur.

1.2.1.2.1. Kopyalama Operatörü

Kopyalama operatörü iyi bir bireyin nesilden nesile aktarılması için kopyalanarak zayıf bir bireyin yerine geçmesi olarak tanımlanır. Bir bireyin güçlü ya da zayıf olduğunu belirlemek için o bireyin grup uyum faktörü değerine bakılır. Bu değer amaçlanan fonksiyona bağlı olarak değişim gösterir. Bir yapıda yeterli yapısal sınırlar her durumda sağlanıyorsa en hafif birey amaç fonksiyonuna yakın dolayısı ile birey grup uyum faktörü en yüksek olan bireydir. Bu birey çoğaltılarak en ağır bireyin yerine geçer. Bu işlem için birey grup uyum faktörü alt sınırı olarak bir değer belirlenir ve bu değerden daha küçük birey grup uyum faktörüne sahip bireylerin hayatına son verilir. Hayatına son verilen bireylerin oluşturduğu boşluğa birey grup uyum faktörü en büyük değerler kopyalanır. Birey grup uyum faktörü alt sınırı için çeşitli değerler seçilebileceği gibi bu seçimin optimizasyon süresinde kısaltıcı fakat bireylerin genlerinde oluşacak daralma açısından sakıncalı olduğu söylenilebilir. Bu sınır genellikle 0,5 – 0,8 arasında seçilmekte olup bu sınır yükseltildiğinde yakın karaktere sahip bireyler topluluğu oluşacağından GA çözüme dar bir havuzdan ulaşmak zorunda kalacaktır. Sınır değer düşük seçildiğinde ise güçlü bireylerin kopyalanma oranı azalacak ve nesil güçlü birey özelliklerinden daha az yararlanacaktır. Bu durumda GA ile optimizasyon süreci uzayacaktır.

1.2.1.2.2. Çaprazlama Operatörü

Zayıf bireylerin silinip yerlerinin güçlü bireylerle doldurulması işlemi tamamlandıktan sonra, nesildeki bireylerin bazı genlerinin birbirleriyle değiştirilmesine

verilen genel isimdir. Bu işlem, bireylerin kendilerine eş bir birey seçmesi ve belirli kurallar doğrultusunda eşleriyle çubuk tanım numaralarının(kodların) değiştirilmesi şeklinde uygulanır. Çaprazlama işleminde, istenilen oranda güçlü bireylerin genetik özelliklerinin eşleriyle değiştirilmesi ve her iterasyonda birey eşlerinin gelişi güzel şekilde belirlenmesi gibi dinamik etkilerle bireylerin güçlü özelliklerinin bir araya getirilmesi amaçlanmıştır.

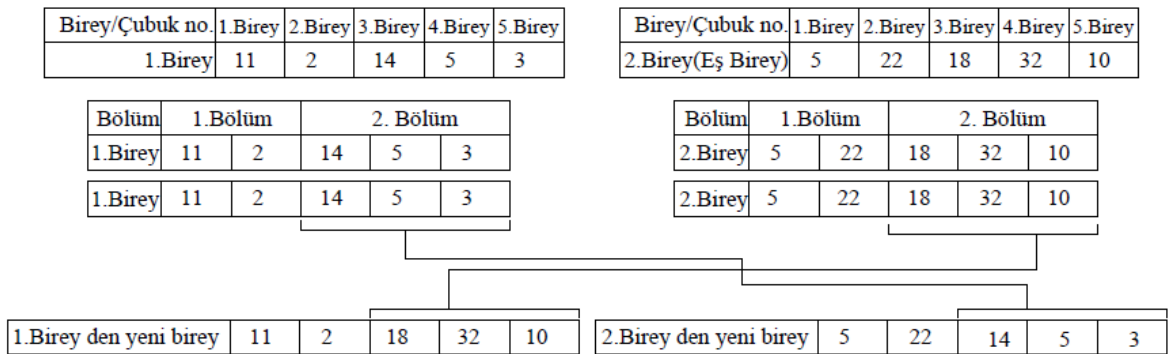
Çaprazlama işleminin uygulama oranı bireylerin iyi özelliklerinin bir araya geldiği bir bireyin oluşması ihtimali ve hızını arttırdığı için yüksek oranlarda uygulanır. Bu oranın %80 - %100 aralığında seçilmesinin doğruluğu yapılan çalışmalarca da desteklenmiştir. Gruplama yapılmış nesillerde çaprazlama uygulanırken grupların iç içe girmemesine dikkat edilmeli ve bu amaçla gruplar birer birey olarak düşünülüp çaprazlama işlemi gerçekleştirilmelidir.

Çaprazlama işlemi için değişik uygulama kuralları bulunmakta olup bu kurallardan bazıları aşağıda verilmiştir.

1.2.1.2.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama

Bu teknik, bireylerin rastgele tek bir noktadan iki ayrı bölüm haline getirilerek eşleriyle çapraz gen değişimine uğratılmasıdır. Bireylerin ilk bölümleri sabit kalırken ikinci bölümler yer değiştirilerek şekil 1.2.1.2.2.1.1. deki gibi yeni bireyler elde edilerek nesilde çaprazlama uygulanır.

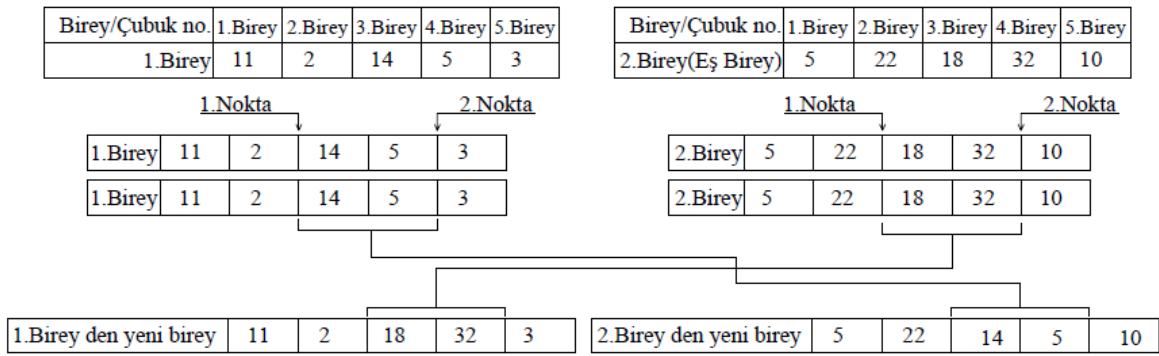
Bu çalışmada oluşturulan rastgele eşlerde tek ve sabit noktalı çaprazlama yapılarak bu operatör uygulanmıştır.



Şekil 1.2.1.2.2.1.1. Tek noktalı çaprazlama

1.2.1.2.2.2. İki Noktalı Çaprazlama

Bu teknik bireylerin rastgele belirlenmiş iki ayrı nokta arasında kalan genlerinin eşleriyle çaprazlanarak değiştirilmesidir. Bu teknik, iki nokta yerine ikiden daha fazla nokta seçilip bu noktanın arasında kalan bölümlerin değiştirilmesi şeklinde de uygulanabilmektedir. Tek noktalı çaprazlamaya oranla daha verimli sonuçlar oluşturduğu yapılan çalışmalarda öne sürülmüştür. Şekil 1.2.1.2.2.2.1. de iki noktalı çaprazlama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 1.2.1.2.2.2.1. İki noktalı çaprazlama

1.2.1.2.2.3. Düzenli Çaprazlama

Tek ve iki noktalı çaprazlama tekniklerinden farklı olarak, çaprazlama işleminde hangi bireyden hangi genin seçileceğine karar veren ve rastgele olarak seçilen iki farklı değer kullanılmasıyla oluşturulan çaprazlama maskesi yardımıyla yapılan çaprazlama yöntemidir.

Çaprazlama maskesinde bir(1) değeri olduğu zaman birinci bireydeki genin iki(2) değeri olduğunda ikinci (eş) bireydeki genin birinci yeni bireyi oluşturması ve geriye kalan (kullanılmayan) genlerin ise ikinci yeni bireyi oluşturması şeklinde Şekil 1.2.1.2.2.1.3. te gösterilen şekilde uygulanır.

Birey/Çubuk no.	1.Birey	2.Birey	3.Birey	4.Birey	5.Birey
1.Birey	11	2	14	5	3
2.Birey(Eş Birey)	5	22	18	32	10
Çaprazlama maskesi	2	1	1	2	1

1.Birey		2	14		3
2.Birey	5			32	

1.yeni birey	5	2	14	32	3
--------------	---	---	----	----	---

Birey/Çubuk no.	1.Birey	2.Birey	3.Birey	4.Birey	5.Birey
1.Birey	11	2	14	5	3
2.Birey(Eş Birey)	5	22	18	32	10
Çaprazlama maskesi	2	1	1	2	1

1.Birey	11	X	X	5	X
2.Birey	X	22	18	X	10

2.yeni birey	11	22	18	5	10
--------------	----	----	----	---	----

Şekil 1.2.1.2.2.3.1. Düzenli çaprazlama

1.2.1.2.3. Mutasyon Operatörü

Mutasyon işlemi nesildeki birey ya da bireylerin herhangi bir geninin tanımlanabilecek genlerden biri olarak rastgele değiştirilmesidir. Bu uygulamanın amacı nesilde bulunmayan bir genin oluşması ya da genin bireyde bulunamayacağı bir sıraya yerleşmesine ihtimal oluşturulmasıdır. Böylece ulaşılamayan bir genin iyi özelliklerinin kazanılması amaçlanmıştır. Fakat mutasyona uğrayacak genlerin sayıca fazla olması nesildeki iyi özellikli bireylerde dolayısı ile nesilde bozulmalara sebep olacağından mutasyona uğrama oranı küçük tutulmalıdır.

Literatürde bu oranın %0.5 - %1 aralığında olması yada mutasyonun uygulanmaması gerektiği vurgulanırken (Dede, 2003), mutasyon oranının yüksek tutulup çaprazlama operatörü kullanılmayan çalışmalarda mevcuttur. Ayrıca gruplama yapılmış nesillerde mutasyon operatörünün kullanılması grupların bozulmasına neden olacağından dolayı, gruplar birer birey olarak düşünülmeli ve mutasyona uğratılmalıdır. Fakat bu uygulama gruptaki gen sayısına bağlı olarak mutasyon oranını arttıracığından bu operatörün kullanılmaması tercih edilebilir. Bu çalışma kapsamında mutasyon operatörü %0.5 - %1 oranında kullanılmıştır.

1.2.1.2.4. Elitist Strateji

Bir nesilde bulunan en iyi bireyin bir sonraki nesildeki en kötü bireyin yerine geçmesi veya bir nesildeki en iyi bireyin bir sonraki nesildeki en iyi bireyden de iyi olması durumunda son iterasyondaki bireyin en iyisinin yerine geçirilmesi gibi değişik uygulamaları olan bir işlemdir. Bu işlem ardışık iki nesil arasında uygulanmakta olup ilk nesilin en iyi bireyinin saklanması gerektiren bir uygulama olup iyi bireylerin sürekli

korunmasını amaçlamaktadır. Amaç bakımından kopyalama operatörüne benzeyen bu uygulama bu çalışma kapsamında kullanılmamıştır.

1.2.2. GA 'nın Matematiksel Formülasyonu

Optimizasyon problemlerinde istenilen amaca ulaşmak için, bu amacın matematiksel olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Bu amaç genelde maksimum ya da minimum değeri aranan matematiksel bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Her ne kadar bir fonksiyonun maksimum ya da minimum değerinin tespiti yeterli gibi görülse de uygulanabilir olması için bu fonksiyona yapım standartları, mimari ya da teknik zorunluluklardan dolayı bir takım sınırlayıcı ifadelerin eklenmesi gerekmektedir. Eklenecek olan bu sınırlayıcı ifadeler özünde sınırlayıcısız olan GA' ya ceza fonksiyonu adı verilen fonksiyonların eklenmesiyle adapte edilmiş olur.

Bu çalışma kapsamında minimum ağırlıklı optimizasyona ait matematiksel formülasyonlar verilmiştir.

Optimizasyonun amaç fonksiyonu genel olarak;

$$W = f(w) \quad (1)$$

olarak yapı ağırlığına etki edecek her w değerinin fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir.

Optimizasyon amacı olarak minimum ağırlıklı olan uygun çözümün elde edilmesi seçildiğinde yapı ağırlığının minimum olduğunu ifade edecek;

$$W_{\min} = \sum_{i=1}^n \rho(L \times A) \quad (2)$$

bağıntısı kullanılır. Bu bağıntıda, ρ yapı malzemesi birim hacim ağırlığını, n çubuk (eleman) sayısını, L çubuk boyunu, A kesit alanını, W yapı ağırlığını ifade etmektedir. Bu şekilde amaç fonksiyonu içindeki ana bileşenin matematiksel tanımı yapılabileceği gibi sınırlayıcıların bu fonksiyona eklenmesi;

$$\Delta \leq \Delta_u \quad i=1, \dots, z \quad (3)$$

$$\sigma \leq \sigma_u \quad i=1, \dots, n \quad (4)$$

şeklinde tanımlanabilecek, deplasman oluşabilen eksenlerdeki yer değiştirme Δ , izin verilen yer değiştirme Δ_u ve çubuklarda oluşan gerilme σ , izin verilen gerilme σ_u ifadeler yardımıyla;

$$g_i(x) = \frac{\sigma_i}{\sigma_{em}} - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5)$$

$$g_i(x) = \frac{\Delta_i}{\Delta_u} - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, z \quad (6)$$

$$c_i = g_i(x) \quad g_i(x) > 0 \quad (7)$$

$$c_i = 0 \quad g_i(x) < 0 \quad (8)$$

$$C = \sum_i^m c_i \quad (9)$$

şeklinde elde edilir. Burada σ_i çubuklarda meydana gelen gerilme değerini, σ_{em} izin verilen çekme veya basınç gerilmesi değerini; Δ_i düğümlerde oluşan deplasmanları, Δ_u ise izin verilen deplasman değerini göstermekte olup c_i her ihlal değerini $g_i(x)$ fonksiyonunun değerine bağlı olarak tanımlarken, ceza fonksiyonu C ise m adet sınırlayıcının toplam ihlal değerlerini ifade etmektedir.

Genel amaç fonksiyonuna ceza fonksiyonunun eklenmesi ile cezalandırılmış amaç fonksiyonu

$$\phi(x) = W(x) + P \times C \quad (10)$$

şeklinde elde edilir. Bu ifadedeki P değeri ceza fonksiyonunun önemini arttıran bir katsayı olup problemde problemde değişiklik göstermektedir.

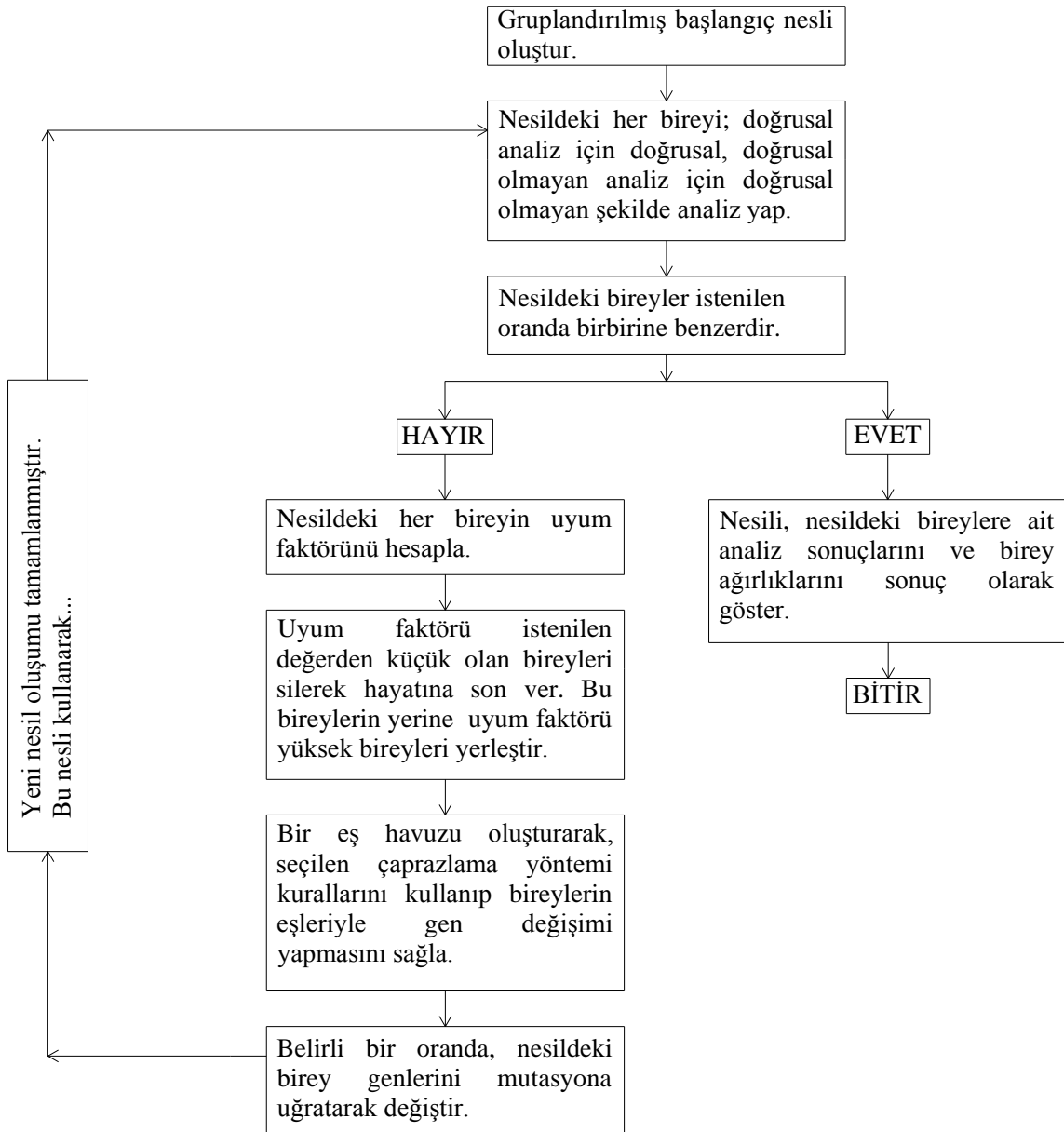
GA 'da birey uyum derecelerinden yararlanılarak bireylerin nesildeki uyum dereceleri yani birey grup uyumları elde edilir. Birey grup uyum dereceleri yardımıyla hangi bireyin hayatta kalıp hangi bireyin hayatına son verileceği kararlaştırılır. Bu kararın verilmesi için gereken bağıntılar;

$$F_{bi} = (\phi(x)_{\max} + \phi(x)_{\min}) - \phi(x)_i \quad (11)$$

$$F_{ort} = \frac{\sum F_{bi}}{ne} \quad (12)$$

$$F_u = \frac{F_{bi}}{F_{ort}} \quad (13)$$

şeklinde olup F_{bi} değeri birey uyumunu, ne nesildeki toplam birey sayısını göstermek üzere F_{ort} gurubun ortalama uyum değerini ve F_u birey grup uyum değerini göstermektedir. Şekil 1.2.2.1. de genetik algoritma sürecinin akış şeması verilmiştir.



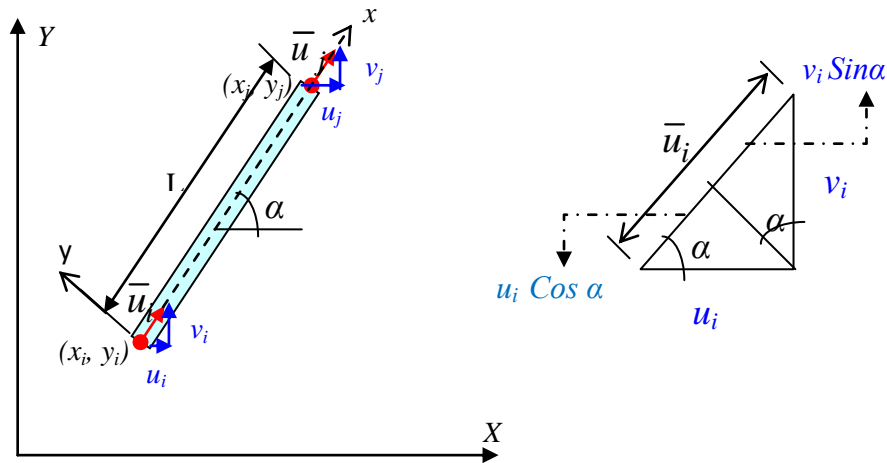
Şekil 1.2.2.1. Genetik algoritma akış diyagramı

1.3. Düzlem Kafes ve Uzay Kafes Sistemlerin Yapısal Çözümlemesi

Amaç fonksiyonun uygulanabilir olmasının, ceza fonksiyonunun eklenmesiyle mümkün olduğu görülmektedir. Dolayısıyla sınırlayıcı değerlerin ihlal edilip edilmediğinin tespiti için yapı analizleri yapılmalı, yapıya ait gerilme ve deplasman değerleri elde edilmelidir. Bu analizler için bu çalışma kapsamında yapı sistemi doğrusal olarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve ardışık yaklaşım yöntemi ile bu doğrusallık doğrusal olmayan hale yaklaştırılmıştır. Ayrıca emniyet gerilmelerinin tespitinde eksenel stabilite dikkate alınmıştır.

1.3.1. Düzlem Kafes Sistemlerin Analizi

Düzlem kafes sistemlerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi, bu yöntemle geliştirilen eleman rijitlik matrisinin global matriste toplanması ve bu matrisin düğüm noktası deplasmanlarıyla yüklere bağlanması şeklindedir. Sonlu elemanlar yöntemiyle Şekil 1.3.1.1. deki düzlem kafes sistem çubuğu üzerindeki tanımlar kullanılarak;



Şekil 1.3.1.1. Düzlem kafes sistem elemanı

(14),(15),(16),.....(24) bağıntılarıyla gösterilen; öncelikle kafes çubuğunun bir ucunun matematiksel olarak ifadesi ve daha sonra kafes sistem çubuğunun bir bütün olarak yükleme karşısında göstereceği rijitliğin matematiksel olarak tanımlanmasıyla ulaşılan düzlem kafes çubuğa ait rijitlik matrisi bağıntı (25) te verilmiştir.

Kullanılacak olan c ve s değerleri; L çubuk boyunu, x_j ve x_i çubuk uç noktaları x koordinatlarını ve benzer şekilde y_j ve y_i çubuk uç noktaları y koordinatlarını göstermek üzere;

$$L = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (14)$$

$$c = \cos \alpha = \frac{x_j - x_i}{l} \quad \text{ve} \quad s = \sin \alpha = \frac{y_j - y_i}{l} \quad (15)$$

$$\bar{u}_i = u_i \cos \alpha + v_i \sin \alpha \quad (16)$$

$$\bar{u}_j = u_j \cos \alpha + v_j \sin \alpha \quad (17)$$

$$\begin{Bmatrix} \bar{u}_i \\ \bar{u}_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{Bmatrix} = \mathbf{F} \mathbf{u} \quad (18)$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{F}^{-1} \bar{\mathbf{u}} \quad (19)$$

$$\mathbf{F}^{-1} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$U = \frac{1}{2} \begin{Bmatrix} \bar{u}_i \\ \bar{u}_j \end{Bmatrix}^t \mathbf{F} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}^t \mathbf{F} \mathbf{u} \quad (21)$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{F}^t \mathbf{F} \quad (22)$$

$$U = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}^t \mathbf{K} \bar{\mathbf{u}} \quad (23)$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} c & 0 \\ s & 0 \\ 0 & c \\ 0 & s \end{bmatrix} \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & s \end{bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ & s^2 & -sc & -s^2 \\ & & c^2 & cs \\ \text{sym.} & & & s^2 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Özetle kafes sisteme ait bir elemanın rijitlik matrisi k,

$$k = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

bağıntı (25) te verilmiştir.

Sistem rijitlik matrisi diğer bir deyişle global rijitlik matrisi ise,

$$GL_i = \sum_{i=1}^n k \quad (26)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu matrissel işlemin çözümü için cholesky yöntemi kullanılmış olup;

$$GL_i = L_o * U_p \quad (27)$$

F değeri yük matrisini göstermek üzere düğüm deplasmanları;

$$d = \frac{U_p}{L_o / F} \quad (28)$$

formülleriyle tanımlanır. Deplasman değerleri yardımıyla; i çubuk numarasını, x ve y değeri çubuk uç düğümlerinin sırasıyla global x - y yönündeki deplasmanlarını ve N çubuk kuvvetini göstermek üzere,

$$N = \frac{E_i A_i}{L_i} \begin{bmatrix} \cos \alpha_i & \sin \alpha_i \\ \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i2} - x_{i1} \\ y_{i2} - y_{i1} \end{bmatrix} \quad (29)$$

STE çubuklardaki gerilme değerlerini ifade etmek üzere;

$$STE_i = \frac{N_i}{A_i} \quad (30)$$

STA çubuklardaki şekil değiştirmeleri ifade etmek üzere;

$$STA_i = \frac{STE_i}{E_i} \quad (31)$$

değerleri elde edilmiştir.

1.3.2. Uzay Kafes Sistemlerin Analizi

Uzay kafes sisteme ait bir elemanın rijitlik matrisi k , bağıntı (32) de verilmiş olup

$$k = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} l_c^2 & l_c m_c & l_c n_c & -l_c^2 & -l_c m_c & -l_c n_c \\ l_c m_c & m_c^2 & m_c n_c & -l_c m_c & -m_c^2 & -m_c n_c \\ l_c n_c & m_c n_c & n_c^2 & -l_c n_c & -m_c n_c & -n_c^2 \\ -l_c^2 & -l_c m_c & -l_c n_c & l_c^2 & l_c m_c & l_c n_c \\ -l_c m_c & -m_c^2 & -m_c n_c & l_c m_c & m_c^2 & m_c n_c \\ -l_c n_c & -m_c n_c & -n_c^2 & l_c n_c & m_c n_c & n_c^2 \end{bmatrix} \quad (32)$$

buradaki l_c , m_c ve n_c değerleri; L çubuk boyunu, x_j ve x_i çubuk uç noktaları x koordinatlarını, y_j ve y_i çubuk uç noktaları y koordinatlarını ve benzer şekilde z_j ve z_i çubuk uç noktaları z koordinatlarını çubuğun birinci ucu i ikinci ucu j olarak gösterilmek üzere;

$$l_c = \cos \alpha = \frac{x_j - x_i}{l}, \quad m_c = \cos \beta = \frac{y_j - y_i}{l} \quad \text{ve} \quad n_c = \cos \gamma = \frac{z_j - z_i}{l} \quad (33)$$

şeklinde tanımlanıp doğrultu kosinüsleri diğer bir deyişle global X, Y, Z eksenleriyle çubuk elemanın yapmış olduğu açılarıdır. Sistem rijitlik matrisi ise,

$$GL_i = \sum_{i=1}^n k \quad (34)$$

şeklinde gösterilebilir.

1.4. Geometrik Bakımdan Doğrusal Olmayan Düzlem Kafes ve Uzay Kafes Sistemlerin Matematiksel Olarak Tanımlanması

Kafes sistemlerin statik analizi yapılırken sistemin geometrisinde herhangi bir bozulma olmadığı kabul edilir. Bu nedenle sistemi oluşturan çubukların yatayla yaptığı açılar için tek bir değer alınarak analiz sonlandırılır. Analiz sonucunda elde edilen çubuk

kuvvetlerinin global X ve Y doğrultusundaki birleşenlerinin toplamı her düğümde sıfır olmalıdır. Fakat yükleme sonrasında düğüm noktalarındaki deplasmanlardan dolayı yapının geometrisi bozulacak ve çubuk yeni açılarıyla elde edilen çubuk kuvvetlerinin bileşenleri toplamı düğüm noktalarında sıfır değerine ulaşmayacaktır.

Bu durum, statik analizde dikkate almadığımız ilave yüklerin mevcut olduğunu ve yapılan analizin ilave yüklerin eklenerek tekrar yapılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı kanısını uyandırır.

Bu durumda ilave yükler mevcut yüklerle birleştirilerek analiz tekrarlanır. Bu işlem ardışık olarak ilave yük değeri belirli bir sınırın altına düşene kadar devam ettirilir. Bu ardışık işlemlerden dolayı bu yöntemde ardışık yaklaşım yöntemi denilirken, deplasman yapmış sistem çubuklarını ifade edecek olan matrise ise geometrik rijitlik ve sistemin tümünü tanımlayacak olan matrise ise tanjant rijitlik matrisi adı verilir.

1.4.1. Düzlem Kafes Sistem Çubuklarının Geometrik Rijitlik Matrisi

x_j ve x_i çubuk uç noktaları x koordinatlarını, y_j ve y_i çubuk uç noktaları y koordinatlarını L çubuk boyunu göstermek üzere, doğrultu kosinüsleri

$$l_p = \cos \alpha = \frac{x_j - x_i}{L}, \quad m_p = \cos \beta = \frac{y_j - y_i}{L} \quad (35)$$

şeklinde gösterildiğinde, birim matristen doğrusal elastik bir kafes sistem çubuğunun bir ucunu ifade eden matrisin çıkartılmasıyla elde edilen,

$$B_u = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_p^2 & l_p m_p \\ l_p m_p & m_p^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - l_p^2 & -l_p m_p \\ -l_p m_p & 1 - m_p^2 \end{bmatrix} \quad (36)$$

matrisinin kullanılmasıyla geometrik rijitlik matrisi Fe çubuk iç kuvveti kullanılarak;

$$F_e = \frac{Ly - L}{L} xAxE \quad (37)$$

$$K_{Gi} = \frac{F_e}{L_i} \begin{bmatrix} B_u & -B_u \\ -B_u & B_u \end{bmatrix} \quad (38)$$

şeklinde elde edilir. Her n çubuğu için elde edilen bu matris;

$$GGe = \sum_{i=1}^n K_{Gi} \quad (39)$$

işlemlerle düzenlenerek tüm sistemin geometrik rijitlik matrisi GGe elde edilir.

1.4.2. Uzay Kafes Sistem Çubuklarının Geometrik Rijitlik Matrisi

L çubuk boyunu, x_j ve x_i çubuk uç noktaları x koordinatlarını, y_j ve y_i çubuk uç noktaları y koordinatlarını ve benzer şekilde z_j ve z_i çubuk uç noktaları z koordinatlarını çubuğun birinci ucu i ikinci ucu j olarak gösterilmek üzere;

$$lp = \cos \alpha = \frac{x_j - x_i}{l}, \quad mp = \cos \beta = \frac{y_j - y_i}{l} \quad \text{ve} \quad np = \cos \gamma = \frac{z_j - z_i}{l} \quad (40)$$

$$B_u = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_p^2 & l_p m_p & l_p n_p \\ l_p m_p & m_p^2 & m_p n_p \\ l_p n_p & m_p n_p & n_p^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-l_p^2 & -l_p m_p & -l_p n_p \\ -l_p m_p & 1-m_p^2 & -m_p n_p \\ -l_p n_p & -m_p n_p & 1-n_p^2 \end{bmatrix} \quad (41)$$

matrisinin kullanılmasıyla geometrik rijitlik matrisi F_i çubuk iç kuvvetini göstermek üzere;

$$F_e = \frac{Ly - L}{L} xAx E \quad (42)$$

$$K_{Gi} = \frac{F_{e_i}}{L_i} \begin{bmatrix} B_u & -B_u \\ -B_u & B_u \end{bmatrix} \quad (43)$$

şeklinde elde edilir. Her n çubuğu için elde edilen bu matris;

$$GGe = \sum_{i=1}^n K_{Gi} \quad (44)$$

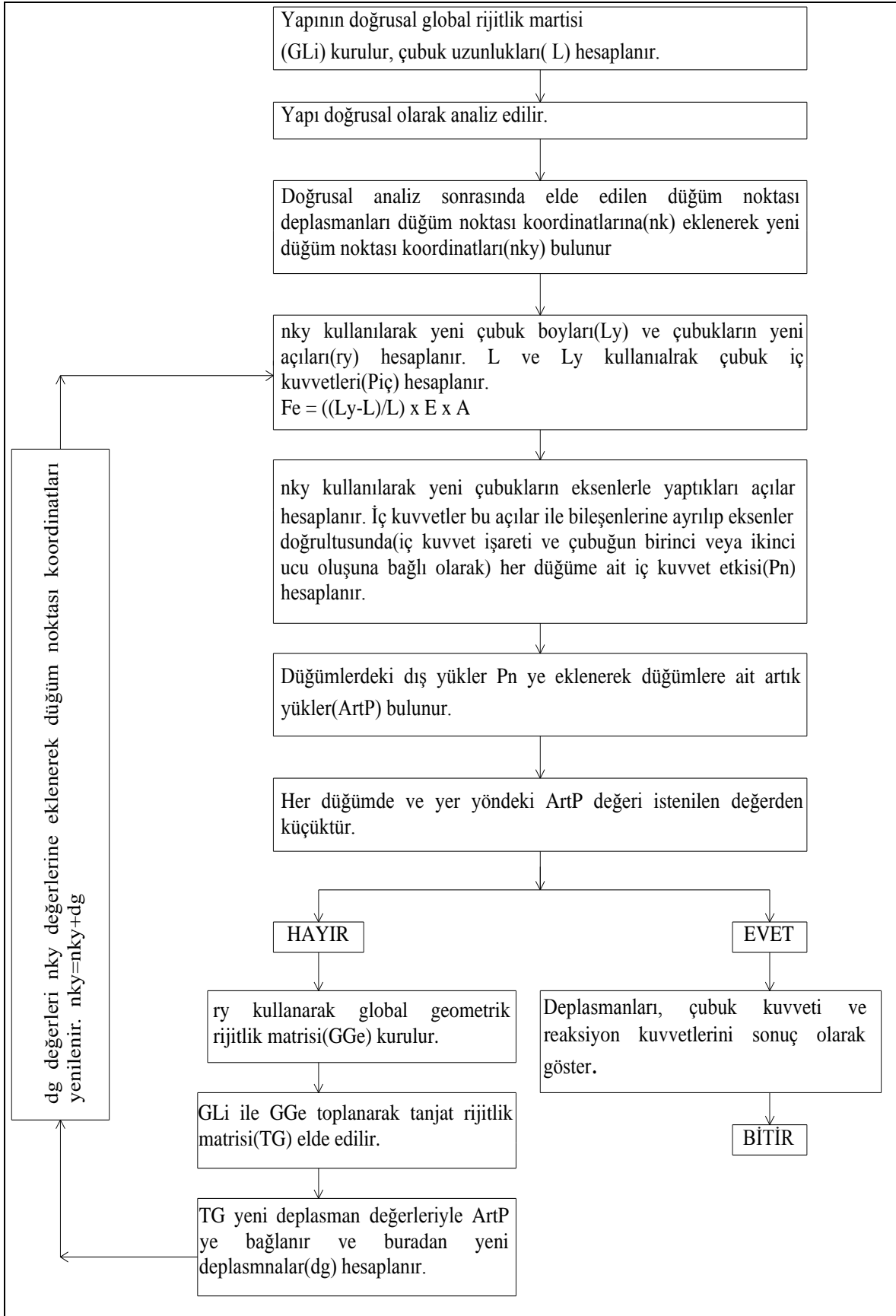
işlemlerle düzenlenerek tüm sistemin geometrik rijitlik matrisi GGe elde edilir

1.4.3. Tanjant Rijitlik Matrisinin Oluşturulması ve Ardışık Yaklaşım Yöntemi

Tanjant rijitlik matrisi K_T , geometrik olarak doğrusal olmayan yapıları matrisel olarak ifade eden matris olup doğrusal global matrisle sistem global geometrik rijitlik matrisinin toplanmasıyla elde edilir.

$$T_G = (G_L + G_G) \quad (45)$$

Ardışık yaklaşım yöntemine ait akış diyagramı ve formülasyon Şekil 1.4.3.1. de verilmiş olup K_T matrisinin her iterasyonda değişmesi gerektiği bilinmelidir.



Şekil 1.4.3.1. Ardışık yaklaşım yöntemi akış diyagramı

1.5. Örnek

Kısa bilgi ve açıklamalar halinde verilen bilgiler bu örnek üzerinde adım adım işlenerek gösterilmiştir. Her adım, çözüme nasıl etkidiğinin anlaşılması amaçlı olarak en az bir defa uygulanmıştır. Uygulanacak olan adımlar Tablo 1.5.1. de verilmiştir.

Tablo 1.5.1. Uygulanacak adımlar

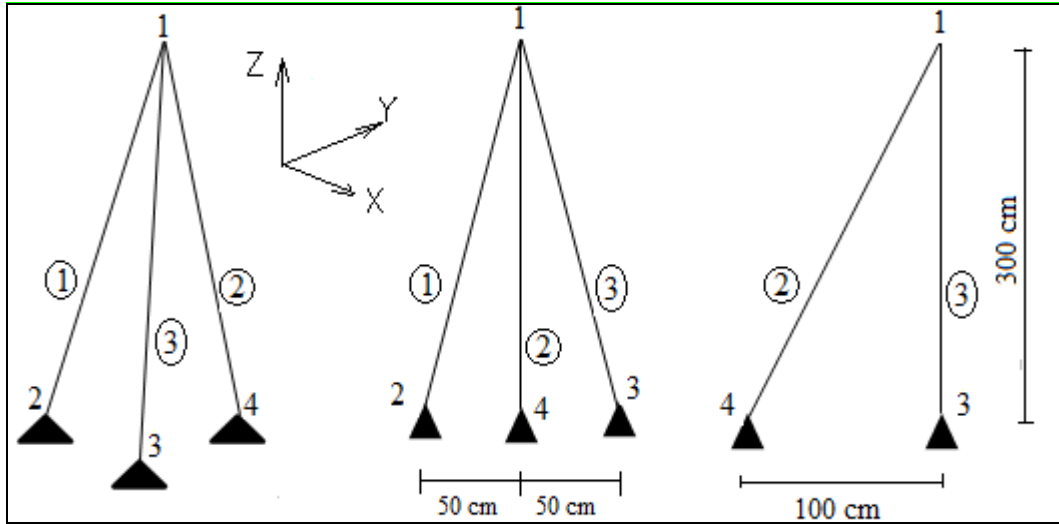
1	Sistem geometrik özellikleri (düğüm numaraları, düğüm koordinatları, çubuk numaraları ve çubuk uç düğümleri), elastisite modülü, doğrusal olmayan analiz de artık yük hassasiyeti, yükleme, mesnet, sınırlayıcı bilgileri, malzeme birim hacim ağırlığı ve çubuklara ait özellikler(alan ve atalet yarıçapları) tanıtılır. Ceza çarpanı, birey uyum faktörü alt sınırı, birey sayısı ve aranan nesildeki birey benzerliği yüzdesi belirlenir.
2	Başlangıç nesli belirlenerek sonlu elemanlar metodunu kullanarak, başlangıç neslinin birinci bireyindeki çubuk tanım numaralarının belirttiği sıradaki çubuk özellikleriyle statik olarak sistem çözülür.
3	Elde edilen düğüm noktası deplasmanları, düğüm noktası koordinatlarına eklenerek sistemin yeni geometrik özellikleri elde edilir. Düğüm noktası yeni koordinatları yardımıyla doğrultu kosinüsleri, oluşan çubuk boy değiştirmeleri yardımıyla çubuk iç kuvvetleri hesaplanır.
4	Kafes sistemlerde, her düğüm noktasındaki toplam yük sıfır olmalı ya da reaksiyon kuvveti olarak mesnetlere aktarılmaktadır. Sistemin yeni geometrik halinde bu özelliğe uyup uymadığını anlamak için doğrultu kosinüsleri kullanarak çubuk iç kuvvetleri düğüm noktalarına dağıtılır. Dağıtılan yükler her yönde ayrı ayrı toplanarak artık yükler hesaplanır. Artık yük hassasiyetinden daha büyük yük barındıran düğümlerde, o düğümdeki artık yük değerleri dış yük gibi kabul edilir.
5	Sistemin global geometrik rijitlik matrisi kurulur ve bu matrisin doğrusal analizdeki sitem global matrisine eklenmesiyle tanjant matrisi elde edilir. Bu matris sistem global matrisi olarak kabul edilir. Herhangi bir düğümün, herhangi bir yöndeki artık yük değerinin, artık yük hassasiyetinden büyük olması durumunda; tanjat matrisi ile tüm düğümdeki artık yükler değerleri yeni deplasmanlara bağlanır. Elde edilen düğüm noktası deplasmanları, düğüm noktası koordinatlarına eklenerek sistemin yeni geometrik özellikleri elde edilir. Düğümlerin herhangi bir yöndeki artık yük değeri artık yük hassasiyetinden büyük olmayana dek 5, 6, 7, 8, 9, 10 adımları tekrarlanır.

Tablo 1.5.1. in devamı

6	Artık yük değerlerinden hiç birinin artık yük hassasiyetinden büyük olmadığı adıma ait deplasmanlar, çubuk kuvvetleri ve gerilmeler hesaplanarak o bireyin doğrusal olmayan çözümü olarak saklanır.
7	Bireydeki çubukların ilk boyları kullanılarak çubuk ağırlıkları ve birey toplam ağırlığı elde edilir. Son boy kullanılarak emniyet gerilmeleri elde edilir.
8	Başlangıç neslindeki her bireyin düğüm deplasmanları deplasman sınırlayıcısıyla, çubuklarda oluşan gerilmeler ise hesaplanan emniyet gerilmeleriyle sınırlandırılıp ihlal miktarları saklanır ve bu miktarlar toplanarak o bireye ait ceza katsayısı elde edilir.
9	Hesaplanan birey ağırlığına, bireyin ceza katsayısının bir katsayıyla çarpımı sonucu elde edilen değerinin birey ağırlığıyla çarpımı kadarı eklenerek birey uyumu bulunur. Birey uyumları yardımıyla, ortalama uyum ve birey uyum faktörü elde edilir.
10	Uyum faktörü, uyum faktörü sınırı altında kalan bireyler silinerek uyum faktörü en yüksek bireyler simetrik olarak silinen bireylerin yerine kopyalanır. Bu adıma kopyalama denilir.
11	Rastgele oluşturulan eş havuzuna (eşleşmeye) göre bireyler eşleriyle belirli bir çaprazlama kuralına uyarak çubuk tanım numaralarını değiştirir. Bu adıma çaprazlama denilir.
12	Çok küçük bir oranda herhangi bir bireyin, herhangi bir çubuğu mevcut olan herhangi bir çubuk tanım numarasıyla değiştirilerek nesil mutasyona uğratılır. Bu adıma mutasyon denilir.
13	Bu süreç sonrasında kopyalama, çaprazlama ve mutasyon nedeniyle yeni bir nesil oluşmuş olur. Bu nesildeki bireylerin benzerlikleri aranan birey benzerliğiyle kıyaslanır. Bireylerin benzerliği aranan birey benzerliğinden büyük ise tasarım tamamlanmış olur. Benzerlik sağlanmamışsa elde edilen nesil başlangıç neslinin yerine geçerek bu benzerlik sağlanana dek 2 den 13 e kadar olan adımlar tekrarlanır.

1.5.1. Çözüm

Bu tasarımda; gerekli bilgileri Tablo 1.5.1.1. de verilen sekiz adet kare kutu profil kullanılarak Şekil 1.5.1.1. deki üç çubuklu sistemin, doğrusal olmayan analiz sonuçları kullanılarak genetik algoritma ile optimizasyonu TS648'e (T.S.E., 1982) göre burkulma sınırlayıcıları dikkate alınarak yapılmıştır. Tasarımda elastisite modülü 210KN/mm^2 , çelik akma dayanımı 24 KN/cm^2 , çelik birim hacim ağırlığı $7,85 \times 10^{-8}\text{KN/cm}^3$ olarak kullanılmıştır. Kullanılacak sekiz adet kutu profile ait bilgiler Tablo 1.5.1.2. de verilmiştir. Bir numaralı düğümde X,Y,Z yönlerinde sırasıyla 7 KN,3 KN ve -10 KN değerinde yük bulunmakta olup düğüm noktasının her doğrultuda en fazla $\pm 0.42\text{cm}$ deplasman yapmasına izin verilmektedir. Doğrusal olmayan analizde artık yük toleransı olarak 0.00001 KN kullanılırken birey uyum faktörü olarak 0.7, ceza katsayısı olarak ta 50 seçilmiştir. Bireylerde %85 oranında benzerlik sağlandığında tasarım sonlandırılmıştır.



Şekil 1.5.1.1. Geometrik bilgiler

Tablo 1.5.1.1. Kullanılacak sekiz adet kutu profile ait bilgiler

Çubuk Tanım No	Kesit Alanı (cm ²)	Atalet Yarıçapı	
		ix(cm)	iy(cm)
1	2,94	1,54	1,54
2	4,21	1,49	1,49
3	3,74	1,95	1,95
4	5,41	1,90	1,90
5	4,54	2,23	2,23
6	6,61	2,31	2,31
7	10,40	2,21	2,21
8	6,59	2,74	2,74

1. Adım: Verilen bilgilerle sistem ve sistem elemanları tanımlanmıştır. Bu aşamadan sonra başlangıç neslinin belirlenmesi ve algoritma doğrultusunda sürecin başlatılması gerekmektedir. Tablo 1.5.1.2. de seçilen başlangıç nesli verilmiştir.

Tablo 1.5.1.2. Başlangıç nesli

Başlangıç nesli			
Birey No	1.Çubuk	2.Çubuk	3.Çubuk
1. Birey	1	3	5
2. Birey	2	4	6
3. Birey	3	1	2
4. Birey	8	3	5
5. Birey	1	1	1
6. Birey	1	2	5

2. Adım: Aşağıda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülen başlangıç neslinin birinci bireyine ait doğrusal analiz sonuçları Tablo 1.5.1.3. 'te bulunmaktadır.

Tablo 1.5.1.3. Başlangıç nesli 1. bireyi doğrusal analiz sonucu oluşan deplasmanlar

Düğüm No	Deplasmanlar(cm)			Çubuk No	Çubuk Kuvvetleri (KN)
	X	Y	Z		
1	0,42781	0,19380	-0,06521	1	-6,58966
2	0	0	0	2	-24,83795
3	0	0	0	3	22,13594
4	0	0	0		

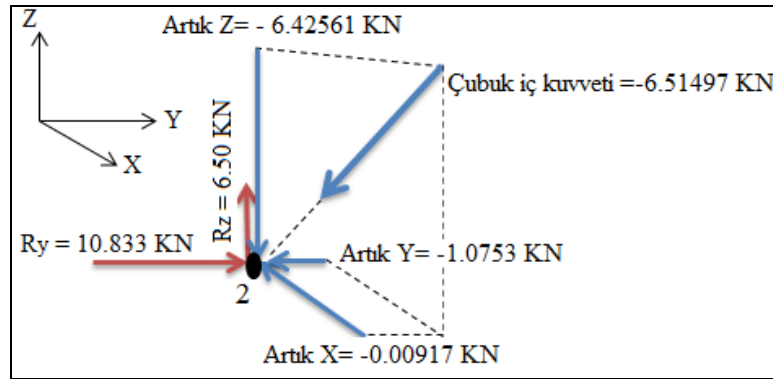
3. Adım: Yeni koordinatlar yardımıyla yeni doğrultu kosinüsleri, oluşan boy değişimi kullanılarak elde edilen çubuk iç kuvvetleri Tablo 1.5.1.4. 'te verilmiştir. Doğrultu kosinüslerinin işaretleri yapılan yön kabulüne göre değişmektedir.

Tablo 1.5.1.4. Başlangıç nesli birinci bireyine ait iç kuvvetler ve doğrultu kosinüsleri

Çubuk No	İlk Boy(cm)	Yeni boy(cm)	Doğrultu kosinüsleri			Çubuk İç Kuvvetleri (KN)
			X	Y	Z	
1	304,13813	304,10603	0,00141	0,16505	0,98628	-6,51497
2	304,13813	304,04230	-0,00141	0,16381	-0,98649	-24,74640
3	316,22777	316,30153	0,31751	0,00061	0,94826	22,24053

4. Adım: Bu adımda sadece başlangıç neslinin birinci bireyi için, iki numaralı düğümde işlemin nasıl gerçekleştirildiği gösterilecektir.

İkinci düğümde mesnet olduğu için doğrusal analiz sonucunda elde edilen mesnet reaksiyonları da artık yük hesaplanmasında kullanılmaktadır. Artık yük hesabında doğrultu kosinüsleri pozitif alınıp, incelenecek düğüm noktasına bağlanan çubukların uzaydaki durumu ve bu çubuklarda bulunan iç yüklerin basınç ya da çekme oluşuna göre dağıtım yapılması tercih edilmiştir. Şekil 1.5.1.2. 'de 2 numaralı düğüm noktasına ait artık yük hesabı şekilsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.5.1.2. Artık yükler

Şekil 1.5.1.2. de görüldüğü gibi 2 numaralı düğüm noktasına 1 numaralı çubuk bağlanmaktadır. 2 numaralı düğüm sabit mesnet olduğu için reaksiyon kuvvetleri bulundurmakta ve Şekil 1.5.1.2. de Ry ve Rz ile bu değerler verilmektedir. Bir numaralı çubuğun iç kuvveti basınç olup -6,51497KN büyüklüğündedir. Verilen doğrultu

kosinüsleri ile çarpıldığında yine Şekil 1.5.1.2. de gösterilen eksenlere ait artık yük değerleri elde edilir. Her eksen takımındaki yüklerin toplamı o düğüme ait X yönü artık yükü Y yönü artık yükü ve Z yönü artık yükü olarak hesaplanır. Tablo 1.5.1.5. da ikinci düğüme ait artık yükler gösterilmiştir.

Tablo 1.5.1.5. İki numaralı düğüme ait artık yükler

Artık yük değerleri (KN)		
X yönü	Y yönü	Z yönü
-0,00917	0,00801	0,07439

Benzer şekilde her düğüm noktası için artık yük değerleri hesaplanarak artık yük hassasiyeti ile kıyaslanır bu hassasiyetin sağlanmaması, yani artık yüklerin verilen değerden daha büyük olması durumunda bu yükler dış yük olarak kabul edilerek 5. Adıma geçilir. Mesnet düğümlerinde bulunan artık yükler matris çözümleri sırasında silindiğinden çözümden etkili olmamaktadır. İkinci düğüm noktasında görüldüğü gibi artık yük hassasiyeti aşılmış olup artık yük değerleri, artık yük hassasiyetinden az olana kadar Tablo 1.5.1.1. de belirtilen 5. adım tekrarlanır.

5. Adım: Bu adımda teorik olarak anlatılan çözümler yapılarak oluşturulan matrislerle artık yükler deplasmanlara bağlanır ve bu süreç artık yük değerleri yeter seviyeye gelene kadar devam ettirilir. Tablo 1.5.1.6. de başlangıç neslinin birinci bireyine bu adımın uygulanmasından elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 1.5.1.6. Başlangıç nesli birinci bireyi artık yük değerleri

Düğüm no	Doğrultu	Artık Yükler			
		Doğrusal Analiz sonrası	1. İterasyon	2. İterasyon	3. İterasyon
1	x	-0,01753	0,00023	0,00000	0,00000
	y	0,00790	0,00016	0,00000	0,00000
	z	-0,25202	-0,00096	-0,00002	0,00000
2	x	-0,00917	-0,00929	-0,00929	-0,00929
	y	0,00801	-0,00467	-0,00473	-0,00473
	z	0,07439	-0,00136	-0,00168	-0,00169
3	x	-0,03482	-0,03506	-0,03506	-0,03506
	y	-0,02954	-0,00911	-0,00889	-0,00889
	z	0,08792	-0,03525	-0,03656	-0,03657
4	x	0,06151	0,04412	0,04435	0,04435
	y	0,01363	0,01362	0,01362	0,01362
	z	0,08971	0,03757	0,03826	0,03826

Tablo 1.5.1.6. de görüldüğü gibi üçüncü iterasyon sonrasında artık yük hassasiyeti birinci düğüm noktası için sağlanmıştır.

6. Adım: Başlangıç nesli birinci bireyin doğrusal olmayan analiz sonuçları Tablo 1.5.1.7. de verilmiştir. Diğer bireyler için çözümler aynı şekilde elde edilir.

Tablo 1.5.1.7. Birinci birey doğrusal olmayan analiz sonuçları

Çubuk No	Çubuk İç Kuvvetleri(KN)	Çubuk Alanları (cm ²)	Gerilmeler (KN/cm ²)	
1	-6,59211	2,940	-2,242	
2	-24,87259	3,740	-6,650	
3	22,18629	4,540	4,887	
Deplasmanlar (cm)	1. düğüm	x	y	z
		0,42856	0,19413	-0,06565

7. Adım: Birinci bireyin ağırlığı ve birey çubuklarının emniyet gerilmeleri hesaplanılarak saklanmalıdır. Birinci birey ağırlığı 0,27218 KN olarak elde edilirken, emniyet gerilmeleri, çekme çubukları için 14,40 KN/cm² iken birinci çubuk için 2,126 KN/cm² ikinci çubuk içinse 3,410 KN/cm² olarak elde edilmiştir.

8. Adım: Tablo 1.5.1.8. de ceza değerinin elde edilişi gösterilmektedir.

Tablo 1.5.1.8. Ceza değeri

Ceza değeri		
Gerilme sınırlama	1. çubuk	0,054663047
	2. çubuk	0,950271331
	3. çubuk	0
1. Düğüm deplasman sınırlama	x yönü	0,020376362
	y yönü	0
	z yönü	0
Toplam		1,02531074

9. Adım: Birey uyum değerleri;

$$0,27218 + 0,27218 \times 50 \times 1,02531$$

işlemi sonucu olarak elde edilir. Bu işlem sonucundan 14,22 elde edildiği gibi tüm bireyler için aynı işlemler uygulanarak nesildeki bireylerin uyum değerleri hesaplanır. Tablo 1.5.1.9 da tüm bireylere ait birey uyum değerleri verilmiş ve bu değerler yardımıyla uyum faktörlerinin elde edilmesi gösterilmiştir.

Birey grup uyumu; birey uyumunun nesildeki diğer birey uyumlarıyla olan ilişkisinden yararlanarak, birey uyum değerinin tam tersi olacak şekilde daha küçük bir değere sahip olmasını sağlamaktadır. Birey grup uyumunun büyüklük ya da küçüklüğüne bakılarak, büyüklükle doğru orantılı olacak şekilde o bireyin uygunluğu hakkında yorum yapılabilir. Oysa birey uyumunun büyüklüğü o bireyin uygun bir birey olmadığını göstermektedir. Birey grup uyumu için aşağıda tanımlanan işlem yapılır; Birey grup uyumu= max(birey uyum değeri)+min(birey uyum değeri) – birey uyumu

Birey uyum faktörü; birey grup uyumu değerlerinin birey grup uyumu ortalamasına oranıdır. Bireylerin grup ortalamasına göre sıralanmasına olanak sağlar. Bu değer kullanılarak bireylerin hayatta kalıp kalmayacağına karar verilir.

Tablo 1.5.1.9. Başlangıç nesli birey uyum değerleri

Birey no	Birey uyum değeri	Birey grup uyumu	Birey Uyum Faktörü
1	14,2239	35,7793	1,4088
2	8,6571	41,3461	1,6280
3	41,3461	8,6571	0,3409
4	17,4357	32,5675	1,2824
5	37,0393	12,9639	0,5105
6	28,9369	21,0663	0,8295

10. Adım: Tablo 1.5.1.9 da görüldüğü gibi başlangıç neslindeki üçüncü ve beşinci bireyler, değeri 0,7 olan uyum faktörü alt sınırı sağlayamadıkları için silinmeli ve yerlerine uyum faktörü en yüksek değerli bireyler kopyalanmalıdır. Bu çalışmada uyum faktörü en büyük birey uyum faktörü en küçük bireyin yerine, uyum faktörü büyüklüğü

sıralamasında ikinci olan değer ise uyum faktörü küçüklüğü sıralamasında ikinci sıradaki bireyin yerine geçecek şekilde kopyalama yapılmıştır.

Başlangıç nesli				Kopyalanmış nesil			
Birey No	1. Çubuk	2.Çubuk	3.çubuk	Birey No	1. Çubuk	2.Çubuk	3.çubuk
1. Birey	1	3	5	1. Birey	1	3	5
2. Birey	2	4	6	2. Birey	2	4	6
3. Birey	3	1	2	3. Birey	2	4	6
4. Birey	8	3	5	4. Birey	8	3	5
5. Birey	1	1	1	5. Birey	1	3	5
6. Birey	1	2	5	6. Birey	1	2	5

Şekil 1.5.1.3. Başlangıç nesli ve kopyalama işlemi

11. Adım: Bu adımda her birey kendine bir eş birey seçer ve bu eşler arasında çubuk tanım numaraları çaprazlanırlar. Bu örnekte; 1-6, 2-5, 3-4, 4-3, 5-2, 6-1 eşleşmesi kullanılmıştır. Çaprazlama işlemi ikinci ve üçüncü çubukları tanımlayan çubuk tanım numaralarının değişimi şeklinde yapılmış ve Şekil 1.5.1.4. te gösterilmiştir.

Kopyalanmış nesil				Çaprazlanmış nesil			
Birey No	1. Çubuk	2.Çubuk	3.çubuk	Birey No	1. Çubuk	2.Çubuk	3.çubuk
1. Birey	1	3	5	1. Birey	1	2	5
2. Birey	2	4	6	2. Birey	2	3	5
3. Birey	2	4	6	3. Birey	2	3	5
4. Birey	8	3	5	4. Birey	8	4	6
5. Birey	1	3	5	5. Birey	1	4	6
6. Birey	1	2	5	6. Birey	1	3	5

Şekil 1.5.1.4. Çaprazlama

12. Adım: Bu adımda üçüncü bireyin ikinci çubuğunu temsil eden çubuk tanım numarası mutasyona uğrayarak 7 değerine dönüşmüştür. Bu adımla beraber başlangıç nesline etki eden son işlemde tamamlanmış olup başlangıç neslinin uğradığı değişikliklerin görülmesi için, başlangıç nesli mutasyona uğramış nesil ile birlikte Tablo 1.5.1.10 de gösterilmiştir. Mutasyon sonrasında yeni nesil oluşmuştur.

Tablo 1.5.1.10 Mutasyon

Başlangıç nesli			Mutasyon(Yeni nesil oluştu)				
Birey No	1.Çubuk	2.Çubuk	3.Çubuk	Birey No	1.Çubuk	2.Çubuk	3.Çubuk
1. Birey	1	3	5	1. Birey	1	2	5
2. Birey	2	4	6	2. Birey	2	3	5
3. Birey	3	1	2	3. Birey	2	7	5
4. Birey	8	3	5	4. Birey	8	4	6
5. Birey	1	1	1	5. Birey	1	4	6
6. Birey	1	2	5	6. Birey	1	3	5

13. Adım: Bu adımda nesildeki bireylerin birbirleriyle benzerliğine bakılır. Tablo 1.5.1.10. de görüldüğü gibi mutasyon işleminin uygulanmasıyla baştan oluşan nesilin bireylerinden hiç biri birbiriyle benzeşmemekte sadece 1. – 2. bireyin üçüncü çubuklarıyla 5. – 6. Bireyin birinci çubukları benzerdir. Bu yeterli bir benzerlik olmayıp %85 değerinden çok uzaktır. Bu nedenden dolayı 2,3,,...,13. adımlar tekrarlanarak bu benzerlik oluşana kadar süreç sürdürülmelidir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

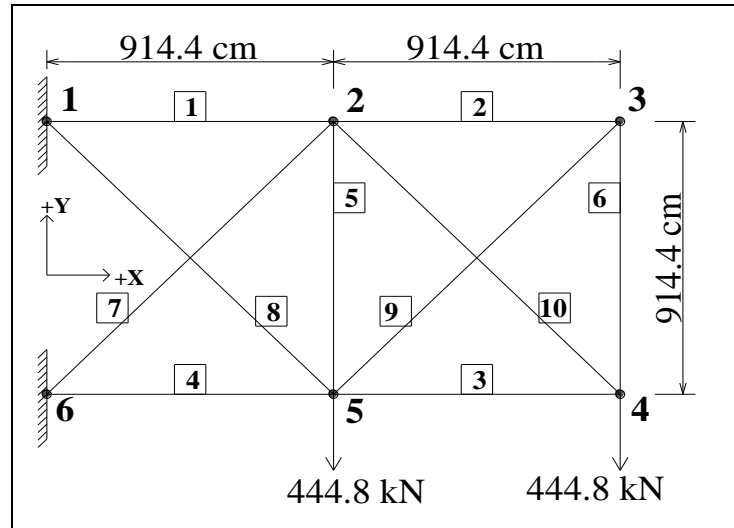
2.1. Düzlem Kafes Sistemlerin Optimum Tasarımı

Bu bölümde iki adet düzlem kafes sistemin optimum tasarımı gerçekleştirilmektedir. Birinci örnek geliştirilen programın işlerliğini göstermek amacıyla seçilmiştir ve benzeri çalışmalarla karşılaştırma yapmak üzere sistem doğrusal olarak çözülmektedir. İkinci örnekte ise doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir ve GA ile optimum tasarım elde edilmiştir.

Örnek çözümlerin sonuçları literatür ile karşılaştırılacak ve doğrusal olarak analiz edilmiş sistemlerle doğrusal olmayan şekilde analiz edilen sistemlerin optimizasyon sonuçları kıyaslanacaktır.

2.1.1. On Çubuklu Düzlem Kafes Sistem

Şekil 2.1.1.1.'de geometrik özellikleri verilen sistemin optimum boyutlandırılması TS648'e (T.S.E.,1982) göre basınç çubuklarında burkulma dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.1.1.1. Sistemin geometrik özellikleri ve yükleme durumu

Çözüm için gerekli olan bilgiler Tablo 2.1.1.1.'de, en kesit alanları ve atalet yarıçapları ise Tablo 2.1.1.2.'de sunulmuştur.

Tablo 2.1.1.1. On çubuklu kafes sistem çözümü için gerekli olan bilgiler

Bilgi	Sembol	Değeri	Açıklama
Elastisite Modülü	E	206850 MPa	Her çubuk için aynı değer
Malzeme Birim hacim ağırlığı	ρ	0,076 N/cm ³	Her çubuk için aynı değer
Deplasman sınırı		±2 inç (5.08cm)	Her düğümde her iki doğrultuda
Çekme emniyet gerilmesi	$\sigma_{çem}$		TS648'e göre hesaplanır
Basınç emniyet gerilmesi	σ_{bem}		TS648'e göre hesaplanır
Ceza katsayısı	C	10,00	Amaç fonksiyonu ceza katsayısı
İstenilen yakınsama		90	Yüzde olarak yakınsama miktarı
Birey sayısı		40	Bir nesilde bulunan birey sayısı
Max iterasyon sayısı		200	Yakınsama için en fazla iterasyon
Uyumfaktörü alt sınırı		0,7	Canlı kalmak için min. uyum faktörü

Tablo 2.1.1.2. On çubuklu kafes sistem çubuk alanları ve atalet yarıçapları

Alan tanım numarası	Alan (cm ²)	Atalet yarıçapı (cm)	Alan tanım numarası	Alan (cm ²)	Atalet yarıçapı (cm)
1	10,45	2,01	17	87,10	4,55
2	13,74	1,99	18	90,97	5,28
3	14,26	1,20	19	99,35	5,64
4	15,16	1,08	20	110,32	5,33
5	17,10	1,22	21	123,23	7,67
6	17,79	1,46	22	136,13	7,72
7	20,52	1,36	23	143,87	6,63
8	24,71	2,54	24	149,68	7,75
9	30,19	3,23	25	158,71	7,47
10	35,74	3,25	26	165,16	7,80
11	39,74	3,20	27	170,97	9,40
12	45,68	4,09	28	181,94	7,85
13	53,23	4,11	29	187,74	9,42
14	58,90	5,13	30	197,42	7,39
15	66,45	5,16	31	206,45	9,47
16	75,48	5,18	32	216,13	6,15

Tablo 2.1.1.3. da görülebileceği gibi; on çubuklu kafes sistem TS648'e göre çözülmüş ve 64,429 KN olan toplam ağırlık ile optimizasyon süreci 94. iterasyonda %90,439 yakınsama oranı ile tamamlanmıştır. Çözüm olarak sunulan kesitlerde deplasman sınırlayıcıları ihmal edilmemiş olup en yüksek deplasman 3,09cm olarak bulunmuştur. TS648'e göre hesaplanan emniyet gerilmeleri hiçbir çubukta ihlal edilmemiştir.

Tablo 2.1.1.3. te karşılaştırma yapılan çalışmalarda, gerilme sınırlayıcısının ihlal edildiği tespit edilmiş olup bu duruma rağmen elde edilen toplam ağırlık her iki çalışmada elde edilen sonuçlara oldukça yakındır. Buradan da anlaşılacağı gibi analiz ve optimizasyon için kullanılan, bu çalışma kapsamında matlab ortamında hazırlanmış olan bilgisayar programının ve bu programın amacı olan genetik algoritma ile optimizasyon işleminin doğru ve güvenilir şekilde çalıştığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, Şekil 1.1.1.2. de gösterilen 20. bireyin ağırlığının iterasyon sürecinde değişiminden de anlaşılacağı gibi genetik algoritmanın minimum ağırlığa oldukça hızlı bir şekilde gidişi, yöntemin; mühendislik temellerinden olan ekonomik ve kullanılabilir olma özellikleri ile günümüzün en değerli hazinesi, zamanı iyi değerlendirme, yeteneğini etkin bir şekilde birleştirdiğini göstermektedir.

Tablo 2.1.1.3. Sistemin TS 648 'e göre burkulmalı tasarım sonuçları

Çubuk no	Bu Çalışma		Ayvaz vd. (Dede, 2003)		Dede 2003	
	Enkesit tanım numarası	Enkesit Alanı(cm ²)	Enkesit tanım numarası	Enkesit Alanı(cm ²)	Enkesit tanım numarası	Enkesit Alanı(cm ²)
1	14	58,90	13	53,23	12	45,68
2	5	17,10	9	30,19	5	17,10
3	26	165,16	24	149,68	29	187,74
4	18	90,97	18	90,97	16	75,48
5	3	14,26	10	35,74	5	17,10
6	10	35,74	1	10,45	8	24,71
7	27	170,97	13	53,23	17	87,10
8	15	66,45	28	181,94	22	136,13
9	21	123,23	10	35,74	5	17,10
10	8	24,71	21	123,23	22	136,13
Toplam Ağırlık(KN)	64,429		64,439		62,559	

Tablo 2.1.2.1. Kesit alanı ve gruplama bilgileri

Enkesit tanım numarası	Grup Adı	Çubuk No	Profil Tipi	Kesit Alanı(cm ²)	Atalet yarıçapı cm	
					ix	iy
1	1. ve 2. grup profiller (üst ve alt başlık profilleri)	1. grup:1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 2.grup:13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23, 24	T 20	1,12	0,53	0,42
2			T 25	1,64	0,73	0,51
3			T 30	2,26	0,87	0,62
4			T 35	2,97	1,04	0,73
5			T 40	3,77	1,18	0,83
6			T 45	4,67	1,32	0,93
7			T 50	5,66	1,46	1,03
8			T60	7,94	1,73	1,24
9			T70	10,60	2,05	1,44
10			T80	13,60	2,33	1,65
11			T90	17,10	2,64	1,85
12			T100	20,90	2,92	2,05
13			T120	29,60	3,51	2,45
14			T140	39,90	4,07	2,88
15	3. ve 4. grup profiller (dikme ve diyagoneller)	3.grup:25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37 4.grup:38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49	L30x3	1,74	0,9	0,9
16			L30x4	2,27	0,89	0,89
17			L35X3	2,04	1,06	1,06
18			L35X4	2,67	1,05	1,05
19			L40X3	2,35	1,21	1,21
20			L40X4	3,08	1,21	1,21
21			L45X4	3,49	1,36	1,36
22			L45X5	4,30	1,35	1,35
23			L50X4	3,89	1,52	1,52
24			L50X5	4,80	1,51	1,51
25			L55X5	5,32	1,66	1,66
26			L55X6	6,31	1,66	1,66
27			L60X5	5,82	1,82	1,82
28			L60X6	6,91	1,82	1,82
29			L65X6	7,53	1,97	1,97
30			L65X7	8,70	1,96	1,96
31			L70X6	8,13	2,13	2,13
32			L70X7	9,40	2,12	2,12
33			L75X6	8,75	2,28	2,28
34			L75X7	10,10	2,28	2,28
35			L80X7	10,80	2,44	2,44
36			L80X8	12,30	2,42	2,42
37			L90X8	13,90	2,74	2,74
38			L90X9	15,50	2,74	2,74
39			L100X8	15,50	3,06	3,06
40			L100X10	19,20	3,04	3,04
41			L110X10	21,20	3,36	3,36
42			L110X12	25,10	3,34	3,34
43			L120X11	25,40	3,66	3,66
44			L120X12	27,50	3,65	3,65
45			L130X12	30,00	3,97	3,97
46			L130X14	34,70	3,94	3,94

Tablo 2.1.2.2. Analiz verileri

Bilgi	Sembol	Değeri	Açıklama
Elastisite Modülü	E	210 KN/mm ²	Her çubuk için aynı değer
Malzeme Birim hacim ağırlığı	ρ	0,076 N/cm ³	Her çubuk için aynı değer
Deplasman sınırı		± 1.96 inç (5.0cm)	Her düğümde her iki doğrultuda
Çekme emniyet gerilmesi	σ_{cem}		TS648'e göre hesaplanır
Basınç emniyet gerilmesi	σ_{bem}		TS648'e göre hesaplanır
Ceza katsayısı	C	10,00	Amaç fonksiyonu ceza katsayısı
İstenilen yakınsama		85	Yüzde olarak yakınsama miktarı
Birey sayısı		40	Bir nesilde bulunan birey sayısı
Max iterasyon sayısı		200	Yakınsama için en fazla iterasyon
Uyumfaktörü alt sınırı		0,7	Canlı kalmak için min. uyum faktörü

Çözüm ilk olarak doğrusal davranış dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve literatürle karşılaştırılmıştır. Daha sonra artık yük tolerans değeri 0.00001 alınarak doğrusal olmayan analiz yapılmış ve değişimler kontrol edilmiştir. Tablo 2.1.2.3. te 111. iterasyonda elde edilmiş olan sonuçların literatürle karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 2.1.2.3. Sonuçlarının Karşılaştırılması

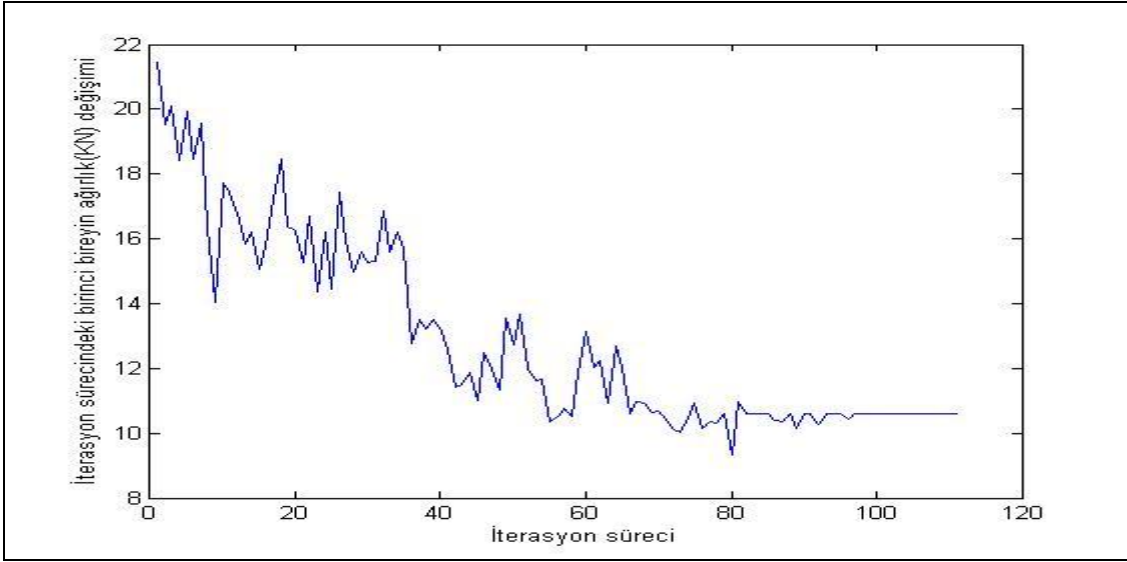
Çalışma	Grup	1	2	3	4	Toplam Ağırlık(KN)
Bu Çalışma	Doğrusal Analiz	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	10,602
		29,6	13,6	6,31	7,53	
		Profil Tipi				
		T120	T80	L55x6	L65x5	
	Doğrusal olmayan Analiz	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	10,602
		29,6	13,6	6,31	7,53	
		Profil Tipi				
		T120	T80	L55x6	L65x5	
Daloğlu ve Aydın 2003	Doğrusal Analiz	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	Alan(cm ²)	10,628
		20,9	17,1	6,31	9,4	
		Profil Tipi				
		T100	T90	L55x6	L70x7	

Sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında aynı sonuçların elde edildiğinin görülmesi bu çalışmanın geçerliliğini ispat eder niteliktedir. Fakat doğrusal olmayan analiz sonrasında da aynı sonuçların alınması doğrusal olmayan analizin ve optimizasyon yönteminin bu sistem özellikleri için çok işlevsel olmadığını göstermiştir.

Çözüm bireyi için adım adım artık yük değerleri, çubuk kuvvetleri ve doğrusal olmayan analiz sonucundaki düğüm noktası deplasmanları Tablo 2.1.2.4. 'te gösterilmiş ve doğrusal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2.1.2.2. iterasyon sayısının birinci birey ağırlığıyla değişimini göstermektedir.

Tablo 2.1.2.4. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz deplasmanları

Düğüm no	Doğrusal Analiz Sonucu Deplasmanlar(cm)		Doğrusal olmayan Analiz Sonucu Deplasmanlar (cm)	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
1	0.4574	-0,0453	0,4580	-0,0463
2	0.5555	-1,3257	0,5522	-1,3289
3	0.6111	-2,3481	0,6053	-2,3527
4	0.6305	-3,0935	0,6234	-3,0989
5	0.6199	-3,5684	0,6122	-3,5744
6	0.5852	-3,7919	0,5773	-3,7981
7	0.5294	-3,7692	0,5215	-3,7752
8	0.4737	-3,7919	0,4657	-3,7981
9	0.4389	-3,5684	0,4308	-3,5744
10	0.4284	-3,0935	0,4197	-3,0989
11	0.4478	-2,3481	0,4378	-2,3527
12	0.5034	-1,3260	0,4908	-1,3289
13	0.6015	-0,0453	0,5850	-0,0463
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	0,0000	-1,2842	-0,0030	-1,2860
16	0.0642	-2,3157	0,0578	-2,3190
17	0.1642	-3,0716	0,1566	-3,0761
18	0.2824	-3,5586	0,2744	-3,5640
19	0.4069	-3,7960	0,3989	-3,8016
20	0.5294	-3,8070	0,5215	-3,8131
21	0.6519	-3,7957	0,6441	-3,8016
22	0.7765	-3,5586	0,7687	-3,5640
23	0.8947	-3,0716	0,8864	-3,0761
24	0.9947	-2,3157	0,9852	-2,3190
25	1,0589	-1,2841	1,0470	-1,2860
26	1,0589	0,0000	1,0430	0,0000



Şekil 2.1.2.2. Birinci bireyin iterasyon sürecindeki ağırlık değişimi

Tablo 2.1.2.5. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizde çubuk kuvvetleri

Çubuk no	Doğrusal olmayan analiz	Doğrusal analiz
	Kuvvet (KN)	Kuvvet (KN)
1	-92,1571	-92,1239
2	-143,6610	-143,5697
3	-169,7233	-169,5917
4	-178,8166	-178,6645
5	-176,0281	-175,8728
6	-164,5846	-164,4525
7	-164,5846	-164,4525
8	-176,0281	-175,8728
9	-178,8166	-178,6645
10	-169,7233	-169,5917
11	-143,6610	-143,5697
12	-92,1571	-92,1239
13	0,2749	0,0000
14	91,9707	91,6667
15	143,1409	142,8571
16	168,9964	168,7500
17	177,9845	177,7778
18	175,1714	175,0000
19	175,1714	175,0000

Tablo 2.1.2.5. 'in devamı

Çubuk no	Doğrusal olmayan analiz	Doğrusal analiz
	Kuvvet (KN)	Kuvvet (KN)
20	177,9845	177,7778
21	168,9964	168,7500
22	143,1409	142,8571
23	91,9707	91,6667
24	0,2749	0,0000
25	-59,9989	-60,0000
26	-45,9424	-45,8333
27	-30,8925	-30,7143
28	-18,3256	-18,1250
29	-7,4138	-7,2222
30	2,3345	2,5000
31	22,7997	22,7273
32	2,3345	2,5000
33	-7,4138	-7,2222
34	-18,3256	-18,1250
35	-30,8925	-30,7143
36	-45,9424	-45,8333
37	-59,9989	-60,0000
38	102,5828	102,4864
39	59,7035	59,6978
40	31,5732	31,6063
41	11,5139	11,5612
42	-3,7856	-3,7371
43	-16,1332	-16,0706
44	-16,1332	-16,0706
45	-3,7856	-3,7371
46	11,5139	11,5612
47	31,5732	31,6063
48	59,7035	59,6978
49	102,5828	102,4864

Tablo 2.1.2.6. Artık yüklerin iterasyonla değişimi

Açıklama	1. İterasyon Artık Yük Değerleri	2. İterasyon Artık Yük Değerleri	3. İterasyon Artık Yük Değerleri	4. İterasyon Artık Yük Değerleri	5. İterasyon Artık Yük Değerleri	6. İterasyon Artık Yük Değerleri	7. İterasyon Artık Yük Değerleri
1. düğüm X yönü	14,995	-0,008	0,059	-0,0004065	0,0002274	-0,0000029	0,0000009
1. düğüm Y yönü	-1,389	0,093	-0,006	0,0004152	-0,0000243	0,0000017	-0,0000001
2. düğüm X yönü	-3,056	0,021	-0,019	0,0001983	-0,0000794	0,0000012	-0,0000003
2. düğüm Y yönü	-2,856	-0,030	-0,011	-0,0000718	-0,0000418	-0,0000001	-0,0000002
3. düğüm X yönü	-2,937	0,014	-0,013	0,0001329	-0,0000474	0,0000008	-0,0000002
3. düğüm Y yönü	-2,108	-0,020	-0,007	-0,0000257	-0,0000260	0,0000001	-0,0000001
4. düğüm X yönü	-2,161	0,007	-0,007	0,0000668	-0,0000248	0,0000004	-0,0000001
4. düğüm Y yönü	-1,287	-0,009	-0,004	-0,0000031	-0,0000134	0,0000001	-0,0000001
5. düğüm X yönü	-1,219	0,002	-0,003	0,0000250	-0,0000112	0,0000002	0,0000000
5. düğüm Y yönü	-0,657	-0,003	-0,002	0,0000027	-0,0000057	0,0000000	0,0000000
6. düğüm X yönü	-0,338	0,000	-0,001	0,0000011	-0,0000025	0,0000000	0,0000000
6. düğüm Y yönü	-0,302	0,000	-0,001	0,0000024	-0,0000019	0,0000000	0,0000000
7. düğüm X yönü	0,000	0,000	0,000	0,0000011	0,0000000	0,0000000	0,0000000
7. düğüm Y yönü	0,045	0,000	0,000	-0,0000005	0,0000003	0,0000000	0,0000000
8. düğüm X yönü	0,338	0,000	0,001	-0,0000090	0,0000023	-0,0000001	0,0000000
8. düğüm Y yönü	-0,302	0,000	-0,001	0,0000038	-0,0000019	0,0000000	0,0000000
9. düğüm X yönü	1,219	-0,002	0,003	-0,0000270	0,0000110	-0,0000002	0,0000000
9. düğüm Y yönü	-0,657	-0,003	-0,002	0,0000040	-0,0000057	0,0000001	0,0000000
10. düğüm X yönü	2,161	-0,007	0,007	-0,0000557	0,0000243	-0,0000003	0,0000001
10. düğüm Y yönü	-1,287	-0,009	-0,004	-0,0000054	-0,0000133	0,0000001	-0,0000001
11. düğüm X yönü	2,937	-0,014	0,012	-0,0001002	0,0000464	-0,0000006	0,0000002
11. düğüm Y yönü	-2,108	-0,019	-0,007	-0,0000363	-0,0000258	0,0000000	-0,0000001
12. düğüm X yönü	3,056	-0,021	0,019	-0,0001478	0,0000785	-0,0000009	0,0000003
12. düğüm Y yönü	-2,856	-0,029	-0,011	-0,0000935	-0,0000414	-0,0000002	-0,0000002
13. düğüm X yönü	-14,995	0,009	-0,060	0,0003119	-0,0002303	0,0000024	-0,0000009
13. düğüm Y yönü	-1,389	0,094	-0,005	0,0004062	-0,0000224	0,0000017	-0,0000001
14. düğüm X yönü	5,619	-0,012	0,023	-0,0001946	0,0000894	-0,0000013	0,0000003
14. düğüm Y yönü	1,350	0,035	0,005	0,0000973	0,0000191	0,0000003	0,0000001
15. düğüm X yönü	-4,454	-0,011	-0,019	0,0000811	-0,0000742	0,0000008	-0,0000003
15. düğüm Y yönü	2,735	-0,032	0,011	-0,0002128	0,0000426	-0,0000011	0,0000002
16. düğüm X yönü	-3,236	-0,006	-0,012	0,0000567	-0,0000443	0,0000005	-0,0000002
16. düğüm Y yönü	2,112	-0,020	0,007	-0,0001245	0,0000280	-0,0000006	0,0000001
17. düğüm X yönü	-1,961	-0,003	-0,006	0,0000283	-0,0000217	0,0000002	-0,0000001
17. düğüm Y yönü	1,338	-0,009	0,004	-0,0000558	0,0000151	-0,0000003	0,0000001
18. düğüm X yönü	-0,959	-0,002	-0,002	0,0000104	-0,0000090	0,0000001	0,0000000
18. düğüm Y yönü	0,710	-0,003	0,002	-0,0000195	0,0000067	-0,0000001	0,0000000
19. düğüm X yönü	-0,279	-0,001	-0,001	0,0000001	-0,0000022	0,0000000	0,0000000
19. düğüm Y yönü	0,321	-0,001	0,001	-0,0000047	0,0000023	0,0000000	0,0000000
20. düğüm X yönü	0,000	0,000	0,000	-0,0000004	0,0000000	0,0000000	0,0000000
20. düğüm Y yönü	0,019	0,000	0,000	-0,0000002	0,0000001	0,0000000	0,0000000
21. düğüm X yönü	0,279	0,001	0,001	-0,0000046	0,0000022	0,0000000	0,0000000
21. düğüm Y yönü	0,321	-0,001	0,001	-0,0000059	0,0000023	0,0000000	0,0000000
22. düğüm X yönü	0,959	0,002	0,003	-0,0000128	0,0000091	-0,0000001	0,0000000
22. düğüm Y yönü	0,710	-0,003	0,002	-0,0000198	0,0000066	-0,0000001	0,0000000
23. düğüm X yönü	1,961	0,003	0,006	-0,0000237	0,0000221	-0,0000002	0,0000001
23. düğüm Y yönü	1,338	-0,010	0,004	-0,0000521	0,0000146	-0,0000003	0,0000001
24. düğüm X yönü	3,236	0,006	0,012	-0,0000378	0,0000456	-0,0000004	0,0000002
24. düğüm Y yönü	2,112	-0,021	0,007	-0,0001138	0,0000270	-0,0000006	0,0000001
25. düğüm X yönü	4,454	0,011	0,020	-0,0000467	0,0000780	-0,0000006	0,0000003
25. düğüm Y yönü	2,735	-0,034	0,011	-0,0001983	0,0000411	-0,0000010	0,0000002
26. düğüm X yönü	-5,619	0,012	-0,023	0,0001532	-0,0000894	0,0000010	-0,0000003

Tablo 2.2.1.1. Çubuk uç düğümleri ve çubuk numaraları

Çubuk no	Çubuk uç düğümleri	
	1. uç	2. uç
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	5
5	5	6
6	6	7
7	7	4
8	4	8
9	8	3
10	8	5
11	9	6
12	9	5
13	9	4
14	7	3
15	10	6
16	10	5
17	10	3
18	6	3
19	4	2
20	4	1
21	1	5
22	1	3
23	1	6
24	6	2
25	5	2

Tablo 2.2.1.2. Dügüm noktası koordinatları ve yükleme durumu

Dügüm No	Koordinatlar (cm)			Yükler (KN)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-95,25	0,00	508,00	4,448	-44,480	-44,480
2	95,25	0,00	508,00	0,000	-44,480	-44,480
3	-95,25	95,25	254,00	2,224	0,000	0,000
4	95,25	95,25	254,00	0	0	0
5	95,25	-95,25	254,00	0	0	0
6	-95,25	-95,25	254,00	2,669	0	0
7	-254,00	254,00	0,00	0	0	0
8	254,00	254,00	0,00	0	0	0
9	254,00	-254,00	0,00	0	0	0
10	-254,00	-254,00	0,00	0	0	0

Tablo 2.2.1.3. Enkesit alanları ve gruplama bilgileri

Çubuk numarası ile grup tanımı	Alan Tanım No	Kesit alanı (cm ²)
1. grup: 1 2. grup: 2,20,21,24 3. grup: 19,22,23,25 4. grup: 4,18 5. grup: 3,5 6. grup: 6,10,13,17 7. grup: 7,9,11,16 8. grup: 8,12,14,15	1	0,65
	2	1,29
	3	1,94
	4	2,58
	5	3,23
	6	3,87
	7	4,52
	8	5,16
	9	5,81
	10	6,45
	11	7,10
	12	7,74
	13	8,39
	14	9,03
	15	9,68
	16	10,32
	17	10,97
	18	11,61
	19	12,26
	20	12,90
	21	13,55
	22	14,19
	23	14,84
	24	15,48
	25	16,13
	26	16,77
	27	18,06
	28	19,35
	29	20,65
	30	21,94

Tablo 2.2.1.4. Kullanılan emniyet gerilmeleri

Çubuk no	Basınç emniyet gerilmesi (KN)	Çekme emniyet gerilmesi (KN)
1	24,196	24,133
2,20,21,24	7,991	24,133
19,22,23,25	11,935	24,133
4,18	24,196	24,133
3,5	24,196	24,133
6,10,13,17	4,685	24,133
7,9,11,16	4,685	24,133
8,12,14,15	7,640	24,133

Tablo 2.2.1.5. Çözüm için gerekli olan parametreler

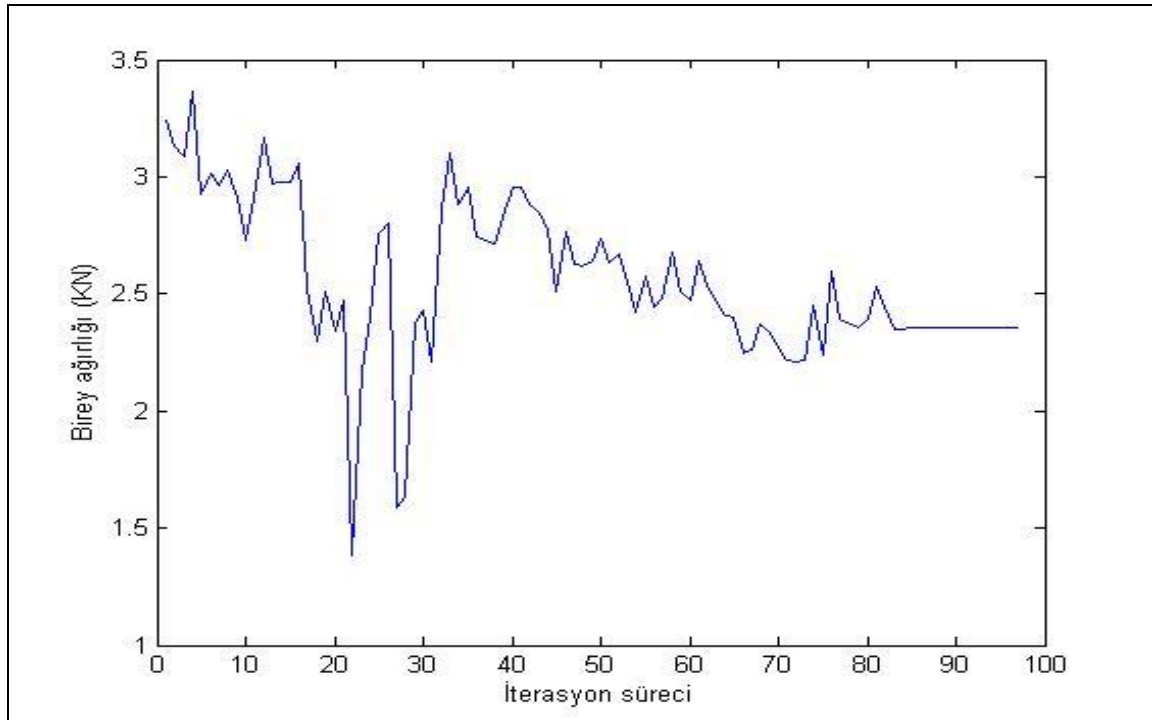
Bilgi	Sembol	Değeri	Açıklama
Elastisite Modülü	E	68,950 KN/mm ²	Her çubuk için aynı değer
Malzeme Birim hacim ağırlığı	ρ	0,02714 N/cm ³	Her çubuk için aynı değer
Deplasman sınırı		$\pm 0,35$ inç	1. ve 2. düğümde her iki doğrultuda
Çekme emniyet gerilmesi	σ_{cem}		Tablo 2.2.1.4
Basınç emniyet gerilmesi	σ_{bem}		Tablo 2.2.1.4
Ceza katsayısı	C	5,00	Amaç fonksiyonu ceza katsayısı
İstenilen yakınsama		80	Yüzde olarak yakınsama miktarı
Birey sayısı		30	Bir nesilde bulunan birey sayısı
Max iterasyon sayısı		200	Yakınsama için en fazla iterasyon
Uyumfaktörü alt sınırı		0,7	Canlı kalmak için min. uyum faktörü

Tasarım sonuçları Tablo 2.2.1.6. da literatürde yapılan diğer çalışmalarla birlikte verilmiştir. Doğrusal olmayan analiz ikinci gruptaki çubukların bir üst enkesit alanlı olarak seçilmesine neden olmuştur. Yapılan çalışmalarda doğrusal olmayan analizin etkili olması, büyük deplasmanların olduğu yada doğrusal analiz sonuçlarının sınır değerlere yakın değerlerde kullanılması hallerindedir, bu durumu literatürde (Dede, 2003) verilen doğrusal çözümde birinci düğümün y eksenli deplasman sınırlayıcı 0.35 inç iken; çözüm sonucu 0.3502 inç olarak analizin tamamlandığı ve virgülden sonraki sayı hassasiyeti nedeniyle çözüm olarak kabul edildiği çalışmada net olarak görmek ve doğrusal olmayan analiz etkilerinin bu durumun fark edilebilir boyuta ulaşmasından anlaşılabilir.

Tablo 2.2.1.6. Tasarım sonuçları ve literatürle sonuçların karşılaştırılması

Grup No	Şeçilen Enkesit Alanları(cm ²)			
	Bu Çalışma		Dede 2003	Adeli vd., 1993
	Doğrusal Olmayan	Doğrusal	Doğrusal	Doğrusal
1	0,65	0,65	0,65	0,65
2	10,96	10,32	12,90	11,61
3	16,13	16,13	16,13	14,84
4	0,65	0,65	0,65	1,29
5	0,65	0,65	1,29	0,65
6	6,45	6,45	4,52	5,16
7	7,74	7,74	7,74	11,61
8	20,65	20,65	20,65	19,35
Ağırlık(KN)	2,3553	2,3319	2,334	2,428

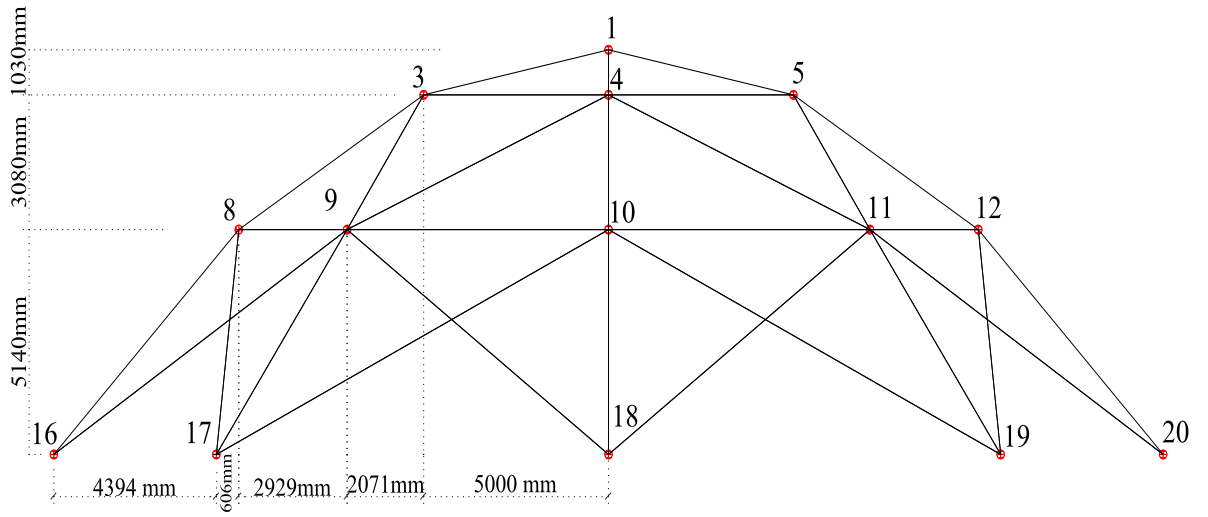
Tablo 2.2.1.6. sunulan çözümler 97. iterasyonda, %81,68 yakınsama oranı ile elde edilmiş olup birinci birey ağırlığının iterasyon süreninde aldığı değerler Şekil 2.2.1.2. de gösterilmiştir.



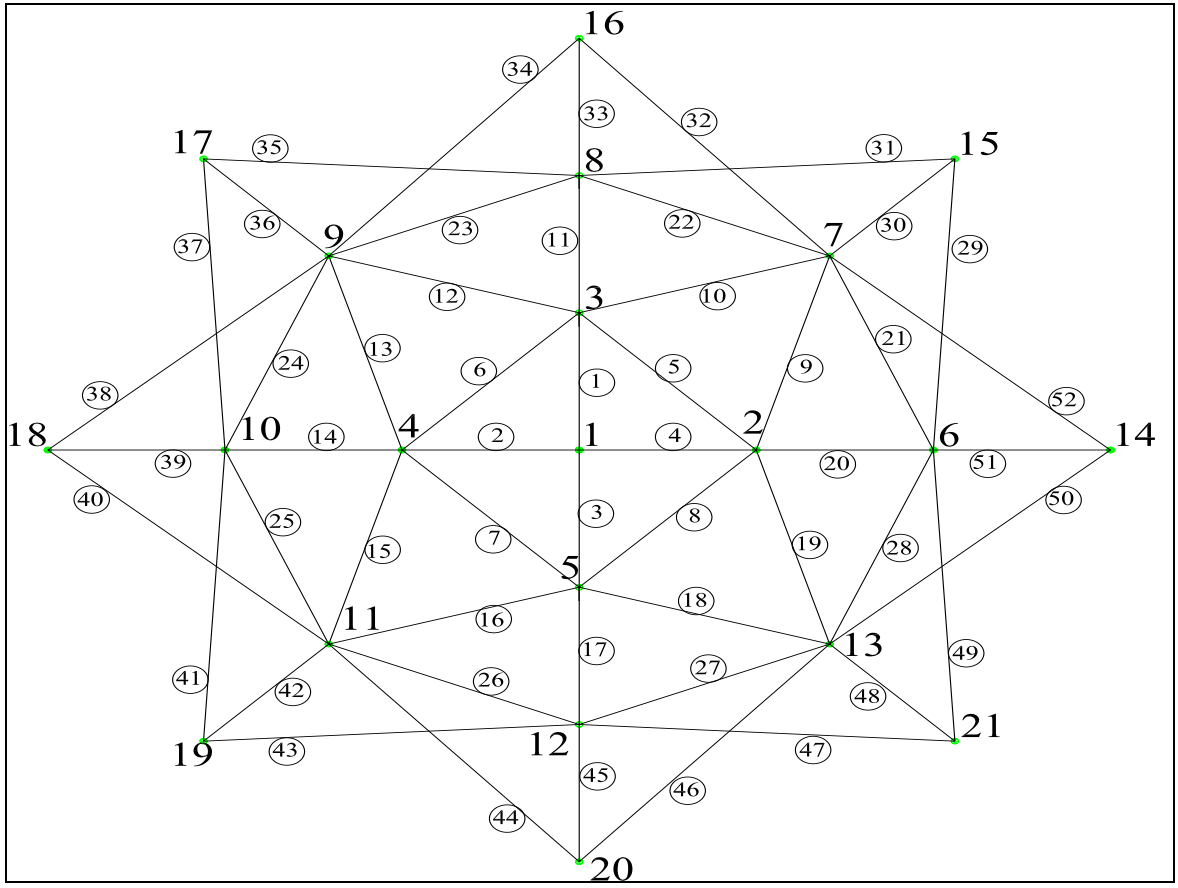
Şekil 2.2.1.2. Birinci bireyin iterasyondaki toplam ağırlık değerleri

2.2.2. Elli İki Çubuklu Uzay Kafes Sistem

Geometrik özellikleri Şekil 2.2.2.1. de ve plan görünüşü Şekil 2.2.2.2. de verilen, -Z yönünde 150 KN büyüklüğündeki yükleri 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 noktali düğümlerinde bulunduran yapı analiz edilmiştir. Sistem doğrusal olmayan analize tabi tutulmuş ve bu analiz sonuçları ile TS648'e göre eksenel stabilite dikkate alınarak tasarlanmıştır. Kullanılacak enkesit alanları ve gruplama bilgileri Tablo 2.2.2.1. 'de, çözüm için gerekli olan parametre ve bilgiler ise Tablo 2.2.2.2. de gösterilmiştir.



Şekil 2.2.2.1. Sistem geometrik özellikleri



Şekil 2.2.2.2. Sistemin plan görünüşü

Tablo 2.2.2.1. Kullanılacak enkesit alanları ve gruplama bilgileri

Çubuk numarası ile grup tanımı	Alan Tanım No	Kesit alanı (cm ²)	Atalet yarıçapı(cm)
	1	4,80	1,51
	2	5,69	1,50
	3	5,86	1,33
	4	6,31	1,66
	5	6,56	1,49
	6	6,91	1,82
	7	8,23	1,64
	8	8,24	1,47
	9	8,70	1,96
	10	9,03	1,80
	11	9,40	2,12
	12	10,10	1,62
	13	11,00	1,94
	14	11,10	1,78
	15	11,50	2,26
	16	11,90	2,10
1. grup: 1,2,3,4	17	12,30	2,42
2. grup: 5,6,7,8	18	13,20	1,91
3. grup: 11,14,17,20	19	14,10	2,25
4. grup: 9,10,12,13,15,16,18,19	20	14,30	2,08
5. grup: 21,22,23,24,25,26,27,28	21	15,10	2,41
6. grup: 30,33,36,39,42,45,48,51	22	15,50	2,74
7. grup: 29,31,35,37,41,43,47,49	23	16,70	2,22
8. grup: 32,34,38,40,44,46,50,52	24	17,90	2,39
	25	18,70	2,72
	26	19,20	3,04
	27	20,60	2,36
	28	21,80	2,69
	29	22,70	3,02
	30	26,20	3,00
	31	29,60	2,97
	32	33,90	3,63
	33	34,70	3,94
	34	39,90	3,92
	35	40,00	4,25
	36	45,70	4,56
	37	51,10	4,54
	38	57,50	4,84
	39	61,90	5,49
	40	68,40	5,47
	41	69,10	6,13
	42	76,40	6,11

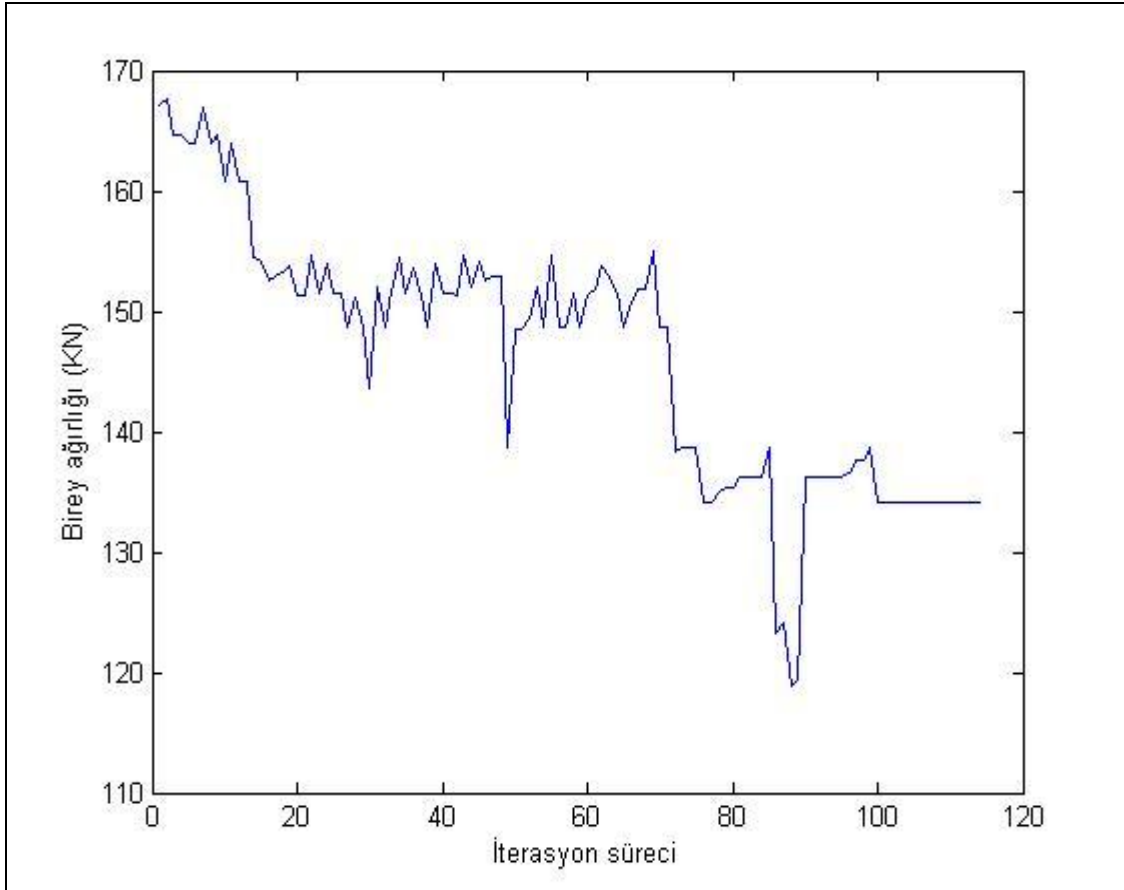
Tablo 2.2.2.2. Çözüm için gerekli olan parametre ve bilgiler

Bilgi	Sembol	Değeri	Açıklama
Elastisite Modülü	E	210 KN/mm ²	Her çubuk için aynı değer
Malzeme Birim hacim ağırlığı	ρ	0,0785 N/cm ³	Her çubuk için aynı değer
Deplasman sınırı		$\pm 0,3937$ inç	Yük bulunan düğümde her doğrultuda
Çekme ve basınç emniyet gerilmesi	$\sigma_{cem}, \sigma_{bem}$		TS648 e göre hesaplanır
Çelik akma gerilmesi	σ_a	0,235 KN/mm ²	Emniyet gerilmesi hesabında kullanılır
Ceza katsayısı	C	5,00	Amaç fonksiyonu ceza katsayısı
İstenilen yakınsama		80	Yüzde olarak yakınsama miktarı
Birey sayısı		50	Bir nesilde bulunan birey sayısı
Max iterasyon sayısı		200	Yakınsama için en fazla iterasyon
Uyumfaktörü alt sınırı		0,7	Canlı kalmak için min. uyum faktörü

Tasarım sonucunda; 136,36 KN toplam ağırlık ile 123. iterasyonda %81.36 oranında yakınsama elde edilmiştir. Bu tasarımda alan tanım numaraları 2.grup çubukların 3, 3.grup çubuklar ise 8 numaralı kesit olarak elde edilmiştir. Fakat sistemde yük olmayan ve mevcut yüklerinde etkisinden oldukça az etkilenen 2.grup ve 3.grup çubukların kesit alanları; alan tanım numarası 1'den başlatılarak tekrar koşturulmuş ve ilk denemede bahsedilen gruptaki çubuk alanlarının alan tanım numarası 1 olan kesit olarak seçilebileceğini görülmüştür. Başlangıç neslinin ilk bireyi bu şekilde düzenlenerek program koşturulduğunda 114. iterasyonda %82.34 yakınsama oranı ile sonuç elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 2.2.2.3. te literatürle karşılaştırılmalı olarak verilmiş olup, yirmi beşinci bireyin ağırlık değişimini iterasyon sürecinde gösteren grafik Şekil 2.2.2.2. de gösterilmiştir.

Tablo 2.2.2.3. Elli iki çubuklu sistem tasarım sonuçları

Grup no	Bu çalışma		Dede 2003
	Enkesit Alanları (cm ²)		Enkesit Alanları(cm ²)
	Doğrusal Analiz	Doğrusal Olmayan Analiz	Doğrusal Analiz
1	4,80	4,80	6,56
2	4,80	4,80	4,80
3	4,80	4,80	5,86
4	4,80	4,80	6,91
5	40,00	40,00	40,00
6	39,90	39,90	39,90
7	61,90	61,90	68,40
8	61,90	61,90	61,90
Toplam ağırlık(KN)	134,075	134,075	140,161



Şekil 2.2.2.3. Birey ağırlığının iterasyon sürecinde değişimi

Görüldüğü gibi doğrusal analiz ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarında tasarım değişmemiş ve genetik algoritma aynı bireyi belirli bir yüzdede çözüm bireyi olarak seçmiştir. Bunun nedeni ise her iki analiz sonucunda oluşan deplasman ve dolayısı ile yük

değerlerinin birbirine oldukça yakın olmasıdır. Tablo 2.2.2.4. te her iki analize ait çubuk kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 2.2.2.4. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan kuvvetler

Çubuk No	Çubuk Kuvvetleri (KN)		Çubuk No	Çubuk Kuvvetleri (KN)	
	Doğrusal Analiz	Doğrusal Olmayan Analiz		Doğrusal Analiz	Doğrusal Olmayan Analiz
1	0,000	0,000	27	-95,044	-95,117
2	0,000	0,000	28	-95,044	-95,117
3	0,000	0,000	29	-98,933	-98,984
4	0,000	0,000	30	-92,331	-92,352
5	0,518	0,518	31	-98,933	-98,984
6	0,518	0,518	32	-97,106	-97,145
7	0,518	0,518	33	-87,962	-87,971
8	0,518	0,518	34	-97,106	-97,145
9	-0,999	-0,999	35	-98,933	-98,984
10	-0,999	-0,999	36	-92,331	-92,352
11	1,470	1,470	37	-98,933	-98,984
12	-0,999	-0,999	38	-97,106	-97,145
13	-0,999	-0,999	39	-87,962	-87,971
14	1,470	1,470	40	-97,106	-97,145
15	-0,999	-0,999	41	-98,933	-98,984
16	-0,999	-0,999	42	-92,331	-92,352
17	1,470	1,470	43	-98,933	-98,984
18	-0,999	-0,999	44	-97,106	-97,145
19	-0,999	-0,999	45	-87,962	-87,971
20	1,470	1,470	46	-97,106	-97,145
21	-95,044	-95,117	47	-98,933	-98,984
22	-95,044	-95,117	48	-92,331	-92,352
23	-95,044	-95,117	49	-98,933	-98,984
24	-95,044	-95,117	50	-97,106	-97,145
25	-95,044	-95,117	51	-87,962	-87,971
26	-95,044	-95,117	52	-97,106	-97,145

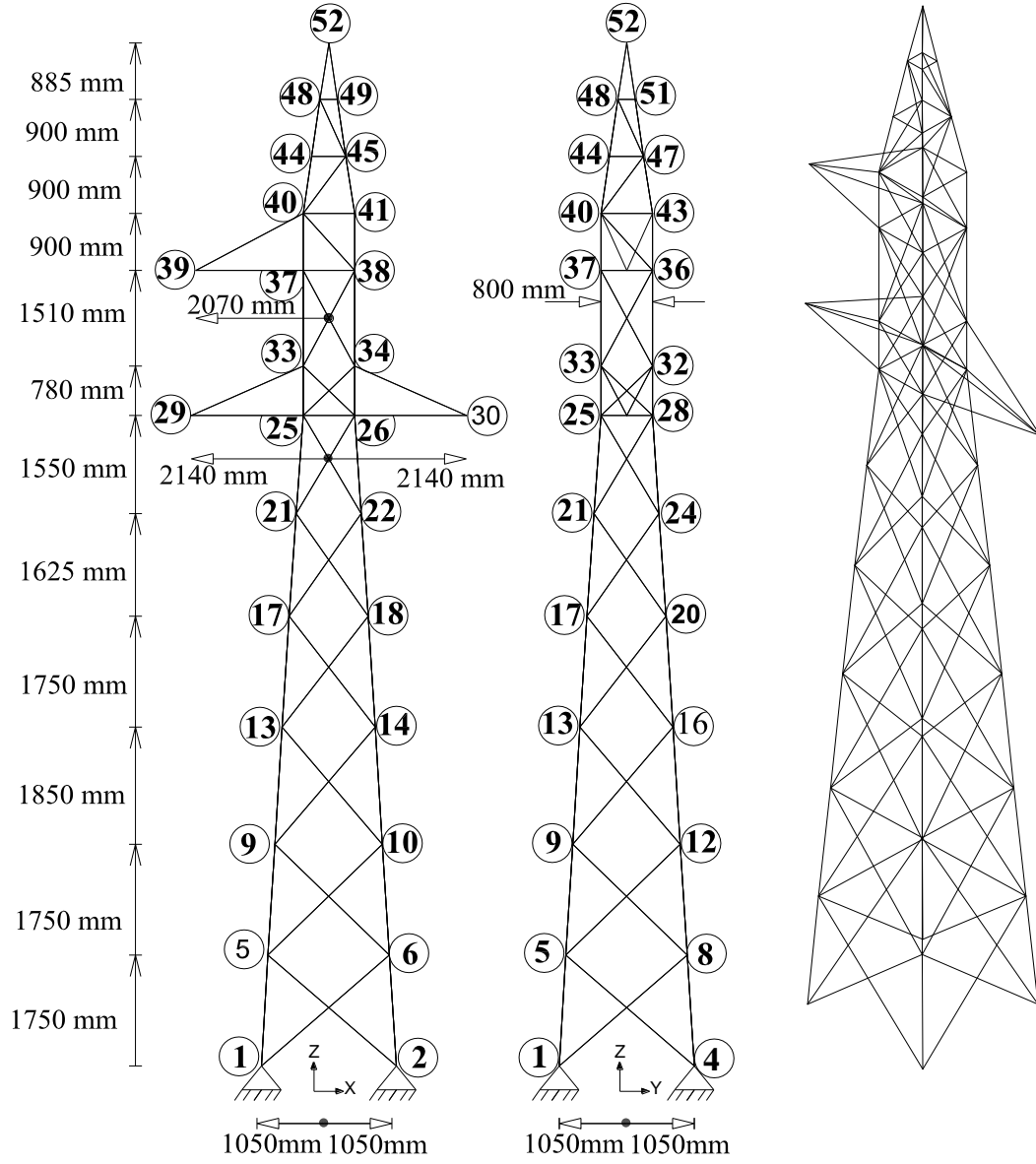
2.2.3 Yüz Elli Dört Çubuklu Enerji Nakil Hattı Kulesi

Bu örnek, 52 düğüm noktalı 154 çubuklu bir enerji hattı kulesinin, doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarını kullanan genetik algoritmayla minimum ağırlıklı optimizasyonudur.

Analizde; elastisite modülü $200,8 \text{ kN/mm}^2$, malzemenin yoğunluğu ise $7,85 \times 10^{-8} \text{ kN/mm}^3$ olarak alınmıştır. Emniyet gerilmeleri üst sınırı olarak $147,15 \text{ N/mm}^2$ kabul edilmiş ve TS 648 'e göre aksenal stabilite dikkate alınmıştır. İletim hattı kulesine ait geometrik bilgiler ve genel vaziyeti Şekil 2.2.3.1. de verilmiş olup Tablo 2.2.3.2. de çubuk uç düğümleri gösterilmiş, Tablo 2.2.3.3. te düğüm noktası koordinatları ve Tablo 2.2.3.4. te yükleme durumu verilmiştir. Çözümde kullanılan diğer parametreler Tablo 2.2.3.1. de sunulmuştur. Tasarım 32 adet profil arasından seçim yapılarak uygulanmış olup profil enkesit alanları Tablo 2.2.3.5. te verilirken çubukların gruplandırma bilgileri Tablo 2.2.3.6. da verilmiştir

Tablo 2.2.3.1. Çözümde kullanılan parametreler

Bilgi	Sembol	Değeri	Açıklama
Elastisite Modülü	E	$200,8 \text{ KN/mm}^2$	Her çubuk için aynı değer
Malzeme Birim hacim ağırlığı	ρ	$7,85 \text{ kN/mm}^3$	Her çubuk için aynı değer
Deplasman sınırı		100 mm	Yük bulunan düğümde her doğrultuda
Basınç emniyet gerilmesi	σ_{bem}	TS648 e göre hesaplanır. Çekme emniyet gerilmesi (σ_{cem}) $147,15 \text{ N/mm}^2$ olarak alınmıştır.
Çelik akma gerilmesi	σ_a	$0,240 \text{ KN/mm}^2$	Emniyet gerilmesi hesabında kullanılır
Ceza katsayısı	C	8,00	Amaç fonksiyonu ceza katsayısı
İstenilen yakınsama		80	Yüzde olarak yakınsama miktarı
Birey sayısı		50	Bir nesilde bulunan birey sayısı
Max iterasyon sayısı		200	Yakınsama için en fazla iterasyon
Uyumfaktörü alt sınırı		0,7	Canlı kalmak için min. uyum faktörü



Şekil 2.2.3.1. İletim kulesi geometrik özellikleri ve genel vaziyeti

Tablo 2.2.3.2. Çubuk düğüm noktaları

Çubuk No	Düğüm Noktası		Çubuk No	Düğüm Noktası		Çubuk No	Düğüm Noktası	
	1. Uç	2.uç		1. Uç	2.uç		1. Uç	2.uç
1	1	5	53	18	23	105	33	36
2	1	6	54	19	22	106	32	37
3	5	2	55	19	23	107	37	38
4	2	6	56	19	24	108	35	38
5	2	7	57	20	23	109	35	36
6	3	6	58	20	24	110	36	37
7	3	7	59	17	24	111	39	36
8	3	8	60	20	21	112	39	37
9	7	4	61	21	25	113	39	40
10	4	8	62	21	26	114	39	43
11	1	8	63	22	25	115	37	40
12	4	5	64	22	26	116	40	38
13	5	9	65	22	27	117	40	36
14	5	10	66	23	26	118	38	41
15	6	9	67	23	27	119	35	42
16	6	10	68	23	28	120	41	35
17	6	11	69	24	27	121	43	35
18	10	7	70	24	28	122	36	43
19	7	11	71	21	28	123	40	41
20	12	7	72	24	25	124	41	42
21	11	8	73	25	26	125	42	43
22	8	12	74	28	27	126	43	40
23	5	12	75	29	25	127	40	44
24	8	9	76	29	28	128	41	45
25	9	13	77	29	33	129	42	46
26	9	14	78	29	32	130	43	47
27	13	10	79	26	30	131	40	45
28	10	14	80	27	30	132	40	47
29	10	15	81	30	34	133	46	43
30	14	11	82	31	30	134	46	41
31	11	15	83	25	33	135	44	45
32	11	16	84	34	25	136	46	45
33	12	15	85	33	26	137	46	47
34	12	16	86	26	34	138	47	44
35	9	16	87	31	26	139	44	48
36	13	12	88	27	34	140	45	49
37	13	17	89	27	31	141	46	50
38	13	18	90	32	27	142	47	51
39	14	17	91	28	31	143	48	45
40	14	18	92	28	32	144	47	48
41	14	19	93	25	32	145	46	49
42	15	18	94	28	33	146	46	51
43	15	19	95	33	37	147	48	49
44	15	20	96	33	38	148	49	50
45	16	19	97	34	37	149	50	51
46	16	20	98	34	38	150	48	51
47	13	20	99	35	34	151	48	52
48	17	16	100	38	31	152	49	52
49	17	21	101	31	35	153	50	52
50	17	22	102	36	31	154	51	52
51	18	21	103	32	35			
52	18	22	104	32	36			

Tablo 2.2.3.3. Dügüm noktası koordinatları

Dügüm No	Koordinatlar			Dügüm No	Koordinatlar		
	X	Y	Z		X	Y	Z
1	0,0000	0,0000	0,0000	27	145,0000	145,0000	1027,5000
2	210,0000	0,0000	0,0000	28	65,0000	145,0000	1027,5000
3	210,0000	210,0000	0,0000	29	-109,0000	105,0000	1027,5000
4	0,0000	210,0000	0,0000	30	319,0000	105,0000	1027,5000
5	10,8333	10,8333	175,0000	31	145,0000	145,0000	1105,5000
6	199,1667	10,8333	175,0000	32	65,0000	145,0000	1105,5000
7	199,1667	199,1667	175,0000	33	65,0000	65,0000	1105,5000
8	10,8333	199,1667	175,0000	34	145,0000	65,0000	1105,5000
9	21,6667	21,6667	350,0000	35	145,0000	145,0000	1256,5000
10	188,3333	21,6667	350,0000	36	65,0000	145,0000	1256,5000
11	188,3333	188,3333	350,0000	37	65,0000	65,0000	1256,5000
12	21,6667	188,3333	350,0000	38	145,0000	65,0000	1256,5000
13	32,5000	32,5000	535,0000	39	-102,0000	105,0000	1256,5000
14	177,5000	32,5000	535,0000	40	65,0000	65,0000	1346,5000
15	177,5000	177,5000	535,0000	41	145,0000	65,0000	1346,5000
16	32,5000	177,5000	535,0000	42	145,0000	145,0000	1346,5000
17	43,3333	43,3333	710,0000	43	65,0000	145,0000	1346,5000
18	166,6667	43,3333	710,0000	44	78,3333	78,3333	1436,5000
19	166,6667	166,6667	710,0000	45	131,6667	78,3333	1436,5000
20	43,3333	166,6667	710,0000	46	131,6667	131,6667	1436,5000
21	54,1667	54,1667	872,5000	47	78,3333	131,6667	1436,5000
22	155,8333	54,1667	872,5000	48	91,6667	91,6667	1526,5000
23	155,8333	155,8333	872,5000	49	118,3333	91,6667	1526,5000
24	54,1667	155,8333	872,5000	50	118,3333	118,3333	1526,5000
25	65,0000	65,0000	1027,5000	51	91,6667	118,3333	1526,5000
26	145,0000	65,0000	1027,5000	52	105,0000	105,0000	1615,0000

Tablo 2.2.3.4. Yükleme bilgileri

Dügüm No	Yükler (N)		
	X	Y	Z
29	-10702,71	0	-5356,26
30	-10702,71	0	-5356,26
39	-9770,76	0	-5356,26
52	-8515,08	0	-4816,71

Tablo 2.2.3.5. Profil enkesit alanları

Çubuk Tanım No	Enkesit Alanı(cm ²)	Atalet yarıçapı (ix=iy) cm	Çubuk Tanım No	Enkesit Alanı(cm ²)	Atalet yarıçapı (ix=iy) cm
1	4,80	1,51	17	14,10	2,25
2	5,69	1,50	18	14,30	2,08
3	5,86	1,33	19	15,10	2,41
4	6,31	1,66	20	15,50	2,74
5	6,56	1,49	21	16,70	2,22
6	6,91	1,82	22	17,90	2,39
7	8,24	1,47	23	18,70	2,72
8	8,70	1,96	24	19,20	3,04
9	9,03	1,80	25	20,60	2,36
10	9,40	2,12	26	21,20	3,36
11	10,10	1,62	27	21,80	2,69
12	11,00	1,94	28	22,70	3,02
13	11,50	2,26	29	25,10	3,34
14	11,90	2,10	30	25,40	3,66
15	12,30	2,42	31	26,20	3,00
16	13,20	1,91	32	26,40	2,66

Tablo 2.2.3.6. Grublama bilgileri

Grup No	Çubuk Numaraları
1	1, 4 ,7 ,10, 13, 16 ,19 ,22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52, 55, 58, 61, 64, 67, 70
2	2 ,3 ,5 ,6 ,8 ,9 ,11, 12 ,14 ,15, 17 ,18, 20 ,21, 23, 24
3	26, 27, 29, 30, 32, 33, 35, 36, 38,39,41, 42, 44 ,45, 47, 48
4	50, 51, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 68, 69, 71, 72
5	79, 80, 75, 76, 111, 112
6	77, 78 ,81, 82, 113, 114
7	73, 74, 107, 108, 109, 110, 123, 124, 125, 126, 83, 86, 89, 92
8	144, 145, 146 ,115 ,118 ,119, 122 ,127, 128, 129 ,130 ,143 ,139 ,140 ,141, 142 ,151 ,152 153 ,154
9	84,85, 87, 88 ,91, 90, 93, 94
10	105, 106, 103, 102, 100, 99 ,97, 96
11	95, 98 ,101 ,104
12	134, 133, 132, 131, 120, 121, 117, 116
13	135, 136, 137, 138
14	150 ,149, 148 ,147

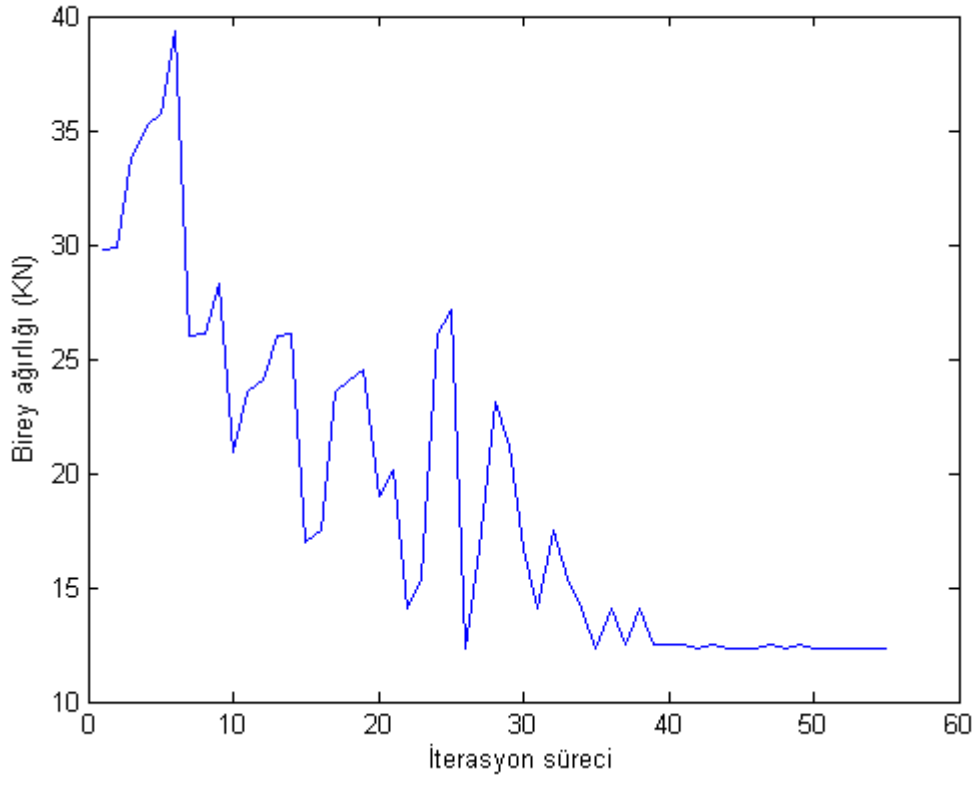
Verilen bilgiler kullanılarak çözüm yapıldığında enerji nakil hattı kulesinin ağırlığı 12,311 KN olarak tespit edilmiştir. Diğer örneklerde olduğu gibi bu örnekte de doğrusal

analiz sonuçları ile doğrusal olmayan analiz sonuçları aynı tasarımın oluşmasına neden olmuştur. Tablo 2.2.3.7. de elde edilen değerler literatürle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırmalar değerlendirilirken gruplama ve çubuk numaralarının farklı olabileceği düşünülmüştür. Bu örnekte çubuk sayısının fazla olması nedeniyle sistemin şekil üzerinden okunması oldukça zor olmuş ve bu nedenden dolayı gerek daha sonraki çalışmalarda karşılaştırılabilir gerekse anlaşılabilirlik için çubuk uç düğümleri ve düğüm noktası koordinatları tablolar halinde verilmiştir. Şekil 2.2.3.2. de onuncu bireyin ağırlığının iterasyon sürecinde değişimi gösterilmektedir.

Tablo 2.2.3.7. Sonuçların verilmesi ve literatürle karşılaştırılması

Grup No	Bu çalışma		Bu Çalışma		Daloğlu ve Toğan, 2006	
	Doğrusal Analiz		Doğrusal Olmayan Analiz		Doğrusal Analiz	
	Çubuk Tanım No	Enkesit Alanı (cm ²)	Çubuk Tanım No	Enkesit Alanı (cm ²)	Çubuk Tanım No	Enkesit Alanı (cm ²)
1	17	4,80	17	4,80	20	15,50
2	1	4,80	1	4,80	1	4,80
3	1	4,80	1	4,80	1	4,80
4	1	4,80	1	4,80	1	4,80
5	1	4,80	1	4,80	1	4,80
6	1	4,80	1	4,80	1	4,80
7	2	5,69	2	5,69	1	4,80
8	1	4,80	1	4,80	2	5,69
9	1	4,80	1	4,80	1	4,80
10	1	4,80	1	4,80	8	8,70
11	4	6,31	4	6,31	7	8,24
12	1	4,80	1	4,80	6	6,91
13	1	4,80	1	4,80	1	4,80
14	1	4,80	1	4,80	2	5,69
Toplam Ağırlık (KN)		12,311	12,311		13,225	

Not: Gruplandırma yapılan çubukların literatürden farklı olabileceği unutulmamalıdır.



Şekil 2.2.3.2. Birey ağırlığının iterasyon sürecinde değişimi

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda üç boyutlu ve iki boyutlu kafes sistemler doğrusal ve doğrusal olmayan analiz ile çözülmüş ve genetik algoritma yöntemiyle optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Sonuçların incelenmesi neticesinde, doğrusal olan çözümlerle doğrusal olmayan çözümler arasında sonuçların değişmediği ya da küçük değişiklikler olduğu tespit edilmiştir. Bu benzerliğin oluşmasındaki en büyük iki etmen çalışma kapsamında incelenen örneklerdeki sistemlerin; mevcut yükler altında, doğrusal olmayan analizde etkili olacak deplasman değerlerine ulaşmaması ve çözümlerde kullanılan gruplamalar neticesinde kesitlerin toplu olarak seçilmesi olarak gösterilebilir. Optimizasyon sonuçları ise bu analizlere doğrudan bağlı olduğundan dolayı değişiklik oranı oldukça küçük olmuştur. Oluşan küçük değişiklikler ise doğrusal analizde, sınırlayıcıları zorlayan durumun doğrusal olmayan analizde sınırlayıcıları ihlal etmesinden kaynaklanmıştır.

Bu çalışma sonucunda, doğrusal analiz sonuçlarını kullanan optimizasyon sürecinde, sınır değerlere yakın kesitlerin kullanılmaması gerektiği, sonuçların doğrusal olmayan analiz ile karşılaştırılarak kullanılmasının çok daha doğru olacağı görülmüştür.

Optimizasyon aşamasında ise başlangıç neslinde oldukça geniş ve tecrübeler doğrultusunda oluşturulmuş bireylerin bulunmasının verimliliği büyük oranda arttırdığı açıkça görülmüştür. Ayrıca elde edilen sonuçların bir alt ve bir üst profil kesitlerini içeren bireylerle tekrar optimizasyon sürecine sokulması bu yöntemin esnekliğini göstermiş ve daha uygun çözümlerin oluşabileceği gözlemlenmiştir.

4. KAYNAKLAR

- Adeli, H. ve Chang N. T., 1993. Integrated Genetic Algorithms for Optimization of Space Truss, Journal of Aerospace Engineering, ASCE, 6, 4, 315-328.
- Aydın, Z., 2000. Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma İle Optimum Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çiçek, Ç., 1998. Düzlem Kafes Sistemlerin Tanjant Rijitlik Matrisi Yöntemi İle Geometrik Bakımdan Lineer olmayan Analizi, Lisans Bitirme Tezi, K.T.Ü., Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Daloğlu, A. ve Armutcu, M., 1997. Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile TS 648'e Uygun Olarak Optimum Tasarımı, III. Teknik Kongre İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, ODTÜ, Ankara.
- Daloğlu, A. ve Armutcu, M., 1998. Genetik Algoritma ile Düzlem Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı, İMO Teknik Dergi, 1601-1615, Yazı 116.
- Daloğlu, A. ve Aydın, Z., 1999. Kafes Sistemlerin Uygulamaya Yönelik Optimum Tasarımı, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 1, 951 – 957.
- Daloğlu, A. ve Toğan, V., 2006. Genetik Algoritma İle Üç Boyutlu Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu, İMO Teknik Dergi, 3809-3825, Yazı 251.
- Daloğlu, A., Toğan, V., 2006. Optimization of 3D Trusses with Adaptive Approach in Genetic Algorithms, Computers and Structures, 28, 1019–1027.
- Daloğlu, A. ve Toğan, V., 2008. An Improved Genetic Algorithm With Initial Population Strategy and Self-Adaptive Member Grouping, Computers and Structures, 86, 1204–1218.
- Dede, T., 2003. Değer Kodlaması Kullanarak Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma İle Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Deren, H., Uzgider, E. ve Piroğlu, F., 2005. Çelik Yapılar, II. Baskı.
- Goldberg, D. E., 1989. Genetic Algorithms In Search, Optimization, and Machine Learning, Addison – Wesley Publishing Company, Inc.
- İnan, A., 2004. Matlab ve Programlama, I. Baskı.
- İnan, M., 2001. Cisimlerin Mukavemeti, VIII. Baskı.

- Lemonge, A., Barbosa, H., Silva, M., Borges, C., Lima, E. ve Santos, Pedro P., 2010. Genetic Algorithm For Optimization Of Geometrically Nonlinear Truss Structures.
- Rajeev, S. ve Krishnamoorthy, C., 1992. Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms, J. Structure Engineering, ASCE, 118, 5, 1233 – 1250.
- Saka M. P. ve Ulker M., 1991. Optimum Design of Geometrically Nonlinear Space Trusses Computer and Structure, 41,1387–96.
- Saka, M. P., Daloğlu, A. ve Malhas, F., 2000. Optimum Spacing Design of Grillage Systems Using a Genetic Algorithm, Advances in Engineering Software, 31, 863-873.
- Toğan, V., 2004. Kafes Sistemlerin Sabit ve Katar Y¼kleri Altında Genetik Algoritma ile Boyut ve Şekil Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- T.S.E., 1982. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS- 648, Türk Standartları Enstitüsü, I. Baskı, Ankara.
- T.S.E., 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Y¼klerin Hesap Değerleri, TS-498, Türk Standartları Enstitüsü, II. Baskı, Ankara.
- Wu, S. T. ve Chow, P-T., 1995. Integrated Discrete and Configuration Optimization of Trusses Using Genetic Algorithms, Computers and Structures, 55, 4, 695-702.
- Yang, T.Y., 1985. Finite Element Structural Analysis, Prentice-Hall, Inc.,Englewood Cliffs., Prude University.
- URL-1, http://web.itu.edu.tr/orak/ders_notlari/ysloa/LOS_hafta1.pdf. 17 Ocak 2012
- URL-2, http://web.itu.edu.tr/orak/ders_notlari/ysloa/LOS_hafta2a.pdf. 17 Ocak 2012

ÖZGEÇMİŞ

1984' te Giresun' da doğan Dursun Durukan; Giresun Atatürk Lisesi(YDA)' nden 2002 yılında mezun oldu. 2003 yılında Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde başladığı lisans eğitimini 2007 yılında tamamladıktan sonra aynı yıl içinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı' nda tezli yüksek lisans öğrenimine başladı.

Dursun Durukan 2010 – 2012 yılları arasında Akfen Enerji, Suta – Altında İş Ortaklığı Doruk HES şantiyesinde saha mühendisliği (sanat yapıları şefi), şantiye şefi yardımcılığı ve proje müdürü vekilliği yaptı. Aynı yıllar içerisinde vatani görevini yedek subay adayı-erbaş olarak tamamlayan Dursun Durukan, Türkerler Holding A.Ş. Angutlu 1 – II H.E.S. projelerinde kontrol mühendisi ve Angutlu 2 şantiyesi şantiye şefi olarak çalışmaktadır.

İyi seviyede İngilizce bilen Dursun Durukan, boş zamanlarında serbest dalış yapmakta ve heykelcilikle ilgilenmektedir.