

**YAPISAL SİSTEMLERİN DEPREM YÜKLERİ
ALTINDA GENETİK ALGORİTMA İLE
OPTİMUM TASARIMI**

Elif KARABÜYÜK

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK

2011

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

YAPISAL SİSTEMLERİN DEPREM YÜKLERİ ALTINDA GENETİK
ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI

ELİF KARABÜYÜK

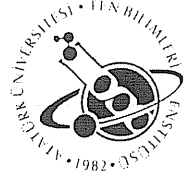
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2011

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

YAPISAL SİSTEMLERİN DEPREM YÜKLERİ ALTINDA GENETİK ALGORİTMA İLE
OPTİMUM TASARIMI

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK danışmanlığında, Elif KARABÜYÜK tarafından hazırlanan bu çalışma 26/08/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

İmza : 

Üye : Doç. Dr. İrfan KAYMAZ

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZYAZICIOĞLU

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim CAN

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Ömer AKBULUT

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Doktora Tezi

YAPISAL SİSTEMLERİN DEPREM YÜKLERİ ALTINDA GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI

Elif KARABÜYÜK
Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK

Yapısal sistemlerin deprem yükleri dikkate alınarak optimizasyonu, yeryüzünde birçok ülkenin depremde etkilendiği ve geçmişte yaşanan tecrübeler göz önüne alındığında yerinde bir çözümlerdir. Çalışmada çoğunlukla literatürde rastlanılan boyut optimizasyonu problemlerine farklı bir bakış açısı ile yaklaşarak, yapı ağırlığı, diğer sınırlayıcılara ek olarak kullanılmış ve bu yolla deprem sonucunda yapıda oluşan deprem yüklerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için yapıda oluşan yatay deprem kuvvetlerinin toplamı olarak ifade edilen ve yapıdaki deprem etkisini tek başına temsil edebilen bir değer olan taban kesme kuvveti minimize edilmiştir. Hesaplamalarda çekme gerilmesi, eğilmeli burkulma bileşik gerilmesi ve eğilmeli burulma bileşik gerilme durumları gerilme sınırlayıcıları, katlar arası rölatif yer değiştirmeler ve yapı tepe yer değiştirmesi ise deplasman sınırlayıcıları olarak amaç fonksiyonuna dâhil edilmiştir. Deprem hesaplaması için spektrum davranış analizi yöntemi kullanılmış, literatürden alınan üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemler, El Centro depremi kuzey güney bileşeni deprem kaydına göre hesaplanmıştır. Optimizasyon için geçerliliği birçok çalışma ile ispatlanmış bir yöntem olan Genetik Algoritma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemlerin taban kesme kuvvetine göre yapılan optimum çözümlerinde, deprem yüküne daha az maruz kalan, hafif yani ekonomik ve gerilme ile deplasman yönünden daha güvenli tasarımlarını elde etmektir.

2011, 143 sayfa

Anahtar kelimeler:Yapı Optimizasyonu, Dinamik Analiz, Genetik Algoritma, Mod Birleştirme Yöntemi

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

OPTIMUM DESIGN OF STRUCTURAL SYSTEMS SUBJECTED TO THE EARTHQUAKE LOAD WITH GENETIC ALGORITHMS

Elif KARABÜYÜK

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Building Structure

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Ahmet BUDAK

Optimization of structural systems subjected to earthquake loads, in consideration of many country affected by the earthquakes on earth and experiences in the past is an appropriate resolution. In this study, problems of the size optimization often encountered in the literature approached with a different point of view, weight of structure was used in a addition to other constraints and in this way optimization is made seismic loads of the structure was formed as a result of the earthquake. The seismic base shear which is expressed as the sum of the horizontal seismic forces can represent the effect of earthquake for structure was minimized. In calculations, tensile stress, bending with buckling composed stress and bending with torsion composed stress situations as the constraints of the stresses, displacements of interstory and peak point as the constraints of the displacements were included in the objective function. For earthquake analysis method used to calculate the spectrum behavior, the three dimensional frames and trusses taken from literature were analyzed according to north-south component of El Centro earthquake records. Genetic algorithm method was used for optimization problems that many studies in literature have proven the validity of a method of optimization. The aim of this study is to obtain the optimal solutions of three dimensions frames and truss according to the base shear force were less subjected to the earthquake load, light ie. the economic, safer in terms of stress and displacement.

2011, 143 pages

Keywords: Structural Optimisation, Dynamic Analysis, Genetic Algorithms, Modal Analysis.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca benden yardımını esirgemeyen, en sıkıntılı problemlerimi aşmamı sağlayan değerli hocam, tez yöneticim Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK hocama, bana doktoramın il beş senesinde danışmanlık yapmış emekli olduktan sonra da desteğini hiçbir zaman esirgememiş olan sevgili hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayla AMİL'e, yayınları vasıtasıyla tanıdığım ve yararlandığım, bana tez jürim olma nezaketini gösteren Sayın Prof. Dr. Yusuf AYVAZ hocama, tez süresince çok yoğun programında bana her zaman vakit ayırabilmiş olan sayın hocam Sayın Doç. Dr. İrfan KAYMAZ'a, bilgisi ve kitaplarıyla bütün sorularıma cevap bulabilmiş, yıllarca yardımını aldığım önceki senelerde tez jürim olan Sayın Doç. Dr. Ömer GÜNDOĞDU'ya, yıllarca bana tez jüriliği yapmış ve yardımları ile ufkumu açmış sayın hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Habib UYSAL'a, beni defalarca programla ilgili sıkıntılardan kurtarmış olan hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim CAN'a, tezim ile ilgili düzeltmelerimde yardımlarından dolayı tez jürim Sayın Mehmet ÖZYAZICIOĞLU'na ve uzaklardan bana desteğini hiç bırakmamış örnek aldığım insanlar Sayın Fatma KOÇER ve Sayın Melik BÖLÜKBAŞI'na, her zaman desteğini aldığım Pasinler Meslek Yüksekokulu Müdürü Sayın Prof. Dr. Rıdvan DURAK'a, arkadaşlarıma, sabırlı annem ve babama, eşime, çocuklarıma ve daha adı burada sayılamayacak kadar çok olan tüm hocalarıma ve dostlarıma çok teşekkür ederim.

Elif KARABÜYÜK
Ağustos 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vix
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1.Genetik Algoritma.....	13
3.2. Deprem yükleri altında yapı analizi.....	20
3.3 Dinamik Analiz Yöntemleri.....	22
3.4. Spektral davranış analizi.....	35
3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	40
3.6. Yapısal Analiz ve Deplasman Yöntemi.....	41
3.7. Deplasman sınırlayıcıları.....	42
3.8. Gerilme sınırlayıcıları.....	42
3.8.1. Çekme gerilmesi durumu.....	44
3.8.2. Eğilmeli Burulma Bileşik Gerilmesi Durumu.....	44
3.8.3. Eğilmeli Burkulma Bileşik Gerilme Durumu.....	46
3.8.4. Kafes Sistemler İçin Burkulma Gerilmesi Durumu.....	50
3.9. Sınırlayıcıların Amaç Fonksiyonuna Katılımı.....	51
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	58
4.1. 63 elemanlı çerçeve sistemin optimum ağırlığa göre tasarımı.....	58
4.2. 25 Elemanlı Kafes Sistem Tasarımı.....	67
4.3. 8 Elemanlı Çerçeve Tasarımı.....	75
4.4. 24 Elemanlı Çerçeve Tasarımı.....	86
4.5. 26 Elemanlı Çerçeve Tasarımı.....	93
4.6. 84 Elemanlı Çerçeve Tasarımı.....	101
4.7. 63 Elemanlı Çerçeve Sistemin Optimum Taban Kesme Kuvvetine Göre Tasarımı.....	109
4.8. 25 Elemanlı Uzay Kafes Sistem Tasarımı.....	115
4.9. 52 Elemanlı Kubbe tasarımı.....	121
4.10. 154 Elemanlı İletim Hattı Kulesi Tasarımı.....	127
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR.....	137
ÖZGEÇMİŞ.....	143

SİMGELER DİZİNİ

A	Çubuk eleman enkesit alanı
A	Spektral ivme katsayısı
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
$A_j(t)$	Yaklaşık ivme spektrumuna benzer olarak yer değiştirmeden elde edilen yaklaşık ivme
A_k	Eleman enkesit alanı
c	Sönüm
c_{ij}	Sönüm matrisi
f_i	Amaç fonksiyonunun uyum derecesi
\bar{f}	Ortalama uygunluk faktörü
F_1	Katlara etkiyen yatay kuvveti
ΔF_N	Ek eşdeğer deprem yükü
$g_i(x)$	Normalize edilmiş sınırlayıcılar
$g_x(x)$	eğilmeli burkulma bileşik gerilme durumu
G_{Ax}, G_{Bx}	x-x doğrultusunda çubuk uçlarındaki rijitlik dağılım faktörleri
G_{Ay}, G_{By}	y-y doğrultusundaki rijitlik dağılım faktörleri
h_j^*	Taban kesme kuvvetinde etkili yüksekliği, yani ilgili katın temelden yüksekliği
I	Yapı önem katsayısı
I_b	Burulma atalet momenti
I_E, I_E'	A ve B uçlarına bağlı olan kolonların x-x veya y- y eksenlerine göre atalet momentleri
I_c, I_c'	A ve B uçlarına bağlı olan kirişlerin x-x veya y- y eksenlerine göre atalet momentleri
i_{min}	Çubuk elemana ait atalet yarıçapı
k	Rijitlik
k_{ij}	Rijitlik matrisi

K_x	Basınç elemanının x-x doğrultusunda burkulma katsayısı
K_y	Basınç elemanının y-y doğrultusunda burkulma katsayısı
L_i	Eleman uzunluğu
m	Kütle
m_{ij}	Kütle matrisi
M_j^*	Taban kesme kuvvetinde etkili modal kütle
–	
M	Toplu kütle matrisi
–	
M_x	x-x eksenine göre eğilme momenti
M_y	y-y eksenine göre eğilme momenti
P	Normal kuvvet
P_k	Amaç fonksiyonunda kullanılan bir katsayı
R_A	Deprem yükü azaltma katsayısı
S	Spektrum katsayısı
S_g, S_g'	kirişlere ait uzunluklar
S_c, S_c'	kolonlara ait uzunluklar
S_k	Çubuk eleman burkulma boyu
T_1	Yapının 1. titreşim periyodu
V_t	Taban kesme kuvveti
..	
v	İvme
.	
\dot{v}	Hız
W	Toplam yapı ağırlığı
ρ_i	Malzeme birim hacim ağırlık
ϕ	Sınırlayıcıların amaç fonksiyonuna katılımı
δ_i	Normalize edilecek deplasman veya gerilme değerleri
$\delta_{sınır}$	Normalizasyonda kullanılan sınır deplasman veya sınır gerilme değerleri
ϕ_i	Modal matris

$v(t)$	t zaman bağlı deplasman fonksiyonu
σ_c	Çekme gerilmesi
τ_b	Burulmadan kaynaklanan kayma gerilmesi
$\sigma_{\text{eğilmeli-burulma}}$	Eğilmeli burulma bileşik gerilmesi
W_x	x-x eksenine göre mukavemet momenti
σ_{bemi}	Basınç emniyet gerilmesi
λ	Narinlik
ω	Burkulma katsayısı
λ_p	Plastik narinlik sınırı (kritik narinlik)

KISALTMALAR

ABAQUS	Paket Program adı
ADAM	Adaptive Discrete Assigment Method
AISC	American Instutiate of Steel Construction
ANSYS	Paket Program
APDL	ANSYS programing design language
BIAS	Genişletilmiş Lagrange Çarpanlarını Kullanan Bir Yöntem
BS	İngiliz Standartları
DOEP	Doğrusal Olmayan Elasto-Plastik Davranış
EP	Evrin Programlaması
ES	Evrin Stratejileri
FEAP	Program Adı

FEAPGEN	Program Adı
$f(x)$	x' e Bağlı Fonksiyon
GA	Genetik Algoritma
GAOS	Genetik Algoritma ile Hesap Yapan Bir Program
GFD	Global Sonlu Ayırım Metodu
LRFD	Yük Dayanım Faktörü Tasarımı
NP	Doğrusal Olmayan Programlama
QBASIC	Bir Programlama Dili
SAP2000	Her Türü Yapısal Analiz Yapan Bir Program
SQP	Ardışık Kareler Programlaması

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil.3.1. GA' da elemanların gruplandırılması	14
Şekil 3.2. Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	21
Şekil 3.3. Tek serbestlik dereceli sistemde yapının j'inci modunda etkili modal kütle ve etkili modal yükseklik.....	34
Şekil 3.4. Herhangi bir zaman-yük grafiği.....	36
Şekil 3.5. El Centro depreminin idealize edilmiş spektrum eğrisi.....	37
Şekil 3.6. Üç boyutlu çerçeve elemanı için kabul edilen serbestlik dereceleri.....	42
Şekil 3.7. Üç boyutlu kafes sistem elemanı için kabul edilen serbestlik dereceleri.....	42
Şekil 3.8. I profili boyutları.....	44
Şekil 3.9. Program akış şeması.....	56
Şekil 4.1. Altmışüç elemanlı çerçeve (Papadrakakis et al. 2001).....	57
Şekil 4.2. Altmış üç elemanlı çerçevenin gruplandırılması (Papadrakakis et al. 2001).....	58
Şekil 4.3. Altmış üç elemanlı çerçevenin gruplandırılması kesitte (Papadrakakis et al. 2001).....	58
Şekil.4.4. Papadrakakis 'in kullanmış olduğu spektrum davranış eğrisi (Papadrakakis et al. 2001).....	59
Şekil.4.5. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (nesil sayısı: 84).....	62
Şekil.4.6. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 192)	62
Şekil.4.7. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 87)	63
Şekil.4.8. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 78)	63
Şekil.4.9. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 138)	64
Şekil.4.10. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 159)	64
Şekil.4.11. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 158)	65
Şekil.4.12. 25 elemanlı uzay kafes sistem (Dede vd 2009)	66
Şekil.4.13. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 400)	71
Şekil.4.14. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 400)	71
Şekil.4.15. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 400)	72
Şekil.4.16. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 400)	72
Şekil.4.17. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 400)	73
Şekil.4.18. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 400)	73

Şekil.4.19. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon- optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 400)	74
Şekil.4.20. Sekiz elemanlı üç boyutlu çerçeve (Değertekin vd 2006)	74
Şekil.4.21. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 800)	77
Şekil.4.22. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 1471)	77
Şekil.4.23. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 1376)	78
Şekil.4.24. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 1221)	78
Şekil.4.25. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: (1417)	79
Şekil.4.26. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 1083)	79
Şekil.4.27. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 339).....	80
Şekil.4.28. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 241)	82
Şekil.4.29. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 258)	82
Şekil.4.30. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 294)	83
Şekil.4.31. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 240)	83
Şekil.4.32. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 90)	84
Şekil.4.33. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 108)	84
Şekil.4.34. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 81)	85
Şekil 4.35. Yirmidört elemanlı çerçeve (Değertekin et al. 2008)	86
Şekil.4.36. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 192)	89
Şekil.4.37. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 144)	89
Şekil.4.38. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 470)	90
Şekil.4.39. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:150)	90
Şekil.4.40. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:216)	91
Şekil.4.41. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:144)	91
Şekil.4.42. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 150)	92
Şekil 4.43. Yirmialtı elemanlı çerçeve (Değertekin et al. 2008)	93

Şekil.4.44. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:441)	97
Şekil.4.45. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:418)	97
Şekil.4.46. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:355)	98
Şekil.4.47. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:371)	98
Şekil.4.48. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:344)	99
Şekil.4.49. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:232)	99
Şekil.4.50. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:217)	100
Şekil.4.51. Seksen dört elemanlı çerçeve (Değertekin et al. 2008)	101
Şekil.4.52. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:1630)	105
Şekil.4.53. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:1790)	105
Şekil.4.54. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 1664)	106
Şekil.4.55. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:1619)	106
Şekil.4.56. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:1378)	107
Şekil.4.57. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:1325)	107
Şekil.4.58. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:1331)	108
Şekil 4.59. Altmış üç elemanlı çerçeve.....	108
Şekil.4.60. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:111)	111
Şekil.4.61. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:138).....	111
Şekil.4.62. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:32).....	112
Şekil.4.63. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:12).....	112
Şekil.4.64. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:23).....	113
Şekil.4.65 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:16).....	113
Şekil.4.66. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:17).....	114
Şekil 4.67. Yirmi beş elemanlı uzay kafes sistem... ..	115
Şekil.4.68. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)	118

Şekil.4.69. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:600)	118
Şekil.4.70. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)	119
Şekil.4.71. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)	119
Şekil.4.72. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)	120
Şekil.4.73. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)	120
Şekil.4.74. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)	121
Şekil.4.75. Elli iki elemanlı kubbe (Dede et al. 2009)	122
Şekil.4.76. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 771)	124
Şekil.4.77. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 779)	125
Şekil.4.78. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:380)	125
Şekil.4.79. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:393)	126
Şekil.4.80. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:378)	126
Şekil.4.81. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı:394)	127
Şekil.4.82. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 390)	127
Şekil.4.83. Yüzeli dört elemanlı uzay kafes sistem (Toğan ve Daloğlu 2006)	128
Şekil.4.84. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 132)	131
Şekil.4.85. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 123)	132
Şekil.4.86. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 144)	132
Şekil.4.87. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 244)	133
Şekil.4.88. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 171)	133
Şekil.4.89. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 279)	134
Şekil.4.90. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon- optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 171)	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Papadrakakis Zaman Tanım Alanı Analiz Sonuçları.....	58
Çizelge 4.2. Papadrakakis spektrum davranış analizi sonuçları.....	59
Çizelge 4.3. Altmış üç elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler (Ağırlık optimizasyonu)	60
Çizelge 4.4. Altmış üç elemanlı çerçeve için başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra elde edilen değerler (Ağırlık optimizasyonu).....	66
Çizelge.4.5. 25 elemanlı uzay kafes sistemin gruplandırması (Dede <i>et al.</i> 2009).....	66
Çizelge.4.6. 25 elemanlı uzay kafes sistemin yükleme durumu.....	67
Çizelge.4.7. Dede <i>et al.</i> 2009 dan alınan literatür sonuçları.....	68
Çizelge 4.8. 25 elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre optimum ağırlık tasarımı (Dede <i>et al.</i> 2009 daki şartlara göre)	69
Çizelge 4.9. Değertekin <i>et al.</i> (2006) tasarım sonuçları.....	74
Çizelge 4.10. Sekiz elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler (sınır gerilme $248211,28 \text{ kN/m}^2$ olan sonuçlar).....	76
Çizelge 4.11. Sekiz elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler (sınır gerilme eksenel 150000 kN//m^2 , bileşik gerilmeler 165000 kN//m^2)	81
Çizelge 4.12. Yirmi dört elemanlı çerçeve için literatür sonuçları.....	87
Çizelge 4.13. Yirmi dört elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler	88
Çizelge 4.14. Yirmi altı elemanlı çerçeve için literatür sonuçları (Değertekin <i>et al.</i> 2008).....	93
Çizelge 4.15. Yirmi altı elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler	94
Çizelge 4.16. Yirmi altı elemanlı çerçeve için tasarım sonuçları	95
Çizelge 4.17. Seksendört elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler	101
Çizelge 4.18. Seksen dört elemanlı çerçeve için hesaplanan enkesitler	103
Çizelge 4.19. Seksen dört elemanlı çerçeve için tasarım sonuçları	104
Çizelge 4.20. Altmış üç elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler (taban kesme kuvveti optimizasyonu)	110
Çizelge 4.21. Yirmibeş elemanlı uzay kafes sistemin gruplandırması.....	115
Çizelge 4.22. 25 elemanlı uzay kafes sistemin taban kesme kuvvetine göre tasarımı (Dede <i>et al.</i> (2009) şartlarına göre).....	116
Çizelge 4.23. Yirmibeş elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre tasarımı (Dede <i>et al.</i> 2009 daki şartlara göre)	117
Çizelge 4.24. Elli iki elemanlı uzay kafes sistemin taban kesme kuvvetine göre tasarımı (Dede <i>et al.</i> 2009 şartlarına göre)	123
Çizelge 4.25. 52 elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre tasarımı (Dede <i>et al.</i> 2009 daki sınır şartlarına göre)	123
Çizelge 4.26. Yüzeli dört elemanlı uzay kafes sistem için yükleme durumu (Toğan ve Daloğlu 2006)	128
Çizelge 4.27. Yüzeli dört elemanlı uzay kafes sistem için Toğan ve Daloğlu (2006) dan alınan enkesit sonuçları.....	129
Çizelge 4.28. Yüzelli dört elemanlı uzay kafes sistemin taban kesme kuvvetine göre tasarımı (Dede <i>et al.</i> 2009 şartlarına göre)	130
Çizelge 4.29. Yüzelli dört elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre tasarımı (Dede <i>et al.</i> 2009 daki şartlara göre)	131

1.GİRİŞ

Optimizasyon veya diğer bir deyişle "beklentileri karşılayabilen en iyi" nin bulunması hayatımızın her alanında olduğu gibi yapı biliminde de oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Yapının oluşturulmasında güvenlik, işlevsellik, estetik ve ekonominin birbirini zıt yönde etkileyen özellikler olarak bir arada bulunması ve bu şekilde optimum sonuçlara ulaşılması isteği, yapı tasarımcılarının en önemli problemleri arasında yer almaktadır.

Bilim ve teknolojinin sürekli olarak ilerleyeceği, her geçen gün daha iyinin ve daha doğrunun farklı anlamlar kazanacağı gerçeği göz önüne alındığında optimizasyon problemlerinin herhangi bir dönemin değil bütün zamanların problemi olacağı bir gerçektir. Yapı optimizasyonunda yapılacak tasarımın, üzerine gelen yükler karşısında güvenli, uygulanabilirlik açısından işlevsel ve aynı zamanda dünyamızı her geçen gün saran ekonomik sıkıntılar açısından bakıldığında son derece uygun maliyetli olmasına çalışılmaktadır.

Yapısal optimizasyon çalışmalarının ilk dönemlerinde, uygulanabilirlik kolaylığından dolayı statik yükleme biçimleri yaygın olarak kullanılmıştır. Günümüzde, bilimin gelişimi ve yönetmeliklerle belirlenen kurallar sayesinde deprem yüklerinin göz önüne alındığı tasarımlar oluşturulmaktadır. Özellikle depremin sık görüldüğü bölgelerde, deprem yüklemelerinin optimizasyon problemlerine dahil edilmesi gerekmektedir. Başta ülkemiz olmak üzere yeryüzündeki pek çok yer deprem bölgesi olarak değerlendirilmekte ve geçmişte sıklıkla yaşanan can ve mal kayıpları bunu daha da önemli kılmaktadır.

Bu çalışmada çoğunlukla literatürde rastlanılan boyut optimizasyonu problemlerine farklı bir bakış açısı ile yaklaşarak, yapı ağırlığı sınırlayıcı unsur olarak kullanılmış ve bu yolla deprem sonucunda yapıda oluşan deprem yüklerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için literatürden alınan örnek sistemlerin optimum taban

kesme kuvveti hesaplanmıştır. Taban kesme kuvveti, yapıda oluşan yatay deprem kuvvetlerinin toplamı olup yapıdaki deprem etkisini tek başına temsil edebilen bir değer olarak ifade edilebilir. Optimizasyon için evrimsel araştırma yöntemlerinden çok yaygın olarak kullanılan ve geçerliliği birçok çalışma ile ispatlanmış genetik algoritma (GA) yöntemi uygulanmıştır. Genetik algoritmada tasarım değişkeni olarak yapının eleman kesitleri kullanılmıştır. Program üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemler için uygulanmıştır. MATLAB ortamında yazılmış olan programda sınırlayıcılar yapı ağırlığı, deplasman ve gerilme değerleridir. Deprem hesaplaması için spektrum davranış analizi yöntemi kullanılmış, literatürden alınan sistemler, literatürde sıklıkla kullanılmış olan El Centro depremi kuzey-güney bileşeni deprem kaydına ait veriler ile hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra program, istenilen deprem kaydının kullanılmasına da imkân tanımaktadır. Hesaplamalarda çekme gerilmesi, eğilmeli burkulma bileşik gerilmesi ve eğilmeli burulma bileşik gerilme durumları; gerilme sınırlayıcıları olarak amaç fonksiyonuna katılmıştır. Deplasman sınırlayıcıları ise katlar arası rölatif yer değiştirmeler ve yapı tepe noktası yer değiştirmesi göz önüne alınarak amaç fonksiyonuna dâhil edilmiştir. Bu şekilde optimum taban kesme kuvveti hesaplanarak yapıya gelen deprem etkisini göz önüne alan, aynı zamanda maliyette önemli etkisi olan yapı ağırlığını sınırlayan, tüm bunların yanı sıra optimizasyon problemlerinde en çok önem verilen güvenlik faktörünü de sağlayan sistemler tasarlanmıştır. Program, her türlü üç boyutlu çerçeve ve kafes yapı olarak modellenmiş sistemlere uygulanabilmektedir. Böylece literatürde rastlanmayan farklı bir optimizasyon problemi oluşturularak, bugüne kadar yapılmış çalışmalara yeni bir bakış açısı kazandırılmak istenmiştir.

Çalışmanın araştırma ve bulgular bölümünde, farklı uzay çerçeve ve kafes sistemlerin her seferinde yedi farklı çözümü gerçekleştirilmiştir. Yapılan ilk iki çözümlemede üç boyutlu biri çerçeve diğeri kafes olan iki sistem için literatürdeki birebir aynı koşullar göz önüne alınarak çözümleme yapılmıştır. Ağırlık optimizasyonu yapılan bu iki örnekte literatüre göre daha hafif sistemler elde edilmiştir.

Herhangi bir sisteme ait aynı ağırlığa sahip fakat taban kesme kuvveti farklı

hesaplanmış tasarımlar karşılaştırıldığında üst kat kolon enkesitleri alt kattakine göre büyük olan sistemlerde, taban kesme kuvveti daha büyük çıkmaktadır. Bu, kesitlerin sisteme, genetik algoritma tarafından rastgele atanmasından kaynaklanmaktadır. Köşe kolonları ve iç kirişleri daha büyük kesitlerden oluşan sistemler daha küçük taban kesme kuvvetine maruz kalmaktadırlar. Kirişleri uzun olan sistemlerde eğilmeli burkulma durumu, sınırlayıcıları zorlamaktadır. Bu yüzden ele alınan sistemlerden kirişleri oldukça uzun olan (7-7,5m civarı) bir sistem için, taban kesme kuvvetine göre optimizasyon sonuçlarına bakıldığında sistem ağırlıklarının, literatürdeki örneklerde hesaplanan ağırlıklara göre daha büyük çıktığı görülmüştür. Sistemlerin eğilmeli burulma sınırlayıcısından da oldukça fazla etkilendiği, bu yüzden literatürde pek sık rastlanılmayan bu sınırlayıcıyı kullanmanın gerekliliği ortaya çıkmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapısal sistemlerin optimizasyonu için yapılan çalışmalar, son yirmi yılda çok yoğun olarak sürdürülmektedir. Bu konuda gösterilebilecek çok sayıda kaynak mevcuttur.

Genetik Algoritmalar, ayrık değişkenli tasarım problemlerinin optimizasyonu için son derece uygundur. Goldberg (1989)'in geliştirdiği GA, bu alanda birçok araştırmacıya ilham kaynağı olmuştur. Çalışmaların başladığı ilk yıllarda tasarım değişkenlerinin ayrık ve sürekli oluşuna göre optimizasyon yöntemleri sınıflandırılmaktadır. Bu bakımdan genetik algoritmalar ayrık değişkenleri kullanmaları açısından kullanışlı bulunmuşlardır. Rajaev and Krishnamoorthy (1992), GA'yı ayrık değişkenli optimizasyon için kullanmışlardır. Çalışmalarında popülasyon genişliğinin artırılması ile elde edilen optimum çözümün daha iyi sonuçlar verdiğini ispatlamışlardır. Lin and Hajela (1994), ileri genetik araştırma stratejileri ile tasarım optimizasyonunda GA'yı modern optimizasyon yöntemlerinden biri olarak tanımlamış ve bu stokastik araştırma yönteminin, global optimumu bulmada oldukça büyük bir şansa sahip olduğunu savunmuşlardır.

Genetik algoritma ile yapılan çalışmalarda araştırmacılar, tasarım değişkenlerinin durumuna göre optimizasyon problemini, bazen tek başına boyut optimizasyonu, bazen de bir arada boyut, şekil ve topoloji optimizasyonu olarak ele almışlardır. Rajan (1995), kafes sistemlerin boyut, şekil ve topoloji tasarım optimizasyonunda GA'yı kullanmıştır. Rajan (1995), daha önce Rajaev and Krishnamoorthy (1992)'in çözmüş olduğu 10 çubuklu 6 düğüm noktalı kafes sistem için önce boyut ve topoloji optimizasyonu daha sonra da boyut, şekil ve topoloji optimizasyonu yapmıştır. Geliştirdiği algoritmayı düğüm noktaları artırılmış birçok kafes sistem üzerinde de çözmüştür. Wu and Chow (1995), tasarım değişkenlerini ayrık en kesit alanı ve sürekli düğüm noktaları kabul ederek, GA ile optimizasyon yapmıştır. Geliştirdiği algoritma ile 15 çubuklu düzlem ve 25 çubuklu kafes sistemlerin öncelikle yalnız boyut, daha sonra şekil ve boyut optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Sınırlayıcı olarak düğüm noktası deplasmanları, eleman gerilmeleri ve Euler burkulma gerilmesi alınan sistemlerin çözümleri arasında

yapılan karşılaştırma sonucu, şekil optimizasyonunun probleme katılmasının yararlı olduğu görülmüştür. Çalışmalarda yükler düşey statik yük olarak seçilmiş, amaç fonksiyonu olarak yapı ağırlığı kullanılmıştır. Ohsaki (1995), kafes sistemlerin topolojik tasarımında GA'yı kullanmış, optimum maliyet tasarımı yaptığı sistemlerde amaç fonksiyonuna hem çubuk elemanların ve hem de birleşim noktalarının maliyetini katmıştır.

Genetik algoritma rastgele araştırmasını yaparken çok sayıda işlem yapmayı gerektiren özellikle ikili sistem ile kodlama yapıldığında hesap süresinin oldukça arttığı bir yöntemdir. Bunun için literatürde başlangıçta çok fazla karmaşık olmayan genellikle iki boyutlu kafes sistemler çözümlenmiştir. Buna karşın daha büyük sistemlerinde çözümlendiğine de rastlanmaktadır. Adeli and Kumar (1995), yüksek yapıların optimum boyut tasarımında GA'yı kullanmışlar bu amaçla yazdıkları programda statik düşey yüklere maruz, son derece büyük sistemlerin çözümlerini yapmışlardır. Optimizasyonu yapılan sistemlerden biri, 35 katlı, 1262 elemanlı ve 324 düğüm noktalı, diğeri ise 147 katlı, 4016 elemanlı ve 817 düğüm noktalıdır. Sistemlerin yazılan programla analizi dönemin bilgisayarları ile birkaç haftayı almakta olup programda sistem ağırlığının minimizasyonu yapılmıştır.

90'lı yıllarda genetik algoritma ile yapılan çalışmalar çok yoğun olarak sürdürülmüştür. Genellikle farklı optimizasyon yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalar yapılmıştır ya da genetik algoritma kullanılan programlardan elde edilen tasarım sonuçları popüler programlar ile kıyaslanmıştır. Ramasamy and Rajesakaran (1996), çalışmalarında beş farklı kafes sistemin tasarımını yapay sinir ağlarını kullanan Expert sistem ile yapmış ardından, aynı sistemlerin genetik algoritma ile optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Cao (1996), çalışmasında statik düşey yükleri kullanarak sonlu elemanlar yöntemi ile bir analiz programı geliştirmiş (FEAP) ardından, bu program ile bağlantılı bir GA programı oluşturmuştur. Elde ettiği FEAPGEN isimli programını literatürde yer alan birçok örnek için çözmüş ve %23 daha hafif sistemler tasarlamayı başarmıştır. Amaç fonksiyonunun optimizasyona uydurulmasında uygunluk ve ceza parametreleri kullanılmış, ağırlık optimizasyonu yapılmıştır. Ayrıca programın geçerliliğini

kanıtlamak üzere 3 boyutlu bir sistem için de çözüm yapmıştır. Böylece GA'nın yapı tasarımında son derece yararlı ve pratik bir araç olduğu sonucuna varmıştır. Chen (1997), GA'nın etkinliğini ve güvenilirliğini arttırmak amacıyla ceza parametreleri ve çaprazlama operatörleri üzerinde çeşitli değişiklikler yaparak kullanıcının GA üzerindeki tasarrufunu azaltmaya çalışmıştır. Çalışmasında yapı analizi için sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Ele aldığı plak ve üç boyutlu kiriş elemanlara statik ve dinamik yükler altında şekil, boyut ve topoloji optimizasyonu uygulamıştır. Geliştirdiği programdan elde ettiği deplasman ve gerilme sonuçlarını ABAQUS ve SAP2000 gibi programlarla karşılaştırmış, statik yüke maruz iki boyutlu kafes sistemler için ise fiyat analizi yapmıştır.

Armutçu (1997)'da, GA'yı kullanarak çeşitli çelik düzlem çerçeveler için optimizasyon yapmıştır. Deplasman ve bileşik gerilme sınırlayıcılarını TS648'e göre işleme koymuştur. QBASIC dilinde yazdığı programın etkinliğini göstermek amacıyla literatürdeki sayısal örnekleri çözmüş yine GA'nın çelik yapıların optimizasyonunda kullanışlı olduğuna dikkat çekmiştir. 1998'de Hajela *et al.* çalışmalarında statik düşey yüke maruz iki ve üç boyutlu ızgara sistemlerin GA kullanarak optimum topoloji tasarımını yapmışlardır. Öncelikle iki seviyeli GA araştırması yapılmış, birinci seviyede kinematik stabilite, ikinci seviyede ise gerilme ve deplasman sınırlayıcıları göz önüne alınmıştır. Annicchiarico and Cerrolaza (1998) de genetik algoritma yöntemini iki ve üç boyutlu kafes sistemlere uygulamışlar ve yüklerini diğer çalışmalarda olduğu gibi statik yük olarak almışlardır. Camp *et al.* (1998) ise iki boyutlu sistemlerin optimizasyonunu GA ve optimumluk kriteri yöntemlerini kullanarak yapmışlar ve her iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Yapı analizi için düşey statik yük kabulü yapan Camp *et al.* (1998) AISC yönetmeliğinden faydalanmıştır. Erbatur *et al.* (1999), tek eksenli elemanlardan oluştuğu kabul edilen statik düşey yüklere maruz düzlem kafes sistemlerin optimum tasarımını GA'yı kullanarak yapmışlardır. Sınırlayıcıların katılımında ceza fonksiyonları kullanılmıştır. Yapı analizinde kullanılan değerler hem AISC ve hem de Türk yönetmeliklerine göre yapılmıştır. Yaptıkları programa GAOS ismini vermişlerdir. 5 farklı çelik profil listesi kullanabilen GAOS, kullanıcıya kendi sınırlayıcılarını ve profil listelerini oluşturma imkanı tanımaktadır. Daha önce

literatürde çözülen örnekler GAOS ile de çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Başlangıçta konu ile ilgili çalışmalar çoğunlukla statik yüke maruz, elastik davranışa sahip, iki boyutlu kafes ve çerçeve sistemler üzerinde yürütülmüştür. Yukarıda adı geçen çalışmaların büyük çoğunluğunda da, yapıya statik yükler altında optimizasyon uygulanmıştır. Yapının deprem yüküne maruz optimizasyonu için ise çoğunlukla yine bir statik yöntem olan eşdeğer statik deprem analizi yöntemi tercih edilmiştir. Yapının dinamik yükler altındaki optimizasyonun da gösterilebilecek ilk çalışmalardan biri Kocer and Arora'nın (1999) yapmış oldukları çalışmadır. Çalışmada H biçimli kafes iletim kulelerinin deprem yükleri altında analizi yapılarak, optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Dinamik analiz için zaman tanım alanı yöntemi kullanılmış, optimizasyon için ise GA ve Simulating Annealing (SA)'yı uygulayarak iki yöntem karşılaştırılmıştır. Amaç fonksiyonu için minimum malzeme maliyeti ve minimum toplam başlangıç maliyeti, sınırlayıcıların amaç fonksiyonuna katılımında basit ceza parametreleri kullanılmıştır. Yapılan çözümler sonucu GA'nın SA'ya üstünlüğü gösterilmiş ve bilgisayar çözüm süresinin oldukça fazla olduğuna dikkat çekilmiştir.

Bu dönemde doğrusal yaklaşımlar yerine doğrusal olmayan yaklaşımlar daha popülerlik kazanmıştır. Yokota *et al.* (1999), statik düşey yük ile yüklenmiş, kaynaklı birleşimle ankastre mesnetlenmiş bir çelik kirişin, doğrusal olmayan programlama (Nonlinear Programming-NP) ile normal gerilme, kesme gerilmesi ve deformasyon analizlerini yapmış, ardından GA ve BIAS (genişletilmiş Lagrange çarpanlarını kullanan bir yöntem) kullanarak maliyet optimizasyonu yapmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında GA'nın sonuçlarının diğer yöntemlere göre %23 daha uygun olduğu görülmüştür. Hayalioğlu (1999), statik yüke maruz geometrik bakımdan doğrusal olmayan elasto-plastik çelik çerçevelerin GA ile optimum ağırlık tasarımını gerçekleştirmiştir. Çalışmasında tasarım değişkenlerini mevcut standart çelik profillerinden seçmiştir. Kullandığı düzlem çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan analizini yapmak için Newton-Raphson iterasyon yöntemini, optimizasyon için ise GA'yı kullanmıştır. Ayrıca doğrusal olmayan elasto-plastik davranışlı sistemleri karşılaştırmış bunun yanı sıra popülasyon genişliklerinin optimum sonuç üzerindeki

etkileri ile ilgili olarak, geniş popülasyondan elde edilen değerlerin daha uygun, bilgisayar süresi olarak da daha zaman alıcı olduğunu göstermiştir. Doğrusal elastik tasarım ile doğrusal olmayan elasto-plastik (DOEP) davranışlar karşılaştırıldığında DOEP yaklaşımıyla elde edilen tasarımların diğerlerinden daha hafif oldukları görülmüştür. Yine Ohsaki (2000), çeşitli kafes sistemlerin topoloji optimizasyonunu GA kullanarak yapmıştır. Amaç fonksiyonunda düğüm noktaları ve eleman özellikleri mevcuttur. Çalışmasında iki boyutlu kafes sistemleri kullanmıştır.

Yapıların farklı stabilite durumları literatürdeki çalışmalarda dikkate alınmıştır. Kameshki and Saka (2001), özellikle yüksek çelik yapılarda kat ötelenmesinin ortaya çıkaracağı sakıncaları göz önünde bulundurarak, ötelenmenin engellendiği sistemler için GA'yı kullanmışlardır. P- Δ etkisinin hesaba katıldığı sistemlerde ötelenmenin engellenmesinde X, V, Z çapraz elemanlarından faydalanılmıştır. BS5950 standardına göre servis yükleri ve dayanım sınırlayıcıları belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda X çapraz elemanlı sistemlerin, uygun şartları sağlayan en hafif sistemler oldukları görülmüştür. Bunun yanı sıra V çapraz elemanlı sistemlerin, kapı, pencere eleman açıklıklarına engel olmamalarından dolayı uygulamada daha çok tercih edildiklerine dikkat çekilmiştir. Sistemlerde bulonlu birleşim kullanılmıştır. Kameshki and Saka (2001), yine başka bir çalışmada doğrusal olmayan çok katlı çelik çerçevelerin yarı rijit bağlantılı optimum tasarımını GA kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları çelik profil kesit değerlerini AISC ve BS (İngiliz Standartları)'den almışlar, statik yüklemeye maruz bıraktıkları sistemlerin servis ve dayanım sınırlayıcılarını ise BS5950'den elde etmişlerdir.

Deb and Gulati (2001), iki ve üç boyutlu kafes sistemlerin boyut, topoloji ve minimum ağırlık optimizasyonunu genetik algoritma kullanarak yapmışlardır. Kocer and Arora (2002), önceki çalışmalarına benzer olarak bu sefer kafes iletim kulelerinin deprem yükleri etkisinde optimum tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Sınırlayıcılar Amerikan yönetmeliklerinden elde edilmiş ve zaman tanım alanlı analiz yapılmıştır. Optimizasyon için sürekli ve ayrık değişkenli kombinasyonu kullanan iki fazlı yöntem, ADAM (Adaptive Discrete Assignment Method) ve GA kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, GA bilgisayar süresi olarak çok zaman almakla birlikte diğer iki yöntemden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun yanı sıra iki fazlı ve ADAM yöntemlerinin bilgisayar süresi olarak az fakat daha fazla işlem gerektiren pahalı yöntemler olduğuna kanaat getirilmiştir. Dinamik analiz için ANSR programı kullanılmıştır.

Genetik algoritmada tasarım değişkenleri ikili veya değer kodlaması yöntemlerine göre kodlanabilmektedir. Dede vd (2003), değer kodlaması kullanarak uzay kafes sistemlerin GA ile optimum tasarımını yapmıştır. Amaç fonksiyonu olarak minimum ağırlık seçilen program FORTRAN dilinde yazılmıştır. Program literatürdeki örnekler üzerinde denenmiş ve Değer Kodlaması yönteminin uzay kafes sistemlerin optimizasyonunda etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür. Sistemler statik düşey yüke maruz olup ağırlık optimizasyonu yapılmıştır.

Optimizasyon problemlerinde özellikle yapı optimizasyonunda stabilite ve emniyet büyük önem taşımaktadır. Bunun için çeşitli gerilme durumları yapının güvenliğini sağlamak amacıyla dikkate alınmaktadır. Toğan ve Daloğlu (2003), öncelikle paralel başlıklı düzlem kafes sistemlerin TS 648'e uygun olarak normal gerilme, burkulma ve deplasman sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı boyut optimizasyonunu GA kullanarak gerçekleştirmiştir. Daha sonra sistemlerden biri için kafes sistem yüksekliği değiştirilerek optimizasyon yinelenmiş, yükseklik ve dolayısıyla düğüm noktalarının değişiminin sistem toplam hacmine olan etkisi araştırılmıştır. Son olarak da aynı sistemlerin optimum kafes yüksekliklerini elde etmek üzere boyut ve şekil optimizasyonları yapılmıştır. Programlama dili olarak MATLAB kullanılmıştır. Yine statik yükleme ve ağırlık optimizasyonu göz önüne alınmıştır.

Yukarıdaki konu gruplarında bahsedilen çoğunlukla statik yüklere maruz benzer çalışmalar günümüze kadar bazı farklılıklar ile yürütüle gelmiştir. Lee *et al.* (2003) ayırık tasarım değişkenli olan kafes sistemlerin optimizasyonunda ortogonal dizi yönteminin genetik algoritma ile karşılaştırmasını yapmıştır. Bütün bunlara ek olarak Bureerat and Limtragool (2006) yapıların topolojik optimizasyonun da içlerinde genetik

algoritmanın da bulunduğu çeşitli evrim yöntemlerini kullanarak karşılaştırmalar yapmıştır. Verdiği sayısal örneklerle evrim algoritmalarının etkinliğini ve güvenilirliğini ispatlamaya çalışmıştır. Liu *et al.* (2006) momente dayanıklı çerçevelere eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem analizi yapmış optimizasyon için yine GA'yı kullanmıştır. Amaç fonksiyonu olarak minimum yapı ağırlığı, minimum yapı hasarı, zayıf birleşimler gibi tasarım değişkenlerini göz önüne almıştır.

Lagaros *et al.* 2006'da yaptıkları çalışmada, üç boyutlu çerçeve sistemlere evrimsel optimizasyon yöntemi kullanarak, doğal ve yapay deprem etkilerine maruz sistemlerin doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanlı hesap yöntemleri ile optimizasyonunu gerçekleştirmiş ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Toğan ve Daloğlu (2006) statik düşey yükler altında, üç boyutlu uzay kafes sistemlerin genetik algoritma kullanarak şekil ve boyut optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Amaç fonksiyonu minimum yapı ağırlığıdır. Lagaros *et al.* (2007) bir başka çalışmalarında başlangıç maliyeti ve son on yıl içinde gerçekleşme olasılığı %10 olan depreme karşı maksimum kat ötelemesini minimize eden evrimsel optimizasyon yöntemini uygulamıştır. Optimizasyonda FEMA-350 yönetmeliği ve Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır.

Değertekin *et al.* (2008) geometrik olarak doğrusal olmayan üç boyutlu çerçeve sistemlerin genetik algoritma ve tabu araştırma yöntemi ile optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. AISC ile yük dayanım faktörü tasarımı (LRFD) özelliklerinin göz önüne alındığı programda statik yüke maruz sistemler, maksimum kat yer değiştirmesi, katlar arası yer değiştirme ve kolonlar için boyut sınırlayıcıları göz önüne alınarak optimize edilmiştir. Optimizasyonda minimum ağırlıklı yapı elde edilmeye çalışılmıştır. Dede *et al.* (2009) değer kodlaması kullanarak statik düşey yüke maruz uzay kafes sistemlerin genetik algoritma ile minimum ağırlık optimizasyonunu çalışmışlardır. Yine Lagaros *et al.*'un 2009'daki çalışmalarında üç farklı deprem şiddetine maruz betonarme yapının üç farklı şekilde optimizasyonları yapılmıştır. İlkinde başlangıç maliyeti, ikincisinde burulma davranışı, üçüncüsünde ise yapının kütle ve rijitlik merkezinde eksantrisitenin minimizasyonu konu edilmiştir Cheng (2010) kemer yapılı çelik köprülerin optimum tasarımını genetik algoritma ile gerçekleştirmiş ve hibrit

yaklaşımını kullanmıştır. Optimizasyon probleminde minimum ağırlık, minimum deplasman ve minimum gerilme durumunu amaç fonksiyonu olarak kullanmıştır. Herencia and Haftka (2010)'da yayınladıkları çalışmalarında yapısal analizini elastik yöntem ile gerçekleştirdikleri on elemanlı iki boyutlu kafes sistemin, gradient ve genetik algoritma yöntemlerini hibritlemek yoluyla optimizasyonunu yapmışlardır. Çalışma sonucu %53 daha düşük ağırlıkta sistemler tasarlamayı başarmışlardır. Kaya (2011) literatürde bulunan betonarme kiriş ve 25 çubuklu kafes sistem örnekleri üzerinde iki farklı çaprazlama operatörü geliştirerek bunların etkinliğini savunmuştur. Statik yüke maruz sistemler için ağırlık optimizasyonu yapılan çalışmada eğilmeli burkulma bileşik gerilmesi sınırlayıcı olarak kullanılmıştır.

Görüldüğü gibi son yirmi yıl içinde birçok bilim adamı yapı optimizasyonunda genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmaların bir kısmında, genetik algoritmayı daha etkin kılmak adına tasarım değişkenleri, sınırlayıcılar, amaç fonksiyonları üzerinde yapılan değişikliklerin sonuçlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bir kısmında ise genetik algoritmanın diğer optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırılmaları yapılmıştır. Çalışmalarda farklı yönetmelikler ve farklı yapı sistemleri kullanılmıştır. Genellikle bu yönetmelikler AISC-LRFD, BS, Türk yönetmelikleridir. Sistem olarak daha çok kafes sistemler tercih edilmiştir. Sistemler genellikle doğrusal kabul edilmiş, bazı çalışmalarda ise doğrusal olmayan veya plastik davranış gösteren sistemler ele alınmıştır. Boyut optimizasyonun da sistemi oluşturan elemanların en kesit alanları, şekil optimizasyonunda ise koordinat noktaları tasarım değişkeni olarak kabul edilmiştir. Yukarıda sunulan çalışmaların büyük çoğunluğunda statik düşey yüke maruz sistemler ele alınmıştır. Deprem yüklerinin ele alındığı çalışmalar, önceki dönemlerde genetik algoritma ve dinamik analiz yöntemlerinin karmaşıklığından kaynaklanan işlem yoğunluğu sebebiyle oldukça az sayıda iken, son yıllarda bilgisayar teknolojisinin ilerlemesinden ve ihtiyaçtan dolayı kısmen artmıştır.

Yapılan tüm bu literatür çalışması doğrultusunda, yapıya gelen taban kesme kuvvetini amaç fonksiyonu olarak kullanan, aynı zamanda yapı ağırlığını sınırlayıcı olarak gerilme ve deplasman sınırlayıcıları içine dahil eden, bunun yanı sıra eğilmeli burulma

bileşik gerilmesini sınırlayıcı olarak kullanan konu ile ilgili başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmaların azlığı göz önünde bulundurularak, bu çalışmada deprem yüklerinin hesabında, dinamik analiz yöntemlerinden biri olan spektrum davranış analizi yöntemi, analiz yöntemi olarak seçilmiştir. Yapı sistemleri, doğrusal davranışa sahip üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemler olarak alınmıştır. Optimizasyon için genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Amaç fonksiyonunda literatürde yer alan ağırlık veya yapı hacmi optimizasyonu yerine, yapıya gelen taban kesme kuvvetinin minimizasyonu hedeflenmiştir. Sınırlayıcılar yapı ağırlığı, spektrum davranış analizinden elde edilen katlararası ve yapı tepe noktası ötelemeleri, çekme gerilmesi, eğilmeli burkulma ve eğilmeli burulma bileşik gerilmeleridir. Deprem kaydı olarak El Centro depreminin kuzey güney bileşeni dikkate alınmıştır. Sistemler daha önceden literatürde çözümlenmeleri yapılmış üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemlerden seçilmiştir.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1.Genetik Algoritma

Daha öncede söylenildiği gibi bu çalışmada optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritmalar Darwin'in en "iyi olanın hayatta kalması" ilkesine dayanan bir tekniği kullanırlar. Bu tekniğin ana temasında, başlangıçta oluşturulan bir popülasyon ve bu popülasyondan belli kurallara göre üretilen yeni popülasyonlar vardır. Eski popülasyondan yeni olana, birey iyi olduğunu kanıtlayarak geçer ve en kötü olanlar popülasyondan elenir, yani çıkarılır. Bu çıkarma sonucu popülasyon sayısının aynı kalması için yeni bir elemanın alınması veya eski elemanın değiştirilerek yeniden kullanılması gerekmektedir. Bireylerin ebeveyn olarak eşleştirilmesi, yeni bireylerin oluşturulması veya değişikliğe uğratılması belirli operatörler ile gerçekleştirilir. Üreme, çaprazlama, mutasyon, elitizm, ters çevirme ve hatta veba gibi çeşitleri olan bu operatörler, bireylere ait kromozomlarda belli bir ihtimal yüzdesi ile değişikliklerini yaparlar. Hangi bireyin yeniden üretileceği veya hangi bireyle çaprazlanacağı ise belirli kurallar dâhilinde belirlenir. Bu operatörler oldukça basit ve programlama için kullanışlıdır. En çok kullanılan operatörler üreme, çaprazlama ve mutasyondur.

Genetik algoritmalarla ilgili ilk çalışmalar Holland (1975) ve Koza (1992) tarafından yapılmıştır. Goldberg (1989) ise genetik algoritmaların kuramsal özellikleri ile ilgili kapsamlı bir çalışma yapmış ve bu çalışmalarını uygulamada yaptığı bir programla desteklemiştir. Bu, aynı zamanda, GA'nın kullanımının yaygınlaşmasında önemli bir adım olmuştur.

GA, optimum tasarım yapabilen, kolay olduğu kadar etkili bir yöntemdir. Optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırılmaları içinde ele alındığında, probabilistik veya stokastik yöntem olarak ifade edilir. Diğer taraftan Goldberg (1989) GA'yı rastgele araştırma yöntemleri içinde sınıflandırmıştır. Çünkü, genetik algoritma optimum değeri

araştırırken verilerini, tasarım değişkenleri arasından rastgele seçer. Tasarım değişkenleri açısından sınıflandırma yapılacak olursa, GA'lar ayırık değişkenler ile çalıştıklarından ayırık değişken optimizasyonun da özel bir yere sahiptirler. Bu da pek çok alanda olduğu gibi yapıların boyut optimizasyonun da son derece faydalı oldukları anlamına gelir.

GA'lar matematiksel programlama yöntemleri ile karşılaştırıldıklarında aşağıdaki farklılıklara sahiptirler.

- * GA'lar türev bilgisine ihtiyaç duymadıklarından matematiksel programla yöntemine göre daha avantajlıdır.
- * GA'lar tasarım değişkenlerinin kendileri ile değil bu değişkenlerin kodları ile çalışırlar.
- * GA'lar tasarım değişkenlerini teker teker araştırmak yerine, dizi halinde bulunan tasarım değişkeni topluluğu ile çalışırlar. Böylece kısmi yakınsamanın önüne geçerler.
- * GA'lar yalnız sürekli değil, aynı zamanda ayırık değişkenler ile de çalışabilirler. Bu, uygulamada, tasarım değişkenlerinin çoğunlukla ayırık olduğu problemlerde büyük kolaylık sağlar.
- * GA'da sınırlayıcıların amaç fonksiyonuna katılımı mümkündür.

Genetik algoritmalarda ilk adım, tasarım değişkenlerinden oluşan popülasyonu oluşturmaktır. Bu popülasyon içerisinde başlangıç nesli rastgele olarak oluşturulur. GA'da tasarım değişkenlerinin her birinin ayrı bir kodla ifade edildiği daha önce söylenmişti. Kodlamanın yapılmasında en çok kullanılan iki farklı yöntem söz konusudur.

- 1- İkili kodlama (0 veya 1)
- 2- Değer kodlaması (sıra sayısı ile)

Bunların yanı sıra permütasyon kodlama ve Serkan Bekiroğlu'nun geliştirdiği

Quaternary adı verilen kodlama biçimleri de bulunmaktadır. İkili kodlamanın uygulanması için popülasyon sayısına bağlı olarak 2^n 'e eşit veya bu değere alttan yakınsak olan bir değer ve dolayısı ile n sayısı belirlenir. n, tasarım değişkeninin ikili kodlama ile temsil eden dizinin, 0 ve/veya 1'den oluşan sayısını ifade eder. Örneğin 32 adet tasarım değişkenine sahip bir popülasyon da her bireyi temsil edecek kod sayısı $2^n = 32 \rightarrow n=5$, şeklinde düşünülür. Popülasyondaki değişkenlere n elemanlı 00000 \rightarrow 11111'e kadar, küçükten büyüğe kadar sırasıyla karşılık gelen kodlama yapılıır. Popülasyondaki en küçük değerli eleman 00000 en büyüğü ise 11111 koduna sahiptir.

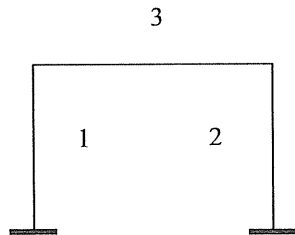
Değer kodlamasında ise tasarım değişkenleri tek bir tam sayıyla temsil edilirler. Örneğin biraz önceki örnekte 32 elemanlı bir popülasyonda en küçük elemanın kodu 1, en büyüğü ise 32'dir.

Kodlama yapıldıktan sonra amaç fonksiyonunda yer alacak tasarım değişkenleri, yapılan gruplandırma sayısına göre yan yana gelecek şekilde bir dizi halinde sıralanırlar.

$$\min f(x), \quad x = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$$

$$\begin{array}{cccc} \underline{0110} & \underline{101} & \underline{11} & \underline{1011} \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{array}$$

İşlem sayısını ve dizi sıra sayısını azaltmak amaç fonksiyonunda kullanılacak tasarım değişkeni sayısını azaltmak ile mümkündür. Bu da benzer elemanlar arasında gruplandırma ile sağlanır. Örneğin Şekil 3.1'de görüldüğü gibi basit bir çerçeve sistemi düşünülürse, A elemanlara ait en kesit alanı olmak üzere;



Şekil.3.1. GA'da elemanların gruplandırılması

A_1 = 1.grup 1,2 elemanları için tasarım değişkenleri

A_2 = 2.grup 3.eleman için tasarım değişkenleri

Burada 1 ve 2 kolonları benzer eleman olduklarında aynı grupta, 3 kirişi ise diğerlerinden farklı olduğundan farklı bir gruptan ele alınmıştır. Gruplandırma hata yapılması GA sonucunu da etkiler. Daha karmaşık sistemlerde her bir gruba ait elemanlar kendi dizilerini oluşturur ve grup sayısı popülasyon sayısını gösterir.

GA’larda kodlamadan sonra yapılan işlem, başlangıç popülasyon oluşumundan sonra yeni bir popülasyon oluşturabilmek için ebeveynlerin seçilme işlemidir. Elemanların bir nesilden diğerine aktarımının yapılması uygunluk faktörü ile ilgilidir. Uygunluk faktörüne ulaşabilmek için sınırlayıcıların amaç fonksiyonuna katılması gerekir. Literatürde “constraint handling” olarak geçen bu işlem genellikle ceza (penalty) fonksiyonları aracılığı ile yapılır. Uygunluk faktörü değerine bağlı olarak elemanlar eşleşme havuzuna atılır veya popülasyondan çıkarılır. Popülasyondaki eleman sayısının her defasında aynı kalması uygunluk faktörü yüksek çıkan elemanların kopyalanması ile sağlanır.

Bu işlemden sonra popülasyondaki elemanlar arasında rastgele eşleşme yapılır ve çaprazlama operatörü sayesinde yine rastgele belirlenen konumlardan diziyi oluşturan kromozomlar arasında değiş tokuş işlemi gerçekleştirilir.

Yeni popülasyon

1. Eleman	0 1 0 1 1 0	0 1 1 0 0 0
	↑ ↓ ↓	
2. Eleman	1 1 1 0 0 1	1 1 0 1 1 1

Burada çaprazlama konumu 3-5 olarak yine rastgele olarak belirlenmiştir. Çaprazlama operatörü genetik algorithmada optimum çözüme yakınsama şansını artırır ve topluluğa yeni bireyler kazandırdığı için kullanılır. Değer kodlaması ile kodlanmış elemanların

çaprazlanması ise aşağıdaki gibi olur.

	Çaprazlama Konumu
1. Eleman	14 7 <u>8 19 24</u> 32 5
2. Eleman	1 9 <u>4 30 3</u> 12 13
<u>Yeni popülasyon</u>	14 7 4 30 3 32 5 1 9 8 19 24 12 13

Yukarıdaki örnekte çaprazlama konumu (3-5) olarak belirlenmiştir. GA ile optimizasyonda tek noktalı, iki noktalı, çok noktalı, düzgün sıralı ve bunun gibi birkaç tip çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Bunlar arasında tek ve iki noktalı çaprazlama operatörleri daha iyi performans sergileyebilmektedirler.

Mutasyon operatörü çaprazlamadan sonra uygulanmaktadır. Mutasyon genetik algorithmada erken yakınsamanın önüne geçerek daha iyi tasarım sonuçlarının bulunmasını sağlamaktadır. Ancak mutasyon operatörü en iyi bir bireyi topluluktan atabilmektedir. Bu yüzden mutasyon oranı düşük tutulmalıdır.

İkili kodlamada mutasyon operatörü aşağıdaki şekilde yürütülür.

Eski Eleman	1 1 <u>0</u> 0 0 1
Mutasyon konumu 3	↑
Yeni Eleman	1 1 <u>1</u> 0 0 1

Yukarıda görüldüğü gibi mutasyon konumu 3 olarak seçilen 0 değeri 1 olarak değiştirilmiştir. Değer kodlamasında ise birey mutasyona uğratılırken bireyin sahip olduğu tasarım değişkenlerinden rastgele belirlenen bir tanesi, yine rastgele belirlenen başka bir tasarım değişkeni ile değiştirilmektedir.

Eski eleman	17	24	8	5	13	34
Yeni eleman	17	24	15	5	13	34

Burada da 3 konumundaki 8 değeri rastgele belirlenen 15 ile değiştirilmiş ve böylece eleman mutasyona uğratılmıştır. Ters çevirme operatöründe bireydeki tüm elemanlar ikili kodlamada 0'dan 1'e, 1'den 0'a çevrilir. Örneğin;

Eski eleman	0	1	0	0	0	1	1
Yeni eleman	1	0	1	1	1	0	0

Veba operatörü ise (Türkay ve Artaç 2003) popülasyon içindeki kromozomların birbirlerine çok fazla benzemelerini önlemek amacıyla, popülasyonun çoğunluğunu rastgele öldüren ve en iyi sonuçları saklayarak rastgele yeni bir popülasyon üreten bir operatördür. Bu sayede lokal optimum sonuçlarından kaçınılmış olacaktır.

Bu operatörlerin işleme konulması için belli bir ihtimal yüzdesine bakılır. Çaprazlama için bu değer (0,7–0,95) seçilebileceği gibi mutasyonda en iyi bireyi kaybetme durumunu en aza indirmek amacıyla çok daha düşük yüzdeler alınır.

Bu şekilde operatörler vasıtasıyla optimum sonuca ulaşıncaya dek iterasyonlar devam ettirilir. Optimum sonuca, popülasyondaki bireylerin birbirine yakınsaması durumuna göre karar verilir.

GA' da bütün bu işlemlerin yapılabilmesi için amaç fonksiyonuna karar verebilmesi gerekir. Amaç fonksiyonu minimum yapı hacmi olarak seçilirse aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\min W(x) = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^n \rho_i L_i \quad (1)$$

Sınırlayıcılı problemin sınırlayıcısız duruma dönüştürülmesinde ceza fonksiyonlarının kullanıldığı daha önce söylenmişti. Sınırlayıcıların amaç fonksiyonuna katılımı ϕ fonksiyonu ile sağlanmaktadır.

$$\phi(x) = W(x) \left[1 + Pk \cdot \sum_{j=1}^m c_j \right] \quad (2)$$

Kameshki and Saka (2001). Burada c_j sınırlayıcıları, $g_i(x)$ ise normalize edilmiş sınırlayıcıları temsil etmekte olup;

$$\text{Eğer } g_i(x) > 0 \Rightarrow c_j = g_i(x), \quad g_i < 0 \Rightarrow c_j = 0 \quad (3)$$

olur. Normalizasyon için ise;

$$g_i(x) = \frac{\delta_i}{\delta_{\text{sınır}}} - 1 \quad (4)$$

şeklinde hesap yapılır. Denklem (2)' deki Pk sayısı bir sabit olup literatürde statik analiz ile yapılan çalışmalarda genellikle 10 olarak alınmaktadır. Bu değer deneme yanılma ile elde edilmiştir. Tüm bu hesaplamalardan sonra bireyler arasında seçim yapabilmeyi sağlayan uyum derecesi bulunur.

$$f_i = (\phi(x)_{\text{max}} + \phi(x)_{\text{min}}) - \phi_i(x) \quad (5)$$

Ortalama uygunluk faktörü;

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} \quad (6)$$

olmak üzere, uygunluk faktörü;

$$f_i / \bar{f} \quad (7)$$

olarak elde edilir. Uygunluk faktörüne bağlı olarak çözüme yakınlaşma olup olmadığına karar verilir.

3.2. Deprem Yükleri Altında Yapı Analizi

Yapının deprem analizinin yapılmasında çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler, doğrusal elastik yöntemler ve doğrusal elastik olmayan yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrusal elastik yöntemler;

- a) Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- b) Mod Birleştirme Yöntemi

olarak sınıflandırılabilirler. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, statik deprem analizi veya bazı kaynaklarda yarı dinamik yöntem olarak adlandırılır. Bu yöntem deprem yükünün yapı iskeletine kat döşeme seviyesinde yatay olarak etkidiği kabulünü yapan ve sistemi bu esasa göre çözen bir yöntemdir. Aynı zamanda, yapının sadece birinci modunu göz önüne alarak çözüm yaptığı için, yarı dinamik yöntem olarak da ifade edilebilir. Deprem hesaplamalarında toplam eşdeğer deprem yükünü, taban kesme kuvveti temsil eder ve yapının toplam ağırlığı W olmak üzere taban kesme kuvveti;

$$V_t = \frac{W.A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10A_o.I.W \quad (8)$$

$$A(T_1) = A_o.IS(T_1) \quad (9)$$

olarak ifade edilir. Burada yapının düşey konsol gibi davrandığı ve katlara etkiyecek deprem yükünün zemin seviyesinden itibaren yükseklikle doğru orantılı olarak arttığı kabul edilirse i kat numarasını, N kat sayısını göstermek üzere katlara etkiyecek yatay kuvvet;

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^N W_j H_j} \quad (10)$$

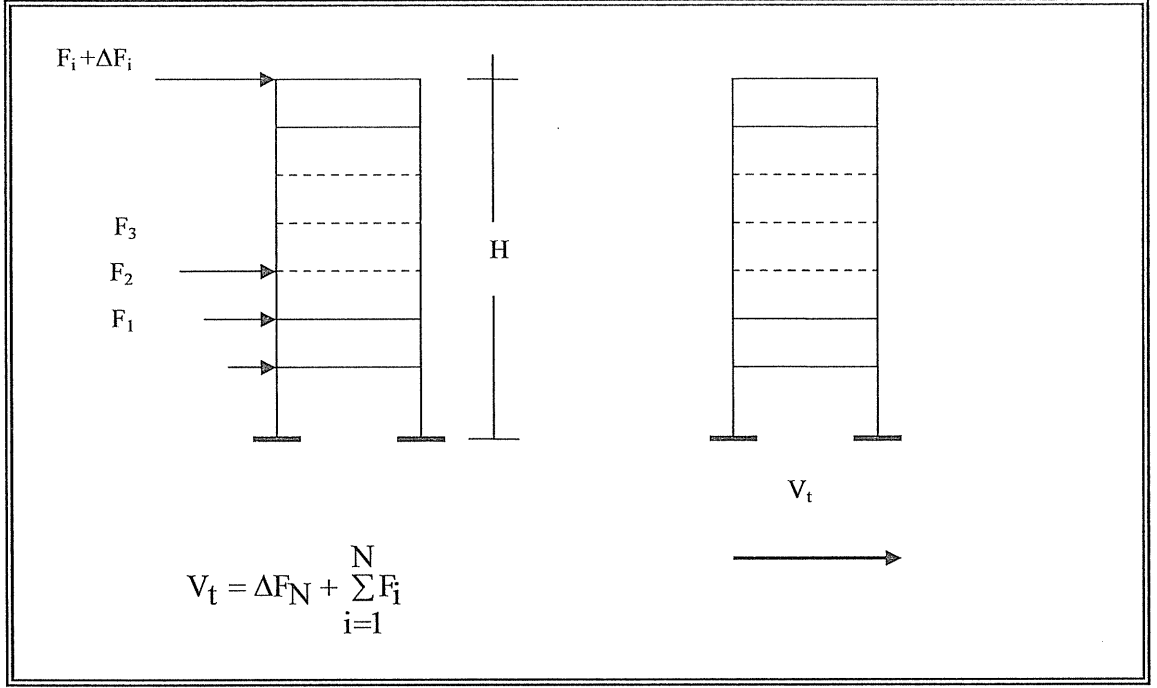
ΔF_N yapının N. katına uygulanacak ek eşdeğer deprem yüküdür ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0.0075NV_t$$

Buna göre toplam eşdeğer deprem yükü;

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (12)$$

değerine eşit olur. Şekil 3.2' de Eşdeğer Deprem Yükü için uygulanan katlara etkiyen yatay yükler gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Depreme maruz yapıların optimizasyonunda sıklıkla kullanılan bu yöntem, son yıllarda yerini daha gerçekçi bir yaklaşım olan dinamik analiz yöntemlerine bırakmıştır.

3.3. Dinamik analiz yöntemleri

Tabiiatta yüke ve bunun sonucu olarak deplasmana maruz sistemler, Newton'un ikinci yasasında belirtilen davranışa sahiptirler. Yavaş yükleme ve deplasman oluşumu durumlarında, atalet kuvvetleri ihmal edilerek statik analiz yapılabilir. Yapı sistemlerinin gerçekte sonsuz sayıda serbestlik dereceleri vardır. Dinamik analizde bütün bu özellikleri göz önüne almak çözümsüzlük getirir. Yaklaşık yöntemlerle bir takım kabuller yaparak yola çıkılırsa genellikle az bir hata ile çözüme ulaşılabilir.

Elastik olarak modellenmiş bir sistemin dinamik hareketini incelemek için kullanılan temel denklem,

$$f_I + f_S + f_K = P \quad (14)$$

ile gösterilir. Burada f_I , f_S , f_K sırası ile atalet, viskoz ve elastik kuvvetleri, P ise dış kuvveti temsil etmektedir. Bu denklemi kütle m , sönüm c ve rijitlik k matrisleri cinsinden yeniden yazarsak,

$$m \ddot{v} + c \dot{v} + kv = P \quad (15)$$

elde edilir. Burada $\begin{Bmatrix} \ddot{v} \\ \dot{v} \\ v \end{Bmatrix}$, $\begin{Bmatrix} \dot{v} \\ v \end{Bmatrix}$, $\{v\}$ sırasıyla ivme, hız ve yer değiştirme vektörlerini göstermektedir.

$$[m_{ij}] \quad [c_{ij}] \quad [k_{ij}] \quad (16)$$

Sistemin çözümünde öncelikle problemin basite indirgenebilmesi için bir takım kabuller yapmak gerekir. Probleme ait esaslara ters düşmedikçe yapılan kabuller ile gerçek sonuca belirli bir yaklaşıklıkla ulaşılabilir. Üstelik yaklaşık ve karmaşık yöntemlerin her ikisiyle çözülmüş örnekler kıyaslandığında bulunan sonuçların genellikle birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Analiz yöntemlerinde yapılan kabullerden biri serbestlik derecesi ile ilgili kabullerdir. Gerçekte sürekli olan sistemlerin hesaplamalarında başlangıç olarak ‘tek serbestlik dereceli’ ve daha yaklaşık olan ‘çok serbestlik dereceli’ sistem kabulleri yapılabilir.

Eleman kütle matrisi sürekli veya toplu kütle yaklaşımları ile tanımlanabilir. Hesaplamalarda kütlelerin düğüm noktalarında toplandığı kabulü kolaylık açısından tercih edilir. Bu durumda kütleler diyagonal olarak matrise yerleştirilir. Matrisin diğer öğeleri sıfır olarak atanır. Kütlelerin düğüm noktalarında toplandığı kabul edilirse

dinamik denge eşitliğinde kullanılan elastik rijitlik matrisi statik eşitlikte kullanılan ile aynıdır.

$$\bar{M} = \text{diyağ}(m_1, m_2, \dots, m_{ns}) \quad (17)$$

Yapıda dinamik hareket sonucu oluşan sönümler (c), iç ve dış viskoz sönüm, Coulomb rijit cisim sönümü, çevrimsel sönüm ve enerji yayılma sönümü olarak isimlendirilebilirler. Bunlardan matematiksel olarak en iyi ifade edilebilen viskoz sönüm olup diğer sönümlerin etkileri eşdeğer viskoz sönüme dönüştürülerek hesaba katılır. Deneysel çalışmalarda düşük genliklerde sönüm değeri 0,01-0,02 kuvvetli yer hareketlerinde ise 0,05-0,1 olarak bulunmuştur. (Celep ve Kumbasar 2001).

Rijitlik k, elastik (yay) kuvvetinin oluşumunu sağlar. Sistemde depolanan potansiyel enerjiyi temsil eden f_k kuvveti, denge konumundan ayrılma durumunda geriye itici bir etki oluşturur.

Kütlelerin düğüm noktalarında toplandığı kabulüne göre çok serbestlik dereceli sistemlerde zaman değişkenine bağlı olarak aşağıdaki eşitlik tanımlanmıştır.

$$[m]\{\ddot{v}\} + [c]\{\dot{v}\} + [k]\{v\} = [m]\ddot{v}_g \quad (18)$$

Burada m, c, k ve \ddot{v}_g sırasıyla kütle, sönüm, rijitlik matrisleri ve yer hareketi ivmesini temsil etmektedir. Bu eşitlik, dış yükün sıfır olması; yani “serbest titreşim” ve sönümün sıfır olması; “sönümsüz” durumlarına göre özelleştirilebilir. Dış yükün sıfırdan farklı olduğu duruma, “zorlanmış titreşim” adı verilir. Dinamik analizde sisteme ait özellikler bu şekilde sıfırlanarak veya ihmal edilerek problemin basitleştirilmesi yoluna gidilir.

Çok serbestlik dereceli bir sistemde sönümsüz serbest titreşim;

$$[m] \left\{ \ddot{v} \right\} + [k] \{v\} = 0 \quad (19)$$

olarak ifade edilir. Sistemin basit harmonik hareket yaptığı kabulü ile harmonik harekete ait hareket denklemleri yazılırsa;

$$v = \bar{v} \sin(\omega t + \theta) \quad (20)$$

$$(k - \omega^2 m) \bar{v} = 0 \quad (21)$$

elde edilir. Bu ifadenin sıfırdan farklı çözümü için;

$$|k - \omega^2 m| = 0 \quad (22)$$

frekans denkleminin çözümü gerekir. Bu çözümden sistemin serbestlik derecesi kadar $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_N$ ile ifade edilen serbest titreşim açısal frekansı elde edilir. Her bir

serbest titreşim frekansı için hesaplanan $\bar{v} = \phi_i$ vektörüne ise “Serbest titreşim mod şekli” adı verilir. Modların kolonlara yerleştirilmesi ile elde edilen kare matrise ise “modal matris” adı verilir.

$$\phi_i = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N] \quad (23)$$

ϕ_i ve ϕ_j iki farklı mod şekli olmak üzere;

$$\phi_i^T m \phi_j = 0 \text{ ve } \phi_i^T k \phi_j = 0 \quad (i \neq j) \quad (24)$$

kütle ve rijitlik matrislerinin ortogonalite özelliklerini gösterir. Denklem (22)'nin çözümünde yani yapıya ait serbest titreşim frekanslarının ve mod şekillerinin hesaplanmasında Özdeğer yöntemi kullanılır.

Özdeğer yöntemi: $(k - \omega_i^2 m)\phi_i = 0$ problemi bir özdeğer problemidir. Özdeğer problemlerinde amaç $\omega^2 = \lambda$ 'yı hesaplamaktır. λ ile birlikte titreşim modunun bir göstergesi olan ϕ , yani özvektörler de elde edilir. Bir özdeğer problemi;

$$[K]\{\phi\} = \lambda[M]\{\phi\} \quad (25)$$

şeklinde yazılabilir. Burada kütle ve rijitlik matrisleri simetrik matrisler olup uygun sınır şartları altında denklem sistemi pozitif tanımlıdır. Bu şekilde $n \times n$ boyutundaki simetrik bir rijitlik matrisi için n adet gerçek özdeğer ve bunlara karşılık gelen n adet özvektör vardır. Bu değerler büyükten küçüğe doğru;

$$0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_n \quad (26)$$

şeklinde sıralanabilir. Bu değerlere karşılık gelen özvektörler ise $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ olarak elde edilirler. Özvektörler kütle ve rijitlik matrislerine göre ortogondur (Erbatur *et al.* 1999). Özdeğerin boyu genel olarak normalize edilmiş olup;

$$\{\phi_i\}^T [M]\{\phi_i\} = I \quad (27)$$

dir. Bu normalizasyonda;

$$\{\phi_i\}^T [K] \{\phi_i\} = \lambda_i \quad (28)$$

eşitliğini verir. Özvektörün boyu önceden tespit edilmiş bir değerle sabitlenebilir. Özdeğer problemlerinin çözümünde üç farklı yöntem söz konusudur. Bunlar;

Karakteristik polinom yöntemi: Diğer bir değişle determinant araştırma yaklaşımı olup büyük yapı problemlerinde etkili değildir. Sistemin sıfır çözümden başka bir çözümü olması için:

$$\det([K] - \lambda[M]) = 0 \quad (29)$$

olmalıdır. Bu yöntemin bilgisayar uygulaması zordur ve daha fazla işlem gerektirmektedir. Verilecek diğer yöntemler bu açıdan daha avantajlıdır (Topçu ve Taşgetiren 1998).

Vektör iterasyon yöntemi: Literatürde birçok vektör iterasyon yöntemi vardır. Bu yöntemlerde genellikle Rayleigh bölmesi yöntemi kullanılır. Rayleigh bölmesi maksimum potansiyel enerjinin, maksimum kinetik enerjiye oranı olarak tanımlanır. v rasgele alınmış bir vektör olmak üzere:

$$\omega_i^2 = \frac{\phi_i^T k \phi_i}{\phi_i^T m \phi_i} = \frac{K_i}{M_i} \quad (30)$$

Burada ϕ_i titreşim modu kesin olarak bilinmediği için ω_i^2 'ninde kesin olarak elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte kabul edilecek değişik titreşim mod şekilleri ile en düşük (temel) titreşim frekansına üstten yaklaşılabilir (Celep ve Kumbasar 2001). Ayrıca bu yöntemlere ek olarak Stadola, Gram-Schmidt ortogonalizasyon yöntemi gibi yüksek modlara yaklaşma açısından güçlü, pek çok

iteratif yöntem bulunmaktadır.

Transformasyon Yöntemleri: Daha küçük yoğunluk matrislerini (small-dense) kullanan ve bunun için matrisleri, alt veya üst üçgen matris yada diyagonal matrise dönüştüren yöntemleridir ki bunlardan Jacobi, Givens, Householder, Rutishauser kullanılan transformasyon matrisleridir (Wilson 2002).

Programda özdeğer problemi FEMODAL adı verilen bir fonksiyon ile MATLAB ortamında çözülmektedir. Matlab programı sahip olduğu komutlarla özdeğer problemlerini, problemin niteliğine bağlı olarak çeşitli yöntemlerle çözmektedir. Bu çözümlerde LAPLACK rutinleri denilen programları kullanmaktadır. (Anderson 1999)

Doğrusal davranışa göre hesaplama yapan dinamik yöntem ise modların birleştirilmesi yöntemi veya Modal Analiz olarak tanımlanabilir. Çalışmada modların birleştirilmesi yöntemi kullanılmıştır. Modların birleştirilmesi yöntemi, çok serbestlik dereceli ve dolayısıyla çok modlu bir sistemi, her modunda tek serbestlik dereceli kabul ederek elde edilen değerleri belli kurallara göre süperpoze eden ve böylece yapının deprem davranışına karar veren bir yöntemdir. Sistemde titreşim doğrultusu sayısı serbestlik derecesi kabul edilir. Serbestlik derecesi N olan bir sistemde N adet mod ve N adet eşdeğer tek kütleli, ayrıca her mod için bir özel periyot ve bir deplasman vektörü vardır (Koç 1996).

Modların birleştirilmesi yönteminin uygulanması bilgisayar programları sayesinde kolaylık kazanmıştır. Hesaplamaya başlamadan önce sistemlerin bütün özelliklerinin tam olarak belirlenmesi gerekmektedir. Modal analizin ilk adımında kütle, sönüm ve rijitlik matrislerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu matrisler direkt yöntem veya enerji yöntemi ile elde edilebilirler. Burada kullanılacak olan yöntem enerji yöntemi olup, eleman matrisleri Hamilton prensibi veya benzeri varyasyonlar kullanılarak elde edilmiş, ardından mesnet ve uygunluk şartları göz önüne alınarak birleştirilmişlerdir (Celep ve Kumbasar 2001).

Temel matematik metoduna göre (18) eşitliğini çözmek için değişkenlerine ayırmak gerekir.

$$v(t) = \sum_{i=1}^N \phi_i Y_i(t) \quad (31)$$

bu eşitlikten yararlanarak

$$\dot{v}(t) = \sum_{i=1}^N \phi_i \dot{Y}_i(t) \quad (32)$$

ve aynı şekilde;

$$\ddot{v}(t) = \sum_{i=1}^N \phi_i \ddot{Y}_i(t) \quad (33)$$

elde edilebilir. Bu değerler dinamik denklemde yerine konulursa ve ortogonallik şartları da göz önünde bulundurularak sönüm ve titreşim frekansına bağlı aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\ddot{Y}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{Y}_j + \omega_j^2 Y_j = \frac{P_j(t)}{M_j} \quad (34)$$

$$Y_j = \phi_j^T m v / M_j \quad (35)$$

$$M_j = \phi_j^T m \phi_j \quad \text{ve} \quad C_j = \phi_j^T c \phi_j \quad (36)$$

$$K_j = \phi_j^T k \phi_j = \omega_j^2 M_j \quad (37)$$

$$P_i = -\phi_j^T m \ddot{v}_g \quad (38)$$

Çözümüne $t=0$ anındaki deplasman, hız ve ivme değerleri katılırsa;

$$Y_j(t) = e^{-\xi_j \omega_j t} \left[Y_j(0) \cos \omega_{Dj} t + \frac{Y_j(0) + \xi_j \omega_j \dot{Y}_j(0)}{\omega_{Dj}} \sin \omega_{Dj} t \right] \quad (39)$$

bağıntısı elde edilir.

$$\omega_{Dj} = \omega_j \sqrt{1 - \xi_j^2} \quad (40)$$

$$Y_j(t=0) = \phi_j^T m v(t=0) / M_j \quad (41)$$

$$\dot{Y}_j(t=0) = \phi_j^T m \dot{v}(t=0) / M_j \quad (42)$$

$L_j = \phi_j^T m l$ dönüşümü yapılarak;

$$Y_j(t) = -\frac{L_j}{M_j \omega_{D_j}} \int_0^t \ddot{v}_g(\tau) e^{-\xi_j \omega_j (t-\tau)} \sin[\omega_{D_j} (t-\tau)] d\tau \quad (43)$$

yazılabilir. Buradan ayrıklaştırılmış dinamik hareket denkleminin $\ddot{v}_g(t)$ yer hareketi altında bulunan tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemine tamamen benzetilmesi amacıyla;

$$Y_j = \Gamma_j D_j \quad (44)$$

$$v(t) = \sum_{j=1}^N v_j = \sum_{j=1}^N \phi_j Y_j = \sum_{j=1}^N \Gamma_j \phi_j D_j(t) \quad (45)$$

dönüşümleri yapılır ve

$$\ddot{D}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{D}_j + \omega^2 D_j = -\ddot{v}_g(t) \quad (46)$$

bağıntısı elde edilir. Çok serbestlik dereceli sistem için etkili deprem kuvveti m_l ve $\ddot{v}_g(t)$ sırasıyla deprem etkisinin geometrik dağılımı ve zamana bağlı kısımları olarak diğer işlemlerde olduğu gibi ayrıklaştırılır. Geometrik dağılıma s denilip mod şekilleri kullanılarak toplama biçiminde yazılırsa;

$$s = \sum_{j=1}^N s_j = m_l = \sum_{j=1}^N \Gamma_j m \phi_j \quad (47)$$

$$\Gamma_j = \frac{L_j}{M_j} \quad (48)$$

$$s_j = \Gamma_j m \phi_j \quad (49)$$

olarak ifade edilebilir. Buradan sistemin j 'inci modu için eşdeğer elastik kuvvetler;

$$f_j = kv_j(t) = k\phi_j Y_j(t) = \omega_j^2 m\phi_j Y_j(t) = \omega_j^2 s_j \frac{Y_j(t)}{\Gamma_j} = \omega_j^2 s_j D_j(t) \quad (50)$$

$$f_j(t) = s_j A_j(t) \quad (51)$$

$$A_j(t) = \omega_j^2 \frac{Y_j(t)}{\Gamma_j} = \omega_j^2 D_j \quad (52)$$

dönüşümüyle elde edilir. Elastik kuvvetin iki bölümden oluştuğu sonucundan hareket ederek sistemde oluşan herhangi bir büyüklük $r(t)$ alınırsa;

$$r(t) = \sum_{j=1}^N r_j(t) \quad \text{ve} \quad r_j(t) = r_j^{st} A_j(t) \quad (53)$$

yazılabilir. Burada j . mod da, n . katta oluşacak kuvveti bulmak için s_j vektörünün bileşenleri kullanılabilir.

$$f_{nj}(t) = s_{nj} A_j(t) \quad (54)$$

Bu bileşenlerin toplamı ise ilgili modda, çok serbestlik dereceli olarak kabul edilmiş bir yapıya ait taban kesme kuvvetinin bulunmasını sağlar. Bu bağıntıyı daha basit bir hale getirmek istersek;

$$V_{bj}^{st} = \sum_{n=1}^N s_{nj} \quad s_{nj} = \Gamma_j \sum_{k=1}^N m_{nk} \phi_{kj} \quad V_{bj}(t) = V_{bj}^{st} A_j(t) \quad (55)$$

$$V_{bj}^{st}(t) = \sum_{n=1}^N s_{nj} \quad s_{nj} = \Gamma_j m_n \phi_{nj} \quad L_j = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \quad (56)$$

$$M_j^* = \Gamma_j L_j = \frac{(L_j)^2}{M_j} = \frac{(\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj})^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2} \quad (57)$$

$$V_{bj}^{st} = \sum_{n=1}^N s_{nj} = \Gamma_j L_j = M_j^* \quad (58)$$

$$V_{bj}(t) = M_j^* A_j(t) \quad (59)$$

$$f_{nj}(t) = s_{nj} A_j t = M_j^* \frac{m_n \phi_{nj}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{ij}} \quad (60)$$

ifadelerini elde ederiz. Burada;

$A_j(t)$: yaklaşık ivme spektrumuna benzer olarak yer değiştirmeden elde edilen yaklaşık ivme, M_j^* : Taban kesme kuvvetinde etkili modal kütlelerdir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi taban kesme kuvvetinde etkili yüksekliği, yani ilgili katın temelden yüksekliğini (h_j^*) bulmak için;

$$m_1 = \sum_{j=1}^N \Gamma_j m \phi_j \quad (61)$$

$$1^T m_1 = \sum_{j=1}^N \Gamma_j 1^T m \phi_j \quad (62)$$

$$\sum_{j=1}^N m_j = \sum_{j=1}^N \Gamma_j L_j = \sum_{j=1}^N M_j^* \quad (63)$$

$$M_{bj} = M_{bj}^{st} A_j(t)$$

(64)

$$L_j^\theta = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} h_n \quad (65)$$

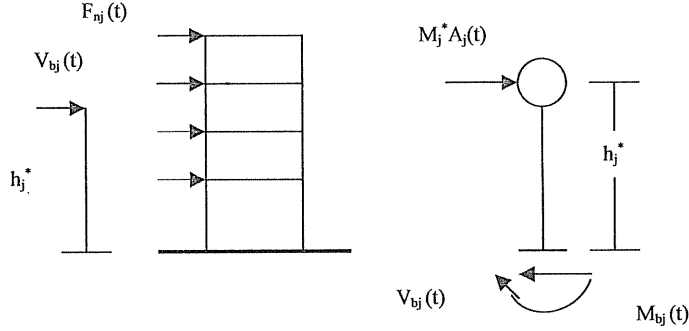
$$h_j^* = \frac{L_j^\theta}{L_j} \quad (66)$$

bağıntıları kullanılır. Etkili modal kütle ve etkili modal yükseklik elde edilince bu değerlerden hesaplanacak toplam devrilme momentinin, ayrı ayrı kat kütlelerinin kat yükseklikleriyle çarpımından elde edilecek değere eşitliği aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$m_h = \sum_{j=1}^N \frac{L_j^\theta}{M_j} m \phi_j \quad (67)$$

$$1^T m_h = \sum_{j=1}^N \frac{L_j^\theta}{M_j} 1^T m \phi_j \quad (68)$$

$$\sum_{j=1}^N m_j h_j = \sum_{j=1}^N \frac{L_j^\theta}{M_j} L_j = \sum_{j=1}^N M_j^* h_j^* \quad (69)$$



Şekil 3.3. Tek serbestlik dereceli sistemde yapının j 'inci modunda etkili modal kütle ve etkili modal yükseklik.

Özet olarak lineer yapı sistemlerin, sismik analizinde modların süperpozisyonu etkili bir yaklaşımdır. Bu yöntem dinamik analizde kullanılan diferansiyel denklem sayısını düşürerek daha kısa bilgisayar zamanlı çözüme gidebilen oldukça güçlü bir yöntemdir. Denklem sayısının düşürülmesi yüksek frekansların ihmal ile mümkündür. Deprem kuvveti en çok düşük frekanslarda etkili olduğu için bu ihmal sonucu etkilemez.

3.4. Spektral davranış analizi

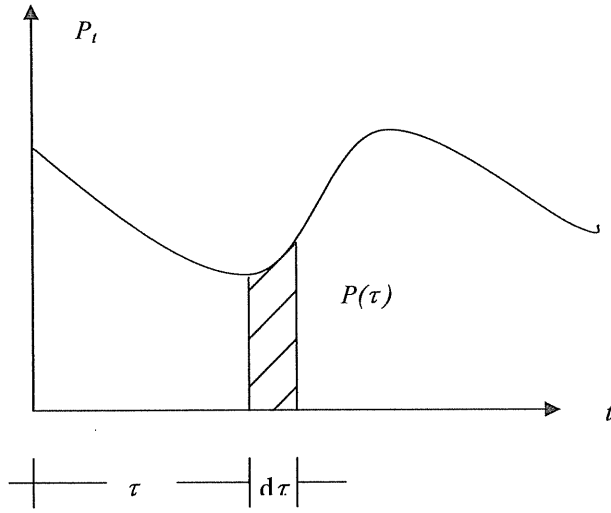
Yapıların deprem etkisine göre hesabında, değişik deprem kayıtlarını veya en az bir tanesini alarak, bunlara ait hareket denklemlerini zaman ve frekans alanında tanımlamak ve deprem sırasında oluşacak yer değiştirme, hız, ivme ve elastik kuvvetleri bulmak deprem spektrumları ile mümkün olmaktadır. Deprem spektrumu, deprem etkisine maruz kalan tek serbestlik dereceli bir sistemin davranışının yani yer değiştirme, hız, ivme değerlerinin maksimumunu serbest titreşim periyoduna bağlı olarak gösteren eğriye denir.

Tek serbestlik dereceli bir sistemin $\ddot{v}_g(t)$ deprem ivmesi altındaki hareket denklemi;

$$\ddot{v}(t) + 2\xi\omega\dot{v}(t) + \omega^2v(t) = -\ddot{v}_g(t) \quad (70)$$

dir. Bu denklemden hareketle Duhamel integrali (Şekil 3.4) adı verilen eşitliğe ulaşılır.

$$v(t) = -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{v}_g(\tau) e^{-\xi\omega j(t-\tau)} \sin[\omega_D j(t-\tau)] d\tau \quad (71)$$



Şekil 3.4. Herhangi bir zaman-yük grafiği

Burada $\omega_D = \omega\sqrt{1-\xi^2}$ sönümlü hareketin açısal frekansı, ω serbest titreşim açısal frekansı, ξ ise sönüm oranını verir. Bu bağıntılardan faydalanılarak örneğin yeterli sayıda maksimum yer değiştirmenin tek serbestlik dereceli sistemin periyoduna bağlı olarak işaretlenmesi ile yer değiştirme spektrum eğrisi elde edilir. Deprem yer ivmesi değeri de (\ddot{v}_g) spektrum eğrilerinde yapı periyoduna bağlı olarak verilmiştir.

Yapıya gelen deprem yükleri ve spektrum için El Centro depreminin idealize edilmiş spektrum eğrisi kullanılacaktır (Tezcan 1967). Şekil.3.5’de sönüm oranı 0,05 için çalışmada kullanılan spektrum değerleri gösterilmiştir.

Modların süperpozisyonu yönteminde her bir mod için kütle katılım faktörleri;

$$q_i = \frac{\{\phi_i\}^T [m] \{I\}}{M_i} \quad (72)$$

bağıntısıyla, genelleştirilmiş koordinatların spektral değerleri;

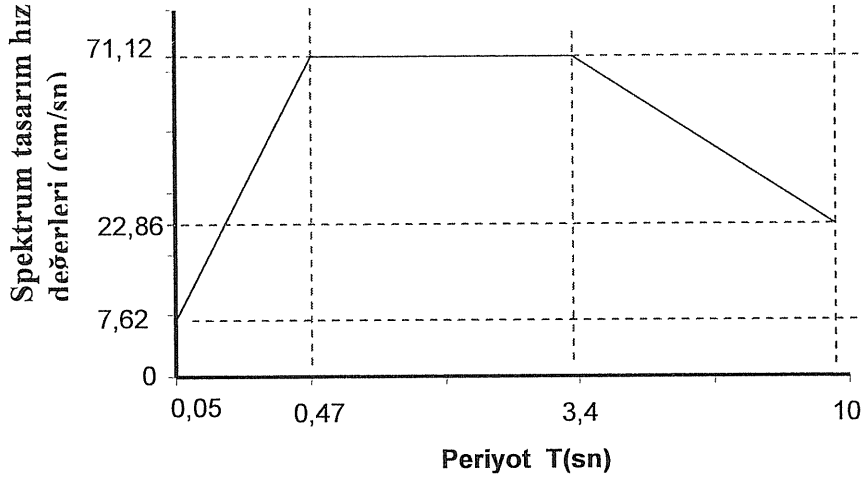
$$Y_i = \frac{q_i}{\omega_i} P S V_i \quad (73)$$

bağıntısıyla, ötelemelerin spektral değerleri;

$$\{U_i\} = \{\phi_i\} Y_i \quad (74)$$

bağıntısıyla, yanal deprem kuvvetlerinin spektral değerleri;

$$\{P_i\} = [m] \omega_i^2 \{U_i\} \quad (75)$$



Şekil 3.5. El Centro depreminin idealize edilmiş spektrum eğrisi

bağıntısıyla, kat kesme kuvvetlerinin spektral değerleri;

$$\{V_i\} = [S] \{P_i\} \quad (76)$$

bağıntısıyla ve devirme momentlerinin spektral değerleri;

$$\{MD_i\} = h [S] \{V_i\} \quad (77)$$

bağıntısıyla hesaplandıktan sonra modların birleşimi için kullanılan yöntemlerden biri ile öteleme, kesme ve moment değerlerinin süperpozisyonu yapılır (Erdik ve Yüzügüllü 1980). Süperpozisyon için CQC yöntemi, frekanslarla ilgili her türlü duruma uyum sağladığı için bu çalışmada tercih edilen yöntem olacaktır.

Spektral davranış analizi, yapıya ait belirli bir zaman aralığındaki tüm yer değiştirme,

hız, ivme ve elastik kuvvetleri bulmak yerine, bunların her modda ki maksimumlarını hesaplama yoluna giden bir analiz türüdür. Spektral davranış analizi, modların süperpozisyonu kullanılarak yapılır. Analiz sonucunda elde edilen her moda ait ivme, maksimum deplasman, yükler ve gerilmeler aşağıdaki yöntemler kullanılarak kombine edilir. Modların süper pozisyonunda üç farklı kombinasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar;

1-Mutlak değerlerin toplanması: Bu kombinasyonda katılan modların en büyük katkılarının aynı zamanda olduğu kabul edilerek mutlak değerlerinin toplamı alınır. Bu gerçekçi bir yaklaşım değildir. Elde edilen değerler oldukça büyük olup özellikle boyutlandırma problemlerinde ekonomik sonuçlar vermemektedir.

$$r(t)_{\max} \leq \sum_{j=1}^N |r_j(t)|_{\max} = |r_{10}| + \dots + |r_{n0}| + \dots + |r_{N0}| \quad (78)$$

2-Karelerin toplamının karekökü: Elde edilen maksimum değerlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak hesap yapılır. Bu yöntemle elde edilen sonuçların zaman tanım alanında çözümlerden elde edilenlere oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

$$r(t)_{\max} \approx \sum_{j=1}^N |r_j(t)|_{\max} = \sqrt{|r_{10}|^2 + \dots + |r_{n0}|^2 + \dots + |r_{N0}|^2} \quad (79)$$

3-Tam karesel birleştirme: Bu yöntem diğer yöntemlerden daha gerçekçi sonuçlar verir. ρ_{ij} çapraz korelasyon katsayısı kullanılarak aşağıdaki şekilde sonuçlar birleştirilir.

$$r(t)_{\max} \approx \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho_{ij} f_{i0} r_{j0}} \quad (80)$$

Burada;

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 (1+\beta_{ij})\beta_{ij}^{3/2}}{(1-\beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{ij} (1+\beta_{ij})^2} \quad (81)$$

ve $\beta_{ij} = \omega_i / \omega_j$ (82)

serbest titreşim frekanslarının oranını temsil etmektedir (Celep ve Kumbasar 2000). Oluşturulmuş bilgisayar programında süperpozisyon yöntemlerinden tam karesel birleştirme yöntemi kullanılmış olup ve karelerin toplamının karekökü de kullanılabilir.

Doğrusal olmayan deprem analizi hesap yöntemleri ise;

- a) Artımsal Eşdeğer Yatay Yük Yöntemi (İtme analizi)
- b) Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
- c) Zaman Alanında Artımsal Hesap Yöntemi'dir.

3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Yapısal sistemlerin deprem yükleri altındaki davranışının belirlenmesinde sistemin doğru modellenmesi büyük önem taşır. Bu konuda sonlu elemanlar ile modelleme, bilgisayar programlarında kullanım kolaylığı açısından çoğunlukla tercih edilmektedir. Sonlu elemanlar ile program yapılırken izlenen yöntem aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1. Giriş verilerinin toplanması
2. Her eleman için eleman matrislerinin hesaplanması
3. Eleman matrislerinin sistem matrislerine dönüştürülmesi

4. Sınır şartlarının sistem matrislerine uygulanması
5. Başlangıç şartlarının matris eşitliklerine uygulanması
6. Diğer değişkenlerin hesaplanması
7. Sonuçların elde edilmesi (Kwon *et al.* 1996)

Araştırma ve bulgular bölümünde kullanılacak sistemler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilecektir. Giriş bilgileri olarak sisteme ait düğüm noktası sayısı, koordinatları, elemanlara ait elastisite modülü ve birim hacim ağırlık değerleri vb. gibi bilgiler verilecektir. Yöntemden elde edilen rijitlik $[K]$ ve kütle matrisleri $[M]$ deprem hesabında kullanılacaktır.

3.6. Yapısal Analiz ve Deplasman Yöntemi

Yapısal sistemlerin dış etkiler altındaki çözümlerinde çeşitli analiz yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler deplasman yöntemi, kuvvet yöntemi ve başlangıç değer yöntemi olarak sınıflandırılabilir (Çakıroğlu vd 1970). İdealize edilmiş yapısal sistemlerin dış yükler ve sıcaklık etkisi altında oluşturdukları deplasman değerlerinin hesaplanmasında kullanılan yöntem deplasman yöntemi adı verilir. Sistemlerin bilgisayar ile analizinde genellikle deplasman yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin tercih edilmesinde,

- a- Hesapta izlenen yolun her taşıyıcı sistem için aynı olması, yani çerçeve, kafes gibi sistemler için yöntemin değişmemesi,
- b- Hem izostatik hem de hiperstatik sistemler için uygulanabilmesi
- c- İstenildiğinde sıcaklık değişimi, mesnet çökmeleri ve imalat hataları gibi durumların da kolaylıkla hesaba katılabilmesi gibi avantajlar göz önüne alınmıştır. Deplasman yöntemi şu şekilde özetlenebilir:

- 1-Çözümü yapılacak sistemin temel verilerinin toplanması; bunlar düğüm noktalarının konumları, eleman malzeme özellikleri, sistemin geometrisinden kaynaklanan rijitlik karakteristikleri ve sistemin topolojisi olarak özetlenebilir.
- 2-Lokal koordinatların belirlenmesi (x, y, z)
- 3-Lokal koordinatlardaki eleman rijitliklerinin hesaplanması (k)
- 4-Her eleman için kosinüs ve sinüs değerlerinin belirlenmesi ile dönüşüm matrisinin oluşturulması
- 5-Global koordinatlarda eleman rijitliklerinin belirlenmesi
- 6-Eleman rijitliklerinin toplanması ile sistem rijitlik matrisinin oluşturulması (K)
- 7-İndirgenmiş rijitlik matrisini elde etmek için rijit bünye serbestlik derecelerinin ortadan kaldırılması ve rijitlik matrisinin tersinin alınması [K^{-1}]
- 8-Yayıllı yüklerin tekil yüklere dönüştürülmesi
- 9-Varsa termal yüklerin hesaplanması ve toplam yüke dönüştürülmesi (F)
- 10- $U = K^{-1}F$ bağıntısından deplasman değerlerinin ve buradan da eleman kuvvetleri ve gerilmelerinin hesabı (Przemieniecki 1968)

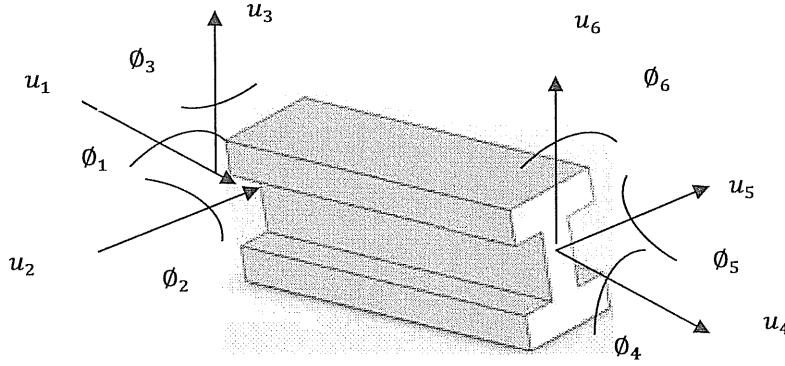
3.7. Deplasman Sınırlayıcıları

Literatürde deplasman sınırlayıcısı olarak genellikle, H yapı veya kat yüksekliği olmak üzere $H/300$, $H/400$ veya sabit bir değer alınmaktadır (Değertekin *et al.* 2007). Kullanılan örnek modeller alıntı yapıldıkları yerde belirtilen katlar arası ve tepe deplasmanı değerlerine göre sınırlandırılmışlardır.

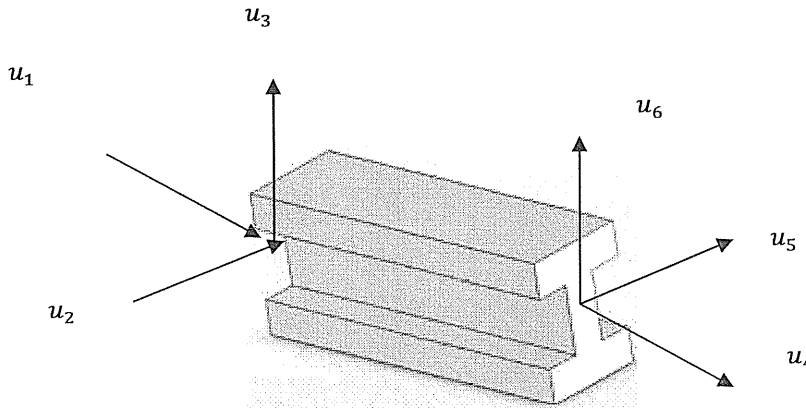
3.8. Gerilme Sınırlayıcıları

Çalışmanın bu bölümünde optimum bir yapı tasarlamada önemli olan yapının maddi değerinin yanı sıra ondan daha önemli olarak görülebilecek bir kavram, yapı güvenliği üzerinde durulacaktır. Yapının dinamik analizinin yapılmasından sonra yapı elemanlarının her birinin üzerine gelen gerilmelerin doğru olarak irdelenmesi gerekir. Üç boyutlu bir çerçeve sistemin herhangi bir elemanı göz önüne alındığında çubuk elemanların her bir ucunda x,y,z doğrultularında üç yer değiştirme üç de dönme olmak

üzere toplam altı serbestlik derecesi olduğu kabul edilmektedir. Bu serbestlik derecelerine tekabül eden çubuk kuvvetlerinden meydana gelebilecek bileşik gerilme durumları ise kesmeli eğilme, burkulmalı eğilme ve burulmalı eğilme ve benzerleri olabilir. Literatürdeki diğer çalışmalarda kullanılan aksenal gerilme, burkulma gerilmesi veya eğilmeli burkulma gerilmelerinin yanı sıra, inşaat yapı sistem analizlerinde pek rastlanmayan ve en elverişsiz gerilme durumlarından biri olan eğilmeli burulma bileşik gerilmesi de sınırlayıcı olarak kullanılmıştır. Üç boyutlu kafes sistemlerde ise, sistemin davranışından dolayı aksenal çekme ve burkulma gerilmelerinin etkisi göz önüne alınmıştır. Şekil 3.6 ile çerçeve sistem elemanı için kabul edilen serbestlik derecelerini, Şekil 3.7 ile ise kafes sistem elemanı için kabul edilen serbestlik derecelerini göstermektedir.



Şekil 3.6. Üç boyutlu çerçeve elemanı için kabul edilen serbestlik dereceleri



Şekil 3.7. Üç boyutlu kafes sistem elemanı için kabul edilen serbestlik dereceleri

3.8.1. Çekme gerilmesi durumu

Çekme gerilmeleri için analizlerde;

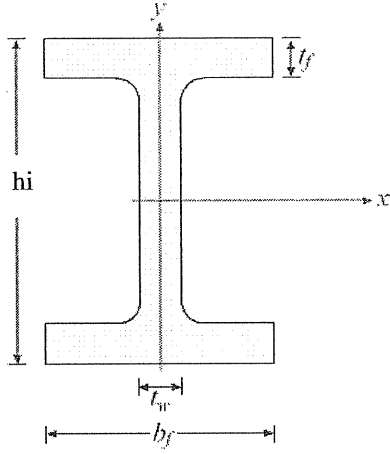
$$\sigma_c = \frac{P}{A} \leq \sigma_{cem} \quad (83)$$

değeri hesaplanmaktadır. Çekme gerilmesi durumu optimizasyon probleminde sınırlayıcılara eklenmiştir. Gerilme değeri emniyet gerilmesi veya sınır gerilme olarak kabul edilen değer ile normalize edildikten sonra ceza fonksiyonu içerisine katılmaktadır.

3.8.2. Eğilmeli burulma bileşik gerilmesi durumu

Hesaplamalarda eğilmeli burulma gerilme sınırlayıcısı diğer sınırlayıcılara ek olarak kullanılmıştır. Rastgele araştırma ile optimum çözüme ulaşılan çalışmada oluşturulan bir çok tasarım eğilmeli burulma sınır durumunu geçememiştir. Genellikle ihmal edilen bu gerilme sınırlayıcısının optimizasyon problemine katılmasında yarar görülmüştür. Asal gerilmelerden elde edilen ve enkesit için kullanılan profilin şekline göre belirlenmiş analiz adımları aşağıda sunulmuştur.

Üç boyutlu çerçeve sistemler I profilleri ile teşkil edilmiştir (Şekil 3.8). Buna göre her bir profil için eğilmeli burulma bileşik gerilmesi programda aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 3.8. I profili boyutları

I profil için burulma atalet moment değeri;

$$I_b = \frac{1}{3} (2 \cdot b_f \cdot t_f^3 + (h_i - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^3) \quad (84)$$

bağıntısıyla, burulmadan kaynaklanan kayma gerilmesi;

$$\tau_b = \frac{M_b t_f}{I_b} \quad (85)$$

bağıntısıyla, eğilmeli burulma bileşik gerilme hali Tresca bağıntısı kullanılarak;

$$\sigma_{\text{eğilmeli-burulma}} = \sqrt{(\sigma_{\text{eğilme}})^2 + 4 \cdot (\tau_{\text{burulma}})^2} \quad (86)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir. Buradaki (86) no'lu denklem $\sigma_{\text{eğilme}}$ değeri eğilmeli eğilme durumu olup;

$$\left(\frac{M_y}{W_y}\right)^2 \quad (87)$$

eğilmesi ihmal edilmiştir. Buna göre I profil için düzenlenmiş eğilmeli burulma gerilme hesabı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

$$\sigma_{\text{eğilmeli-burulma}} = \sqrt{\left(\frac{M_x}{W_x}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{M_b \cdot t_f}{\frac{1}{3}(2 \cdot b_f \cdot t_f^3) + (h_i - 2 \cdot t_f) t_w^3}\right)^2} \quad (88)$$

3.8.3. Eğilmeli burkulma bileşik gerilme durumu

Basınç altındaki çubuk elemanın gerilme olarak karşılaştığı en önemli durumlardan biri de burkulmadır. Çalışmada en elverişsiz durumlardan biri olarak karşımıza çıkan eğilmeli burkulma durumu da ele alınarak gerilme sınırlayıcısı olarak kullanılacaktır.

Burkulmalı eğilme için TS648 den bileşik gerilme durumu;

$$g_x(x) = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)} \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right)} \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1 \leq 0 \quad (89)$$

$$g_x(x) = \frac{\sigma_{eb}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1 \leq 0 \quad (90)$$

şeklindedir. Burada;

$$\sigma_{eb}/\sigma_{bem} \leq 0,15 \quad (91)$$

ise (90) no'lu denklemde 0,6 katsayısı yerine 1 alınarak denklemin bu şekilde kullanılması önerilmektedir. Burada sistem elemanların burkulma boylarının hesaplanmasında çubuk boylarının çarpıldığı k katsayısı x ve y doğrultularında aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$K_x = \sqrt{\frac{1.6G_{Ax}G_{Bx} + 4(G_{Ax} + G_{Bx}) + 7.5}{(G_{Ax} + G_{Bx}) + 7.5}} \quad (92)$$

$$K_y = \sqrt{\frac{1.6G_{Ay}G_{By} + 4(G_{Ay} + G_{By}) + 7.5}{(G_{Ay} + G_{By}) + 7.5}} \quad (93)$$

Buradaki G_{Ax} ve G_{Bx} x-x doğrultusunda çubuk uçlarındaki rijitlik dağılım faktörlerini G_{Ay} ve G_{By} ise y-y doğrultusundaki rijitlik dağılım faktörlerini temsil eder ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$G_{Ax} = \left[\frac{\sum I_g/S_g}{\sum I_c/S_c} \right]_{x-x} \quad (94)$$

$$G_{Bx} = \left[\frac{\sum I_g' / S_g'}{\sum I_c' / S_c'} \right]_{x-x} \quad (95)$$

ve

$$G_{Ay} = \left[\frac{\sum I_g / S_g}{\sum I_c / S_c} \right]_{y-y} \quad (96)$$

$$G_{By} = \left[\frac{\sum I_g' / S_g'}{\sum I_c' / S_c'} \right]_{y-y} \quad (97)$$

Buradaki I_g ve I_g' A ve B uçlarına bağlı olan kolonların x-x veya y- y eksenlerine göre atalet momentlerini, I_c ve I_c' ise A ve B uçlarına bağlı olan kirişlerin x-x veya y- y eksenlerine göre atalet momentlerini, S_g ve S_g' kirişlere ait uzunlukları, S_c ve S_c' ise kolonlara ait uzunlukları göstermektedir. Ankastre mesnetler için G değeri 1 alınır.

x-x ve y-y eksenleri doğrultusunda burkulma boyları S_k değerleri hesaplandıktan sonra çubuklara ait narinlikler hesaplanır. Bunun için;

$$\lambda = \frac{S_k}{i_{\min}} \quad (98)$$

alınır. Buradan TS648'de bulunan ω burkulma katsayılarına ulaşılır. Burkulma için hesaplanan gerilme değeri;

$$\sigma = \frac{P \times \omega}{A} \leq \sigma_{\text{çem}} \quad (99)$$

(89) no'lu denklemde bulunan terimlerin formülleri aşağıdaki gibidir. ω için TS648 den alınan ω tablosu ST37 çeliği için program dosyasında kullanılmaktadır.

$$\sigma_{eb} = \frac{P}{A} \quad (100)$$

$$\lambda_{yb} \leq \sqrt{\frac{3 \cdot 10^7 C_b}{\sigma_a}} \quad (101)$$

ise ;

$$\sigma_{Bx} = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \lambda_{yb}}{9 \cdot 10^7 C_b} \right] \cdot \sigma_a \quad (102)$$

dir.

$$\lambda_{yb} > \sqrt{\frac{3 \cdot 10^7 C_b}{\sigma_a}} \quad (103)$$

ise;

$$\sigma_{Bx} = \left[\frac{10^7 C_b}{\lambda_{yb}^2} \right] \cdot \sigma_a \quad (104)$$

dir.

$$\sigma_{Bx} = \left[\frac{84.10^7 C_b}{S_{ky} \frac{d}{F_b}} \right] \cdot \sigma_a \quad (105)$$

dır. λ_{yb} 'nin değerine göre (102) ve (104) formülleri ile σ_{Bx} bulunur. $\sigma_{Bx} \leq 0,6 \cdot \sigma_a$ ise birde (105) formülüne göre σ_{Bx} hesaplanır. (89) formülü en kesitte basınç başlığı dolu kesit, dikdörtgene yakın formda ve alanı da çekme başlığı alanından küçük değil ise uygulanır. Burada I ve U profiller bu tanıma uymaktadır. Formüllerde geçen C_b katsayısı ise çubuğun moment düzlemine dik düzlemler içerisinde tutulan uçlar arasındaki eğilme momenti diyagramına göre hesaba katılmaktadır.

3.8.4. Kafes sistemler için burkulma gerilmesi durumu

Kafes sistemlerde karşılaşılan en elverişsiz gerilme durumu aksenal gerilme ve burkulma gerilmesi durumlarıdır. Burkulma gerilme tahkiki için Euler Burkulması kullanılmış olup ilgili hesaplamalar aşağıda sunulmuştur.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} \quad (106)$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ ise;} \quad (107)$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{kr}}{n} = \sigma_a \cdot \left[\frac{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2}{n} \right] \quad (108)$$

$$\lambda > \lambda_p \text{ ise;} \quad (109)$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_a}{2 \cdot n} = \frac{2}{5} \pi^2 \frac{E}{\lambda^2} \quad (110)$$

Yukarıdaki bağıntılarda yer alan n değeri emniyet katsayısı olup TS648 de aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\lambda < 20 \text{ ise;} \quad n=1,67 \quad (111)$$

$$\lambda_p \geq \lambda \geq 20 \text{ ise;} \quad (112)$$

$$n = 1,5 + 1,2 \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right) - 0,2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2 - 0,2 \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^3 \geq 1,67 \quad (113)$$

olarak hesaplanmıştır.

3.9. Sınırlayıcıların Amaç Fonksiyonuna Katılımı

Evrimsel Algoritmalarda sınırlayıcıların amaç fonksiyonuna katılımı, pek çok yöntem ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları;

- Ceza fonksiyonları (iç ve dış ceza fonksiyonları)
- Özel sunumlar ve operatörler
- Onarım algoritmaları
- Amaç ve sınırların ayrılması yöntemi

- Hibritleme Yöntemi

Literatürde en sık rastlanılan yöntem olan ceza fonksiyonlarının ortaya çıkışı geleneksel bir matematiksel yöntem olarak 1940'lara dayanmaktadır (Courant 1943). 1980'lerde evrimsel algoritmalara uyarlanan bu yöntem (Goldberg 1989), bugüne kadar sayısız optimizasyon özellikle de genetik algoritma probleminde kullanılmıştır. İç ve dış ceza fonksiyonları olarak da sınıflandırılabilen ceza fonksiyonlarının literatürde rastlanılan farklı çeşitleri mevcuttur. Goldberg and Samtani (1986), yine Carlson (1995), statik ceza fonksiyonlarını kullanmışlardır. Çalışmalarında dinamik ceza fonksiyonlarını kullanan (Joines and Hauck 1994) bilim adamları da vardır. Çalışma prensibini tavlama yönteminden alan (Simulated Annealing) tavlama ceza yöntemi, uyarlanmış ceza fonksiyonları ve hatta ölü ceza fonksiyonları gibi çeşitleri mevcuttur.

Programda üç farklı gerilme durumu hesaplanmakta, bunların her biri için en elverişsiz olanı normalize edildikten sonra amaç fonksiyonuna sınırlayıcı olarak katılmaktadır. Programın amaç fonksiyonu literatürden alınan ağırlık optimizasyonu için kullanılan;

$$\phi(x) = W(x) \left[1 + P. \sum_{j=1}^m c_j \right] \quad (114)$$

fonksiyonuna benzetilmiştir (Kameshki and Saka 2001). Denklem 114'te amaç, izin verilen deplasman ve gerilmelere sahip en hafif yapıyı tasarlamaktır. Çalışmada kullanılan programda, taban kesme kuvveti optimizasyonu yapıldığı için, yapı ağırlığının gerilme ve deplasman değerleri ile birlikte sınırlayıcı olarak probleme dahil edilmesi düşünülmüştür. Böylece ağırlığı sınırlanmış, üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemlerin optimum taban kesme kuvveti hesaplanmıştır. Bunun için kullanılan amaç fonksiyonu ise, (114) bağıntısı ile aynı paralelde oluşturulmuştur. Taban kesme kuvvetini optimize eden amaç fonksiyonu, yine normalize edilmiş gerilme, deplasman ve ağırlık değerlerinin ceza parametreleri olarak kullanıldığı, denklem (115)'te görüldüğü şekilde programda kullanılmıştır.

$$\phi_2(x) = T(x) \left[1 + P \cdot \sum_{j=1}^m c_j \right] \quad (115)$$

Burada $T(x)$ taban kesme kuvvetini, c_j ise ceza parametrelerini ifade etmektedir.

Bütün bu verilen bilgiler ışığında araştırma ve bulgular bölümünde ki çözümlerinin elde edilmesinde kullanılmak üzere MATLAB ortamında bir program yazılmıştır. Problemin türüne göre ağırlık veya taban kesme kuvveti optimizasyonu yapan bu program, bir ana program ile fonksiyon ve veri dosyalarından oluşmaktadır. Ana program genetik algoritma kullanarak optimizasyon ve sistem elemanlarına ait gerilme hesaplamalarını yapan programdır. Veri dosyaları ise sistem ile ilgili verilerin, aynı zamanda tasarım değişkenlerinin alındığı, profil tabloları veya probleme göre enkesit alanı değerlerini bulunduran dosyalardır. Bunların yanı sıra burkulma katsayısı değerleri de veri dosyalarında yer almaktadır. Fonksiyon dosyası ise özdeğer probleminin çözümünde kullanılan bir komutu içeren FEMODAL isimli bir programdır.

Ana program çalıştırıldıktan sonra, ilk olarak genetik algoritma kodlarla çalıştığı için enkesit alanı değerleri değer kodlamasına göre kodlanır. Bu kodlar vasıtasıyla rastgele bir populasyon oluşturulur. Genetik algoritma için populasyon sayısı çözümlerinde 10-100 arasında alınmıştır. Her bir çözümlemede sisteme ait enkesitler gruplandırmaya tabi tutulduğu için öncelikle elemanlara ait gruplandırma yapılır. Ağırlık optimizasyonu yapılan sistemlerde statik analiz, taban kesme kuvveti optimizasyonu yapılan sistemlerde ise Spektrum Davranış Analizi uygulanır. Öncelikle çerçevelerde katlararası rölatif ve tepe noktası yer değiştirmeleri, kafes sistemlerde ise düğüm noktası yer değiştirmeleri bulunur. Daha sonra üç boyutlu çerçeve sistemi oluşturan elemanlara ait aksenal gerilme, x-x ve y-y doğrultularındaki eğilme momenti değerleri ile burulma momenti değerleri, kafes sistemler için ise aksenal kuvvet değerleri hesaplanır. Deplasman ve gerilme değerleri normalize edildikten sonra amaç fonksiyonuna gönderilir. Deprem durumunun göz önüne alındığı problemlerde yapı ağırlığı da

normalize edilir ve katlara etkiyen yatay deprem kuvvetlerinin toplamı olan taban kesme kuvveti değeri de hesaplanır.

Daha sonra genetik algoritmanın işlemlerini gerçekleştirdiği bölüme geçilir. Burada genetik algoritma popülasyonu oluşturan her bir birey için amaç fonksiyonunu ve uygunluk değerlerini hesaplar. Kullandığı üreme, çaprazlama, mutasyon ve elitizm operatörleri sayesinde her adımında popülasyon üyelerini ya bir sonraki nesile gönderir veya değişiklik yaparak popülasyona yeni bireyler kazandırır. Bu değişimlerin sonunda yukarıdaki adımları gerçekleştirmek üzere, yeni hazırlanmış popülasyon üyelerinin her biri için taban kesme kuvveti, gerilme ve deplasman değerlerinin yeniden hesaplanması için program döngüsü başa döner. Popülasyon üyelerinin tamamen aynı üyelerden oluştuğu bir duruma gelinceye kadar-ki bu genetik algoritmanın optimum sonuca ulaştığını gösterir-döngü ve hesaplamalar devam eder. Elde edilen popülasyonu yani optimum sonuç olarak belirlenen sistem elemanları, deplasman, sistem ağırlığı ve taban kesme kuvveti değerlerini program kaydeder ve bir sonraki optimum sonucu tespit etmek için tamamen farklı, rastgele belirlediği yeni bir popülasyon ile yukarıda anlatılan işlemleri tekrar eder. Programa verilen döngü sayısına bağlı olarak genetik algoritma defalarca yeni başlangıç popülasyonu oluşturarak kendi içinde karar kıldığı yeni bir optimum değer hesaplar ve bunları kaydeder. Program sonunda elde edilen bu optimum sonuçlar, aralarında en minimum değer belirlenmesi amacıyla bir diyagram vasıtasıyla çizilir. Araştırma ve bulgular bölümünde yer alan ve optimum sonuçların verildiği tablolardan sonra sunulan bu diyagramlar, programın hesap sonrasında çizdiği şekillerdir. Diyagramın x ekseninde jenerasyon, y ekseninde ise, programın optimize ettiği değer; ağırlık optimizasyonu yapılıyor ise sisteme ait ağırlık, taban kesme kuvveti optimizasyonu yapılıyor ise sisteme etkiyen x ve y doğrultularındaki kat kesme kuvvetlerinin toplamından elde edilen en büyük değer, taban kesme kuvveti değeri, belirtilmektedir. X ekseninde jenerasyon ile genetik algoritmanın kendi döngüsü içinde yapmış olduğu değişikliklerle her seferinde farklı bir şekilde oluşturduğu popülasyonların değişim sayısı değil, genetik algoritmanın döngü bitiminin sonunda, optimizasyon yaptıktan sonra elde etmiş olduğu optimum sonuç sayısı kastedilmektedir. Başlangıç popülasyonu tecrübe ile oluşturulmuş sistemlerde çok sayıda optimum

sonuca kısa sürede ulaşmak mümkün iken özellikle eleman sayısı çok olan sistemlerde hesap süresi uzamıştır. Elde edilen diyagram şekillerin asimtota yakın şekilli olabilmesinin sağlanması tecrübe ile başlangıç populasyon havuzunun düzenlenmesi sayesinde sağlanmıştır.

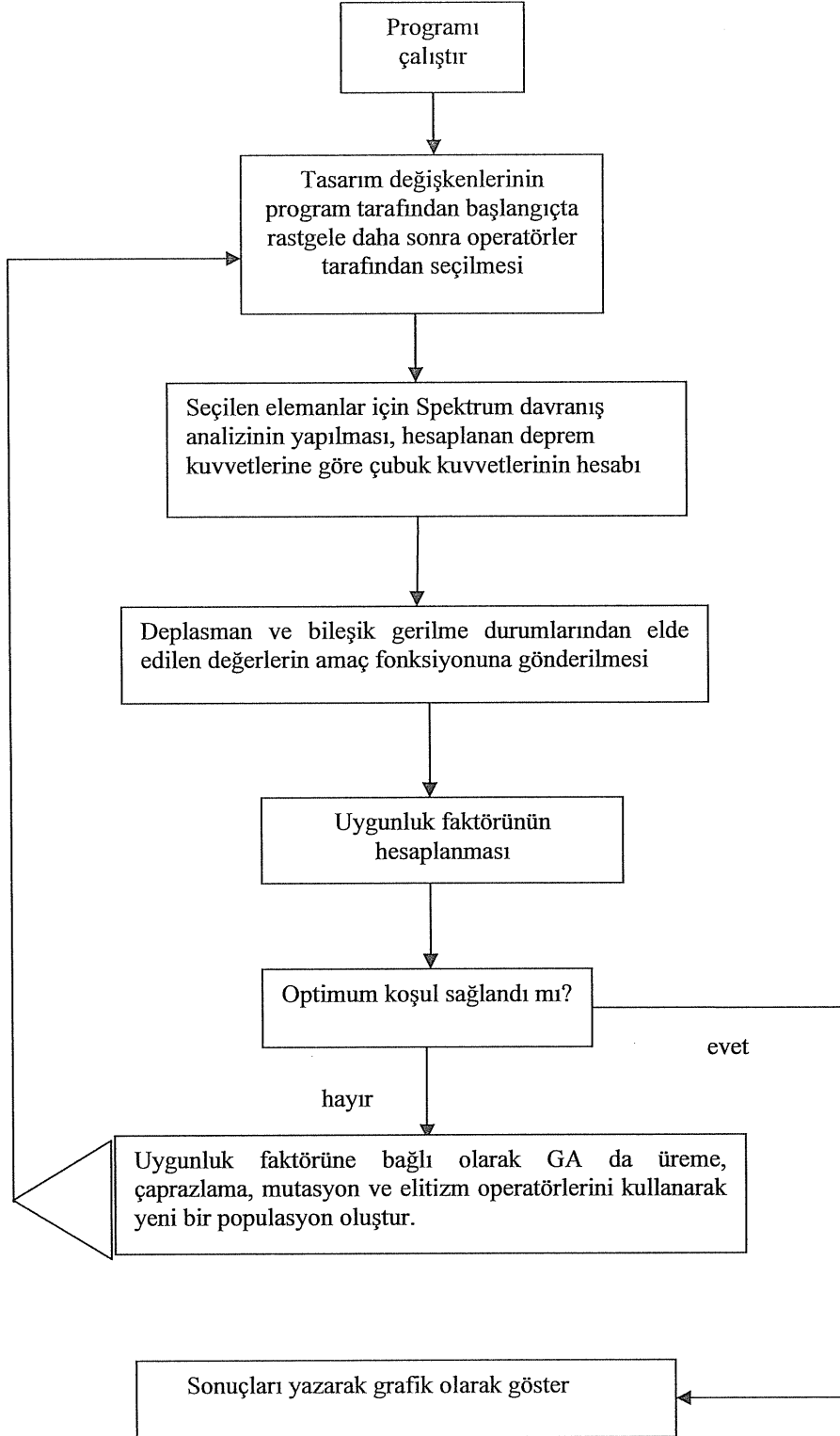
Taban kesme kuvveti optimizasyonu yapılan örneklerde Spektrum Davranış Analizi yöntemi kullanılarak elemanlara ait gerilme, deplasman ve taban kesme kuvveti değerleri hesaplanmıştır. Bunun için herhangi bir depreme ait deprem kaydı kullanılması gerekmektedir. Çalışmada El Centro depremi deprem kayıtları kullanılarak spektrum davranış analizi yapılmış olup üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemlerin, genetik algoritma ile optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu kayıt yerine istenilen başka bir deprem kaydı kullanabilmekte mümkündür. Uzay çerçeve sistemler için ilk altı mod hesaba katılırken, hesap süresinin ve işlem yoğunluğunun azlığından dolayı uzay kafes sistemlerde bütün mod şekilleri göz önüne alınmıştır. Bütün mod şekilleri ile kastedilen sistem serbestlik derecesinin sayısıdır. Çünkü her bir sistem en fazla serbestlik derecesi kadar mod sayısına sahip olur.

Optimizasyon problemlerinde tasarım değişkenleri problemin en önemli unsurlarından biridir. Programda genetik algoritma için populasyon havuzunda kullanılacak tasarım değişkenleri sistemi oluşturan elemanlara ait en kesitlerdir. Bu kesitler çerçeveler için I profil, kafes sistemler için köşebent elemanlar ve herhangi bir enkesit alan tablosundan alınmış enkesitler olup program tarafından seçilmiştir.

Optimizasyon için kullanılan genetik algoritma programında literatürde görülen üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin yanı sıra en iyi bireyi kaybetmemek için elitizm operatörü kullanılmıştır. Çaprazlama ve mutasyon için çok noktalı çaprazlama ve mutasyon yöntemleri kullanılmıştır. Genetik algoritma içine ceza fonksiyonunun etkinliğini artıran özel sınırlayıcılar da eklenmiştir. En kesitler değer kodlaması ile kodlanmıştır. Çözümlenmeler için kullanılan üç boyutlu sistemler literatürden alınmış ve ağırlık optimizasyonu ile ilgili bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Aşağıda programa ait algoritma sunulmuştur. Uzay çerçeve sistemler için eğilmeli burulma, eğilmeli burkulma ve çekme gerilmesi hesapları yapılırken uzay kafes sistemler için çekme gerilmesi ve Euler burkulması hesabına göre burkulma gerilmesi kullanılmıştır. Gerilme ve deplasman sınırları literatürdeki örneklerle aynı alınmıştır.

Yukarıda program ile ilgili bilgiler özetlenecek olursa MATLAB dilinde yazılmış olan ve çalışmada kullanılan bu program her türlü üç boyutlu çerçeve ve kafes yapı olarak modellenmiş sisteme uygulanabilmektedir. İstenilen profil tablosu veya alan cinsinden enkesit alınarak hesap yapılabilir. Deprem kayıtları değiştirilebilir. Genetik algoritması oldukça etkinleştirilmiş olup daha kısa sürede, çok sayıda optimum sonuca ulaşabilmekte ve bu sayede, genetik algoritmanın rastgele araştırma sonucu karar kıldığı bir çok optimum arasından karar verebilme imkanı tanımaktadır. Analizler her problem için yedi kez tekrarlanmış olup böylece elde edilen sonuçlar üzerinden çeşitli yargılara ulaşabilme sağlanmıştır. Yedi kez deneme yapılması Papadrakakis *et al.* (2001)'den örnek alınmıştır. Tasarımların bazılarında birkaç kez aynı sonuçların elde edilmesi üzerine popülasyon genişliği değiştirilerek farklı sonuçların bulunmasına gayret sarf edilmiştir. Hesap sürelerindeki farklılıklar bu nedenle ortaya çıkmıştır. Şekil 3.9'da program akış şemasına yer verilmiştir.

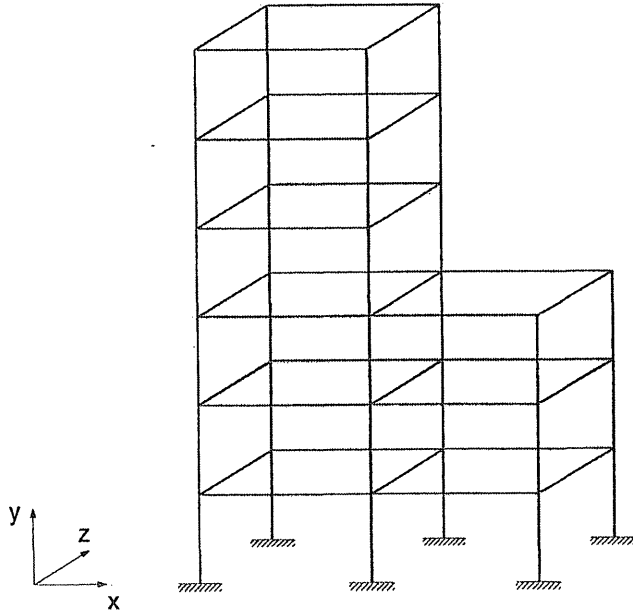


Şekil 3.9. Program akış şeması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

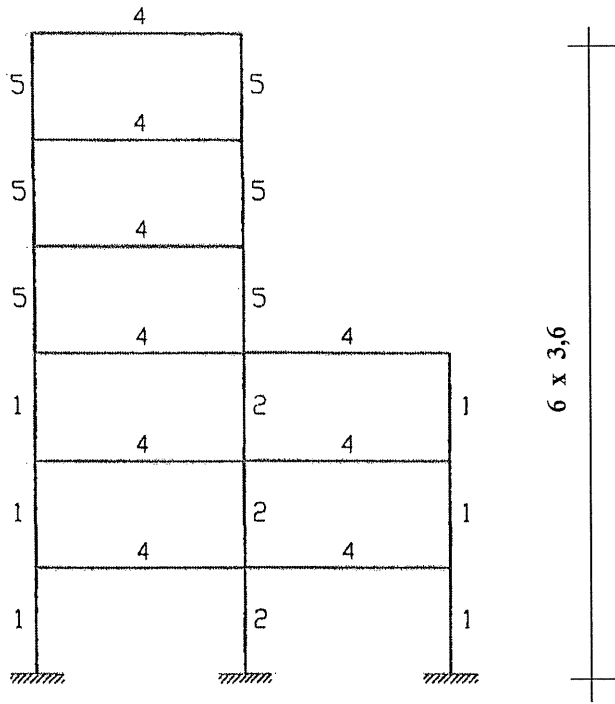
4.1. Altmış Üç Elemanlı Çerçeve Sistemin Optimum Ağırlığa Göre Tasarımı

Bu bölümde literatürden alınan optimum tasarım problemlerinden spektrum davranış analizini kullanan Papadrakakis *et al.* (2001) çalışmasından alınan 63 elemanlı uzay kafes sistem mevcut programla yeniden tasarlanacaktır. Papadrakakis *et al.* (2001) optimizasyon yöntemi olarak evrimsel algoritmaları kullanmıştır. Genetik algoritmada olduğu gibi rastgele araştırma yöntemlerinden biri olan evrimsel stratejiler yöntemini kullanan Papadrakakis *et al.* (2001), spektrum davranış analizi ve zaman tanım analizi ile deprem yüküne maruz bıraktığı sistemleri karşılaştırmıştır. Tasarımda kullanılan tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılar Papadrakakis *et al.* (2001) kullandığı sistem (Şekil 4.2) ile ilgili aynı olup, tasarım değişkeni olarak I profilleri kullanılmış, boyut optimizasyonu yapılarak sistem ağırlığı optimize edilmeye çalışılmıştır.

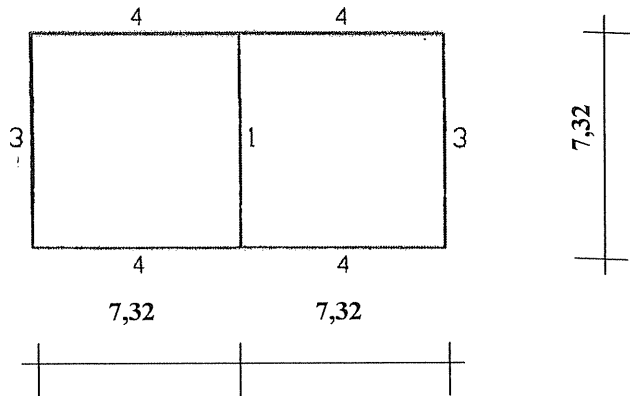


Şekil 4.1. Altmışüç elemanlı çerçeve (Papadrakakis *et al.* 2001)

Paparakakis *et al.* (2001)'den alınan bu örnekte elastisite modülü 200 GPa, akma gerilmesi 250 MPa, aksenal gerilme sınırı 150 MPa ve bileşik gerilme sınırı 165 MPa'dır. Sistem elemanları beş gruba ayrılmıştır. Yüklemeler kat seviyelerinde 19,16 kPa yayılı yük ile ön yüzeyden kat seviyelerine düğüm noktalarından yatay olarak etkiyen 109 kN tekil statik yüklerdir. Analiz için spektrum davranış analizi kullanılmıştır. Optimizasyon yöntemi ise evrim algoritmaları yöntemidir. Sistem elemanlarının gruplandırılması Şekil 4.3'te verilmiştir.

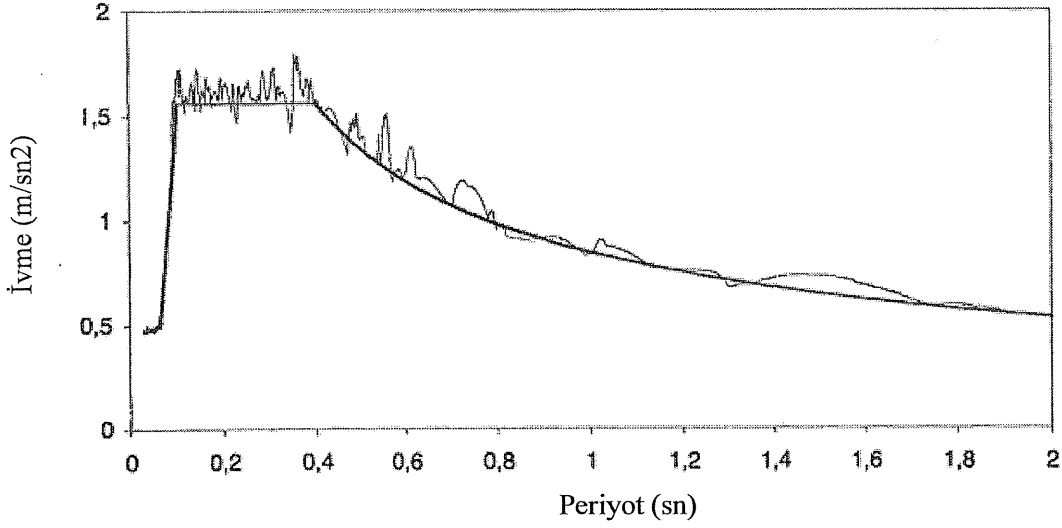


Şekil 4.2. Altmış üç elemanlı çerçevenin gruplandırılması(Papadrakakis *et al.*) (2001)



Şekil 4.3. Altmış üç elemanlı çerçevenin gruplandırılması-kesitte- (Papadrakakis *et al.* 2001)

Yapının elastik davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Sönüm oranı %2,5'tir. Tasarım sınırlayıcıları olarak, katlar arası rölatif yer değiştirme ve yapı tepe noktası yer değiştirmesi 0,045 m ile sınırlandırılmış olup çekme gerilmesi, eğilmeli burkulma ve eğilmeli burulma bileşik gerilme durumları deplasmana ek olarak sınırlayıcılara katılmıştır. Analizde kullanılan spektrum eğrisi aşağıda Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil.4.4. Papadrakakis'in kullandığı spektrum davranış eğrisi (Papadrakakis *et al.* 2001)

Papadrakakis Zaman Tanım Alanı yaklaşımı kullanarak aşağıdaki optimum sonuçlara ulaşmıştır. (Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1. Papadrakakis Zaman Tanım Alanı Analiz Sonuçları

Şema	Opt. Ağırlık (kN)	Süre (Sn)	Jenerasyon sayısı	Sonlu Eleman Analiz Sayısı
(3+3)	863	9839	65	135
(3+5)	917	11308	35	113
(5+3)	963	12816	56	123
(5+5)	944	13818	40	142
(5+10)	835	20574	38	248
(10+5)	824	29363	78	306
(10+10)	844	32130	48	381

Aynı şekilde Papadrakakis *et al.* (2001)'de, spektrum davranış analizi yöntemi kullanarak da örnek sistemi çözümlenmiş ve aşağıdaki optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Sistemin doğrusal davranışının ele alındığı bu çözümlemede Çizelge 4.1'e göre daha yüksek ağırlık değerlerine ulaşılmıştır. Papadrakakis *et al.* (2001) evrim stratejileri denilen bir yöntemi kullandığı için Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 de şema adı ile geçen analiz biçimleri bu optimizasyon yöntemi ile ilgilidir.

Çizelge 4.2. Papadrakakis *et al.* (2001) spektrum davranış analizi sonuçları

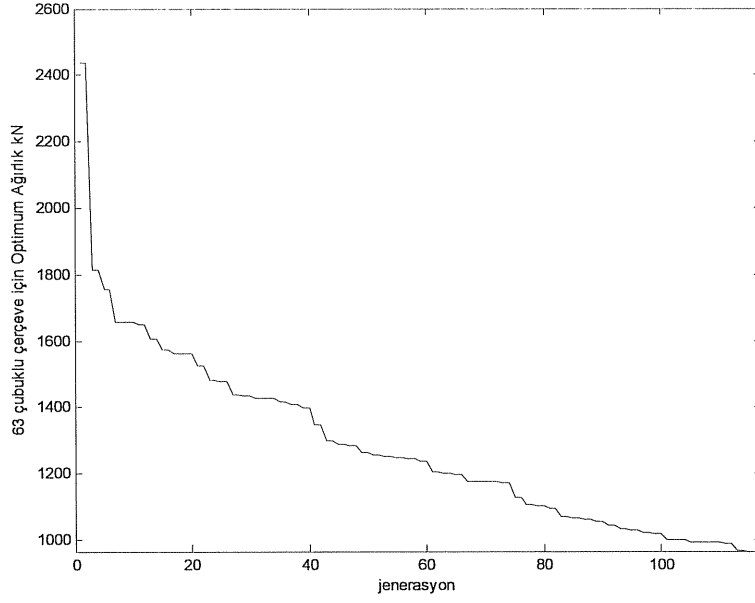
Şema	Opt. Ağırlık (kN)	Süre (Sn)	Jenerasyon sayısı	Sonlu Eleman Analiz Sayısı
(3+3)	1207	3110	37	82
(3+5)	1103	3527	29	92
(5+3)	1082	9853	127	299
(5+5)	1126	5674	40	157
(5+10)	1165	4897	18	130
(10+5)	1253	4154	23	109
(10+10)	1108	8646	29	235

Aşağıda Papadrakakis *et al.* (2001)'de, spektrum davranış analizi yöntemi kullanılarak ağırlık optimizasyonu yapılan sistem, aynı şartlar altında mevcut program ile yeniden çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'te ve her bir optimizasyon sonucu bulunan jenerasyon-optimum ağırlık grafikleri Şekil 4.5-Şekil 4.11 arasında aşağıda sunulmuştur. Bu şekiller incelendiğinde yedi farklı çözüme ait jenerasyon- optimum ağırlık eğrilerinin yataya yaklaşarak çözüme ulaştığı görülmektedir. Başlangıç neslinin oluşumunda kullanılan, profil tablosundan elde edilen başlangıç nesli havuzunun iyi seçilmesi, eğrinin yataya yaklaşmasında önemli rol oynamaktadır. Bu seçimin gerçekleştirilmesinde, yapılan birçok deneme çalışması sonucu elde edilen tecrübenin büyük önemi vardır.

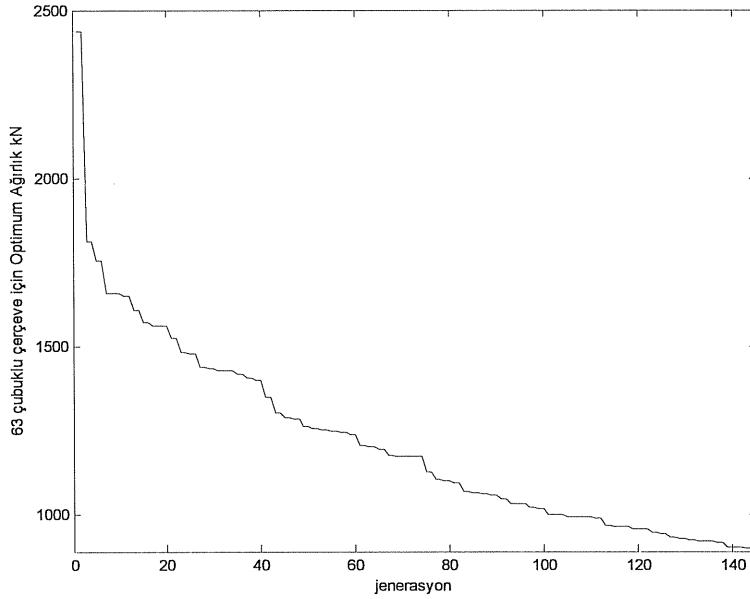
Çizelge 4.3. Altmış üç elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler (Ağırlık optimizasyonu)

Tasarım no	Ağırlık (kN)	Deplasman (m)	Kesitler (I Profil)					Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
			I.Grup	II.Grup	III.Grup	IV.Grup	V.Grup		
1	965	0,000142	W14x455	W21x147	W21x93	W24x84	W24x131	643	156
2	890	0,001703	W14x132	W14x257	W14x233	W14x176	W14x120	596	145
3	962	0,000967	W14x176	W14x426	W14x132	W14x176	W14x211	474	115
4	1020	0,002270	W14x159	W14x132	W14x257	W14x132	W14x426	407	99
5	814	0,002698	W14x176	W14x145	W14x145	W14x132	W14x233	688	167
6	1033	0,010532	W14x233	W14x132	W14x342	W14x145	W14x132	655	159
7	955	0,006081	W14x211	W14x342	W14x132	W14x193	W14x120	495	120

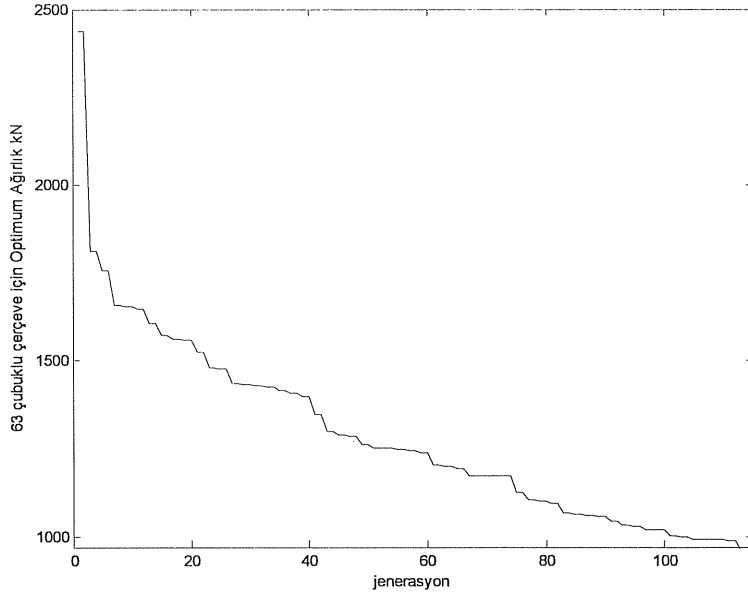
Çalışmada yukarıda verilen 63 elemanlı uzay çerçeve sistem ağırlığa göre yeniden optimize edilmiştir. Yapılan optimizasyon çalışmasında tüm veriler Papadrakakis *et al.* (2001) ile aynı şekilde alınmıştır. Çalışmada ilk 6 mod için hesaplama yapılmıştır. Farklı olarak eğilmeli burulma gerilme sınırlayıcısı da kullanılmıştır. Çizelge 4.3'te tasarım sonuçları verilen sistem ile ilgili elde edilen değerler daha çok zaman tanım alanı ile elde edilen değerlere yakın çıkmıştır.



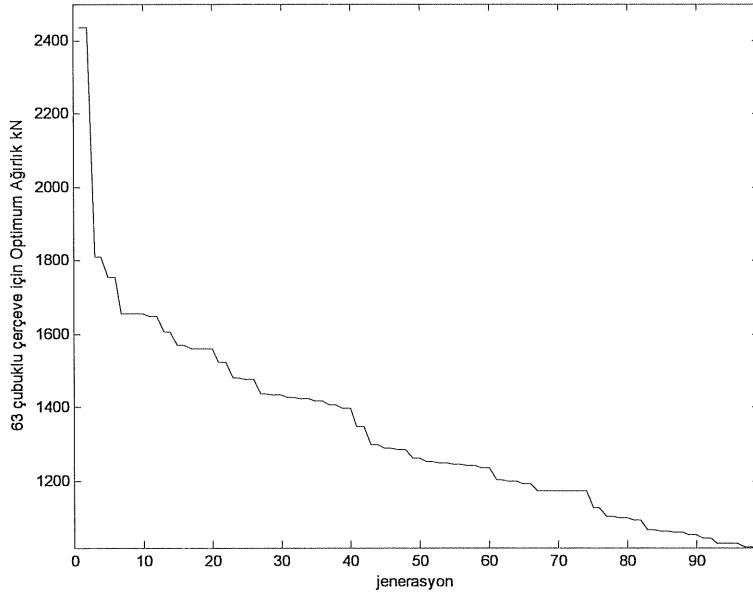
Şekil.4.5. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 156)



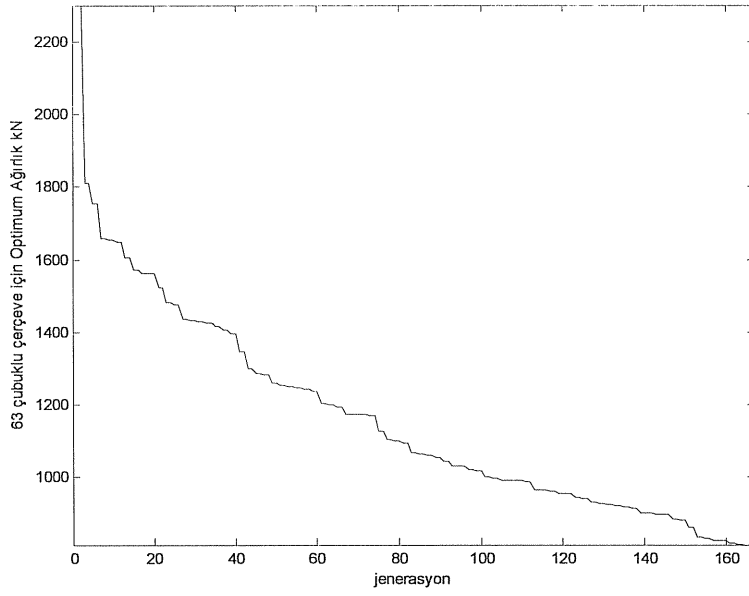
Şekil.4.6. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 145)



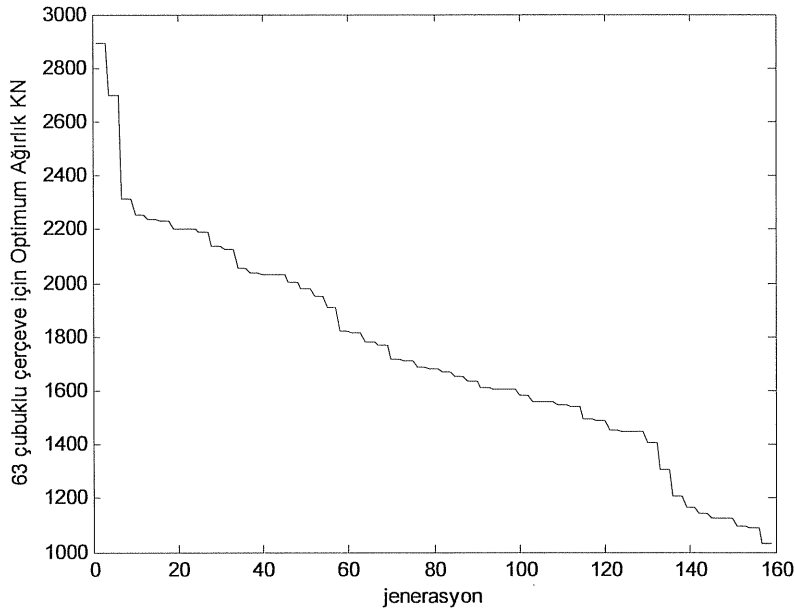
Şekil.4.7. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 115)



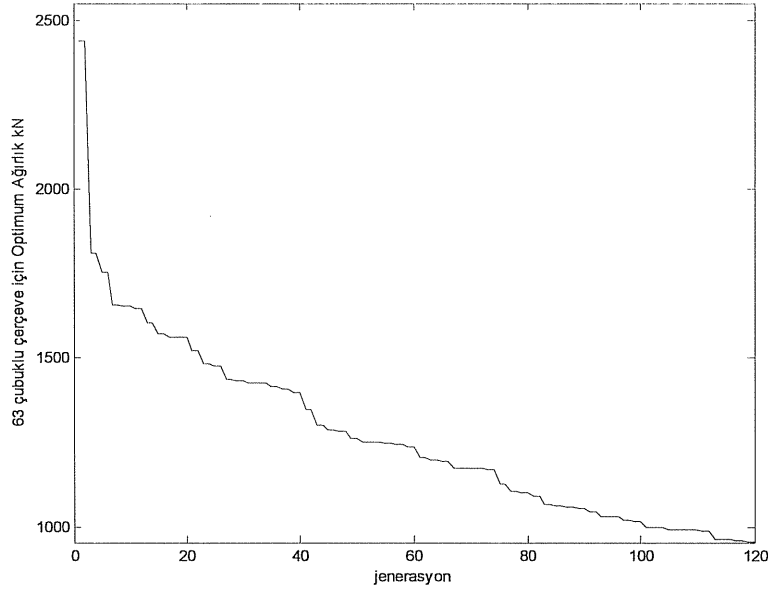
Şekil.4.8. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 99)



Şekil.4.9. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 167)



Şekil.4.10. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 159)



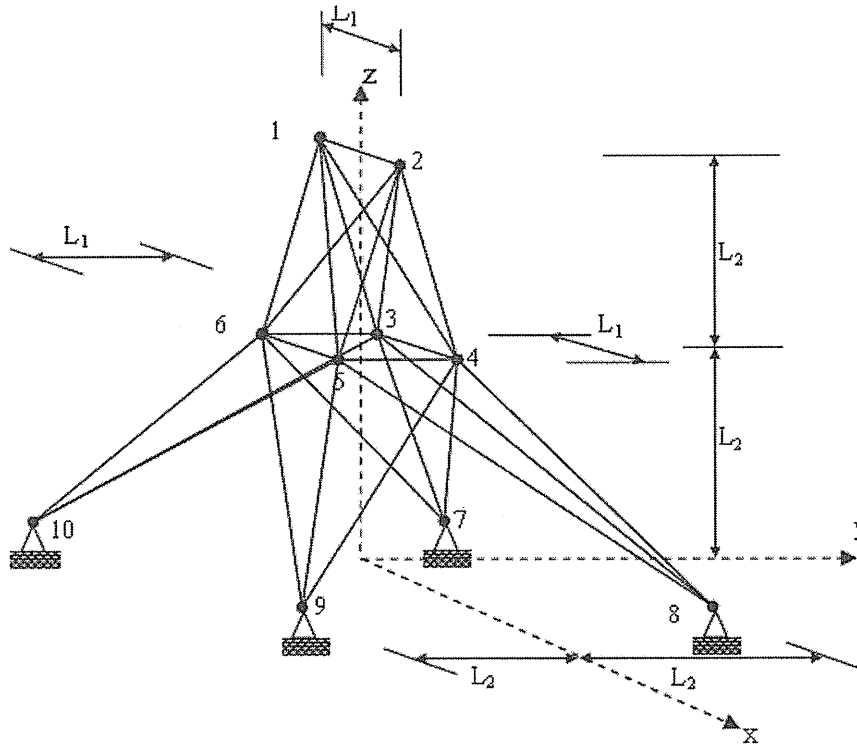
Şekil.4.11. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 120)

Çizelge 4.3'te görülen 63 elemanlı uzay çerçeve sistem için elde edilen 7 farklı tasarımda en düşük ağırlık 814 kN en yüksek ağırlık ise 1033 kN olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Papadrakakis *et al.* (2001) ile yani birebir aynı şartlarda tasarlanmış spektrum davranış analizi uygulanan sistemlerle kıyaslandığında yaklaşık %25 daha hafif bir yapı elde edilmiştir.

Papadrakakis <i>et al.</i> (2001)	Bu çalışma (2011)	FARK (%)
1082 kN	814 kN	24,7

4.2. 25 Elemanlı Kafes Sistem Tasarımı

Şekil 4.12’de görülen sistem literatürde Rajaev and Krishnamoorty (1992); Wu and Chow (1995); Toğan ve Daloğlu (2006); Dede *et al.* (2009) gibi, çok sık karşılaşılan uzay kafes sistemlerden biridir. $L_1 = 1,905$ m, $L_2 = 2,54$ m’dir. Çekme ve basınç gerilmesi için izin verilen sınır gerilme 275,79 MPa, deplasman sınırı ise 0,00889 m, birim hacim ağırlığı $\rho = 2768$ kg/m³ kabul edilmiştir. Çalışmada sistem elemanlarının enkesit alanları tasarım değişkeni olarak alınmıştır. 25 elemanlı uzay kafes sistemin eleman gruplandırması Çizelge 4.4’te sunulmuştur.



Şekil.4.12. 25 elemanlı uzay kafes sistem (Dede *et al.* 2009)

Sistem için Euler burkulma gerilme durumu dikkate alınmıştır. Çizelge 4.6’da yapılan çözümlerinde birebir Dede *et al.* (2009) ve Toğan ve Daloğlu (2006) makalelerinde sunulan yöntem ve sınır şartları göz önünde bulundurulmuştur. Sistem ile ilgili bilgiler Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge.4.4. 25 elemanlı uzay kafes sistemin gruplandırması (Dede *et al.* 2009)

Eleman No	i ucu	j ucu	Grup No	Eleman No	i ucu	j ucu	Grup No
1	1	2	1	14	3	10	6
2	1	4	2	15	6	7	6
3	2	3	2	16	4	9	6
4	1	5	2	17	5	8	6
5	2	6	2	18	4	7	7
6	2	4	3	19	3	8	7
7	2	5	3	20	5	10	7
8	1	3	3	21	6	9	7
9	1	6	3	22	6	10	8
10	6	3	4	23	3	7	8
11	4	5	4	24	4	8	8
12	3	4	5	25	5	9	8
13	6	5	5				

Çizelge.4.5. 25 elemanlı uzay kafes sistemin yükleme durumu

Düğüm no	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)
1	43,636	-436,36	-436,36
2	0	-436,36	-436,36
3	21,818	0	0
6	26,181	0	0

25 çubuklu uzay kafes sistemin literatürden alınan ağırlık optimizasyon değerleri Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Burada üç boyutlu kafes sistem statik analize tabi tutulmuştur. Çalışmada boyut optimizasyonu yapılmıştır. Sistem elemanlarına ait enkesitler gruplara göre belirlenmiştir. Tasarım değişkenleri ayrık değişkenler olup enkesit alanları değer kodlaması kullanılarak operatörlerin işlemlerine tabi tutulmuştur. Kafes sistemlerin analizi için matris deplasman yöntemi kullanılmıştır. GA programı gerilme ve yerdeğiştirme sınırlayıcılarını dikkate almaktadır. Burkulma analizi için TS648 de yer alan Euler burkulma hesapları kullanılmıştır.

Çizelge.4.6. Dede *et al.* (2009) den alınan literatür sonuçları

A (m ²) *10 ⁻³	Rajaev <i>et al.</i> (1992)	Rajaev <i>et al.</i> (1992)	Zhu (1986)	Erbatur <i>et al.</i> (2000)	Erbatur <i>et al.</i> (2000)	Coello <i>et al.</i> (1994)	Cao (1996)	Dede <i>et al.</i> (2009)
A1	0,129	0,06451	0,06451	0,06451	0,06451	0,06451	0,06451	0,129
A2	1,161	1,16128	1,22580	0,06451	0,77419	0,45161	0,32258	1,161
A3	1,484	1,48386	1,67741	2,19354	2,06451	2,06451	2,19354	1,484
A4	0,129	0,12903	0,06451	0,12903	0,06451	0,06451	0,06451	0,129
A5	0,0645	0,06451	0,06451	0,38709	0,06451	0,90322	1,22580	0,064
A6	0,516	0,51612	0,51612	0,70967	0,58064	0,70967	0,58064	0,516
A7	1,161	1,16128	1,354836	0,580644	0,258064	0,32258	0,32258	1,161
A8	1,935	1,93548	1,677416	1,93548	2,193544	2,193544	2,193544	1,935
Ağırlık (kN)	2,43	2,42	2,50	2,29	2,19	2,19	2,15	2,15

Çizelge 4.6'da çözümlenmeleri yapılmış ve ağırlıkları kN'a çevrilmiş olan 25 çubuklu kafes sistem, literatürde kullanılan aynı gerilme ve deplasman sınırlayıcıları kullanılarak genetik algoritma ile yeniden optimize edilmiştir. Sistem analizinde matris deplasman yöntemi kullanılmış, statik yükleme yapılmıştır. Programın kullandığı değişkenler ayrık değişkenler olup elemanların enkesit alanlarıdır. Başlangıç toplumu literatürde çözüm olarak bulunan enkesitlerin de dâhil olduğu bir topluluk olarak seçilmiştir. Programın sonuçları Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. 25 elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre enkesit alanları (Dede *et al.* 2009 daki şartlara göre)

Tasarım No	Gruplara Göre Kesitler (m ²)							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	0,002065	0,000774	0,000774	0,002090	0,000645	0,000774	0,001355	0,000645
2	0,001652	0,001613	0,000645	0,001613	0,002090	0,001355	0,000452	0,000968
3	0,001652	0,000452	0,000774	0,001355	0,002090	0,000194	0,000194	0,001677
4	0,000774	0,001652	0,000194	0,002452	0,001355	0,000645	0,000645	0,001355
5	0,001355	0,000968	0,001613	0,001677	0,001806	0,000194	0,000645	0,000645
6	0,000774	0,001677	0,001677	0,000645	0,003871	0,000645	0,000645	0,000645
7	0,001355	0,001677	0,002090	0,001355	0,003716	0,000194	0,000645	0,000194

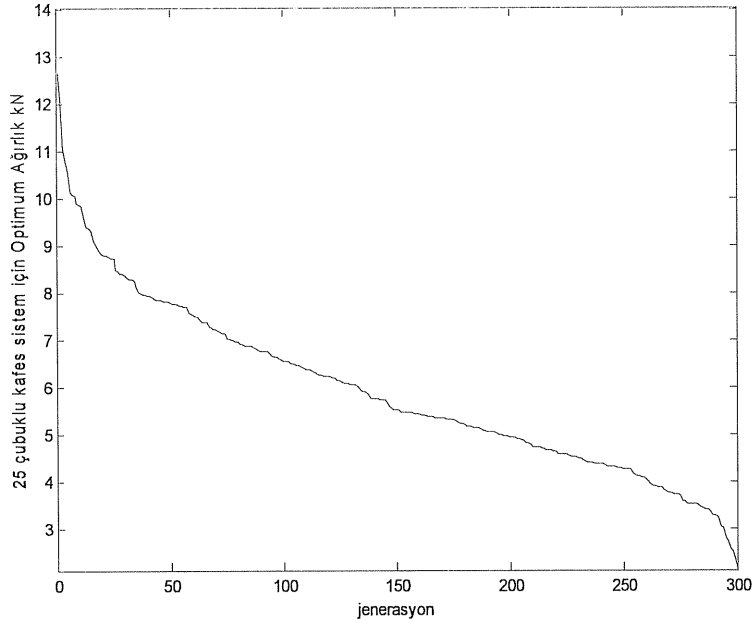
Yukarıda Çizelge 4.7’de gruplara göre enkesitleri verilmiş olan 25 elemanlı uzay kafes sistemlere ait optimum ağırlık, deplasman ve hesap süreleri Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. 25 elemanlı uzay kafes sistemin tasarım sonuçları (Dede *et al.* 2009' daki şartlara göre)

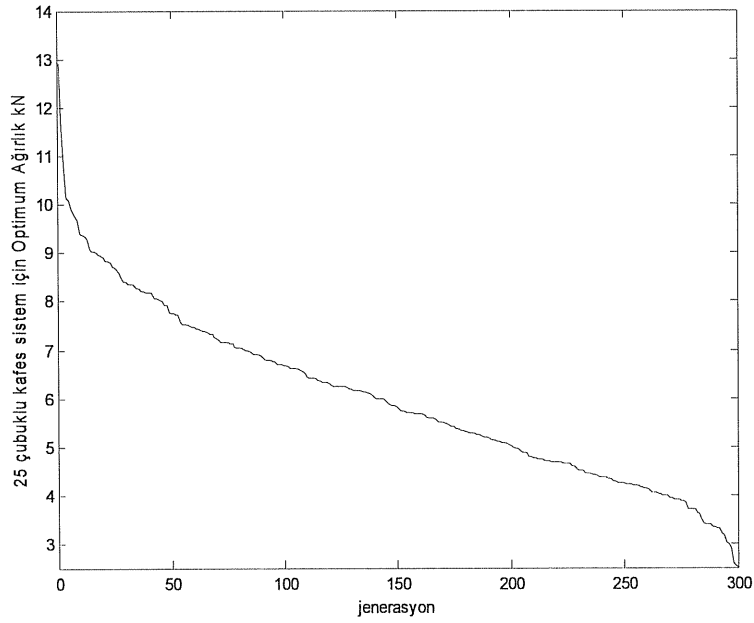
Tasarım no	Ağırlık (kN)	Deplasman (m)	Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
1	2,196	0,001061	295,28	300
2	2,49	0,000778	293,04	300
3	1,64	0,002947	296,02	300
4	2,22	0,001354	293	300
5	1,91	0,001691	294,49	320
6	2,48	0,000996	291,38	300
7	2,3	0,002601	290,41	300

Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi optimum ağırlıklar 2,49 kN ile 1,64 kN arasında değişmektedir. En düşük ağırlık olan 1,64 kN değeri Çizelge 4.6' da sunulan en küçük ağırlık değerine göre yaklaşık %24 daha hafiftir. Maksimum yatay deplasman değerleri verilen tasarımların hesap süreleri oldukça kısadır. Çizelge 4.8'de sunulan yedi farklı tasarıma ait jenerasyon-optimum ağırlık eğrileri şekil 4.13-4.19 arasında sunulmuştur.

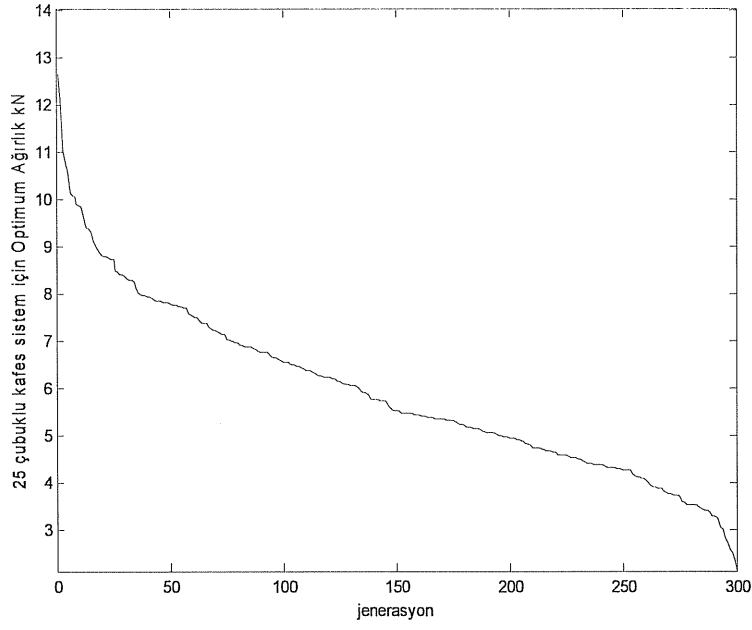
Dede <i>et al.</i> (2009)	Bu çalışma (2011)	FARK (%)
2,15 kN	1,64 kN	24



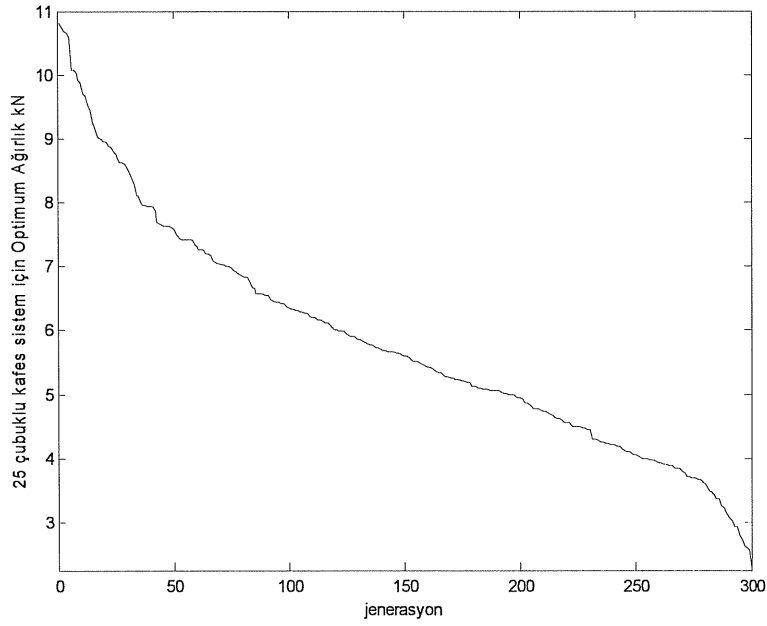
Şekil.4.13. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 300)



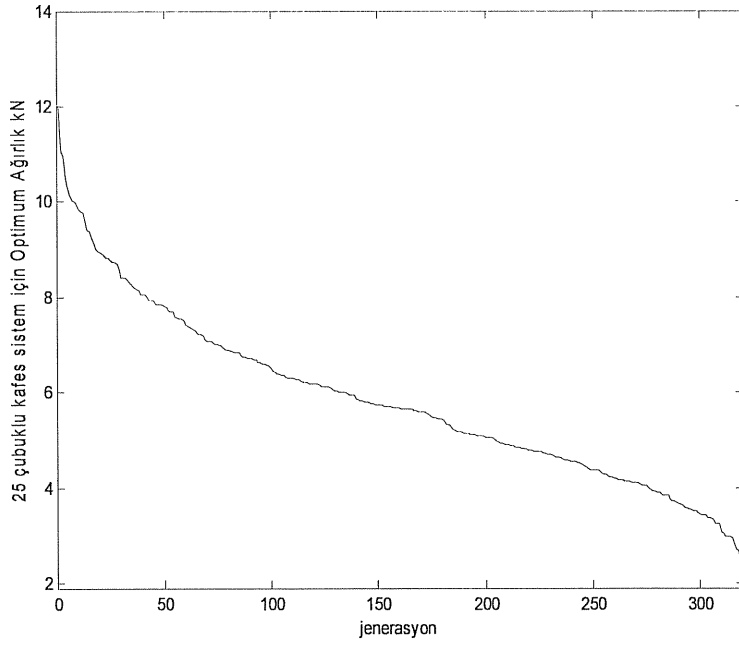
Şekil.4.14. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 300)



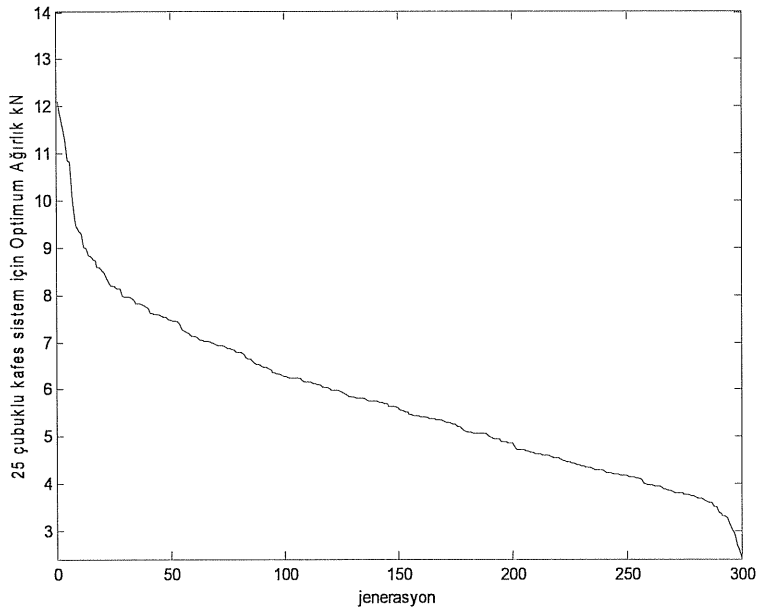
Şekil.4.15. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 300)



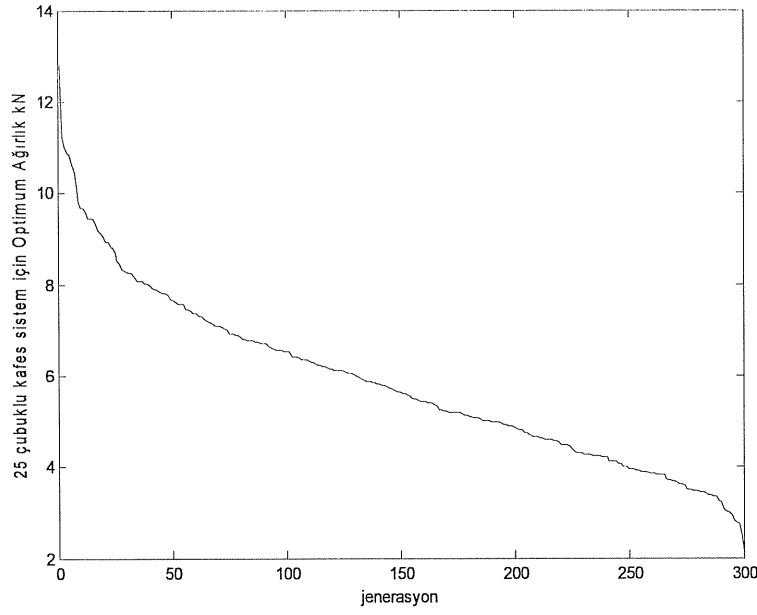
Şekil.4.16. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 300)



Şekil.4.17. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 320)

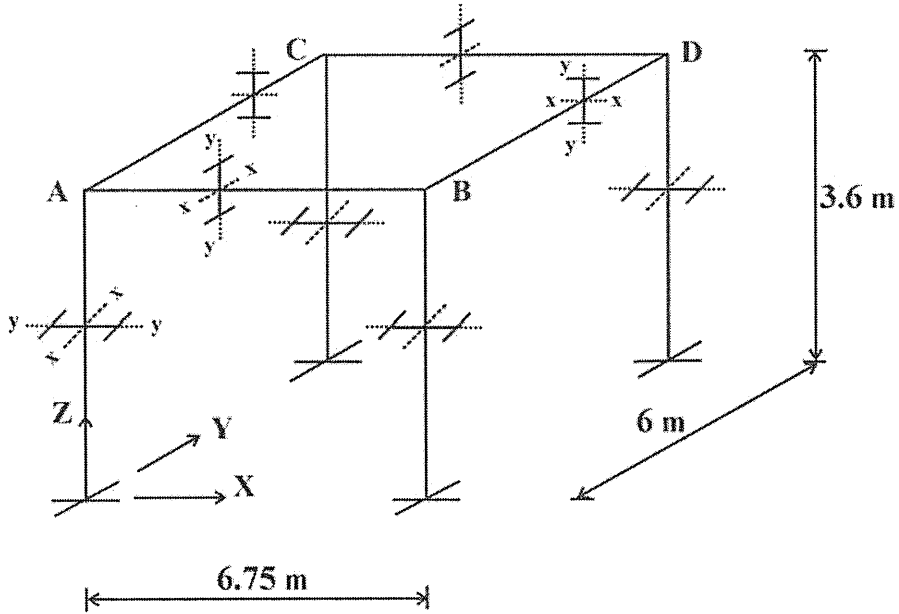


Şekil.4.18. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 300)



Şekil.4.19. 25 elemanlı kafes sistem için jenerasyon-optimum ağırlık eğrisi (optimum sonuç sayısı: 300)

4.3. Sekiz Elemanlı Uzay Çerçeve Tasarımı



Şekil.4.20. Sekiz elemanlı üç boyutlu çerçeve (Değertekin vd 2006)

Şekil 4.20’de görülen sistem, sekiz elemanlı tek katlı üç boyutlu bir çelik çerçevedir. Bu uzay çelik çerçevenin elemanları üç gruba ayrılmıştır. 1’nci grup; sistemin X doğrultusundaki kirişleri, 2’nci grup; sistemin Y doğrultusundaki kirişleri, 3’ncü grup ise, kolon elemanlardan oluşmaktadır. Şekil 4.9’da görülen sistemde AB yüzeyi rüzgârın basınç, DC yüzeyi ise emme olarak etkidiği yüzey olarak kabul edilmiştir. Çalışmada sisteme spektrum davranış analizi uygulanmıştır. Yükleme için ölü yük $G=3,36 \text{ kN/m}^2$, hareketli yük $Q=2,4 \text{ kN/m}^2$, çatı hareketli yükü $Q_r=2,4 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Yük kombinasyonu için $1,2G+1,6Q+0,5Q_r$ formu kullanılmıştır. Yükleme ve yük kombinasyonu ile ilgili değerler Değertekin *et al.* (2008)’den alınmıştır. Tasarım değişkeni olarak enkesit alanları kullanılmış olup bu değerler çelik I profil tablosundan seçilmiştir. Değertekin vd (2006)’ın doğrusal olmayan davranışa göre modellediği ve statik yüklemeye maruz bıraktığı bu sistem, tabu araştırma ve genetik algoritma optimizasyon yöntemlerini kullanarak optimize edilmiştir. Ağırlık optimizasyonu yapan iki yöntemin tasarım sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

Çizelge 4.9. Değertekin vd (2006) tasarım sonuçları

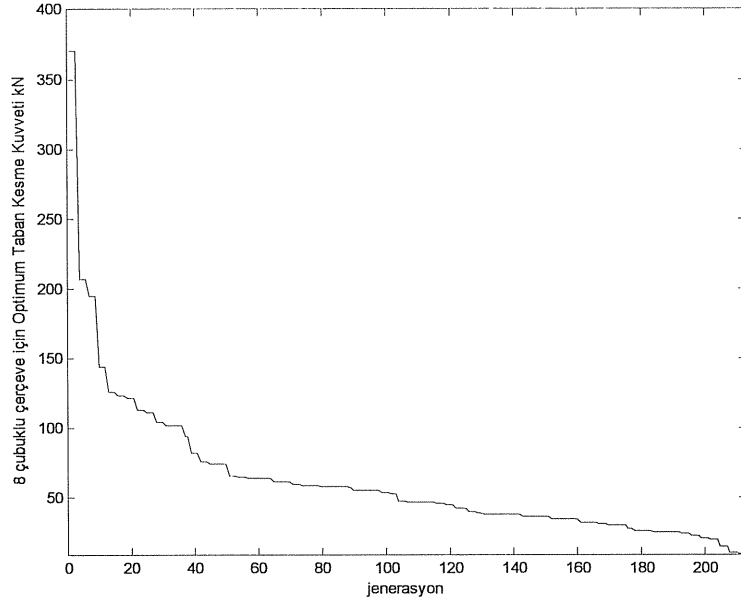
Grup No	Tabu Araştırma I	Tabu Araştırma II	Genetik Algoritma
1	W12x35	W18x35	W12x35
2	W14x38	W18x35	W8x31
3	W12x35	W12x35	W14x48
Ağırlık (kN)	20,90	20,38	22,41

Aşağıda sekiz elemanlı uzay çerçevenin spektrum davranış analizine göre taban kesme kuvveti optimizasyonu yapılmış olup ilk altı mod hesaba katılmıştır. Sistem farklı sınır gerilme durumlarına göre optimize edilmiştir. Öncelikle sınır gerilme Değertekin vd (2006)’daki gibi $248211,28 \text{ kN/m}^2$ alınarak optimizasyonu yapılmış ve buna ait tasarım sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

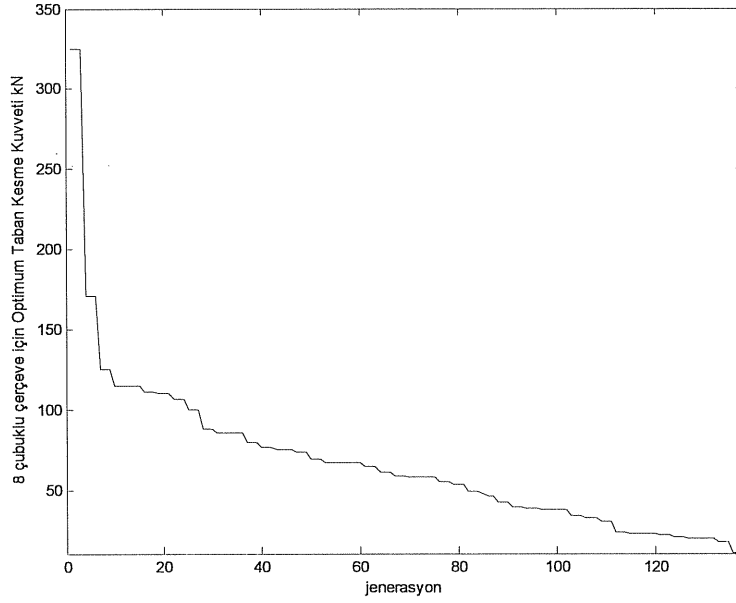
Çizelge 4.10. Sekiz elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler (sınır gerilime 248211,28 kN/m² olan sonuçlar)

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Ağırlık (kN)	Katlararası max. Deplasman (m)	kesitler			Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
				I.Grup	II.Grup	III.Grup		
1	9,048	23,53	0,001184	W8x48	W10x54	W10x22	1081	213
2	11,64	22,219	0,002444	W10x39	W12x35	W8x40	679	138
3	12,97	15,90	0,003498	W14x48	W10x26	W10x9	683	157
4	12,60	16,77	0,003600	W8x35	W10x30	W10x22	688	137
5	5,37	17,40	0,001299	W8x40	W8x28	W10x22	683	115
6	10,12	20,68	0,001542	W10x49	W8x21	W8x35	686	132
7	11,64	22,219	0,002444	W10x39	W12x35	W8x40	680	111

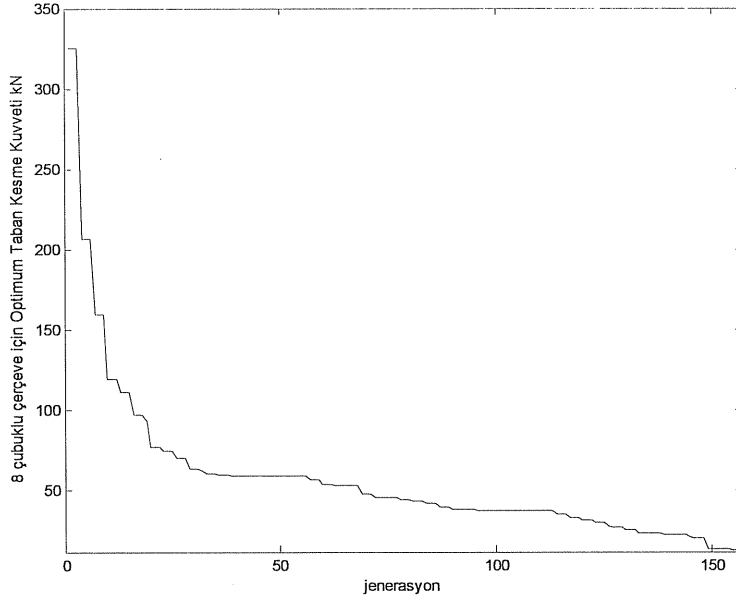
Çizelge 4.10 incelendiğinde en düşük taban kesme kuvvetinin 5,37 kN, en yüksek taban kesme kuvveti değerinin ise 12,97 kN olarak hesaplandığı görülmektedir. Tasarım sonuçlarından 2 ve 7 no'lu tasarımlar aynı bulunmuştur. Ağırlık değerleri ise 15,90 kN ile 23,53 kN arasında değişmektedir. Taban kesme kuvveti değeri en düşük hesaplanan 5 no'lu tasarımda, kolon enkesit alanı kirişlere göre daha büyük tasarlanmıştır. Genetik algoritmanın rastgele çalışmasından dolayı kolon enkesit alanı kirişlerden daha küçük atanan sistemlerde taban kesme kuvveti daha büyük hesaplanmıştır. Çizelge 4.10'da verilen tasarım sonuçları Şekil 4.21-Şekil 4.27 arasında grafik olarak verilmiştir. Grafikler jenerasyon- optimum taban kesme kuvveti eğrilerini ifade etmektedirler. Eğrilerin jenerasyona göre gelişme durumu, giderek yakınsadıklarını göstermektedir.



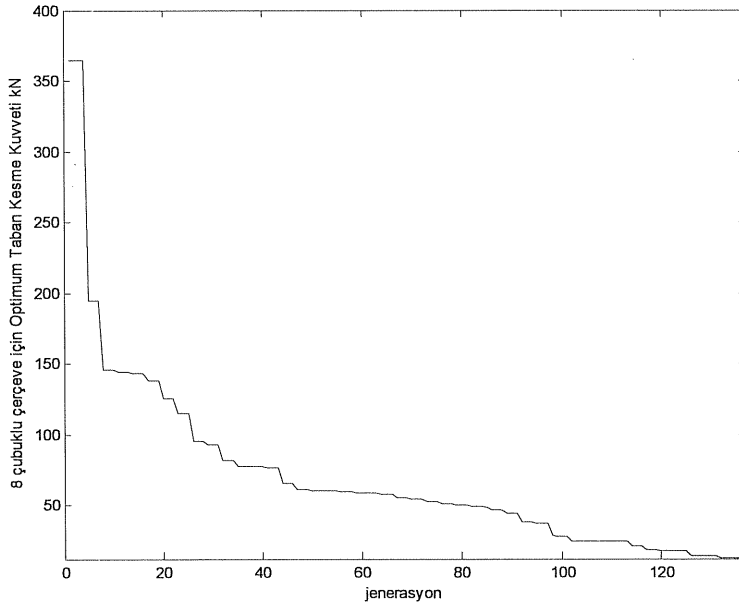
Şekil.4.21. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kuvveti kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 213)



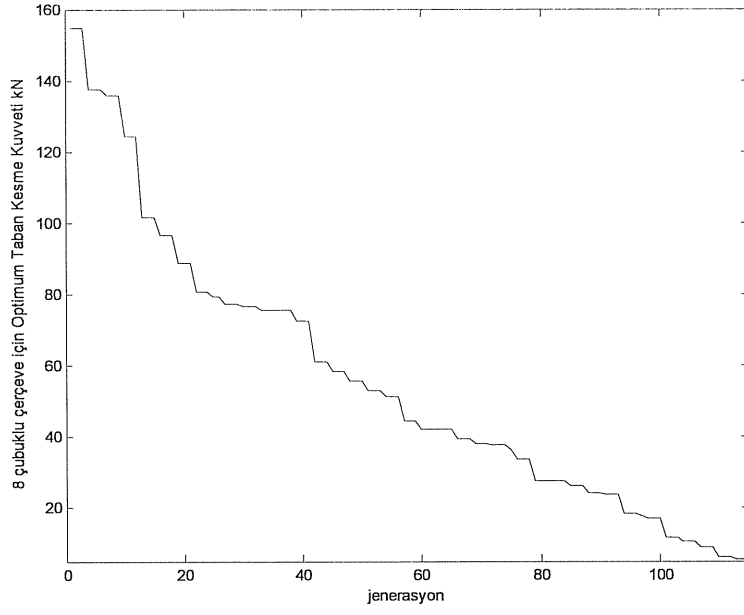
Şekil.4.22. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 138)



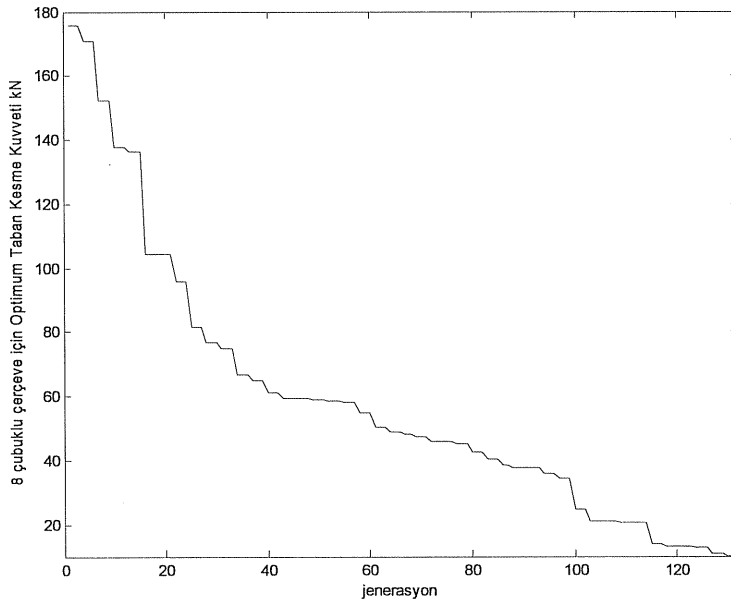
Şekil.4.23. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 157)



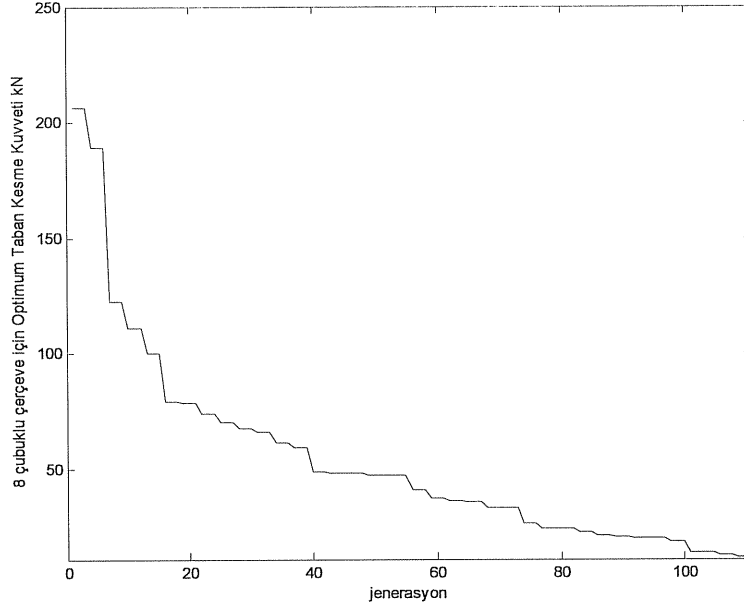
Şekil.4.24. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 137)



Şekil.4.25. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 115)



Şekil.4.26. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 132)



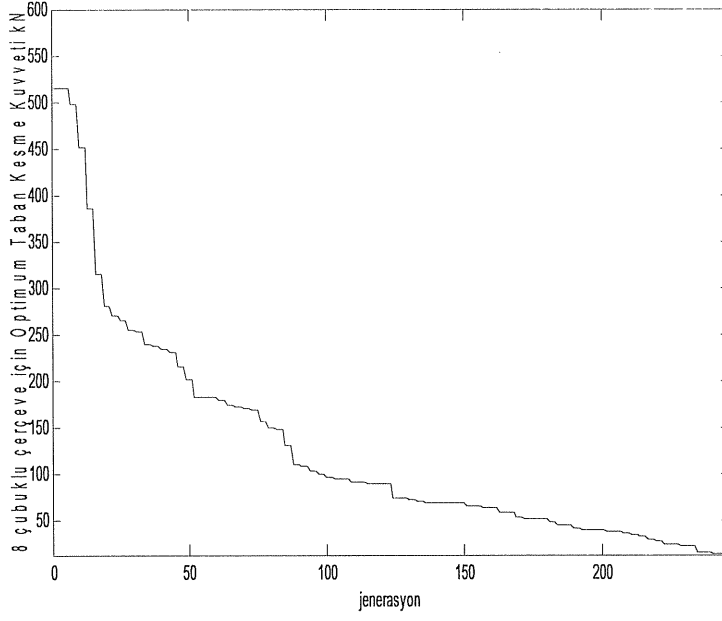
Şekil.4.27. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme eğrisi (optimum sonuç sayısı: 111)

Sekiz elemanlı çerçeve için sınır aksenal gerilme 150000 kN/m^2 , bileşik sınır gerilmeler 165000 kN/m^2 kabul edilerek yapılan analizler Çizelge 4.11’de sunulmuştur. Burada bulunan en düşük taban kesme kuvveti $6,38 \text{ kN}$ ile $31,40 \text{ kN}$ ağırlığa sahip 3 ve 6 no’lu tasarımlardır. Program hesaplama yaparken iki kez aynı optimum sonuca ulaşmıştır. Aynı şekilde 2 ve 5 no’lu tasarımlarda da program aynı değerlere ulaşmıştır. Bulunan en yüksek taban kesme kuvveti değeri ise $13,11 \text{ kN}$ ile 1 no’lu tasarımdır. Burada giriş enkesitleri kolon enkesitlerine göre program tarafından büyük atanmıştır. Elde edilen taban kesme kuvveti de bu sebeple büyük olarak hesaplanmıştır. Ağırlık değerleri ise $25,14 \text{ kN}$ ile $33,10 \text{ kN}$ değerleri arasında değişmektedir.

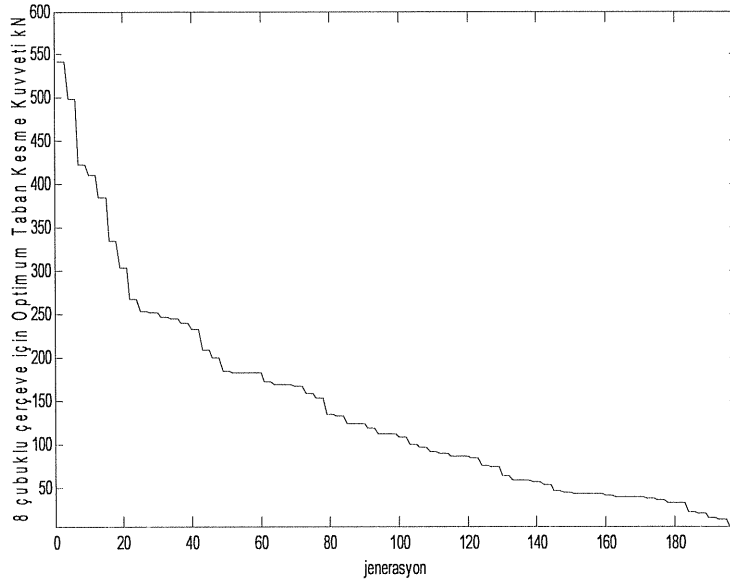
Çizelge 4.11. Sekiz elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler (sınır gerilme eksenel 150000 kN/m^2 , bileşik gerilmeler 165000 kN/m^2)

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Ağırlık (kN)	Katlararası max. deplasman (m)	kesitler			Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
				I.Grup	II.Grup	III.Grup		
1	13,11	28,39	0,001609	W12x65	W18x35	W10x45	679	246
2	6,61	25,14	0,000313	W8x48	W12x50	W10x33	676	198
3	6,38	31,40	0,000399	W10x60	W12x65	W10x39	750	219
4	7,00	29,92	0,000663	W12x50	W10x45	W8x58	726	224
5	6,61	25,14	0,000313	W8x48	W12x50	W10x33	761	198
6	6,38	31,40	0,000399	W10x60	W12x65	W10x39	744	219
7	9,23	33,10	0,000431	W12x58	W10x77	W10x39	738	215

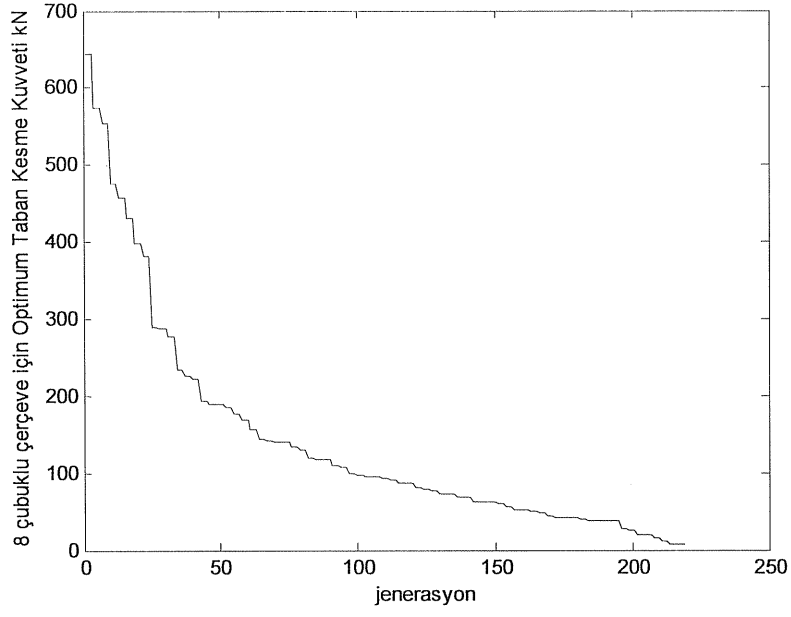
Şekil 4.28 ve Şekil 4.34 arasında, Çizelge 4.11'de tasarımları verilen sekiz elemanlı çerçevenin jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti diyagramları aşağıda sunulmuştur.



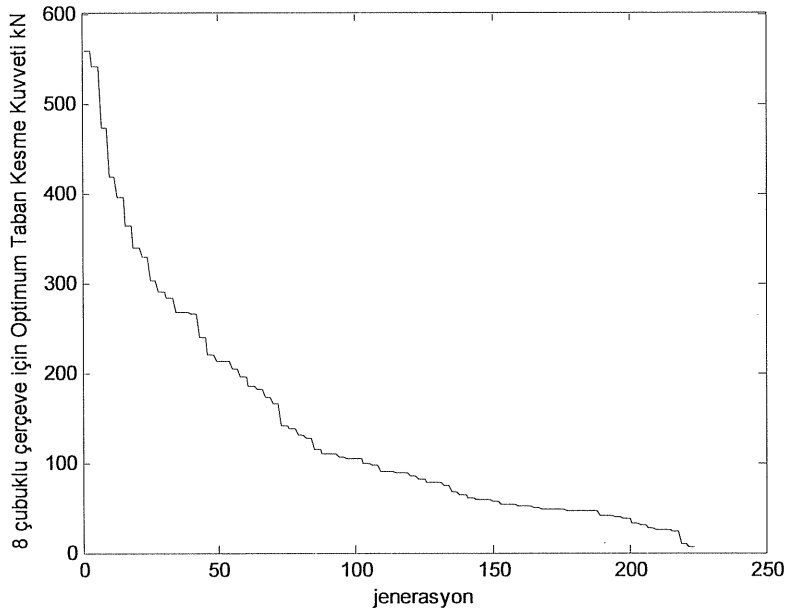
Şekil.4.28. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 246)



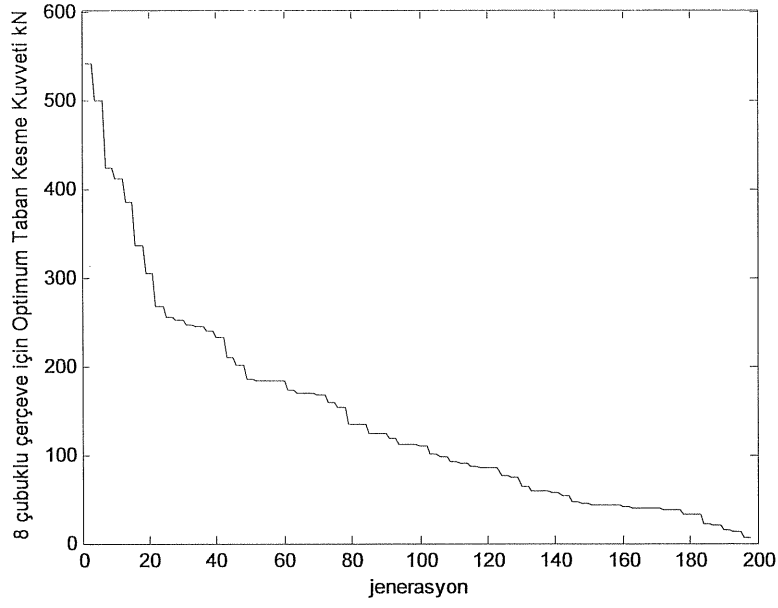
Şekil.4.29. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 198)



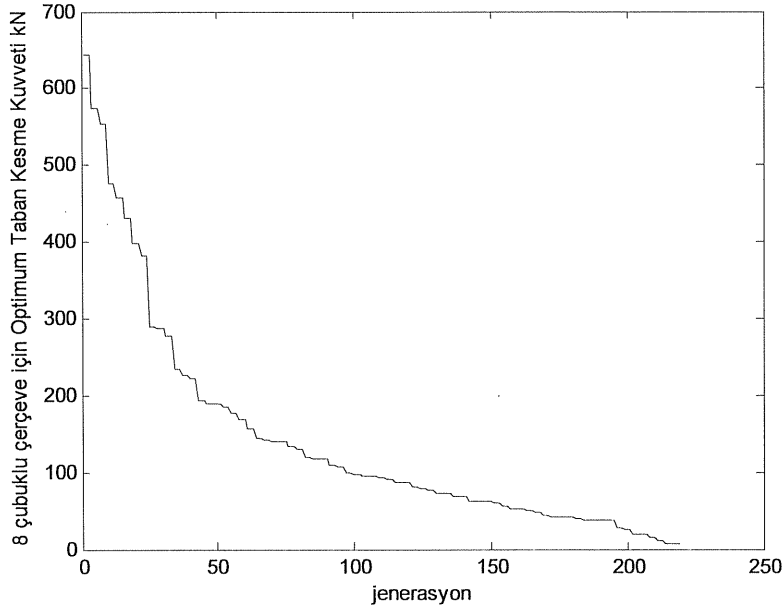
Şekil.4.30. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 219)



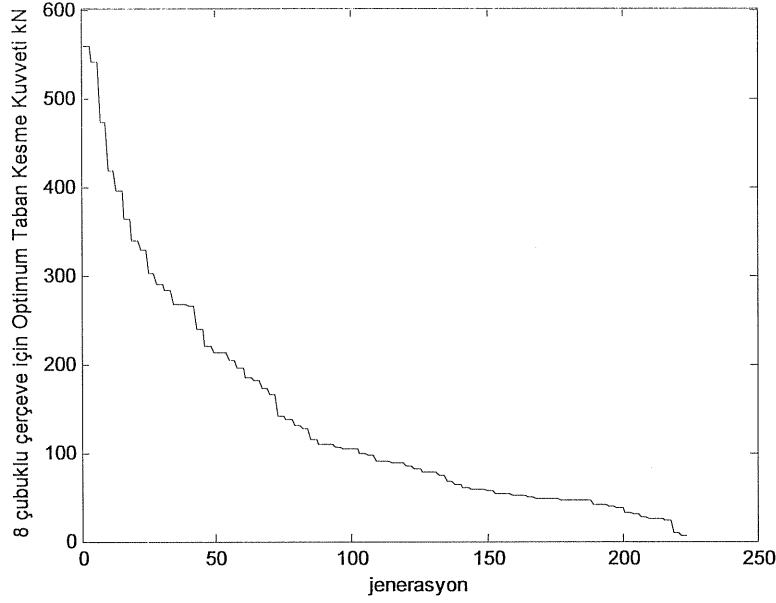
Şekil.4.31. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 224)



Şekil.4.32. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 198)



Şekil.4.33. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 219)

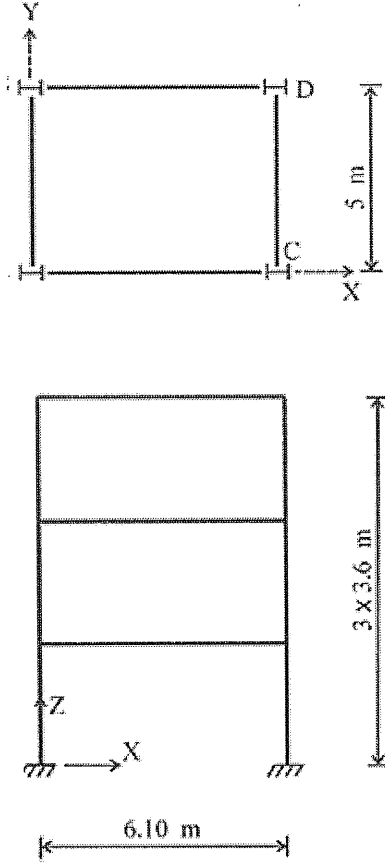


Şekil.4.34. 8 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 224)

4.4. Yirmidört Elemanlı Çerçeve Tasarımı

Aşağıdaki şekilde görülen sistemde (Şekil 4.35) elemanlar altı gruba ayrılmıştır. 1. Grup 3.katın x doğrultusundaki kirişleri, 2.grup, 1. ve 2. katın x doğrultusundaki kirişleri, 3.grup 3.katın y doğrultusundaki kirişleri, 4. Grup 1. ve 2. katın y doğrultusundaki kirişleri, 5.grup 3. Katın tüm kolonları ve 6. grup ta 1. ve 2. katın tüm kolonları şeklinde sınıflandırılmışlardır. Sistemde maksimum tepe deplasman sınırı 0,027m, katlar arası deplasman 0,012m'dir. Elastisite modülü 200 GPa, kesme modülü 83 GPa'dır. Akma sınır gerilmesi 248,2 MPa, birim hacim ağırlık 76,8195 kN/m³ alınmıştır. Yükleme olarak 1,2G+1,6Q+0,5Q_r yükleme kombinasyonu kullanılmıştır. Ölü yük değeri G=3,84 kPa, hareketli yük ve çatı hareketli yük değerleri Q ve Q_r=2,4 kPa'dır. Sınır eksenel gerilme 150000 kN/m², bileşik sınır gerilmeler 165000 kN/m² dir. Genetik algoritma ile taban kesme kuvveti optimizasyonu yapılan sisteme eksenel gerilme, eğilmeli burulma ve eğilmeli burkulma gerilme sınırlayıcıları uygulanmıştır. Spektrum davranış analizine tabi tutulan sistemin ilk altı modu hesaba katılmıştır. Sistem tek açıklıklı ve üç katlı olması sebebiyle optimizasyon sonuçlarının

değerlendirilmesinde faydalı olacaktır. Çalışmada kullanılan bu örnek literatürde Değertekin *et al.* (2008)'den alınmıştır.



Şekil 4.35. Yirmidört çubuklu çerçeve (Değertekin *et al.* 2008)

Değertekin *et al.* (2008), çalışmasında doğrusal olmayan davranışa sahip, statik yüklere maruz sistemlerin genetik algoritma ve tabu araştırma yöntemleri ile optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Çalışmasında AISC-LRFD yönetmeliğini esas almış, deplasman, burkulma ve aksenal gerilme durumlarını sınırlayıcı olarak kullanmıştır. Değertekin *et al.* (2008)'den alınan sonuçlar Çizelge 4.13' te sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Yirmi dört elemanlı çerçeve için literatür sonuçları

GRUP NO	Değertekin (2008) (TA)	Değertekin (2008) (GA)
1	W14x26	W14x30
2	W14x30	W16x31
3	W14x26	W14x30
4	W24x55	W24x55
5	W8x28	W8x28
6	W10x33	W8x40
AĞIRLIK (kN)	55,38	59,55
HESAP SÜRESİ (sn)	1272	1290

Çizelge 4.12’de ağırlık optimizasyonu yapılan sisteme ait enkesit, ağırlık ve hesap süreleri verilmiştir. Aynı sistemin doğrusal davranışa sahip deprem yüküne maruz taban kesme kuvveti optimizasyon sonuçları ise Çizelge 4.13’te sunulmuştur. burada taban kesme kuvveti, ağırlık, katlararası deplasman değerleri ile altı gruba ayrılmış enkesit alanları, hesap süreleri ve nesil sayıları yedi farklı tasarım için hesaplanmıştır.

Taban kesme kuvveti değerleri en düşük 9,91 kN ile 54,49 kN ağırlığa sahip bir sistem, en yüksek taban kesme kuvveti değeri ise 34,63 kN ile 45,08 kN ağırlığa sahip bir sistem olarak tasarlanmıştır. Programda sınır ağırlık 60 kN olup tasarım sonuçları buna uygun şekilde bulunmuştur.

Çizelge 4.13’ den elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir;

- Enkesitleri program tarafından atanan ve kolon kesitleri aynı olup giriş enkesitlerine göre daha ağır eleman olarak atanan 1 no’lu tasarımda, en düşük

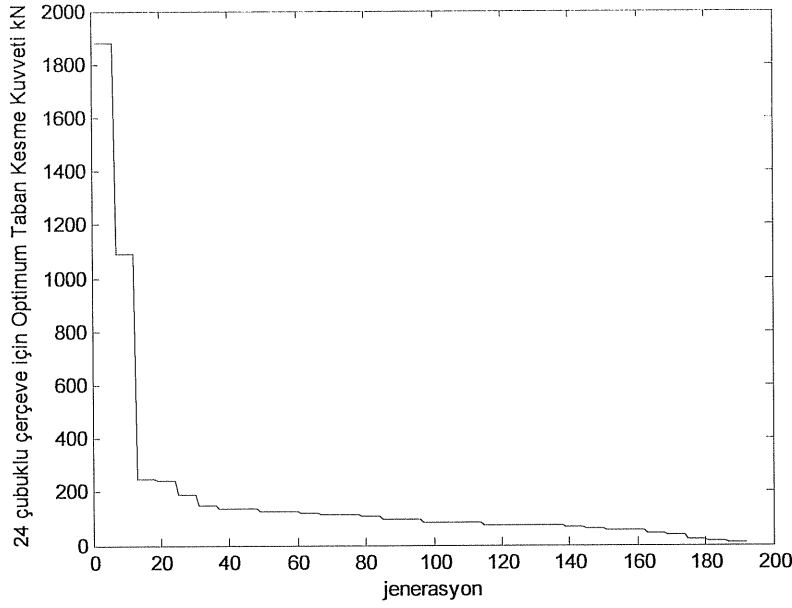
Çizelge 4.13. Yirmi dört elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Ağırlık (kN)	Katlararası max. Deplasman (m)	kesitler						Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı	
				I.GRUP	II.GRUP	III.GRUP	IV.GRUP	V.GRUP	VI.GRUP			
1	9,91	54,49	0,000216	W8x21	W14x26	W8x35	W8x21	W8x48	W8x48	W8x48	690	192
2	30,99	34,22	0,001717	W10x9	W10x9	W14x43	W14x26	W14x30	W14x30	W10x22	683	144
3	23,04	44,12	0,002563	W14x26	W8x40	W14x30	W8x24	W10x22	W10x22	W14x22	680	132
4	34,63	45,08	0,000956	W14x22	W10x9	W8x18	W8x21	W14x43	W14x43	W8x48	671	150
5	10,69	58,79	0,000219	W10x22	W14x22	W24x55	W14x30	W14x48	W14x48	W8x48	679	216
6	27,75	53,16	0,000742	W14x26	W10x26	W8x58	W10x17	W14x43	W14x43	W8x40	670	144
7	12,63	35,49	0,000517	W10x9	W8x18	W10x22	W10x9	W10x33	W10x33	W8x35	677	144

taban kesme kuvveti elde edilmiştir.

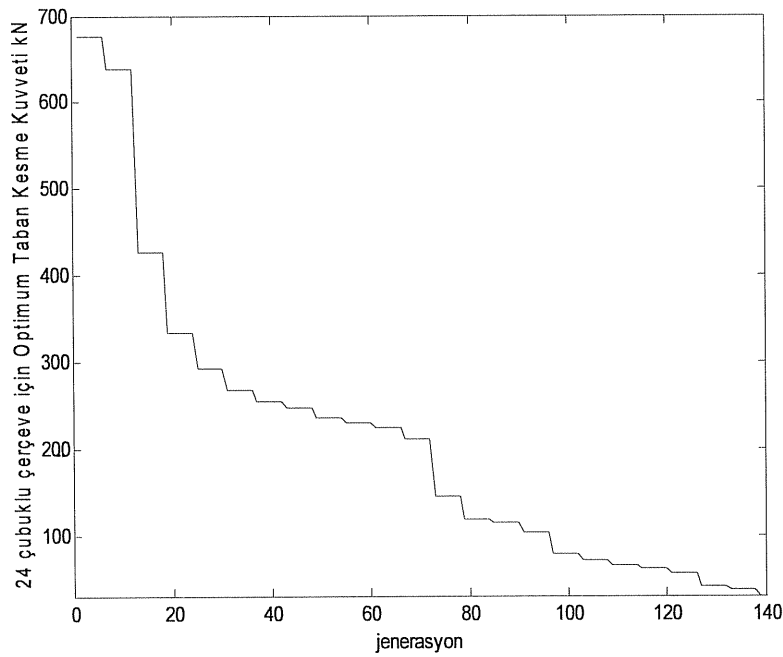
-En yüksek taban kesme kuvveti değerine sahip 2 ve 4 no'lu tasarımlarda 3. Kat kolon enkesit alanları 1 ve 2. Kat kolon enkesit alanlarından daha büyük olarak atanmıştır.

-1 ve 6 no'lu tasarımlar karşılaştırıldığında yaklaşık ağırlıklara sahip sistemlerin farklı taban kesme kuvvetine sahip oldukları görülmektedir. Burada da yukarıda bahsedilen üst kat kolon enkesitinin alt kattakilere göre daha büyük ve ağır olarak atanmasının önemli payı vardır.

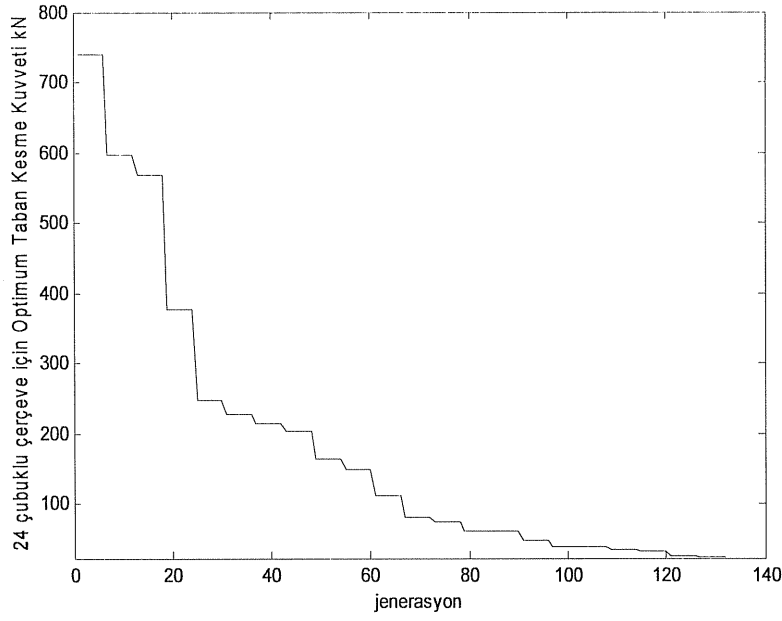


Şekil.4.36. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 192)

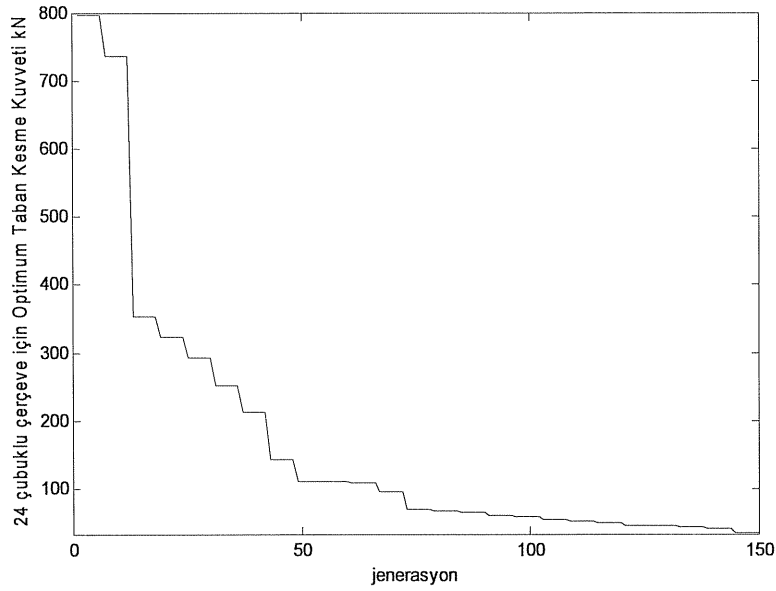
Şekil 4.36-Şekil 4.42 arasında Çizelge 4.13'te tasarım sonuçları verilen 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrileri sunulmuştur.



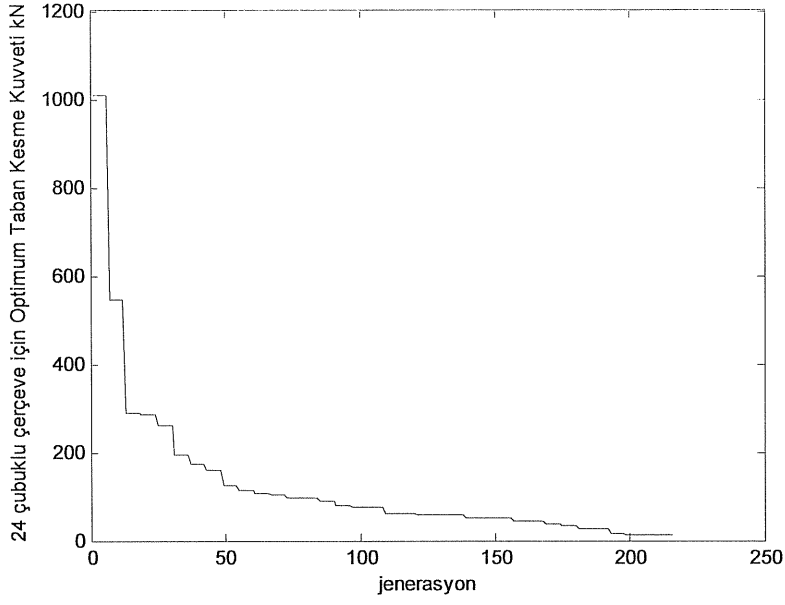
Şekil.4.37. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 144)



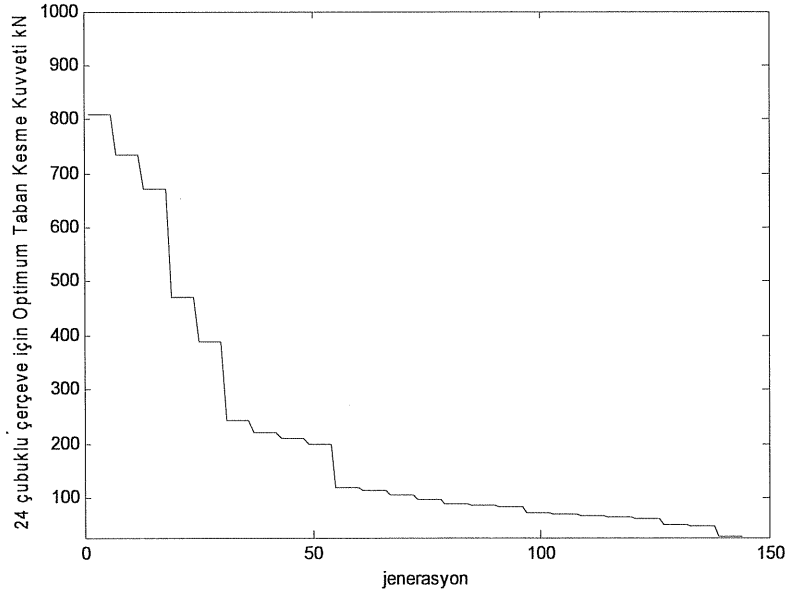
Şekil.4.38. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 132)



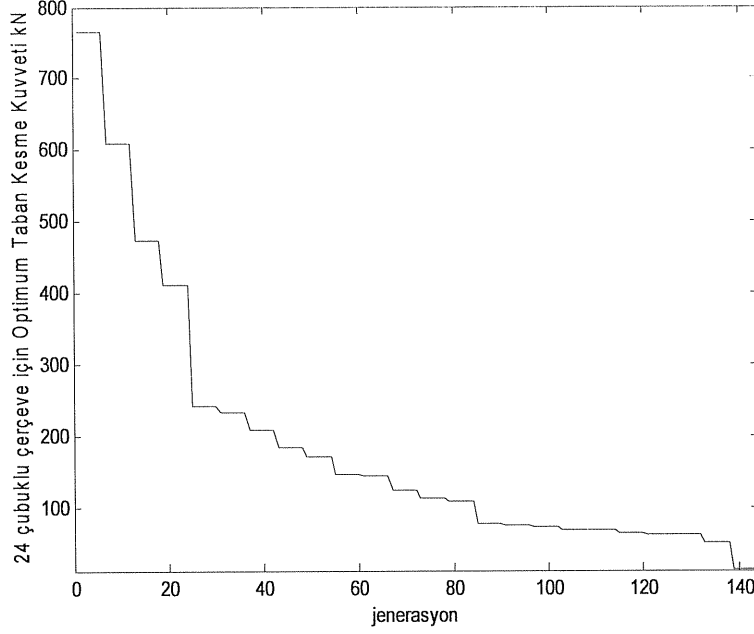
Şekil.4.39. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 150)



Şekil.4.40. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 216)



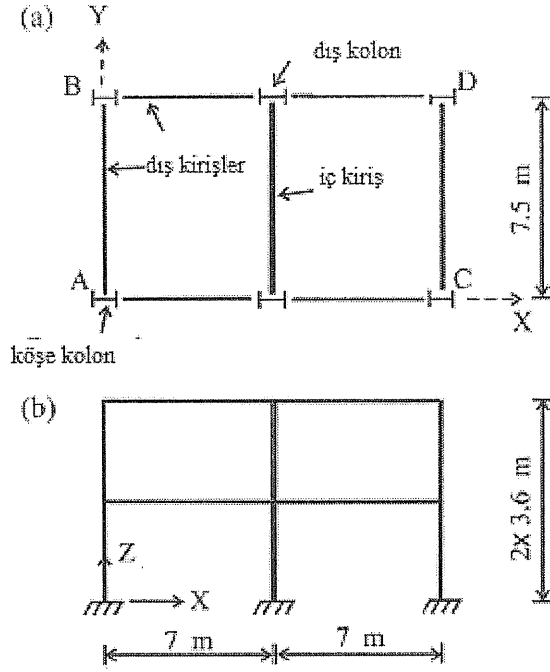
Şekil.4.41. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 144)



Şekil.4.42. 24 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 144)

4.5. Yirmi Altı Elemanlı Uzay Çerçeve Tasarımı

Şekil 4.43'deki iki katlı 26 elemanlı üç boyutlu çerçevede sistem elemanları 10 gruba ayrılmıştır. Birinci grup: ikinci katın x doğrultusundaki dış kirişleri, ikinci grup: birinci katın x doğrultusundaki dış kirişleri, üçüncü grup; ikinci katın y doğrultusundaki dış kirişleri, dördüncü grup: birinci katın y doğrultusundaki dış kirişleri, beşinci grup: ikinci katın iç kirişleri, altıncı grup: birinci katın iç kirişleri, yedinci grup: ikinci katın köşe kolonları, sekizinci grup: birinci katın köşe kolonları, dokuzuncu grup: ikinci katın dış kolonları, onuncu grup: birinci katın dış kolonları olacak şekilde gruplandırma yapılmıştır. Rüzgar yükü çerçevenin AB ve DC yüzeylerine etkimektedir. Maksimum tepe deplasmanı 0,018 m, katlar arası yer değiştirme 0,012 m olarak alınmıştır. Spektrum davranış analizi yapılan sistemin ilk altı modu hesaba katılmıştır. Örnek literatürden yine Değertekin *et al.* (2008) den alınmış olup analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur. Yükleme durumu ve gerilme sınırlayıcıları sekiz ve yirmi dört elemanlı uzay çerçeve sistemler ile aynı alınmıştır.



Şekil 4.43. Yirmialtı elemanlı çerçeve (Değertekin *et al.* 2008)

Çizelge 4.14. Yirmi altı elemanlı çerçeve için literatür sonuçları (Değertekin *et al.* 2008)

GRUP NO	Değertekin (2008) TA	Değertekin (2008) GA
1	W21x57	W21x62
2	W21x57	W24x76
3	W24x55	W21x62
4	W21x57	W21x57
5	W21x57	W24x55
6	W24x68	W24x55
7	W8x28	W8x28
8	W12x40	W10x39
9	W10x33	W10x39
10	W12x40	W10x39
AĞIRLIK(kN)	106,73	117,13
TEPE YERDEĞİŞTİRME(m)	0,0107	0,076
HESAP SÜRESİ(sn)	3726	3708

Çizelge 4.15. Yirmi altı elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	kesitler									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	24,29	W24x62	W18x119	W24x68	W21x68	W21x68	W18x119	W24x84	W21x57	W24x62	W21x50
2	5,028	W24x94	W24x84	W14x61	W14x68	W21x50	W21x73	W24x94	W21x73	W21x44	W18x119
3	7,969	W18x119	W24x62	W14x61	W21x68	W14x68	W24x62	W18x119	W24x68	W14x53	W24x62
4	11,49	W21x73	W21x73	W18x119	W24x76	W24x76	W21x68	W21x50	W24x55	W24x55	W21x50
5	15,78	W24x55	W24x68	W24x68	W21x62	W21x73	W14x53	W24x76	W24x84	W18x119	W24x55
6	7,88	W14x68	W24x62	W21x50	W24x76	W18x119	W21x57	W21x50	W21x50	W21x50	W21x44
7	24,05	W21x50	W21x50	W14x61	W21x50	W21x62	W24x84	W21x57	W21x50	W14x61	W21x44

26 elemanlı çerçeve, kat sayısının az olması, iç ve dış kirişlere ve ayrıca iç ve dış kolonlara sahip olması bakımından önceki sunulan örneklere göre daha farklı analiz sonuçlarının elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca 7 ve 7,5 m'lik uzun olan kirişleri ile de özellikle burkulma konusunda, analizlerde çok sayıda gerilme sınırı aşımına uğrayarak ceza uygulamasına maruz kalmıştır.

Çizelge 4.16. Yirmi altı elemanlı çerçeve için tasarım sonuçları

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Ağırlık (kN)	Katlararası max. Deplasman (m)	Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
1	24,29	165,60	0,002281	593	269
2	5,028	166,66	0,000126	593	248
3	7,969	167,81	0,000179	593	288
4	11,49	151,20	0,003208	590	223
5	15,78	144,41	0,000666	596	294
6	7,88	130,86	0,002456	576	264
7	24,05	114,66	0,006014	562	259

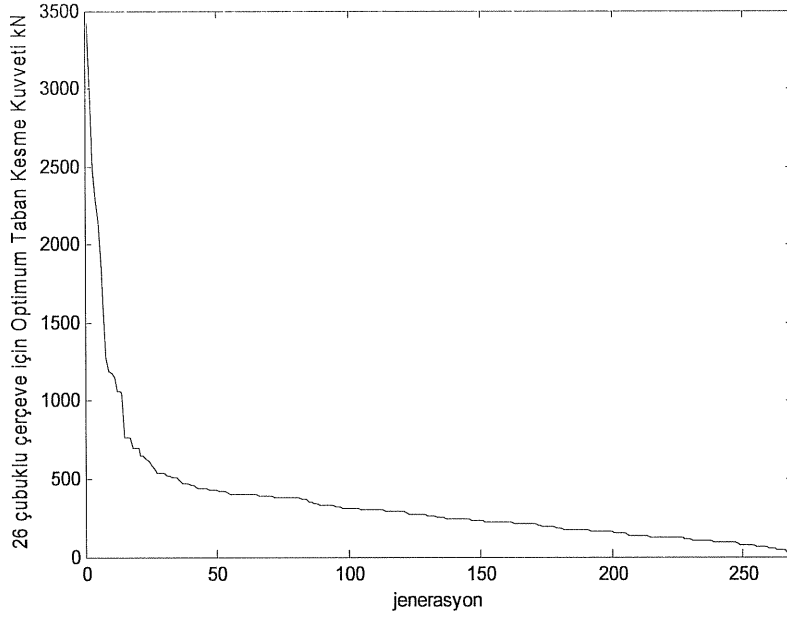
Çizelge 4.16. incelendiğinde en düşük taban kesme kuvveti değeri 5,028 kN ile 166,66 kN ağırlığa sahip 2 no'lu tasarım, en yüksek taban kesme kuvveti değeri ise 24,29 kN ile 165,6 kN ağırlığa sahip 1 no'lu tasarım olmuştur. Ağırlık değerleri yaklaşık olan bu iki tasarımın farklı taban kesme kuvveti değerlerine maruz kalması sisteme atanan tasarım değişkenleri yani enkesit alanları ile ilgilidir.

-Yaklaşık ağırlıklara sahip, taban kesme kuvvetleri biri en yüksek diğeri en düşük çıkan tasarımlar karşılaştırıldığında, kiriş enkesitleri kolonlara göre büyük atanan tasarımlarda taban kesme kuvvetinin büyük hesaplandığı görülmektedir.

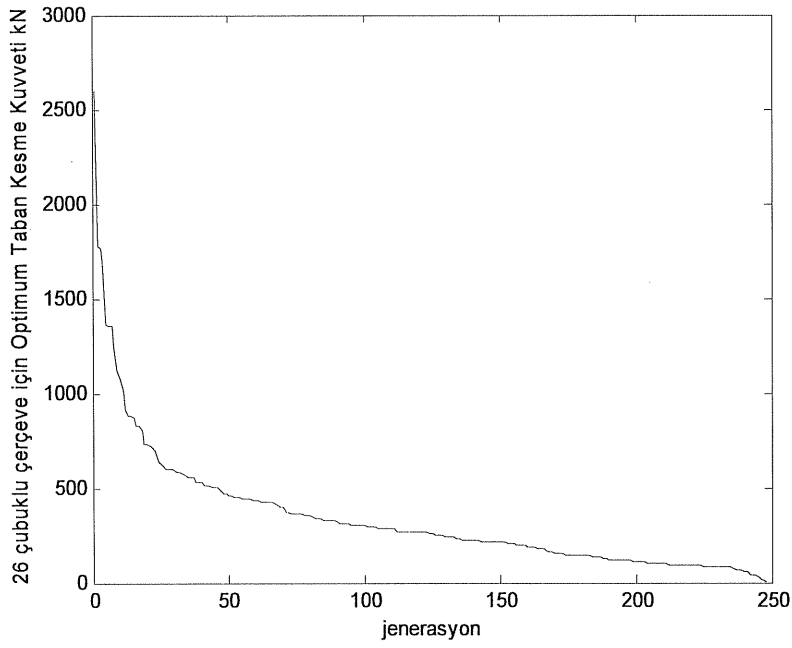
-2. kat köşe kolonlarının 1. kat köşe kolonlarından enkesit ve ağırlık olarak büyük olması taban kesme kuvvetini artmıştır.

-1. kat iç kiriş elemanlarının kesit ve ağırlık olarak 2. kat iç kirişlerinden büyük olduğu sistemlerin, taban kesme kuvvetine daha az maruz kaldıkları görülmüştür.

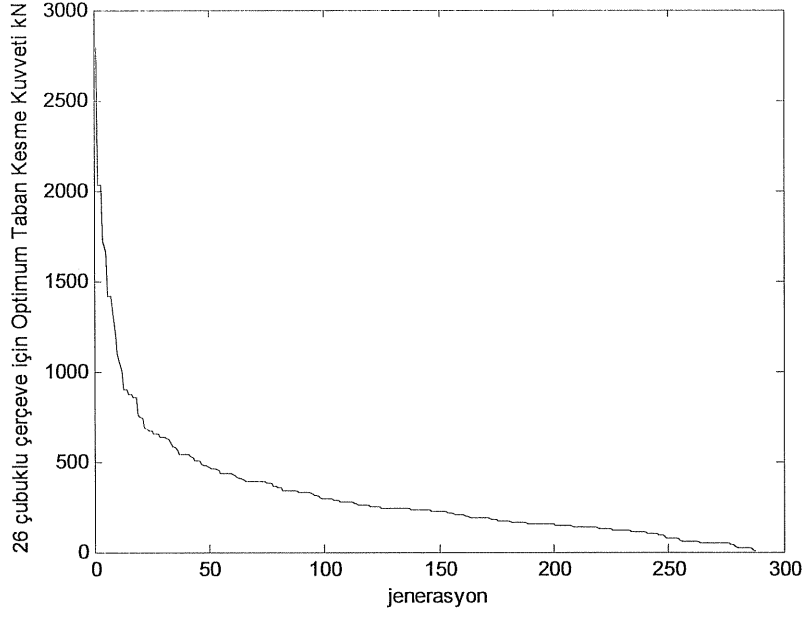
Çizelge 4.16' da verilen tasarımlara ait jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrileri Şekil 4.44-Şekil 4.50 arasında sunulmuştur.



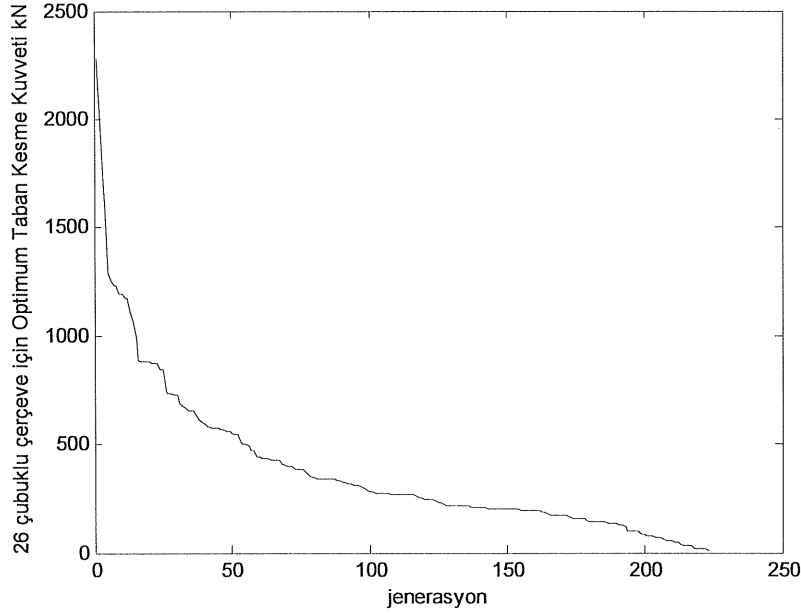
Şekil.4.44. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:269)



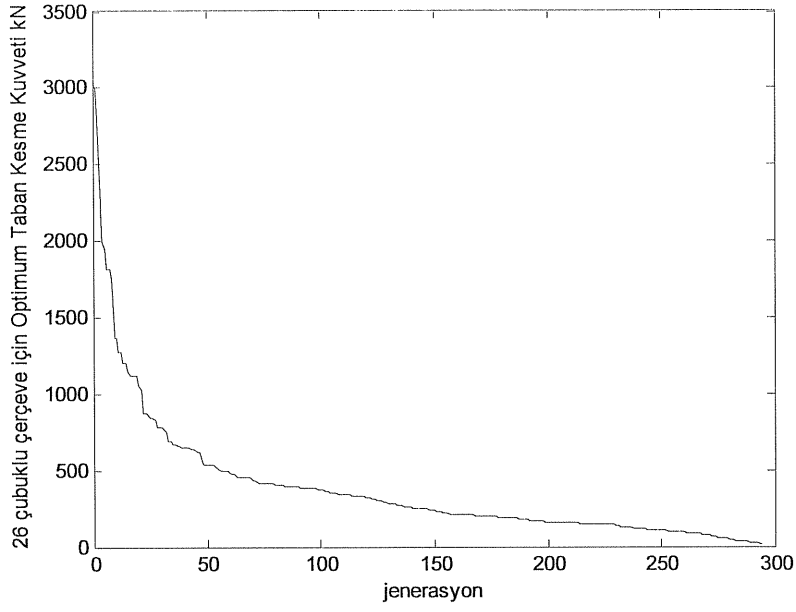
Şekil.4.45. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:248)



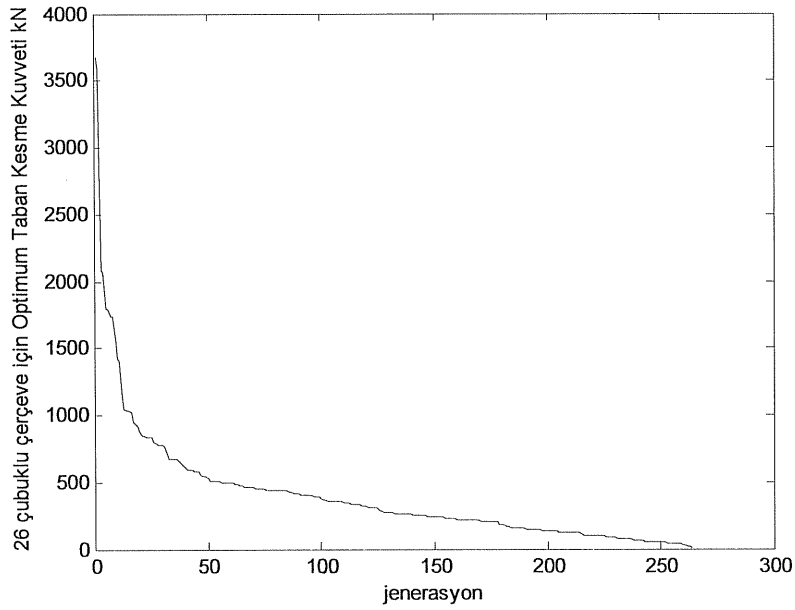
Şekil.4.46. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:288)



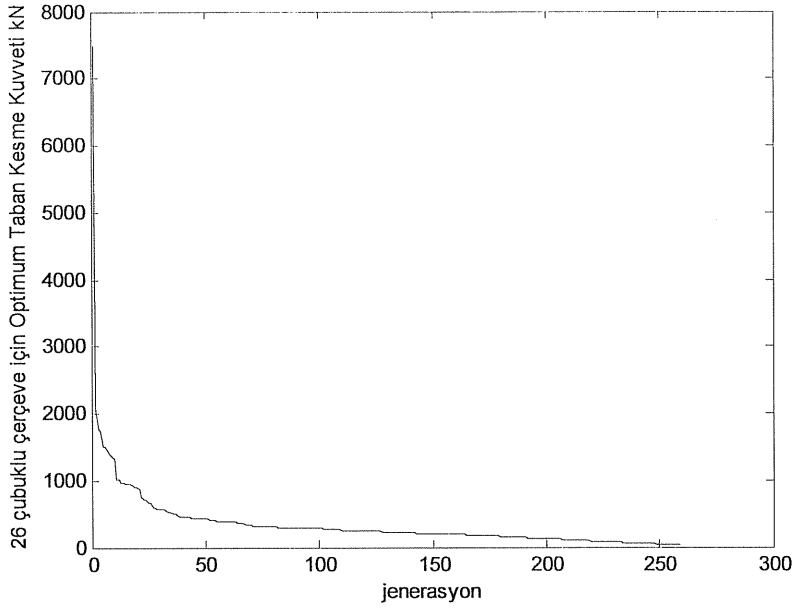
Şekil.4.47. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:223)



Şekil.4.48. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:294)



Şekil.4.49. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:264)

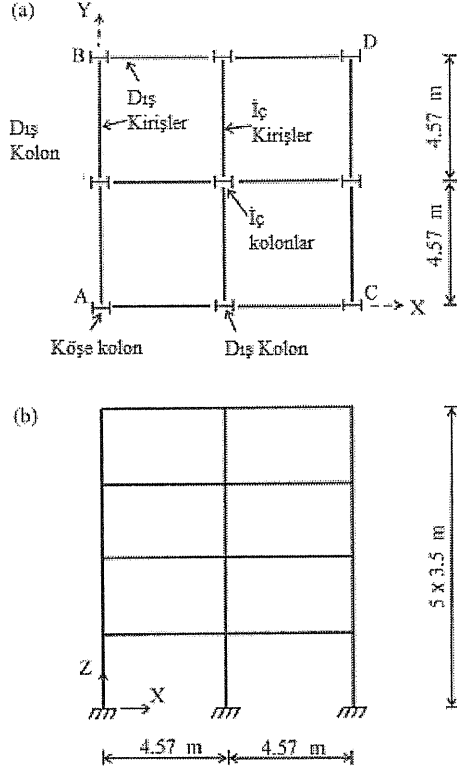


Şekil.4.50. 26 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:259)

4.6. Seksen Dört Elemanlı Uzay Çerçeve Tasarımı

Seksen dört elemanlı dört katlı Şekil 4.51’de görülen sistem, on gruba ayrılmıştır. Birinci grup dördüncü kat dış kirişler, ikinci grup üçüncü, ikinci ve birinci kat dış kirişler, üçüncü grup dördüncü kat iç kirişler, dördüncü grup üçüncü, ikinci ve birinci kat iç kirişler, beşinci grup dördüncü kat köşe kolonlar, altıncı grup üçüncü, ikinci ve birinci kat köşe kolonlar, yedinci grup dördüncü kat dış kolonlar, sekizinci grup üçüncü, ikinci ve birinci kat dış kolonlar, dokuzuncu grup dördüncü kat iç kolonlar, onuncu ve son grup ise üçüncü, ikinci ve birinci kat iç kolonları temsil etmektedir. Rüzgar yükü AB ve CD yüzeylerine x doğrultusunda etkimektedir. Maksimum tepe deplasmanı 0,035 m, katlar arası deplasman 0,0117 m ile sınırlandırılmıştır. Yükleme durumları, elastisite modülü, birim hacim ağırlık ile gerilme sınır değerleri 24 ve 26 elemanlı çerçeve sistem ile aynıdır. Sistemin ilk altı modu hesaba katılmıştır. Literatürde yer alan örnekte sistem davranışı doğrusal olmayan davranışa sahip olup statik yüke maruz bırakılmıştır. Değertekin *et al.* (2008)’den alınan sisteme ait ölçüler Şekil 4.51’de sunulmuştur. Doğrusal olmayan davranışa göre analizi yapılan sistemin literatürden

alınan genetik algoritma ve tabu araştırma yöntemleri ile ağırlık optimizasyonu sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir.



Şekil.4.51. Seksen dört elemanlı çerçeve (Değertekin *et al.* 2008)

Çizelge 4.17. Seksendört elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler

GRUP NO	LİTERATÜR(TA)	LİTERATÜR(GA)
1	W21 × 44	W16 × 31
2	W14 × 30	W16 × 31
3	W14 × 30	W16 × 50
4	W14 × 30	W24 × 55
5	W12 × 45	W10 × 39
6	W14 × 43	W14 × 48
7	W14 × 43	W8 × 31
8	W14 × 43	W10 × 33
9	W10 × 33	W8 × 31
10	W14 × 33	W14 × 48
AĞIRLIK(kN)	182,76	196,72
TEPE YERDEĞİŞTİRME(m)	0,035	0,032
HESAP SÜRESİ(sn)	237.2dakika	112.5dakika

Şekil 4.51’de verilen seksen dört elemanlı üç boyutlu çerçeve, bu çalışmada El Centro kayıtları esas alınarak ve spektrum davranış analizi kullanılarak deprem yüklemesine maruz bırakılmış, elde edilen taban kesme kuvveti değerlerine göre yeniden optimize edilmiştir. Deplasman sınırları Değertekin *et al.* (2008) ile aynı alınan sisteme, gerilme sınırlayıcıları olarak aksenal gerilme, eğilmeli burulma ve eğilmeli burkulma bileşik gerilmeleri katılmıştır. Sistemle ilgili olarak 7 farklı tasarıma ait değerler Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19’da sunulmuştur.

Çizelge 4.18’de görüldüğü gibi, seksen dört elemanlı uzay çerçeve sistemin taban kesme kuvvetine göre optimizasyonundan elde edilen en küçük değer 59,62 kN ile 175,54kN ağırlığa sahip 5 no’lu tasarım, en yüksek değer ise 318,94 kN ile 175,75 kN ağırlığa sahip 3 no’lu tasarımdır. Yaklaşık ağırlıklara sahip bu iki tasarımda taban kesme kuvvetlerinin farklı çıkmasının nedeni, 3 no’lu tasarımda, 4. kat iç ve dış kiriş kesitlerinin 1, 2, ve 3. kat dış ve iç kiriş kesitlerinden daha ağır seçilmiş olmasıdır. Buda yapıdaki kat ağırlığının yapı yükseldikçe azalmasının, yapıya gelen deprem yükü etkisi üzerindeki önemine bir kez daha dikkat çekmektedir. 1, 2 ve 3. kat iç kolon kesitinin taban kesme kuvveti düşük olan tasarımda yüksek olan tasarıma göre aynı boyutta fakat daha ağır seçilmiş olması da deprem yükünü azaltmada etkili olmuştur.

Tasarımlar içinde en hafif olan 1 no’lu tasarımda deprem yükünün 4, 5 e 6 no’lu tasarımlara göre fazla hesaplanmış olması, 4. kat dış kolon ve kirişlerine ait elemanların, 1, 2 ve 3. kat dış kolon ve kirişlerinden büyük enkesitte atanmasından kaynaklandığı kanaatini uyandırmıştır.

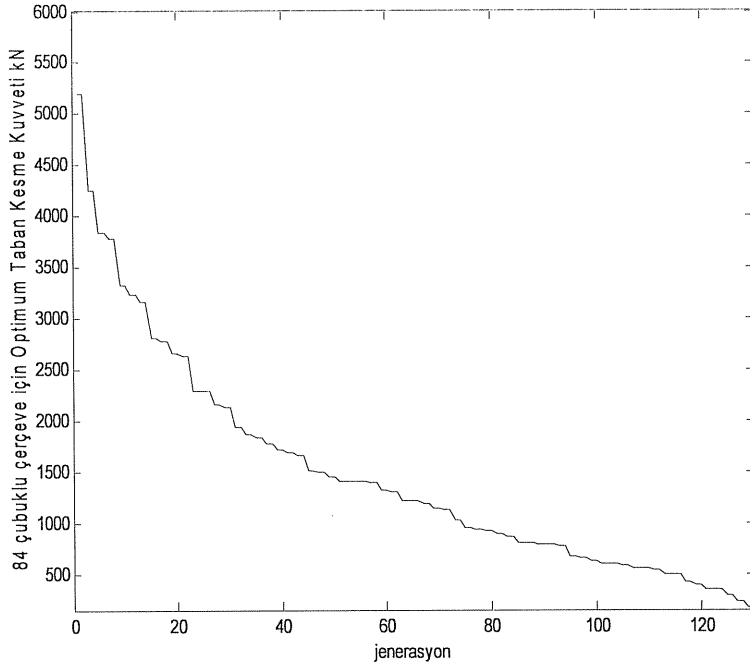
Çizelge 4.18. Seksen dört elemanlı çerçeve için hesaplanan enkesitler

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	kesitler									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	175,02	W10x33	W10x26	W21x50	W10x39	W10x26	W12x14	W14x43	W14x38	W14x53	W14x53
2	131,28	W10x112	W12x22	W18x119	W12x19	W10x45	W12x50	W21x50	W14x43	W10x33	W14x30
3	318,94	W10x45	W10x33	W10x33	W10x26	W14x30	W14x43	W12x19	W10x33	W10x45	W10x68
4	67,16	W10x54	W12x45	W10x68	W21x50	W10x26	W14x38	W14x38	W14x53	W14x61	W12x19
5	59,62	W14x34	W12x22	W14x38	W12x19	W10x45	W12x45	W14x34	W14x53	W10x68	W10x112
6	70,43	W10x33	W14x34	W10x88	W10x39	W14x34	W14x30	W10x26	W14x30	W10x54	W10x39
7	253,72	W10x88	W14x38	W10x112	W12x19	W10x39	W10x112	W21x44	W10x26	W14x38	W10x33

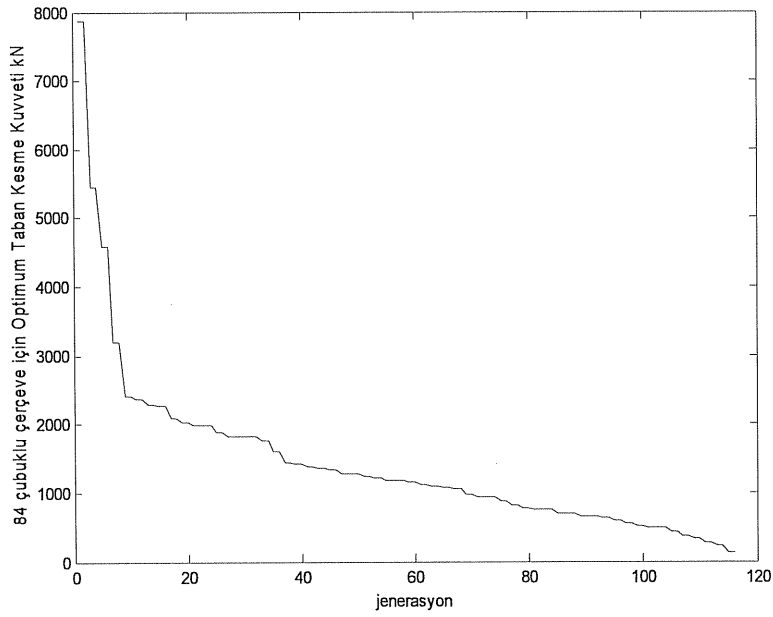
Çizelge 4.19. Seksen dört elemanlı çerçeve için tasarım sonuçları

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Ağırlık (kN)	Katlararası max. Deplasman (m)	Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
1	175,02	160,57	0,001588	647	130
2	131,28	224,62	0,000230	650	116
3	318,94	175,75	0,002483	636	130
4	67,16	233,87	0,000323	652	120
5	59,62	175,54	0,000384	653	104
6	70,43	184,48	0,000463	647	150
7	253,72	261,40	0,000640	659	120

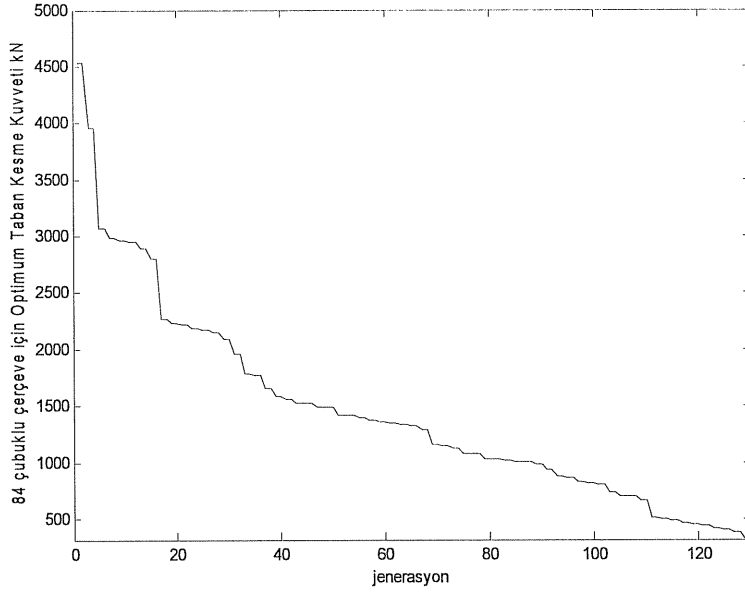
Seksen dört elemanlı uzay çerçeve için elde edilen enkesitler Çizelge 4.18’de, tasarım sonuçları ise Çizelge 4.19’da görülmektedir. Bu tasarımlara ait jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti değeri diyagramları Şekil 4.52-Şekil 4.58 arasında aşağıda sunulmuştur.



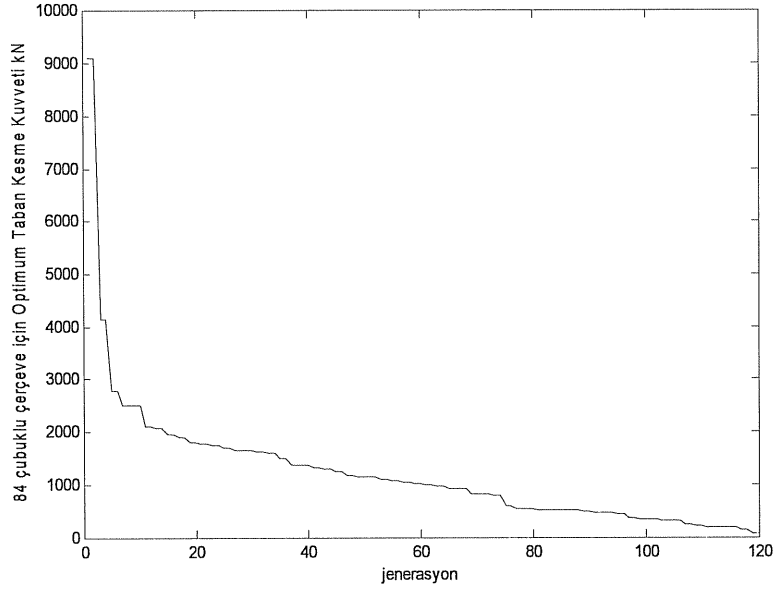
Şekil.4.52. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:130)



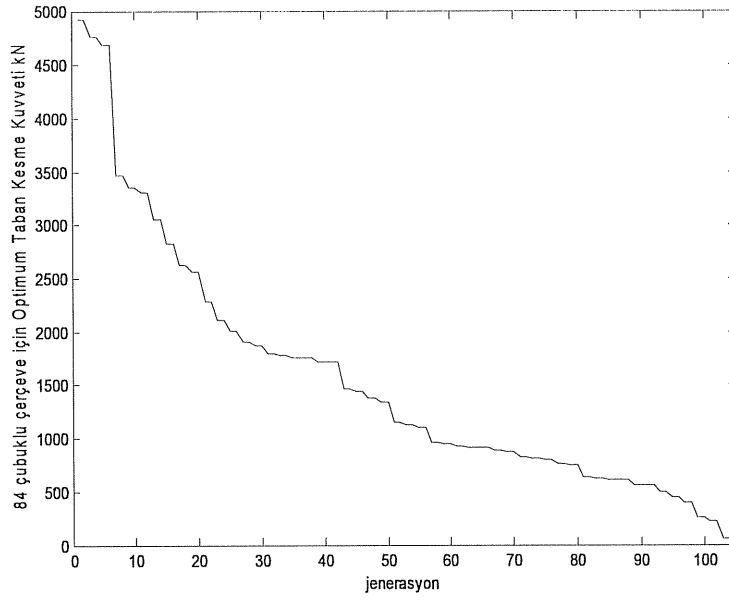
Şekil.4.53. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:116)



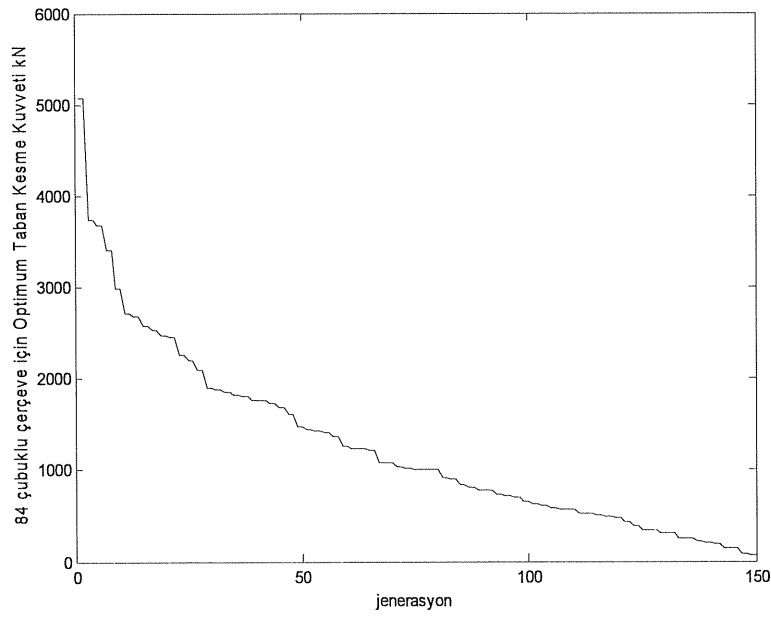
Şekil.4.54. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:130)



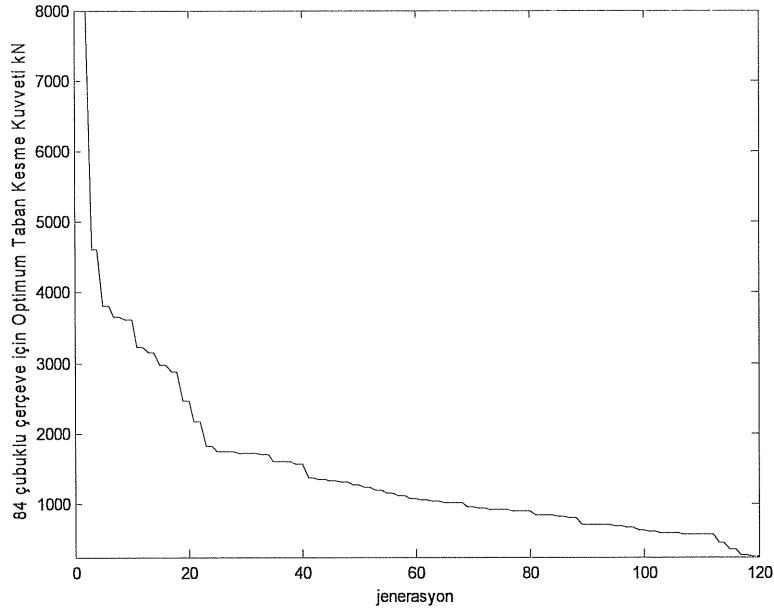
Şekil.4.55. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:120)



Şekil.4.56. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:104)

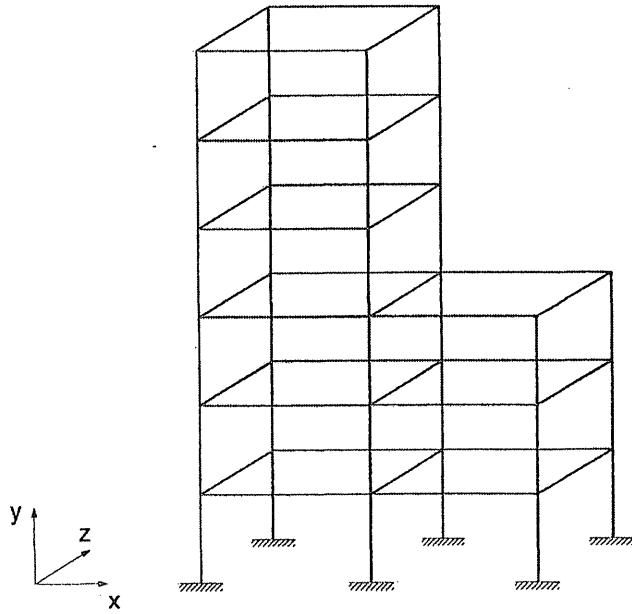


Şekil.4.57. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:150)



Şekil.4.58. 84 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:120)

4.7. Altmışüç Elemanlı Çerçeve Sistemin Optimum Taban Kesme Kuvvetine Göre Tasarımı



Şekil 4.59. Altmışüç elemanlı çerçeve sistem

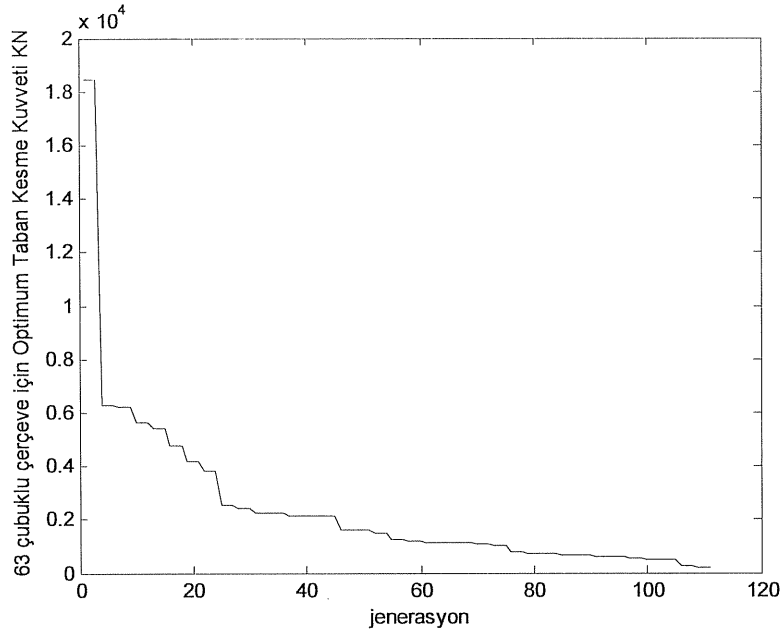
Daha önce Papadrakakis *et al.* (2001) koşullarına göre ağırlık optimizasyonu yapılan 63 elemanlı uzay çerçeve sistem yeniden El Centro depremi kayıtları kullanılarak, taban kesme kuvveti optimizasyonu yapılarak tasarlanmıştır. Yapının elastik davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Sönüm oranı %5'tir. Sistemin ilk 6 modu hesaba katılmıştır. Tasarım sınırlayıcıları olarak, deplasman sınırlayıcısı katlar arası rölatif yer değiştirme ve tepe noktası yer değiştirmesi için 0,0045 m ile sınırlandırılmış olup çekme gerilmesi, eğilmeli burkulma ve eğilmeli burulma bileşik gerilme durumları deplasmana ek olarak sınırlayıcılara katılmıştır. Diğer sınırlara ek olarak sistem ağırlığı da sınırlayıcı olarak amaç fonksiyonuna katılmıştır. Örnekte elastisite modülü 200 GPa, çekme sınır gerilmesi 150 MPa ve bileşik eğilme için kullanılan sınır gerilme 165MPa'dır. Sistem elemanları beş gruba ayrılmıştır. Başlangıç ağırlığı 2486 kN alınmıştır. Yüklemeler kat seviyelerinde 19,16 kPa yayılı yük ile ön yüzeyden kat seviyelerine düğüm noktalarından yatay olarak etkiyen 109 kN tekil statik yüklerdir.

Çizelge 4.20'de elde edilen tasarım sonuçları incelendiğinde, 3 no'lu tasarımın en iyi taban kesme kuvveti ve ağırlık değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 418,54 kN ağırlık değeri Papadrakakis *et al.* (2001)'de hesaplanan en küçük değer olan 824 KN ile karşılaştırıldığında %49 daha ekonomik bir sonuç elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti esas alınarak yapılan tasarımlarda, şu ana kadar çözülen örneklere bakıldığında ağırlık optimizasyonuna göre çok daha ekonomik çözümler yapıldığı görülmektedir. Tabi burada yapılan birçok analiz sonucunda tecrübe ile belirlenmiş, enkesitlerin rastgele tayininde kullanılan başlangıç populasyon havuzunun oluşturulmuş olmasının etkisi yadsınamaz. Bu örnekte diğer örneklerden farklı olarak populasyon genişliği oldukça artırılmış, buna karşın hesap adım sayısı azaltılmıştır. Bu şekilde genetik algoritmanın, bu tarz yani populasyon genişliği artırılarak optimum değerlere daha erken ulaşım ulaşamayacağı kontrol edilmiştir. Hesap süresi ve bulunan optimum sonuç sayısında azalma olmasına rağmen elde edilen tasarımların oldukça ekonomik olduğu Çizelge 4.20'de görülmektedir.

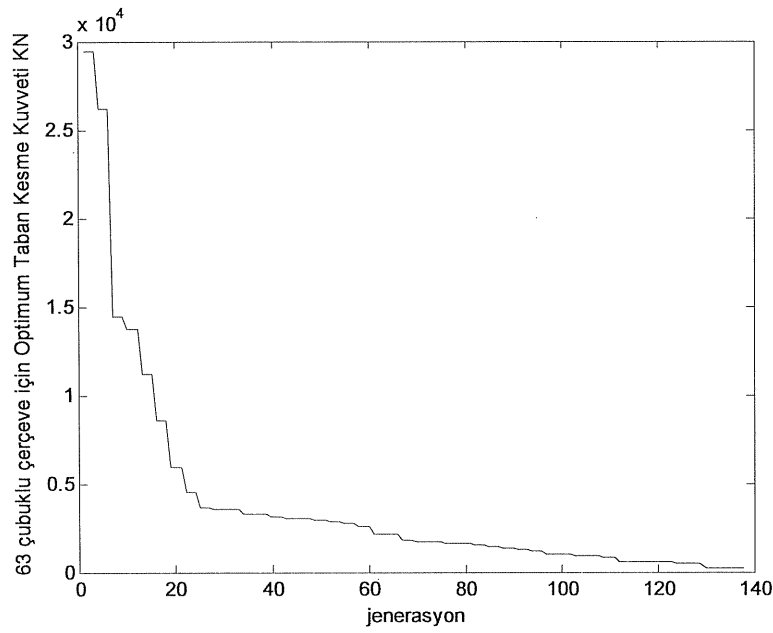
Çizelge 4.20. Altmış üç elemanlı çerçeve için hesaplanan değerler (taban kesme kuvveti optimizasyonu)

Tasarım no	Taban Kes. (kN)	Ağırlık (kN)	Deplasman (m)	kesitler					Süre (sn)
				I.Grup	II.Grup	III.Grup	IV.Grup	V.Grup	
1	96,18	498,028	0,000813	W12x190	W12x19	W12x79	W12x65	W14x74	227
2	171	525,90	0,000921	W12X62	W24X84	W24X55	W12X70	W24X62	237
3	78,77	418,54	0,000281	W14x120	W12x62	W24x68	W24x62	W24x94	155
4	126	495,14	0,00341	W21x44	W27x102	W21x101	W27x146	W21x44	336
5	53,72	430,72	0,002452	W21x44	W27x146	W24x76	W27x114	W24x55	337
6	134,44	431,04	0,000571	W27X146	W27X114	W21X57	W24X55	W21X73	336
7	128	455,4	0,000305	W21x132	W24x84	W24x131	W21x44	W24x76	345

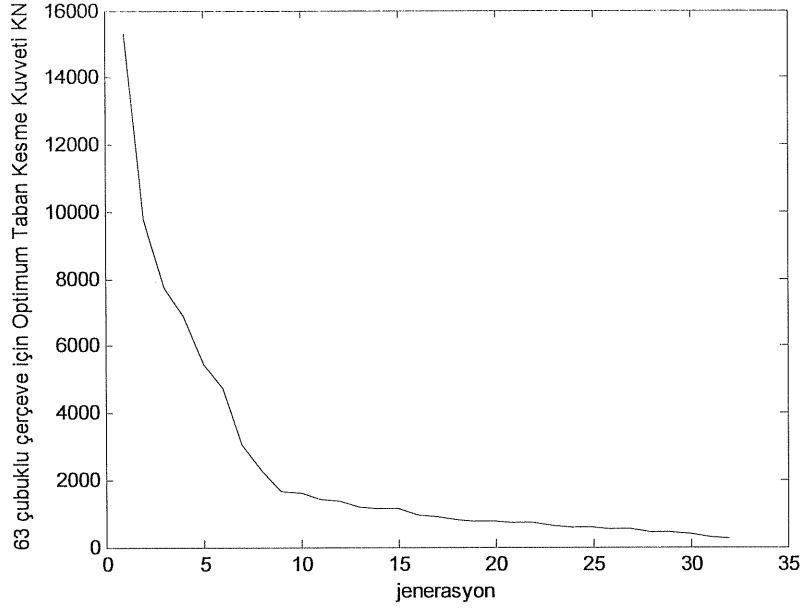
Çizelge 4.20'de görüldüğü gibi taban kesme kuvveti en düşük olan sistem 5 no'lu tasarım ile 430,72 kN ağırlığındaki sistem olmuştur. Tasarımlarda elde edilen değerler sistemin ilk altı modu için hesaplanmıştır. Şekil 4.60-şekil 4.66 arasında tasarım sonuçları verilen sistemlerin jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrileri sunulmuştur.



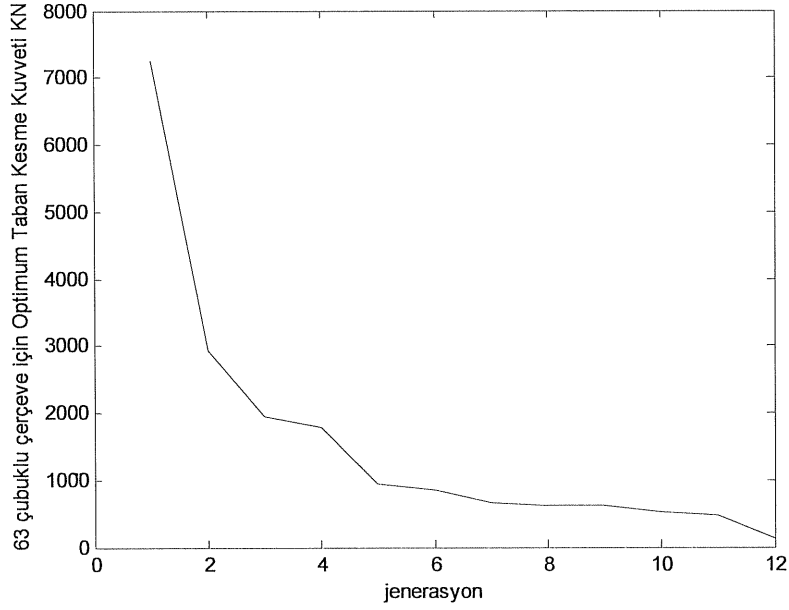
Şekil.4.60. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:111)



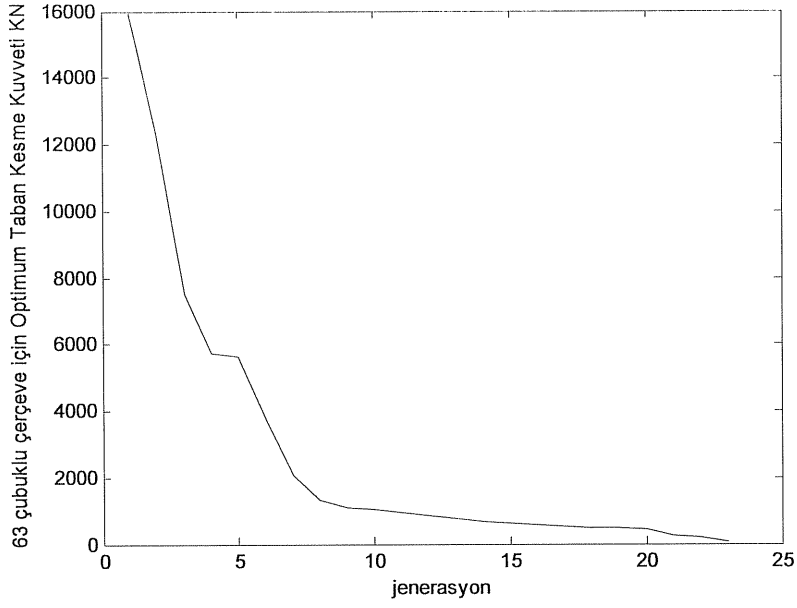
Şekil.4.61. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:138)



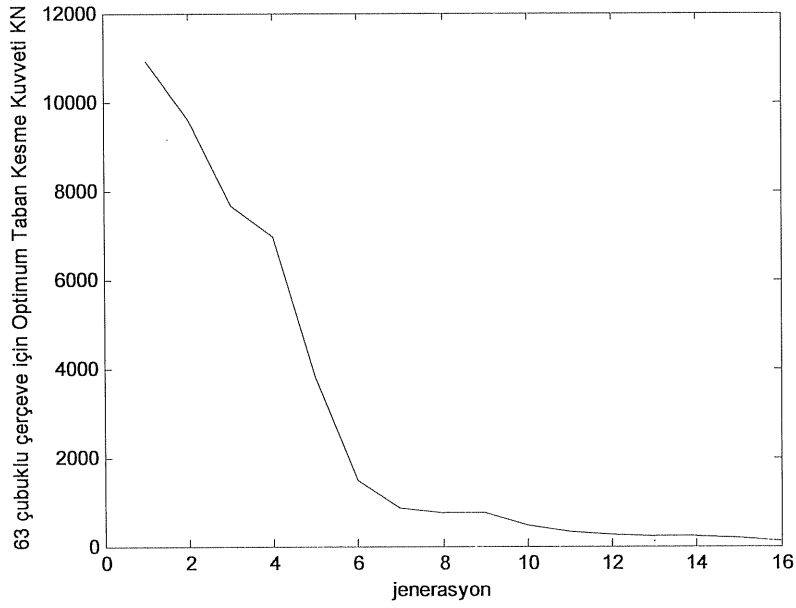
Şekil.4.62. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:32)



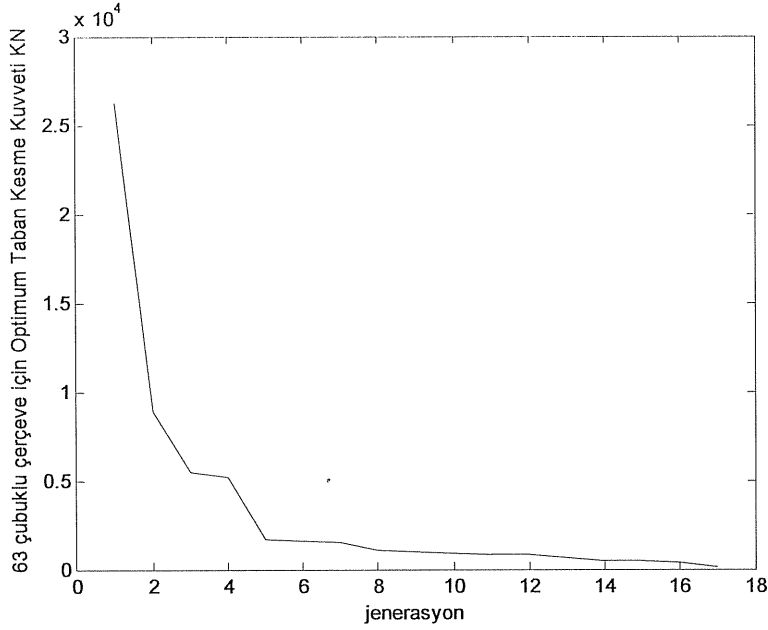
Şekil.4.63. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:12)



Şekil.4.64. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:23)



Şekil.4.65 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:16)

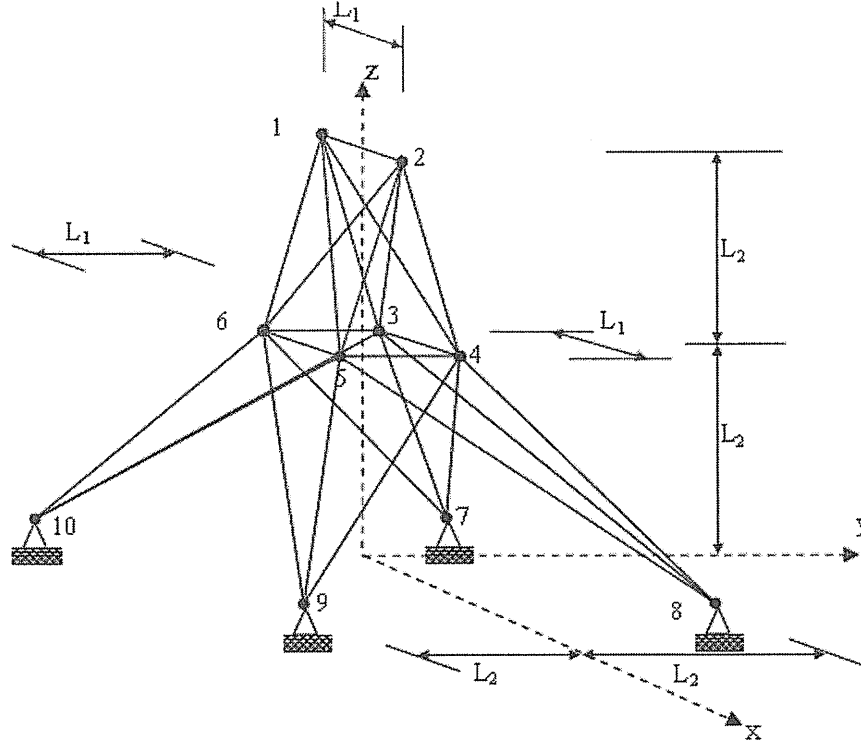


Şekil.4.66. 63 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:17)

4.8. Yirmibeş Elemanlı Uzay Kafes Sistem Tasarımı

Şekil 4.67’de görülen sistem literatürde çok sık karşılaşılan uzay kafes sistemlerden biridir. $L_1=1.905$ m, $L_2=2.54$ m’dir. Literatürde görülen çalışmalardan bazıları, Wu and Chow, (1995); Rajaev and Krishnamoorthy (1992) olup, çekme ve basınç gerilmesi için izin verilen sınır gerilme $275790,29$ kN/m², deplasman sınırı ise $0,00889$ m kabul edilmiştir. 25 elemanlı uzay kafes sistemin eleman gruplandırması Çizelge 4.21’de sunulmuştur.

25 çubuklu kafes sistemin Euler burkulması göz önüne alınarak Wu and Chow (1995) de kullanılan analiz koşulları göz önünde bulundurularak taban kesme kuvveti değerleri optimize edilmeye çalışılmıştır. Sistemin küçük ve serbestlik derecelerinin de az olmasından dolayı bütün modlar hesaba katılmıştır. Buna göre elde edilen tasarım sonuçları Çizelge 4.22 ve 4.23’te sunulmuştur. Tasarım değişkeni olarak enkesit alanları alınmıştır.



Şekil 4.67. Yirmibeş elemanlı uzay kafes sistem

Çizelge 4.21. Yirmibeş elemanlı uzay kafes sistemin gruplandırması

Eleman No	i ucu	j ucu	Grup No	Eleman No	i ucu	j ucu	Grup No
1	1	2	1	14	3	10	6
2	1	4	2	15	6	7	6
3	2	3	2	16	4	9	6
4	1	5	2	17	5	8	6
5	2	6	2	18	4	7	7
6	2	4	3	19	3	8	7
7	2	5	3	20	5	10	7
8	1	3	3	21	6	9	7
9	1	6	3	22	6	10	8
10	6	3	4	23	3	7	8
11	4	5	4	24	4	8	8
12	3	4	5	25	5	9	8
13	6	5	5				

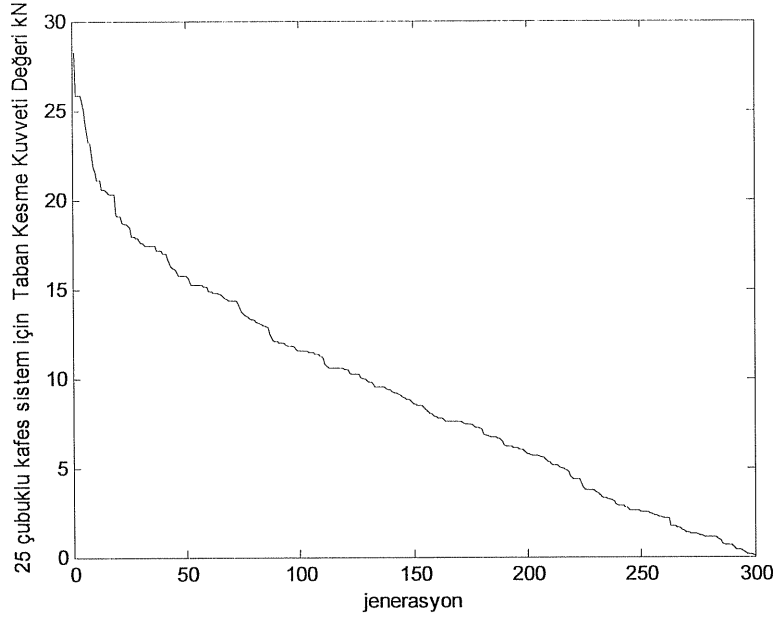
Çizelge 4.22. 25 elemanlı uzay kafes sistemin taban kesme kuvvetine göre tasarımı (Dede *et al.* (2009) şartlarına göre)

Tas. No	Gruplara Göre Kesitler (m ²)*10 ⁻⁴							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	11,61	0,65	0,65	16,77	13,55	18,06	21,94	3,87
2	14,84	1,29	0,65	21,94	12,26	12,26	12,26	3,87
3	20,90	1,29	3,87	12,26	7,74	25,81	9,03	1,29
4	3,87	0,65	0,65	16,52	9,68	6,45	12,26	3,87
5	11,61	2,58	0,65	7,74	6,45	18,06	16,52	1,29
6	25,81	1,94	2,58	0,65	0,65	1,29	4,52	6,45
7	18,06	0,65	0,65	0,65	11,61	6,45	19,35	5,81

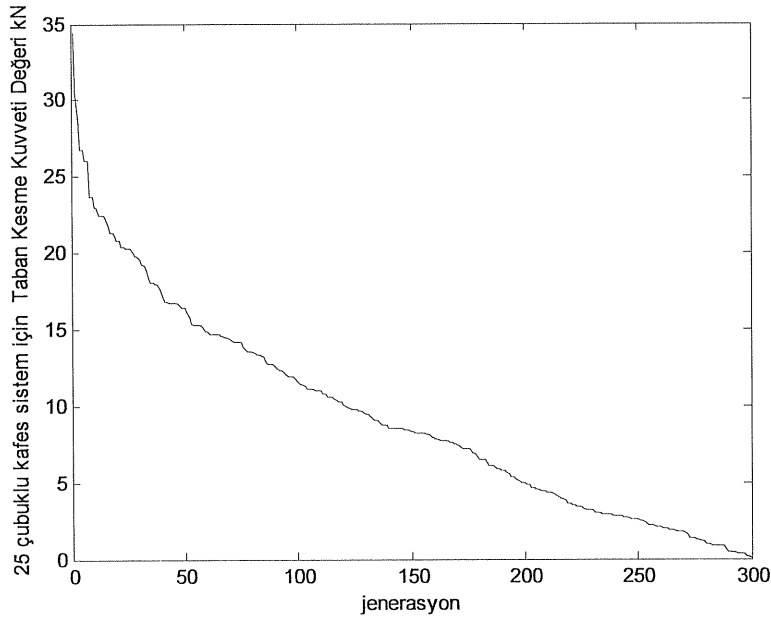
Çizelge 4.23. Yirmibeş elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre tasarımı (Dede *et al.* 2009'daki şartlara göre)

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Ağırlık (kN)	Deplasman (m)	Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
1	0,078	2,55	0,000002	332	300
2	0,093	1,86	0,000003	335	300
3	0,107	2,26	0,000001	335	300
4	0,185	1,41	0,000007	337	300
5	0,153	2,093	0,000004	335	300
6	0,246	0,820	0,000006	335	300
7	0,022	1,765	0,000001	339	300

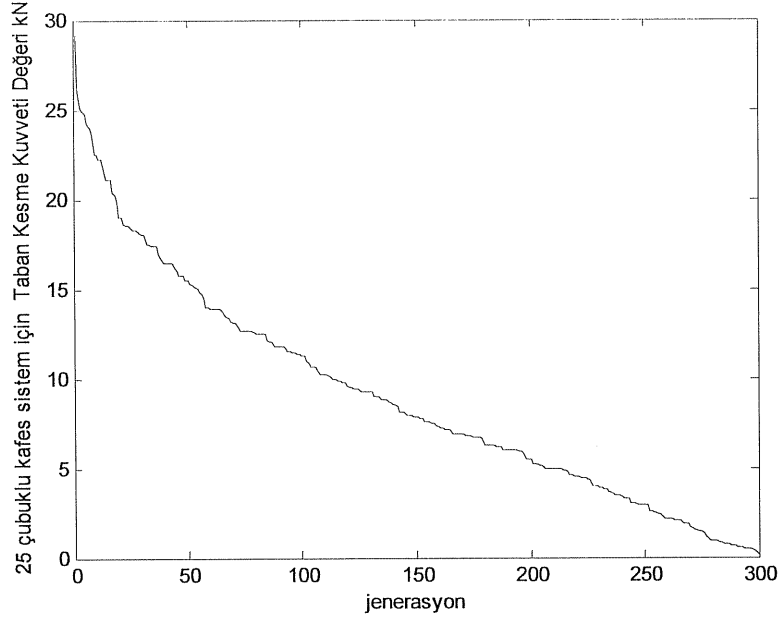
Taban kesme kuvvetine göre yapılan optimizasyonda ağırlık optimizasyonuna göre daha hafif sitemler elde edilmiştir. Burada elde edilen en düşük taban kesme kuvvetine ait değer 7 no'lu tasarım için hesaplanmış olup ağırlığı 0.022 kN olarak bulunmuştur. Ağırlık olarak elde edilen en düşük değer ise 0,82 kN'dir. Aşağıda Şekil 4.68-Şekil 4.74 arasında 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrileri sunulmuştur.



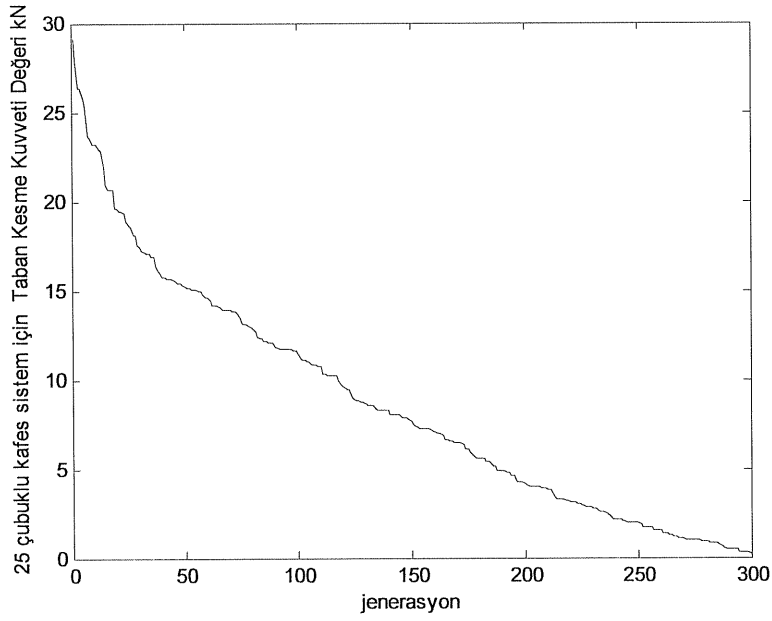
Şekil.4.68. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)



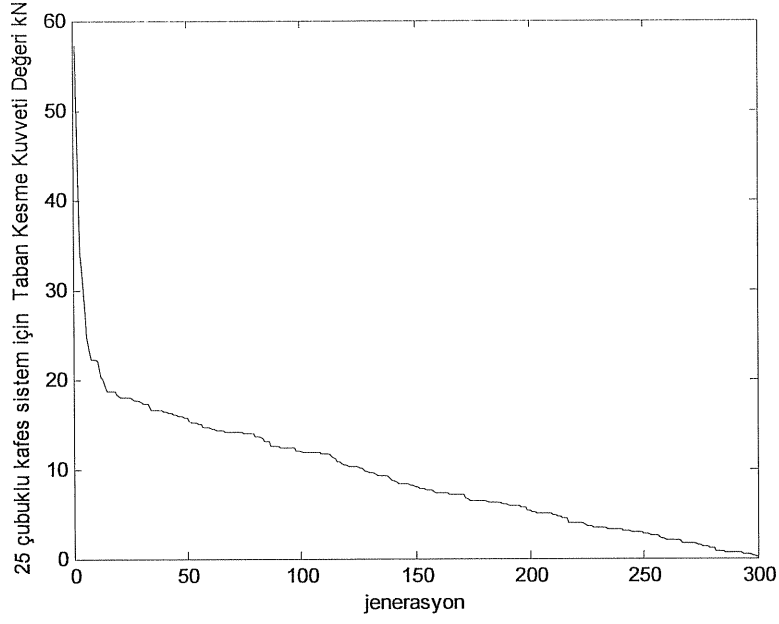
Şekil.4.69. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)



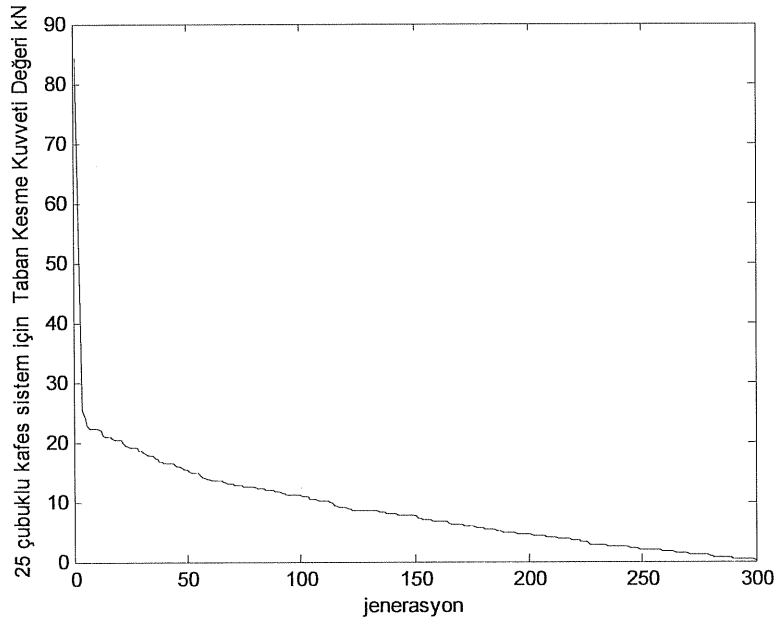
Şekil.4.70. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)



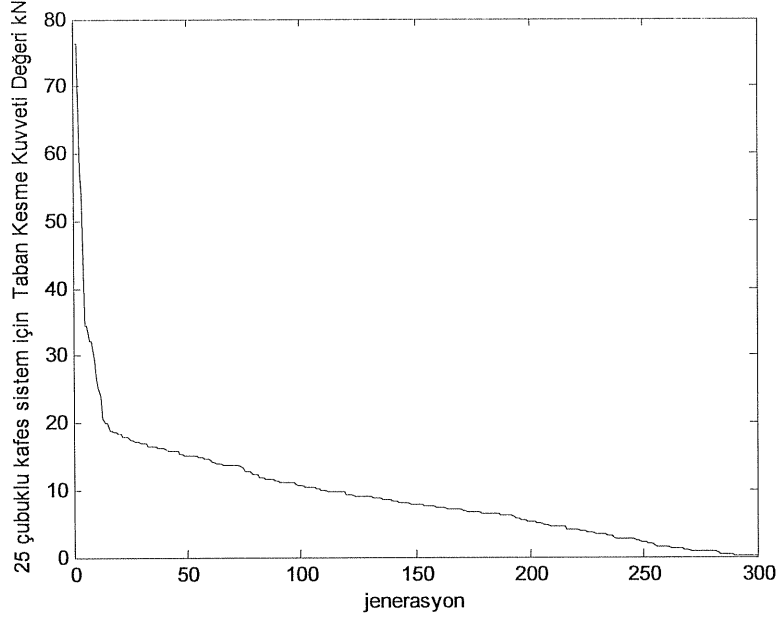
Şekil.4.71. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)



Şekil.4.72. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)



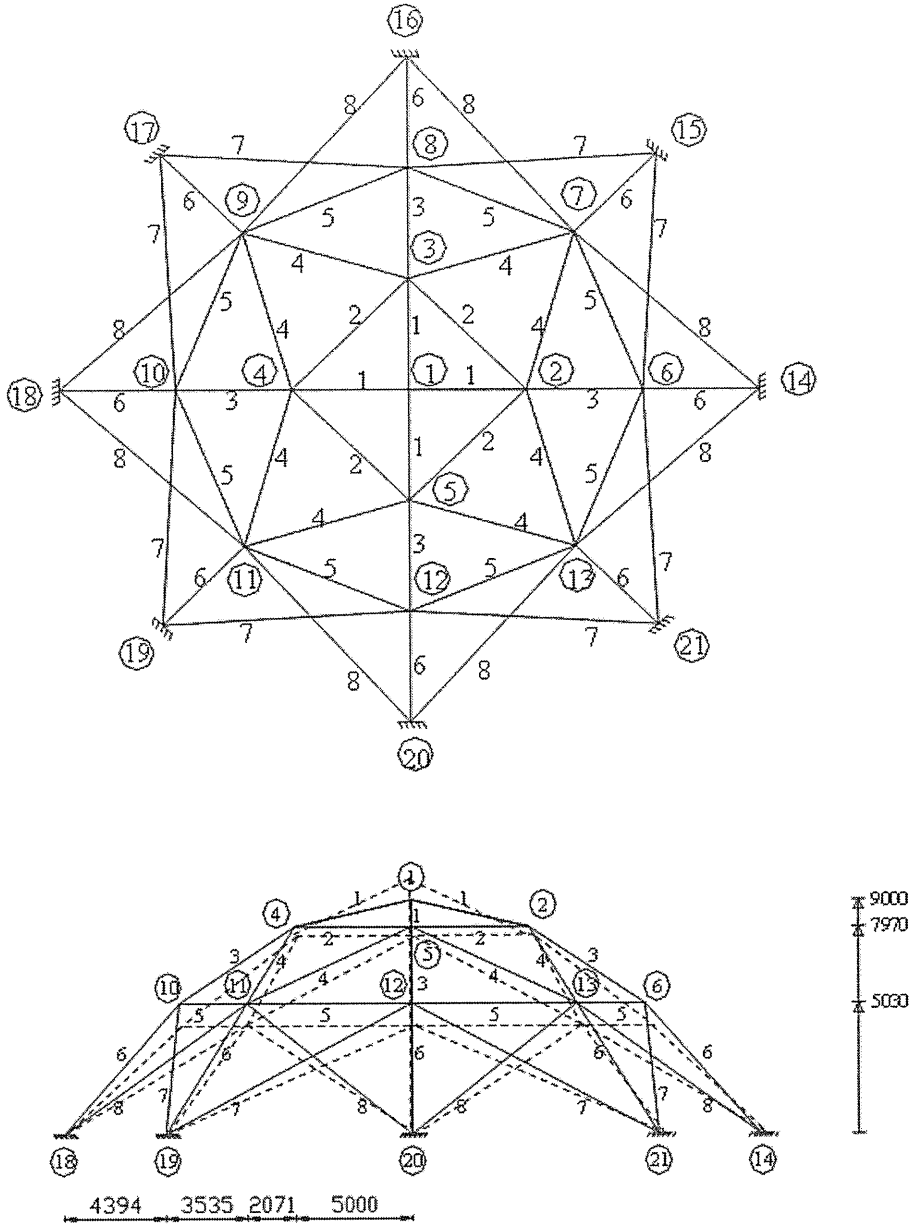
Şekil.4.73. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)



Şekil.4.74. 25 elemanlı çerçeve için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı:300)

4.9. Elli İki Elemanlı Kubbe tasarımı

Şekil 4.75'te görülen 52 elemanlı uzay kafes sistem Dede *et al.* (2009)'dan alınmıştır. Sistem sekiz gruba ayrılmıştır. Tasarım değişkenleri enkesit alanları olup taban kesme kuvvetini minimize eden boyut optimizasyonu yapılmıştır. Analiz için diğer örneklerde olduğu gibi deprem yüklemesi için spektrum davranış analizi kullanılmıştır. Bunun için El Centro depreminin kayıtları alınmıştır. Sistemin tüm modları hesaba dâhil edilmiştir. Literatürde daha önce ağırlık optimizasyonu yapılan sistem, bu çalışmada taban kesme kuvvetine göre optimize edilmiştir. Elastisite modülü $E=209992588,66 \text{ kN/m}^2$, birim hacim ağırlık ise $\rho=7833,413 \text{ kg/m}^3$ olan sistemde enkesitler eşit kollu köşebentlerden seçilmiş olup tasarım değişkeni olarak kabul edilmişlerdir. Sınır gerilmenin $234973,32 \text{ kN/m}^2$ alındığı örnekte yükleme 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 ve 13. düğüm noktalarından sistem global ekseninin negatif z yönünde 150 kN etki edecek şekilde uygulanmıştır. İzin verilen deplasman $0,009906 \text{ m}$ 'dir. Eksenel gerilme ve burkulma gerilmesi gerilme sınırlayıcıları olarak kullanılmıştır. Burkulma analizinde Euler burkulma teorisi kullanılmıştır. Sistem şekli ve elemanların gruplandırması aşağıda Şekil 4.75'te sunulmuştur.



Şekil.4.75. Elli iki elemanlı kubbe (Dede *et al.* 2009)

Taban kesme kuvvetine göre yapılan optimizasyon sonucu grup elemanlarına atanan kesitler Çizelge 4.24'te verilmiştir. Bu kesit değerleri eşit kollu köşebent elemanlara ait m^2 cinsinden enkesit alanı değerleridir.

Çizelge 4.24. Elli iki elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre enkesit alanı değerleri

Tasarım No	Gruplara Göre Kesitler (m ²)*10 ⁻⁴							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	16,00	37,10	11,16	7,03	30,65	13,48	70,97	29,74
2	13,48	26,97	6,05	4,61	29,74	9,29	9,42	26,97
3	16,00	73,55	4,61	23,29	32,65	37,81	73,55	23,29
4	7,03	18,45	11,16	8,77	11,48	14,52	54,45	18,52
5	5,82	24,19	32,65	9,29	70,97	15,68	11,16	20,97
6	4,61	23,29	24,19	9,29	15,68	7,03	20,97	20,97
7	17,74	70,97	10,90	7,68	19,55	23,29	20,97	11,48

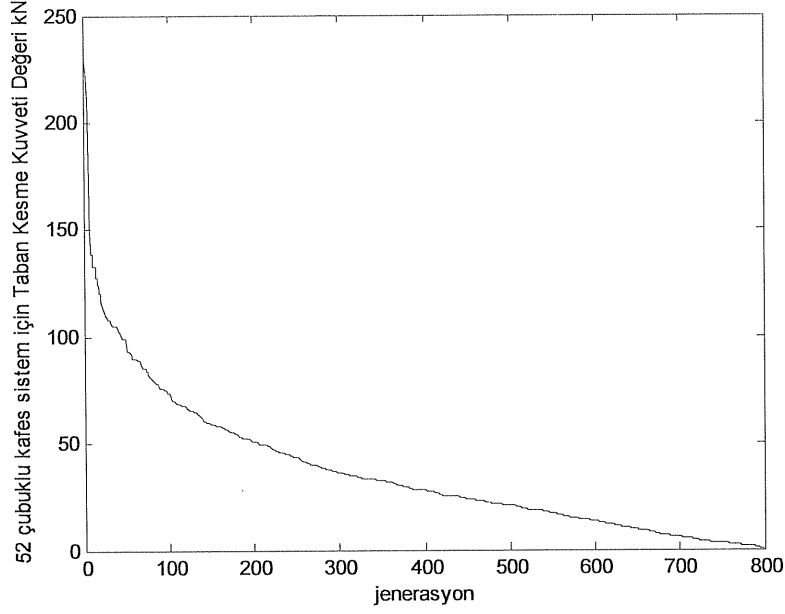
Çizelge 4.24'te yer alan enkesit alanları, eşit kollu korniyer tablosundan alınmıştır. Çalışmada başlangıç popülasyon havuzu belirlendikten sonra çok sayıda optimum sonuca çok kısa sürede ulaşmak mümkün olmuştur.

Çizelge 4.25. 52 elemanlı uzay kafes sistemin taban kesme kuvvetine göre tasarım sonuçları

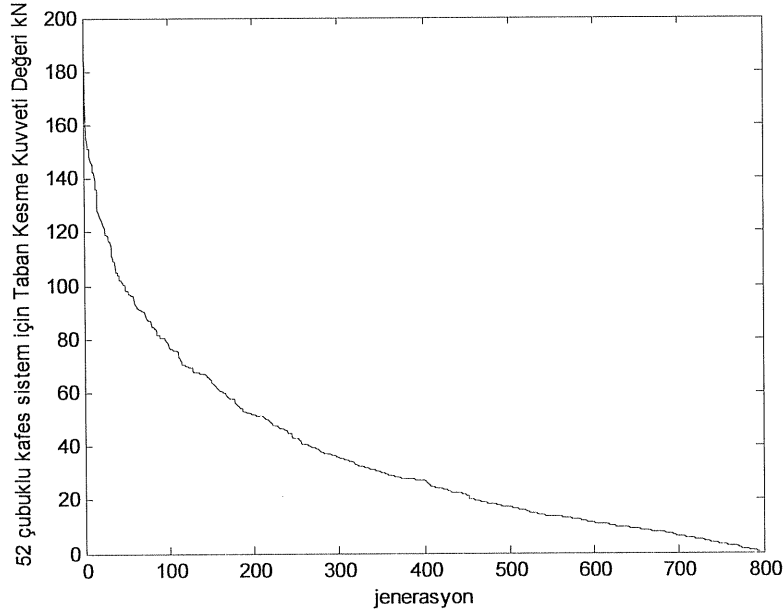
Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Ağırlık (kN)	Deplasman (m)	Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
1	0,369	107,60	0,000006	872	799
2	0,452	56,12	0,000003	901	796
3	0,600	131,13	0,000001	869	794
4	0,300	74,64	0,000002	852	788
5	0,533	80,98	0,000004	865	796
6	0,423	55,45	0,000003	1104	796
7	0,410	66,38	0,000004	862	798

Çizelge 4.25'te görüldüğü gibi 52 elemanlı uzay kafes sistemin taban kesme kuvvetine göre optimum tasarımında elde edilen en düşük taban kesme kuvveti 4 no'lu tasarımda

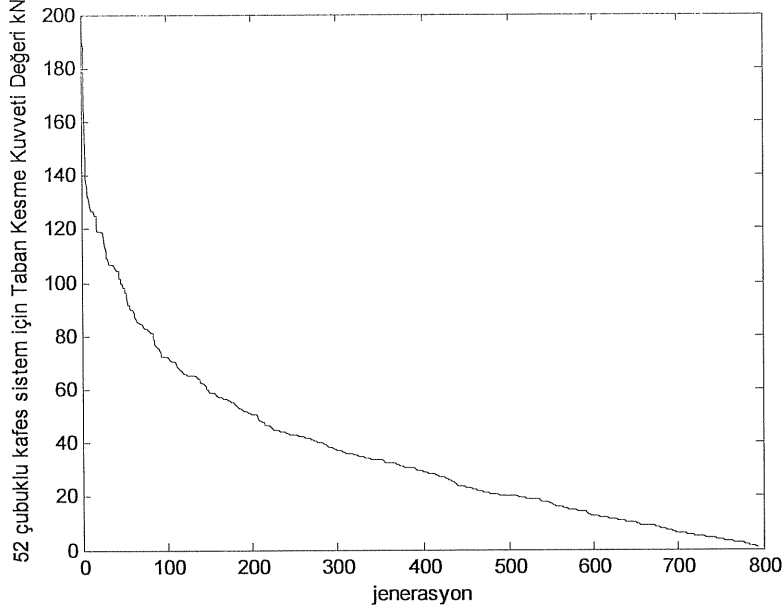
0,3 kN olarak elde edilmiştir. En yüksek taban kesme kuvveti ise 3 no'lu tasarımda 0,6 kN olarak hesaplanmıştır. Ağırlık değerleri 55,45 kN ile 131,13 kN arasında değişmekte olup en düşük ağırlık değeri 140,14 kN'dur.



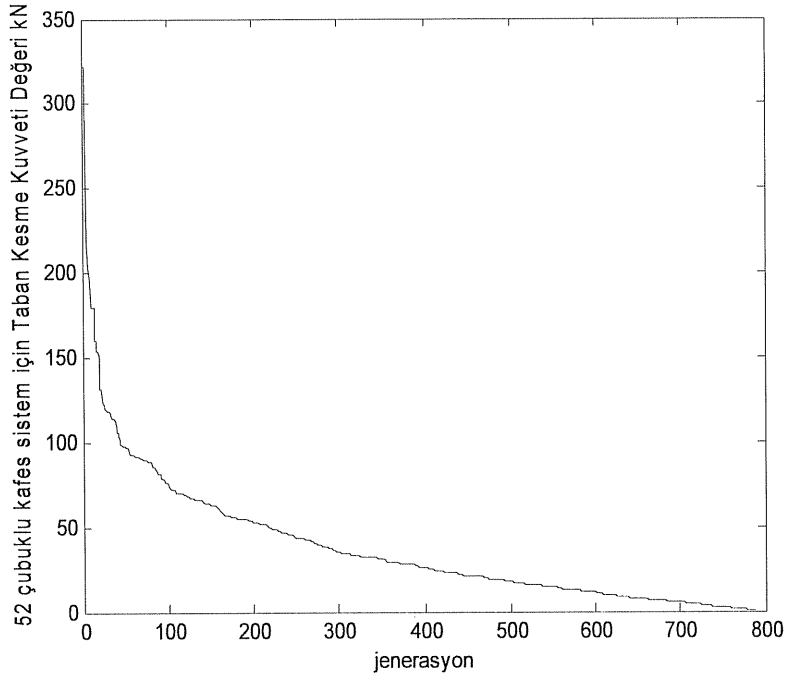
Şekil.4.76. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 799)



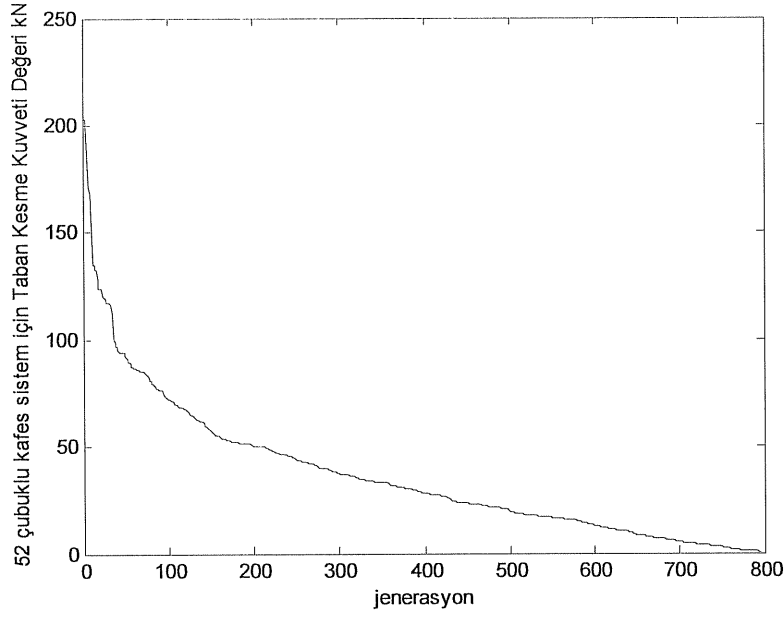
Şekil.4.77. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 796)



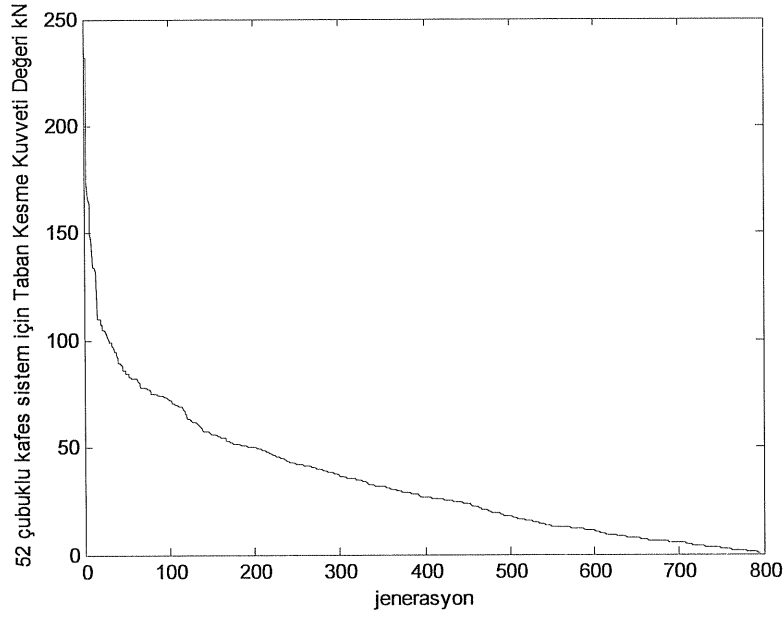
Şekil.4.78. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 794)



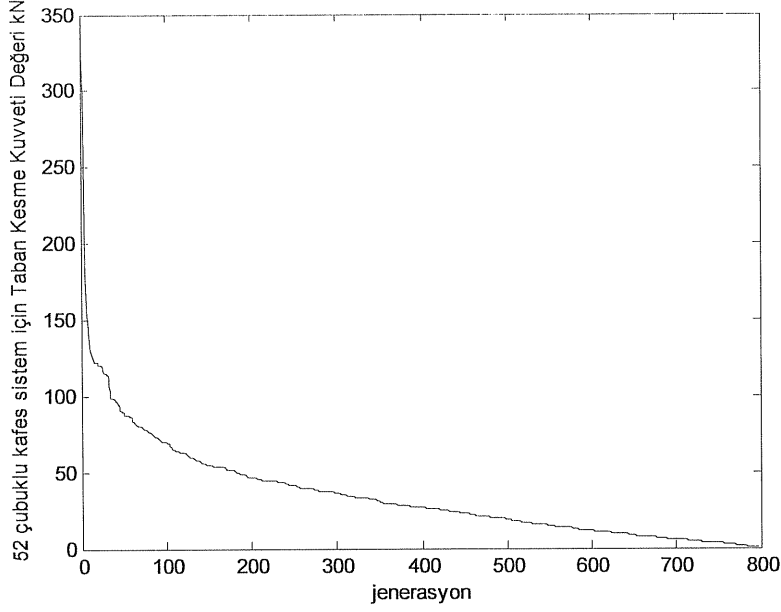
Şekil.4.79. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 788)



Şekil.4.80. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 796)



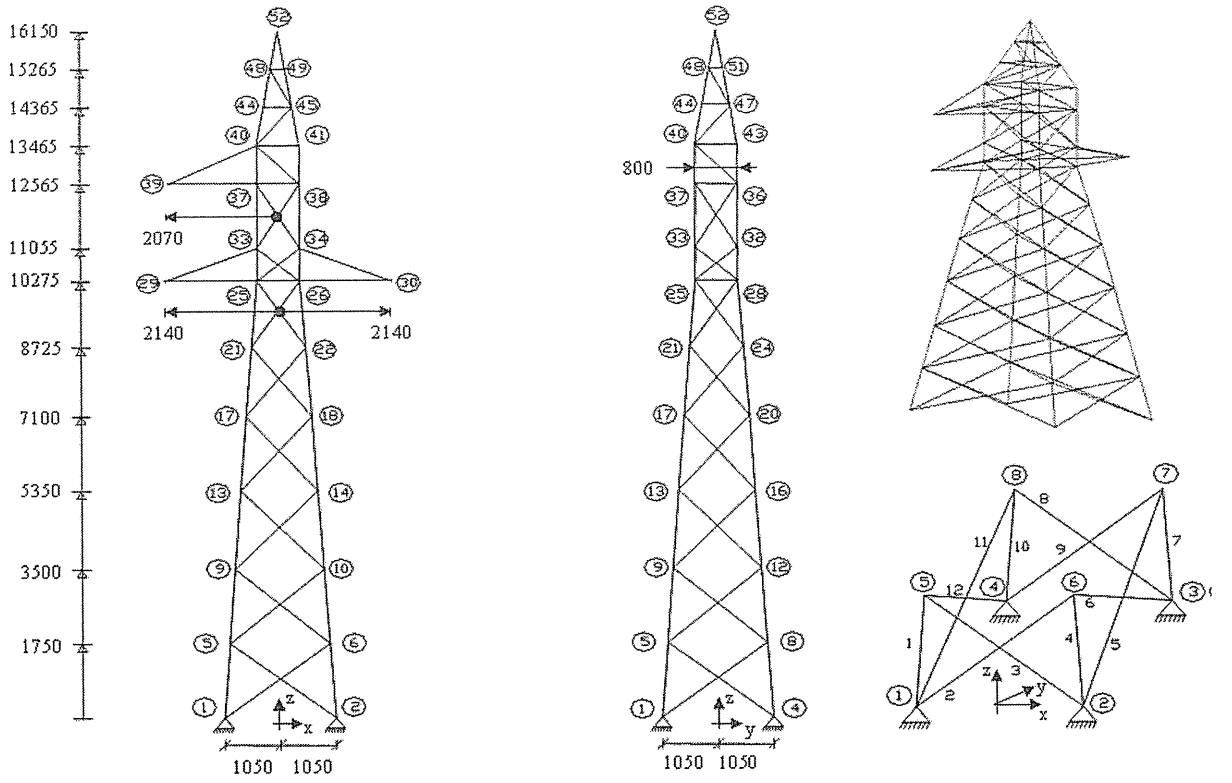
Şekil.4.81. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 796)



Şekil.4.82. Elli iki elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 798)

4.10. 154 Elemanlı İletim Hattı Kulesi Tasarımı

Şekil 4.83’de düğüm noktası ve eleman numaraları verilen 154 elemanlı uzay kafes sistemin çekme ve basınç gerilmesi için izin verilen sınır $275790,9 \text{ kN/m}^2$, elastisite modülü; $68947572,93 \text{ kN/m}^2$, deplasman sınırı ise $0,1016 \text{ m}$ kabul edilmiştir. Kullanılan malzemenin yoğunluğu $\rho = 2767,99 \text{ kg/m}^3$ alınmıştır. Çubuk elemanlar 14 gruba ayrılmıştır. Tasarım değişkenleri dikdörtgen enkesit alanı olarak seçilmiştir. Yükleme biçimi Çizelge 4.26 ile aşağıda gösterilmiştir. Şekil 4.83’de sistem için verilen uzunluklar mm cinsindedir.



Şekil.4.83. Yüzeli dört elemanlı uzay kafes sistem (Toğan ve Daloğlu, 2006)

Çizelge 4.26. Yüzeli dört elemanlı uzay kafes sistem için yükleme durumu (Toğan ve Daloğlu 2006)

Yükleme No	Düğüm noktası	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)
1	39	-9770.76	0	-5356.26
	52	-8515.08	0	-4816.71

Toğan ve Daloğlu (2006)'dan alınan sistem ile ilgili yapılmış tasarımlar aşağıda sunulmuştur. Bu tasarımlarda TS648 göz önünde bulundurularak genetik algoritma ile statik yükleme altında ağırlık optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyonda şekil ve boyut tasarım değişkenleri kullanılmıştır. Karşılaştırma yapmak için bu sonuçlar Çizelge 4.27' de sunulmuştur.

Çizelge 4.27. Yüzelli dört elemanlı uzay kafes sistem için Toğan ve Daloğlu (2006)'dan alınan enkesit sonuçları

Tasarım	Tasarım değişkenleri (mm ³)													
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄
1	1870	480	569	569	586	631	480	569	480	631	903	480	569	569
2	1550	480	480	480	480	480	480	569	480	870	824	691	480	569

154 elemanlı uzay kafes sistem, enkesitler tasarım değişkeni kabul edilerek genetik algoritma yöntemi ile optimize edilmiştir. Sistem çekme gerilmesi, burkulma gerilmesi ve deplasman sınırlayıcılarına tabi tutulmuştur. İlk altı mod için deprem yükleri hesaplanan sistem taban kesme kuvvetine göre optimize edilmiştir. Sistemin büyüklüğünden dolayı taban kesme kuvvetleri de oldukça büyük hesaplanmıştır.

Çizelge 4.28'da enkesit alanları verilen yedi farklı tasarımın analiz sonuçları Çizelge 4.29'da verilmiştir. Buna göre elde edilen en düşük taban kesme kuvveti 64,341 kN ile 8,679 kN ağırlığındaki sistem olmuştur. Bu ağırlık literatürde genetik algoritma ile optimizasyonu yapılmış sistemin ağırlığına (13,255 kN) göre yaklaşık %34 daha düşük ağırlığa sahiptir.

Aşağıdaki diyagramlar Çizelge 4.29'daki tasarımlar için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrilerini göstermektedir. Tasarımlar içerisinde en yüksek taban kesme kuvveti 6 no'lu tasarım ile 12,285 kN ağırlığa sahip sistemdir. Yaklaşık ağırlığa sahip 2 no'lu sisteme ait taban kesme kuvveti 6 no'lu sisteme göre oldukça küçük hesaplanmıştır. Burada yine eleman grupları arasında ağır olan malzemelerin hafif malzemeler üzerinde yer almasının taban kesme kuvveti üzerinde olumsuz etki yaptığı görülmektedir.

Çizelge 4.28. Yüzelli dört elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre enkesit tasarımı (Dede *et al.* (2009) şartlarına göre)

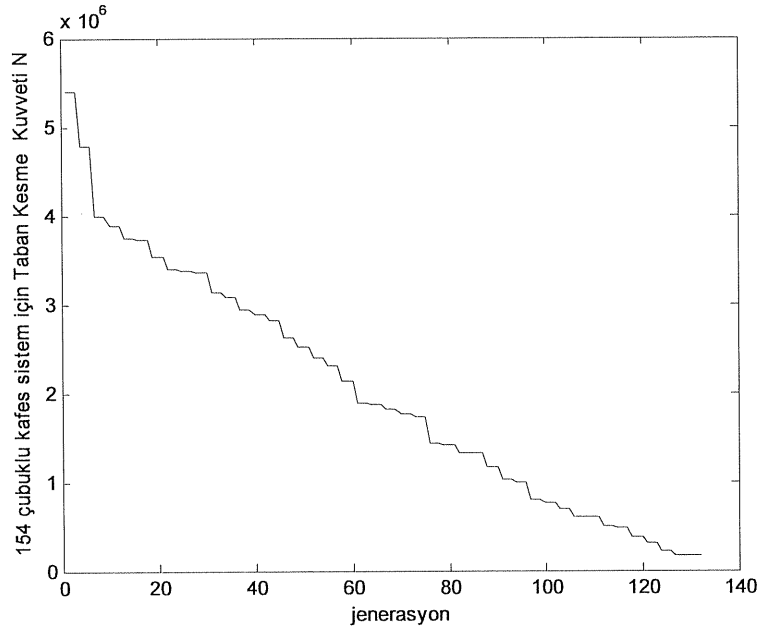
Tasarım No	Gruplara Göre Kesitler (m ²)*10 ⁻⁴													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
1	64,5	50,58	16,77	7,74	7,74	16,51	6,45	7,74	29,41	13,54	37,16	13,54	3,87	12,25
2	3,23	37,16	9,67	58,06	1,29	5,80	16,12	30,97	18,06	1,29	13,54	7,74	45,16	13,54
3	3,23	5,80	18,06	0,64	12,25	13,54	37,16	16,13	40,32	14,51	36,19	11,61	3,22	21,93
4	38,71	21,93	19,35	12,25	0,64	19,35	21,93	2,58	12,25	1,93	3,22	7,09	36,19	3,87
5	7,74	13,54	58,06	24,51	14,51	6,45	13,54	18,06	20,90	4,51	5,80	18,06	24,51	6,45
6	18,06	29,03	16,12	18,06	13,54	13,54	29,41	29,42	9,67	21,93	15,48	5,80	1,93	18,06
7	7,74	13,54	58,06	24,51	14,51	6,45	13,54	18,06	20,90	4,51	5,80	18,06	24,51	6,45

Çizelge 4.29'da taban kesme kuvvetine göre optimizasyonu yapılan 154 elemanlı kafes iletim kulesinin tasarım sonuçları verilmiştir. Buna göre bulunan en düşük taban kesme kuvveti 64,341 kN ile 8,679 kN ağırlığa sahip 3 no'lu tasarım olmuştur. En yüksek taban kesme kuvveti değeri ise 237,465 kN ile 12,285 kN ağırlığa sahip 6 no'lu tasarım olmuştur.

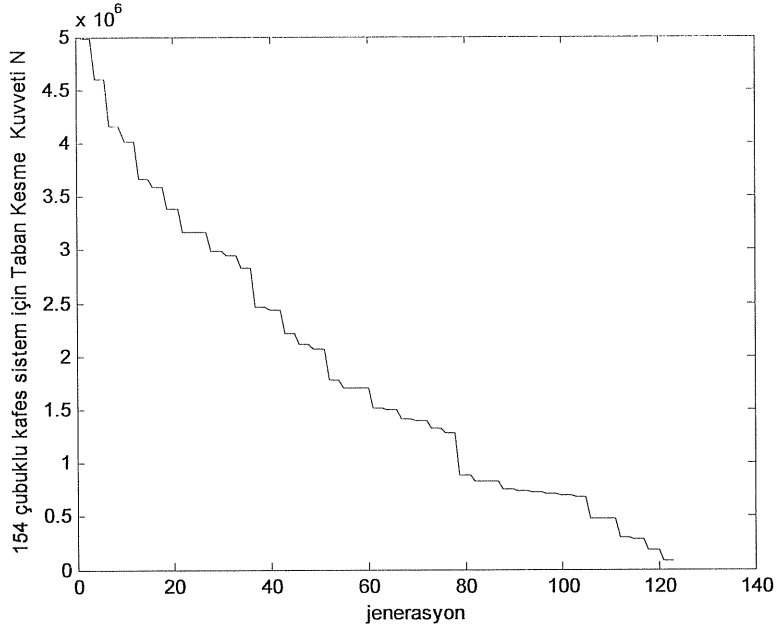
Çizelge 4.29. Yüzelli dört elemanlı uzay kafes sistemin gruplara göre tasarımı (Dede *et al.* 2009'daki şartlara göre)

Tasarım no	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Ağırlık (kN)	Deplasman (m)	Süre (sn)	Optimum sonuç sayısı
1	158,746	10,036	0,00663189	674	132
2	79,762	12,493	0,00312804	633	123
3	64,341	8,679	0,00311638	626	144
4	103,160	10,739	0,00386342	1188	244
5	216,588	11,856	0,00368747	1267	171
6	237,465	12,285	0,00463794	1345	279
7	216,588	11,856	0,00368747	1271	171

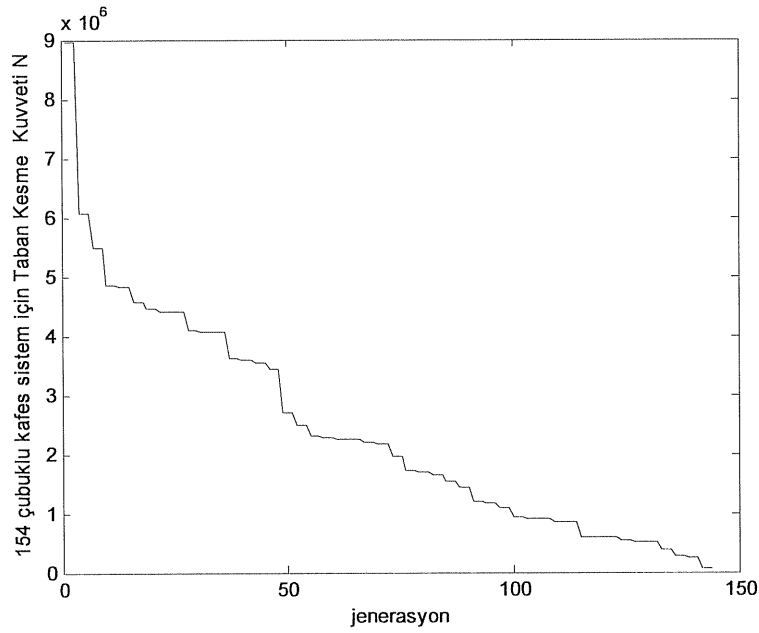
Aşağıda Çizelge 4.28 ve 4.29'da tasarım sonuçları verilen sistemlere ait jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrileri verilmiştir.



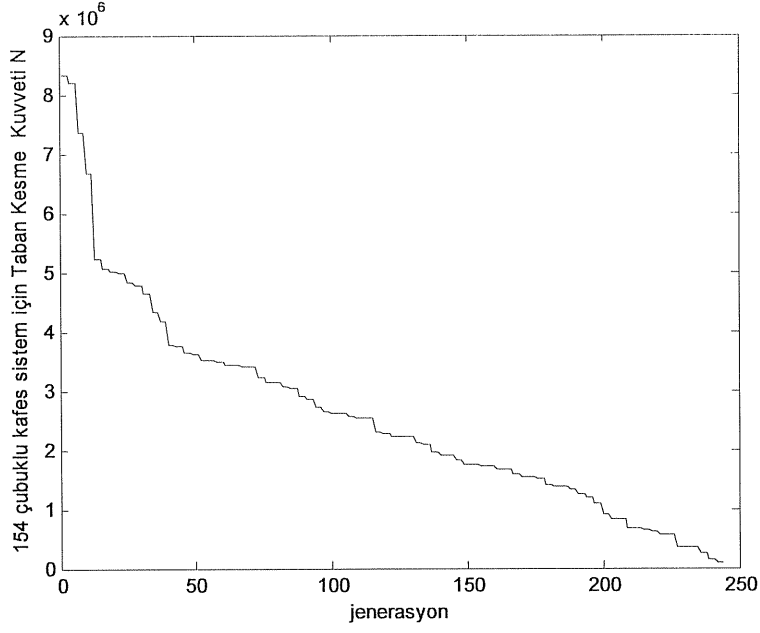
Şekil.4.84. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 132)



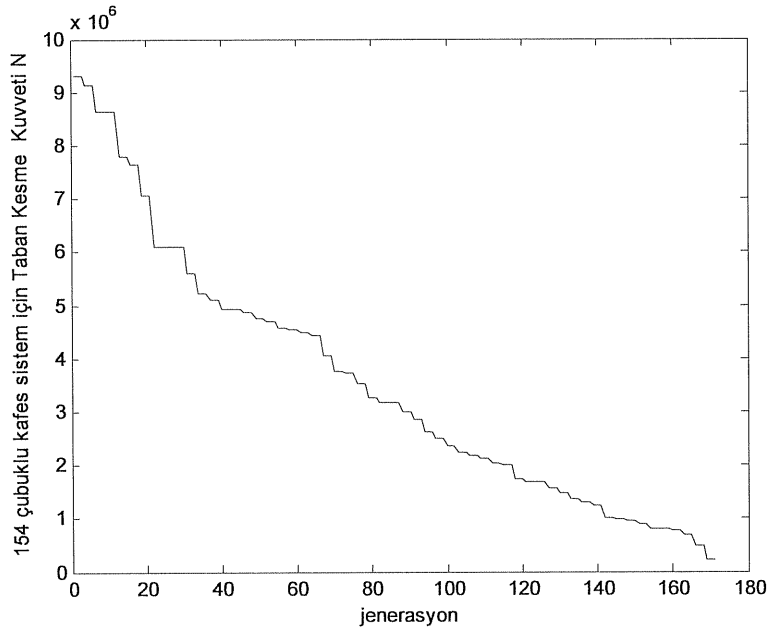
Şekil.4.85. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 123)



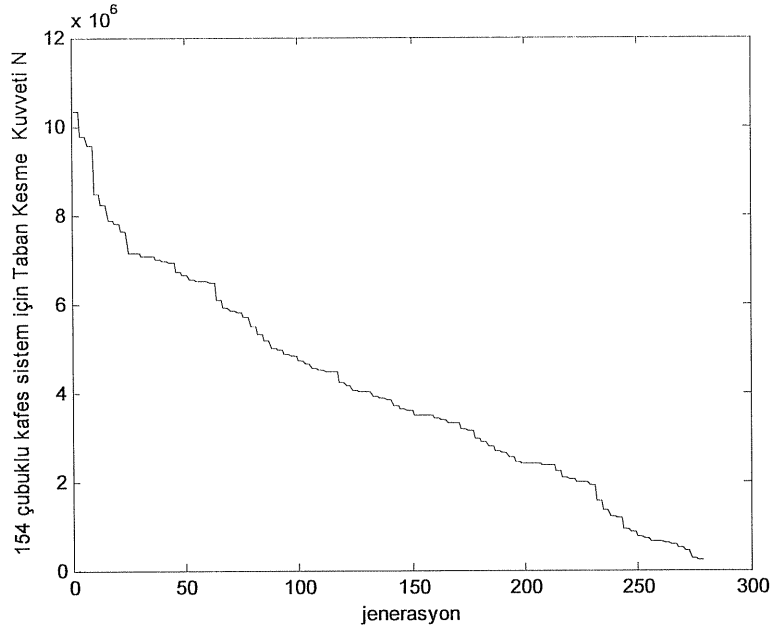
Şekil.4.86. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 144)



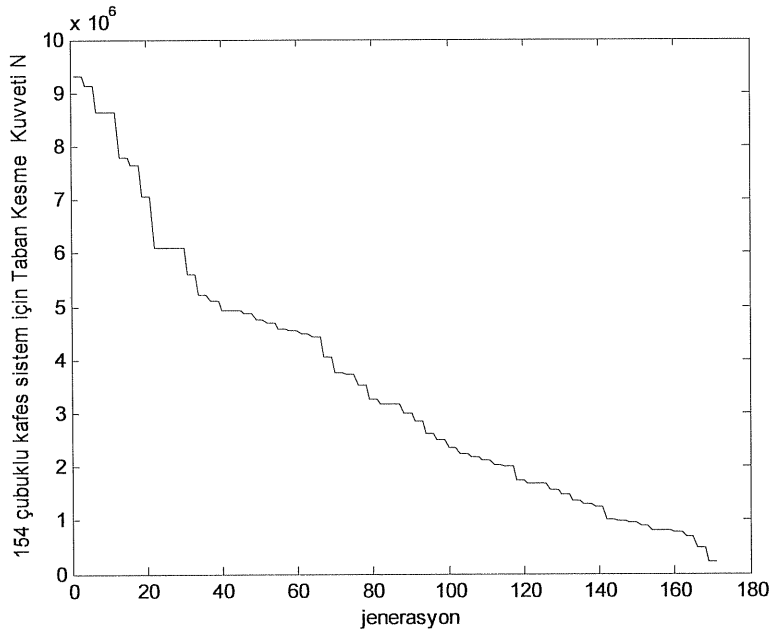
Şekil.4.87. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 244)



Şekil.4.88. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 171)



Şekil.4.89. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 279)



Şekil.4.90. 154 elemanlı uzay kafes sistem için jenerasyon-optimum taban kesme kuvveti eğrisi (optimum sonuç sayısı: 171)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada deprem yüküne maruz, doğrusal davranışlı, üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemlerin taban kesme kuvveti optimizasyonu yapılmıştır. Literatürden alınan örnek sistemlere gerilme, deplasman ve ağırlık sınırlayıcıları uygulanmıştır. Optimizasyon problemlerinde üç boyutlu çerçeve sistemler için eğilmeli burulma, eğilmeli burkulma ve çekme gerilmesi gerilme sınırlayıcıları, üç boyutlu kafes sistemler için ise çekme ve burkulma gerilme sınırlayıcıları kullanılmıştır. Deplasman sınırlayıcıları üç boyutlu çerçeve sistemlerde katlararası ve tepe deplasmanı olarak alınmıştır. Kafes sistemlerde ise genellikle düğüm noktası deplasmanları hesaba katılmıştır.

Çalışmanın araştırma ve bulgular bölümünde öncelikle literatürden alınan üç boyutlu bir çerçeve sistemin, yeniden ağırlık optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu iki optimizasyon sonuçları karşılaştırıldığında, yapılan tasarımların literatürdekine göre %25 daha hafif oldukları görülmektedir.

Ayrıca araştırma ve bulgular bölümünde yine literatürden alınan, 25 elemanlı uzay kafes sistemin ağırlık optimizasyonu da yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda literatürdeki en iyi sonuçtan %24 daha hafif bir sistem elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti esas alınarak yapılan tasarımlarda, çalışmada ele alınan örneklere bakıldığında ağırlık optimizasyonuna göre çok daha ekonomik çözümler yapıldığı görülmektedir. Altmış üç elemanlı sistem için taban kesme kuvveti optimizasyonundan elde edilen tasarım sonuçları incelendiğinde, ağırlık değeri Papadrakakis *et al.* (2001)'de hesaplanan en küçük değer ile karşılaştırıldığında %49 daha ekonomik olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın diğer bölümlerinde öncelikle üç boyutlu çerçeve yapıların ardından uzay kafes sistemlerin taban kesme kuvvetine göre optimizasyonu yapılmıştır. Tasarım değişkenleri çerçeve yapılar için I profil enkesitleri, uzay kafes sistemler için ise enkesit alanları olarak alınmıştır.

Çalışma hem uzay çerçeve yapıların hem de uzay kafes sistemlerin depreme dayanıklı,

aynı zamanda ekonomik olması üzerine yoğunlaşmıştır. Yapıya gelen deprem yüklerinin yapıyı oluşturan elemanlarla, yani tasarımla doğrudan ilişkili olduğu göz önüne serilmiştir. Yerinde bir tasarımla fazla para harcamadan da yapıların depreme dayanıklı olarak yapılabileceğini savunmakta olan bu çalışmada, genetik algoritmanın çaprazlama, mutasyon ve elitizm operatörleri kullanılmıştır. Genetik algoritmaya program vasıtasıyla çözüm uzayının pek çok yönü ile taranabilmesi konusunda özel komutlar verilmiştir. Tasarım sonucu olarak çizelgelerle sunulan çözümler, program tarafından elde edilmiş bir çok optimum sonuç arasından sunulmaktadır. Kullanılan bilgisayar çift çekirdekli olarak tarif edilen bir dizüstü bilgisayardır. Tasarımların birçoğu çok kısa bir süre içerisinde arama yapmakta ve sonuç vermektedir. Böylece literatüre göre çok daha ekonomik çözümler elde edilebilmiştir. Ayrıca program, üç boyutlu çevre ve kafes olarak tasarlanmış her türlü yapıya uygulanabilecek esneklikte oluşturulmuştur. İstenilen profil tablo bilgileri ve malzeme özellikleri verilerek, istenilen sistemin optimizasyonu yapılabilmektedir. Çalışmada El Centro deprem kayıtları esas alınmış olup istenilen deprem kaydına göre de değişiklik yapılabilmektedir.

Literatürde özellikle çalışmanın konusu olan taban kesme kuvvetinin minimize edilmesi konusunda bir optimizasyon çalışmasına rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalar genellikle doğrusal olmayan davranışı esas alan statik düşey yüke maruz sistemler veya zaman tanım alanı analizini kullanan yöntemlerdir. Bu çalışma, gelecekte yapılabilecek çalışmalar için deprem analizini de göz önüne bulundurmak açısından cesaretlendirici olabilir.

Literatürdeki sistemlerde eğilmeli burulma gerilme durumu sınırlayıcı olarak kullanılmamıştır. En azından yapılan araştırmalarda böyle bir bulguya rastlanılmamıştır. Analizlerde sistemlerin tıpkı burkulma gibi eğilmeli burulma gerilmesi sınırlayıcılarına da takıldıkları ve bu şekilde bu sınırlayıcıların optimumu bulmada zorluk çıkardığı görülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda farklı bileşik gerilme durumlarının da optimizasyonda kullanılması düşünülebilir. Çerçeve sistemlerde burulma etkisinin ihmal edilmemesi çalışmadan edinilen izlenime göre yerinde olacaktır. Sonuç olarak bu

Çalışma ile yapıların optimizasyonu konusunda farklı bir yol kullanılarak bilime katkıda bulunulmak istenmiş yeni bir bakış açısı sunulmaya çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

- Adeli, H. and Kumar, S.,1995, Concurrent Structural Optimization on Massively Paralel Supercomputer, Journal of Structural Engineering, ASCE, 121, 1588-1597.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar.2007.
- Armutçu, M., 1997, Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ. Trabzon.
- Alimoradi A., Pezeshk S. and Foley C.M.,2007. Probabilistic Performance-Based Optimal Design of Steel Moment-Resisting Frames. II: Applications. _ Journal of Structural Engineering, Vol. 133, No. 6
- Anderson, E., Z. Bai, C. Bischof, S. Blackford, J. Demmel, J. Dongarra, J. Du Croz, A.Greenbaum, S. Hammarling, A. McKenney, and D. Sorensen, 1999. LAPACK User's Guide (http://www.netlib.org/lapack/lug/lapack_lug.html), Third Edition, SIAM, Philadelphia,.
- Annicchiarico W. and Cerrolaza M., 1998. Optimization of finite element bidimensional models:an approach based on genetic algorithms .Finite Elements in Analysis and Design, Vol.29,no.3-4, pp. 231-257.
- Bazeos N., 2009. Comparison of three seismic design methods for plane steel frames. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29, (3), 553-562.
- Bureerat S. and Limtragool J., 2006, Performance enhancement of evolutionary search for structural topology optimisation. Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 42,no.6, pp: 547-566.
- Camp, C., Pezesk, S., and Cao G., 1998, Optimized Design of Two Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, ASCE, 124, 551-559.
- Cao, G., 1996, Optimized Design of Framed Structures Using a Genetic Algorithm, Dissertation, Doctor of Philosophy, The University of Memphis.
- Celep Z., ve Kumbasar N., 2000, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İTÜ. İstanbul.
- Celep Z., ve Kumbasar N., 2001, Yapı Dinamiği. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Chapra C. S.,Canale R. P., 2003, Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Chen S.Y., 1997, Using Genetic Algorithms for the Optimal Design of Structural Systems, Dissertation Doctor of Phlisophy, Arizona State University.
- Cheng, J., 2010. Optimum design of steel truss arch bridges using a hybrid genetic algorithm. Journal of Constructional Steel Research,(66), 1011-1017.
- Courant R. Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations. Bull Am Math. Soc 1943;49:1-23.
- Çakıroğlu A., Özden E., Özmen G., 1970, Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinesi Programları. İstanbul Teknik Üniversitesi.1970. İstanbul .
- Deb K. and Gulati S., 2001, Design of truss-structures for minimum weight using genetic algorithms Finite Elements in Analysis and Design, Vol.37, no. 5,pp. 447-465.

- Dede, T., Ayvaz, Y., ve Bekiroğlu, S., 2003. Değer Kodlaması Kullanılarak Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma İle Optimum Tasarımı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli 2003.
- Degertekin S.O., Saka M.P., Hayalioglu M.S.,2008. Optimal load and resistance factor design of geometrically nonlinear steel space frames via tabu search and genetic algorithm. www.elsevier.com/locate/engstruct. Engineering Structures ,30, 197–205.
- Dunn, S.A., 1998. The use of genetic algorithms and stochastic hill-climbing in dynamic finite element model identification. Computers and Structures, Volume: 66 Issue: 4, Pages: 489-497.
- Dünder C., Kırıl E., Mengi Y.,1985,Yapı Mekaniğinde Bilgisayar Programları. Teknik Yayınevi. Adana.
- Elghazouli A.Y. , Castro J.M., Izzuddin B.A.,2008. Seismic performance of composite moment-resisting frames. Engineering Structures, 30, (7), 1802-1819.
- Erbatur, F., Hasançebi, O.,Tütüncü, İ. And Kılıç, H., 1999. Optimum Desing of Planer and Space Structure with Genetic Algorithms. Computers& Structures, 75, 209-224.
- Erdik M., ve Yüzüğüllü Ö., 1980, Deprem Mühendisliği Açısından Yapı Dinamiğine Giriş, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Esen Y. ve Ülker M., 2008. Çok Katlı Uzay Çerçvelerin Optimizasyonu. E-Journal Of New World Sciences Academy. www.Newwsa.Com., Natural And Applied Sciences Cıvil Engineering Construction,3,4.
- Farshi, B.and Alinia-ziazi A., 2010. Sizing optimization of truss structures by method of centers and force formulation. International Journal of Solids and Structures, (47), 2508–2524.
- Goldberg, D.E., 1989, Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Addison Wesley Publication of Company. Redwood City.
- Goldberg DE, Samtani M.,1986.Engineering optimization via genetic algorithm. In: Proceedings of the Ninth Conference on Electronic Computation, University of Alabama, Birmingham. p. 471–82.
- Greiner D., Winter G. and Emperador J. M., 2001 Optimising frame structures by different strategies of genetic algorithms Finite Elements in Analysis and Design, Vol.37,no.5,pp.381-402.
- Gülay F.G., 1985, Merkezsel ve Dışmerkezsel Çapraz Elemanlı Çerçve Yapıların Statik Ve Deprem Yüküne Göre Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İTÜ. İstanbul.
- Haftka, R.T., Gürdal, Z., 1992. Elements of Structural Optimization, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Hajela, P., Lee E., Cho H., 1998. Genetic Algorithms in Topologic Design of Grillage Structures. Computer –Aided Civil and Infrastructure Engineering, 13, 1, 13-22.
- Hayalioglu, M. S. ,1999. Optimum Design of Geometrically Non-linear Elastic-plastic Steel Frames via Genetic Algorithm. Computer and Structures,77, 527-538.
- Holland J.H., 1975. Adaptation in Natural and Artificial System . Ann Arbor. The University of Michigan Pres.

- Kameshki, E. S. and Saka M. P. , 2001. Genetic Algorithm Based Optimum Bracing Desing of Non-Swaying Tall Plane Frames. J.Constructional Steel Research , 57, 1081-1097.
- Kameshki , E. S. and Saka , M. P. , 2001. Optimum Desing of Nonlinear Steel Frames with Semi-Rigid Connections Using a Genetic Algorithm. Computers& Structures ,79,1593-1604.
- Kaya, M., 2011.The effects of two new crossover operators on genetic algorithm performance. Applied Soft Computing,(11).881–890.
- Kayhan, İ., 1992. Cisimlerin Mukavemeti. İstanbul Teknik Üniversitesi. İnşaat Fakültesi Matbaası, Sayı:1505, İstanbul.
- Koç S., 1995, Eşdeğer Deprem Yüğü, Modların Süperpozisyonu Yöntemi, Zaman Tanım Aralığında Hesap Yöntemleri ve SAP90 uygulamaları. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Koçer F. Y., 1998, Optimal Design of Nonlinear Structures Subjected to Dynamic Loads with Aplication to Transmission Line Structures. Doctor of Philosopy Thesis. Civil and Environmental Engineering. University of Iowa. USA.
- Koçer, F., and Arora, J., 1999, Optimal Design of H Frame Transmission Poles for Earthquake Loading.Journal of Structural Engineering, 125,11, 1299-1308 .
- Koçer, F., and Arora J., 2002, Optimal Design of Latticed Towers Subject to Eartquake Loading, Journal of Structural Engineering.128, 2, 197-204.
- Korkmaz K. A., Orbay A., 2007. Betonarme Çerçeve Tipi Binaların Güvenilirlik Esaslı Analizinde Yük Katsayılarının Optimizasyonu. Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, Araştırma Makalesi, 8, 2, 361-375.
- Koza J.R., 1992, Genetic Programming on The Programming of Computers by Means of Natural Selection. MIT Pres , Cambridge.
- Kwon Y. W., Bang H., 1996, The Finite Element Method Using Matlab, CRC Mechanical Engineering Series, Newyork.
- Lagaros, N.D.,Fragiadakis, M., Papadrakakis, M., Tsompanakis Y., 2006. Structural optimization: A tool for evaluating seismic design procedures. Engineering Structures, 28, 12, 1623-1633.
- Lagaros, N.D.,Fragiadakis, M.,2007. Robust Performance-Based Design Optimizationof Steel Moment Resisting Frames. Journal of Earthquake Engineering, 11:752–772.
- Lagaros N. D., Bakas N., Papadrakakis M., 2009. Optimum Design Approaches for Improving the Seismic Performance of 3D RC *Buildings*. Journal of Earthquake Engineering, 13, (3), 345-363.
- Lee Kwon-Hee, Yi Jeong-Wook, Park Joon-Seong and P Gyung-Jin Park, 2003. An optimization algorithm using orthogonal arrays in discrete design space for structures. Finite Elements in Analysis and Design, Vol.40, no.1,pp 121-135.
- Lin., C.-Y., and Hajela, P., 1993, Genetic Search Strategies in Large Scale Optimization, Structural Dynamics and Materials Conference. 4, 2437-2447.
- Nicholas A., Behdinan K., Fawaz Z., 2003, Applicability and viability of a GA Based Finite Element Analysis Architecture for Structural Design Optimization, Department of Mechanical, Aerospace and Industrial engineering, Ryerson Polytecnic University, Canada.

- Ohsaki, M., 1995, Genetic Algorithm for Topology Optimization of Trusses, *Computer and Structures*, 57, 2, 219-22.
- Ohsaki M., 2000, Random Search Method Based on Exact reanalysis for Topology Optimization of Trusses with Discrete Cross-sectional Areas, *Computer and Structures*, 79, 673-679.
- Osyczka, A., Kundu, S., 1995. A New Method To Solve Generalized Multicriteria Optimization Problems Using The Simple Genetic Algorithm, *Structural Optimization* Volume:10, Issue:2, 94-99.
- Papadrakakis M., Lagaros N.D. And Plevris V., 2001. Optimum Design Of Space Frames Under Seismic Loading. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. Vol. 1, No. 1, 105-123.
- Przemieniecki J. S., 1968, *Theory of Matrix Structural Analysis*, Institute Senior Dean and Dean of Engineering, Air Force Institute of Technology, Dover Publications, Inc. Newyork.
- Rajaev, S. and KrishnaMoorthy, C. S., 1992. Discrete Optimization Of Structures Using Genetic Algorithms . *ASCE J. Stuct. Engng* ,118, 1232-1249.
- Rajan, S.D., 1995. Sizing, Shape, and Topology Design of Trusses Using genetic Algorithm. *Journal of Structural Engineering*, 121, 1480-1487.
- Ramasamy , J. V., Rajesakaran, S., 1996. Artificial Neural Network And Genetic Algorithm For The Design Optimization of Industrial Roofs . *Computer and Structures*, 58(4), 747-755.
- Rao S.S., 1995, *Mechanical Vibrations*. Prentice Hall; 3 edition, USA.
- Saka, M.P., 1991, Optimum Design of Steel Frames with Stability Constrains, *Computer and Structures*. Vol 41, No.6, pp.1365-1377.
- Taylor, C. A. EQSIM, A Program for Generating Spectrum Compatible Earthquake Ground Acceleration Time Histories, Reference Manual, Bristol Earthquake Engineering Data Acquisition and Processing System, December 1989.
- Tezcan, S., 1967, Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Yöntemleri ile Çözümü. İTÜ. İstanbul.
- Toğan, V., and Daloğlu, A., 2003, Genetik Algoritma ile Paralel Başlıklı Düzlem Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu, Deprem Sempozyumu. Kocaeli 2003.
- Toğan, V., and Daloğlu, A., 2006, Genetik Algoritma ile Üç Boyutlu Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu, İMO Teknik Dergi, 3809 -3825, Yazı 251.
- Topçu M., Taşgetiren S., 1998, Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi. Denizli.
- Türkay B., Artaç T., 2003, Dağıtım Şebekesinin Genetik algoritma ile Optimum Tasarımı, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul.
- Xu, Y.G., Li, G.R., Wu, Z.P., 2001. A novel hybrid genetic algorithm using local optimizer based on heuristic pattern move. *Applied Artificial Intelligence*, Volume: 15, Issue: 7, Pages: 601-631.
- Wilson E., 2002, *Three dimensional Statik and Dynamic Analysis of Structures*. Computers and Structures. Berkeley ,California. USA.
- Wu, S. J. and Chow, P. T., 1995, Integrated Discrete and Configuration Optimization of Trusses Using Genetic Algorithms, *Computer and Structures*, 55, 695-702.

- Yokota, T., Taguchi T. and Gen, M, 1999, A Solution Method for Optimal Cost Problem of Welded Beam by Using Genetic Algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, 37, 379-382.
- Yoo, J.S., and Hajela P., 1995, Expression Based Approach for Constraint Handling in Genetic Search, Dissertation Master of Science.

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Erzurum'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Erzurum'da yaptı. 1992 yılında Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümünü kazandı. 1996'da mezun olduktan sonra 1997'de Atatürk Üniversitesi, Pasinler Meslek Yüksekokulu'nda okutman olarak göreve başladı. 1998'de yüksek lisans, 2001'de ise doktorayı kazandı. Halen görevine devam etmekte olup, evli ve dört çocuk annesidir.