

175872

**PERDELİ BETONARME YAPI SİSTEMLERİNİN
GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Şenay ATABAY
(501942007)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Haziran 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Mart 2004**

Tez Danışmanı: Doç.Dr. F. Gülten GÜLAY (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Erkan ÖZER (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Hasan BODUROĞLU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Tuncer ÇELİK (İ.Ü.)
Prof. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü.)

MART 2004

ÖNSÖZ

Perdeli betonarme yapı sistemlerinin Genetik Algoritma ile maliyet optimizasyonunun anlatıldığı bu çalışmada bana yol gösteren ve tezimin her aşamasında yardım eden danışman hocam Doç. Dr. Gülten GÜLAY' a teşekkür ederim.

Program hazırlama konusunda çok değerli katkılarını gördüğüm İnş. Müh. Serdar AMASRALI' ya, tezim süresince her zaman değerli bilgilerinden faydalandığım Prof. Zekeriya POLAT ve Prof. Dr. Mehmet Polat SAKA' ya, çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen İnş.Y. Müh. Necmettin GÜNEŞ, Araş. Gör. Dr. Mustafa GÜRSOY ve yeğenim Nazım Güray ÖZÇELİK' e tezim süresince bana anlayış gösteren hocalarım ve iş arkadaşlarım Öğr. Gör. M. Fazıl İNANLI ve Öğr. Gör. Dr. Filiz SEVÜK' e teşekkür ederim.

Ayrıca, her zaman beni destekleyen, anlayış ve sabır gösteren ve tezimin her aşamasında bana yardımcı olan eşim İnş. Müh. İdris ATABAY' a da teşekkür ederim.

Mart, 2004

İnş. Yük. Müh. Şenay ATABAY

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii

1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Betonarme yapı sistemlerinin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar	3
1.3 Çalışmanın amacı ve kapsamı	12
2. OPTİMUM YAPI TASARIMI	15
2.1 Optimizasyon probleminin tanımı ve tarihsel gelişimi	15
2.1.1 Amaç fonksiyonu	17
2.1.2 Tasarım değişkenleri	19
2.1.3 Kısıtlamalar	21
2.2 Yapı optimizasyonunda kullanılan yöntemler	23
2.2.1. Matematik Programlama Yöntemleri	24
2.2.1.1 Doğrusal programlama yöntemleri	24
2.2.1.2 Doğrusal olmayan programlama yöntemleri	25
2.2.1.3 Ayrık programlama yöntemleri	31
2.2.1.4 Matematik Programlama Yöntemleri ile yapılan çalışmalar	31
2.2.2 Optimumluk Kriteri Yöntemleri	32
2.2.2.1 Optimumluk Kriteri Yöntemleri ile yapılan çalışmalar	33
2.2.3 Yapay Zeka Yöntemleri (artificial intelligence)	33

2.2.3.1 Yapay sinir ağıları yöntemi (artificial neural network)	34
2.2.3.2 Uzman sistemler (expert systems)	37
2.2.3.3 Metallerin tavlama benzeşimi yöntemi (simulated annealing)	38
2.2.3.4 Evrimsel gelişime dayalı yapısal optimizasyon yöntemi (evolutionary structural optimisation)	39
2.2.3.5 Genetik algoritma (genetic algorithm)	41
2.2.3.6 Yapay Zeka Yöntemleri ile yapılan çalışmalar	42
3. GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİ	47
3.1 Genetik algoritmaya giriş	47
3.2 Geleneksel optimizasyon ve arama yöntemlerinde güçlülük kavramı	50
3.2.1 Analitik yöntemler	50
3.2.2 Sayısal yöntemler	53
3.2.3 Rastgele yöntemler	53
3.3 Genetik algoritmalar ve geleneksel yöntemler	54
3.4 Genetik algoritmaların bilgisayarların çalışma prensipleri ile ilişkileri	54
3.5 Hesapta izlenen yol	56
3.5.1 Gen haritasının oluşturulması	56
3.5.2 Optimum tasarım probleminin tanımlanması	58
3.5.3 Genetik algoritmada tablo işlemleri	60
3.6 Genetik algoritmalarda kullanılan operatörler	63
3.6.1 Eşleşme havuzu oluşturma	63
3.6.2 Kopyalama (üreme)	63
3.6.3 Çaprazlama	63
3.6.4 Değişim	66
3.6.5 Tersleme	67
4. PERDELER VE PERDELİ YAPI SİSTEMLERİ	68
4.1 Perdelerle ilgili genel bilgiler	68
4.2 Perde türleri ve davranışları	69
4.2.1 Konsol perdeler (boşluksuz perdeler)	69

4.2.2 Bağ kirişli perdeler (boşluklu perdeler)	70
4.2.3 Kısa perdeler	71
4.2.4 Perdeli sistemler	72
4.2.5 Perde-ęeręeveli sistemler	72
4.3 Süneklik kavramı	73
4.4 Perdeler için verilen yönetmelik koşulları	74
4.4.1 1997 deprem yönetmeliği	75
4.4.1.1 Süneklik düzeyi yüksek perdeler	75
4.4.1.2 Süneklik düzeyi normal perdeler	85
4.4.1.3 Yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması	85
4.4.2 TS 500	86
4.5 Perde elemanların hesap esasları	87
4.5.1 Önerilen taşıma gücü formülleri	87
4.5.1.1 BÇIII eliğine ait formüller	89
4.5.1.2 BI eliğine ait formüller	90
4.5.2 Diğer donatı yerleşim durumları	91
4.5.3 Paspayı katsayıları	93
4.5.4 Perde kesitleri	94
5. PERDELİ SİSTEMLERİN MALİYET OPTİMİZASYONU	96
5.1 Betonarme yapı sistemlerinin maliyet optimizasyonu	96
5.2 Perdeli yapı sistemlerinde optimizasyon probleminin formülasyonu ve genetik algoritmanın perdeli yapı sistemine uygulanması	98
5.2.1 Tasarım değişkenleri	98
5.2.2 Amaç fonksiyonu	99
5.2.3 Kısıtlamalar	100
5.3 Hazırlanan bilgisayar programlarının tanıtılması	102
5.3.1 Tek perde elemanı için hazırlanan PERDEOPT programı	102
5.3.2 Üç boyutlu yapı sistemi için hazırlanan GENOPT programı	103
6. SAYISAL ÖRNEKLER	107
6.1 8 katlı tek perdeli yapı sistemi	107
6.1.1 rnek 1A	107
6.1.2 rnek 1B	128

6.1.3 Sonuçlar	143
6.2 Üç boyutlu yapı örneklere	145
6.2.1 Örnekle 2	145
6.2.2 Sonuçlar	170
6.3 Örnekle 3	177
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	187
KAYNAKLAR	191
ÖZGEÇMİŞ	199



KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	: American Concrete Institute
AISC-ASD	: American Institute of Steel Construction Allowable Stress Design
ASCE	: American Society of Civil Engineers
BS	: British Standart
EYO	: Evrimsel Gelişime Dayalı Yapısal Optimizasyon
FEAP	: Finite Element Analysis Program
GA	: Genetik Algoritma
TS	: Türk Standartları
ULS	: Ultimate Limit State
US	: Uzman Sistemler
YSA	: Yapay Sinir Ağları

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 6.1 : Örnek 1A için araştırma uzayı elemanlarının belirlenmesi.....	110
Tablo 6.2 : Örnek 1A-1.birey için 1. doğal titreşim periyodu hesabı.....	112
Tablo 6.3 : Örnek 1A-1. birey için perde uç bölgelerinin uzunlukları.....	113
Tablo 6.4 : Örnek 1A-1.birey için eşdeğer deprem yükleri ve perde kesit tesirleri	113
Tablo 6.5 : Örnek 1A-1. birey için μ katsayılarının ve A_s ' in hesabı.....	114
Tablo 6.6 : Örnek 1A - 1. birey için 1. kesme kuvveti kısıtlama hesabı.....	116
Tablo 6.7 : Örnek 1A - 1. birey için 2. kesme kuvveti kısıtlama hesabı.....	117
Tablo 6.8 : Örnek 1A - 1. birey için donatı yüzdesi kısıtlama hesabı.....	117
Tablo 6.9 : Örnek 1A - 1. birey için 1. yerdeğiştirme kısıtlama hesabı.....	117
Tablo 6.10 : Örnek 1A - 1. birey için 2. yerdeğiştirme kısıtlama hesabı.....	118
Tablo 6.11 : Örnek 1A - 1. birey için tasarım değişkenleri kısıtlama hesabı.....	118
Tablo 6.12 : Örnek 1A için 1. nesil.....	120
Tablo 6.13 : Örnek 1A için 2. nesil.....	123
Tablo 6.14 : Örnek 1A için 28. nesil.....	124
Tablo 6.15 : Örnek 1A – optimum birey için eşdeğer deprem yükleri ve perde kesit tesirleri.....	125
Tablo 6.16 : Örnek 1A – optimum birey için kısıtlama hesabı.....	127
Tablo 6.17 : Örnek 1B için b_w araştırma uzayı elemanlarının belirlenmesi.....	130
Tablo 6.18 : Örnek 1B için 1. nesil	132
Tablo 6.19 : Örnek 1B-1.birey için eşdeğer deprem yükleri ve perde kesit tesirleri.....	133
Tablo 6.20 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için μ katsayılarının ve A_s 'in hesabı.....	133
Tablo 6.21 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için boyut kısıtlaması hesabı.....	135
Tablo 6.22 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için kritik bölge perde kalınlığı kısıtlama hesabı.....	135
Tablo 6.23 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için kritik bölge dışında perde kalınlığı kısıtlama hesabı.....	135
Tablo 6.24 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için 1. kesme kuvveti kısıtlama hesabı.....	136
Tablo 6.25 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için 2. kesme kuvveti kısıtlama hesabı.....	136
Tablo 6.26 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için donatı yüzdesi kısıtlama hesabı.....	136
Tablo 6.27 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için 1. yerdeğiştirme kısıtlama hesabı.....	137
Tablo 6.28 : Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için 2. yerdeğiştirme kısıtlama hesabı.....	137

Tablo 6.29	: Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için l_w tasarım değişkenleri kısıtlama hesabı.....	137
Tablo 6.30	: Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için b_w tasarım değişkenleri kısıtlama hesabı.....	137
Tablo 6.31	: Örnek 1B - 1. optimum birey için eşdeğer deprem yükleri ve perde kesit tesirleri.....	139
Tablo 6.32	: Örnek 1B için 2. nesil.....	140
Tablo 6.33	: Örnek 1B için 34. nesil.....	141
Tablo 6.34	: Örnek 1B – optimum birey için kısıtlama hesabı.....	143
Tablo 6.35	: Örnek 1A ve 1B için sonuçlar.....	143
Tablo 6.36	: Örnek 2 için araştırma uzayı elemanlarının belirlenmesi.....	147
Tablo 6.37	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ için 1. nesil.....	149
Tablo 6.38	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ için 2. nesil.....	150
Tablo 6.39	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ için optimum birey.....	151
Tablo 6.40	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ durumunda optimum birey için kat deprem kuvvetleri.....	151
Tablo 6.41	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ için 40. nesil.....	152
Tablo 6.42	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları.....	154
Tablo 6.43	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1$ durumunda optimum birey için kat deprem kuvvetleri.....	158
Tablo 6.44	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1$ için 1. nesil.....	159
Tablo 6.45	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1$ için 52. nesil.....	160
Tablo 6.46	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları.....	162
Tablo 6.47	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1.5$ durumunda optimum birey için kat deprem kuvvetleri.....	164
Tablo 6.48	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1.5$ için 1. nesil.....	165
Tablo 6.49	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1.5$ için 34. nesil.....	166
Tablo 6.50	: Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1.5$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları.....	168
Tablo 6.51	: Karşılaştırma için perde boyutları.....	173
Tablo 6.52	: STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyotları.....	173
Tablo 6.53	: STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	173
Tablo 6.54	: STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan perde hesap moment değerleri.....	174
Tablo 6.55	: Örnek 3 için 1. nesil.....	179
Tablo 6.56	: Örnek 3 için 2. nesil.....	180
Tablo 6.57	: Örnek 3 için 36. nesil.....	182
Tablo 6.58	: Örnek 3 – optimum birey için katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.....	183
Tablo 6.59	: Örnek3 – optimum birey için perde kesit tesirleri ve düşey donatı miktarları.....	184

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Genel optimizasyon kavramları.....	16
Şekil 3.1 : Analitik yöntemler için tek tepeli fonksiyonlar basittir.....	51
Şekil 3.2 : Çok tepeli fonksiyonlar bir çıkmaza neden olur; Hangi tepeye tırmanılacağı önceden bilinmez.....	51
Şekil 3.3 : Bir çok fonksiyon süreksiz ve geleneksel yöntemlerle arama yapmak için uygun değildir.....	52
Şekil 3.4 : Bilgisayarda ikili sayı sistemi.....	55
Şekil 3.5 : Çaprazlama konumu belirlenmiş ebeveynler arasında çaprazlama işleminin yapılması ve yeni bireyin oluşturulması.....	64
Şekil 4.1 : Konsol perde.....	70
Şekil 4.2 : Bağ kirişli perde.....	71
Şekil 4.3 : Perde ve çerçevenin karşılıklı etkileşimi.....	73
Şekil 4.4 : Betonarme elemanda yük – yerdeğiştirme bağıntısı.....	74
Şekil 4.5 : Yönetmelik tasarım ivme spektrumu.....	76
Şekil 4.6 : Perdeler için konstrüktif kurallar.....	81
Şekil 4.7 : Perde tasarım eğilme momentinin belirlenmesi.....	84
Şekil 4.8 : Dikdörtgen bir kesit ve bu kesite etkiyen kesit tesirleri.....	88
Şekil 4.9 : Donatının köşelerde toplanması ve $\alpha=0.80$ olması durumu.....	88
Şekil 4.10 : Çeşitli donatı yerleşim durumları için k_1 katsayıları.....	92
Şekil 4.11 : k_2 katsayıları.....	93
Şekil 4.12 : Perde donatılarının belirlenmesi.....	94
Şekil 5.1 : Tek perdeli sistem için hazırlanan PERHES akış diyagramı.....	105
Şekil 5.2 : Genetik algoritma ile maliyet optimizasyonu için hazırlanan PERDEOPT ve GENOPT akış diyagramı.....	106
Şekil 6.1 : Örnek 1A için betonarme perde ve kat hizalarında toplanmış kütleler.....	107
Şekil 6.2 : Örnek 1A-1. birey için tasarım eğilme momentleri.....	114
Şekil 6.3 : Örnek 1A için optimum perde kesitleri ve hesaplanan donatıların perdelerle yerleştirilmesi.....	126
Şekil 6.4 : Örnek 1A için Nesil-Minimum Maliyet grafiği.....	128
Şekil 6.5 : Örnek 1B için optimum perde boyutları ve bu perdelerle yerleştirilen donatılar.....	142
Şekil 6.6 : Örnek 1A ve 1B için Nesil-Minimum Maliyet grafiği.....	144
Şekil 6.7 : Örnek 2 için kat planı.....	145
Şekil 6.8 : Örnek 2 - $C_{bc} / C_{bb} = 0.5$ için Nesil - Minimum Maliyet grafiği.....	158
Şekil 6.9 : Örnek 2 - $C_{bc} / C_{bb} = 1$ için Nesil – Minimum Maliyet grafiği.....	161
Şekil 6.10 : Örnek 2 - $C_{bc} / C_{bb} = 1.5$ için Nesil – Minimum Maliyet grafiği.....	167

Şekil 6.11	: Örnek 2 için Birim Maliyet Oranı – Minimum Maliyet grafiği.....	170
Şekil 6.12	: Örnek 2 için Birim Maliyet Oranı - Beton Miktarı grafiği.....	171
Şekil 6.13	: Örnek 2 için Birim Maliyet Oranı - Çelik Miktarı grafiği.....	171
Şekil 6.14	: STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan 1. ve 2. tip perdelerin hesap ve tasarım momentleri.....	175
Şekil 6.15	: STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan 3. tip perdelerin hesap ve tasarım momentleri.....	176
Şekil 6.16	: Örnek 3 için kat planı.....	177
Şekil 6.17	: Örnek 3 - $C_{bc} / C_{bb} = 0.7$ için Nesil – Minimum Maliyet grafiği.....	186



SEMBOL LİSTESİ

A	: Elemanın enkesit alanı
A_{ch}	: Boşluksuz perdenin brüt enkesit alanı
A_g	: Bir katta deprem doğrultusundaki perdelerin kesit alanlarının toplamı
A_k	: İkili sayı sistemine göre dizi
A_p	: Binanın tüm katlarının plandaki alanlarının toplamı
A_s	: Toplam donatı alanı
A_{sh}	: s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, kolonda veya perde uç bölgesindeki tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin gözönüne alınan b_k ' ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı
A_{smax}	: Perde kesitine yerleştirilebilecek maksimum donatı alanı
A_t	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında kullanılan eşdeğer alan
$A(T_1)$	: Spektral ivme katsayısı
A_{wj}	: Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin brüt enkesit alanı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
b	: Bir kesitin x ekseni doğrultusundaki kenar uzunluğu
b_k	: Bir kesitte en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık
b_w	: Perdenin enkesit genişliği
b'	: Bir kesitin x doğrultusundaki pas payı
C	: Toplam ihlal edilme katsayısı
C_{bb}	: Betonun birim hacim maliyeti
C_{bc}	: Çeliğin birim ağırlık maliyeti
C_c	: Kolonun toplam malzeme maliyeti
C_{CG}	: Cephe giydirme maliyeti
C_d	: Döşemedeki toplam malzeme maliyeti
C_{FB}	: İşçilik maliyeti
C_{FK}	: Kalıp maliyeti
C_k	: Kirişteki toplam malzeme maliyeti
C_p	: Perdedeki toplam malzeme maliyeti
C_s	: Temel maliyeti
C_t	: Bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak hesaplanan katsayı
C_{to}	: Taşıyıcı olmayan elemanların maliyeti
C_{TR}	: Nakliye maliyeti
C_y	: Yapının toplam maliyeti
c_i	: i'nci elemanın ihlal edilme katsayısı
d_i	: Binanın i'nci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
E	: Elastisite modülü
F_i	: i'nci kata etkiyen deprem kuvveti
F_n	: Bir kata etkiyen fiktif yük
$F_{ud(i)}$	: i'nci bireyin uyum derecesi
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı

f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
$f_i(x)$	: Maliyet fonksiyonu
$f(x)$	: Amaç fonksiyonu
g	: Yerçekimi ivmesi
G_i	: i'nci kattaki sabit yük
$g_{i,j}(x)$	: Kısıtlamaların normalize edilmiş formları
h	: Bir kesitin y eksenine doğrultusundaki kenar uzunluğu
h_i	: Binanın i'nci katının kat yüksekliği
h'	: Bir kesitin y doğrultusundaki pas payı
H_{cr}	: Kritik perde yüksekliği
H_i	: i'nci katın yerden yüksekliği
H_N	: Toplam kat yüksekliği
H_w	: Temel üstünden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
I	: Yapı önem katsayısı
K	: Zorlanma katsayısının etkisini artırmak için kullanılan katsayı
k	: Katsayı
$[k]$	: Rijitlik matrisi
k_B	: Boltzmann sabiti
k_1	: Donatı yerleşim durumu katsayısı
k_2	: Paspayı katsayısı
L	: Elemanın boyu
L_{hdp}	: Perde başlığında kullanılan düşey donatı boyu
L_{byp}	: Perde başlığında kullanılan enine donatı boyu
$L_{çp}$	: Perdede kullanılan çiroz donatısı boyu
L_{gdp}	: Perde gövdesinde kullanılan düşey donatı boyu
L_{gyp}	: Perde gövdesinde kullanılan enine donatı boyu
l_b	: Donatıdaki temel bindirme boyu
l_o	: Çekme donatısı için gerekli bindirme boyu
l_u	: Perde uç bölgesi uzunluğu
l_w	: Perdenin enkesit uzunluğu
l_{wj}	: Binaının temel üstündeki ilk katında j. perdenin gözönüne alınan deprem doğrultusunda çalışan uzunluğu
M_0	: Perde hesap eğilme momenti
M_d	: Kat devrilme momentleri
M_E	: Deprem nedeniyle perdede oluşan moment
M_t	: Perde tasarım momenti
M_{xd}	: x eksenine etrafındaki eğilme momenti
M_{yd}	: y eksenine etrafındaki eğilme momenti
m	: Hesap yüküne ait boyutsuz eğilme momenti
m_i	: i'nci katın kütlesi
m_x, m_y	: Sırasıyla x ve y eksenleri etrafındaki hesap yüküne ait boyutsuz eğilme momentleri
N	: Toplam kat sayısı
N_d	: Eksenel basınç kuvvetinin hesap değeri
n	: Hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet
n_k	: Hareketli yük katılım katsayısı
P	: Bir yapının elemanlarına etkiyen herhangi tekil kuvvet
q_i	: i'nci kattaki hareketli yük

r	: Ceza parametresi
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T_1)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
S	: Elastik kesit modülü
S_e	: Optimizasyon probleminin muhtemel çözüm kümesindeki elemanların sayısı
s	: Enine donatı aralığı
T	: Isı banyosunun sıcaklığı
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_f	: Soğutma faktörü
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
T_{1A}	: Binanın amprik bağıntı ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu
V_{bt}	: Yapıda kullanılan toplam beton miktarı
V_d	: Kesme kuvvetinin hesap değeri
V_i	: Yatay yüklerden dolayı oluşan kat kesme kuvvetleri
V_r	: Perde kesitlerinin kesme dayanımı
V_t	: Toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
W	: Yapının toplam ağırlığı
W_{bdp}	: Perde başlığında kullanılan düşey donatı birim boy ağırlığı
W_{byp}	: Perde başlığında kullanılan enine donatı birim boy ağırlığı
W_{cl}	: Yapıda kullanılan toplam çelik miktarı
W_{cp}	: Perdede kullanılan çiroz donatısı birim boy ağırlığı
W_i	: Sistemin i halindeki enerjisi
W_j	: Geçerli tasarım vektörüne kombinasyon mekanizması uygulanarak küçük bir değişiklik ile üretilen j no' lu aday tasarım vektörünün amaç fonksiyonu
W_{gdp}	: Perde gövdesinde kullanılan düşey donatı birim boy ağırlığı
W_{gyp}	: Perde gövdesinde kullanılan enine donatı birim boy ağırlığı
w_i	: i'nci katın ağırlığı
x_i	: Tasarım değişkenleri
α_1	: Aynı kesitte eklenen donatı yüzdesine bağlı bir katsayı
γ_i	: Göreli kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı
γ_{max}	: Göreli kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranının yönetmelikçe izin verilen en büyük değeri
ΔF_N	: Binanın N' inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
Δ_i	: Binanın i'nci katındaki göreli kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{max}$	: Binanın i'nci katındaki maksimum göreli kat ötelemesi
ΔI_b	: Donatıdaki kanca etkisi
$\{\delta\}$	: Deplasman matrisi
$\Phi(\{x\}, r)$	: Değiştirilmiş (kısıtlamasız) amaç fonksiyonu
Γ, Ψ, π	: Değişken fonksiyonları
μ	: Mekanik donatı oranı
θ	: Elemanın uç noktasındaki dönme
ρ_i	: i'nci eleman için toplam düşey donatı oranı
ρ_{imax}	: i'nci eleman için max. düşey donatı oranı
ρ_{sh}	: Perdede yatay gövde donatılarının perde gövdesi brüt enkesit alanına oranı
σ_i	: i'nci elemandaki gerilme değeri
σ_k	: Gerilmenin üst sınır değeri

PERDELİ BETONARME YAPI SİSTEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada, perdeli betonarme yapı sistemlerinin *Genetik Algoritma Yöntemi* yardımıyla maliyet optimizasyonu yapılmaktadır. Perde boyutları tasarım değişkenleri olarak alınmakta ve yapının toplam malzeme maliyetini minimize eden perde boyutları aranmaktadır. 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” ve “TS 500” de perde boyutları ve donatı ile ilgili koşullar kısıtlama olarak alınmaktadır. Optimizasyon probleminin çözümünde yapıyı oluşturan diğer taşıyıcı sistem eleman boyutlarının ise, kısıtlama koşullarını sağlayacak şekilde önboyutlandırma yapıldıktan sonra, sabit kaldığı kabul edilmiştir.

Yapıların statik ve betonarme hesapları yapılırken taşıyıcı sisteme ait elemanların geometrik boyutları mühendislik yeteneği, kazanılmış tecrübe ve sezgiye dayanılarak önceden tahmin edilir. Tasarım sırasında taşıyıcı sistem elemanlarının, kullanılan şartnamenin minimum koşullarını yerine getirmesine ve en olumsuz yükleme durumunda dahi gerilme ve yerdeğiştirme sınırlarını aşmamasına dikkat edilir. Uygulamada, taşıyıcı sistem elemanları, ilgili yönetmeliğin bütün şartlarını sağlamakla beraber sayısız farklı şekilde boyutlandırılabilir. Bununla beraber, bu tasarımların pek çoğu en ekonomik çözümden oldukça uzaktır ve bunun için bir optimizasyon yönteminin kullanımını gerekli kılmaktadır.

Yapıların minimum maliyet tasarımı için, *Optimumluk Kriteri* veya *Matematik Programlama Yöntemleri* gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bunların çoğunda optimizasyon parametrelerinin sürekli ortam uzayında değiştiği kabul edilmektedir; ya da, diğer bir deyişle, belli bir aralıktaki her değer optimum tasarım parametresi olabilir. Matematik programlama tekniklerinden çok azı ayrık tasarım değişkenlerini ele alan optimizasyon algoritmalarını içerir. Ancak bu teknikler, hesap yöntemlerinin zorluğu nedeniyle çok kullanışlı değildir.

Genetik Algoritmalar, diğer geleneksel optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi, karmaşık işlemlere ihtiyaç duymamaları ve kolay uygulanabilir olmalarının yanısıra, ayrık tasarım değişkenli optimum tasarım problemlerini çözebilme özellikleri nedeniyle, tasarımcıların dikkatini çeken en yeni optimizasyon yaklaşımlarından biridir. *Yapay Zeka Yöntemleri*’nden biri olan Genetik Algoritma, 1989 yılında Goldberg tarafından önerilmiştir.

Betonarme yapıların maliyet minimizasyonu için optimizasyon yöntemi olarak Genetik Algoritma’nın kullanıldığı bu çalışmada, sayısal uygulamaların çözümü için, yönetmelikte verilen gerilme, deplasman ve diğer koşullar optimizasyon algoritmasına yerleştirilerek, iki ve üç boyutlu yapısal sistemlerin minimum maliyet

tasarımı için gerekli olan optimum perde boyutlarını belirleyen iki farklı bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Tez altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, tezin konusu açıklanmış, betonarme yapı sistemlerinin optimizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar özet olarak verilmiş ve hazırlanan tez çalışmasının amacı ve kapsamı anlatılmıştır.

İkinci bölümde, genel optimizasyon probleminin, amaç fonksiyonunun, tasarım değişkenlerinin ve kısıtlamaların tanımları yapılmış, yapı optimizasyonunda kullanılan bazı yöntemlerden bahsedilmiş ve bu yöntemlerle yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde, optimizasyon yöntemi olarak kullanılan Genetik Algoritma Yöntemi anlatılmış, optimizasyonda güçlülük kavramının öneminden bahsedilmiştir.

Genetik Algoritma, diğer geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmış ve bu yöntemin tezde kullanılmasının nedenlerinden söz edilmiştir. Genel optimizasyon işlemi için genetik algoritma yönteminin uygulanması esnasında takip edilen yol anlatılmış, genetik algoritmada kullanılan operatörler açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, perdelerle ilgili genel bilgiler, perde türleri ve davranışları hakkında bilgi verilmiştir. Perdelerle ilgili tezde kullanılan yönetmelik koşulları anlatılarak perde elemanlarının hesap esasları açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, perdeli sistemlerin maliyet optimizasyonunun nasıl yapılacağı açıklanmış, amaç fonksiyonu ve kısıtlamalar oluşturulmuştur. Genetik Algoritma'nın perdeli betonarme yapı sistemlerine uygulanışı anlatılarak kısıtlamalı optimizasyon problemi, ceza fonksiyonları yardımıyla kısıtlamasız probleme dönüştürülmüştür. Ayrıca bu bölümde, yöntemin sayısal uygulamalarında kullanılmak amacıyla QBASIC programlama dilinde kodlanan PERDEOPT ve GENOPT isimli iki farklı program tanıtılmıştır.

Altıncı bölümde, hazırlanan programlar ile beş farklı örnek çözülmüş ve sonuçları verilmiştir. Örneklerin çözümünde, minimize edilmek istenen maliyet fonksiyonu; beton ve donatıyı içermekte, nakliye, işçilik ve kalıp maliyetleri dikkate alınmamaktadır.

Bir sonraki bölümde, kullanılan optimizasyon yöntemi ve çözülen problemlerle ilgili sonuçlar verilmiş, önerilen yöntemin verimliliği tartışılmış ve bu konuda yapılması gereken daha ileri çalışmaların sözü edilmiştir.

OPTIMUM DESIGN OF SHEAR-WALL SYSTEMS BY GENETIC ALGORITHM

SUMMARY

In the present work, a cost optimization study has been realized for reinforced concrete shear-wall structural systems by *Genetic Algorithm Method*. The shear-wall dimensions have been considered as design variables and it is aimed at searching the optimum shear-wall sizes that minimize total material cost of reinforced concrete structure. The constraints of structural optimisation problem are constructed according to the requirements of the reinforced concrete specifications so-called as "TS 500" and the seismic code of Turkey which is put into effect on 1998. The dimensions of the other structural members are considered constant after they are predesigned for the most unfavorable cases.

The standard structural design procedure requires the predimensioning of the sizes of load carrying members that is generally based on designer's engineering skill, experience and intuition. During the design work, special care is taken about providing the minimum strength and displacement requirements below the most unfavorable load conditions, as well as following the minimum requirements given in the design codes. In practical design applications, final dimensions are usually selected as one of the most suitable ones among numerous design selections that satisfy the regulations. However, the most of these design alternatives may generally be far away from being the most economical design solution which could only be found by some optimization procedures.

Various optimisation techniques are developed for the minimum cost design of structures, called as the *Optimality Criteria* or *Mathematical Programming Methods*, the majority of which are based on finding the optimum design parameters in continuous design space. A few optimisation algorithms exist based on mathematical programming techniques that consider the discrete nature of design variables, however they are not very practical because of their tedious computation requirements.

Genetic Algorithms, as a relatively new optimisation approach, have been recently used by designers since their ability to provide a solution to discrete optimum design problems; they are quite practical algorithms comparing with the conventional methods. This solution approach is considered as one of the *Artificial Intelligence Techniques* which was originally proposed in 1989, by Goldberg.

Genetic Algorithm Approach has been used as an optimisation method for the cost minimization of reinforced concrete structures in this study. After setting the optimisation algorithm with stress, displacement and the other constraints given in the code, several computer programs are also developed for determining the

optimum shear-wall dimensions for the minimum cost design of two or three dimensional structural systems.

The thesis consists of six chapters. In the first chapter, a brief description of the study is given as well as some other earlier studies that are on the optimisation of reinforced concrete structural systems are summarized. The objective and the scope of the study are also presented in this chapter.

In Chapter Two; a general optimisation problem together with the objective function, design variables and constraints are described. Some optimisation techniques that are used for the minimum cost design of structural systems are explained and then, some previous studies that are carried out by utilising those methods are resumed.

In Chapter Three; the Genetic Algorithms that are used as an optimisation method has been explained in detail and the importance and the reliability of the concept of optimisation is described. The Genetic Algorithm approach is compared with other conventional methods and then the advantages of this method are mentioned. Genetic Algorithm approaches and the main steps of the optimisation process for a general optimisation problem are presented and the operators of the GA have also been described.

In the forth chapter; general information about shear-walls and the types of shear-walled structural systems and their behaviours are resumed. Seismic code requirements for the shear-walls are given and the computation principles of a shear-wall member are described.

In the fifth chapter; the objective function, design variables, constraints and cost optimisation calculations of shear-wall systems are described in detail. The application procedure for the Genetic Algorithm Approach on shear-wall systems is given. The constrained optimisation problem is transferred into an unconstrained problem by the aid of penalty functions. Moreover, in this chapter, the aim and the advantages of using this method for the minimum cost design of reinforced concrete shear-wall systems are shown. The flowcharts and the details of the two computer programs developed for the numerical examples that are coded at QBASIC language are presented.

In the sixth chapter; five different examples are solved by the presented program and the obtained results have been given. The proposed algorithm minimizes structural cost including the cost of concrete and the reinforcement however the costs dealing with transportation, workmanship and formwork prices are not included.

The discussion of the results dealing with the used optimisation approach and the solved problems are presented in the last chapter. Finally, the efficiency of the proposed approach and the suggestions for further reseachwork on the subject are mentioned.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Günümüzde, nüfus ve şehirleşme ile birlikte konut ihtiyacı da artmış, böylece inşaat sektörü giderek önem kazanmıştır. Ancak, özellikle insanların yoğun olarak yaşadıkları bölgelerde inşaat yapmaya uygun arsaların sınırlı ve fiyatlarının pahalı olması, bu arazilerin optimal şekilde değerlendirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Ayrıca sürekli artan fiyatlar, inşaat maliyetlerini de artırmakta, böylece, gerek boyut, gerekse maliyet optimizasyonu (eniyileme) gerekli, hatta zorunlu hale gelmektedir.

Bir yapı projelendirilirken, yapının taşıyıcı sistemine ait elemanların geometrik boyutları, genellikle, mühendislik yeteneği ve kazanılmış tecrübelerle dayanılarak önceden tayin edilir. Boyutlandırma, malzemenin maruz kalacağı gerilmelerin emniyet sınırları içinde kalmasına ve seçilen boyutların şartnamelere uymasına dikkat edilir. Yapı tasarımında genellikle, verilen ön boyutlar çok fazla değiştirilmemekte, iki veya en fazla üçüncü çözümde elde edilen boyutlar, taşıyıcı sistem boyutları olarak alınmaktadır. Aslında, taşıyıcı sistem, gerekli bütün koşulları sağlayacak şekilde sonsuz sayıda boyutlandırılabilir ve her bir taşıyıcı sistem alternatifinin maliyeti diğerlerinden farklı olabilir. Mühendislikte temel amaç, öngörülen kısıtlamaları sağlayan, en düşük maliyetli tasarımın bulunmasıdır.

Günümüzde, mühendisliğin bir çok dalında optimizasyondan yararlanılmakta ve optimum çözümler için çeşitli matematiksel programlama teknikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunda, tasarım değişkenlerinin “sürekli” olduğu kabul edilmekte olup, bu özellik, her mühendislik problemine uygulanamaz. Özellikle inşaat mühendisliğinde, matematiksel programlama tekniklerinin yanısıra “ayrık” tasarım değişkenlerinin kullanılması gerekliliği ile çok sık karşılaşılmaktadır.

Genetik Algoritma yöntemi, ayırık tasarım değişkenlerini kullanan yöntemlerden biridir.

Bu çalışmada, optimum yapı tasarımı probleminin çözümü için; ilk olarak Goldberg tarafından önerilen ve en yakın tarihli optimizasyon yöntemlerinden biri olan “Genetik Algoritma” kullanılmıştır (Goldberg, 1989). Genetik algoritma, ilk ismini biyoloji, ikinci ismini ise bilgisayar biliminden almakta ve tabiatta bütün canlılar için geçerli olan “en güçlü olanın yaşamına devam etmesi, zayıf olanın ise yaşamının sona ermesi prensibi” olarak bilinen Darwin’ in teorisine dayanmaktadır. Bu yöntem, bütün canlılarda yaşanan evrim sürecinden etkilenecek geliştirilen, kopyalama, çoğalma ve çaprazlama operatörleri kullanılarak, araştırma uzayındaki yeni noktaların belirlendiği doğal seçme ve doğal gen mekaniğine dayanan bir araştırma yöntemidir. Genetik Algoritmalar, optimizasyon probleminin çözümünde, doğadaki genetik yasalara benzer kurallar aracılığıyla en iyiye yaklaşma olanağı sağlamaktadır.

Genetik Algoritmalar’ ın temel prensibi, her adımda bir önceki nesilden yeni bireyler oluşturarak, amaç fonksiyonunun uygunluğunu artırmak ve sonuç olarak belli kısıtlamalar altında, amaç fonksiyonunu sağlayan en uygun değeri elde etmektir. Genetik algoritmada, öncelikle bir başlangıç nesli belirlenerek işleme başlanır. Bu, nesli oluşturan her bir bireyin ikili sayı sisteminde kodlanıp bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu bireyler, yapay kromozomlar olarak adlandırılırlar ve sonlu sayıda dizilerden oluşturulurlar. Dizilerdeki her bir sayı yapay bir geni temsil eder ki bu, ya ‘0’ ya da ‘1’ dir. Her bir tasarım değişkeni için ikili kodlama seti, yani araştırma uzayı içindeki sıra numarasını temsil eder.

Bir çok problemde, oldukça iyi sonuçlar üreten basit bir genetik algoritma 3 ana süreçten oluşmaktadır. Üreme (*kopyalama-reproduction*), eşleşme havuzunun oluşturulması (*mating pool*) ve çaprazlama (*crossover*).

Üreme, tekil dizilerin amaç fonksiyonu değerlerine bağlı olarak kopyalandıkları aşamadır. Etkin şekilde yapılan bir kopyalama işleminde, uyumu yüksek olan bireylerin bir sonraki adımda seçilme şansları daha yüksek olacaktır ki bu, uyum derecesiyle orantılı olmaktadır.

Eşleşme havuzunun oluşturulması, bir nesli oluşturan bireylerin rastgele olarak eşleştirildiği bölümdür. Yaşamına devam eden bireyler eşleşme havuzunda toplanır ve yeni nesli oluşturmak üzere, çaprazlama operatörü kullanılarak, rastgele eşleştirilir. Çaprazlama işlemi üç adımda gerçekleştirilir: Önce nesilden ikişer ikişer bireyler seçilir. Daha sonra seçilen bireylerin genleri arasında çaprazlama işlemi yapabilmek için rastgele bir veya birkaç konum belirlenir. Son olarak, belirlenen konumdaki genetik bilgiler değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır. Yeni nesil, bu işlemlerin eski nesildeki tüm bireylere uygulanmasıyla elde edilir. Daha sonra, yeni nesil, eski neslin yerine konularak işlem tekrarlanır. Bu işleme, yeni neslin %80 veya %85' i aynı bir bireyden oluşturulana kadar devam edilir. Bulunan en son birey optimum çözümü temsil eder.

1.2 Betonarme Yapı Sistemlerinin Optimizasyonu İle İlgili Çalışmalar

Bu bölümde; optimizasyonun kullanılmaya başlandığı ilk yıllardan itibaren, yapı sistemlerinin ağırlık ve maliyet optimizasyonları ile betonarme perdelerin optimizasyonu konusunda yapılan çalışmalar incelenerek, kronolojik sıra ile özetlenmiştir.

Heyman (1951), Foulkes (1953) ve Foulkes (1954) tarafından, birinci mertebe limit yük için minimum ağırlıklı boyutlandırma probleminin lineer programlama yardımıyla çözümü konusunda yapılan ilk çalışmalarda, sistemin bütün olası mekanizma durumları içinden yapı ağırlığını minimum yapan mekanizma durumu ve ona karşı gelen enkesit karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik yöntemler geliştirilmiştir. Sistemin olası bütün mekanizma durumlarının araştırılmasını gerektiren bu yöntemler, büyük yapı sistemlerinde hesapların çok uzamasına neden olmaktadır.

Bilgisayara uygulanabilecek ilk çalışmalarda ise sistemin bütün kesitlerindeki iç kuvvetler dış yüklere ve tasarım değişkeni olarak seçilen hiperstatik bilinmeyenlere bağlı olarak lineer bir fonksiyonla ifade edilmiş, akma koşullarını sağlayan ve yapı ağırlığını minimum yapan iç kuvvetlerle enkesit karakteristikleri çözüm olarak alınmıştır (**Livesley 1956**), (**Livesley 1967**).

Ülkemizde, yapı optimizasyonu ile ilgili ilk çalışmalardan biri 1959 yılında **Şuhubi (1959)** tarafından yapılmıştır. Ancak ilk çalışmalarda, bilgisayar kapasitelerinin kısıtlı olması nedeniyle, güçlükler yaşanmış, mevcut optimizasyon yöntemleri çok bilinmeyenli sistemlere uygulanamadığı için, yöntemler de fazla geliştirilememiştir. 1980' li yıllardan sonra ise, yaşamın neredeyse her alanına girmiş olan bilgisayar, optimizasyon yöntemlerinin uygulanabilmesi için de kullanılmaya başlanmış ve böylece; çok yüksek sayıda iterasyonların yapılabildiği yeni optimizasyon yöntemleri geliştirilmiş, çok daha karmaşık problemler, çok sayıda tasarım değişkenleri ve kısıtlamalar alınarak çözülebilmektedir.

Şuhubi (1959) tarafından yapılan çalışmada; rijit - plastik, homojen bir malzemedan yapılmış plaklarda minimum ağırlık problemi incelenmiştir. Problem genel olarak, keyfi şekil ve sınır şartları için çözülmüştür. Elde edilen gerilme-şekil değiştirme bağıntısı kullanılarak, plağın bütün kesitlerinin aynı anda plastik hale geçmesi ve ağırlığının minimum olması için yüksekliğinin nasıl değişmesinin gerektiği araştırılmıştır.

Kirsch (1972)' in çalışmasında, doğrusal olmayan optimizasyon problemi doğrusallaştırılarak, düşey koordinatların öngerme kuvvetinin ve gerilmelerin kısıtlama olarak alındığı sürekli ve iki açıklıklı öngerilmeli beton kirişlerin minimum maliyet tasarımı sunulmuştur. Minimizasyonu istenen amaç fonksiyonu, betonun ve öngerme çeliğinin maliyetlerini içermektedir.

Friel (1974) makalesinde; ACI kodu esas alınarak, kırılma moment kısıtlamalarının kullanıldığı, basit mesnetli, dikdörtgen betonarme kirişlerin minimum maliyeti için gerekli olan optimum “donatı / beton” oranının ne olması gerektiği konusunda bir çalışma sunmuştur.

Özer (1975)' in yaptığı çalışmada, ikinci mertebe limit yük için yapı ağırlığını minimum yapan bir boyutlandırma yönteminin esasları ve sayısal uygulamaları hakkında bilgi verilmektedir. Yöntemin uygulama alanı; plastik mafsallı hipotezinin geçerli olduğu sünek malzemedan yapılmış sistemleri kapsamaktadır. Malzemenin orantı sınırından sonraki taşıma kapasitesini göz önüne alan elastoplastik hesap yöntemlerinin, yapıların narinleşmesine ve böylece maliyet azalmasına olanak sağladığı belirtilmiştir.

Gunaratnam ve Sivakumaran (1978)' ın yaptıkları çalışmada; Lagrange çarpanları ve grafik metodunun birlikte kullanılmasıyla, uniform, üçgen ve parabolik moment dağılımına sahip elemanlar için, İngiliz kodlarına göre, gerekli limit durumları sağlayan betonarme döşemelerin minimum maliyet tasarımları yapılmış olup, amaç fonksiyonunda beton ve donatının minimizasyonu amaçlanmıştır.

Akgün (1979) tarafından yapılan çalışmada; taşıyıcı sistemi meydana getiren betonarme yapı elemanlarının optimum boyutlandırılması için bir algoritma geliştirilmiştir. Bu amaçla, sayısal optimizasyon tekniklerinden “Patern Araştırma Yöntemi” yeniden düzenlenerek betonarme yapı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasına uygulanabilir hale getirilmiştir. Betonarme çerçeveler ve sürekli döşemeler için BASIC dilinde iki ayrı program hazırlanmıştır.

Krishnamoorthy ve Mosi (1981) tarafından yapılan çalışmada, ardısıra kısıtlamasız minimizasyon tekniği ve Davidson – Fletcher – Powell yöntemlerinin kullanılmasıyla, dikdörtgen kesitli, iki boyutlu çerçevelerin maliyet optimizasyonları yapılmıştır. Beton, donatı ve kalıp maliyetleri amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır.

Kirsch (1983)' in yaptığı çalışmada, dikdörtgen kesitli, çok açıklıklı, sürekli betonarme kirişlerin maliyet optimizasyonu için basitleştirilmiş üç bölümlü iteratif yöntem önerilmiştir. Birinci bölümde, verilen beton boyutları ve tasarım momentleri için, her kritik kesitteki donatı miktarları, ikinci bölümde, her elemanın beton boyutları bulunmuş, üçüncü bölümde ise, tasarım momentleri optimize edilmiştir. Amaç fonksiyonu, beton ve donatının maliyetlerini içermektedir.

Saouma ve Murad (1984) tarafında yapılan yayında, 1977 ACI kodundaki bütün kısıtlamaları sağlayacak şekilde, kısmi öngerilmeli, basit mesnetli, uniform yüklü, çıkıntıları eşit olmayan I kesitli kirişlerin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Kısıtlanmış optimizasyon problemi, kısıtlanmamış probleme iç ceza fonksiyonu yöntemiyle dönüştürülmüş ve yarı Newton metoduyla çözülmüştür.

Jones (1985)' un yaptığı çalışmada, tamsayı programlama yöntemiyle, AASHTO esas alınarak, çok kirişli bir karayolu köprüsünde kullanılan, prefabrik, öngerilmeli, basit mesnetli betonarme kutu kirişlerin minimum maliyet formülasyonu çıkarılmıştır. Amaç fonksiyonu, beton ve öngerme çeliğinin maliyetlerinden oluşmaktadır.

Huanchun ve Zheng (1985) tarafından, Çin yapı koduna göre, iki boyutlu betonarme çerçevelerin iki bölümde minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Birinci bölümde, ardısira doğrusal programlama kullanılarak, yanal deplasman gibi global kısıtlamaları sağlayan en esnek yapı bulunmaya çalışılmış; ikinci bölümde ise, kesitlerin derinlikleri ve genişlikleri için, bir ayrık arama yöntemi kullanılmıştır. Yapının her elemanı için yerel kısıtlamalar alınarak çerçevenin maliyeti minimize edilmiştir.

Abendroth ve Salmon (1986)' un yaptıkları çalışma; olası sehim, malzeme mukavemeti, mesnetlenme durumları ve birim malzeme maliyetleri gibi çeşitli parametrelerle, uçları kısmi veya tam olarak sabitlenmiş betonarme T – kesitli kirişlerin optimum maliyetinin hassasiyeti konusunda parametrik bir çalışmayı içermektedir. Kısıtlamalı minimizasyon problemi, kısıtlamasız probleme, iç ceza fonksiyonu ile dönüştürülmüş ve problem, yarı Newton – Raphson yöntemiyle çözülmüştür.

Park ve Harik (1987) tarafından, BS kodundaki rijitlik sınırlamaları kullanılarak, iki açıklıklı betonarme döşemelerin, ardısira doğrusal programlama yöntemi yardımıyla minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Optimizasyon yöntemindeki üç egemen faktör olan minimum etkili derinlikler, sehimler ve tasarım momentleri, kısıtlama olarak alınmıştır. Amaç fonksiyonu beton ve donatı maliyetlerinden oluşmaktadır.

MacRae ve Cohn (1987) tarafından yapılan çalışmada, betonarme yapılar için Kanada kodu ve ACI – ASCE komitesinin önerileri kullanılarak önerilmeli betonarme kat döşemelerinin maliyet optimizasyonu eşlenik yön yöntemi ile bulunmuştur.

Tekin (1988)' in yaptığı çalışmada ise, tek doğrultuda çalışan betonarme döşemelerin optimum tasarımı için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Çözümde, Taşıma Gücü Teorisi ile birlikte çelik ve betonun birim fiyatları kullanılmıştır. Program optimum döşeme kalınlığı ve donatıyı bulmaktadır.

Prakash ve diğ. (1988)' nin yaptıkları çalışmada, Hindistan kodunda yer alan her limit durum koşuluna uygun, tek veya çift donatılı dikdörtgen ve T – kesitli betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımları, Lagranj ve Simplex yöntemlerinin

kullanılmasıyla yapılmıştır. Amaç fonksiyonu, beton ve donatı maliyetlerini içermektedir.

Paul ve diğ. (1990)' nin yayınında, çelik kirişlere basit mesnetlenmiş, önceden dökülmüş, öngerilmeli, boşluklu ve boşluksuz döşemeler ile modüler bir kat sisteminin minimum maliyet tasarımı, genel geometrik programlama yöntemiyle yapılmıştır. Maliyet fonksiyonu, döşemelerin işçilik maliyetlerini, öngerme donatı ve şekillerini, çelik kirişlerin maliyetlerini ve inşa maliyetini içermektedir.

Kanagasundaram ve Karihaloo (1990)' nun yayınında ise, Avustralya koduna göre, basit mesnetli ve sürekli, dikdörtgen, L ve T – kesitli betonarme kirişlerin minimum maliyet optimizasyonları yapılmıştır. Çalışmada, ardışır doğrusal programlama ve ardışır konveks programlama olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Kısıtlama olarak ise, denge, mukavemet, kullanılabilirlik, dayanıklılık ve yangın dayanımı gözönüne alınmıştır.

Spires ve Arora (1990) tarafından yapılan çalışmada, ACI kodu kullanılarak, ardışır kuadratik programlama yöntemi yardımıyla uzun boru şeklinde, planda çift taraflı simetrik betonarme çerçeveli yapıların optimal tasarımı yapılmıştır. Maliyet fonksiyonu, kirişler ve kolonlar için, beton, donatı ve kalıp maliyetlerini içermektedir.

Choi ve Kwak (1990)'ın yaptıkları çalışmada, ACI kodu esas alınarak, bazı boyutları önceden belirlenmiş, ayrık kesitlerden uygun tasarım kesitleri seçilmiş, doğrudan arama yöntemiyle betonarme çerçevenin dikdörtgen kiriş ve kolonlarının maliyeti minimize edilmeye çalışılmıştır. Maliyet fonksiyonu, beton, donatı ve kalıp maliyetlerini içermektedir.

Hajek ve Frangopol (1991) tarafından yapılan çalışmada, yine ACI kodu esas alınarak, betonarme perdeli sistemlerin minimum maliyet tasarımı için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Yöntem olarak, Katlanmış Plak Teorisi ve Uygun Yön Yöntemi kullanılmıştır. Maliyet fonksiyonu beton ve kalıp maliyetini (nakliye ve işçilik dahil) içermektedir. Ancak, donatı maliyeti hesaba katılmamıştır.

Ezeldin (1991)' in çalışmasında, betonarme dikdörtgen kirişlerin minimum maliyet tasarımı, dört değişken ile sunulmuştur. Bunlar, kirişin derinliği ve genişliği, çeliğin

malzeme özellikleri ve eğilme donatısı çubuklarının alanıdır. Optimizasyon yöntemi olarak doğrudan arama yöntemi kullanılmıştır.

Kanagasundaram ve Karihaloo (1991a) tarafından yapılan çalışmada, Avustralya kodu esas alınarak, eksenel basınç kuvveti ve tek veya iki eksenli eğilmeye maruz dikdörtgen betonarme kolonların minimum maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak Ardışık Doğrusal Programlama ve Ardışık Dışbükey Programlama yöntemleri kullanılmıştır.

Kanagasundaram ve Karihaloo (1991b) 'nun bu çalışmasında ise, sabit veya hareketli yüklere ek olarak, sıvı basıncı, rüzgar veya deprem yükleri etkisindeki çok açıklıklı betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır.

Erbatur ve diğ. (1992) 'nin çalışmasında, dikdörtgen veya çıkıntılı kesitli, öngerilmeli betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Doğrusal programlama yaklaşımı ile, doğrusal olmayan optimizasyon problemi yaklaşık olarak çözülmüştür.

Chakrabarty (1992) 'nin hazırladığı yayında, betonarme dikdörtgen kirişlerin minimum maliyet tasarımı, geometrik programlama ve Newton – Raphson yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Maliyet fonksiyonu; donatı, beton ve kalıp maliyetlerini içermektedir.

Saka (1992) tarafından yapılan çalışmada ise; perde duvarlı, yüksek betonarme yapıların optimum tasarımı için bir algoritma önerilmiş olup, optimizasyon yöntemi olarak Optimumluk Kriteri Yöntemi kullanılmıştır. Yönteme örnek olması açısından, 11 ve 20 katlı, iki boyutlu perdeli sistemler optimize edilmişlerdir.

Dansık (1992) 'ın yaptığı çalışmada, Almanya' da uygulanmış perdeli bir bina için üç alternatif çözüm geliştirilmiş ve bunların içinden eleman boyutlarının minimizasyonunu amaçlayan bir çözüm aranmaya çalışılmıştır. Örnek sistemlerin çerçevelerinin yatay yük taşıma kapasitelerinin çekirdeğe nazaran yok sayılabilecek kadar az seçildiği görülmektedir. Yüksek dayanımlı beton kolonlardan oluşan çerçevenin sadece düşey yüklere göre tasarlanması, yatay yüklerin ise çekirdek tarafından taşınmasıyla narin kolon kesitleri elde edilmiştir.

Moharrami ve Grierson (1993)'un yaptıkları çalışmada, optimumluk kriteri yaklaşımı kullanılarak, ACI kodunun esas alınmasıyla, düşey ve yatay yüklere maruz betonarme yapı çerçevelerinin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Kolonlar dikdörtgen, kirişler ise dikdörtgen, L veya T kesitlerdir. Tasarım değişkenleri olarak; genişlik, derinlik ve kiriş ve kolonların boyuna donatıları alınmıştır.

Dinno ve Mekha (1993) tarafından yapılan çalışmada, ACI kodu esas alınarak, kiriş ve kolonlar için elastik olmayan, üç eksenli moment – dönme bağıntıları ile ardısıra kısıtlamasız minimizasyon tekniğinin kullanılmasıyla, bir ve iki katlı betonarme çerçevelerin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Beton, donatı ve kalıp maliyetleri maliyet fonksiyonunda yer almaktadır.

Khaleel ve Itani (1993)'nin çalışması, ACI koduna göre, basit mesnetli, kısmi öngerilmeli, simetrik olmayan I kesitli betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımını içermektedir. Amaç fonksiyonu; beton, boyuna donatı, öngerme çeliği, kalıp ve kesme donatısı maliyetlerinden oluşmaktadır. Doğrusal olmayan optimizasyon problemi, ardısıra kuadratik programlama yöntemiyle çözülmüştür.

Cohn ve Lounis (1993) tarafından, tek açıklıklı, kısmi veya tam öngerilmeli betonarme sürekli kirişlerin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Optimizasyon işlemi, limit durum tasarımı esasına dayanmaktadır. Amaç fonksiyonu; beton, donatı ve öngerme donatılarını içermektedir.

Al – Salloum ve Siddiqi (1994) tarafından yapılan çalışmada, ACI koduna göre, tek donatılı dikdörtgen betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Beton, donatı ve kalıp maliyetleri amaç fonksiyonunda yer almaktadır.

Adamu ve Karihaloo (1994a)'nın yaptıkları çalışmada; tasarım değişkenleri olarak, kiriş yüksekliği veya hem kiriş yüksekliği ve hem de donatı oranının alındığı değişken kesitli betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımı, optimumluk kriteri yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Adamu ve Karihaloo (1994b) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, her açıklıkta değişken donatı oranlı, uniform kesitli dikdörtgen betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır.

Adamu ve diğ. (1994)' nin yaptıkları çalışmada, Eurocode esas alınarak, optimumluk kriteri yaklaşımı yardımıyla tek donatılı, dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımı yapılmıştır. Minimize edilen maliyet fonksiyonu, beton, çelik ve kalıp maliyetlerini içermektedir.

Al-Tamimi ve Saka (1995), elemanların enkesit derinliklerinin, eğilme ve kesme donatılarının tasarım değişkeni olarak alındığı, elemanların enkesit genişliklerinin ise sabit olduğu bir tasarım yaklaşımı ele almışlardır. Optimizasyon yöntemi olarak iki evrede iki farklı algoritma kullanılmıştır. Birinci evrede, ardısıra doğrusal programlama tekniğinin, ikinci evrede ise optimumluk kriteri yaklaşımının başarıyla uygulandığı yöntem; betonun, donatının ve kalıp maliyetlerinin minimizasyonunu amaçlamaktadır. Kısıtlama olarak ise, deplasman sınırlamaları, elemanların moment ve kesme kuvvetleri kapasiteleri gözönüne alınmıştır.

Adamu ve Karihaloo (1995)' nün çalışmalarında, Avustralya kodu ve Eurocode kullanılarak, optimumluk kriteri yöntemi ile iki boyutlu, çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin minimum maliyet tasarımları yapılmıştır. Maliyet fonksiyonu, beton, donatı ve kalıp maliyetlerini içermektedir. Elemanların enkesit boyutları ve donatı oranları tasarım değişkenleri olarak alınmıştır.

Zielinski ve diğ. (1995)'nin yaptıkları çalışmada, Kanada kodu esas alınarak, iç ceza fonksiyon yönteminin kullanılmasıyla, betonarme kısa kolonların maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Maliyet fonksiyonu; beton, donatı ve kalıp maliyetlerini içermektedir.

Han ve diğ. (1995)' nin yaptıkları çalışmada, Avustralya kodu kullanılarak, optimumluk kriteri yöntemiyle, öngerilmeli betonarme dikdörtgen ve T – kesitli kirişlerin minimum maliyet tasarımı yapılmıştır. Amaç fonksiyonu; beton, donatı, öngerme çeliği ve kalıp maliyetlerini içermektedir.

Lakshmy ve Bhavikatti (1995)' nin çalışmalarında, Hindistan kodu esas alınmış ve ardısıra doğrusal programlama ve ardısıra kısıtlamasız minimizasyon tekniğinin bir kombinasyonu kullanılarak, basit mesnetlenmiş bir katlanmış plağın minimum maliyet hesabı yapılmıştır. Amaç fonksiyonu; beton ve çeliğin maliyetlerini içermektedir.

Miyamura ve diğ. (1996)' nin yaptığı çalışmada , Genetik Algoritma (GA) ve “dallanma ve sınırlama” yöntemleri kullanılarak, düşey bir eksen etrafında büyük bir burulma momentine maruz üç boyutlu, çok katlı bir çerçevedeki perde elemanların optimal yerleşiminden yola çıkılarak, birleştirilmiş bir arama problemine cevap aranmıştır. Burulmanın yatay yüklemeye maruz asimetrik bir çerçevede rijitlik ve kütle dağılımındaki eksantrisiteden meydana gelmesi nedeniyle, bu çalışmada burulma etkilerini minimize eden kısıtlamalar altında perde elemanların optimal yerleşimi araştırılmıştır.

Kocer ve Arora (1996)' nin yaptıkları çalışmada, ACI kodu esas alınmış, dallanma ve sınırlama, listeleme ve ardısıra kuadratik programlama yöntemlerinin bir kombinasyonu ile genetik algoritma kullanılarak, önerilmeli beton bir iletişim kulesinin minimum maliyet tasarımı yapılmıştır. Minimize edilen maliyet fonksiyonu; beton, öngerme çeliği ve kalıp maliyetlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmanın sonucu, göstermiştir ki, genetik algoritma diğer yöntemlerden çok daha hızlı ve verimlidir.

Fadaee ve Grierson (1996)' un yaptıkları çalışmada, ACI kodu esas alınarak, Optimumluk Kriteri Yöntemi'nin kullanılmasıyla, eksenel kuvvet ve iki eksenli moment etkilerine maruz, üç boyutlu betonarme çerçevelerin minimum maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Kirişler ve kolonlar dikdörtgen kesitlidir. Maliyet fonksiyonu; beton, çelik ve kalıp maliyetlerini içerir. Çalışma, tek katlı ve tek açıklıklı çerçeve ile örneklendirilmiştir. İki eksenli kesme kuvvetinin kolon tasarımı için önemi vurgulanmış ve bu durumun optimum yapı maliyetini belirgin olarak artırdığı sonucuna varılmıştır.

Han ve diğ. (1996)' nin çalışması, her açıklıkta sabit kesitli, sürekli, kısmi önerilmeli ve tek donatılı, T – kesitli kirişlerin, optimumluk kriteri yöntemi kullanılarak minimum maliyet optimizasyonunu içermektedir. Üç ve dört açıklıklı sürekli kiriş, örnek olarak çözülmüştür.

Balling ve Yao (1997) tarafından, ACI koduna göre, ardısıra kuadratik programlama veya gradyan yöntemi yardımıyla, düşey ve yatay yükleme etkisi altında, bir, iki ve dört katlı çerçeveler kullanılarak, dikdörtgen kolonlu ve dikdörtgen, T veya L kesitli kirişli, üç boyutlu betonarme çerçevelerin optimizasyonu için karşılaştırmalı bir çalışma sunulmuştur.

Sarma ve Adeli (1998)' nin yayınında, maliyet optimizasyonu konusunda yapılan çalışmalarla ilgili geniş bir araştırma yapılarak bir derleme yapılmıştır. Ayrıca, betonarme kirişler, döşemeler, kolonlar ve betonarme çerçevelerin maliyet optimizasyonu yapılırken amaç fonksiyonlarının ne şekilde yazılması gerektiği ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Rath ve Diğ. (1999)' nin yaptıkları çalışmada, eğilmeye maruz betonarme elemanların enkesit boyutlarının değişimine ek olarak, başlangıçta ele alınan dikdörtgen bir kesitin şeklinin değiştirilmesiyle, kesit şekli optimizasyonunun olabilirliği incelenmiştir. Gerekli şekil değişimleri, ardısıra kuadratik programlama yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Donatı çubuklarının sayısı ve çaplarının optimizasyonu için ise, genetik algoritma kullanılmıştır. Prizmatik olmayan betonarme kesitler için bir limit-durum tasarım yaklaşımı uygulanmıştır. Çözümü yapılan üç sayısal örnekte, basit mesnetlenmiş kiriş, konsol kiriş ve iki açıklıklı sürekli kiriş, düzgün yayılı yükler altında optimize edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, bu yöntemle, malzeme ve maliyette önemli bir azalma (%40-56) sağlanmakta ve yapı estetik olarak daha iyi görünmektedir.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kaynak özetlerinden de görüldüğü gibi, betonarme perdelerin maliyet optimizasyonu konusunda yapılmış çalışma çok sınırlı sayıdadır. Özellikle, genetik algoritma yöntemi kullanılarak yapılan çalışmaların çoğu, çelik yapılar konusundadır. Oysa, inşaat sektöründe en fazla kullanılan malzeme olması açısından betonarme oldukça önemlidir.

Perdeler, **ABYYHY (1997)**' ye göre planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Perdelerin, plandaki uzun kenarları doğrultusunda yatay yük taşıma kapasitelerinin oldukça fazla olması nedeniyle, bu elemanların, özellikle yüksek ve deprem etkisine maruz yapılarda kullanılması gerekli, hatta zorunludur. Hemen hemen tamamı deprem kuşağı içinde olan ülkemizde, perdelerin önemi son yıllara kadar ne yazık ki anlaşılamamıştır. Oldukça sık depremlerin yaşandığı ve orta şiddetli depremlerde bile bina hasarlarının yoğun

olarak görüldüğü ülkemizde, perdeli sistemler ve bu sistemlerin maliyet optimizasyonu konusunda daha fazla araştırma yapılması gereklidir.

Optimizasyon yöntemi olarak kullanılan genetik algoritma, doğadaki gerçek hayatı örnek aldığından oldukça gerçekçidir. Ayrıca, ayrık tasarım değişkenlerini kullanabilmesi, kısıtlamalı optimizasyon yöntemini, kısıtlamasız probleme dönüştürebilme özelliği, günümüzde neredeyse yaşamımızın her alanına girmiş olan bilgisayar bilimi ile canlılardaki genetik olayını birlikte kullanabilmesi, tasarım değişkenlerinin probleme doğrudan ve dolaylı olarak katılabilmesi, türev, integral gibi karmaşık matematiksel işlemleri gerektirmiyor olması, arama işlemine tek noktadan değil, noktaların bütününe dikkate alarak başlaması, yani çözümün başlangıç değerlerine bağlı olmadan bulunmaya çalışılması ve arama işleminde rastgele yöntemleri kullanması gibi, diğer optimizasyon yöntemlerine göre oldukça fazla artı özelliklerinin bulunması, yöntemin tercih edilmesinin nedenleridir. Özellikle problemin çözümünü bir çok farklı noktadan başlayarak arayabilme özelliği, lokal optimuma yakalanma olasılığını ortadan kaldırmakta, böylece global optimum çözüme ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Doğada var olan “güçlü olanın yaşamına devam etmesi” prensibinin inşaat mühendisliğine, özellikle de betonarmeye uyarlanması, bilim açısından ilginç bir yaklaşımdır.

Bir yapı sistemi tasarlanırken genellikle şöyle bir yol izlenir: Projelendirilmesi istenen yapının taşıyıcı sistem elemanlarına tasarımcı tarafından, mühendislik tecrübelerine dayanılarak, ön boyutlar verilir. Sistemin hesabı yapıldıktan sonra, hesap sonuçlarının, geçerli olan şartnamenin koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Kontroller sonucunda, yetersiz olduğu görülen boyutlar varsa değiştirilerek gerekli hesap tekrarları yapılır ve yeterli hale getirilir. Sonuç olarak, elde edilen sistem, şartnamenin bütün koşullarını sağlayan, güvenilir bir taşıyıcı sistem olabilir. Ancak, bu yöntemle sonsuz sayıda sistem oluşturmak mümkündür ve bu sistemlerin her birinin maliyeti birbirinden farklıdır. En ideal sistem ise, güvenilirliği ve ekonomiyi bir arada sağlayan sistemdir. Bu da, taşıyıcı sistem tasarımı esnasında maliyet optimizasyonunu gerekli, hatta zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, esas olarak son yıllarda geliştirilmiş olan Genetik Algoritma yönteminin perde elemanlı betonarme sistemlerin maliyet optimizasyonu problemine

uygulanması konusunun araştırılması ve bu konuda geliştirilecek olan bilgisayar programının çeşitli yapı sistemlerine uygulanmasıdır.

Maliyet optimizasyonu yapılacak sistemlerde perde boyutları tasarım değişkenleri olarak alınmış, diğer taşıyıcı sistem elemanlarının geometrik boyutlarının ise sabit olduğu kabul edilmiştir. Maliyet hesabında, amaç fonksiyonu; yapıda kullanılan beton ve çeliğin toplam maliyet miktarlarını içermekte olup, işçilik, kalıp, nakliye vb. maliyetlerin yaklaşık sabit kaldığı varsayımı yapılarak amaç fonksiyonuna katılmamıştır.

Optimizasyon probleminde kısıtlama olarak; perdelerin yönetmelik ve davranış koşulları gözönüne alınmış, sayısal örneklerde, önce iki boyutlu bir sistem üzerinde genetik algoritmanın çalışması izlenmiş, daha sonra üç boyutlu perdeli sistemler üzerinde çeşitli uygulama problemleri çözülmüştür. Çalışma yapılırken, genel sistemlerde kullanılmak üzere bilgisayar programları hazırlanmıştır.

Maliyet minimizasyonu yapılırken, 1998 yılında yürürlüğe konan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” (ABYYHY, 1997) ve TS 500’de (TS 500, 2000) verilen perdelerle ilgili koşullar kısıtlama olarak alınmıştır.

2. OPTİMUM YAPI TASARIMI

2.1 Optimizasyon Probleminin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Optimizasyon Problemi, eşitlik ya da eşitsizlikler şeklinde ifade edilen belirli kısıtlamalarla sınırlandırılmış x_i tasarım değişkenleri cinsinden yazılan bir $Z(x_i)$ amaç fonksiyonunun maksimum veya minimum değerini arama problemidir. Bu fonksiyon, “*Amaç*” veya “*Hedef*” fonksiyonu olarak isimlendirilir ve göz önünde bulundurulan sınırlamalar da problemin “*kısıtlamalar*”ı olarak bilinir. Problemdeki bilinmeyenler ise “*tasarım değişkenleri*” dir.

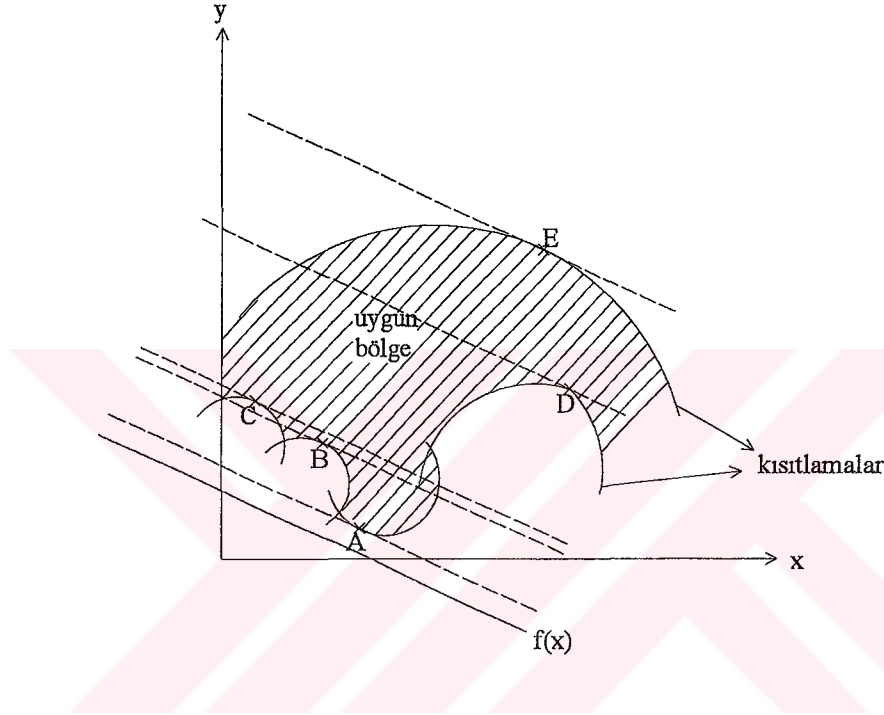
Özel durumlar dışında, optimizasyon sürecinin yer alabileceği bölgeyi sınırlayan kısıtlamalar vardır. Bu kısıtlamalar, o problemle ilgili pratik ve teorik koşulları yansıtır. Kısıtlamalar ile sınırlanan bölge ise “*uygun bölge*” diye adlandırılır. Böylece, bu bölge içinde seçilecek herhangi bir çözüm, optimum olmasa bile problemin çözümü için geçerli, yani uygun çözüm olacaktır.

Amaç fonksiyonları, genellikle birden fazla değişkenlerle tanımlanır ve birden fazla ekstremum noktalarına sahiptirler. Bir fonksiyon ile tanımlanan bir bölge içindeki iki nokta arasında geçirilecek bir doğru parçası eğer bölgenin dışına hiç geçmeyecekse bu bölge “*dışbükey*” olarak nitelendirilir. Bu tanım optimum sonucun tek olup olmamasının belirlenmesinde yararlıdır. Kısıtlamalar yüzeyi, çok boyutlu uzayda dışbükey ise çözümden “*mutlak (global) optimum*” elde edilir. Bu durum sağlanamazsa “*yerel (lokal) optimum*” elde edilmiş demektir.

Bu kavramlar, Şekil 2.1 de iki bilinmeyenli bir optimizasyon problemi üzerinde açıklanmıştır. Şekilde, x , y tasarım değişkenleri ve $f(x,y)$ amaç fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu kendine paralel olarak yukarı doğru kaydırıldığında fonksiyonun kısıtlamalara teğet ilk noktası olan $A(x,y)$ minimizasyon problemi için, fonksiyonun

kısıtlamalara teğet son noktası olan $E(x,y)$ maksimizasyon problemi için global optimumlardır. $B(x,y)$, $C(x,y)$ ve $D(x,y)$ ise lokal (yerel) optimum noktalarıdır.

Mühendisler optimizasyon problemleriyle daima ilgilenmişlerdir. İyi bir tasarımcı olmak, iyi bir optimizasyoncu olmayı da gerektirir. Günümüzde, farklı hesaplama yöntemleri yardımıyla mühendisler tarafından hesaplanabilen ve “klasik optimizasyon” olarak adlandırılan bir çok optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir.



Şekil 2.1 Genel optimizasyon kavramları

Belirli sınırlayıcılar altında en elverişli çözümü bulma tekniği olarak tanımlanan optimizasyonun insanlık tarihi ile birlikte doğduğu ve karar vermede güçlü bir araç olarak kullanıldığı yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. İnsanoğlunun, günümüzde olduğu kadar geçmişte de çalıştırdığı karar mekanizmasının altında, belirlenen amacı en uygun şartlarda elde etme ve bu amaca ulaştıran yollar içinden en iyisini seçme eğiliminin varlığı görülmektedir.

17. yüzyılda Newton ve Leibnitz tarafından matematiksel analizin kurulması ile (Bell, 1940) optimizasyon teorisinin de temeli bilimsel olarak atılmıştır. Optimizasyon, matematiksel bir temele oturtulduğu 17. yüzyıla kadar sezgi ve tecrübeye dayandırılarak problemlerin çözümüne uygulanmaktaydı. Eski çağlarda, savunma amacıyla yapılan kalelerin, genellikle, alan/çevre oranı maksimum olan

daire şekline benzetilmesi, en az malzeme ve işçilik sarfiyatı ile en geniş alanı savunabilme kaygısının sonucu olmuştur.

Optimizasyon, Gauss tarafından geliştirilen ve “En Küçük Kareler Metodu” adı verilen, deneysel verilere eğri uydurma tekniğinde de kullanılmıştır. Regresyon analizi adı verilen söz konusu eğri uydurma tekniğinde, model eğrisinin katsayıları, deney sonucunda bulunan noktaların sapma miktarlarının karelerinin toplamı minimum olacak şekilde tayin edilmektedir.

17. yüzyılda matematiksel analizin kurulması, optimizasyon teorisi ile ilgili bilimsel çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. Söz konusu gelişimi takip eden yıllarda, optimizasyon problemleri, genellikle farklı değişkenlerle tanımlanan bir amaç fonksiyonu ile sınırlayıcı şartları belirleyen eşitlik ve eşitsizliklerle ifade edilerek çözülmeye başlanmıştır. Ancak, analitik optimizasyon metodları, teorik yapısından gelen birtakım güçlükler nedeniyle, son derece sınırlı bir uygulama alanı bulabilmiştir.

2.1.1 Amaç Fonksiyonu

Bir tasarım probleminin çözümünde, sonsuz sayıda uygun çözüm bulunabilir. Bunların arasından optimum olanını bulmak, uygun tasarım seçeneklerinin karşılaştırılması için kullanılan değişkenlerin yer aldığı sistematik bir işlemle mümkün olur.

Optimizasyon; problemin çözümünde, en iyiyi, en ideali bulma süreci olarak tanımlanabilir. Amaç fonksiyonu ise, bir optimizasyon probleminde ulaşılmak istenen hedefin matematiksel ifadesidir. Ancak “iyi” veya “ideal” kavramı, problemin türüne göre değişir. Bazen amaç fonksiyonunun minimum değerinde olması en iyi iken, bir başka problemde maksimum olması ideal bir çözüm olabilir. Bu, tamamen optimize edilmek istenen problemde neyin amaçlandığına bağlıdır.

Optimize edilecek problem, bir maliyet problemi ise, tabii ki, en düşük maliyetle en ideal çözüme ulaşılmak istenir. Böyle bir durumda amaç fonksiyonunun minimize edilmesi, yani, en düşük değerinin bulunması gereklidir. İnşaat mühendisliğindeki optimum tasarım problemlerinin hemen hemen hepsinde minimizasyon problemi ortaya çıkmaktadır. Uçak yapımında “en iyi” çözüm zati ağırlığının minimum

olması, ticari bir işletmede ise “en iyi” çözüm net kârın ya da kâr/masraf oranının maksimum olmasıdır.

Amaç fonksiyonu, bir veya çok sayıda tasarım değişkenleri cinsinden ifade edilir. Bunlara değişkenler fonksiyonu denir. Yapı mühendisliğinde amaç fonksiyonu, yapının ağırlığını, yapı maliyetini veya diğer bazı kriterleri ifade edebilir.

Z, maksimize veya minimize edilmek istenen amaç fonksiyonunu, x_i , tasarım değişkenlerini göstermek üzere amaç fonksiyonunun genel formu

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x) \quad (2.1)$$

şeklinde dir. Maksimize edilecek amaç fonksiyonunun (-) değ er ile çarpılması durumunda problem minimizasyon problemine dönüşür.

$$\max f(x_1, x_2, \dots, x_n) = -\min (-f(x_1, x_2, \dots, x_n)) \quad (2.2)$$

Bütün optimal tasarım yöntemlerinde, amaç fonksiyonunun seçimi en önemli kararlardan biridir. Bazı durumlarda amaç fonksiyonunu formüle etmek kolaydır. Örneğin, eğer yapı maliyetinin ağırlığıyla orantılı olduğu varsayılmış sa, amaç fonksiyonu, yapının ağırlığı alınabilir. Bazı durumlarda ise, amaç fonksiyonunun matematiksel formülasyonunu oluşturmak çok zor olabilir. Örneğin, önemli estetik değ erler amaç fonksiyonunu oluşturan değ işkenlerle etkilenebilir. Genellikle, amaç fonksiyonu, bir tasarımın en önemli tek özelliğini gösterdiği gibi, birkaç özelliğini de birlikte gösteriyor olabilir.

Kolayca ölçülebilir ve formüle edilebilir olması nedeniyle, ağırlığın minimizasyonu, literatürde en yaygın olarak kullanılan amaç fonksiyonudur. Yapının ağırlığı, önemli kriterlerden biridir, ancak, ağırlığın minimum olması her zaman en ekonomik çözümü sağlamaz. Maliyet, çoğu zaman ağırlıktan daha fazla önem kazanır. Gerçek maliyet fonksiyonunu oluşturmak için yeterli veri elde etmek çoğu zaman oldukça zordur. Genel bir maliyet fonksiyonunda, malzeme, işçilik ve nakliye gibi bir çok değ işken bulunur. Buna ek olarak, maliyet fonksiyonu, tasarım ve yapımda gerekli olan işletme, bakım, onarım ve sigorta gibi diğer maliyet faktörlerini de içerebilir. Bununla beraber, yapı maliyetinin önemli bir kısmı malzeme ağırlığı ile orantılı

olduğu için çoğu zaman yapı ağırlığının minimizasyonu yapı optimizasyonu için oldukça uygun bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

2.1.2 Tasarım Değişkenleri

Optimizasyon işlemi yapılırken, yapı sistemini meydana getiren bazı parametrelerin başlangıçta belirlenmesi gerekir. Bu parametreler, sistem düzenlenirken, “önceden belirlenen parametreler” olarak adlandırılırlar ve optimizasyon algoritmasıyla değişmezler. Önceden belirlenemeyen parametrelere ise, “tasarım değişkenleri” denir. Tasarım değişkenleri ile önceden belirlenen parametreler, birlikte bir tasarımı tanımlayacaklardır. Tasarımcı, belirli parametrelerin seçiminde, özgür olmayabilir veya iyi bir sonuç meydana getirecek olan belirli parametreler ancak deneyim ile bulunabilir. Bazı etkenlerin sabit kabul edilmesiyle, yani optimizasyon probleminin çözümü sırasında bunların sabit alınmasıyla, problem, büyük bir oranda basitleştirilebilir.

Matematiksel bakış açısıyla, tasarım değişkenleri iki şekilde olabilir:

- a) Sürekli tasarım değişkenleri,
- b) Ayrık tasarım değişkenleri.

Bir optimizasyon probleminin çözümü sırasında, problemi ifade eden değişkenlerin, belli sınırlar (alt ve üst sınır) içindeki her bir değeri alması durumu, o değişkenlerin “sürekli tasarım değişkenleri” olduğunu gösterir.

Ancak, yapısal optimizasyon problemlerinde çözümü ifade eden tasarım değişkenleri her zaman sürekli değildir. Donatı alanı, çapı, ağırlığı, yapıyı oluşturan elemanların enkesit boyutları ve alanları gibi değişkenler sürekli değil, ayrık değerler alabilirler. Bu tür değişkenlere “ayrık tasarım değişkenleri” denir.

Optimizasyon probleminin çözümü sırasında, sürekli veya ayrık tasarım değişkenleri arasında seçim yapmak önemlidir. Verilen bir aralıkta, büyük bir sayıda ayrık tasarım değerlerinin olması ve bu ayrık değerlerin birbirine çok yakın alınması durumunda bir sürekli değişken ifadesinin kullanılması daha uygun olur.

Fiziksel bakış açısıyla ise, optimizasyon yöntemiyle değişen tasarım değişkenleri, yapının aşağıda sıralanan bazı özellikleri olabilir:

- a) Malzemenin mekanik veya fiziksel özellikleri,
- b) Yapının topolojisi yani, bir yapıdaki eleman sayılarının veya elemanların birleşim noktalarının düzeni,
- c) Yapının konfigürasyonu veya geometrik planı,
- d) Eleman boyutları veya enkesit boyutları.

Yukarıda bahsedilen tasarım değişken türleri burada kısaca açıklanacaktır:

a) Malzeme Tasarım Değişkenleri

Malzeme seçimi, ayrık özelliklere sahip, yani seçimin, değişkenlerin ayrık bir yerleşiminden meydana getirilmiş olması gibi özel bir problemi ortaya koyar. Bu tür ayrık tasarımlar, optimizasyon yönteminde, hesaplama zamanında ve karmaşıklıkta önemli artışı da gerektirebilir. Uygun malzemelerin az sayıda olması durumunda, her malzeme için ayrı ayrı optimizasyon işlemini yapmak ve sonuçları karşılaştırmak büyük olasılıkla oldukça hızlı ve verimli olacaktır. Yapıyı oluşturan elemanlarda yüksek performanslı kompozit malzemelerin kullanılması, tasarım değişkenleri arasında malzeme özelliklerinin alınmasının daha uygun olmasına neden olacaktır.

b) Topolojik Tasarım Değişkenleri

Yapının topolojisi, bir yapıdaki eleman birleşim noktalarının düzeni ve/veya eleman sayısını ifade etmektedir. Bazı elemanların gerekli olmadığı belirlendiği durumlarda, yapının topolojisi optimize edilebilir. Optimizasyon esnasında, ekonomik olmayan bazı elemanlar sistemden çıkarılabilir. Çıkarma işleminin yapılabilmesi için, tasarım değişkeni olarak alınacak yapısal elemanın eksikliği veya varlığı tamsayılı değişkenlerle ifade edilir. Örneğin, bir tamsayılı topolojik değişken, 1 (eleman vardır) veya 0 (eleman yoktur) değerleri ile sınırlı, iki noktayı birleştiren bir kafes sistem elemanı olabilir. Tamsayılı topolojik değişkene, bir köprüdeki açıklıkların sayısı, bir çatı sistemine mesnetlenmiş kolon sayısı veya ızgara sistemdeki elemanların sayısı da örnek olarak verilebilir.

c) Geometrik Tasarım Değişkenleri

Geometrik planlı değişkenlere örnek olarak bir çerçevedeki veya bir kafes sistemdeki birleşim noktalarının koordinatları verilebilir. Bu tip değişkenlere, bir köprüdeki mesnetlerin yeri, sürekli kirişteki açıklıkların uzunlukları veya kabuk yapıların

yüksekliği gibi örnekler de verilebilir. Genellikle, yapının geometrisi, sürekli değişkenlerle belirlenmektedir.

d) Enkesit Tasarım Değişkenleri

Kesit boyutları, en basit tasarım değişkenleridir. Bir kafes sistem elemanının enkesit alanı veya levhanın kalınlığı bu tip tasarım değişkenlerine verilebilecek bazı örneklerdir. Bazı durumlarda, tek bir tasarım değişkeni, kesiti anlatmak için yeterlidir, ancak, çok detaylı tasarımlarda, her kesit için farklı tasarım değişkenlerinin alınması gerekebilir. Bu değişkenler, elemanın enkesit boyutları, alanı, atalet momenti ve mukavemet momenti olabilir.

Enkesit tasarım değişkenli bir problemde, tasarım değişkenlerinin alabileceği değerler sınırlı sayıda ve ayrık olabilir. Örneğin, dairesel çelik borulu sistemlerin çapları ve kalınlıkları veya her biri farklı boyutlarda birkaç elemandan meydana gelen elemanları tasarım değişkeni olarak alınabilir. Bu durumlarda, tasarım değişkenleri olarak, sadece, uygun ayrık değerlerin bulunduğu bir listenin hazırlanması gerekir.

2.1.3 Kısıtlamalar

Bir optimizasyon probleminde, amaç fonksiyonunun içerdiği tasarım değişkenlerinin veya tasarım değişkenlerini dolaylı olarak etkileyen parametrelerin sağlanması gereken koşullar olabilir. Bu koşullar “kısıtlama” olarak isimlendirilir ve kısıtlamaların yer aldığı problemlere de “kısıtlı optimizasyon problemleri” denir. Optimum tasarım, problemdeki bütün kısıtlamaları sağlamalıdır. Eğer bir tasarım, bütün gereklilikleri bir arada toplamış ve bunları sağlıyorsa uygun tasarım olarak adlandırılır. Uygun bir tasarım elde etmek için sağlanması gereken sınırlayıcılar, “*kısıtlama*”lardır.

Bu fonksiyonun sağlanması gereken şartlar şu şekilde yazılabilir:

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i \quad (2.3a)$$

ve/veya

$$\Psi_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = d_k \quad (2.3b)$$

ve/veya

$$\pi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq h_j \quad (2.3c)$$

Buradaki, Γ , Ψ ve π , x_i tasarım değişkenleri cinsinden yazılmış kısıtlama fonksiyonlarıdır. Tipik bir optimizasyon probleminde n tane değişken vardır. b_i , d_k ve h_j ise bu değişken fonksiyonlarının sınır değerleridir.

“=” durumunun yer aldığı kısıtlamalara eşitlik kısıtlamaları (aktif kısıtlamalar), “ $\leq$ veya $\geq$ ” durumlarının bulunduğu kısıtlamalara ise eşitsizlik kısıtlamaları (pasif kısıtlamalar) denir. Eşitlik kısıtlamaları optimumda mutlaka aktiftirler. Pasif kısıtlamalar ancak, eşitsizliğin eşitlik durumuna dönüşmesi durumunda aktif olabilirler. Sonuç olarak, optimum tasarım, çok boyutlu uzayda, n değişken varsa n boyutlu uzayda, eşitlikleri gösteren çok boyutlu yüzeylerin kesişme noktalarından birinde bulunur.

Fiziksel bakış açısıyla kısıtlamaların iki farklı tanımı verilmiştir:

a) Malzemenin enkesit büyüklükleri veya boyutları ile ilgili sınırlamalarına “alan kısıtlamaları” veya “tasarım kısıtlamaları” denir. Önceden belirli olan bu kısıtlamalar yönetmelik sınırlamaları, işlevsellik, işçilik veya mimari gerekler gibi çeşitli durumlardan kaynaklanmış olabilir. Böylece sözkonusu kısıtlamalar, bir tasarım değişkeninde veya bir tasarım değişkeni grubunun bağıl değerini saptayan bir bağıntıda sınırlamalarla (alt ve üst sınır) belirlenmiştir. Bu tür kısıtlamalara örnek olarak, bir çatının minimum eğimi, bir kolonun minimum boyutları veya bir levhanın minimum kalınlığı verilebilir. Bütün bu kısıtlamalar, o problemin çözümünde kullanılan yönetmelik şartları olarak da düşünülebilir.

b) Davranış gerekliliklerinden ortaya çıkan kısıtlamalar ise “davranış kısıtlamaları” olarak adlandırılırlar. Maksimum gerilme, deplasman veya burkulma mukavemeti sınırlamaları davranış kısıtlamalarının tipik örnekleridir.

Gerilme Kısıtlamaları

Yapı elemanlarında meydana gelen gerilmelerin belirli sınırları aşmama koşulu olarak tanımlanmıştır.

$$\sigma_i \leq \sigma_{\max} \text{ (Normal)} \quad (2.4)$$

$$\tau_i \leq \tau_{\max} \text{ (Kayma)} \quad (2.5)$$

Yerdeğiştirme Kısıtlamaları

Yapı tasarım optimizasyonunda yaygın olarak kullanılan üç tip yerdeğiştirme kısıtlaması vardır. Bunlar:

- j düğüm noktasında u_j üst sınır değeri ile sınırlanmış olan x_j yerdeğiştirme değeri. Bu yerdeğiştirme kısıtlaması şöyle yazılabilir:

$$x_j \leq u_j \quad (2.6)$$

- Birçok tasarım şartnamesinde, verilen bir yerdeğiştirme değeri için üst sınır belirlenemez. Bunun yerine, üst sınır değerleri olarak, ötelenmeler, yani, bir elemandaki rölatif yerdeğiştirmeler alınır.

Bir çok yapısal tasarım probleminde, yapının düğüm noktalarında dönmeler meydana gelmektedir. Bunların tamamının bazı sınırlarla kısıtlanmış olması gerekir. θ_j , düğüm noktasının yaptığı dönme, $\theta_{j\max}$ ise, dönmenin maksimum değeri olmak üzere, yerdeğiştirme kısıtlamasının şu şekilde olduğu kabul edilir.

$$\theta_j \leq \theta_{j\max} \quad (2.7)$$

2.2 Yapı Optimizasyonunda Kullanılan Yöntemler

Günümüzde, yapı mühendisliğinde, mühendisin tecrübe ve sezgisine dayanan ve ülkemizde uygulamada yaygın olarak kullanılmakta olan deneme-yanılma yöntemi, mühendisin benzer tasarımlardan elde ettiği bilgilere dayanır ve basit optimizasyon problemlerinde iyi sonuçlar verebilir. Ancak bu yöntem, karmaşık problemlerin çözümünün üstesinden gelemeyebilir. Yapısal tasarımda, büyük değişim ve gelişimin yaşandığı günümüzde çok daha yeni yöntemlerin kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıda, yapı optimizasyonunda kullanılan yöntemlerin başlıcaları ve bu yöntemlerle yapılmış bazı çalışmalar özetlenmiştir.

2.2.1 Matematik Programlama Yöntemleri

Bu yöntemler, bir optimizasyon probleminde, amaç fonksiyonunu, verilen kısıtlamalar çerçevesinde, matematiksel çözüm algoritmaları ile minimize veya maksimize etmeyi öngörürler. Tasarım ile ilgili değişkenler çok boyutlu tasarım uzayının koordinatları olarak ele alınırlar. Kısıtlamalar ise bu uzayı uygun ve uygun olmayan bölgelere ayırırlar. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1.1 Doğrusal Programlama Yöntemleri

Amaç fonksiyonu, tüm kısıtlamaların tasarım değişkenleri cinsinden doğrusal olarak ifade edilebildiği programlama problemleridir. Bu problemde bütün katsayılar sabittir.

Genel bir doğrusal programlama probleminin amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$Z = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (2.8)$$

Buradaki x ' ler tasarım değişkenleri ve c ' ler ise sabitlerdir.

Kısıtlamalar ise şöyle yazılabilir:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i & (i = 1, 2, \dots, m) \\ &= d_k \\ &\geq h_n \end{aligned} \quad (2.9)$$

Buradaki m , kısıtlama sayısı, a_{ij} , b_i , d_k ve h_n sabitlerdir. Z amaç fonksiyonu, " $\leq$ ", " $\geq$ " eşitsizliklerini ve " $=$ " olma durumlarını içeren m adet kısıtlamaya sahiptir.

Doğrusal programlama, günlük hayatta karşımıza çıkan bir çok problemin çözümünde kullanılabilir. Doğrusal programlama yöntemleri, Simplex Yöntemi ve Tam Sayılı Programlama Yöntemi olarak sınıflandırılabilir (Majid, 1974).

a) Simplex Yöntemi

Simplex Yöntemi, 1947 yılında Dantzig tarafından geliştirilmiştir (Majid, 1974) ve bu çalışma, programlama problemine olan ilginin ve bu konudaki çalışmaların artmasını sağlamıştır. Simplex Yöntemi, doğrusal programlamada bir analitik çözüm sağlar ve bu problemlerin çözümüne yardımcı olur. Simplex Yöntemi, doğrusal yapı problemlerine kolayca uygulanabilir.

b) Tam Sayılı Programlama Yöntemi

Doğrusal programlama probleminde, değişkenlerin uygun bölge içinde sürekli değerler aldığı varsayılmaktadır. Ancak bazı problemlerde, değişkenlerin tamsayı değerlere sahip olması istenebilir. Tam sayılı doğrusal programlama problemi, yine bir doğrusal programlama problemi olup elde edilen optimum çözümde optimum değişkenler tamsayı olarak bulunmaktadır. Daha fazla işlem hacmi gerektirdiği için, yapı problemlerinde uygulamaları sınırlıdır.

2.2.1.2 Doğrusal Olmayan Programlama Yöntemleri

Doğrusal olmayan programlama problemi, problemdeki amaç fonksiyonu ve kısıtlamaların bir kaçının veya tamamının tasarım değişkenleri cinsinden doğrusal olmayan ifadelerle yazılabilmesi durumunda ortaya çıkar.

Doğrusal olmayan bir optimizasyon probleminin yaklaşık yöntemlerle doğrusallaştırılarak çözülmesi bazen mümkündür. Ancak, bu yaklaşım, problemin önemli özelliklerini bazen gözardı edebilir.

Doğrusal Olmayan Programa yöntemlerinden bazıları aşağıda anlatılmıştır:

a) Kesen Düzlem Yöntemi

Bu yöntem, Taylor serilerinin lineer terimlerinin kullanılmasıyla doğrusal olmayan fonksiyonları doğrusallaştırarak doğrusal olmayan programlama probleminin çözümünü sağlar. $\{x\} = \{x_0\}$ değişkenlerinin bir fonksiyon değeri olarak bilinen $f(x_0)$ değerinden, $\{x\} = \{x_1\}$ 'deki $f(x_1)$ değeri Taylor teoremiyle bulunur.

$$f(x_1) = f(x_0) + \nabla f(x_0)[\{x_1\} - \{x_0\}] \quad (2.10)$$

Doğrusal olmayan programlama problemi şu formdadır:

$$Z = f(x) \quad (2.11)$$

$$g_i(x_j) \leq 0 \quad (2.12a)$$

$$x_j \geq 0 \quad (2.12b)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

Herhangi bir $\{x_0\}$ noktasında, bu probleme doğrusal bir yaklaşım, Taylor serisinin ilk iki teriminin kullanılmasıyla yapılabilir. Yukarıdaki problem, böylece şu şekilde olur:

$$Z = f(x_0) = f(x_0) + \nabla f(x_0)(\{x_1\} - \{x_0\}) \quad (2.13)$$

$$g_i(x_0) + \nabla g_i(x_0)(\{x_1\} - \{x_0\}) \leq 0 \quad (2.14a)$$

$$x_j \geq 0 \quad (2.14b)$$

Her fonksiyon değeri $\{x\} = \{x_0\}$ ' da bilinmekteydi. Problem, şimdi, $\{x\} = \{x_1\}$ bilinmeyenleri ile doğrusaldır. Dolayısıyla programlama problemi, Simplex yöntemi ile çözülebilir. $\{x_2\}$ yeni çözümünü bulmak için $\{x_0\}$ yerine $\{x_1\}$ konularak yöntem tekrarlanır. Böylece yaklaşım sağlanıncaya kadar her aşamada problem doğrusallaştırılıp Simplex Yöntemi ile çözülerek optimum çözüm elde edilir.

b) Geometrik Programlama

Bu programlama yönteminde, doğrusal olmayan kısıtlamalar ile doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonundan oluşan bir problem, doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonu ve doğrusal kısıtlamalardan oluşan bir dual probleme dönüştürülerek çözülür. Geometrik programlama Prototip Geometrik Programlama ve Signom'lar ile Geometrik Programlama olarak sınıflandırılabilir (Keskinel ve Atrek, 1978).

- *Prototip Geometrik Programlama*: Bu yöntem, pozinom adı verilen kısıtlamalara bağlı bir polinomun minimizasyonu için kullanılır. Pozinom, pozitif değişken ve katsayılardan oluşan genel bir polinom olarak tanımlanmaktadır. Değişkenlerin yükseltildiği kuvvetlerin ise gerçel olması yeterlidir. Bu yöntemde, kısıtlamaların üst sınır kısıtlaması olarak gösterilmesi gerekmektedir. Bu tip problemlerde mutlak optimum elde edilir.

- *Signomlar İle Geometrik Programlama*: Signom, bir ya da birden fazla katsayının negatif olduğu pozinom olarak tanımlanmaktadır. Üst sınır kısıtlamaları yanında alt sınır kısıtlamalarını da ele alabilen bir yöntemdir. Tamamlayıcı Geometrik Programlama ve Yaklaşık Geometrik Programlama gibi iki alt dalı da mevcuttur.

c) İkinci Derece (Kuadratik) Programlama

Bazı problemlerde, amaç fonksiyonu ikinci dereceden olmakla birlikte, kısıtlamalar doğrusaldır. Bu gibi ikinci derece programlama problemleri yine sonlu sayıda adımda çözülebilir.

d) Ceza - Fonksiyon Yöntemleri

Bu yöntem, tamamen genel ve kısıtlamasız minimizasyon problemleri için kullanışlıdır. Ancak, kısıtlamalı problemler için herhangi bir değişiklik yapılmaksızın kullanılması uygun değildir. Ceza - fonksiyon yöntemleri, kısıtlanmış minimizasyon problemlerinin kısıtlanmamış minimizasyon problemleri olarak çözümüne yardımcı olurlar. Az karmaşık problemlerde, kısıtlanmış problemler için kısıtlanmamış formülasyonlar oluşturmak daima basittir ve uygulaması kolaydır. Aynı zamanda, uygun bir minimizasyon değerine ulaşılması zor değildir. Denklem 2.15 ve 2.16 doğrusal olmayan bir programlama problemi olsun:

$$Z = f(x) \rightarrow \min \quad (2.15)$$

$$g_j(\{x\}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (2.16)$$

Ceza – fonksiyon yöntemlerinin dayandığı düşünce basittir: Kısıtlanmış problemi çözmeye çalışmak yerine, orijinal amaç fonksiyonu $f(x)$ ’ e kısıtlamaları ifade eden bir “ceza terimi” eklemek. Böylece $\Phi(\{x\}, r)$ gibi bir ceza fonksiyonu elde edilir ve problem, denklem 2.17’ deki gibi bir minimizasyon problemine dönüşür.

$$\Phi(\{x\}, r) = f(x) + r \sum_{j=1}^m G(g_j) \quad (2.17)$$

G fonksiyonu öyle seçilmelidir ki, bir r değeri için, minimizasyonun elde edilme gerekliliği nedeniyle, böyle bir kısıtlanmış problem yakınsaklığa zorlanmış olsun. r katsayısı, ceza terimi ve amaç fonksiyon değerine ek bir katkı sağlar ve bu r katsayısı “ceza parametresi” olarak adlandırılır. $\Phi(\{x\}, r)$, değiştirilmiş amaç fonksiyonudur.

Ceza - fonksiyonu ilk olarak Courant tarafından önerilmiş, Caroll, Fiacco ve McCormick ise yöntemi geliştirerek bu alanda önemli çalışmalar yapmışlardır (Kirsch, 1981).

Ceza fonksiyonları iki ana kategoriye ayrılır:

- *Dış Ceza Fonksiyonu:* (2.17) denklemi dış ceza fonksiyonunda şöyle tanımlanır:

$$\Phi(\{x\}, r) = f(x) + r \sum_{j=1}^m \langle g_j \rangle^\gamma \quad (2.18)$$

Parantez içine alınan $\langle g_j \rangle$ operatörünün anlamı şöyledir:

$$\langle g_j \rangle = \begin{cases} g_j & \text{eğer } g_j > 0 \end{cases} \quad (2.19a)$$

$$\langle g_j \rangle = \begin{cases} 0 & \text{eğer } g_j \leq 0 \end{cases} \quad (2.19b)$$

γ üssü, negatif olmayan bir sabittir. Genellikle, eğer ceza parametresi r pozitif ise, Φ' nin minimumu $\{x\}'$ in bir fonksiyonu olarak uygun olmayan bir bölgede bulunacaktır. Eğer r , yeterince büyük seçilirse, $g_j \leq 0$ a göre Φ' nin minimum noktası, $f(x)$ 'in kısıtlanmış minimumuna yaklaşacaktır.

Çözüm yöntemi şu şekildedir:

$\{x\}'$ in ilk değeri ve r seçilir. $\{x\}$, herhangi bir nokta olabilir, mutlaka uygun bölgede bir nokta olması gerekli değildir. r' nin seçimi konusunda bazı önemli prensipler aşağıda anlatılmıştır. Verilen bir r için $\Phi(\{x\}, r)$ ' yi minimize eden bir $\{x^*\}$ vektörü hesaplanır. Eğer $\{x^*\}$ noktası uygun bölgedeyse sonuç optimumdur, diğer durumlarda, $r, r \leftarrow cr$ ($c > 0$) kadar değiştirilir ve $\{x^*\}'$ in $\Phi(\{x\}, r)$ ' yi minimize edip etmediğine tekrar bakılır. Uygun bölgede bir $\{x^*\}$ optimum noktası bulununcaya kadar her adımda r değeri değiştirilir ve $\Phi(\{x\}, r)$ tekrar hesaplanır.

- *İç Ceza Fonksiyonu*: Dış ceza fonksiyonu yönteminde, r değerindeki artış, Φ' nin minimumunun dışarıdan uygun bölgeye doğru zorlanmasını sağlar. Bir yöntem, Φ' nin minimumunun daima uygun bölge içinde olmasını sağlamak için ardışık r ceza parametresi değerinin azaltılmasıyla, $\{x^*\}$ minimum noktası, içeriden kısıtlanmış optimuma doğru zorlanır.

Dış ceza fonksiyon yönteminde olduğu gibi, uygun bölgedeki kısıtlamalardan uzak noktalarda, küçük bir ceza terimi yardımıyla amaç fonksiyonu değiştirilir. $\Phi(\{x\}, r)$ ' nin belirlenmesi şöyle olur:

$$\Phi(\{x\}, r) = f(x) - r \sum_{j=1}^m \frac{1}{g_j} \quad (2.20)$$

Ancak, ceza teriminin bir başka şekli de seçilebilir. Kısıtlanmış (2.15) ve (2.16) denklemlerinin çözümü yerine, r değerinin bir ardışık değişimi için denklem (2.20)' nin minimizasyonu iç ceza fonksiyonunun temelini teşkil eder.

Çözüm yöntemi aşağıdaki gibidir:

$\{x\}$ ' in ilk değeri ve r seçilir. $\{x\}$, mutlaka uygun bölgede bulunmalıdır; yani, bütün kısıtlamalar $g_j(\{x\}) \leq 0$ şartını sağlamalıdır. Verilen bir r için, $\Phi(\{x\}, r)$ ' yi minimum yapan $\{x^*\}$ bulunur ve $\{x^*\}$ ' in optimum değer olup olmadığı kontrol edilir. Eğer optimumu sağlamıyorsa, r parametresi, $r \leftarrow cr$ ($c < 1$) ile azaltılır. Daha sonra, $\{x^*\}$ ' in $\Phi(\{x\}, r)$ ' yi minimuma indirgeyip indirgemediğine tekrar bakılır. Yakınsaklık kriteri sağlanıncaya kadar r ' yi azaltmaya ve bu r ile $\Phi(\{x\}, r)$ ' nin minimizasyonunun elde edilip edilmediğinin kontrolüne devam edilir.

Ceza fonksiyonları yöntem olarak güvenilir olmakla birlikte, kısıtlamasız problemin çözümü bir çok kez yapılacağından sonuca ulaşmak zaman alır. Yakınsama hızı bazı ivme yöntemleri kullanılarak artırılabilir.

e) *Ardısıra Doğrusal Programlama Yöntemleri*

Ardısıra doğrusal programlama, kısıtlamaların ve amaç fonksiyonunun adım adım doğrusallaştırılmasını esas alan bir yöntemdir. Denklem (2.21) ile doğrusal olmayan

bir programlama problemi ve denklem (2.22) ile de bu problemin eşitsizlik kısıtlaması verilmiştir.

$$Z = f(\{x\}) \rightarrow \min. \quad (2.21)$$

$$g_j(\{x\}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (2.22)$$

Taylor serileri kullanılarak bir $(\{x\}^*)$ noktası civarında $f(x)$ ve g_j doğrusallaştırılır. Denklem (2.21) ve (2.22), böylece sırasıyla, (2.23) ve (2.24) halini alır:

$$f(\{x\}) \approx f^* + \{\nabla f^*\}^T (\{x\} - \{x^*\}) \quad (2.23)$$

$$g_j(\{x\}) \approx g_j^* + \{\nabla g_j^*\}^T (\{x\} - \{x^*\}) \quad j = 1, \dots, m \quad (2.24)$$

Buradaki f^* , $\{\nabla f^*\}$, g_j^* ve $\{\nabla g_j^*\}$, $\{x^*\}$ noktasında, sırasıyla $f(x)$, $\{\nabla f\}$, g_j ve $\{\nabla g_j\}$ 'nin aldığı değerleri ifade eder. Bir ardısıra doğrusal programlama probleminin doğrusal olmayan programlama probleminin yerini alması için en basit yaklaşım, seçilen ilk nokta $\{x^*\}$ ve $\{x\}$ 'in bulunduğu (2.25) ve (2.26) ifadelerinin çözümüyle olur.

$$Z = f^* + \{\nabla f^*\}^T (\{x\} - \{x^*\}) \rightarrow \min. \quad (2.25)$$

$$g_j^* + \{\nabla g_j^*\}^T (\{x\} - \{x^*\}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (2.26)$$

Bu doğrusal problem defalarca çözülür ve optimum çözüm bulununcaya kadar her seferinde $\{x^*\}$ yeniden belirlenir. Bu yöntem, her zaman optimuma yakınsanacağını garanti edemez. Problemin çözümü sırasında aşağıdaki sorunlar ortaya çıkabilir:

- Eğer gerçek optimum çözüm, uygun bölgenin bir tepe noktasında değilse, doğrusal programlamanın sonuçları, bu bölgenin uç noktaları arasında belirsizce salınacaktır.
- Gerçek optimum, bir tepe noktasında olsa bile, başlangıç tasarım noktası, çözümün henüz yakınsamadığı gerçek optimum noktadan çok uzakta olabilir.
- Konveks olmayan problemlerde, bazı doğrusallaştırılmış kısıtlamalar, optimum çözümü içeren uzayın uygun parçasından uzakta olabilir.

Çeşitli yöntemler kullanılarak bu tür problemler giderilebilir.

2.2.1.3 Ayrık Programlama Yöntemi

Optimizasyon yapılırken, tasarım değişkenlerinin genellikle sürekli olduğu, yani belli bir aralıktaki her değer o problemin çözümü olabileceği düşünülür. Oysa, yapısal optimizasyonda durum her zaman böyle değildir. Amaç fonksiyonunu sağlayan tasarım değişkenleri çoğu zaman ayrıktır. Yapısal sistemlerde kullanılan elemanların boyutları, alanları, standart ya da bileşik metal kesitlerin et kalınlıkları ayrı bir küme içerisinde yer alacağından, bu ayrı değerleri ele alabilecek yöntemlerin kullanılabilmesi pratik açıdan önemlidir. Örneğin, çelik profiller, donatı alanları, çapları ve ağırlıkları belirli değerlerde üretildiğinden, gerçekte var olmayan bir profilin veya bir donatının optimum çözüm olarak bulunması pratikte uygun olmaz.

Ayrık programlama yöntemleri, gerçekte var olan ve her zaman birbirleri ile ilişkisi bulunmayan elemanların tasarım değişkeni olarak alınması ve optimum çözümün bulunmasını amaçlamaktadır. Yarı Ayrık Programlama Yöntemleri ve Tamsayılı Programlama Yöntemleri bu gruptaki bazı optimum tasarım yöntemleridir. Genetik Algoritma ise, her ne kadar Yapay Zeka' nın bir alt dalı ise de, tasarım değişkenlerinin ayrı seçilmesi açısından o da bir ayrık programlamadır.

2.2.1.4 Matematik Programlama Yöntemleri ile Yapılan Çalışmalar

Matematik programa yöntemlerinin optimum yapı tasarımında kullanımına oldukça sık rastlanmaktadır. Bu yöntemlerle yapılan çalışmaların bir kısmı burada özetlenecektir.

Cohn ve MacRae (1984)' nin yaptıkları çalışma dört farklı konuyu içermektedir: Verilen bir betonarme kesit için donatı miktarının minimizasyonu, optimal çözümlerde çelik maliyet oranının etkisinin değerlendirilmesi, kısmi öngerilmeli betonarme kirişlerin kesit şeklinin optimizasyonu ve konu ile ilgili bütün kriterlerin gözönünde tutulmasıyla verilen tasarımların analizleri. Bütün bu çalışmalarda optimizasyon yöntemi olarak, doğrusal olmayan programlama tekniği kullanılmıştır.

Güluy (1985) tarafından yapılan çalışmada, dışmerkezsiz çapraz elemanlı çerçeve yapıların deprem yüküne göre optimum tasarımı için matris yerdeğiştirme ve modların süperpozisyonu yöntemleri kullanılarak tasarım problemi formüle edilmiş,

optimum yapı hacmi ve tasarım değişkenlerinin hesabı için, ardısıra doğrusal programlama yöntemi kullanılmıştır.

Wei ve Ye (1990) tarafından yapılan çalışmada, bütün enkesit boyutları tasarım değişkeni olarak alınan genelleştirilmiş polinom yaklaşımı yardımıyla çerçeve yapıların orijinal optimal tasarım modelini, standart signomlar ile geometrik programlama yöntemine dönüştüren bir yöntem sunulmuştur. Standart signomlar ile geometrik programlama, kesen düzlem yöntemiyle çözülmüştür.

Cai ve Thierauf (1993)' un yaptıkları çalışmada, doğrusal olmayan ayrık optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir ceza – fonksiyon yöntemi anlatılmaktadır. Ceza faktörünün uygun bir ilk değerinin tahmin edildiği ve etkisiz iterasyonların tekrarından kaçınılan bir teknik burada önerilmiştir.

Ayrık boyutlardaki elemanların kullanıldığı mühendislik yapılarının optimum tasarımında meydana gelen bazı zorlukları anlatan bir çalışma Templeman (1988) tarafından yapılmıştır.

2.2.2 Optimumluk Kriteri Yöntemleri

Matematiksel programlama yöntemlerinin optimizasyon probleminin çözümü için kısıtlamalar çerçevesinde doğrudan doğruya amaç fonksiyonunu ele almasına karşın, optimumluk kriterleri yöntemleri, yapı teorisi ve ilgili enerji bağıntılarını kullanarak, verilmiş kısıtlamalara bağlı kalmak koşuluyla ardışık yaklaşımla çözüme götürecek bağıntılar türetmeyi amaçlar.

Optimumluk kriteri yöntemi, hesaplama açısından oldukça hızlıdır, ancak, bunu sağlamak için yapının davranışı konusunda uzmanlaşmış olmak gerekir ve optimuma yakınsamak her zaman garanti değildir. Optimumluk kriterleri yöntemlerinin hızlı yakınsaklığı, sağlanması istenen kriterlerin problemin başında belirtilmesinden ötürüdür. Matematiksel programlamada ise optimum, amaç fonksiyonunun değerinde yeni bir değişikliğe olanak kalmadığında tanımlanabilmektedir.

Bu yöntem, matematiksel programlama yöntemlerinde olduğu gibi genel bir yöntem değildir. Her problem için ayrı bir kriter türetme güçlüğüne rağmen, daha hızlı sonuç verdiği için, bazı araştırmacılar, optimumluk kriteri yöntemini kullanmayı tercih

etmişlerdir. Bunun nedeni ise, matematik programlama yöntemlerinde değişken sayısı arttıkça yakınsama hızının bazen çok yavaş olmasıdır.

2.2.2.1 Optimumluk Kriteri Yöntemleri ile Yapılan Çalışmalar

Optimumluk kriteri yöntemi, optimum yapı tasarımında oldukça fazla kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Khot ve diğ. (1979)' nin yaptıkları çalışmada, optimumluk kriterine dayalı, sık kullanılan optimizasyon algoritmalarının, minimum ağırlıklı bir yapı tasarlanarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yönteme örnek olması açısından, 10 çubuklu kafes sistemin üç farklı durumu ele alınarak gerilme ve deplasman kısıtlamaları ile çözülmüştür.

Saka (1988) tarafında yapılan bir çalışmada, elastik limitin dışında, yapı davranışını hesaba katan bir optimum tasarım algoritması sunulmuştur. Doğrusal olmayan analiz tekniği ile optimumluk kriteri yaklaşımının birleştirilmesi başarıyla yapılmıştır. Tasarım değişkenleri olarak yapı eleman boyutları gözönüne alınmıştır.

Pezeshk ve Hjelmstad (1991) tarafından, çerçeve yapıların mukavemetini ve denge durumunu, elastik olmayan limit-yük durumunun hakim olduğu yük kapasitesini artırmak için bir çalışma yapılmıştır.

Hjelmstad ve Pezeshk (1991) tarafından yapılan çalışmada ise, limit-yük durumundaki çerçeve yapıların tüm denge karakteristiklerini ve mukavemetini iyileştirmek için optimumluk kriterinin kullanıldığı bir tasarım yöntemi önerilmiştir.

2.2.3 Yapay Zeka Yöntemleri (Artificial Intelligence)

Son yıllarda geliştirilmiş olan optimizasyon yöntemlerinden yapay zekanın yapısal optimizasyonda kullanılan alt dallarından bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- a) Yapay Sinir Ağları (YSA) (Artificial Neural Network)
- b) Uzman Sistemler (US) (Expert Systems)
- c) Metallerin Tavlanması Benzeşimi (Simulated Annealing)
- d) Evrimsel Gelişime Dayalı Yapısal Optimizasyon (EYO) (Evolutionary Structural Optimisation)

e) Genetik Algoritma (GA) (Genetic Algorithm)

Bu yöntemlerden kısaca bahsedildikten sonra Genetik Algoritma ayrıntılı olarak anlatılacak ve inşaat mühendisliğine nasıl uygulandığını göstermek açısından örnekler verilecektir.

2.2.3.1 Yapay Sinir Ağları Yöntemi (Artificial Neural Network)

Yapay Sinir Ağları, son birkaç yıl içinde teorik gelişimini tamamlamış ve artık pratik uygulamalarda kullanılmaya başlanmış olan yeni bir hesap modelidir. Yapay Sinir Ağları (YSA), çok sayıda birbirine bağlı sinir hücrelerinden oluşmuş biyolojik modele benzer, yapay sinir hücreleri olarak tanımlanan ve benzer şekilde bağlanmış belirli sayıda temel işlem elemanlarından oluşmaktadır. Bu şekilde hesaplama modelleri geleneksel sayısal hesaplamalardan farklıdır. Son zamanlarda bu hesaplama modellerini mühendisliğin değişik alanlarına uyarlayan önemli çalışmalar yapılmıştır.

Hasar tesbiti, optimizasyon, yapıların aktif kontrolü ve malzeme modellemesi gibi alanlarda YSA artık alternatif bir yöntem olarak ele alınmaktadır. YSA'nın modellemesi çok güç olan doğrusal olmayan ilişkileri bile modelleyebilmesi, çok hızlı sonuçlar üretebilmesi ve sonradan elde edilen verilerin etkisini hesaba katabilmek için kendini yeniden ayarlayabilmesi, yani adaptif olması, onu çok güçlü bir modelleme aracı haline getirmektedir. YSA' yı diğer modelleyicilerden ayıran en önemli özellik ise, gözlemsel verilerden yola çıkarak giriş-çıkış verileri arasındaki ilişkiyi öğrenebilmesidir. Daha önce bir modelin gerçek giriş ve çıkış büyüklükleri ile eğitilen ve öğretilen yapay bir sinir ağının görevi bu giriş ve çıkış büyüklükleri arasında bir bağıntı kurmasıdır.

Biyolojik sinir sistemi 100 milyar civarında sinir hücresi adı verilen mantık yürütme elemanlarından oluşmaktadır. Bu hücrelerin arasındaki bağıntıların sayısının ise bir katrilyon olduğu tahmin edilmektedir. Bu derece karmaşıklık göz önüne alındığında biyolojik ve yapay sistemler arasındaki benzerliğin çok yüzeysel olması normaldir. Bununla beraber, değişik sinir ağları mimarilerinin geliştirilmesinde nörobiyoloji ve psikolojideki algılama işlemlerini tanımlayan modeller bilgisayar bilimcileri tarafından benimsenmiştir.

Sinir ağı hesaplamaları optimizasyon için de kullanılabilir.

Eğitilmiş bir YSA, diğer sayısal hesaplama mimarilerine göre benzersiz avantajlar sağlamaktadır. Bunlardan en önemlisi, verilen giriş ile istenen çıkış değerleri arasında uygun ilişkiyi kurarak yeniden tasarım sürecini çok hızlı ve etkin bir hale getirmesidir. Bu özellik, analiz içinde doğrusal olmayan özelliklerin bulunması halinde, analiz ve optimizasyon için yeniden tasarımın iteratif bir yaklaşım gerektirdiği durumlarda daha büyük bir önem kazanmaktadır. YSA; hem analitik hem de deneysel verilerin kullanılması yoluyla eğitilebilir.

Herhangi bir sayısal optimizasyon probleminin YSA ile çözümüne ait işlem basamakları şöyledir: Öncelikle tasarım probleminin YSA modellemesi yapılmalıdır. Probleme ait amaç fonksiyonunda veya sınırlamalarda yer alan tasarım değişkenleri genellikle giriş katmanında ve sistemin yapısal analizi sonucu bulunacak olan büyüklükler ise çıkış katmanında yer alırlar. Gizli katman ve gizli düğümlerin sayısı, giriş ve çıkış katmanındaki düğüm sayılarına ve sistemdeki doğrusal olmayan büyüklüklere bağlı olarak çeşitli denemeler sonucunda belirlenebilir.

YSA' nın eğitilmesinde kullanılacak olan eğitim verileri seti ise, YSA' nın giriş düğümlerinde yer alan tasarım değişkenlerine belirli aralıklarda rastgele değerler verilerek, sistemin bilinen sayısal analiz yöntemlerinden birisiyle analizinin yapılması sonucu çıkış katmanındaki büyüklüklerin bulunması ve bu işlemin yeteri kadar tekrarlanmasıyla hazırlanır. YSA, elde edilen bu eğitim seti ile eğitilerek giriş ve çıkış düğümleri arasındaki ilişkinin en iyi bir şekilde öğrenilmesi sağlanır. Bu arada bir ara işlem olarak, YSA' nın test edilmesi işleminin gerçekleştirilmesi de uygun görülebilir. Bir test seti, eğitim setinin hazırlanması sırasındaki işlemlerin tekrarı ile oluşturulabilir. YSA bu test seti ile test edildiğinde hata düzeyi kabul edilebilir sınırlar içinde kalıyorsa işleme devam edilir, aksi takdirde eğitme işlemine geri dönlür.

Eğitilmiş ve test edilmiş bir YSA, artık optimizasyon sürecindeki analiz işleminin yerini alabilecektir. Optimizasyona, probleme ait sınırlamaları sağlayan rastgele bir giriş değerleri seti ile başlanır. Optimumun bulunması için yapılacak araştırma sırasında tespit edilecek noktalarda, tasarım değişkenleri dışındaki bilinmeyenlerin bulunmasına yönelik olarak yapılacak olan yapısal analiz işlemi, yerini YSA' ya

terkedecektir. Optimizasyonun işlem basamaklarında bunun haricinde bir değişiklik yapılmayacaktır.

Optimizasyon süresince YSA' nın katılmasındaki amaç, optimumun araştırılması sırasında sistemin tekrar tekrar çözülmesi ile kaybedilen zaman ve bunun getirdiği külfetlerden kaçınmaktır. YSA eğitim setinin hazırlanması sırasında ve eğitime sırasında kaybedilecek olan zaman, eğitim seti sayısına ve YSA' nın katmanlarındaki düğüm sayılarına bağlı olarak değişecektir. YSA ile optimizasyon işlemi, oldukça geniş bir eğitim setinin kullanılması halinde veya çok fazla gizli katman ve düğüm sayısına sahip YSA modellerinin söz konusu olduğu durumlarda fizibilitesini/verimliliğini yitirebilmektedir. Böyle zamanlarda giriş-çıkış eğitim çiftlerinin gruplandırılması işlemi, eğitime sırasındaki zaman kaybını büyük ölçüde azaltabilmektedir (Hajela ve Berke, 1991).

Çok sayıda elemana sahip kompleks sistemler ile doğrusal olmayan çok sayıda değişkenin yer aldığı problemlerin analizi, bilinen sayısal analiz yöntemleri ile oldukça uzun sürelerde yapılabilmekte ve/veya sisteme ait doğrusal olmayan değişkenlerin tanımlanması sırasında güçlükler yaşanabilmektedir. Bu tür sistemlerin YSA ile optimizasyonu, büyük olasılıkla daha kısa sürelerde uygun optimumların bulunmasını sağlayabileceklerdir. Çok basit sistemlerin optimizasyonu sırasında ise sayısal ve/veya klasik analiz işlemlerinin kolay olması, YSA ile optimizasyona gerek bırakmayabilir.

YSA' yı diğer matematiksel modellerden ayıran en önemli özelliklerden biri de verilerdeki eksiklik veya belirli düzeylerdeki hatalardan dolayı, sistemin durma konumuna gelmemesidir. YSA, bozuk, eksik veya önceden görülmemiş verilere tamamlama veya ara değer bulma şeklinde sonuçlar da üretebilir.

YSA' nın her türlü hesaplama sahasında kullanımının uygun olduğunu söylemek de yanlış olur. Ancak, giriş-çıkış ilişkilerinin tamamıyla açıklanamadığı bir çok problem için etkin bir çözüm yöntemi olduğu söylenebilir. YSA' nın bir çok alanda kullanımı hızla artmasına rağmen, şunu da unutmamak gerekir ki, YSA her probleme çözüm getirebilen bir yöntem değildir ve kullanımı dikkatle incelenmelidir. YSA ile elde edilen çözümlerin nasıl ve hangi temellere dayanarak elde edildiği konusunda henüz bir açıklama yapılamamaktadır (Moselhi, 1996).

Genelde, çözümü karmaşık algoritmik metotlara ihtiyaç gösteren veya algoritmik metotlarla çözülemeyen problemlerde, çok sayıda kalitatif ve kantitatif verinin anında tahminin/belirlenmesinin gerekli olduğu problemlerde, spesifik bir dalda tecrübeye dayanan gerçekçi çözümlere ihtiyaç duyulan problemlerde, çözüm için gerekli olan yeterli kesin bilgiyi elde etmenin mümkün olmadığı ve problemin önceden bilinen kesin verilerle karakterize edilebildiği yerlerde YSA kullanımı önerilmektedir.

2.2.3.2 Uzman Sistemler (Expert Systems)

1950'li yılların başından itibaren YSA ile birlikte başlamalarına rağmen, başlangıçtaki şüpheli yaklaşımdan dolayı YSA araştırmaları, Uzman Sistemlere göre daha yavaş ilerlemiş, US' ler ise daha fazla uygulama alanında yer almışlardır. 1980'lerin ortalarına doğru YSA' larda da tekrar ilerleme kaydedilmeye başlanmış, bunun yanı sıra çeşitli sahalarda çok sayıda US' ler ortaya çıkmıştır (Dere ve Kaltakçı, 1997).

1950'li yılların başında, sinir sistemi ve beyin ile ilgili biyolojik bilimlerde gelişmeler başlamıştır. Daha sonraki yıllarda beynin sebeplenme ve problem çözme yeteneğinin simülasyonu için yazılım modelleri geliştirilmeye başlanmış, 1976'da ise, ilk zeki uzman sistem ortaya çıkmıştır. 1980'li yıllarda uzman sistem kabuklar ve süper bilgisayarlar elde edildikten sonra 1990'lı yıllardan itibaren akıllı sistemler ile makineler birleştirilmeye ve teknolojiye kullanılmaya başlanmıştır.

Yapı mühendisliği ve yönetimi birçok US uygulamaları için verimli bir alan sayılmıştır. Çünkü, uzman bilgi, yargı ve tecrübe, birçok yapı mühendisliği ve yönetimi işlemlerinin gerçekleştirilmesi sırasında ve yapı problemlerinin çözümünde anahtar konumundaki gereksinimlerdir. Yapay zeka tabanlı sistemlerin aksine, klasik karar verme ve analiz teknikleri (ihtimal yöntemleri, bulanık kümeler teorisi vb.) için genellikle ileri matematik gereklidir, bu yüzden bu tür teknikler yapı tasarımcıları için pek kullanışlı olmamaktadırlar.

US' lerin çok azının, esasen iddia edildiği gibi, zekice çalışmakta olduğunu ortaya koymak için, yapı sahasında son zamanlarda bir çok US değerlendirilmiş ve US' lerin gelişmesinin önünde ana engel olarak, bilginin elde edilmesi gösterilmiştir. US' ler kendi kendilerine öğrenme, çözümleri genelleme gibi konularda ve daha önceden

karşılaşılmamış, eksik ve gürültülü verilerle işlemlerde yetersiz kalmaktadırlar. Klasik US' ler, seri(ardışık) mimarilerin uygulanabilirliklerine katı kısıtlamalar getirmektedir. Çünkü, yeni nesil paralel bilgi işleme mimarilerine karşı olmaları, karmaşık US uygulamalarını oldukça yavaşlatır ve işletme maliyetini artırır. US' ler, çabuk cevapların gerektiği sonuç çıkarma ve analoji problemlerinin pek azı için uygundur.

US' ler, beynin problem çözme fonksiyonlarını taklit eden belirli prosedürlere dayalı program sistemleridirler.

2.2.3.3 Metallerin Tavlanması Benzeşimi Yöntemi (Simulated Annealing)

Metallerin tavlama, bir metalin yüksek ısı altında ısıtılarak yumuşatılması veya sıvı hale geçirilmesi ve daha sonra yavaş yavaş soğutularak yeniden kristalleşmesidir. Yüksek ısıda atomlar gelişigüzel düzenlenirler. Fakat yavaş soğutmadan sonra atomlar yapılanmış bir örgüde düzenlenerek sistemin enerjisini minimize etmeye çalışırlar. Enerji seviyesinin minimum olması için başlangıç ısı seviyesi yüksek ve soğutma oranı yeteri kadar düşük olmalıdır. Optimizasyonda tavlama benzeşimi Metropolis algoritması kullanılarak yapılır. Buna göre tavlama olayı ile optimizasyon arasında aşağıdaki paralellikler kurulmaktadır (Hayalioğlu, 1994):

- a) Tasarım değişkenlerinin seçilmesinde kombinasyonla dayanan optimizasyonda çözümler bir sistemin içinde bulunduğu durumlara eşdeğerdir.
- b) Bir çözümün amaç fonksiyonu bir durumun enerjisi olarak göz önüne alınır.

Bir sistemde W_i , i no'lu geçerli tasarım vektörünün amaç fonksiyonu (sistemin i halindeki enerjisi), W_j ise geçerli tasarım vektörüne kombinasyon mekanizması uygulanarak küçük bir değişiklik ile üretilen j no' lu aday tasarım vektörünün amaç fonksiyonu olsun. Eğer amaç fonksiyonları farkı $W_j - W_i$ sıfırdan küçük veya sıfıra eşit ise j no' lu tasarım vektörü geçerli tasarım vektörü olarak kabul edilir. Eğer amaç fonksiyonları farkı sıfırdan büyük ise j vektörü belirli bir olasılık içerisinde geçerli vektör olarak kabul edilir. Bu kabul olasılığı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$P = \exp \left(\frac{W_i - W_j}{k_B T} \right) \quad (2.27)$$

Burada T ısı banyosunun sıcaklığı, k_B ise Boltzmann sabiti olarak bilinen fiziksel bir sabittir. Eğer sıcaklık yavaş bir biçimde azaltılırsa katı madde her sıcaklıkta termal dengeye ulaşabilir. Termal denge ise (2.27) bağıntısı ile verilen Boltzmann olasılık dağılımı ile karakterize edilebilir. Bu dağılım, bir katının T sıcaklığında bit W_i enerjisi ile i halinde olma olasılığını verir. Tavlama benzeşimi algoritması bir başlangıç çözümünden başlar ve bu çözümde sürekli olarak küçük lokal gelişigüzel değişiklikler yaparak daha iyi çözümlere varmaya çalışır. İşlemler sırasında k_B Boltzmann sabiti 1 alınabilir veya her seferinde amaç fonksiyonları farklarının aritmetik ortalaması kullanılabilir. İşlemler ilerledikçe (2.27) bağıntısı ile verilen kabul olasılığı sıfıra doğru düzgün bir şekilde azalır ve başlangıçta kötü tasarım vektörleri kabul edilirken sona doğru kötü tasarım vektörleri hemen hemen reddedilir. Bu teknik sonunda global minimumu %100 olasılıkla asimptotik olarak bulur. T sistem sıcaklığı, strateji ilerledikçe yavaş yavaş azalır. Bu da (2.28) bağıntısıyla verildiği gibi sıcaklığın her seferinde birden küçük bir soğutma faktörü T_f ile çarpılmasıyla olur

$$T = T * T_f \quad (2.28)$$

P olasılığı sıfıra yeteri kadar yakın ise optimum çözüm bulunmuş demektir. Yeteri kadar yakın değilse başa dönülerek işlemlere tekrar başlanır. Optimum çözüm bulununcaya kadar döngüye devam edilir.

2.2.3.4 Evrimsel Gelişime Dayalı Yapısal Optimizasyon Yöntemi (Evolutionary Structural Optimisation)

Evrimsel Gelişime Dayalı Yapısal Optimizasyon, yapının yeterliliğini amaçlayan bir yöntemdir ve Prof. Grant P. Steven ve Dr. Mike Y. Xie tarafından bulunmuştur. İlk kullanılmaya başlandığı 1992 yılından bu yana, Dr. Osvaldo M. Querin tarafından gerçek yaşamsal problemlere uygulanabilecek şekilde geliştirilmiştir.

EYO yöntemi, bir tasarımda malzemenin bir kısmının etkili olarak kullanılmaması durumunda, o kısmın yapıdan çıkarılması esasına dayanır.

Adım adım Evrimsel Gelişime Dayalı Yapısal Optimizasyon aşağıda anlatılmıştır:

- a) Tasarım alanı, yükler ve kinematik kısıtlamalar belirlenir.
- b) Yapı modeli oldukça muntazam bir şekilde elemanlarına ayrılır.
- c) Sonlu Elemanlar Analizi uygulanır.
- d) Etkin bir şekilde kullanılmayan parçalar sistemden çıkarılır.
- e) (c). ve (d). adımlar bütün kısıtlamalar sağlanacak şekilde tekrar edilir.

Evrimsel Gelişime Dayalı Yapısal Optimizasyon Yöntemi, optimizasyon kavramı içinde oldukça farklı yerlerde kullanılır. Bu EYO yönteminin şekil, boyut ve topoloji optimizasyonu yapma kabiliyetinin olması nedeniyledir. EYO yönteminin kullanılabildiği yerler aşağıda listelenmiştir:

- 1,2 ve 3 boyutlu elemanların kullanıldığı genel yapısal modellerin optimizasyonu.
- Çevresi mesnetlenmiş ve farklı yükler altındaki elemanların optimizasyonu.
- Hareketli mesnetli elemanların optimizasyonu.
- Bir elemanın tamamen çıkarılması yerine, o elemanın kalınlığı, mukavemeti ve yoğunluğundaki değişimle kısım kısım çıkarılma işleminin yapıldığı şekillendirme.
- Küçük parçalara ayırma.
- Klasik EYO'da olduğu gibi sadece eklenen elemanların olması durumu yerine, ekleme ve çıkarılma işlemlerinin her ikisinin de yapılabildiği elemanların olduğu çift yönlü EYO.
- Malzeme ve geometri bakımından non-lineer olan yapıların optimizasyonu.
- 2 boyutlu sürekli yapıların frekans optimizasyonu.
- 2 ve 3 boyutlu sürekli yapıların rijitlik ve deplasman optimizasyonu.
- Çerçeve, plak ve kolonların burkulmaya karşı boyut optimizasyonu.
- İzotropik ve kompozit malzemeli sürekli yapıların şekil optimizasyonu.

Kompozit malzemeler, ısı problemleri, imalat kısıtlamalarına EYO' nun uygulanması konusunda günümüzde başarılı araştırmalar yapılmaktadır.

2.2.3.5 Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)

Genetik Algoritmalar, doğal seçim ve doğal genetik mekaniğine dayanan arama algoritmalarıdır. Bunlar, insan araştırmacılığının yenilikçi anlayışı sayesinde, rastgele bilgi değişimiyle yapılandırılmış bir arama algoritması ile Darwin' in *“doğada gl olan hayatta kalır, zayıf olan ölür”* prensibinin birleştirilmesiyle oluşmuşlardır. Genetik algoritmanın, ilk ismi ile biyoloji, ikinci ismi ile ise bilgisayar biliminden faydalandığı görülmektedir.

Genetik algoritma, doğadaki gerçek hayatı taklit etmektedir. Belirli bir zaman diliminde, tamamen tesadüfi olarak seçilerek birlikte yaşamını sürdüren, belirli sayıda bireylerden oluşan bir nesil ele alınmakta ve bu nesil daha önceden kabul edilen yaşam şartları altında test edilerek, hayata ne kadar uyum sağladıkları belirlenmektedir. Bireyler tanımlanırken, bilgisayarların çalışma prensibi taklit edilmekte, yani bilgisayarlar tarafından her türlü karakterin tanımlandığı ikilik kodlama sistemi kullanılmaktadır. Aynı nesil içinde, bütün zorluklara rağmen hayatlarını sürdürebilen güçlü bireyler var olduğu gibi, yaşam şartlarına ayak uyduramayan zayıf bireyler de olmaktadır. Bir süre sonra, zayıf olan bireylerin yaşamları sona ermekte, bunların yaşama alanları, en güçlü bireyler tarafından doldurulmaktadır.

Yeni bir nesil oluşturmak amacıyla, var olan nesildeki bireyler eşleşmekte, anne ve babalarından aldıkları genlerle, eski nesilden tamamen farklı yeni bireyler oluşmaktadır. Her adımda, o neslin en zayıf bireyleri öldüğünden, genellikle, güçlü anne ve babadan meydana gelen çocukların oluşturduğu yeni nesil bir öncekinden çok daha güçlü olmaktadır. Bir çok nesil yaşatıldıktan sonra, en iyi, yani, en güçlü bireyler toplulukta artmakta ve nesil, benzer bireyler tarafından oluşturulmaktadır. Bir nesilde, başlangıçta belirlenen oranda, benzer sayıda birey oluşması durumunda işleme son verilmekte ve bu birey başlangıç neslinden itibaren yaşayan bireyler arasında, önceden belirlenmiş olan hayat standardını yakalayan, yaşam şartlarına en iyi göğüs gerebilen, en güçlü ve en uygun birey olmaktadır. Bu birey optimizasyon probleminde optimum çözümü temsil edecektir.

Bir sonraki bölümde, genetik algoritmalar ve çalışma prensipleri ile ilgili daha ayrıntılı bilgiler verilecektir.

2.2.3.6 Yapay Zeka Yöntemleri ile Yapılan Çalışmalar

Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar:

Adeli ve Park yapıların optimum tasarımı için bir neural dinamik modeli sunmuşlardır (Adeli ve Park, 1995). Neural dinamik model, ilk defa bir doğrusal optimizasyon problemi olan birkaç katlı düzlem çelik çerçevelerin plastik teoriye göre minimum ağırlık tasarımı problemine uygulanmıştır (Park ve Adeli, 1995).

Optimizasyon dışında İnşaat Mühendisliği'nde mevcut YSA uygulamalarından bazıları şöyledir: Wu ve diğ. (1992), yapı hasarlarını belirlemek için YSA kullanmışlardır. YSA'yı hasarsız bir yapıya ait verileri kullanarak mümkün olan çeşitli hasarlara uğramış bir yapının davranışını tanımak üzere eğittikten sonra, yapısal tepki ölçümleri bu ağa verildiğinde, mevcut hasarı belirlemek mümkün olmuştur.

YSA yapısal kontrolde de kullanılmaktadır. Yapısal kontrolün amacı, yapının dış yükler altındaki hareketini belirli bir düzeye indirgemek fakat tamamen ortadan kaldırmamaktır. Ancak bu yapılırken sık sık doğrusal olmayan davranışlar, belirsizlikler ve ölçmedeki uygunsuzluklarla karşılaşmaktadır. Bu yüzden sonuçta zayıf matematiksel modeller ve etkin olmayan kontrol algoritmaları elde edilmektedir. YSA tabanlı kontrol algoritmaları, bu problemin bir çoğunu aşabilecek yeteneklere sahiptirler (Ghaboussi ve Joghataie, 1995). YSA' nın inşaat mühendisliğindeki bir diğer kullanım alanı malzeme davranışının modellenmesidir (Ghaboussi ve diğ., 1991).

Kaltakçı ve Dere tarafından Yapay Sinir Ağları, yüksek kirişlerde kesme mukavemetinin belirlenmesi için kullanılmıştır (Kaltakçı ve Dere, 1997).

Yapay sinir ağlarının inşaat mühendisliğine uygulanması konusunda diğer bazı çalışmalar ise, Sanad ve Saka (1996), Moselhi ve diğ (1991), Vanluchene ve Sun (1990), Arslan ve İnce (1994) ve Goh (1995) tarafından yapılmıştır.

Metallerin Tavlanması Benzeşimi Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar:

Son yıllarda yapısal optimizasyonda metallerin tavlanması benzeşimi yöntemiyle bir çok çalışmalar yapılmıştır. Balling, bu yöntemle uzaysal çok katlı çerçevenin ayrık değişkenlerle optimum tasarımını yapmıştır (Balling, 1991). Topping ve arkadaşları, değişken ve sabit topolojiye sahip kafes sistemlerin ayrık ve sürekli değişkenler için optimizasyonunu yine bu yöntemle elde etmişlerdir (Topping ve diğ., 1993). Swift ve Batill, yapısal optimizasyonda sinir ağlarının öğretim verilerinin seçimi ve daha iyileştirilmesi için bu yöntemi kullanmışlardır (Swift ve Batill, 1992).

Genetik Algoritma Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar:

Yapısal sistemlerin hesabında genetik algoritma, son zamanlarda oldukça fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda özet halinde sunulmuştur:

Park ve diğ. (2003) tarafından yapılan çalışmada, reçine aktarılarak kalıplama yöntemiyle üretilen kompozit tabakalandırılmış plakların ağırlık minimizasyonu yapılmıştır. Yöntemin uygulanışı sırasında, rijitlik kısıtlamaları veya mukavemet kısıtlamaları kullanılabilmektedir.

Pezeshk ve diğ. (2000)' nin çalışmasında, geometri bakımından doğrusal olmayan çelik çerçeve yapıların iki boyutlu tasarımı için genetik algoritma esaslı optimizasyon yöntemi sunulmuştur. Ayrık, doğrusal olmayan optimal veya yaklaşık optimal tasarımlar elde etmek için yöntem olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Bu yayında, grup seçme mekanizması kullanılarak, geliştirilmiş, uygulanabilir çaprazlama operatörü ele alınmış ve ceza fonksiyonu seçimi için tavsiyelerde bulunulmuştur. Doğrusal ve geometri bakımından doğrusal olmayan analizler yardımıyla elde edilen optimum tasarımlar karşılaştırılmıştır. Bazı durumlarda, doğrusal analiz yerine doğrusal olmayan analizin kullanılmasıyla çok daha iyi tasarımlar elde edilmiştir.

Hadi ve Arfiadi (1998)' nin hazırladıkları yayında, deprem etkisine maruz, çok serbestlik dereceli yapılar için kütle salınımını sönümleyen bir aracın parametreleri genetik algoritma kullanılarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Kesitler seçildikten sonra değişim ve çaprazlama işlemleri yapılmıştır, belli sayıda yeni bireyler seçildikten sonra bu bireyler topluluğa yerleştirilmiştir. En iyi uygunluğa sahip birey daima bir sonraki nesle kopyalanmıştır.

Saka (1998) tarafından yapılan çalışmada, eleman kesit özelliklerini uluslararası standart kesitlerden alan ızgara sistemlerin optimum tasarımı için bir Genetik Algoritma sunulmuştur. Sehim sınırları ve gerilme kısıtlamaları, tasarım probleminin formülasyonunda hesaba katılmıştır.

Rafiq ve Southcombe (1998), optimal tasarım için yeni bir yaklaşımı ortaya koymuş ve Genetik Algoritmalar'ı kullanarak iki eksenli eğilme altında betonarme kolonlar için ayrıntılı olarak çözüm yapmışlardır. Bu çalışmada, tasarım kısıtlamaları (kesit boyutları, eksenel yük ve kolonun her iki eksenine doğrultusundaki eğilme) ile iki eksenli bir kolon için optimal donatı çubukları ve bu donatıların yerleşimlerinin bulunmasında Genetik Algoritma'nın nasıl kullanılacağı anlatılmıştır. Maksimum eğilme kapasitesini aşmayacak şekilde ve donatı alanının minimize edildiği kısıtlamalar altında en ekonomik çözüm aranmaya çalışılmıştır. Kolon kesitindeki donatı dağılımı bulunurken British Standart (BS8110) kullanılmış, kırılma limit durumu (ULS) ve inşa edilebilirlik konularının her ikisi de hesaplarda dikkate alınmıştır.

Daloğlu ve Armutcu (1998) tarafından yapılan çalışmada, düzlem çelik çerçevelerin optimum tasarımını gerçekleştirmek üzere kesit özelliklerini pratikte hazır olan standart kesitlerden seçebilen bir genetik yaklaşım sunulmuştur.. Kopyalama, çaprazlama ve değişim operatörlerinden ibaret olan basit genetik algoritma kullanılmış ve yapı, gerilme, stabilite ve deplasman sınırlayıcıları altında boyutlandırılmıştır. Bileşik gerilme sınırlayıcısı, TS 648'e göre dikkate alınmıştır. Yöntemin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla çeşitli sayısal örnekler verilmiştir.

Camp ve diğ. (1998)'nin yaptıkları çalışmada, iki boyutlu çelik yapıların ayrık optimizasyonu için birleştirilmiş bir basit Genetik Algoritma tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak yapının toplam ağırlığının (veya maliyetinin) güvenilirlik ve kullanılabilirlik esaslarına dayalı olarak minimizasyonu amaçlanmıştır. Genetik Algoritma esaslı FEAPGEN yöntemi, Sonlu Elemanlar Analiz programına (FEAP) ek olarak geliştirilmiştir. FEAPGEN; ayrık tasarım değişkenlerini içermektedir ve (AISC-ASD) kullanılarak tasarım kontrolünü yapmışlardır.

Friswell ve diğ. (1998)'nin yaptıkları çalışmada ise, titreşim verileri kullanılarak ortaya çıkan hasar problemine Genetik Algoritma'nın uygulaması verilmiştir. Amaç,

bir yapıda bir veya daha fazla bölgede meydana gelen hasarları teşhis etmek ve bu hasarların büyüklüklerini tahmin etmektir. Genetik Algoritma, ayrık hasar yerleri değişkenlerinin optimizasyonu için kullanılmaktadır. Bu yöntemler, bir giriş ve bir plak üzerinde uygulanarak açıklanmıştır.

Wei ve diğ. (1997)' nin yaptıkları bir çalışmada da zaman-maliyet iş optimizasyonu için Genetik Algoritma' nın prensiplerine dayalı bir algoritma oluşturulmuş ve bu algoritma ile bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Cheng ve Li (1997)' nin yaptığı çalışmada Pareto Genetik Algoritma ve Bulanık Ceza Fonksiyon yönteminin birleştirilmesiyle kısıtlanmış çok amaçlı optimizasyon yöntemi sunulmuştur. Pareto Genetik Algoritma, beş temel operatörden meydana gelmektedir: Üreme, çaprazlama, dönüştürme, uygun yer ve Pareto yerleşim filtresi. Ceza fonksiyonları kullanılarak kısıtlanmış problem kısıtlanmamış probleme dönüştürülmüştür. Araştırılmak üzere ele alınan örnekler, 72 çubuklu ve 4 çubuklu uzay sistemlerin çok amaçlı tasarımlarını içermektedir.

Daloğlu ve Armutcu (1997) 'nun yaptığı çalışmada, kafes sistemlerin optimum tasarımı için bir algoritma sunulmuştur. Gerilme, deplasman ve stabilite sınırlayıcıları TS648'e uygun olarak gözönüne alınmaktadır. Optimum tasarımda rastgele seçilen bir giriş nesli ile işleme başlayan basit genetik algoritma kullanılmıştır. Her bir tasarım adımında yeni nesil kopyalama, eşleme, çaprazlama ve değişim gibi basit genetik algoritma operatörleri uygulanarak oluşturulmuştur. Algoritma, yeni nesilde aynı bir birey hakim oluncaya kadar işlemi tekrarlamaktadır. Yöntemin uygulanabilirliğini göstermek üzere sayısal örnekler çözülmüş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Turgut ve diğ. (1997) tarafından yapılan çalışmada ise, tasarım değişkenleri sınırlı yapı sistemlerini optimizasyonu için basit bir Genetik Algoritma sunulmuştur. Genetik Algoritma ile optimizasyon kavramı basit mesnetli bir betonarme giriş üzerinde detaylı bir şekilde verilmektedir. Tasarım değişkenleri olarak girişin enkesit yüksekliği, genişliği ve donatısı alınmıştır. Ardışık nesiller için bütün hesaplamalar algoritmanın kolay bir şekilde anlaşılması için tablolar halinde verilmiştir.

Ramasamy ve Rajasekaran (1996) tarafından yapılan çalışmada ise, endüstriyel çatıların tasarımına bir uzman sistem uygulanmıştır. Tasarım yapılırken bu konuda

bilinen bütün şartlar dikkate alınmıştır. Farklı kesitler ve bunların özelliklerini içeren bir veri hazırlanarak tasarımda kullanılmıştır. Beş farklı kafes yapı tipi tasarlanmış, kullanılan uzman sistem ve elemanlar altı farklı bölge halinde gruplandırılmış, üç farklı yükleme durumu analizde hesaba katılmıştır. Aynı kafes tipleri Genetik Algoritma ile optimize edilmiştir. Tasarım değişkenleri olarak eleman enkesit alanları ve üç farklı yükleme durumu için deplasman ve gerilme kısıtlamaları dikkate alınmıştır.

Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) tarafından yapılan çalışmada, ayrık tasarım değişkenli yapısal sistemlerin optimizasyonu için basit bir genetik algoritma sunulmuştur. Kısıtlanmış problemlerin kısıtlanmamış probleme dönüştürülme işlemi ceza esaslı dönüştürme yöntemi ile yapılmıştır. Genetik Algoritma, üç çubuklu kafes sistem probleminde detaylı olarak anlatılmıştır. Literatürdeki iki standart problem çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Büyük bir yapının tasarım optimizasyonuna Genetik Algoritma' yı uygulamak amacıyla, 160 çubuklu iletişim kulesinin minimum ağırlık esasına göre çözümü yapılmıştır.

Jenkins (1992) tarafından yapılan çalışmada, genel olarak düzlem çerçeve olarak sınıflandırılan yapıların optimum tasarımı için uygun bir hesaplama yöntemi tanımlanmaktadır. Tasarım optimizasyonu Genetik Algoritma ile yapılmakta, tasarım kısıtlamaları ceza fonksiyonları ile değiştirilerek amaç fonksiyonu için en uygun değer bulunmaya çalışılmıştır. Hesaplamalarda otomatik veri oluşturulmakta ve yapı tekrar analiz edilmektedir. Örnek olması açısından bir asma köprü ele alınmış ve amaç fonksiyonu olarak maliyet minimizasyonu amaçlanmıştır.

3. GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİ

3.1 Genetik Algoritmaya Giriş

Bilimin gelişme sürecine bakılacak olursa, insanlığın bu süreç içerisinde tabiattan pek çok kez ilham aldığı görülür. Tabiat, insanoğlu için bir model olmuştur. Örneğin, uçan bir varlığın olmadığı bir ortamda uçmanın hayal edilmesi, hayal edilebilse bile bu işin gerçekleştirilmesi neredeyse imkansızdı. Bugün gökyüzünde özgürce dolaştığımız uçaklar, kuşların aerodinamik yapılarıyla bir benzeşim göstermektedir. Ayrıca asfaltları delmek ve kırmak için kullanılan kompresörler de kullanıcıya minimum zararı verecek şekilde, yapılarında titreşimin çoğunu emen bir mekanizmaya sahiptir ve bu mekanizma ağaçkakanların kafa ve gaga yapılarının arasının incelenmesiyle geliştirilmiştir. Çünkü ağaçkakanların o bölgesinde titreşimi emen bir yumuşak tabaka vardır ve bu sayede ağaçkakanın beyni ağaçları devamlı gagalamasına rağmen zarar görmemektedir.

Artık insanlık, canlıların yapılarında var olan bir takım özellikleri sanal ortamlarda taklit ederek modeller geliştirmeye ve bu modellerle de karşılaştığı problemlere çözümler getirmeye çalışmaktadır. Örneğin, canlıların yapısında var olan sinirlerin, bilgileri aktarma kabiliyetlerinin incelenmesiyle Yapay Sinir Ağları ve canlıların çevreye uyum ve genetik özelliklerinin araştırılmasıyla da Genetik Algoritmalar geliştirilmiştir.

Genetik Algoritmalar, doğal seçme ve doğal gen mekaniğine dayanan araştırma yöntemleridir ve optimizasyon probleminin çözümünde doğadaki genetik yasalara benzer kurallar aracılığıyla en iyiye yaklaşma olanağı sağlamaktadır. Doğada hiç değişmeyen bir kural vardır: “Doğaya en fazla uyum sağlayan canlı hayatına devam eder, uyum sağlayamayan canlı ise ölür”. Güçlü olanın yaşamını sürdürmesi , güçsüz

olanın ise ölmesi doğada güçlü olmanın ne kadar önemli olduğu gerçeğini ortaya koyar. Genetik Algoritma, temelde bu prensibi esas alarak güçlü ve uyumlu nesiller elde etmek için çaba sarfeder.

Genetik Algoritmalar üzerine yapılan araştırmaların ana teması olan “güçlülük”, farklı bir çok çevrede güçlü olanın yaşamını sürdürmesi için verimlilik ve etkinlik arasındaki dengeyi sağlamak olarak tanımlanabilir.

Genetik Algoritma, ilk ismini biyoloji, ikinci ismini ise bilgisayar biliminden almaktadır. Bu yöntem, bütün canlılarda yaşanan evrim sürecinden etkilenerek geliştirilen, seçim ve çoğalma operatörleri kullanılarak araştırma uzayındaki yeni noktaların belirlendiği, bir nesildeki bireylerin genetik yapılarının değişmesiyle yeni bir neslin oluşması esasına dayalı, arama, optimizasyon ve yapay öğrenme algoritmasıdır. Genetik Algoritma, hayatı taklit ettiğinden oldukça gerçekçidir. Ayrıca günümüzde neredeyse yaşamımızın her alanına girmiş olan bilgisayar bilimi ile canlılardaki kalıtım olayını birleştirmesi açısından oldukça ilginçtir.

Yapay sistemler için güçlülüğün uygulanması çeşitli şekillerde olabilir. Yapay sistem tasarımcılarının (gerek yazılım ve donanım, gerekse mühendislik ve bilgisayar sistemleri) biyolojik sistemlerdeki verimi ve güçlülüğü kullarımdaki başarıları hayret vericidir. Kendi kendini onarım, kendi kendine kılavuzluk ve üreme özellikleri en gelişmiş yapay sistemlerde basit bir şekilde görülmelerine rağmen bunlar biyolojik sistemlerin temel kurallarıdır.

Buradan şu sonuca varılabilir: Güçlülüğün istenildiği yerlerde doğa bunu en iyi şekilde gerçekleştirir. Uyumun ve sürekliliğin sırları da en iyi şekilde biyolojinin kurallarının dikkatle incelenmesiyle öğrenilebilir. Bununla beraber, genetik algoritma yöntemlerinin tek başına doğa kurallarının mükemmelliğine başvurularak açıklanması kabul görmemektedir. Genetik algoritmanın, karmaşık uzayda, güçlülüğün aranmasını sağladığı teorik ve deneysel olarak kanıtlanmıştır. Bu konudaki ilk özel çalışma “Doğal ve Yapay Sistemlerde Uyum” adıyla 1975’te John Holland tarafından yapılmıştır. Makine öğrenimi konusunda Michigan Üniversitesi’nde çalışan **John Holland (1975)**, canlılardaki genetik işlemleri sanal ortamda gerçekleştirmeye çalışmış ve bu işlemlerin etkinliğini yine **Holland (1992)** açıklamıştır. Başlangıçta pratik bir yararı olmadığı düşünülen GA’lara Holland’ın öğrencisi olan Goldberg’ın yaptığı doktora teziyle National Science Foundation

tarafından verilen Genç Araştırmacı ödülünü alması ve bundan dört yıl sonra da klasik eserini yayınlamasıyla ilgi artmıştır (Goldberg, 1989).

John Holland ve öğrencileri tarafından yapılan araştırmaların iki hedefi vardır:

- a) Doğal sistemlerin uygulanabilir yöntemlerini kesin bir biçimde açıklamak ve ortaya koymak.
- b) Doğal sistemlerin önemli işleyiş tarzlarını kapsayan yapay sistem yazılımları oluşturmak.

Bu yaklaşımlar, doğal ve yapay sistemler bilimlerinin gelişimlerine önemli katkılarda bulunmuştur. Birçok makale ve tezler, bu tekniğin işlevsel optimizasyon ve kontrol uygulamalarındaki geçerliliğini ortaya koymuştur.

Optimum çözümlerde bir çok matematiksel programlama teknikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunda varsayılan şudur: Tasarım değişkenleri sürekli'dir. Yani belli bir alt ve üst limitler arasındaki her değ'er o problemin çözüm kümesi olabilir. Ancak bu daima doğru değildir. Mühendislik tasarımında karşılaşılan pek çok problemde tasarım değişkenleri ayrıktır. Tasarım değişkenlerinin ayrık olması durumunu ele alan çok az algoritma geliştirilmiştir. Ayrık değişkenlerin kullanıldığı genetik algoritma yöntemi her tasarım adayından optimum bir çözümü belirlediğinden oldukça mantıklı bir yöntem'dir.

Literatürde, İnşaat Mühendisliğinin kapsama alanına giren bir çok inşaat sahasında değişik optimizasyon yöntemleri kullanılarak yapılmış pek çok yayın mevcuttur. Bunların pek çoğu karmaşık matematiksel işlemler gerektirir. Ancak genetik algoritma yönteminin kolay anlaşılabilir, kolay programlanabilir ve fazla matematiksel işlem gerektirmiyor olması, yöntemi diğerlerinden üstün kılan özellikler'dir.

Verilen bir analiz işleminin veya bir optimizasyon probleminin genetik algoritma ile çözümü, "organizmalar" ın (bit dizisi) nesillerini sürdürdükleri varsayımına dayanır. Nesiller olasılık yöntemi kullanılarak değiştirilir ve verilen problemin yaklaşık -optimal çözümü aranır. Rastgele seçim esnasında, genetik algoritmaların rastgele ilerleyişi basit değildir. Bunlar, ümit edilen performans artışını sağlamak ve yeni

arama noktaları oluşturmak için geçmişe ait bilgileri oldukça iyi bir şekilde kullanırlar.

Verimli ve etkili arama gerektiren problemler için geçerli bir yaklaşım olarak kabul edilmeleri sonucu genetik algoritmalar günümüzde iş, bilim ve mühendislik çevrelerinde daha geniş uygulama alanları bulmaktadır. Uygulamaların sayısındaki artışın nedeni açıktır. Bu algoritmalar hesaplanabilirlik açısından basit, ancak gelişmeye yönelik arama yapmaları bakımından güçlüdürler. Bunun dışında, arama uzayı hakkında kısıtlayıcı varsayımlarla, esas olarak sınırlanmamışlardır (süreklilikle ilgili kabuller, türevlerin var olması ve diğer kabuller). Burada, bütün bu cazip özelliklerinin ardındaki nedenler incelenecektir. Ancak, bundan önce, geniş bir çevrede kabul gören arama prosedürüne göre güçlülüğün araştırılması gerekir.

3.2 Geleneksel Optimizasyon ve Arama Yöntemlerinde Güçlülük Kavramı

Geleneksel arama yöntemlerinin istenilen güçlülük ihtiyacını karşılayıp karşılamadığı sorusu önemlidir. Günümüz literatürlerinde üç ana tip arama yöntemi tanımlanmaktadır: Analitik Yöntemler, Sayısal Yöntemler ve Rastgele Yöntemler. Burada, her bir tip incelenecek ve biçimsel teste tabi tutmadan ne gibi sonuçlara varabileceği gösterilecektir.

3.2.1 Analitik yöntemler

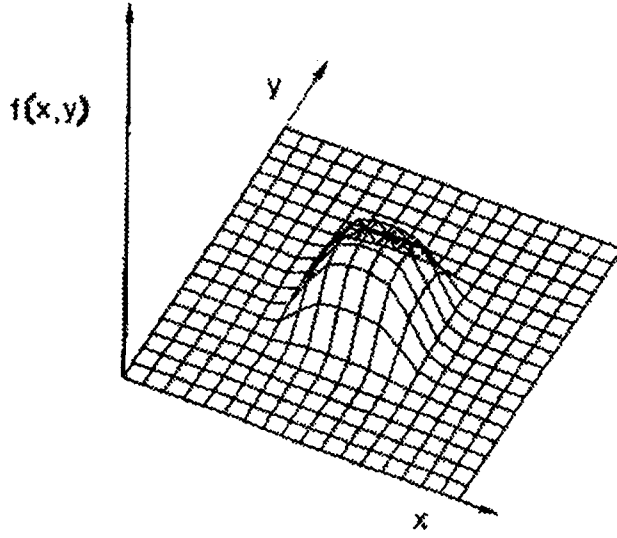
a) Dolaylı yöntemler

Amaç fonksiyonundaki değişimin sifıra eşitlenmesiyle oluşurlar ve genellikle lineer olmayan eşitlikleri çözerek bölgesel sınırlar ararlar. Arama, tepe veya çukur olması muhtemel noktalar civarında yapılır.

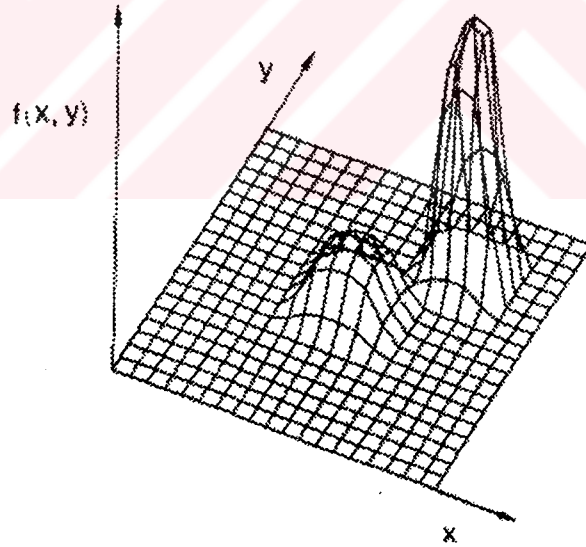
Bu yöntemde görülen eksiklikler şunlardır:

- Doğrusal olmayan denklem takımlarının çözümü oldukça zordur. Başlangıç ve sınır şartları içinde çözüme ulaşılabilir.
- Amaç fonksiyonları türevi alınabilir olmalıdır. Aksi takdirde çözüme ulaşmak imkansızdır. Oysa gerçek hayatta karşılaşılan bir çok problemin ifade ettiği amaç

fonksiyonunun türevi alınamaz veya zaman zaman bu fonksiyonlarda süreksizlikler de olabilir.



Şekil 3.1 Analitik yöntemler için tek tepeli fonksiyonlar basittir.



Şekil 3.2 Çok tepeli fonksiyonlar bir çıkmaza neden olur; hangi tepeye tırmanılacağı önceden bilinmez.

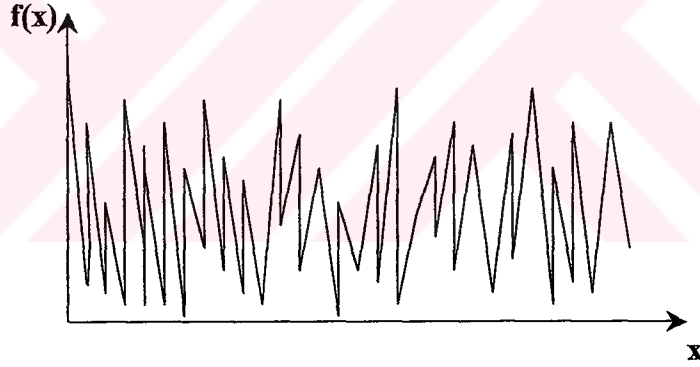
- Arama tepe veya çukur olması muhtemel noktalar civarında yapılacağından bu yöntem tek tepesi olan geometriler için iyi çalışırken (Şekil 3.1), çok tepesi olan geometriler için iyi çalışmayabilir (Şekil 3.2). Çünkü yöntem global optimum yerine lokal optimuma takılabilir. Yani, yöntem lokal bakış açısıyla yürür.

b) Doğrudan yöntemler

Bu yönteme örnek olarak Hill- Climbing arama şekli verilebilir. Bu arama şeklinde düzgün, kısıtlanmamış bir fonksiyon alınır ve maksimum noktanın yeri hakkında bir tahminde bulunulur. Aramaya bu maksimum noktanın yakınlarındaki herhangi bir noktadan başlanır. Burada lokal en iyi noktayı bulmak için mümkün olan en dik eğimli yönde ilerlenir. Doğrudan Yöntemler, fonksiyonu sıçratarak ve lokal değişime bağlı, bir yönde hareket ettirerek lokal optimumu ararlar.

Bu yöntemin eksiklikleri de şunlardır:

- Yöntem yersel bakış açısıyla ilerler. Dolayısıyla tek tepeli fonksiyonlar için iyi sonuçlar verirken (Şekil 3.1), çok tepeli fonksiyonlarda lokal optimuma takılabilir (Şekil 3.2)
- Amaç fonksiyonu türevlenebilir olmalıdır. Aksi taktirde yöntem arama yapamaz.



Şekil 3.3 Bir çok fonksiyon süreksiz ve geleneksel yöntemlerle arama yapmak için uygun değildir.

Gerçek arama dünyası Şekil 3.3' de gösterildiği gibi süreksizlikler, geniş çoklu modeller, karmaşık arama uzaylarıyla doludur.

Sürekliliğin sınırlı olma ihtiyacına ve türevin varlığına bağlı olan yöntemlerin genel için uygun olmaması, sadece sınırlı bir problem alanında çözüm sağlaması sürpriz değildir. Bu nedenle ve doğalarında var olan lokal arama sebebiyle analitik yöntemler kabul görmemektedir.

3.2.2 Sayısal yöntemler

Sınırlı bir arama uzayındaki amaç fonksiyonu değerlerine bakarak sonuca göre yeni noktaların bulunmasını içerir. Bu tip algoritmanın basitliğinin çekici olmasına ve oldukça insana özgü yapılanmasına (olasılık sayısı az olduğunda) rağmen sonuç olarak bu yöntemler verimin eksikliği nedeniyle güçlülük yarışında dikkate alınmazlar. Pek çok pratik uzay bir anda arama yapmak için oldukça geniştir ve bu nedenle geleneksel yöntemlerle arama yapmaya uygun değildir. Sonlu elemanlar, sonlu farklar ve sınır elemanları sayısal yöntemlerden bazılarıdır. Yüksek oranda kabul gören sayısal yöntemlerden dinamik programlama, orta boyuttaki ve karmaşık problemlerin hesap analizini yapmasına rağmen, yaratıcısı Bellman tarafından oldukça melodramik bir biçimde “çok boyutluluğun laneti” olarak tanımlanmasının sorunlarını taşımaktadır.

Sonuç olarak, gerçek problemlerde ele alınan arama uzaylarının geniş olması ve noktaların tek tek alınmasının mümkün olamaması nedeniyle güçlülük açısından bu yöntemler oldukça yetersizdirler.

3.2.3 Rastgele yöntemler

Araştırmacıların, analitik ve sayısal yöntemlerin yetersizliğini anlamaları ile rastgele arama algoritmaları artan bir popülerite kazanmıştır. Uzun süreli işlemlerde rastgele yöntemlerin sayısal yöntemlerden daha iyi olmadıkları kabul edilebilir. Rastgele arama yöntemlerinin tam anlamıyla dikkate alınmamasına karar verme konusunda acele etmeden önce bunları rastgele seçilmiş tekniklerden ayırmak gerekir. Genetik Algoritma, parametre uzayının kodlanması süresince mükemmele oldukça yakın arama olmasını sağlayan rastgele arama yöntemi için iyi bir örnektir.

Bir arama yönteminde rastgele seçimi bir araç olarak kullanmak başlangıçta ilginç gelebilir. Doğada bunun pek çok örneği vardır. Günümüzde bir başka popüler arama tekniği “metallerin tavlanması benzeşimi”, minimal enerji durumu için, arama işlemine yardımcı olmak amacıyla rastgele yöntemler kullanır. Bu bağlamda, anlaşılması gereken önemli bir husus, rastgele aramanın kontrolsüz arama anlamına gelmediğidir.

Burada, geleneksel optimizasyon yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmediği için bir dereceye kadar tedirgin edici bir sonuçla karşı karşıya kalınabilir; ancak, geleneksel arama yöntemlerinin yeterince güçlü olmadıkları söylenebilir. Bu, onların kullanışsız oldukları anlamına gelmez. Anlatılan yöntemler ve sayısız melez kombinasyonlar başarıyla kullanılmışlardır. Ancak, daha karmaşık problemler çözülmeye çalışıldığında diğer yöntemler gerekecektir.

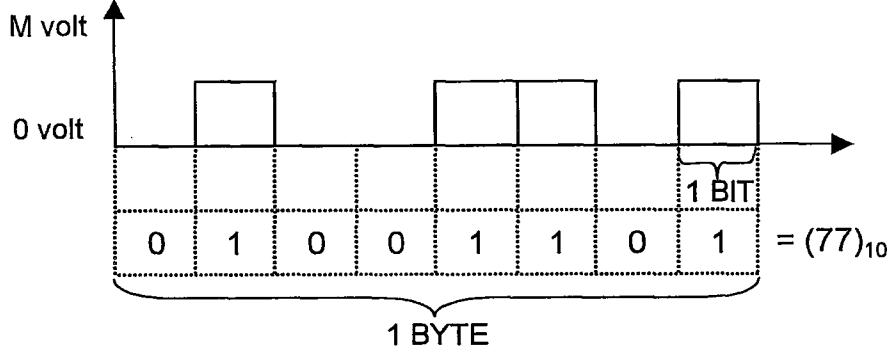
3. 3 Genetik Algoritmalar ve Geleneksel Yöntemler

Genetik Algoritmalar, diğer optimizasyon ve arama yöntemlerinden dört farklı nedenle ayrılırlar:

- a) Genetik Algoritmalar parametreler kodlanarak kullanılırlar. Genelde kodlama biçimi ikili sayı sistemindedir. Bu sistem bilgisayarın çalışma sistemiyle aynıdır.
- b) Genetik Algoritmada tek bir nokta yerine, arama işlemi uzayındaki noktalar topluluğunun tamamında yapılır. Çok tepeli fonksiyonlarda, sistem lokal optimuma takılmaz ve böylece global optimuma ulaşmak kolaylaşır.
- c) Genetik Algoritmalar sadece amaç fonksiyonu değerleri kullanılır. Türev ve integral gibi karmaşık matematiksel işlemlere ihtiyaç duyulmaz ve böylece yöntem belirli kabul ve şartlardan uzak tutulmuş olur.
- d) Genetik Algoritmalar, belirleyici kuralları değil olasılığa dayalı geçiş kurallarını kullanırlar. Seçim işlemi bu olasılık doğrultusunda gerçekleştirilir.

3.4 Genetik Algoritmaların Bilgisayarların Çalışma Prensipleri İle İlişkileri

Genetik Algoritmaların çalışmaları için, bazı bilgilerin bilgisayarların çalışma prensiplerine benzer bir biçimde kodlanmaları gerekir. Bilgisayarların elektronik birer makine olmaları ve elektronik devrelerin fiziksel yapılarından dolayı onlara en uygun sayı sistemi ikili sistemdir. İkili sayı sistemi Şekil 3.4’de görüldüğü gibi açıklanabilir.



Şekil 3.4 Bilgisayarda ikili sayı sistemi

Elektrik ve elektronik devrelerin iki kararlı durumu vardır:

- a) Devre ya açıktır ya kapalıdır.
- b) Sinyal ya vardır ya da yoktur.

İşte bu mantıktan giderek şemadaki gibi, bir dizi ya “var” ya da “yok” sinyaller (pulse) grubu oluşturulabilmektedir. Sinyalin var olduğu durum (1), yok olduğu durum (0) olarak değerlendirilir. Bilgisayarların 1 veya 0 olabilen bu en küçük bellek devresine BIT (BInary diGiT) denir. Şekilde de görüldüğü gibi 8 BIT’ in meydana getirdiği bellek birimine de 1 BYTE adı verilir.

Nasıl ki bütün sayısal işlemler ondalık sayı sistemine göre rahatlıkla yapılabiliyorsa aynı şey ikili sayı sistemi ile de yapılabilir. İkili sayı sistemine göre yazılmış bir sayı onluk sayı sistemine şu şekilde çevrilir:

$$(11101)_2 = 1 * 2^4 + 1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 0 * 2^1 + 1 * 2^0 \\ = (29)_{10}$$

Bütün bu yardımcı bilgilerden sonra Genetik Algoritmaya geri dönülebilir. Genetik Algoritmaların temel prensibi, her adımda bir önceki nesilden yeni bireyler oluşturarak amaç fonksiyonunun uygunluğunu artırmak ve sonuç olarak belli kısıtlamalar altında amaç fonksiyonunu sağlayan en uygun değeri elde etmektir. Genetik Algoritmada öncelikle bir başlangıç nesli belirlenerek işleme başlanır. Bu, nesli oluşturan her bir bireyin ikili sayı sistemine göre kodlanıp bir araya

getirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu bireyler “*yapay kromozomlar*” olarak adlandırılırlar ve sonlu sayıdaki dizilerden oluşturulurlar. Dizideki her bir sayı yapay bir “*gen*” i temsil eder ki, bu, ya “0”, ya da “1” dir.

Bilgisayarların ikili sayı sistemine göre çalışıyor olması, her bir karakterin 1 veya 0’dan meydana gelen ve belli uzunluktaki (byte) rakamlar dizisinden meydana gelmesini sağlar. Örneğin bilgisayarda “A” olarak görülen harf, bilgisayar tarafından gerçekte “01000001” olarak bilinir. Aynı şekilde “C” harfinin bilgisayar dilindeki yazılışı ise “01000011” dir. Görüldüğü üzere sadece bir bit’ teki değişim o rakamlar dizisinin ifade ettiği karakteri tamamen değiştirmektedir. Genetik Algoritma, bilgisayarların bu özelliğinden oldukça fazla faydalanmaktadır.

3.5 Hesapta İzlenen Yol

Bu kısımda genel olarak Genetik Algoritma yönteminin uygulanmasında takip edilen işlem sırası açıklanacaktır.

3.5.1 Gen Haritasının Oluşturulması

Genetik Algoritmada, belli sayıda bit’ lerden (gen’ ler) meydana gelen baytlar “*dizi*” olarak adlandırılır ve bu dizinin onluk sayı sistemindeki karşılığı bir tasarım değişkeninin set (araştırma uzayı) içindeki sıra numarasını ifade eder. Bir problemde kaç adet tasarım değişkeni varsa o kadar sayıda dizi oluşturulur ve bu diziler yan yana yazılır. Yan yana yazılan bu diziler toplamına Genetik Algoritmada “*birey*” veya “*yapay kromozom*” denir. Tasarım değişkeni sayısı N ve bir dizinin uzunluğu (bir dizideki gen sayısı) L ise bir bireyin uzunluğu $N * L$ kadardır.

Genetik Algoritmada araştırma uzayı, problemin muhtemel çözüm kümesidir ve bu küme tasarımcı tarafından problemin çözümüne başlanmadan önce belirlenmektedir. Bu demektir ki, bir problemi Genetik Algoritma ile çözmek, o problemin yapısı hakkında bilgi sahibi olmayan kişiler için imkansızdır. Araştırma uzayı ne kadar küçük, yani, muhtemel çözüm kümesinin eleman sayısı ne kadar az olursa problemin çözümü de o kadar hızlı olur. Bu sayının kaç ve elemanların ne olması gerektiği de tamamen tasarımcının bilgi ve tecrübesine dayanır.

Bir dizinin uzunluğu, muhtemel çözüm kümesinin eleman sayısı ile ilgilidir. Muhtemel çözüm kümesindeki elemanlar sıraya konur ve her birine sıra numarası verilir. Her bir eleman o sıra numarasına atanarak bireyler oluşturulur. Örnek olarak, bir dizinin uzunluğu 3 olsun. 3 adet bit' ten meydana gelen ve onluk sayı sistemine dönüştürüldüğünde en büyük sayıyı verecek olan $(111)_2$ sayısı baz alınır. $(111)_2$ sayısına kadar olan bütün ikili sayı sistemindeki sayılar onluk tabana çevrilir. $(111)_2$ sayısının onluk tabana göre karşılığı:

$$(111)_2 = (7)_{10} \text{ ' dir.}$$

Ancak, $(000)_2$, onluk sayı sistemine göre "0" a eşit olmasına rağmen sonuç olarak bir sayıyı ifade ettiği, yani hesap 1'den değil de 0'dan başladığı için gen haritası

$$A_{k(j)} = S_{e(i+1)} \quad (3.1)$$

olur. Buradaki A_k , ikili sayı sistemine göre dizi ve S_e , muhtemel çözüm kümesindeki elemanların sayısıdır. i ise j . grubu gösteren alt seriye karşılık gelen onluk taban değeridir. Demek ki $(111)_2 = (7)_{10}$ olmasına rağmen muhtemel çözüm kümesindeki eleman sayısı $7+1 = 8$ olmalıdır.

Bir çelik kafes sistemin tasarım değişkenleri için varsayılan uygun 8 adet kesit alanı değerleri ele alınırsa;

$$S_e = \{ 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.6 \} \text{ (cm}^2\text{)}$$

İkilik sayı değeri	listedeki sıra numarası	tasarım değişkeni havuzu
000	1	1.2
001	2	1.4
010	3	1.6
011	4	1.8
100	5	2.0
101	6	2.2
110	7	2.4
111	8	2.6

Bu örnekten anlaşılacağı gibi $(000)_2$ değeri S_e listesinin 1. sırasındaki elemanı, yani, 1.2 cm^2 yi ifade etmektedir. Genetik Algoritma ile optimizasyon işlemi için dizi uzunluğu ve buna bağlı olarak muhtemel çözüm kümesi listesi oluşturulduktan sonra tasarım değişkenleri bu liste içinden seçilir. Problemden kaç adet tasarım değişkeni varsa, kümeden o kadar sayıda rastgele eleman seçilir ve bu elemanları ifade eden ikilik tabandaki karşılıkları yan yana yazılır. Böylece bir birey oluşturulmuş olur.

Örneğin, $f(x_1, x_2)$ şeklindeki bir fonksiyon için x_1 ve x_2 bağımsız değişkenlerinin yapay kromozom içerisindeki yerleşimi, $(x_1)_2 (x_2)_2$ şeklindedir. Burada $(x_1)_2$ ve $(x_2)_2$, x_1 ve x_2 bağımsız değişkenlerinin kromozom içerisinde ikilik sayı sistemindeki ifadesini göstermektedir. Bu değerler x_1 ve x_2 'nin gerçek değerlerinin direkt ikilik ifadesi olabileceği gibi, indirekt ifadesi de olabilir.

Sayısal bir örnek verilecek olursa; yukarıda dizi uzunluğu 3 olan problemde iki tasarım değişkeni olsun ve bunlar da $x_1 = 3$, $x_2 = 7$ olsun. Muhtemel tasarım değişkenleri listesinde 3. ve 7. sıradaki elemanlar alınır ve yan yana yazılırsa bir yapay kromozom, yani bir birey oluşur. Bu iki değer sırasıyla "010" ve "110" dır. Oluşan birey ise "010110" olacaktır. Bu birey kendisini oluşturan elemanlardan tamamen farklı özelliktedir.

3.5.2 Optimum Tasarım Probleminin Tanımlanması

Gen haritası oluşturulan ve bireyleri rastgele belirlenen bir optimizasyon probleminde bir sonraki aşama, amaç fonksiyonunu ve bu amaç fonksiyonunun sağlaması gereken şartları oluşturmaktır. Bu işlemlerin nasıl yapılacağı aşağıda anlatılmıştır:

a) *Amaç fonksiyonunun oluşturulması*

Çözülmesi istenen optimizasyon probleminde amacın ne olduğu oldukça önemlidir. İnşaat Mühendisliği'nin kapsama alanına giren konular, genellikle belli kısıtlamalar altında yapının ağırlığının veya maliyetinin minimizasyonunu içerir. Çelik yapıların tek bir malzemeden yapılıyor olmaları nedeniyle belli kısıtlamalar altında ağırlığının minimize edilmesi yeterlidir. Çünkü maliyetleri ağırlıklarıyla doğru orantılıdır ve bu

nedenle maliyet hesabının yapılmasına gerek yoktur. Ağırlığı az olan yapı maliyeti daha düşük olan yapıdır.

Ancak bütün yapı sistemleri için bu söylenemez. Örneğin, betonarme yapıların optimizasyonu için ağırlığın değil maliyetin minimizasyonu gereklidir. Betonarme, tek bir malzemeden meydana gelmemekte, davranış özellikleri, ağırlıkları ve fiyatları birbirinden çok farklı malzemelerden meydana gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı, betonarme yapının ağırlığının az olması o yapının maliyet açısından optimum olduğu anlamına gelmez.

O halde, önce, problemin yapısına ve o problemin çözümünden beklenilene göre amaç fonksiyonunun belirlenmesi gerekir. Bir sonraki adım ise kısıtlamaların belirlenmesidir.

b) Kısıtlamalar

İnşaat Mühendisliğinde çözümü istenen problemler kısıtlı problemlerdir. Kısıtlamaların probleme katılması problemi daha karmaşık bir hale getirmektedir.

Genetik Algoritma, kısıtlamasız optimizasyon problemleri için son derece uygundur. Genetik Algoritmanın bu özelliğinden faydalanabilmek için kısıtlı problemleri kısıtlamasız problemlere dönüştürmek gerekir. Optimizasyonda dönüştürme işlemi genellikle iç veya dış ceza fonksiyonlarının kullanılması ile yapılmaktadır. Ancak, böyle dönüştürmeler ardışık aramalar için uygundur. Genetik Algoritma ise araştırma uzayında rastgele oluşturduğu nesillerden faydalanarak arama işlemi yapar. Bu nedenle ceza veya engel fonksiyonlarının kullanıldığı geleneksel dönüştürmeler Genetik Algoritmalar için uygun değildir.

Genetik algoritma, dönüştürme işlemi için genellikle “normalize” edilen kısıtlamaların ihlal edilmesi esasına dayanan bir formülasyon kullanmaktadır. Kısıtlamaların normalize edilmiş formları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$g_{i,j}(x) = \frac{M_{i,j}}{M_{i,ju}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, \dots, p \quad j = 1, \dots, nm \quad (3.2)$$

Burada;

p : kısıtlama sayısı,

nm : eleman sayısı,

M_{ij} : j. elemandaki i. kısıtlamanın aldığı değer,

M_{iju} : j. elemandaki i. kısıtlamanın üst sınır değeri anlamındadır.

$$g_{ij}(x) > 0 \text{ ise } c_{ij} = g_{ij}(x) \quad (3.3a)$$

$$g_{ij}(x) \leq 0 \text{ ise } c_{ij} = 0 \quad (3.3b)$$

alınmak üzere;

$$C = \sum_{i,j=1}^{p,nm} c_{i,j} \quad (3.4)$$

dir. Burada C, zorlanma katsayısıdır.

Böylece, kısıtlamalar probleme bir C katsayısı olarak katılmış olurlar.

3.5.3 Genetik Algoritmada Tablo İşlemleri

Genetik algoritma işlemleri tablolar yardımıyla yapılmaktadır. Optimizasyon probleminin tasarım değişkenleri, daha önce belirlenmiş olan araştırma uzayından rastgele seçildikten sonra, amaç fonksiyonu bu tasarım değişkenleri ile çözülür. Elde edilen amaç fonksiyonu değeri tabloda yerine yazıldıktan sonra bu amaç fonksiyonunun sağlaması gereken kısıtlamalar, bir önceki kısımda anlatıldığı şekilde, normalize edilerek bir C katsayısı olarak tabloda gösterilir. Bütün bu işlemler, bir tabloyu oluşturan bir neslin rastgele seçilen birey sayısı kadar tekrarlanır.

Daha önce de belirtildiği gibi; genetik algoritma tarafından gerekli olan uygunluk kriterini elde etmek için kısıtlamalı amaç fonksiyonunun kısıtlamasız probleme dönüştürülmesi gerektiği gerekmektedir. Böylece, kısıtlamasız amaç fonksiyonu, her bir birey için, C zorlanma katsayısı da hesaba katılarak, şu şekilde ifade edilebilir:

$$\Phi(x) = f(x)(1+KC) \quad (3.5)$$

Burada;

$f(x)$: Amaç fonksiyonu,

K : Zorlanma katsayısının etkisini artırmak için kullanılan katsayı

C : Zorlanma katsayısı

anlamındadır.

$\Phi(x)$, bir kısıtlamasız fonksiyondur ve minimumu genetik algoritma tarafından belirlenir. Bu yöntem, bireyler arasında seçim yapabilmek için bir kriterin kullanımını gerektirir. Kısıtlamasız amaç fonksiyonu $\Phi(x)$, her bir birey için hesaplandıktan sonra uygun değerlerle değiştirilmesi gerekir. En fazla uygunluğa sahip olan birey en iyi demektir. **Goldberg (1989)** 'e göre; minimizasyon problemleri için, $\Phi(x)$, büyük bir sabit değerden çıkarılmalıdır, böylece bütün uygun değerler pozitif olur ve etkili değerlerine göre bireylerin uygun değerleri elde edilir. Bu sabit değer, $\Phi(x)$ 'in bir tablodaki maksimum ve minimum değerlerinin toplanmasıyla bulunmaktadır. Uyum derecesi için hesap şu şekilde yapılır:

$$F_{ud(i)} = [\Phi_i(x)_{\max} + \Phi_i(x)_{\min}] - \Phi_i(x) \quad (3.6)$$

Burada $F_{ud(i)}$, i bireyinin uyum derecesini, i indisi ise bir nesildeki bireyi gösterir. $\Phi_i(x)_{\max}$ ve $\Phi_i(x)_{\min}$, bütün bireylerden oluşan topluluk içinde kısıtlamasız (3.5) ifadesinin alacağı maksimum ve minimum değerlerdir.

Her bir bireyin uyum faktörü ise;

$$F_{ud(i)} / F_{ort} \quad (3.7)$$

ile hesaplanır. Burada n, topluluktaki toplam birey sayısı olmak üzere ,

$$F_{ort} = \sum F_{ud(i)} / n \quad (3.8)$$

dir. Bu orana bakılarak, her bir bireyin yok edilmesine veya bir sonraki nesil için eşleşme havuzuna kopyalanmasına karar verilmektedir.

Bir sonraki adım, bir sonraki nesil için yeni bir topluluk oluşturmaktır. Oluşturulan bu topluluk bir önceki neslin çocukları olacaktır. Eşleşme havuzu oluşturulduktan sonra bireyler burada rastgele eşleşmekte ve çaprazlama ve değişim operatörleri uygulanmakta, böylece bir sonraki nesil meydana gelmektedir. Bu üreme yöntemi

Darwin' in güçlü olanın hayatta kalması, zayıf olanın ise yaşamının sona ermesi prensibine dayanmaktadır.

Yukarıda anlatılan optimum tasarım işleminin algoritması şu aşamalardan oluşmaktadır:

- a) Muhtemel tasarım değişkenleri listesinden, problemin tasarım değişkeni sayısı kadar dizi rastgele seçilir ve bu dizilerin birleşmesiyle bireyler oluşturulur. Böylece n bireyden oluşan başlangıç topluluğu (1. nesil) belirlenir. Genetik Algoritmanın daha sonraki aşamalarında yapılan eşleşme işleminin gerçekleştirilebilmesi için n sayısının çift olması gerekir.
- b) İkili sayı sisteminde kodlanan her bir tasarım değişkeni onluk sisteme dönüştürülerek listedeki sıra numarası bulunur ve o sıra numarasının ifade ettiği tasarım değişkeni değeri belirlenir.
- c) Daha önce elde edilen tasarım değişkenleri yardımıyla kısıtlamalar hesaplanır ve amaç fonksiyonunun sayısal değeri bulunur.
- d) (3.3) ve (3.4) ifadeleri yardımıyla kısıtlamaların ihlal edilme katsayıları, (3.5) ifadesi kullanılarak kısıtlamasız amaç fonksiyonu her bir birey için hesaplanır. Daha sonra tabloda bu fonksiyonun maksimum ve minimum değerleri belirlenir.
- e) (3.6) ifadesi kullanılarak bireylerin uyum dereceleri saptanır. Denklem (3.8) ile ortalama uyum derecesi ve denklem (3.7) ile de her bir bireyin uyum faktörü hesaplanır.
- f) Uyum faktörüne bağlı olarak bireyler eşleşme havuzuna kopyalanır.
- g) Bireyler rastgele eşleştirilip çaprazlama işlemi uygulanarak yeni topluluk elde edilir.
- h) Yeni topluluk, başlangıç topluluğunun yerine konularak b şıkkından h şıkkına kadar olan işlemler tekrarlanır.

Bu işlemlere yeni topluluğun %80 veya %85'i aynı bireyden teşkil olana kadar devam edilir. Bu oran arama işlemini sona erdirmek için yeterlidir ve elde edilen birey optimum çözümü temsil eder (Rajeev ve Krishnamoorthy, 1992). Yeni nesiller

oluşturma işlemine istenirse devam edilebilir. Ancak, optimum çözüm bu aşamadan sonra değişmez.

3.6 Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler

Bir çok problemde iyi sonuçlar üreten basit bir genetik algoritma belirli aşamalardan meydana gelmektedir. Bu aşamalar aşağıda anlatılmıştır:

3.6.1 Eşleşme Havuzu Oluşturma

Eşleşme havuzu, bireylerin uygunluklarının değerlendirildiği ve uygun olmayan bireylerin yerine uygun olanların kopyalandığı havuzdur. Eşleşme havuzu, isminden de anlaşılacağı üzere, eşlerin oluşturulduğu bir alandır. Bu nedenle, bir nesli oluşturan topluluktaki bireylerin çift sayıda olması, genetik algoritma işlemlerinin uygulanabilirliği açısından önemlidir.

3.6.2 Kopyalama (Üreme)

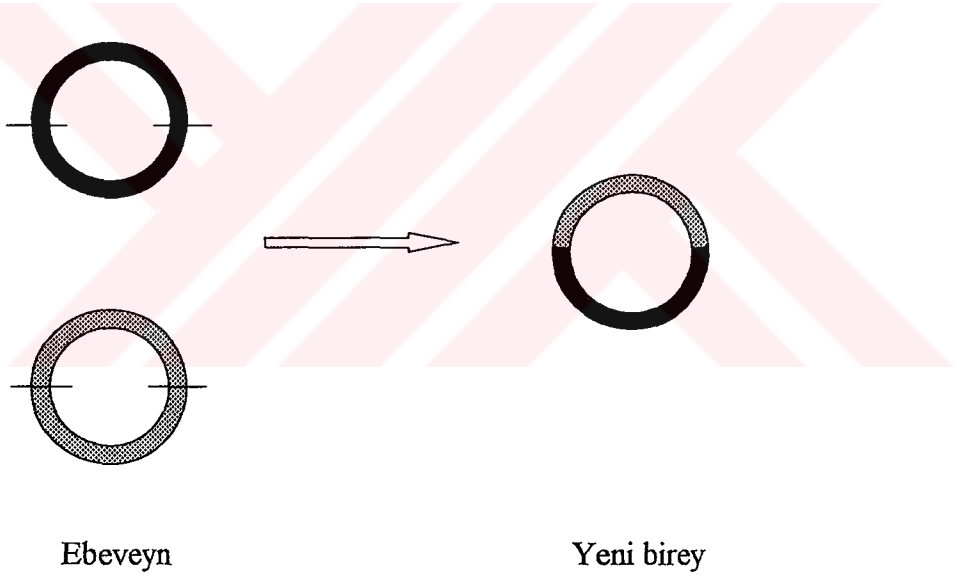
Bireylerin uyum faktörleri (3.7) ifadesi ile hesaplandıktan sonra, uyum faktörü değeri 0.5' in altında olan bireyler, o topluluk için zayıf kabul edilir. Doğada zayıf olan bireylerin yaşamlarının sona erdiği gerçeğine benzeştirilerek zayıf kabul edilen bu bireyler devre dışı bırakılır. Havuzdan atılan her bir zayıf bireye eşit sayıda en güçlü bireylerden birer adet kopyalanır. Sonuçta, bir topluluğu meydana getiren toplam birey sayısı değişmez. Eğer bir toplulukta uyum faktörü değeri 0.5' in altında birey yoksa, bu durumda o topluluk için en zayıf olan, yani, uyum faktörü değeri en düşük olan tek birey devreden çıkarılır. Bu bireyin yerine yine en güçlü, yani uyum faktörü en yüksek olan birey kopyalanır. Kopyalama işlemi yapılarak eşleşme havuzunda toplanan bu bireyler rastgele eşleştirilir. Bir sonraki adımda, eşleşen bireyler arasında “çaprazlama”, “değiştirme” veya “tersleme” işlemleri yapılarak bireylerin genleri değiştirilir ve böylece farklı bireyler elde edilir.

3.6.3 Çaprazlama

Yaşamına devam eden ve eşleşme havuzunda toplanan bireyler rastgele eşleştirildikten sonra, çaprazlama operatörü kullanılarak yeni nesil oluşturulur.

Çaprazlama işlemi üç adımda gerçekleştirilir: Önce nesilden ikişer birey rastgele seçilir. Daha sonra seçilen bireylerin genleri arasında çaprazlama işlemi yapabilmek için rastgele bir konum belirlenir. Son olarak belirlenen konumdaki genetik bilgiler değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır.

Şekil 3.5' de çaprazlama, çizilerek anlatılmıştır. Eşleşme havuzunda rastgele seçilerek eşleştirilen bireyler arasında çaprazlama alanı şekilde çizgi halinde gösterilmiştir. Bu alan da rastgele seçilmiştir. İki çizgi arasındaki alan, iki birey arasında değiştirilmiş ve bu iki bireyin genlerinden oluşan, ancak onlardan farklı yeni birey meydana getirilmiştir. Buradaki amaç, eldeki nesilden farklı nesiller elde etmektir. Bu, tıpkı, genlerini anne ve babalarından alan, ancak onlardan tamamen farklı olan çocuklarına benzetilebilir. Yeni bireyler, bir sonraki nesli oluşturacaklar ve bunların da kendi toplumlarına olan uyum faktörleri belirlenecektir.



Şekil 3.5 Çaprazlama konumu belirlenmiş ebeveynler arasında çaprazlama işleminin yapılması ve yeni bireyin oluşturulması

Değişik çaprazlama türleri aşağıda anlatılmıştır:

a) Tek kesimli çaprazlama

Bu işlemde, bireyler rastgele seçilen bir kısımlarından kesilir ve kesilen yerden sonrası daha önce seçilmiş olan eş ile değiştirilir.

$$\begin{array}{cccc|cccc}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & \longrightarrow & 197 \\
 & & & & \Downarrow & \Uparrow & & & & \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & \longrightarrow & 110
 \end{array}$$

Yukarıdaki iki bireyde tek kesimli çaprazlama işlemi uygulanmıştır. Çaprazlama alanı 4 olarak seçilmiştir. Yani, eşlerin her ikisinin de 4. genden sonrası kesilmiş ve aşağıda gösterildiği şekilde kesilen kısımlar birbirleriyle yer değiştirmiştir.

$$\begin{array}{cccccccc}
 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & \longrightarrow & 206 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & \longrightarrow & 101
 \end{array}$$

Bireylerin sağ taraflarına her birinin onluk tabana göre karşılıkları yazılmıştır ve çaprazlama işleminden sonra meydana gelen bireyler, görüldüğü gibi daha önceki bireylere benzememektedir. Yukarıdan anlaşılabileceği üzere, her bir bireye bir sayı karşılık gelir ve bireylerdeki genlerden bir tanesinin değişmesi bile bu sayıları değiştirir.

b) Çift kesimli çaprazlama

Tek kesimli çaprazlamadaki kesme işlemi, bireyin sadece bir yerinde değil iki yerinde yapılır. Aynı örnek tekrar verilirse:

$$\begin{array}{cccc|cc|cc}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & \longrightarrow & 197 \\
 & & & & \Uparrow & \Downarrow & & & & \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & \longrightarrow & 110
 \end{array}$$

Çaprazlama işlemi, koyu renkle gösterilen 3. ve 6. genler arasında yapılacaktır. Bu durumda, 3. genden sonra ve 6. gene kadar (6. gen dahil) olan kısımlar birbirleriyle yer değiştirecektir.

$$\begin{array}{cccccccc}
 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & \longrightarrow & 205 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & \longrightarrow & 102
 \end{array}$$

Görüldüğü gibi çaprazlama işleminden önce alınan bireyler, çaprazlamadan sonra tekrar değişmişlerdir.

c) Çok kesimli çaprazlama

Bireylerin ikiden daha fazla yerden rastgele kesilerek, kesilen alanların yer değiştirmesi şeklinde uygulanan çaprazlama yöntemidir.

$$\begin{array}{ccccccccc}
 1 & 1 & / & 0 & 0 & 0 & / & 1 & 0 & / & 1 & \longrightarrow & 197 \\
 & & & \uparrow & \downarrow & & & & \uparrow\downarrow & & & \\
 0 & 1 & / & 1 & 0 & 1 & / & 1 & 1 & / & 0 & \longrightarrow & 110
 \end{array}$$

Bu çaprazlama sonucunda oluşan yeni bireyler aşağıdaki gibidir:

$$\begin{array}{ccccccccccc}
 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & \longrightarrow & 236 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & \longrightarrow & 71
 \end{array}$$

d) Uniform çaprazlama

Bu işlemde, rastgele seçilen genler, iki birey arasında değiştirilir.

$$\begin{array}{ccccccccccc}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & \longrightarrow & 197 \\
 \uparrow\downarrow & & & & \uparrow\downarrow & & \uparrow\downarrow & & \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & \longrightarrow & 110
 \end{array}$$

Yeni oluşacak bireyler aşağıda gösterilmiştir:

$$\begin{array}{ccccccccccc}
 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & \longrightarrow & 79 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \longrightarrow & 228
 \end{array}$$

3.6.4 Değişim

Değişim, çaprazlamadan farklı olarak, iki bireyin yerine bir tek birey üzerinde rastgele belirlenen genlerin karşıt genlerle yer değiştirilmesi ile yapılan işlemidir.

Burada amaç, verilen belli bir değişim değeriyle 0 olan genleri 1, 1 olan genleri de 0 yaparak yersel en iyilerin dışında mümkün olabilecek en iyileri de araştırmaktır. Değişim değeri, yani değişime tabi tutulacak genlerin sayısı küçük tutulur, çünkü, olaya rastgeleliğin hakim olması arzu edilmez.

1 1 0 0 0 1 0 1 → 197

Değişim koyu renkte gösterilen 4. gene uygulanmış olsun. Bu durumda yeni birey şu şekilde olur:

1 1 0 1 0 1 0 1 → 213

Yukarıda görüldüğü gibi 4. gen başlangıçta 0 iken değişim uygulanmış ve yeni bireyde 1 olmuştur.

3.6.5 Tersleme

Daha önce anlatılan işlemlerden tamamen farklı olan tersleme, bireyin genlerinin soldan sağa okunması yerine sağdan sola okunmasıyla yeni bireyin oluşturulması durumudur.

1 1 0 0 0 1 0 1 → 197

bireyini ele alırsak ve bu bireyi tersleme işlemine tabi tutarsak;

1 0 1 0 0 0 1 1 → 163

Burada da, önceki bireyin temsil ettiğı sayıdan tamamen farklı bir sayı elde edilmiş olur.

Bu çalışmada çözülen örneklerde çift kesimli çaprazlama operatörü kullanılmıştır.

4. PERDELER VE PERDELİ YAPI SİSTEMLERİ

4.1 Perdelerle İlgili Genel Bilgiler

Perdeler, (ABYYHY, 1997)' ye göre planda uzun kenarının kısa kenarına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Rijit olmaları nedeniyle sisteme etkileyen yatay yüklerin büyük bir kısmını karşıladıkları gibi, çerçeve sistemin yatay yerdeğiştirmesini sınırlayarak sistem elemanlarının deprem etkisi altında hasar görmelerini de büyük ölçüde engellerler. Taşıyıcı sistemlerin yükseklikleri arttıkça perdeler, oldukça önemli ve gerekli taşıyıcı sistem elemanları olarak ortaya çıkarlar. Deprem bölgelerinde, hem yapının güvenliğini sağlamaları, hem de yerdeğiştirmeleri sınırlandırarak taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında deprem nedeniyle oluşabilecek hasarları önleyebilmeleri nedeniyle, perdelerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Özellikle yapı yüksekliği arttıkça perdelerin kullanılması zorunlu hale gelmektedir.

Perdeli yapı sistemlerinin deprem yüklerini güvenli bir şekilde karşılaması konusunda aşağıda verilen konulara özen gösterilmesi gerekir (Celep ve Akkaya, 1996):

a) Perdeler, yatay rijitliklerinin büyük olması sebebiyle, yatay deprem yükünün önemli bir kısmını taşırlar ve bunun sonucu kesitlerinde büyük eğilme momentleri ortaya çıkar. Buna karşılık, normal bir bina kalıp planında kolon ve perdeler oldukça düzgün dağıtıldığı için düşey yüklerin karşılanmasında kesitlerinde büyük normal kuvvetler meydana gelmez. Bunun sonucu olarak, kolon temellerinde normal kuvvet etkili olurken, perde temellerinde momentin etkili olduğu bir durum meydana gelir. Bu ise, perde temellerinde zemin ile temel arasında çekme bölgelerinin büyük olmasına sebep olur. Dikkat edilmediğinde, deprem etkisinde perde temelinin rijit bir şekilde dönme ile zorlanması ortaya çıkar ki, bu sünek olmayan bir güç tükenmesi

şekli olduğu için, sakınılması gereken bir durumdur. Bunun için, kalıp planında perdeye yakın kolonlarla olan mesafeyi (açıklığı) büyütürerek, perde normal kuvvetinin büyütülmesi söz konusu olabildiği gibi, perde temelinin komşu kolon temelleri ile birleştirilmesi suretiyle kolon normal kuvvetlerinin faydalı etkisinden faydalanmak da bir çözüm olarak görülebilir. Perde normal kuvvetlerinin artırıldığı durumlarda perde kesitlerindeki donatı ihtiyacı da azaltılmış olur.

b) Deprem kuvvetleri bir atalet kuvveti olduğu için, kütlenin bulunduğu döşeme ve kirişlerde meydana gelirler. Bunların güvenli bir biçimde karşılanmaları için, perdelerle iletilmeleri gerekir. Bu iletim, döşeme ve kirişlerin perde ile birleşen kesitlerinde ortaya çıkar. Bu kesitlerin özenli bir biçimde boyutlandırılması ve donatılması ile bu durum sağlanabilir. Bu tür güvensiz bir durumla karşılaşmamak için perdenin döşeme ve kirişlerle birleşim kesitlerinde boşluklardan kaçınmak uygundur.

Sistemde birden fazla perdenin bulunması durumunda, perdelerin her biri, yatay etkiyi rijitlikleri oranında ve kalıp planındaki konumlarına göre paylaşırlar. Perdeler ayrıca, kat devrilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momentinin taşınmasında da önemli katkıda bulunurlar. Planda sistemin rijitlik merkezi ile kütle merkezinin yakınlştırılması suretiyle, deprem etkisinde bazı perdelerin elastik davranış bölgesinde kalmaları sağlanmakta, diğer bir kısmının ise ağır hasarla zorlanması önlenmektedir. Böylece bütün perdeler eşite yakın zorlanmış olurlar.

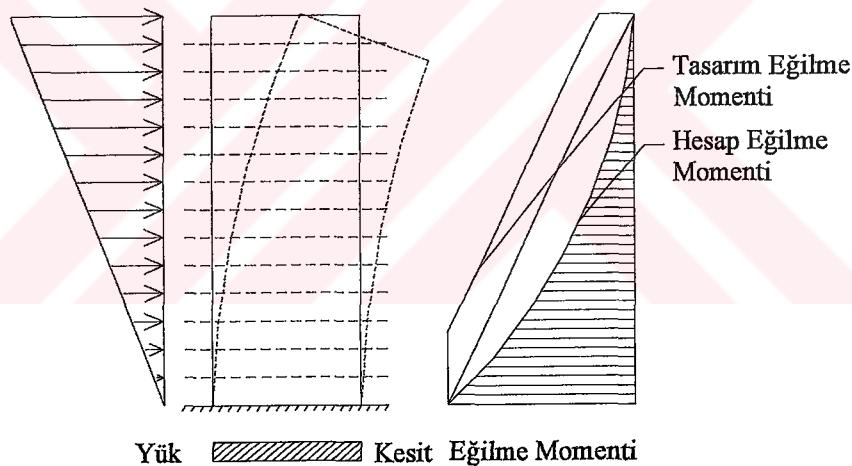
Perde kesitleri, genellikle dikdörtgen şeklinde olur; bunun yanı sıra, I,L,H,Y,U,T gibi şekillerde de olabilir.

4.2 Perde Türleri ve Davranışları

4.2.1 Konsol Perdeler (Boşluksuz Perdeler)

Yüksek yapılarda bulunan dolu perdeler konsol kiriş gibi davranırlar. Perdeler, kat seviyelerinde kat döşemeleri ile bağlandıkları için, ince kesitlerine rağmen yanal burkulma tehlikesi de böylece azalır. Kat döşemelerinin yatay diyafram gibi davranmaları nedeniyle, perdelerde burkulmaya neden olan kritik boyun perde yüksekliği yerine kat yüksekliği olarak kabul edilmesi uygundur. Konsol perdeler,

Kolonlarda olduğu gibi, betonun izin verilen en büyük kısılmasını büyütmek ve böylece kesitin sünekliğini artırmak için, konsol perdelerin en çok zorlandığı mesnet kesitinde, mesnetten yukarı bölgede perdenin plandaki boyutuna yakın yükseklik boyunca enine donatıların sıklaştırılması uygundur. Ayrıca, boyuna donatıların burkulmasını önlemek için perde yüksekliği boyunca yatay donatıların kullanılması gerekir. Perdelerin eleman olarak burkulmasını önlemek, uç bölgelerinde beton basınç bölgesini büyütmek ve kesitteki zorlamayı hafifletmek için, perdenin her iki uç kısmında başlık bölgesi düzenlenmesi zorunludur. Başlık bölgesi, yatay yükün belirli bir yönü için, tamamen basınç etkisi altında olacağından, bu bölgenin kolonlara benzetilerek düzenlenmesi ve donatılması uygun olur. Başlık bölgesi düzenlenmesi perdenin eğilme momenti kapasitesini önemli ölçüde artırır.



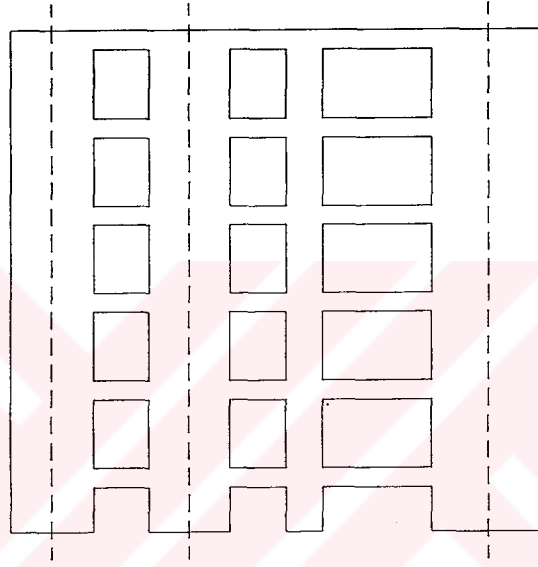
Şekil 4.1 Konsol Perde (ABYYHY, 1997)

4.2.2 Bağ Kirişli Perdeler (Boşluklu Perdeler)

Bu tip perdeler, boşluksuz perdelerde kapı, pencere gibi konstrüktif nedenlerle açılan boşluklar nedeniyle meydana gelirler veya aynı düzlem içerisinde bulunan boşluksuz perdelerin kat hizalarında birbirleri ile ya da başka çerçevelerle uygun bağlantı kırışleri yardımıyla bağlanması ile oluşurlar (Şekil 4.2). Meydana getirilen boşluklar, hiçbir zaman perdenin eğilme dayanımını azaltmamalı ve perdenin yatay

ve düşey yöndeki kayma dayanımı, perdenin eğilme dayanımını tamamiyle sağlayabilecek şekilde olmalıdır.

Perdelerdeki boşluklar düzenli bir şekilde oluşturulur ve uygun yerlere konulurlarsa, oldukça iyi enerji dağıtabilirler ve yapının sünek davranış göstermesine yardımcı olabilirler. Perdelerin birbirleri ile bağlantıları kirişler vasıtasıyla olur. Bu nedenle, bu tip perdeler bağ kirişli perdeler olarak da adlandırılırlar. Perdelerin bağ kirişlerinde aşırı zorlanmalar meydana gelebilir.



Şekil 4.2 Bağ kirişli perde

4.2.3 Kısa Perdeler

Yüksekliği az olan bazı yapılarda bulunan perdelerin yükseklikleri genişliklerinden daha az olabilir veya yapı yüksek olmasına rağmen perdeler, sadece bazı katlarda bulunabilir. Bu tür perdeler farklı davranışlara sahip oldukları için uzun perdeler gibi boyutlandırılmaları da uygun olmaz. Bunların hesabının yüksek kirişlere (levha) benzetilerek yapılması daha uygundur. Eğilme momenti ve kesme kuvveti birbirleri ile karşılıklı etkileşimde olduğu için, ayrı ayrı göz önüne alınması mümkün değildir. Bu tür kısa perdelerde oluşan eğilme momenti küçük olduğu için, düşey eğilme donatısını kesit boyunca düzgün dağıtmak uygun olur. Perdenin eğilme ve kayma dayanımı yüksek olduğu için davranışları elastik bölgede kalır. Genellikle, her iki (yatay, düşey) doğrultuda %0.25 oranında bir donatı yeterli olabilir (Celep ve

Kumbasar, 1996). Kısa perdelerde yük, kat seviyelerinde birleştikleri kat döşemelerinden iletilir. Yükseklik kısa olduğu için, oluşan yük eğik basınç çubuklarıyla temele iletilir. Eğik basınç çubuğunun dengesinin sağlanması için düşey ve yatay donatılara ihtiyaç görülür. Düşey kuvvetin etkisi ihmal edilirse, düşey ve yatay donatının eşit olması gerektiği ortaya çıkar.

4.2.4 Perdeli Sistemler

Bir yapının tünel kalıp ve benzeri bir sistem ile inşa edilmesi durumunda perdeli sistemler ortaya çıkar. Yapıda perdelerin fazla olması durumunda deprem etkisinin büyük bir kısmı perdeler tarafından karşılanır. Döşemeler, düzlemleri doğrultusunda oldukça rijit olmaları nedeniyle perdelerin birbirlerine göre rölatif hareket etmelerini pratik olarak engellerler.

Eğilmeye maruz olan perdelerin rijitlikleri kesitin çatlaması ve donatının akmaya başlaması ile değişir. Donatının akma gerilmesi arttıkça çekme bölgesi büyüyeceği için çatlamış kesitin atalet momenti azalır. Bunun gibi kesitteki ortalama basınç gerilmesinin artmasıyla, basınç bölgesi genişleyeceği için, kesitin atalet momenti de artar. Bu düşünceden hareketle, kesit için bir eşdeğer atalet momenti tanımlanabilir ve perdeler arası yatay yük paylaşımı buna bağlı olarak hesaplanabilir.

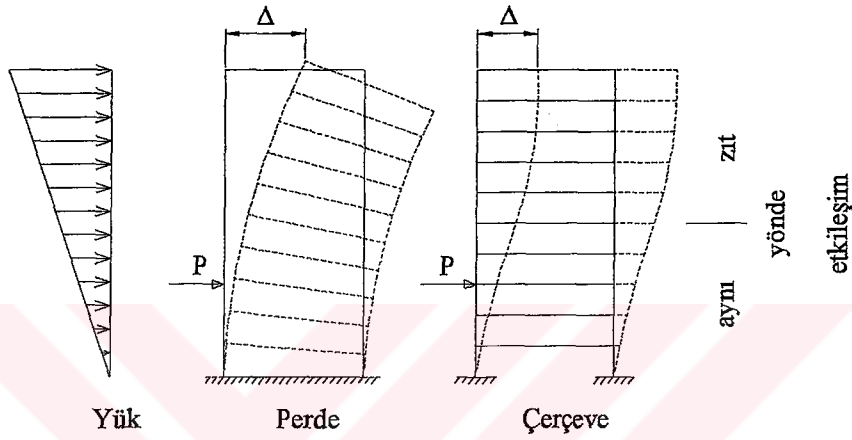
Bazı durumlarda, perdede açılan boşluklar nedeniyle, boşluklu perdeler ortaya çıkar. Boşlukların perdenin zorlanan kesitlerinde bulunmaması ve perdenin bütünlüğünün bozulmaması önemlidir. Ayrıca, boşlukların perdenin kesme kuvveti kapasitesini düşürmesi nedeniyle, eğilme güç tükenmesinden önce sünek olmayan kesme kuvveti güç tükenmesine erişilmesi önlenmelidir.

4.2.5 Perde-Çerçevesel Sistemler

Çerçevelerden oluşan sistemler, özellikle yapı yüksekliğinin fazla olduğu ve sık sık deprem etkisine maruz kalan binalarda, yapıya etki eden yüklere ve yapıda oluşan gerilmelere karşı tek başlarına karşı koyamazlar. Bu nedenle, bu tür yapıların perdelerle birlikte oluşturulması çok daha uygun olur. Ancak, perdeler ve çerçeveler yük taşıma durumunda birbirlerinden oldukça farklı davranış gösterirler. Bu nedenle,

yapıya etki eden yatay yük, perdeler ve çerçeveler arasında paylaştırılarak, bu iki farklı elemanın birbirinden bağımsız şekilde çözülmesi uygun değildir.

Perdenin şekil değiştirmesinde eğilme momenti etkili olur ve katlar arası en büyük yerdeğiştirme üst katlarda meydana gelirken, çerçevede ise yatay ötelemeler kesme kuvvetinin en büyük olduğu alt katlarda meydana gelmekte ve üst katlara doğru azalmaktadır (Şekil 4.3). Yerdeğiştirmenin bu şekilde farklı olması nedeniyle, genel olarak, üst katlarda perdenin yatay yerdeğiştirmesi çerçeve tarafından engellenir.



Şekil 4.3 Perde ve çerçevenin karşılıklı etkileşimi

4.3 Süneklik Kavramı

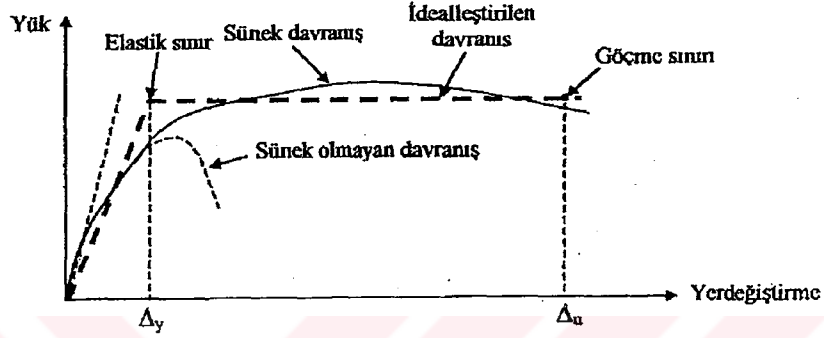
Yapıda büyük hasarların ve tümünden göçmenin önlenmesi, taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımının büyük bir kısmını büyük elastik ötesi yerdeğiştirmelerde de devam ettirebilmesi ile mümkündür. Taşıyıcı sistemin veya elemanlarının veya kullanılan malzemenin elastik ötesi davranışta da dayanımının önemli bir kısmını sürdürme özelliği süneklik olarak isimlendirilir. Sünek kavramı aynı zamanda büyük şekil ve yerdeğiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemelerde enerji söndürebilme özelliğini de içerir.

Şekil 4.4' de sünek olan ve sünek olmayan (gevrek) davranışa ait yük-yerdeğiştirme eğrileri gösterilmiştir. Eğrinin yataya yakın olarak devam etmesi durumunda göçme olmadan yapı yük taşımaya devam edecektir. Bu durumda sisteme giren enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış sebebiyle söndürülürken, büyük şekil değiştirmeler elemanlar arası yardımlaşmaya imkan verecek ve henüz taşıma kapasitesine ulaşmamış olan elemanların devreye girmesini sağlayacaktır. Depremde en büyük

hasar nedeni sünekliğin sağlanamaması olarak gözlenmiştir (Celep ve Kumbasar, 1996).

Matematiksel olarak süneklik, ulaşılabilir toplam yerdeğiştirmenin elastik sınıra erişildiğindeki yerdeğiştirmeye oranı olarak tarif edilebilir.

$$\mu = \Delta u / \Delta y \quad (4.1)$$



Şekil 4.4 Betonarme elemanda yük – yerdeğiştirme bağıntısı

Taşıyıcı sistemin sünek davranış göstermesi için, kullanılan malzemeler sünek olmalıdır. Donatının kopma gerilmesinin öngörülen değeri sağlaması yanında kopma uzamasının da yönetmelikte verilen sınırın altına düşmemesi gerekir. Bunun yanında donatının basınç gerilmeleri altında da sünek davranış gösterebilmesi için burkulmaya karşı korunmuş olması önemlidir. Beton, esas olarak basınç gerilmeleri taşır ve en büyük kısalması sınırlı bir değere sahiptir. Betona yanıl basınç uygulanarak bu değeri artırmak mümkündür. Bu amaçla kiriş ve kolonlarda kancaları betona kenetlenmiş sık etriye düzeni kullanılır.

4.4 Perdeler İçin Verilen Yönetmelik Koşulları

Perdelerin ve perdeli sistemlerin hesabı için 1998 yılında yürürlüğe konan “Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar İçin Yönetmelik” (ABYYHY, 1997) ve “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”ndan (TS 500, 2000) faydalanılmıştır. Bu yönetmelik ve şartnamede perdelerle ilgili verilen kurallar aşağıda anlatılmıştır.

4.4.1 1997 Deprem Yönetmeliği

4.4.1.1 Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeler

a) Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan ve tanım olarak %5 sönüm oranı için elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun yerçekimi ivmesi g ' ye bölünmesine karşı gelen Spektral İvme Katsayısı, $A(T_1)$, denklem 4.2 ile verilmiştir.

$$A(T_1) = A_0 I S(T_1) \quad (4.2)$$

Buradaki A_0 , etkin yer ivmesi katsayısı, I ise yapı (bina) önem katsayısıdır. Bina önem katsayısı, binanın kullanılış amacına, binada yaşayan insan yoğunluğuna, depremden hemen sonra binanın kullanımının ne ölçüde gerekli olduğuna bağlı olarak belirlenmiştir.

(4.2) ifadesinde verilen $S(T_1)$, yerel zemin koşullarına ve binanın birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e bağlı olarak (4.3) denklemleriyle belirlenir.

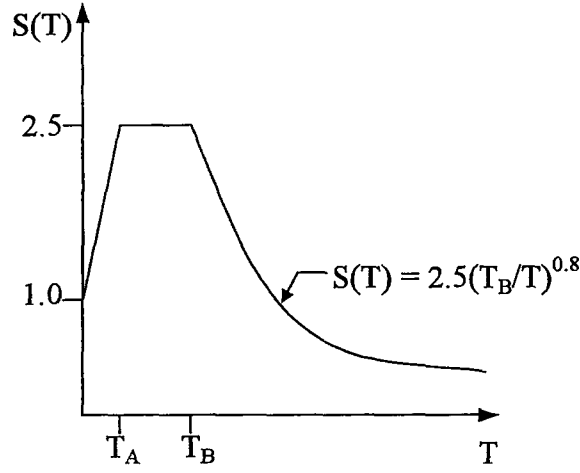
$$S(T_1) = 1 + 1.5 T_1 / T_A \quad (0 \leq T_1 \leq T_A) \quad (4.3a)$$

$$S(T_1) = 2.5 \quad (T_A < T_1 \leq T_B) \quad (4.3b)$$

$$S(T_1) = 2.5 (T_B / T_1)^{0.8} \quad (T_1 > T_B) \quad (4.3c)$$

(4.3) ifadesindeki T_A ve T_B , spektrum karakteristik periyotları olup, değerleri, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak deprem şartnamesinde belirlenmiştir.

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları gözönüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, ilgili karakteristik periyotlar gözönüne alınarak (4.3) bağıntısı ile bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Yönetmelik tasarım ivme spektrumu

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti), V_t , (4.4) bağıntısı ile belirlenecektir.

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \quad (4.4)$$

Depremde, taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, (4.2) bağıntısı ile verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı'na bölünecektir.

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, $R_a(T_1)$, 1997 deprem yönetmeliğinde, çeşitli taşıyıcı sistemler için tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R' ye ve binanın birinci doğal titreşim periyodu T_1 ' e bağlı olarak (4.5) bağıntıları ile belirlenecektir. R katsayıları, süneklik düzeyi “normal” ve “yüksek” olmak üzere iki ayrı bölümde göz önüne alınmaktadır. 1997 deprem yönetmeliğinde, genel olarak, yapıların süneklik düzeyinin yüksek olması istenmektedir.

$$R_a(T_1) = 1.5 + (R - 1.5) T_1 / T_A \quad (0 \leq T_1 \leq T_A) \quad (4.5a)$$

$$R_a(T_1) = R \quad (T_1 > T_A) \quad (4.5b)$$

Deprem yükü azaltma katsayısının kullanılmasıyla, taşıyıcı sistemde doğrusal olmayan elastik ötesi davranış nedeniyle artan kapasite göz önüne alınmaktadır.

Ancak, taşıyıcı sistemde gevrek güç tükenmesi önlenmiş ve sünek davranışın ortaya çıkması sağlanmışsa, deprem yükü azaltma katsayısının kullanılması anlamlıdır. Bu katsayı, taşıyıcı sistemin özelliğine bağlıdır. Hiperstatiklik derecesi yüksek olan taşıyıcı sistemde, elemanlar arası yardımlaşma daha fazla ve doğrusal olmayan elastik ötesi davranış nedeniyle kapasite artması, dolayısıyla deprem yükü azaltma katsayısı daha büyüktür. Bunun gibi, deprem etkisinin daha çok zorladığı kolon kiriş birleşim bölgesinde sık etriye kullanılarak betonun sünekliğinin artırıldığı sistemlerde de, aynı nedenle, deprem yükü azaltma katsayısı büyüktür.

(4.4) denkleminde kullanılan W ise, yapının hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan etkin toplam ağırlığıdır ve (4.6) bağıntısı ile hesaplanır.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (4.6)$$

Buradaki i , kat numarası, N , toplam kat sayısı, w_i ise bir katın ağırlığıdır ve denklem (4.7) ile belirlenir.

$$w_i = G_i + n_k q_i \quad (4.7)$$

Denklem (4.7)' da bulunan n_k , Hareketli Yük Katılım Katsayısı' dır. G_i ve q_i ise, sırasıyla, bir katın sabit ve hareketli yüklerdir.

(4.4) bağıntısı ile belirlenen toplam eşdeğer deprem yükü, daima, (4.8) bağıntısı ile belirlenen değere eşit veya daha büyük olmalıdır.

$$V_t = 0.10 A_0 I W \quad (4.8)$$

b) Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

(4.4) bağıntısı ile belirlenen toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak, (4.9) bağıntısı ile ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (4.9)$$

Buradaki ΔF_N , toplam kat yüksekliği olan $H_N > 25$ m için binanın N' inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yüküdür ve değeri, binanın birinci doğal titreşim periyodu T_1 ' e bağlı olarak (4.10) bağıntısı ile belirlenecektir. $H_N \leq 25$ m için $\Delta F_N = 0$ alınacaktır.

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.2 V_t \quad (4.10)$$

(4.9) bağıntısındaki F_i ise, toplam eşdeğer deprem yükünün, ΔF_N dışındaki kısmının, N' inci kat dahil olmak üzere katlara dağıtılmış değerleridir ve bu değerler (4.11) bağıntısı ile belirlenebilirler.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{i=1}^N w_i H_i} \quad (4.11)$$

Buradaki H_i , hesaplanan katın temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliğidir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi' nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodu (4.12) bağıntısı ile belirlenebilir. Ancak, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N \leq 25$ m koşulunu sağlayan binalar ile üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi' nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodunun (4.13) denklemi ile hesaplanmasına izin verilmiştir. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N > 25$ m için (4.12) bağıntısının kullanılması zorunludur.

$$T_1 = 2 \pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N (m_i d_i^2)}{\sum_{i=1}^N (F_i d_i)} \right]^{1/2} \quad (4.12)$$

Buradaki m_i , i. katın kütlesini göstermektedir ($m_i = w_i / g$). i. kata etkiyen fiktif yükü gösteren F_i , (4.11) bağıntısında ($V_t - \Delta F_N$) yerine herhangi bir kuvvet (örneğin birim kuvvet) konularak elde edilecektir.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t H_N^{3/4} \quad (4.13)$$

Buradaki C_t katsayısı, deprem yüklerinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı binalar için (4.14) ifadesinde tanımlanmıştır.

$$C_t = 0.075 / A_t^{1/2} \leq 0.05 \quad (4.14)$$

(4.13) bağıntısındaki A_t eşdeğer alanı, (4.15) denkleminde verilmiştir. Bu bağıntıda (l_{wj}/H_N) oranı 0.9'dan büyük alınmayacaktır.

$$A_t = \sum_j A_{wj} [0.2 + (l_{wj} / H_N)^2] \quad (4.15)$$

Buradaki A_{wj} , binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin brüt enkesit alanı, l_{wj} ise yine aynı perdenin gözönüne alınan deprem doğrultusunda çalışan uzunluğudur.

(4.13) bağıntısı ile bulunan periyodun $T_{1A} > 1.0$ s olması durumunda (4.12) bağıntısıyla elde edilen T_1 ' in deprem hesabında gözönüne alınacak en büyük değeri T_{1A} 'nın 1.30 katından daha fazla olmayacaktır (Denklem 4.16).

$$T_{1A} > 1.0 \rightarrow T_1 \leq 1.30 T_{1A} \quad (4.16)$$

c) Enkesit Koşulları

Perdelerin plandaki kısa kenarları, kat yüksekliğinin 1/15' inden ve 200 mm' den daha az olamaz. Ancak, $H_w / l_w > 2$ olan perdelerde, aşağıda tanımlanacak olan kritik perde yüksekliği boyunca perdelerin kalınlıkları, kat yüksekliğinin 1/12' sinden az olmayacaktır. Buradaki H_w , toplam perde yüksekliği, l_w ise, perdenin plandaki uzunluğudur.

Perdelerin konsol giriş gibi davranmaları nedeniyle, perdelerin zemine yakın kısımları daha fazla zorlanır. Bu nedenle, kritik bölge olarak adlandırılan ve zemine yakın olan belirli yükseklikteki bu kısımda boyutlandırma ve donatım kuralları daha farklıdır.

Kritik perde yüksekliği H_{cr} , temel üstünden itibaren $2 l_w$ değerini aşmamak üzere, (4.17) bağıntıları ile bulunanlardan daha büyük olanı olarak alınacaktır.

$$H_{cr} \geq l_w \quad (4.17a)$$

$$H_{cr} \geq H_w / 6 \quad (4.17b)$$

Deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca sadece perdeler tarafından taşındığı binalarda, (4.18) bağıntıları ile verilen koşulların her ikisinin de sağlanması durumunda, perde duvar kalınlığı, binadaki en yüksek katın yüksekliğinin $1/20'$ sinden ve $150 \text{ mm}'$ den az olmayacaktır.

$$\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0.002 \quad (4.18a)$$

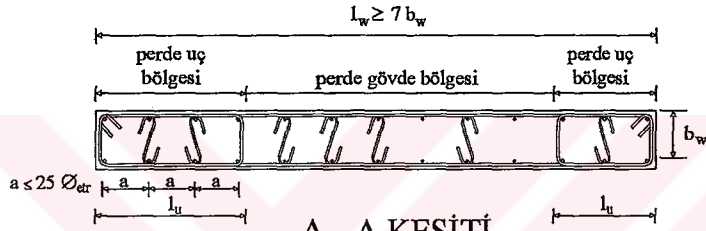
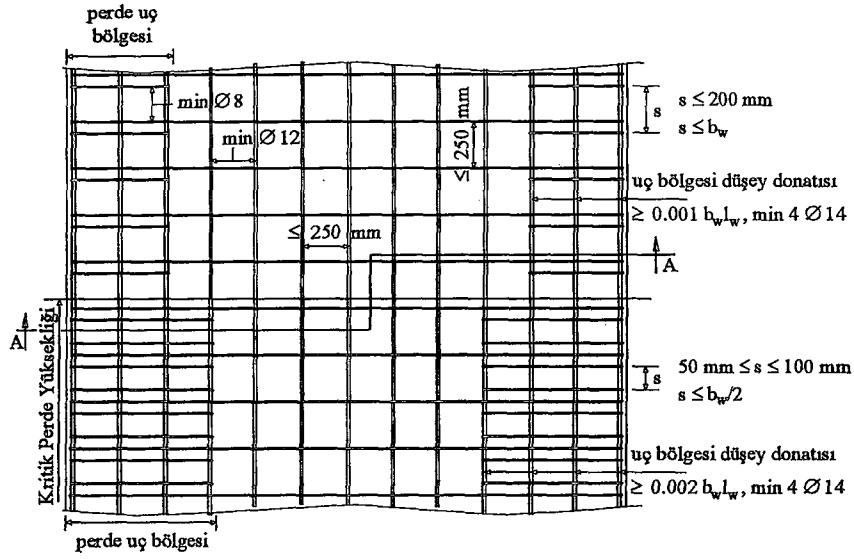
$$V_t / \Sigma A_g \leq 0.5 f_{ctd} \quad (4.18b)$$

Burada, ΣA_g ; deprem doğrultusundaki perdelerin alanlarının toplamı, ΣA_p ; binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı, f_{ctd} ise; betonun tasarım çekme dayanımıdır.

d) Perde Uç Bölgeleri

$H_w / l_w > 2.0$ olan perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulacaktır. Perde uç bölgeleri, perdenin kendi kalınlığı içinde oluşturulabileceği gibi, perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde de düzenlenebilir.

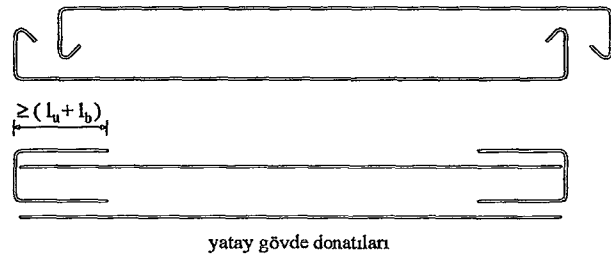
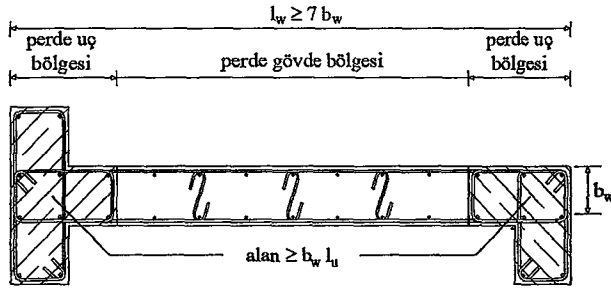
Perdeler için konstrüktif kurallar Şekil 4.6'da çizilerek anlatılmıştır.



A - A KESİTİ

$$\left. \begin{array}{l} l_u \geq 2 b_w \\ l_u \geq 0.2 l_w \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{kritik perde} \\ \text{yüksekliği boyunca} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{özel deprem çirozu} \\ \geq 10 \text{ adet / m}^2 \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} l_u \geq b_w \\ l_u \geq 0.1 l_w \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{kritik perde} \\ \text{yüksekliği dışında} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{özel deprem çirozu} \\ \geq 4 \text{ adet / m}^2 \end{array} \right.$$



yatay gövde donatıları

Şekil 4.6 Perdeler için konstrüktif kurallar (ABYYHY, 1997).

Dikdörtgen kesitli perdelerde, (4.17) bağıntılarıyla belirlenen kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %20' sinden ve perde kalınlığının iki katından daha az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliğinin üstünde kalan perde kesimi boyunca ise, perde uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %10' undan ve perde kalınlığından az olmayacaktır.

Perde uç bölgelerinin, perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde düzenlenmesi durumunda, her bir perde uç bölgesinin enkesit alanı, en az dikdörtgen kesitli perdeler için yukarıda tanımlanan alana eşit olacaktır.

e) Perdelerde Donatı Koşulları

Perde Uç Bölgelerinde Donatı Koşulları

Perde uç bölgelerinin her birinde, düşey donatı toplam alanının perde brüt enkesit alanına oranı 0.001' den az olmayacaktır. Ancak (4.17) bağıntılarıyla belirlenen kritik perde yüksekliği boyunca bu oran 0.002' ye çıkarılacaktır. Perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı miktarı $4\phi 14'$ den az olmayacaktır.

Perde uç bölgelerindeki düşey donatılar, aşağıdaki kurallara uyularak, kolonlarda olduğu gibi etriyeler ve/veya çirozlardan oluşan enine donatılarla sarılacaktır:

- a) Uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının çapı 8 mm' den az olmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, a, etriye ve çiroz çapının 25 katından fazla olmayacaktır.
- b) (4.17) bağıntılarıyla tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinde, kolonların sarılma bölgeleri için (4.19) bağıntısıyla belirlenen enine donatıların en az $2/3'$ ü konulacaktır. Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve 100 mm' den daha fazla, 50 mm' den daha az olmayacaktır.

$$A_{sh} \geq 0.075 s b_k (f_{ck} / f_{ywk}) \quad (4.19)$$

Burada;

s : enine donatı aralığı,

b_k : en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık,

f_{ck} : betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı,

f_{ywk} : enine donatının karakteristik akma dayanımı,

A_{sh} : s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, kolonda veya perde uç bölgesindeki tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin gözönüne alınan b_k ’ ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamıdır.

c) Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve/veya çiroz aralığı, perde kalınlığından ve 200 mm’ den daha fazla olmayacaktır. Ancak, perde uç bölgelerindeki enine donatının çapı ve aralığı, hiçbir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır.

Gövde Donatısı Koşulları

Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025’ inden az olmayacaktır. $H_w/l_w \leq 2.0$ olması durumunda perde gövdesi, perdenin tüm kesiti olarak gözönüne alınacaktır. Perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 250 mm’ den fazla olmayacaktır.

(4.18) bağıntıları ile verilen koşulların her ikisinin de sağlandığı binalarda, düşey ve yatay toplam gövde donatısı oranlarının her biri 0.0015’ e indirilebilir. Ancak bu durumda donatı aralığı 300 mm’ yi geçmeyecektir.

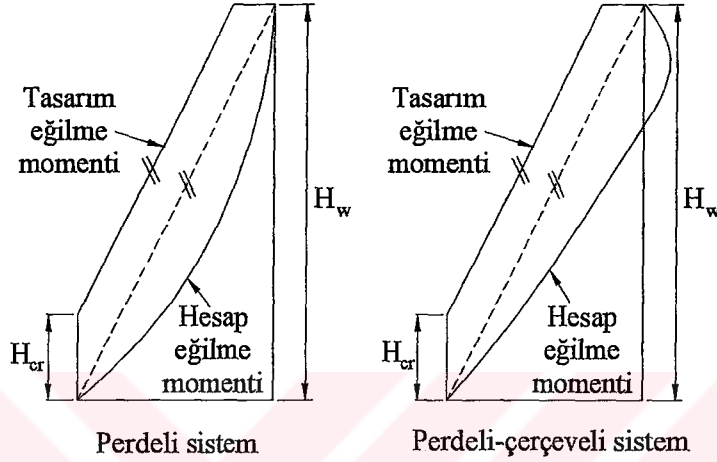
Uç bölgeleri dışında, perde gövdelerinin her iki yüzündeki donatı ağırları, her metrekaare perde yüzünde en az 4 adet özel deprem çirozu ile karşılıklı olarak bağlanacaktır.

f) Tasarım Eğilme Momentleri

Şekil (4.7)’ de gösterildiği gibi, $H_w / l_w > 2.0$ koşulunu sağlayan perdelerde tasarıma esas eğilme momentleri, (4.17) bağıntılarıyla belirlenen kritik perde yüksekliği boyunca sabit bir değer olarak, perde tabanında hesaplanan eğilme momentine eşit alınacaktır. Kritik perde yüksekliğinin sona erdiği kesitin üstünde ise perde tabanında

ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan, doğrusal moment diyagramı uygulanacaktır.

$H_w / l_w > 2.0$ olması durumunda, her bir katta perde kesitlerinin taşıma gücü momentlerinin toplamı, perdenin güçlü doğrultusunda perdeye birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.



Şekil 4.7 Perde tasarım eğilme momentinin belirlenmesi (ABYYHY, 1997)

g) Perdelerin Kesme Güvenliği

Perde veya perde parçalarındaki enine donatının hesabında V_d kesme kuvveti esas alınacaktır. V_d , yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvvetidir.

Perde kesitlerinin kesme dayanımı olan V_r , (4.20) bağıntısıyla belirlenecektir.

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{yd}) \quad (4.20)$$

Burada;

f_{ctd} : betonun tasarım çekme dayanımı,

f_{yd} : boyuna donatının tasarım akma dayanımı,

ρ_{sh} : perdede yatay gövde donatılarının perde gövdesi brüt enkesit alanına oranı,

A_{ch} : boşluksuz perdenin brüt enkesit alanıdır.

V_d kesme kuvveti (4.21) bağıntılarıyla verilen koşulları sağlamalıdır.

$$V_d \leq V_r \quad (4.21a)$$

$$V_d \leq 0.22 A_{ch} f_{cd} \quad (4.21b)$$

Buradaki f_{cd} , betonun tasarım basınç dayanımıdır.

Bu koşulların sağlanamaması durumunda, koşullar sağlanıncaya kadar perde kesit boyutları büyültülecektir.

4.4.1.2 Süneklik Düzeyi Normal Perdeler

Süneklik düzeyi normal perdeler, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılarak donatılacaktır. Süneklik düzeyi yüksek perdeler için tasarım eğilme momentleri ve kritik perde yüksekliğine ilişkin olarak verilen tanım ve koşullar hariç olmak koşulu ile 4.4.1.1' de verilen diğer tüm kural ve koşullar, süneklik düzeyi normal olan perdeler için de geçerlidir.

4.4.1.3 Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması

a) Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden göreli kat ötelemesi, Δ_i , (4.22) bağıntısı ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (4.22)$$

Burada verilen d_i ve d_{i-1} , binanın i ' inci ve $(i-1)$ ' inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaptan elde edilen yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i ' nci katındaki kolon veya perdelerde, (4.22) bağıntısı ile hesaplanan göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\Delta_i)_{max}$, (4.23) bağıntısı ile verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacaktır.

$$(\Delta_i)_{max} / h_i \leq 0.0035 \quad (4.23a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \quad (4.23b)$$

(4.23) bağıntıları ile verilen koşulların binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

4.4.2 TS 500

Tez çalışmasında kullanılan programlar hazırlanırken TS 500 (TS 500, 2000)' de bulunan donatı yerleşimi ile ilgili bazı yapım kuralları da dikkate alınmıştır. Bu kurallar aşağıda açıklanmıştır.

a) Çekme Donatısının Eklenmesi:

Bindirmeli eklerde bindirme boyu l_0 aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$l_0 = \alpha_1 \times l_b \quad (4.24)$$

$$\alpha_1 = 1 + 0.5 r \quad (4.25)$$

$$l_b = (0.12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi) \geq 20\phi \quad (4.26)$$

Buradaki α_1 , bindirme boyu katsayısıdır ve bütün kesiti çekme taşıyan elemanlarda $\alpha_1=1.8$ alınır. r , aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranı, l_b ise, kenetlenme boyudur ve nervürlü çubuklar için (4.26) bağıntısıyla hesaplanır. Düz yüzeyli çubuklar için bu değerin iki katı kullanılmalıdır.

Bindirmeli eklerde bindirme boyunca sargı donatısı bulundurulması gereklidir. Sargı donatısının çapı en az eklenen donatı çapının 1/3'ü veya $\phi 8$ olmalıdır. Bindirme boyunca en az 6 sargı donatısı bulundurulmalı ve sargı donatısı aralığı eleman yüksekliğinin 1/4 'ünden ve 200 mm'den fazla olmamalıdır.

Birden fazla ek yapılması gereken durumlarda, ek yerleri şaşırtılmalıdır. İki ekin merkezinden merkezine ölçülen uzaklık en az $1.5 l_0$ kadarsa ekler şaşırtılmış sayılır.

b) Aynı Doğrultuda İki Donatı Arasındaki Minimum Mesafe:

Aynı sırada donatı çubukları arasındaki net aralık donatı çapından, maksimum agrega çapının 4/3'ünden ve 25 mm'den az olamaz. Bu sınırlar bindirmeli eklerin bulunduğu yerlerde de geçerlidir.

4.5 Perde Elemanların Hesap Esasları

Eğik eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde bulunan perdeli sistemlerin taşıma gücü esasına göre betonarme kesit hesabının yapılabilmesi için **Çakıroğlu ve Özer (1990)** tarafından kolay programlanabilen pratik formüller geliştirilmiştir. Bunlardan tek eksenli eğilme halinde de özel bir durum olarak yararlanılabilecektir. Bu formüller yardımıyla, kesit tesirleri ile dikdörtgen kesitin boyutlarının verilmesi halinde, toplam donatı miktarı doğrudan doğruya tayin edilebilmektedir. Tez çalışmasında çözülen tek perdeli örneklerde bu ifadelerden faydalanılmıştır.

Bundan başka, dikdörtgen kesitin boyutları ile donatı oranının seçilmesi halinde, kesitin taşıyabileceği kesit tesirleri kolaylıkla elde edilebildiği gibi, kesit tesirlerinin ve donatı oranının verilmesi halinde de dikdörtgen kesitin boyutları kolayca bulunabilmektedir.

Formüllerin çıkarılışında, eksenel kuvvetin basınç olması, donatının dört köşede toplanması ve pas payı oranının 0.10 olması hali esas alınmıştır. Daha sonra, çeşitli donatı yerleşim durumlarına ve pas payı oranlarına ait düzeltme katsayıları verilerek yine aynı formüllerden yararlanma imkanı sağlanmıştır. Ayrıca, eksenel kuvvetin çekme olmasına ait taşıma gücü formülleri de verilmiştir.

4.5.1 Önerilen Taşıma Gücü Formülleri

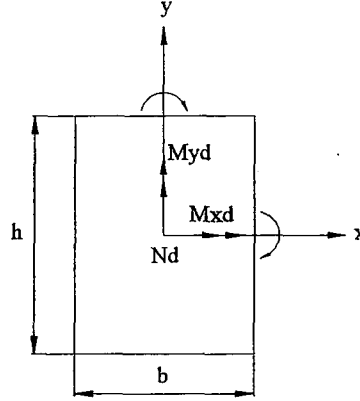
Çakıroğlu ve Özer (1990) tarafından önerilen taşıma gücü formülleri Şekil 4.8' de dikdörtgen bir kesit ve bu kesite etkiyen kesit tesirleri için açıklanacaktır.

Buradaki,

M_{xd} , M_{yd} : sırasıyla x ve y eksenleri etrafındaki tasarım eğilme momentlerini,

N_d : tasarım eksenel basınç kuvvetini,

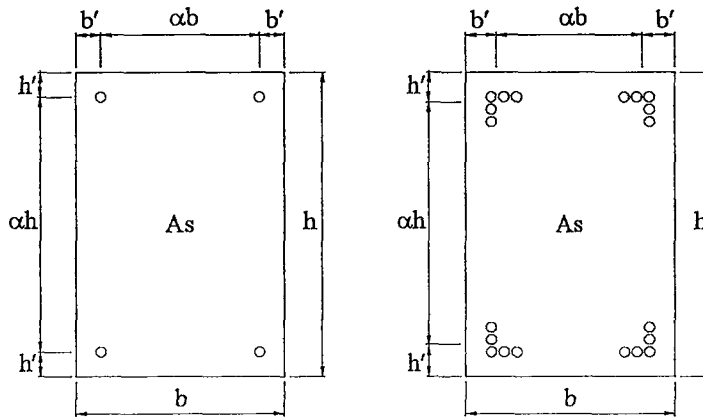
b, h : kesitin, sırasıyla, x ve y eksenleri doğrultusundaki boyutlarını göstermektedir.



Şekil 4.8 Dikdörtgen bir kesit ve bu kesite etkiyen kesit tesirleri

Buradaki M_{xd} , M_{yd} , N_d kesit tesirlerinin değerleri, hesap yüklerine, yani işletme yüklerinin yük güvenlik katsayılarıyla çarpımlarına karşı gelmektedir.

Eksenel basınç kuvvetiyle birlikte, iki eksenli eğilme momenti etkisinde bulunan dikdörtgen betonarme kesitlerde, donatının dört köşede eşit olarak toplanması ve pas payı oranının 0.10 olması haline ait formüller, önce BÇIII ve sonra BÇI için verilmiştir. Köşelerde toplanan donatı çubuklarının kesit ağırlık merkezleri gözönünde tutularak bulunan h'/h pas payı oranlarının 0.10 olması halinde de bu formüllerden yararlanılabileceği açıktır (Şekil 4.9).



$$\frac{b'}{b} = 0.10, \quad \frac{h'}{h} = 0.10, \quad \alpha = 0.80, \quad A_s = \text{toplam donatı}$$

Şekil 4.9 Donatının köşelerde toplanması ve $\alpha=0.80$ olması durumu

4.5.1.1 BÇIII Çeliğine Ait Formüller

$$n = \frac{N_d}{bh f_{ck}}, \quad m_x = \frac{M_{xd}}{bh^2 f_{ck}}, \quad m_y = \frac{M_{yd}}{b^2 h f_{ck}}, \quad \alpha = 0.80 \quad (4.27)$$

$$\mu = \frac{A_s f_{yk}}{bh f_{ck}} \quad (4.28)$$

n < 0.20 hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (4.29)$$

$$k = (2 - 6.65 n) m_y + 2.65 n + 0.20 \quad (4.30a)$$

$$\mu = 2.86 m + 2.92 n^2 - 1.48 n \quad (4.31a)$$

0.20 ≤ n ≤ 0.30 hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (4.29)$$

$$k = (-4.33 + 25 n) m_y - 2.05 n + 1.14 \quad (4.30b)$$

$$\mu = 2.92 m - 0.192 \quad (4.31b)$$

n > 0.30 hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (4.29)$$

$$k = (3.67 - 1.67 n) m_y + 0.75 - 0.75 n \quad (4.30c)$$

$$\mu = 2.92 m + 0.62 n^2 + 0.254 n - 0.32 \quad (4.31c)$$

Donatı miktarının bulunması

N_d , M_{xd} , M_{yd} , b , h , f_{ck} , f_{yk} verilmiştir; A_s toplam donatı miktarı aranmaktadır. Bu durumda önce, (4.27) bağıntılarıyla n , m_x , m_y bulunur. (4.30a), (4.30b) veya (4.30c) bağıntılarından biri kullanılarak k hesaplanır ve bulunan değerler (4.29) bağıntısında yerine konularak m elde edilir. Daha sonra, n ve m , (4.31a), (4.31b) veya (4.31c) bağıntılarından ilgili olanında yerine yazılarak tayin edilen μ , (4.28) bağıntısında yerine konur ve böylece;

$$A_s = \mu b h \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \quad (4.32)$$

ile A_s toplam donatı miktarı elde edilir.

Buradaki,

n : hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet,

m : hesap yüküne ait boyutsuz eğilme momenti

m_x, m_y : sırasıyla x ve y eksenleri etrafındaki hesap yüküne ait boyutsuz eğilme momentleri,

k : katsayı,

μ : mekanik donatı oranını göstermektedir.

4.5.1.2 BÇİ Çeliğine Ait Formüller

$$n = \frac{N_d}{bh f_{ck}}, \quad m_x = \frac{M_{xd}}{bh^2 f_{ck}}, \quad m_y = \frac{M_{yd}}{b^2 h f_{ck}}, \quad \alpha = 0.80 \quad (4.27)$$

$$\mu = \frac{A_s f_{yk}}{bh f_{ck}} \quad (4.28)$$

$n < 0.20$ hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (4.29)$$

$$k = (3 - 6.65 n) m_y + 2.65 n + 0.10 \quad (4.33a)$$

$$\mu = 2.86 m + 2.92 n^2 - 1.48 n \quad (4.34a)$$

$0.20 \leq n \leq 0.30$ hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (4.29)$$

$$k = (-1.33 + 15 n) m_y - 1.4 n + 0.91 \quad (4.33b)$$

$$\mu = 2.92 m - 0.192 \quad (4.34b)$$

$n > 0.30$ hali:

$$m = m_x + k m_y \quad (m_y \leq m_x) \quad (4.29)$$

$$k = (3.67 - 1.67 n) m_y + 0.85 - 1.2 n \quad (4.33c)$$

$$\mu = 2.92 m + 0.62 n^2 + 0.254 n - 0.33 \quad (4.34c)$$

Donatı miktarının bulunması

N_d , M_{xd} , M_{yd} , b , h , f_{ck} , f_{yk} verilmiştir. A_s toplam donatı miktarı aranmaktadır. Bu durumda önce, (4.27) bağıntılarıyla n , m_x , m_y bulunur. (4.33a), (4.33b) veya (4.33c) bağıntılarından biri kullanılarak k hesaplanır ve bulunan değerler (4.29) bağıntısında yerine konularak m elde edilir. Daha sonra, n ve m , (4.34a), (4.34b) veya (4.34c) bağıntılarından ilgili olanında yerine yazılarak tayin edilen μ , (4.28) bağıntısında yerine konur ve

$$A_s = \mu b h \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \quad (4.32)$$

ile A_s toplam donatı miktarı elde edilir.

4.5.2 Diğer Donatı Yerleşim Durumları

4.5.1’de, dört köşede eşit donatı bulunması haline ait formüller verilmişti. Bu kısımda aşağıda belirtilen çeşitli donatı yerleşim durumları için, mekanik donatı yüzde oranının çarpılması gereken k_1 katsayıları verilmiştir.

Bu k_1 katsayıları, çeşitli donatı yerleşim durumlarına ait kesin sonuçların karşılaştırılmasından elde edilmiştir.

k_1 katsayılarının verildiği donatı yerleşim durumları şunlardır:

- dört kenar boyunca eşit ve düzgün yayılı donatı hali
- köşelerde ve kenar ortalarında toplanan sekiz eşit donatı hali
- toplam donatının köşelerde 3/16’ sının, kenar ortalarında 1/16’ sının bulunması hali
- karşılıklı iki kenarda eşit ve düzgün yayılı donatı hali

Bunlardan ilk üç halde, k_1 katsayılarının (4.27) bağıntılarında tanımlanmış olan n parametresine, dördüncü halde ise beton çeliğinin cinsine ve m_y/m_x parametresine büyük ölçüde bağlı oldukları görülmüştür.

Dördüncü halde verilen k_1 katsayıları $m_y/m_x \leq 0.4$ bölgesi için geçerlidirler ve BÇIII' de,

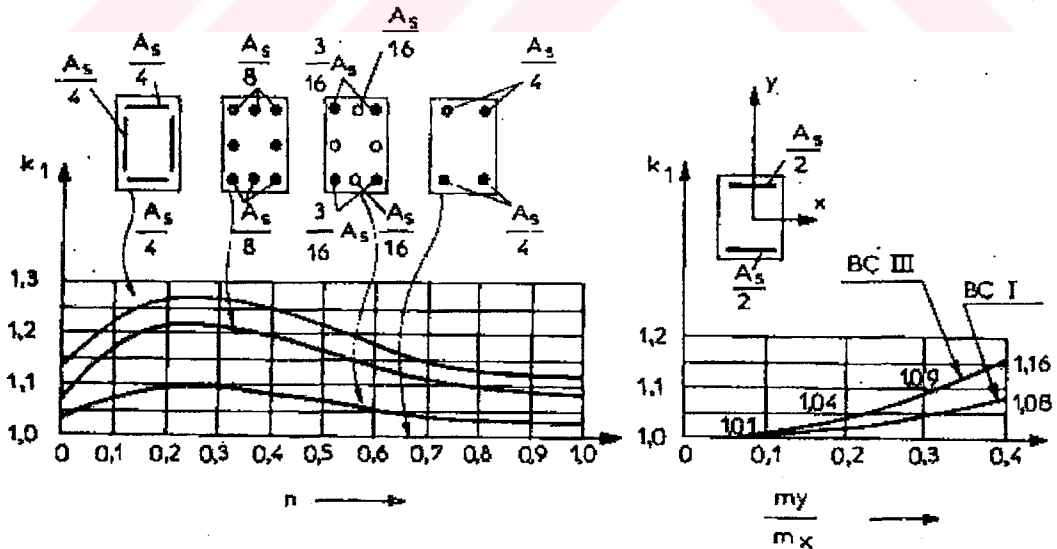
$$k_1 = 1 + \left(\frac{m_y}{m_x} \right)^2 \quad (4.35)$$

BÇI' de,

$$k_1 = 1 + 0.5 \left(\frac{m_y}{m_x} \right)^2 \quad (4.36)$$

formülleri ile hesaplanırlar.

Buradaki k_1 , donatı yerleşim durumu katsayısıdır. Daha önce anlatılan dört duruma ait k_1 katsayılarını veren diyagramlar Şekil (4.10)' da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Çeşitli donatı yerleşim durumları için k_1 katsayıları (Çakıroğlu ve Özer, 1990)

Çeşitli donatı yerleşim durumlarına ait kesit hesaplarında (4.31a), (4.31b), (4.31c), (4.34a), (4.34b) ve (4.34c) bağıntıları ile hesaplanmış olan μ mekanik donatı oranı, ilgili duruma ait k_1 katsayısıyla çarpılarak kullanılacaktır.

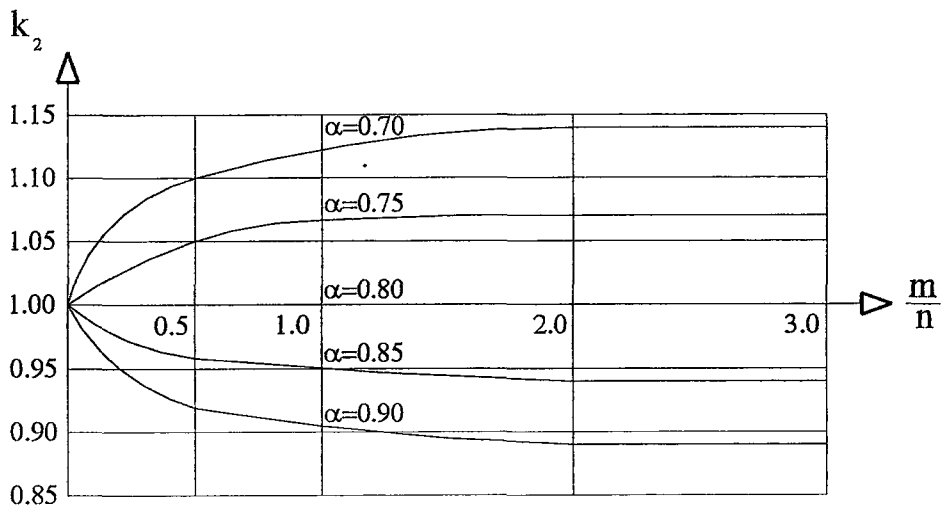
4.5.3 Paspayı Katsayıları

4.4.1' de verilen formüllerde paspayı oranı olarak 0.10 ($\alpha = 0.80$) alınmıştır. Çeşitli paspayı oranlarına ait kesin sonuçların karşılaştırılmasından, herhangi bir α değerine ait μ_α mekanik donatı oranının $\alpha = 0.80$ değerine ait $\mu_{0.8}$ mekanik donatı oranı, (4.38) bağıntısı ile tanımlanan bir k_2 katsayısıyla çarpılarak, yaklaşık olarak elde edilebilir.

$$\mu_\alpha = k_2 \mu_{0.8} \quad (4.37)$$

$$k_2 = \frac{\frac{m}{n} \frac{0.8}{\alpha} + 0.2}{\frac{m}{n} + 0.2} \quad (4.38)$$

Buradaki k_2 , paspayı katsayısıdır. Buradan, eksenel basınç halinde $m/n = 0$ 'da k_2 ' nin 1' e, basit eğilme halinde ise, $m/n = \infty$ 'da, k_2 ' nin $0.8/\alpha$ ' ya eşit olduğu görülmektedir (Şekil 4.11).

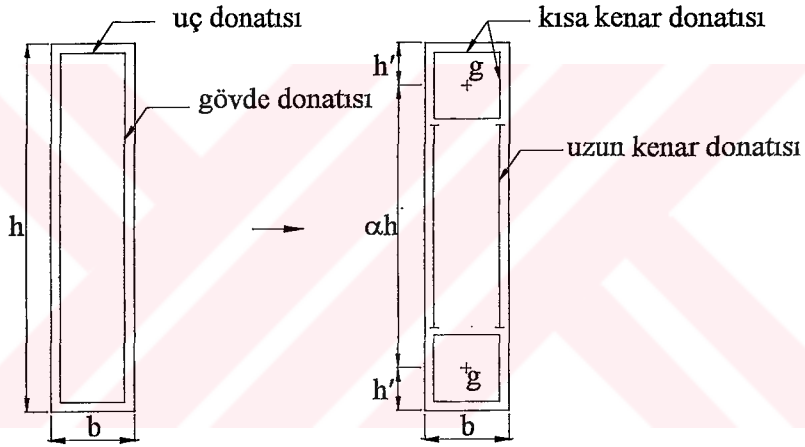


Şekil 4.11 k_2 katsayıları (Çakıroğlu ve Özer, 1990)

Kesit hesaplarında, k_2 katsayısı da k_1 katsayısı gibi göz önünde tutulacaktır. Hem donatı yerleşim durumunun, hem de paspayı oranının farklı olması halinde k_1 ve k_2 katsayıları birlikte hesaba katılacaklardır.

4.5.4 Perde Kesitleri

Perde kesitleri de yukarıda açıklanan formüller yardımıyla hesaplanabilir. Bunun için önce, gövde donatılarının bir kısmı kısa kenardaki uç donatılarına eklenerek dört kenar boyunca eşit ve düzgün yayılı donatı durumu elde edilir (Şekil 4.12). Böylece elde edilen kısa kenar donatılarının g ağırlık merkezleri bulunarak α paspayı oranı tayin edilip, daha önce açıklanan şekilde kesit hesabı yapılabilir. Hesapları kısaltmak için aşağıda anlatılan yaklaşık yoldan da faydalanılabilir.



Şekil 4.12 Perde donatılarının belirlenmesi

Yapılan incelemelerden, sınır durumlarda bile $\alpha > 0.90$ olduğu görüldüğünden, emniyetli durumda kalmak üzere $\alpha = 0.90$ alınabilir. Şekil (4.11)' de bu değere karşı gelen k_2 değeri, 1 ile 0.89 arasında değiştiğinden ortalama olarak $k_2 \cong 0.95$ alınabilir. Dört kenarda eşit yayılı donatı durumundaki k_1 için Şekil (4.10)' a göre ortalama olarak 1.25 değeri alınırsa A_s toplam donatısı için aşağıdaki yaklaşık formül elde edilir (Çakıroğlu ve Özer, 1990).

$$A_s = k_1 k_2 \mu b h \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 1.20 \mu b h \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \quad (4.39)$$

(4.39) bağıntısında kullanılan μ , Kısım 4.5.1' de verilen formüllerle hesaplanacaktır.

Tez çalışmasında çözülen sayısal örneklerde, iki boyutlu sistemlerin çözümü için hazırlanan PERDEOPT bilgisayar programında, perde donatı alanları (4.39) ifadesi yardımıyla hesaplanmaktadır.



5. PERDELİ SİSTEMLERİN MALİYET OPTİMİZASYONU

5.1 Betonarme Yapı Sistemlerinin Maliyet Optimizasyonu

Bir yapısal sistemin maliyet optimizasyonu yapılırken tasarım değişkenleri cinsinden yazılarak oluşturulacak maliyet fonksiyonu, yapı sisteminde kullanılan bütün taşıyıcı olan ve olmayan yapı elemanlarının toplam maliyetini içermelidir. Yapıda kullanılan her elemanın tasarım değişkeni olma zorunluluğu yoktur. Tasarım değişkeni olmayan elemanların kısıtlamaları da istenirse probleme katılabilir. Tasarım değişkeni olarak alınmayan elemanların boyutları veya diğer parametreleri sabit alınabilir. Bu elemanların bazı parametreleri sabit alınırken, eğer kısıtlamaları probleme katılmayacaksa, dikkate alınan yönetmelik koşullarına uygun olmasına ve ele alınan diğer kısıtlamaların en olumsuz durumunda bile zorlanmayacak şekilde yapılandırılmalarına dikkat edilmelidir.

Maliyet optimizasyonu sadece malzeme maliyetini içermeyebilir. Malzeme yanında işçilik, nakliye, kalıp vs. gibi diğer maliyetler de olabilir. Aşağıda, bir betonarme yapı sistemini oluşturan elemanların maliyet optimizasyonları için yazılan amaç fonksiyonları, genel olarak anlatılacak ve perdelerin maliyet optimizasyonları daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır .

- *Betonarme Perde - Çerçeve Yapılar:*

Bir perde-çerçeve betonarme yapı sisteminin maliyet fonksiyonu genel olarak (5.1) bağıntısı ile ifade edilebilir:

$$C_y = \Sigma C_k + \Sigma C_d + \Sigma C_c + \Sigma C_p + \Sigma C_{to} + C_{FB} + C_{TR} + C_s + C_{CG} + C_{FK} \quad (5.1)$$

Burada;

C_y : yapının toplam maliyeti,

C_k : giriş maliyeti,

C_d : döşeme maliyeti,

C_c : kolon maliyeti,

C_p : perde maliyeti,

C_{to} : taşıyıcı olmayan elemanların maliyeti,

C_{FB} : işçilik maliyeti,

C_{TR} : nakliye maliyeti,

C_s : temel maliyeti,

C_{CG} : cephe giydirmesi maliyeti,

C_{FK} : kalıp maliyeti anlamındadır.

Bu fonksiyonun çok sayıda parametre ile ifade edildiği ve bu parametrelerin çoğu birbiriyle ilişkili olduğu için sunulan çalışmada işçilik, kalıp ve taşıyıcı olmayan eleman maliyetlerinin sabit olduğu varsayılmıştır.

Betonarme Perdeler:

Yapıda bulunan perde elemanların C_p maliyet fonksiyonu daha ayrıntılı olarak açarsak aşağıda verilen (5.2) bağıntısı ile tanımlanabilir:

$$C_p = C_{bc} [2 \sum (L_{bdp} W_{bdp}) + \sum (L_{gdp} W_{gdp}) + 2 \sum (L_{byp} W_{byp}) + 2 \sum (L_{gyp} W_{gyp}) + \sum (L_{cp} W_{cp})] + C_{bb} [l_w b_w H_w] \quad (5.2)$$

Burada ise;

C_{bc} : çeliğin birim ağırlık maliyeti,

L_{bdp} : başlıkta kullanılan düşey donatı boyu,

W_{bdp} : başlıkta kullanılan düşey donatı birim boy ağırlığı,

L_{gdp} : gövdede kullanılan düşey donatı boyu,

W_{gdp} : gövdede kullanılan düşey donatı birim boy ağırlığı,

L_{byp} : başlıkta kullanılan enine donatı boyu,

W_{byp} : başlıkta kullanılan enine donatı birim boy ağırlığı,

L_{gyp} : gövdede kullanılan enine donatı boyu,

W_{gyp} : gövdede kullanılan enine donatı birim boy ağırlığı,

- $L_{\text{çp}}$: çiroz donatısı boyu,
 $W_{\text{çp}}$: çiroz donatısı birim boy ağırlığı,
 C_{bb} : betonun birim hacim maliyeti,
 l_w : perdenin enkesit uzunluğu,
 b_w : perdenin enkesit genişliği,
 H_w : perdenin yüksekliği'dir.

Benzer şekilde yapı sistemini meydana getiren kolon, kiriş, döşeme, temel gibi elemanların da maliyet fonksiyonları ayrı ayrı yazılarak 5.1 ile verilen C_y maliyet fonksiyonu elde edilebilir.

5.2 Perdeli Yapı Sistemlerinde Optimizasyon Probleminin Formülasyonu ve Genetik Algoritmanın Perdeli Yapı Sistemine Uygulanması

5.2.1 Tasarım Değişkenleri

Betonarme yapı sistemlerinin optimizasyon probleminde genellikle tasarım değişkeni olarak taşıyıcı sistem eleman boyutları göz önüne alınmaktadır. Bazı problemlerde ise, yapıda kullanılan malzemenin ağırlığı veya miktarı tasarım değişkenleri olmaktadır.

Bu çalışmada ise; tasarım değişkenleri olarak, yapı sistemlerinde kullanılan perde boyutları seçilmiştir. Diğer taşıyıcı sistem elemanları ise yapıya etkileyen en olumsuz yükleme durumunda dahi, yönetmelik koşullarını sağlayacak şekilde boyutlandırılarak sabit boyutlu olarak probleme katılmışlardır. Buna karşılık, her farklı perde boyutu için yapılan analizlerde diğer taşıyıcı elemanların donatıları değişmekte ve yapının toplam malzeme maliyeti hesaplanırken bu durum da dikkate alınmaktadır.

Tasarım değişkenleri bağımsız ve bağımlı değişkenler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Perde boyutları, araştırma uzayında yer aldıkları ve elde edilen optimum değerler buradan alınıp yapı sistemine yerleştirildikleri için bağımsız değişkenlerdir. Donatılar ise, her ne kadar başlangıçta araştırma uzayında yer almasalar da, perde boyutlarının değişimine bağlı olarak, yapıda kullanılması gereken miktarları

değiştirdiğinden, maliyet fonksiyonuna sabit bir değer olarak katılmamakta, böylece bağımlı değişken olmaktadır.

5.2.2 Amaç Fonksiyonu

Yapılan bu çalışmada amaç fonksiyonu, sadece üst yapıdaki donatı ve betonun toplam maliyetini içermektedir. 5.1 ifadesi ile verilen genel yapı maliyeti fonksiyonundaki kalıp, işçilik, temel, nakliye vb. maliyetlerin sabit değer aldığı kabul edilerek, basitleştirme açısından probleme katılmamıştır. Bu durumda, yapının genel maliyet optimizasyonu amaç fonksiyonunu ifade eden 5.1 bağıntısı aşağıdaki hali alır:

$$C_y = C_{bc} W_{\phi l} + C_{bb} V_{bt} \quad (5.3)$$

Buradaki,

C_{bc} : çeliğin birim maliyeti (TL/kN)

$W_{\phi l}$: yapıda kullanılan toplam çelik miktarı (kN)

C_{bb} : betonun birim fiyatı (TL/m³)

V_{bt} : yapıda kullanılan toplam beton miktarı (m³)

Bir yapının toplam maliyeti, oldukça büyük sayılarla ifade edilir. Sunulan çalışmada; sayıların genetik algoritma tablolarının kullanımını kolaylaştırmak amacıyla, birim fiyatlar yerine bunların aralarındaki oranlar, 5.4 bağıntısıyla verildiği şekilde işleme katılmıştır.

$$f(x) = (C_{bc} / C_{bb}) W_{\phi l} + (C_{bb} / C_{bb}) V_{bt} \quad (5.4)$$

C_{bc}/C_{bb} oranının sabit bir değer aldığı varsayımı ile amaç fonksiyonu, (5.5) bağıntısı ile tanımlandığı şekilde sadeleştirilebilir.

$$f(x) = (C_{bc} / C_{bb}) W_{\phi l} + V_{bt} \quad (5.5)$$

Optimizasyon probleminde $f(x)$ amaç fonksiyonunun minimizasyonunu ile, tüm kısıtlamaları sağlayan tasarım büyüklükleri aranmaktadır.

5.2.3 Kısıtlamalar

Tasarım değişkenleri olarak perde boyutlarının göz önüne alınması nedeniyle, deprem yönetmeliğinde (ABYYHY, 1997) sadece perde boyutunun artırılmasını gerektiren koşullar boyut kısıtlaması olarak probleme katılmıştır. Bu kısıtlamalar aşağıda açıklanmıştır.

Genetik algoritmalar, kısıtlamasız optimizasyon problemleri için son derece uygun olduklarından, buradaki kısıtlamalı optimizasyon problemini kısıtlamasız probleme dönüştürmek gerekmektedir. Geleneksel ceza fonksiyonları genetik algoritmalar için uygun olmadığından, burada normalize edilen kısıtlamaların ihlal edilmesi esasına dayanan bir formülasyon verilecektir. (3.3) bağıntılarıyla verilen kısıtlamaların normalize edilmiş formları ($g_{i,j}(x)$), perdeli sistemler için aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

a) Boyut Kısıtlaması:

Bir taşıyıcı sistem elemanının perde olabilmesi için, planda, uzun kenarının kısa kenarına oranının en az yedi olması gerekir.

$$l_w / b_w \geq 7 \quad (5.6)$$

$$g_i(x) = [7 / (l_{wi} / b_{wi})] - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5.7)$$

b) Perde Kalınlığı Kısıtlaması:

Perde kalınlığı, kat yüksekliğinin 1/15' inden ve 200 mm'den az olmayacaktır. $H_w/l_w > 2.0$ olan perdelerde kritik perde yüksekliği boyunca perde kalınlığı, kat yüksekliğinin 1/12'sinden az olmayacaktır.

$$b_w \geq h_i / 15 \quad (5.8a)$$

$$b_w \geq 200 \quad (5.8b)$$

Kritik perde yüksekliği boyunca;

$$b_w \geq h_i / 12 \quad (5.8c)$$

$$g_i(x) = [(h_i / 15) / b_{wi}] - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5.9a)$$

$$g_i(x) = [(h_i / 12) / b_{wi}] - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5.9b)$$

c) 1. Kesme Kuvveti Kısıtlaması:

$$V_d \leq V_{r1} \quad (5.10a)$$

$$V_{r1} = A_{ch} (0.65 \times f_{ctd} + \rho_{sh} \times f_{yd}) \quad (5.10b)$$

$$g_i(x) = (V_{di} / V_{r1i}) - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5.11)$$

d) 2. Kesme Kuvveti Kısıtlaması:

$$V_d \leq V_{r2} \quad (5.12a)$$

$$V_{r2} = 0.22 \times A_{ch} \times f_{cd} \quad (5.12b)$$

$$g_i(x) = (V_{di} / V_{r2i}) - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5.13)$$

e) Donatı Yüzdesi Kısıtlaması:

$$\rho_i \leq \rho_{max} \quad (5.14a)$$

$$g_i(x) = (\rho_i / \rho_{max}) - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5.15)$$

Buradaki, ρ_i hesap sonucunda bulunan, perdedeki toplam eğilme donatısı oranını ifade etmektedir.

Bütün perde için max. düşey donatı oranı ; ρ_{max} : 0.04 alınmıştır.

f) 1. Yerdeğiştirme Kısıtlaması:

$$\gamma_i = (\Delta_i)_{max} / h_i \quad (5.16a)$$

$$\gamma_i \leq 0.0035 \quad (5.16b)$$

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.16c)$$

$$g_i(x) = (\gamma_i / 0.0035) - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5.17)$$

g) 2. Yerdeğiştirme Kısıtlaması:

$$\gamma_i = (\Delta_i)_{\max} / h_i \quad (5.18a)$$

$$\gamma_i \leq 0.02 / R \quad (5.18b)$$

$$g_i(x) = (\gamma_i / (0.02/R)) - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (5.19)$$

h) Tasarım Değişkenlerinin Boyut Kısıtlaması:

Bir yapıda bulunan perdeler üst katlara doğru çıkıldıkça değişiyorsa, bu durumda, bu kısıtlama kullanılmalıdır. Üst katın perde boyutunun, alt kattaki perde boyutundan daha küçük ya da eşit olması gerektiği kabulünün yapılması, çözüme ulaşmayı biraz daha kolaylaştırır.

$$l_{w(j)} \geq l_{w(j+1)} \quad j=1, \dots, m \quad (5.20a)$$

$$b_{w(j)} \geq b_{w(j+1)} \quad j=1, \dots, m \quad (5.20b)$$

$$g_j(x) = (l_{w(j+1)} / l_{w(j)}) - 1 \leq 0 \quad j=1, \dots, m \quad (5.21a)$$

$$g_k(x) = (b_{w(j+1)} / b_{w(j)}) - 1 \leq 0 \quad j=1, \dots, m \quad (5.21b)$$

Buradaki,

j : tasarım değişkeni numarası,

m : tasarım değişkeni sayısı anlamındadır.

5.3 Hazırlanan Bilgisayar Programlarının Tanıtılması

Perdeli betonarme sistemlerin genetik algoritma yöntemi ile maliyet optimizasyonunun yapılabilmesi amacıyla; biri tek perdeli, iki boyutlu sisteme, diğeri üç boyutlu yapı sistemlerine yönelik olmak üzere iki farklı program hazırlanmıştır.

5.3.1 Tek Perde Elemanı için Hazırlanan PERDEOPT Programı

PERDEOPT olarak isimlendirilen birinci program, QBASIC programlama dili ile yazılmıştır. Yapı sistemine etkiyen bütün deprem kuvvetinin sistemdeki tek perde tarafından karşılandığı varsayımına göre hazırlanmıştır. Perdenin enkesit boyutları ve gerekli donatı miktarı değiştirilerek sistem maliyetini minimize eden optimum perde

boyutları araştırılmıştır. Tasarım değişkeni olarak seçilen sistemdeki perdenin enkesit boyutları yapı yüksekliği boyunca değişken olabilmektedir. Yapı sisteminin toplam ağırlığı sabit kabul edilmiş, perdedeki boyut değişimi nedeniyle sistemin toplam ağırlığında meydana gelen ağırlık farkı ihmal edilmiştir. Amaç fonksiyonu, perdedeki toplam beton ve donatının maliyetlerini içermektedir. Perdenin donatı hesabı yapılırken Kısım 4.5’ de açıklanan, **Çakıroğlu ve Özer (1990)** tarafından önerilen “Eğik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Dikdörtgen Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri”nden faydalanılmıştır. Önerilen bu formüller yardımıyla donatı alanı hesabı için QBASIC programlama dili ile hazırlanan PERHES programı akış diyagramı Şekil 5.1’de verilmiştir. Ayrıca, 1998 yılında yürürlüğe konan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” esaslarına uygun olarak boyutlandırma ve donatı seçimi yapılmış ve kısıtlamalar belirlenmiştir.

5.3.2 Üç Boyutlu Yapı Sistemi için Hazırlanan GENOPT Programı

Genetik algoritma yöntemi yardımıyla, perdeli sistemlerin maliyet optimizasyonu için hazırlanan ve GENOPT adı verilen genel program yine QBASIC programlama dili ile yazılmıştır. Sistemde birden fazla perdenin bulunması durumunda kullanılan bu program, üç boyutlu yapı analizi yapabilmekte ve perde enkesit boyutlarının gerek planda, gerekse yapı yüksekliği boyunca değişmesi durumunda yapının toplam maliyetini minimum yapan optimum perde boyutlarını ve donatı miktarlarını araştırmaktadır.

Üç boyutlu sistemlerin statik analizlerinin yapılması ve donatı hesabında alt program olarak, **Amasralı (2000)** tarafından hazırlanan STA4-CAD Ver 8.1 programı kullanılmıştır. Yapıda, perdeler dışında kullanılan diğer taşıyıcı elemanların boyutları sabit tutulmuş, sadece perdelerdeki boyut değişimlerinin yapının maliyetine etkisi dikkate alınmıştır. Amaç fonksiyonu, yapıda kullanılan toplam beton ve donatı miktarlarını içermektedir.

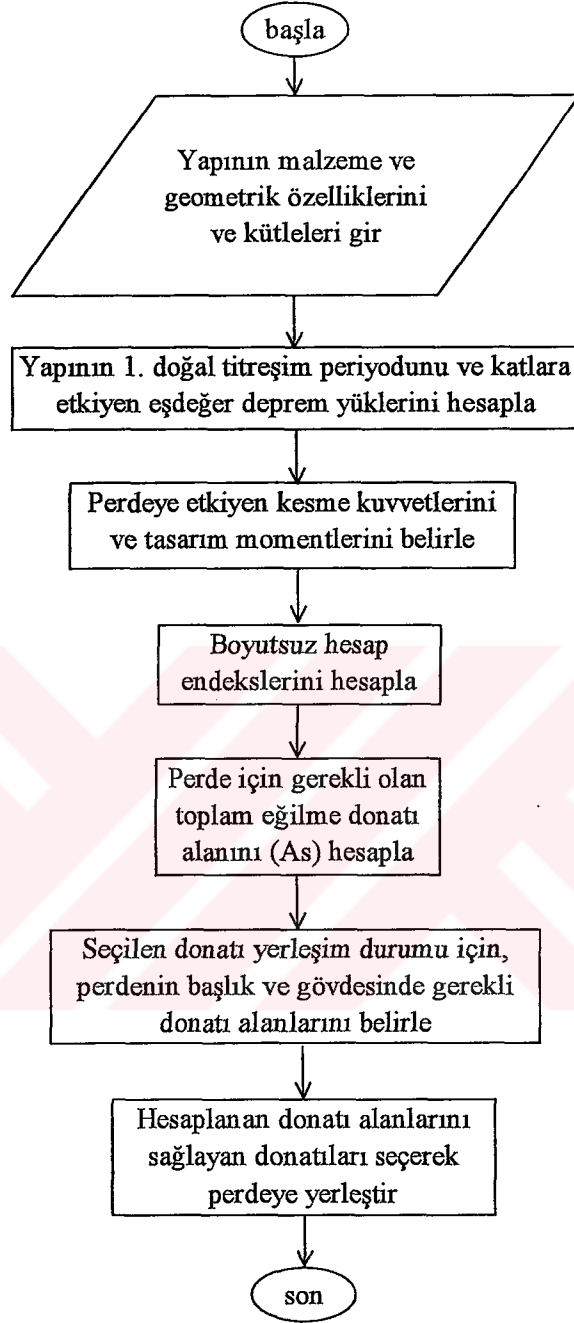
Genetik algoritmada tasarım değişkenlerinin belirlendiği araştırma uzayı, yani, muhtemel tasarım değişkenleri listesi GENLER.OPS dosyasında hazırlanmakta, ayrıca bu dosyaya perdelerin grup numaraları yazılmaktadır. Sistem, STA4-CAD altprogramında hazırlanmakta ve bu program GEN0.ST4 olarak kaydedilmektedir.

Perdeler için verilen önboyutlar, program çalıştırıldığında dikkate alınmamakta, bu boyutlar, sadece perdelerin doğrultusunu göstermek için kullanılmaktadır.

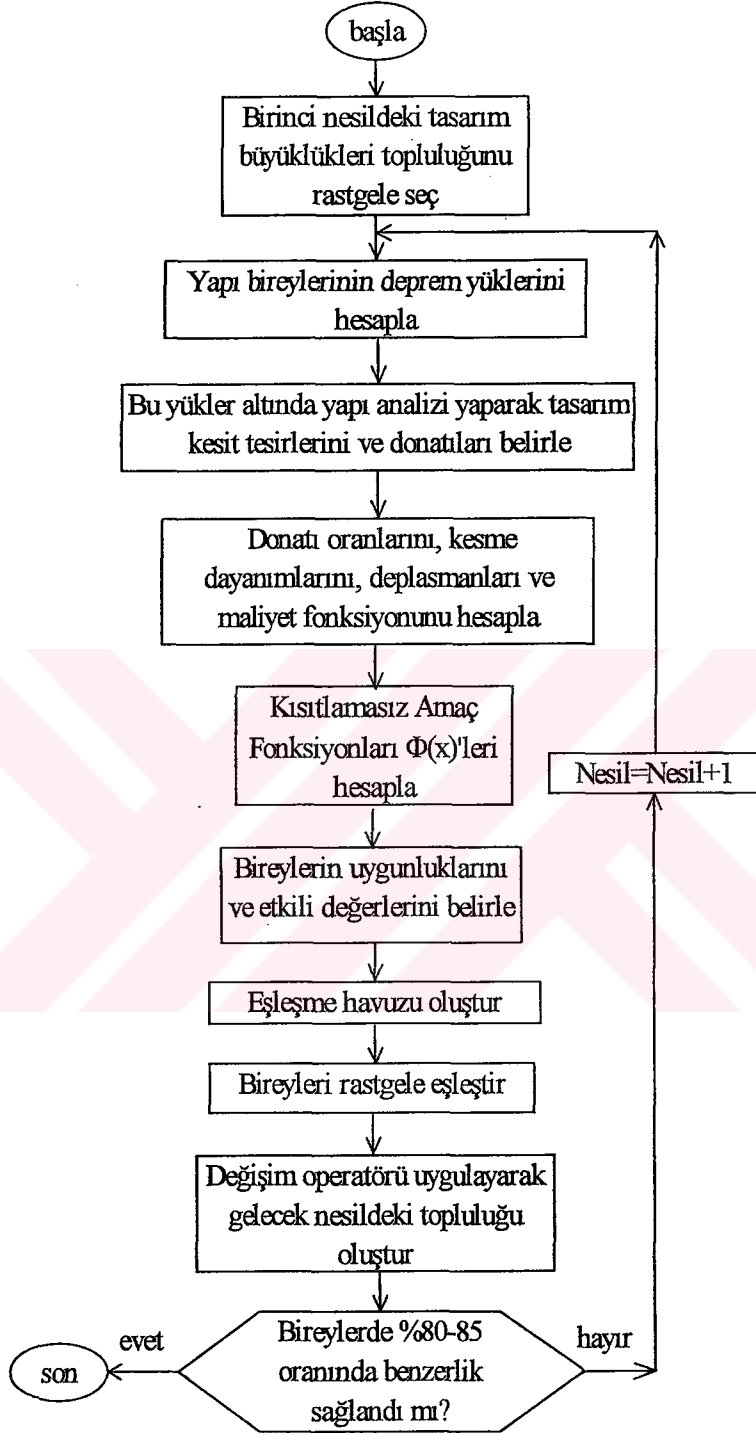
Program çalıştırıldığında, rastgele seçilen bireylerdeki tasarım değişkenleri değerleri daha önce hazırlanmış olan sistemde bulunan perdelerin enkesit uzunlukları olarak atanmakta ve sistem çözülerek maliyet hesabı yapılmakta, buna bağlı olarak amaç fonksiyonu hesaplanmaktadır. Bir nesildeki topluluk sayısı kadar bu işlemler tekrarlanmakta ve her bir hesap GEN1.ST4, GEN2.ST4....vs. olarak saklanmaktadır. Her nesil tamamlandığında genetik algoritma işlemleri uygulanmakta ve oluşan tablolar GENTAB1, GENTAB2....vs. olarak kaydedilmektedir. Döngü işlemlerine son verilebilmesi için nesildeki bireylerin en az %80-85 oranında benzer olmaları gerekmektedir. Benzer olan bu bireyler optimum çözümü temsil etmektedir.

Bu programların her ikisini de kapsayan genel akış diyagramı Şekil 5.2’de verilmiştir.





Şekil 5.1 Tek perdeli sistem için hazırlanan PERHES akış diyagramı



Şekil 5.1 Genetik algoritma ile maliyet optimizasyonu için hazırlanan PERDEOPT ve GENOPT akış diyagramı

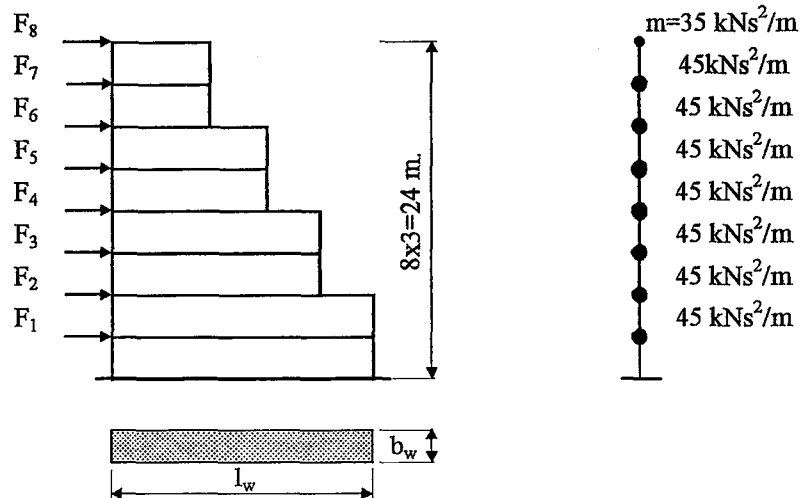
6. SAYISAL ÖRNEKLER

6.1 8 Katlı Tek Perdeli Yapı Sistemi

6.1.1 Örnek 1A

Çalışmada örnek olarak önce tek perdeli, 8 katlı bir yapı örneği ele alınarak, genetik algoritma yöntemi ile çözümü incelenmiştir.

Şekil 6.1’ de görülen söz konusu örnek yapının özellikleri aşağıda açıklanmıştır. Her iki katta bir perdenin l_w enkesit boyu değişmekte, b_w genişliği ise yapı yüksekliği boyunca sabit kalmaktadır ($b_w=0.25$ m). Binanın 1. derece deprem bölgesinde yapıldığı varsayılmakta ve binaya etki eden deprem kuvvetinin tek bir perde tarafından karşılanacağı düşünülmektedir. Kütleler kat hizalarında toplanmış ve perde boyutlarındaki değişimden dolayı oluşacak ağırlık farkı ihmal edilerek kat kütleleri sabit alınmıştır.



Şekil 6.1 Örnek 1A için betonarme perde ve kat hizalarında toplanmış kütleler

Yapının Malzeme ve Geometrik Özellikleri:

Malzeme	: C25/S420
Kat sayısı	: 8
Toplam bina yüksekliği	: 24 m
Perdelerin plandaki genişlikleri	: $b_w = 0.25 \text{ m}$
Deprem bölgesi	: 1
Bina önem katsayısı	: $I = 1$
Etkin yer ivmesi katsayısı	: $A_0 = 0.40$
Yerel zemin sınıfı	: Z2 ($T_A = 0.15$, $T_B = 0.40 \text{ s}$)
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	: $R = 6$

Perdelerin veya perdeli sistemlerin genetik algoritma ile maliyet optimizasyonunu yapabilmek için, sistemin çözümünde kullanılacak genetik algoritma ile ilgili bazı kabullerin de verilmesi gerekir.

Genetik Algoritma İle İlgili Kabuller:

Genler (İkili sayı sistemi elemanları)	: 1, 0
Dizi uzunluğu (bir dizideki toplam gen sayısı)	: 4
Tasarım değişkeni sayısı	: 4
Popülasyon sayısı (bir nesildeki birey sayısı)	: 14

Genetik algoritmanın kullanılabilmesi için yapılan bu ön kabullerden sonra “Araştırma Uzayı”nın belirlenmesi gerekir. Araştırma uzayı, o problemin bulunması istenen çözüm kümesinin elde edileceği muhtemel tasarım değişkenleri listesidir. Yani, araştırma uzayı içinde yer alan elemanlarla o problemin uygun çözümü elde edilebilir. Ancak bu uygun çözümler arasından sadece biri optimum çözümdür. Söz konusu problemde amaç, bu minimum maliyeti amaçlayan optimum çözümün genetik algoritma yöntemi ile bulunmasıdır.

Bu problemde, **ABYYHY (1997)** esas alınarak, yapıya etkiyen yükler altında sistemin minimum maliyetli tasarımı amaçlanmaktadır. Kat hizalarında toplanan kütlelerin sisteme etki eden toplam (sabit ve hareketli) düşey yükleri gösterdiği varsayılmaktadır. Deprem yükünün tamamının sözkonusu perde tarafından taşındığı düşünülen sistemde perdelerin enkesit genişlikleri sabit ($b_w=0.25\text{m}$), enkesit boyları (l_w 'ler) ise değişken alınmıştır. 8 katlı olan yapının l_w perde enkesit boylarının her iki

katta bir değiştiği kabul edilmiştir. Yani tasarım değişkeni olarak toplam dört farklı perde enkesit boy değerleri (l_{w1} , l_{w2} , l_{w3} , l_{w4}) gözönüne alınacaktır.

Söz konusu problemde amaç, yapının toplam maliyetini minimum yapacak ve deprem yönetmeliğinin koşullarına uygun dört farklı perde enkesit boyu l_w ' nin hesabıdır.

Araştırma Uzayının Belirlenmesi:

Problemdeki tasarım değişkenleri, iki katta bir değiştiği varsayılan l_w perde enkesit boylarıdır. Bu durumda problemde, dört adet tasarım değişkeni vardır. Araştırma uzayı muhtemel tasarım değişkenlerini içerdiğine göre, burada, belirlenmesi gereken araştırma uzayının toplam eleman sayısıdır. Bu da aşağıdaki şekilde belirlenir:

Problemde dizi uzunluğu (bir dizideki toplam gen sayısı) 4 seçilmiştir. İkili sayı sistemi “0” ve “1” den oluştuğuna göre, ikili sayı sistemini oluşturan en büyük sayı “1” dir. Dört eleman uzunluğuındaki bir dizinin (ikilik tabana göre dört basamaklı sayı) onluk tabandaki karşılığı en büyük sayıyı ifade eden değer i se “ $(1111)_2$ ”dir. Dört basamaklı, en büyük değer ifade eden bu sayının onluk tabandaki karşılığı esas alınarak araştırma uzayı eleman sayısı belirlenir:

$$(1111)_2 \rightarrow (15)_{10}$$

$(1111)_2$ sayısı onluk tabana çevrildiğinde $(15)_{10}$ sayısı elde edilir. Ancak $(0000)_2$ sayısı onluk tabana göre $(0)_{10}$ 'a karşılık gelmesine rağmen o da bir sayıdır ve bir tasarım değişkenini ifade edebilir. O halde bu problemde araştırma uzayının toplam eleman sayısı $15+1=16$ olur. Diziler, $A=0000$ ile $B=1111$ arasında değişen 16 farklı değer almakta ve her biri araştırma uzayındaki bir uzunluk değerine karşılık gelmektedir. Yani araştırma uzayının ilk elemanı (0000) olarak alınmakta ve bu değer araştırma uzayındaki ilk elemana karşılık gelmektedir. $(0000)_2$ değerinin onluk tabana göre karşılığı sıfır olduğuna göre hesap 1'den değil 0'dan başlayacağı için fonksiyon haritası $l_{wj} = S_{i+1}$ olur. Buradaki i, j. grubu gösteren diziye karşılık gelen onluk taban değeridir. Bu 16 eleman mühendislik tecrübelerine dayanılarak istenildiği şekilde birbirinden bağımsız değerler olarak alınabilir. şöyle ki:

Problemde, tasarım değişkenleri l_w ler, yani perdelerin enkesit boylarıdır. b_w 'ler, yani perdelerin enkesit genişlikleri sabit ve 0.25 m olarak alınmıştır. Deprem yönetmeliğine göre bir taşıyıcı sistem elemanının perde olabilmesi için $l_w/b_w \geq 7$ olması gerektiği ve minimum perde enkesit boyu $l_w = 7 \times 0.25 = 1.75\text{m}$ ' den daha küçük olamadığından l_w boyları için 1.75m' den büyük 16 adet değer seçilir ve oluşturulan bu listeye "araştırma uzayı" veya "set" adı verilir. Araştırma uzayındaki her bir değer ikilik tabandaki bir sayıya karşılık gelmektedir. Bu problemde seçilen araştırma uzayı elemanları aşağıda Tablo 6.1' de gösterilmiştir:

Tablo 6.1 Örnek 1A için araştırma uzayı elemanlarının belirlenmesi

İkilik Sayılar	Onluk Taban Karşılığı	Set'teki Sıra Numarası	Perde Enkesit Boyları (cm)
0000	0	1	180
0001	1	2	200
0010	2	3	220
0011	3	4	240
0100	4	5	260
0101	5	6	280
0110	6	7	300
0111	7	8	320
1000	8	9	340
1001	9	10	360
1010	10	11	380
1011	11	12	400
1100	12	13	420
1101	13	14	440
1110	14	15	460
1111	15	16	480

Bireylerin Oluşturulması:

Bu örnek problemde, bir nesli oluşturan toplam birey sayısı 14 olarak kabul edilmiştir. Bireylerin uzunlukları, yani, bir bireyi oluşturan toplam gen sayısı ise şöyle belirlenir: Bir dizi, sadece bir tasarım değişkenini, yani, bir perde enkesit boy değerini ifade eder. Bu problemde dört adet tasarım değişkeni olduğuna göre dört tane tasarım değişkeninin, yani dört tane dizinin yan yana yazılması gerekir. Yan yana yazılan bu dizilerin toplamına bir "birey" denir. O halde bireyin uzunluğu şöyle hesaplanabilir:

$$4(\text{dizi uzunluğu}) \times 4(\text{tasarım değişkeni sayısı}) = 16 (\text{gen sayısı})$$

F gen haritası, $F = Z(l_{w1}, l_{w2}, l_{w3}, l_{w4})$ 'dür. Buradan Genetik Algoritma kodlamasına geçilecek olursa;

$$F = Z(1111, 1111, 1111, 1111) \text{ elde edilir.}$$

Böylece bireyler, (0000,0000,0000,0000) ile (1111,1111,1111,1111) değerleri arasında değişmektedir. Öyleyse bir birey, toplam 16 adet gen'den, yani 16 adet "1" ve "0" lardan oluşmaktadır. Birey uzunluğu ve toplam birey sayısı belirlendikten sonra 1. nesildeki bireyler rastgele belirlenir. Yani, gen sayısı 16 olan (16 adet "1" ve "0" lardan oluşan) bireyin genleri rastgele belirlenir ve rastgele belirlenen 14 adet birey 1. nesildeki topluluğu oluşturur.

1. Nesil Tablosunun Hazırlanması:

Tablo oluşturulurken 1. sütuna sırasıyla birey numaraları, 2. sütuna ise, rastgele oluşturulmuş 14 adet bireyler topluluğu yazılmaktadır. Tablo 6.12'deki 1. birey "1011011110010101" olarak seçilmiştir. Buradaki "1" ve "0" lar bilgisayar tarafından rastgele olarak belirlenmiştir. 16 uzunluğundaki bu birey 4 adet tasarım değişkenini temsil etmektedir. O halde bu birey dörder adet genlerine ayrılarak her bir diziye karşılık gelen tasarım değişkenleri Tablo 6.1' den alınırsa 1. çözümün bulunması için gerekli perde enkesit boyları için ($l_{w1}, l_{w2}, l_{w3}, l_{w4}$) için sayısal değerler [400, 320, 360, 280] cm elde edilmiş olur.

Perde enkesit boyları aşağıdan yukarıya doğru alınmıştır. Yani, l_{w1} ; 1. ve 2., l_{w2} ; 3. ve 4., l_{w3} ; 5. ve 6., l_{w4} ise 7. ve 8. katlardaki perde enkesit boy değerleridir. Bu değerler, Tablo 6.11'deki 1. neslin 1. satırındaki 3, 4, 5 ve 6. sütunlarında da görölmektedir.

Hesabın ilk aşamasında (Tablo 6.12 - 1. satır), elde edilen bu tasarım değişkenlerine göre yapı sisteminin analizi yapılarak gerekli donatıları ve maliyeti hesaplanır. Bütün bu hesaplar sonucunda, ele alınan 1. bireyin uygun bir çözüm olup olmadığı araştırılır.

• 1. Nesildeki 1. Birey İçin Hesap

Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi:

Binanın 1. doğal titreşim periyodu $T_1 = 0.77406$ s olarak hesaplanmıştır. Periyot hesabı Tablo 6.2’de gösterilmiştir. Perde boyutlarının değiştiği diğer çözümlerde de periyot aynı yöntemle hesaplanmıştır.

Tablo 6.2 Örnek 1A-1.birey için 1. doğal titreşim periyodu hesabı

Kat No	m_i (kNm/s ²)	d_{fi} (m)	d_{fi}^2	$m_i \times d_{fi}^2$	F_{fi} (kN)	$F_{fi} \times d_{fi}$ (kNm)
8	35	8.92599×10^{-5}	7.96734×10^{-9}	2.78857×10^{-7}	0.181818	1.62291×10^{-5}
7	45	7.31531×10^{-5}	5.35137×10^{-9}	2.40812×10^{-7}	0.204546	1.49631×10^{-5}
6	45	5.74085×10^{-5}	3.29573×10^{-9}	1.48308×10^{-7}	0.175325	1.00651×10^{-5}
5	45	4.24117×10^{-5}	1.79875×10^{-9}	8.09437×10^{-8}	0.146104	6.19651×10^{-6}
4	45	2.83888×10^{-5}	8.05922×10^{-10}	3.62665×10^{-8}	0.116883	3.31817×10^{-6}
3	45	1.62548×10^{-5}	2.64219×10^{-10}	1.18898×10^{-8}	8.76623×10^{-2}	1.42493×10^{-6}
2	45	7.44116×10^{-6}	5.53708×10^{-11}	2.49169×10^{-9}	5.84416×10^{-2}	4.34873×10^{-7}
1	45	2.25169×10^{-6}	5.07011×10^{-12}	2.28155×10^{-10}	2.92208×10^{-2}	6.57961×10^{-8}
				$\Sigma m_i \times d_{fi}^2$ 7.99797×10^{-7}	$\Sigma F_{fi} \times d_{fi}$ 5.26976×10^{-5}	

$$T_1 = 2\pi \left[\sum_{i=1}^N (m_i d_{fi}^2) / \sum_{i=1}^N (F_{fi} d_{fi}) \right]^{1/2} = 2 \times 3.14159265 \times (7.99797 \times 10^{-7} / 5.26976 \times 10^{-5})^{1/2}$$

$$T_1 = 0.77406 \text{ s}$$

$$T_1 > T_B \rightarrow S(T_1) = 1.4742$$

$$A(T_1) = 0.5897$$

$$T_1 > T_A \rightarrow R_a(T_1) = 6$$

Binanın toplam ağırlığı:

$$W = 3433.5 \text{ kN}$$

Toplam eşdeğer deprem yükü:

$$V_t = 337.4539 \text{ kN}$$

Kritik perde yüksekliği:

$$H_{cr} = 4 \text{ m hesaplanmıştır.}$$

Perde Uç Bölgesi Uzunluklarının Hesabı:

Uç bölgesi uzunlukları, Şekil 4.6' daki kurallara göre kritik bölge için ve kritik bölge dışında hesaplanarak Tablo 6.3' de yazılmıştır.

Tablo 6.3 Örnek 1A-1. birey için perde uç bölgelerinin uzunlukları

Kat No	l_u (m)
8	0.28
7	0.28
6	0.36
5	0.36
4	0.32
3	0.32
2	0.80
1	0.80

Eşdeğer Deprem Yükleri ve Perde Kesit Tesirlerinin Hesabı:

Tablo 6.4' de, ele alınan 1. birey için eşdeğer deprem yükleri, kat kesme kuvvetleri, hesap ve tasarım momentleri hesaplanarak yazılmıştır.

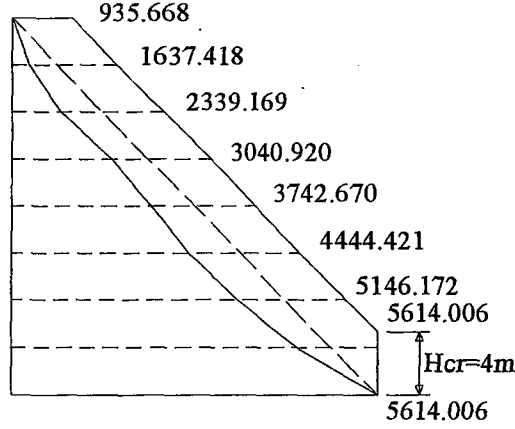
Tablo 6.4 Örnek 1A-1.birey için eşdeğer deprem yükleri ve perde kesit tesirleri

Kat No	H_i (m)	w_i (kN)	$w_i \times H_i$ (kNm)	F_i (kN)	V_i (kN)	M_0 (kNm)	M_t (kNm)
8	24.00	343.35	8240.40	61.355	000.000	0000.000	0935.668
7	21.00	441.45	9270.45	69.025	061.355	0184.066	1637.418
6	18.00	441.45	7946.10	59.164	130.380	0575.205	2339.169
5	15.00	441.45	6621.75	49.303	189.544	1143.837	3040.920
4	12.00	441.45	5297.40	39.443	238.847	1860.379	3742.670
3	09.00	441.45	3973.05	29.582	278.290	2695.249	4444.421
2	06.00	441.45	2648.70	19.721	307.872	3618.864	5146.172
1	03.00	441.45	1324.35	09.861	327.593	4601.644	5614.006
0	00.00	000.00	0000.00	00.000	337.454	5614.006	5614.006

$$\begin{aligned} \Sigma w_i \times H_i & \quad \Sigma F_i \\ 45322.20 & \quad 337.454 \end{aligned}$$

Hesap eğilme momentleri bulunduktan sonra yönetmelik koşullarına göre tasarıma esas momentlerin hesaplanması gereklidir. Temel üstünden itibaren $H_{cr}=4m$

yükseklik boyunca taban momenti sabit, yani, 5614.006 kNm olacak, 4m' nin üzerindeki yükseklikler için ise, hesap eğilme momentinin binanın tabanındaki ve tepe noktasındaki değerlerini birleştiren doğruya paralel olarak azalacaktır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Örnek 1A-1. birey için tasarım eğilme momentleri

Donatı Hesapları:

Sistemin betonarme hesabı yapılırken Kısım 4.5' de açıklanan eğik eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki dikdörtgen betonarme kesitlerde taşıma gücü formüllerinden faydalanılmıştır (Çakıroğlu ve Özer, 1990).

Tek kat için perdeye gelen normal kuvvet $N_d = 150$ kN alınmıştır.

Tablo 6.5 Örnek 1A-1. birey için μ katsayılarının ve A_s ' in hesabı

Kat No	n	m_x	m	μ	A_s (cm ²)
8	0.008571	0.03342	0.03342	0.08310	41.55
7	0.017143	0.04774	0.04774	0.11202	56.01
6	0.020000	0.03754	0.03754	0.07894	50.75
5	0.030000	0.05848	0.05848	0.12548	71.70
4	0.037500	0.06944	0.06944	0.14722	84.12
3	0.045000	0.08041	0.08041	0.16928	96.73
2	0.042000	0.05614	0.05614	0.10355	73.97
1	0.048000	0.05614	0.05614	0.09625	68.75

Tablo 6.5' de, her katta, o kata etkiyen yatay ve düşey yükler altında farklı A_s ' ler, yani, toplam düşey donatı alanları hesaplanmıştır. Ancak, perde boyutlarının her iki katta bir değiştiği varsayıldığı için perdeler konacak donatılar da iki katta bir

değiştirilmiştir. Bu nedenle, benzer perdeler arasından en fazla donatı alanına sahip perdeye yerleştirilen donatı miktarı benzer diğer perdeye de yerleştirilmiştir. Perde boyutlarının rastgele seçimi sırasında, alt kattaki perde boyutunun bir üst kattaki perde boyutundan küçük olması durumunda donatı hesabı, alttaki, yani küçük olan perdenin boyutları dikkate alınarak yapılmaktadır.

Maliyet Hesabı (Amaç Fonksiyonu Hesabı):

Bu problemde amaç fonksiyonu, perdeli sistemin maliyetidir. Maliyet hesabının genel formülasyonu 6.1 bağıntısıyla verilmiştir.

$$f_i(x) = C_{bc} W_{\phi l} + C_{bb} V_{bt} \quad (6.1)$$

Burada,

f_i : maliyet fonksiyonu (TL)

V_{bt} : perdelerdeki toplam beton miktarı (m^3),

$W_{\phi l}$: perdelerdeki toplam çelik miktarı (kN),

C_{bb} : betonun 1 m^3 ' ünün fiyatı,

C_{bc} : çeliğin 1 kN' unun fiyatıdır.

Problemde sadece kullanılan beton ve çeliğin maliyetleri dikkate alınmış, nakliye, işçilik, kalıp vb. maliyetlerinin pratik olarak değişmeyeceği varsayılmıştır.

Çeliğin birim fiyatı ile betonun birim fiyatı arasındaki oran $C_{bc} / C_{bb} = 0.5$ kabul edilmiştir. Buna göre amaç fonksiyonu için;

$$\text{Min } f(x) = 0.5W_{\phi l} + V_{bt} \quad (6.2)$$

yazılabilir.

Buradaki donatı miktarı bağımsız değişken olarak probleme katılmamakta, ancak, değişen her l_w tasarım değişkenleri için farklı değer aldığından bağımlı değişken olmaktadır.

Ele alınan problemde, donatılar hesaplandıktan sonra yerleştirilen donatılar dikkate alınarak maliyet hesabı yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

$$V_{bt} = 20.40 \text{ m}^3$$

$$W_{gl} = 33.9556 \text{ kN}$$

Hesaplanan bu değerler amaç fonksiyonunda yerine konulursa;

$$f(x) = 0.5 \times 33.9556 + 20.40 = 37.3778 \text{ bulunur.}$$

Hesaplanan bu değer normalize edilmiş maliyet değeridir. Gerçek maliyet değeri büyük rakamlarla ifade edildiği ve tablolarda bu rakamların kullanılma zorluğu olduğu için normalize edilmiş maliyet değerinin kullanılması daha uygundur. Elde edilen bu maliyet değeri Tablo 6.12'de, 1. satırın $f(x)$ ile gösterilen 7. sütununa yazılmıştır.

Bir sonraki aşama, 1. iterasyonda seçilen bu çözümün yönetmelik koşullarına uygun olup olmadığının kontrolüdür.

Kısıtlamaların Hesabı:

5.6a bağıntısıyla hesaplanan 1. kesme kuvveti kısıtlaması Tablo 6.6' da, (5.7a) bağıntısıyla hesaplanan 2. kesme kuvveti kısıtlaması Tablo 6.7' de, (5.8) bağıntısıyla hesaplanan donatı yüzdesi kısıtlaması Tablo 6.8'de, (5.9b) bağıntısıyla hesaplanan 1. yerdeğiştirme kısıtlaması Tablo 6.9'da, (5.10b) bağıntısıyla hesaplanan 2. yerdeğiştirme kısıtlaması Tablo 6.10'da ve son olarak (5.11a) bağıntısıyla hesaplanan tasarım değişkenlerinin boyut kısıtlaması Tablo 6.11'de gösterilmiştir. (4.20) ile verilen V_{r1} bağıntısında bulunan ρ_{sh} yatay gövde donatı oranını 0.0025 olarak alınmıştır.

Tablo 6.6 Örnek 1A - 1. birey için 1. kesme kuvveti kısıtlama hesabı

Kat No	H_i (m)	V_{di} (kN)	V_{ri} (kN)	$(V_{di} / V_{ri}) - 1$	c_i
8	24.00	00.000	0000.000	0.0000	0.0000
7	21.00	61.355	1162.000	-0.9472	0.0000
6	18.00	130.380	1162.000	-0.8878	0.0000
5	15.00	189.544	1494.000	-0.8731	0.0000
4	12.00	238.847	1494.000	-0.8401	0.0000
3	9.00	278.290	1328.000	-0.7904	0.0000
2	6.00	307.872	1328.000	-0.7682	0.0000
1	3.00	327.593	1660.000	-0.8027	0.0000
0	0.00	337.454	1660.000	-0.7967	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.0000$$

Tablo 6.7 Örnek 1A – 1. birey için 2. kesme kuvveti kısıtlama hesabı

Kat No	H _i (m)	V _{di} (Kn)	V _{r2i} (Kn)	(V _{di} / V _{r2i}) – 1	c _i
8	24.00	00.000	0000.000	0.0000	0.0000
7	21.00	61.355	2571.800	-0.9761	0.0000
6	18.00	130.380	2571.800	-0.9493	0.0000
5	15.00	189.544	3306.600	-0.9427	0.0000
4	12.00	238.847	3306.600	-0.9278	0.0000
3	9.00	278.290	2939.200	-0.9053	0.0000
2	6.00	307.872	2939.200	-0.8953	0.0000
1	3.00	327.593	3674.000	-0.9108	0.0000
0	0.00	337.454	3674.000	-0.9082	0.0000

$\Sigma c_i = 0.0000$

Tablo 6.8 Örnek 1A - 1. birey için donatı yüzdesi kısıtlama hesabı

Kat No	ρ_i	ρ_{max}	$(\rho_i / \rho_{max}) - 1$	c _i
7-8	0.01228	0.04	-0.6930	0.0000
5-6	0.01247	0.04	-0.6883	0.0000
3-4	0.01486	0.04	-0.6285	0.0000
1-2	0.01228	0.04	-0.6930	0.0000

$\Sigma c_i = 0.0000$

Tablo 6.9 Örnek 1A - 1. birey için 1. yerdeğiştirme kısıtlama hesabı

Kat No	h _i (cm)	Δ_i (cm)	$\Delta_i - \Delta_{(i-1)}$ (cm)	γ_i	$(\gamma_i / 0.0035) - 1$	c _i
8	300	3.01	0.54	0.0018	-0.4857	0.0000
7	300	2.47	0.53	0.0018	-0.4857	0.0000
6	300	1.94	0.51	0.0017	-0.5143	0.0000
5	300	1.43	0.47	0.0016	-0.5429	0.0000
4	300	0.96	0.41	0.0014	-0.6000	0.0000
3	300	0.55	0.30	0.0010	-0.7143	0.0000
2	300	0.25	0.17	0.0006	-0.8200	0.0000
1	300	0.08	0.08	0.0003	-0.9143	0.0000
0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

$\Sigma c_i = 0.0000$

Tablo 6.10 Örnek 1A - 1. birey için 2. yerdeğiştirme kısıtlama hesabı

Kat No	h_i (cm)	Δ_i (cm)	$\Delta_i - \Delta_{(i-1)}$ (cm)	γ_i	$(\gamma_i / 0.02/R) - 1$	c_i
8	300	3.01	0.54	0.0018	-0.4600	0.0000
7	300	2.47	0.53	0.0018	-0.4600	0.0000
6	300	1.94	0.51	0.0017	-0.4900	0.0000
5	300	1.43	0.47	0.0016	-0.5200	0.0000
4	300	0.96	0.41	0.0014	-0.5800	0.0000
3	300	0.55	0.30	0.0010	-0.7000	0.0000
2	300	0.25	0.17	0.0006	-0.8200	0.0000
1	300	0.08	0.08	0.0003	-0.9100	0.0000
0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.0000$$

Tablo 6.11 Örnek 1A - 1. birey için tasarım değişkenleri kısıtlama hesabı

Kat No	$l_{w(i)}$ (cm)	$(l_{w(i+1)}/l_{w(i)})-1$ (cm)	c_i
7-8	280	-0.2222	0.0000
5-6	360	0.1250	0.1250
3-4	320	-0.2000	0.0000
1-2	400	0.0000	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.1250$$

Toplam zorlanma katsayısı olan “C” (3.4) bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$C = \Sigma c_i = 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.1250 = 0.1250$$

Hesaplanan bu C katsayısı Tablo 6.12’ deki 1. nesilde, 1. satırın 8. sütununa yazılır. $C > 0$ olarak hesaplandığı için 1. nesildeki 1. birey bu sistemin çözümü için uygun değildir. Yani ele alınan tasarım değişkenleri ile hesaplanan sistem optimum çözümü ifade etmediği gibi, bu problemin uygun çözümü de değildir. Kısıtlamaların hepsi sağlanmamıştır, yani elde edilen çözüm hesaplar yapılırken kullanılan şartname koşullarına uygun değildir.

Tablo İşlemleri:

Problemin çözümüne başlanmasından itibaren C katsayısının hesabına kadar yapılan bütün işlemler rastgele oluşturulmuş olan 1. nesildeki 14 ayrı birey için tekrarlanır ve daha önce anlatıldığı gibi tablodaki yerlerine yazılır. Her bir birey için maliyet

değerleri ve C zorlanma katsayıları hesaplandıktan sonra o tabloda bulunan bütün işlemler tablo üzerinde yapılır.

1. nesildeki 1. sütunda seçilen birey numaraları, 2. sütunda ise rastgele seçilen bireyler gösterilmiştir. 3., 4., 5. ve 6. sütunlarda seçilen bireylerin ifade ettiği perde l_w enkesit boyları, yani tasarım kısıtlamaları yer almaktadır. 7. sütunda ise bu tasarım değişkenleri kullanılarak hesaplanan amaç fonksiyonu $f(x)$ değerleri yazılmıştır. 8. sütunda kısıtlamaların normalleştirilmesiyle elde edilen C katsayıları vardır. Bu sütuna dikkat edilirse; sadece 3. ve 10. satırlardaki bireyler için tüm kısıtlamalar sağlanmakta ($C = 0$), diğer bireylerde ise bazı kısıtlamalar sağlanmadığı için $C > 0$ bulunmuştur. Amaç fonksiyonu değerlerine bakılırsa; 6. satırdaki bireyden elde edilen amaç fonksiyonu değeri en küçük değeri almaktadır. Ancak bu birey için hesaplanan C katsayısı sıfırdan farklı bir değer aldığı için ($C = 0.6538$) yani kısıtlamalar sağlanmadığından çözüm için uygun değildir. 1. nesilde, 14 birey arasında 3. bireyin hiçbir kısıtlayıcı tarafından zorlanmayan, en düşük maliyete sahip ($f(x)=31.8033$) en uygun birey olduğu görülmektedir.

Değiştirilmiş amaç fonksiyonu $\Phi(x)$, maliyet fonksiyonu değerinin C zorlanma katsayısı ve K gibi bir sabitle çarpılarak büyütülmesiyle elde edilir. $\Phi(x)$, sınırlayıcısız bir fonksiyondur ve genetik algoritma ile minimumu elde edilmektedir.

Tablo 6.12 Örnek 1A için 1. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	l_{w4} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udif}/F_{udif(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş φ_1	φ_2	Gelecek nesil
1	1011011110010101	400	320	360	280	37.3778	0.1250	84.1001	1142.3042	1.4369	1	1011011110010101	8	2	1011011110010101
2	0010010111000110	220	280	420	300	32.9656	0.7727	287.6908	938.7134	1.1808	1	0010010111000110	6	0	0100010111000110
3	1000011101000000	340	320	260	180	31.8033	0.0000	31.8033	1194.6009	1.5027	2	1000011101000000	11	13	1000011101000000
4	101000011101100	380	200	460	420	39.9351	1.3000	559.0914	667.3128	0.8394	1	101000011101100	14	8	1010000101101100
5	0000011111001011	180	320	420	400	35.6508	3.0724	1130.9860	95.4182	0.1200	0	1000011101000000	12	3	1000000110000000
6	0100001010010001	260	220	360	200	29.5414	0.6538	222.6831	1003.7211	1.2626	1	0100001010010001	2	0	0010001010010001
7	110100011111000	440	200	480	340	40.1525	1.4000	602.2875	624.1167	0.7851	1	110100011111000	13	5	1101011001111000
8	0011010000001100	240	260	180	420	30.6738	2.1984	705.0066	521.3976	0.6559	1	0011010000001100	1	2	0011010000001100
9	1001011000011101	360	300	200	440	36.3582	1.2000	472.6566	753.7476	0.9482	1	1001011000011101	10	6	1001011001011101
10	1100011001000010	420	300	260	220	34.2407	0.0000	34.2407	1192.1635	1.4997	2	1100011001000010	9	6	1100011000000010
11	0001101011000101	200	380	420	280	34.4250	1.0282	388.3829	838.0214	1.0542	1	0001101011000101	3	11	0001101011000101
12	0110000110000000	300	200	340	180	29.7360	0.8114	271.0139	955.3903	1.2018	1	0110000110000000	5	3	0110011101000000
13	0010111000001111	220	460	180	480	36.4352	3.1787	1194.6009	31.8033	0.0400	0	1100011001000010	7	5	1100000111000010
14	1001010101100001	360	280	300	200	32.5577	0.0714	55.8039	1170.6003	1.4725	1	1001010101100001	4	8	1001010111100001

$\Phi(x)$ hesaplanmadan önce bu formülde kullanılan K parametresinin belirlenmesi gerekir. K, kısıtlamaların zorlandığı sistemlerde zorlanma katsayısı olarak hesaplanan C değerinin daha etkin bir biçimde probleme katılabilmesi için seçilen bir katsayıdır. K değeri C ile çarpılarak zorlanma katsayısı büyütülmekte ve böylece kısıtlamaların en çok zorlandığı sistemlerin bir sonraki nesle geçmemeleri, yani tablodan daha kolay atılmaları sağlanmaktadır. K değerinin, 10 değerinden daha büyük alınması problemin çözümünü fazla etkilememektedir. Bu nedenle, bu değer genetik algoritmanın inşaat mühendisliğine uygulandığı bir çok çalışmada olduğu gibi, bu çalışma için de 10 alınması uygun bulunmuştur (Rajeev and Krishnamoorthy, 1992). Şimdi $\Phi(x)$ kısıtlanmamış optimizasyon problemi genetik algoritma ile çözülebilir.

Tablo 6.12' nin 9. sütununda, değiştirilmiş amaç fonksiyonu $\Phi(x)$ değerleri gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra neslin en uygun bireyinin seçilmesi gerekir. En iyi bireyin en fazla uygunluğa sahip olması için Goldberg şunu önermiştir: Minimizasyon problemleri için, her bir $\Phi(x)$ büyük bir sabit değerden çıkarılmalıdır (Goldberg, 1989). Burada sunulan çalışmada, bu sabit değer $\Phi(x)$ 'in maksimum ve minimum değerlerinin toplanmasıyla bulunmuştur. Bireyler arasından seçim yapabilmek için bir uyum kriterine ihtiyaç vardır. Bu kriter en iyi bireyin uyum derecesini maksimum yapacak şekilde seçilir.

$F_{ud(i)}$, her bir bireyin uyum derecesidir. Buradaki, i indisi ise o nesildeki bireyi gösterir. 10. sütunda 14 birey için uygunluk değerleri hesaplanmıştır. Her bir bireyin uyum faktörü ise $F_{ud(i)}/F_{ort}$ şeklinde hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler 11. sütuna yazılmıştır. n toplam birey sayısını ifade etmek üzere $F_{ort} = \sum F / n$ 'e eşittir. Uyum faktörü 0.5'in altında olan bireyler probleminden çıkarılmakta bunların yerine uyum faktörleri yüksek olan bireyler kopyalanmaktadır. İşlem yapılan nesil içinde uyum faktörü 0.5'in altında birey yoksa uyum faktörü en kötü olan birey probleminden çıkarılmakta, bu bireyin yerine uyum faktörü en yüksek olan birey kopyalanmaktadır. Problemden çıkarılan birey sayısı kadar kopya yapıldığından toplam birey sayısı değişmez. Bu yöntem Darwin'in güçlü olanın hayatta kalması prensibine dayanmaktadır. Böylece 12. sütunda probleminden çıkarılan ve bunların yerine kopyalanan bireylerin sayısı gösterilmiştir. Bu çalışmada 5. ve 13. bireyler ölmüş bunların yerine uygunlukları yüksek olan 3. ve 10. bireyler kopyalanmıştır.

Bir sonraki adım, bir sonraki nesil için yeni topluluk oluşturmaktır. İki genetik operatör, üreme (*reproduction*) ve çaprazlama (*crossover*) bu probleme uygulanmıştır. Üreme operatörü geçerli olan topluluktan uygun bireyleri seçer ve onları eşleşme havuzuna (*mating pool*) yerleştirir. Eşleşme havuzunda en yüksek uygunluklu bireylerin uyum derecesi sayısı kadar kopyası elde edilir. Eşleşme havuzunda kopyalanan bireyler 13. sütunda gösterilmiştir.

Bundan sonraki aşama çaprazlama operatörünün uygulanmasıdır. Bu işlemin nasıl yapıldığı aşağıda açıklanmıştır: Bu çalışmada iki alanlı çaprazlama işlemi yerine getirilmiştir. Çaprazlama işleminin yapılabilmesi için bireyler arasında eşleşme yapılır. Toplam 14 birey olduğuna göre 7 çift meydana gelir. Bireyler rastgele eşleştirilir. 14. sütunda rastgele eşleştirilen bireyler gösterilmiştir. 15. ve 16. sütunlarda ise seçilen çiftler arasında çaprazlama işleminin yapılacağı çaprazlama alanları rastgele seçilmiştir ve bu alanlar bireylerin altları çizilerek gösterilmiştir. Eşleşen çiftler için çaprazlama alanları da aynı seçilmiştir. 17. sütunda çaprazlama operatörünün uygulandığı yeni bireyler gösterilmiştir. Bu yeni topluluk, bir önceki neslin çocuklarıdır ve bir sonraki neslin başlangıç değerlerini ifade eder.

Tablo 6.13 ile verilen 2. nesilde genetik algoritma, bir önceki nesilden elde edilen yeni nesille tekrarlanır. 2. nesilde maliyet fonksiyonunun minimum değeri 6. satırdaki bireyden elde edilmiştir ($f(x) = 28.3204$). Ancak bu değer $C = 1.4523$ kadar zorlanmaktadır. Bu nedenle bu değer aranan optimum değer olamaz. Amaç fonksiyonunun minimum olduğu ve aynı zamanda kısıtlamaların zorlanmadığı birey ise $f(x) = 31.8033$ ile 3. bireydir.

Bu işlemler tekrarlanarak 28. nesilde optimum bireye ulaşılmıştır (Tablo 6.14). İşleme devam edilerek bir çok nesil daha aranabilir; ancak, topluluğun uygunluğunda çok fazla artış olmaz ve ardışık topluluklarda en iyi birey değişmez. Topluluk matrisindeki elemanların %80 – 85 oranında benzer olması işleme son verilmesi için yeterli bir kriterdir. %80 - 85 oranında benzer bir değer mevcutsa, o değer problemin optimum çözümüdür denilebilir. Bu problemde, 28. nesilde yapılan işlemler sonucunda elde edilen topluluktaki benzer bireylerin toplam birey sayısına oranı %92.86'dır ve bu değer problemin çözümü için yeterlidir. O halde optimum perde kesit boyutları [360, 260, 200, 180] dir. Yani $l_{w1}=360$ cm, $l_{w2}=260$ cm, $l_{w3}=200$ cm ve $l_{w4}=180$ cm seçildiğinde en düşük maliyetli sistem seçilmiş olduğu söylenebilir.

Tablo 6.13 Örnek 1A için 2. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	l_{w4} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	ϕ_{a1}	ϕ_{a2}	Gelecek nesil
1	1011011110010101	400	320	360	280	37.3778	0.1250	84.1001	652.7099	1.3788	1	1011011110010101	3	6	10	10110111101010101
2	0100010111000110	260	280	420	300	33.6721	0.5769	227.9264	508.8835	1.0750	1	0100010111000110	9	11	16	0100010111011101
3	1000011101000000	340	320	260	180	31.8033	0.0000	31.8033	705.0066	1.4893	2	1000011101000000	1	6	10	1000011110000000
4	1010000101101100	380	200	300	420	35.8701	0.9000	358.7010	378.1089	0.7987	1	1010000101101100	7	7	11	1010000001101100
5	1000000110000000	340	200	340	180	30.9088	0.7205	253.6067	483.2032	1.0207	1	1000000110000000	11	8	15	1000000111000100
6	0010001010010001	220	220	360	200	28.3204	1.4523	439.6176	297.1924	0.6278	1	0010001010010001	14	5	9	0010010110010001
7	1101011001111000	440	300	320	340	38.5217	0.1292	88.2917	648.5182	1.3699	1	1101011001111000	4	7	11	1101011011111000
8	0011010000001100	240	260	180	420	30.6738	2.1984	705.0066	31.8033	0.0672	0	0011010000001100	13	5	12	0011000111001100
9	1001011001011101	360	300	280	440	37.6156	0.5714	252.5511	484.2588	1.0229	1	1001011001011101	2	11	16	1001011001000110
10	1100011100000010	420	300	180	220	33.0062	0.2222	106.3460	630.4639	1.3318	1	1100011100000010	12	10	14	1100011000000010
11	0001101011000101	200	380	420	280	34.4250	1.0282	388.3829	348.4271	0.7360	1	0001101011000101	5	8	15	0001101010000001
12	0110011101000000	300	320	260	180	30.4964	0.0667	50.8375	685.9724	1.4490	1	0110011101000000	10	10	14	0110011101000000
13	1100000111000010	420	200	420	220	35.7907	1.1000	429.4884	307.3215	0.6492	1	1100000111000010	8	5	12	1100010000000010
14	1001010111100001	360	280	460	200	36.4959	0.6429	271.1280	465.6819	0.9837	1	1001010111100001	6	5	9	10010010111100001

Tablo 6.14 Örnek 1A için 28. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	l_{w4} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	φ_1	φ_2	Gelecek nesil
1	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	2	1001010000010000	9	10	15	1001010000010000
2	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	4	2	6	1001010000010000
3	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	10	0	4	1001010000010000
4	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	2	2	6	1001010000010000
5	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	13	7	11	1001010000010000
6	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	11	9	16	1001010000010000
7	1001010000010000	360	260	220	180	30.1455	0.0000	30.1455	30.2683	0.9950	1	1001010000010000	12	8	14	1001010000010000
8	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	14	5	12	1001010000010000
9	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	1	10	15	1001010000010000
10	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	3	0	4	1001010000010000
11	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	6	9	16	1001010000010000
12	1010010000010000	380	260	200	180	30.4744	0.0000	30.4744	29.9394	0.9842	0	1001010000010000	7	8	14	1001010000010000
13	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	5	7	11	1001010000010000
14	1001010000010000	360	260	200	180	29.9394	0.0000	29.9394	30.4744	1.0017	1	1001010000010000	8	5	12	1001010000010000

- *Optimum Birey İçin Hesap*

Eşdeğer Deprem Yükleri ve Perde Kesit Tesirlerinin Hesabı:

Tablo 6.15’ de, optimum birey için eşdeğer deprem yükleri, kat kesme kuvvetleri, hesap ve tasarım momentleri hesaplanarak yazılmıştır.

Tablo 6.15 Örnek 1A-optimum birey için eşdeğer deprem yükleri ve perde kesit tesirleri

Kat No	H _i (m)	w _i (kN)	w _i ×H _i (kNm)	F _i (kN)	V _i (kN)	M ₀ (kNm)	M _t (kNm)
8	24.00	343.35	8240.40	47.669	000.000	0000.000	0726.955
7	21.00	441.45	9270.45	53.628	047.669	0143.007	1272.171
6	18.00	441.45	7946.10	45.967	101.297	0446.898	1817.388
5	15.00	441.45	6621.75	38.306	147.264	0888.690	2362.604
4	12.00	441.45	5297.40	30.644	185.569	1445.398	2907.821
3	09.00	441.45	3973.05	22.983	216.214	2094.039	3455.037
2	06.00	441.45	2648.70	15.322	239.197	2811.631	3998.253
1	03.00	441.45	1324.35	07.661	254.519	3575.189	4361.731
0	00.00	000.00	0000.00	00.000	262.181	4361.731	4361.731
$\Sigma w_i \times H_i$				ΣF_i			
45322.20				262.181			

Amaç Fonksiyonunun Hesabı

Optimum çözüm sonucunda bulunan beton ve çelik miktarları aşağıdaki gibidir:

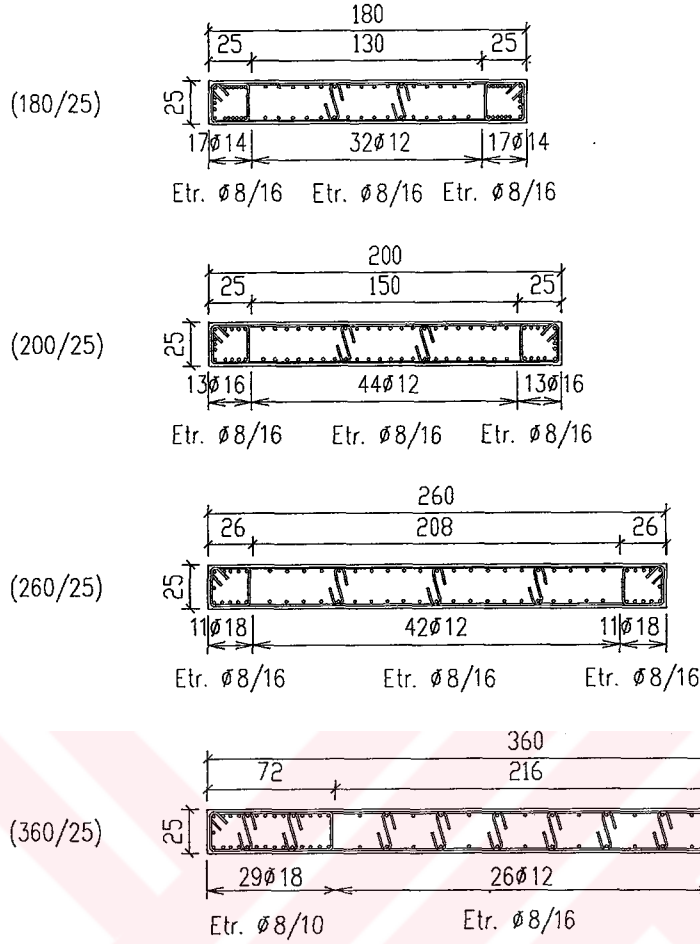
$$V_{bt} = 15 \text{ m}^3$$

$$W_{çl} = 29.8787 \text{ kN}$$

Bu malzemeler kullanılarak hesaplanan amaç fonksiyonu değeri ise şöyledir:

$$f(x) = 15 + 0.5 \times 29.8787 = 29.9394$$

Şekil 6.3’de betonarme perdelerin genetik algoritma ile optimizasyonu yapıldıktan sonra elde edilen optimum değerlere göre perde yatay kesitleri çizilmiştir ve donatıları yerleştirilmiştir.



Şekil 6.3 Örnek 1A için optimum perde kesitleri ve hesaplanan donatıların perdelerle yerleştirilmesi

Optimum Birey İçin Kısıtlamaların Hesabı:

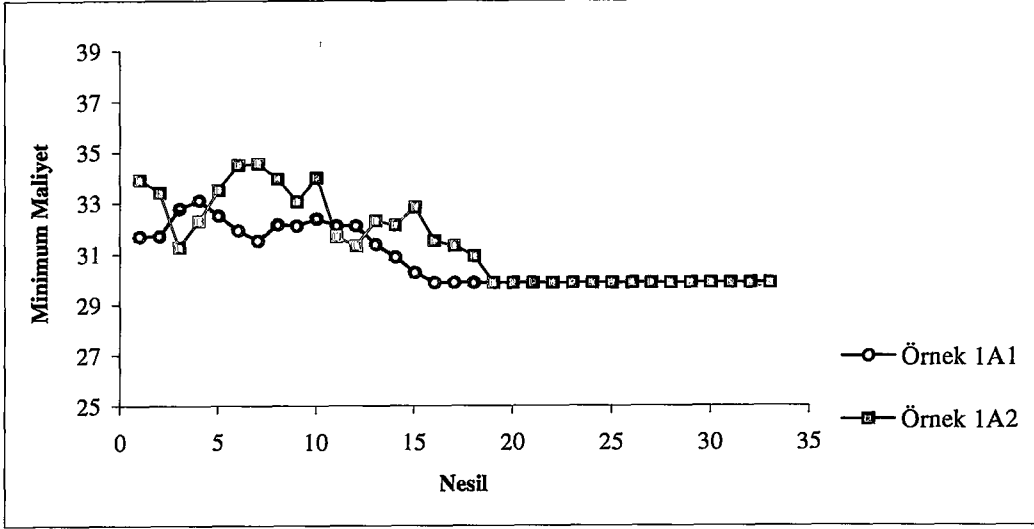
Örnek 1A – optimum birey için, perdelerde kısıtlama hesabında kullanılan kesme dayanımları, perdelerle etkiyen kesme kuvveti değerleri, perdelerde hesaplanan donatı oranları ile bu oranların yönetmelikçe izin verilebilen alt ve üst sınır değerleri, görelî kat ötelemesinin kat yüksekliklerine oranları ile bu değerlerin maksimumları ve perdelerin l_w enkesit uzunlukları için verilen kısıtlama koşulları (üst kattaki perde boyutunun alt kattaki perdeden büyük veya alt kattaki perdeye eşit olma zorunluluğu) Tablo 6.16’da gösterilmiştir.

Tablo 6.16 Örnek 1A – optimum birey için kısıtlama hesabı

Kat No	Perde Tipi	V_d (kN)	V_{r1} (kN)	V_{r2} (kN)	ρ_i	ρ_{max}	γ_i	γ_{max}	l_{wi} (cm)
8	4	047.67	747.00	1653.30	0.0197	0.04	0.0032	0.0033	180
7	4	101.30	747.00	1653.30	0.0197	0.04	0.0031	0.0033	180
6	3	147.26	830.00	1837.00	0.0204	0.04	0.0028	0.0033	200
5	3	185.57	830.00	1837.00	0.0204	0.04	0.0023	0.0033	200
4	2	216.21	1079.0	2388.10	0.0159	0.04	0.0017	0.0033	260
3	2	239.20	1079.0	2388.10	0.0159	0.04	0.0012	0.0033	260
2	1	254.52	1494.0	3306.60	0.0197	0.04	0.0006	0.0033	360
1	1	262.18	1494.0	3306.60	0.0197	0.04	0.0003	0.0033	360

Tablo 6.16’ da görüldüğü gibi, optimum birey için kısıtlama hesabında kullanılan değerlerin hiçbiri o kısıtlama hesabının sınır değerini aşmamaktadır. Tablo 6.16’daki γ_{max} , daha etkin olan 2. yerdeğiştirme kısıtlamasının üst sınır değeridir. Optimum çözümde yerdeğiştirme kısıtlamasının hakim olduğu görülmektedir.

Örnek 1A, farklı başlangıç değerleriyle bir kez daha çözülmüş ve tekrar aynı optimum değere ulaşılmıştır. Her iki çözüme ait nesil - minimum maliyet değişimi Şekil 6.4 de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6.4 Örnek 1A için Nesil - Minimum Maliyet grafiği

6.1.2 Örnek 1B

Şekil 6.1 ile verilen perde sistemi tasarım değişkenleri değiştirilerek tekrar çözülmüştür. Örnek 1A' da perdelerin plandaki boyları her iki katta bir değişmekte, perde genişlikleri ise sabit alınmaktaydı. Bu örnekte ise, perdelerin plandaki genişlikleri de tasarım değişkenleri olarak seçilerek sistemin minimum maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Perdelerin plandaki genişlikleri için iki farklı tasarım değişkeni alınmıştır. İlk tasarım değişkeni b_{w1} , perde için kritik perde yüksekliği olarak hesaplanan ilk iki kat boyunca, ikinci tasarım değişkeni b_{w2} ise, kritik perde yüksekliğinden sonra binanın son katına kadar sabit olduğu varsayılarak problemde ele alınmaktadır. Bu durumda tasarım değişkenleri, dört adet perde enkesit boyu ve iki adet perde enkesit genişliği olmak üzere toplam altı tanedir.

Perdelerin plandaki genişlikleri dışında, yapının malzeme ve geometrik özellikleri Örnek 1A' da alındığı gibidir. Genetik algoritmanın uygulanabilmesi için gerekli olan kabuller ise aşağıda belirtilmiştir:

Genetik Algoritma İle İlgili Kabuller:

Genler (İkili sayı sistemi elemanları)	: 1, 0
l_w için dizi uzunluğu (bir dizideki toplam gen sayısı)	: 4
b_w için dizi uzunluğu	: 2
l_w için tasarım değişkeni sayısı	: 4

b_w için tasarım değişkeni sayısı	: 2
Popülasyon sayısı(bir nesildeki birey sayısı)	: 14

Araştırma Uzayının Belirlenmesi:

Çözümü yapılacak olan sistemde tasarım değişkenleri perdelerin plandaki boyları ve genişlikleridir. Ancak bu değişkenlerin aynı set içerisinde bulunmaları problemin çözümünü güçleştirir. Çünkü, perdenin plandaki genişlikleri ve boyları tasarım değişkenleri olarak birbirlerinden tamamen farklı büyüklüklerde değişkenlerdir.

Perdelerin plandaki boyu için dizi uzunluğu (bir dizideki toplam gen sayısı) 4, genişliği için ise 2 alınmıştır. l_w için dört basamaklı en büyük değeri ifade eden ikilik tabandaki sayının onluk tabandaki karşılığı esas alınarak birinci setteki eleman sayısı belirlenirse:

$$(1111)_2 \rightarrow (15)_{10}$$

$(0)_{10}$ sayısı da probleme katıldığında ilk setin toplam eleman sayısı $15+1=16$ olur. Bu demektir ki, diziler, $A=0000$ ile $B=1111$ arasında değişen 16 farklı değer alacaktır.

Perdenin plandaki genişliği için tasarım değişkeni sayısı 2 alındığına göre ikilik tabana göre iki basamaklı en büyük sayı, ikinci setteki eleman sayısını belirleyecektir.

$$(11)_2 \rightarrow (3)_{10}$$

$(0)_{10}$ sayısı da dikkate alındığında setteki toplam eleman sayısı $3+1=4$ olarak belirlenmiş olur.

Bu problemde de, perdelerin plandaki boyları için seçilen boyutlar, Örnek 1A' da verilen Tablo 6.1' deki gibidir. b_w için seçilen boyutlar ise, Tablo 6.17' de gösterilmiştir.

Tablo 6.17 Örnek 1B için b_w araştırma uzayı elemanlarının belirlenmesi

İkilik Sayılar	Onluk Taban Karşılığı	Set'teki Sıra Numarası	Perde Enkesit Genişlikleri (cm)
(00)	0	1	20
(01)	1	2	25
(10)	2	3	30
(11)	3	4	35

Tablo 6.17'nin 4. sütununda perde enkesit genişlik değerleri araştırma uzayındaki yani setteki elemanlardır. 20 cm ile 35 cm arasında değişmekte ve her adımda 5' er cm artmaktadır. Bu değerlerin arasından seçilecek iki değer, perdelerin plandaki boyları arasından seçilecek 4 değer ile birlikte optimum çözümü temsil edeceklerdir.

Bireylerin Oluşturulması:

Bireylerin uzunlukları, yani, bir bireyi oluşturan toplam gen sayısı ise şöyle belirlenir:

$$4(l_w \text{ için dizi uzunluğu}) \times 4(l_w \text{ için tasarım değişkeni sayısı}) + 2(b_w \text{ için dizi uzunluğu}) \times 2(b_w \text{ için tasarım değişkeni sayısı}) = 20 \text{ (gen sayısı)}$$

$F = Z(l_{w1}, l_{w2}, l_{w3}, l_{w4}, b_{w1}, b_{w2})$ 'dir. Buradan Genetik Algoritma kodlamasına geçilecek olursa, gen haritası şu şekilde olur:

$$F = Z(1111,1111,1111,1111,11,11)$$

Böylece birey, (0000,0000,0000,0000,00,00) ile (1111,1111,1111,1111,11,11) değerleri arasında değişmektedir. Öyleyse bir birey, toplam 20 adet gen'den, yani 20 adet "1" ve "0" lardan oluşmaktadır.

1. Nesil Tablosunun Oluşturulması:

Tablo 6.18'de Örnek 1B için 1. nesil oluşturulmuştur. Genetik algoritma işlemlerinin nasıl yapıldığını ayrıntılı olarak anlatabilmek için, 1. neslin 1. bireyi örnek olarak ele alınacaktır. Rastgele oluşturulmuş olan 14 bireyden biri olan 1. birey "11011010001001001110" dır. Bu değer, dizilerine ayrıldığında elde edilen tasarım değişken değerleri ise şöyledir:

$l_{w1} = 440 \text{ cm}$, $l_{w2} = 380 \text{ cm}$, $l_{w3} = 220 \text{ cm}$, $l_{w4} = 260 \text{ cm}$, $b_{w1} = 35 \text{ cm}$, $b_{w2} = 30 \text{ cm}$ ’ dir. l_{w1} ; 1. ve 2., l_{w2} ; 3. ve 4., l_{w3} ; 5. ve 6., l_{w4} ise 7. ve 8. katlardaki perde enkesit boyları; b_{w1} , kritik bölge için, b_{w2} ise kritik bölge dışındaki perde enkesit genişlikleridir.

Rastgele seçilen bireyden elde edilen tasarım değişkenleri kullanılarak sistemin analizi yapılacak, maliyeti hesaplanacak ve bu çözümün uygun çözüm olup olmadığı araştırılacaktır.

- *1. Nesildeki 1. Birey için Hesap*

Binanın 1. doğal titreşim periyodu $T_1=0.6609 \text{ s}$ olarak bulunmuştur.

$$A(T_1) = 0.6692$$

$$R_a(T_1) = 6$$

$$H_{cr} = 4.4 \text{ m hesaplanmıştır.}$$

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için gerekli olan toplam bina ağırlığı hesaplanırken, perdelerin boyut değişimi nedeniyle oluşan ağırlık farkı ihmal edilmektedir. O halde toplam bina ağırlığı, bir önceki problemde olduğu gibi, $W=3433.500 \text{ kN}$, bu ağırlığa bağlı olarak hesaplanan taban kesme kuvveti de $V_t=382.942 \text{ kN}$ ’ dur.

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı ($\Delta F_N=0$) N. kat dahil olmak üzere, binanın her katına 4.11 bağıntısına göre dağıtılmış ve Tablo 6.19’ daki değerler elde edilmiştir.

Tablo 6.18 Örnek 1B 1. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	l_{w4} (cm)	b_{w1} (cm)	b_{w2} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	ϕ_{a1}	ϕ_{a2}	Gelecek nesil
1	11011010001001001110	440	380	220	260	35	30	46.8510	0.1818	132.0261	878.0640	1.6331	2	11011010001001001110	8	2	5	11101010001001001110
2	11001001011100001100	420	360	320	180	35	20	37.1944	0.0000	37.1944	972.8957	1.8095	2	11001001011100001100	10	5	12	1100101011100001100
3	10100000110101111001	380	180	440	320	30	25	39.2015	1.5917	663.1718	346.9183	0.6452	1	10100000110101111001	7	11	18	10100000110001001101
4	0101111011110010010	280	460	480	360	20	30	46.1772	1.6863	824.8633	185.2268	0.3445	0	11001001011100001100	12	3	8	11010111011100001100
5	0001011101110101011	200	320	400	380	30	35	47.6913	1.0167	532.5687	477.5214	0.8881	1	0001011101110101011	9	15	19	0001011101110101011
6	00000100011111001101	180	260	320	420	35	25	36.6837	2.5400	968.4497	41.6404	0.0774	0	01101001000100000100	14	17	20	01101001000100000000
7	001000111111000001	220	240	480	420	20	25	34.7000	2.7056	973.5432	36.5469	0.0680	0	11011010001001001110	3	11	18	1101101000110111010
8	01101001000100000100	300	360	200	180	25	20	26.3005	0.2085	81.1370	928.9531	1.7278	2	01101001000100000100	1	2	5	01011001000100000100
9	00110101101001001100	240	280	380	260	35	20	31.9056	0.5238	199.0271	811.0630	1.5085	1	00110101101001001100	5	15	19	00110101101001001010
10	1011001101110100100	400	240	320	380	25	20	32.2883	0.5208	200.4458	809.6443	1.5059	1	1011001101110100100	2	5	12	1011000101110100100
11	11010111000100001001	440	320	200	180	30	25	36.5469	0.0000	36.5469	973.5432	1.8107	2	11010111000100001001	13	0	16	0111110000110111001
12	10011011000000100111	360	400	180	220	25	35	43.2191	1.6828	770.5101	239.5800	0.4456	0	11010111000100001001	4	3	8	11001001000100001001
13	0111110000110111011	320	420	240	400	30	35	50.2179	1.1875	646.5555	363.5346	0.6761	1	0111110000110111011	11	0	16	11010111000100001011
14	0011010100000111000	240	280	180	320	30	20	27.4179	1.8985	547.9467	462.1434	0.8595	1	0011010100000111000	6	17	20	0011010100000111100

Tablo 6.19 Örnek 1B-1.birey için eşdeğer deprem yükleri ve perde kesit tesirleri

Kat No	H_i (m)	w_i (kN)	$w_i \times H_i$ (kNm)	F_i (kN)	V_i (kN)	M_0 (kNm)	M_t (kNm)
8	24.00	343.35	8240.40	69.626	000.000	0000.000	1167.974
7	21.00	441.45	9270.45	78.329	069.626	0208.878	1964.319
6	18.00	441.45	7946.10	67.139	147.955	0652.742	2760.665
5	15.00	441.45	6621.75	55.949	215.094	1298.025	3557.011
4	12.00	441.45	5297.40	44.759	271.044	2111.156	4353.356
3	09.00	441.45	3973.05	33.570	315.803	3058.564	5149.702
2	06.00	441.45	2648.70	22.380	349.373	4106.682	5946.048
1	03.00	441.45	1324.35	11.190	371.752	5221.939	6370.766
0	00.00	000.00	0000.00	00.000	382.942	6370.766	6370.766

$$\begin{aligned} \Sigma w_i \times H_i & \quad \Sigma F_i \\ 45322.20 & \quad 382.942 \end{aligned}$$

Donatı Hesabı:

Sistemin betonarme hesabı yapılırken Kısım 4.5' de anlatılan eğik eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki dikdörtgen betonarme kesitlerde taşıma gücü formüllerinden faydalanılmıştır (Çakıroğlu ve Özer, 1990).

Tek kat için perdeye gelen normal kuvvet $N_d = 150$ kN olarak alınmıştır.

Tablo 6.20 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için μ katsayılarının ve A_s 'in hesabı

Kat No	n	m_x	m	μ	A_s (cm ²)
8	0.0077	0.0387	0.0387	0.0996	055.49
7	0.1818	0.0761	0.0761	0.1916	090.31
6	0.0273	0.0980	0.0980	0.2421	114.11
5	0.0364	0.1199	0.1199	0.2930	138.14
4	0.0264	0.0476	0.0476	0.0991	080.67
3	0.0316	0.0549	0.0549	0.1132	092.18
2	0.0273	0.0376	0.0376	0.0694	076.30
1	0.0312	0.0376	0.0376	0.0643	070.69

Tablo 6.20' de, her katta, o kata etkiyen yatay ve düşey yükler altında farklı A_s 'ler, yani, toplam düşey donatı alanları hesaplanmıştır. Ancak, perde boyutu iki katta bir değiştiği için, perdeler konacak olan donatılar da her iki katta eşit alınmıştır. Bu nedenle, benzer perdelerde, donatı alanı fazla olan perdeye konan donatı miktarının aynısı diğer perdeye de konulmuştur.

Maliyet Hesabı (Amaç Fonksiyonu Hesabı):

Bu problemde de perdeli sistemin maliyet hesabı yapılacak ve optimum perde boyutları hesaplanacaktır. Maliyet hesabının genel formülasyonu 6.1 bağıntısıyla verilmiştir.

$$\text{Minimize } f(x) = C_{bc} W_{\text{çl}} + C_{bb} V_{\text{bt}} \quad (6.1)$$

Çeliğin birim fiyatı ile betonun birim fiyatı arasındaki oran $C_{bc} / C_{bb} = 0.5$ kabul edilmiştir. Buna göre amaç fonksiyonu şöyle olur:

$$\text{Min } f(x) = 0.5W_{\text{çl}} + V_{\text{bt}} \quad (6.2)$$

Buradaki donatı miktarı bağımsız kısıtlayıcı olarak probleme katılmamakta, ancak, değişen her l_w ve b_w tasarım değişkenleri için farklı değer aldığından bağımlı değişken olmaktadır.

Hesaplanan A_s donatı alanlarına uygun donatılar seçilmiş ve perdeler yerleştirildikten sonra maliyet hesabı yapılmıştır. Elde edilen toplam beton ve çelik maliyetleri aşağıda yazılmıştır:

$$V_{\text{bt}} = 24.72 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{çl}} = 44.2620 \text{ kN}$$

Hesaplanan bu değerler amaç fonksiyonunda yerine konursa;

$$f(x) = 24.72 + 0.5 \times 44.2620 = 46.8510$$

Bundan sonraki aşama, elde edilen bu çözümün şartnameye uygun olup olmadığının kontrolü, yani kısıtlamaların hesabıdır.

Kısıtlamaların Hesabı:

Problemde kullanılan kısıtlayıcılar ve hesaplanan zorlanma katsayıları aşağıda gösterilmiştir:

Tablo 6.21' de boyut kısıtlaması, Tablo 6.22 ve 6.23' de sırasıyla kritik bölgede ve kritik bölge dışında perde kalınlığı kısıtlaması, Tablo 6.24 ve 6.25' de 1. ve 2. kesme kuvveti kısıtlamaları, Tablo 6.26' da donatı yüzdesi kısıtlaması, Tablo 6.27 ve 6.28' de 1. ve 2. yerdeğiştirme kısıtlamaları ve Tablo 6.29 ve 6.30' da ise sırasıyla l_w ve b_w tasarım değişkenleri kısıtlamaları için yapılan hesaplar gösterilmiştir. (4.20) ile verilen V_{r1} bağıntısında bulunan ρ_{sh} yatay gövde donatı oranı 0.0025 olarak alınmıştır.

Tablo 6.21 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için boyut kısıtlaması hesabı

Kat No	l_{wi} (cm)	b_{wi} (cm)	$[7/(l_{wi} / b_{wi})]-1$	c_i
8	260	30	-0.1923	0.0000
7	260	30	-0.1923	0.0000
6	220	30	-0.0454	0.0000
5	220	30	-0.0454	0.0000
4	380	30	-0.4473	0.0000
3	380	30	-0.4473	0.0000
2	440	35	-0.4432	0.0000
1	440	35	-0.4432	0.0000

$\Sigma c_i = 0.0000$

Tablo 6.22 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için kritik bölge perde kalınlığı kısıtlama hesabı

Kat No	h_i (cm)	b_{wi} (cm)	$[(h_i/12)/b_{wi}]-1$	c_i
2	300	35	-0.2857	0.0000
1	300	35	-0.2857	0.0000

$\Sigma c_i = 0.0000$

Tablo 6.23 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için kritik bölge dışında perde kalınlığı kısıtlama hesabı

Kat No	h_i (cm)	b_{wi} (cm)	$[(h_i/15)/b_{wi}]-1$	c_i
8	300	30	-0.3333	0.0000
7	300	30	-0.3333	0.0000
6	300	30	-0.3333	0.0000
5	300	30	-0.3333	0.0000
4	300	30	-0.3333	0.0000
3	300	30	-0.3333	0.0000

$\Sigma c_i = 0.0000$

Tablo 6.24 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için 1. kesme kuvveti kısıtlama hesabı

Kat No	H _i (m)	V _{di} (kN)	V _{ri} (kN)	(V _{di} / V _{ri}) - 1	c _i
8	24.00	000.000	0000.000	0.0000	0.0000
7	21.00	069.626	1294.800	-0.9462	0.0000
6	18.00	147.955	1294.800	-0.8857	0.0000
5	15.00	215.094	1095.600	-0.8037	0.0000
4	12.00	271.044	1095.600	-0.7526	0.0000
3	09.00	315.803	1892.400	-0.8331	0.0000
2	06.00	349.373	1892.400	-0.8154	0.0000
1	03.00	371.752	2556.400	-0.8546	0.0000
0	00.00	382.942	2556.400	-0.8502	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.0000$$

Tablo 6.25 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için 2. kesme kuvveti kısıtlama hesabı

Kat No	H _i (m)	V _{di} (kN)	V _{ri} (kN)	(V _{di} / V _{ri}) - 1	c _i
8	24.00	000.000	0000.000	0.0000	0.0000
7	21.00	069.626	2865.720	-0.9757	0.0000
6	18.00	147.955	2865.720	-0.9484	0.0000
5	15.00	215.094	2424.840	-0.9113	0.0000
4	12.00	271.044	2424.840	-0.8882	0.0000
3	09.00	315.803	4188.360	-0.9246	0.0000
2	06.00	349.373	4188.360	-0.9166	0.0000
1	03.00	371.752	5657.960	-0.9343	0.0000
0	00.00	382.942	5657.960	-0.9323	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.0000$$

Tablo 6.26 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için donatı yüzdesi kısıtlama hesabı

Kat No	ρ_i	ρ_{max}	(ρ_i / ρ_{max}) - 1	c _i
7	0.0156	0.04	-0.6100	0.0000
5	0.0216	0.04	-0.4600	0.0000
3	0.0122	0.04	-0.6950	0.0000
1	0.0188	0.04	-0.5300	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.0000$$

Tablo 6.27 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için 1. yerdeğiştirme kısıtlama hesabı

Kat No	h_i (cm)	Δ_i (cm)	$\Delta_i - \Delta_{(i-1)}$ (cm)	γ_i (cm)	$(\gamma_i / 0.0035) - 1$	c_i
8	300	2.65	0.59	0.0020	-0.4286	0.0000
7	300	2.06	0.58	0.0019	-0.4571	0.0000
6	300	1.48	0.52	0.0017	-0.5143	0.0000
5	300	0.96	0.39	0.0013	-0.9999	0.0000
4	300	0.57	0.24	0.0008	0.0000	0.0000
3	300	0.33	0.18	0.0006	0.0000	0.0000
2	300	0.15	0.10	0.0003	0.0000	0.0000
1	300	0.05	0.05	0.0002	0.0000	0.0000
0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.0000$$

Tablo 6.28 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için 2. yerdeğiştirme kısıtlama hesabı

Kat No	h_i (cm)	Δ_i (cm)	$\Delta_i - \Delta_{(i-1)}$ (cm)	γ_i (cm)	$[\gamma_i / (0.02/R)] - 1$	c_i
8	300	2.65	0.59	0.0020	-0.4000	0.0000
7	300	2.06	0.58	0.0019	-0.4300	0.0000
6	300	1.48	0.52	0.0017	-0.4900	0.0000
5	300	0.96	0.39	0.0013	-0.6100	0.0000
4	300	0.57	0.24	0.0008	-0.7600	0.0000
3	300	0.33	0.18	0.0006	-0.8200	0.0000
2	300	0.15	0.10	0.0003	-0.9100	0.0000
1	300	0.05	0.05	0.0002	-0.9400	0.0000
0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.0000$$

Tablo 6.29 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için l_w tasarım değişkenleri kısıtlama hesabı

Kat No	$l_{w(i)}$ (cm)	$(l_{w(i)} / l_{w(i-1)}) - 1$ (cm)	c_i
7	260	0.1818	0.1818
5	220	-0.4211	0.0000
3	380	-0.1364	0.0000
1	440	0.0000	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.1818$$

Tablo 6.30 Örnek 1B 1. nesil – 1. birey için b_w tasarım değişkenleri kısıtlama hesabı

Kat No	$b_{w(k)}$ (cm)	$(b_{w(k)} / b_{w(k-1)}) - 1$ (cm)	c_i
3	30	-0.1429	0.0000
1	35	0.0000	0.0000

$$\Sigma c_i = 0.0000$$

Bütün bu kısıtlama hesaplarından faydalanarak zorlanma katsayısı hesaplanırsa:

$$C = \sum C_i = 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.0000 + 0.1818 + 0.0000 = 0.1818$$

$C > 0$ olarak hesaplandığı için 1. nesildeki 1. birey bu sistemin çözümü için uygun değildir.

Tablo İşlemleri:

1. nesilde, 2. ve 11. bireyler hiçbir kısıtlayıcı tarafından zorlanmamışlardır. Yani bu bireylerde $C=0$ 'dır. (Tablo 6.18). Kısıtlamaların zorlandığı çözümler arasında maliyeti en düşük olan birey 8. bireydir. Amaç fonksiyonu değeri $f(x)=26.3005$ ' dir ve $C=0.2085$ kadar zorlanmaktadır. Bu nesildeki en uygun birey kısıtlamasız amaç fonksiyon değeri en düşük olan, $f(x)=36.5469$ amaç fonksiyonu değeri ile 11 no'lu bireydir.

Bir sonraki nesilde ise 2., 4 ve 12. bireyler çözüm için uygundur. (Tablo 6.32). Bu nesilde, maliyeti en düşük olan birey 6 no' lu bireydir ($f(x)=24.2903$). Ancak bu birey, $C=0.7401$ kadar zorlanmaktadır. Bireylerin uygunluk değerlerine bakıldığında 12 no' lu bireyin $f(x)=36.8440$ amaç fonksiyonu değeri ve $C=0$ zorlanma katsayısıyla en uygun birey olduğu söylenebilir. Çünkü bu bireyin kısıtlamasız amaç fonksiyonu değeri $\Phi(x)=36.8440$ dır ve bu değer 2. neslin en düşük $\Phi(x)$ değeridir.

Yukarıda verilen işlemler tekrarlanarak Tablo 6.33' de verilen 34. nesilde optimum çözüm elde edilmiştir. Optimum çözümü ifade eden perde boyutları [360, 280, 220, 180, 25, 20] dir, yani, $l_{w1} = 360$ cm, $l_{w2} = 280$ cm, $l_{w3} = 220$ cm, $l_{w4} = 180$ cm, $b_{w1} = 25$ cm ve $b_{w2} = 20$ cm' dir.

• *Optimum Birey İçin Hesap*

Eşdeğer Deprem Yükleri ve Perde Kesit Tesirlerinin Hesabı:

Tablo 6.31' de, optimum birey için eşdeğer deprem yükleri, kat kesme kuvvetleri, hesap ve tasarım momentleri hesaplanarak yazılmıştır.

Tablo 6.31 Örnek 1B-optimum birey için eşdeğer deprem yükleri ve perde kesit
tesirleri

Kat No	H _i (m)	w _i (kN)	w _i ×H _i (kNm)	F _i (kN)	V _i (kN)	M ₀ (kNm)	M _t (kNm)
8	24.00	343.35	8240.40	47.818	000.000	0000.000	0729.231
7	21.00	441.45	9270.45	53.796	047.818	0143.455	1276.154
6	18.00	441.45	7946.10	46.111	101.614	0448.297	1823.077
5	15.00	441.45	6621.75	38.426	147.725	0891.472	2370.000
4	12.00	441.45	5297.40	30.740	186.150	1449.923	2916.924
3	09.00	441.45	3973.05	23.055	216.891	2100.595	3463.847
2	06.00	441.45	2648.70	15.370	239.946	2820.433	4010.770
1	03.00	441.45	1324.35	07.685	255.316	3586.382	4375.386
0	00.00	000.00	0000.00	00.000	263.001	4375.386	4375.386
$\Sigma w_i \times H_i$				ΣF_i			
45322.20				263.001			

Amaç Fonksiyonunun Hesabı

Optimum birey için hesaplanan beton ve çelik miktarları şöyledir:

$$V_{bt} = 13.56 \text{ m}^3$$

$$W_{çl} = 26.4949 \text{ kN}$$

Optimum çözümün amaç fonksiyonu değeri ise;

$$f(x) = 13.56 + 0.5 \times 26.4949 = 26.8074' \text{ dür.}$$

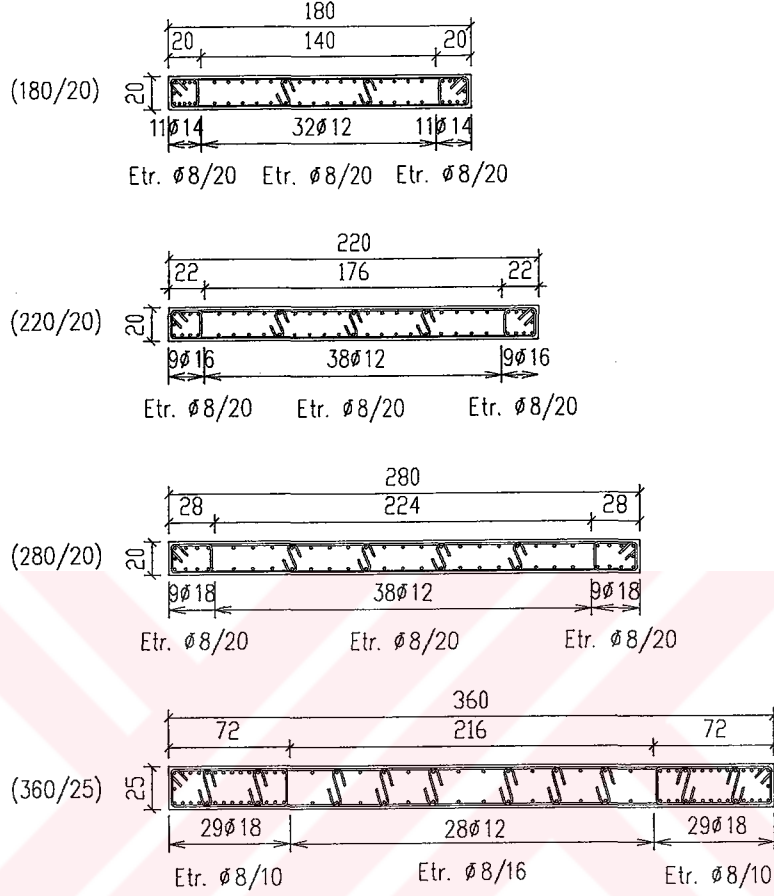
Tablo 6.32 Örnek 1B 2. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	l_{w4} (cm)	b_{w1} (cm)	b_{w2} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(er)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş φ_1	φ_2	Gelecek nesil
1	11101010001001001110	460	380	220	260	35	30	47.7022	0.1818	134.4248	516.7035	1.2672	1	11101010001001001110	4	5	11101111011001001110
2	11001011011100001100	420	400	320	180	35	20	38.2357	0.0000	38.2357	612.8926	1.5031	1	11001011011100001100	10	0	10110001011100001100
3	10100000110001001101	380	180	420	260	35	25	38.9898	1.4755	614.2843	36.8440	0.0904	0	11010111011100001100	12	14	11010111011100001000
4	11010111011100001100	440	320	320	180	35	20	37.2780	0.0000	37.2780	613.8503	1.5054	2	11010111011100001100	1	5	11010010001100001100
5	0001011101110101101	200	320	400	380	35	25	39.5699	0.8500	375.9141	275.2142	0.6749	1	0001011101110101101	8	2	00011001001110101101
6	01101001000100000000	300	360	200	180	20	20	24.2903	0.7401	204.0628	447.0655	1.0964	1	01101001000100000000	11	12	0110100100011011001
7	1101101000110111010	440	380	240	320	30	30	45.9279	0.3333	199.0056	452.1227	1.1088	1	1101101000110111010	13	1	1101011000110111010
8	0101100100010000100	280	360	200	180	25	20	25.5878	0.3233	108.3132	542.8151	1.3312	1	0101100100010000100	5	2	0101011100100000100
9	00110101101001001010	240	280	380	260	30	30	38.5030	0.5238	240.1817	410.9466	1.0078	1	00110101101001001010	14	15	00110101101001001010
10	1011000101110100100	400	200	320	380	25	20	31.4459	0.9040	315.7168	335.4115	0.8226	1	1011000101110100100	2	0	1100101101110100100
11	0111110000111011001	320	420	240	400	30	25	39.3702	0.9792	424.8832	226.2451	0.5548	1	0111110000111011001	6	12	01111100001100000000
12	11001001000100001001	420	360	200	180	30	25	36.8440	0.0000	36.8440	614.2843	1.5065	2	11001001000100001001	3	14	11001001000100001101
13	11010111000100001011	440	320	200	180	30	35	45.6178	0.1667	121.6627	529.4656	1.2985	1	11010111000100001011	7	1	11011011000100001011
14	00110101000001111100	240	280	180	320	35	20	29.7624	1.7693	556.3485	94.7798	0.2324	0	11001001000100001001	9	15	11001001000100001001

Tablo 6.33 Örnek 1B 34. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	l_{w4} (cm)	b_{w1} (cm)	b_{w2} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş φ_1	φ_2	Gelecek nesil	
1	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	2	100101010010000000100	10	2	11	100101010010000000100
2	101001010010000000100	380	280	220	180	25	20	27.3853	0.0000	27.3853	26.8074	0.9808	0	100101010010000000100	4	9	17	100101010010000000100
3	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	9	0	5	100101010010000000100
4	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	2	9	17	100101010010000000100
5	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	12	12	20	100101010010000000100
6	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	14	15	19	100101010010000000100
7	100101010010000000100	360	280	220	200	25	20	26.9647	0.0000	26.9647	27.2280	0.9962	1	100101010010000000100	8	1	7	100101010010000000100
8	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	7	1	7	100101010010000000100
9	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	3	0	5	100101010010000000100
10	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	1	2	11	100101010010000000100
11	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	13	4	12	100101010010000000100
12	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	5	12	20	100101010010000000100
13	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	11	4	12	100101010010000000100
14	100101010010000000100	360	280	220	180	25	20	26.8074	0.0000	26.8074	27.3853	1.0019	1	100101010010000000100	6	15	19	100101010010000000100

Şekil 6.5' de optimum perde boyutları ve bu perdelerle yerleştirilen donatılar gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Örnek 1B için optimum perde boyutları ve bu perdelerle yerleştirilen donatılar

Optimum Birey İçin Kısıtlamaların Hesabı:

Tablo 6.34'de örnek 1B – optimum birey için, perdelerde kısıtlama hesabında kullanılan yönetmelik koşullarının sınır değerleri ile bunların problemin hesabında aldığı değerler tablo halinde gösterilmiştir.

Tablo 6.34 Örnek 1B – optimum birey için kısıtlama hesabı

Kat No	Perde Tipi	V_d (kN)	V_{r1} (kN)	V_{r2} (kN)	ρ_i	ρ_{max}	γ_i	γ_{max}	l_{wi} (cm)
8	4	047.82	597.60	1322.64	0.0195	0.04	0.00326	0.0033	180
7	4	101.61	597.60	1322.64	0.0195	0.04	0.00311	0.0033	180
6	3	147.72	730.40	1616.56	0.0180	0.04	0.00278	0.0033	220
5	3	186.15	730.40	1616.56	0.0180	0.04	0.00232	0.0033	220
4	2	216.89	929.60	2057.44	0.0159	0.04	0.00172	0.0033	280
3	2	239.95	929.60	2057.44	0.0159	0.04	0.00118	0.0033	280
2	1	255.32	1494.0	3306.60	0.0199	0.04	0.00062	0.0033	360
1	1	263.00	1494.0	3306.60	0.0199	0.04	0.00027	0.0033	360

Tablo 6.34’ de görüldüğü gibi, optimum birey için kısıtlama hesabında kullanılan değerlerin hiç biri o kısıtlama hesabının sınır değerini aşmamaktadır. 8. katta yerdeğiştirme kısıtlaması sınır değere oldukça yaklaşmıştır.

6.1.3 Sonuçlar

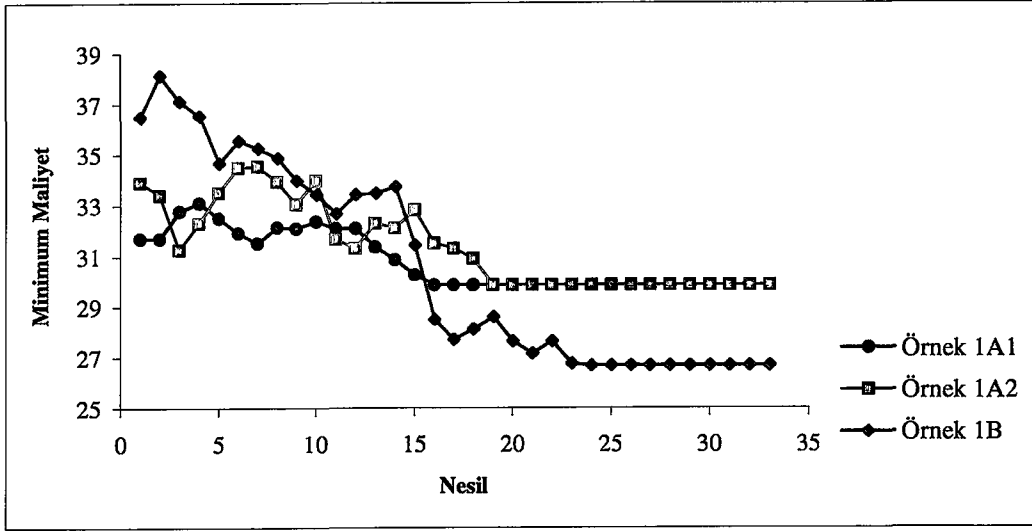
Örnek 1A ve 1B için hesaplanan optimum çözümden elde edilen perde l_{wi} ve b_{wi} boyutları ve maliyet değerleri Tablo 6.35’ de gösterilmiştir.

Tablo 6.35 Örnek 1A ve 1B için sonuçlar

Örnek No	Kat No	l_{wi} (cm)	b_{wi} (cm)	V_{bt} (m ³)	$W_{\phi l}$ (kN)	$f(x)$
1A	1-2	360	25	15.00	29.8787	29.9394
	3-4	260				
	5-6	200				
	7-8	180				
1B	1-2	360	20	13.56	26.4949	26.8074
	3-4	280				
	5-6	220				
	7-8	180				

Hesaplanan bu değerler karşılaştırıldığında Örnek 1A’da hesaplanan toplam beton ve donatı miktarı Örnek 1B’ de hesaplanan değerlerden sırasıyla %10.62 ve %11.68 daha fazladır. Bu demektir ki, Örnek 1B, Örnek 1A’ya göre maliyet açısından daha optimum bir çözümdür.

Şekil 6.6' da, Örnek 1A için yapılan 1. ve 2. çözüm ile Örnek 1B' de her nesil için hesaplanan minimum maliyet değerleri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

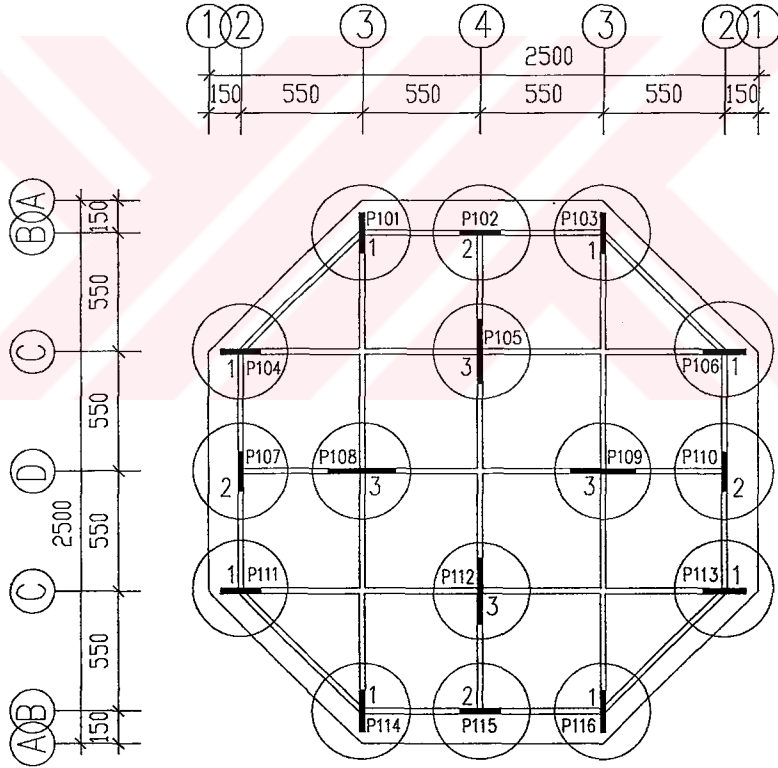


Şekil 6.6 Örnek 1A ve 1B için Nesil-Minimum Maliyet grafiği

6.2 Üç Boyutlu Yapı Örnekleri

6.2.1 Örnek 2

Şekil 6.7’ de kat planı görülen örnek yapı sisteminde, düşey taşıyıcı elemanlar olarak enkesitte boyutları değişken üç tip perde bulunmaktadır. Simetrik düzendeki yapının her katında toplam 16 adet perde vardır. Bina yüksekliği boyunca perde boyutlarının değişmediği, yani zemin katta seçilen perde boyutlarının bina yüksekliği boyunca sabit devam ettiği kabul edilmiştir. Perdelerin b_w enkesit genişlikleri sabit, l_w enkesit boyları ise değişkendir. Bu durumda optimizasyon probleminde perdelerin üç tipte olması nedeniyle tasarım değişkenlerinin sayısı üç olacaktır.



Şekil 6.7 Örnek 2 için kat planı

Sistem kirişli olup mimari nedenlerle kiriş boyutlarının değişmediği kabul edilmiştir. Bunun için söz konusu yapı sistemi, araştırma uzayındaki minimum ve maksimum perde boyutları ele alınarak çözülmüş ve en elverişsiz yükleme durumu için gerekli olan kiriş boyutları (25x85cm) optimizasyon probleminde sabit kalmıştır. Ancak,

değişen her sistem için kiriş iç kuvvetlerinin, dolayısıyla kiriş donatılarının değişiminin sistemin toplam malzeme maliyetine etkisi dikkate alınmıştır. Problemde amaç, minimum maliyete sahip sistemi oluşturan perde enkesit boylarını yani l_{w1} , l_{w2} , l_{w3} boyutlarını bulmaktır.

Yapının Malzeme ve Geometrik Özellikleri:

Malzeme	: C25/S420
Kat sayısı	: 20
Toplam bina yüksekliği	: 60 m
Perdelerin plandaki genişlikleri	: $b_w = 0.25$ m
Kiriş boyutları	: 0.25×0.85 m
Döşeme kalınlığı	: $h_f = 0.12$ m
Deprem bölgesi	: 1. derece
Bina önem katsayısı	: $I = 1.00$
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	: $R = 6$
Hareketli yük katılım katsayısı	: $n_k = 0.30$
Hareketli yük	: $q = 2$ kN/m ²
Etkin yer ivmesi katsayısı	: $A_0 = 0.40$
Yerel zemin sınıfı	: Z2 ($T_A = 0.15$, $T_B = 0.40$ s)

Genetik Algoritma İle İlgili Kabuller:

Genler (İkili sayı sistemi elemanları)	: 1, 0
Dizi uzunluğu (bir dizideki toplam gen sayısı)	: 5
Tasarım değişkeni sayısı	: 3
Popülasyon sayısı(bir nesildeki birey sayısı)	: 16

Bir sonraki aşama, problemin çözüm kümesinin içinden seçileceği “set” in yani “araştırma uzayı” nın belirlenmesidir.

Araştırma Uzayının Belirlenmesi:

Araştırma uzayı, sistemin optimum maliyetinin elde edildiği muhtemel perde boylarının listesidir. Bu listenin eleman sayısı, dizi uzunluğu ile belirlenir. 5 uzunluğundaki bir dizinin ifade ettiği onluk taban değeri;

$$(11111)_2 \rightarrow (31)_{10} \text{ ' dir.}$$

Tablo 6.36 Örnek 2 için araştırma uzayı elemanlarının belirlenmesi

İkilik Sayılar	Onluk Taban Karşılığı	Set'teki Sıra Numarası	Perde Enkesit Boyları (cm)
(00000)	0	1	180
(00001)	1	2	190
(00010)	2	3	200
(00011)	3	4	210
(00100)	4	5	220
(00101)	5	6	230
(00110)	6	7	240
(00111)	7	8	250
(01000)	8	9	260
(01001)	9	10	270
(01010)	10	11	280
(01011)	11	12	290
(01100)	12	13	300
(01101)	13	14	310
(01110)	14	15	320
(01111)	15	16	330
(10000)	16	17	340
(10001)	17	18	350
(10010)	18	19	360
(10011)	19	20	370
(10100)	20	21	380
(10101)	21	22	390
(10110)	22	23	400
(10111)	23	24	410
(11000)	24	25	420
(11001)	25	26	430
(11010)	26	27	440
(11011)	27	28	450
(11100)	28	29	460
(11101)	29	30	470
(11110)	30	31	480
(11111)	31	32	490

Araştırma uzayındaki toplam eleman sayısı ise (3.1) bağıntısına göre hesaplandığında;

$$S_e = 31 + 1 = 32 \text{ elde edilir.}$$

Araştırma uzayının seçilen 32 adet elemanı Tablo 6.36' da gösterilmiştir.

A = 00000 ile B =11111 arasında değişen her bir dizi bu listede belirlenmiş olan perde enkesit boylarından birine karşılık gelecektir.

Perde enkesit boyları, 180 cm ile 490 cm arasında değişmekte ve her adımda 10 cm artmaktadır.

Bireylerin Oluşturulması:

Bir nesli oluşturan toplam birey sayısı önceden 16 olarak belirlenmiştir. Bireylerin uzunlukları; yani, bir bireyi oluşturan toplam gen sayısı ise şöyle belirlenir:

Bu problemde üç adet tasarım değişkeni olduğuna göre, üç tane tasarım değişkeninin, yani üç tane dizinin yan yana yazılması gerekir. Böylece bir birey oluşacaktır.

$$5(\text{dizi uzunluğu}) \times 3(\text{tasarım değişkeni sayısı}) = 15 (\text{gen sayısı})$$

$F = Z(l_{w1}, l_{w2}, l_{w3})$ 'dür. Buradan Genetik Algoritma kodlamasına geçilecek olursa, gen haritası şu şekilde olur: $F = Z(11111,11111,11111)$

Birey, (00000,00000,00000) ile (11111,11111,11111) değerleri arasında değişmektedir. Bireyin uzunluğu 15' dir. Yani birey 15 adet yan yana yazılmış "1" ve "0" lardan meydana gelmektedir.

1) $C_{bc} / C_{bb} = 0.5$ için hesap:

Tablo İşlemleri:

Amaç fonksiyonu, çeliğin birim maliyeti ile betonun birim maliyeti arasındaki oran $C_{bc}/C_{bb}=0.5$ alınarak hesaplanmıştır. Başlangıç neslini temsil eden 16 adet birey rastgele oluşturulmuştur. 1. nesilde kısıtlamaların zorlanmadığı, yani $C=0$ olan 13 adet birey vardır (Tablo 6.37). Bu bireyler arasında o neslin en güçlü bireyi 10. bireydir. Çünkü, hem kısıtlayıcılar tarafından zorlanmamakta, hem de o topluluktaki $f(x)=3704.9441$ amaç fonksiyonu değeri ile en düşük maliyetli birey olmaktadır.

Bu nesildeki 6. ve 16. bireyler, 1. neslin en zayıf bireyi olmaları nedeniyle tablodan çıkarılmış, bunların yerine 4. ve 10. bireyler kopyalanmıştır. 2. nesilde (Tablo 6.38) ise en güçlü birey $f(x)=3715.0481$ amaç fonksiyonu değeri ile 7. bireydir.

Tablo 6.37 Örnek 2 - $C_{bc}/C_{bb}=0.5$ için 1. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	φ_{a1}	φ_{a2}	Gelecek nesil
1	010111000110111	290	350	410	3912.2361	0.0000	3912.2361	61724.0703	1.1198	1	010111000110111	6	2	13	010110010001011
2	111011001101110	470	370	320	4150.8247	0.0000	4150.8247	61485.4844	1.1154	1	111011001101110	14	0	4	110011001101110
3	001111111111111	250	490	490	3968.0720	0.0000	3968.0720	61668.2344	1.1188	1	001111111111111	8	8	10	001111111111111
4	000010111010101	190	320	390	3764.7871	0.0000	3764.7871	61871.5195	1.1224	2	000010111010101	12	6	14	000010100100011
5	00101111011010	230	480	440	3901.0854	0.0000	3901.0854	61735.2227	1.1200	1	00101111011010	9	0	5	01101111011010
6	101010000000000	390	180	180	3865.9646	1.5020	61931.3633	3704.9441	0.0672	0	000110010001010	1	2	13	000111000110110
7	000011111101110	190	490	320	3822.6860	0.0000	3822.6860	61813.6211	1.1214	1	000011111101110	10	5	7	000010011101110
8	00010111100100	200	490	220	3795.8550	0.0000	3795.8550	61840.4531	1.1219	1	00010111100100	3	8	10	000101111100100
9	011011110010011	310	460	370	3974.6680	0.0000	3974.6680	61661.6406	1.1186	1	01101110010011	5	0	5	001011110010011
10	000110010001010	210	220	280	3704.9441	0.0000	3704.9441	61931.3633	1.1235	2	000110010001010	7	5	7	000111110001010
11	101111011110100	410	410	380	4110.2520	0.0000	4110.2520	61526.0547	1.1162	1	101111011110100	13	14	15	101111011110101
12	110100100100011	440	270	210	4024.8142	0.0000	4024.8142	61611.4922	1.1177	1	110100100100011	4	6	14	110100111010101
13	100100001101111	360	210	330	3902.3496	0.0000	3902.3496	61733.9570	1.1199	1	100100001101111	11	14	15	100100001101110
14	110000010000010	420	220	200	3942.7959	0.2080	12144.2959	53492.0117	0.9704	1	110000010000010	2	0	4	111000010000010
15	110010100001100	430	260	300	4016.5505	0.0000	4016.5505	61619.7578	1.1179	1	110010100001100	16	4	6	110010100001100
16	001000111000011	220	320	210	3749.3250	1.0495	43098.0859	22538.2207	0.4089	0	00010111010101	15	4	6	000010111010101

Tablo 6.38 Örnek 2 - $C_{bc}/C_{bb}=0.5$ için 2. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	φ_{a1}	φ_{a2}	Gelecek nesil
1	010110010001011	290	220	290	3812.1094	0.0000	3812.1094	105251.6719	1.0652	1	010110010001011	7	0	8	000010010001011
2	110011001101110	430	370	320	4085.1350	0.0000	4085.1350	104978.6484	1.0625	1	110011001101110	5	0	13	011011111011010
3	001111111111111	250	490	490	3968.0720	0.0000	3968.0720	105095.7109	1.0637	1	001111111111111	12	10	13	001111111110111
4	000010100100011	190	270	210	3712.4177	2.7377	105348.7344	3715.0481	0.0376	0	000010011101110	6	9	14	000010011110110
5	011011111011010	310	480	440	4030.0820	0.0000	4030.0820	105033.7031	1.0630	1	011011111011010	2	0	13	110011001101110
6	000111000110110	210	350	400	3791.6802	0.0000	3791.6802	105272.1016	1.0654	1	000111000110110	4	9	14	000111000101110
7	000010011101110	190	250	320	3715.0481	0.0000	3715.0481	105348.7344	1.0662	2	000010011101110	1	0	8	000010010001011
8	000101111100100	200	490	220	3795.8550	0.0000	3795.8550	105267.9297	1.0654	1	000101111100100	10	0	15	000111110001010
9	001011110010011	230	460	370	3854.8850	0.0000	3854.8850	105208.8984	1.0648	1	001011110010011	14	12	14	0010111100010011
10	000111110001010	210	460	280	3807.2119	0.0000	3807.2119	105256.5703	1.0653	1	000111110001010	8	0	15	000101111100100
11	101111011110101	410	410	390	4115.8828	0.0000	4115.8828	104947.8984	1.0622	1	101111011110101	16	1	7	100010111110101
12	110100111010101	440	320	390	4119.9551	0.0000	4119.9551	104943.8281	1.0621	1	110100111010101	3	10	13	110100111011101
13	100100001101110	360	210	320	3901.7915	0.0000	3901.7915	105161.9922	1.0643	1	100100001101110	15	3	8	100010101101110
14	111000010000010	460	220	200	3993.8865	0.0000	3993.8865	105069.8984	1.0634	1	111000010000010	9	12	14	111000010000010
15	110010100001100	430	260	300	4016.5505	0.0000	4016.5505	105047.2344	1.0632	1	110010100001100	13	3	8	110100000001100
16	0000101111010101	190	320	390	3764.7871	0.0000	3764.7871	105298.9922	1.0657	1	0000101111010101	11	1	7	001111011010101

Yukarıda anlatılan işlemler tekrarlanarak 40. nesilde optimum çözüme ulaşılmıştır. Optimum birey "000010000001100" olarak elde edilmiştir. Bu birey dizilerine ayrıldığında her bir dizi bir perde enkesit boyuna karşılık gelecektir. Dizi uzunluğu 5 olduğuna göre, 5'er adet genlerden oluşan üç adet tasarım değişkeni Tablo 6.39'da, 40. nesil ise Tablo 6.41' de gösterilmiştir.

Tablo 6.39 Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ için optimum birey

İkilik Sayılar	Onluk Taban Karşılığı	Set'teki Sıra Numarası	Perde Enkesit Boyları (cm)
(00001)	1	2	190
(00000)	0	1	180
(01100)	12	13	300

Burada,

$l_{w1} \rightarrow 190$ cm

$l_{w2} \rightarrow 180$ "

$l_{w3} \rightarrow 300$ " alınacaktır.

- *Optimum Birey İçin Hesap*

Sistem, Spektral Modal Analiz yöntemiyle çözülmüştür.

Yapı analizinde ilk üç modun katkısı gözönüne alınmış ve hesaplanan periyotlar aşağıda yazılmıştır:

$T_1 = 1.628$ s

$T_2 = 0.505$ s

$T_3 = 0.269$ s

Tablo 6.40'da, sisteme etkiyen kat deprem kuvvetleri gösterilmiştir.

Tablo 6.40 Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ durumunda optimum birey için kat deprem kuvvetleri

Kat No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F_i (kN)	36.10	83.90	114.80	136.90	152.10	156.20	157.40	158.20	158.30	158.40	164.20	172.50	189.10	213.40	244.50	289.80	345.20	408.50	503.00	582.50

Tablo 6.41 Örnek 2 - $C_{bc}/C_{bb}=0.5$ için 40. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	φ_{a1}	φ_{a2}	Gelecek nesil
1	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	2	000010000001100	8	8	11	0000100000001100
2	000010000001101	190	180	310	3656.8064	0.0000	3656.8064	3657.3386	0.9996	1	000010000001101	6	5	12	0000100000001101
3	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	9	0	14	0000100000001100
4	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	5	4	5	0000100000001100
5	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	4	4	5	0000100000001100
6	000010000101100	190	190	300	3659.1128	0.0000	3659.1128	3655.0322	0.9990	0	000010000001100	2	5	12	0000100000001100
7	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	14	10	13	0000100000001100
8	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	1	8	11	0000100000001100
9	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	3	0	14	0000100000001100
10	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	15	1	11	0000100000001100
11	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	16	1	4	0000100000001100
12	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	13	6	13	0000100000001100
13	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	12	6	13	0000100000001100
14	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	7	10	13	0000100000001100
15	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	10	1	11	0000100000001100
16	000010000001100	190	180	300	3655.0322	0.0000	3655.0322	3659.1128	1.0001	1	000010000001100	11	1	4	0000100000001100

Perdelerde Oluşan Kesit Zorları ve Betonarme Donatılarının Hesabı:

Perdelerde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan V_d kesme kuvvetleri, kesitlerin V_r kesme kuvveti taşıma kapasiteleri, düşey donatı hesabı için gerekli olan M_t tasarım momentleri, M_r perde moment taşıma kapasiteleri, δ_i kat ötelemeleri, γ_i görelî kat ötelemelerinin kat yüksekliklerine oranları ve bu oranın maksimum değerleri $\gamma_{\max}$ ile A_s toplam düşey donatı miktarları ile perdeye konabilecek minimum ve maksimum düşey donatı miktarları Tablo 6.42' de gösterilmiştir.

Her katta, benzer perdelerde benzer kesit zorları ve donatı miktarlarının bulunması nedeniyle bu değerler perde tipleri için ayrı ayrı yazılmışlardır.

Tablo 6.42'de gösterilen kesitlerin V_{r1} ve V_{r2} kesme dayanımları, sırasıyla, (5.10b) ve (5.12b) bağıntılarıyla hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan tüm perdelerde oluşan V_d hesap kesme kuvvetlerinin, kesitlerin kesme dayanımlarına ulaşmadığı görülmektedir.

Perdelerde bulunabilecek toplam düşey donatı yüzdesi $\rho_{\max} = 0.04$ ' dır. Deprem yönetmeliğine göre donatıların eklendiği bölgede ise $\rho_{\max} = 0.06$ alınabilir. Üst ve alt perdelerden gelen donatıların maksimum oranda olması ve eklemenin tamamının bir kesitte yapılması durumunda, eklenme bölgesinde $\rho_{\max} = 0.08$ olacaktır. Bu durumu önlemek açısından, bu örnekte perdedeki maksimum toplam düşey donatı yüzdesi $\rho_{\max} = 0.03$ alınmıştır ve maksimum donatı alanı hesabı bu orana göre yapılmıştır. $A_{s\max}$ ' ın hesabı (6.3) bağıntısı ile verilmiştir. Bu bağıntıdaki A_{ch} , perdenin brüt alanıdır. Tablo 6.40'da perdelerde hesaplanan toplam düşey donatı miktarlarının maksimum donatı miktarlarının altında kaldıkları görülmektedir.

$$A_{s\max} = \rho_{\max} \times A_{ch} \quad (6.3)$$

Tablo 6.42 Örnek 2 – $C_{bc}/C_{bb}=0.5$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları

Kat No	l _w (cm)	V _d (kN)	V _{r1} (kN)	V _{r2} (kN)	M _{t(inst)} kNm	M _r (kNm)	δ _i (cm)	γ _i	γ _{imax}	A _s (cm ²)	A _{s min} (cm ²)	A _{smax} (cm ²)
					M _{t(alt)} (kNm)							
1	190	459.30	1070.59	1745.15	1727.30	2242	0.12	0.0004	0.0033	122.15	24.63	142.50
					1727.30							
	180	457.90	1033.56	1653.30	1660.10	2651				104.55	23.00	135.00
					1660.10							
	300	941.30	1551.36	2755.50	4992.90	8703				209.23	41.25	225.00
					4992.90							
2	190	435.70	1070.59	1745.15	1664.00	2159	0.35	0.0008	0.0033	107.69	24.63	142.50
					1727.30							
	180	477.50	1033.56	1653.30	1593.70	2526				91.61	23.00	135.00
					1660.10							
	300	868.60	1551.36	2755.50	4992.90	8582				203.58	41.25	225.00
					4992.90							
3	190	407.30	795.39	1745.15	1577.60	2402	0.66	0.0010	0.0033	100.47	21.07	142.50
					1664.00							
	180	503.10	758.35	1653.30	1510.70	2735				85.20	20.44	135.00
					1593.70							
	300	741.80	1221.11	2755.50	4743.20	8721				171.47	30.00	225.00
					4992.90							
4	190	394.80	795.39	1745.15	1491.20	2348	0.99	0.0011	0.0033	91.61	21.07	142.50
					1577.60							
	180	505.60	758.35	1653.30	1427.70	2577				75.02	20.44	135.00
					1510.70							
	300	677.00	1337.67	2755.50	4493.60	8078				143.82	30.00	225.00
					4743.20							
5	190	382.00	795.39	1745.15	1404.90	2318	1.34	0.0012	0.0033	81.43	21.07	142.50
					1491.20							
	180	497.30	758.35	1653.30	1344.70	2413				64.84	20.44	135.00
					1427.70							
	300	636.20	1337.67	2755.50	4243.90	7399				120.39	30.00	225.00
					4493.60							
6	190	370.50	795.39	1745.15	1318.50	2266	1.70	0.0012	0.0033	71.25	21.07	142.50
					1404.90							
	180	482.80	758.35	1653.30	1261.70	2272				56.30	20.44	135.00
					1344.70							
	300	606.30	1441.28	2755.50	3994.30	6649				93.31	30.00	225.00
					4243.90							
7	190	359.60	795.39	1745.15	1232.10	2069	2.06	0.0012	0.0033	61.07	21.07	142.50
					1318.50							
	180	465.50	758.35	1653.30	1178.70	1929				40.21	20.44	135.00
					1261.70							
	300	582.30	1441.28	2755.50	3744.70	5962				70.69	30.00	225.00
					3994.30							
8	190	348.80	795.39	1745.15	1145.80	2068	2.41	0.0012	0.0033	48.51	21.07	142.50
					1232.10							
	180	447.20	832.82	1653.30	1095.70	1835				30.79	20.44	135.00
					1178.70							
	300	561.60	1441.28	2755.50	3495.00	5389				53.03	30.00	225.00
					3744.70							
9	190	338.80	873.09	1745.15	1059.40	2014	2.76	0.0012	0.0033	37.64	21.07	142.50
					1145.80							
	180	428.00	899.01	1653.30	1012.70	1821				25.89	20.44	135.00
					1095.70							
	300	542.00	1441.28	2755.50	3245.40	4981				42.54	30.00	225.00
					3495.00							
10	190	328.80	873.09	1745.15	973.00	1945	3.10	0.0011	0.0033	25.89	21.07	142.50
					1059.40							
	180	408.40	899.01	1653.30	929.70	1829				25.89	20.44	135.00
					1012.70							
	300	523.30	1441.28	2755.50	2995.70	5059				42.54	30.00	225.00
					3245.40							

Tablo 6.42 Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=0.5$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları (devam)

Kat No	l_w (cm)	V_d (kN)	V_{r1} (kN)	V_{r2} (kN)	$M_{t1}^{(üst)}$ (kNm) $M_{t1}^{(alt)}$ (kNm)	M_r (kNm)	δ_i (cm)	γ_i	γ_{imax}	A_s (cm ²)	$A_{s\min}$ (cm ²)	A_{smax} (cm ²)
11	190	318.60	873.09	1745.15	886.70	2007	3.44	0.0011	0.0033	25.89	21.07	142.50
					973.00					25.89	20.44	135.00
	180	388.80	899.01	1653.30	846.77	1814				25.89	20.44	135.00
					929.77					42.54	30.00	225.00
	300	505.20	1441.28	2755.50	2746.10	5089				42.54	30.00	225.00
					2995.70							
12	190	308.90	873.09	1745.15	800.30	2024	3.76	0.0011	0.0033	25.89	21.07	142.50
					886.70					25.89	20.44	135.00
	180	368.00	899.01	1653.30	763.70	1803				25.89	20.44	135.00
					846.70					42.54	30.00	225.00
	300	482.20	1441.28	2755.50	2496.40	5054				42.54	30.00	225.00
					2746.10							
13	190	298.30	873.09	1745.15	713.90	2019	4.08	0.0011	0.0033	25.89	21.07	142.50
					800.30					25.89	20.44	135.00
	180	346.00	899.01	1653.30	680.60	1826				25.89	20.44	135.00
					763.70					42.54	30.00	225.00
	300	466.30	1441.28	2755.50	2246.80	5068				42.54	30.00	225.00
					2496.40							
14	190	286.00	873.09	1745.15	627.60	2009	4.38	0.0010	0.0033	25.89	21.07	142.50
					713.90					25.89	20.44	135.00
	180	322.40	899.01	1653.30	597.60	1815				25.89	20.44	135.00
					680.60					42.54	30.00	225.00
	300	444.40	1441.28	2755.50	1997.20	5064				42.54	30.00	225.00
					2246.80							
15	190	273.30	873.09	1745.15	541.20	1957	4.67	0.0010	0.0033	25.89	21.07	142.50
					627.60					25.89	20.44	135.00
	180	295.40	899.01	1653.30	514.60	1770				25.89	20.44	135.00
					597.60					42.54	30.00	225.00
	300	418.70	1441.28	2755.50	1747.50	4953				42.54	30.00	225.00
					1997.20							
16	190	258.20	873.09	1745.15	454.90	1733	4.94	0.0009	0.0033	25.89	21.07	142.50
					541.20					25.89	20.44	135.00
	180	264.60	899.01	1653.30	431.60	1687				25.89	20.44	135.00
					514.60					42.54	30.00	225.00
	300	388.50	1441.28	2755.50	1497.90	4733				42.54	30.00	225.00
					1747.50							
17	190	238.80	873.09	1745.15	368.50	1729	5.19	0.0008	0.0033	25.89	21.07	142.50
					454.90					25.89	20.44	135.00
	180	229.30	899.01	1653.30	348.60	1567				25.89	20.44	135.00
					431.60					42.54	30.00	225.00
	300	350.40	1441.28	2755.50	1248.20	4408				42.54	30.00	225.00
					1497.90							
18	190	219.30	873.09	1745.15	282.10	1553	5.42	0.0008	0.0033	25.89	21.07	142.50
					368.50					25.89	20.44	135.00
	180	188.40	899.01	1653.30	265.60	1411				25.89	20.44	135.00
					348.60					42.54	30.00	225.00
	300	300.60	1441.28	2755.50	998.60	3978				42.54	30.00	225.00
					1248.20							
19	190	183.30	873.09	1745.15	195.80	1337	5.62	0.0007	0.0033	25.89	21.07	142.50
					282.10					25.89	20.44	135.00
	180	139.50	899.01	1653.30	182.60	1220				25.89	20.44	135.00
					265.60					42.54	30.00	225.00
	300	234.10	1441.28	2755.50	748.90	3440				42.54	30.00	225.00
					998.60							
20	190	198.20	873.09	1745.15	109.40	1083	5.80	0.0006	0.0033	25.89	21.07	142.50
					195.80					25.89	20.44	135.00
	180	103.10	899.01	1653.30	99.60	993				25.89	20.44	135.00
					182.60					42.54	30.00	225.00
	300	153.80	1441.28	2755.50	499.30	2802				42.54	30.00	225.00
					748.90							

Perde Donatı Hesabı:

Perdelere konacak düşey donatıların kontrolü aşağıda yapılmıştır:

1. kat P104 perdesi için hesap:

- Başlık bölgesi donatısı:*

$$N_{(G+q+E)} = 79154.4 \text{ kN}$$

$$M_t = 1727.30 \text{ kNm} = 172730 \text{ kNcm}$$

Karşılıklı etki eğrileri abağına göre hesap (Berkday, 1989):

$$Z_s/l_w = (l_w - l_{u\phi})/l_w = (190 - 50)/190 = 0.74 \rightarrow S420 \quad Z_s/l_w = 0.80 \text{ abağı kullanılmıştır.}$$

$$n = \frac{N_x}{b_w * l_w * f_{cd}} = \frac{7915.44}{25 \times 190 \times 1.667} = 1$$

$$m = \frac{M_x}{b_w * l_w^2 * f_{cd}} = \frac{172730}{25 \times 190^2 \times 1.667} = 0.115$$

$$w = 0.215$$

$$\rho = w \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.215 \frac{1.667}{36.522} = 0.0098$$

$$A_{sb} = \rho \times b_w \times l_w = 0.0098 \times 25 \times 190 = 46.55 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen} \rightarrow 20\phi 18 \rightarrow 50.89 \text{ cm}^2$$

- Gövde donatısı*

$$N_{(G+q)} = 8378.28 \text{ kN}$$

$$M_y = 283.14 \text{ kNm} = 28314 \text{ kNcm.}$$

Karşılıklı etki eğrileri abağına göre hesap:

$$Z_s/l_w = (b_w - 2d')/b_w = (25 - 6)/25 = 0.76 \rightarrow S420 \quad Z_s/l_w = 0.80 \text{ abağı kullanılmıştır.}$$

$$n = \frac{N_y}{b_w * l_w * f_{cd}} = \frac{8378.28}{25 \times 190 \times 1.667} = 1.06$$

$$m = \frac{M_y}{l_w * b_w^2 * f_{cd}} = \frac{28314}{190 \times 25^2 \times 1.667} = 0.143$$

$$w = 0.274$$

$$\rho = w \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.294 \frac{1.667}{36.522} = 0.0125$$

$$A_s = \rho \times b_w \times l_w = 0.0125 \times 25 \times 190 = 59.38 \text{ cm}^2$$

$$\text{Her iki başlıkta tek yönde yerleştirilen donatı : } A_{sbx} = 2 \times 10\phi 18 \rightarrow 50.89 \text{ cm}^2$$

$$A_{sg} = A_s - A_{sbx} = 59.38 - 50.89 = 8.49 \text{ cm}^2$$

$$\text{Seçilen} \rightarrow 4\phi 18 \rightarrow 10.18 \text{ cm}^2$$

$$\text{Toplam düşey donatı: } 2 \times 20\phi 18 + 2 \times 4\phi 18 \rightarrow 122.15 \text{ cm}^2$$

Donatılar, diğer perdeler için de aynı yöntemle hesaplanmıştır.

Optimum birey için amaç fonksiyonunun hesabı:

Düşey taşıyıcı elemanlar olarak perdelerin kullanıldığı bu sistemde de amaç fonksiyonu sistemin toplam maliyetinin minimizasyonudur. Çeliğin birim fiyatı ile betonun birim fiyatı arasındaki oran $C_{bc} / C_{bb} = 0.5$ kabul edilerek amaç fonksiyonu için 6.2 ifadesi;

$$\text{Min } f(x) = 0.5W_{ql} + V_{bt} \quad (6.2)$$

elde edilmiştir.

Örnek 2' de [190, 180, 300] olarak bulunan optimum çözüm için sistemde kullanılan toplam beton ve çelik miktarları hesaplanmış ve aşağıda yazılmıştır:

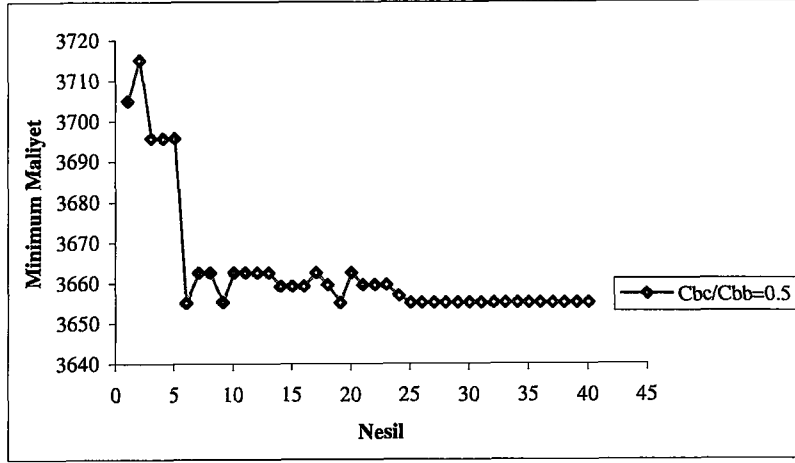
$$V_{bt} = 2418.42 \text{ m}^3$$

$$W_{ql} = 2473.224 \text{ kN}$$

Bu durumda $f(x)$ amaç fonksiyonu ise;

$$f(x) = 2418.42 + 0.5 \times 2473.224 = 3655.0322 \text{ olarak bulunur.}$$

Şekil 6.8' de, $C_{bc} / C_{bb} = 0.5$ için, Nesil-Minimum Maliyet değişimi grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Örnek 2 - $C_{bc} / C_{bb} = 0.5$ için Nesil - Minimum Maliyet grafiği

Aynı yapı sistemi C_{bc}/C_{bb} maliyet oranı değiştirilerek iki defa daha çözülmüş ve optimum çözümün değişimi incelenmiştir. Aşağıda bu çözümler özetlenmiştir:

II) $C_{bc} / C_{bb} = 1$ için hesap:

Şekil 6.6' da gösterilen sistem $C_{bc} / C_{bb} = 1$ alınarak tekrar çözülmüştür. Sadece birim maliyet oranı değiştirilerek elde edilen çözümlere ait 1. nesil ve sonucun elde edildiği 52. nesil sırasıyla Tablo 6.44 ve Tablo 6.45' de gösterilmiştir. Sistemin maliyetini minimum yapan perde enkesit boyları [200, 200, 330] olarak hesaplanmıştır.

• Optimum birey için hesap

Yapı analizinde ilk üç modun etkisi dikkate alınmış ve hesaplanan periyotlar aşağıda yazılmıştır:

$$T_1 = 1.654 \text{ s}, \quad T_2 = 0.510 \text{ s}, \quad T_3 = 0.269 \text{ s}$$

Tablo 6.43'de, $C_{bc} / C_{bb} = 1$ durumu için optimum çözümün kat deprem kuvvetleri verilmiştir

Tablo 6.43 Örnek 2 – $C_{bc}/C_{bb}=1$ durumunda optimum birey için kat deprem kuvvetleri

Kat No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F_i (kN)	35.60	82.80	113.02	134.87	150.48	154.94	156.36	157.72	157.81	158.49	164.56	172.48	188.39	211.87	241.45	285.64	340.54	403.46	502.25	594.70

Tablo 6.44 Örnek 2 - $C_{bc}/C_{bb}=1$ için 1. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{adi}	$F_{adi}/F_{adi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	φ_1	φ_2	Gelecek nesil
1	100011000100011	350	350	210	5243.6382	0.0000	5243.6382	89941.9052	1.0627	1	100011000100011	8	5	11	100011000100011
2	111010111101100	470	330	300	5471.7690	0.0000	5471.7690	89713.7744	1.0600	1	111010111101100	14	4	14	111001010000100
3	110000111001010	420	320	280	5359.9961	0.0000	5359.9961	89825.5473	1.0614	1	110000111001010	10	5	6	110001111001010
4	101000000000000	380	180	180	5145.6118	1.6528	90191.7031	4993.8403	0.0590	0	001100001101001	16	1	11	011101101001001
5	111100001110010	480	210	360	5405.2979	0.0000	5405.2979	89780.2455	1.0608	1	111100001110010	9	0	7	001100001110010
6	011101000111111	320	350	490	5284.1738	0.0000	5284.1738	89901.3696	1.0623	1	011101000111111	13	3	13	011001110101011
7	011011111100111	310	490	250	5246.9629	0.0000	5246.9629	89938.5805	1.0627	1	011011111100111	15	10	12	011011111101111
8	010101000101111	280	350	330	5129.0020	0.0000	5129.0020	90056.5414	1.0641	1	010101000101111	1	5	11	010101000101111
9	001100001101001	240	210	270	4993.8403	0.0000	4993.8403	90191.7031	1.0657	2	001100001101001	5	0	7	111100001101001
10	000111111001110	210	480	320	5081.6880	0.0000	5081.6880	90103.8554	1.0646	1	000111111001110	3	5	6	000110111001110
11	101011111011000	390	480	420	5473.9839	0.0000	5473.9839	89711.5595	1.0600	1	101011111011000	12	0	15	000101110001100
12	000101110001100	200	460	300	5046.5933	0.0000	5046.5933	90138.9501	1.0651	1	000101110001100	11	0	15	101011111011000
13	100001110101011	340	470	290	5305.7051	0.0000	5305.7051	89879.8383	1.0620	1	100001110101011	6	3	13	100101000111111
14	001101010000101	240	380	230	5062.6431	0.0000	5062.6431	90122.9003	1.0649	1	001101010000101	2	4	14	001110111101101
15	110110010101111	450	230	330	5360.0488	0.0000	5360.0488	89825.4946	1.0614	1	110110010101111	7	10	12	110110010100111
16	011101101000010	320	440	200	5190.8711	0.0000	5190.8711	89994.6723	1.0634	1	011101101000010	4	1	11	001100001100010

Tablo 6.45 Örnek 2 - $C_{bc}/C_{bb}=1$ için 52. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	φ_{a1}	φ_{a2}	Gelecek nesil
1	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	2	000100001001111	10	2	3	000100001001111
2	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	13	5	13	000100001001111
3	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	16	0	10	000100001001111
4	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	6	11	14	000100001001111
5	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	11	6	8	000100001001111
6	000100001001110	200	200	320	4864.0571	0.0000	4864.0571	4862.0127	0.9996	1	000100001001110	4	11	14	000100001001110
7	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	12	1	5	000100001001111
8	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	9	0	5	000100001001111
9	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	8	0	5	000100001001111
10	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	1	2	3	000100001001111
11	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	5	6	8	000100001001111
12	000100001001101	200	200	310	4864.2290	0.0000	4864.2290	4861.8408	0.9996	0	000100001001111	7	1	5	000100001001111
13	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	2	5	13	000100001001111
14	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	15	10	13	000100001001111
15	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	14	10	13	000100001001111
16	000100001001111	200	200	330	4861.8408	0.0000	4861.8408	4864.2290	1.0001	1	000100001001111	3	0	10	000100001001111

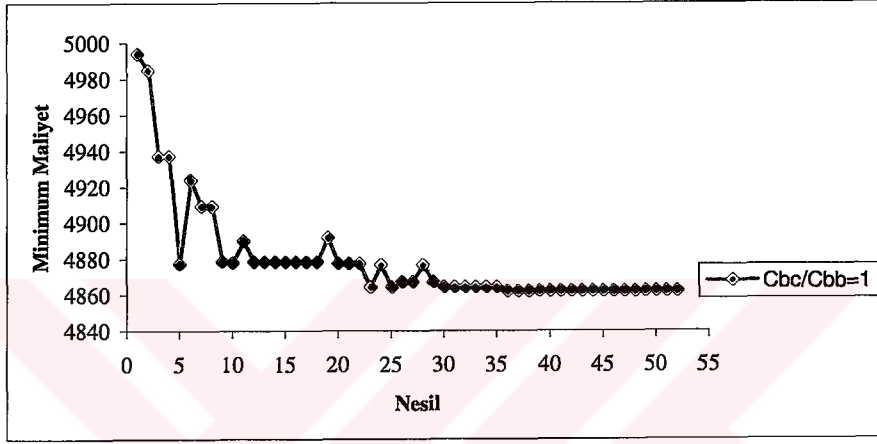
Optimum birey için amaç fonksiyonunun hesabı:

$$V_{bt} = 2450.22 \text{ m}^3$$

$$W_{\phi l} = 2411.621 \text{ kN}$$

$$f(x) = 2450.22 + 1 \times 2411.621 = 4861.8408 \text{ bulunmuştur.}$$

Şekil 6.9' da $C_{bc} / C_{bb} = 1$ alındığında her nesil için hesaplanan minimum maliyet değerleri grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.9 Örnek 2 - $C_{bc} / C_{bb} = 1$ için Nesil – Minimum Maliyet grafiği

Perdelerde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan V_d kesme kuvvetleri, kesitlerin V_r kesme kuvveti taşıma kapasiteleri, düşey donatı hesabı için gerekli olan M_t tasarım momentleri, M_r perde moment taşıma kapasiteleri, δ_i kat ötelemeleri, γ_i görelî kat ötelemelerinin kat yüksekliklerine oranları ve bu oranın maksimum değerleri γ_{imax} ile A_s toplam düşey donatı miktarları, perdeye konabilecek minimum ve maksimum düşey donatı miktarları Tablo 6.46' da gösterilmiştir.

Perdelerde Oluşan Kesit Zorları ve Betonarme Donatılarının Hesabı:

Tablo 6.46 Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları

Kat No	l _w (cm)	V _d (kN)	V _{r1} (kN)	V _{r2} (kN)	M _{t(üst)} (kNm)	M _r (kNm)	δ _i (cm)	δ _i	δ _{imax}	A _s (cm ²)	A _{s min} (cm ²)	A _{smax} (cm ²)
					M _{t(alt)} (kNm)							
1	200	448.20	1107.63	1837.00	1839.50	2414	0.11	0.0004	0.0033	111.97	26.25	150.00
					1839.50							
	200	476.70	1172.38	1837.00	2008.00	3046				86.65	26.25	150.00
					2008.00							
	330	971.10	1706.49	3031.05	5962.60	9574				188.87	45.38	247.50
					5962.60							
2	200	439.60	1172.38	1837.00	1778.20	2315	0.34	0.0008	0.0033	96.82	26.25	150.00
					1839.50							
	200	481.40	1107.63	1837.00	1941.00	2899				77.16	26.25	150.00
					2008.00							
	330	949.20	1706.49	3031.05	5962.60	9335				178.13	45.38	247.50
					5962.60							
3	200	416.30	913.36	1837.00	1686.20	2438	0.64	0.0011	0.0033	84.63	21.69	150.00
					1778.20							
	200	501.50	985.31	1837.00	1840.60	3007				66.73	21.69	150.00
					1941.00							
	330	819.70	1706.49	3031.05	5724.10	8714				148.16	45.38	247.50
					5962.60							
4	200	406.10	985.31	1837.00	1594.20	2332	0.99	0.0011	0.0033	69.55	21.69	150.00
					1686.20							
	200	505.20	985.31	1837.00	1740.20	2794				54.29	21.69	150.00
					1840.60							
	330	744.20	1585.40	3031.05	5425.90	8673				118.75	24.75	247.50
					5724.10							
5	200	393.50	985.31	1837.00	1502.20	2311	1.35	0.0012	0.0033	59.38	21.69	150.00
					1594.20							
	200	498.10	985.31	1837.00	1639.80	2643				45.74	21.69	150.00
					1740.20							
	330	694.30	1585.40	3031.05	5127.80	7986				98.39	24.75	247.50
					5425.90							
6	200	381.70	985.31	1837.00	1410.30	2157	1.71	0.0012	0.0033	45.74	21.69	150.00
					1502.20							
	200	484.80	985.31	1837.00	1539.40	2429				35.12	21.69	150.00
					1639.80							
	330	657.40	1585.40	3031.05	4829.70	7269				78.04	24.75	247.50
					5127.80							
7	200	370.00	985.31	1837.00	1318.30	1999	2.08	0.0012	0.0033	32.04	21.69	150.00
					1410.30							
	200	468.30	985.31	1837.00	1439.00	2198				25.89	21.69	150.00
					1539.40							
	330	628.40	1585.40	3031.05	4531.60	6576				59.31	24.75	247.50
					4829.70							
8	200	358.40	985.31	1837.00	1226.30	1991	2.45	0.0012	0.0033	25.89	21.69	150.00
					1318.30							
	200	450.40	985.31	1837.00	1338.60	2218				25.89	21.69	150.00
					1439.00							
	330	603.70	1585.40	3031.05	4233.40	6048				45.62	24.75	247.50
					4531.60							
9	200	347.40	985.31	1837.00	1134.30	2102	2.81	0.0012	0.0033	25.89	21.69	150.00
					1226.30							
	200	431.50	985.31	1837.00	1238.20	2229				25.89	21.69	150.00
					1338.60							
	330	581.10	1585.40	3031.05	3935.30	6141				45.62	24.75	247.50
					4233.40							
10	200	336.60	985.31	1837.00	1042.40	2179	3.16	0.0012	0.0033	25.89	21.69	150.00
					1134.30							
	200	412.00	985.31	1837.00	1137.80	2210				25.89	21.69	150.00
					1238.20							
	330	560.40	1585.40	3031.05	3637.20	6176				45.62	24.75	247.50
					3935.30							

Tablo 6.46 Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları (devam)

Kat No	l _w (cm)	V _d (kN)	V _{r1} (kN)	V _{r2} (kN)	M _{t(üst)} (kNm)	M _r (kNm)	δ _i (cm)	γ _i	γ _{imax}	A _s (cm ²)	A _{s min} (cm ²)	A _{smax} (cm ²)
					M _{t(a1t)} (kNm)							
11	200	325.50	985.31	1837.00	950.40	2219	3.51	0.0012	0.0033	25.89	21.69	150.00
					1042.40							
	200	392.20	985.31	1837.00	1037.40	2181				25.89	21.69	150.00
					1137.80							
	330	540.20	1585.40	3031.05	3339.00	6148				45.62	24.75	247.50
					3637.20							
12	200	314.70	985.31	1837.00	858.40	2218	3.85	0.0011	0.0033	25.89	21.69	150.00
					950.40							
	200	371.30	985.31	1837.00	937.10	2217				25.89	21.69	150.00
					1037.40							
	330	519.40	1585.40	3031.05	3040.90	6132				45.62	24.75	247.50
					3339.00							
13	200	303.20	985.31	1837.00	766.40	2226	4.17	0.0011	0.0033	25.89	21.69	150.00
					858.40							
	200	349.10	985.31	1837.00	836.70	2221				25.89	21.69	150.00
					937.10							
	330	497.80	1585.40	3031.05	2742.80	6185				45.62	24.75	247.50
					3040.90							
14	200	290.20	985.31	1837.00	674.50	2195	4.48	0.0010	0.0033	25.89	21.69	150.00
					766.40							
	200	325.20	985.31	1837.00	736.30	2185				25.89	21.69	150.00
					836.70							
	330	473.70	1585.40	3031.05	2444.70	6108				45.62	24.75	247.50
					2742.80							
15	200	276.50	985.31	1837.00	582.50	2120	4.77	0.0010	0.0033	25.89	21.69	150.00
					674.50							
	200	298.20	985.31	1837.00	635.90	2111				25.89	21.69	150.00
					736.30							
	330	445.80	1585.40	3031.05	2146.50	5915				45.62	24.75	247.50
					2444.70							
16	200	260.50	985.31	1837.00	490.50	2005	5.05	0.0009	0.0033	25.89	21.69	150.00
					582.50							
	200	267.50	985.31	1837.00	535.50	1994				25.89	21.69	150.00
					635.90							
	330	412.80	1585.40	3031.05	1848.40	5610				45.62	24.75	247.50
					2146.50							
17	200	240.10	985.31	1837.00	398.60	1848	5.30	0.0008	0.0033	25.89	21.69	150.00
					490.50							
	200	232.60	985.31	1837.00	435.10	1835				25.89	21.69	150.00
					535.50							
	330	370.60	1585.40	3031.05	1550.30	5194				45.62	24.75	247.50
					1848.40							
18	200	219.20	985.31	1837.00	306.60	1651	5.53	0.0008	0.0033	25.89	21.69	150.00
					398.60							
	200	192.10	985.31	1837.00	334.70	1638				25.89	21.69	150.00
					435.10							
	330	315.20	1585.40	3031.05	1252.10	4664				45.62	24.75	247.50
					1550.30							
19	200	183.20	985.31	1837.00	214.60	1417	5.73	0.0007	0.0033	25.89	21.69	150.00
					306.60							
	200	144.00	985.31	1837.00	234.30	1403				25.89	21.69	150.00
					334.70							
	330	241.90	1585.40	3031.05	954.00	4024				45.62	24.75	247.50
					1252.10							
20	200	198.00	985.31	1837.00	122.60	1144	5.92	0.0006	0.0033	25.89	21.69	150.00
					214.60							
	200	109.20	985.31	1837.00	133.90	1130				25.89	21.69	150.00
					234.30							
	330	147.20	1585.40	3031.05	655.90	3275				45.62	24.75	247.50
					954.00							

III) $C_{bc} / C_{bb} = 1.5$ için hesap:

Şekil 6.6' da verilen sistem $C_{bc} / C_{bb} = 1.5$ alınarak bir kez daha çözülmüştür ve maliyet değerleri hesaplanmıştır. Tablo 6.48' de bu çözüme ait 1. nesil, Tablo 6.49' da ise optimum sonucun elde edildiği 34. nesil gösterilmiştir. 34. nesilde elde edilen optimumum çözümü temsil eden perde enkesit boyları [200, 200, 370] olarak bulunmuştur.

• Optimum birey için hesap

Yapı analizinde ilk üç modun etkisi dikkate alınmış ve hesaplanan periyotlar aşağıda yazılmıştır:

$$T_1 = 1.633 \text{ s}$$

$$T_2 = 0.499 \text{ s}$$

$$T_3 = 0.260 \text{ s}$$

Tablo 6.47'de, $C_{bc} / C_{bb} = 1.5$ durumu için optimum çözümün kat deprem kuvvetleri verilmiştir

Tablo 6.47 Örnek 2 – $C_{bc}/C_{bb}=1.5$ durumunda optimum birey için kat deprem kuvvetleri

Kat No	F_i (kN)
1	36.40
2	84.00
3	114.60
4	137.40
5	153.90
6	158.80
7	160.10
8	160.90
9	158.70
10	159.90
11	165.30
12	172.80
13	188.70
14	212.70
15	243.10
16	288.60
17	341.50
18	410.00
19	513.30
20	613.10

Tablo 6.48 Örnek 2 - $C_{b0}/C_{b5}=1.5$ için 1. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_i	$F_{ad}/F_{ad(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	φ_{a1}	φ_{a2}	Gelecek nesil
1	010000110001110	260	300	320	6320.8384	0.0000	6320.8384	19451.7612	1.0548	1	010000110001110	14	1	13	001111011000010
2	001001111101011	220	490	290	6359.8130	0.0000	6359.8130	19412.7866	1.0527	1	001001111101011	9	5	12	001001100100011
3	010001100111110	260	430	480	6452.4009	0.0000	6452.4009	19320.1987	1.0476	1	010001100111110	10	4	15	010011101001100
4	110001000011010	420	340	440	6778.5444	0.0000	6778.5444	18994.0552	1.0300	1	110001000011010	11	2	13	110011101011010
5	101001001010010	380	360	360	6625.9863	0.0000	6625.9863	19146.6133	1.0382	1	101001001010010	8	1	7	111011001010010
6	00111101100010	250	450	200	6337.4502	0.2080	19520.1250	6252.4746	0.3390	0	000010101001011	13	8	12	000010100100011
7	000010101001011	190	280	290	6252.4746	0.0000	6252.4746	19520.1250	1.0585	2	000010101001011	12	12	14	000010101001111
8	011011001100011	310	370	210	6480.8999	0.0000	6480.8999	19291.6997	1.0461	1	011011001100011	5	1	7	001001001100011
9	11111100100100	490	430	220	6939.0024	0.0000	6939.0024	18833.5972	1.0213	1	11111100100100	2	5	12	11111111101100
10	11011101001100	450	440	300	6865.5571	0.0000	6865.5571	18907.0425	1.0252	1	11011101001100	3	4	15	110101100111110
11	010011101011001	270	440	430	6481.6538	0.0000	6481.6538	19290.9458	1.0461	1	010011101011001	4	2	13	010001000011001
12	000001111001111	180	480	330	6330.5425	0.0000	6330.5425	19442.0571	1.0542	1	000001111001111	7	12	14	000001111001011
13	011001100100011	300	430	210	6497.7544	0.0000	6497.7544	19274.8452	1.0452	1	011001100100011	6	8	12	011001101001011
14	101111011000001	410	400	190	6654.9619	0.0000	6654.9619	19117.6377	1.0367	1	101111011000001	1	1	13	110000110001101
15	001011000010101	230	340	390	6289.3662	0.0000	6289.3662	19483.2334	1.0565	1	001011000010101	16	3	5	001101000010101
16	011100011010101	320	240	390	6444.6284	0.0000	6444.6284	19327.9712	1.0481	1	011100011010101	15	3	5	011010011010101

Tablo 6.49 Örnek 2 - $C_{bc}/C_{bb}=1.5$ için 34. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_i	$F_{adj}/F_{adj(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş	φ_{a1}	φ_{a2}	Gelecek nesil
1	000010001010001	190	200	350	6050.3328	0.0000	6050.3328	6047.6350	0.9996	0	000100001010011	10	7	11	000100001010011
2	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	2	000100001010011	9	13	15	000100001010011
3	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	6	11	13	000100001010011
4	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	12	1	14	000100001010011
5	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	7	13	14	000100001010011
6	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	3	11	13	000100001010011
7	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	5	13	14	000100001010011
8	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	14	1	2	000100001010011
9	000010001010111	190	200	410	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000010001010111	2	13	15	000010001010111
10	0000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	1	7	11	000100001010011
11	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	15	12	15	000100001010011
12	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	4	1	14	000100001010011
13	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	16	3	11	000100001010011
14	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	8	1	2	000100001010011
15	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	11	12	15	000100001010011
16	000100001010011	200	200	370	6047.6350	0.0000	6047.6350	6050.3328	1.0000	1	000100001010011	13	3	11	000100001010011

Optimum birey için amaç fonksiyonunun hesabı:

Optimum çözüme ait beton ve donatı miktarları ise şöyledir:

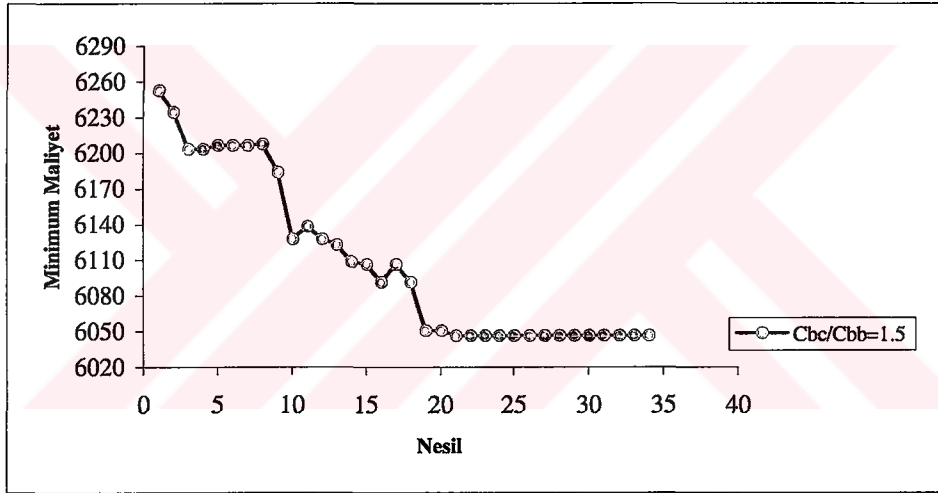
$$V_{bt} = 2467.42 \text{ m}^3$$

$$W_{ql} = 2386.810 \text{ kN}$$

Optimum çözüme ait amaç fonksiyonu değeri;

$$f(x) = 2467.42 + 1.5 \times 2386.810 = 6047.6350 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Şekil 6.10' da ise, $C_{bc} / C_{bb} = 1.5$ alındığında her nesil için elde edilen minimum maliyet değerleri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.10 Örnek 2 - $C_{bc} / C_{bb} = 1.5$ için Nesil – Minimum Maliyet grafiği

Perdelerde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan V_d kesme kuvvetleri, kesitlerin V_r kesme kuvveti taşıma kapasiteleri, düşey donatı hesabı için gerekli olan M_t tasarım momentleri, M_r perde moment taşıma kapasiteleri, δ_i kat ötelemeleri, γ_i göreceli kat ötelemelerinin kat yüksekliklerine oranları ve bu oranın maksimum değerleri γ_{imax} ile A_s toplam düşey donatı miktarları, perdeye konabilecek minimum ve maksimum düşey donatı miktarları Tablo 6.50' de gösterilmiştir.

Perdelerde Oluşan Kesit Zorları ve Betonarme Donatılarının Hesabı:

Tablo 6.50 Örnek 2 – $C_{bo}/C_{bb}=1.5$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları

Kat No	I_w (cm)	V_d (kN)	V_{r1} (kN)	V_{r2} (kN)	$M_{r(üst)}$ (kNm) $M_{r(alt)}$ (kNm)	M_r (kNm)	δ_i (cm)	γ_i	γ_{imax}	A_s (cm ²)	$A_{s\min}$ (cm ²)	A_{smax} (cm ²)
1	200	423.70	1107.63	1837.00	1739.90	2237	0.10	0.0003	0.0033	101.54	26.25	150.00
					1739.90							
	200	450.30	1172.38	1837.00	1907.20	3032				81.56	26.25	150.00
					1907.20							
	370	1083.40	2033.14	3398.45	7479.40	11172				173.29	50.88	277.50
					7479.40							
2	200	416.30	1107.63	1837.00	1681.90	2358	0.32	0.0007	0.0033	96.45	26.25	150.00
					1739.90							
	200	452.30	1107.63	1837.00	1843.60	2916				76.09	26.25	150.00
					1907.20							
	370	1060.90	1913.34	3398.45	7479.40	10900				167.95	50.88	277.50
					7479.40							
3	200	402.00	985.31	1837.00	1595.00	2252	0.61	0.0010	0.0033	74.64	21.69	150.00
					1681.90							
	200	481.60	913.36	1837.00	1748.30	2975				64.28	21.69	150.00
					1748.30							
	370	898.20	1913.34	3398.45	7280.00	10230				140.93	50.88	277.50
					7479.40							
4	200	396.60	985.31	1837.00	1508.00	2234	0.94	0.0011	0.0033	64.47	21.69	150.00
					1595.00							
	200	492.00	985.31	1837.00	1652.90	2756				51.46	21.69	150.00
					1748.30							
	370	798.10	1649.79	3398.45	6906.00	10241				119.44	37.00	277.50
					7280.00							
5	200	386.20	985.31	1837.00	1421.00	2205	1.30	0.0012	0.0033	54.29	21.69	150.00
					1508.00							
	200	731.00	985.31	1837.00	1557.60	2456				37.70	21.69	150.00
					1652.90							
	370	375.80	1777.57	3398.45	6532.10	9175				87.65	37.00	277.50
					6906.00							
6	200	478.70	985.31	1837.00	1334.00	2107	1.66	0.0012	0.0033	41.72	21.69	150.00
					1421.00							
	200	681.70	985.31	1837.00	1462.20	2282				28.97	21.69	150.00
					1557.60							
	370	364.60	1777.57	3398.45	6158.10	8547				72.38	37.00	277.50
					6532.10							
7	200	463.90	985.31	1837.00	1247.00	1994	2.02	0.0012	0.0033	31.23	21.69	150.00
					1334.00							
	200	644.20	985.31	1837.00	1366.80	2212				25.89	21.69	150.00
					1462.20							
	370	353.00	1777.57	3398.45	5784.10	7692				53.22	37.00	277.50
					6158.10							
8	200	447.10	985.31	1837.00	1160.00	2013	2.39	0.0012	0.0033	25.89	21.69	150.00
					1247.00							
	200	613.60	985.31	1837.00	1274.50	2222				25.89	21.69	150.00
					1366.80							
	370	341.80	1777.57	3398.45	5410.10	7616				50.14	37.00	277.50
					5784.10							
9	200	428.60	985.31	1837.00	1073.00	2117	2.75	0.0012	0.0033	25.89	21.69	150.00
					1160.00							
	200	586.90	985.31	1837.00	1176.10	2222				25.89	21.69	150.00
					1271.50							
	370	330.80	1777.57	3398.45	5036.20	7657				50.14	37.00	277.50
					5410.10							
10	200	409.60	985.31	1837.00	986.00	2189	3.10	0.0012	0.0033	25.89	21.69	150.00
					1073.00							
	200	563.20	985.31	1837.00	1080.80	2202				25.89	21.69	150.00
					1176.10							
	370	319.30	1777.57	3398.45	4662.20	7658				50.14	37.00	277.50
					5036.20							

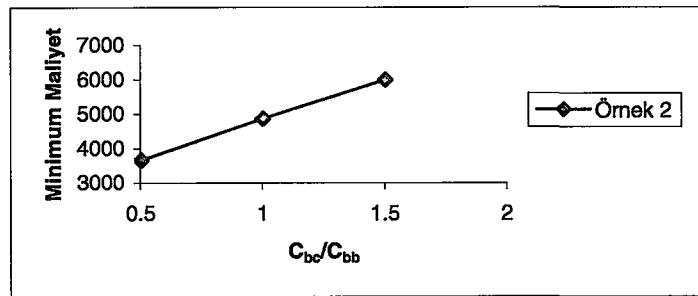
Tablo 6.50 Örnek 2 – $C_{bc}/C_{bb}=1.5$ durumunda optimum birey için perde kesit zorları ve düşey donatı miktarları (devam)

Kat No	l _w (cm)	V _d (kN)	V _{r1} (kN)	V _{r2} (kN)	M _{t(üst)} (kNm)	M _r	δ _i (cm)	γ _i	γ _{imax}	A _s (cm ²)	A _{s min} (cm ²)	A _{smax} (cm ²)
					M _{t(alt)} (kNm)	(kNm)						
11	200	319.30	985.31	1837.00	899.00	2221	3.44	0.0012	0.0033	25.89	21.69	150.00
					986.00							
	200	390.00	985.31	1837.00	985.44	2196				25.89	21.69	150.00
					1080.80							
	370	541.20	1777.57	3398.45	4288.20	7592				50.14	37.00	277.50
4662.20												
12	200	308.10	985.31	1837.00	812.00	2222	3.78	0.0011	0.0033	25.89	21.69	150.00
					899.00							
	200	369.20	985.31	1837.00	890.00	2222				25.89	21.69	150.00
					985.40							
	370	519.10	1777.57	3398.45	3914.20	7647				50.14	37.00	277.50
4288.20												
13	200	296.50	985.31	1837.00	725.00	2220	4.10	0.0011	0.0033	25.89	21.69	150.00
					812.00							
	200	347.30	985.31	1837.00	794.70	2213				25.89	21.69	150.00
					890.00							
	370	496.70	1777.57	3398.45	3540.30	7641				50.14	37.00	277.50
3914.20												
14	200	283.10	985.31	1837.00	638.00	2183	4.41	0.0010	0.0033	25.89	21.69	150.00
					725.00							
	200	323.80	985.31	1837.00	699.30	2168				25.89	21.69	150.00
					794.70							
	370	472.50	1777.57	3398.45	3166.30	7505				50.14	37.00	277.50
3540.30												
15	200	269.40	985.31	1837.00	551.00	2108	4.70	0.0010	0.0033	25.89	21.69	150.00
					638.00							
	200	297.10	985.31	1837.00	604.00	2088				25.89	21.69	150.00
					699.30							
	370	443.90	1777.57	3398.45	2792.30	7248				50.14	37.00	277.50
3166.30												
16	200	253.30	985.31	1837.00	464.00	1991	4.98	0.0009	0.0033	25.89	21.69	150.00
					551.00							
	200	267.10	985.31	1837.00	508.60	1973				25.89	21.69	150.00
					604.00							
	370	409.40	1777.57	3398.45	2418.40	6854				50.14	37.00	277.50
2792.30												
17	200	233.00	985.31	1837.00	377.00	1832	5.23	0.0009	0.0033	25.89	21.69	150.00
					464.00							
	200	232.80	985.31	1837.00	413.20	1814				25.89	21.69	150.00
					508.60							
	370	363.90	1777.57	3398.45	2044.40	6323				50.14	37.00	277.50
2418.40												
18	200	212.70	985.31	1837.00	290.00	1636	5.46	0.0008	0.0033	25.89	21.69	150.00
					377.00							
	200	193.80	985.31	1837.00	317.90	1618				25.89	21.69	150.00
					413.20							
	370	302.60	1777.57	3398.45	1670.40	5667				50.14	37.00	277.50
2044.40												
19	200	178.70	985.31	1837.00	203.00	1404	5.67	0.0007	0.0033	25.89	21.69	150.00
					290.00							
	200	147.70	985.31	1837.00	222.50	1387				25.89	21.69	150.00
					317.90							
	370	221.20	1777.57	3398.45	1296.40	4888				50.14	37.00	277.50
1670.40												
20	200	194.00	985.31	1837.00	116.00	1137	5.86	0.0006	0.0033	25.89	21.69	150.00
					203.00							
	200	120.80	985.31	1837.00	127.10	1122				25.89	21.69	150.00
					222.50							
	370	88.60	1777.57	3398.45	922.50	3990				50.14	37.00	277.50
1296.40												

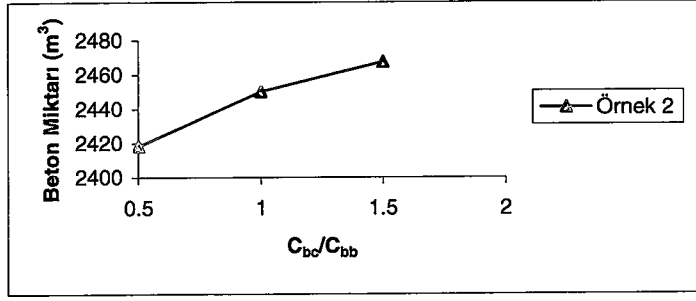
6.2.2 Sonuçlar

Örnek 2, C_{bc}/C_{bb} oranı sırasıyla 0.5, 1, 1.5 alınarak üç defa farklı başlangıç değerleriyle çözölmüş ve elde edilen sonuçlar aşağıda grafik halinde gösterilmiştir.

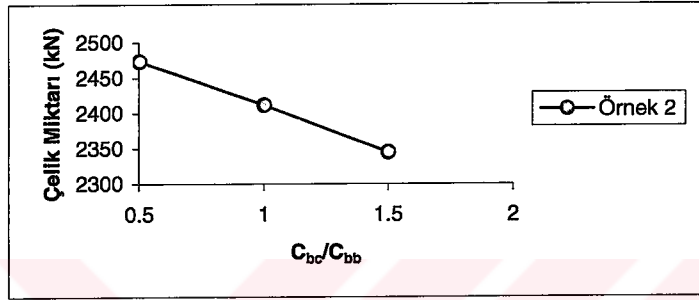
- Şekil 6.11’de, maliyet oranı - her nesil için elde edilen minimum maliyetler grafik olarak verilmiştir. Donatının birim maliyeti ile betonun birim maliyeti arasındaki oran arttıkça her maliyet oranı için hesaplanan optimum özömden elde edilen toplam yapı maliyeti de artmaktadır.
- Şekil 6.12’ de, maliyet oranı – beton miktarı grafiğı çizilmiştir. Donatının birim maliyeti ile betonun birim maliyeti arasındaki oran arttıkça, her oran için hesaplanan optimum özömden elde edilen yapının toplam beton miktarı artmaktadır. Yani, beton eliğı göre ucuzladıka betonun daha fazla kullanıldığı özömler optimum çözüm olmaktadır.
- Şekil 6.13’ de ise, maliyet oranı – elik miktarı grafiğı verilmiştir. Bu grafikten de göröleceğı gibi, eliğın betona göre daha pahalı olduğı özömlerde minimum maliyetli çözüm bulunurken, eliğın daha az kullanıldığı sistemler ağırlık kazanmaktadır. Yani eliğın birim maliyeti ile betonun birim maliyeti arasındaki oran arttıkça, elde edilen optimum özömlerde elik miktarı azalmaktadır.



Şekil 6.11 Örnek 2 için Birim Maliyet Oranı – Minimum Maliyet grafiğı



Şekil 6.12 Örnek 2 için Birim Maliyet Oranı - Beton Miktarı grafiği



Şekil 6.13 Örnek 2 için Birim Maliyet Oranı - Çelik Miktarı grafiği

Genetik algoritma yönteminin sisteme uygulanmasıyla, ne ölçüde ekonomi sağlandığını göstermek amacıyla, Örnek 2' de çözülen sistem ele alınmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır:

- Yapısal bir sistemin tasarımını yaparken, optimizasyon yöntemlerinden birini kullanmayan bir mühendis, genellikle şöyle bir yol izler:

Yapının taşıyıcı elemanlarını, yönetmeliklerin ve tecrübelerin gerektirdiği minimum ölçülerde boyutlandırır ve çözümünü yapar. Yetersiz elemanların boyutlarını bir miktar artırır ve sistemi tekrar çözer. Bu işlemi, bütün taşıyıcı sistem eleman boyutları yeterli oluncaya kadar tekrarlar. Sonuçta, şartname koşullarını sağlayan yeterli boyutlara haiz sistemi oluşturur.

Şekil 6.6'daki sistem (Örnek 2) böyle bir yaklaşımla çözüldüğünde elde edilen perde enkesit boyları $l_{w1}=180$ cm, $l_{w2}=180$ cm ve $l_{w3}=240$ cm bulunmuştur. Bu perde boyutları sisteme uygulandığında elde edilen malzeme miktarları:

$$V_{bt} = 2382.32 \text{ m}^3$$

$W_{qt} = 2566.085 \text{ kN}$ olarak hesaplanmıştır.

Maliyet oranı $C_{bo}/C_{bb}=1.5$ alınarak elde edilen amaç fonksiyonu değeri ise;

$$f(x) = 2382.32 + 1.5 \times 2566.085 = 6231.4475 \text{ 'dir.}$$

Örnek 2, $C_{bo}/C_{bb}=1.5$ alınarak çözüldüğünde amaç fonksiyonu $f(x) = 6047.6350$ olarak hesaplanmıştır. Şartnamenin gerektirdiği ve sisteme etki eden yükleri güvenli bir şekilde taşıyan minimum perde boyutları kullanılarak hesaplanan amaç fonksiyonu değeri ile optimum perde boyutlarının sisteme uygulanmasıyla elde edilen amaç fonksiyonu değeri arasındaki fark $6231.4475 - 6047.6350 = 183.8125$ 'dir. Yani, optimizasyon yöntemi kullanıldığında, bu örnek için %3.04 gibi bir ekonomi sağlanmıştır.

Sağlanan bu ekonomi, her zaman sabit bir değer değildir. Ele alınan her sistem için farklı olabileceği gibi, aynı sistemde, yapıya etki eden yüklerin değişmesi durumu için de değişkendir.

- *Üç Boyutlu Yapı Sistemlerinde Kullanılan STA4-CAD Programının Kontrolü:*

Üç boyutlu yapı sistemlerinin Genetik Algoritma Yöntemi ile optimizasyonunun yapılması için hazırlanan GENOPT bilgisayar programında yapı analizi ve maliyetinin hesabında alt program olarak kullanılan STA4-CAD (Amasralı, 2000) programı uluslararası alanda kabul görmüş bir program olan ETABS ile karşılaştırılacak ve sonuçları yazılacaktır.

Her katta bulunan moment değerlerini bir diyagram üzerinde kolayca karşılaştırmak için Örnek 2'de, Şekil 6.6 kat planı ile verilen yapı 8 katlı olarak çözülmüştür. Bina döşemeleri için rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Her iki programda da deprem analizlerinde Eşdeğer Deprem Yöntemi kullanılmıştır. Bu örneklerde, birinci kat kolonlarının zemine ankastre olarak bağlandığı kabul edilmiştir.

Her tip perde için enkesit boyları Tablo 6.51'de yazılmıştır. Diğer taşıyıcı sistem eleman boyutları Örnek 2'deki gibi alınmıştır.

Tablo 6.51 Karşılaştırma için perde boyutları

Perde Tipi	Perde Enkesit Boyları (cm)
1	180
2	180
3	180

Ele alınan sistem ETABS ve STA4-CAD programları ile çözülmüş ve sonuçlar aşağıda yazılmıştır:

Tablo 6.52’de binanın birinci doğal titreşim periyodu (T_1), Tablo 6.53’de katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, Tablo 6.54’de ise bulunan bu deprem yükleri kütle merkezlerine etkililerek yapılan statik analiz sonucu bulunan moment değerleri gösterilmiştir. Benzer olmaları nedeniyle her katta 1., 2, ve 3. tip perdeler için sırasıyla P04, P02 ve P08 perdeleri (Şekil 6.6) ele alınmış ve moment değerleri yazılmıştır.

Tablo 6.52 STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyotları

STA4-CAD (sn)	ETABS (sn)
0.869	0.852

Tablo 6.53 STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Kat No	STA4-CAD	ETABS
	$F_i(kN)$	$F_i(kN)$
8	769.74	733.30
7	673.52	680.10
6	577.30	582.90
5	480.06	485.80
4	384.87	388.66
3	288.65	295.50
2	192.43	194.30
1	96.22	97.20

$\Sigma F_i=3463.80$	$\Sigma F_i=3453.60$
----------------------	----------------------

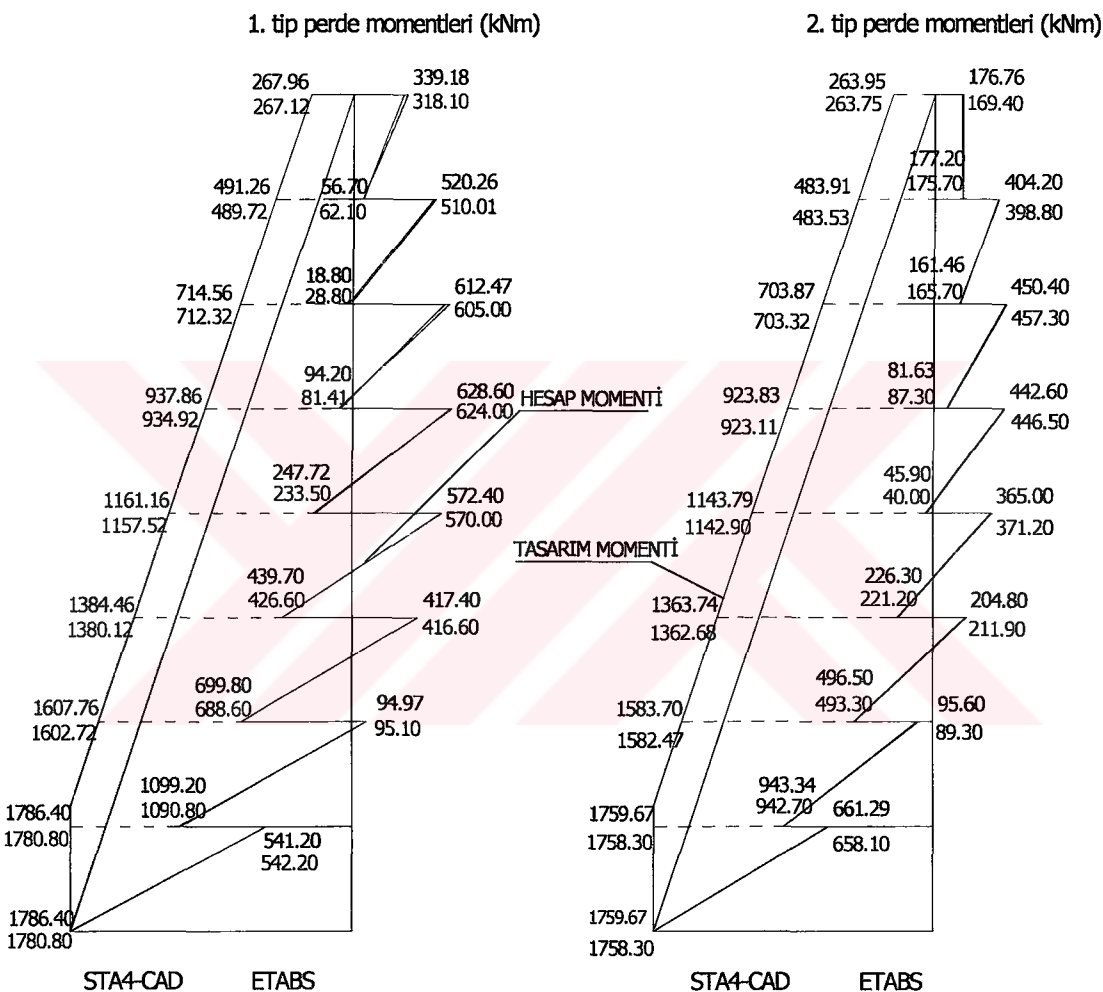
STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan binanın birinci doğal titreşim periyodu ve her kata etkiyen eşdeğer deprem yükleri karşılaştırıldığında aralarındaki farkın ihmal edilebilecek düzeyde olduğu görülebilir.

Tablo 6.54 STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan perde hesap moment değerleri

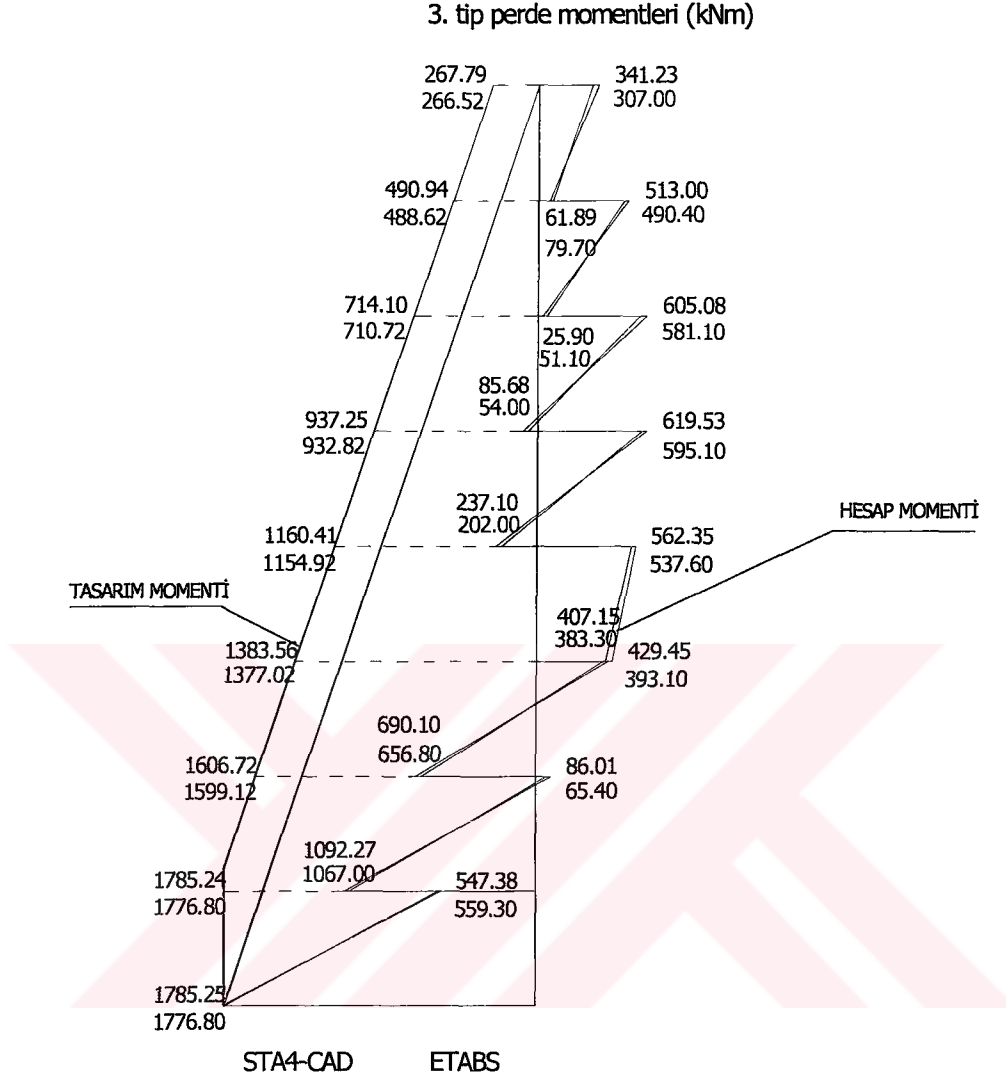
Kat No	Perde Tipi	STA4-CAD	ETABS
		$M_{E(üst/alt)}$ (kNm)	$M_{E(üst/alt)}$ (kNm)
1	1	541.20	542.20
		1786.40	1780.80
	2	661.29	658.10
		1759.67	1758.30
	3	547.38	559.30
		1785.24	1776.80
2	1	-94.97	-95.10
		1099.20	1090.80
	2	95.60	89.30
		943.34	942.70
	3	-86.01	-65.40
		1092.27	1067.00
3	1	-417.40	-416.60
		699.80	688.60
	2	-204.80	-211.90
		496.50	493.30
	3	-407.15	-383.30
		690.10	656.80
4	1	-572.40	-570.00
		439.70	426.60
	2	-365.00	-371.20
		226.30	221.20
	3	-562.35	-537.60
		-429.45	-393.10
5	1	-628.60	-624.00
		247.72	233.50
	2	-442.60	-446.50
		45.90	40.00
	3	-619.53	-595.10
		237.10	202.00
6	1	-612.47	-605.00
		94.20	81.41
	2	-450.40	-457.30
		-81.63	-87.30
	3	-605.08	-581.10
		85.68	54.00
7	1	-520.26	-510.01
		-18.80	-28.80
	2	-404.20	-398.80
		-161.46	-165.70
	3	-513.00	-490.40
		-25.90	-51.10
8	1	-339.18	-318.10
		-56.70	-62.10
	2	-176.76	-169.40
		-177.20	-175.70
	3	-341.23	-307.00
		-61.89	-79.70

Her iki program ile hesaplanan perde moment değerlerin her katta oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Şekil 6.14 ve 6.15’de üç tip perde için perde hesap ve tasarım momentleri ETABS ve STA4-CAD ile hesaplanmış ve diyagramları üst üste çakıştırılarak gösterilmiştir.



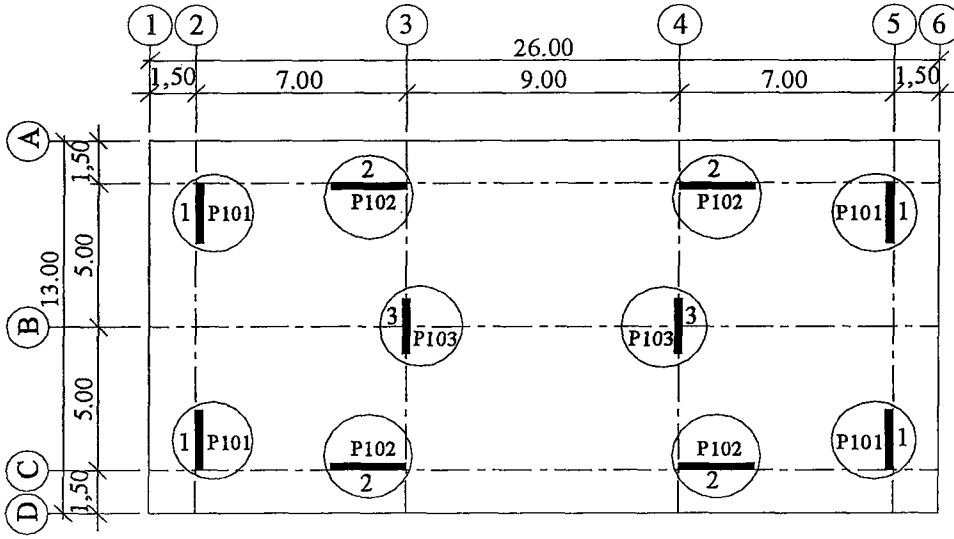
Şekil 6.14 STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan 1. ve 2. tip perdelerin hesap ve tasarım momentleri



Şekil 6.15 STA4-CAD ve ETABS ile hesaplanan 3. tip perdelerin hesap ve tasarım momentleri

Duman (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, STA4-CAD programı yeni deprem yönetmeliği bakımından irdelenmiştir. Bu çalışmada, STA4-CAD programı ile bir çok yapısal sistem çözülmüş, çözülen bu sistemlerin sonuçları SAP90 ve ANSYS programları ile karşılaştırılmış ve çözümlerin yeterli yakınsaklıkta olduğu sonucuna varılmıştır.

6.3 Örnek 3



Şekil 6.16 Örnek 3 için kat planı

Şekil 6.16' da optimize edilmek istenen sistem gösterilmiştir. Yatay kesitte değişken perde enkesit boyutlarına sahip bu sistemde bir katta üç tip perde vardır. Döşemeler kırıışsızdır. Bir katta toplam 10 adet perde vardır ve perde boyutları bina yüksekliği boyunca sabit olarak devam etmektedir. Perdelerin yatay kesitteki genişlikleri sabit, enkesit boyları ise değişken alınmıştır. Yapıda bulunan döşemelerin kalınlıkları bütün sistemde sabit alınmıştır. Sistemin toplam malzeme maliyetini minimize eden perde enkesit boyları aranmaktadır.

Yapının Malzeme ve Geometrik Özellikleri:

Malzeme	: C25/S420
Kat sayısı	: 13
Toplam bina yüksekliği	: 39 m
Perdelerin plandaki genişlikleri	: $b_w = 0.25$ m
Döşeme kalınlığı	: $h_f = 0.27$ m
Deprem bölgesi	: 1. derece
Bina önem katsayısı	: $I = 1.5$
Hareketli yük katılım katsayısı	: $n_k = 0.6$
Hareketli yük katsayısı	: $q = 2$ kN/m ²

Etkin yer ivmesi katsayısı	: $A_0 = 0.40$
Yerel zemin sınıfı	: Z2 ($T_A = 0.15$, $T_B = 0.40$ s)
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	: $R = 6$

Genetik Algoritma İle İlgili Kabuller:

Genler (İkili sayı sistemi elemanları)	: 1, 0
Dizi uzunluğu (bir dizideki toplam gen sayısı)	: 5
Tasarım değişkeni sayısı	: 3
Popülasyon sayısı(bir nesildeki birey sayısı)	: 16

Araştırma Uzayının Belirlenmesi:

Bir dizideki toplam gen sayısı 5 alındığına göre, iki tabanlı sisteme göre 5 uzunluğundaki en büyük dizinin ifade ettiği on tabanlı değeri aşağıda hesaplanmıştır;

$(11111)_2 \rightarrow (31)_{10}$ olduğuna göre, araştırma uzayının eleman sayısı;

$S_e = 31 + 1 = 32$ dir.

Araştırma uzayının elemanları Tablo 6.36' da gösterildiği şekilde alınmıştır.

Bireylerin Oluşturulması:

Bu örnekte de her katta üç tip perde olması nedeniyle, üç adet tasarım değişkeni bulunmaktadır. Bu durumda bireyin uzunluğu;

$5(\text{dizi uzunluğu}) \times 3(\text{tasarım değişkeni sayısı}) = 15$ (gen sayısı) olacaktır.

$F = Z(l_{w1}, l_{w2}, l_{w3})$ 'dür. Buradan Genetik Algoritma kodlamasına geçilecek olursa, gen haritası şu şekilde olacaktır:

$F = Z(11111, 11111, 11111)$

Birey, (00000,00000,00000) ile (11111,11111,11111) değerleri arasında değişmektedir.

Tablo İşlemleri:

Örnek 3' de, amaç fonksiyonunun değeri hesaplanırken çelik ve beton birim fiyatları arasındaki oran $C_{b\sigma}/C_{bb}=0.7$ alınmıştır.

Tablo 6.55 Örnek 3 için 1. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş φ_1	φ_2	Gelecek nesil
1	001110011110100	250	250	380	2479.2195	0.0000	2479.2195	17481.3789	1.2977	2	001110011110100	6	12	001110011110000
2	011110100101111	330	270	330	2519.1833	0.0000	2519.1833	17441.4141	1.2947	1	011110100101111	4	7	011110111111001
3	110100011101001	440	250	270	2499.1458	0.0000	2499.1458	17461.4531	1.2962	2	110100011101001	7	1	101110011101001
4	000001111111001	180	490	430	2500.3943	0.0000	2500.3943	17460.2031	1.2961	2	000001111111001	2	7	000001100101111
5	100100101111000	360	290	420	2522.9072	0.0000	2522.9072	17437.6914	1.2944	1	100100101111000	10	9	100100101011000
6	010011011001001	270	400	270	2535.1211	0.0000	2535.1211	17425.4766	1.2935	1	010011011001001	1	12	010011011001101
7	000100001101001	200	210	270	2429.7051	0.6138	17342.5781	2618.0203	0.1943	0	001110011110100	3	1	010100011110100
8	101001110101010	380	470	280	2563.4097	0.0000	2563.4097	17397.1895	1.2914	1	101001110101010	16	7	101001110001100
9	111110001010000	490	200	340	2558.6787	0.4326	13626.8594	6333.7393	0.4702	0	110100011101001	13	1	100000110100111
10	001101010001100	240	380	300	2513.6746	0.0000	2513.6746	17446.9238	1.2951	2	001101010001100	5	9	001101010101100
11	110000001100010	420	210	200	2449.1511	0.6138	17481.3789	2479.2195	0.1840	0	000001111111001	15	0	011101111111001
12	111101110010001	480	460	350	2686.7957	0.0000	2686.7957	17273.8027	1.2823	1	111101110010001	14	12	111101110010101
13	100000110100111	340	310	250	2538.5352	0.0000	2538.5352	17422.0625	1.2933	1	100000110100111	9	1	110100011101001
14	100001110110101	340	470	390	2567.8865	0.0000	2567.8865	17392.7109	1.2911	1	100001110110101	12	12	100001110110001
15	011110000011111	330	180	490	2492.8149	0.3643	11573.1553	8387.4434	0.6226	1	011110000011111	11	0	000010000011111
16	000000000011110	180	180	480	2441.0537	0.5505	15878.1719	4082.4265	0.3030	0	001101010001100	8	7	001101010101010

Tablo 6.56 Örnek 3 için 2. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	$F_{udi}/F_{udi(ort)}$	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eşleşme değeri	Gelecek nesil
1	001110011110000	250	250	340	2484.2747	0.0000	2484.2747	15917.4414	1.0589	2	001110011110000	11 0 4	011110011110000
2	011110111111001	330	330	430	2538.3279	0.0000	2538.3279	15863.3887	1.0553	1	011110111111001	10 7 15	0111101101010100
3	101110011101001	410	250	270	2494.4846	0.0000	2494.4846	15907.2314	1.0582	1	101110011101001	14 2 7	100001111101001
4	000001100101111	180	430	330	2487.8013	0.0000	2487.8013	15913.9150	1.0586	1	000001100101111	8 10 13	000001100101111
5	100100101011000	360	280	420	2516.1072	0.0000	2516.1072	15885.6094	1.0567	1	100100101011000	9 5 7	100100101011000
6	010011011001101	270	400	310	2538.2329	0.0000	2538.2329	15863.4834	1.0553	1	010011011001101	7 0 12	010100011110101
7	010100011110100	280	250	380	2489.6445	0.0000	2489.6445	15912.0713	1.0585	1	010100011110100	6 0 12	010011011001100
8	101001110001100	380	460	300	2567.1016	0.0000	2567.1016	15834.6143	1.0534	1	101001110001100	4 10 13	101001110001100
9	100000110100111	340	310	250	2538.5352	0.0000	2538.5352	15863.1807	1.0553	1	100000110100111	5 5 7	100000110100111
10	001101010101100	240	390	300	2516.9563	0.0000	2516.9563	15884.7598	1.0567	1	001101010101100	2 7 15	001101011111001
11	011101111111001	320	490	430	2569.1125	0.0000	2569.1125	15832.6035	1.0532	1	011101111111001	1 0 4	001101111111001
12	111101110010101	480	460	390	2669.3835	0.0000	2669.3835	15732.3320	1.0466	1	111101110010101	16 1 15	101101010101010
13	110100011101001	440	250	270	2499.1458	0.0000	2499.1458	15902.5703	1.0579	1	110100011101001	15 5 15	110100011100000
14	100001110110001	340	470	350	2566.8152	0.0000	2566.8152	15834.9004	1.0534	1	100001110110001	3 2 7	101100101100001
15	000010000011111	190	180	490	2447.0908	0.5505	15917.4414	2484.2747	0.1653	0	001110011110000	13 5 15	001110011101001
16	001101010101010	240	390	280	2513.3042	0.0000	2513.3042	15888.4121	1.0569	1	001101010101010	12 1 15	0111011100010101

Tablo 6.55’de gösterilen 1. nesilde kısıtlamaların zorlandığı, yani, $C>0$ olan 5 adet birey vardır. Bu nesilde 7. birey $f(x)=2429.7051$ değeri ile minimum maliyete sahiptir. Ancak bu birey, $C=0.6138$ kadar zorlanmaktadır. Bu nedenle bu bireyin bu nesil için optimum birey olduğu söylenemez. Kısıtlamasız amaç fonksiyonu değeri $\Phi(x)=2479.3783$ olan 1. birey neslin minimum maliyetli bireyidir.

2. nesilde ise sadece 15 no’ lu birey kısıtlayıcılar tarafından $C=0.5505$ kadar zorlanmaktadır. Tablo 6.56’ da gösterilen bu nesilde, 15. birey en zayıf olduğu için ölmüş, bunun yerine $f(x)=2484.4414$ amaç fonksiyonu değeri ile neslin en güçlü bireyi olan 1. birey kopyalanmıştır.

Genetik algoritma işlemleri her nesil için tekrarlanmış ve 36. nesilde optimum çözüme ulaşılmıştır. Tablo 6.57’ de optimum bireyin elde edilmiş olduğu 36. nesil görülmektedir. Bu birey “000110011100001” olarak bulunmuştur ve $f(x)=2428.9785$ amaç fonksiyonu değerine sahiptir. 15 uzunluğundaki bu birey dizilerine ayrıldığında 3 adet tasarım değişkeni elde edilir. Yapının toplam malzeme maliyetini minimum yapan optimum perde boyutları aşağıda gösterilmiştir.

$$l_{w1} \rightarrow 210 \text{ cm}$$

$$l_{w2} \rightarrow 250 \text{ ''}$$

$$l_{w3} \rightarrow 190 \text{ ''}$$

- *Optimum Birey İçin Hesap*

Binanın 1. doğal titreşim periyodu $T_{1x} = 1.342359 \text{ s}$, $T_{1y} = 1.243440 \text{ s}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.57 Örnek 3 için 36. nesil

Birey No	Topluluk	l_{w1} (cm)	l_{w2} (cm)	l_{w3} (cm)	$f(x)$	C	$\Phi(x)$	F_{udi}	F_{udi}/F_{udifer}	Etkili değer	Eşleşme havuzu	Eş φ_1, φ_2	Gelecek nesil
1	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	2	000110011100001	9 11 14	000110011100001
2	000100010111001	200	230	430	2437.1726	0.0000	2437.1726	2430.2939	0.9971	1	000100010111001	15 2 8	000110010111001
3	000000010111001	180	230	430	2438.4880	0.0000	2438.4880	2428.9785	0.9966	0	000110011100001	14 9 13	000110011100001
4	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	12 7 11	000110011100001
5	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	11 5 10	000110011100001
6	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	8 6 14	000110011100001
7	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	16 1 2	000110011100001
8	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	6 6 14	000110011100001
9	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	1 11 14	000110011100001
10	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	13 8 15	000110011100001
11	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	5 5 10	000110011100001
12	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	4 7 11	000110011100001
13	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	10 8 15	000110011100001
14	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	3 9 13	000110011100001
15	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	2 2 8	000100011100001
16	000110011100001	210	250	190	2428.9785	0.0000	2428.9785	2438.4880	1.0005	1	000110011100001	7 1 2	000110011100001

Tablo 6.58’ de katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri hesaplanarak gösterilmiştir.

Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi:

Tablo 6.58 Örnek 3 – optimum birey için katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

Kat No	h_i (m)	H_i (m)	w_i (kN)	$w_i \times H_i$ (kNm)	F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)
13	3.00	39.00	3637.72	141871.08	1002.650	1037.649
12	3.00	36.00	3637.72	130957.92	536.233	574.454
11	3.00	33.00	3637.72	120044.76	491.547	526.583
10	3.00	30.00	3637.72	109131.60	446.861	478.712
9	3.00	27.00	3637.72	98218.44	402.175	430.841
8	3.00	24.00	3637.72	87305.28	357.489	382.970
7	3.00	21.00	3637.72	76392.12	312.803	335.098
6	3.00	18.00	3637.72	65478.96	268.117	287.227
5	3.00	15.00	3637.72	54565.80	223.430	239.356
4	3.00	12.00	3637.72	43652.64	178.744	191.485
3	3.00	9.00	3637.72	32739.48	134.058	143.614
2	3.00	6.00	3637.72	21826.32	89.372	95.742
1	3.00	3.00	3637.72	10913.16	44.686	47.871
				$\Sigma w_i \times H_i$	ΣF_{ix}	ΣF_{iy}
				993097.56	4488.170	4771.600

Perdelerde Oluşan Kesit Tesirlerinin ve Donatıların Hesabı:

Perdelerde sabit, hareketli ve deprem yüklerinden meydana gelen V_d kesme kuvvetleri, V_{r1} ve V_{r2} kesme dayanımları, düşey donatı hesabı için gerekli olan M_t tasarım momentleri, kesitlerin M_r moment taşıma kapasiteleri, rölatif kat deplasmanlarının kat yüksekliklerine oranları, bu oranların yönetmelikçe izin verilebilen maksimum değerleri, A_s toplam düşey donatı miktarları, yönetmelik gereğince kesite yerleştirilecek A_{smin} minimum ve A_{smax} maksimum donatı miktarları Tablo 6.59’ da gösterilmiştir.

Tablo 6.59 Örnek3 – optimum birey için perde kesit tesirleri ve düşey donatı miktarları

Kat No	l _w (cm)	V _d (kN)	V _{r1} (kN)	V _{r2} (kN)	M _{t(fst)} (kNm)	M _r (kNm)	δ _{ix} (cm)	δ _{iy} (cm)	γ _{ix}	γ _{iy}	δ _{imax}	A _s (cm ²)	A _{s min} (cm ²)	A _{smax} (cm ²)
					M _{t(alt)} (kNm)									
1	210	900.1	1697.85	1928.85	4430.70	4516	0.22	0.22	0.0007	0.0007	0.0033	134.77	27.88	157.50
					4430.70									
	250	1121.20	2024.52	2296.25	6389.30	6457					0.0033	160.35	34.38	187.50
					6389.30									
190	799.10	1493.86	1745.15	3202.40	3234	0.0033	110.33	24.63	142.50					
				3202.40										
2	210	813.50	1697.85	1928.85	4279.30	4727	0.71	0.69	0.0016	0.0016	0.0033	147.34	27.88	157.50
					4430.70									
	250	1086.20	2024.52	2296.25	6136.40	4573					0.0033	185.48	34.38	187.50
					6389.30									
190	927.00	1591.77	1745.15	3056.40	3414	0.0033	106.56	24.63	142.50					
				3202.40										
3	210	721.70	1404.70	1928.85	3938.40	5099	1.37	1.31	0.0022	0.0020	0.0033	128.93	22.32	157.50
					4279.30									
	250	1011.60	1635.19	2296.25	5825.00	7886					0.0033	171.15	25.00	187.50
					6316.40									
190	987.00	1289.46	1745.15	2810.10	3662	0.0033	95.25	21.07	142.50					
				3056.40										
4	210	665.21	1404.70	1928.85	3597.60	4516	2.11	1.99	0.0025	0.0023	0.0033	110.08	22.32	157.50
					3938.40									
	250	955.10	1635.19	2296.25	5333.50	7468					0.0033	139.74	25.00	187.50
					5825.00									
190	997.50	1289.46	1745.15	2563.70	3240	0.0033	76.40	21.07	142.50					
				2810.10										
5	210	622.70	1405.70	1928.85	3256.80	4306	2.90	2.70	0.0026	0.0024	0.0033	84.95	22.32	157.50
					3597.60									
	250	904.10	1635.19	2296.25	4842.00	6795					0.0033	114.61	25.00	187.50
					5333.50									
190	975.70	1289.46	1745.15	2317.40	2945	0.0033	63.84	21.07	142.50					
				2563.70										
6	210	585.20	1405.70	1928.85	2916.00	3884	3.69	3.41	0.0026	0.0024	0.0033	72.38	22.32	157.50
					3256.80									
	250	852.80	1635.19	2296.25	4350.50	5980					0.0033	95.76	25.00	187.50
					4842.00									
190	931.50	1289.46	1745.15	2071.00	2712	0.0033	51.27	21.07	142.50					
				2317.40										
7	210	548.20	1405.70	1928.85	2575.10	3378	4.46	4.09	0.0026	0.0023	0.0033	59.82	22.32	157.50
					2916.00									
	250	798.60	1635.19	2296.25	3859.00	5442					0.0033	83.19	25.00	187.50
					4350.50									
190	870.30	1289.46	1745.15	1824.70	2482	0.0033	41.72	21.07	142.50					
				2071.10										
8	210	508.10	1405.70	1928.85	2234.30	2920	5.19	4.75	0.0024	0.0022	0.0033	43.98	22.32	157.50
					2575.10									
	250	738.30	1635.19	2296.25	3367.60	4665					0.0033	70.62	25.00	187.50
					3859.00									
190	795.10	1289.46	1745.15	1578.40	2127	0.0033	32.04	21.07	142.50					
				1824.70										
9	210	463.50	1405.70	1928.85	1893.50	2575	5.88	5.35	0.0023	0.0020	0.0033	37.38	22.32	157.50
					2234.30									
	250	669.90	1635.19	2296.25	2876.10	4065					0.0033	58.06	25.00	187.50
					3367.60									
190	707.90	1289.46	1745.15	1332.00	1852	0.0033	25.89	21.07	142.50					
				1578.40										
10	210	413.10	1405.70	1928.85	1552.70	2281	6.50	5.90	0.0021	0.0018	0.0033	34.31	22.32	157.50
					1893.50									
	250	593.30	1635.19	2296.25	2384.60	3501					0.0033	48.51	25.00	187.50
					2876.10									
190	610.30	1289.46	1745.15	1085.70	1717	0.0033	25.89	21.07	142.50					
				1332.00										

Tablo 6.59 Örnek3 – optimum birey için perde kesit tesirleri ve düşey donatı miktarları (devam)

Kat No	l_w (cm)	V_d (kN)	V_{r1} (kN)	V_{r2} (kN)	$M_{t(üst)}$ (kNm)	M_r (kNm)	δ_{ix} (cm)	δ_{iy} (cm)	γ_{ix}	γ_{iy}	γ_{imax}	A_s (cm ²)	$A_{s\min}$ (cm ²)	A_{smax} (cm ²)
					$M_{t(üst)}$ (kNm)									
11	210	355.20	1405.70	1928.85	1211.80	1967	7.06	6.40	0.0019	0.0016	0.0033	31.23	22.32	157.50
					1552.70							44.48	25.00	187.50
	250	505.70	1635.19	2296.25	1893.10	3001						44.48	25.00	187.50
					2384.60							25.89	21.07	142.50
	190	504.50	1289.46	1745.15	839.40	1546						25.89	21.07	142.50
					1085.70									
12	210	284.30	1405.70	1928.85	871.00	1702	7.56	6.83	0.0017	0.0014	0.0033	31.28	22.32	157.50
					1211.80							41.91	25.00	187.50
	250	406.80	1635.19	2296.25	1401.60	2548						41.91	25.00	187.50
					1893.10							25.89	21.07	142.50
	190	390.60	1289.46	1745.15	593.00	1340						25.89	21.07	142.50
					839.40									
13	210	272.26	1151.64	1928.85	530.20	1710	8.01	7.21	0.0015	0.0013	0.0033	44.23	22.32	157.50
					871.00							41.91	25.00	187.50
	250	337.30	1635.19	2296.25	910.20	2143						41.91	25.00	187.50
					1401.60							30.79	21.07	142.50
	190	329.20	1179.53	1745.15	346.70	1211						30.79	21.07	142.50
					593.00									

Amaç Fonksiyonunun Hesabı:

Ele alınan bu örnekte de yapının toplam malzeme maliyetinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Amaç fonksiyonunun genel formülasyonu aşağıda yazılmıştır.

$$\text{Minimize } f(x) = C_{bc} W_{gl} + C_{bb} V_{bt}$$

$$C_{bc} / C_{bb} = 0.7 \text{ için hesap:}$$

Çeliğin birim maliyeti ile betonun birim maliyeti arasındaki oran $C_{bc} / C_{bb} = 0.7$ kabul edilmiştir ve maliyet fonksiyonları bu orana göre hesaplanmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu $\text{Min } f(x) = 0.7 \times W_{gl} + V_{bt}$ şeklini alır.

Örnek 5' de hesaplanan optimum birey için yapıda kullanılan toplam beton ve çelik miktarları aşağıda yazılmıştır:

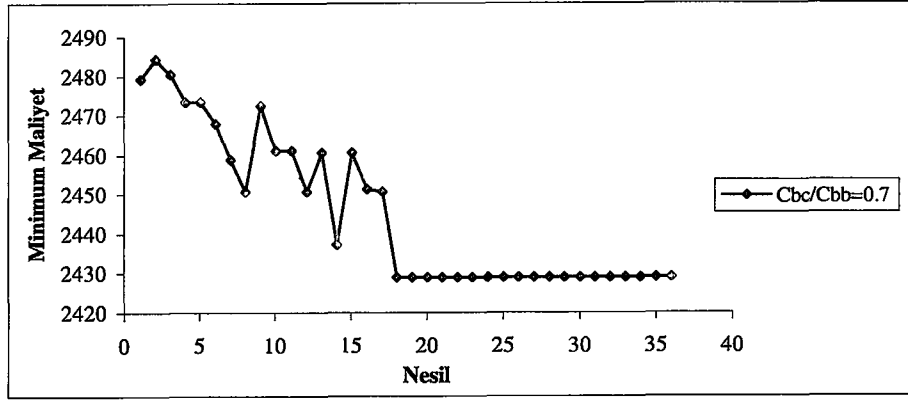
$$V_{bt} = 1381.19 \text{ m}^3$$

$$W_{gl} = 1496.841 \text{ kN}$$

Bu değerler amaç fonksiyonunda yerine konursa;

$f(x) = 1381.19 + 0.7 \times 1496.841 = 2428.9785$ bulunur.

Şekil 6.17' de, $C_{bc}/C_{bb}=0.7$ için her nesilde hesaplanan minimum amaç fonksiyonu değerleri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.17 Örnek 3 - $C_{bc}/C_{bb} = 0.7$ için Nesil – Minimum Maliyet grafiği

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, iki ve üç boyutlu, perde elemanlı betonarme bina sistemlerinin statik ve deprem yükleri etkisi altında tasarımı ve genetik algoritma yöntemi yardımıyla maliyet optimizasyonu incelenmiş ve sayısal örneklerde kullanılmak üzere bilgisayar programları geliştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu konuda daha ileri aşamada araştırma yapmak isteyenler için öneriler aşağıda sıralanmıştır.

Sonuçlar:

- Burada formüle edilen perdeli betonarme yapı sistemlerinin genetik algoritma yöntemi kullanılarak maliyet optimizasyonu tekniğinin bir çok betonarme yapı sistemlerine kolaylıkla uygulanabileceği ve pratikte kullanılabileceği görülmüştür.
- Ayrıca, yapının toplam malzeme maliyetini minimize eden perde boyutlarının bulunmasını amaçlayan bu çalışmanın, taşıyıcı sistemine perde eklenerek güçlendirilmesi düşünülen mevcut binalarda, amaç fonksiyonunda sadece perde maliyetlerinin gözönüne alınması ile, güçlendirme maliyetini minimum yapacak perde boyutlarının elde edilebilmesi probleminde de iyi bir araç olarak kullanılabileceği açıktır.
- Genetik Algoritmanın kullanılabilmesi için problemin yapısı hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Problemin çözüm kümesi olabilecek tasarım değişken değerleri, tasarımcı tarafından doğru olarak tahmin edilip araştırma uzayına yerleştirilmelidir. Aksi durum, optimum çözüme ulaşılabilecek tasarım değişkenlerinin araştırma uzayının dışında kalması demektir ki, bu da ancak, global optimum yerine lokal optimum bulunmasına neden olur.
- Çözüme ulaşma hızı, verilen tasarım değişkeni sayısı, araştırma uzayının eleman sayısı ve sistemin büyüklüğü ile ters orantılıdır. Sistem ne kadar karmaşık ve büyükse, tasarım değişkenleri ve araştırma uzayı elemanları ne kadar çoksa

çözümüne ulaşılması da o kadar yavaşlamaktadır. Araştırma uzayının eleman sayısının azaltılması çözümün hızlandırılması için uygulanabilecek yöntemlerden biridir. Ancak, muhtemel optimum çözüm kümesinin araştırma uzayı içinde kalabilmesi, yine tasarımcının problemin yapısı hakkında ne kadar bilgi sahibi ve tecrübeli olduğuna bağlıdır.

- Genetik algoritmanın temel felsefesi, tek bir bireyin başarısını artırmak yerine, bir çok bireyin bir araya gelmesinden meydana gelen topluluğa eşleşme, çoğalma ve değişim operatörleri uygulayarak başarılı bireyler oluşturmaktır. Genetik algoritmanın başarısı, özellikle çaprazlama operatörünün yeni alternatifler üretmesinden kaynaklanmaktadır.
- Doğada güçlü olmak, hayatta kalabilmenin temel nedenlerinden biridir. En güçlü olan her türlü zorluğu yenebilir ve en başarılı birey olur. Genetik algoritma, doğada var olan bu gerçeği taklit etmekte, her nesilde kısıtlamaları sağlayamayan zayıf bireyleri probleminden çıkararak bunların yerine güçlü bireyler kopyalamakta ve sonunda en güçlü bireyi yakalayabilmektedir. Genetik algoritmanın doğayı taklit etmesi, daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmesini mümkün kılmaktadır.
- Genetik algoritmanın diğer optimizasyon yöntemlerinin çoğunda kullanılan türev, integral gibi matematiksel işlemleri gerektirmemesi, yöntemin kullanımını nispeten kolaylaştırmaktadır.
- Genetik algoritmanın, iterativ işlemlerin otomatik olarak yapılmasına olanak sağlayacak şekilde programlanabiliyor olması, işlem kalabalığını azaltmakta, sistem tasarlanıp ön boyutlar, malzeme fiyatları ve araştırma uzayı bilgileri verildikten sonra ara işlemler otomatik olarak yapılmakta ve sonuca ulaşılmaktadır.
- Genetik algoritmanın rastgele yöntemleri kullanıyor olması, diğer optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi, problemin tek başlangıç noktasından değil, bir çok farklı noktadan çözüme başlamasını sağlamakta, böylece lokal optimuma yakalanma olasılığı ortadan kalkmakta ve global optimum bulunabilmektedir.

- Genetik algoritmada kısıtlamalar, probleme doğrudan katılmamaktadır. Kısıtlamalar ceza fonksiyonları yardımıyla normalleştirilmekte ve böylece normalleştirilen her bir kısıtlama toplanarak tek bir zorlanma katsayısı olarak probleme katılmaktadır. Yani, kısıtlamalı optimizasyon problemi kısıtlamasız probleme dönüştürülmekte, böylece çözüm kolaylaşmaktadır.
- Mühendislik problemlerinde, tasarım değişkenleri çoğu zaman ayrıktır. Yani, alt ve üst sınırları olan, belli bir aralıktaki her değer bir problemin çözüm kümesi olmayabilir. Örneğin donatı çapları, ağırlıkları, alanları belli sınırlar içinde her değeri almamakta, birbirinden bağımsız değerlerden meydana gelmektedirler. Bu durumda, sürekli tasarım değişkenlerinin kullanıldığı yöntemler çözüm için uygun olmayabilir. Genetik algoritmada ayrık tasarım değişkenlerinin kullanılabilir olması, çözüm için belli bir aralık seçimi zorunluluğunu ortadan kaldırmakta, birbirinden bağımsız değerler tasarım değişkenleri olabilmektedir.
- Genetik algoritmada tasarım değişkenleri probleme doğrudan katılabildiği gibi dolaylı olarak da katılabilmektedir.
- Maliyet optimizasyonu, ekonomik çözümler sağlanması açısından oldukça önemlidir. Çelik yapılarda boyutların minimum seçilmesi, ağırlığı ve dolayısıyla maliyeti minimum yapar. Ancak betonarme için aynı şey söylenemez. Betonarme, davranışları, yönetmelik koşulları, fiyatları birbirinden farklı malzemelerden meydana gelmektedir. Minimum boyutların seçilmesi her zaman maliyetin minimum olacağı anlamına gelmez. Beton kesitinin minimum olması durumunda kesite etki eden yüklerin karşılanması için donatılar çok fazla çıkabilir. Donatının betondan daha pahalı olması nedeniyle bu durumda, maliyet artar. Beton kesiti büyüdükçe gerekli donatı miktarı azalmakta, ancak, bu azalma belli bir noktaya kadar devam etmektedir. Beton kesitindeki artma, yönetmelikteki minimum donatı koşulu nedeniyle bir süre sonra donatıyı da artırmaktadır. Böyle bir davranış gösteren betonarmede hem beton hem de donatının belirli kısıtlamalar altında en az kullanıldığı çözümün, yani optimumun bulunması gerekir. Böyle bir çözümün bütün sistemde kullanılan her bir eleman için deneme yanılma yoluyla bulunması oldukça güç olduğundan bir optimizasyon yönteminin kullanılması gerekli olmaktadır.

- Optimizasyon yönteminin kullanılması ile ne kadar ekonomi sağlandığı yapıda kullanılan taşıyıcı sistem elemanlarının zorlanma düzeyleri ile doğru orantılıdır. Eğer taşıyıcı sistem elemanları minimum boyutlar seçildiğinde bile minimum donatı kullanımını gerektirecek kadar az etkilere maruz kalıyorlarsa, minimum boyutların seçimi ekonomik çözüm olabilir. Kesit zorları, yani, kesite etki eden dış yükler arttıkça kullanılması gereken donatı ve beton miktarı artacağından bu durumda maliyet optimizasyonu gerekir.
- Maliyet optimizasyonu yapılan bir sistemde, elde edilen optimum beton ve çelik miktarları, bu iki malzeme arasındaki birim maliyet oranına bağlı olarak da değişmektedir. Çeliğin birim fiyatı ile betonu birim fiyatı arasındaki oran arttıkça kullanılan yöntem, optimum maliyet elde edebilmek amacıyla donatının daha az betonun ise daha fazla kullanıldığı perde boyutları seçerek sisteme yerleştirmektedir.

Öneriler:

- Yapılan bu çalışmanın ideal aşaması sadece perdelerin değil, bütün taşıyıcı sistem elemanlarının tasarım değişkeni olarak alınmasıdır. Her bir elemanın yönetmelik ve davranış kısıtlamaları probleme zorlanma katsayısı olarak katılabilir; perde, kolon, kiriş ve döşemeler için hazırlanan tasarım değişkenleri ayrı ayrı araştırma uzaylarına yerleştirilebilir ve böylece bütün sistem için aynı anda optimizasyon işlemi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abendroth, R.E. and Salmon, C.G., 1986. Sensitivity study of optimum RC restrained end T-section, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **112**, 1928-1943.
- ABYYHY, 1997. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Adamu, A. and Karihaloo, B.L., 1994a. Minimum cost design of RC beams using DCOC, Part I. Beams with freely-varying cross-sections, *Struct. Optimization*, **7**, 237-251.
- Adamu, A. and Karihaloo, B.L., 1994b. Minimum cost design of RC beams using DCOC, Part II. Beams with uniform cross-sections, *Struct. Optimization*, **7**, 252-259.
- Adamu, A. and Karihaloo, B.L., 1995. Minimum cost design of RC frames using the DCOC method, Part I. Columns under uniaxial bending actions, *Struc. Optimization*, **10**, 16-32.
- Adamu, A., Karihaloo, B.L. and Rozvany, G.I.N., 1994. Minimum cost design of reinforced concrete beams using continuum-type optimality criteria, *Struct. Optimization*, **7**, 91-102.
- Adeli, H. and Park, H.S., 1995. A neural dynamics model for structural optimization theory, *Comp. and. Struct.*, **57**, 383-390.
- Akgün, Ö.R., 1979. Betonarme yapı sistemlerinin optimum boyutlandırılması. *Doçentlik Tezi*, Eskişehir DMMA, Eskişehir.
- Al-Salloum, Y.A. and Siddiqi, G.H., 1994. Cost-optimum design of reinforced concrete beams, *ACI Struct. J.*, **91**, 647-655.
- Al-Tamimi, A. and Saka, M.P., 1995. Optimum design of reinforced concrete frames according to BS 8110, *Developments in Computer Aided Design and Modelling for Structural Engineering*, 91-100.
- Amasralı, S., 2000. STA4-CAD, Ver-8.1, Çok katlı betonarme yapıların 3 boyutlu analiz ve tasarımı, İstanbul.
- Arslan, A. ve İnce, R., 1994. Yapı mühendisliğinde yapay sinir ağları ve uygulama potansiyeli, *İnşaat Mühendisliği' nde Bilgisayar Kullanımı IV. Sempozyumu*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 14-16 Haziran, s. 219-228.

- Balling, R.J.**, 1991, Optimal steel frame design by simulated annealing, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **117**, 1780-1795
- Balling, R.J. and Yao, X.**, 1997. Optimization of reinforced concrete frames, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **123**, 193-202.
- Bell, E.T.**, 1940. The Development of Mathematics, Mc Graw-Hill, New York.
- Berktaş, İ.**, 1989. Betonarme I Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.
- Cai, J. And Thierauf, G.**, 1993. Discrete optimization of structures using an improved penalty function method, *Engrg. Optimization*, **21**, 293-306.
- Camp, C., Pezeshk, S. and Cao, G.**, 1998. Optimized design of two-dimensional structures using a genetic algorithm, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **124**, 551-559.
- Celep, Z. ve Akkaya, Y.**, 1996. Deprem yüklerinin karşılanmasında betonarme perdeler, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Mesleki Eğitim Seminerleri*, 29 Kasım, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 1996. Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- Chakrabarty, B.K.**, 1992. Models for optimal design of reinforced concrete beams, *Comp. and Struct.*, **42**, 447-451.
- Cheng, F.Y. and Li, D.**, 1997. Multiobjective optimization design with pareto genetic algorithm, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **123**, 1252-1261.
- Choi, C. and Kwak, H.**, 1990. Optimum RC member design with predetermined discrete sections, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **116**, 2634-2655.
- Cohn, M.Z., ASCE, F., and MacRae, A.J.**, 1984. Optimization of structural concrete beams, *J. Struct. Engrg.*, **110**, 1573-1588.
- Cohn, M.Z. and Lounis, Z.**, 1993. Optimum limit design of continuous prestressed concrete beams, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **119**, 3551-3570.
- Çakıroğlu, A. ve Özer E.**, 1990. Dikdörtgen ve daire betonarme kesitlerde taşıma gücü formülleri ve yaklaşık mertebeleri, *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 25-48.
- Daloğlu, A. ve Armutcu, M.**, 1997. Kafes sistemlerin genetik algoritma ile TS648'e uygun olarak optimum tasarımı, *İnşaat Mühendisliği'nde Gelişmeler III. Teknik Kongre*, ODTÜ, Ankara, 15-16 Eylül, s. 459-467.

- Daloğlu, A. ve Armutcu, M.**, 1998. Genetik algoritma ile düzlem çelik çerçevelerin optimum tasarımı, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, **9**, 1601-1615.
- Dansık, F.**, 1992. Perde çerçeve etkileşimli betonarme yüksek binaların optimizasyonu üzerine sayısal bir araştırma, *İnşaat Mühendisliği'nde Bilgisayar Kullanımı III. Sempozyumu*, Bildiriler II, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, İstanbul, 15-18 Haziran, s. 61-67.
- Dere, Y. ve Kaltakçı, M.Y.**, 1997. İnşaat Mühendisliği'nde yapay sinir ağları uygulamaları, *İnşaat Mühendisliği'nde Gelişmeler, III. Teknik Kongre*, ODTÜ, Ankara, 15-16 Eylül, s. 407-416.
- Dinno, K.S. and Mekha, B.B.**, 1993. Optimal design of reinforced concrete frames based on inelastic analysis, *Comp. And. Struct.*, **47**, 245-252.
- Duman, M.**, 2000. STA4-CAD hazır programının yeni Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-98) bakımından irdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Duranyıldız, İ.**, 1986. Çok hazneli sistemlerin işletmesinin dinamik programlama ile optimizasyonu, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erbatur, F., Al Zaid, R. and Dahman, N.A.**, 1992. Optimization and sensitivity of prestressed concrete beams, *Comp. and Struct.*, **45**, 881-886.
- ETABS**, Nonlinear Version 8.2.3, Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems.
- Ezeldin, A.S.**, 1991. Optimum design of reinforced fiber concrete subjected to bending and geometrical constraints, *Comp. and Struct.*, **41**, 1095-1100.
- Fadaee, M.J. and Grierson, D.E.**, 1996. Design optimization of reinforced concrete structures, *Struct. Optimization*, **12**, 127-134.
- Foulkes, J.D.**, 1952. Minimum weight design and the theory of plastic collapse, *Quart. Appl. Math.*, **10**, 347-358.
- Foulkes, J.D.**, 1954. Minimum weight design of structural frames, *Proc. Roy. Soc.*, **223**, 482-494.
- Friel, L.L.**, 1974. Optimum singly reinforced concrete sections, *ACI J.*, **71**, 556-558.
- Friswell, M.I., Penny, J.E.T. and Garvey, S.D.**, 1998. A combined genetic and Eigensensitivity algorithm for the location of damage in structures, *Comp. and Struct.*, **69**, 547-556.

- Ghaboussi, J., Garret, J.H. and Wu, X., 1991.** Knowledge-based modelling of material behaviour with neural networks, *J. Engrg. Mechcs*, **117**, 132-153.
- Ghaboussi, J. and Joghataie, A., 1995.** Active control of structures using neural networks, *J. Engrg. Mechcs*, **121**, 555-567.
- Goh, A.T.C., 1995.** Prediction of ultimate shear strength of deep beams using neural networks, *ACI Struct. J.*, **92**, 28-32.
- Goldberg, D.E., 1989.** Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Redwood City, Mass.
- Gunaratnam, D.J. and Sivakumaran, N.S., 1978.** Optimum design of reinforced concrete slabs, *The Struct. Engr.*, **56B**, 61-67.
- Gülây, F.G., 1985.** Merkezsel ve dışmerkezsel çapraz elemanlı çerçeve yapıların statik ve deprem yüküne göre optimum tasarımı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hadi, M.N.S. and Arfiadi, Y., 1998.** Optimum design of absorber for MDOF structures, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **124**, 1272-1280.
- Hajek, P. and Frangopol, D.M., 1991.** Optimum design of shear-wall systems, *Comp. and Struct*, **38**, 171-184.
- Hajela, P. and Berke, L., 1991.** Neurobiological computational models in structural analysis and design, *Comp. and Struct*, **41**, 657-667.
- Halaç, O., 1991.** Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması), İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İstanbul.
- Han, S.H., Adamu, A. and Karihaloo, B.L., 1995.** Application of DCOC to optimum prestressed concrete beam design, *Engrg. Optimization*, **25**, 179-200.
- Han, S.H., Adamu, A. and Karihaloo, B.L., 1996.** Minimum cost design of multispan partially prestressed concrete T-beams using DCOC, *Struct. Optimization*, **12**, 75-86.
- Hayalioğlu, M.S., 1994.** Yapısal optimizasyonda yeni gelişmeler, *I. Ulusal İnşaat ve Çevre Sempozyumu*, Celal Bayar Üniversitesi, Salihli, 19-21 Eylül, s. 89-99.
- Heyman, J., 1951.** Plastik design of beams and frames for minimum material consumption, *Quart. Appl. Math.*, **8**, 373-381.
- Hjelmstad, K.D. and Pezeshk, S., 1991.** Optimal design of frames to resist buckling under multiple load cases, *J. Struc. Engrg.*, ASCE, **117**, 914-935.

- Holland, J.H.**, 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich.
- Holland, J.H.**, 1992. Adaptation in Natural and Artificial Systems, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Huanchun, S. and Zheng, C.**, 1985. Two-level optimum design of reinforced concrete frames with integer variables, *Engrg. Optimization*, **9**, 219-232.
- Jenkins, W.M.**, 1992. Plane frame optimum design environment based on genetic algorithm, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **118**, 3103-3112.
- Jones, H.L.**, 1985. Minimum cost prestressed concrete beam design, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **111**, 2464-2478.
- Kaltakçı, M.Y. ve Dere, Y.**, 1997. Yapay sinir ağları kullanımı ile yüksek kirişlerde kesme mukavemetinin belirlenmesi, *İnşaat Mühendisliği'nde Gelişmeler, III. Teknik Kongre*, ODTÜ, Ankara, 15-16 Eylül, s. 397-405.
- Kanagasundaram, S. and Karihaloo, B.L.**, 1990. Minimum cost design of reinforced concrete structures, *Struct. Optimization*, **2**, 173-184.
- Kanagasundaram, S. and Karihaloo, B.L.**, 1991a. Minimum cost design of reinforced concrete structures, *Comp. and Struct.*, **41**, 1357-1364.
- Kanagasundaram, S. and Karihaloo, B.L.**, 1991b. Minimum cost reinforced concrete beams and columns, *Comp. and Struct.*, **41**, 509-518.
- Keskinel, F. ve Atrek, E.**, 1978. Yapısal optimizasyon yöntemler ve uygulamalara genel bir bakış, *İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Raporu*, **8**, İstanbul.
- Khaleel, M.A. and Itani, R.Y.**, 1993. Optimization of partially prestressed concrete girders under multiple strength and serviceability criteria, *Comp. and Struct.*, **49**, 427-438.
- Khot, N.S., Berke, L. and Venkayya, V.B.**, 1979. Comparison of optimality criteria algorithms for minimum weight design of structures, *AIAA J.*, **17**, 182-190.
- Kirsch, U.**, 1972. Optimum design of prestressed beams, *Comp. and Struct.*, **2**, 573-583.
- Kirsch, U.**, 1981. Optimum Structural Design, McGraw-Hill Book Comp., USA.
- Kirsch, U.**, 1983. Multilevel optimal design of reinforced concrete structures, *Engrg. Optimization*, **6**, 207-212.

- Kocer, F.Y. and Arora, J.S.**, 1996. Design of prestressed concrete transmission poles: optimization approach, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **122**, 804-814.
- Krishnamoorthy, C.S. and Mosi, D.R.**, 1981. Optimal design of reinforced concrete frames based on inelastic analysis, *Engrg. Optimization*, **5**, 151-167.
- Lakshmy, T.K. and Bhavikatti, S.S.**, 1995. Optimum design of trough type folded plate roofs, *Comp. and Struct.*, **57**, 125-130.
- Livesley, R.K.**, 1956. The automatic design of structural frames, *Quart. Journal of Mech. And Appl. Math.*, **9**, 257-278.
- Livesley, R.K.**, 1967. The selection of redundant forces in structures with an application to the collapse analysis of frameworks, *Proc. Roy. Soc.*, **301**, 493-504.
- MacRae, A.J. and Cohn, M.Z.**, 1987. Optimization of prestressed concrete flat plates, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **113**, 943-957.
- Majid, K.I.**, 1974. Optimum Design of Structures, Butterworth & Co (Publishers) Ltd., London.
- Miyamura, A., Kohama, Y. and Takada, T.**, 1996. Optimal allocation of shear wall at 3D frame by genetic algorithm application, *Advances in Structural Engineering Optimization*, 73-79.
- Moharrami, H. and Grierson, D.E.**, 1993. Computer-automated design of reinforced concrete frameworks, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **119**, 2036-2058.
- Moselhi, O.**, 1996. Neural networks' applications in civil engineering, *Proc. of the 2nd Inter. Conf. In Civil Eng. On Comp. App. Research and Practice*, Bahrain, 6-8 April, 7-14.
- Moselhi, O., Hegazy, T. and Fazio, P.**, 1991. Neural networks as tools in conctruction, *J. Constr. Engrg. and Management*, **117**, 606-625.
- Özer, E.**, 1975. İkinci mertbe limit yük için yapı ağırlığını minimum yapan bir boyutlandırma metodu, *Doçentlik Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- Park, H.S. and Adeli, H.**, 1995. A neural dynamics model for structural optimization-application to plastic design of structures, *Comp. and Struct*, **57**, 391-399.
- Park, C.H., Lee, W. I., Han, W. S., and Vautrin, A.**, 2003. Weight minimization of composite laminated plates with multiple constraints, *Composites Science and Technology*, **63**, 1015-1026.

- Park, M.H. and Harik, I.E.**, 1987. Optimum design of horizontally curved R/C slabs, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **113**, 2195-2211.
- Paul, H., Das Gupta, N.C. and Yu, C.H.**, 1990. A geometric programming method for cost-optimal design of a modular floor system, *Engrg. Optimization*, **16**, 205-220.
- Pezeshk, S., Camp, C.V. and Chen, D.**, 2000. Design of nonlinear framed structures using genetic optimization, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **126**, 382-388.
- Pezeshk, S. and Hjelmstad, K.D.**, 1991. Optimal design of planar frames based on stability criterion, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **117**, 896-913.
- Prakash, A., Agarwala, S.K. and Singh, K.K.**, 1988. Optimum design of reinforced concrete sections, *Comp and Struct.*, **30**, 1009-1011.
- Rafiq, M.Y., Southcombe, C.**, 1998. Genetic algorithm in optimal design and detailing of reinforced concrete biaxial columns supported by a declarative approach for capacity checking, *Comp and Struct.*, **69**, 443-457.
- Rajeev, S. and Krishnamoorthy, C.S.**, 1992. Discrete optimization of structures using genetic algorithm, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **118**, 1233-1250.
- Ramasamy, J.V. and Rajasekaran, S.**, 1996. Artificial neural network and genetic algorithm for the design optimization of industrial roofs – a comparison, *Comp and Struct.*, **58**, 747-755.
- Rath, D.P., Ahlawat, A.S. and Ramaswamy, A.**, 1999. Shape optimization of flexural members, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **125**, 1439-1446.
- Saka, M.P.**, 1988. Optimum design of nonlinear space trusses, *Comp and Struct.*, **30**, 545-551.
- Saka, M.P.**, 1992. Optimum design of multistorey structures with shear walls, *Comp and Struct.*, **44**, 925-936.
- Saka, M.P.**, 1998. Optimum design of grillage systems using genetic algorithm, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **13**, 297-302.
- Sanad, A. and Saka, M.P.**, 1996. Design of reinforced concrete structures using neural networks, *Proc. of the 2nd Inter. Conf. in Civil Eng. on Comp. App. Research and Practice*, Bahrain, 6-8 April, 69-83.
- Saouma, V.E. and Murad, R.S.**, 1984. Partially prestressed concrete beam optimization, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **110**, 589-604.
- Sarma, K.C. and Adeli, H.**, 1998. Cost optimization of concrete structures, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **124**, 570-578.

- Spires, D. and Arora, J.S.**, 1990. Optimal design of tall RC-framed tube buildings, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **116**, 877-897.
- Swift, R.A., Batill, S.M.**, 1992. Simulated annealing utilizing neural networks for discrete variable optimization problems in structural design, *Proceedings of the 33rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Material Conference*, Dallas, TX USA, April 1992, Part 5, 2536-2543.
- Şuhubi, E.**, 1959. Minimum ağırlıklı plaklar, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Tekin, M.D.**, 1988. Betonarme döşemenin optimum maliyet tasarımı, *İnşaat Mühendisliği'nde Bilgisayar Kullanımı Sempozyumu*, Bildiriler II, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, İstanbul, 20-24 Haziran, s. 561-565.
- Templeman, A.B.**, 1988. Discrete optimum structural design, *Comp and Struct.*, **30**, 511-518.
- Topping, B.H.V., Khan, A.I. and Leite, J.P.B.**, 1993. Topological design of truss structures using simulated annealing, *Proceedings of the 5th International Conference on Civil and Structural Engineering Computing (CIVIL-COMP 93)*, Edinburg, Scotland, August 1993, 151-165.
- TS 500**, 2000. Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Turgut, P., Gürel, M.A. ve Arslan, A.**, 1997. Genetik algoritma ile betonarme bir kirişin optimum tasarımı, *Prof. Dr. A. Rifat Yarar Sempozyumu*, İ.T.Ü., İstanbul, 10 Aralık, s. 349-361.
- Vanluchene, R.D. and Sun, R.**, 1990. Neural networks in structural engineering, *Microcomputers in Civil Engineering*, **5**, 207-215.
- Wei, C., Liu, L. and Burns, S.C.**, 1997. Using genetic algorithm to solve construction time-cost trade off problems, *J. Comp. in Civil Engrg.*, **11**, 184-189.
- Wei, Z. and Ye, S.**, 1990. Optimal sectional design of frame structures using geometric programming, *J. Struct. Engrg.*, **116**, 2292-2298.
- Wu, X., Ghaboussi, J. and Garret, J.H.**, 1992. Use of neural networks in detection of structural damage, *Comp and Struct.*, **42**, 649-659.
- Zielinski, Z.A., Long, W. and Troitsky, M.S.**, 1995. Designing reinforced concrete short-tied columns using the optimization technique, *ACI Struct. J.*, **92**, 619-626.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Artvin – Borçka’da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini aynı ilçede tamamladıktan sonra 1987 yılında Yıldız Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başlamıştır. 1991 yılında lisans öğrenimini tamamladıktan sonra aynı yıl Yıldız Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başlamış, 1993’de tamamlamıştır. 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı’nda doktora öğrenimine başlamıştır. Halen Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı İşletmesi Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

