

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TİPLERDE KOLON-KİRİŞ BAĞLANTI NOKTALARINA SAHİP
RİJİT VE YARI-RİJİT ÇELİK ÇERÇEVELERİN STOKASTİK ARAMA
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

İnşaat Yük. Müh. Soner ŞEKER

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı

MANİSA 2013

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TİPLERDE KOLON-KİRİŞ BAĞLANTI NOKTALARINA SAHİP
RİJİT VE YARI-RİJİT ÇELİK ÇERÇEVELERİN STOKASTİK ARAMA
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

İnşaat Yük.Müh. Soner ŞEKER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 Mayıs 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Haziran 2013

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Celal KOZANOĞLU(CBÜ)

İkinci Danışman : Yrd.Doç.Dr. Erkan DOĞAN(CBÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Muhittin BAĞCI (CBÜ)

Doç.Dr. Gökhan ALTINTAŞ (CBÜ)

Doç.Dr. K. Armağan KORKMAZ (DEÜ)

Yrd.Doç.Dr. İbrahim AYDOĞDU(AKD)

MANİSA 2013

Biricik kızım Elif Ece ŞEKER'e

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatı bulduğum Sn. Prof.Dr. Celal KOZANOĞLU'na; doktora tez çalışmalarımın her aşamasında bana destek veren ve çalışmalarima yön veren Sn. Yrd.Doç.Dr. Erkan DOĞAN'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında benden desteğini esirgemeyen sevgili eşim Perihan Tuğba ŞEKER'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca bana her türlü özveriyi gösteren anne ve babama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran,2013

Soner ŞEKER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgi	1
1.2 Amaç	2
1.3 Çelik Çerçeve Sistemlerin Modellenmesi	3
1.4 Optimizasyon	4
1.4.1 Optimizasyona Giriş	4
1.4.1.1 Sürekli Optimizasyon	6
1.4.1.2 Kesikli Optimizasyon	6
1.4.2 Yapısal Optimizasyon	7
1.4.2.1 Yapısal Optimizasyonun Gelişimi	7
1.4.2.2 Yapısal Optimizasyon Problemleri	8
1.4.2.2.1 Boyutlandırma Optimizasyonu	9
1.4.2.2.2 Şekil Optimizasyonu	10
1.4.2.2.3 Topoloji Optimizasyonu	10
1.4.2.3 Yapısal Optimizasyon Yöntemleri	11
1.4.2.3.1 Matematik Programlama	11
1.4.2.3.2 Optimumluk Kriteri Yöntemi	12
1.4.2.3.3 Stokastik Optimizasyon Yöntemleri	12
1.4.2.3.3.1 Genetik Algoritma	13
1.4.2.3.3.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu	14
1.4.2.3.3.3 Karınca Koloni Optimizasyonu	14
1.4.2.3.3.4 Tabu Arama	16
1.4.2.3.3.5 Av Arama Optimizasyonu	16
1.4.2.3.3.6 Benzetilmiş Tavlama	17
1.4.3 Kısıtları İşleme Yöntemi	17
1.4.3.1 Ceza Fonksiyonları Yöntemi	17
1.4.3.2 Geri Uçuş Mekanizması	18
1.5 Literatür Araştırması	18

	<u>Sayfa No</u>
2. STOKASTİK ARAMA YÖNTEMLERİ	22
2.1 Giriş	22
2.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi	22
2.2.1 Parçacık Sürü Algoritması	23
2.2.1.1 Eylemsizlik Ağırlık Faktörü	26
2.2.1.2 Kontrol Parametreleri	26
2.3 Av Arama Optimizasyon Yöntemi	26
2.3.1 Av Arama Algoritması	27
2.4 Stokastik Arama Yöntemlerinin Performanslarının Kontrolü	31
2.4.1 Sürekli Optimizasyon Problemlerinde Parçacık Sürü (PSO) ve Av Arama Yönteminin (AA) Uygulaması	31
2.4.1.1 Örnek 1 (Kaynaklı kiriş)	31
2.4.1.2 Örnek 2 (Yay Tasarım Problemi)	34
2.4.2 Kesikli Optimizasyon Problemlerinde Parçacık Sürü (PSO) ve Av Arama Yönteminin (AA) Uygulaması	35
2.4.2.1 Örnek 1	36
2.4.2.2 Örnek 2	37
3 RİJİT BAĞLANTI NOKTASINA SAHİP DÜZLEMSEL ÇELİK ÇERÇEVELERİN LRFD ŞARTNAMESİNE GÖRE OPTİMUMUM TASARIMI	39
3.1 Rijit Bağlantı Noktalarına Sahip Çelik Çerçeveseler	39
3.2 Matris Deplasman Yöntemi	40
3.2.1 Global ve Lokal Koordinat Sistemleri	41
3.2.2 Yapının Serbestlik Derecesi	41
3.2.3 Çubuk Elemanların Uç Kuvvetleri İle Uç Deplasmanlar Arasındaki İlişki	43
3.2.3.1 Eksenel Kuvvet Etkisi Altındaki Çubuklar	44
3.2.3.2 Eğilme Momenti Taşıyan Çubuklar	45
3.2.4 Çubuk Elemanlarda Lokal Koordinatlarda Uç Kuvvetleri ve Deplasmanları	48
3.3 LRFD Şartnamesine Göre Çelik Kiriş-Kolon Elemanların Tasarımı	51
3.3.1 LRFD'ye Göre Kiriş-Kolon Elemanlarda Birleşik Gerilmeler	52
3.3.2 LRFD'ye Göre Kiriş-Kolon Elemanlarda Eğilme ve Eksenel Çekme	53
3.3.3 LRFD'ye Göre Kiriş-Kolon Elemanlarda Eğilme ve Eksenel Basınç	54

	<u>Sayfa No</u>
3.3.4 Kiriş-Kolon Elemanlarda Burkulma Boyu	54
3.3.5 LRFD'ye Göre Kiriş-Kolon Elemanlarda Kesme Etkisi	55
3.3.6 LRFD'ye Göre Kiriş-Kolon Elemanların Kullanılabilirliği	56
3.3.6.1 Deplasman	56
3.3.6.2 Kat Ötelenmesi	57
3.3.6.3 Birleşimde Kolon ve Kirişlerin Geometrik Uyumu	57
3.4 Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı	58
3.4.1. Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı İçin Matematiksel Model	59
3.4.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması İle Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı	60
3.4.3. Av Arama Optimizasyon Algoritması İle Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı	61
3.4.4 Tasarım Örnekleri	62
3.4.4.1 İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çelik Çerçeve	63
3.4.4.2 Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	64
3.4.4.3 Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çelik Çerçeve	66
3.4.4.4 On Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	68
3.4.4.5 On iki Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	71
4 YARI - RİJİT BAĞLANTI NOKTALARINA SAHİP DÜZLEMSEL ÇELİK ÇERÇEVELERİN LRFD ŞARTNAMESİNE GÖRE OPTİMUMUM TASARIMI	74
4.1 Yarı - Rijit Bağlantılı Çerçeveler	74
4.2 Yarı Rijit Birleşim Davranışı	75
4.3 Yarı Rijit Birleşim Modelleri	76
4.4 Yarı Rijit Bağlantı Tipleri	77
4.4.1 Tek Gövde Korniyerli Birleşim	78
4.4.2 Çift Gövde Korniyerli Birleşim	79
4.4.3 Alın Levhalı Birleşim	79
4.4.4 Alt ve Üst Başlık Korniyerli Birleşim	80
4.4.5 Alt ve Üst Başlık Korniyerli ve Çift Gövde Korniyerli Birleşim	80
4.4.6 Uç Levhalı Takviyesiz Birleşim	81
4.4.7 Uç Levhalı Takviyeli Birleşim	82
4.4.8 T Profilli Birleşim	82
4.5 Yarı-Rijit Bağlantı Modelleri	83

	<u>Sayfa No</u>
4.6 Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Analizi	85
4.7 Uç Levhalı Takviyeli Model	86
4.8 Uç Levhalı Takviyesiz Model	91
4.9 Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli Birleşim Modeli	93
4.10 Alın Levhalı Birleşim Modeli	97
4.11 Yarı - Rijit Bağlantı Noktalarına Sahip Düzlemsel Çelik Çerçevelerinin Optimum Tasarımı	99
4.12 Tasarım Örnekleri	100
4.12.1 İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çelik Çerçeve	101
4.12.2 Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	105
4.12.3 Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çelik Çerçeve	109
4.12.4 On Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	113
4.12.5 On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	118
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	126
ÖZGEÇMİŞ	130

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 Yarı Rijit Çerçeve Modeli	4
Şekil 1.2 İki Değişkenli Tasarım Problemi	5
Şekil 1.3 Boyutlandırma Optimizasyonu	10
Şekil 1.4 Şekil Optimizasyon Problemi	10
Şekil 1.5 Topoloji Optimizasyonu	11
Şekil 1.6 Gerçek ve Lineerleştirilmiş Optimizasyon Problemi	12
Şekil 1.7 Kuş ve Balık Sürülerinin Görünüşü	14
Şekil 1.8 Besin Kaynağına Optimum Yoldan Giden Karıncalar	15
Şekil 2.1 Kuş ve Balık Sürüsü	23
Şekil 2.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması İçin Akış Şeması	25
Şekil 2.3 Kurt ve Aslan Sürüsünün Avlarını Yakalamaları	27
Şekil 2.4 Av arama algoritması (AA) akış şeması	28
Şekil 2.5 Kaynaklı Kiriş Tasarımı	31
Şekil 2.6 Yay Tasarım Problemi	34
Şekil 2.7 Yay Tasarım Problemi İçin Tasarım Geçmişi	35
Şekil 2.8 $f(x) = 5x_1^2 - 9x_1x_2 + 5x_2^2$ Fonksiyonu İçin Bulunan Çözüm Değerleri	37
Şekil 3.1 Çerçeve Sistemde Kolon , Kiriş ve Kiriş-kolon Elemanlar	39
Şekil 3.2 Basit Bir Çerçeve İçin Analitik Model	40
Şekil 3.3 Basit Bir Çerçeve İçin Global ve Lokal Koordinatlar	41
Şekil 3.4 Basit Bir Çerçeve İçin Serbestlik Dereceleri	42
Şekil 3.5 Yükleme Öncesi ve Sonrasında Çubuğun Durumu	43
Şekil 3.6 Çubuğa Etkiyen Eksenel Yükler	44
Şekil 3.7 Çubuk Elemana Etkiyen Tesirler	45
Şekil 3.8 r Elemanında k Matrisinin İkinci Kolonu	48
Şekil 3.9 Lokal Uç Kuvvetleri ve Uç Deplasmanları	49
Şekil 3.10 Global Uç Kuvvetleri ve Uç Deplasmanları	49
Şekil 3.11 I (W) Profil Kesiti	52
Şekil 3.12 Kolon-Kiriş Elemanın Uç Noktaları	54
Şekil 3.13 I Kesitli Profillerin Kesme Gerilmeleri	55
Şekil 3.14 Kolon - Kiriş Birleşiminin Geometrisi	58
Şekil 3.15 İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çelik Çerçeve	63
Şekil 3.16 İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları	63

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.17 Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	64
Şekil 3.18 Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları	65
Şekil 3.19 Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çelik Çerçeve	66
Şekil 3.20 Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları	67
Şekil 3.21 On Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	69
Şekil 3.22 On Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları	70
Şekil 3.23 On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve	71
Şekil 3.24 On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları	72
Şekil 4.1 Ankastre , Mafsallı ve Yarı Rijit Bağlantılı Kirişlerin Moment Dağılımları	75
Şekil 4.2 Çerçeve Sistemde P- Δ Etkisi	76
Şekil 4.3 Birleşim Noktasının Moment – Dönme İlişkisi	76
Şekil 4.4 Birleşim Tipleri İçin Moment – Dönme Eğrilikleri	77
Şekil 4.5 Tek Gövde Korniyerli Birleşim	78
Şekil 4.6 Tek gövde levhalı birleşim	78
Şekil 4.7 Çift Gövde Korniyerli Birleşim	79
Şekil 4.8 Alın Levhalı Birleşim	79
Şekil 4.9 Alt ve Üst Başlık Korniyerli Birleşim	80
Şekil 4.10 Alt ve Üst Başlık Korniyerli ve Çift Gövde Korniyerli Birleşim	80
Şekil 4.11 Uç Levhalı Takviyesiz Birleşim	81
Şekil 4.12 Uç Levhalı Takviyeli Birleşim	82
Şekil 4.13 T Profilli Birleşim	82
Şekil 4.14 Dönmeye Çalışan Yay İle Modellenen Yarı Rijit Kiriş Eleman	85
Şekil 4.15 Yarı Rijit Birleşimin Moment – Eğrilik Davranışı	88
Şekil 4.16 Uç Levhalı Takviyeli Model	89
Şekil 4.17 Uç Levhalı Takviyesiz Model	91
Şekil 4.18 Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli Model	93
Şekil 4.19 Alt Başlık Korniyerinde Eğilme Etkisi	94
Şekil 4.20 Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli Model İçin Birleşim Detayı	95
Şekil 4.21 Alın Levhalı Birleşim Modeli	96
Şekil 4.22 İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çelik Çerçeve	101
Şekil 4.23 Parçacık Sürü Yöntemi İle İki Katlı Üç Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	102
Şekil 4.24 Av Arama Yöntemi İle İki Katlı Üç Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	103
Şekil 4.25 Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	105
Şekil 4.26 Parçacık Sürü Yöntemi İle Dört Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	106

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.27 Av Arama Yöntemi İle Dört Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	106
Şekil 4.28 Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çelik Çerçeve	109
Şekil 4.29 Parçacık Sürü Yöntemi İle Sekiz Katlı Altı Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	110
Şekil 4.30 Av Arama Yöntemi İle Sekiz Katlı Altı Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	110
Şekil 4.31 On Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve	113
Şekil 4.32 Parçacık Sürü Yöntemi İle On Katlı ve Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	114
Şekil 4.33 Av Arama Yöntemi İle On Katlı ve Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	114
Şekil 4.34 On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve	118
Şekil 4.35 Parçacık Sürü Yöntemi İle On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	119
Şekil 4.36 Av Arama Yöntemi İle On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	119

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1 Kaynaklı kiriş problemi için optimum çözümleri	33
Çizelge 2.2 Yay tasarım probleminin optimum çözümleri	35
Çizelge 2.3 Parçacık sürü optimizasyonu parametreleri	36
Çizelge 3.1 İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çerçevenin Optimum Tasarım Sonuçları	64
Çizelge 3.2 Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçevenin Optimum Tasarım Sonuçları	65
Çizelge 3.3 Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları	68
Çizelge 3.4 On Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları	70
Çizelge 3.5 On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları	73
Çizelge 4.1 Birleşim Tipleri İçin Eğri Uydurma ve Standartlaştırma Sabitleri	84
Çizelge 4.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle İki Katlı Üç Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	104
Çizelge 4.3 Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle İki Katlı Üç Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	104
Çizelge 4.4 Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle Dört Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	108
Çizelge 4.5 Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle Dört Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	108
Çizelge 4.6 Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle Sekiz Katlı Altı Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	112
Çizelge 4.7 Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle Sekiz Katlı Altı Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	112
Çizelge 4.8 Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle On Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	116
Çizelge 4.9 Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle On Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	117
Çizelge 4.10 Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle On İki Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	121
Çizelge 4.11 Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle On İki Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar	122

KISALTMALAR

LRFD-AISC	Yük ve Direnç Faktörü Tasarımı - Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
AA	Av Arama
TS 648	Türk Standartı – Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
EUROCODE 3	Avrupa Standartı – Çelik Yapıların Tasarım Kuralları
AISC-ASD	Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü– Emniyet Gerilmesi Tasarımı
BS	İngiliz Standartı (British Standart)
EC	Avrupa Standartı (Eurocode)
GA	Genetik Algoritma
GP	Genetik Programlama
EA	Evrimsel Algoritma

FARKLI TİPLERDE KOLON-KİRİŞ BAĞLANTI NOKTALARINA SAHİP RİJİT VE YARI-RİJİT ÇELİK ÇERÇEVELERİN STOKASTİK ARAMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada, düzlemsel çelik çerçevelerin farklı tipte kolon-kiriş bağlantı tiplerine göre ağırlık optimizasyonu yapılmıştır. Çelik yapıların statik analizi kolon-kiriş birleşim noktaları, mafsalsal ya da tamamen rijit olarak kabul edilerek yapılır. Gerçekte bu birleşim noktalarındaki davranış ne mafsalsal ne de tamamen rijit bir davranıştır. Birleşim noktalarının davranışı bu iki davranış arasında olup, bu davranış kısmen önlenmiş ya da yarı rijit kolon-kiriş birleşimi davranışı olarak isimlendirilmektedir. Rijit birleşim davranışlarında kolon ve kiriş arasında her hangi bir dönmenin olmadığı, mafsallı birleşimde ise çok düşük moment değerlerinde bile dönmenin gerçekleşebildiği bilinmektedir. Yarı rijit bağlantılarda ise moment etkisi altında birleşimde bir miktar dönme ile birlikte, birleşimin moment aktarabileceğinden de söz etmek mümkündür. Böyle bir durumda, dönme nedeniyle birleşim noktasındaki yer değiştirme ve yatay yük nedeniyle yapıdaki $P-\Delta$ etkisi artış göstermektedir. Bu olay yapıdaki moment dağılımını etkilemektedir. Birleşim noktalarının gerçekte yarı rijit bir davranış gösterdikleri kabulü ile yapısal analizlerde bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Birleşim noktalarında oluşabilecek olan dönme davranışı yapıda yaylar ile modellenmektedir ve birleşim noktalarının esnekliği de hesaba katılmalıdır. Literatürde belirtilen yarı rijit bağlantı tiplerinden; uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim modelleri bu çalışmada ele alınarak, birleşim tiplerine göre yapıların ağırlıklarının değişimi araştırılmıştır. Öncelikle yapılar rijit düğüm noktası kabulüne göre, daha sonra yarı rijit bağlantı tiplerine göre modellenmiş ve yapı ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

Yapıların boyutlandırılması; AISC-LRFD (Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü - Yük ve Direnç Faktörü Tasarımı) şartnamesinin öngördüğü hususlar göz önünde alınarak yapılmıştır. Yapıda bulunan tüm kolon ve kirişler I (W) kesitli profiller arasından seçilmiştir. Şartnameye göre; dayanım, deplasman ve kolon-kiriş birleşimindeki geometrik uygunluk şartları göz önüne alınarak yapılan uygun çözümler arasından yapı ağırlığının en düşük olduğu profil kesitlerinin seçilmesi için; parçacık sürü ve av arama optimizasyon yöntemlerinden faydalanılmıştır. Doğadaki kuşlar, balık ve böcekler hayatta kalabilmek için sürüler halinde hareket etmektedirler. Örneğin kuşların yiyecek bulmak için bir sürü halinde hareket etmeleri, onlara daha kısa sürede istedikleri yiyeceğe ulaşma olanağı sağlamaktadır. Parçacık sürü optimizasyon yöntemi, kuş sürüsünün yiyecek ararken davranışını taklit eden bir arama tekniğidir. Kuşların yiyecek aramasına benzer şekilde, optimizasyon işlemi de yapılarda en düşük ağırlığı sağlayacak olan kolon ve kirişlerin kesitlerini aramaktadır. Sürü içerisinde hareket eden her bir kuş, optimizasyon işlemi için uygun bir aday çözümü ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan diğer bir optimizasyon tekniği olan av arama tekniği ise aslan ve kurt gibi av hayvanlarının, avlarını yakalayabilmeleri için geliştirdikleri stratejilerin izlenmesi ve bu davranışlarının taklit edilmeleri sonucunda ortaya çıkmış olan bir arama tekniğidir. Bu av hayvanlarının sürü halinde geliştirdikleri strateji kapsamında her bir avcının belirli bir görevi bulunmaktadır. Geliştirilen strateji ile hareket eden sürüler kendilerinden çok daha güçlü, hızlı veya büyük olan hayvanları mümkün olan en kısa sürede yakalayarak kendilerine yiyecek yapabilmektedirler. Av arama tekniğinde, avcı hayvanların her birisi problemin bir parçasının çözümüne karşılık gelir. Avcı hayvanların her birinin avının yakalama çabası ile optimum çözümün aranması benzeştirilmiştir. Amaç fonksiyonunu olarak yapı ağırlığının en düşük olduğu optimizasyon problemleri için, parçacık sürü tekniği ve av arama tekniğinde geliştirilen algoritmalar kullanılarak rijit ve yarı rijit bağlantı noktalarına sahip çelik çerçevelerin tasarımı yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optimum boyutlandırma, parçacık sürü yöntemi, av arama yöntemi, çelik çerçeveler, yarı rijit kolon-kiriş birleşimler

OPTIMUM DESIGN OF STEEL FRAMES WITH RIGID AND DIFFERENT SEMI RIGID CONNECTION TYPES USING STOCHASTIC SEARCH TECHNIQUES

ABSTRACT

In this study, weight optimization of planary steel frames is made according to different column-beam joint types. Static analysis of steel structures is performed while assuming column-beam joints as hinge or completely rigid. In the fact, the behavior in these joints is not hinge and completely rigid. The behavior of joints is between these two behaviors and this behavior is named as partly restrained or behavior of semi rigid column-beam. In rigid joints, it is known that there isn't any rotation between column and beam, on the other hand rotation may occur even in very low moment values in hinge joints. In semi rigid connections, moment transfer by the joint and some rotation under the effect of moment are possible to mention. This situation increases (P- Δ) effects in the structure with the displacement due to rotation of joint and contribution of vertical loads. This case effects the moment distribution in the structure. This situation shall be taken into consideration in structural analyses by the assumption of the semi rigid behavior of joints in the fact. Possible rotation behavior in joints is modelled by springs in the structure and flexure of joints shall also be taken into consideration. Semi rigid connections in the literature as end plate with stiffeners, end plate without stiffeners, top and seat angle with web angles and header plate models are taken in this study and weight change of structures according to joint types are investigated. First of all, the structures are modeled according to rigid connection assumption, then modeled according to semi rigid connection types and weights of the structures are compared.

Sizing of the structures are made according to cases proposed AISC-LRFD code. All column and beams in the structure are selected from W section profiles. Particle swarm and hunting search techniques are used by taking strength, displacement and geometrical conditions in column-beam joints into consideration to select the profile sections which provide the minimum weight of the structure in proper solutions. Birds, fishes and insects move together to survive in the nature. For example, when birds fly together to forage, they find the food they wanted in a short time. Particle swarm optimization method is a searching technique which imitates the forage behavior of bird flock. Column and beam sections which provide the least structure weight is searched in optimization process as similar to foraging of birds. Each bird moving in a flock represents a proper solution for optimization process. Hunting search, which is another optimization technique used in the study, occurs from the strategies which are developed by animals as lion and wolf while searching their preys and imitating these behaviors. There is a definite duty for each prey in the scope of the strategy developed by preys as flocks. Moving flocks may catch the stronger, faster and bigger animals which in a short time with the developed strategy. In hunting search, each predator is a part of the problem solution. Effort of predators while hunting for their preys equals optimum search of the solution. Design of rigid and semi rigid steel frames are completed for the structures having minimum weight as objective function by using algorithms in particle swarm and hunting search techniques

Keyword: Optimum design, particle swarm method , hunting search method , steel frames, semi rigid connections

1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgi

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan bu raporda; düzlemsel çelik çerçevelerin yarı rijit birleşim noktalarına sahip çerçeveler olarak tasarlanması durumunda yapının toplam ağırlığında meydana gelen değişim üzerine elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Araştırmaya yönelik açıklık ve kat sayıları değişen düzlemsel yapılar rijit düğüm noktalarına göre tasarım yapılarak bu yapıların ağırlıkları belirlenmiştir. Söz konusu yapıların kolon-kiriş birleşiminde, literatürde belirtilmekte olan düğüm noktalarında yarı rijit bağlantı davranışı sağlayan modeller kullanılarak yapı ağırlığı üzerindeki değişimler bulunmaya çalışılmıştır. Rijit veya yarı rijit bağlantı tipi ile birleştirilen, geometrisi ve yükleme durumları özdeş olan yapılar için optimum sonuçlar literatürde adı geçen parçacık sürü optimizasyon ve av arama optimizasyon yöntemleri kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlardan optimizasyon yöntemleri arasında performans kıyaslaması yapılabilmekte ve kolon-kiriş birleşim noktasındaki model farklılığının yapı ağırlığı üzerindeki etkisi görülebilmektedir.

Optimizasyonun tanımı, tarihsel gelişimi ve mühendislik problemlerinde kullanım amaçları üzerinde açıklamalarda bulunulmuştur. Optimizasyon insanlar tarafından; en uygun, en rahat, en ekonomik, en kısa, en sağlam gibi sorulara cevap verebilmek adına yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmış olan bir çözümdür. Mühendisliğin öncelikli amacı en ekonomik ve en sağlam çözümler ortaya çıkarmak olduğu için, mühendislik mesleği kendine optimizasyonu bir çalışma konusu olarak benimsemiştir.

Yapıların ekonomik olarak tasarlanması, yapı mühendisliğinin en önemli amaçları içerisinde yer almaktadır. Yapıların minimum ağırlıklı olarak tasarımı, hem yapılara gelecek olan yüklerin azaltılması hem de maliyetin en düşük seviyede tutulması açısından önemlidir.

Bu çalışma kapsamında; yapısal optimizasyon konusu ele alınmış olup, yapısal optimizasyon problemleri üzerinde açıklamalara da değinilmiştir.

Optimizasyon problemlerinde en uygun çözümü bulmak için geliştirilmiş pek çok yöntem ve de optimizasyon algoritmaları bulunmaktadır. Bu çalışmada literatürde stokastik optimizasyon yöntemleri başlığı altında yer alan bazı yöntemlerden kısaca söz edilmiş olup, bu yöntemler içerisinde; parçacık sürü ve av arama optimizasyon yöntemi üzerinde durularak mühendislik tasarım problemlerinde optimum çözüme ulaşabilmek için bir ağırlık optimizasyon algoritmasından faydalanılmıştır. Bu algoritmanın performansını test etmek üzere literatürde

farklı yöntemler kullanılarak optimum çözüm arayışı yapılan iki tane sürekli optimizasyon problemi ve iki tane kesikli optimizasyon problemi üzerinde parçacık sürü ve av arama algoritması denenmiş ve önceki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda parçacık sürü ve av arama optimizasyon algoritmasının bu problemlerde iyi sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

Bundan sonra yapılacak olan tez çalışmalarında; performansı test edilmiş olan parçacık sürü ve av arama algoritmaları kullanılarak rijit ve yarı rijit düğüm noktalarına sahip düzlemsel çerçeveli çelik yapıların tasarımında optimum çözümler aranacaktır. Yapıların analizinde matris deplasman yöntemi kullanılacak olduğu için bu yöntemin esasları da ele alınarak bu rapor kapsamında sunulmuştur. Yapıların optimum şekilde boyutlandırılmasında; LRFD-AISC şartnamesi kullanılacağı için daha sonraki bölümlerde bu şartnamede geçen tasarım belirleyicileri konusuna da değinilecektir.

1.2 Amaç

Yapı mühendisliğinde; yapıların projelendirilmesi aşamasında yapılar öncelikle güvenilir, kullanım amacına uygun ve ekonomik kriterler dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Yapıların güvenli olabilmeleri yapının tasarım aşamasında dikkate alınan malzeme ve eleman davranışları ile gerçekte yapı davranışı birbirine uygun olmalıdır. Çerçeve sistemlerin tasarımında birleşim noktaları rijit davranış veya ideal mafsalsal davranış gösterecek şekilde analiz edilmektedir. Fakat yapılan deneysel çalışmalarda, çelik çerçeve sistemlerde bulunan birleşim davranışları ne tamamen rijit ne de ideal mafsalsal bir davranış göstermediği ortaya çıkmıştır. O halde yapıların projelendirilmesi sırasında tahmin edilen yapı davranışı aslında gerçek davranışını temsil etmemektedir. Birleşim noktalarının davranışını birleşim tipine göre yarı rijit bir davranış temsil etmektedir. Bu tez çalışmasında bağlantı tipine göre yarı rijit davranış gösteren yapılar, bu özellikleri dikkate alınarak analiz edilmiş ve tasarımı buna göre yapılmıştır. Böylece tasarım aşamasında düşünülen yapılar gerçek davranışlarına daha çok benzetilmiş olmaktadır. Bağlantı tipinin değişimi yapının esnekliğini etkilemekte ve bu olay yapının enerji yutma kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Bu sayede yapı elemanları üzerinde bulunan kuvvet dağılımı değişebilmekte ve eleman kesitleri de buna paralel olarak değişebilmektedir. Bu tez çalışmasının amacı birleşim tipinin davranış özellikleri göz önüne alınarak, yapılar gerçek davranışına uygun şekilde optimum boyutlandırılmasıdır. Literatürde bulunan dört farklı bağlantı tipi ile birlikte rijit birleşim davranışını gösteren yapılar ele alınarak yapı ağırlığı üzerinde bulunan değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapı ağırlığının en hafif olması özellikle yapıların maliyeti ile yakından ilgilidir. Bu çalışmada, ele alınan tüm yapılar en düşük yapı ağırlığına sahip olması hususunda tasarlanmıştır. Yapıların mevcut şartlar altında en hafif şekilde

boyutlandırılması bir optimizasyon problemidir. Optimizasyon işlemi için parçacık sürü yöntemi ile birlikte av aramayöntemi kullanılmıştır.

1.3 Çelik Çerçeve Sistemlerin Modellenmesi

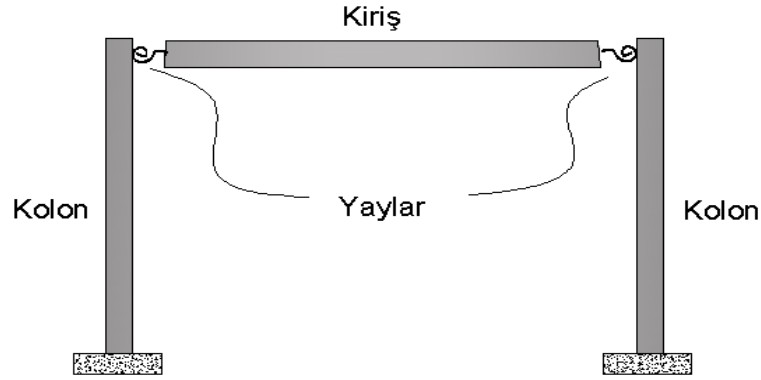
Yapıların projelendirilmesi ve boyutlandırılması yapı mühendisliğinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bir çelik yapının tasarımında öncelikle taşıyıcı sistem belirlenip, taşıyıcı sistemdeki kolon ve kiriş elemanları için çelik profil kesit tablosundan uygun kesitler seçilmelidir. Seçilmiş olan kolon ve kiriş kesitleri, temel-kolon birleşimleri ve yapıya etkiyen yükler göz önüne alınarak yapısal analiz yapılır.

Genel olarak yapı mühendisliğinde çelik çerçevelerin kolon-kiriş birleşim noktaları ya tamamen rijit ya da mafsallı olarak kabul edilir. Bu kabul ışığında yapı elemanları ve düğüm noktalarında oluşacak olan tesirler belirlenir. Tamamen rijit düğüm noktalarına sahip yapılarda kirişlerin uç noktalarında oluşan eğilme momentleri de aynen kolonlara aktarılmaktadır. Mafsal birleşim olarak kabul edilen birleşimlerde ise kirişler kolonlara bağlandıkları noktalarda serbestçe dönme hareketi yapabilmekte ve böylece kiriş uç noktalarında moment oluşmamaktadır.

Fakat yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, çelik bir çerçeve sistemde kolon-kiriş birleşimlerinin bilinen aksine ne tamamen rijit ne de birleşim noktasında serbestçe dönme yapabilen mafsallı birleşim gibi davranmadıkları görülmüştür (W.Chen,1999). Gerçekte kolon-kiriş birleşim noktalarındaki davranışın rijit ile mafsal davranışı arasında kısmen dönme yapabilen kısmen moment aktaran birleşimler olduğu ortaya çıkmıştır. Böylece yarı rijit bağlantı noktası diye bir tanım oluşmuş ve bağlantı detayına göre birleşimin aktarabileceği moment ve kolon-kiriş birleşimde oluşacak dönme kapasiteleri göz önüne alınarak farklı yarı rijit bağlantı tipleri ortaya çıkmıştır.

Düğüm noktalarında kısmen dönme oluşması, düğüm noktasının yerdeğiştirmesine dolayısıyla kolonlarda bulunan eksenel yüklerden ötürü yapıda ikincil mertebe momentleri diye bilinen (P- Δ) etkilerin ortaya çıkmasına sebep olur. Yapıların lineer olmayan analizinde bu etkilerin de hesaba katılması gerekmektedir (Kameshki ve Saka,2001).

Yarı rijit bağlantılı çerçeveler analiz edilirken, düğüm noktalarında oluşan kısmen dönme kısmen moment taşıma özellikleri bu noktalarda yaylar modellenerek sağlanabilmektedir. Bu yayların rijitlik katsayıları; birleşimde kullanılan bulon sayısı ve çapı ve kullanılan levhanın geometrik büyüklüğüne göre belirlenmektedir. Şekil 1.1'de yarı rijit bir düzlemsel çerçeve modeli gösterilmiştir.



Şekil 1.1 – Yarı Rijit Çerçeve Modeli

1.4 Optimizasyon

1.4.1 Optimizasyona Giriş

İnsanoğlu çevresindeki doğayı gözlemleyip ondan etkilenmiş ve onu kendine rehber edinmiştir. İçgüdüsel olarak enerjiyi ekonomik kullanarak, kendine en konforlu bulma çabası içerisinde girmiştir. Böylelikle insanlarda zamanla bir sistemi kurmakla birlikte onu; en iyi, en uygun, en rahat, en ekonomik yapabilme arzusu gelişmiştir. Bu süreç ise günümüzde “optimizasyon” olarak adlandırılan terimi ortaya çıkarmıştır.

Optimizasyon en iyileme anlamına da gelmektedir. Yani bir problem için, mevcut şartlar göz önüne alındığında alternatif çözümler arasından en uygun çözüme ulaşma çabasıdır. Eniyileme problemlerinin çözümü ile ilgili bilimsel çalışmalar mühendislik alanları ile ilgili oldukları için son yıllarda önemli bir bilim halini almıştır.

Optimizasyon denince karar vermede matematiksel yöntemlerin kullanılması fikri akla gelebilir. Bu matematiksel yöntemlere literatürde sayısal optimizasyon veya matematiksel programlama metotları denmektedir. Etkili bir karar verme için tasarım problemlerinin uygun bir matematiksel formatta ifade edilmesi gerekmektedir (Bayar,2008).

Bir tasarım problemini optimizasyon yöntemiyle etkili bir şekilde çözmek için; ilk olarak tasarım değişkenlerinin belirlenmesi gerekir. Daha sonra, bu parametrelere bağlı olarak maliyet fonksiyonu ya da kar fonksiyonu belirlenir ve bunlardan uygun olanlarını belirleyen kısıt fonksiyonları tanımlanır.

Maliyet fonksiyonunda; en küçük nümerik değere ulaşmak arzulanırken, kar fonksiyonunda en büyük nümerik çözüm değeri amaç fonksiyonudur.

Kısıtlayıcı fonksiyonlar; parametrelerin alamayacağı değerleri tanımlamakta ve uygun çözümler belirlenen bu sınırlar dâhilinde ortaya çıkmaktadır. Kısıtlar bazı durumlarda eşitsizliklerle ifade edilirken bazı durumlarda ise eşitlikler biçiminde tanımlanabilir. Optimizasyon problemlerinde, tasarımdan beklentiler ne kadar artarsa problem için çözüm o derece zorlaşmaktadır (Karaboğa, 2004).

Bir optimizasyon probleminin matematiksel şekli aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

n değişken sayısına sahip amaç fonksiyonu $z = f(x)$;

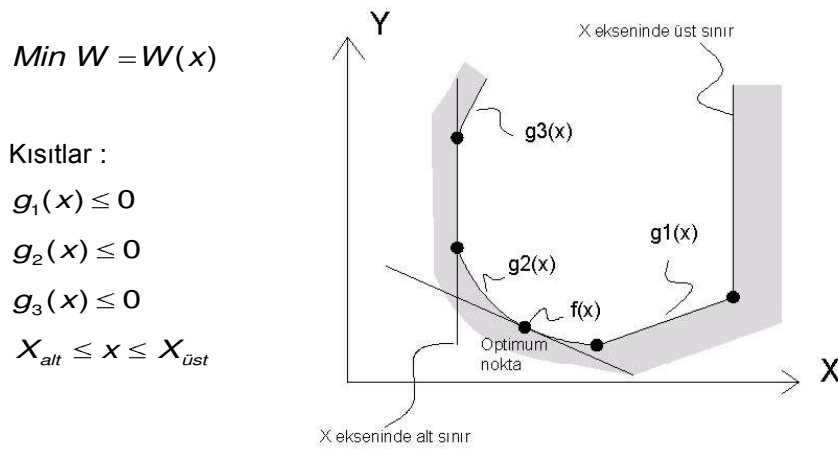
$$f(x) = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) \quad (1.1)$$

Kısıt fonksiyonları ise;

$$h_j(x) = h_j(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_p) = 0, \quad 1 \leq j \leq p \quad (1.2)$$

$$g_i(x) = g_i(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_m) \leq 0, \quad 1 \leq i \leq m \quad (1.3)$$

gibi olabilir. Burada görüldüğü gibi bu kısıtlamalar, eşitsizlik ya da eşitlik şeklinde olabilir. Bunun yanında bazı optimizasyon problemleri, problemin tipine göre geometrik sınırlayıcılar da içerebilir. Bu sınırlamalar tasarım değişkenlerine bağımlı olarak tanımlanır. Eğer bir tasarım tüm sınırlayıcıları sağlıyorsa sistem uygun, sağlamıyorsa uygun değildir.



Şekil 1.2 - İki Değişkenli Tasarım Problemi (Doğan,2010)

Optimizasyon problemleri, genel olarak tasarım değişkenlerinin tipine bağlı olarak iki kısma ayrılmaktadır:

- Sürekli Optimizasyon
- Kesikli Optimizasyon

1.4.1.1 Sürekli Optimizasyon

Sürekli optimizasyonda, amaç fonksiyonu ve kısıtlar, tasarım değişkenlerinin sürekli bir fonksiyonudur. Diğer bir deyişle; problemdeki değişkenler belirlenen sınırlar içerisinde tüm değerleri alabiliyorsa bu tür problemler sürekli optimizasyon problemi olarak bilinmektedir. Amaç fonksiyonu, problem verimlilik problemi ise maksimum, maliyet problemi ise minimum çözümler verecek şekilde belirlenir. Sürekli optimizasyon kısıtlı veya kısıtsız optimizasyon olmak üzere iki ana tiptedir. Kısıtlı sürekli optimizasyonda, kısıtlar eşitlik ya da eşitsizlikler biçiminde yazılabilir (Bayar,2008). Örneğin; etkiyen yüklere göre tasarım sınırları içerisinde bir çubuk elemanın sağlaması gereken minimum kesit alanı sürekli bir optimizasyon problemi olarak düşünülebilir. Fakat uygulamada kolaylık olması bakımında bu alanı sağlayabilmek için boyutlar tam sayı değerlerine yuvarlatılır.

1.4.1.2 Kesikli Optimizasyon

Kesikli optimizasyonda, amaç fonksiyonu ve kısıtlar, tasarım değişkenlerinin sürekli bir fonksiyonu değildirler. En geniş anlamıyla, normal olarak sürekli biçimde tanımlanan karar değişkenlerinin, kesikli değerler alan karar değişkenleri biçiminde tanımlandığı kesikli optimizasyon, hem problemlerin modellenmesinde hem de bu modellerin problem çözümünde kullanılmasında etkin ve hızlı çalışan algoritmalara ihtiyaç duyar.

Karar değişkeni sadece belli değerleri alıyorsa, bu durumda kesikli değişken olarak adlandırılır. Optimizasyon modellerinde bu türden tasarım değişkenleri genellikle (0–1) olarak ya da negatif olmayan tamsayılar olarak adlandırılır. Bir tasarım değişkeninin standart bir veritabanından seçilme zorunluluğu olduğu durumlarda yapısal tasarımlar kesikli karar alanı ile belirlenir. Buna örnek olarak kesit modülünün var olan bir tabloda seçilme zorunluluğu verilebilir. Her ne kadar sürekli optimizasyon mükemmel bir sonuç üretse de, uygulamalarda sonuçların kesikli değerlere dönüştürülerek değiştirilmesi gerekir. Çoğu uygulamada yukarı doğru yuvarlatılmış değerler ele alınmaktadır (Bayar,2008).

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı, değişkenlerin kesikli olarak tanımlandığı problemler literatürde “kesikli optimizasyon problemleri” ve özelde de “tamsayılı optimizasyon problemleri” olarak ele alınır. Kesikli optimizasyon problemleri doğrusal veya doğrusal olmayan türden olabilir.

1.4.2 Yapısal Optimizasyon

1.4.2.1 Yapısal Optimizasyonun Gelişimi

Son yıllarda yapılan yapısal analiz çalışmaları sonucunda büyük başarılarla ulaşılmıştır. Bilgisayarlar yardımıyla; insanların malzeme bilgisi sınırları çerçevesinde bütün yapısal problemlerin çözümüne ulaşmak mümkündür.

Yapı tasarımı, yapıya gelecek etkilere bağlı olarak bünyesinde oluşacak tepkilerin, izin verilen değerlere eşitlenmesidir. Eşitliğin kurulabilmesi için etkiyi ve tepkiyi belirleyen kriterlerin açık bir şekilde ortaya konmasına bağlıdır. Bu nedenle yapı problemlerinin neler olduğu tespit edilmeye çalışılmış ve yapı elemanlarının boyutlandırılmasında etkin olan kriterler ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca yapının maruz kalacağı dış kuvvetlerin karakteristikleri ve ne gibi etkiler yaratabilecekleri belirlenmiştir. Diğer taraftan malzeme ile ilgili yapılan çalışmalar da önemli sonuçlar vermiş ve bu alanda ilerlemeler kaydedilmiştir. Yapılar tasarlanırken malzeme, yapı elemanı ve dış etkilerin öngörülen karakteristiklerindeki gelişmelere bağlı olarak, dikkate alınan unsurların sayısı artmakta ve problemin çözümü konusunda karar verme işlemi zorlaşmaktadır. Her şeyin sınırlı bir miktarda bulunduğu dünyamızda amacına hizmet etmekle görevli olan yapının tasarımı için, sistemin taşıyıcı elemanlarında kullanılacak malzemenin ve yapıya etkiyecek dış yüklerin etkin bir biçimde belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle yapıların optimum tasarımı konusuna ağırlık verilmiştir. Optimum tasarım, mevcut olabilecek çözümler arasında istenilen kriterlere en uygun olanıdır (Bekiroğlu,2003).

Mühendislik kapsamında optimum tasarım, fiziksel modellerin matematiksel problemler olarak ifadesinde en iyi çözümü belirleme işlemi olarak tanımlanır. Optimizasyon alanı içerisinde, optimizasyon için kullanılan ve kullanılabilecek tekniklerin çeşitli problemler için çözüm algoritmalarının oluşturulması, bu tekniklerin yapısal olarak irdelenmesi ve bilgisayar ortamında derlenmesi yer almaktadır. Mühendislik optimizasyonunda karşılaşılan yaygın problemler; yapının davranışı ve eleman kuvvetlerine göre ve yapısal sistemlerin optimum şekil ve geometrik tasarımı olarak sıralanabilir. Bilgisayar kullanımının ve teknolojisinin gelişip etkinleşmesi ile birlikte yeni optimizasyon tekniklerinin de kullanılmaya başlanması tasarım sürecini de kısaltmaktadır. Bir optimum tasarım problemi için öncelikle üç ögenin tanımlanması

gerekmektedir. Bunlar amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılardır. Amaç fonksiyonu problemin tipine ve ihtiyaçlara göre belirlenir ve tasarım değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Tasarım değişkenleri, optimum çözüme ulaşmak için optimizasyon işlemi boyunca değiştirilen sistem parametreleridir. Sınırlayıcılar ise tasarım ve optimizasyon probleminde istenmeyen çözümlerin oluşmasını engellemek amacıyla problem için belli sınırlar içerisinde uygun çözümlerin bulunmasını sağlarlar (Bayar,2008).

Geliştirilen analiz yöntemleri sayesinde oluşan yeni yöntemler önceki tasarım kontrollerinden farklı kullanılabilmektedir. Aynı zamanda iki faktör, konuyu dar kapsamdan çıkarıp pratik mühendislikte ve fende uygulanabilir hale getirmiştir. Bu faktörler yüksek performanslı hesaplamaların az bir maliyetle uygulanabilmesi ve yüzlerce tasarım değişkenlerine ve sınır şartlarına gereksinim duyan tasarım optimizasyonlarının çözümlerindeki hızlı gelişmelerdir. Bu gelişmelerin mühendisler ve diğer bilim adamları için kolay, güvenilir, ucuz ve anlaşılır formda olması için yeni yöntemler geliştirilmiştir (Usluoğulları,2006).

Optimizasyon probleminde en iyi sonuca en kısa zamanda ulaşabilmek açısından, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların belirlenmesi ve tasarım değişkenlerinin seçimi son derece önemlidir.

1.4.2.2 Yapısal Optimizasyon Problemleri

Optimizasyon problemlerinde tasarım değişkenlerinin sürekli ve kesikli olmak üzere iki grupta incelendiği önceki bölümde belirtilmişti. Sürekli değişkenler belli bir aralıktaki bütün değerleri alabilmesine karşın, kesikli değişkenler belirli bir aralıkta sadece önceden belirlenmiş belirli değerleri alabilir. Yapısal optimizasyon konusunda karşılaşılan değişkenler genellikle kesikli değişkenlerdir.

Kesikli yapısal optimizasyon problemlerini; yapının tasarım ve davranış kısıtları ile sınırlandırılmış olan $f(x)$ amaç fonksiyonunu en küçük yapan, optimum " x " tasarım vektör elemanını bulmak olarak açıklayabiliriz. Yapısal optimizasyon algoritmaları genellikle aşağıda gösterildiği şekilde formüle edilir.

$$x_i, x_i \in X, X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_q$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^q \gamma_i L_i x_i \quad (1.4)$$

$$g_j'(x) = \sigma_j' - \sigma_j^a \leq 0 \quad j = 1, \dots, q \quad (1.5)$$

$$f_k'(x) = u_k' - u_k^a \leq 0 \quad k = 1, \dots, m$$

$$X_{lb} \leq x \leq X_{ub}$$

Burada;

$f(x)$	: Genellikle yapı ağırlığı olarak belirlenen amaç fonksiyonu
X	: Kesikli boyut tablosu
q	: Tasarım değişkenleri ya da elemanların toplam sayısı
m	: Deplasman kısıtlarının toplam sayısı
j_i	: i nci elemanın özgül ağırlığı
L_i, X_i	: i nci elemanın boyu ve kesit alanı
σ_i', σ_i^a	: Sırasıyla i nci yük durumu altındaki gerilme değeri ve i nci elemanın emniyet gerilmesinin mutlak değeri
u_k', u_k^a	: Sırasıyla i nci yük durumu altındaki deplasman ve müsaade edilen deplasmanın mutlak değeri
X_{lb}	: Tasarım değişkenlerinde en alt sınır vektörü
X_{ub}	: Tasarım değişkenlerinde en üst sınır vektörü

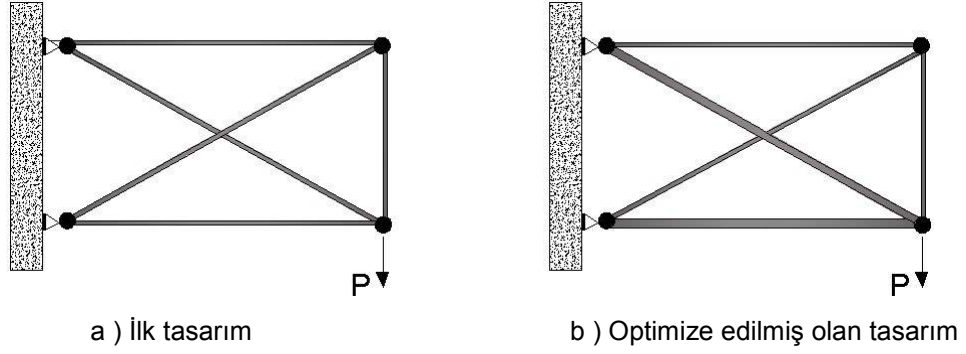
Optimum tasarım probleminin karmaşıklığı büyük ölçüde, amaç fonksiyonlarının ve kısıtlamaların sayısına ve karar alan boyutuna göre değişebilir (Arora,2007).

Yapısal optimizasyon problemleri, geometrik özelliğine bağlı olmak üzere; boyutlandırma optimizasyonu, şekil optimizasyonu, topoloji optimizasyonu şeklinde üç ana kategoriye ayrılır.

1.4.2.2.1 Boyutlandırma Optimizasyonu

Boyutlandırma optimizasyonu problemlerinde genellikle elemanların kesit alanları ve atalet momentleri, tasarım değişkenleri olarak ele alınır. Yapılar, ağırlığı en küçük; rijitliği ise en fazla olacak şekilde optimize edilir. Basit bir kafes sistem için boyut optimizasyon problemi aşağıdaki şekilde görülmektedir (Christensen,2008).

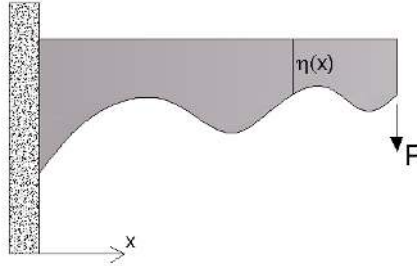
Boyut optimizasyonu kavramı, özetle en uygun tasarıma ulaşmak için yapı boyutlarının değiştirilmesini ifade etmektedir.



Şekil 1.3 – Boyutlandırma Optimizasyonu

1.4.2.2.2 Şekil Optimizasyonu

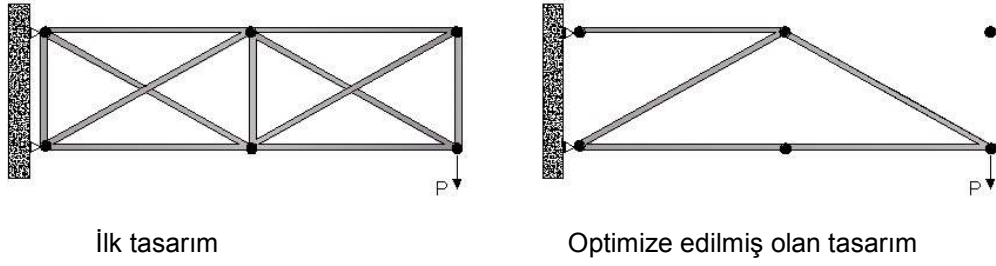
Son yıllarda şekil optimizasyon uygulamaları alanında ciddi çalışmalar yapılmakta ve bir çok ticari programlara da uygulanmaktadır. Şekil optimizasyon problemi, belirlenen kısıtlamalar ile birlikte maliyeti en az yapacak uygun şeklin aranmasıdır. Yapıların düğüm noktalarının koordinatları, kolon boyları veya kiriş açıklıkları tasarım değişkenleri olarak ele alınabilir. İki boyutlu şekil optimizasyon problemi sembolik olarak Şekil 1.4’de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. - Şekil Optimizasyon Problemi

1.4.2.2.3 Topoloji Optimizasyonu

Topoloji optimizasyon problemlerinde, esasen belirli bir tasarım alanında malzemenin en uygun şekilde dağılımı aranmaktadır. Yapısal optimizasyon yöntemi olarak son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan topoloji optimizasyonunun temel mantığı, optimizasyonu yapılacak parçanın dış boyutlarında herhangi bir değişiklik olmaksızın, parçanın rijitliğini artıracak şekilde belirli bölgelerden malzeme boşaltılması esasına dayanır. Tasarım değişkenleri olarak; çerçevedeki açıklık sayısı, düğüm noktası sayısı ve kolon veya kiriş sayıları alınabilir.



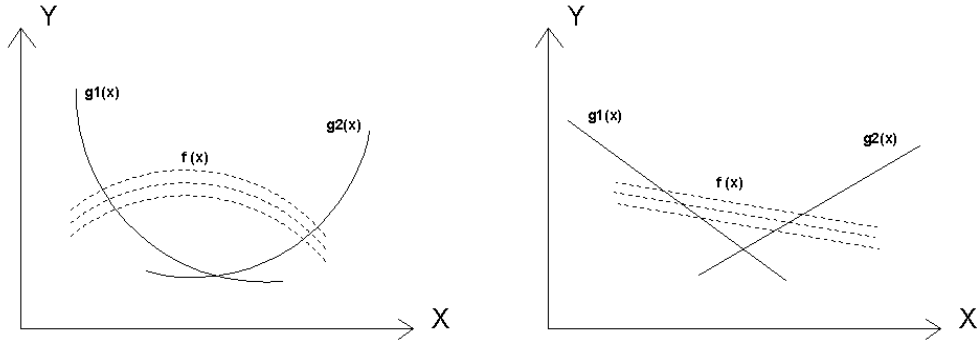
Şekil 1.5. – Topoloji Optimizasyonu

1.4.2.3 Yapısal Optimizasyon Yöntemleri

Yapısal optimizasyonda; problemin optimum tasarım problemi olarak ifade edilmesi yanında kullanılacak olan tekniğin seçimi de önemlidir. Optimizasyon teorisi ve yöntemleri, amaç fonksiyonunun en iyi alternatif çözümünün seçimi için kullanılır. Bu yöntemler sayesinde, tasarımcı daha fazla alternatif çözüm ile karşılaşır ve bu da maliyet – verim karşılaştırmasında daha iyi seçimler yapmasına olanak sağlar (Doğan,2010).

1.4.2.3.1 Matematik Programlama

Matematiksel olarak bir optimizasyon problemi, değişkenlere bağlı olarak değer alan amaç fonksiyonunun belli sınırlayıcılar kullanılarak minimum veya maksimum değerinin aranması şeklinde tanımlanmaktadır. Problemde kullanılan tasarım değişkenleri tasarım uzayının koordinatlarıdır. Sınırlayıcılar ise problemde, değişkenlere bağlı olarak hesaplanan bir takım fonksiyonlar olup, çözümün geçerli olabilmesi için bu fonksiyonların aldığı değerlerin de belli sınırlar içerisinde kalmasını sağlarlar. Matematik programlama kendi içinde, lineer programlama ve lineer olmayan programlama olarak iki gruba ayrılmaktadır. Lineer programlamanın en önemli özelliği, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların, tasarım değişkenlerinin lineer bir kombinasyonu olarak ifade edilmesidir. Lineer programlama tekniklerinin yapısal optimizasyon problemlerine uygulanabilmesi için, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların tasarım değişkenleriyle arasındaki ilişkisini lineer hale getirilebilir. Özellikle çok değişkenli ve kısıtlayıcı problemlerin çözümüne olanak sağlar. Bu sebeple bazı lineer olmayan programlama problemleri lineer programlama yardımıyla çözülebilir. Lineer olmayan programlamada ise amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar tasarım değişkenlerinin lineer olmayan bir fonksiyonudur (Mafrouz,1999).



Şekil 1.6 - Gerçek ve Lineerleştirilmiş Optimizasyon Problemi

1.4.2.3.2 Optimumluk Kriteri Yöntemi

Bu yöntem problemin fiziki karakterini hesaba katarak, yapının davranışlarıyla ilgili bir kriter belirlemekte, kesin veya yaklaşık hesaba ve hatta sezgiye dayanan ifadelerle kurulmuş olabilmektedir. Yapı bu kriteri sağlayacak şekilde boyutlandırıldığında, amaç fonksiyonu da aynı zamanda optimum değerini almış olmaktadır. Optimumluk kriteri yöntemi, tasarım değişkenlerinin sürekliliği esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde kesikli tasarım değişkenlerinin kullanımının gerekliliği durumunda, alışlagelmiş iki adımlı bir yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemde ilk olarak, sürekli değişkenler kullanılarak optimizasyon problemi çözülmekte, ikinci olarak ise, sürekli değişkenler kullanılarak elde edilen değerler yerine kesikli değişkenlerden en yakın olana yuvarlatılarak sonuca gidilmektedir (Bayar,2008).

1.4.2.3.3 Stokastik Optimizasyon Yöntemleri

Optimizasyon problemleri; planlanma aşamasında sabit olmayan birçok parametreye bağlıdır. Mühendislik araştırmalarından örnek verilecek olursa; moment kapasitesi, sürtünme kuvveti, atalet momenti ve malzeme parametreleri olan elastisite modülü, akma dayanımı, emniyet gerilmesi gibi parametrelerden söz edilebilir. Stokastik belirsizlikler nedeniyle, bu parametreler belirli bir olasılık dağılımına sahip rastgele değişkenler ile modellenmiş olmalıdır. Bu belirsizliklerin üstesinden gelmek için, sıradan deterministik optimizasyon yöntemleri yerine stokastik optimizasyon yöntemlerinden faydalanılır (Kurt,2005).

Son zamanlarda, rastgele değişkenlerin bulunduğu stokastik optimizasyon yöntemlerini kullanan yeni algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmaların avantajı kesikli değişken içeren optimizasyon yöntemlerine uygulanabilmesidir.

1.4.2.3.3.1 Genetik Algoritma

Genetik algoritma, doğadaki evrim yöntemlerini kullanan bir optimizasyon ve arama yöntemidir. Temel ilkeleri 1960'lı yıllarda John Holland tarafından ortaya atılmış ve bir çok karmaşık problemin çözümünde kullanılmıştır (Holland,1973).

Genetik algoritmalar evrim teorisinden esinlenilmiş, doğal genetik biliminin temellerine dayanarak ortaya çıkmış olan bir araştırma tekniğidir. Genetik algoritma parametreleri, biyolojideki genleri temsil ederken, parametrelerin toplu kümesi de kromozomu oluşturmaktadır. Genetik algoritmaların her bir ferdi kromozomlar (bireyler) şeklinde temsil edilen popülasyonlardan oluşur. Popülasyonun uygunluğu, belirli kurallar dâhilinde maksimize veya minimize edilir. Her bireyin hayatta kalma şansını bir uygunluk fonksiyonu belirler. Her yeni nesil, rastgele bilgi değişimi ile oluşturulan diziler içinde hayatta kalanların birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Yapıtaşı varsayımı gereği, güçlü bireyler iyi genlere sahiptir.

Genetik algoritmalar rastgele arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir. Genetik algoritmalar rastgele bir çözüm kümesi seçer ve bu çözüm kümesi başlangıç popülasyonu olarak kabul edilir. Her bir birey ikili semboller dizesi şeklinde oluşturulur ve 0 veya 1 değerlerini alacak şekilde kodlanır. Kodlama işleminden sonra her bir çözümün uygunluğu değerlendirilir. Bulunan uygunluk değerleri çözümün kalitesini belirlemektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse yaşama ve çoğalma şansı da aynı oranda fazladır. Evrimsel süreçte, bir sonraki nesil, mevcut popülasyonun bireylerinden ortaya çıkmaktadır. Her nesilde, genetik algoritma, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir popülasyon oluşturur. Birkaç nesil sonunda, popülasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir. Diğerlerine göre daha güçlü bireyler iyi genlere sahiptir. Bu genlerin diğer nesillere geçme olasılığı seçim baskısı ile artırılarak, kötü genlere sahip güçsüz bireyler evrim esnasında kaybolması sağlanır. Evrim süreci belirlenen bitiş koşulunu sağlayıncaya kadar devam eder ve en son nüfustaki en iyi birey, ulaşılan en iyi çözümü temsil eder (Holland,1973).

Genetik algoritmaların önemli bir özelliği ise olasılık kurallarına göre çalıştıkları için, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duymaktadır. Çözüm uzayının tamamı yerine sadece belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (Goldberg,1989).

1.4.2.3.3.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu; kuş, balık ve böcek sürülerinin hareketlerinden esinlenerek ortaya çıkmış olan bir optimizasyon tekniğidir. İlk olarak 1995 yılında James Kennedy ve Russell Eberhart tarafından geliştirilmiştir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümü için ortaya atılmış olup, çok parametrelili problemlerin çözümünde olumlu sonuçlar alınmıştır. (Kennedy ve Eberhart, 1995)



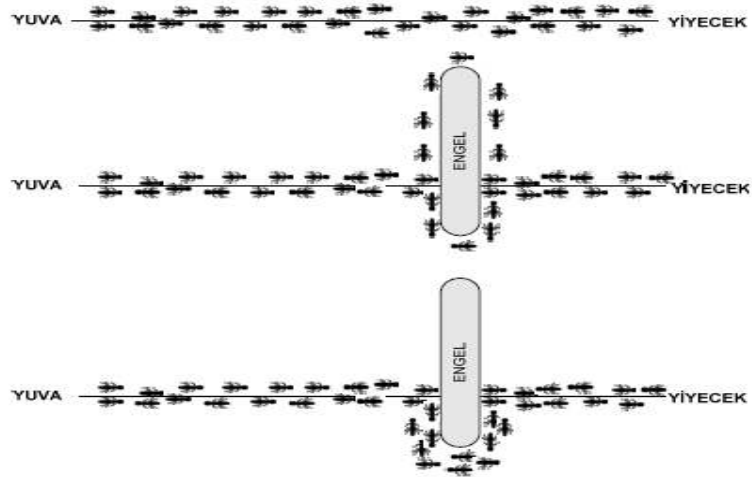
Şekil 1.7 – Kuş ve Balık Sürülerinin Görünüşü (Montes de Oca,2007)

Parçacık sürü optimizasyon tekniği, kuşların gökyüzünde sürü halinde uçarlarken yem bulma hareketlerine benzetilerek ortaya çıkmış bir arama yöntemidir. Kuşların yem aramaları ile optimum çözümü arama arasında bir benzetim bulunmaktadır. Genetik algoritmalarda olduğu gibi parçacık sürü optimizasyon tekniğinde de; rastgele çözümlerin bulunduğu bir başlangıç popülasyonu ortaya atılır ve optimum çözüm bulunmaya çalışılır. Kuşlar yiyecek ararken yiyeceğe en yakın olan kuşu takip ederler. Parçacık olarak adlandırılan her tekil çözüm, arama uzayındaki bir kuştur. Kuşların popülasyonu ise sürü olarak ele alınmıştır. Parçacık hareket ettiğinde, kendi koordinatlarını bir fonksiyona gönderir ve böylece parçacığın uygunluk değeri ölçülmüş olur. Parçacık, çözümü ararken izlediği yolu, hızını ve uygunluk değerlerini hafızada tutmalıdır. Çözüm uzayındaki her boyuttaki hızının ve yönünün her seferinde nasıl değişeceği, komşularının en iyi koordinatları ve kendi kişisel en iyi koordinatlarının bir birleşimi olacaktır.

1.4.2.3.3.3 Karınca Koloni Optimizasyonu

Karınca koloni optimizasyonu; karıncaların besin kaynakları ile yuvaları arasında kullandıkları yolların izlenmesi sonucunda ortaya çıkmış olan bir optimizasyon tekniğidir. Karıncaları tek başına ele aldığımızda basit bir canlı gibi gözükmesine rağmen kolonilerinin menfaatleri için en iyi çalışan böcek tiplerinin bir örneğidir. Karıncaların bu özellikleri koloni halinde besin aramalarında, onlara yeteneklerinin çok üstünde bir güç katmaktadır. Karıncalar üzerinde yapılan çalışmalarda, birçok karınca türünün görme yeteneklerinin olmadığı anlaşılmıştır. Yine

yapılan çalışmalarda karıncaların birbirleri ile iletişimlerinin vücutlarında üretilen feromen denilen kimyasal salgılar aracılığıyla yapıldığı anlaşılmıştır. Koloni halinde yaşayan karıncalar yiyecek bulmak için besin kaynağına öncelikle aralarından bir karıncayı, öncü karıca olarak gönderirler. Gönderdikleri bu öncü karıncalar çevreyi araştırarak uygun yiyecek kaynağını bulmaya çalışır. Öncüler yiyecek buldukları takdirde, koloninin olduğu yere geri dönerken feromen adı verilen kimyasal salgıyı bırakarak ilerler. Bırakılan bu salgı sayesinde diğer karıncalar da bu yiyecek kaynağını bulabilirler. Öncü karıncaların bulmuş olduğu ilk yol, en kısa yol olmayabilir. Buda koloni üyelerinin besin kaynağına gitmelerinde karmaşık yollar kullanmalarına sebep olacaktır. Karmaşık yollar arasında daha kısa olana bırakılan salgı miktarı daha fazla olduğu için, bir süre sonra en kısa yol keşfedilmiş olacaktır. Besin kaynağına giden en kısa yol, zamanla çevre şartlarından dolayı en kısa yol olmaktan çıkarsa, koloni üyeleri yeni bir en kısa yol bulmak üzere çalışmalara başlarlar (Karaboğa,2001).



Şekil 1.8 - Besin Kaynağına Optimum Yoldan Giden Karıncalar (Keskintürk ve Söyler,2006)

Karıncalar koloni algoritması son yıllarda daha yaygın bir şekilde uygulanmaya başlanmış olup; araştırmacılar yaptıkları çalışmada kendi sistemlerine “karınca sistemi”, elde ettikleri algoritmaya ise “karınca algoritması” adını vermişlerdir. Bu sistemde gerçek karıncaların birtakım özellikleri değiştirilerek yapay karıncalar tasarlanmıştır. Oluşturulan modelde, karıncaların aramaları problemin çözüm kümesini, yiyeceğe ulaşan yol amaç fonksiyonunu, feromon madde ise hafıza kavramını temsil eder (Dorigo et al.,1999).

Karıncalar yalnızca bu amaç için kullansa da matematiksel formüller değiştirilerek aynı yapı en az kaynak (para veya enerji) veya başka optimizasyonlar için kullanılabilir

1.4.2.3.3.4 Tabu Arama

Tabu tanım olarak, insan davranışlarının belli alanları ya da belli normlarla ilişkili olarak kutsal veya dokunulmaz olarak tanımlanmış oldukça güçlü sosyal yasaklara verilen isimdir. Tabu bir optimizasyon problemindeki yasakları ve kısıtları ifade etmektedir. Tabu aramanın esasları çok önceleri verilmesine rağmen, bugün kullanılan şekli Glover tarafından açıklanmıştır (Glover,1997).

Tabu arama; optimum çözümü elde etmek için çözüm uzayını hareket mekanizmasıyla araştıran ve sahip olduğu yapay hafıza özelliği ile önceki tasarımları üretmeyerek lokal optimumlardan kurtulan gelişmiş bir arama yöntemidir. Tabu arama yönteminde, yakın çözümlerin bulunduğu kümede arama yapılır. Amaç fonksiyonunu (kar veya maliyet) minimize ya da maksimize edecek uygun çözümlerin bulunmasını sağlar. En iyi komşu tasarımların elde edilmesini sağlayan hareketler yapay bir hafızaya aktarılır. Bu hafızaya kaydedilen hareketler içinde tekrar işlem yapılarak sürecin uzamasının önüne geçmek için bazı hareketler yasaklanır. Hafızada yasaklanmış olan bu hareketler tabu olarak belirlenir. Yasaklanan her bir hareket problemde bir tasarım değişkenine karşılık gelir. Tabu aramada her tasarım değişkeni için tanımlanan komşu tasarımlar içerisinde en iyi olan tasarım yasaklar listesi de kontrol edilerek mevcut tasarımın yerini alır. Bu işlemden sonra mevcut tasarım yerine belirlenen yeni en iyi tasarım ele alınarak devam edilir. Aynı işlem diğer tasarım değişkenleri için de tekrarlanarak bir iterasyon adımı tamamlanır. Kabul edilen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar her iterasyon adımı için bu işlemler tekrarlanır (Değertekin ve diğ.,2006).

1.4.2.3.3.5 Av Arama Optimizasyonu

Av arama optimizasyon yöntemi; yaşamlarını avlanarak sürdüren hayvanlardan olan aslan ve kurtların davranışlarının taklit edilmeleri sonucunda ortaya çıkmış olan bir arama tekniğidir. Bu avcı hayvanların, avlarını yakalamak için çeşitli stratejileri vardır. Bu sayede bazen kendilerinden çok hızlı ya da çok daha büyük hayvanları yakalayabilmektedirler. Bu hayvanlar seçtikleri ava doğru grup halinde, hissettirmeden, yavaş yavaş yaklaşırlar. Kokularının av tarafından fark edilmeyeceği şekilde sinsice hareket ederler (Oftadeh et al,2010).

Geliştirilen algorithmada, avcı hayvanların her biri problemin bir parçasının çözümüne karşılık gelmektedir. Avcı hayvanların her birinin avının yakalama çabası ile optimum çözümüm aranması benzeştirilmiştir.

1.4.2.3.3.6. Benzetilmiş Tavlama

Bu yöntem, metallerde ısıtma işlemi uygulamasından yola çıkılarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak sıvı hale getirilmiş metallerde atomlar serbestçe hareket edebiliyorken, metalin soğutulmaya başlanması ile birlikte atomların hareket edebilmeleri sınırlandırılmış olur. Yavaş yavaş soğutulmuş olan bir metal, kendine has ve homojen bir kristalleşme meydana getirirken, soğutma işleminin hızlı olması metalde heterojen bir kristalleşme oluşmasına yol açmaktadır. Soğutulan metalin homojen bir şekilde kristalleşmesi bu yöntem ile çözülecek problemler için optimum sonucu ifade etmektedir (Kwang ve El-Sharkawi,2008).

1.4.3 Kısıtları İşleme Yöntemi

Daha önce yapılmış olan çalışmalarda görüldüğü üzere amaç fonksiyonları içinde kısıtlamaları içeren optimizasyon arama teknikleri vardır (Carlos ve Coello,2002). Arama teknikleri içinde, ceza fonksiyonları kısıtlamaları birleştirmede en yaygın kullanılan öge durumundadır. Buna daha sonraları geri uçuş mekanizması da eklenmiştir. Bu yöntemler arama uzayında hem uygun hem de uygun olmayan çözümlerin bulunduğu bölgeyi kullanmaktadırlar.

1.4.3.1 Ceza Fonksiyonları Yöntemi

Literatürde ceza fonksiyonları, diğer tüm arama teknikleri ile birlikte yer almıştır. Bu yöntem, amaç fonksiyonuna belli bir değeri ekleyerek veya çıkararak kısıtlı optimizasyon problemini kısıtsız hale çevirme esasına dayanır. Bu yaklaşım, amaç fonksiyonuna kısıtlamaların ihlali durumunda yüksek bir maliyet getiren bir terimin eklenmesi ile gerçekleşmektedir (Carlos ve Coello , 2002).

Ceza metotlarında, uygun çözüm bölgesi genişletilir, fakat orijinal uygun çözüm bölgesi dışında yer alan noktalar için amaç fonksiyonuna yüksek bir maliyet getiren ceza terimi eklenir. Bu nedenle bu tarz metotlara dış ceza metodu da denir. Dış ceza metodunun genel hali aşağıda verilmiştir.

$$\phi(x) = f(x) \pm \left[\sum_{i=1}^n r_i \cdot G_i + \sum_{j=1}^p c_j \cdot L_j \right] \quad (1.6)$$

Burada; $\phi(x)$ genişletilmiş amaç fonksiyonu, G_i ve L_j kısıt fonksiyonları, r_i ve c_j ise ceza faktörleri olan sabitleri ifade etmektedir. Kısıt fonksiyonları

$$\begin{aligned} G_i &= \max[0, g_i(x)^\beta] \\ L_j &= |h_j(x)|^\gamma \end{aligned} \quad (1.7)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Burada $g_i(x)$ ve $h_j(x)$ sabitleri gösterirken, γ ve β ise 1 ya da 2 değerlerini almaktadır.

1.4.3.2 Geri Uçuş Mekanizması

Bu yöntem ilk olarak parçacık sürü optimizasyonu tekniği kullanarak optimizasyon problemlerini kısıtlamaları işlemek için kullanılmaya başlamıştır. Burada problem çözüm bölgesi dışına çıkıldığında, bir önceki pozisyona dönüş olur. Bu sebeple bu yöntem geri uçuş mekanizması denilir. Bu teknik, çözüme uygulanabilir bir tasarımla başlar. Yeni tasarım kısıtlamaları ihlal ederse o zaman önceki tasarıma geri dönülür. Bu tekniğe dayanan algoritmalar, ceza fonksiyonuna dayanan diğer algoritmalara göre daha güvenilirlerdir (He et al,2004).

1.5 Literatür Araştırması

Hayalioğlu ve diğ. (2004), yarı-rijit birleşimli çelik çerçeveler için bir analiz ve tasarım yöntemi sunmuşlardır. Analiz, kiriş-kolon birleşimlerinin lineer olmayan davranışını ve kiriş-kolon elemanlarının P-Δ etkilerini göz önüne almıştır. Yarı-rijit birleşimlerin modellenmesinde Frye ve Morris polinom modeli kullanılmıştır. Çerçeve elemanları Türk ‘Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları’ standardına (TS 648, 1980) göre boyutlandırılmıştır. Yöntemin etkinliğini göstermek için, değişik birleşim tiplerine sahip iki tasarım örneği sunulmuştur.

Urbonas ve Daniunas (2006), yarı rijit bağlantı noktalarına sahip kiriş –kiriş birleşimlerini incelemişlerdir. Eurocode3’e göre plastik dayanımın %10’undan daha az olan eksenel yüklerin ihmal edilebileceği belirtilmiş. Fakat yarı rijit bağlantı noktalarına sahip elemanlarda eksenel yüklerin de etkili olabileceğini göstermişlerdir.

Akbaş ve Chen (2003), çalışmalarında rijit ve yarı rijit bağlantı noktalarına sahip çerçevelerin sismik tasarımı ve performansını incelemişlerdir. Bu amaçla farklı dayanım ve rijitlik katsayılarında kolon-kiriş bağlantılarına sahip iki adet çelik yapı ele alınmıştır. Üç farklı deprem yükleri altında bu yapılar analiz edilerek bağlantıların etkileri araştırılmıştır.

Kishi et al. (2003), yarı rijit birleşim noktalarına sahip çerçevelerin gerçek deprem davranışlarını araştırmak amacıyla, üç açıklıklı ve dört katlı yapıyı El Centro NS; JR Takatori EW; Taft NS; ve Golden Gate EW deprem kayıtlarına göre analiz etmişlerdir. İncelenen yapılarda rijit ve yarı rijit bağlantılar aynı yapı içerisinde karışık olarak kullanılmıştır.

Değertekin ve Hayalioğlu (2004), yarı rijit temel bağlantılı ve yarı rijit kolon-kiriş bağlantılı çerçevelerin analizini yapmışlardır. Analizde, kolon-kiriş birleşimlerinin doğrusal olmayan davranışları ile birlikte $P-\Delta$ etkileri göz önüne alınmıştır. Çalışmada yarı rijit bağlantılı kolon-kiriş birleşimine sahip çerçevelerin, rijit bağlantılı birleşimlere sahip olanlara göre daha ekonomik sonuçlar ortaya koyduğu gösterilmiştir.

Faella et al. (1999), yapmış oldukları deneylerin sonuçlarına göre mafsallı olarak kabul edilen birleşimler belli bir dönme rijitliğine sahiptir ve rijit olarak kabul edilen birleşimlerde de birleşimi oluşturan elemanlar arasında belli bir rölatif dönme olduğu görülebilmektedir.

Budak (2007), çelik yapılarda rijit ve yarı rijit çerçeve sistemlerinin karşılaştırılması ve kat yüksekliğine bağlı olarak artan kolon uç deplasmanlarının bu birleşimlerdeki etkisini araştırmıştır. Çok katlı binalar için yarı rijit birleşimlerde deplasmanların da etkisi olduğu ve bu sebeple ilave rijitleştiricilere ihtiyaç duyulmamasının daha ekonomik olduğunu göstermiştir.

Lui ve Lopes (1997), tek katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit düğüm noktalı çerçevenin bağlantı noktalarını dönel yaylar ile modellemişlerdir. Stabilité fonksiyonları yapının rijitlik matrisinde ifade edilmiş ve malzemenin doğrusal olmayan özelliklerinin de dikkate alınması amacıyla tanjant modulünden faydalanılmıştır. Çalışmada dinamik analizler sonucu, yapının dinamik tepki parametreleri elde edilmiştir.

Kim ve Choi (2001), kolon- kiriş bağlantılarının doğrusal olmayan davranışı ile ilgili çalışmışlardır. Çalışmada bağlantı , geometri ve malzemelerin doğrusal olmayan özelliklerinin yarı rijit çerçeve davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yarı rijit bağlantıların doğrusal olmayan davranışını modellemek için Kishi – Chen modeli kullanılmıştır.

Hasan ve diğ. (1998), desteksiz kolon – kiriş birleşimlerinde moment- dönme grafiklerini iki eğri ile üç bölgeye ayırmışlardır. Eğri denklemlerinde parametre olarak; birleşimin başlangıç rijitliği, moment kapasitesi ve şekil parametresi kullanılmıştır.

Eryoldaş (2008), iki katlı çelik çerçeveden oluşan bir büro yapısının bağlantı noktalarını rijit ve yarı rijit olarak tasarlamıştır. Yapılan incelemelerde yarı rijit bağlantılı çerçevelerin tasarımında daha ekonomik yapılar ortaya çıktığını belirtmiştir.

Camp ve diğ. (1998), uzay çelik çerçevelerin AISC-ASD yönetmeliğine göre genetik algoritma kullanılarak optimum tasarımını elde etmişlerdir.

Daloğlu ve Armutçu (1998), düzlem çelik çerçevelerin TS648 yönetmeliğine göre genetik algoritma kullanılarak optimum tasarımını elde eden bir algoritma geliştirmiştir.

Pezeshk ve diğerleri (2000), lineer olmayan düzlem çelik çerçevelerin genetik algoritma yardımıyla optimum tasarımını LRFD yönetmeliğine göre yapmışlardır.

Kameshki et al. (2001), genetik algoritma yöntemini kullanarak yarı-rijit bileşimli lineer olmayan düzlem çelik çerçevenin optimum tasarımını BS (British Standart) yönetmeliğine göre yapmışlardır.

Hayalioğlu ve Değertekin (2005), genetik algoritma kullanarak yarı-rijit bileşimli ve yarı-rijit temelli çelik çerçevelerin minimum ağırlıklı optimum tasarımını elde etmişlerdir.

Csebfalvi (2007), yarı-rijit birleşimli düzlem çelik çerçevelerin EC (Euro Code) yönetmeliğine göre optimum tasarımını genetik algoritmayla gerçekleştirmişlerdir.

Değertekin (2007), lineer olmayan uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımını karşılaştırmalı olarak benzetilmiş tavlama ve genetik algoritma ile yapmıştır.

Doğan ve Saka (2009) LRFD-AISC'de belirlenen tasarım sınırlayıcılarını dikkate alan yarı rijit bağlantılı çerçevelerin minimum ağırlığını elde etmek için parçacık sürü optimizasyon yöntemini kullanmışlardır.

Hasançebi et al. (2009), LRFD-AISC şartnamesine göre ele alınan çelik çerçevelerinin optimum boyutlandırılmasında farklı sezgisel yöntem kullanmışlardır.

Aydoğdu (2010), LRFD-AISC şartnamesine göre burulma etkisindeki üç boyutlu düzensiz çelik çerçevelerin boyut optimizasyonunu, karnica kolonisi ve armoni arama tekniği kullanarak elde etmeye çalışmıştır.

Erdal et al. (2011), petek kirişlerin optimum tasarımı için parçacık sürü ve armoni arama algoritmalarını kullanmışlardır.

Oftadeh et al. (2010), av arama algoritması kullanarak bazı mühendislik problemlerinde yöntemi performansını test etmişlerdir. Diğer yöntemler ve av arama yöntemi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yöntemin performansının yeterli olduğu görülmüştür.

2. STOKASTİK ARAMA YÖNTEMLERİ

2.1 Giriş

Optimizasyon problemleri; planlanma aşamasında sabit olmayan birçok parametreye dayanmaktadır. Mühendislik problemlerinden örnek verilecek olursa; moment kapasitesi, sürtünme kuvveti, atalet momenti ve malzeme parametreleri olan elastisite modülü, akma dayanımı, emniyet gerilmesi gibi parametrelerden söz edilebilir. Stokastik belirsizlikler nedeniyle, bu parametreler belirli bir olasılık dağılımına sahip rastgele değişkenler ile modellenmiş olmalıdır. Bu belirsizliklerin üstesinden gelmek için, sıradan deterministik optimizasyon yöntemleri yerine stokastik optimizasyon yöntemleri uygulanır (Kurt , 2005).

Son zamanlarda, rastgele sayılar kullanılarak geliştirilen stokastik optimizasyon yöntemlerini kullanan yeni algoritmalar üzerinde araştırmalar hızla ilerlemektedir. Bu algoritmaların diğer lineer olmayan algortimalara göre avantajı kesikli değişken içeren optimizasyon yöntemlerine uygulanabilmesidir.

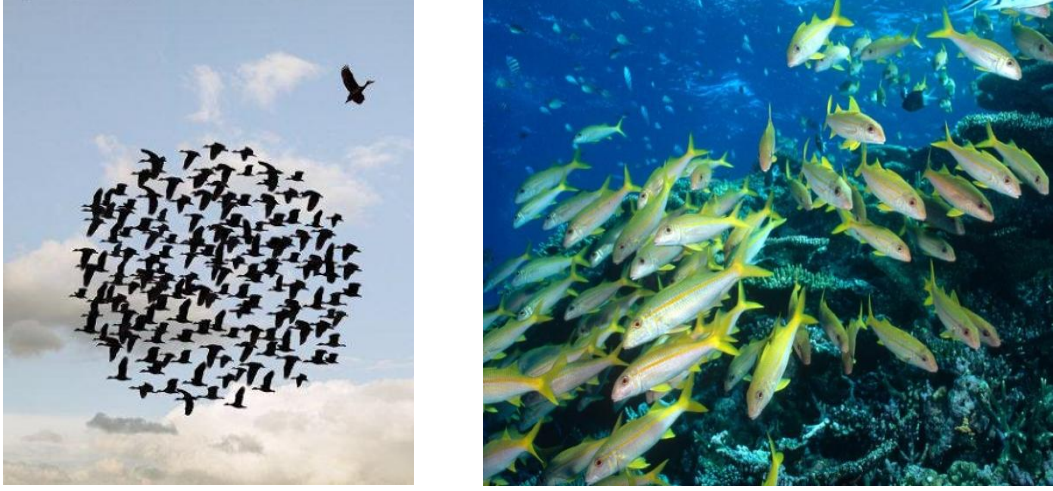
2.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi

Stokastik arama yöntemlerinden parçacık sürü yöntemi, Eberhart ve Kennedy tarafından geliştirilmiş olan populasyon tabanlı sezgisel bir algoritmadır.

Parçacık sürü optimizasyon yöntemi, kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışları gözlemlenerek ve taklit edilerek geliştirilmiştir. Bu yöntem, genel olarak söz konusu sürünün, besin kaynağı ararken ya da bir tehlikeden kaçarken ortaya koyduğu davranış üzerine kurulmuştur. Bu yöntem, bir kuş sürüsünde bulunan hiçbir bireyin yiyecek kaynağının konumunu bilmediği durumda bile sürünün tüm bireylerinin başarılı bir şekilde yiyecek kaynağına ulaşabilmesinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Sürünün bir besin kaynağına optimum sürede ve yoldan ulaşabilmesi;

- her bir bireyin kendi hatıralarında yer etmiş olan iyi konuma gitme eğilimi olarak tanımlanabilecek bilişsel davranış biçimi,
- her bir bireyin iyi konumlarda bulunan diğer bireyleri takip etme eğilimi olarak tanımlanabilecek sosyal davranış biçimi
- her bir bireyin rastgele olarak arama yapma eğilimi olarak tanımlanabilecek keşifsel davranış biçimleri

arasında bir denge olduğu varsayımına dayanmaktadır (Eberhart ve Kennedy, 1995).



Şekil 2.1 - Kuş ve Balık Sürüsü (URL1,URL2)

Kuşlar yiyecek ararken yiyeceğe en yakın olan kuşu takip ederler. Parçacık olarak adlandırılan her tekil çözüm, arama uzayındaki bir kuştur. Parçacık hareket ettiğinde, kendi koordinatlarını bir fonksiyona gönderir ve böylece parçacığın uygunluk değeri ölçülmüş olur. Bir parçacık, koordinatlarını, hızını şimdiye kadar elde ettiği en iyi uygunluk değerini ve bu değeri elde ettiği koordinatları hatırlamalıdır. Parçacık optimuma ulaşırken bir sonraki adımını hem kendi hafızasına ya da tecrübesine hem de sürüdeki optimuma en yakın parçacığın pozisyonuna göre ayarlar. Parçacık sürü optimizasyonundaki ana fikir, popülasyondaki bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını geliştirmektir. Her bir bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü ismi verilir (Gencer ve Bali,2010).

Parçacık sürü optimizasyonu algoritması amaç fonksiyonunun değişimini elde etmek için matematiksel işlemlere ihtiyaç duymayan bir global optimizasyon algoritmasıdır. Yöntem ilk başlarda sadece lineer olmayan sürekli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabiliyorken bir gelişme süreci ile birlikte daha karmaşık mühendislik problemlerinin global optimal çözümlerinde kullanılabilir hale gelmiştir. Algoritmada bir sürü birçok parçacıktan meydana gelmekte ve her bir parçacık bir olası bir çözümü göstermektedir.

2.2.1 Parçacık Sürü Algoritması

Geliştirilmiş olan parçacık sürü optimizasyon algoritmasının işleyiş adımlarını aşağıda gösterildiği şekilde özetlemek mümkündür.

- Yönteme göre, başlangıçta parçacıklar uygun arama uzayında yayılmak için rastgele üretilir. Parçacık kendine ait pozisyon ve uçuş hızına sahiptir. PSO algoritmasında, her bir parçacık ilk olarak rasgele konumlara yerleştirilir. Her bir parçacığın başlangıç konum ve başlangıç hızları denklem 2.1 ve denklem 2.2 ile tanımlanmıştır.

$$x_o^i = X_{\min} + r(X_{\max} - X_{\min}) \quad (2.1)$$

$$v_o^i = [(X_{\min} + r(X_{\max} - X_{\min})) / \Delta t] \quad (2.2)$$

Burada; r ifadesi $[0;1]$ arasında rastgele bir sayı, $X_{\max}$ ve $X_{\min}$ ise sırasıyla tasarım değişkenleri için üst ve alt sınırı belirtmektedir.

- Tasarım uzayında her x_k^i konum değeri için $f(x_k^i)$ amaç fonksiyonu değerleri belirlenir.
- i numaralı parçacığın k numaralı iterasyon adımına kadar elde edilen en iyi konumu p_k^i ve global optimum parçacığın konumu p_k^g güncellenir.
- Her bir parçacığın konumları güncellenir. Bir parçacığın o ana kadar elde edilen en iyi konum değeri, o parçacığın en iyi konum değeri olarak tayin edilir ve her parçacık için ayrı bir vektör içinde depo edilir. Öte yandan, belirlenen konum, optimizasyon sürecinin başından bu yana sürü içindeki her hangi bir parçacık tarafından elde edilen en iyi konum ise bütün sürünün en iyi pozisyon değeri olarak adlandırılır ve yine bir vektör içine kaydedilir.

$$x_{k+1}^i = x_k^i + v_{k+1}^i \Delta t \quad (2.3)$$

Burada; x_{k+1}^i ifadesi i .nci parçacık için $k+1$ 'nci adımdaki konumu, v_{k+1}^i ifadesi ise hızı göstermekte olup, Δt ifadesi de adımda geçen süreyi belirtmektedir.

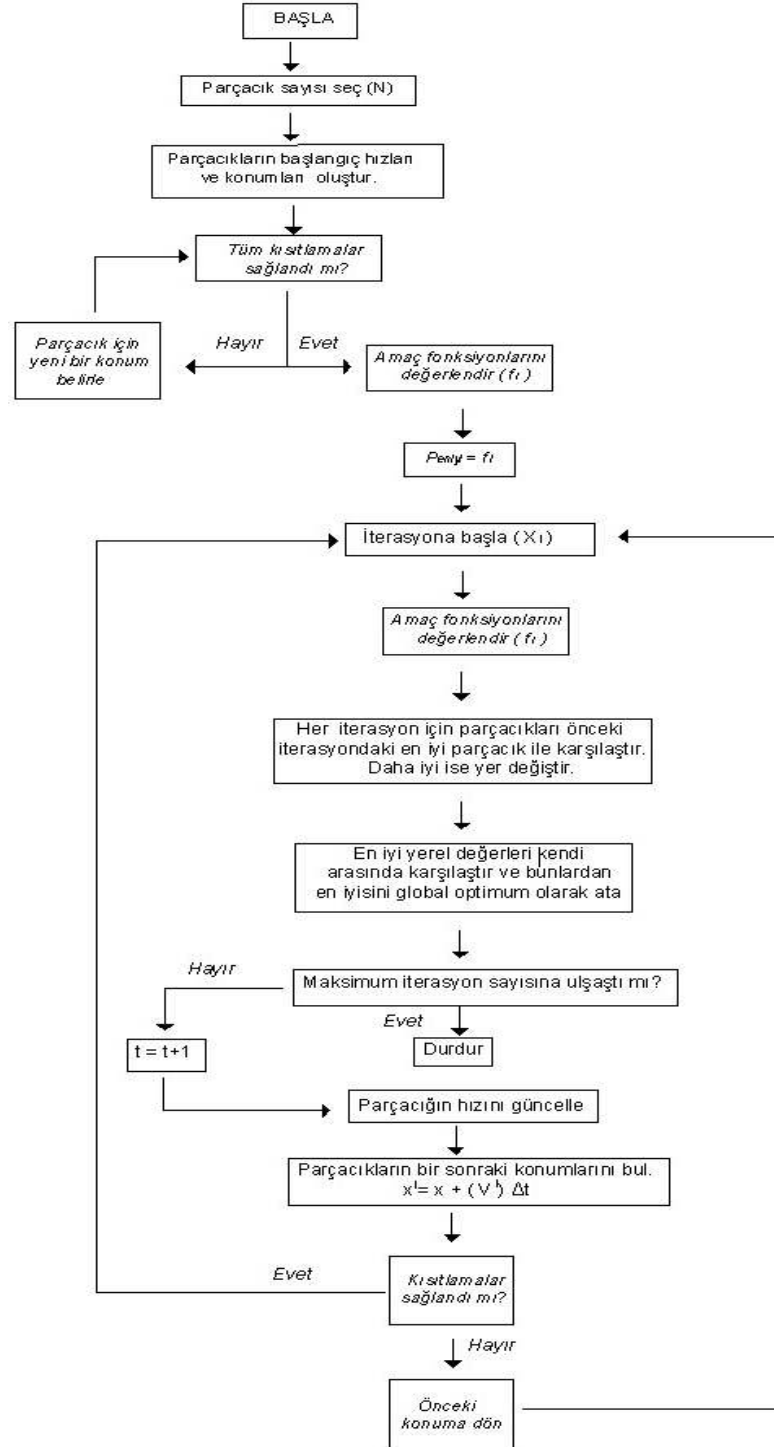
- Her bir parçacığın hız vektörü, o parçacığın mevcut pozisyonu, en iyi pozisyonu ve sürünün en iyi pozisyonu dikkate alınarak güncellenir.

$$v_{k+1}^i = wv_k^i + c_1 r_1 \frac{p_k^i - x_k^i}{\Delta t} + c_2 r_2 \frac{p_k^g - x_k^i}{\Delta t} \quad (2.4)$$

Burada; w eylemsizlik ağırlık parametresini, c_1 , c_2 kontrol parametrelerini ve r_1 ve r_2 ise $(0;1)$ arasına seçilen rastgele sayıları belirtmektedir.

- Bütün bu adımlar değeri önceden belirlenmiş olan sayıda iterasyon kadar aynı şekilde tekrar edilir.

Parçacık sürü optimizasyon algoritmasının akış şeması şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 - Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması İçin Akış Şeması

2.2.1.1 Eylemsizlik Ağırlık Faktörü

Eylemsizlik ağırlık faktörü bir önceki hız vektörünün mevcut hız vektörü üzerindeki etkisini kontrol eden bir parametre olup optimizasyon süreci boyunca sabit tutulan ya da doğrusal olarak azalan değerler alan kullanım şekilleri vardır. Eylemsizlik ağırlığının büyük seçilmesi global optimum belirlenmesini kolaylaştırırken, küçük seçilmesi ise yerel optimumun belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Eylemsizlik ağırlığının uygun seçilmesi optimum çözüme daha az iterasyon sayısında ulaşılabileceği için önemlidir. Eylemsizlik ağırlığı faktörü doğrusal olarak azalan w değerleri için;

$$w = w_{maks} - \frac{w_{maks} - w_{min}}{iter_{maks}} \times iter \quad (2.5)$$

İle bulunabilir . Burada; w_{min} ve w_{maks} sırasıyla başlangıç ve en son durumdaki eylemsizlik ağırlık faktörlerini, $iter_{maks}$ maksimum iterasyon sayısını ve $iter$ ise o andaki iterasyon sayısını ifade etmektedir.

2.2.1.2 Kontrol Parametreleri

Kontrol parametreleri, parçacığın optimum çözüme ulaşmaya çalışırken izleyeceği yolun belirlenmesi açısından önemlidir. C_1 parametresi parçacığın kendisi içindeki kontrolünü, C_2 parametresi ise parçacığın sürü içerisindeki kontrolünü gerçekleştirmektedir.

2.3 Av Arama Optimizasyon Yöntemi

Av arama optimizasyon yöntemi; avcı hayvanlar olan aslan ve kurtların avlarını yakalayabilmeleri üzere geliştirdikleri stratejilerin izlenmesi ve bu davranışlarının taklit edilmeleri sonucunda ortaya çıkmış olan bir arama tekniğidir. Bu avcı hayvan grupları içindeki her birey avın yakalanması süreci içinde çeşitli görevler üstlenir. Örnek verilecek olursa kurtlar ve aslanlar bu sayede bazen kendilerinden çok hızlı ya da çok daha büyük hayvanları sürü halinde strateji geliştirerek yakalayabilmektedirler. Bu hayvanlar seçtikleri ava doğru grup halinde hissettirmeden yavaş yavaş yaklaşırlar. Kokularını avlarına hissettirmemek için sinsice hareket ederler ve daha sonra yakalamak istedikleri avı kuşatarak kolayca yakalayabilmektedirler. Her bir bireyin sürü içerisindeki konumu, hızı gibi parametreler avın en kısa sürede yakalanabilmesi için önem teşkil etmektedir (Oftadeh,2010).



Şekil 2.3 – Kurt ve Aslan Sürüsünün Avlarını Yakalamaları (URL3,URL4)

Geliştirilen algoritmada, avcı hayvanların her biri problemin bir parçasının çözümüne karşılık gelir. Avcı hayvanların her birinin avını yakalama çabası ile optimum çözümün aranması benzeştirilmiştir.

2.3.1 Av Arama Algoritması

Yeni bir arama algoritması olan av arama algoritması (AA), avcı hayvan sürülerinin avlarını yakalamak üzere geliştirdikleri stratejilerin kavramsallaştırılması ile birlikte ortaya çıkmıştır. Grupta bulunan tüm bireyler avı yakalamak üzere işbirliği halinde hareket ederler. Bu da, optimizasyon sürecinde amaç fonksiyonu tarafından belirlenmiş olan en iyi çözümü bulmak için yapılan işlemlere benzetilmiştir. Sürü içerisindeki her bir avcı bireyin ava göre konumu, o bireyin avı yakalama şansını belirler. Benzer olarak optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu her bir değişkenin değerlerine bağlı olarak belirlenir.

Sürekli optimizasyon problemlerinde, amaç ve uygunluk fonksiyonlarına bazı karar değişkenleri eklenerek çözüm tahmin edilmeye çalışılır. Sürekli optimizasyon problemi aşağıda gösterildiği gibi tanımlanabilmektedir.

$$Q = (S, \Omega, f) \quad (2.6)$$

Burada;

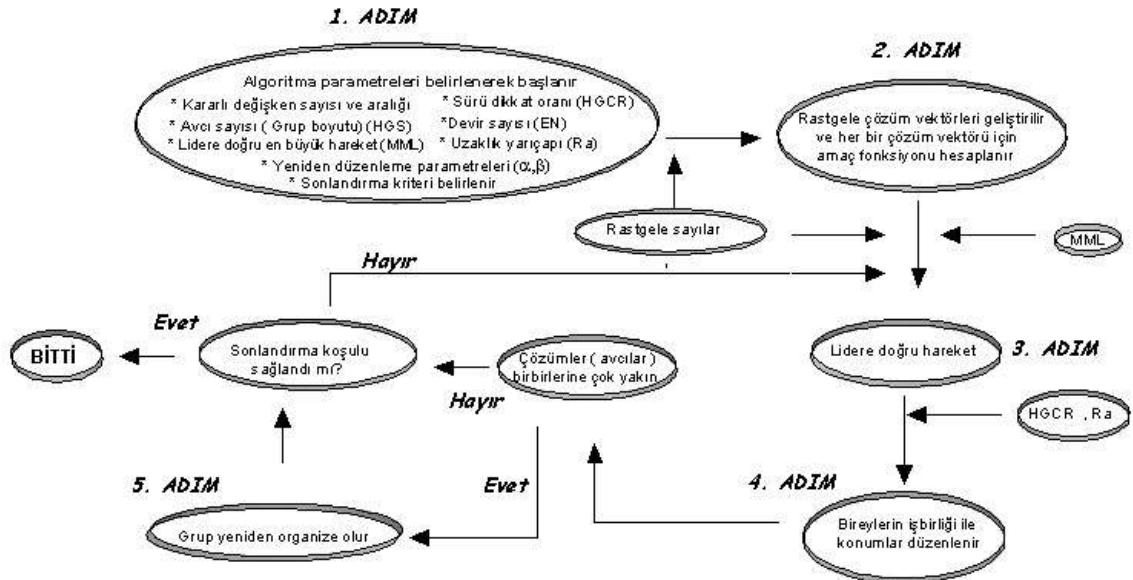
S : belirli sınırlar içinde sürekli karar değişkenlerinin bulunduğu arama uzayı

Ω : değişkenler arasındaki kısıt kümesi

$f : S \rightarrow R_0^+$: en küçükleme yapılacak olan amaç fonksiyonu

Arama uzayı (S) ; $(x_i, i = 1, \dots, N)$ şeklinde gösterilmekte olup “N” tasarım değişkeni sayısıdır. Ω kümesindeki tüm kısıtlamaları karşılayan $s \in S$ çözümü uygun bir çözümdür. Ω kümesi boş küme ise “Q” problemi kısıtlı olmayan, aksi halde ise “Q” problemi kısıtlı bir problem olmaktadır.

Optimizasyon problemi ile sürünün avlanmasını karşılaştıracak olursak; sürüde bulunan her bir avcı hayvanı problemin bir çözümüne benzetebiliriz. Hayvanların avlanması ile optimizasyon probleminin çözümü arasında önemli bir fark vardır. Avlanma sürecinde avın hareket etmesi sonucu avı yakalayabilmek için avcı hayvanlar av ile birlikte sürekli olarak konumunu ve durumunu değiştirir. Fakat optimizasyon problemlerinde çözüm sabittir ve optimum çözüm aranırken her hangi bir değişim olmamaktadır. Bu hareketlilik geliştirilen algoritmada, yapay avcıların çözüme göre en iyi pozisyonda olan liderlerine doğru hareketi ile benzeştirilmiştir. Lidere doğru hareket etmekte olan diğer yapay avcılar, çözüm için liderden daha iyi bir konuma ulaştıklarında lider değişmektedir. Bu arayışın devam etmesi ve en iyi konumdaki yapay avcının sürekli lider olarak değişmesi ile arayış optimum çözüme doğru ilerlemektedir. Gerçekte bireyler sadece ava doğru hareket etmemekle birlikte konumlarını diğer bireylere göre düzeltmektedirler. Kullanılan algoritmada ise lidere doğru hareket ederken, yapay avcılar da diğer yapay avcılara göre konumlarını değiştirmektedir. Bu değişim avcı grubu dikkate alma yüzdesi (HGCR) denilen bir ifadeye bağlıdır. Bu algoritmada çözümler birbirlerine çok yakın değerler almışsa optimum çözümü bulmak için yeni bir deneme yapılır. Şekil 2.4’de av arama optimizasyon algoritmasında (AA) kullanılan akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.4 – Av arama algoritması (AA) akış şeması

Av arama algoritması için; işleyiş adımları aşağıda belirtilmiştir.

- Öncelikle problem modellenir. Bu adımda optimizasyon probleminin çözümü için gerekli olan algoritma katsayıları belirlenir. Bunlar; çözüm vektörlerinin sayısı olan avcı sürü boyutu (HGS), lidere doğru en büyük hareket (MML), 0 ile 1 arasında bir değer alan avcı grubu dikkate alma yüzdesi (HGCR)'dir. Bu katsayılardan MML ve HGCR katsayıları avcılarının konumlarını geçici olarak belirleyen katsayılardır.
- Avcı sayısına(HGS) bağlı av grubu matrisi uygulanabilir rastgele çözüm vektörleri ile doldurulur. Amaç fonksiyonunun alacağı değerler hesaplanır ve bu değerlere göre bir lider belirlenir.
- Grup içerisinde en iyi konuma sahip olan lidere doğru hareket sebebiyle yeni avcı konumları yani yeni çözüm vektörleri $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ geliştirilir.

$$x'_i = x_i + rast. * MML * (x_i^L - x_i) \quad (2.7)$$

Burada; "MML" lidere doğru en büyük hareket iken ; "rast."; değerleri 0 ile 1 arasında değişen rastgele değişen bir sayı ve x_i^L ise i 'inci değişken için liderin konumunu gösteren değerdir.

Her birey için lidere doğru yapılan hareket başarı ile sonuçlanmışsa, birey yeni konumunda kalır. Fakat lidere doğru olan hareket başarılı olmamışsa, birey eski konumuna geri döner. Burada lidere doğru yapılmış olan hareketin başarılı sayılabilmesi, bireyin yeni konumunun eskisinden daha iyi olması ile ilgilidir. Bu algorithmada bireyler her zaman mevcut konumlarını bir önceki konumları ile kıyaslarlar ve dolayısıyla iyi olan çözüm hiçbir zaman terk edilmemiş olur.

Lidere doğru yapılan en büyük hareket (MML) probleme göre değişmektedir.

- Bu adımda bireyler birbirleri ile işbirliği içerisinde konumlarını düzeltirler. Lidere doğru yapılan hareketten sonra en iyi çözüm için bireyler kendilerine yeni bir konum seçerler. Bireylerin konumlarını düzeltmeleri; gerçek değerlerin düzeltilmesi ve sayısal değerlerin düzeltilmesi olmak üzere iki yolla yapılabilir. Gerçek değer düzeltmelerinde, yeni bireylerin konumu $x' = x'_1, x'_2, \dots, x'_n$ sürü dikkat oranı ve konum düzeltmelerine bağlı olarak belirlenir. Bu değişken aşağıda gösterildiği gibi belirtilebilir.

$$x_i^{j'} \leftarrow \begin{cases} x_i^{j'} \in x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HGS} & \text{HGCR ihtimali ile} \\ x_i^{j'} = x_i^j \pm R_a & (1 - \text{HGCR}) \text{ ihtimali ile} \end{cases} \quad i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, HGS \quad (2.8)$$

Burada; HGCR katsayısı, av grubundan bir değer seçilmesi ihtimali ve (1-HGCR) ise konum düzeltilme ihtimali şeklinde ifade edilebilir. R_a ise sürekli tasarım değişkeni için keyfi alınan ve optimizasyon sürecinde azaltılması yada sabit kalması öngörülen uzaklık yarıçapı diye adlandırılan ve 0 ile 1 arasında seçilen bir değerdir. R_a değeri

$$R_a(it) = R_{amin}(x_i^{\max} - x_i^{\min}) \exp \left(\frac{\ell n \left(\frac{R_{amax}}{R_{amin}} \right) \times it}{itm} \right) \quad (2.9)$$

ile tanımlanır. Burada; $x_i^{\max}$ ve $x_i^{\min}$ değerleri x_i 'nin alabileceği en büyük ve en küçük bağıl arama yarıçapı değerlerdir. it mevcut adım sayısını belirtirken, itm ise maksimum adım sayısını ifade etmektedir.

- Avcı grubunun tekrar organize olduğu adımdır. Bireyler yerel bir optimum noktada karar kılmak yerine, yeniden organize olarak başka bir çözüm arayışına girerler. Algoritmada lider birey ile en kötü birey arasındaki fark, algoritma sonlandırma koşulu için yeterli değilse bireyler tekrar organize olmaya çalışırlar. Lider birey konumunu değiştirmeden diğer bireyler rastgele konumlar seçerler. Yeniden organize olma işlemi aşağıdaki denklem kullanılarak gerçekleşir.

$$x_i' = x_i^{\ell} \pm rast \times (x_i^{\max} - x_i^{\min}) \times \alpha \times \exp(-\beta \times EN) \quad (2.10)$$

Burada; x_i^{ℓ} liderin ℓ nci değişkene göre konum değeri, $rast$ ise 0 ile 1 arasında değişen rastgele bir sayıdır. $x_i^{\max}$ ve $x_i^{\min}$ sırasıyla x_i değişkeninin olası en büyük ve en küçük değerleridir. α ve β pozitif gerçek sayılardır. Algoritma ilerledikçe çözüm kademeli olarak optimum çözüme doğru yaklaşır.

- Belirlenen iterasyon sayısı tamalanıncaya kadar 3 – 5 arası işlemler tekrarlanır.

2.4. Stokastik Arama Yöntemlerinin Performanslarının Kontrolü

2.4.1 Sürekli Optimizasyon Problemlerinde Parçacık Sürü (PSO) ve Av Arama Yönteminin (AA) Uygulaması

Sürekli optimizasyon problemleri, değişkenlerin gerçek değerler aldığı fonksiyonu optimize etmek üzere çözümü aranan problemler olarak tanımlanabilir. Fonksiyonların her bir parametreleri tasarım uzayında bir noktaya karşılık gelmektedir. Bir optimizasyon probleminde karar değişkeni, kısıt fonksiyonları ile sınırlanan bir bölgede tüm değerleri alabiliyorsa bu tip problemler sürekli optimizasyon problemleri olarak değerlendirilmelidir.

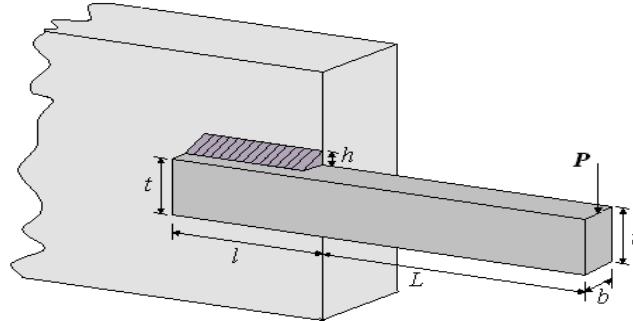
Sürekli optimizasyon problemlerinde parçacık sürü optimizasyon yöntemi(PSO) ve av arama optimizasyon yönteminin (AA) optimum sonucu elde etmede etken olduğu söylenebilir.

Av arama ve parçacık sürü algoritmaları, orijinal şeklinde sürekli optimizasyon problemleri üzerinde geliştirilmiş olan tekniklerdir. Fakat bazı düzenlemelerle birlikte ayrık optimizasyon problemlerine de uygulanması mümkün olmaktadır.

2.4.1.1 Örnek 1 (Kaynaklı Kiriş Tasarım Problemi)

Algoritmaların performansını test etmek için ele alınan ilk problem olarak; Şekil 2.5'de görülen dikdörtgen kesite sahip ankastre bir kirişin tasarım problemi ele alınmıştır. Problem, belli bir yükü taşıyan bir kirişin minimum maliyete sahip olacak şekilde tasarlanması işlemidir. Bu problemde dört adet tasarım değişkeni bulunmaktadır. Bunlar;

$$\begin{array}{ll} h = x_1 & (\text{kaynak kalınlığı}) \\ t = x_3 & (\text{kirişin derinliği}) \end{array} \quad \begin{array}{ll} l = x_2 & (\text{kaynak boyu}) \\ b = x_4 & (\text{kirişin genişliği}) \end{array}$$



Şekil 2.5 - Kaynaklı kiriş tasarımı

Maliyeti en az yapacak olan amaç fonksiyonu;

$$f(x) = 1.10471x_1^2 x_2 + 0.04811x_3 x_4 (14.0 + x_2) \quad (2.11)$$

$$g_1(x) = \tau(x) - \tau_{\max} \leq 0 \quad (\text{Kayma gerilmesi}) \quad (2.12)$$

$$g_2(x) = \sigma(x) - \sigma_{\max} \leq 0 \quad (\text{Kiriş eğilme gerilmesi}) \quad (2.13)$$

$$g_3(x) = x_1 - x_4 \leq 0 \quad (\text{Geometrik kısıtlama}) \quad (2.14)$$

$$g_4(x) = 0.10471x_1^2 + 0.04811x_3 x_4 (14.0 + x_2) - 5 \leq 0 \quad (\text{Geometrik kısıtlama}) \quad (2.15)$$

$$g_5(x) = 0.125 - x_1 \leq 0 \quad (\text{Geometrik kısıtlama}) \quad (2.16)$$

$$g_6(x) = \delta(x) - \delta_{\max} \leq 0 \quad (\text{Kirişin uç noktasındaki deplasman}) \quad (2.17)$$

$$g_7(x) = P - P_c(x) \leq 0 \quad (2.18)$$

Burada;

$$\tau(x) = \sqrt{(\tau')^2 + 2\tau'\tau''\frac{x_2}{2R} + (\tau'')^2} \quad (2.19)$$

$$\tau' = \frac{P}{\sqrt{2}x_1x_2} \quad (2.20)$$

$$\tau'' = \frac{MR}{J} \quad , \quad M = P\left(L + \frac{x_2}{2}\right) \quad (2.21)$$

$$R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2}\right)^2} \quad (2.22)$$

$$J = 2 \left\{ \sqrt{2} x_1 x_2 \left[\frac{x_2^2}{12} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2} \right)^2 \right] \right\} \quad (2.23)$$

$$\delta(x) = \frac{4PL^3}{E x_3^3 x_4} , \quad \sigma(x) = \frac{6PL}{x_4 x_3^2} \quad (2.24)$$

$$P_c(x) = \frac{4.013 E \sqrt{\frac{(x_3^2 x_4^6)}{36}}}{L^2} \left(1 - \frac{x_3}{2L} \sqrt{\frac{E}{4G}}\right) \quad (2.25)$$

$$P = 6000 \text{ lb}, \quad L = 14 \text{ in.}, \quad E = 30 \times 10^6 \text{ psi}, \quad G = 12 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$\tau_{\max} = 13,600 \text{ psi}, \quad \sigma_{\max} = 30,000 \text{ psi}, \quad \delta_{\max} = 0.25 \text{ in.}$$

Bu tasarım problemindeki kısıtlamalar ;

$$0.1 \leq x_1 \leq 2.0 \quad , \quad 0.1 \leq x_2 \leq 10 \quad , \quad 0.1 \leq x_3 \leq 10 \quad , \quad 0.1 \leq x_4 \leq 2.0 \quad (2.26)$$

diye sıralanmaktadır.

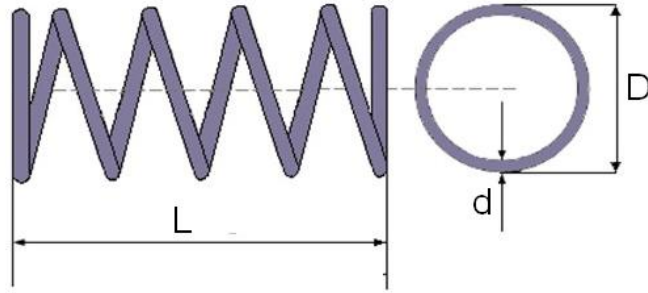
Bu kaynaklı kiriş tasarım problemi; daha önce geometrik programlama (GP) (Ragsdell ve Phillips,1976), genetik algoritma (GA) (Deb,1991) gibi yöntemlerle çözülerek optimum sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Parçacık sürü (PSO) ve av arama yöntemi (AA) olarak geliştirilen algoritmalar, kaynaklı kiriş problemi üzerinde uygulanmıştır ve amaç fonksiyonun minimum değerlerini gösteren sonuçlar, daha önce farklı yöntemlerle bulunmuş olan sonuçlarla birlikte Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Çizelge 2.1'deki sonuçlar incelendiğinde kaynaklı kiriş optimizasyon problemi için amaç fonksiyonunun en küçük değerinin av arama algoritması ile yapılan çözüm sonucunda ortaya çıktığı ve parçacık sürü yöntemi ile elde edilen sonucun diğer yöntemler ile elde edilenlerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.1 - Kaynaklı Kiriş Problemi İçin Optimum Çözümleri

Tasarım değişkenleri	GA (Deb)	GP (Ragsdell-Philips)	PSO	AA
x1	0,2489	0,2455	0,2388	0,205731
x2	6,1730	6,1960	2,5296	3,47112
x3	8,1789	8,2730	9,1796	9,0366
x4	0,2533	0,2455	0,2389	0,2057
f(x)	2,4331	2,3859	1,9030	1,7249

2.4.1.2 Örnek 2 (Yay Tasarım Problemi)

Sürekli optimizasyon problemleri için geliştirilen PSO ve AA algoritmalarının performansını test etmek üzere ele alınan bir diğer problem, yay tasarım problemidir. Problem Şekil 2.6'da gösterilmiş olup, amaç fonksiyonu yayın gerilme ağırlığının sıkıştırma ağırlığına oranı için en küçük değeri elde etmeyi hedefler. Bu problemde; en az dönme, kayma gerilmesi, dalga frekansı ve dış çap olmak üzere dört adet kısıtlama fonksiyonu bulunmaktadır.



Şekil 2.6 - Yay tasarım problemi

- $d = x_1$ (Yayı oluşturan telin çapı)
 $D = x_2$ (Yayın çapı)
 $N = x_3$ (Yayda bulunan aktif halka sayısı)

Amaç fonksiyonu;

$$f(x) = (x_3 + 2) x_2 x_1^2 \quad (2.27)$$

$$g_1(x) = 1 - \frac{x_2^3 x_3}{71785 x_1^4} \leq 0 \quad g_2(x) = \frac{4x_2^2 - x_1 x_2}{12566(x_2 x_1^3 - x_1^4)} + \frac{1}{5108 x_1^2} - 1 \leq 0 \quad (2.28)$$

$$g_3(x) = 1 - \frac{140.45 x_1}{x_2^2 x_3} \leq 0 \quad g_4(x) = \frac{x_1 + x_2}{1.5} - 1 \leq 0 \quad (2.29)$$

Geometrik kısıtlar;

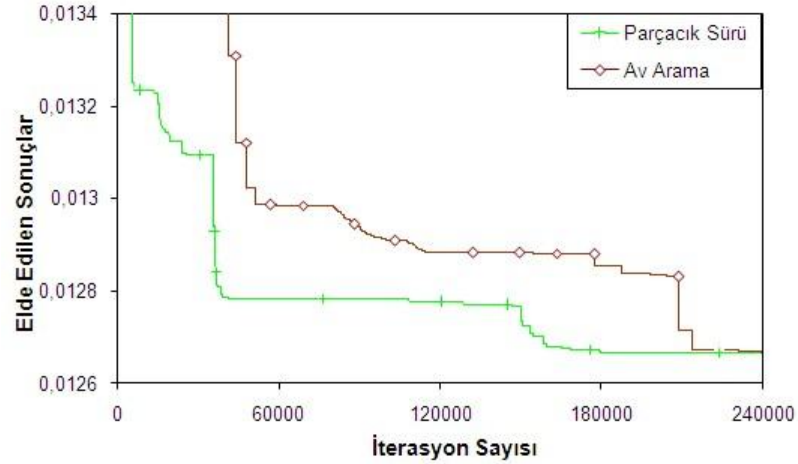
$$0.05 \leq x_1 \leq 2 \quad , \quad 0.25 \leq x_2 \leq 1.3 \quad , \quad 2 \leq x_3 \leq 15 \quad (2.30)$$

Yay tasarım optimizasyon problemi daha önceden yapılmış olan çalışmalarda çeşitli algoritmalar kullanılarak optimum çözüm bulunmaya çalışılmış. Carlos ve Coello (2002), genetik algoritma (GA) ile Ray ve Liew (2003), ise evrimsel algoritma (EA) kullanarak yay

tasarım probleminde optimum çözümü aramışlardır. Bu problemin çeşitli algoritmalar kullanılarak elde edilen optimum çözümleri ile PSO ve AA optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen optimum çözüm değerleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Çizelge 2.2'den görüldüğü üzere amaç fonksiyonunun minimum değer aldığı çözüm avcı arama algoritması kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 2.2 - Yay Tasarım Probleminin Optimum Çözümleri

<i>Tasarım değişkenleri</i>	GA (Coello)	EA (Ray-Liew)	PSO	AA
x_1	0.05148	0.05216	0,05194	0.051695
x_2	0.35166	0.36816	0,36266	0.356869
x_3	11.6322	10.6484	10,9483	11.27982
$f(x)$	0.012704	0.012669	0,012666	0.012665



Şekil 2.7 – Yay tasarım problemi için tasarım geçmişi

2.4.2 Kesikli Optimizasyon Problemlerinde Parçacık Sürü (PSO) ve Av Arama Yönteminin (AA) Uygulaması

Sürekli optimizasyon problemlerinde karar değişkenleri kısıtlayıcı fonksiyonlarla sınırlandırılmış çözüm uzayı içerisindeki tüm değerleri alabilirken, kesikli optimizasyon problemleri bu çözüm uzayı içerisinde sadece belirli sayı değerleri alabilmektedirler. Diğer bir deyişle; kesikli optimizasyonda, amaç fonksiyonu ve kısıtlar karar değişkenlerinin sürekli bir fonksiyonu değildirler. Mühendislikte karşılaşılan optimizasyon problemleri genellikle kesikli optimizasyon problemleridir. Kesikli optimizasyon problemlerinden elde edilen sonuçlar genellikle, sürekli optimizasyon problemlerinden elde edilenler kadar net değildirler. Çünkü kesikli optimizasyon problemlerinde çözüm kümesi belirli değerlerden oluşmak zorunda olup elde edilen sonuçlar tamsayı değerlere dönüştürülerek optimum sonuçlar elde edilmeye çalışılır.

Literatürde; sürekli değerlerden kesikli ya da tam sayı değerlerini elde etmek için iki yaklaşım bulunmaktadır. (Kennedy ve Eberhat, 1997)'ın önerdiği yaklaşımda ikili sayılar kullanılmakta olup, (Liu et al,2006) ise yuvarlama tekniğini önermişlerdir.

Yuvarlama tekniğinde, öncelikle optimizasyon problemi sürekli bir optimizasyon problemi olarak ele alınır. Kesikli bir probleme dönüştürmek için elde edilen sürekli değerler en yakın tam sayı değerine yuvarlatılır.

Kesikli optimizasyon problemlerinin çözümünde av arama ve parçacık sürü yöntemini kullanabilmek için bazı düzenlemeler yapılmalıdır. Öncelikle tasarım değişkenlerinin alabileceği kesikli değerlerden oluşan bir X kümesi seçilerek, uygun bir şekilde sıralanmış olan bütün x_i değerlerine grup içinde bir sıra numarası verilmelidir. Optimizasyon probleminde optimum çözüm için grup içinden bir sıra numarası seçilir ve seçilen sıra numarası kesikli bir optimizasyon problemi sonucunu ifade eder.

2.4.2.1 Örnek 1

İki kesikli değişken ve bir kısıtlama içeren optimizasyon problemi için amaç fonksiyonu çözümün minimum olmasıdır(Jenkins,1992).

Amaç Fonksiyonu;

$$f(x) = 5x_1^2 - 9x_1x_2 + 5x_2^2 \quad (\text{En küçükleme problemi}) \quad (2.31)$$

$$g(x) = 25 - 16x_1x_2 \leq 0 \quad (\text{Kısıtlama}) \quad (2.32)$$

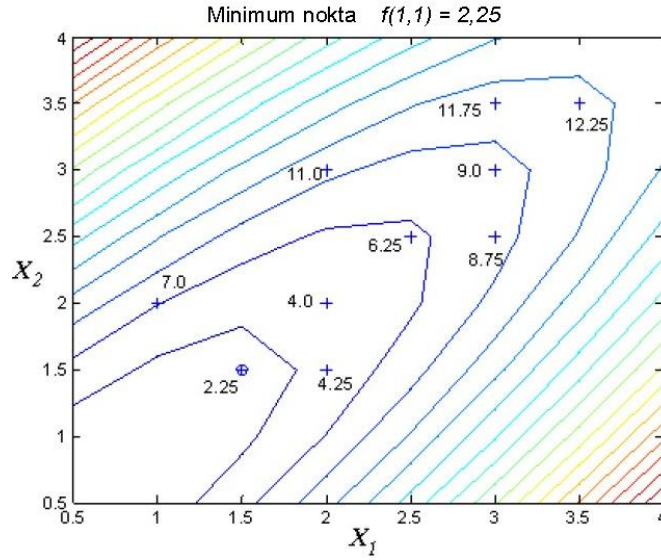
$$X = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, \dots, 9.5, 10.0 \quad (\text{Tasarım değişkenleri kümesi})$$

Ele alınan problem için parçacık sürü ve av arama yöntemi kullanılarak bulunan optimum çözüm; x_1 ve x_2 değişkenlerinin sırasıyla 1,5 ve 1,5 değerlerini aldığı çözümlerdir. Burada amaç fonksiyonunun değeri $f(x) = 2,25$ olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu için bulunan tüm sonuçları ise Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

Parçacık sürü yönteminde optimum çözümü bulan parametreler çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 - Parçacık sürü optimizasyonu parametreleri

Parçacık sayısı (NPT)	C ₁	C ₂	w	V _{maks}	İterasyon sayısı
20	2	2	0,08	2	500

Şekil 2.8 - $f(x) = 5x_1^2 - 9x_1x_2 + 5x_2^2$ fonksiyonu için bulunan çözüm değerleri

2.4.2.2. Örnek 2

Geliştirilen parçacık sürü optimizasyon algoritması ve av arama algoritmasını test etmek üzere literatürde sıkça kullanılan bir problem ele alınmıştır. Problem altı adet kesikli değişken ve iki adet eşitsizlik sınırlayıcısı içermektedir.

Problem için amaç fonksiyonu;

$$f(x) = x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 3x_4 + 4x_5 + 5x_6 \quad (\text{En küçükleme problemi}) \quad (2.33)$$

Kısıt fonksiyonları;

$$\begin{aligned} g_1(x) &= 4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + 3x_4 + 4x_5 + 6x_6 \geq 510 \\ g_2(x) &= 3x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 2x_5 + 3x_6 \geq 400 \end{aligned} \quad (2.34)$$

Kesikli tasarım değişkenleri kümesi;

$$x_i \in X = \{1,2,3,4,8,9,11,14,18,20,21,27\}, \quad i = 1, \dots, 5$$

$$x_6 \in X = \{3,4,8,9,11,14,18,20,21,27,28,29\}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Problem gerek parçacık sürü algoritması, gerekse av arama algoritması ile çözümlenerek amaç fonksiyonunun değeri $f(x) = 373$ olarak belirlenmiştir.

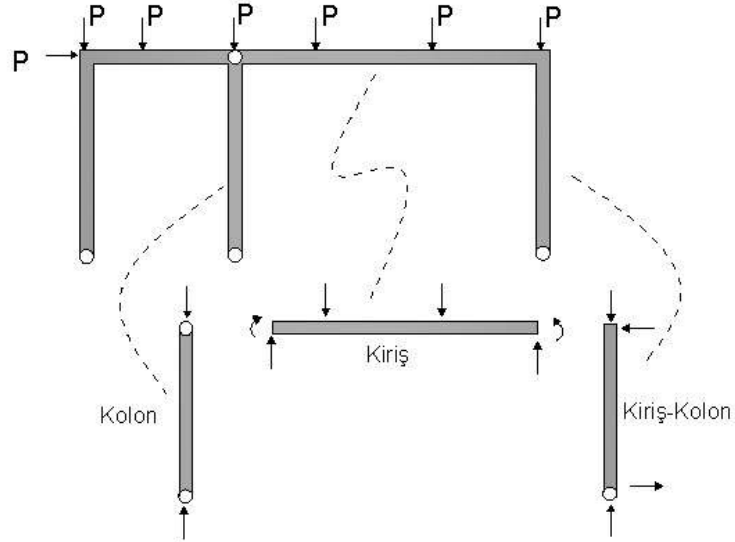
Amaç fonksiyonunu minimum yapan tasarım değişkenleri ise; $x^* = \{27,27,27,27,3,29\}$ olarak bulunmuştur. Shi ve Fu yapmış olduğu çalışmada aynı problemi ele almış olup, çözümünde aynı değere ulaşmıştır (Shi ve Fu, 2004).

3. RİJİT BAĞLANTI NOKTASINA SAHİP DÜZLEMSEL ÇELİK ÇERÇEVELERİN LRFD ŞARTNAMESİNE GÖRE OPTİMUMUM TASARIMI

3.1 Rijit Bağlantı Noktalarına Sahip Çelik Çerçeveler

Yapı mühendisliğinde çerçeve terimi; kolon ve kirişlerin uç noktalarından birleştirilmesi suretiyle elde edilen yapı modeli olarak tanımlanabilir. Yapısal çerçeveler gerçekte üç boyutlu formda olmalarına rağmen hesaplarda kolaylık sağlaması amacıyla düzlemsel olarak ele alınarak analiz edilebilirler. Çerçevenin yapısal analizinde maruz kaldığı yükler ile birlikte bağlantı noktaları için yapılan kabuller de önem arz etmektedir.

Çerçeve sistemlerde birleşim noktalarının tamamen oynak (mafsal) davranış göstermesi ya da tamamen rijit davranış göstermesi elemanlar üzerine gelen tesirlerin farklı olmalarına yol açmaktadır. Tamamen rijit kabul edilen birleşim noktalarına sahip çerçeve sistemlerde; kolon – kiriş birleşim bölgesinde herhangi bir dönmenin söz konusu olmadığı kiriş üzerinde bulunan eğilme momentinin aynen kolona aktarıldığı yapı davranışı görülmektedir. Diğer açıdan bakıldığında mafsal birleşim noktalarında kolon ile kiriş arasında dönme davranışı gösterebilen bir birleşimde kiriş üzerindeki momentin kolona aktarımı olmadığı açıktır.



Şekil 3.1 - Çerçeve Sistemde Kolon , Kiriş ve Kiriş-kolon Elemanlar

Çerçeve sistemde bulunan kirişlerin maruz kaldıkları en büyük tesir eğilme momenti etkisidir. Kirişler düşey yükler olarak bilinen yapının öz yükü ile birlikte hareketli yükleri karşılayan yapı elemanlarıdır.

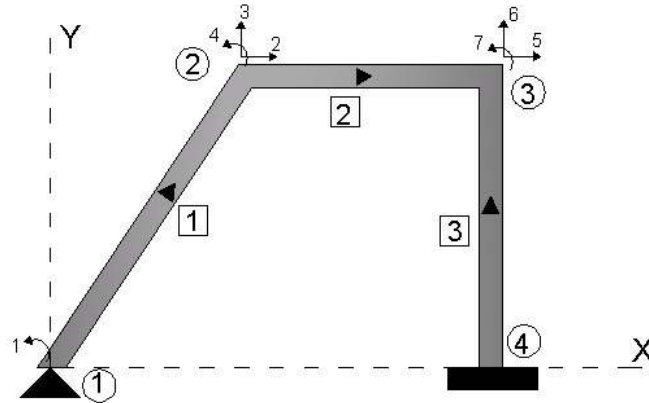
Çerçeve sistemlerde kolonlar ise yapının ağırlığını taşıyacak olan düşey elemanlar olarak bilinmektedir. Daha çok yapıda kirişler için mesnet görevi gören basınç elemanları olarak bilinmektedir. Kolonlar burkulma boylarının durumlarına göre narin kolon ve narin olmayan kolon olarak ikiye ayrılmaktadır.

Çerçeve sistemlerde kiriş-kolon eleman olarak adlandırılan elemanlar aynı anda eksenel basınç kuvveti ve eğilme momenti etkisindeki elemanlardır. Bu elemanları kolon elemanlardan ayıran en önemli faktör, kiriş-kolon elemanlarda eksenel yük ile birlikte eğilme momentinin etkili olmasıdır.

Çerçeve türü yapıların statik olarak incelenmesi her zaman basit değildir. Özellikle kirişlerin sürekli olduğu statik açıdan tanımsız olan sistemlerin, mesnet reaksiyon kuvvetleri, kesme kuvveti ve moment değerleri basit denklemlerle elde edilemezler. Böyle durumlarda yapının karakteristik özellikleri göz önüne alınmalıdır. Statik açıdan tanımsız olan yapıların analiz edilebilmesi amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bir tanesi ise matris deplasman yöntemidir.

3.2 Matris Deplasman Yöntemi

Yapı mühendisliği tarihinde, yapısal analiz teknikleri hususunda çeşitli değişiklikler olmuştur. Özellikle bilgisayar teknolojisinin yapı mühendisliğinde kullanılmaya başlanması ile birlikte daha büyük ve karmaşık yapıları analiz etmek daha kolay bir hal almıştır. Yapısal analizde matris deplasman yöntemi ile yapılan çözümler bilgisayar yardımıyla daha basit ve çabuk olmaya başlamıştır. Bu sebeple yapısal analiz üzerine hazırlanmış birçok paket programın temelinde rijitlik matrisleri methodu bulunmaktadır. Rijitlik matrisi yönteminde yapıyı oluşturan elemanların rijitlik değerleri dikkate alınarak, yapıya etkiyen yükler ile yapıda oluşan deplasmanlar arasında oluşturulan denklemler esas alınmıştır.

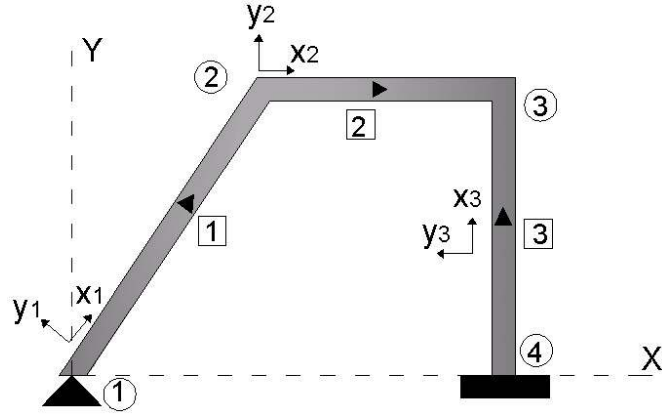


Şekil 3.2 - Basit Bir Çerçeve İçin Analitik Model

Rijitlik matrisi yardımıyla yapıyı analiz edebilmek için yapının analitik olarak modellenmesi gerekmektedir. Bu modelde yapıda bulunan her bir düğüm noktası ve elemanlar için bir numara belirlenir (Şekil 3.2.). Daire içerisinde belirtilen numaralar düğüm noktalarını, dikdörtgen içerisinde belirtilen numaralar ise elemanlar için tayin edilmiş numaraları göstermektedir.

3.2.1 Global ve Lokal Koordinat Sistemleri

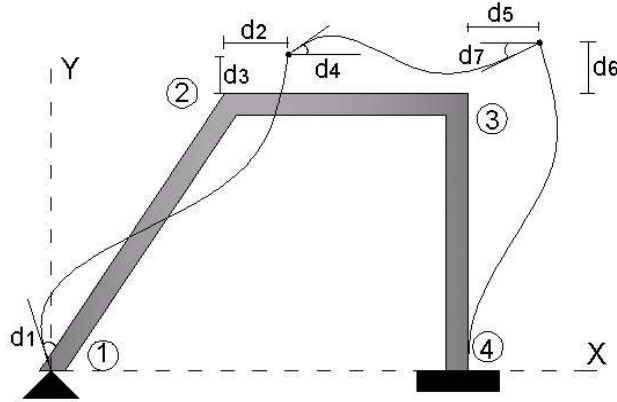
Matris deplasman yönteminde yapının geometrisini ve davranışını tanımlayabilmek üzere kartezyen global koordinat sistem kullanılır. Şekil 3.3. X ve Y global koordinat sistemini göstermektedir. Şekil 3.3.'de görüldüğü üzere, elemanlar için lokal koordinat x ekseninin direkt olarak eleman doğrultusundaki eksen şeklinde belirlenmesi ve y ekseninin de x eksenine göre sağ el kuralıyla tespit edilmesi suretiyle ifade edilir (Kassimali, 2005). Elemanlar için lokal z ekseninin pozitif yönü xy düzlemine dik olacak şekilde sağ el kuralına göre belirlenebilir.



Şekil 3.3 - Basit Bir Çerçeve İçin Global ve Lokal Koordinatlar

3.2.2 Yapının Serbestlik Derecesi

Yapının serbestlik derecesi, yapıya yük etkidiği durumda elemanların uç noktalarında meydana gelen deplasman ve dönmelere göre belirlenir. Şekil 3.4.'te bir çerçeve sistemin yükleme öncesi ve yükleme sonrası şekil değiştirme durumları gösterilmiştir. Düğüm noktalarında oluşan yer değiştirmeler d_2 , d_3 , d_5 ve d_6 , dönmeler ise d_1 , d_4 ve d_7 olarak kodlanmıştır. Burada d_3 , d_6 kodları sırasıyla 2 ve 3 nolu düğüm noktalarındaki düşey deplasmanları gösterirken, d_2 ve d_5 kodları ise eksenel deformasyonu ifade etmektedir. Şekil 3.4'ten görüldüğü üzere böyle bir çerçeve sistem toplam yedi adet serbestlik derecesine sahiptir.



Şekil 3.4 - Basit Bir Çerçeve İçin Serbestlik Dereceleri

Düzlemsel taşıyıcı sistemlerde; çubuk elemanların her biri bağlandığı düğüm noktasına bir rijitlik katmaktadır. Yani taşıyıcı sistemin rijitliği, sistemi oluşturan her bir çubuğun rijitliğine de bağlıdır. Çubukların taşıyabileceği kuvvetler ise çubuk elemanların rijitlikleri ile ilgilidir. Bu kuvvetler çubuk eksenine paralel olabileceği gibi çubuk eksenine dik şekilde de olabilir.

Bu özellikleri dikkate almak suretiyle, taşıyıcı sistemi oluşturan tüm çubuk elemanların rijitlik matrisleri birleştirilerek, sistemin rijitlik matrisi elde edilebilir. Elde edilen sistem rijitlik matrisi ile düğüm noktalarındaki deplasmanlar ve dış kuvvetler ilişkilendirilip, matris şeklindeki denklem takımı çözülerek, bilinmeyen düğüm noktası deplasmanları ve buradan da çubuk uç kuvvetlerini hesaplamak mümkün olabilmektedir (Çağdaş S.2006).

Yapı elemanlarının düğüm noktası deplasmanlarını “U” ve düğüm noktası kuvvetlerini “F” olarak tanımlarsak;

$$F = k.U \quad (3.1)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada; “k” birim deplasman yani rijitlik matrisini ifade eder.

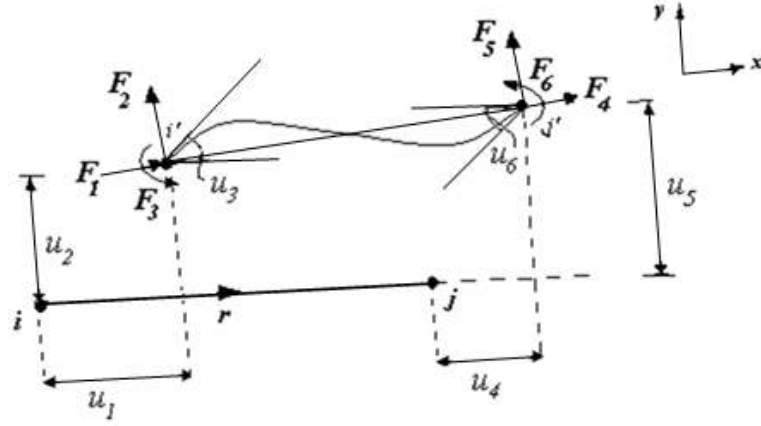
Taşıyıcı sisteme ait denklem takımları; matris formunda genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$F = k U \quad (3.2)$$

Buradan da anlaşılacağı üzere; birim deplasman yaptırmak üzere gerekli olan kuvvetin bulunması amaçlanmıştır.

3.2.3 Çubuk Elemanların Uç Kuvvetleri İle Uç Deplasmanlar Arasındaki İlişki

Bir çubuk elemanın uç deplasmanları ve uç kuvvetleri şu şekilde gösterilebilir.



Şekil 3.5 – Yükleme Öncesi ve Sonrasında Çubuğun Durumu (Doğan,2010)

Şekil 3.5.'de çubuk elemanın; yükleme öncesi ve yükleme sonrası deformasyona uğramış durumu gösterilmiştir. Çubuğun uç noktalarındaki deplasmanlar U_1 'den U_6 'ya kadar uç noktası kuvvetleri ise F_1 'den F_6 'ya kadar isimlendirilip, şekil üzerinde belirtilmiştir.

Çubuğun uç kuvvetleri ile uç deplasmanları arasında aşağıda belirtildiği gibi bir ilişki söz konusudur.

$$\begin{aligned}
 F_1 &= k_{11}u_1 + k_{12}u_2 + k_{13}u_3 + k_{14}u_4 + k_{15}u_5 + k_{16}u_6 \\
 F_2 &= k_{21}u_1 + k_{22}u_2 + k_{23}u_3 + k_{24}u_4 + k_{25}u_5 + k_{26}u_6 \\
 F_3 &= k_{31}u_1 + k_{32}u_2 + k_{33}u_3 + k_{34}u_4 + k_{35}u_5 + k_{36}u_6 \\
 F_4 &= k_{41}u_1 + k_{42}u_2 + k_{43}u_3 + k_{44}u_4 + k_{45}u_5 + k_{46}u_6 \\
 F_5 &= k_{51}u_1 + k_{52}u_2 + k_{53}u_3 + k_{54}u_4 + k_{55}u_5 + k_{56}u_6 \\
 F_6 &= k_{61}u_1 + k_{62}u_2 + k_{63}u_3 + k_{64}u_4 + k_{65}u_5 + k_{66}u_6
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Uç kuvvetleri ile uç deplasmanları arasındaki ilişkiyi matris formunda yazacak olursak;

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{Bmatrix} \tag{3.4}$$

ya da $F_i = k U_i$ şeklinde de gösterilebilir.

Burada; F_i uç kuvvet vektörü, U_i uç deplasman vektörü ve $[k]$ ise lokal koordinat düzlemindeki rijitlik matrisini ifade etmektedir.

Çubuğun lokal koordinat düzlemindeki kuvvet vektörü;

$$F_r = F_1 F_2 F_3 F_4 F_5 F_6^T \quad (3.5)$$

Çubuğun lokal koordinat düzlemindeki deplasman vektörü;

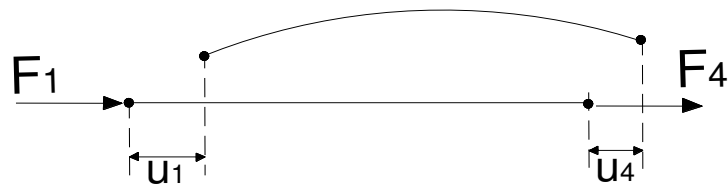
$$U_r = u_1 u_2 u_3 u_4 u_5 u_6^T \quad (3.6)$$

Çubuğun global koordinat düzlemindeki deplasman vektörü;

$$D_r = d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6^T \quad (3.7)$$

ile ifade edilir.

3.2.3.1 Eksenel Kuvvet Etkisi Altındaki Çubuklar



Şekil 3.6 – Çubuğa Etkiyen Eksenel Yükler

Eksenel yönde kuvvetler altındaki bir çubukta; uç kuvvetleri ile uç deplasmanları arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$F_1 = k_{11}u_1 + k_{14}u_4 \quad (3.8)$$

$$F_4 = k_{41}u_1 + k_{44}u_4 \quad (3.9)$$

Burada; “k” rijitlik matrisini ifade ederken, “u” kuvvetler doğrultusundaki deplasmanları göstermektedir.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \Rightarrow \frac{F}{A} = E \cdot \varepsilon \Rightarrow \frac{F}{AE} = \frac{dy}{dx} \quad (3.10)$$

İntegral alınırsa

$$y = \frac{F}{AE} x + c_1 \quad (3.11)$$

olur.

Sınır şartlarına göre ;

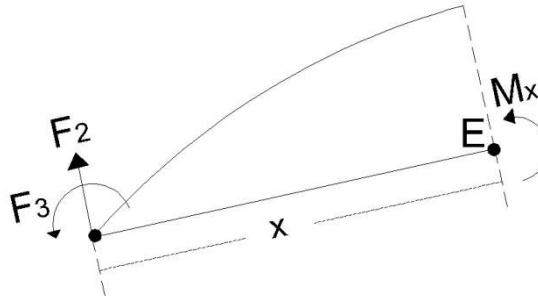
$$\left. \begin{array}{l} x=0 \\ y=0 \end{array} \right\} \frac{F_1}{AE} \cdot 0 + c_1 = 0 \Rightarrow c_1 = 0 \Rightarrow y = \frac{F}{AE} x \quad (3.12)$$

$$\left. \begin{array}{l} x=L \\ y=u_4 - u_1 \end{array} \right\} u_4 - u_1 = \frac{F_4}{AE} \cdot L = 0 \Rightarrow F_4 = -u_1 \frac{EA}{L} + u_4 \frac{EA}{L}$$

$$F_1 = -F_4 \Rightarrow F_1 = u_1 \frac{EA}{L} - u_4 \frac{EA}{L} \quad (3.13)$$

olmaktadır.

3.2.3.2 Eğilme Momenti Taşıyan Çubuklar



Şekil 3.7 – Çubuk Elemana Etkiyen Tesirler

Çubuğun herhangi bir E noktasında oluşacak olan moment etkisi ;

$$\sum M_E = 0 \Rightarrow M_x - F_2 x + F_3 = 0 \Rightarrow M_x = F_2 x - F_3 \quad (3.14)$$

Kiriş teorisine göre ;

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M_{(x)}}{EI} \Rightarrow M_{(x)} = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = F_2 x - F_3 \quad (3.15)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = F_2 \frac{x^2}{2} - F_3 x + c_1 \quad (\text{Dönme}) \quad (3.16)$$

$$EI y = F_2 \frac{x^3}{6} - F_3 \frac{x^2}{2} + c_1 x + c_2 \quad (\text{Deplasman}) \quad (3.17)$$

Sınır şartlarına göre ;

$$\begin{aligned} (1) \quad x=0 &\Rightarrow \frac{dy}{dx} = u_3 \Rightarrow c_1 = EI u_3 \\ (2) \quad x=0 &\Rightarrow y=0 \Rightarrow c_2 = 0 \\ (3) \quad x=L &\Rightarrow \frac{dy}{dx} = u_6 \Rightarrow EI u_6 = F_2 \frac{L^2}{2} - F_3 L + EI u_3 \\ (4) \quad x=L &\Rightarrow y = u_5 - u_2 \Rightarrow EI(u_5 - u_2) = F_2 \frac{L^3}{6} - F_3 \frac{L^2}{2} + EI L u_3 \end{aligned} \quad (3.18)$$

(3)'üncü denklemden;

$$F_2 = \frac{2EI}{L^2} u_6 - \frac{2EI}{L^2} u_3 + \frac{2}{L} F_3 \quad (3.19)$$

F₂'yi (4)'üncü denklemde yazarsak;

$$\begin{aligned} EI(u_5 - u_2) &= \frac{2EI}{L^2} \frac{L^3}{6} u_6 - \frac{2EI}{L^2} \frac{L^3}{6} u_3 + \frac{2}{L} \frac{L^3}{6} F_3 - \frac{L^2}{2} F_3 + EI L u_3 \\ EI u_5 - EI u_2 &= \frac{EI}{3} L u_6 + \frac{2}{3} EI L u_3 - \frac{L^2}{6} F_3 \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\Rightarrow F_3 = \frac{6EI}{L^2} u_2 + \frac{4EI}{L} u_3 - \frac{6EI}{L^2} u_5 + \frac{2EI}{L} u_6$$

Buradan;

$$\begin{aligned}
 F_2 &= \frac{2EI}{L^2} u_6 - \frac{2EI}{L^2} u_3 + \frac{2}{L} \left(\frac{6EI}{L^2} u_2 + \frac{4EI}{L} u_3 - \frac{6EI}{L^2} u_5 + \frac{2EI}{L} u_6 \right) \\
 \Rightarrow F_2 &= \frac{2EI}{L^2} u_6 - \frac{2EI}{L^2} u_3 + \frac{12EI}{L^3} u_2 + \frac{8EI}{L^2} u_3 - \frac{12EI}{L^3} u_5 - \frac{4EI}{L^2} u_6 \\
 \Rightarrow F_2 &= \frac{12EI}{L^3} u_2 + \frac{6EI}{L^2} u_3 - \frac{12EI}{L^3} u_5 + \frac{6EI}{L^2} u_6
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

$F_5 = -F_2$ olduğu için ;

$$F_5 = -\frac{12EI}{L^3} u_2 - \frac{6EI}{L^2} u_3 + \frac{12EI}{L^3} u_5 - \frac{6EI}{L^2} u_6 \tag{3.22}$$

“I” noktasına göre moment alınırsa (Şekil 3.8);

$$M = F_5 L + F_6 + F_3 = 0 \quad \Rightarrow \quad F_6 = -F_3 - F_5 L \tag{3.23}$$

$$F_6 = -\frac{6EI}{L^2} u_2 - \frac{4EI}{L} u_3 + \frac{6EI}{L^2} u_5 - \frac{2EI}{L} u_6 + \frac{12EI}{L^2} u_2 + \frac{6EI}{L} u_3 - \frac{12EI}{L^2} u_5 + \frac{6EI}{L} u_6 \tag{3.24}$$

$$F_6 = \frac{6EI}{L^2} u_2 + \frac{2EI}{L} u_3 - \frac{6EI}{L^2} u_5 + \frac{4EI}{L} u_6$$

$$F_1 = \frac{EA}{L} u_1 - \frac{EA}{L} u_4 \tag{3.25}$$

$$F_2 = \frac{12EI}{L^3} u_2 + \frac{6EI}{L^2} u_3 - \frac{12EI}{L^3} u_5 + \frac{6EI}{L^2} u_6 \tag{3.26}$$

$$F_3 = \frac{6EI}{L^2} u_2 + \frac{4EI}{L} u_3 - \frac{6EI}{L^2} u_5 + \frac{2EI}{L} u_6 \tag{3.27}$$

$$F_4 = -\frac{EA}{L} u_1 + \frac{EA}{L} u_4 \tag{3.28}$$

$$F_5 = -\frac{12EI}{L^3}u_2 - \frac{6EI}{L^2}u_3 + \frac{12EI}{L^3}u_5 - \frac{6EI}{L^2}u_6 \quad (3.29)$$

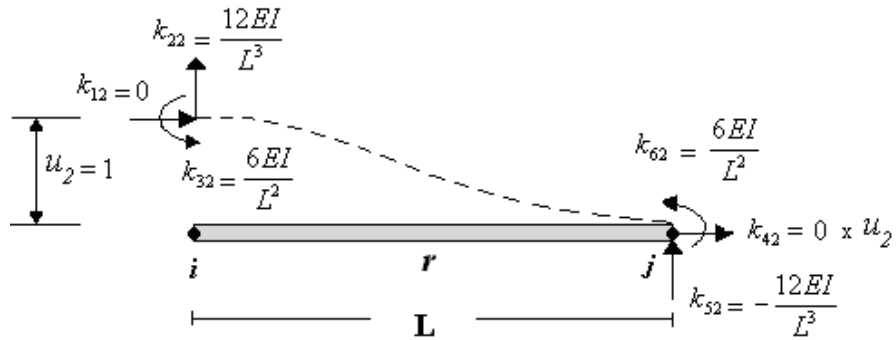
$$F_6 = \frac{6EI}{L^2}u_2 + \frac{2EI}{L}u_3 - \frac{6EI}{L^2}u_5 + \frac{4EI}{L}u_6 \quad (3.30)$$

Denklem takımını matris formunda yazarsak;

$$F_r = k_{br} u_r \quad (3.31)$$

$$k = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

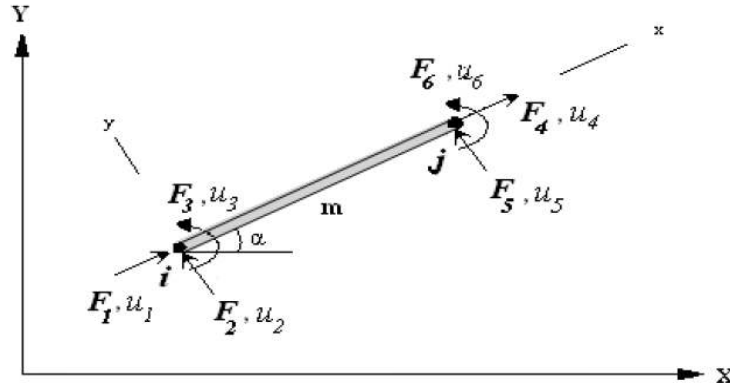
Şekil 3.8.'de r elemanında i ucundaki 1 birimlik deplasman için k rijitlik katsayılarının ikinci kolonu gösterilmiştir.



Şekil 3.8 - r Elemanında k Matrisinin İkinci Kolonu

3.2.4 Çubuk Elemanlarda Lokal Koordinatlarda Uç Kuvvetleri ve Deplasmanları

Bir çerçeve elemanın lokal uç kuvvetleri ve deplasmanları şekilde görüldüğü gibi lokal koordinatlar doğrultusunda eleman uçlarında oluşmaktadır.



Şekil 3.9 – Lokal Uç Kuvvetleri ve Uç Deplasmanları (Doğan,2010)

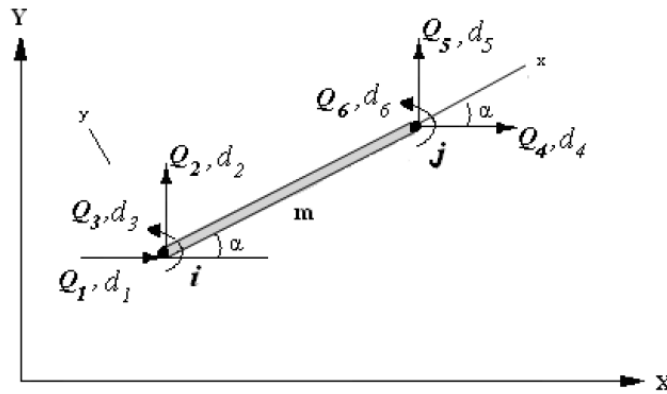
Lokal kuvvet vektörü ;

$$F = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

Lokal deplasman vektörü ;

$$U = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

Bir çerçeve elemanın global uç kuvvetleri ve uç deplasmanları aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 3.10 – Global Uç Kuvvetleri ve Uç Deplasmanları (Doğan,2010)

Global kuvvet vektörü ;

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 & q_3 & q_4 & q_5 & q_6 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

Global deplasman vektörü ;

$$D = d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4 \ d_5 \ d_6 \quad (3.36)$$

Çubuğun "i" ucundaki deplasmanlar ;

$$\begin{aligned} u_1 &= d_1 \cos \alpha + d_2 \sin \alpha \\ u_2 &= -d_1 \sin \alpha + d_2 \cos \alpha \\ u_3 &= d_3 \end{aligned} \quad (3.37)$$

Çubuğun j ucundaki deplasmanlar;

$$\begin{aligned} u_4 &= d_4 \cos \alpha + d_5 \sin \alpha \\ u_5 &= -d_4 \sin \alpha + d_5 \cos \alpha \\ u_6 &= d_6 \end{aligned} \quad (3.38)$$

$$U_m = B_m D_m \quad (3.39)$$

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

$$F_m = B_m Q_m \quad (3.41)$$

Enerjinin korunumu prensibine göre;

$$\frac{1}{2} P_m^T D_m = \frac{1}{2} F_m^T U_m \quad (3.42)$$

$$\frac{1}{2} P_m^T D_m = \frac{1}{2} F_m^T B_m D_m \quad (3.43)$$

$$P^T = F^T B_m \Rightarrow P = B_m^T F \quad (3.44)$$

$$\left. \begin{array}{l} F_i = k U_i \\ U_m = B_m D_m \\ P = B_m^T F \end{array} \right\} F_m = k B_m D_m \Rightarrow P = \underbrace{B_m^T k B_m}_{[K]} D_m \quad (3.45)$$

Burada; [K] global rijitlik matrisini ifade etmektedir. Global rijitlik matrisi aşağıda görüldüğü gibi yazılmaktadır.

$$K = \begin{array}{c|c} \begin{array}{ccc} \text{Birinci uç} & & \end{array} & \begin{array}{ccc} \text{İkinci uç} & & \end{array} \\ \hline \begin{array}{ccc} a & b & c \\ b & d & e \\ c & e & f \\ -a & -b & -c \\ -b & -d & -e \\ c & e & g \end{array} & \begin{array}{ccc} -a & -b & c \\ -b & -d & e \\ -c & -e & g \\ a & b & -c \\ b & d & -e \\ -c & -e & f \end{array} \end{array} \quad (3.46)$$

Burada;

$$a = \frac{EA}{L} \cos^2 \alpha + \frac{12EI}{L^3} \sin^2 \alpha$$

$$e = \frac{6EI}{L^2} \cos \alpha$$

$$b = \left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \alpha \sin \alpha$$

$$f = \frac{4EI}{L}$$

$$c = -\frac{6EI}{L^2} \sin \alpha$$

$$g = \frac{2EI}{L}$$

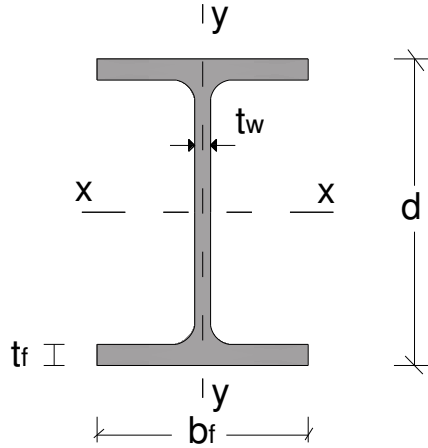
$$d = \frac{EA}{L} \sin^2 \alpha + \frac{12EI}{L^3} \cos^2 \alpha$$

3.3 LRFD Şartnamesine Göre Çelik Kiriş-Kolon Elemanların Tasarımı

Yapı sistemlerinde kolonlar genellikle eksenel yüklere maruz kalan yapı elemanları olmasına rağmen; sistemde yatay yüklerin olması durumunda kolonlarda moment etkisinin oluşacağı da bilinmektedir. Kirişler genellikle eğilme momenti etkisinde olan yapı elemanlarıdır. Fakat bazı durumlarda kirişlerde de eksenel yüklerin etkili olduğu durumlar ortaya çıkabilir. Hem eğilme momenti hem de eksenel yükler altında davranış gösteren bu tür elemanlar kiriş-kolon

elemanlar olarak düşünülebilir. Rijit düğüm noktalarına sahip düzlemsel çerçevelerde çerçeveyi oluşturan elemanlar kiriş- kolon eleman davranışı gösterir.

Kiriş-kolon eleman davranışı gösteren yapı elemanlarının boyutlandırılmasında en yaygın kullanılan profil tipi I (W) profil kesitine sahip profillerdir. Şekil 3.11.'de kesiti görülen I profil tipi bu çalışmada, çerçeve elemanların tasarımında kullanılmıştır.



Şekil 3.11 – I (W) Profil Kesiti

Şekilde görüldüğü üzere;

b_f = profilin başlık genişliği

t_f = profilin başlık kalınlığı

d = profilin yüksekliği

t_w = profilin gövde kalınlığı

3.3.1 LRFD Şartnamesi'ne Göre Kiriş-Kolon Elemanlarda Birleşik Gerilmeler

Kolonlar genellikle eksenel yüklerin etkisinde çalışmakla birlikte yanal yükleri ve bundan dolayı oluşan momentlerin de etkisinde olabilirler. Böyle elemanlara kiriş- kolon elemanlar denilmekte ve bu tür elemanlar birleşik gerilmelere maruz kalmaktadırlar. Elemanlardaki uç momentleri çerçeve reaksiyonları ve varsa eksantrik etkiyen eksenel yük etkisi sonucu ortaya çıkabilir. Özellikle çok katlı yapılarda kolonlar düşey yükleri taşımakla birlikte deprem yükü ve rüzgâr yükünden dolayı oluşacak momentleri de taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca yapıda oluşacak olan yatay deplasman sebebiyle kolonlara etkiyen yükler kolonlarda ilave bir moment oluşmasına yol açmaktadır.

3.3.2 LRFD Şartnamesi'ne Göre Kiriş-Kolon Elemanlarda Eğilme ve Eksenel Çekme

LRFD şartnamesine göre eğilme ve çekme altındaki kolon-kiriş elemanların boyutlandırılması;

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0,2 \quad \text{için} \quad \left(\frac{P_u}{\phi_c P_n} \right)_{il} + \left(\frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right) \right)_{il} \leq 1,0$$

$$i = 1, \dots, nm$$

$$l = 1, \dots, nl \quad (3.47)$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 0,2 \quad \text{için} \quad \left(\frac{P_u}{2\phi_c P_n} \right)_{il} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right)_{il} \leq 1,0$$

Koşullarına göre yapılır. Burada ; nm eleman sayısını, nl yükleme durumu sayısını, M_{nx} artık eğilme momenti kapasitesini, M_{ux} uygulanan moment değerini, P_u uygulanan eksenel yük değerini, ϕ_c eksenel çekme yükü altında kolonun direnç faktörünü, ϕ_b eğilme altında kolonun direnç faktörünü ifade etmektedir. P_n ise eksenel çekme dayanımı olup;

$$P_n = A.F_y \quad (3.48)$$

ile bulunabilir. Burada; A kesit alanını ifade ederken, F_y ise çeliğin akma dayanımıdır.

$$M_n = M_p \quad (3.49)$$

Burada;

$$M_p = \text{plastik moment gerilmesi} = Z.F_y$$

$$Z = \text{plastisite modülü}$$

$$F_y = \text{akma gerilmesi}$$

3.3.3 LRFD Şartnamesi'ne Göre Kiriş-Kolon Elemanlarda Eğilme ve Eksenel Basınç

Kolon-kiriş elemanlarda eğilme momenti ile birlikte eksenel basınç kuvvetinin aynı anda etkimesi, elemandaki stabilite kaybı riskini artırmaya yönelik bir etki gösterir. Çekme kuvveti ve eğilme etkisindeki kiriş-kolon elemanların aksine basınç yükünün etkili olduğu elemanlarda narinlik değerinin büyüklüğü önemlidir. Bu yükler altındaki kiriş-kolon elemanların taşıyacağı basınç yükü;

$$P_n = A.F_{cr} \quad (3.50)$$

denklemleri ile kontrol edilir. Burada; F_{cr} , kritik dayanım değeri olup;

$$\begin{aligned} \lambda_c \leq 1,5 \quad \text{için} \quad F_{cr} &= 0,658 \lambda_c^2 F_y \\ \lambda_c \geq 1,5 \quad \text{için} \quad F_{cr} &= \frac{0,877}{\lambda_c^2} \end{aligned} \quad (3.51)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanır.

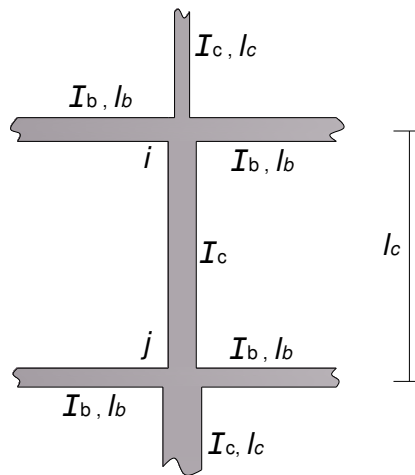
Buradaki narinlik oranı λ_c ;

$$\lambda_c = \frac{kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (3.52)$$

ile bulunur. k , burkulma boyu faktörünü, l elemanın boyunu, r ise devir sayısını ifade etmektedir.

3.3.4 Kiriş-Kolon Elemanlarda Burkulma Boyu

Çerçeve sistemlerde, basınç yükü altındaki elemanlarda burkulma boyu Jackson ve Moreland tarafından geliştirilen monogam ile belirlenebilir (McGuire , 1968).



Şekil 3.12 - Kolon-Kiriş Elemanın Uç Noktaları

Bir çerçeve kolonun burkulma boyu;

$$\frac{(\gamma_i \gamma_j)(\pi/k)^2 - 36}{6(\gamma_i + \gamma_j)} = \frac{\pi/k}{\tan(\pi/k)} \quad (3.53)$$

ile hesaplanır. Burada; k burkulma boyu katsayısı, γ_i ve γ_j ise basınç yükü altındaki elemanın uçları arasındaki göreceli rijitlik oranlarıdır.

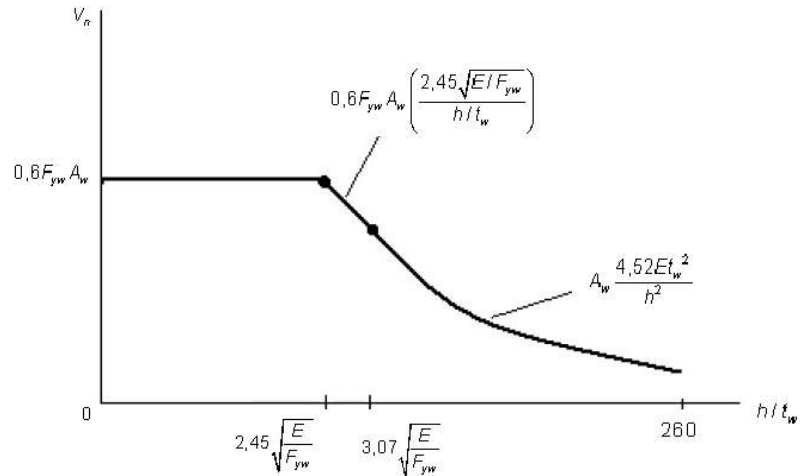
$$\gamma_i = \frac{\sum L_{ci} / L_{ci}}{\sum L_{bi} / L_{bi}} \quad \text{ve} \quad \gamma_j = \frac{\sum L_{cj} / L_{cj}}{\sum L_{bj} / L_{bj}} \quad (3.54)$$

Burada; i elemanın bir ucunu, j ise diğer ucunu ifade etmektedir.

$$\frac{\gamma_i \gamma_j}{4} \left(\frac{\pi}{k} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_i + \gamma_j}{2} \right) \left(1 - \frac{\pi/k}{\tan(\pi/k)} \right) + \frac{2 \tan(\pi/2k)}{\pi/k} = 1 \quad (3.55)$$

3.3.5 LRFD Şartnamesi'ne Göre Kiriş-Kolon Elemanlarda Kesme Etkisi

Yapı sistemlerinde uzun açıklıklı kirişlerde çökme, orta açıklıklı kirişlerde eğilme etkili olurken kısa açıklıklı kirişlerde ise kesme etkili olan zorlanma türüdür. Kiriş-kolon elemanlar eğilme kapasiteleri temel alınarak seçildikten sonra kesme yönünden de tahkik edilirler.



Şekil 3.13 – I Kesitli Profillerin Kesme Gerilmeleri

LRFD'ye göre kesme dayanımı;

$$\phi_b V_n = V_u \quad (3.56)$$

ile kontrol edilir. Burada; ϕ_b direnç faktörünü, V_n artık kesme gerilmesini, V_u gerekli kesme gerilmesini göstermektedir.

I (W) kesitli profil kirişlerin LRFD-AISC'ye göre kesme gerilmeleri;

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} \quad \text{için} \quad V_n = 0,6 \cdot F_{yw} \cdot A_w \quad (3.57)$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} < \frac{h}{t_w} \leq 3,07 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} \quad \text{için} \quad V_n = 0,6 F_{yw} A_w \left(\frac{2,45 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}}}{\frac{h}{t_w}} \right) \quad (3.58)$$

$$3,07 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} < \frac{h}{t_w} \leq 260 \quad \text{için} \quad V_n = A_w \frac{4,52 E t_w^2}{h^2} \quad (3.59)$$

ile hesaplanır.

3.3.6 LRFD Şartnamesi'ne Göre Kiriş-Kolon Elemanların Uygun Kullanılabilirliği

Yapılar tasarlanırken, işlevine uygun şekilde projelendirilmelidir. Ayrıca yapının elverişli bir şekilde kullanılabilmesi için ve yapıda beklenmeyen hasarların oluşmaması adına yönetmeliklerde belirtilen bazı koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşulların sağlanmaması durumunda yapı beklenenden daha fazla esnek olabilir ve bu durumda ikincil mertebe momentleri etkili olurken yapının stabilitesi negatif yönde etkilenebilir.

Yapının kullanılabilirliğini azaltan bazı yapı davranışı tipleri;

- Elemanlarda oluşan bölgesel burkulma, çatlama gibi yapı içerisindeki bölgesel hasarlar fazla bakım yükü gerektirebilir.
- Aşırı dönme ve deplasman yapının hem görünüşünü hem de kullanılabilirliğini etkileyebilir.
- Rüzgar yükü ve tekrarlı yüklerden dolayı oluşan titreşimler yapıda konforu etkileyebilir.

3.3.6.1 Deplasman

Yapıda deplasmanlar ve katlar arası ötelemeleri sınırlandırılmadığı takdirde kalıcı hasarların oluşabilmesi olağan bir durumdur. Deplasman sınır değerleri için;

$$\delta_i \leq \delta_j^u, \quad i = 1, \dots, nd \quad (3.60)$$

Eşitsizliği dikkate alınır. Burada; nd deplasman açısından sınırlandırılmış eleman sayısı, δ_i , i nolu elemanda oluşan deplasman ve δ_{ju} ise deplasman sınır değerlerini ifade etmektedir. Kirişlerde düşey deplasman sınır değeri için kiriş açıklığının 1/300'ü, kolonlarda yatay deplasman sınır değeri için ise kat yüksekliğinin 1/300'ü olarak alınabilir..

3.3.6.2 Kat Ötelenmesi

Yapılarda katlar arası ötelenme miktarının fazla olması yapıda hasarların oluşmasına sebep olabilmektedir. Sismik yük etkileri altında yüksekliği fazla katlar zayıf kat olarak bilinmekte ve bu tür yapılarda bu katlarda göçmeye kadar giden sonuçlarla karşılaşabilmektedir.

Çok katlı bir yapıda katlar arası öteleme şu şekilde ifade edilebilir.

$$(\delta_j - \delta_{j-1}) \leq \delta_{ju}, \quad j = 1, \dots, ns \quad (3.61)$$

Burada; δ_j ve δ_{j-1} komşu iki katta bulunan yanal ötelemeyi, δ_{ju} yanal öteleme için sınır değeri, h_j kat yüksekliğini ve ns ise çerçeve sistemde bulunan toplam kat sayısını ifade etmektedir.

3.3.6.3 Birleşimde Kolon ve Kirişlerin Geometrik Uyumu

Yapı elemanlarının tasarımı yapılırken; elemanlar sınır gerilme değerleri içerisinde olacak şekilde uygun kesitler belirlenir. Fakat her zaman elemanları gerilme ve deplasman sınır şartlarına göre tasarlamak yeterli olmayabilir. Kolon-kiriş birleşim noktasında kolon ve kiriş elemanların geometrisi de tasarım için uygun olmalıdır (Şekil 3.14.). Bu geometrik sınırlar aşağıda belirtilmiştir.

- Tüm birleşimlerde kolonların başlık genişlikleri, kirişlerin başlık genişliklerinden büyük ya da eşit olmalıdır.

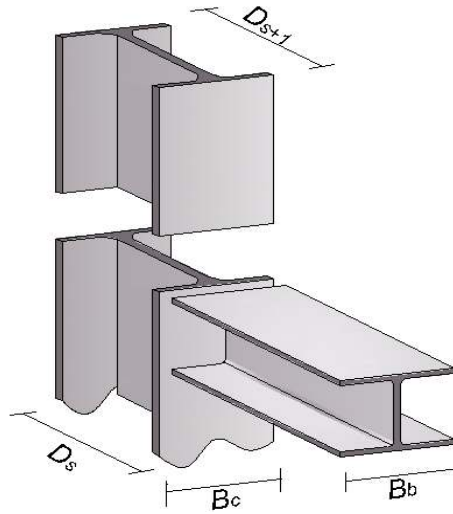
$$B_{jb} \leq B_{jc} \quad j = 1, \dots, nj \quad (3.62)$$

Burada, B_{jb} ve B_{jc} sırasıyla kiriş başlık genişliği ve kolon başlık genişliğini ifade ederken nj ise çerçevede bulunan toplam birleşim noktası sayısını göstermektedir.

- Birleşimde bulunan alt kat kolonunun kolon kesit yüksekliği ve birim ağırlığı bir üst kat kolonunun kolon kesit yüksekliği ve birim ağırlığından büyük ya da eşit olmalıdır.

$$\begin{aligned} D_{s+1} &\leq D_s \\ m_{s+1} &\leq m_s \end{aligned} \quad s = 1, \dots, nu \quad (3.63)$$

Burada; D_{s+1} , m_{s+1} sırasıyla birleşim noktasının üstündeki kolona ait profil kesit yüksekliği ve birim ağırlığını ifade ederken, D ve m_s ise sırasıyla birleşim noktasının altındaki kolona ait profil kesit yüksekliği ve birim ağırlığını ifade etmektedir.



Şekil 3.14 - Kolon - Kiriş Birleşiminin Geometrisi

3.4 Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı

Bir yapının tasarımı yapılırken; öncelikle yapının taşıyıcı sistemi ve yapıya etkiyen yükler belirlenmelidir. Kritik yükleme durumlarına göre yapı analiz edilerek yapısal elemanlar ve düğüm

noktalarında oluşan kuvvetler bulunmalıdır. Elemanlar ve düğüm noktalarına gelen kuvvetleri karşılayacak şekilde kapasite değerleri dahilinde boyutlandırma yapılmalıdır.

Yapının tasarımında, elemanlarda oluşan gerilmeler ve deplasmanlar kontrol edildiği gibi yapının kullanılabilirliğinin de sağlanması gerekmektedir. Ayrıca yapıların projelendirilmesi aşamasında yapının inşaat maliyetinin de önemi göz ardı edilmemelidir. Çelik yapılarda yapı ağırlığının en düşük olduğu yapılar maliyetinin de en düşük olduğu yapılardır. Bu nedenle, çelik yapı tasarımında her zaman diğer tüm sınırlayıcıları sağlayacak şekilde en düşük yapı ağırlığı amaçlanarak tasarım yapılmalıdır.

3.4.1 Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı İçin Matematiksel Model

Bir optimizasyon problemine başlamadan önce problem için amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve tasarım sınırlayıcılarının belirlenmesi gerekmektedir. Düzlemsel çelik çerçevelerin optimum tasarım için tasarım sınırlayıcıları olarak, LRFD'ye göre aşağıdaki sınırlayıcılar kullanılır.

$$\text{Deplasman için ;} \quad \delta_i \leq \delta_{iu} \quad , \quad i = 1, \dots, nd \quad (3.64)$$

$$\text{Kat ötelemesi için;} \quad (\delta_j - \delta_{j-1}) / h_j \leq \delta_{ju} \quad , \quad j = 1, \dots, ns \quad (3.65)$$

$$\text{Kesme dayanımı için;} \quad \phi_b V_n = V_u \quad (3.66)$$

$$\begin{aligned} \text{Birleşik dayanım oranı için;} \quad & \frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0,2 \quad \text{için} \quad \left(\frac{P_u}{\phi_c P_n} \right)_{il} + \left(\frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right)_{il} \right) \leq 1,0 \\ & \frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 0,2 \quad \text{için} \quad \left(\frac{P_u}{2\phi_c P_n} \right)_{il} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right)_{il} \leq 1,0 \quad (3.67) \\ & i = 1, \dots, nm \\ & l = 1, \dots, nl \end{aligned}$$

$$\text{Geometrik uygunluk için;} \quad B_{jb} \leq B_{jc} \quad j = 1, \dots, nj \quad (3.68)$$

$$\begin{aligned} D_{s+1} &\leq D_s \quad s = 1, \dots, nu \\ m_{s+1} &\leq m_s \end{aligned} \quad (3.69)$$

denklemleri kullanılır. Optimizasyon problemi için amaç fonksiyonu ise;

$$W = \sum_{k=1}^{ng} m_k \sum_{l=1}^{nk} L_l \quad (3.70)$$

olarak belirlenmiştir. Burada; W yapının toplam ağırlığını, ng yapıda bulunan toplam grup sayısını, m_k k grubu için seçilen profil kesitlerin birim ağırlığını, L_i k grubunda grupta bulunan i numaralı elemanın boyunu ve n_k ise k grubunda bulunan toplam eleman sayısını ifade etmektedir.

Bu çalışmada, ele alınan problem kesitli bir optimizasyon problemidir. LRFD’de belirtilmiş olan I (W) kesitli profillerin tamamı 1 ile 272 arasında numaralandırılarak, eleman üzerinde oluşacak gerilmeleri ve tasarım sınırlarını sağlayacak şekilde uygun kesit sıra numaraları seçilerek yapının tasarımı yapılmıştır. Tüm sınırlayıcıları ve gerilme koşullarını sağlayan çözümler arasında optimum olan yani yapı ağırlığının minimum olduğu çözüm ise parçacık sürü optimizasyon algoritması ve av arama optimizasyon algoritması kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır.

3.4.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması İle Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı

Minimum yapı ağırlığının amaçlandığı optimizasyon problemi için kullanılacak olan parçacık sürü optimizasyon algoritması için FORTRAN programlama dili kullanılarak bir kod hazırlanmıştır. Parçacık sürü optimizasyon algoritması için; optimum çözümün aranmasında aşağıdaki adımlar takip edilmelidir.

- Öncelikle, ele alınacak olan yapının geometrisi ve yükleri belirlenmelidir. Yapı elemanları gruplara ayrılmalıdır.
- Algoritmanın başlayabilmesi için, parçacıkların başlangıç konum belirlenmelidir. Bu konumlar kesikli optimizasyon problemlerinde profil kesitlerini belirleyen sıra numaralarıdır.
- Çerçeve matris deplasman yöntemi kullanılarak analiz edilir ve eleman kuvvetleri ile birlikte deplasmanlar hesaplanır.
- Tasarım sınırlayıcılarının kontrolü amacıyla geri uçuş mekanizması kullanılır ve her hangi bir tasarım sınırlayıcısının sağlanmaması durumunda söz konusu çözüm terk edilerek yeni bir çözüm geliştirilmeye başlanır.
- Tasarım sınırlayıcılarının tümünü sağlayan uygun çözümler elde edildikten sonra parçacık sürü algoritması için iterasyon adımları başlayabilir. Her bir iterasyon adımında en düşük yapı ağırlığının elde edildiği çözüm optimum çözüm olarak kabul edilir. Tasarım değişkenlerinin hız ve konum durumlarına göre yeni bir tasarım geliştirilir ve sonraki iterasyon adımlarına devam edilir.

- Bir sonraki adımda yine tasarım sınırlayıcıları kontrol edilerek uygun çözümler arasından, daha önceki adımda belirlenen optimum çözümden daha iyi (daha hafif yapı) bir sonuç elde edilirse, bu değer yeni optimum çözüm olarak kaydedilir.
- Bu işlemler önceden belirlenmiş olan iterasyon sayısı kadar tekrarlanır ve elde edilmiş olan en hafif yapının elde edildiği çözüm optimum çözümdür.

3.4.3 Av Arama Optimizasyon Algoritması İle Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı

Minimum yapı ağırlığının amaçlandığı optimizasyon problemi için kullanılacak olan av arama optimizasyon algoritması için FORTRAN programlama dili kullanılarak bir kod hazırlanmıştır. Av arama optimizasyon algoritması için; optimum çözümün aranmasında aşağıdaki adımlar takip edilmelidir.

- Çerçeve geometrisi ve yükleri belirlenerek, kolon-kiriş bağlantı tipine karar verilmelidir. Çerçeveyi oluşturan elemanlar gruplandırılmalıdır.
- Avcı grubu optimizasyon prosedürüne başlamadan önce belirlenmiş olan avcı sayısı kadar aday çözüm tasarım kısıtlayıcıları kullanılarak elde edilen uygun çözümler arasından seçilerek oluşturulur. Grup içerisinde en iyi konuma sahip olan avcı lider olarak tayin edilir.
- Uygun çözümlere sahip avcıların tayini için öncelikle çerçeve matris deplasman yöntemi kullanılarak analiz edilir ve eleman uç kuvvetleri ve deplasmanlar belirlenir. Kolon kiriş birleşiminde kullanılacak olan bağlantı elemanlarının boyutları belirlenir.
- Tasarım sınırlayıcılarının kontrolünü üstlenen geri uçuş mekanizması kullanılır ve her hangi bir tasarım sınırlayıcısının sağlanmaması durumunda söz konusu çözüm terk edilerek yeni bir çözüm geliştirilmeye başlanır.
- Grup içerisinde lidere doğru bir yöneliş söz konusudur. Her avcı için lidere doğru yapılan hareket başarı ile sonuçlanmışsa, avcı yeni konumunda kalır. Avcıların bu yeni uygun çözümler içerisinde en hafif yapı ağırlığını veren çözümler yeni lider olarak belirlenir. Fakat lidere doğru olan hareket başarılı olmamışsa, avcı eski konumuna geri döner. Burada lidere doğru yapılmış olan hareketin başarılı sayılabilmesi, avcının yeni konumunun eskisinden daha iyi olması ile ilgilidir. Bu algorithmada avcılar her zaman mevcut konumlarını bir önceki konumları ile kıyaslarlar ve dolayısıyla iyi olan çözüm hiçbir zaman terk edilmemiş olur.
- Diğer adımda avcılar birbirleri ile işbirliği içerisinde konumlarını düzeltirler. Lidere doğru yapılan hareketten sonra en iyi çözüm için bireyler kendilerine yeni bir konum seçerler.

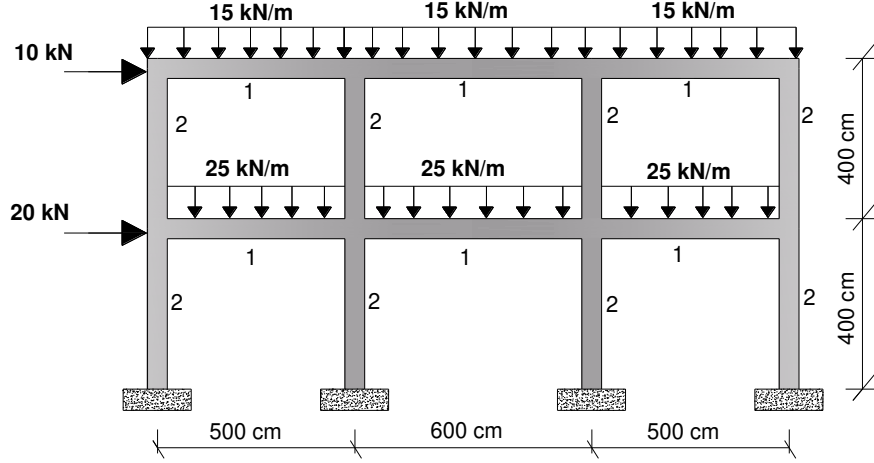
- Bir sonraki adım avcı grubunun tekrar organize olduğu adımdır. Avcılar yerel bir optimum noktada karar kılmak yerine, yeniden organize olarak başka bir çözüm arayışına girerler.
- Belirlenen iterasyon sayısı tamamlanıncaya kadar bu işlemler tekrarlanır

3.4.4 Tasarım Örnekleri

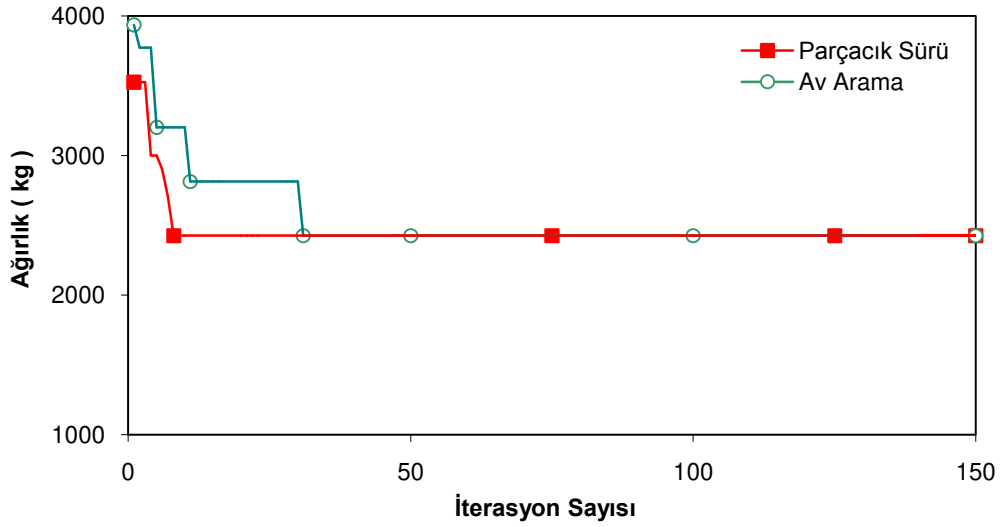
Düğüm noktalarında birleşimin rijit davranış gösterdiği öngörülen beş farklı düzlemsel çerçeve ele alınmıştır. Optimum çözümün en küçük yapı ağırlığı olduğu problemler için, söz konusu düzlemsel çerçeveler parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yöntemi ile ayrı ayrı analiz edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki yöntem için problem kesikli optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Düzlemsel çerçevelerde taşıyıcı elemanların (kolon ve kiriş) kesiti I profil olacak şekilde tasarlanmıştır. Profil kesitleri; en küçüğü W100X19,3 mm ve en büyüğü W1100X499 mm olmak üzere toplam 272 farklı kesitten oluşan ve LRFD-AISC'de verilmiş olan profiller arasından uygun kesitler seçilerek belirlenmiştir.

3.4.4.1 İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çelik Çerçeve

Ele alınan ilk örnek olarak Şekil 3.15.'de görülmekte olan iki katlı ve üç açıklıklı düzlemsel çerçeve belirlenmiştir. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları , yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları şekil üzerinde gösterilmiştir. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katta 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler varsayılırken; yatay yük olarak ise çatı katında 10 kN normal katta ise 20 kN büyüklüğünde tekil yükler varsayılarak düğüm noktalarına etkilmiştir. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapının tepe maksimum noktası deplasmanı, yapı yüksekliğinin 1/300 oranında sınırlandırılmıştır. Taşıyıcı elemanların kapasite değerleri LRFD–AISC şartnamesine göre hesaplanmıştır. Çelik için elastisite modülü olarak 200 kN/mm² kabul edilmiştir. Yapıda bulunan kirişler ve kolonlar için olmak üzere tüm elemanlar iki farklı grup altında ele alınmıştır. Kirişler için 1 numaralı grup, kolonlar için ise 2 numaralı grup belirlenmiştir.



Şekil 3.15 - İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çelik Çerçeve

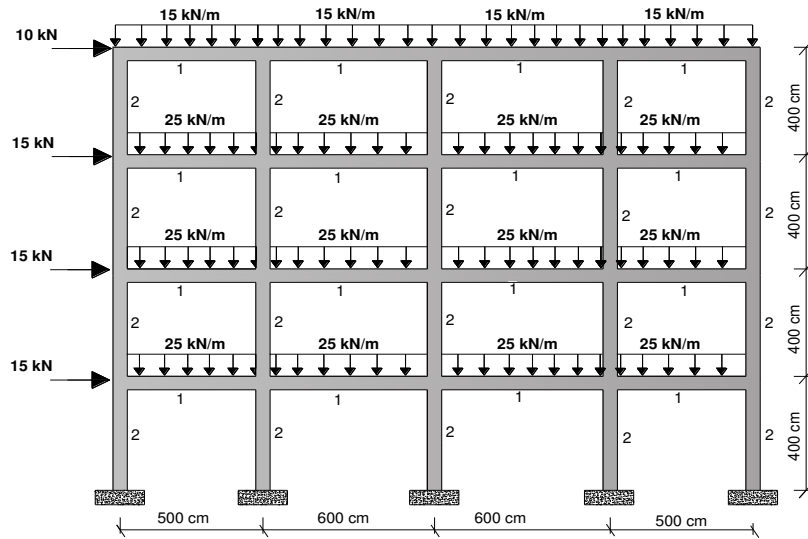


Şekil 3.16 - İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları

Çerçeve ağırlığı optimizasyon problemi için; parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yöntemi olmak üzere iki farklı çözüm yapılarak elde edilen sonuçlar Şekil 3.16'de verilmiştir. Bulunan en uygun sonuçlar ise Çizelge 3.1.'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Belirlenen eleman grupları için tasarlanmış profil kesitleri çizelgeden görülebilmektedir. Her iki yöntemde de minimum yapı ağırlığı olarak 2427,749 kg belirlenmiş olup, tepe noktası deplasmanı 1,95 cm ve elemanlar üzerinde oluşan maksimum bileşik dayanım oranı 0,98 olduğu görülmektedir. Elemanların kesmeye karşı daha güvenli durumda oldukları ve bileşik dayanım sınırlayıcısının boyutlandırmada etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1 - İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çerçevenin Optimum Tasarım Sonuçları

Grup No	Eleman Tipi	Parçacık Sürü Yöntemi	Av Arama Yöntemi
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1
2	Kolon	W150X29,8	W150X29,8
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,73	0,73
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,98	0,98
Tepe noktası deplasmanı (cm)		1,95	1,95
Maksimum kesme oranı		0,26	0,26
Minimum yapı ağırlığı (kg)		2427,749	2427,749
Minimum yapı ağırlığı (kN)		23,808	23,808

3.4.4.2 Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve**Şekil 3.17** - Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve

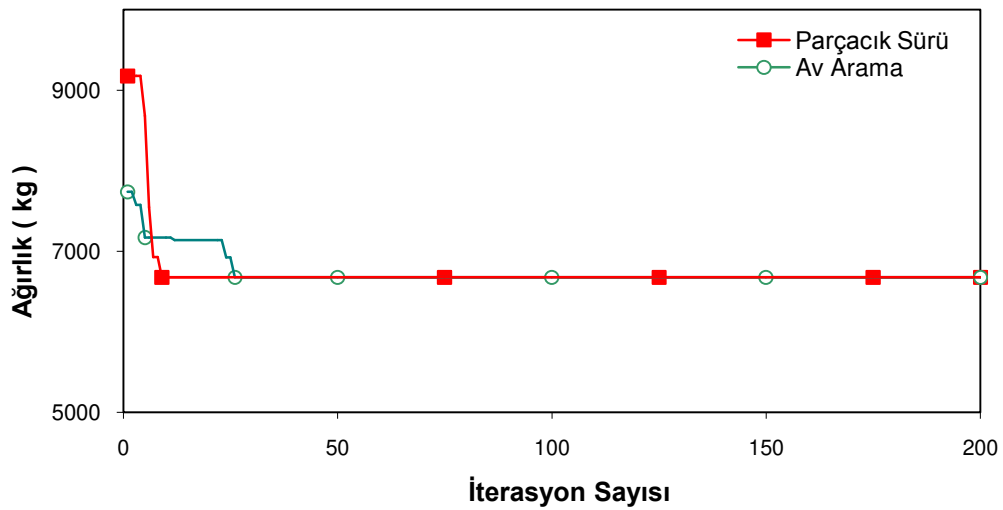
Ele alınan ikinci örnek olarak Şekil 3.17.'de görülmekte olan dört katlı ve dört açıklıklı düzlemsel çerçeve belirlenmiştir. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları, yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları şekil üzerinde gösterilmiştir. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katlarda 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler varsayılırken; yatay yük olarak ise çatı katında 10 kN normal katlarda ise 15 kN büyüklüğünde tekil yükler düğüm noktalarına yüklenmiştir. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapının maksimum tepe noktası deplasmanı, yapı yüksekliğinin 1/300 oranında sınırlandırılmıştır. Taşıyıcı elemanların kapasite değerleri LRFD – AISC şartnamesine göre hesaplanmıştır. Çelik için elastisite modülü olarak 200 kN/mm² kabul edilmiştir. Yapıda toplam

otuz altı eleman bulunmaktadır ve kirişler ve kolonlar için olmak üzere tüm elemanlar iki farklı grup altında ele alınmıştır. Kirişler 1 numaralı grup, kolonlar için ise 2 numaralı grup altında toplanmıştır.

Çerçevenin ağırlığı optimizasyon problemi için; parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yöntemi olmak üzere iki farklı çözüm yapılarak elde edilen sonuçlar Şekil 3.18.'de verilmiştir. En uygun sonuçlar parçacık sürü yönteminde 9 iterasyon sonunda elde edilirken av arama yönteminde 26 iterasyon sonucunda bulunmuştur. Bulunan en uygun sonuçlar ise Çizelge 3.2.'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Belirlenen eleman grupları için tasarlanmış profil kesitleri çizelgeden görülebilmektedir. Her iki yöntemde de minimum yapı ağırlığı olarak 6674,679 kg belirlenmiş olup, tepe noktası deplasmanı 2,92 cm ve elemanlar üzerinde oluşan maksimum bileşik dayanım oranı 0,99 olduğu görülmektedir. Elemanların kesmeye karşı daha güvenli durumda oldukları ve bileşik dayanım sınırlayıcısının boyutlandırmada etkili olduğu görülmektedir.

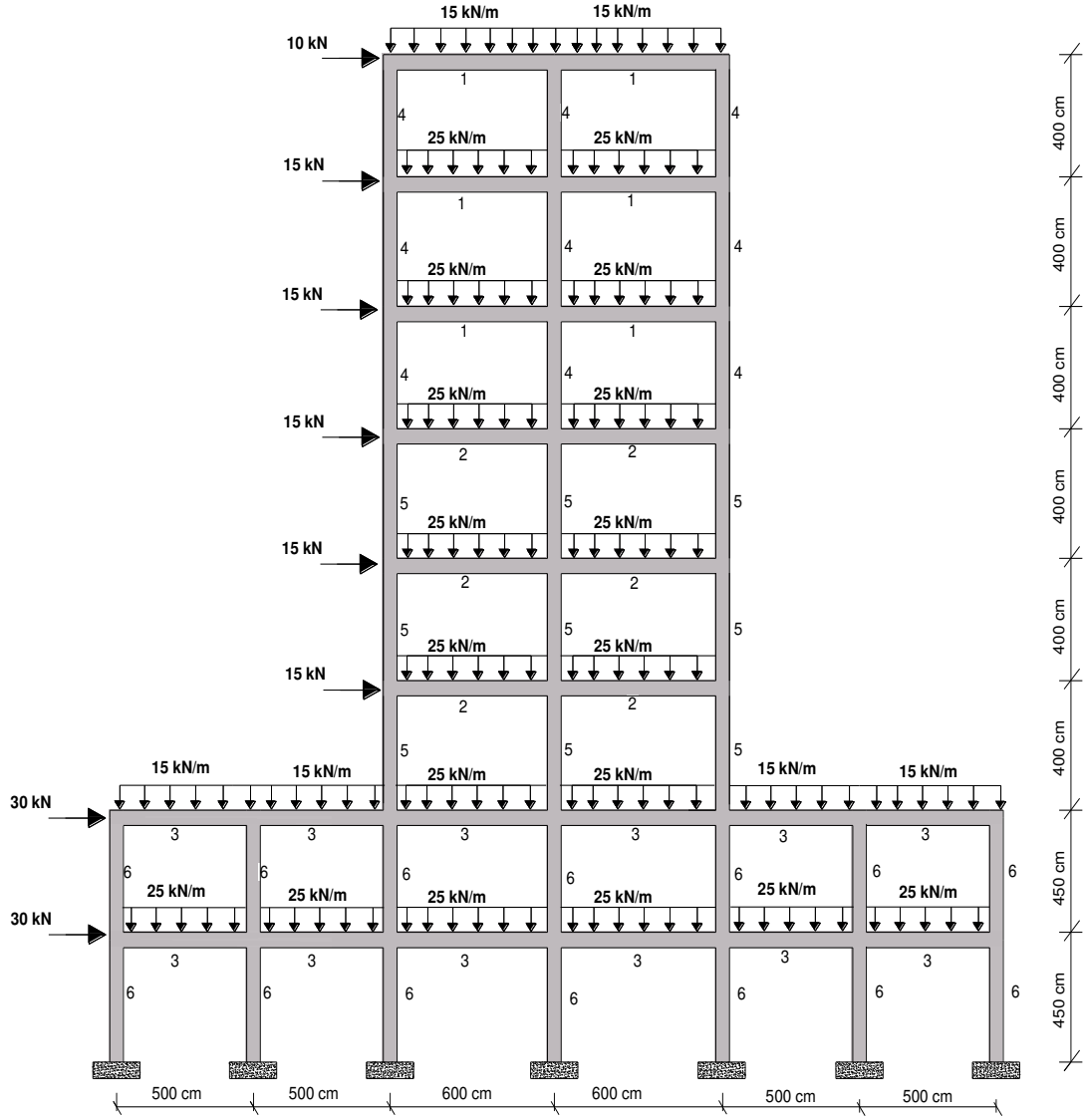
Çizelge 3.2 - Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçevenin Optimum Tasarım Sonuçları

Grup No	Eleman Tipi	Parçacık Sürü Yöntemi	Av Arama Yöntemi
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1
2	Kolon	W250X32,7	W250X32,7
Maksimum göreceli kat ötelemesi oranı		0,70	0,70
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,99
Tepe noktası deplasmanı (cm)		2,92	2,92
Maksimum kesme oranı		0,27	0,27
Minimum yapı ağırlığı (kg)		6674,679	6674,679
Minimum yapı ağırlığı (kN)		65,456	65,456



Şekil 3.18 - Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları

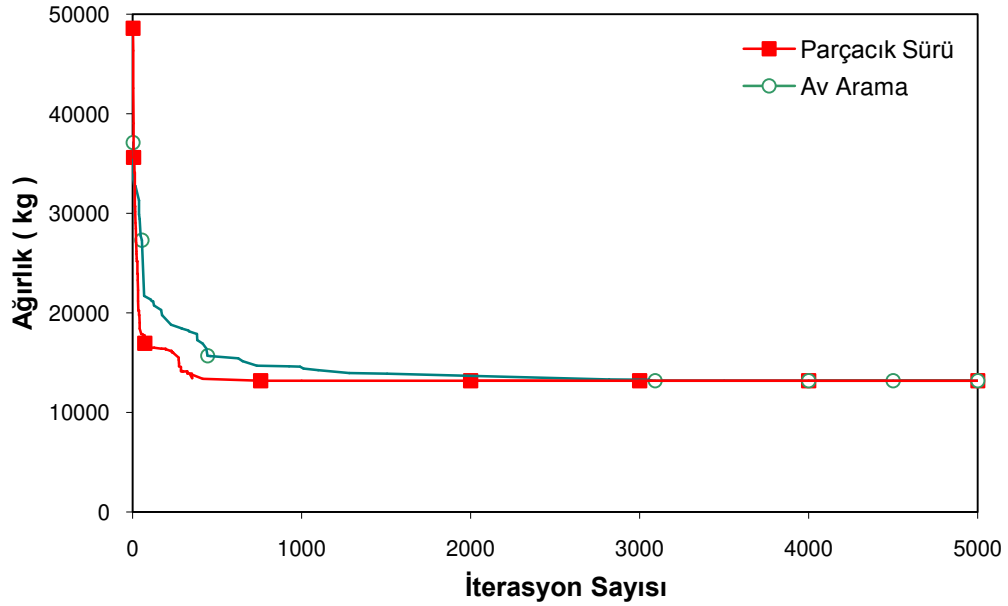
3.4.4.3 Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çelik Çerçeve



Şekil 3.19 - Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çelik Çerçeve

Şekil 3.19.'da görülmekte olan sekiz katlı ve altı açıklıklı düzlemsel çerçeve üçüncü boyutlandırma örneği olarak ele alınmıştır. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları, yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları şekil üzerinde gösterilmiştir. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katlarda 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler varsayılrken; yatay yük olarak ise çatı katında 10 kN yapının en alttaki iki katında 30kN ve diğer katlarda ise 15 kN büyüklüğünde tekil yükler varsayılarak düğüm noktalarına yüklenmiştir. Yapının alttan ilk iki katında kat yüksekliği 4,5m olarak belirlenirken diğer katlarda kat yüksekliği olarak 4,0m olarak düşünülmüştür. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapının maksimum tepe noktası deplasmanı, yapı

yüksekliğinin 1/300 oranında sınırlandırılmıştır. Taşıyıcı elemanların kapasite değerleri LRFD – AISC şartnamesine göre hesaplanmıştır. Yapıda toplam elli altı eleman bulunmaktadır. Kirişler; üstten ilk üç kat için 1 numaralı grup, diğer üç kat için 2 numaralı grup ve alttan iki kat için ise 3 numaralı eleman grupları olarak ayrılmıştır. Aynı şekilde kolonlar da; üstten ilk üç kat için 4 numaralı grup, diğer üç kat için 5 numaralı grup ve alttan iki kat için ise 6 numaralı eleman grupları olarak ayrılmıştır.



Şekil 3.20 - Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları

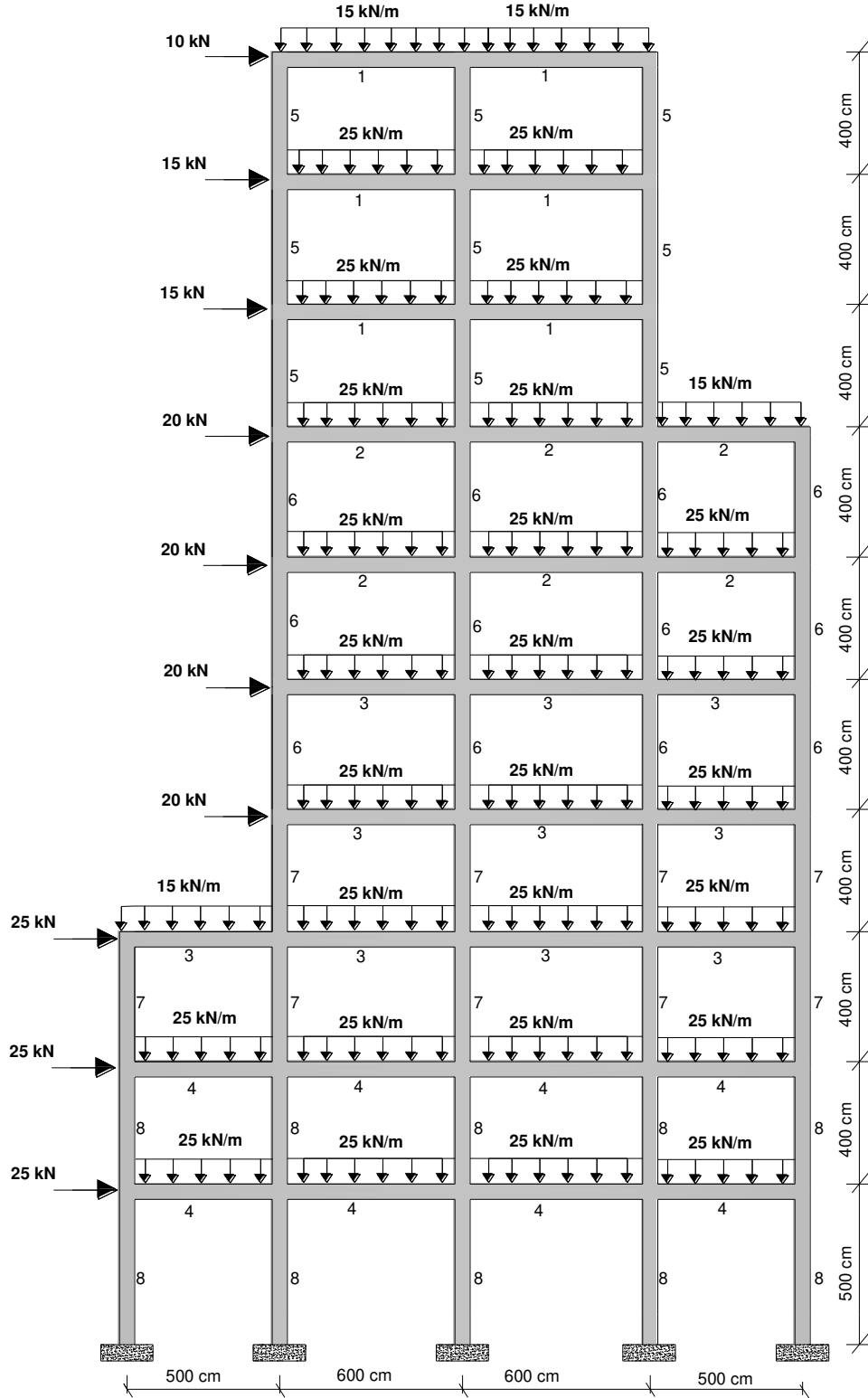
Çerçevenin ağırlığı optimizasyon problemi için; parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yöntemi olmak üzere iki farklı çözüm yapılarak elde edilen sonuçlar Şekil 3.20'de verilmiştir. En uygun sonuçlar parçacık sürü yönteminde 755 iterasyon sonunda elde edilirken av arama yönteminde 3090 iterasyon sonucunda bulunmuştur. Bulunan en uygun sonuçlar ise Çizelge 3.3.'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Belirlenen eleman grupları için tasarlanmış profil kesitleri çizelgeden görülebilmektedir. Her iki yöntemde de minimum yapı ağırlığı olarak 13186,810 kg elde edilmiş olup, tepe noktası deplasmanının 8,79 cm ve elemanlar üzerinde oluşan maksimum bileşik dayanım oranının 0,99 olduğu görülmektedir. Elemanların kesmeye karşı daha güvenli durumda oldukları ve bileşik dayanım sınırlayıcısı ile birlikte maksimum görelî kat ötelemesini sınırlayıcısının boyutlandırmada etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3 - Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları

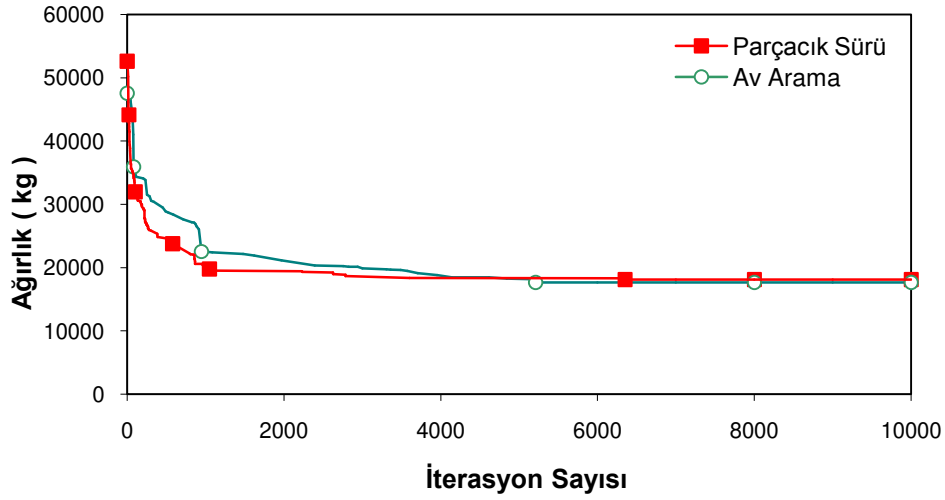
Grup No	Eleman Tipi	Parçacık Sürü Yöntemi	Av Arama Yöntemi
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1
2	Kiriş	W460X52	W460X52
3	Kiriş	W460X52	W460X52
4	Kolon	W250X32,7	W250X32,7
5	Kolon	W310X52	W310X52
6	Kolon	W460X52	W460X52
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,98	0,98
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,99
Tepe noktası deplasmanı (cm)		8,79	8,79
Maksimum kesme oranı		0,29	0,29
Minimum yapı ağırlığı (kg)		13186,810	13186,810
Minimum yapı ağırlığı (kN)		129,318	129,318

3.4.4.4 On Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve

Şekil 3.21’de görülmekte olan on katlı ve dört açıklıklı düzlemsel çerçeve dördüncü optimum boyutlandırma problemi olarak ele alınmıştır. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları , yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları şekil üzerinde gösterilmiştir. Yapıda kat yükseklikleri alttan ilk katta 5,0m diğer katlarda 4,0m olacak şekilde tasarlanmıştır. Çerçevede kenar açıklıklar 5,0 m iken orta açıklıklar 6,0 m’dir. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katlarda 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler hesaba katılmıştır. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapının maksimum tepe noktası deplasmanı, yapı yüksekliğinin 1/300 oranında sınırlandırılmıştır. Taşıyıcı elemanların kapasite değerleri LRFD – AISC şartnamesine göre hesaplanmıştır. Yapıda toplam yetmiş dört eleman bulunmaktadır. Yapıda bulunan kirişler; üst katlardan alt katlara doğru 1 ile 4 arasında grup numaraları ile ayrılırken, kolonlar ise yine üst katlardan alt katlara doğru 5 ile 8 arasında değişen grup numaraları ile ayrılmıştır.



Şekil 3.21 - On Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve



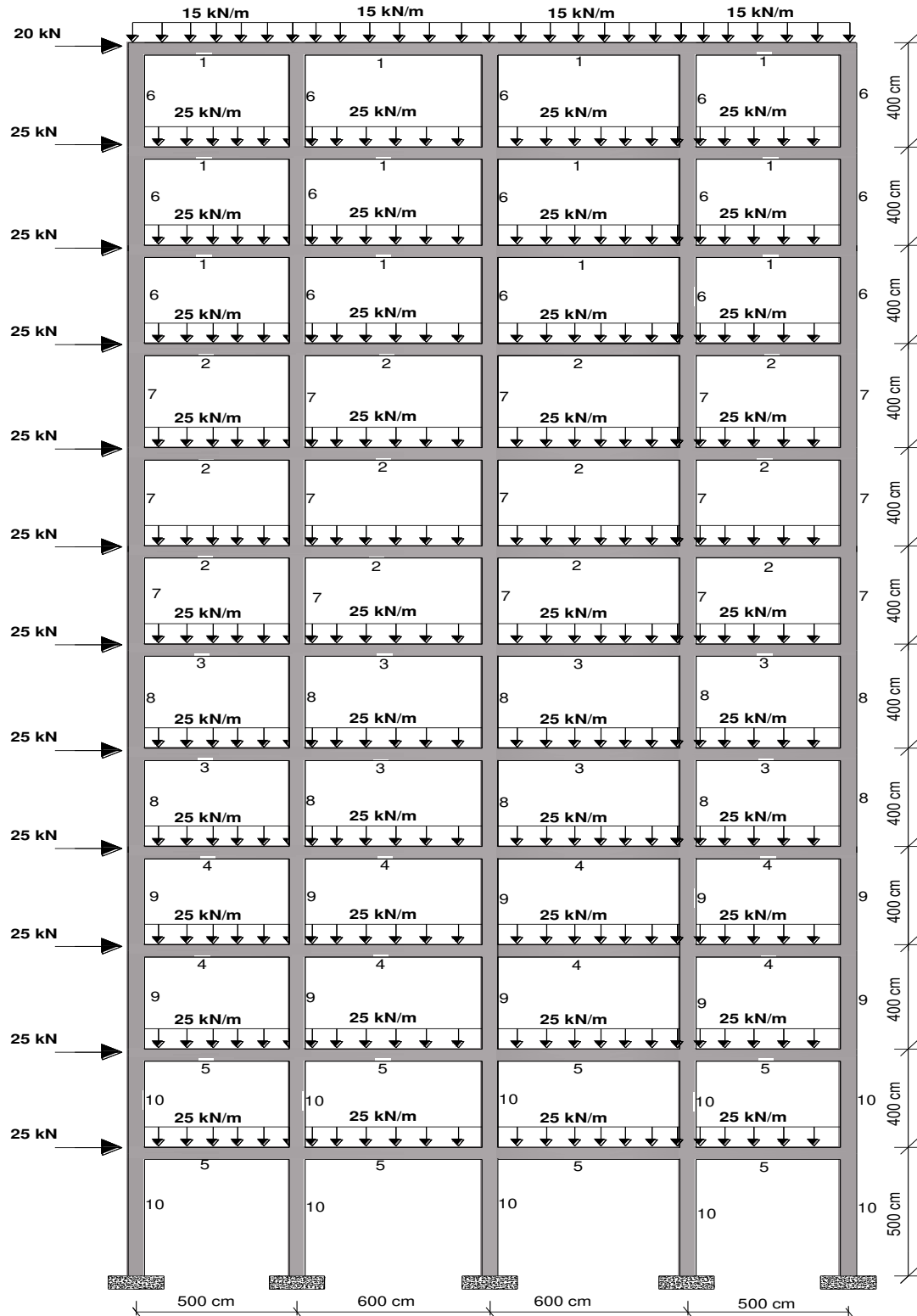
Şekil 3.22 - On Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları

Minimum yapı ağırlığı için; parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yöntemi olmak üzere iki farklı arama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 3.22'de verilmiştir. En uygun sonuçlar parçacık sürü yönteminde 6350 iterasyon sonunda minimum yapı ağırlığı olarak 18121,550 kg olarak bulunurken; av arama yönteminde 5213 iterasyon sonucunda 17663,790 kg olarak bulunmuştur. Bulunan en uygun sonuçlar ise Çizelge 3.4'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Belirlenen eleman grupları için tasarlanmış profil kesitleri çizelgeden görülebilmektedir. Av arama yönteminde bulunan sonuçların parçacık sürü optimizasyon yöntemine göre daha uygun olduğu görülmektedir. Yapının tepe noktası deplasmanı parçacık sürü optimizasyonu yönteminde 10,39 cm iken av arama yönteminde 10,81 cm olarak bulunmuştur. Elemanlar üzerinde oluşan en büyük bileşik dayanım oranı her iki yöntemde de 1,00 olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.4 - On Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları

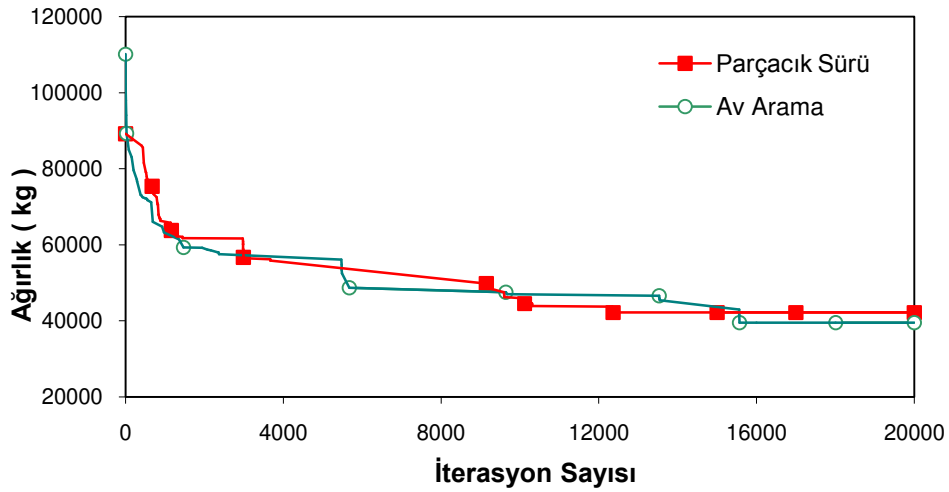
Grup No	Eleman Tipi	Parçacık Sürü Yöntemi	Av Arama Yöntemi
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1
2	Kiriş	W460X52	W410X46,1
3	Kiriş	W460X52	W460X52
4	Kiriş	W460X52	W460X52
5	Kolon	W250X38,5	W360X44
6	Kolon	W460X60	W360X51
7	Kolon	W460X60	W460X52
8	Kolon	W460X68	W460X74
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,96	0,99
Maksimum bileşik dayanım oranı		1,00	1,00
Tepe noktası deplasmanı (cm)		10,39	10,81
Maksimum kesme oranı		0,29	0,29
Minimum yapı ağırlığı (kg)		18121,550	17663,790
Minimum yapı ağırlığı (kN)		177,711	173,222

3.4.4.5 On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve



Şekil 3.23 - On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve

Son boyutlandırma örneği olarak, Şekil 3.23'de görülmekte olan on iki katlı ve dört açıklıklı düzlemsel çerçeve ele alınmıştır. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları, yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları şekil üzerinde gösterilmiştir. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katlarda 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler yüklenmiştir. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapıda toplam yüz sekiz eleman bulunmaktadır. Yapıda bulunan kirişler; üst katlardan alt katlara doğru 1 ile 5 arasında grup numaraları ile ayrılırken, kolonlar ise yine üst katlardan alt katlara doğru 6 ile 10 arasında değişen grup numaraları ile ayrılmıştır.



Şekil 3.24 - On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları

Her iki arama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 3.24'te verilmiştir. En uygun sonuçlar parçacık sürü yönteminde 12360 iterasyon sonunda minimum yapı ağırlığı olarak 42220,050 kg şeklinde bulunurken; av arama yönteminde 15572 iterasyon sonucunda elde edilen optimum çerçeve ağırlığı 39478,250 kg olarak bulunmuştur. Bulunan en uygun sonuçlar ise Çizelge 3.5'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Yapının tepe noktası deplasmanı; parçacık sürü optimizasyonu yönteminde 11,97 cm iken av arama yönteminde 12,60 cm olarak bulunmuştur. Elemanlar üzerinde oluşan en büyük bileşik dayanım oranı her iki yöntemde de 1,00 olduğu görülmektedir. Maksimum görelî kat ötelemesi oranları ise parçacık sürü yöntemi ve av arama yönteminde sırasıyla 0,96 ve 0,97 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.5 - On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve İçin Optimum Tasarım Sonuçları

Grup No	Eleman Tipi	Parçacık Sürü Yöntemi	Av Arama Yöntemi
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1
2	Kiriş	W460X60	W410X67
3	Kiriş	W460X52	W410X60
4	Kiriş	W460X60	W460X68
5	Kiriş	W460X74	W410X53
6	Kolon	W250X38,5	W310X38,7
7	Kolon	W360X134	W410X75
8	Kolon	W360X134	W410X85
9	Kolon	W760X134	W610X101
10	Kolon	W760X134	W610X217
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,96	0,97
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,99
Tepe noktası deplasmanı (cm)		11,97	12,60
Maksimum kesme oranı		0,28	0,31
Minimum yapı ağırlığı (kg)		42220,050	39478,250
Minimum yapı ağırlığı (kN)		414,035	387,147

4 YARI - RİJİT BAĞLANTI NOKTALARINA SAHİP DÜZLEMSEL ÇELİK ÇERÇEVELERİN LRFD ŞARTNAMESİNE GÖRE OPTİMUMUM TASARIMI

4.1 Yarı - Rijit Bağlantılı Çerçeveler

Yapı mühendisliğinde, çelik yapı malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat çelik yapılarda yapılan hesaplarda birleşim noktalarının gerçek davranışları dikkate alınmamaktadır. Hesaplarda birleşim noktalarının ya tam mafsallı ya da tamamen moment aktarabilen özellikte olduğu kabul edilir. Kolon-kiriş birleşim noktalarında moment aktaran çelik çerçeveler en çok kullanılan yapı sistemlerinden biridir. Bu sistemler, hazır veya yapma profillerin birbirlerine kaynak veya bulonlarla birleştirilmesi ile oluşturulur. Söz konusu profiller, çerçeve sistemde kiriş-kolon elemanlar olarak adlandırılır ve kırış-kolon eleman olarak boyutlandırılır. Tam anlamıyla doğru bir tasarım yapılabilmesi için kolon-kiriş birleşim noktasında medyana gelen gerçek davranışın hesaplarda göz önüne alınması gereklidir.

Çelik çerçevelerinin analizinde kolon – kiriş birleşimleri ideal mafsallı veya rijit davranış varsayımı ile modellenir. Rijit bağlantılarda birleşim yerinin rijitliğinin sonsuz olduğu, ideal mafsalda ise bağlantı noktasının rijitliğinin sıfır olduğu varsayılır. Yani mafsallı birleşimde birleşimi oluşturan elemanlar arasında moment aktarılmadığı sadece birbirlerine göre dönme yaptıkları kabul edilir. Rijit birleşimde ise birleşimi oluşturan elemanların birbirlerine moment aktardığı ve kolon-kiriş elemanlar arasında dönmenin olmadığı kabul edilir. Bu kabullerle yapıyı oluşturan elemanlara etkiyen dış tesirler dikkate alınarak çerçeveyi oluşturan elemanlar boyutlandırılır.

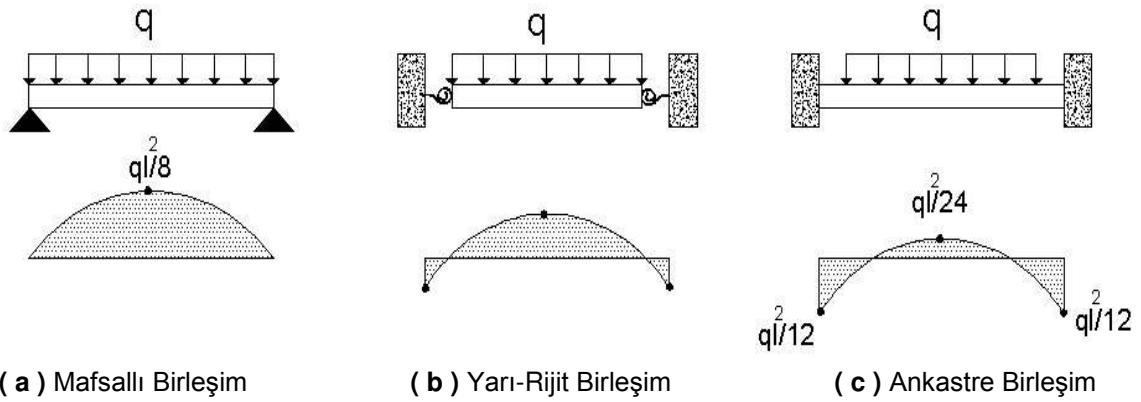
Bu kabuller ışığında yapıların analizi ve tasarımı daha basit bir hal almaktadır. Fakat yapılan bu kabuller sonucunda ortaya çıkan tablo, çerçevenin gerçek davranışını tam olarak yansıtmamaktadır. İdealleştirilerek analiz edilen yapı davranışı ile yapının gerçek davranışı arasında farklılıkların olması kaçınılmazdır. Çünkü çelik çerçevelerde kullanılan birleşimler gerçekte yarı rijit bir davranış sergilemektedir. Bu durumda yarı rijit düğüm noktası kavramı ortaya çıkmaktadır. Bu kavram ise şöyle tanımlanabilir; birleşimi oluşturan elemanlar arasında moment aktarımının olduğu (yani rijit bileşim gibi davrandığı) ve aynı zamanda birleşimi oluşturan elemanlar arasında da rölatif dönmenin olduğu (yani mafsallı bileşim gibi davrandığı) düğüm noktalarıdır (LRFD-AISC,1999).

AISC çelik yapı yönetmeliği; çelik yapı birleşimlerini tamamen ve kısmen sınırlanmış birleşimler olmak üzere iki tip olarak tanımlamıştır (LRFD-AISC,1999). Tamamen sınırlanmış olan tipte kolon – kiriş birleşimlerinin rijit bağlı davranış, kısmen sınırlanmış olan tipte ise kolon-kiriş bağlantılarının rijit ve mafsallı bağlantı davranış arasında belli bir moment kapasitesine sahip

olduğu kabul edilmiştir. Birleşimlerdeki açısal şekil değiştirme sonucunda çerçevede meydana gelen ilave eksantriklik kolon elemanlardaki $P-\Delta$ etkilerini artırarak çerçeve stabilitesini bozmaktadır. Hesaplarda kolon – kiriş birleşimlerdeki lineer olmayan bu davranışın göz önüne alınması daha gerçekçi ve ekonomik sonuçlar vermektedir (Budak,2007).

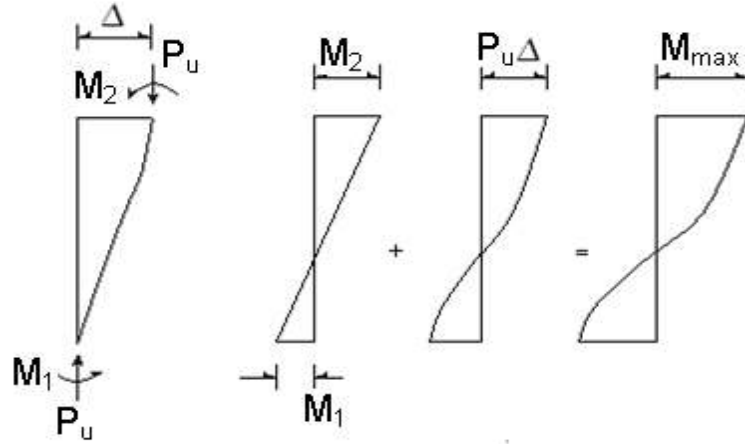
4.2 Yarı Rijit Birleşim Davranışı

Yarı rijit birleşimlerin diğer birleşim türlerinden farklılıklarını, tek açıklıklı düzgün yayılı yüklü kiriş üzerinde inceleyebiliriz. Şekil 4.1.a'da düğüm noktaları ideal mafsallı davranışı gösterecek şekilde tasarlanan kiriş için maksimum eğilme momenti, kiriş orta noktasında meydana gelmektedir. Şekil 4.1.c'de görüldüğü gibi, düğüm noktalarının tamamen rijit bir davranış gösterdiği kiriş için maksimum eğilme momenti mesnetlerde oluşur ve bu momentin büyüklüğü, ideal mafsallı davranışı gösteren kirişin açıklık momentinden daha küçük değerdedir. Şekil 4.1.b.'de yarı rijit davranış gösteren birleşime sahip kiriş için maksimum eğilme momenti mesnetlerde veya kiriş orta noktasında olabilir. Ancak bu değer her zaman için mafsallı kirişteki moment değerinden daha küçüktür. Düğüm noktasının rijitliği uygun bir değerde seçilmesi suretiyle mesnet ve açıklık momentinin birbirine yakın olduğu durumda hesap momentinin değerin daha küçük olması daha hafif yapı tasarımına olanak vermektedir (Değertekin ,2001).



Şekil 4.1 – Ankastre , Mafsallı ve Yarı Rijit Bağlantılı Kirişlerin Moment Dağılımları

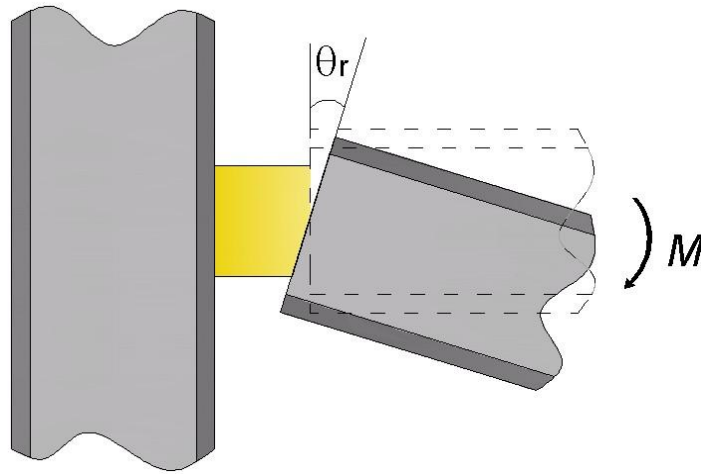
Çerçeve sistemlerde kolon – kiriş bağlantı noktalarının birleşimi, kaynaklı ya da bulonlu olarak tertip edilebilir. Ayrıca yardımcı eleman olarak da levhalar veya korniyerlerden faydalanılmaktadır. Bu elemanların bir arada kullanılmaları ile her bir bağlantı noktasının farklı şekillerde olacağı düşünülürse, birleşim mafsallı davranışı ile rijit davranış arasında lineer olmayan bir şekilde davranacağı öngörülebilir. Bu davranışta düğüm noktasında kısmen dönme, kısmen de moment oluşabilir (Şekil 4.2). Düğüm noktasına bir eğilme momenti etkidiğinde oluşacak olan açısal dönme yapıdaki kolonlarda ilave eksantrikliğin oluşmasına dolayısıyla ikincil momentlerin ($P-\Delta$) etkili olmasına sebep olur (Doğan ,2010).



Şekil 4.2 - Çerçeve Sistemde P- Δ Etkisi

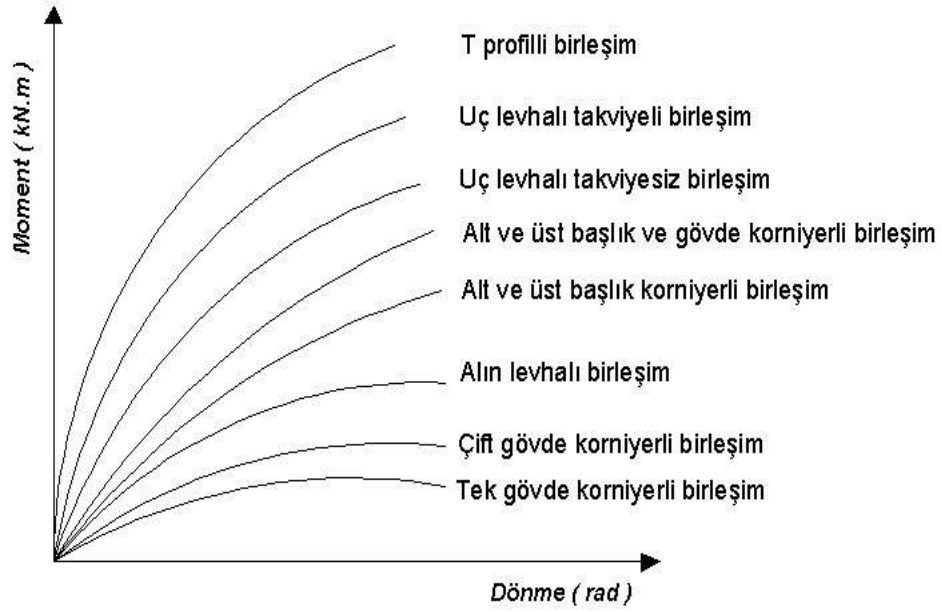
4.3 Yarı Rijit Birleşim Modeli

Birleşimler kuvvetleri bir elemandan diğer elemana aktaran araçlardır. Yapı sistemlerindeki birleşimlerin aktardığı en önemli tesir ise momenttir. Şekil 4.3'de M moment etkisi altında θ_r açısı kadar dönen bir birleşim elemanı görülmektedir.



Şekil 4.3 – Birleşim Noktasının Moment – Dönme İlişkisi

Şekil 4.4'de ise çok kullanılan yarı rijit birleşim tiplerinin moment – dönme eğrileri arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekilde de görülebildiği gibi yarı rijit davranış gösteren birleşim tiplerinden, tek gövde korniyerli birleşim diğer birleşim tiplerine göre daha küçük moment etkisinde büyük dönme sergilerken, T profilli birleşim en büyük moment değeri etkisinde en az dönmeyi yaparak rijit davranışa en yakın davranış gösteren birleşim tipi olmaktadır.



Şekil 4.4 – Birleşim Tipleri İçin Moment – Dönme Eğrilikleri

Bir birleşimin rijitlik veya esnekliği levha ve korniyer kalınlığı, bulon çapı, birleşim derinliği gibi geometrik parametrelere bağlıdır. Tüm yükleme durumlarına göre moment – dönme ilişkisi Şekil 4.4’de görüldüğü gibi lineer değildir ve birleşimin esnekliğine göre farklılıklar gösterir. Daha esnek bir birleşimin dönme kapasitesi daha fazla olurken, daha rijit birleşimin dönme kapasitesi daha sınırlı olacaktır (Değertekin,2001).

4.4 Yarı Rijit Bağlantı Tipleri

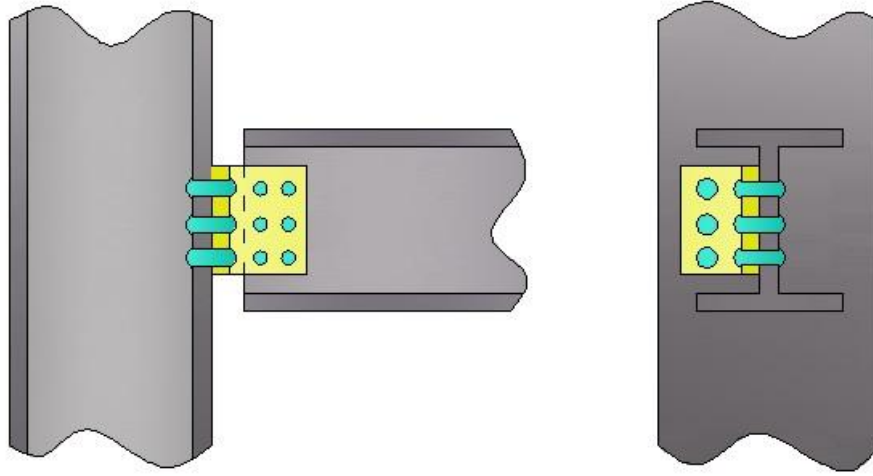
Kiriş - kolon birleşimlerinin gerçek davranışlarını incelemek amaçlı yapılan gerek deneysel gerekse teorik çalışmalar uzun yıllardan beri sürdürülmektedir. Fakat son birkaç yıldır yaygın olarak yapılmaktadır.

Pratiğe dönük uygulamaların bu kadar gecikmiş olmasının nedenlerinden en önemlisi, kiriş-kolon birleşimlerinin yapının tüm davranış parametrelerini dikkate alan bir yaklaşımla sınıflandırılabilmesinin çok güç olmasıdır. Bu durum, pek çok birleşim tipinin ve buna bağlı olarak da fazla sayıda değişkenin mevcut olmasının doğal bir sonucudur.

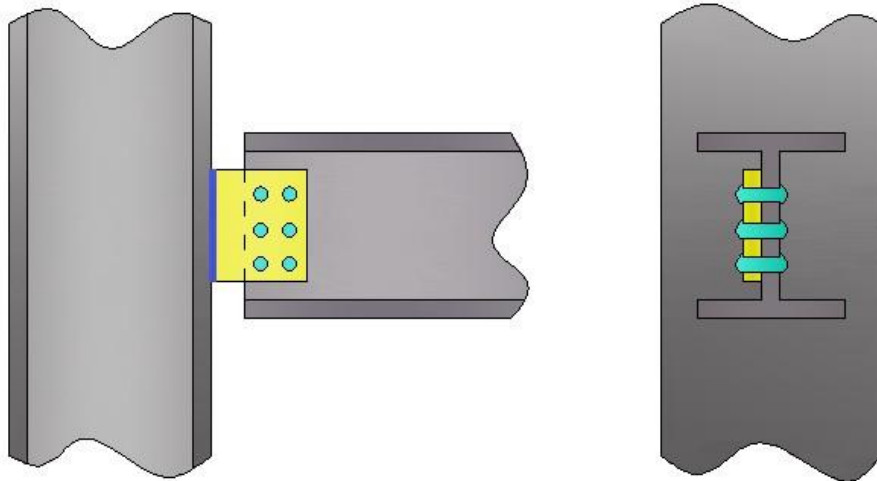
Yapı sistemlerinde birleşimler tarafından aktarılan en önemli etkiler momentlerdir. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda birleşimler moment aktarabilme kapasitelerine göre sınıflandırmaya çalışılmıştır (Kishi-Chen,1986).

4.4.1 Tek Gövde Korniyerli Birleşim

Bu tip birleşim, tek korniyerin bulonla veya kaynakla kolon başlığı ile kiriş gövdesi arasında sabitlenmesi ile oluşturulur(şekil 4.5). Pratikte çoğunlukla böyle bir birleşimde korniyer yerine tek bir levha da kullanılmaktadır (şekil 4.6). Tek bir levha ile sağlanan birleşim, korniyerle yapılan birleşime göre neredeyse aynı davranışı gösterebilmektedir. Yapılan deneyler bu tip birleşimlerin, moment aktarma kapasitelerinin çok düşük olması sebebiyle, mafsallı bir birleşim gibi düşünülebileceğini ortaya koymaktadır.



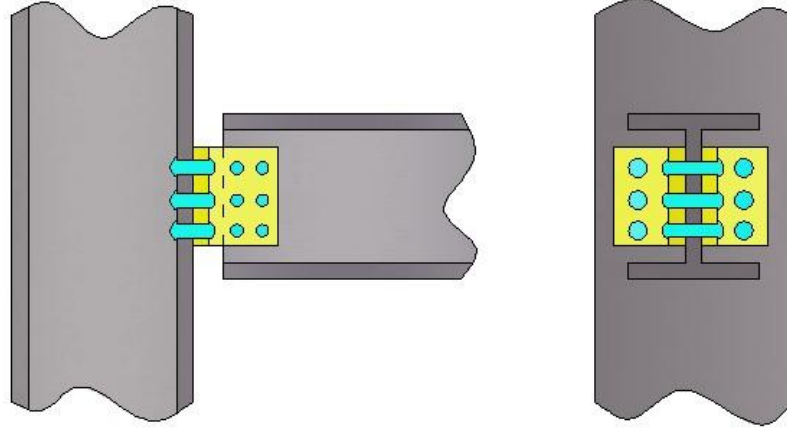
şekil 4.5 - Tek Gövde Korniyerli Birleşim



şekil 4.6 - Tek gövde levhalı birleşim

4.4.2 Çift Gövde Korniyerli Birleşim

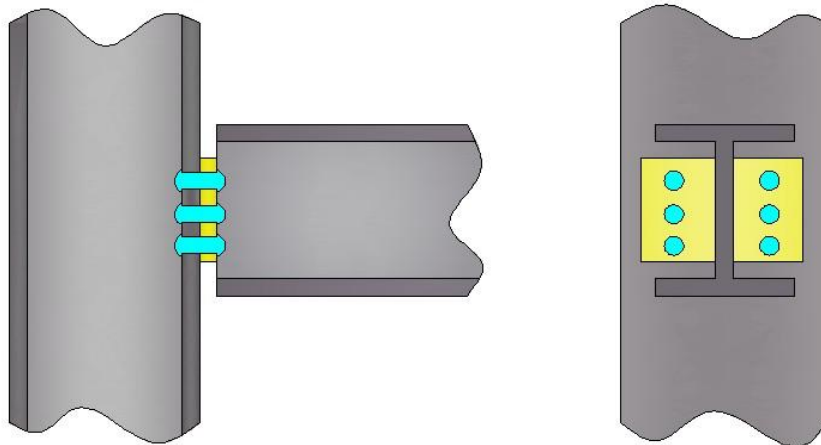
Bu tip bir birleşim çift korniyerin bulonla veya kaynakla kolon başlığına ve kiriş gövdesine sabitlenmesi şeklinde yapılır (Şekil 4.7). Bu tip birleşimlerde daha çok yüksek mukavemetli bulonlar kullanılır. Bu şekilde tasarlanan düğüm noktasının rijitliği tek korniyerle teşkil edilene göre daha fazla olmasına rağmen düşük moment değerlerinde bile çok dönme yapabildiği için birleşimin mafsallı davranışa benzer bir davranış gösterdiği göz önüne alınmalıdır.



Şekil 4.7 - Çift Gövde Korniyerli Birleşim

4.4.3 Alın Levhalı Birleşim

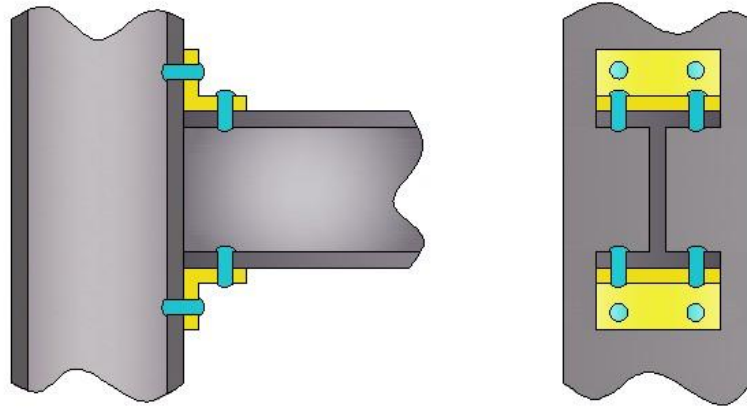
Bu tür bir birleşimde kullanılan levha boyutu kiriş derinliğinden küçüktür. Kiriş gövdesine kaynak ile birleştirilen levha bulonlar ile kolon başlığına bağlanır (Şekil 4.8). Bu şekilde tasarlanan bir düğüm noktası mafsallı birleşim davranışına yakın bir davranış gösterir.



Şekil 4.8 - Alın Levhalı Birleşim

4.4.4 Alt ve Üst Başlık Korniyerli Birleşim

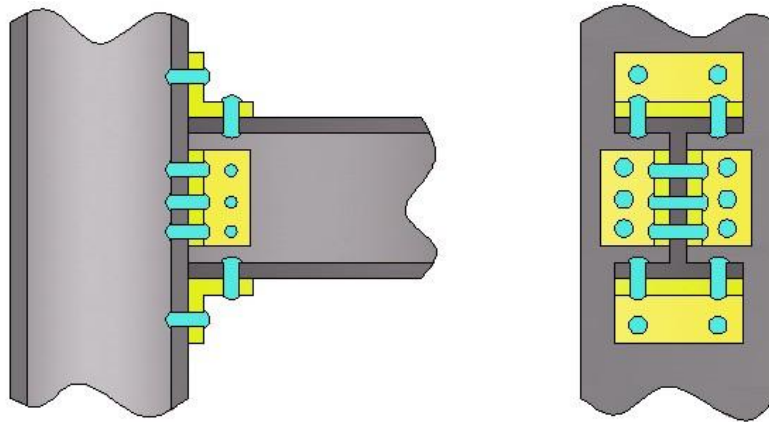
Bu tür bir birleşimin bir sonraki (alt ve üst başlık ve gövde korniyerli) birleşimden tek farkı kesme kuvvetini aktaran gövde korniyerlerinin olmamasıdır (Şekil 4.9). Yapılan deneyler sonucunda momentin saat yönünde olduğu düşünülürse düğüm noktasında oluşan kesme kuvvetinin kirişin alt başlıklarındaki korniyer tarafından karşılandığı gözlemlenmiştir. Kiriş üst başlığındaki korniyerin ise moment aktardığı gözlemlenmiştir. Böyle bir birleşimdeki davranış yarı rijit birleşim noktalarında tarif edilen davranış gibidir (Kishi-Chen,1990).



Şekil 4.9 - Alt ve Üst Başlık Korniyerli Birleşim

4.4.5 Alt ve Üst Başlık Korniyerli ve Çift Gövde Korniyerli Birleşim

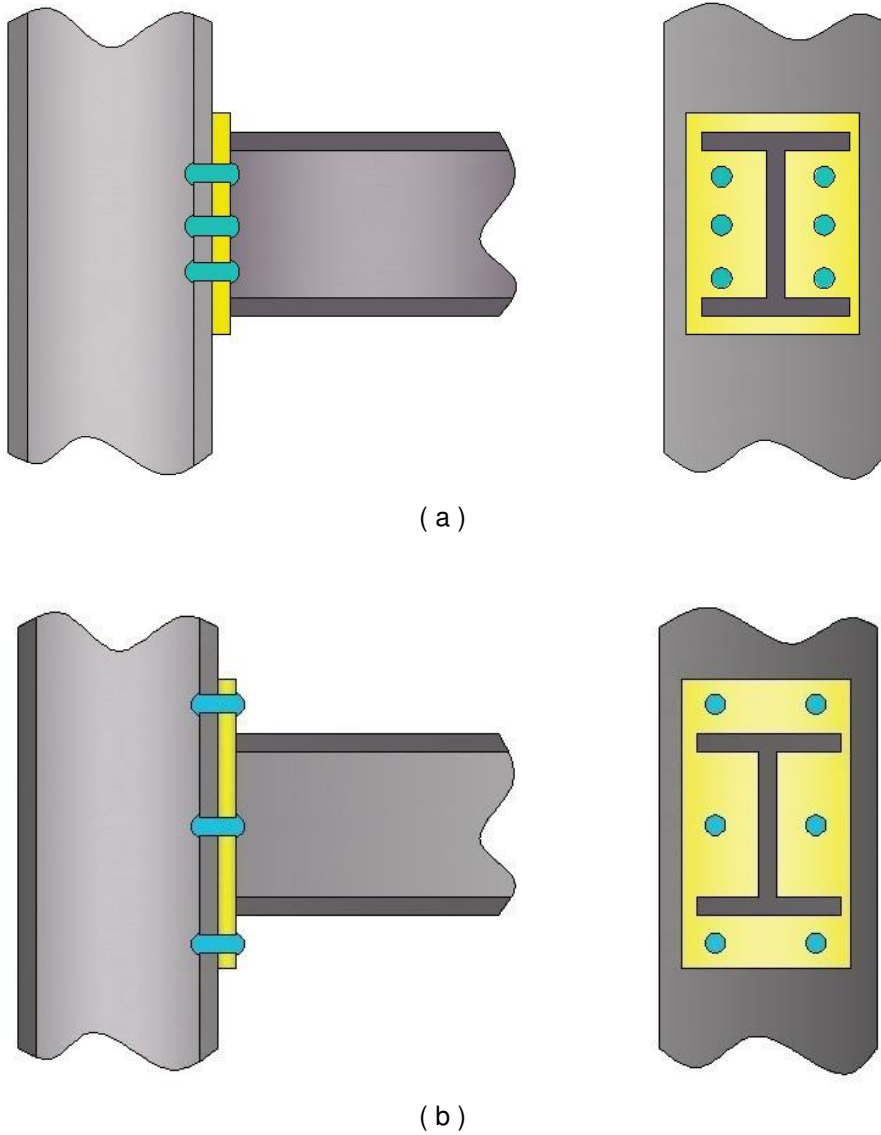
Bu tip bir birleşim kiriş gövdesindeki çift korniyerin yanı sıra kiriş üst ve alt başlıklarında da korniyerlerin kullanılması ile teşkil edilir (Şekil4.10). Kiriş alt ve üst başlıklarında kullanılan korniyerlerin moment aktarımında, gövdede kullanılan korniyerlerin ise kesme kuvvetinin aktarılmasında çalıştığı kabul edilir. Bu tip bir birleşim yarı rijit bölgeye tekabül etmektedir.



Şekil 4.10 - Alt ve Üst Başlık Korniyerli ve Çift Gövde Korniyerli Birleşim

4.4.6 Uç Levhalı Takviyesiz Birleşim

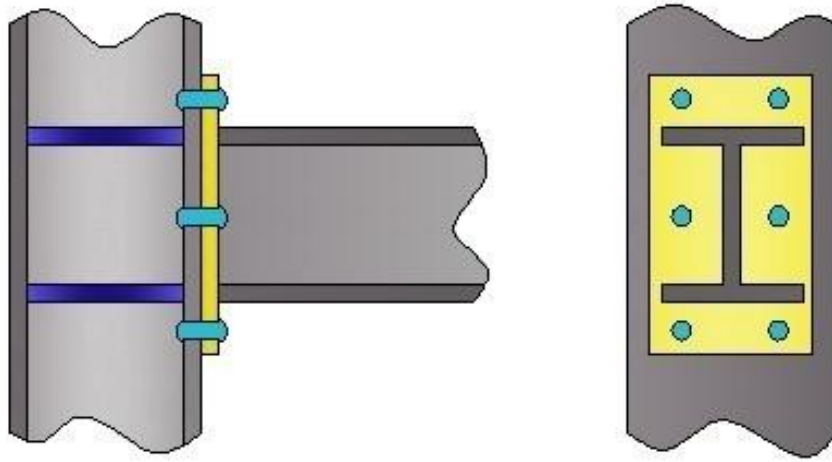
Bu tip birleşimde de alın levhalı birleşimde olduğu gibi önce levha kirişe kaynatılır daha sonra bulonlarla kolona bağlanır (Şekil 4.11.a). Bu birleşim tipinde kiriş gövde derinliğince yapılan alın levhalı birleşimden farklı olarak, kiriş başlıklarının rölatif dönmesini önleyecek şekilde levhalar kirişin alt veya üst ucunda uzatılabilir (Şekil 4.11.b). Kirişin alt ve üst ucunda uzatılan levha, bulonlar yardımıyla kolon başlığına tutturulur ve özellikle deprem yükü gibi tersine yüklerin etkisinde olumlu sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bu tip bir düğüm noktasının yarı rijit bir düğüm noktası gibi davranacağı göz önüne alınmalıdır.



Şekil 4.11 - Uç Levhalı Takviyesiz Birleşim (a , b)

4.4.7 Uç Levhalı Takviyeli Birleşim

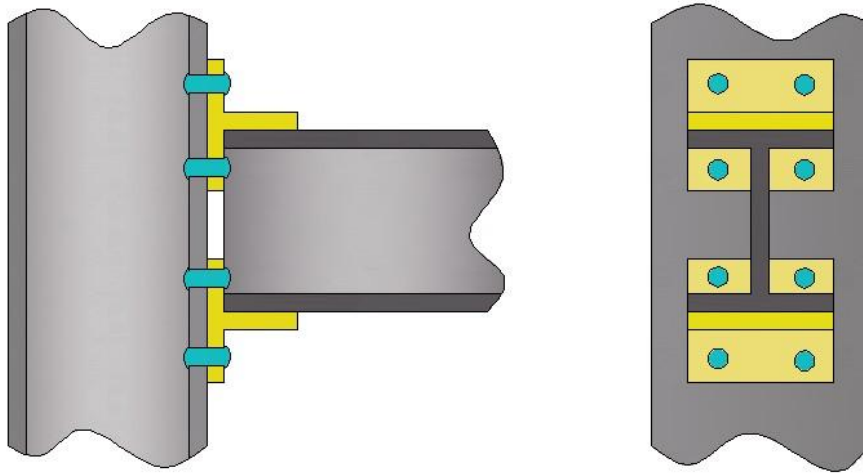
Uç levhalı takviyesiz birleşimde bazen kolon başlığında deformasyonlar oluşmakta ve bu durum birleşimde istenmeyen şekil değiştirmelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu tip bir birleşimde önce çelik levha atölyede kiriş ucuna kaynaklanır daha sonra şantiyede uç levhalı kirişin kolon başlığına bulonlanması ile birleşim teşkil edilmiş olur (Şekil 4.12). Kolon başlığında daha fazla rijitlik sağlamak amacıyla yapılan berkitme levhası takviyesinin birleşimin rijitliğinde artışa neden olduğu yapılan deneylerde ortaya konulmuştur.



Şekil 4.12 - Uç Levhalı Takviyeli Birleşim

4.4.8 T Profilli Birleşim

Rijit düğüm noktası davranışına çok yakın bir davranış gösteren bu birleşimde kiriş elemanın alt ve üst noktaları T profillerle desteklenmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 – T Profilli Birleşim

4.5 Yarı-Rijit Bağlantı Modelleri

Literatürde birleşim noktalarındaki bağlantıların moment - dönme davranışını temsil etmek üzere oluşturulmuş birçok model bulunmaktadır. Bu modeller moment-dönme ilişkisini tanımlama durumlarına göre lineer, polinom, kübik spline, kuvvet ve ekponansiyel modeller olarak sıralanabilir (Abdalla ve Chen,1995).

Bu çalışmada polinom modeli kullanılmıştır (Frye - Morris,1975). Buna göre moment dönme bağıntısı ;

$$\theta_r = C_1(\kappa M)^1 + C_2(\kappa M)^3 + C_3(\kappa M)^5 \quad (4.1)$$

şeklindedir. Burada θ_r birleşimin dönmesini, M birleşime uygulanan momenti, C_1, C_2, C_3 , eğri uydurma sabitlerini , κ ise birleşim tipine ve geometrisine bağlı olan standartlaştırma sabitini ifade etmektedir.

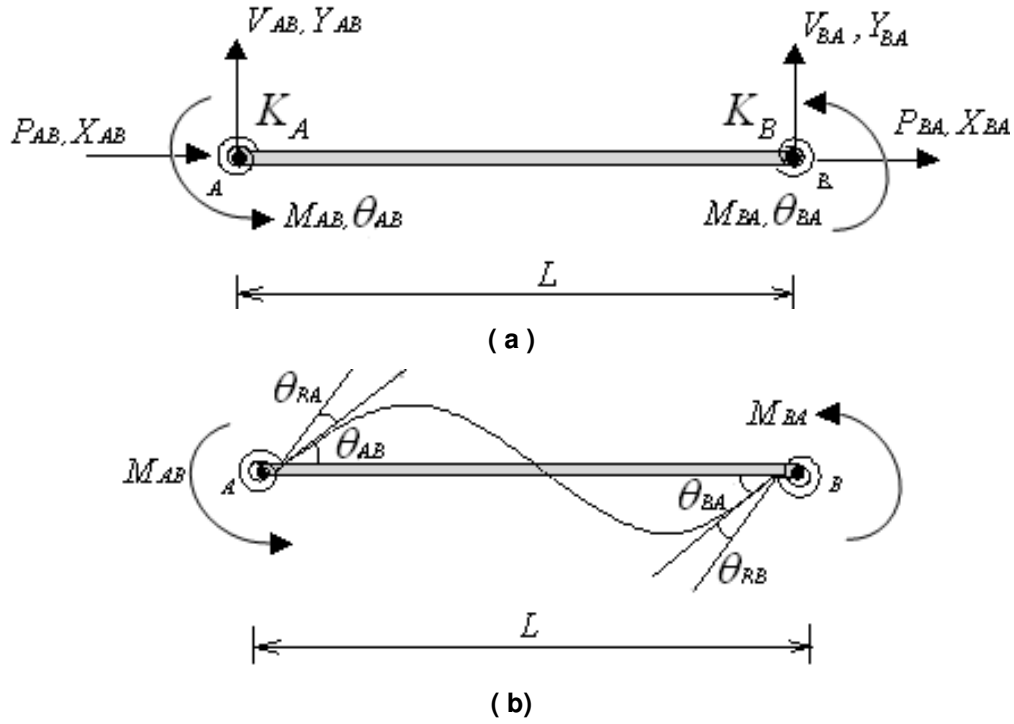
Yaygın olarak kullanılan birleşim tiplerinin şekilleri ve özellikleri Şekil 4.5'den Şekil 4.13.'a kadar verilmiştir. Çizelge 4.1.'de analiz aşamasında esas alınan polinom modeli için Denklem 4.1'deki C_1, C_2, C_3 , eğri uydurma sabitleri ile birleşim tipine ve geometrisine bağlı olan κ standartlaştırma sabitinin ifadesi her birleşim tipi için verilmiştir (Dhillon ve O'Malley,1999). Çizelge 4.1'de momentler kip.inch , κ 'yı oluşturan birleşime ait geometrik parametreler inch olarak verilmiştir ve birleşimin dönmesini ifade eden θ_r ise radyan olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.1 – Birleşim Tipleri İçin Eğri Uydurma ve Standartlaştırma Sabitleri

Birleşim Tipleri	Eğri Uydurma Sabitleri	Standartlaştırma Sabiti
Tek Gövde Korniyerli Birleşim	$c_1 = 4,28 \times 10^{-3}$ $c_2 = 1,45 \times 10^{-9}$ $c_3 = 1,51 \times 10^{-16}$	$\kappa = d_a^{-2,4} t_a^{-1,81} g^{0,15}$
Çift Gövde Korniyerli Birleşim	$c_1 = 3,66 \times 10^{-4}$ $c_2 = 1,15 \times 10^{-6}$ $c_3 = 4,57 \times 10^{-8}$	$\kappa = d_a^{-2,4} t_a^{-1,81} g^{0,15}$
Alt ve Üst Başlık ve Çift Gövde Korniyerli Birleşim	$c_1 = 2,23 \times 10^{-5}$ $c_2 = 1,85 \times 10^{-8}$ $c_3 = 3,19 \times 10^{-12}$	$\kappa = d^{-1,287} t^{-1,128} t_c^{-0,415} l_a^{-0,694} g^{1,35}$
Alt ve Üst Başlık Korniyerli Birleşim	$c_1 = 8,46 \times 10^{-4}$ $c_2 = 1,01 \times 10^{-4}$ $c_3 = 1,24 \times 10^{-8}$	$\kappa = d^{-1,5} t^{-0,5} l_a^{-0,7} d_b^{1,5}$
Uç Levhalı Takviyesiz Birleşim	$c_1 = 1,83 \times 10^{-3}$ $c_2 = 1,04 \times 10^{-4}$ $c_3 = 6,38 \times 10^{-6}$	$\kappa = d_g^{-2,4} t_p^{-0,4} d_b^{1,5}$
Uç Levhalı Takviyeli Birleşim	$c_1 = 1,79 \times 10^{-3}$ $c_2 = 1,76 \times 10^{-4}$ $c_3 = 2,04 \times 10^{-4}$	$\kappa = d_g^{-2,4} t_p^{-0,6}$
T Profili Birleşim	$c_1 = 2,10 \times 10^{-4}$ $c_2 = 6,20 \times 10^{-6}$ $c_3 = 7,60 \times 10^{-9}$	$\kappa = d^{-1,5} t^{-0,5} l_t^{-0,7} d_b^{1,1}$
Alın Levhalı Birleşim	$c_1 = 5,10 \times 10^{-5}$ $c_2 = 6,20 \times 10^{-10}$ $c_3 = 2,40 \times 10^{-13}$	$\kappa = d_p^{-2,3} t_p^{-1,6} t_w^{-0,5} g^{1,6}$

4.6 Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Analizi

Yarı rijit bağlantı noktalarına sahip çelik çerçevelerin analiz ve tasarımında; düğüm noktaları dönmeye çalışan yaylar olarak da modellenebilir. Birleşim noktasının esnekliği Şekil 4.14.a'de görüldüğü gibi elemanın ilk ve son ucuna K_A ve K_B rijitlik modülleri ile dönmeye çalışan yaylar eklenerek modellenebilir (Şekil 4.14.b).



Şekil 4.14 – Dönmeye Çalışan Yay İle Modellenen Yarı Rijit Kiriş Eleman (a) Uç Kuvvetleri ve Uç Deplasmanları (b) Eleman Uç Noktalarındaki Dönmeler (Doğan,2010)

Yarı rijit bağlantı noktasına sahip bir kiriş elemanın lineer olmayan rijitlik matrisi Denklem 4.2'de gösterilmiştir.

$$K = \begin{bmatrix} A & & & & & \\ B & D & & & & \\ C_1 & E_1 & F_1 & & & \\ -A & -B & -C_1 & A & & \\ -B & -D & -E_1 & B & D & \\ C_2 & E_2 & F_2 & -C_2 & -E_2 & G \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Burada;

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{EA}{L} + \frac{12EI}{L^3} f_{x1}\phi_5 \\
 B &= \frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3} f_{x1}\phi_5 \\
 D &= \frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3} f_{x1}\phi_5 \\
 C_1 &= -\frac{6EI}{L^2} f_{x2}\phi_2 \\
 C_2 &= -\frac{6EI}{L^2} f_{x3}\phi_2 \\
 E_1 &= \frac{6EI}{L^2} f_{x2}\phi_2 \\
 E_2 &= \frac{6EI}{L^2} f_{x3}\phi_2 \\
 F_1 &= \frac{4EI}{L} f_{x6}\phi_3 \\
 F_2 &= \frac{2EI}{L} f_{x5}\phi_3 \\
 G &= \frac{4EI}{L} f_{x6}\phi_4
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

E; elastisite modülü , L; elemanın boyu , I; eleman kesitinin atalet momenti ve A ise eleman kesit alanı olarak belirtilmektedir. Yukarıda gösterilen rijitlik matrisi, birleşim noktasının esnekliğinin etkisini de içermektedir. Aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanan katsayılar yardımıyla, rijitlik matrisi uyarlanmaya çalışılabilir.

$$\begin{aligned}
 KK &= K_A K_B + 4(K_A + K_B) + 12 \\
 f_{x1} &= (K_A K_B + K_A + K_B) / KK \\
 f_{x2} &= K_A (K_B + 2) / KK \\
 f_{x3} &= K_B (K_A + 2) / KK \\
 f_{x4} &= K_A (K_B + 3) / KK \\
 f_{x5} &= K_A K_B / KK \\
 f_{x6} &= K_B (K_A + 3) / KK
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

Eksenel yüklerin şekil değişimine etkilerinden dolayı, rijitlik matrisinde stabilite fonksiyonlarına da yer verilmektedir. Stabilite fonksiyonlarının hesaplanmasında güç serisi yaklaşımı kullanılmıştır. Ancak bu yöntem; bazı α değerlerinin tekil sonuçlar verdiği $\alpha \cot \alpha$ trigonometrik fonksiyonlara gereksinim duymaktadır. Bu sebeple, Euler kritik yük faktörü ρ ve dönme

fonksiyonları denklemlerinin toplamı olan Livesely yaklaşımı uygulanmıştır (Majid,1972). Stabilite fonksiyonları ve sabitlerin aldığı değerler Denklem 4.5'te belirtilmiştir.

$$\phi_1 = \alpha \cot \alpha = \frac{64 - 60\rho + 5\rho^2}{(16 - \rho)(4 - \rho)} - \sum_{n=1}^7 \frac{a_n \rho^n}{2^{3n}} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= 1.57973627 & a_4 &= 0.00547540 \\ a_2 &= 0.15858587 & a_5 &= 0.00115281 & a_7 &= 0.00005452 \\ a_3 &= 0.02748899 & a_6 &= 0.00024908 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_2 &= \alpha^2 / (3 - 3\phi_1) \\ \phi_3 &= (3\phi_2 + \phi_1) / 4 \\ \phi_4 &= (3\phi_2 - \phi_1) / 2 \\ \phi_5 &= \phi_2 \phi_1 \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\alpha = 0.5\pi\sqrt{\rho} \quad , \quad \rho = P / P_{cr} = Pl^2 / (\pi^2 EI)$$

Burada; P kiriş üzerindeki eksenel yük , P_{cr} ise kiriş elemanın Euler kritik yükünü ifade etmektedir.

Rijitlik matrisine ek olarak, görelî rijitlik oranları γ_1 ve γ_2 , dolayısıyla etkili uzunluk faktörü bazı düzeltmelere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, bu parametreler aşağıdaki şekilde yazılmıştır.

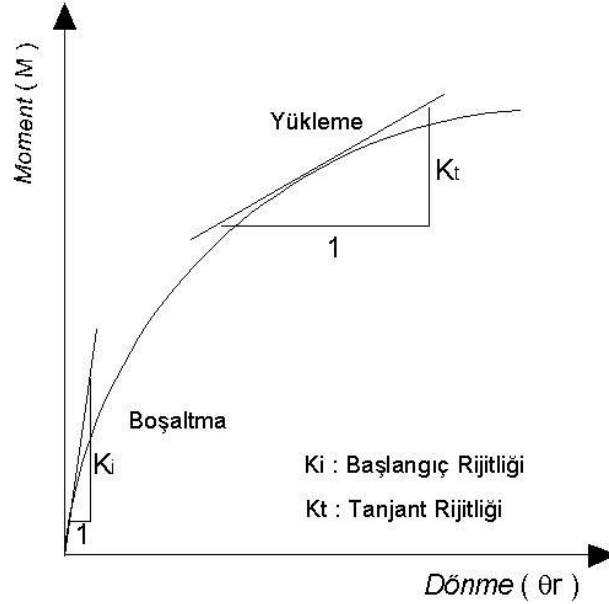
$$\gamma_1 = \frac{\sum I_{c1} / l_{c1}}{\sum \alpha_{uf} (I_{b1} / l_{b1})} \quad \gamma_2 = \frac{\sum I_{c2} / l_{c2}}{\sum \alpha_{uf} (I_{b2} / l_{b2})} \quad (4.7)$$

Burada; α_{uf} birleşim tipine göre değişen bir katsayıdır. Bu katsayı rijit birleşimlerde 1 değerini alırken, yarı rijit birleşimlerde alacağı değer aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır (Denklem 4.8.).

$$\alpha_{uf} = \left(1 + \frac{2EI_b}{L_b K^*}\right) \frac{1}{R^*} \quad (4.8)$$

$$R^* = \left(1 + \frac{4EI_b}{L_b K_A}\right) \left(1 + \frac{4EI_b}{L_b K_A}\right) - \left(\frac{EI_b}{L_b}\right)^2 \frac{4}{K_A K_B} \quad (4.9)$$

Burada; yarı rijit bağlantılı bir kirişin birinci ve ikinci ucundaki dönme rijitlikleri K_A ve K_B olarak gösterilmiştir. I_b ve L_b ise kirişin kesit atalet momenti ve kirişin uzunluğudur. Denklem 4.8'de K_A ve K_B 'nin küçük olan değeri K^* ile gösterilmiştir.



Şekil 4.15 – Yarı Rijit Birleşimin Moment – Eğrilik Davranışı

Kiriş elemanın her bir ucundaki yayların dönme rijitliği K_A ve K_B olarak adlandırılır ve (4.1) denklemi kullanılarak tanjant rijitliği olarak hesaplanır. Bunu uygulamak için birleşimin ilk esnekliği $d\theta_r / dM$ olarak belirlenir. Genel rijitlik matrisinde kullanılan birleşimin rijitliği, birleşim yüklü olduğu durumlarda momentin belirli bir değeri için birleşimin iki ucunda hesaplanır (Chen-Lui,1997). Eğer birleşim yüksüz durumda ise, birleşimin rijitliği başlangıç rijitliği olarak varsayılır. Bu iki durumda Şekil 4.15'de gösterilmiştir.

4.7 Uç Levhalı Takviyeli Model

Uç levhalı takviyeli birleşim modelinde kolon başlıkları arasında yerleştirilen berkitme levhalarının amacı kolon başlığını daha rijit bir hale dönüştürerek, başlıkta oluşan şekil değişiminin önüne geçmektir.

Uç levhalı birleşim modelinin tasarımı için öncelikle kullanılacak olan levhanın kalınlığı, uzunluğu ile birlikte bulonların çapı ve yerleşimine karar vermek gereklidir. Bu boyutlar LRFD-AISC şartnamesinde belirtilen hususlar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

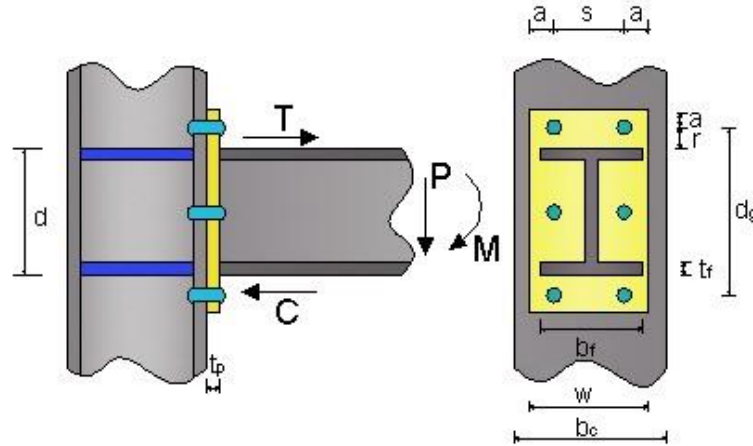
Birleşim detayından da görüldüğü üzere düğüm noktasında moment ve kesme kuvveti tesirleri oluşmaktadır (Şekil 4.16). Momentten dolayı oluşan tesir kolon başlığı ile levha arasındaki bulonlarda boyuna çekme etkisi oluşturarak bulonların boyca deformasyona uğraması yönünde zorlamaktadır. Kiriş boyunca bir eksenel kuvvetin de bulunduğu durumlarda, bulonlarda oluşan boyuna çekme gerilmesi artar. Kesme kuvveti etkisi ile bulonlarda kayma gerilmesi oluşmaktadır. Denklem 4.10 ve 4.11 bulonların gerilme değerlerini kontrol etmek için geliştirilmiştir.

$$P_t = 0,75 \cdot F_t \cdot 0,85 \cdot A_g \quad (\text{bulonların çekme kapasitesi}) \quad (4.10)$$

$$P_s = 0,75 \cdot F_s \cdot 0,85 \cdot A_g \quad (\text{bulonların kesme kapasitesi}) \quad (4.11)$$

$$\frac{P}{mP_s} + \frac{T}{nP_t} \leq 1 \quad (4.12)$$

Burada; LRFD-AISC şartnamesinde belirtildiği gibi F_s ve F_t sırasıyla bulonların çekme ve kayma emniyet gerilmelerini ifade etmekte olup sırasıyla bu değerler 33 kN/cm^2 ve 62 kN/cm^2 olarak alınmıştır. A_g bulon kesit alanını ifade ederken, m ve n sırasıyla kesilmeye ve çekmeye maruz kalan bulon sayılarını göstermektedir.



Şekil 4.16 – Uç Levhalı Takviyeli Model .

Bulonlar LRFD-AISC’de belirtildiği gibi aşağıda gösterildiği şekilde yerleştirilmiştir.

$$r \geq 2d_b \quad (4.13)$$

$$a \geq 3d_b \quad (4.14)$$

$$3d_b \leq s \leq 14t \quad (4.15)$$

Burada; d_b bulon çapı olup bu değer dikkate alınarak bulunan a , s ve r uzunlukları Şekil üzerinde belirtilmiştir.

Bulonların yerleşimi yapılırken, dikkate alınan ve Şekil 4.16 üzerinde görülen t_p , d_g ve w değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunabilir.

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4,44 \times T b'}{w \times F_y}} \quad (4.16)$$

$$b' = r - \frac{1}{2} d_b \quad (4.17)$$

$$w \geq s + 6d_b \quad (4.18)$$

$$b_c \geq w \geq b_f \quad (4.19)$$

$$d_g \geq d + 4d_b \quad (4.20)$$

Burada; b_c , b_f ve d uzunlukları Şekil 4.16 üzerinde gösterilmiş olup sırasıyla kolon başlık genişliği, kiriş başlık genişliği ve kiriş yüksekliğini, T ve F_y ise sırasıyla çekme kuvveti ve akma gerilmesini temsil etmektedir.

Uç levhalı takviyeli bağlantı modelinin tasarımı aşağıda belirtilen adımlara göre yapılabilir;

- Yapının statik analizi sonucunda elde edilen ve birleşim noktasına etkiyen kuvvetler alınır.
- Bulon listesinden bir bulon çapı belirlenir.
- Bulonların çekme ve kayma kapasitelerine ve düğüm noktasındaki yük etkilerine göre bulonlarda dayanım kontrolü yapılır. Bulon çapı yeterli değilse daha büyük çaplı bir bulon seçilir.
- Gerekli levha kalınlığı, boyu ve genişliği belirlenir.

Uç levhalı takviyeli bağlantı tipi için eğri uydurma ve standartlaştırma sabitleri aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} C_1 &= 1,79 \times 10^{-3} \\ C_2 &= 1,76 \times 10^{-4} \\ C_3 &= 2,04 \times 10^{-4} \end{aligned} \quad K = d_g^{-2,4} \cdot t_p^{-0,6} \quad (4.21)$$

4.8 Uç Levhalı Takviyesiz Model

Uç levhalı takviyesiz birleşim modelinin tasarımı için öncelikle kullanılacak olan levhanın kalınlığı, uzunluğu ile birlikte bulonların çapı ve yerleşimine karar vermek gereklidir. Bu boyutlar LRFD-AISC şartnamesinde belirtilen hususlar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

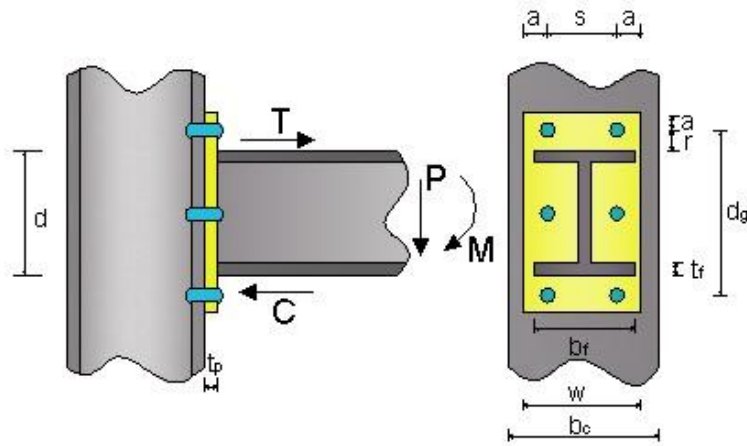
Birleşim detayından da görüldüğü üzere düğüm noktasında moment ve kesme kuvveti tesirleri oluşmaktadır (Şekil 4.17). Momentten dolayı oluşan tesir kolon başlığı ile levha arasındaki bulonlarda boyuna çekme etkisi oluşturarak bulonların boyca deformasyona uğraması yönünde zorlamaktadır. Kiriş boyunca bir eksenel kuvvetin de bulunduğu durumlarda, bulonlarda oluşan boyuna çekme gerilmesi artar. Kesme kuvvetin etkisiyle bulonlarda kayma gerilmesi oluşmaktadır. Denklem 4.22 ve 4.23 bulonların gerilme değerlerini kontrol etmek için geliştirilmiştir.

$$P_t = 0,75 \cdot F_t \cdot 0,85 \cdot A_g \quad (\text{bulonların çekme kapasitesi}) \quad (4.22)$$

$$P_s = 0,75 \cdot F_s \cdot 0,85 \cdot A_g \quad (\text{bulonların kesme kapasitesi}) \quad (4.23)$$

$$\frac{P}{mP_s} + \frac{T}{nP_t} \leq 1 \quad (4.24)$$

Burada; LRFD-AISC şartnamesinde belirtildiği gibi F_s ve F_t sırasıyla bulonların çekme ve kayma emniyet gerilmelerini ifade etmekte olup sırasıyla bu değerler 33 kN/cm² ve 62 kN/cm² olarak alınmıştır. A_g bulon kesit alanını ifade ederken, m ve n sırasıyla kesilmeye ve çekmeye maruz kalan bulon sayılarını göstermektedir.



Şekil 4.17 - Uç Levhalı Takviyesiz Model

Bulon yerleşimi LRFD-AISC'de belirtildiği gibi aşağıda gösterildiği şekilde yerleştirilmiştir.

$$r \geq 2d_b \quad (4.25)$$

$$a \geq 3d_b \quad (4.26)$$

$$3d_b \leq s \leq 14t \quad (4.27)$$

Burada; d_b bulon çapını gösterirken a , s ve r uzunlukları Şekil 4.17 üzerinde gösterilmiştir.

Bulonların yerleşimi yapılırken, dikkate alınan ve Şekil 4.17 üzerinde görülen t_p , d_g ve w değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunabilir.

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4,44 \times T b'}{w x F_y}} \quad (4.28.)$$

$$b' = r - \frac{1}{2} d_b \quad (4.29.)$$

$$w \geq s + 6d_b \quad (4.30.)$$

$$b_c \geq w \geq b_f \quad (4.31.)$$

$$d_g \geq d + 4d_b \quad (4.32.)$$

Burada; b_c , b_f ve d uzunlukları Şekil 4.16 üzerinde gösterilmiş olup sırasıyla kolon başlık genişliği, kiriş başlık genişliği ve kiriş yüksekliğini, T ve F_y ise sırasıyla çekme kuvveti ve akma gerilmesini temsil etmektedir.

Uç levhalı takviyeli bağlantı modelinin tasarımı aşağıda belirtilen adımlara göre yapılabilir;

- Yapının statik analizi sonucunda elde edilen ve birleşim noktasına etkiyen kuvvetler alınır.
- Bulon listesinden bir bulon çapı belirlenir.
- Bulonların çekme ve kayma kapasitelerine ve düğüm noktasındaki yük etkilerine göre bulonlarda dayanım kontrolü yapılır. Bulon çapı yeterli değilse daha büyük çaplı bir bulon seçilir.
- Gerekli levha kalınlığı, boyu ve genişliği belirlenir.

Uç levhalı takviyesiz bağlantı tipi için ise eğri uydurma ve standartlaştırma sabitleri aşağıda verilmektedir.

$$C_1 = 1,83 \times 10^{-3}$$

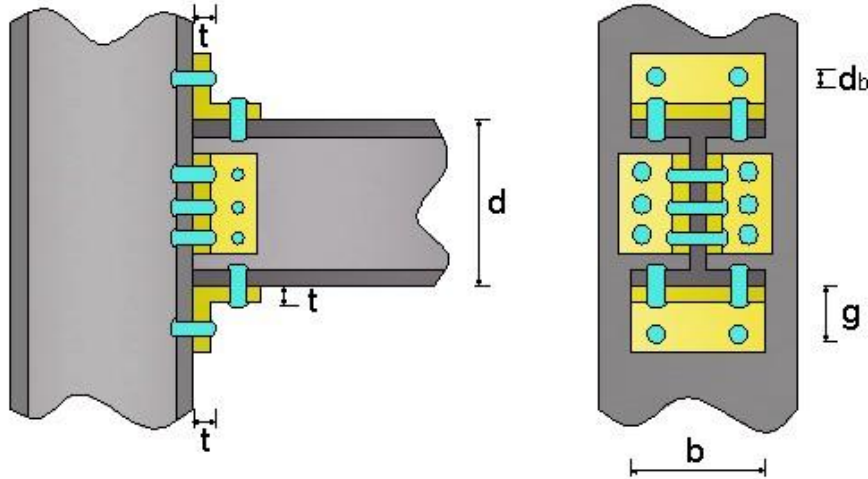
$$C_2 = 1,04 \times 10^{-4}$$

$$C_3 = 6,38 \times 10^{-6}$$

$$K = d_g^{-2,4} \cdot t_p^{-0,4} \cdot d_b^{-1,5} \quad (4.33)$$

4.9 Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli Birleşim Modeli

Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim modelinde öncelikle; bulonların çapı, yerleşimi, korniyerin genişliği ve kalınlığı belirlenmelidir.



Şekil 4.18 – Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli Model

Gövdede oluşabilecek yerel malzeme akmalarını kontrol altında tutmak için kirişin alt başlık üzerine belli bir N uzunluğu boyunca oturması gereklidir. LRFD-AISC’de belirtildiği gibi korniyerde akma sınır değerini aşmayacak şekilde N değerine bağlı olarak birleşimde kullanılacak korniyer belirlenir. N uzunluğu;

$$N = \frac{P_u}{\phi F_{yw} t_w} \geq 3,5k \quad (4.34)$$

eşitsizliği kullanılarak belirlenir. Burada; P_u yük faktörünü, ϕ dayanım faktörünü temsil ederken; t_w ve F_{yw} sırasıyla; kiriş gövde kalınlığı, kirişin akma dayanımını ifade ederken k değeri Şekil 4.19’dan görülebilmektedir. Ayrıca birleşimde;

Alt ve üst başlıkta kullanılan korniyerlerin kalınlıkları ve korniyerlerin kesme kapasiteleri

$$t^2 = \frac{4P_u e}{\phi_b F_y L} \quad (4.39)$$

$$V = 0,6 \cdot P \cdot 0,9 \cdot B_f \cdot t \geq P_u \quad (4.40)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada; ϕ_b dayanım faktörünü (0,9) , L , B_f ve F_y sembolleri sırasıyla; korniyerin boyunu, genişliğini ve akma dayanımını ifade etmektedir.

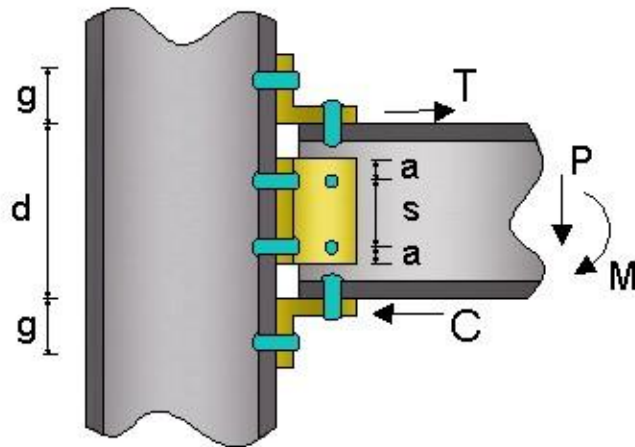
Şekil 4.20.'den de görüldüğü üzere, bileşim noktasına etkiyen eğilme momentinden dolayı kolon başlığı ile korniyer kolu arasında bulunan bulonlarda çekme kuvveti etkili olurken, kiriş ile korniyer kolu arasındaki bulonlarda ise kesme kuvveti etkili olmaktadır. Bulonların dayanım açısından yeterli olup olmadığı;

$$P_t = 0,75 \cdot F_t \cdot 0,85 \cdot A_g \quad (\text{bulonların çekme kapasitesi}) \quad (4.41)$$

$$P_s = 0,75 \cdot F_s \cdot 0,85 \cdot A_g \quad (\text{bulonların kesme kapasitesi}) \quad (4.42)$$

$$\frac{P}{mP_s} + \frac{T}{nP_t} \leq 1 \quad (4.43)$$

denklemleri yardımıyla kontrol edilebilir.



Şekil 4.20 - Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli Model İçin Birleşim Detayı

Bulonların yerleşim geometrisi LRFD-AISC şartnamesinde belirtilen hususlar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.

$$a \geq 3d_b \quad (4.44)$$

$$3d_b \leq s \leq 14t \quad (4.45)$$

Burada; s bulonlar arası mesafeyi, t birleşimdeki en ince eleman kalınlığını, d_b ise bulon çapını ifade etmektedir.

Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim modelinin tasarımı aşağıdaki işlemler takip edilerek gerçekleştirilir.

- Analiz sonucunda elde edilen eleman uç kuvvetleri alınır.
- LRFD-AISC de belirtilmiş olan korniyerler için hazırlanmış tablolardan uygun korniyer kesiti seçilir.
- Korniyerlerin akma dayanımı kontrol edilerek gerekirse korniyerin kesiti değiştirilmelidir.
- Korniyerde kesme kapasite kontrolü yapılmalıdır.
- Uygun bulon çapı seçilmeli ve bulon yerleşimi yapılmalıdır.
- Uç kuvvetlerden dolayı bulonlara gelen etkiler belirlenerek, bulonlarda kapasite kontrolü yapılmalıdır.

Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli bağlantı tipi için eğri uydurma ve standartlaştırma sabitleri aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} C_1 &= 2,23 \times 10^{-5} \\ C_2 &= 1,85 \times 10^{-8} \\ C_3 &= 3,19 \times 10^{-12} \end{aligned} \quad K = d^{-1,287} \cdot t^{-1,128} \cdot t_c^{-0,415} \cdot b^{-0,694} \cdot g^{1,350} \quad (4.46)$$

Burada; b ve t_c sırasıyla; kiriş başlık genişliği ve kolon başlık kalınlığını ifade ederken bulonlar arası yatay mesafe olan g uzunluğunu Şekil 4.17.'den görmek mümkündür.

4.10 Alın Levhalı Birleşim Modeli

Alın levhalı birleşim modelinin tasarımı için öncelikle kullanılacak olan levhanın kalınlığı, uzunluğu ile birlikte bulonların çapı ve yerleşimine karar vermek gereklidir. Bu boyutlar LRFD-AISC şartnamesinde belirtilen hususlar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

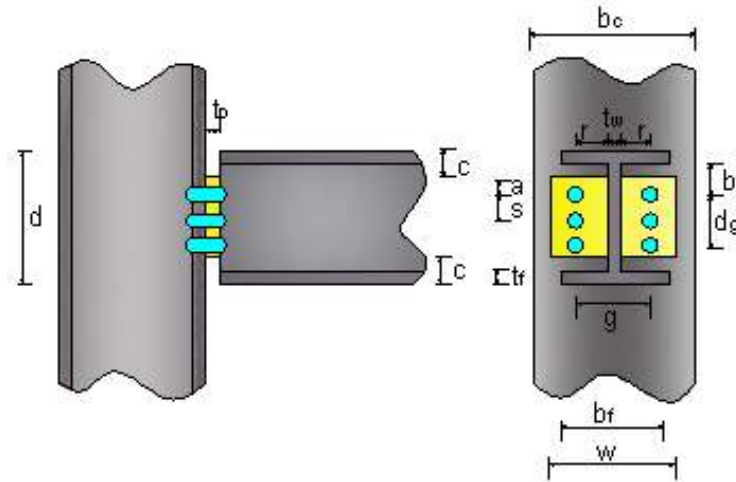
Birleşim detayından da görüldüğü üzere düğüm noktasında moment ve kesme kuvveti tesirleri oluşmaktadır (Şekil 4.21.). Momentten dolayı oluşan tesir kolon başlığı ile levha arasındaki bulonlarda boyuna çekme etkisi yaratarak bulonların boyca deformasyona uğraması yönünde zorlamaktadır. Kiriş boyunca bir eksenel kuvvetin de olduğu durumlarda, eksenel kuvvetin yönüne göre bulonlarda oluşan boyuna çekme gerilmesi artar veya azalabilir. Kesme kuvvetinde dolayı ise bulonlarda kayma gerilmesi etkili olmaktadır. Denklem 4.4 ve 4.47 bulonların gerilme değerlerini kontrol etmek için geliştirilmiştir.

$$P_t = 0,75 \cdot F_t \cdot 0,85 \cdot A_g \quad (\text{bulonların çekme kapasitesi}) \quad (4.47)$$

$$P_s = 0,75 \cdot F_s \cdot 0,85 \cdot A_g \quad (\text{bulonların kesme kapasitesi}) \quad (4.48)$$

$$\frac{P}{mP_s} + \frac{T}{nP_t} \leq 1 \quad (4.49)$$

Burada; LRFD-AISC şartnamesinde belirtildiği gibi F_s ve F_t sırasıyla bulonların çekme ve kayma emniyet gerilmelerini vermekte olup bu değerler sırasıyla 33 kN/cm² ve 62 kN/cm² olarak alınmıştır. A_g bulon kesit alanını ifade ederken, m ve n sırasıyla kesilmeye ve çekmeye maruz kalan bulon sayılarını göstermektedir.



Şekil 4.21 - Alın Levhalı Birleşim Modeli

Bulonların yerleşim geometrisi LRFD-AISC'de belirtildiği gibi aşağıda gösterildiği şekilde oluşturulmuştur.

$$r \geq 2d_b \quad (4.50)$$

$$a \geq 3d_b \quad (4.51)$$

$$3d_b \leq s \leq 14t \quad (4.52)$$

Burada; d_b bulon çapını gösterirken a , s ve r uzunlukları Şekil 4.21. üzerinde gösterilmiştir.

Bulonların yerleşimi yapılırken, dikkate alınan ve Şekil 4.21 üzerinde görülen t_p , d_g ve w değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunabilir.

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4,44 \cdot T b'}{w \cdot F_y}} \quad (4.53)$$

$$b' = \frac{d}{2} - \frac{d_g}{2} + \frac{d_b}{2} - t_f \Rightarrow b' \geq \frac{d}{2} - \frac{5d_b}{2} - t_f \quad (4.54)$$

$$d_g = 2s \Rightarrow 6d_b \leq d_g \leq 28t \quad (4.55)$$

$$g = 2r + t_w \Rightarrow g \geq t_w + 4d_b \quad (4.56)$$

$$w = g + 2a \Rightarrow w \geq t_w + 10d_b \quad (4.57)$$

$$b_c \geq w \geq b_f \quad (4.58)$$

$$d_p = 2s + 2a \Rightarrow 12d_b \leq d_p \leq 28t + 6d_b \quad \text{yada} \quad (4.59)$$

$$6d_b + s(N-1) \leq d_p \leq d - 2c$$

Burada; b_c , b_f , g , d_p , b' ve d uzunlukları Şekil 4.21. üzerinde gösterilmiş olup sırasıyla kolon başlık genişliği, kiriş başlık genişliği, bulonlar arası yatay uzaklık, bulon çapı, kiriş başlığı ile en dış bulon arası mesafeyi ve kiriş yüksekliğini gösterirken; T , F_y ve N ise sırasıyla çekme kuvveti, akma gerilmesini ve bulon sayısını temsil etmektedir.

Alın levhalı bağlantı modelinin tasarımı aşağıda belirtilen adımlara göre yapılabilir;

- Yapının statik analizi sonucunda elde edilen ve birleşim noktasına etkiyen kuvvetler alınır.
- Bulon listesinden uygun bir bulon çapı belirlenir.
- Bulonların çekme ve kayma kapasitelerine ve düğüm noktasındaki yük etkilerine göre bulon kapasitelerinin kontrolü yapılır.
- Gerekli levhanın kalınlığı, boyu ve genişliği belirlenir.

Uç levhalı takviyeli bağlantı tipi için eğri uydurma ve standartlaştırma sabitleri aşağıda gösterilmektedir.

$$C_1 = 5,10 \times 10^{-5}$$

$$C_2 = 6,20 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = 2,40 \times 10^{-13}$$

$$K = d_p^{-2,3} \cdot t_p^{-1,6} \cdot t_w^{-0,5} \cdot g^{1,6} \quad (4.60)$$

4.11 Yarı-Rijit Bağlantı Noktalarına Sahip Düzlemsel Çelik Çerçevelerinin Optimum Tasarımı

Bu bölümde yarı rijit bağlantı noktalarına sahip düzlemsel çelik çerçevelerin optimum boyutlandırılması araştırılmıştır. Rijit bağlantı kabulüyle analizi yapılan çerçeveler bu kez bağlantı noktalarının yarı rijit olduğu varsayılarak minimum ağırlık için tasarlanmıştır. Optimizasyon algoritması parçacık sürü ve av arama yöntemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı bağlantı modelleri için hesap formülasyonları göz önünde bulundurularak algoritmalarda gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Parçacık sürü optimizasyon yöntemi ile optimizasyon işleminin adımları aşağıda belirtilmiştir.

- Çerçeve geometrisi ve yükleri belirlenerek, kolon-kiriş bağlantı tipine karar verilmelidir. Çerçeveyi oluşturan elemanlar gruplandırılmalıdır.
- Belirlenmiş olan profil tablosundan rastgele profil kesiti seçimi ile parçacık sürü yöntemi için başlangıç değerleri belirlenir.
- Çerçeve matris deplasman yöntemi kullanılarak analiz edilir ve eleman uç kuvvetleri ve deplasmanlar belirlenir. Kolon kiriş birleşiminde kullanılacak olan bağlantı elemanlarının boyutları belirlenir.

- Tasarımda belirlenen gerilme ve deplasman koşullarının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Gerilme veya deplasman değerlerinin her hangi birisinin sağlanmaması durumunda yeni bir çözüm seçimine gidilmelidir.
- Uygun tasarım çözümleri elde edilmesinin ardından parçacık sürü optimizasyon yöntemleri için iterasyon adımları başlayabilir. Amaç fonksiyonu olarak minimum yapı ağırlığı ele alındığı için iterasyon adımları içerisinde bulunan en düşük yapı ağırlığı optimum çözümü ifade etmektedir.

Av arama optimizasyon yöntemi ile optimizasyon işleminin adımları aşağıda belirtilmiştir.

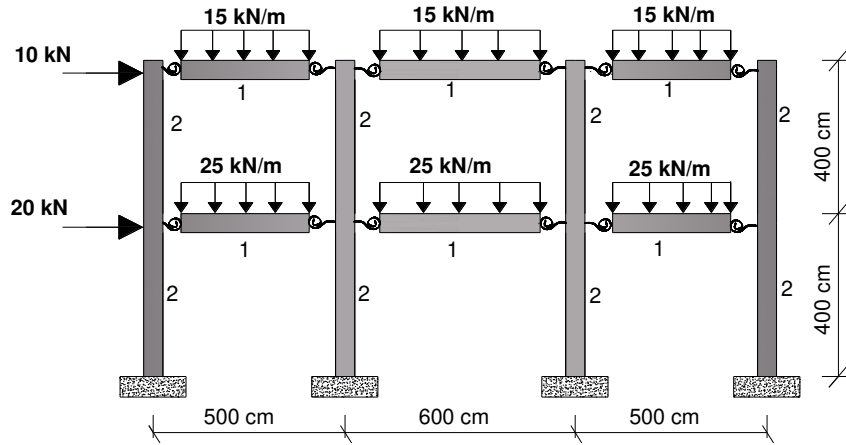
- Çerçeve geometrisi ve yükleri belirlenerek, kolon-kiriş bağlantı tipine karar verilmelidir.
- Avcı grubu optimizasyon prosedürüne başlamadan önce belirlenmiş olan avcı sayısı kadar aday çözüm tasarım kısıtlayıcıları kullanılarak elde edilen uygun çözümler arasından seçilerek oluşturulur.
- Çerçeve matris deplasman yöntemi kullanılarak analiz edilir. Tasarım sınırlayıcılarının kontrolünü üstlenen geri uçuş mekanizması kullanılır ve herhangi bir tasarım sınırlayıcısının sağlanmaması durumunda söz konusu çözüm terk edilerek yeni bir çözüm geliştirilmeye başlanır.
- Grup içerisinde lidere doğru bir yöneliş söz konusudur. Her avcı için lidere doğru yapılan hareket başarı ile sonuçlanmışsa, avcı yeni konumunda kalır. Avcıların bu yeni uygun çözümler içerisinde en hafif yapı ağırlığını veren çözüm yeni lider olarak belirlenir.
- Diğer adımda avcılar birbirleri ile işbirliği içerisinde konumlarını düzeltirler.
- Bir sonraki adım avcı grubunun tekrar organize olduğu adımdır. Belirlenen iterasyon sayısı tamamlanıncaya kadar bu işlemler tekrarlanır

4.12 Tasarım Örnekleri

Bu bölümde; beş adet düzlemsel çelik çerçeve kolon kiriş bağlantı noktaları yarı rijit bağlantı modelleri olan ; uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim modellerine göre ayrı ayrı tasarlanarak minimum ağırlık için boyutlandırılmıştır. Ele alınan tüm örneklerde, birleşim noktalarında lineer olmayan moment-dönme eğrileri ile birlikte $P-\Delta$ etkileri de göz önüne alınmıştır. Çerçevenin boyutlandırılması yapılırken tasarım kısıtları da hesaba katılmıştır. Önceki bölümde ele alınan iki katlı üç açıklıklı, dört katlı dört açıklıklı, sekiz katlı altı açıklıklı, on katlı dört açıklıklı ve oniki katlı dört açıklıklı çerçeve modelleri, bu kez yarı – rijit bağlantı kabulüyle boyutlandırılmış ve bu değişikliği yapı ağırlığına olan etkisi incelenmiştir.

4.12.1 İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çelik Çerçeve

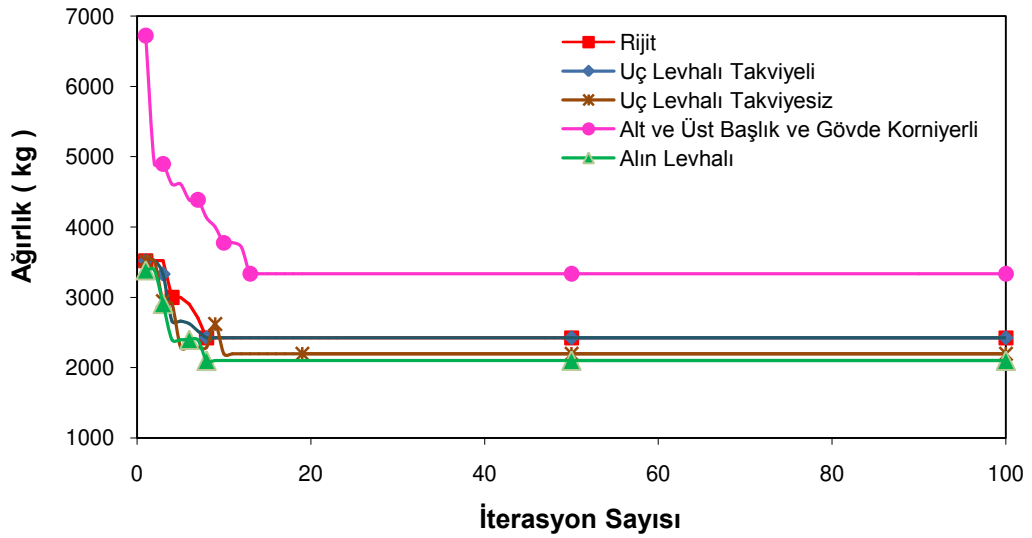
İlk boyutlandırma problemi olarak bağlantı noktalarını kısmen moment aktarabilen birleşimlerin oluşturduğu Şekil 4.22'de görülmekte olan iki katlı ve üç açıklıklı düzlemsel çerçeve ele alınmıştır. Yapıda bulunan bütün kolon-kiriş birleşimleri sırasıyla; uç levhali kolon takviyeli, uç levhali kolon takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhali birleşim olarak tertiplenmiştir. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları, yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları Şekil 4.22 üzerinde gösterilmiştir. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katta 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler varsayılırken; yatay yük olarak ise çatı katında 10 kN normal katta ise 20 kN büyüklüğünde tekil yükler varsayılarak düğüm noktalarına yüklenmiştir. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapının maksimum tepe noktası deplasmanı, yapı yüksekliğinin 1/300 oranında sınırlandırılmıştır. Çelik için elastisite modülü 200 kN/mm^2 olarak kabul edilmiştir. Yapıda bulunan kirişler ve kolonlar iki farklı grup altında ele alınmıştır. Kirişler için 1 numaralı grup, kolonlar için ise 2 numaralı grup altında toplanmıştır.



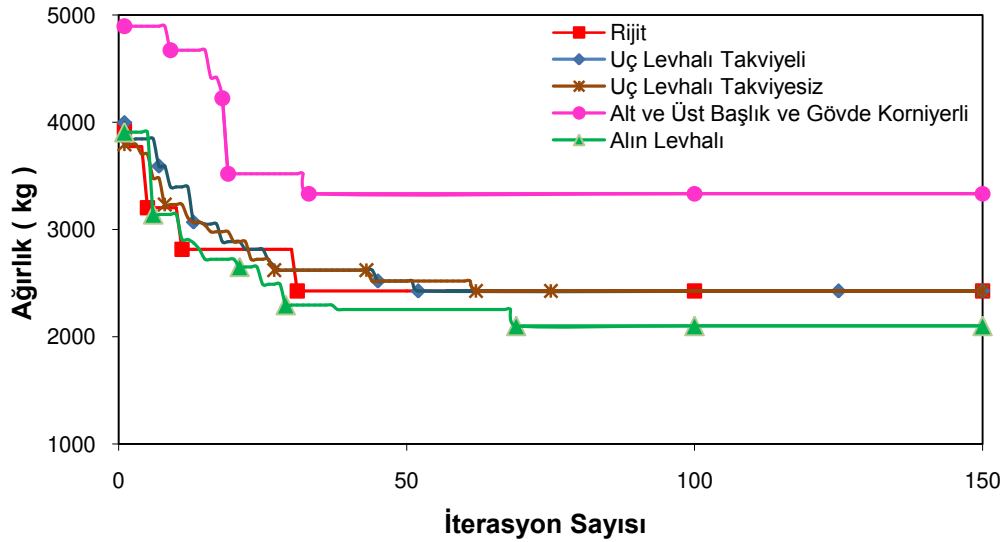
Şekil 4.22 - İki Katlı ve Üç Açıklıklı Çelik Çerçeve

Ele alınan düzlemsel çerçeve sistemde kolon kiriş bağlantı noktalarındaki farklılıkların yapı elemanlarında meydana getirdiği etkiler araştırılmaya çalışılmış ve çerçeve sadece birleşim tipleri değiştirilerek tekrar tekrar boyutlandırılmıştır. Çerçevenin ağırlık optimizasyon problemi için; parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yöntemi olmak üzere iki farklı arama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 4.23 ve 4.24'de verilmiştir. Bulunan en uygun sonuçlar ile birlikte çerçevenin tamamen rijit bağlantı noktalarına sahip olması durumu sonucunda elde edilen değerler ise Çizelge 4.2 ve 4.3'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Parçacık sürü optimizasyon yöntemi sonuçlarına bakıldığında; rijit birleşim ile uç levhali takviyeli birleşim tipinin yapı ağırlığı üzerindeki etkilerinin aynı olduğu, uç levhali takviyesiz birleşim

tipinin de bunlara benzer bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Av arama optimizasyon tekniğinde ise üç birleşim tipi yapı ağırlığı üzerinde aynı etkiyi göstermiştir. Alın levhali birleşim tipi ele alınan örnekte minimum yapı ağırlığının azalması yönünde etki yaparken, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim tipi yapının ağırlığını artıran bir davranış özelliği gösterdiği her iki optimizasyon yöntemi ile bulunan sonuçlardan anlaşılmaktadır.



Şekil 4.23 - Parçacık Sürü Yöntemi ile İki Katlı Üç Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar



Şekil 4.24 - Av Arama Yöntemi ile İki Katlı Üç Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Parçacık sürü optimizasyonunda; rijit birleşim, uç levhalı takviyeli birleşim tipi kullanılan çerçevelerde; kolon ve kiriş grupları için aynı profil kesitleri belirlenmiş ve dolayısıyla bu yapıların ağırlıkları her iki birleşim tipi kullanıldığında aynı değerlerde olmaktadır. Alın levhalı birleşim modeli; rijit bağlantıya göre yapının ağırlığını %13 oranında düşürürken, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim modeli kullanılması yapının ağırlığını %37'si kadar artırdığı görülmektedir.

Av arama optimizasyonunda; rijit birleşim, uç levhalı takviyeli ve uç levhalı takviyesiz birleşim tipi kullanılan çerçevelerde; kolon ve kiriş grupları için aynı profil kesitleri belirlenmiş ve dolayısıyla bu yapıların ağırlıkları her üç birleşim tipi kullanıldığında aynı değerlerde olmaktadır. Alın levhalı birleşim; rijit bağlantıya göre yapının ağırlığını %13 oranında düşürürken, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim kullanılması yapının ağırlığını %37 kadar artırdığı görülmektedir.

Her iki optimizasyon yöntemi sonuçlarına bakıldığında; elemanların maksimum bileşik dayanım oranları tasarım belirleyicisi oldukları görülmektedir. Yapıların tepe noktası deplasmanları açısından; her iki yöntemde elde edilen sonuçların paralel olduğu ve yapı ağırlığının fazla olduğu alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim noktasına sahip yapılarda en düşük deplasmanın olduğu çizelgedeki sonuçlara bakıldığında anlaşılmaktadır. Kesme sınırlayıcısı yönünden elemanların sınır değerlerin çok uzağında olduğu açıkça görülmektedir. Göreli kat ötelemesi oranlarının böyle bir yapıda tasarım açısından önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.2 - Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle İki Katlı Üç Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

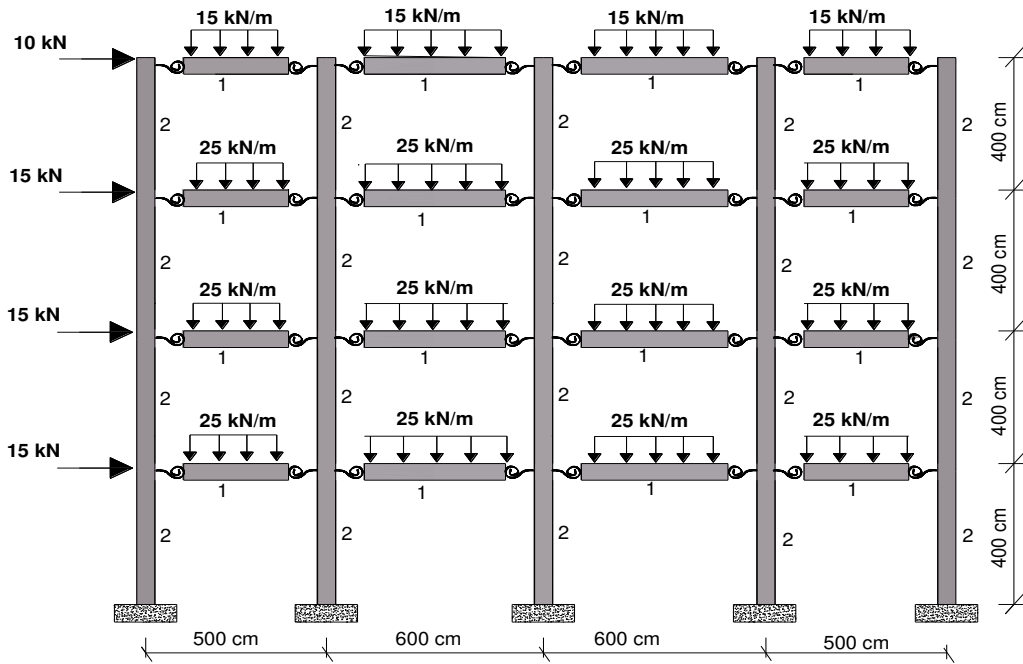
Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhali Takviyeli	Uç Levhali Takviyesiz	Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli	Alın Levhali
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1	W410X38,8	W250X58	W360X39
2	Kolon	W150X29,8	W150X29,8	W150X29,8	W200X46,1	W200X26,6
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,46	0,61	0,68	0,60	0,77
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,98	0,88	0,95	0,95	0,98
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		1,95	2,34	2,52	1,69	2,35
Maksimum kesme oranı		0,26	0,26	0,27	0,39	0,31
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		2427,749	2427,749	2196,069	3331,630	2101,439
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		23,808	23,808	21,536	32,672	20,608

Çizelge 4.3 - Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle İki Katlı Üç Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhali Takviyeli	Uç Levhali Takviyesiz	Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli	Alın Levhali
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1	W410X46,1	W250X58	W360X39
2	Kolon	W150X29,8	W150X29,8	W150X29,8	W200X46,1	W200X26,6
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,73	0,57	0,66	0,67	0,77
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,98	0,91	0,89	0,99	0,99
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		1,95	2,25	2,49	1,83	2,35
Maksimum kesme oranı		0,26	0,26	0,25	0,40	0,31
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		2427,749	2427,749	2427,749	3331,630	2101,439
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		23,808	23,808	23,808	32,672	20,608

4.12.2 Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve

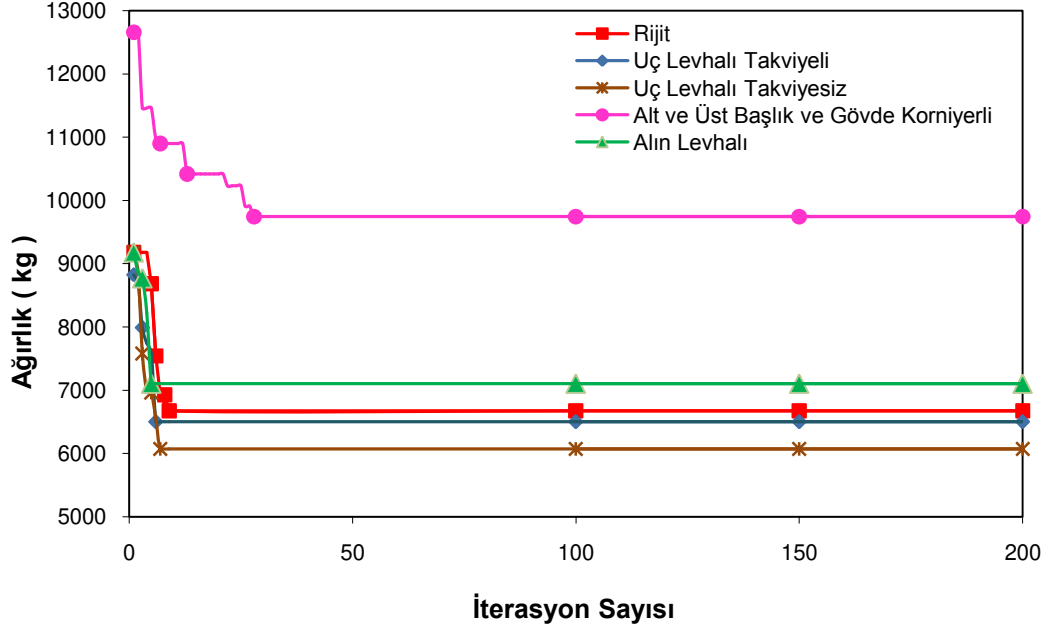
Dört katlı ve dört açıklıklı, yarı rijit bağlantı tiplerine sahip düzlemsel çerçevede yapıların ağırlıkları av arama ve parçacık sürü optimizasyon tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Birleşim noktaları uç levhali takviyeli ve takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhali birleşim tiplerine göre tasarlanmıştır. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları, yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları Şekil 4.25 üzerinde gösterilmiştir. Yapıda düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katlarda 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler varsayılırken; yatay yük olarak ise çatı katında 10 kN normal katlarda ise 15 kN büyüklüğünde tekil yükler varsayılarak düğüm noktalarına yüklenmiştir. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapıda toplam otuz altı eleman bulunmaktadır ve kirişler ve kolonlar için olmak üzere tüm elemanlar iki farklı grup altında ele alınmıştır. Kirişler için 1 numaralı grup, kolonlar için ise 2 numaralı grup belirlenmiştir.



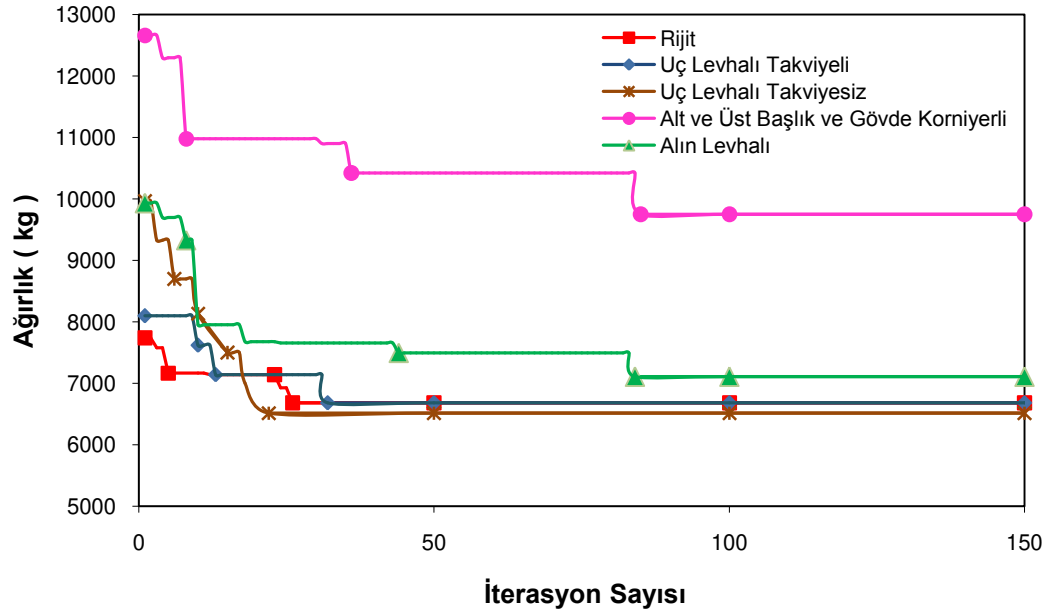
Şekil 4.25 - Dört Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve

Bulunan sonuçlar Şekil 4.26. ve 4.27 ve Çizelge 4.4 ve 4.5'de gösterilmiştir. Her iki optimizasyon yöntemine göre; yapı ağırlığı en düşük uç levhali takviyesiz bağlantı tipi kullanılan yapılarda ortaya çıkarken parçacık sürü optimizasyonunda; bu bağlantı tipi sayesinde yapı ağırlığı rijit bağlantıya göre %9 daha hafif olarak belirlenmiş olup av arama yönteminde ise bu oran %2 olarak bulunmuştur..

Her iki yöntemde rijit bağlantı tipi aynı etkileri gösterirken; en büyük yapı ağırlığı alt ve üst başlık ve gövde korniyerli bağlantı tipi ile tasarlanan yapı tipinde ortaya çıktığı görülmektedir. Parçacık sürü optimizasyon yönteminde optimum sonuca daha az iterasyon sayısında ulaşılırken, av arama optimizasyon yöntemi daha fazla adım sayısında ulaşılmaktadır.



Şekil 4.26 – Parçacık Sürü Yöntemi İle Dört Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar



Şekil 4.27 - Av Arama Yöntemi İle Dört Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Parçacık sürü optimizasyonunda; rijit birleşim tipine sahip yapıların ağırlığı uç levhalı takviyeli ve uç levhalı takviyesiz birleşim kullanılan çerçevelere göre daha fazla olmasına karşı alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşim ve alın levhalı birleşim tipi ile modellenen yapıların ağırlıklarına göre daha düşüktür. Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim modellerinde, birleşim kiriş gövde yüksekliğinde kullanılan korniyer ve alın levhalarının boyutları, tasarım sınırlayıcılarından dolayı daha büyük seçilmek zorunda kalmıştır. Dolayısıyla gövde yüksekliğinde birleşim elemanı kullanılan bu iki birleşim modelinin kullanıldığı yapılarda kirişler de bu doğrultuda gereğinden büyük olarak seçilmek zorunda kalınmıştır. Bu nedenle alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim modelleri yapı ağırlığını artırıcı yönde bir etki oluşturmaktadır.

Av arama optimizasyonunda; rijit birleşim ile uç levhalı takviyeli birleşim modelinin kullanıldığı yapılarda kolon ve kiriş grupları için aynı profil kesitleri belirlenmiş ve dolayısıyla bu yapıların ağırlıkları her iki birleşim tipi kullanıldığında aynı değerlerde olmaktadır. Uç levhalı takviyesiz birleşim modeli kullanıldığında yapı ağırlığı av arama yönteminde rijit bağlantıya göre daha hafif olmaktadır. Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim modellerinde, birleşim kiriş gövde yüksekliğinde kullanılan korniyer ve alın levhalarının boyutları tasarım sınırlayıcılarından dolayı daha büyük seçilmek zorunda kalmıştır. Dolayısıyla gövde yüksekliğinde birleşim elemanı kullanılan bu iki birleşim modelinin kullanıldığı yapılarda kirişler de bu doğrultuda gereğinden büyük olarak belirlenmiştir. Bu nedenle alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim modelleri yapı ağırlığı üzerinde artırıcı yönde bir etki oluşturmaktadır.

Her iki optimizasyon yöntemi sonuçlarına bakıldığında; tüm birleşim tiplerinde iki yöntem ile yapılan aramalarda birbirine benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Her iki arama yönteminde rijit ve uç levhalı takviyeli birleşim tipleri için tasarım belirleyicisi maksimum bileşik dayanım oranı olurken, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim modellerinin kullanıldığı çerçevelerde tasarım belirleyicisi olarak maksimum görelî kat ötelemesinin olduğu görülmektedir. Yapıların tepe noktası deplasmanları açısından; her iki yöntemde elde edilen sonuçların birbirine yakın olması her iki yöntemin sonuçlarının birbirini doğruladığını da göstermektedir. Tüm birleşim modellerine göre, her iki optimizasyon yönteminde elde edilen sonuçlara göre kesme yönünde elemanların sınır değerlerin çok uzağında olduğu açıkça görülebilmektedir.

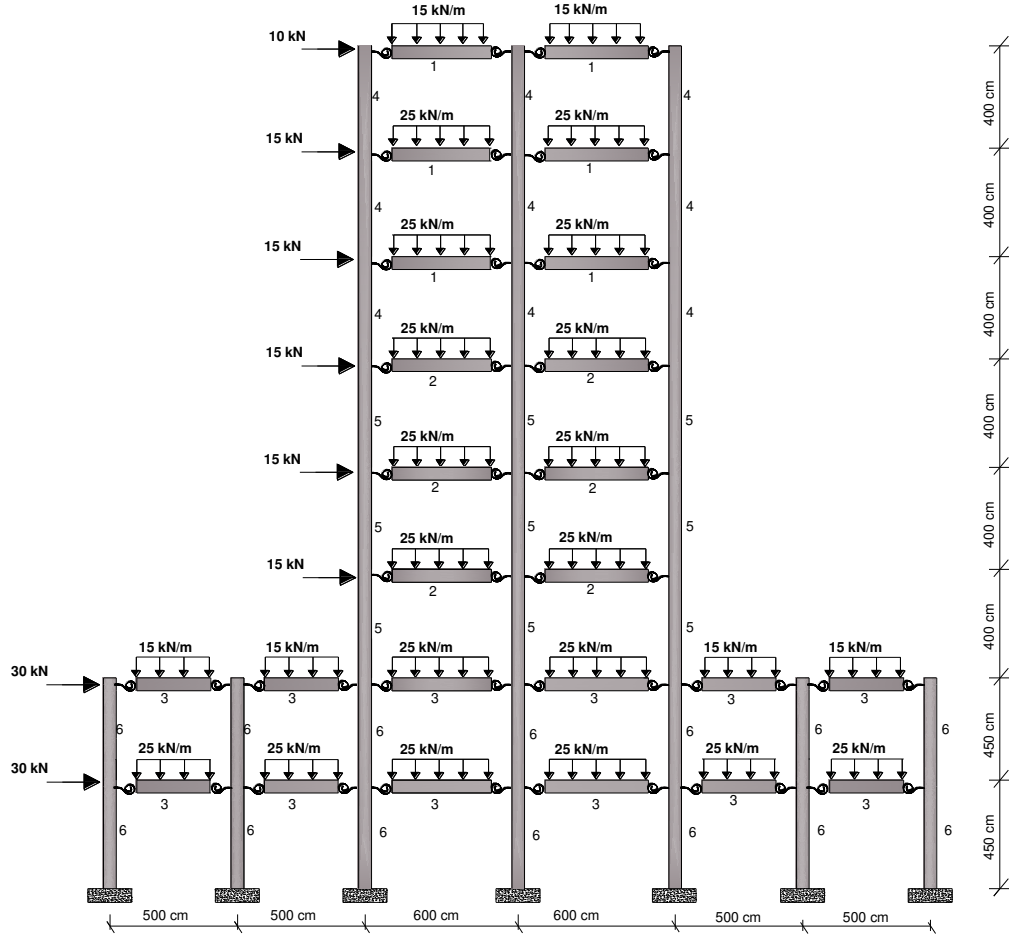
Çizelge 4.4 - Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle Dört Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhali Takviyeli	Uç Levhali Takviyesiz	Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli	Alın Levhali
1	Kiriş	W410X46,1	W410X38,8	W360X39	W250X58	W410X38,8
2	Kolon	W250X32,7	W250X38,5	W360X32,9	W250X58	W410X46,1
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,70	0,90	0,97	0,95	0,98
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,99	0,92	0,87	0,81
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		2,92	3,66	3,82	3,80	4,06
Maksimum kesme oranı		0,27	0,28	0,31	0,40	0,27
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		6674,679	6502,553	6071,820	9747,710	7106,222
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		65,456	63,768	59,544	95,592	69,688

Çizelge 4.5 - Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle Dört Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhali Takviyeli	Uç Levhali Takviyesiz	Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli	Alın Levhali
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1	W410X38,8	W250X58	W410X38,8
2	Kolon	W250X32,7	W250X32,7	W310X38,7	W250X58	W150X46,1
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,70	0,91	0,90	0,94	0,97
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,91	0,99	0,86	0,81
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		2,92	3,76	3,70	3,73	4,03
Maksimum kesme oranı		0,27	0,26	0,28	0,40	0,27
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		6674,679	6674,679	6518,867	9747,710	7106,220
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		65,456	65,456	63,928	95,592	69,688

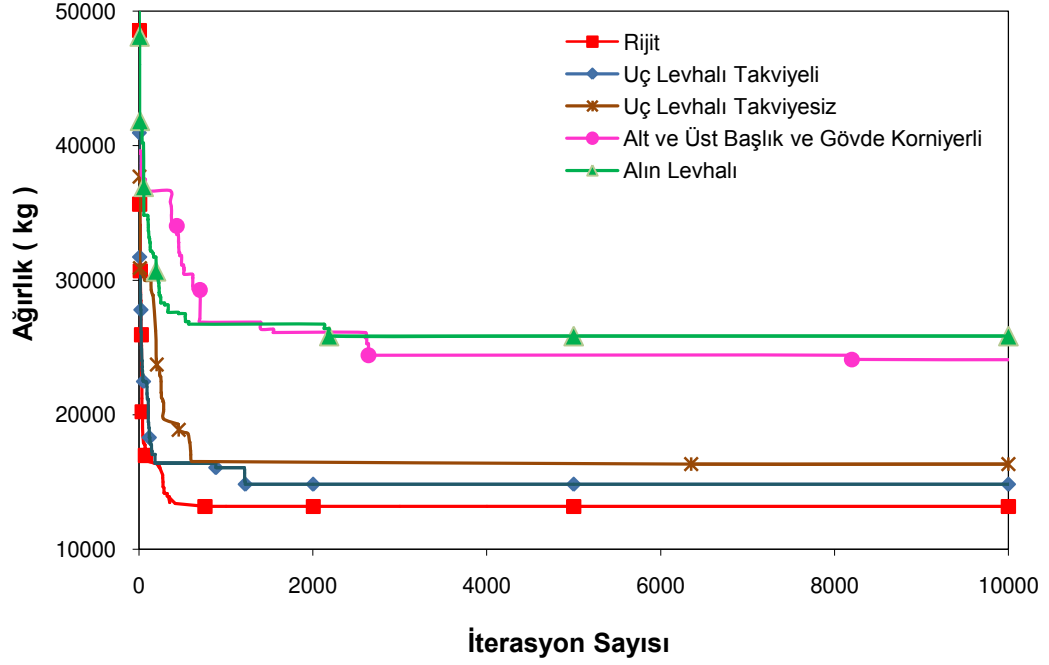
4.12.3. Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çelik Çerçeve



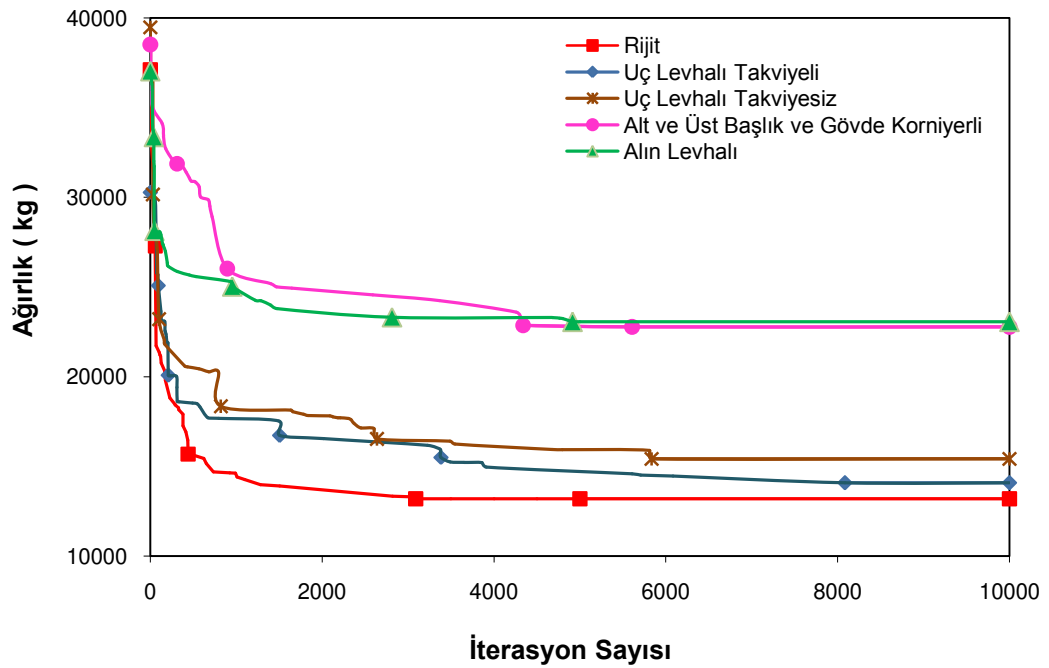
Şekil 4.28 - Sekiz Katlı ve Altı Açıklıklı Çelik Çerçeve

Sekiz katlı ve altı açıklıklı düzlemsel çerçevede birleşim noktaları uç levhalı takviyeli ve takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı bağlantılar dikkate alınarak yapıların tasarımı yapılmıştır. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları, yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları Şekil 4.28 üzerinde gösterilmiştir. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katlarda 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler varsayılırken; yatay yük olarak ise çatı katında 10 kN yapının en alttaki iki katında 30 kN ve diğer katlarda ise 15 kN büyüklüğünde tekil yükler şeklinde düğüm noktalarına yüklenmiştir. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapının maksimum tepe noktası deplasmanı, yapı yüksekliğinin 1/300 oranında sınırlandırılmıştır. Taşıyıcı elemanların kapasite değerleri LRFD – AISC şartnamesine göre hesaplanmıştır. Yapıda toplam elli altı eleman bulunmaktadır. Yapıda bulunan kirişler; üstten ilk üç kat için 1 numaralı grup, diğer üç kat için 2 numaralı grup ve alttan iki kat için ise 3 numaralı eleman grupları olarak ayrılmıştır. Aynı şekilde

kolonlar da; üstten ilk üç kat için 4 numaralı grup, diğer üç kat için 5 numaralı grup ve alttan iki kat için ise 6 numaralı eleman grupları olarak ayrılmıştır.



Şekil 4.29 – Parçacık Sürü Yöntemi İle Sekiz Katlı Altı Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar



Şekil 4.30 – Av Arama Yöntemi İle Sekiz Katlı Altı Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Düğüm noktalarının tipine göre yapı ağırlığının iterasyon sayısına göre değişimi Şekil 4.29 ve 4.30 ve Çizelge 4.6 ve 4.7’de görülmektedir. Her iki optimizasyon yöntemine göre; birleşim tipinin değişimi rijit davranıştan mafsal davranışa doğru ilerledikçe, yapının ağırlığının arttığı ve en düşük yapı ağırlığının bağlantı noktalarının tamamen rijit olduğu durumda ortaya çıkacağı görülmektedir. Gerek parçacık sürü yöntemine gerekse av arama yöntemine göre en büyük yapı ağırlığı, mafsal davranışa en yakın davranış gösteren alın levhalı birleşim tipinin kullanıldığı yapıda olduğu belirlenmiştir. Rijit bağlantı kullanıldığında her iki yöntemde yapı ağırlığı 13186,81 kg olarak bulunurken; alın levhalı birleşim kullanıldığında bu değer parçacık sürü optimizasyonunda 25839,71 kg, av arama yönteminde ise 23051,39 kg olarak bulunmuştur. Diğer birleşim tiplerinde de her iki yöntem arasında benzer bir ilişki bulunması av arama optimizasyon yönteminin performansının bu yapı için parçacık sürü yönteminde daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 4.2. ve şekil 4.30’dan da anlaşılacağı üzere parçacık sürü yöntemi, av arama yöntemine göre optimum sonuca daha az iterasyon adımıyla yaklaşmaktadır. Fakat, av arama yöntemi ile daha fazla adımda optimum sonuca ulaşılrken bu sonuç parçacık sürü yöntemine göre daha düşük yapı ağırlığı olarak bulunmuştur.

Kullanılan her iki arama yöntemine göre; rijit bağlantılı yapılarda maksimum bileşik dayanım oranı tasarımda belirleyici olurken, yarı rijit davranış gösteren diğer yapılarda görel kat ötelemesi oranlarının daha etkili olduğu görülmektedir. Yapı elemanlarının hiçbirinin kesme yönünde kritik olmadığı açıkça görülmektedir. Her iki yöntemde göre rijit birleşimli yapılarda tepe noktasının yapacağı deplasman 8,79 cm olarak belirlenmiştir.

Parçacık sürü optimizasyon yönteminde bulunan görel kat ötelemesi oranları; rijit, uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim tiplerine göre sırasıyla; 0,98 , 0,99 , 1,00 , 0,99 ve 0,99 olarak bulunmuştur. Av arama optimizasyon yönteminde ise bu oranlar; rijit, uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim tiplerine göre sırasıyla; 0,98 , 0,97 , 0,99 , 0,99 ve 0,98 olarak bulunmuştur.

Av arama yönteminde bulunan yapı ağırlığı, parçacık sürü yöntemine göre uç levhalı takviyeli birleşimde %5 , uç levhalı takviyesiz birleşimde %5,5 , alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşimde % 4,5 , ve alın levhalı birleşimde % 11 oranında daha düşük olarak bulunmuştur.

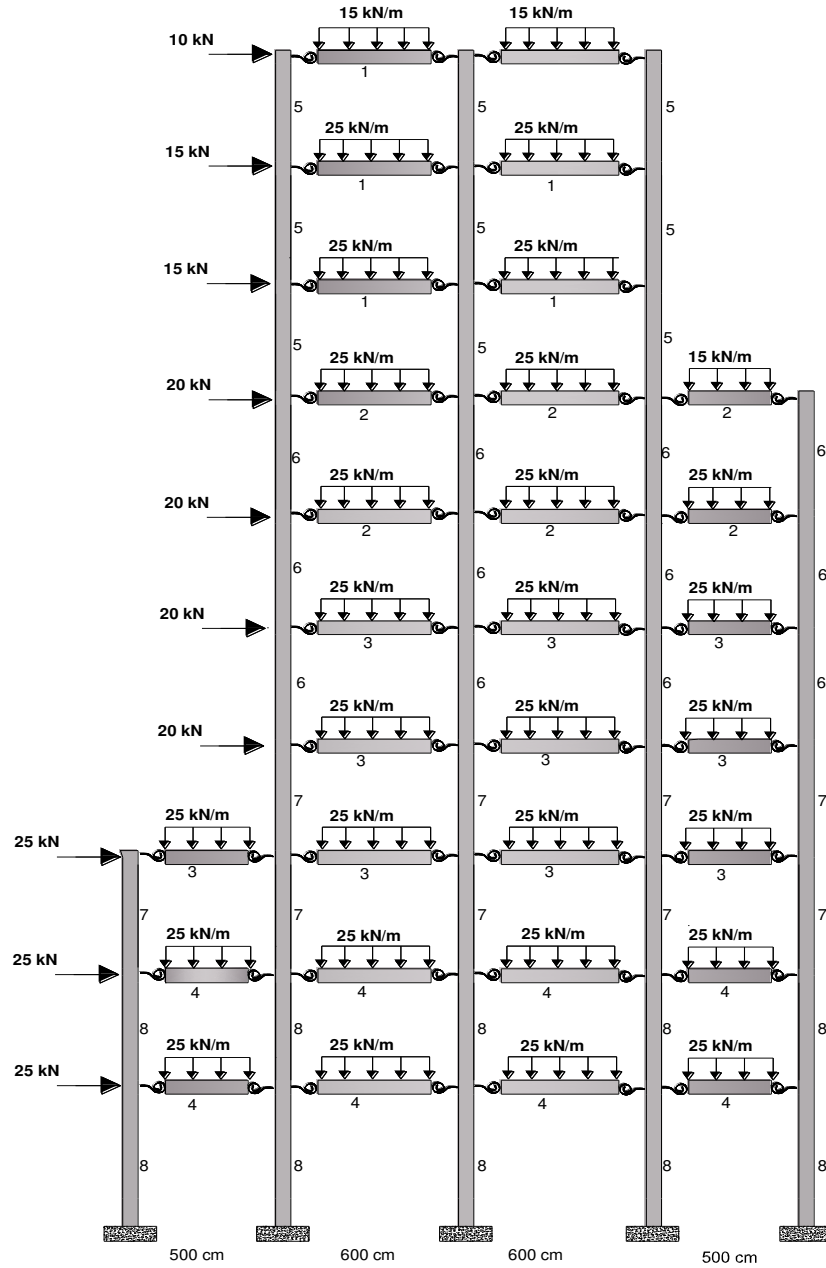
Çizelge 4.6 - Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle Sekiz Katlı Altı Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhalı Takviyeli	Uç Levhalı Takviyesiz	Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli	Alın Levhalı
1	Kiriş	W410X46,1	W410X38,8	W410X38,8	W360X44	W530X66
2	Kiriş	W460X52	W530X66	W530X74	W460X68	W610X101
3	Kiriş	W460X52	W410X46,1	W530X66	W310X74	W360X51
4	Kolon	W250X32,7	W310X38,7	W310X38,7	W310X60	W310X44,5
5	Kolon	W310X52	W410X67	W410X67	W690X125	W760X134
6	Kolon	W460X52	W460X68	W410X67	W760X134	W760X161
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,98	0,99	1,00	0,99	0,99
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,90	0,96	0,92	0,90
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		8,79	9,49	9,37	8,23	7,97
Maksimum kesme oranı		0,29	0,29	0,29	0,32	0,29
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		13186,810	14815,400	16313,780	23865,740	25839,710
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		129,318	145,288	159,982	234,042	253,400

Çizelge 4.7 - Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle Sekiz Katlı Altı Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhalı Takviyeli	Uç Levhalı Takviyesiz	Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli	Alın Levhalı
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1	W410X38,8	W360X44	W410X38,8
2	Kiriş	W460X52	W530X66	W530X74	W460X97	W530X66
3	Kiriş	W460X52	W410X46,1	W460X52	W310X52	W410X38,8
4	Kolon	W250X32,7	W310X38,7	W410X38,8	W360X64	W410X38,8
5	Kolon	W310X52	W410X53	W410X67	W610X101	W610X92
6	Kolon	W460X52	W460X60	W410X67	W760X134	W690X192
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,98	0,97	0,99	0,99	0,98
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,92	0,98	0,97	0,81
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		8,79	9,49	9,77	8,36	7,85
Maksimum kesme oranı		0,29	0,28	0,28	0,32	0,28
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		13186,810	14072,030	15423,360	22768,110	23051,390
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		129,318	137,998	151,251	223,278	226,056

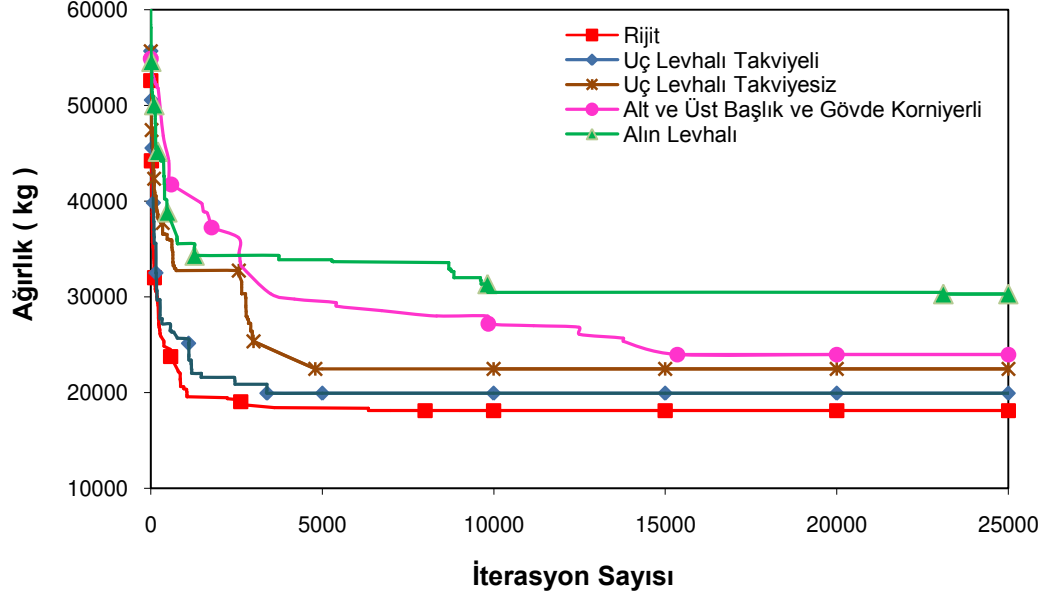
4.12.4 On Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve



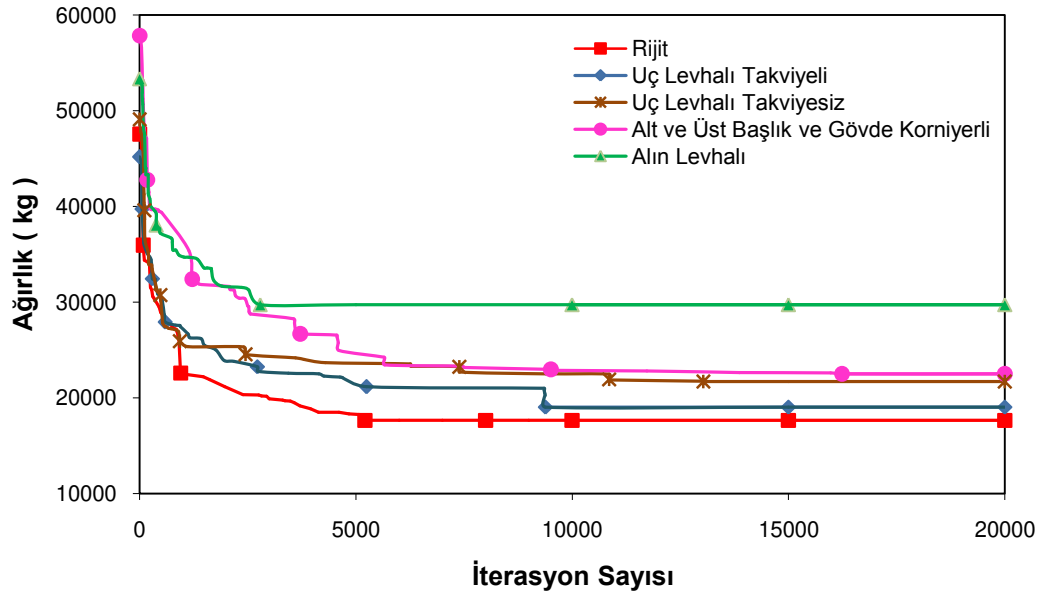
Şekil 4.31 - On Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve

On katlı ve dört açıklıklı Şekil 4.31’de görülmekte olan düzlemsel çelik çerçeve sistemin minimum yapı ağırlığının amaç fonksiyonu olarak belirlendiği optimizasyon problem ele alınmıştır. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları, yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları şekil üzerinde gösterilmiştir. Yapının alttan ilk katında kat yüksekliği 5,0 m olarak belirlenirken diğer katlarda kat yüksekliği olarak 4,0 m olarak düşünülmüştür. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katlarda 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler yüklenmiştir. Yapının kolon –

temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapıda toplam yetmiş eleman bulunmaktadır. Yapıda bulunan kirişler; üst katlardan alt katlara doğru 1 ile 4 arasında grup numaraları ile ayrılırken, kolonlar ise yine üst katlardan alt katlara doğru 5 ile 8 arasında değişen grup numaraları ile ayrılmıştır.



Şekil 4.32 - Parçacık Sürü Yöntemi İle On Katlı ve Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar



Şekil 4.33 - Av Arama Yöntemi İle On Katlı ve Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Yapıdaki düğüm noktaları rijit olarak tasarlandığı gibi ayrıca uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim tipi gibi yarı rijit davranış gösterebilen birleşim tipleri kullanılarak, birleşim tiplerinin değişiminin yapı ağırlığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Her iki optimizasyon yöntemine göre; birleşim tipinin değişimi rijit davranıştan mafsal davranışa doğru ilerledikçe, yapının ağırlığının arttığı ve en düşük yapı ağırlığının bağlantı noktalarının tamamen rijit olduğu durumda ortaya çıkacağı görülmektedir (Şekil 4.32 ve 4.33). Gerek parçacık sürü yöntemine gerekse av arama yöntemine göre en büyük yapı ağırlığı, yapıda kullanılan birleşim modelleri içerisinde mafsal davranışa en yakın model olan alın levhalı birleşim tipinin kullanıldığı yapıda oluştuğu belirlenmiştir. Rijit bağlantı kullanıldığında parçacık sürü yönteminde yapı ağırlığı 18121,21 kg olarak bulunurken; av arama yöntemi ile yapılan çözümde ise yapı ağırlığı 17663,790 kg olarak bulunmuştur. Diğer bağlantı tiplerinde de her iki yöntem arasında benzer bir ilişki bulunması av arama optimizasyon yönteminin performansının; özellikle optimum çözümün daha fazla iterasyon sayısı sonucunda elde edildiği problemlerde daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'den de anlaşılacağı üzere parçacık sürü yöntemi, av arama yöntemine göre optimum sonuca daha az adımda yaklaşmaktadır. Fakat, av arama yöntemi daha fazla adımda optimum sonuca ulaşırken bu sonuçlar parçacık sürü yöntemine göre elde edilen optimum sonuçlardan daha hafif olarak bulunmuştur.

Parçacık sürü optimizasyon yönteminde bulunan görelî kat ötelemesi oranları; rijit, uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim tiplerine göre sırasıyla; 0,96 , 0,99 , 0,99 , 0,99 ve 0,99 olarak bulunmuştur. Av arama optimizasyon yönteminde ise bu oranlar; rijit, uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim tiplerine göre sırasıyla; 0,99 , 0,96 , 0,98 , 0,92 ve 0,99 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8 ve 4.9).

Av arama yönteminde bulunan yapı ağırlığı, parçacık sürü yöntemine göre uç levhalı takviyeli birleşimde % 4,5 , uç levhalı takviyesiz birleşimde % 3, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli birleşimde % 6, ve alın levhalı birleşimde % 2 oranında daha düşük bulunmuştur.

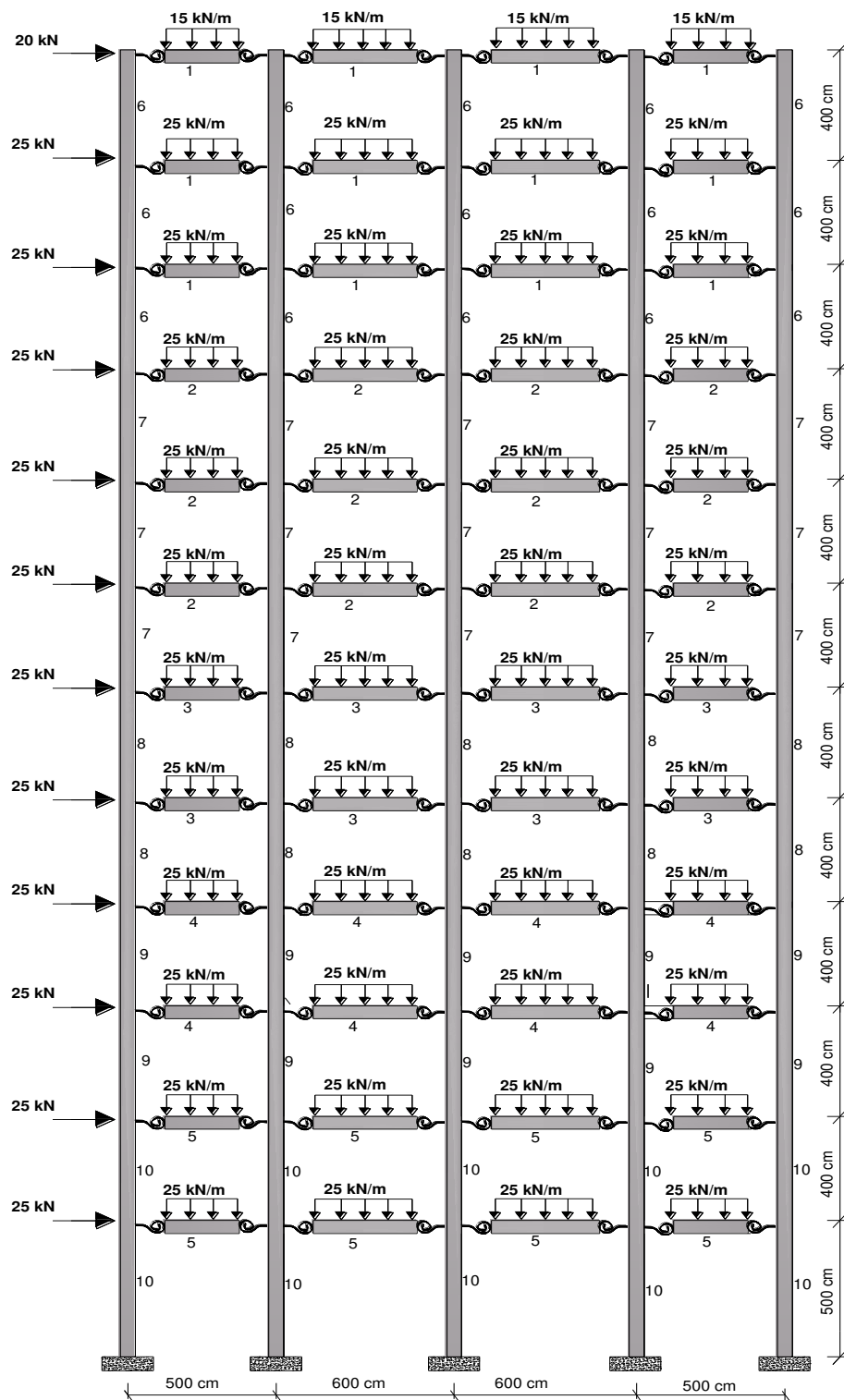
Çizelge 4.8 - Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle On Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhalı Takviyeli	Uç Levhalı Takviyesiz	Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli	Alın Levhalı
1	Kiriş	W410X46,1	W310X52	W410X38,8	W410X46,1	W410X38,8
2	Kiriş	W460X52	W410X38,8	W410X38,8	W410X46,1	W360X39
3	Kiriş	W460X52	W460X60	W460X60	W460X60	W460X52
4	Kiriş	W460X52	W530X66	W610X82	W410X46,1	W360X44
5	Kolon	W250X38,5	W310X52	W310X38,7	W410X53	W410X38,8
6	Kolon	W460X60	W460X60	W530X66	W410X85	W410X132
7	Kolon	W460X60	W530X66	W530X74	W530X101	W760X134
8	Kolon	W460X68	W530X74	W530X123	W610X125	W840X226
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,96	0,99	0,99	0,99	0,99
Maksimum bileşik dayanım oranı		1,00	0,95	0,89	0,96	0,94
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		10,39	11,71	10,65	11,31	9,83
Maksimum kesme oranı		0,29	0,33	0,30	0,30	0,33
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		18121,550	19921,260	22469,730	23982,800	30285,900
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		177,711	195,360	220,352	235,190	297,002

Çizelge 4.9 - Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle On Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

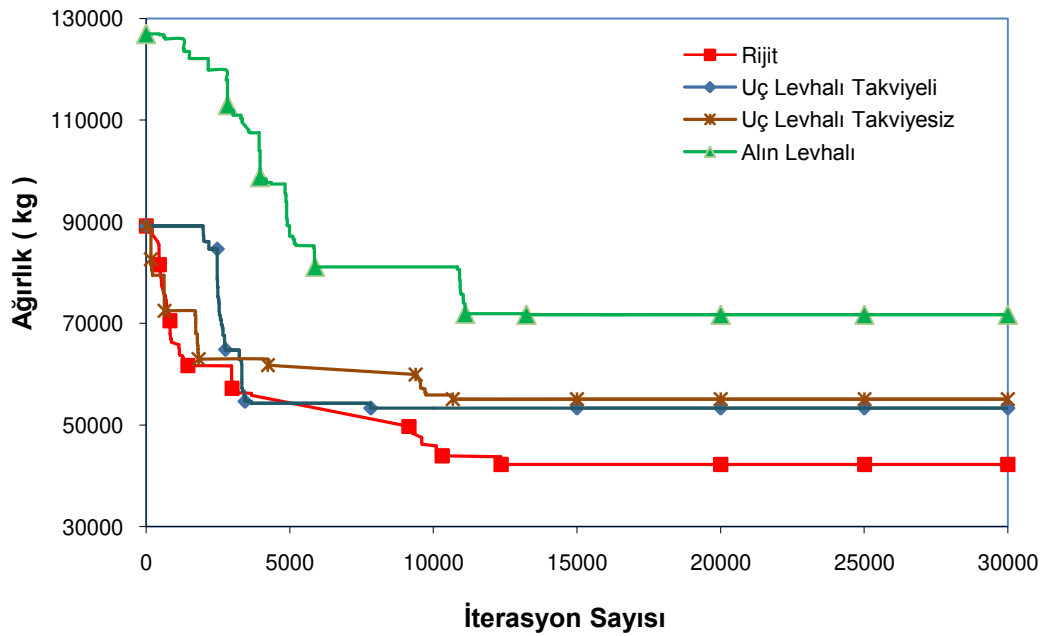
Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhalı Takviyeli	Uç Levhalı Takviyesiz	Alt ve Üst Başlık ve Gövde Korniyerli	Alın Levhalı
1	Kiriş	W410X46,1	W410X38,8	W360X44	W410X46,1	W410X46,1
2	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1	W410X46,1	W410X46,1	W360X44
3	Kiriş	W460X52	W460X60	W530X66	W460X60	W530X66
4	Kiriş	W460X52	W530X74	W610X82	W460X60	W310X52
5	Kolon	W360X44	W410X38,8	W360X44	W310X52	W310X38,7
6	Kolon	W360X51	W410X53	W360X51	W460X60	W460X89
7	Kolon	W460X52	W460X60	W530X74	W460X82	W530X101
8	Kolon	W460X74	W460X74	W530X101	W530X123	W840X251
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,99	0,96	0,98	0,92	0,99
Maksimum bileşik dayanım oranı		1,00	0,97	0,99	0,92	0,78
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		10,81	11,05	10,36	10,49	9,76
Maksimum kesme oranı		0,29	0,29	0,31	0,29	0,32
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		17663,790	19024,110	21700,770	22491,560	29734,220
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		173,222	186,562	212,811	220,566	291,592

4.12.5 On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çelik Çerçeve



Şekil 4.34 - On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Çerçeve

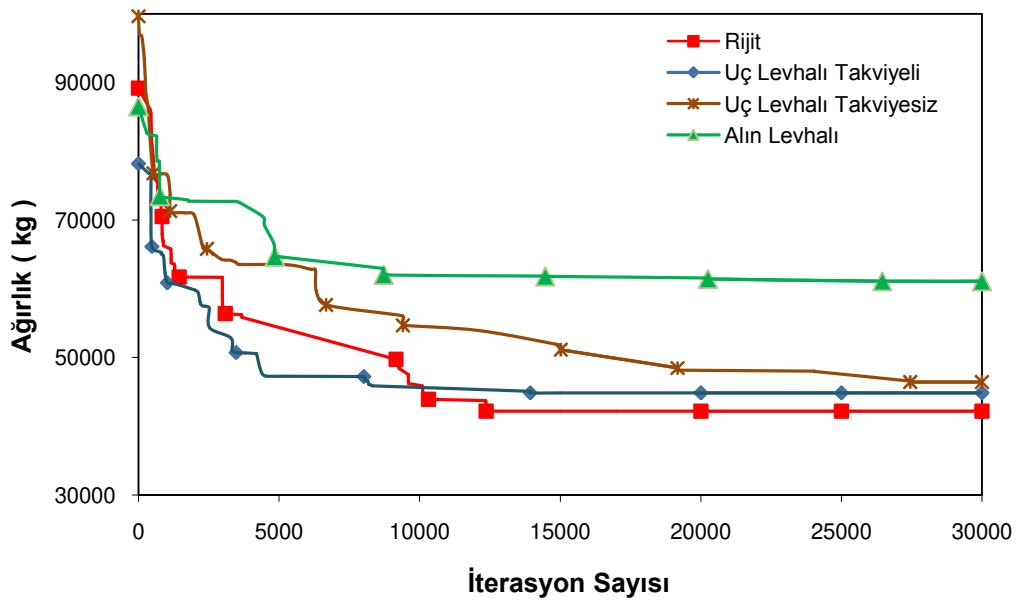
Yapı ağırlığına düşüm noktaları değişiminin etkisinin araştırılması amacıyla ele alınan son örnek için on iki katlı ve dört açıklıklı Şekil 4.34'de görülmekte olan düzlemsel çerçeve tipi çelik çerçeve sistemdir. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları, yatay ve düşey yükler ile eleman grup numaraları şekil üzerinde gösterilmiştir. Düşey yük olarak çatı katında 15 kN/m, normal katlarda 25 kN/m büyüklüğünde yayılı yükler yüklenmiştir. Yapının kolon – temel bağlantılarının tümü ankastre mesnet davranışı gösterecek şekilde modellenmiştir. Yapıda toplam yüz sekiz eleman bulunmaktadır. Yapıda bulunan kirişler; üst katlardan alt katlara doğru 1 ile 5 arasında grup numaraları ile ayrılırken, kolonlar ise yine üst katlardan alt katlara doğru 6 ile 10 arasında değişen grup numaraları ile ayrılmıştır.



Şekil 4.35 – Parçacık Sürü Yöntemi İle On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Ele alınan on iki katlı ve dört açıklıklı düzlemsel çerçeve çelik bir yapıda, yapının birleşim noktaları dışında tüm özellikleri ve yük dağılımı değiştirilmeden birleşim tiplerine göre yapı ağırlığının değişimi Şekil 4.35 ve 4.36'da görülmektedir. Yapıda birleşimler; rijit olarak tasarlandığı gibi ayrıca uç levhali takviyeli, uç levhali takviyesiz ve alın levhali birleşim tipi gibi yarı rijit davranış gösterebilen birleşim tipleri kullanılarak, birleşim tiplerinin yapı ağırlığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Her iki optimizasyon yöntemine göre; birleşim tipinin değişimi rijit davranıştan mafsal davranışa doğru ilerledikçe, yapının ağırlığının buna paralel olarak arttığı ve en düşük yapı ağırlığının bağlantı noktalarının tamamen rijit olduğu durumda ortaya çıkacağı görülmektedir. Gerek parçacık sürü yöntemine gerekse av arama yöntemine göre en büyük yapı ağırlığı, yapıda kullanılan birleşim modelleri içerisinde mafsal davranışa en yakın model olan alın levhali birleşim tipinin kullanıldığı yapıda oluştuğu belirlenmiştir. Yapıdaki kolon kiriş

birleşimleri alın levhalı birleşim olarak tasarlandığında parçacık sürü yönteminde yapı ağırlığı 71699,770 kg olarak bulunurken; av arama yöntemi ile yapılan çözümde ise yapı ağırlığı 61124,640 kg olarak bulunmuştur. Diğer bağlantı tiplerinde de her iki yöntem arasında benzer bir ilişki bulunması av arama optimizasyon yönteminin performansının; özellikle optimum çözümün daha fazla iterasyon sayısı sonucunda elde edildiği problemlerde daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 4.35 ve şekil 4.36'dan da anlaşılacağı üzere parçacık sürü yöntemi, av arama yöntemine göre optimum sonuca daha az adımda yaklaşmaktadır. Fakat, av arama yöntemi daha fazla adımda optimum sonuca yaklaşıırken, parçacık sürü yöntemine göre daha iyi sonuçlar bulmuştur.



Şekil 4.36 – Av Arama Yöntemi İle On İki Katlı ve Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Parçacık sürü optimizasyon yönteminde bulunan göreceli kat ötelemesi oranları; rijit, uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz ve alın levhalı birleşim tiplerine göre sırasıyla; 0,96 , 0,95 , 0,95 ve 0,97 olarak bulunmuştur. Av arama optimizasyon yönteminde ise bu oranlar; rijit, uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı birleşim tiplerine göre sırasıyla; 0,97 , 0,99 , 0,93 ve 0,95 olarak bulunmuştur. Her iki arama yöntemi sonuçlarına göre daha rijit davranış gösteren birleşimlerde tasarım belirleyicisi maksimum bileşik dayanım oranı iken, mafsala yakın davranış gösteren birleşim tiplerine doğru ilerledikçe tasarım belirleyicisi göreceli kat ötelemesi oranı olmaktadır (Çizelge 4.10 ve 4.11).

Av arama yönteminde bulunan yapı ağırlığı, parçacık sürü yöntemine göre uç levhalı takviyeli birleşimde % 16, uç levhalı takviyesiz birleşimde % 15,5 ve alın levhalı birleşimde % 15 oranında daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.10 - Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle On İki Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhalı Takviyeli	Uç Levhalı Takviyesiz	Alın Levhalı
1	Kiriş	W410X46,1	W360X44	W310X60	W360X51
2	Kiriş	W460X60	W360X101	W530X66	W530X150
3	Kiriş	W460X52	W530X66	W460X60	W360X57,8
4	Kiriş	W460X60	W460X52	W530X74	W610X113
5	Kiriş	W460X74	W610X101	W610X82	W200X100
6	Kolon	W250X38,5	W310X67	W360X79	W360X72
7	Kolon	W360X134	W310X107	W460X89	W610X155
8	Kolon	W360X134	W410X132	W610X113	W760X185
9	Kolon	W760X134	W840X210	W760X196	W760X220
10	Kolon	W760X134	W1000X222	W840X329	W1000X371
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,96	0,95	0,95	0,97
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,99	0,82	0,79
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		11,97	11,59	11,24	11,03
Maksimum kesme oranı		0,28	0,31	0,36	0,29
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		42220,050	53326,270	55089,580	71699,770
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		414,035	522,950	540,242	703,132

Çizelge 4.11 - Av Arama Optimizasyon Yöntemi İle On İki Katlı Dört Açıklıklı Yapı İçin Optimum Sonuçlar

Grup No	Eleman Tipi	Rijit	Uç Levhalı Takviyeli	Uç Levhalı Takviyesiz	Alın Levhalı
1	Kiriş	W410X46,1	W410X46,1	W410X38,8	W410X46,1
2	Kiriş	W410X67	W460X60	W460X52	W360X51
3	Kiriş	W410X60	W530X66	W460X74	W610X101
4	Kiriş	W460X68	W460X60	W460X52	W310X60
5	Kiriş	W410X53	W460X60	W690X170	W530X74
6	Kolon	W310X38,7	W310X38,7	W410X53	W360X44
7	Kolon	W410X75	W410X75	W460X60	W530X101
8	Kolon	W410X85	W410X132	W530X92	W760X173
9	Kolon	W610X101	W610X195	W610X153	W760X173
10	Kolon	W610X217	W690X217	W610X241	W760X484
Maksimum görelî kat ötelemesi oranı		0,97	0,99	0,93	0,95
Maksimum bileşik dayanım oranı		0,99	0,94	0,88	0,90
Tepe noktası deplasmanı (<i>cm</i>)		12,60	13,47	11,23	10,60
Maksimum kesme oranı		0,31	0,27	0,29	0,41
Minimum yapı ağırlığı (<i>kg</i>)		39478,250	44848,930	46451,310	61124,640
Minimum yapı ağırlığı (<i>kN</i>)		387,147	439,8162	455,530	599,425

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

SONUÇLAR

Toplam dört bölümden oluşmakta olan bu tez çalışmasında; yarı rijit bağlantı noktalarına sahip düzlemsel çerçevelerin, literatürde bulunan stokastik arama yöntemleri kullanılarak optimum tasarımı üzerinde araştırma yapılmıştır. Stokastik arama yöntemlerinden; parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yöntemleri kullanılarak beş farklı düzlemsel çelik çerçeve yapı en hafif olacak şekilde boyutlandırılmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde; rijit ve yarı rijit düğüm noktasına sahip düzlemsel çelik çerçeveler, optimizasyona giriş, yapısal optimizasyon kavramı, optimizasyon problemlerinde kullanılan yöntemler ve literatürde bulunan bu konularda yapılmış olan çalışmalar ile ilgili genel ve kısa bilgilere değinilmiştir. Mühendislikte optimizasyon problemleri hakkında bilgiler verilerek, kesikli ve sürekli optimizasyon problemleri açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; araştırmaya konu olan stokastik arama yöntemleri daha kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Parçacık sürü optimizasyon yöntemi ve av arama optimizasyon yönteminin gelişimi ve kullanılan algoritmalar anlatılmıştır. Her iki yöntem için FORTRAN programa dili kullanılarak algoritmalar hazırlanmış ve bu algoritmaların performanslarını kontrol etmek üzere; literatürde kullanılan kesikli ve sürekli problemlerin çözümleri araştırılmıştır. Gerek sürekli gerekse kesikli problemlerde her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar literatürden alınmış olan sonuçlar ile kıyaslanmış ve her iki algoritmanın performansının üst düzeyde olduğu görülmüştür.

Rijit düğüm noktalarına sahip düzlemsel çelik çerçevelerin ele alındığı üçüncü bölümde; yapısal analiz için kullanılan matris deplasman yöntemi ele alınmıştır. Yapının rijitlik matrisinin oluşturulması anlatılarak, ele alınan çerçeveler için düğüm noktaları ve elemanlar için numara vermek sureti ile yapının analitik modelleri hazırlanmıştır. Ele alınan yapılarda tüm birleşimlerin rijit davranış göstereceği düşünülerek, çelik çerçevelerin tasarımında esas alınan LRFD-AISC şartnamesindeki tasarım sınırlayıcılarına uygun yapı tasarımı yapılmıştır. LRFD-AISC'ye göre boyutlandırma kriterlerini sağlayan çözümler içerisinde en hafif yapı olarak seçilecek olan çözüm için; parçacık sürü optimizasyon yöntemi ile birlikte av arama optimizasyon yöntemi yardımıyla ayrı ayrı arama yapılmıştır. Örnek problem olarak iki katlı üç açıklıklı, dört katlı dört açıklıklı, sekiz katlı altı açıklıklı, on katlı dört açıklıklı ve on iki katlı dört açıklıklı rijit düğüm noktalarına sahip çelik çerçeveler ele alınmıştır. Optimum çözümü ararken kullanılan her iki optimizasyon yöntemi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her

iki yöntem birbirine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Eleman sayısının daha az olduğu (iki katlı üç açıklıklı, dört katlı dört açıklıklı ve sekiz katlı altı açıklıklı) yapılarda her iki yöntem minimum yapı ağırlığı olarak aynı sonuca ulaşmıştır. On katlı dört açıklıklı ve on iki katlı dört açıklıklı yapılar üzerinde yapılan araştırmada elde edilen sonuçlar birbirine yakın olsa da av arama optimizasyon yönteminin daha hafif çözümler ürettiği görülmüştür. Elde edilen tüm sonuçlar karşılaştırıldığında; eleman sayısı ve kat sayısı daha az olan yapılarda, parçacık sürü optimizasyon yönteminin av arama yöntemine göre optimum çözüme daha kısa sürede ulaştığı görülmüştür. Üretilen nihai çerçevenin ağırlık olarak aynı olması ve daha az iterasyon adımıyla bu sonuca ulaşılması bu yöntemin nispeten daha küçük yapılarda av arama tekniğine üstünlüğünün göstergesidir. Kat sayısı ve dolayısıyla eleman sayısının daha fazla olduğu sistemlerde optimum sonuca ulaşabilmek için daha fazla iterasyon sayısına ihtiyaç duyulduğu olağandır. Özellikle daha fazla iterasyon sayısı sonucunda optimum sonuca ulaşılan yapılarda av arama optimizasyon yönteminin yerel optimuma takılmadan ileriki adımlarda bile sonuç geliştirebilme yeteneği sayesinde; bu yöntem ile elde edilen sonuçların parçacık sürü yöntemi ile elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmüştür.

Çalışmanın son bölümü olan dördüncü bölümde; üçüncü bölümde matris deplasman yöntemi için analitik modeli oluşturulmuş olan rijit düğüm noktalarına sahip düzlemsel çerçeve yapıların düğüm noktaları yarı rijit birleşim olarak değiştirilmiş ve minimum ağırlık için boyutlandırılmıştır. Elde edilen eleman tesirlerine göre , LRFD-AISC şartnamesinde bulunan tasarım sınırlayıcıları da dikkate alınarak kiriş ve kolon elemanlar için uygun kesit tayini yapılmıştır. Uygun çözümler içerisinde optimum olanın aranması için daha önceden hazırlanmış olan parçacık sürü ve av arama algoritmalarından yararlanılmıştır. Düğüm noktalarındaki davranışı yarı rijit davranış olarak sağlayabilmek üzere; literatürde belirtilen yarı rijit bağlantı tiplerinden; uç levhali takviyeli, uç levhali takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhali birleşim tipleri kullanılmıştır. Yarı rijit düğüm noktalarına sahip çerçeveler ile üçüncü bölümde ele alınan düğüm noktalarının rijit olarak ele alındığı yapılar için üretilen sonuçlar gerek grafik üzerinde gerekse çizelge üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre av arama yöntemi ve parçacık sürü yöntemi ile belirlenen sonuçlar paralel değerlerdedir. İki katlı ve üç açıklıklı yapı için; her iki yöntem ile yapılan arama işlemi sonucunda düğüm noktasındaki bağlantı tipinin, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli tip dışında yapının ağırlığı üzerinde çok fazla etkili olmadığı görülmektedir. Alt ve üst başlık ve gövde korniyerli model için kiriş gövdesinde bulunan korniyerlerin yerleşim sınırlayıcılarının bütün birleşimler için etkili olduğu ve bu nedenle toplam çerçeve ağırlığında artış olduğu izlenmiştir. İki katlı ve üç açıklıklı yapıda düğüm noktalarındaki bağlantı modeli değişiminin yapı ağırlığı üzerindeki benzer bir etkisi dört katlı ve dört açıklıklı çerçeve sistemde de görülmektedir. Yine en ağır yapılar alt ve üst başlık ve gövde korniyerli bağlantı tipinin kullanıldığı yapılar olurken; en ağır ikinci çerçevenin alın levhali bağlantı modeli

için elde edildiği görülmüştür. İki katlı üç açıklıklı ve dört katlı dört açıklıklı yapılardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde rijit , uç levhalı takviyeli ve uç levhalı takviyesiz bağlantı tiplerinin yapı ağırlıkları üzerinde birbirinden önemsenecek büyüklükte bir fark ortaya koymadığı görülmüştür. Tasarım sınırlayıcılarından özellikle katlar arası görelî kat ötelemesi oranı ve tepe noktası deplasmanlarının etkisinin daha fazla ortaya çıktığı sekiz katlı, on katlı ve on iki katlı yapıların düğüm noktalarındaki davranışın, bağlantı tipine göre moment- dönme eğrileri veren grafiklerde görüldüğü şekilde rijit davranıştan mafsal davranışa doğru ilerleme sırası dikkate alındığında; elde edilen çerçevelerin optimum ağırlıklarının aynı sıraya göre artış gösterdiği görülmektedir. Kat sayısı fazla olan yapılardan en düşük yapı ağırlığı rijit birleşim olan yapılarda elde edilirken; mafsal davranışa yakın davranışa sahip olan alın levhalı birleşim kullanılan yapılarda yapı ağırlığı maksimum düzeye ulaşmıştır. Buradan çıkan sonuca göre; kat sayısı fazla olan yapıları ekonomik olarak tasarlamak için birleşim noktalarının yarı rijit bağlantı yerine rijit bağlantı tipi olarak düşünülmesi gerekmektedir. Yarı rijit bağlantı tipi kullanılan yapılar daha esnek olmaları sebebiyle daha fazla deplasman yapmaya çalışmakta ve tasarım kısıtlarından dolayı eleman kesitleri büyütülmekte, bu yüzden yapı daha ağır bir hal almaktadır. Kullanılan optimizasyon yöntemleri açısından bakıldığında; birleşim tipleri için her iki yöntemin kullanılmasıyla elde edilen sonuçların benzer olması, yöntemlerin birbirini doğrular bir özellik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kat sayısı fazla olan yapılarda av arama yönteminin parçacık sürü yöntemine göre daha uygun sonuçlar vermesi ise bu yöntemin performansının daha fazla iterasyon sayı kullanılması durumunda daha iyi olduğunu göstermektedir.

ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında düğüm noktalarının esnekliği uç levhalı takviyeli, uç levhalı takviyesiz, alt ve üst başlık ve gövde korniyerli ve alın levhalı bir tipleri kullanılarak modellenmiştir. Bu dört bağlantı modeli literatürde yer alan moment-dönme grafiğindeki rijitlik eğrilerinde verilen bağlantı özelliğinin çerçeve ağırlığı üzerindeki etkisini göstermek açısından yeterli olmuştur. Fakat bir sonraki adım olarak bütün bağlantı modellerini kapsayan bir çalışma yapılması planlanabilir.

Ele alınan optimum tasarım problemi, literatürde bulunan diğer bazı arama metotlarına adapte edilmek suretiyle bu tekniklerin optimum çözümün bulunmasındaki performansları incelenebilir.

Ele alınan örneklerde eleman ve kat sayılarına göre; kolonlar ve kirişler için gruplandırma yapılmış ve çerçeveler bu gruplarda bulunan bütün elemanlara aynı kesitlerin atanması suretiyle tasarlanmıştır. Aynı örneklerde grup sayılarını değiştirerek, bu değişimin yapı ağırlığına olan etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR :

1. Abdalla, K.M., Chen W.F., Expanded database of semi-rigid steel connections, Computers&Structures, Vol 56, No:4 , 553-564 , 1995.
2. Akbaş B. , Shen J. ;Seismic Behavior of Steel Buildings with Combined Rigid and Semi-Rigid Frames , Turkish J. Eng. Env. Sci. 27 : 253 – 264, 2003
3. Arora J.S.,Optimization of Structural and Mechanical Systems,World Scientific, Singapore, 59-195,2007.
4. Aydoğdu İ., Optimum design of 3-d irregular steel frames using ant colony optimization and harmony search algorithm, A Thesis Submitted to The Graduate School of Natural and Applied Sciences , METU , 2010.
5. Bayar G.Y. , Çerçeve taşıyıcı sistemlerin optimum tasarımı, Dicle Üniv. Fen Bil. Ens. , Yük. Lisans. Tezi , 2008
6. Budak A., Rijit ve yarı rijit çerçevelerin karşılaştırılması ve deplasmandaki etkisi üzerine bir çalışma , Sakarya Üniv. F.B.E. , Yüksek lisans tezi , 2007
7. Camp, C., Pezeshk, S., Cao, G., Optimized design two dimensional structures using a genetic algorithm, Journal of Structural Engineering, Vol.124:5 , 551-558 , 1998.
8. Carlos A , Coello C., Use of a self-adaptive penalty approach forengineering optimization problems, Computers in Industry 41 : 113-127, 2000.
9. Carlos A., Coello C., Theoretical and numerical constraint handling techniques used with evolutionary algorithms: A survey of the state of the art, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 191 :1245–1287, 2002
10. Chen W.F., Kishi N., Semi-rigid steel beam-to-column connections data base and modeling, Journal of Structural Engineering 115:105-119. 1989.
11. Chen W.F., Lui E.M., Stability Design of Steel Frames , Chemical Rubber Company Press, FL, USA , 205-350, 1997.
12. Chen W.F., Kishi N., Practical analysis for semi-rigid frame design, World Scientific, Singapore , 268-275 , 1999.
13. Christensen P.W., An introduction to structural optimization,Springer, Linköping, Sweden, 179-200, 2008
14. Csebfalvi A. ; “Optimal design of frame structures with semi-rigid joints” , Periodica polytechnica Civil Engineering , 51/1 : 9–15, 2007.
15. Çağdaş S., Yapı mekaniği'nde nümerik metodlar ve matris-deplasman yöntemi, Türkmen Kitabevi, 2006.
16. Daloğlu, A., Armutçu, M., Genetik algoritma ile düzlem çelik çerçevelerin optimum tasarımı, İmo Teknik Dergi, 116:1601-1615, 1998.

17. Deb K., Optimal design of a welded beam via genetic algorithms, American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal 29 : 2013-2015 , 1991.
18. Değertekin S.Ö., Yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve sistemlerin genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı, Dicle Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001
19. Değertekin S.O. , Hayalioğlu M.S., Design of non-linear semi-rigid steel frames with semi-rigid column bases, Electronic Journal of Structural Engineering, 4 , 2004.
20. Değertekin S.Ö., Ülker M.,Hayalioğlu M.S., Uzay çelik çerçevelerin tabu arama ve genetik algoritma yöntemleriyle optimum tasarımı, Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers, 13-3: 3917-3934 , 2006.
21. Değertekin S.O., A comparison of simulated annealing and genetic algorithm for optimum design of non-linear steel space frames, Structural and Multidisciplinary Optimization 34: 347-359., 2007.
22. Dhillon, B.S., O'Malley, J.W., Interactive design of semi-rigid steel frames, Journal of Structural Engineering, 125:5, 556-564, 1999.
23. Doğan E., Saka M.P., Particle swarm optimization design of moment resisting steel frames with semi-rigid connections to LRFD-AISC, Proceedings of the Eight World congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, 2009
24. Doğan, E., Optimum design of rigid and remi rigid steel sway frames including soil-structure interaction” , A Thesis Submitted to The Graduate School of Natural and Applied Sciences , METU , 2010.
25. Dorigo M., Caro G.D., Gambardella L.M., An algorithm for discrete optimization, Artificial Life 5 137-172, 1999.
26. Erdal F., Saka M.P. and Doğan E. Optimum Design of Celular Beams Using Harmony Search and Particle Swarm Optimizers, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, No: 2, 237-247, February, 2011.
27. Eryoldaş R.A., Rijit ve yarı rijit çerçeve sistemlerin ekonomik açıdan karşılaştırılması, İ.T.Ü. Fen. Bil. Enst. Yüksek lisans tezi , 2008
28. Faella, C., Piluso, V., Rizzano, G., Structural Steel Semi Rigid Connection, New Directions in Civil Engineering, Washington, 1999
29. Frye, M.J., Morris G.A., Analysis of flexibly connected steel frames, Canadian Journal of Civil Engineering2, 280-291, 1975.
30. Gencer C., Bali Ö., Parçacık sürü algoritması ile U tipi hat dengelemesi, KHO Bilim Dergisi Cilt: 20 Sayı: 1, 2010
31. Glover F., Tabu Search, Kluwer Academic Publications, MA, USA, 1-54, 1997.
32. Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning, Addison-Wesley Publishing,INC, 1989.
33. Hasan R. , Kishi N. , Chen W.H., A new nonlinear connection classification system, Journal of Constructional Steel Research 47: 119–140, 1998.

34. Hasançebi O. , Çarbaş S., Doğan E., Erdal F., Saka M. P., Performance evaluation of metaheuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures, *Computers and Structures*, Vol. 87 No: (5-6), Pp: 284-302, 2009.
35. Hayalioğlu M.S., Değertekin S.Ö., Görgün H., Design of semi-rigid planar steel frames according to the Turkish Steel Design Code, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol2,101-116, 2004
36. Hayalioğlu M.S., Değertekin S.O., Minimum cost design of steel frames with semi-rigid connections and column bases via genetic optimization, *Computers and Structures* 83:1849-1863, 2005.
37. He S., Prempan E., Wu Q.H., An improved particle swarm optimizer for mechanical design optimization problems, *Engineering Optimization* 36 : 585-605,2004
38. Holland J., Genetic algorithms and the optimal allocation of trials, *Society for Industrial and Applied Mathematics Journal of Computing* ,2: 88-105, 1973.
39. Jenkins W.M., Plane frame optimum design environment based on genetic algorithm, *Journal of Structural Engineering* 118 : 3103-3112, 1992.
40. Kameshki E.S., Saka M.P., Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a genetic algorithm , *Computers and Structures* 79:1593-1604, 2001.
41. Karaboğa, D., *Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları*, Nobel Yayın Dağıtım, 2011.
42. Kassimali A.,*Structural Analysis*, Thomson, Ontario, Canada ,89-160, 2005
43. Kennedy J., Eberhart R., *Particle swarm optimization*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Press 4 : 1942-1948, 1995.
44. Kim S.H. , Choi S., Practical advanced analysis of semi rigid frames , *Int. Journ. Of. Solid and Structures* , 38: 9111 – 9131,2001.
45. Kishi, N., Chen W.F., Database of steel frames beam-to-column connections, *Structural Engineering Report No: CE-STR-86-26*, Purdue University, West Lafayette , 1986
46. Kishi N. , Komuro M. , Chen W.F., Seismic response analysis of steel frame with mixed use of rigid and semi-rigid connections , *Proceedings of the conference on behaviour of steel structure in seismic areas* , Naples , Italy , pp. 527-532, 2003.
47. Kurt M., “Stochastic optimization methods”, Springer, Munich, Germany, 3-43, 2005.
48. Kwang Y.L., El-Sharkawi M.A., *Modern heuristic optimization techniques: theory and applications to power systems*”, Institute of Electrical and Electronics Engineers Press, NJ, USA, 43-147, 2008.
49. Liu H., Shichang S., Ajith A., Particle swarm approach to scheduling work-flow applications in distributed data-intensive computing environments, *Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, Jinan, China, 2006.
50. LRFD-AISC, “Load and Resistance Factor Design”, American Institute of Steel Construction, IL, USA , 62-564.. 1999

51. Lui E.M. , Lopes A., Dynamic analysis and response of semi rigid frames, Engineering Structures vol. 19 No:8 , pp. 644-654, 1997
52. Mafrouz, S.Y., Design optimization of steelwork, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering University of Bradford, 1999
54. Majid K.I., Nonlinear Structures, London Butterworth, London, England (1972) 100-115.
55. McGuire W., Steel Structures, Prentice Hall, NJ, USA ,236-283,1968.
56. Montes de Ora, M.A., Particle swarm optimization, IRIDIA-CoDE, Universit'e Libre de Bruxelles (U.L.B.), 2007.
57. Oftadeh, R., Mahjoob, M.J. and Shariatpanahi, M., A novel meta-heuristic optimization algorithm inspired by group hunting of animals Hunting search, Computers Mathematics with Applications, Vol. 60, pp. 2087-2098. 2010
58. Peseshk, S., Camp, C.V., Chen, D., Design of nonlinear framed structures using genetic optimization, Journal of Structural Engineering, 126: 382-388, 2000
59. Ragsdell K.M., Phillips D.T., "Optimal design of a class of welded structures using geometric programming", American Society of Mechanical Engineering Journal of Engineering for Industries 98 :1021-1025, 1976.
60. Ray T., Liew K.M., Society and civilization: An optimization algorithm based on the simulation of social behavior, Institute of Electrical and Electronics Engineers International Transactions on Evolutionary Computation 7 : 386-396. 2003
61. Shi, L., Fu, H., A delimitative and combinatorial algorithm for discrete optimum design with different discrete sets, Computational and Information Science 3314 : 443-448, 2004.
62. Urbonas K., Daninas A., Behaviour of semi-rigid steel beam-to-beam joints under bending and axial forces, Journal of Constructional Steel Research 62: 1244–1249, 2006
63. URL1 :<http://www.musikidergisi.net/resimler/ku%C5%9Flar.jpg>
64. URL2:<http://resim.manzara.gen.tr/balik-800x600.jpg>
65. URL3:http://www.vokvo.com/wpcontent/uploads/Canis_lupus_pack_surrounding_Bison1-300x242.jpg
66. URL4:https://encryptedtbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSBWdy6FO2fkoJsTk5gBY6f9WczKa6uynxTqzl6LjXhfoF_ALKj
67. Usluoğulları Ö.F., Evrimsel yapı optimizasyonu yönteminin incelenmesi ve uygulamaları, Fırat Üniv. Fen Bil. Ens. , Yük. Lisans Tezi , 2006

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler :**

Adı : Soner
Soyadı : ŞEKER
Doğum Tarihi ve Yeri : 1983 – Eşme / UŞAK
Medeni Durumu : Evli
Email : soner.seker@cbu.edu.tr

Eğitim Bilgileri :

Ortaöğretim : Bornova Anadolu Lisesi – İzmir
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (YAPI)

İşyeri Bilgileri :

OR-YA İnşaat : Şantiye Mühendisi (2005)
C.B.Ü. Fen.Bil.Enst. : Araştırma Görevlisi (2005-2008)
C.B.Ü. Müh. Fak. : Araştırma Görevlisi (2009 – devam)