

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM
GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN
BASİTLEŞTİRİLMİŞ BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Ergün BİNBİR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erkan ÖZER

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Sumru PALA (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı - Yapı Analiz ve Boyutlandırma Mühendisliği Programında gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatını bana veren, sabır ve hoşgörü gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Erkan ÖZER başta olmak üzere, özellikle geliştirdiği bilgisayar programını kullanmama izin veren Y. Doç. Dr. Konuralp GİRĞİN'e, yardımlarını esirgemeyen Araş.Gör. Günhan AKSOYLU, Araş.Gör. Yavuz DURGUN ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar bana verdikleri maddi ve manevi her türlü destek için aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2004

Ergün BİNBİR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ, KAPASİTE VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	5
2.1. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Kurama Göre Statik Hesabı	5
2.1.1. Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	6
2.1.2. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri	7
2.1.3. Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışı	8
2.1.4. Plastik Mafsallık (Plastik Kesit) Varsayımı	12
2.1.5. Birinci ve İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi	17
2.1.5.1. Varsayımlar	17
2.1.5.2. Yöntemin Esasları	19
2.1.5.3. Hesapta İzlenen Yol	21
2.1.5.4. Özel Durumlar ve Yöntemin Etkin Kullanımı	23
2.1.5.5. Bilgisayar Programları	25
2.2. Yapı Sistemlerinin Performansa Dayalı Tasarımı ve Değerlendirilmesi	28
2.2.1. Giriş	28
2.2.2. Performans Hedefi	29
2.2.3. Performans Seviyeleri	30
2.2.3.1. Taşıyıcı Sistem Performans Seviyeleri ve Aralıkları	30
2.2.3.2. Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri	33
2.2.3.3. Bina Performans Seviyeleri	34
2.2.4. Deprem Hareketi	37
2.3. Yapısal Kapasite	40
2.3.1. Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Değerlendirme Yöntemleri	42

2.3.1.1. Kapasite Spektrumu Yöntemi (Capacity Spectrum Method, ATC 40)	42
2.3.1.2. Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi (Displacement Coefficient Method, FEMA 273, 356)	48
3. YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ BİR YAKLAŞIM	51
3.1. Giriş	51
3.2. Varsayımlar	51
3.3. Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	53
3.3.1. Denge Denklemleri	53
3.3.2. İç Kuvvet- Şekil Değiştirme Bağlılıkları ve Akma Koşulları	54
3.3.3. Geometrik Süreklilik Koşulları	54
3.4. Alt Sınır Kuramı ve Statik Yöntem	55
3.4.1. Alt Sınır Kuramı	55
3.4.2. Statik Yöntem	55
3.5. Yöntemin Esasları	56
3.5.1. İç Kuvvetlerin Sistem Üzerinde Yeniden Dağılımı	57
3.5.1.1. Kiriş Uç Momentlerinin Yeniden Dağılımı	58
3.5.1.2. Kolon Uç Momentlerinin Yeniden Dağılımı	59
3.5.2. Yeniden Dağılımda Özel Durumlar	61
3.5.2.1. Yatay Elemanlar (Kirişler) Üzerinde Herhangi Bir Kesitte Plastik Mafsallı Oluşması Durumu	61
3.5.2.2. Düğüm Noktası Mekanizması	63
3.5.2.3. Kat Kolonları Arasındaki Yeniden Dağılımda Bir Ucu Plastik Mafsallı Çubuk Bulunması Durumu	64
3.5.3. Göreli Kat Ötelemelerinin Ve Plastik Mafsal Dönmelerinin Yaklaşık Olarak Hesabı	65
3.5.3.1. Göreli Kat Ötelemelerinin Hesabı	65
3.5.3.2. Plastik Mafsal Dönmelerinin Hesabı	66
3.5.4. Yeniden Dağılımın Bilgisayar Programları İle Yapılması	67
3.6. Hesapta İzlenen Yol	68
4. MEVCUT BETONARME YAPILARIN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE REHABİLİTASYONU	74
4.1. Mevcut Yapı Üzerindeki İncelemeler ve Hasar Tesbit Çalışmaları	75
4.1.1. Yapıya Ait Belgelerin Sağlanması ve Değerlendirilmesi	77
4.1.2. Mevcut Yapı Üzerindeki İncelemeler	79
4.1.3. Taşıyıcı Sistem Hesap Modelinin Oluşturulması	85
4.1.4. Hesap Modelinin Doğrusal Olmayan Kurama Göre Hesabı	86
4.1.5. Yapının Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi	87
4.2. Betonarme Yapı Sistemlerinin Rehabilitasyonu	88

4.2.1. Onarım Yöntemleri	88
4.2.2. Güçlendirme Yöntemleri	91
4.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilerek Rehabilitasyon Yönteminin Seçimi	99
4.4. Onarım ve Güçlendirme Projesinin Hazırlanması	100
5. SAYISAL ÖRNEKLER	105
5.1. ÖRNEK 1 - İki Katlı Tek Açıklıklı Düzlem Çerçeve Sistem	107
5.2. ÖRNEK 2 - Altı Katlı İki Açıklıklı Düzlem Çerçeve Sistem	120
6. SONUÇLAR	138
KAYNAKLAR	141
EK A. MUTO YÖNTEMİ	143
ÖZGEÇMİŞ	152

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	: American Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BSSC	: Building Seismic Safety Council
DE	: Design Earthquake (Tasarım Depremi)
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
EPARCS	: Elasto-Plastic Analysis of Reinforced Concrete Structures
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
ME	: Maximum Earthquake (En Büyük Deprem)
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
PASS	: Plastic Analysis of Steel Structures
SE	: Serviceability Earthquake (Servis Depremi)
SEAOC	: Structural Engineers Association of California
TGD	: Temel Güvenlik Depremi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri.....	7
Tablo 2.2. Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviye ve Aralıkları.....	31
Tablo 2.3. Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri.....	33
Tablo 2.4. Taşıyıcı ve Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyelerinin Ortak Değerlendirilmesi ile Oluşan Bina Performans Seviyeleri	35
Tablo 2.5. Binalar İçin Bazı Önemli Performans Seviyeleri.....	36
Tablo 2.6. Yapıların Tasarım ve Değerlendirilmesinde Göz Önüne Alınabilecek Depremleri Tanımlamada Kullanılan Parametreler	38
Tablo 2.7. Yapı Performans Amaçları Sınıflandırması	39
Tablo 2.8. Çok Seviyeli Hedef Performansın Tanımlanması.....	40
Tablo 2.9. Betonarme Kirişlerde Çeşitli Performans Seviyeleri İçin Plastik Dönme Sınırları.....	50
Tablo 5.1. Kiriş Enkesit Boyutları.....	109
Tablo 5.2. Kolon Enkesit Boyutları.....	109
Tablo 5.3. Kolon Boyuna Donatıları	109
Tablo 5.4. Kiriş Boyuna Donatıları	110
Tablo 5.5. İç Kuvvetler, Taşıma Kapasiteleri ve Kapasite Aşılma Miktarları	111
Tablo 5.6. Muto Yöntemi Katsayıları.....	112
Tablo 5.7. Tüm Kesitlerinde $M \leq M_p$ Koşulunu ve Denge Denklemlerini Sağlayan Çözüm İçin Yaklaşık Yöntem, Kesin Yöntem ve EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	114
Tablo 5.8. Plastik Mafsallı Dönmesi Hesabında Kullanılacak Bazı Çubuklara Ait Karakteristik Değerler	116
Tablo 5.9. Geliştirilen Yaklaşım İle Elde Edilen Plastik Yer Değiştirmelerin EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarıyla Karşılaştırması	118

Tablo 5.10.	Geliştirilen Yaklaşım İle Elde Edilen Plastik Mafsal Dönmelerinin EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarıyla Karşılaştırması.....	118
Tablo 5.11.	EPARC İle Sistem Hesabına Ait Bazı Sayısal Sonuçlar	120
Tablo 5.12.	Kiriş Enkesit Boyutları	123
Tablo 5.13.	Kolon Enkesit Boyutları	123
Tablo 5.14.	Kolon Boyuna Donatıları.....	123
Tablo 5.15.	Kiriş Boyuna Donatıları.....	124
Tablo 5.16.	İç Kuvvetler, Taşıma Kapasiteleri ve Kapasite Aşılma Miktarları....	125
Tablo 5.17.	Muto Yöntemi Katsayıları	127
Tablo 5.18.	İlk Yeniden Dağılım Sonucunda Oluşan Eğilme Momenti Değerleri ve Eğilme Momentinin Yeni Aşıldığı Kesitlere Ait Fark Değerler....	129
Tablo 5.19.	Tüm Kesitlerinde $M \leq M_p$ Koşulunu ve Tüm Denge Denklemlerini Sağlayan Çözüm İçin Yaklaşık Yöntem, Kesin Yöntem ve EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarının Karşılaştırılması	131
Tablo 5.20.	Plastik Mafsal Dönmesi Hesabında Kullanılacak Bazı Çubuklara Ait Karakteristik Değerler.....	132
Tablo 5.21.	Geliştirilen Yaklaşım İle Elde Edilen Plastik Yer Değiştirmelerin EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarıyla Karşılaştırması.....	133
Tablo 5.22.	Geliştirilen Yaklaşım İle Elde Edilen Plastik Mafsal Dönmelerinin EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarıyla Karşılaştırması.....	134
Tablo 5.23.	Plastik Mafsalların Oluşma Sıraları ve Yatay Yük Parametresi Değerleri	136
Tablo 5.24.	EPARC İle Sistem Hesabına Ait Bazı Sayısal Sonuçlar	137
Tablo A.1.	Yatay Yükün Üçgen (veya Benzeri) Dağılımı Durumunda y_0 Terimi.....	148
Tablo A.2.	Yatay Yükün Düzgün Dağılımı Durumunda y_0 Terimi	150
Tablo A.3.	Kolonların Alt ve Üst Katta Bağlandıkları Kirişlerin Rijitliklerinin Farklı Olmasının Etkisini Hesaba Katan y_1 Düzeltme Terimi.....	151
Tablo A.4.	Sırasıyla Üst ve Alt Kolonların Hesaplanan Kat Kolonlarına Göre Farklı Yükseklikte Olmasının Etkisini Hesaba Katan y_2 ve y_3 Düzeltme Terimleri.....	151

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Çeşitli Kuramlara Göre Elde Edilen Yük Parametresi-Yer Değiştirme Bağıntıları.....	8
Şekil 2.2. Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı	12
Şekil 2.3. Doğrusal Olmayan Şekil Değiştirmeler	13
Şekil 2.4. İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı.....	14
Şekil 2.5. Plastik Mafsal Boyu	16
Şekil 2.6a. Sünek Yapıda Kapasite Eğrisi Üzerinde Performans Seviyeleri ve Aralıkları	32
Şekil 2.6b. Sünek Olmayan Yapıda Kapasite Eğrisi Üzerinde Performans Seviyeleri ve Aralıkları	33
Şekil 2.7. Bina Performans Seviyeleri – Maliyet İlişkisi	40
Şekil 2.8. Doğrusal Olmayan Kuram ile Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi	41
Şekil 2.9. Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Performans Noktasının Tayini.....	43
Şekil 2.10. Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi	43
Şekil 2.11. Elastik İstem Spektrumunun İvme-Yer Değiştirme Biçimine Dönüştürülmesi	45
Şekil 2.12. Histeretik Sönüme Eşdeğer Viskoz Sönümün Belirlenmesi.....	46
Şekil 2.13. İndirgenmiş İstem Spektrumunun Elde Edilmesi.....	47
Şekil 2.14. İki Doğru Parçası İle İdealleştirilen Kapasite Eğrisi.....	49
Şekil 3.1. İdealleştirilmiş İç Kuvvet-Şekil Değiştirme Bağıntısı	52
Şekil 3.2. Kirişte Yeniden Dağılım	59
Şekil 3.3. Kolonda Yeniden Dağılım	60
Şekil 3.4. Üzerinde Mafsal Bulunan İki Ucu Ankastre Mesnetli Çubuk	61
Şekil 3.5. Mafsala Etkiyen Moment Çiftinin Çubuk Uçlarına Dağıtılması	62

Şekil 3.6. Mafsal Elemanı	68
Şekil 3.7. Yapı Sisteminin Süneklik Oranının Belirlenmesi	72
Şekil 3.8. Hesapta İzlenen Yol	73
Şekil 4.1. Akış Diyagramı	76
Şekil 4.2. Hasar Rölövesi	80
Şekil 4.3. Malzeme Deneyleri	82
Şekil 4.4. İnşaat Alanına Ait Geoteknik Raporların Hazırlanması	83
Şekil 4.5. Taşıyıcı Sistem Üzerindeki İncelemeler	84
Şekil 4.6. Güçlendirme Perdelerinin Boyutlandırılması ve Donatılması	96
Şekil 4.7. Güçlendirme Perdelerinde Minimum Koşullar	97
Şekil 4.8. Deprem Etkilerinin Belirlenmesi ve Güçlendirme Yönteminin Seçimi.....	101
Şekil 4.9. Güçlendirme Projeleri	103
Şekil 4.10. Güçlendirilmiş Yapıda Mevcut Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Kontrolü ve Güçlendirilmesi.....	104
Şekil 5.1. Kiriş Enkesit Boyutlarını Tanımlayan Büyüklükler ve Donatı Yerleşim Düzeni.....	106
Şekil 5.2. Kirişlerde Enine ve Boyuna Donatının Yerleşim Düzeni	106
Şekil 5.3. Kolon Enkesit Boyutlarını Tanımlayan Büyüklükler ve Donatı Yerleşim Düzeni.....	107
Şekil 5.4. Çerçevenin Genel Görünüşü	108
Şekil 5.5. Tasarıma Esas Olan Yükler.....	108
Şekil 5.6. Plastik Mafsal Oluşabilecek Kesitler	110
Şekil 5.7. Yeniden Dağılımın Uygulanması.....	113
Şekil 5.8. Birinci Mertebe Limit Yük İçin Plastik Mafsalların Yerleri.....	119
Şekil 5.9. Birinci Mertebe Kuramına Göre EPARC Bilgisayar Programı İle Elde Edilen Yatay Yük Parametresi-Yer Değiştirme Diyagramı.....	120
Şekil 5.10. Çerçevenin Genel Görünüşü	121
Şekil 5.11. Tasarıma Esas Olan Yükler.....	122

Şekil 5.12. Plastik Mafsal Oluşabilecek Kesitler	126
Şekil 5.13. Plastik Mafsalların Yerleri ve Oluşma Aşamaları	130
Şekil 5.14. Birinci Mertebe Limit Yük İçin Plastik Mafsalların Yerleri.....	135
Şekil 5.15. Birinci Mertebe Kuramına Göre EPARC Bilgisayar Programı İle Elde Edilen Yatay Yük Parametresi-Yer Değiştirme Diyagramı.....	136
Şekil A.1. Yatay Yükler Altında Düzlem Çerçeve	143
Şekil A.2. Muto Yöntemi Katsayıları.....	145
Şekil A.3. Kolon Kesme Kuvvetinden Kolon Uç Momentlerinin Elde Edilmesi..	145
Şekil A.4. Düğüm Noktası Dengelemesi İle Kiriş Uç Momentlerinin Elde Edilmesi.....	146

SEMBOL LİSTESİ

a	: Kolonun sınır koşullarının kolon rijitliğine olan etkisini ifade eden bir düzeltme katsayısı
b	: Kiriş tabla genişliği
b_w	: Kesit genişliği
C₀	: Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısı
C₁	: Doğrusal elastik yer değiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yer değiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısı
C₂	: Histeresiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısı
C₃	: İkinci mertebe etkileri nedeniyle artan yer değiştirmelerin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı
d	: Kesit faydalı yüksekliği
d'	: Paspayı
d_i	: Katların toplam yatay yer değiştirmesi
D_{ij}	: (i) sayılı kattaki (j) sayılı kolonun görelî yatay yer değiştirme rijitliği
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Beton çeliğinin elastisite modülü
EI	: Eğilme rijitliği
EI_m	: Mafsal elemanın eğilme rijitliği
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{yk}	: Beton çeliğinin akma dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Kat yüksekliği, kesit yüksekliği
h_f	: Tabla kalınlığı

k	: Kirişin mesnetlenme ve şekil değiştirme durumlarına göre seçilen bir katsayı
K_{bA}	: Hesap yapılan kattaki, alt kat kirişlerinin atalet momenti/uzunluk oranlarının toplamı
$K_{bÜ}$	: Hesap yapılan kattaki, üst kat kirişlerinin atalet momenti/uzunluk oranlarının toplamı
K_{ci}	: Hesap yapılan kattaki, kat kolonlarının atalet momenti/yükseklik oranlarının toplamı
K_e	: Elastik rijitlik
K_s	: Elastoplastik rijitlik
L_m	: Mafsal elemanının boyu
l_p	: Plastik mafsal uzunluğu
l'_p	: Plastikleşme bölgesi uzunluğu
M	: Eğilme momenti
M_b	: Kiriş uç momenti
M_c	: Kolon uç momenti
M_p	: Plastik moment
M'_p	: İndirgenmiş plastik moment
$m_{i\theta}^{ij}$	: (ij) çubuğunun (i) ucunda meydana gelen birim dönmeden dolayı, (i) ucunda meydana gelen moment
$m_{i\theta}^{ij}$	: (ij) çubuğunun (j) ucunda meydana gelen birim dönmeden dolayı, (i) ucunda meydana gelen moment
$m_{j\theta}^{ij}$	: (ij) çubuğunun (i) ucunda meydana gelen birim dönmeden dolayı, (j) ucunda meydana gelen moment
$m_{j\theta}^{ij}$	: (ij) çubuğunun (j) ucunda meydana gelen birim dönmeden dolayı, (j) ucunda meydana gelen moment
$m_{i\delta}^{ij}$	: (ij) çubuğunun iki ucunun birbirine göre göreceli birim yer değiştirmesinden dolayı (i) ucunda meydana gelen moment
N	: Bina kat sayısı, normal kuvvet
P	: Yük parametresi

P_B	: Burkulma yükü parametresi
P_{cr}	: Kritik yük parametresi
PF_1	: Birinci doğal moda ait modal katılım çarpanı
P_G	: Göçme yükü parametresi
P_{L1}	: Birinci mertebe limit yük parametresi
P_{L2}	: İkinci mertebe limit yük parametresi
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
r_{ij}	: Düğüm noktasında birleşen çubuklara ait dağıtma sayıları
S_a	: Göz önüne alınan yapının etkin doğal periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak belirlenen ve g yerçekimi ivmesini de içeren spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
SR_A	: Sabit ivme bölgesinde spektral indirgeme katsayısı
SR_V	: Sabit hız bölgesinde spektral indirgeme katsayısı
T	: Yapı sisteminin birinci doğal periyodu, kesme kuvveti
T_e	: Etkin doğal periyot
T_i	: Hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyot
T_{ij}	: (i) sayılı kattaki (j) sayılı kolonun kesme kuvveti
t_{io}^{ij}	: (ij) çubuğunun iki ucunun birbirine göre göreli birim yer değiştirmesinden dolayı (i) ucunda meydana gelen kesme kuvveti
V_T	: Toplam taban kesme kuvveti
V_i	: Yeniden dağılımda (i) sayılı kattaki kolonlara uygulanan kat kesme kuvveti
W	: Yapının toplam ağırlığı
w_i	: (i) numaralı katın ağırlığı
y	: Moment sıfır noktasının kolonun alt ucuna olan uzaklığının kolon yüksekliğine oranı
y_0	: Yatay yüklerin üçgen veya düzgün yayılı olması durumuna göre, düzgün geometri ve rijitliğe sahip olan çerçeveler esas alınarak hesaplanan terim

y_1	: Kolonların alt ve üst katlarda bağlandığı kirişlerin rijitliklerinin farklı olmasının etkisini kapsayan birinci düzeltme terim
y_2	: Üst kat kolonlarının hesaplanan kat kolonlarına oranla farklı boyda olmasının etkilerini içeren ikinci düzeltme terim
y_3	: Alt kat kolonlarının hesaplanan kat kolonlarına oranla farklı boyda olmasının etkilerini içeren üçüncü düzeltme terim
α_1	: Birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı
β_{eq}	: Yüzde olarak ifade edilen etkili sönüm oranı
β_0	: Eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeretik sönüm
δ_e	: Doğrusal elastik yer değiştirme
δ_i	: (i) numaralı katın görelî yatay yer değiştirmesi
$\delta_{maks.}$	: Yapının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi
δ_t	: Hedef yer değiştirme, toplam yer değiştirme
$\delta_{k\theta i}^{ij}$	: (ij) çubuğunun (i) ucunun birim dönmesinden dolayı (k) kesitinde meydana gelen düşey yer değiştirme
$\delta_{k\theta j}^{ij}$	: (ij) çubuğunun (j) ucunun birim dönmesinden dolayı (k) kesitinde meydana gelen düşey yer değiştirme
δ_{pi}	: (i) sayılı katın doğrusal olmayan şekil değiştirmelerden oluşan ek ötelemesi
ϵ_{co}	: Betonda plastik şekil değiştirmelerin başladığı birim kısalma
ϵ_{cu}	: Betonda en büyük birim kısalma
ϵ_{su}	: Beton çeliğinin en büyük birim boy değişmesi
θ_p	: Plastikleşen bölgedeki toplam plastik dönme, plastik mafsallık dönmesi
$\theta_{p,maks}$	: Plastik dönme kapasitesi
κ	: Yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ile depremin süresine bağlı olarak belirlenen ve değeri $0.33 \leq \kappa \leq 1.00$ arasında değişen bir katsayı
μ	: Taşıyıcı sistem süneklik oranı, kesit süneklik oranı, doğru eksenli prizmatik çubuklarda geçiş katsayısı
χ	: Eğrilik
χ_e	: Elastik eğrilik
χ_p	: Plastik eğrilik

- $\chi_{p,maks}$: En büyük plastik eğrilik
- ϕ_k : (k) numaralı plastik kesitteki plastik şekil değiştirme parametresi
- ϕ_y : Akma sınırına karşılık gelen eğrilik
- $\phi_{i,1}$: Birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik
- $\phi_{epe,1}$: Birinci normal moda ait en üst kattaki genlik
- ϕ_u : Güç tükenmesi durumuna karşılık gelen eğrilik
- $[d]$: Düğüm noktaları yer değiştirme matrisi
- $[p_o]$: Yükleme matrisi
- $[q]$: Dış yük matrisi
- $[p_{\phi o}]$: Plastik kesitlere ait yükleme matrisi
- $[S]$: Denklem takımının katsayılar matrisi
- $[\phi]$: Plastik şekil değiştirme parametreleri matrisi

YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Deprem, dünya genelinde önemini koruyan, insanlığın ortak sorunlarından birisidir. Pek çok ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de bu soruna çözüm üretmek için çeşitli kuramsal ve deneysel çalışmalar yürütülmektedir. Deprem hasarıyla karşı karşıya olan yapı sayısının çokluğu ve olası büyük depremler sonrasında ortaya çıkabilecek olumsuz durum düşünüldüğünde, ülkemizdeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin kısa zamanda, etkin bir şekilde belirlenmesinin önemi açıkça görülmektedir. Bu çalışmada, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin etkin bir şekilde değerlendirilmesine yönelik, basitleştirilmiş bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda amaç, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin yürürlükteki yönetmelikler çerçevesinde irdelenmesidir. Çalışmada, düzlem çerçeve sistemler üzerinde sayısal uygulamalar yapılmıştır. Uygulamaların ilk adımında, eşdeğer deprem yükleri için doğrusal statik hesap yapılmaktadır. İzleyen adımlarda ise, akma koşulunun aşıldığı kesitler belirlenerek bu kesitlerde plastik mafsallar tanımlanmakta ve kapasite fazlası momentlere yeniden dağılım uygulanmaktadır. Yeniden dağılımda denge denklemlerinin tamamen, geometrik süreklilik koşullarının ise kısmen sağlatılması amaçlanmaktadır. Yeniden dağılım sonucunda elde edilen iç kuvvetler önceki adımda bulunan değerlere eklenmektedir. Ardışık yaklaşımın her adımında, herhangi bir kesitte akma koşulu aşıldığında, benzer işlemler uygulanmaktadır. Böylece, tüm kesitlerde akma koşulunun sağlandığı, dengede olan bir iç kuvvet dağılımı elde edilmesi amaçlanmaktadır. Sonuçlar doğrusal olmayan elastik ötesi hesap yapabilen EPARC bilgisayar programının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, geliştirilen yaklaşımın iç kuvvet dağılımını, plastik şekil değiştirmeleri ve yer değiştirmeleri yeter yaklaşıklıkla verdiği belirlenmiştir.

A SIMPLIFIED APPROACH FOR SEISMIC SAFETY ASSESSMENT OF FRAMED STRUCTURES BUILT IN EARTHQUAKE ZONES

SUMMARY

Earthquake is one of the common problems of humanity which continues to keep its importance all over the world. In Türkiye, as in many countries, various analytical and experimental studies are being conducted to contribute to the solution of this problem. Keeping in mind the large amount of existing buildings exposed to seismic hazard and the situation which may occur after probable next strong earthquakes, seismic performance assessment of existing buildings in Türkiye is one of the most important subjects that should be handled quite effectively in a short time. In this study, a simplified and effective approach is developed for seismic safety assessment of existing buildings built in earthquake zones. The main objective of the study is to predict the nonlinear behavior of framed structures approximately, through linear analysis procedures. In this approach, capacity and redistribution principles are used along with the linear static analysis procedures. Numerical examples are given for the illustration of the simplified approach. These examples cover the prediction of nonlinear static analysis results of two plane framed systems. Firstly, linear static analysis procedure is applied under the equivalent seismic forces. Following steps, bending moments which exceed the cross-sectional capacity are redistributed. At the end of the analysis, internal force diagrams, plastic hinge pattern, plastic hinge rotations and plastic displacements are obtained. The results, compared with EPARC Computer program, demonstrate satisfactory approximation.

1. GİRİŞ

1.1. Konu

Malzeme ve inşaat teknolojilerindeki gelişime paralel olarak, yapı elemanlarının ve yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki gerçek davranışlarını anlamaya ve açıklamaya yönelik, kuramsal ve deneysel çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışmaların ana amacı, yapı sistemlerinin gerçek davranışını daha yakından izleyebilmenin yanında, yapı sistemlerinin kapasitelerini etkin bir şekilde kullanarak istenilen güvenlik düzeyine sahip ekonomik çözümler (tasarımlar) elde etmektir. Yapı sistemlerinin yeterli bir göçme güvenliğine sahip olacak şekilde boyutlandırılmaları ve mevcut yapıların gerçek göçme güvenliklerinin belirlenmesi için, malzemelerin doğrusal olmayan davranışlarını ve gerekli olan hallerde geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkilerini göz önüne alan etkin hesap yöntemlerine gerek duyulmaktadır. Bilindiği gibi, modellemede ve sistem analizinde yapıların gerçek davranışına daha çok yaklaşılması sonucunda, gerek yük katsayıları gerekse malzeme güvenlik katsayıları giderek küçültülebilmektedir. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri de, bu amaçlara yönelik olarak 20. yüzyıl ortalarından itibaren ortaya çıkan ve günümüzde de geliştirilmekte olan yöntemlerdir.

Bir yapı sisteminin davranışını etkileyen parametrelerin tümünün yapısal analizde dikkate alınmaya çalışılması, bu amaca yönelik olarak geliştirilen kesin yöntemlerin daha karmaşık ve daha çok vakit alan bir yapıya dönüşmelerine neden olabilmektedir. Buna karşılık, aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, mevcut yapıların önemli bir bölümünün deprem güvenliklerinin hızla belirlenmesine gerek duyulmaktadır. Özellikle son yıllarda, ülkemiz nüfusunun önemli bir bölümünü barındıran İstanbul'da deprem riskinin arttığı görüşüne paralel olarak, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve rehabilitasyonuna (güçlendirme ve iyileştirme) ilişkin deneysel ve kuramsal çalışmalar hız kazanmıştır.

Değerlendirilmesi gereken yapı sayısının çokluğu ve bu değerlendirmelerin mümkün olduğunca hızlı ve seri bir şekilde yapılmasına duyulan gereksinim, mühendisleri daha pratik ve hızla sonuca giden yeni yaklaşımları aramaya yöneltmiştir. Bu tez kapsamında önerilen basitleştirilmiş yaklaşım, bu doğrultuda yapılan çalışmalara bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

1.2 Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yapı ve deprem mühendisliği alanlarındaki gelişmelerin sağladığı olanaklardan yararlanarak depremin yapı sistemleri üzerindeki etkilerinin daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi ve özellikle son yirmi yıl içinde meydana gelen depremlerden alınan dersler, ülkemizdeki ve dünyanın diğer deprem bölgelerindeki mevcut yapı stokunun deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve gerekli olan durumlarda güçlendirme önlemlerinin alınması gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde Applied Technology Council (ATC) tarafından *Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings* – ATC 40 projesi [1] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* – FEMA 273, 356 projeleri [2,3] geliştirilmiştir. Bu projeler, deprem bölgelerindeki mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesini ve yeterli güvenliğe sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi ve iyileştirilmesini amaçlamaktadır.

Bu projelere paralel olarak, Avrupa Birliği'nin Eurocode 8 deprem yönetmeliğine *Mevcut Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi* kapsamında yeni bir bölüm (Eurocode 8-3) [4] eklenmesi çalışmaları tamamlanma aşamasındadır. Ülkemizde ise, 1998 ABYYHY içinde yer almak üzere, *Mevcut Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi* ile ilgili bir bölüm (Bölüm 13) hazırlanması çalışmalarına başlanmıştır.

Yukarıda belirtilen proje ve çalışmaların tümünde, mevcut yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki davranışlarının daha gerçekçi olarak belirlenmesi amacıyla, malzeme bakımından doğrusal olmayan kurama dayanan hesap yöntemlerine yer verilmektedir.

Yapı sistemlerinin gerek malzeme gerekse geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan kurama göre hesabını amaçlayan yöntemler üzerindeki çalışmalar uzun bir geçmişe dayanmaktadır, [5-7]. Buna karşılık, doğrusal olmayan kurama dayanan pratik ve etkin bilgisayar programları özellikle son on yıl içinde gelişme göstermişlerdir, [8,9].

Doğrusal olmayan kurama dayanan analitik hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin ve bu yöntemlerin pratik uygulamalarını sağlayan bilgisayar programlarının hazırlanmasının yanında, basit, hızlı ve mühendisin kişisel deneyim ve becerisini ortaya koyabileceği yaklaşık yöntemlere de gereksinim duyulmakta ve bu doğrultuda çalışmalar da yapılmaktadır, [10].

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde deprem güvenliğinin değerlendirilmesi gereken yapı stokunun büyüklüğü nedeniyle, ayrıntılı analitik yöntemlerin uygulamasındaki zorlukları ve bu yöntemlerin gerektirdiği uzun hesapları da dikkate alarak, daha hızlı, pratik ve yeterli yaklaşıklıkla sonuç veren basitleştirilmiş bir yaklaşımın önerilmesidir.

Bu amaca yönelik olarak, plastik mafsallı varsayımını esas alan ve elastoplastik teorisinin *alt sınır kuramına* dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Düzlem ereve sistemlere ve burulma düzensizlikleri içermeyen üç boyutlu ereve sistemlere uygulanabilen bu yaklaşım, her aşamasında iç kuvvetlerin yeniden dağılımı ilkesinin uygulandığı ardışık adımlardan oluşmaktadır. Uygulanan yöntemde ayrıca, hesap yükleri altında sistemdeki plastik mafsallı oluşumunun elde edilmesi, plastik mafsallı dönmelerinin, elastoplastik toplam yer değiştirmelerin hesabı ve sistem süneklik oranının belirlenmesi de amaçlanmaktadır.

Çalışmada izlenen yol şu adımlardan oluşmaktadır.

- a) Malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemlerin kesin hesap yöntemlerinin gözden geçirilmesi, yapı sistemlerinin

performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi ile ilgili gelişmelerin aktarılması.

- b) Geliştirilen basitleştirilmiş yaklaşımın dayandığı varsayımların, yöntemin esaslarının ve yöntemin uygulanmasında izlenen yolun gerekçeli ve ayrıntılı olarak açıklanması, yöntemin uygulanması ile ilgili gerekli bilgilerin verilmesi.
- c) Mevcut betonarme yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen inceleme, değerlendirme çalışmalarının ve mevcut yapıların güçlendirme, iyileştirme yöntemlerinin gözden geçirilmesi.
- d) Geliştirilen basitleştirilmiş yaklaşımın sayısal uygulamaları.
- e) Çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirilmesi.

Aşağıdaki bölümlerde bu adımlar ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ, KAPASİTE VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Kurama Göre Statik Hesabı

Yapı malzemelerinin orantı sınırından sonraki doğrusal olmayan davranışını ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini (ikinci mertebe etkisi) göz önüne alan ileri hesap yöntemlerinde son yıllarda meydana gelen gelişmeler, yapı sistemlerinin dış yükler altındaki gerçek davranışlarının daha yakından izlenebilmesine olanak sağlamışlardır. Bu olanağın etkili bir şekilde değerlendirilmesi sonucunda, yapı sistemlerinin belirli bir güvenlik altında ve en ekonomik şekilde tasarımı mümkün olmaktadır. Bunun yanında, doğrusal olmayan kurama dayanan ileri hesap yöntemlerinden yararlanarak, mevcut yapı sistemlerinin düşey yükler ve deprem etkileri altındaki gerçek güvenlikleri belirlenebilmekte, yeterli güvenliğe sahip olmayan yapılar uygun şekilde güçlendirilebilmektedir.

Bazı özel durumlar dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Bu genellemenin dışında kalan sistemler arasında narin yapılar, elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve kararlılık yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

Doğrusal sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinde, gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak alınmakta ve yer değiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı (orantı sınırı) aşmakta ve yer değiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Günümüzde, yapı mühendisliği alanında genellikle uygulanmakta olan ve doğrusal kurama dayanan tasarım yaklaşımlarında yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi yeniden dağılım ilkesi yardımı ile göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek küçültülmektedir.

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini göz önüne almak, çok küçük olmayan yer değiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşilmektedir. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin davranışındaki doğrusallığı bozan etkenlerin belirlenerek, sistem davranışını gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden hesap modelinin oluşturulması, ikincisi ise bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen doğrusal olmayan denklem sisteminin etkin bir şekilde çözülmesidir.

2.1.1. Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında hesabı ile elde edilen iç kuvvetler, şekil değiştirmeler ve yer değiştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu sağlamaları gerekmektedir.

- 1- Bünye denklemleri : Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekil değiştirme bağıntılarına bünye denklemleri denilmektedir.

- 2- Denge koşulları : Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.
- 3- Geometrik uygunluk koşulları : Elemanların ve düğüm noktalarının geometrik süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik koşullardır.

2.1.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır.

- 1- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.
- 2- Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan kuramlar Tablo 2.1 'de topluca özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

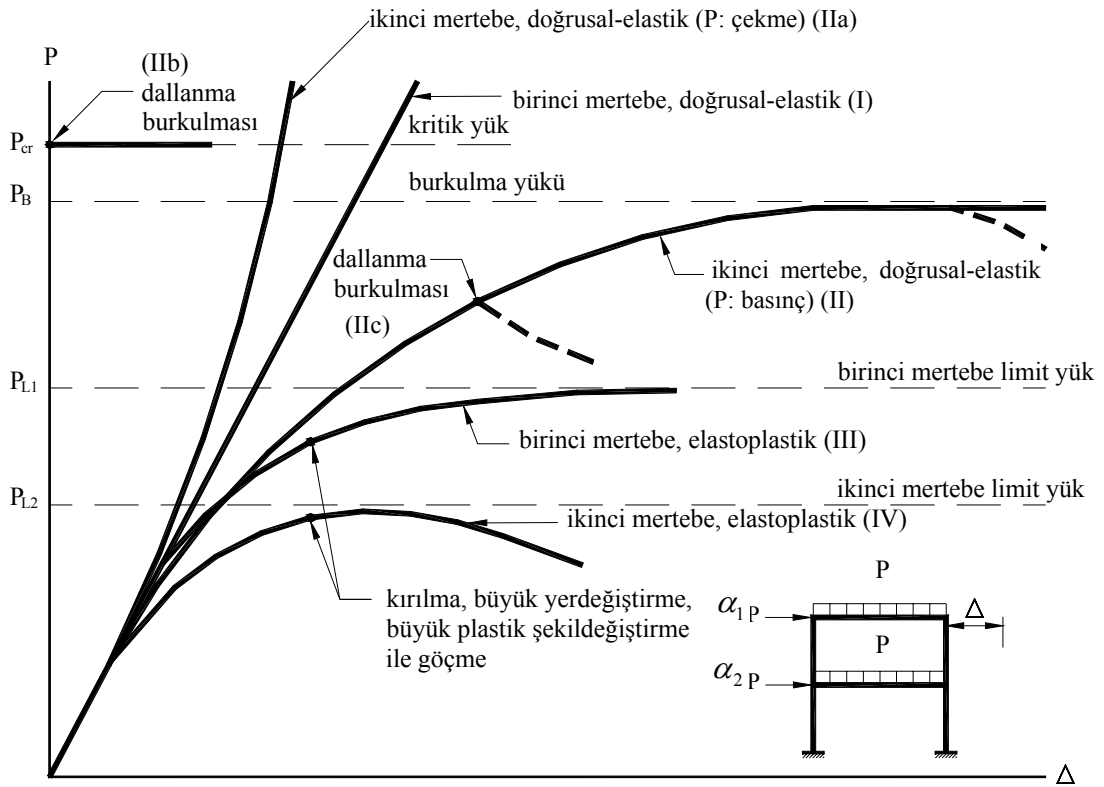
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Kuramı	Sonlu Yer Değiştirme Kuramı	İkinci Mertebe Kuramı	Sonlu Yer Değiştirme Kuramı
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntıları)	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Elastik Değil	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Elastik Değil	Doğrusal-Elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yer Değiştirmeler	küçük	küçük	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yer Değiştirmeler	küçük	küçük	küçük	küçük Değil	küçük	küçük Değil

Yer değiştirmelerin denge denklemlerindeki etkisinin terk edilemeyecek mertebeye ulaştığı sistemlerde denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

Yer değiştirmelerin geometrik uygunluk koşullarındaki etkisinin terk edilemeyecek mertebeye ulaştığı sistemlerde ise, geometrik sũreklilik denklemlerinin de şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

2.1.3 Yapı Sistemlerinin Dış Yũkler Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışı

Dũřey ve yatay yũkler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan kuramlara gũre hesabı ile elde edilen yũk parametresi-yer değiştirme ($P-\delta$) bağıntıları şekil 2.1 'de şematik olarak gũsterilmiřlerdir.



şekil 2.1 Çeşitli Kuramlara Gũre Elde Edilen Yũk Parametresi-Yer Değiştirme Bağıntıları

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin artan dış yũkler altında, birinci mertebe kuramına gũre elde edilen davranışı şekildeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine

etkisinin, diğ er bir deyişle, eksenel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe kuramında ise, eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilmektedir.

Eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yer değiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak doğrusal-elastik burkulma yükü adı verilen bir P_B sınır değerine eşit olunca yer değiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak g  er. Bazı  zel durumlarda, burkulmadan sonra artan yer değiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekil değiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yer değiştirmeler birden artarak sonsuza erişir. Dallanma burkulmasına neden olan yüke kritik yük denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekil değiştiren sistemlerde de oluşabilir, (IIc eğrisi).

Asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen P - δ diyagramı pekleşen özellik gösterir.

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafs l (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafs l varsayımı olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafs l varsayımının esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebe kuramına göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafs llar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yük, (P_{L1}) birinci mertebe limit y k adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebe elastoplastik kurama göre hesabı ile elde edilen P- δ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan plastik şekil değiştirmeler nedeniyle yer değiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsal varsayımının esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_{L2} sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle, P- δ diyagramında artan yer değiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin kararlılık yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine ikinci mertebe limit yük denilmektedir.

Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yer değiştirmeler, büyük plastik şekil değiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan büyük çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, yapı sistemlerinde meydana gelen yer değiştirmelerin ve plastik şekil değiştirmelerin öngörülen güvenlik ve performans düzeyine karşı gelen sınır değerleri aşması halinde de yapı teknik açıdan göçmüş varsayılır.

Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki gerçek davranışının daha yakından izlenmesine olanak sağlayan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden uygulamada iki şekilde yararlanılmaktadır.

a. Yapı sistemlerinin göçme yükü esasına göre boyutlandırılması

Yapı sistemlerinin göçme yükü esasına göre boyutlandırılmasında izlenen genel yol bir ardışık yaklaşım yöntemidir. Bu yöntemde önce yapı elemanlarının boyutları tahmin edilir, sonra yapının göçme yükü hesaplanır ve işletme yükleri ile karşılaştırılarak göçme güvenliği belirlenir. Bu güvenlik yeterli değilse veya yapı gereğinden fazla güvenliğe sahipse eleman boyutları uygun şekilde değiştirilerek hesap tekrarlanır. Birbiriyle ters orantılı bir ilişki içinde olan güvenlik ve ekonomi parametreleri istenilen uygun bir orana gelinceye kadar ardışık yaklaşıma devam edilir. Bu işlemler sırasında,

- i) hesap yükleri altında, sistemin göçmesine neden olabilecek büyük yer değiştirmelerin, büyük plastik şekil değiştirmelerin ve betonarme yapılarda büyük çatlakların meydana gelmemesi sağlanmalı
- ii) işletme yükleri altındaki yer değiştirmelerin yönetmeliklerin öngördüğü sınır değerleri aşmamasına ve gerilmelerin doğrusal-elastik sınırın altında kalmasına dikkat edilmelidir.

b. Mevcut yapı sistemlerinin göçme güvenliklerinin belirlenmesi

Mevcut bir yapı sisteminin göçme güvenliğinin belirlenmesi için, doğrusal olmayan kurama göre hesabı yapılarak dış etkiler altındaki yük parametresi-yer değiştirme bağıntısı elde edilir ve göçme yükü hesaplanır. Göçme yükünün işletme yüküne oranı yapının göçme güvenliğini verir. Böylece yapı sisteminin istenilen güvenliğe sahip olup olmadığı kontrol edilir.

Göçme güvenliğinin belirlenmesinde aşağıda verilen iki yoldan biri izlenebilir.

b.1. Yapı sistemi orantılı olarak artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.

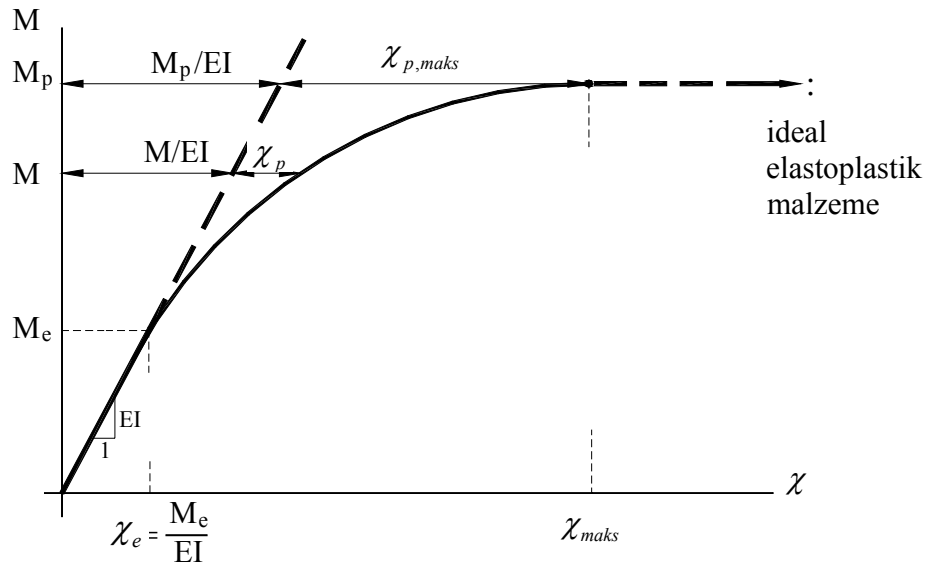
b.2. Önce düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkitilir, sonra sistem artan yatay yükler için hesaplanarak göçmeye ait yatay yük parametresi belirlenir. Böylece düşey yükler için öngörülen belirli bir güvenlik altında sistemin yatay yük taşıma kapasitesi elde edilir. Büyük oranda yapı öz ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirli olmasına karşılık deprem ve rüzgar gibi etkileri temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu göz önüne alındığında, bu yolla hesaplanan göçme güvenliğinin daha gerçekçi olduğu söylenebilir.

Görüldüğü gibi, yapıların göçme güvenliklerinin belirlenmesinde veya belirli bir göçme güvenliğine sahip olacak şekilde boyutlandırılmasında doğrusal olmayan kurama göre hesap yapılarak yük parametresi-yer değiştirme bağıntısının elde edilmesine ve genel anlamda ikinci mertebe limit yükün hesaplanmasına gerek olmaktadır. Betonarme yapı sistemlerinde, çoğu zaman limit yükten önce meydana gelebilen göçme durumu da, ayrıca kontrol edilmelidir.

2.1.4 Plastik Mafsal (Plastik Kesit) Varsayımı

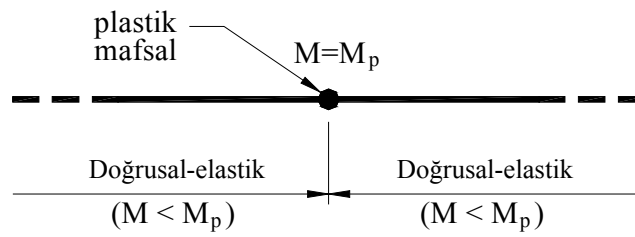
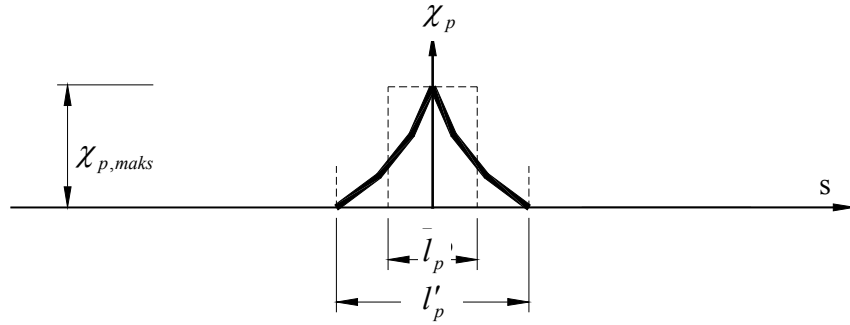
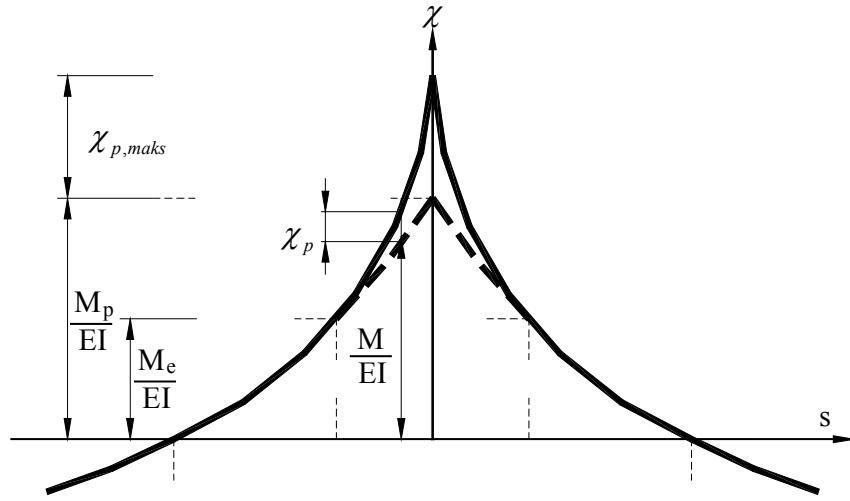
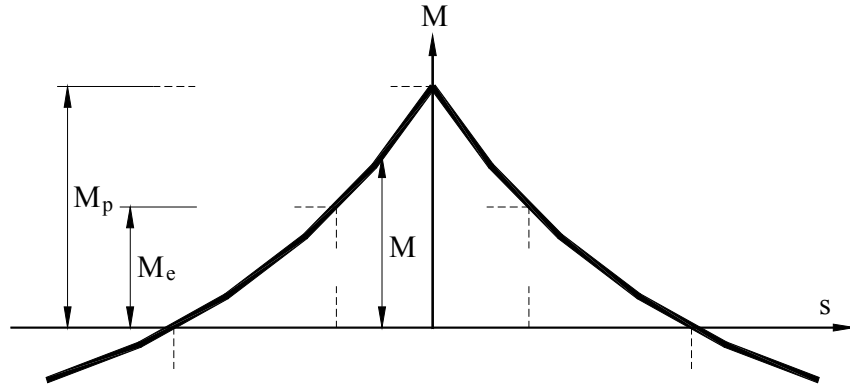
Yeter derecede süneklik özelliği gösteren yapı sistemlerinde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar) plastik mafsal varsayımı yapılarak hesaplar büyük ölçüde basitleştirilip kısaltılabilmektedir.

Gerçek eğilme momenti – eğrilik bağıntısı Şekil 2.2 ‘de verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler Şekil 2.3 ’de görülmektedir.



Şekil 2.2 Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı

Çelik kesitlerin ve yeterli sünekliğe sahip olan betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntıları incelendiğinde bu bağıntıların esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenir. Birinci bölgede, eğilme momentinin küçük değerleri için eğilme momenti-eğrilik ilişkisi yaklaşık olarak doğrusal ve elastik olarak kabul edilebilir. Betonarme kesitler için, bu bölgede kesitteki beton ve beton çeliği esas olarak doğrusal davranış bölgesinde kaldığı için, eğilme momenti - eğrilik bağıntısı da benzer özellikte ortaya çıkar. Ancak kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte, beton ve beton çeliğinde doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin kesitin davranışında etkili olmaya başlaması, eğilme momenti - eğrilik bağıntısının doğrusal davranıştan ayrılmasına sebep olur. Eğilme momenti - eğrilik bağıntısının ikinci

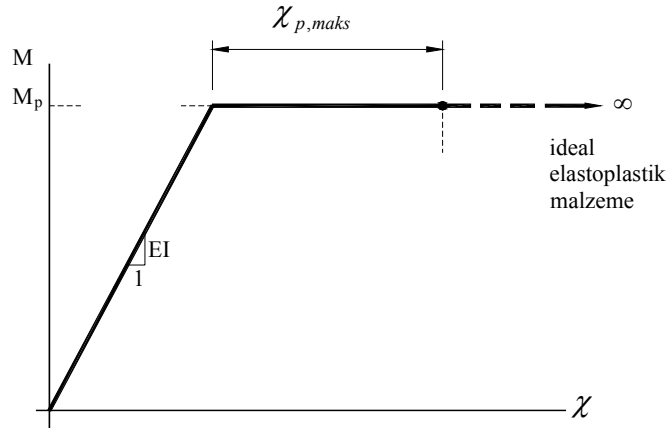


Şekil 2.3 Doğrusal Olmayan Şekil Değişirmeler

bölgesinde eğri yataya yakın olur. Bu bölgede elastik ötesi, elastoplastik davranış etkilidir. Kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artım meydana gelirken, eğrilik belirgin bir şekilde artar ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelir ve eğri son bulur. Plastik kesit varsayımında, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge ideal elastoplastik malzemede olduğu gibi, biri yatay olan iki doğru ile ifade edilir, Şekil 2.4. Her iki doğrusal davranış birbirinden kesin bir nokta ile ayrılmaz. Ancak, çekme donatısının akmaya başlaması veya betondaki birim kısalmanın ϵ_{co} sınır değerine erişmesi bu iki bölgeyi ayıran nokta olarak kabul edilebilir ve bu duruma karşı gelen eğrilik ϕ_y olarak gösterilir. Güç tükenmesine karşı gelen eğrilik de ϕ_u ile gösterilerek, kesitin eğilme sünekliği

$$\mu = \phi_u / \phi_y \quad (2.1)$$

olarak tanımlanır.



Şekil 2.4 İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı

Betonarme kolonlar ve kirişler gibi yapı elemanlarında eğilme momenti eleman eksenini boyunca değişir ve kritik kesitlerin bulunduğu sınırlı bölgelerin dışındaki kesitler güç tükenmesi durumuna erişmez, hatta bazı kesitlerde eğilme momentinin küçük olması nedeniyle, çekme bölgesi çatlamamış dahi olabilir. Bu durum eleman boyunca eğilme momentinin, kesitin geometrik boyutlarının ve donatının değişimine bağlıdır.

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan sünellik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsalları verilen belirli kesitlerde toplandığı ve bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayıma plastik mafsalları (plastik kesit) hipotezi denir.

Plastik kesit hipotezinin uygulanmasında, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

$$M < M_p \quad \text{için} \quad \chi = M / EI \quad (2.2)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \longrightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.3)$$

şeklinde iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmektedir. Artan dış yükler altında plastik mafsalları dönmesi artarak dönme kapasitesi adı verilen bir sınır değere eşit olunca, meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelir; yani işletme dışı olur. Sistemin bir veya birkaç kesitindeki plastik mafsalları dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasitesini aşması halinde ise, yapının performansı hedeflenen kullanım performansının ötesine geçer, yani fiili olarak göçme meydana gelmemekle beraber, teknik açıdan yapı göçmüş varsayılabilir.

Şekil 2.3'ten görüldüğü gibi, plastik şekil değiştirmeler eleman üzerinde boyu l_p olan bir bölgede yoğunlaşmakta ve en büyük eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine eşit olmaktadır.

Plastik mafsalları varsayımı, çok uzun olmayan l_p uzunluğuna yayılan plastik şekil değiştirmelerin belirli bir kesitte yoğunlaştığı esasına dayanır. Bu varsayımda, toplam plastik şekil değiştirmenin l_p uzunluğundaki bir bölgede düzgün olarak yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre, plastikleşen bölgedeki toplam plastik dönme

$$\theta_p = \chi_p l_p = (\chi - \chi_e) l_p \quad (2.4)$$

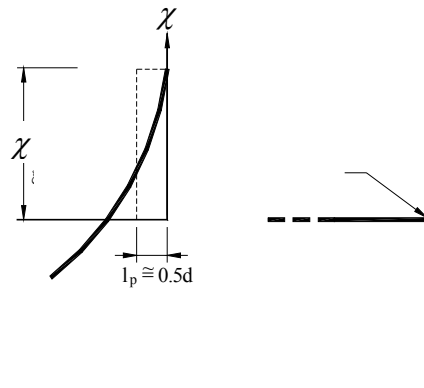
olarak bulunur ve plastik mafsalları dönmesi olarak adlandırılır. Plastik mafsalları dönme kapasitesi ise

$$\theta_{p,maks} = \int_{l'_p} \chi_{p,maks} \cdot l_p \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (2.5)$$

şeklinde elde edilebilir. l_p plastikleşme bölgesi uzunluğu (plastik mafsalsal boyu)

$$l_p \cong 0.5d \quad (2.6)$$

yaklaşık bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada d , enkesit yüksekliğini göstermektedir, Şekil 2.5.



Şekil 2.5 Plastik Mafsalsal Boyu

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunlar,

- betonun ϵ_{cu} birim kısalma ve beton çeliğinin ϵ_{su} birim boy değişimi sınır değerleri,
- betonun ϵ_{cu} birim kısalmasını etkileyen sargı donatısı miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- plastik bölge uzunluğunu tanımlayan enkesit boyutları,
- eleman boyunca eğilme momentinin değişimi,
- kesitteki normal kuvvet olarak sıralanabilir.

Çelik yapı sistemlerinde ise dönme kapasitesi genellikle büyük değerler almaktadır. Diğer taraftan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etken olmaktadır.

Plastik mafsalsal hipotezinin esasları aşağıda açıklanmıştır.

1. Herhangi bir kesitte artan dış yüklerle birlikte eğilme momenti de artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte plastik mafsalsal oluşur. Artmaya devam eden dış yükler altında, plastik mafsalsal gerçek bir mafsalsal gibi davranarak serbestçe döner ve böylece kesitteki eğilme momentinin $M = M_p$ değerinde sabit kalması sağlanır. Plastik kesitteki θ_p plastik dönmesi artarak $\theta_{p,maks}$ dönme kapasitesine erişince sistem kullanılamaz duruma gelir; yani ger.
2. Plastik mafsalsallar arasında sistem doğrusal-elastik davranır.
3. Kesite eğilme momentiyle birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan (karşılıklı etki diyagramından) bulunan indirgenmiş plastik moment (M'_p) değerini kullanılır.

Plastik mafsalsalın adi bir mafsalsaldan farkı, mafsalsal dönmesinin eğilme momentinin M_p değerine erişmesinden sonra meydana gelmesidir.

2.1.5 Birinci ve İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi

Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı varsayımının yapıldığı plastik mafsalsal (plastik kesit) hipotezinin geçerli olduğu yapı sistemlerinin malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan kurama göre hesabı için geliştirilen bir yük artımı yönteminin dayandığı varsayımlar, yöntemin esasları ve hesapta izlenen yol, yöntemin etkin kullanımına yönelik bazı öneriler zet olarak açıklanacaktır. Ayrıca, yöntemin pratik uygulamaları için hazırlanan bilgisayar programlarından biri olan ve bu tez çalışması kapsamında da yoğun olarak kullanılan EPARCS bilgisayar programı hakkında bilgi verilecektir. [6-8,11,13]

2.1.5.1 Varsayımlar

Geliştirilen yük artımı yönteminin dayandığı temel varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

1. İç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının, ideal elastoplastik malzeme tanımına uygun olarak, iki doğru parçasından meydana gelecek şekilde idealleştirilebileceği varsayılmaktadır.
2. Doğrusal olmayan eğilme ve uzama şekil değiştirmelerinin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitler dışındaki bölgelerde ve kesme kuvveti etkisi altında sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayımı yapılmıştır. Böylece, basit eğilme etkisindeki çubuk elemanlara uygulanabilen plastik mafsal varsayımı bileşik iç kuvvet durumunu da içerecek şekilde genişletilmiş ve genelleştirilmiş olmaktadır.
3. Kesme kuvvetinin akma koşuluna etkisi terk edilmiştir. Bu şekilde, düzlem çubuk sistemlerde akma koşulu eğilme momenti ve normal kuvvete bağlı olarak ifade edebilmektedir. Ayrıca, bileşik eğilme durumundaki akma eğrisinin doğru parçalarından oluşacak şekilde idealleştirilebileceği varsayılmaktadır.
4. Akma vektörü akma eğrisine diktir. İdeal elastoplastik malzemeden yapılmış çubuklar için kesin olan bu özellik betonarme kesitlerde bazı koşullar altında ve yaklaşık olarak geçerli sayılabilir.
5. İkinci mertebe kuramına göre hesapta, geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi göz önüne alınmakta, geometrik süreklilik denklemlerine etkisi terk edilmektedir.
6. Sistemin şekil değiştirmesi sırasında yüklerin doğrultularının değişmediği varsayılmaktadır.
7. Sistem doğru eksenli, prizmatik çubuklardan oluşmaktadır ve normal kuvvet çubuk boyunca sabittir. Bu koşulların sağlanmadığı çubuklar doğru eksenli, sabit enkesitli ve normal kuvveti sabit olan veya sabit varsayılabilen yeter derecede küçük parçalara ayrılarak idealleştirilebilirler.

2.5.1.2 Yöntemin Esasları

Geliştirilen yük artımı yönteminde, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında hesaplanmaktadır. Böylece, düşey yükler için öngörülen belirli bir güvenlik katsayısı altında, yapının yatay yük taşıma kapasitesi elde edilir. Genellikle rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının, önemli bir bölümü yapı öz ağırlığından oluşan düşey yüklere oranla daha fazla olduğu göz önünde tutulursa, bu yaklaşımın daha gerçekçi olduğu görülür. Ayrıca bu şekilde, aşağıda açıklanacağı gibi, problemin doğrusallaştırılmasına da katkı sağlanabilmektedir.

Yapıya etkiyen düşey yüklerin bilinmesi halinde, büyük ölçüde denge denklemlerine bağlı olan çubuk normal kuvvetleri kolaylıkla tahmin edilebilmekte ve bu normal kuvvetlere bağlı olarak hesaplanan ikinci mertebe etkileri doğrusallaştırılabilmektedir.

Özellikle çok katlı yapılarda, artan yatay yüklerle birlikte kolonlardaki normal kuvvetler tahmin edilen değerlere oranla önemli miktarda değişebilmekte; fakat düşey denge denklemleri nedeniyle katlardaki kolon normal kuvvetlerinin toplamı sabit kalmaktadır. Geliştirilen yük artım yönteminde, hesap sonunda bulunan normal kuvvetlerin tahmin edilen değerlerden çok farklı olması ve bu farkın sonucu etkileyebilecek mertebede bulunması halinde, bu normal kuvvetler esas alınarak hesap tekrarlanabilir. Ancak hesap sonunda bulunan kolon normal kuvvetlerinin başlangıçta tahmin edilen değerlerden çok farklı olması durumunda bile, bunların katlardaki toplamı sabit kaldığı sürece, ikinci mertebe etkilerindeki değişim terk edilebilecek düzeyde kalmaktadır.

Önerilen yöntemde yapı sistemi ardışık yatay yük artımları için hesaplanmaktadır. Her yük artımı, herhangi bir kesitteki iç kuvvet durumunun akma koşulunun belirlediği sınır duruma erişmesi halinde, diğer bir deyişle, sistemde yeni bir plastik kesitin oluşumu ile sona erer.

Artan dış yükler altında, plastik kesitlerdeki iç kuvvetler akma koşullarını sağlayacak şekilde değişebilmekte, buna karşılık iç kuvvetler doğrultularında sonlu plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Herhangi bir plastik

kesitte oluşan plastik şekil değiştirmeler, akma vektörünün akma eğrisine dik olması özelliği nedeniyle, plastik şekil değiştirme parametresi adı verilen tek bir plastik şekil değiştirme bileşenine bağlı olarak ifade edilebilirler.

Geliştirilen yük artımı yönteminde, her plastik kesitin oluşumundan sonra, o kesitteki plastik şekil değiştirmeleri ifade eden plastik şekil değiştirme parametresinin yeni bir bilinmeyen olarak alınması ve plastik kesitteki değişen iç kuvvet durumunun akma koşulunu sağladığını ifade eden yeni bir denklemin denklem takımına ilave edilmesi öngörölmüştür. Ayrıca, akma koşullarının doğru parçalarından oluşacak şekilde idealleştirilmesi suretiyle, ilave edilen denklemin doğrusal olması da sağlanabilmektedir.

Bir önceki adıma ait denklem takımı indirgenmiş olduğundan, söz konusu yük artımına ait çözüml, sadece yeni bilinmeyenin ve o bilinmeyene karşı gelen yeni denklemin indirgenmesi ile elde edilebilmektedir.

Göröldüğü gibi, esasları yukarıda açıklanan yük artımı yöntemi ile bir yapı sisteminin birinci ve ikinci mertbe limit yükünün hesabı, düğüm noktalarının yer değiştirme bileşenlerinin yanında plastik kesitlerdeki plastik şekil değiştirme parametrelerini de içeren genişletilmiş bir denklem takımının kurulmasına ve bu denklem sistemi ile alt sistemlerinin çözümüne indirgenmiş olmaktadır. Geliştirilen yük artımı yöntemi, sistematik olmasının yanında, denklem takımının kurulması ve çözümü için gereken işlem miktarını minimum düzeyde tutmakta ve çözüm süresini kısaltmaktadır.

Özellikle betonarme yapı sistemlerinde, dış yükler birinci veya ikinci mertbe limit yüke erişmeden önce, büyük yer değiştirmeler, plastik kesitlerdeki büyük plastik şekil değiştirmeler veya büyük çatlaklar nedeniyle sistem göçebilmektedir. Geliştirilen yöntemde sistemin yer değiştirmeleri ve plastik şekil değiştirmeler bilinmeyen olarak seçildiklerinden, göçme yükünün bulunması için bu büyüklüklerin ayrıca hesabına gerek kalmamaktadır.

2.5.1.3 Hesapta İzlenen Yol

Geliştirilen yük artımı yönteminin, sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler etkisindeki yapı sistemlerinin limit ve göçme yüklerinin hesabına uygulanmasında izlenen yol şu adımlardan oluşmaktadır.

1. Düşey işletme yükleri, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak düşey hesap yükleri elde edilir.
2. Düşey hesap yüklerinden oluşan çubuk normal kuvvetleri tahmin edilir. Normal kuvvetler büyük ölçüde denge denklemlerine bağlı olduklarından, bunların tahmininde birinci mertebe doğrusal-elastik hesaptan yararlanılabileceği gibi, doğrudan doğruya denge denklemleri ile tahmin edilmeleri de çok kere yeterli olmaktadır.

Tahmin edilen normal kuvvetlere bağlı olarak, ikinci mertebe kuramına ait çubuk rijitlik ve yükleme matrisleri hesaplanır.

3. Sistem, düşey yük parametresinin birim değeri için ikinci mertebe kuramına göre hesaplanarak çubuk uç kuvvetleri ve iç kuvvetler bulunur. Tüm kritik kesitlerdeki iç kuvvet durumları akma koşullarının belirlediği sınır durumlarla karşılaştırılarak ilk plastik kesitin oluşacağı düşey yük parametresi belirlenir. Bu değer düşey hesap yüklerinden daha büyük ise, sistemde düşey hesap yüklerinden dolayı plastik kesit meydana gelmediği anlaşılır ve yatay yükler için hesaba geçilir. Aksi halde, düşey yük parametresi düşey hesap yüklerine eşit oluncaya kadar, düşey yüklerden oluşan her plastik kesit için 5-9 sayılı adımlarda verilen işlemler tekrarlanarak uygulanır. Sistemin düşey yükler için hesabı tamamlandıktan sonra, yatay yükler için hesaba başlanır.

4. Sistem yatay yük parametresinin birim değeri için hesaplanır. Bunun için yatay yüklerden oluşan $[p_o]$ yükleme ve $[q]$ dış yük matrisleri ile varsa plastik kesitlere ait $[p_{\phi}]$ yükleme matrisleri hesaplanarak denklem takımındaki yerlerine yazılır. Bir önceki adımda indirgenmiş olan katsayılar matrisinden yararlanarak sadece bu sabitler matrisi indirgenir. Denklem takımı çözülerek bilinmeyenler bulunduktan sonra, çubuk uç kuvvetleri ve iç kuvvetler hesaplanır.

Tüm kritik kesitlerdeki iç kuvvet durumları akma koşullarının belirlediği sınır durumlarla karşılaştırılarak yatay yüklerden oluşan ilk plastik kesitin yeri ve buna karşı gelen yatay yük parametresi bulunur.

5. Yeni oluşan k sayılı plastik kesitteki ϕ_k plastik şekil değiştirme parametresi yeni bilinmeyen olarak alınır, bu bilinmeyene bağlı olarak yazılan bir kolon ile bu yatay yük artımında plastik kesitteki iç kuvvet durumunun akma koşulunu sağladığını ifade eden bir satır, önceki adıma ait indirgenmiş denklem takımına eklenir. Sadece yeni eklenen satır ve kolon indirgenir.

6. Denklem takımının katsayılar matrisinin determinant değeri hesaplanır. Eğer bu değer

$$\det [S] \leq 0$$

ise uygulanan kurama bağlı olarak birinci mertebe limit yüke (P_{L1}) veya ikinci mertebe limit yüke (P_{L2}) ulaştığı anlaşılır ve hesaba son verilir. Bu adımda ayrıca, bölgesel mekanizma ve bölgesel burkulma durumlarının meydana gelip gelmediği de kontrol edilir.

7. Denklem takımı çözülerek birim yük artımından oluşan $[d]$ düğüm noktaları yer değiştirme matrisi ve $[\phi]$ plastik şekil değiştirme parametreleri matrisi ile çubuk uç kuvvetleri ve iç kuvvetler bulunur.

8. Tüm kritik kesitlerdeki iç kuvvet durumları akma koşullarının belirlediği sınır durumlarla karşılaştırılarak $k+1$ sayılı plastik kesitin yeri ve olduğu toplam yük parametresi bulunur. Bu yüklerden meydana gelen toplam yer değiştirmeler, plastik şekil değiştirmeler, toplam çubuk uç kuvvetleri ve iç kuvvetler hesaplanır.

9. Sistemin başlıca yer değiştirmeleri, görelî yer değiştirmeler, plastik kesitlerdeki eğilme şekil değiştirmeleri (plastik mafsallı dönmeleri) ve çubuklardaki kesme kuvvetleri kendilerine ait sınır değerlerle karşılaştırılır. Bu büyüklüklerden herhangi birinin kendisine ait sınır değere eşit olması halinde göçme yüküne (P_G) ulaşıldığı anlaşılır ve hesaba son verilir.

10. Limit yük veya göçme yükü elde edilinceye kadar, 5-9 sayılı adımlarda verilen işlemler tekrarlanır.

Hesap sonunda elde edilen normal kuvvetlere bağlı olarak belirlenen ikinci mertebe çubuk rijitlik ve yükleme matrislerinin başlangıçta esas alınan değerlerden farklı olması ve bu farkın sonucu etkileyecek mertebede bulunması halinde, gerekirse bu büyüklükler esas alınarak yeterli yaklaşıklıkta sonuç elde edilinceye kadar hesap tekrarlanır.

2.1.5.4 Özel Durumlar ve Yöntemin Etkin Kullanımı

Geliştirilen yük artım yönteminin uygulanmasında karşılaşılan bazı özel durumlarda izlenecek yol ve yöntemin etkin kullanımına yönelik bazı öneriler aşağıda kısaca açıklanacaktır.

a. Plastik kesitlerdeki iç kuvvet durumunun geri dönmesi

Aynı yönde değişen statik dış yükler altında genellikle pek karşılaşılmamakla birlikte, her hangi bir yük artımında, bir plastik kesitteki iç kuvvet durumu akma eğrisinin içine doğru yönelebilir. Plastik mafsallı varsayımının geçerli olduğu sistemlerde plastik mafsallı kapanması olarak tanımlanan bu durumla karşılaşıldığında aşağıdaki yol izlenebilir.

İç kuvvet durumunun yön değiştirdiği k sayılı plastik kesitte, ϕ_k bilinmeyenine ilave olarak

$$\phi'_k = \phi_k \quad (2.7)$$

olan yeni bir bilinmeyen tanımlanır. Böylece daha sonraki yük artımlarında söz konusu plastik kesitteki toplam plastik şekil değiştirmenin sıfır olması sağlanır.

Bu adıma kadar denklem takımı indirgenmiş olduğundan, sadece ϕ'_k bilinmeyenine ait satır ve kolon indirgenerek hesaba devam edilir.

b. Plastik kesitlerdeki iç kuvvet durumunun bölge değiştirmesi

Herhangi bir yük artımında, bir veya daha çok sayıdaki plastik kesitteki iç kuvvet durumu, doğrusallaştırılmış akma koşulunun üzerinde bulunduğu bölgeden başka bir bölgeye geçebilir. Pratikte sık karşılaşılacakla beraber, böyle bir durumun gerçekleşmesi halinde aşağıdaki yol izlenebilir.

İç kuvvet durumunun bölge değiştirdiği k sayılı plastik kesitte, ϕ_k bilinmeyenine ilave olarak

$$\phi'_k = \phi_k$$

olan yeni bir bilinmeyen tanımlanır ve bu bilinmeyene ait satır ve kolon denklem takımına ilave edilir. Böylece daha sonraki yük artımlarında, söz konusu plastik kesitte önceki akma koşulunun çözüme olan etkisi ortadan kaldırılmış olur. Daha sonra, yeni bir ϕ''_k bilinmeyi tanımlanır. Bu bilinmeyene ait satır ve kolon elemanları, iç kuvvet durumunun üzerinde bulunduğu yeni bölge için hesaplanır ve denklem takımına eklenir.

Bu adıma kadar denklem takımı indirgenmiş olduğundan, sadece ϕ'_k ve ϕ''_k bilinmeyenlerine ait satırlar ve kolonlar indirgenerek hesaba devam edilir.

Yukarıda açıklanan özel durumlara ve yöntemin etkin kullanımına yönelik olan

c. orantılı olarak artan düşey ve yatay yükler için yük parametresi-yer değiştirme bağıntısının elde edilmesi

d. kat döşemeleri kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit varsayılan uzay çubuk sistemlerin daha az bilinmeyen kullanılarak etkin hesabı

e. büyük yapı sistemlerinde katsayılar matrisinin sıfır elemanlı bölgelerinin terk edilerek, denklem takımının daha hızlı olarak kurulması ve çözümü

gibi diğer hususlara ait ayrıntılı bilgi ilgili referanslarda bulunmaktadır, [6,8].

2.1.5.5 Bilgisayar Programları

Geliştirilen yük artımı yönteminin pratik uygulamaları için hazırlanan bilgisayar programları aşağıda özetlenmiştir.

PASS Bilgisayar Programı

Sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler etkisindeki üç boyutlu çelik çerçeve sistemlerin ikinci mertebe kuramına göre elastoplastik hesabı için geliştirilen PASS (Plastic Analysis of Steel Structures) bilgisayar programının esasları aynı amaçla geliştirilen IMEP bilgisayar programına dayanmaktadır, [7]. Söz konusu bilgisayar programında çubuk elemanların doğrusal olmayan davranışı, bileşik iç kuvvet durumunu da içeren plastik kesit kavramı ile göz önüne alınmakta, ayrıca geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi hesaba katılmakta, yani ikinci mertebe kuramına göre hesap yapılabilmektedir. Bu programda giriş bilgileri olarak sistem geometrisini tanımlayan büyüklükler, düğüm noktası sayısı, düğüm noktası koordinatları, çubuk uç numaraları, mesnet özellikleri, varsa sıfır olan yer değiştirmeleri ifade eden kod numaraları verilmektedir. Çubukların malzemesine ait bilgiler olarak, elastisite modülü ve kayma modülü verilir. Çubuk enkesitine ait giriş bilgileri ise, çubuk asal eksen takımındaki eğilme rijitlikleri, uzama rijitliği ve burulma rijitliği ile çubuğun akma yüzeyinin elde edilmesi için gerekli olan, her iki eksen etrafındaki plastik eğilme momentleri ve normal kuvvet taşıma gücüdür. İkinci mertebe kuramına göre hesapta, normal kuvvetin basınç olarak ortaya çıktığı çubuklarda normal kuvvet değerinin de verilmesi gerekmektedir. Yükleme özellikleri olarak, düşey yüklerden oluşan düğüm noktası yüklerinin, çubuklar üzerindeki yayılı yükleri temsil eden tekil yüklerin değerleri ile sol uçtan uzaklıklarının ve düşey yük parametresinin verilmesi gerekmektedir. Düşey yük grubuna ait giriş bilgileri verildikten sonra, deprem veya rüzgar yüklerini temsil eden eşdeğer statik düğüm noktası yükleri verilir.

Çıkış bilgileri arasında sistemin yük parametresi-yer değiştirme bağıntıları, plastik kesit yerleri, plastik kesitlerin oluşum sıraları ve oluştukları yük parametreleri, her yük adımına ait iç kuvvetler yer almaktadır.

EPARCS Bilgisayar Programı

EPARCS (Elasto-Plastic Analysis of Reinforced Concrete Structures), sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler etkisindeki üç boyutlu betonarme yapı sistemlerin birinci ve ikinci mertebe kuramına göre elastoplastik hesabı ve göçme yükünün belirlenmesi amacıyla hazırlanmış bir bilgisayar programıdır, [8]. Söz konusu bilgisayar programı, bu tez kapsamında geliştirilen yaklaşımın kontrolünde ve değerlendirilmesinde aktif olarak kullanılmıştır. Güçlü bir kuramsal alt yapıya dayanması, kullanılan yük artım yönteminin avantajları ve hesabın her adımına ait çıkış bilgilerinin zenginliği programın öne çıkan başlıca özellikleri olarak sayılabilir. EPARCS bilgisayar programında betonarme çubuk elemanların doğrusal olmayan davranışı bileşik iç kuvvet durumunu da içeren plastik kesit kavramı ile göz önüne alınmakta, ayrıca geometri değişimlerinin denge denklemlerine olan etkisini ifade eden ikinci mertebe etkileri hesaba katılmaktadır.

Betonarme yapı sistemlerinin doğrusal olmayan kurama göre hesabı için çok sayıda giriş bilgisine gerek olmaktadır. Dolayısıyla, istenen amaca ulaşabilmek için birbirleriyle bütünleşik olarak çalışan üç ayrı bilgisayar programı geliştirilmiştir. İşleyiş sırasına göre bu programlar

BEKE-3 bilgisayar programı

EPARCS bilgisayar programı

CHECK bilgisayar programı

olarak adlandırılmaktadırlar.

Her üç bilgisayar programı da Fortran programlama dilinde kodlanmış olup, önce BEKE-3 programı çalışarak EPARCS ve CHECK bilgisayar programlarının gereksinim duyduğu giriş bilgilerini üretmektedir. BEKE-3 programının çıkış verilerini kullanan EPARCS programının çalışmasıyla, CHECK programı için gerekli olan ek bilgiler üretilmektedir. Bu programların geliştirilme amaçları, giriş ve çıkış bilgileri aşağıda verilmiştir.

BEKE-3 Programı : Bu program EPARCS ve CHECK programlarının çalışması için gerekli olan bilgileri üretir. Bu bilgiler, bileşik eğik eğilme etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda akma (kırılma) koşullarını ifade eden üç boyutlu yüzeyi tanımlayan karakteristik noktalar, sadece eğilme momenti etkisindeki elemanlarda eğilme momenti taşıma güçleri, betonarme çubuk elemanlarda çatlamış kesit eğilme rijitlikleri ve ikinci mertebe kuramına göre hesapta kullanılacak olan normal kuvvetlerdir.

Bu amaçlar için hazırlanan BEKE-3 programının giriş bilgileri

- a) sistem geometrisini tanımlayan büyüklükler : düğüm noktası sayısı, düğüm noktası koordinatları, çubuk uç numaraları, mesnet özellikleri, varsa sıfır olan yer değiştirmeleri ifade eden kod numaraları, rijit döşeme düzlemini ifade eden düğüm noktası numaraları,
- b) betonarme çubuk elemanların malzemesine ait bilgiler : betonarme elemanın gerilme - şekil değiştirme bağıntısını ifade eden karakteristik değerler (f_{ck} , E_c , ϵ_{co} , ϵ_{cu}), beton çeliğinin gerilme-şekil değiştirme bağıntısını tanımlayan değerler (f_{yk} , E_s , ϵ_{su}), çubuk enkesit geometrisini tanımlayan büyüklükler,
- c) çubuk elemanlarda donatı miktarları ve donatı yerleşim düzenine ilişkin bilgiler,
- d) yükleme özellikleri : eşdeğer tekil kuvvetlerle ifade edilen kiriş yükleri, düğüm noktası yükleri ve seçilen referans noktalarına taşınan deprem ve rüzgar yüklerini temsil eden yatay kuvvetlerdir.

EPARCS Programı : Bu programın kullandığı bilgilerin tümü BEKE-3 programı tarafından üretilmektedir. Bu bilgiler şunlardır :

- a) sistem geometrisini tanımlayan büyüklükler : düğüm noktası sayısı, düğüm noktası koordinatları, çubuk uç numaraları, mesnet özellikleri, varsa sıfır olan yer değiştirmeleri ifade eden kod numaraları, rijit döşeme düzlemini ifade eden düğüm noktası numaraları,
- b) malzemeye ait karakteristik büyüklükler,

c) kolonlarda bileşik eğik eğilme durumunu ifade eden üç boyutlu akma (kırılma) yüzeyini temsil eden karakteristik noktaların koordinatları, sadece eğilme etkisindeki betonarme çubuklarda (kirişlerde) eğilme momenti taşıma güçleri,

d) yükleme özellikleri : eşdeğer tekil kuvvetlerle ifade edilen kiriş yükleri, düğüm noktası yükleri ve seçilen referans noktalarına taşınan yatay kuvvetler.

Çıkış bilgileri ise şunlardır :

Yük parametresi-yer değiştirme bağıntıları, plastik kesit yerleri, plastik kesitlerin oluşum sırası ve oluştukları yük parametreleri, her yük artımı adımına ait iç kuvvetler, AUTO-CAD programının kullanacağı şekilde düzenlenmiş çerçeve geometrisi ve plastik kesit yerleri.

CHECK Programı : Yük artımı yönteminin bütün adımlarında oluşan plastik kesitlerdeki dönme kapasitelerini hesaplayarak, EPARCS programında bulunan plastik dönme değerleri ile kontrol etmektedir. Bu programın kullandığı bilgilerin tümü BEKE-3 ve EPARCS programları tarafından üretilmektedir.

Giriş bilgileri :

- a) betonarme betonu ve donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını ifade eden karakteristik büyüklükler
- b) enkesit geometrisini tanımlayan büyüklükler
- c) plastik kesitlerdeki dönme miktarları ve iç kuvvetlerdir.

2.2 Yapı Sistemlerinin Performansa Dayalı Tasarımı ve Değerlendirilmesi

2.2.1 Giriş

Performansa dayalı hesap yöntemleri, 20. yüzyılın sonlarında Amerika Birleşik Devletleri'nde deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların iyileştirilmesi çalışmaları

sırasında ortaya konulmuş yöntemlerdir. Ancak, daha sonra bu yöntemlerin yeni yapıların tasarımında da kullanılabileceği görülmüştür.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California Eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasarlar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yer değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Bu ihtiyacı karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings – ATC 40 projesi ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – FEMA 273, 356 projeleri geliştirilmiştir. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır. Ayrıca ele alınan kavramlar, Structural Engineers Association of California (SEAOC) 'nın yürüttüğü Vision 2000 olarak adlandırılan proje ile yeni yapıların tasarımında da kullanılacak şekilde genişletilmiştir.

Performans kavramı, yapı mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olmasına karşın gerek gelişmiş bir çok ülkede gerekse ülkemizde, bugünkü boyutlarıyla olmasa da, hesap yöntemlerinde ve yönetmeliklerde yer almaktadır. Genel olarak bu yönetmeliklerde, yapıların küçük depremlerde hasar görmemesi, orta dereceli depremlerde can güvenliğinin sağlandığı sınırlı hasar oluşması ve büyük depremlerde de toptan göçmenin önlenmesi amaçlanmıştır. Performansa dayalı tasarımda bu amaçların daha belirgin şekilde tanımlanmasının yanında ek performans seviyeleri de öngörülür, [1-3,11,14].

2.2.2 Performans Hedefi

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri (düzeyleri) ile tanımlanır. Bir

yapı için birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir.

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde bir binanın deprem performans hedefi iki soruya cevap verilerek tanımlanabilir.

1. Binada depremden sonra nasıl bir hasar seviyesi ve bununla ilgili olarak nasıl bir performans seviyesi kabul edilecektir?
2. Bunların belirlenmesinde hangi deprem esas alınacaktır?

Bu iki sorunun cevaplarının birleştirilmesi ile bina deprem performans hedefi tanımlanır.

2.2.3 Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, belirli bir yapıda, belirli bir deprem etkisi altında meydana gelmesi öngörülen hasar miktarlarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın (hemen veya bir süre sonra) kullanılabilirlik durumuna ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir. Her yapısal performans seviyesi, ayrı ayrı değerlendirilen taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır.

2.2.3.1 Taşıyıcı Sistem Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkisi ile meydana gelebilecek olası hasara, bu hasarın can güvenliğine etkisine ve deprem sonrasında binanın kullanım istemine (ihtiyacına) bağlı olarak çeşitli performans seviyeleri ve aralıkları tanımlanmıştır, Tablo 2.2.

Hemen kullanım performans seviyesi (SP-1)

Deprem sonrasında taşıyıcı sistemde meydana gelen hasar çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği hemen hemen aynen devam

etmektedir. Yapısal hasardan oluşan bir yaralanma söz konusu değildir. Yapının depremden önceki kullanım durumu, deprem sonrasında da sürekliliğini korumaktadır.

Tablo 2.2 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviye ve Aralıkları

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Kod
Hemen Kullanım		SP-1
	Hasar Kontrol	SP-2
Can Güvenliği		SP-3
	Sınırlı Güvenlik	SP-4
Toptan Göçmenin Önlenmesi		SP-5

Hasar kontrol performans aralığı (SP-2)

Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır. Can güvenliğinin sağlanması yanında, hasarın da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelir. Deprem yönetmeliklerinde yeni binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan (50 yıl / %10 olasılık) deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi bu aralığa düşer.

Can güvenliği performans seviyesi (SP-3)

Deprem sonrasında taşıyıcı sistemde önemli sayılabilecek hasar meydana gelmesine karşılık, binanın bölgesel veya toptan göçmesi söz konusu değildir. Yapıda göçmeyi önleyecek bir ek kapasite kalmıştır. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.

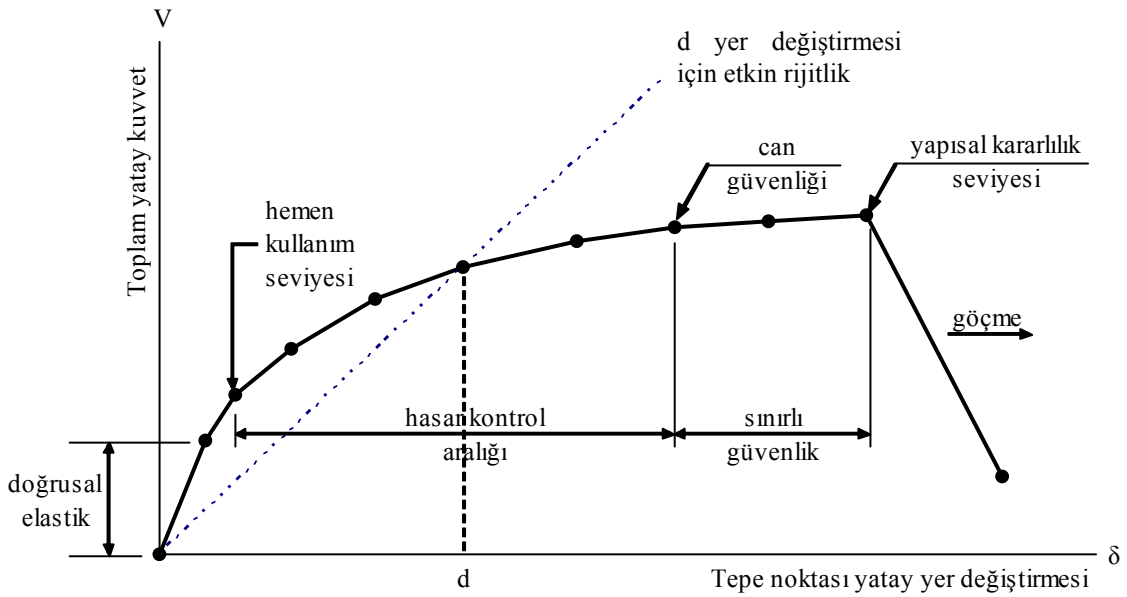
Sınırlı güvenlik performans aralığı (SP-4)

Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, can güvenliği ile toptan göçmenin önlenmesi performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır. Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir.

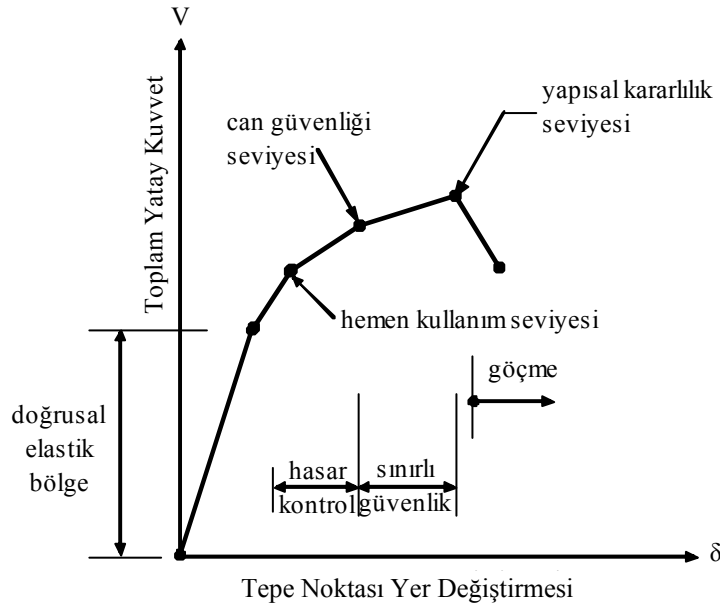
Göçmenin önlenmesi (kararlılığın korunması) performans seviyesi (SP-5)

Yapıyı kısmi veya toptan göçme (güç tükenmesi) sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı sistem elemanlarında önemli hasarlar oluşmuş, dayanım ve rijitliklerde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı kararlılığını korumakla birlikte, önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır. Devam eden artçı depremler yapının yıkılmasına sebep olabilir. Önemli bir güçlendirme müdahalesi gereken bu tür yapılarda, genellikle güçlendirme teknik ve ekonomik olarak kabul edilebilir değildir. Bu tür seviyenin yeni yapıların tasarımında maksimum deprem etkisi altında sağlanması önerilebilir. Daha düşük bir deprem etkisinde bu seviyenin göz önüne alınması, daha yüksek bir deprem etkisinde güç tükenmesine yüksek olasılıkla ulaşılması anlamına gelir ki, bunun da kabul edilmesi uygun değildir.

Yukarıda tanımlanan performans seviyeleri ve aralıkları, sünek ve sünek olmayan yapı sistemleri için, kapasite eğrisi olarak tanımlanan yatay kuvvet-yatay yer değiştirme diyagramları üzerinde şematik olarak işaretlenmiştir, Şekil 2.6a, Şekil 2.6b.



Şekil 2.6a Sünek Yapıda Kapasite Eğrisi Üzerinde Performans Seviyeleri ve Aralıkları



Şekil 2.6b Sünek Olmayan Yapıda Kapasite Eğrisi Üzerinde Performans Seviyeleri ve Aralıkları

2.2.3.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri

Yapının taşıyıcı olmayan elemanlarda, deprem etkisinde meydana gelebilecek olası hasara ve bu elemanların kullanımına bağlı olarak, performans seviyeleri aşağıdaki gibi tanımlanır, Tablo 2.3.

Tablo 2.3 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri

Performans Seviyesi	Kod
Kullanıma devam	NP-A
Hemen kullanım	NP-B
Can güvenliği	NP-C
Azaltılmış hasar	NP-D
Yapısal olmayan performansın dikkate alınmadığı seviye	NP-E

Kullanıma devam performans seviyesi (NP-A)

Deprem sonrasında taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisat ve ekipmanda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar yapının ve ekipmanların kullanımını engellemez.

Hemen kullanım performans seviyesi (NP-B)

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Bazı eleman ve ekipmanların onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılmaya devam edilir.

Can güvenliği performans seviyesi (NP-C)

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta dikkate değer bir hasar olmasına karşılık, meydana gelen genel hasar yapının bölgesel veya toptan göçmesine sebep olamayacak mertebededir. Yapının içinde veya dışındaki elemanlarda, yaralanmalara sebep olabilecek makine devrilmesi, kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Yaralanmaların muhtemel olmasına rağmen, can güvenliğini tehlikeye atacak yaralanmalar azdır. Taşıyıcı olmayan elemanlar, tesisat ve ekipmanda onarım ve yenileme ihtiyacı doğabilir ve bunlar giderilmeden işlevsel bir kullanım durumu sağlanamayabilir.

Azaltılmış hasar performans seviyesi (NP-D)

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasar meydana gelebilir. Ancak, parapet, dış cephe duvarları veya kaplamaların yıkılma ve dökülmesi, asma tavanların düşmesi gibi insanların gruplar halinde yaralanmasına neden olabilecek hasar durumuna ulaşılmaz.

Yapısal olmayan performansın dikkate alınmadığı seviye (NP-E)

Bazı hallerde, yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın değerlendirilmesine gerek olmayabilir.

2.2.3.3 Bina Performans Seviyeleri

Binanın deprem etkisi altında beklenen performansı, ortaya çıkacak hasar, sınırlı güvenlik, ekonomik kayıp ve işlevine ara vermenin doğurduğu sakıncaların toplamı olarak görülür. Buna bağlı olarak binanın toplam yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının performans seviyelerinin birleşimiyle

ifade edilir. Tablo 2.4 'de bina performans seviyelerini tanımlayan olası birleşim durumları görülmektedir. Tabloda isimlendirilen seviyeler yaygın olarak kullanılmakta olan performans seviyeleridir. Numaralandırılan ancak isimlendirilmeyenler sık kullanılmayan diğer performans seviyelerini, tabloda boş bırakılanlar ise kullanılması önerilmeyen bina performans seviyelerini göstermektedir.

Tablo 2.4 Taşıyıcı ve Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyelerinin Ortak Değerlendirilmesi ile Oluşan Bina Performans Seviyeleri

Taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri	Taşıyıcı eleman performans seviyeleri ve aralıkları					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Hasar Kontrolü (Aralık)	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik (Aralık)	SP-5 Yapısal Kararlılık	SP-6 Performans Dışı
NP-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A				
NP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B			
NP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar		2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Performans Dışı			3-E	4-E	5-E Yapısal Kararlılık	

Tablo 2.4 'de isimlendirilen performans seviyeleri aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır ve Tablo 2.5 'de özetlenmiştir.

1-A : Kullanıma devam performans seviyesi (SP-1 + NP-A)

Hasar yoktur veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliliğini aynen korumaktadır. Yapının deprem

öncesi ve sonrası kullanımı süreklilik göstermektedir, depremde herhangi bir etkilenme söz konusu değildir.

Tablo 2.5 Binalar İçin Bazı Önemli Performans Seviyeleri

Bina performans seviyesi	Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri ve aralıkları	Tanım
1-A	SP-1 NP-A	Kullanıma devam performans seviyesi Yedek sistemlerin devreye girmesi ile kullanıma devam ediliyor, çok az hasar oluşabilir.
1-B	SP-1 NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi Küçük onarımlar neticesinde binanın deprem öncesi kullanılabilirliği aynen sağlanmaktadır.
3-C	SP-3 NP-C	Can güvenliği performans seviyesi Taşıyıcı sistemin önemli bir kapasitesi kalmış durumdadır, taşıyıcı olmayan sistemde hasar kontrol altındadır.
5-E	SP-5 NP-E	Yapısal Kararlılık Bina sadece düşey yüklere karşı koyabilecek durumdadır, fakat önemli hasar oluşmuştur.

1-B : Hemen kullanım performans seviyesi (SP-1 + NP-B)

Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Taşıyıcı olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Küçük onarımlar neticesinde yapının kullanımına devam edilir. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür. Ancak, binada bulunan eşyalarda hasar olabilir.

3-C : Can güvenliği performans seviyesi (SP-3 + NP-C)

Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda belirli ölçüde hasar mevcuttur. Ancak, bu hasardan dolayı can güvenliğinin tehlikeye girmesi oldukça düşük bir olasılıktır. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir. Bu seviye günümüzde yönetmeliklerin yeni binalar için öngördüğü performans seviyesinden biraz daha düşük olarak tanımlanmıştır.

5-E : Yapısal kararlılık (göçmenin önlenmesi) performans seviyesi (SP-5+NP-E)

Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında kararlılığını korumaktadır. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin önemli bir bölümünü kaybetmiştir. Yapının artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar önemli boyuttadır ve bundan kaynaklanan can güvenliği tehlikesi mevcuttur. Yapının onarılması da çok kere pratik ve ekonomik bakımdan uygun değildir.

Yukarıda açıklanan bina performans seviyeleri dışında yaygın olarak kullanılan diğer performans seviyeleri de aşağıda tanımlanmıştır.

3-D : Bina performans seviyesi (SP-3+ NP-D)

Taşıyıcı elemanlarda can güvenliği ve taşıyıcı olmayan elemanlarda azaltılmış hasar seviyelerinin birleşimiyle oluşan bir seviyedir. Yönetmeliklerde yer alan 50yıl/%10 olasılıklı deprem tanımı için verilen deprem kuvvetlerinin %75 'i esas alınarak yapılan güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesi sağladığı kabul edilebilir.

3-B : Bina performans seviyesi (SP-3+ NP-B)

Bu seviyede taşıyıcı elemanlardaki hasar binanın kullanımına engel olmamaktadır. Bu tür bir performans seviyesinin binanın tümü için öngörülmesi yerine, binanın kontrol merkezi ve bilgisayar merkezi gibi belirli hacimleri için kabul edilmesi uygun olabilir.

2.2.4 Deprem Hareketi

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda göz önüne alınmak üzere, farklı seviyede deprem hareketleri tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süre içindeki aşılma olasılıkları veya benzer büyüklükteki depremlerin oluşumu arasındaki ortalama zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler. Bu iki parametre arasındaki ilişki Tablo 2.6 'da verilmiştir.

Yapıların tasarım ve değerlendirmesinde çeşitli deprem etkileri seçilebilirse de, ATC 40 projesinde, yaygın olarak kullanılan üç farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır. Benzer tanımlar FEMA 273 ve FEMA 356 dökümanlarında da yer almaktadır. Aşağıda, ATC 40 ‘da tanımlanan deprem hareketleri, FEMA 273 ve FEMA 356 ‘da tanımlanan depremlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.6 Yapıların Tasarım ve Değerlendirilmesinde Göz Önüne Alınabilecek Depremleri Tanımlamada Kullanılan Parametreler

Aşılma olasılığı	Esas alınan zaman aralığı	Ortalama dönüş periyodu
%50	50 yıl	72 yıl
%20	50 yıl	225 yıl
%10	50 yıl	474 yıl
% 2	50 yıl	2475 yıl

Servis (kullanım) depremi (SE)

50 yıl içinde aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir, (50yıl/%50). Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 72 yıl olan bu depremin yapının ömründe en az bir kere veya daha fazla meydana gelmesi olasıdır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı dolaylarındadır.

Tasarım depremi (DE)

50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir, (50yıl/%10). Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 474 yıl olan bu depremin yapı ömrü boyunca meydana gelme olasılığı düşüktür. Tasarım depremi, FEMA 273 ve 356 ‘da Temel güvenlik depremi-1 (TGD-1) olarak adlandırılmaktadır.

En büyük deprem (ME)

Belirli bir bölgede, jeolojik veriler çerçevesinde meydana gelebilecek en büyük yer hareketidir. 50 yılda aşılma olasılığı % 5, dönüş periyodu ise yaklaşık 1000 yıldır. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık 1.25-1.50 katı dolayındadır. Deprem yönetmeliklerinde tasarım depremi etkisinin, bina önem katsayısı ile artırılması sonucunda böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır. Ayrıca FEMA 273 ‘te, Temel güvenlik depremi-2 (TGD-2) olarak adlandırılan ve 50 yılda aşılma olasılığı % 2,

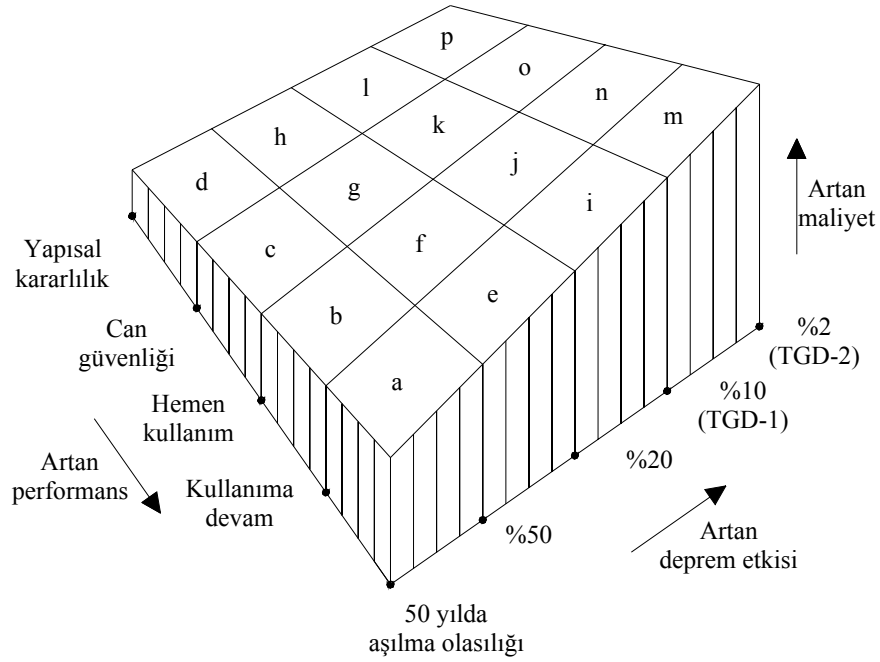
dönüş periyodu ise yaklaşık 2500 yıl olan bir deprem daha tanımlanmıştır. Bu depremin ATC 40 'da tanımlanan en büyük depreme karşı geldiği düşünülebilir.

Tablo 2.7 Yapı Performans Amaçları Sınıflandırması

Deprem etki seviyesi	Yapı performans seviyesi			
	Kullanıma devam performans seviyesi 1-A	Hemen kullanım performans seviyesi 1-B	Can güvenliği performans seviyesi 3-C	Yapısal kararlılık performans seviyesi 5-E
% 50 / 50 yıl Kullanım depremi	a	b	c	d
% 20 / 50 yıl	e	f	g	h
TGD-1 ~% 10 / 50 yıl Tasarım depremi	i	j	k	l
TGD-2 ~% 2 / 50 yıl En büyük deprem	m	n	o	p

Yapıların güçlendirme işleminde göz önüne alınacak amaçlar, deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı olarak Tablo 2.7 'de verilmiştir. Bu tabloda, FEMA 273 ve FEMA 356 'da ifade edilen Temel güvenlik depremi-1 (TGD-1) ve Temel güvenlik depremi-2 (TGD-2) deprem etki seviyeleri de yer almaktadır. Tablo 2.7 'de verilen performans amaçlarından birinin seçiminde, seçilecek performans seviyesinin ve kabul edilecek deprem etki seviyesinin belirlenmesi yanında, yapının güçlendirme maliyeti ve yapının depremden kısa bir süre sonra kullanılabilmesi durumu da etkili olacaktır. Şekil 2.7 'de performans seviyelerinin maliyetle ilişkileri gösterilmiştir. Bir yapıda, belirli bir deprem hareketi altında tek bir performans hedefi öngörülebileceği gibi, birden fazla yer hareketi seviyesi için çok seviyeli performans hedefleri de esas alınabilir. Örneğin FEMA 273 açısından, yapının değerlendirilmesi ve tasarımında, TGD-1 depreminde can güvenliği performans seviyesi ve TGD-2 depreminde de yapısal kararlılık performans seviyesi ayrı ayrı göz önüne alınabilir. Tablo 2.7 'de verilen performans amaçlarından ana köşegende bulunan a-f-k-p amaçları ana yapılar için, alt köşegenlerde bulunan e-j-o

önemli binalar için ve i-n deprem güvenliği çok özel olan binalar için önerilir. Tablo 2.8 'de ATC 40 açısından, çok seviyeli performans hedefi için bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.7 Bina Performans Seviyeleri – Maliyet İlişkisi

Tablo 2.8 Çok Seviyeli Hedef Performansın Tanımlanması

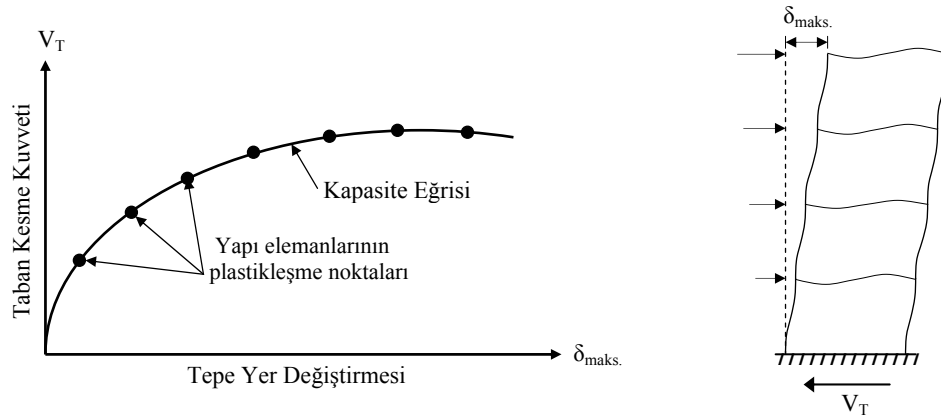
Deprem etki seviyesi	Yapı performans seviyesi			
	Kullanıma devam performans seviyesi 1-A	Hemen kullanım performans seviyesi 1-B	Can güvenliği performans seviyesi 3-C	Yapısal kararlılık performans seviyesi 5-E
SE				
DE				
ME				

2.3 Yapısal Kapasite

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi istem (talep) ve kapasitedir. İstem yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir.

Yapısal kapasite, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Doğrusal elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi istendiğinde, genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan kurama göre sistem hesabı yapılması gerekmektedir.

Yapısal kapasite, kapasite eğrisi (pushover curve) ile temsil edilmektedir. Bu eğri ise, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, önceki bölümlerde açıklandığı şekilde, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler etkisinde, taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma (birinci veya ikinci mertebe limit yüke) kadar hesaplanır. Gerekli olduğu hallerde, kapasite eğrisinin limit yükten sonraki bölümü de elde edilebilir, Şekil 2.8. Kapasite eğrisi, deneysel çalışmalarda tekrarlı yükler altında (itme-çekme) elde edilen ve histerezis olarak bilinen eğriler bütününe itme bölgesindeki sınır eğrisine (zarfına) karşılık gelir.



Şekil 2.8 Doğrusal Olmayan Kuram ile Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi

Yapısal kapasite eğrisi, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu esas alınarak belirlenen eşdeğer statik deprem kuvvetleri altında yapılan hesap ile belirlenir. Diğer bir deyişle, yapının davranışında birinci doğal titreşim modunun etkin olduğu varsayılır. Bu varsayım, özel periyodu 1.00 sn 'den küçük olan yapılar için geçerli olabilir. Birinci doğal titreşim periyodu 1.00 sn 'den büyük olan yapılarda, daha yüksek modların etkilerinin de göz önüne alınması gerekmektedir.

2.3.1 Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Değerlendirme Yöntemleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan basitleştirilmiş doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri, yapının yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet-yatay yer değiştirme ($P-\delta$) ilişkisinin malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan kurama göre elde edilmesine ve bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite eğrisi adı verilen bu eğriden yararlanarak, yapının zayıf elemanları ve bunların yerleri ile olabilecek bölgesel veya toptan göçme mekanizmaları belirlenebilmekte, ayrıca belirli bir deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği de kontrol edilebilmektedir.

Doğrusal olmayan statik hesap yöntemleri ile yapı performansının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Bunlardan birincisinde, yapıya etkitilen yatay deprem yükleri yönetmeliklerde öngörülen seviyeye ulaştığında, gerek dayanım gerekse yer değiştirme ve şekil değiştirmeler bakımından yapıdan istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. İkinci kriterin kullanıldığı yöntemlerde ise belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

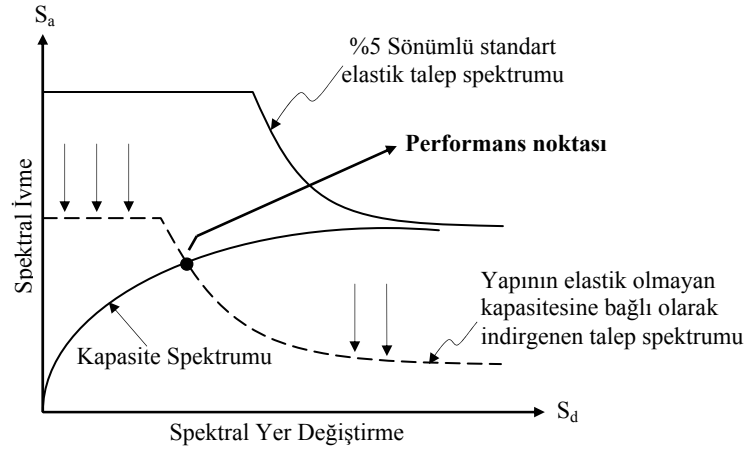
Bir yapının performansı, yapı kapasitesinin istemi karşılayabilme durumuna göre değerlendirilir. Diğer bir deyişle, yapının performansının tasarım hedefleri ile uyumlu olması için yapı, tasarımında seçilen deprem veya depremlerin istemine karşı koyabilecek kapasiteye sahip olmalıdır.

Aşağıdaki bölümlerde, yer değiştirmeye bağlı performans kriterini esas alan başlıca yöntemler ayrıntılı olarak gözden geçirilecektir.

2.3.1.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi (Capacity Spectrum Method, ATC 40)

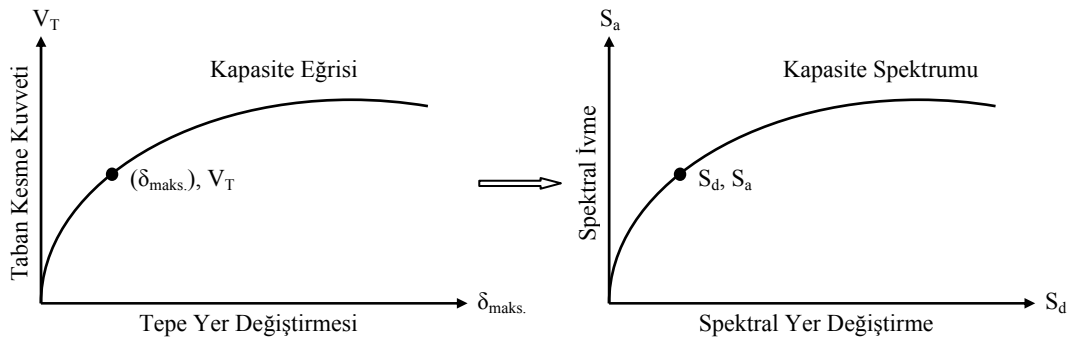
Artan deprem yükleri altındaki bir yapıda elastik olmayan şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu şekil değiştirmeler yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla istemi (talebi) azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen elastik olmayan şekil değiştirmelere bağlı olarak, elastik istem spektrumu indirgenerek

kapasite ve istemin eşit olduğu nokta belirlenir. Performans noktası adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir, Şekil 2.9. Bu yöntemde üç temel büyüklüğün belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar kapasite, yer değiştirme istemi ve performans noktasıdır, [1].



Şekil 2.9 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Performans Noktasının Tayini

Yukarıda, Bölüm 2.3 'de açıklandığı şekilde elde edilen kapasite eğrisi, istem spektrumu ile karşılaştırılacağı için spektral biçime ($S_a - S_d$) dönüştürülür, Şekil 2.10. Ancak, talep (istem) spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisinin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem, birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı (α_1) ve modal katılım çarpanı (PF_1) kullanılarak aşağıdaki (2.8), (2.9), (2.10) ve (2.11) bağıntıları ile yapılabilmektedir.



Şekil 2.10 Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (2.8)$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \quad (2.9)$$

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (2.10)$$

$$S_d = \frac{\delta_{maks.}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (2.11)$$

Bu bağıntılarda,

S_a : spektral ivme

S_d : spektral yer değiştirme

V_T : toplam taban kesme kuvveti

$\delta_{maks.}$: yapının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi

W : yapının toplam ağırlığı

$\phi_{tepe,1}$: birinci normal moda ait en üst kattaki genlik

$\phi_{i,1}$: birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik

N : binanın kat sayısı

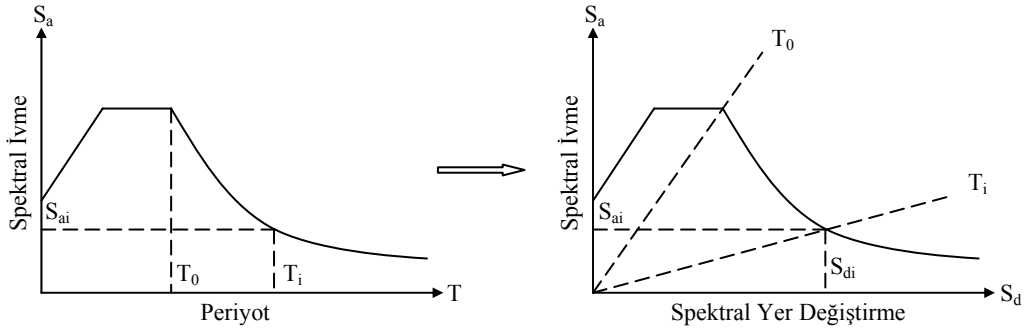
w_i / g : (i) numaralı katın kütlesi

olarak tanımlanmaktadır.

Kapasite spektrumu ile aynı koordinat eksen takımı üzerinde gösterilebilmesi için, elastik istem spektrumunun da spektral ivme-spektral yer değiştirme biçimine dönüştürülmesi gerekir, Şekil 2.11. Bunun için, spektral ivme ile spektral yer değiştirme arasındaki ilişkiyi ifade eden (2.12) bağıntısından yararlanılır. Burada, T yapı sisteminin birinci doğal periyodunu göstermektedir.

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (2.12)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (2.13)$$



Şekil 2.11 Elastik İstem Spektrumunun İvme-Yer Değiştirme Biçimine Dönüştürülmesi

Kapasite ve elastik istem spektrumları, aynı spektral ivme-spektral yer değiştirme (S_a - S_d) koordinat sisteminde ifade edildikten sonra, deprem etkileri altında yapı sisteminde oluşan doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle artan sönüm oranına bağlı olarak, elastik istem spektrumunun indirgenmesi gerekir. İndirgeme işlemi için etkili sönüm yüzdesinden yararlanılır.

Etkili sönüm yüzdesi, histeretik ve viskoz sönüm toplamının kritik sönüme oranı olarak tanımlanır. Viskoz sönüm genellikle % 5 olarak alınmaktadır. Histeretik sönüm ise kapasite spektrumunu içeren histerezisin alanı ile ilgilidir ve eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir.

Kapasite spektrumunun iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesi halinde, etkili sönüm yüzdesi için (2.14) bağıntısı yazılabilir, Şekil 2.12.

$$\beta_{eq} = \kappa \beta_o + 5 = \frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (2.14)$$

Burada,

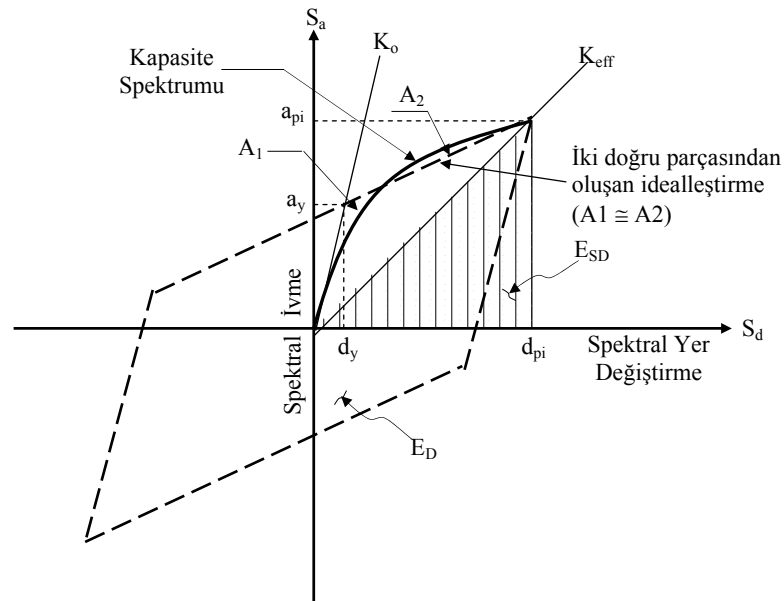
β_{eq} : yüzde olarak ifade edilen etkili sönüm oranını

β_o : eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeretik sönümü

κ : yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ile depremin süresine bağlı olarak belirlenen ve değeri $0.33 \leq \kappa \leq 1.00$ arasında değişen bir katsayıyı [1] göstermektedir.

$$\beta_o = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_o} \quad (2.15)$$

Şekil 2.12 'den de görüldüğü gibi, etkili sönüm oranının hesaplanabilmesi için, performans noktasının başlangıçta bilinmesi veya tahmin edilmesi gerekmektedir.



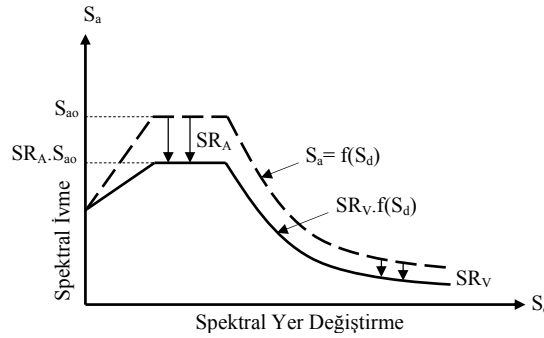
Şekil 2.12 Histeretik Sönüme Eşdeğer Viskoz Sönümün Belirlenmesi

Spektral ivme-spektral yer değiştirme (S_a - S_d) koordinat sisteminde ifade edilen elastik istem spektrumunun yatay koluna ve azalan bۆlümüne uygulanacak indirgeme katsayıları, β_{eq} etkili sۆnۆm oranına bağlı olarak sırasıyla,

$$SR_A \approx \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eq})}{2.12} \geq SR_{A, \min} = 0.33 - 0.56 \quad (2.16)$$

$$SR_V \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eq})}{1.65} \geq SR_{V, \min} = 0.50 - 0.67 \quad (2.17)$$

bağıntılıları ile hesaplanır, şekil 2.13.



şekil 2.13 İndirgenmiş İstem Spektrumunun Elde Edilmesi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş istem spektrumunun kesim noktası, ۆngۆrۆlen deprem etkisi altında yapının performans noktasını vermektedir. Yapının performans noktası bu şekilde bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun amaçla, sisteme ait bۆyۆklüklerin (yer değiştirmeler, plastik şekil değiştirmeler vb.) performans noktasındaki değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır. Bu sınır değerler, belirli bir deprem hareketi için, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar dۆzeylerinin, ۆngۆrۆlen performans seviyesi içinde ulaşabileceği ۆst sınırı ifade eder.

Yukarıdaki açıklamalardan gۆrۆldۆęü gibi, kapasite spektrumu yۆnteminde, performans noktasının bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen d_{pi} yer değiştirmesi ile hesap sonucunda bulunan değerin eşit veya birbirine yeterince yakın olması halinde performans noktası bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir.

2.3.1.2 Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi (Displacement Coefficient Method, FEMA 273, 356)

Yer değiştirme katsayısı yöntemi, kapasite spektrumu yöntemine benzer olarak, kapasite ve istemin birbirine bağlı olması esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde farklı olarak, yer değiştirme istemi grafik olarak değil, sayısal bir şekilde belirlenmektedir. Bu durumda kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine de gerek olmamaktadır.

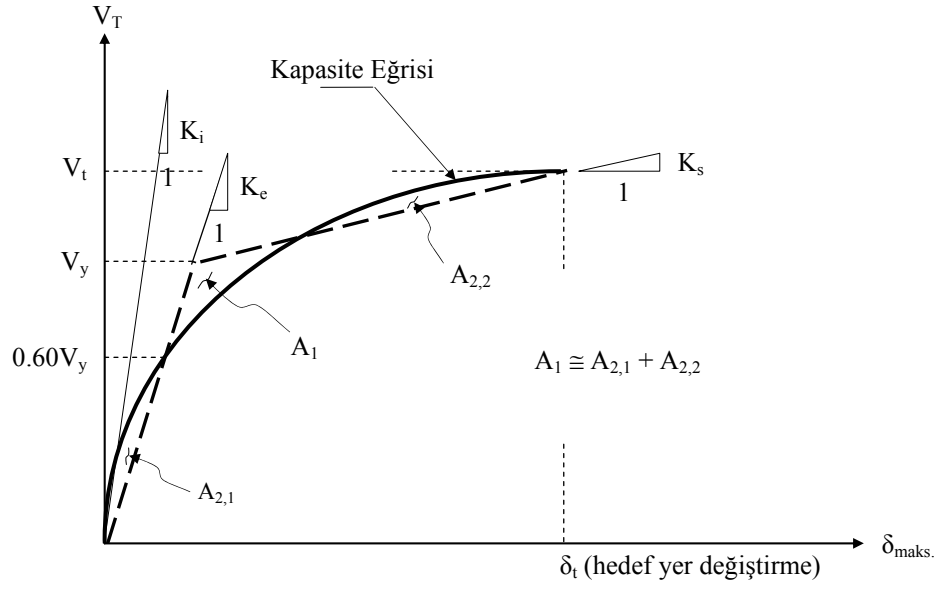
Yer değiştirme katsayısı yönteminde önce V_T taban kesme kuvveti ile $\delta_{maks.}$ tepe noktası yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal titreşim periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, doğrusal olmayan kurama göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği (K_s) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s doğrularının kesiştiği noktanın ordinatının 0.60 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekir, Şekil 2.14.

Bu şekilde idealleştirilen kapasite eğrisi için, sistemin T_e etkin doğal periyodu, T_i hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyodu göstermek üzere

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.18)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

Yapı sisteminin T_e etkin doğal periyodu bulunduktan sonra, hedef yer değiştirme (2.19) bağıntısı ile elde edilir.



Şekil 2.14 İki Doğru Parçası İle İdealleştirilen Kapasite Eğrisi

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (2.19)$$

Bu bağıntıdaki katsayı ve büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır.

C_0 : çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısı

C_1 : doğrusal elastik yer değiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yer değiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısı

C_2 : histeresiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısı

C_3 : ikinci mertebe etkileri nedeniyle artan yer değiştirmelerin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı

S_a : göz önüne alınan yapının etkin doğal periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak belirlenen ve g yerçekimi ivmesini de içeren spektral ivmedir.

Bu katsayı ve büyüklüklerin hesabına yönelik ayrıntılı bilgi [2,3] numaralı kaynaklardan elde edilebilir.

Yukarıdaki açıklamalardan görüldüğü gibi, yer değiştirme katsayısı yönteminde de, hedef yer değiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen ve T_e etkin doğal periyodunun hesabına esas olan δ_i yer değiştirmesi ile hesap sonucunda bulunan değerin eşit veya birbirine yakın olması halinde hedef yer değiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir.

Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yer değiştirme bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için sisteme ait büyüklüklerin (yer değiştirmeler, plastik şekil değiştirmeler vb.) değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır. Örnek olmak üzere aşağıda verilen tabloda, referans [3] 'de yer alan ve betonarme kirişlerde çeşitli performans seviyeleri için öngörülen plastik dönme sınır değerleri görülmektedir, Tablo 2.9.

Tablo 2.9 Betonarme Kirişlerde Çeşitli Performans Seviyeleri İçin Plastik Dönme Sınırları

Eğilme Etkisindeki Kirişler			IO	Taşıyıcı Eleman		Taşıyıcı Olmayan	
				LS	CP	LS	CP
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{denge'}}$	Sarılma Bölgesi	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$					
≤ 0.0	Var	≤ 3	0.01	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	Var	≥ 6	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	Var	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	Var	≥ 6	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	Yok	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	Yok	≥ 6	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Yok	≤ 3	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Yok	≥ 6	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01

3. YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ BİR YAKLAŞIM

3.1 Giriş

Düşey yükler ve deprem etkileri altındaki yapı sistemlerinin yeterli bir göçme güvenliğine sahip olacak şekilde boyutlandırılmaları ve mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi için, malzemenin doğrusal olmayan davranışını ve gerekli olan hallerde geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkilerini göz önüne alan hesap yöntemlerine gerek duyulmaktadır. Bu amaçla doğrusal olmayan kurama dayanan kesin hesap yöntemlerinden yararlanılabildiği gibi, belirli ölçüde yaklaşık; fakat pratik ve hızlı sonuç veren yaklaşık yöntemlere de gerek olmaktadır. Bu çalışmada önerilen basitleştirilmiş hesap yaklaşımı, bu gereksinim doğrultusunda, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin doğrusal olmayan kuram çerçevesinde değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu yaklaşımdan, aynı zamanda, düşey yükler ve yatay deprem veya rüzgar kuvvetleri altındaki yapı sistemlerinin tasarımı aşamasında da yararlanılabilir.

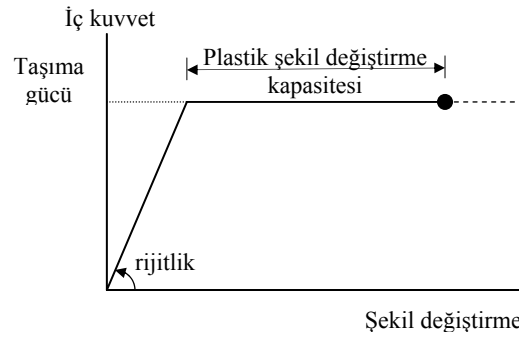
Aşağıda, yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesi için geliştirilen basitleştirilmiş yaklaşımın dayandığı varsayımlar, bazı temel bilgiler, yöntemin esasları ve hesapta izlenen yol ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

3.2 Varsayımlar

Geliştirilen basitleştirilmiş yaklaşımın dayandığı başlıca varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

- a. Eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının, ideal elastoplastik malzeme

tanımına uygun olarak, iki doğru parçasından meydana gelecek şekilde idealleştirilebileceği varsayılmaktadır, Şekil 3.1. Bilindiği gibi bu idealleştirme, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin *plastik kesit* (plastik mafsal) adı verilen noktalarda toplandığı, bu kesitlerin dışındaki bölgelerde ve kesme kuvvetleri altında sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayımına dayanan *plastik mafsal hipotezine* karşı gelmektedir.



Şekil 3.1 İdealleştirilmiş İç Kuvvet-Şekil Değiştirme Bağıntısı

- b. Yapı sisteminin, iç kuvvetlerin yeniden dağılımına olanak sağlayacak ölçüde, yeterli sünekliğe sahip olduğu varsayılmaktadır.
- c. Yapı sisteminin hiçbir elemanında ve birleşim noktasında kesme kırılmasının oluşmayacağı varsayılmaktadır.
- d. Bu çalışmada geliştirilen yaklaşımın üç boyutlu yapı sistemlerine uygulanması halinde, sistemin önemli burulma etkilerine neden olabilecek düzensizlikleri içermediği göz önünde tutulmaktadır.
- e. Yayılı yükler, yeterli sayıda statikçe eşdeğer tekil yüklerle temsil edilebilmektedir.
- f. Döşemelerin, katlardaki kütlelere etkiyen atalet kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elamanlara güvenle aktarılmasını sağlayacak rijitlik ve dayanıma sahip olduğu varsayılmaktadır.
- g. Herhangi bir düğüm noktasında, bu düğüm noktasına bağlanan (n) tane çubuk elemanın en çok ($n-1$) tanesinin söz konusu düğüm noktasına bağlanan

uçlarında plastik mafsall oluşabileceği, diğer bir değişle, sistemde düğüm noktası mekanizmalarının oluşmayacağı göz önünde tutulmaktadır.

h. Sistem, kolonları düşey olan düzgün çerçevelerden meydana gelmektedir.

3.3 Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar

Bir yapı sisteminde dış etkilerden oluşan iç kuvvet, şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin çözüm olabilmeleri için şu üç koşulu sağlamaları gerekmektedir.

1. Denge denklemleri
2. İç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları (bünye denklemleri) ve akma koşulları
3. Geometrik süreklilik koşulları

Aşağıdaki paragraflarda, bu koşullar ve onlara ilişkin denklemler ayrıntılı olarak gözden geçirilecektir.

3.3.1 Denge Denklemleri

Hesabı istenen sistemde dış etkilerden oluşan iç kuvvetlerin denge denklemlerini sağlamaları gerekmektedir. Geliştirilen yaklaşımda, çözümün sağlaması öngörülen denge denklemlerinden başlıcaları aşağıda sıralanmıştır.

- a) çubuk elemanların moment ve izdüşüm denge denklemleri :

$$\sum M_i = 0 \quad \sum Y_i = 0 \quad (3.1)$$

- b) düğüm noktalarının moment denge denklemleri :

$$\sum_j M_{ij} = 0 \quad (3.2)$$

- c) çerçeve sistemlerde katların yatay izdüşüm denge denklemleri :

$$\sum T_{ij} = 0 \quad (3.3)$$

3.3.2 İç Kuvvet - Şekil Değiştirme Bağıntıları ve Akma Koşulları

Doğrusal olmayan malzemeden yapılan ve plastik mafsallı hipotezinin geçerli olduğu varsayılan düzlem çubuk sistemlerde, eğilme momenti-eğrilik bağıntıları

$$M < M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (3.4a)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \infty \quad (3.4b)$$

şeklinde ifade edilebilirler. Burada M_p , basit eğilme halinde kesitin eğilme momenti taşıma gücünü (*plastik moment*) göstermektedir.

Bileşik eğilme halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak

$$K(M, N) = 0 \quad (3.5)$$

akma koşulundan elde edilen M'_p indirgenmiş plastik momentinin kullanılması gerekmektedir.

3.3.3 Geometrik Süreklilik Koşulları

Çerçevelerden oluşan yapı sistemlerinde, geometrik süreklilik koşulları iki bölümde göz önüne alınabilir.

1. Düğüm noktalarının geometrik süreklilik koşulları

Bu süreklilik koşuluna göre, bir rijit düğüm noktasında birleşen çubukların uç dönmeleri birbirine eşittir. Çubuklardan bazılarının düğüm noktasına mafsallı olarak birleşmesi veya bir çubuğun düğüm noktasına birleşen ucunda plastik mafsallı oluşması halinde, söz konusu çubuk için bu süreklilik koşulu geçerli değildir.

2. Çerçeve süreklilik denklemleri

Kapalı bir çerçevede, çerçevenin başlangıç ve son noktanın yer değiştirmeleri birbirine eşittir. Açık çerçevelerde ise, çerçevenin ilk ve son düğüm noktalarının yer değiştirmelerinin farkı, bu noktalardaki mesnet çökmelerinin farkına eşittir.

Geliştirilen yöntemde, çerçeve süreklilik denklemleri nedeniyle, bir katın yatay ötelemesinden oluşan kolon kesme kuvvetlerinin kolonların yatay rijitlikleri ile orantılı olduğu göz önünde tutulmaktadır.

3.4 Alt Sınır Kuramı ve Statik Yöntem

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsallı varsayımı yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir. Plastik mafsallı varsayımının geçerli olduğu yapı sistemlerinde ise, dış etkilere oluşan iç kuvvetlerin hesabı için, alt sınır kuramı ve bu kurama dayanan statik yöntemden yararlanılabilir.

3.4.1 Alt Sınır Kuramı

Dış yüklerle dengede olan bir iç kuvvet durumunda hiçbir kesitte akma koşulu aşılmıyorsa; yani her kesitte $M \leq M_p$ ise bu iç kuvvet durumuna karşı gelen yük limit yüke eşit veya ondan daha küçüktür.

Buna göre, verilen dış yüklerle dengede olan ve her kesitte $M \leq M_p$ koşulunu sağlayan bir iç kuvvet durumu bulunabiliyorsa, bu yük sistemin limit yükünden daha küçük veya ona eşittir.

3.4.2 Statik Yöntem

Dış yüklerle dengede olan ve her kesitte $M \leq M_p$ koşulunu sağlayan bir iç kuvvet durumu bulunur. Bu iç kuvvet durumunda $M = M_p$ olan kesitlere adi mafsallar konulduğunda sistemin tümü veya bir bölümü mekanizma durumuna geliyorsa, bu yük sistemin limit yükünü verir. Sistemde mekanizma oluşmaması halinde, bu iç

kuvvet durumuna karşı gelen yük parametresi sistemin limit yükünden daha küçüktür, diğer bir deyişle, sistem söz konusu yükleri güvenle taşımaktadır.

3.5 Yöntemin Esasları

Düşey ve yatay yükler etkisindeki düzlem çerçeve sistemlerin malzeme bakımından doğrusal olmayan kurama göre yaklaşık olarak hesabı amacıyla bu çalışmada geliştirilen ve iç kuvvetlerin yeniden dağılımını esas alan basitleştirilmiş yaklaşımın dayandığı temel ilkeler aşağıda açıklanmıştır.

Önerilen yaklaşım, birbirini izleyen sistem hesabı ve iç kuvvetlerin yeniden dağılımı aşamalarından oluşmaktadır.

Gerek sistem hesabı aşamasında, gerekse iç kuvvetlerin yeniden dağılımı adımlarında sistem malzeme bakımından doğrusal kurama göre hesaplanmaktadır.

Yeniden dağılım Bölüm 3.3.1 'de verilen denge koşullarını sağlayacak şekilde gerçekleştirilerek *alt sınır kuramına* dayanan çözümler elde edilmektedir. Yeniden dağılım aşamasında ayrıca, aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklandığı şekilde, geometrik süreklilik koşullarının yaklaşık olarak sağlatılması öngörülmekte ve böylece elde edilen çözümün gerçek çözüme yaklaştırılması amaçlanmaktadır.

Sistem hesabı ve yeniden dağılım aşamalarında, $M \geq M_p$ olan kesitlerde plastik mafsalları olduğu göz önüne alınmakta ve hesabın sonunda sistemin plastik mafsalları dağılımı yaklaşık olarak elde edilmektedir.

Önerilen yaklaşımda, eğilme momentlerinin yeniden dağılımı aşamasında meydana gelen plastik mafsalları dönmeleri de hesaplanmaktadır. Bu şekilde, plastik mafsalları dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasiteleri ile karşılaştırılması mümkün olabilmektedir.

Ayrıca, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerden meydana gelen göreceli kat ötelemeleri hesaplanarak yapı sisteminin yatay yük parametresi-yatay yer değiştirme bağıntısı oluşturulmakta ve yapı taşıyıcı sisteminin sınırlılık düzeyi belirlenmektedir.

Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkilerinin (ikinci mertbe etkilerinin) önemli olduğu yapı sistemlerinde, verilen düşey işletme yüklerinden oluşan normal kuvvetleri hesaplamak ve eleman rijitlik katsayıları (birim yer değiştirme sabitleri) ile yükleme sabitlerini (ankastrelik uç kuvvetleri) bu normal kuvvetlere bağlı olarak ikinci mertbe kuramından almak suretiyle, bu kurama göre hesap yapılabilmektedir.

Verilen dış yükler altında doğrusal olmayan kurama göre sistem hesabını amaçlayan yöntem, yatay yüklerin artan değerleri için tekrarlanarak uygulanmak suretiyle, yapı sistemlerinin kapasite diyagramları (Pushover eğrileri) elde edilebilmekte ve bu diyagramlardan performans dayalı tasarım ve değerlendirme amacıyla yararlanılabilmektedir.

3.5.1 İç Kuvvetlerin Sistem Üzerinde Yeniden Dağılımı

Bu bölümde, düşey ve yatay yükler etkisindeki düzlem çerçeve sistemlerde, eğilme momentlerinin yeniden dağılımını öngören yaklaşık yöntemin ayrıntılarına yer verilmiştir. Ayrıca, yapı sistemini uygun şekilde modellemek suretiyle, yeniden dağılımın bilgisayar programları yardımıyla ile gerçekleştirilmesini amaçlayan kesin bir yaklaşımın esasları da Bölüm 3.5.4 'te açıklanacaktır.

Verilen düşey ve yatay yükler altında doğrusal kurama göre hesaplanan sistemde veya yeniden dağılımın her hangi bir adımında sistemin bazı kesitlerindeki eğilme momentlerinin kendilerine ait plastik moment değerlerini aşması halinde, bu kesitlerde plastik mafsallar oluştuğu anlaşılır ve önceki adım sonunda hesaplanan eğilme momentleri ile plastik momentler arasındaki fark momentler sistemin diğer elemanlarına dağıtılır. Bunun için, dış yüksüz sisteme fark momentler ters yönde etkitilir ve bunlardan oluşan iç kuvvetler, elastik ötesi yer değiştirmeler ve şekil değiştirmeler aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanır. Bu işleme eğilme momentlerinin yeniden dağılımı adı verilmektedir.

Eğilme momentlerinin yeniden dağılımı, düğüm noktalarının, çubukların ve katların denge denklemlerini sağlatacak şekilde gerçekleştirilir. Böylece, elde edilen çözümün denge koşullarını sağlaması amaçlanır. Ayrıca, düğüm noktasındaki eğilme momentlerinin bu noktada birleşen çubuklara dağılımında, çubuk uçlarındaki eğilme momentlerinin diğer uca aktarılmasında ve kat kesme kuvvetinin kat kolonlarına

dağıtılmasında geometrik uygunluk koşullarının da yaklaşık olarak sağlatılmasına çalışılır. Bu şekilde, elde edilen çözüm kesin çözüme yaklaştırılır.

Yeniden dağılımın tüm sistem üzerinde tamamlanmasından sonra, yeniden dağılımdan elde edilen iç kuvvetler başlangıçta verilen dış yükler için doğrusal statik hesap sonucunda elde edilen iç kuvvetlere eklenir. Bu işlem sonucunda, akma koşulunun aşıldığı kesitlerde toplam iç kuvvet değerleri kapasite değerlerine (akma sınırına) eşit olur. Buna karşılık, iç kuvvetlerin diğer kesitlere aktarılması sonucunda, bu kesitlerin bazılarında akma koşulunun aşıldığı gözlenebilir. Böyle bir durumun meydana gelmesi halinde, bu kesitler için de yeniden dağılım uygulanır. Yapılan sayısal uygulamalar, genellikle yeniden dağılımın bir veya iki adım uygulanması ile sonuca ulaşılabildiğini göstermektedir.

Aşağıdaki bölümlerde, sırasıyla kirişlerin ve kolonların uçlarındaki fark momentlerin sistem üzerindeki yeniden dağılımı açıklanacaktır.

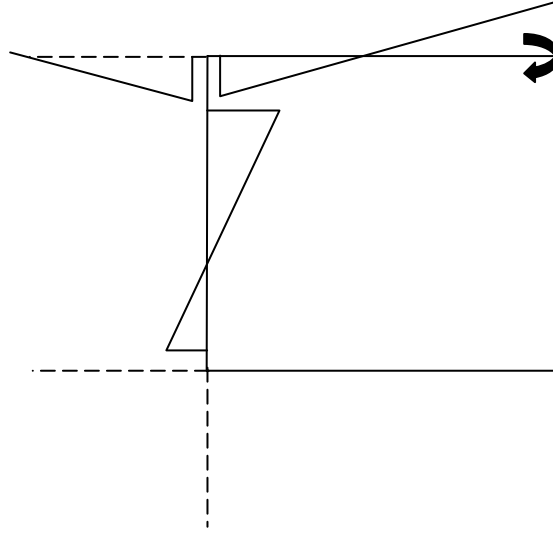
3.5.1.1 Kiriş Uç Momentlerinin Yeniden Dağılımı

Bir kiriş ucundaki fark momentin sistem üzerinde dağılımı iki aşamadan oluşmaktadır, Şekil 3.2.

- a) Kiriş uç momentinin diğer uca aktarılması. Bunun için geçiş katsayılarından yararlanılır. Bilindiği gibi, doğru eksenli prizmatik çubuklarda geçiş katsayıları, çubuğun diğer ucundaki sınır koşullarına bağlı olarak $\mu = 0 - 0.50$ arasında değişmektedir. Bu katsayının seçimindeki yaklaşıklık sistemin geometrik süreklilik koşullarını etkilemektedir.
- b) Diğer uca aktarılan eğilme momentinin düğüm noktasında birleşen çubuklara dağılımı. Bu amaçla düğüm noktasındaki çubukların dağıtma sayılarından yararlanılır. Bir düğüm noktasında birleşen çubukların dağıtma sayıları

$$r_{ij} = \frac{m_{i\alpha}^{ij}}{\sum m_{i\alpha}} \quad (\sum r_{ij} = 1) \quad (3.6)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada $m_{i\theta}^{ij}$, (ij) çubuğunun birim yer değiştirme sabitini göstermektedir.



Şekil 3.2 Kirişte Yeniden Dağılım

3.5.1.2 Kolon Uç Momentlerinin Yeniden Dağılımı

Bir kolonun ucundaki fark momentin sistem üzerinde dağılımı üç aşamadan oluşmaktadır, Şekil 3.3.

- a) Kolon uç momentinin kattaki diğer kolonlara ve mafsallı bulunmaması halinde söz konusu kolonun diğer ucuna aktarılması. Bunun için, dağıtıma esas olan fark momentin kat yüksekliğine oranı ile elde edilen fark kat kesme kuvveti, diğer kat kolonlarına ve söz konusu kolonun diğer ucuna yatay rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtılır. Kat kolonlarının yatay rijitliklerinin hesabı için iki yaklaşım uygulanabilir.
 - i) Kat kolonunun yatay rijitliği $t_{i\delta}$ birim yer değiştirme sabitine eşit olarak alınır. Bu yaklaşım kat kolonlarının uçlarının, sınır koşullarına bağlı olarak, ankastre veya mafsallı olarak alınmasına karşı gelir.
 - ii) Kolonların üst ve alt uçlarındaki kat kirişlerinin eğilme rijitliklerinin etkisini belirli ölçüde hesaba katmak üzere,

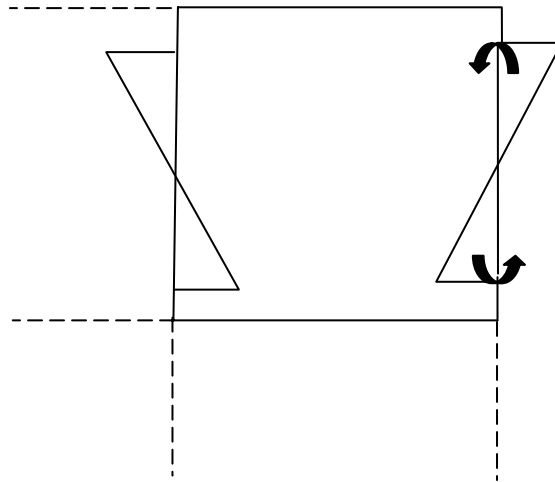
Muto Yöntemi veya benzeri bir yöntem kullanılarak kat içindeki kesme kuvveti dağıtılabilir. Muto yöntemine ilişkin ayrıntılı bilgi Ek A'da verilmiştir.

- b) Kat kolonlarının kesme kuvvetlerinden oluşan kolon uç momentlerinin hesabı. Bunun için, kolon moment sıfır noktalarından yararlanılır. Kolonların moment sıfır noktalarının kolon alt ucundan uzaklığı, ayrıca bir hesap yapılmadığı sürece

- i) en alt kat kolonlarında $y_{alt} = 0.60 \times h$ (h : kat yüksekliği)
- ii) ara kat kolonlarında $y_{alt} = 0.50 \times h$
- iii) en üst kat kolonlarında $y_{alt} = 0.45 \times h$

olarak alınabilir. Ayrıca, kolon moment sıfır noktalarının bulunması amacıyla, Muto yöntemi için hazırlanmış mevcut tablolardan da yararlanılabilir.

- c) Kat kolonlarının uçlarındaki eğilme momentlerinin düğüm noktalarında birleşen çubuklara dağılımı. Bu işlem, kiriş uçlarındaki momentlerin yeniden dağılımı ile paralel olarak gerçekleştirilir.



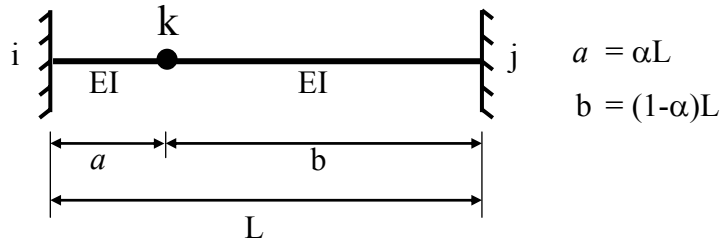
Şekil 3.3 Kolonda Yeniden Dağılım

3.5.2 Yeniden Dağılımda Özel Durumlar

Geliştirilen yaklaşımın uygulanması sırasında karşılaşılabilecek bazı özel durumlar aşağıda açıklanmaktadır.

3.5.2.1 Yatay Elemanlar (Kirişler) Üzerinde Herhangi Bir Kesitte Plastik Mafsal Oluşması Durumu

- a) İki ucu ankastre olan ve üzerinde bir mafsal bulunan çubukta birim yer değiştirme sabitleri, Şekil 3.4.



Şekil 3.4 Üzerinde Mafsal Bulunan İki Ucu Ankastre Mesnetli Çubuk

$$m_{i\theta}^{ij} = \frac{3a^2 EI}{a^3 + b^3} = \frac{3\alpha^2 EI}{(\alpha^3 + (1-\alpha)^3)L} \quad (3.7)$$

$$m_{j\theta}^{ij} = \frac{3b^2 EI}{a^3 + b^3} = \frac{3(1-\alpha)^2 EI}{(\alpha^3 + (1-\alpha)^3)L} \quad (3.8)$$

$$m_{i\theta}^{ij} = m_{j\theta}^{ij} = -\frac{3abEI}{a^3 + b^3} = -\frac{3\alpha(1-\alpha)EI}{(\alpha^3 + (1-\alpha)^3)L} \quad (3.9)$$

şeklinde elde edilirler. Bu birim yer değiştirme sabitleri arasında, sistemin geometrisinden kaynaklanan

$$M_i = -\frac{a}{b} M_j \quad (3.10)$$

$$m_{i\theta}^{ij} = -\frac{a}{b} m_{j\theta}^{ij} \quad (3.11)$$

$$m_{j\theta}^{ij} = -\frac{b}{a} m_{i\theta}^{ij} \quad (3.12)$$

bağıntıları bulunmaktadır.

(*ij*) çubuğunun (*i*) ve (*j*) uçlarının birim dönmelerinden dolayı, plastik mafsala bulunduğu (*k*) kesitinin düşey yer değiştirmeleri

$$\delta_{k\theta}^{ij} = -\frac{a}{1 + \frac{a^3}{b^3}} \quad (3.13)$$

$$\delta_{k\theta}^{ij} = -\frac{b}{1 + \frac{b^3}{a^3}} \quad (3.14)$$

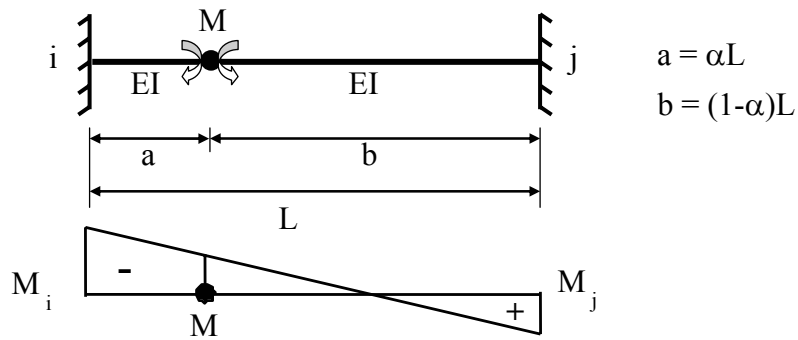
bağıntıları ile hesaplanır. Burada,

$\delta_{k\theta}^{ij}$: (*ij*) çubuğunun (*i*) ucunun birim dönmesinden dolayı (*k*) kesitinde meydana gelen düşey yer değiştirme

$\delta_{k\theta}^{ij}$: (*ij*) çubuğunun (*j*) ucunun birim dönmesinden dolayı (*k*) kesitinde meydana gelen düşey yer değiştirme

olarak tanımlanmaktadır.

b) İki ucu ankastre çubuk üzerinde bulunan mafsala etkiyen moment çiftinin çubuk uçlarına dağıtılması için (3.15) ve (3.16) bağıntılarından yararlanılabilir, Şekil (3.5).



Şekil 3.5 Mafsala Etkiyen Moment Çiftinin Çubuk Uçlarına Dağıtılması

$$M_i = -\frac{2b^3 - a^3 + 3ab^2}{2(a^3 + b^3)}M = -\frac{2-3\alpha}{2-6\alpha(1-\alpha)}M \quad (3.15)$$

$$M_j = \frac{b^3 - 2a^3 + 3a^2b}{2(a^3 + b^3)}M = \frac{1-3\alpha}{2-6\alpha(1-\alpha)}M \quad (3.16)$$

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşımın uygulanmasında, Şekil 3.4'de görüldüğü gibi bir ara mafsal içeren kirişin bir ucundan diğer ucuna moment aktarımı, çubuk geometrisi nedeniyle, a ve b uzaklıklarının oranı kullanılarak yapılır.

(*ij*) çubuğunun üzerinde ikinci bir plastik mafsal olması durumunda ise, diğer mafsalın bulunduğu yöne moment aktarımı söz konusu olmamaktadır.

Üzerinde bir plastik mafsal bulunan kirişler için yukarıda verilen bağıntılar normal kuvvetin küçük olması halinde geçerlidir. Aksi durumda, ikinci mertebe etkilerinin de göz önüne alınması gerekmektedir.

3.5.2.2 Düğüm Noktası Mekanizması

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşımda, düğüm noktası mekanizmasının oluşmadığı varsayılmaktadır. Ancak, yapısal hatalar nedeniyle veya düğüm noktasına bağlanan çubuk elemanların eğilme momenti taşıma kapasitelerinin toplamının özel olarak sıfır olması durumunda düğüm noktası mekanizmaları meydana gelebilir.

Geliştirilen yaklaşımın uygulanmasında, yeniden dağılım öncesinde, akma koşulunun aşıldığı plastik kesitleri (plastik mafsalları) belirlerken herhangi bir düğüm noktasında birleşen n adet çubuğun tamamında M_p eğilme momenti kapasitesinin aşıldığı görülebilir. Bu durumda aşağıda verilen yol izlenir.

- a. Söz konusu düğüm noktasına birleşen çubukların her biri için hesaplanan, eğilme momenti kapasitelerinin aşılma miktarları, yüksüz sistemde yatay deprem kuvvetleri için yapılan doğrusal elastik hesap sonucunda ilgili kesitlerde bulunan eğilme momenti değerlerine oranlanarak aşılma olasılıkları belirlenir. Basit sistemlerde bu olasılık ile plastik mafsalların oluşum sırası belirlenebilmektedir. Bu olasılıklar dikkate alınarak, söz

konusu (n) adet kesitten en düşük aşılma olasılığına sahip olan kesitte plastik mafsall oluşmadığı varsayılır.

- b. ($n-1$) adet plastik mafsallın kapasite momentleri (M_p) dikkate alınarak, plastik mafsallın oluşmayacağı varsayılan kesitin eğilme momenti belirlenir ve bu kesite ait kapasite değeri ile karşılaştırılır. Denge denklemiyle hesaplanan eğilme momenti kapasiteden daha küçükse, yapılan öngörü doğrudur ve bu şekilde hesaba devam edilir. Bulunan eğilme momenti kapasiteye eşit ise, düğüm noktası mekanizması oluşması olasıdır. Eğer kapasite aşılyorsa, söz konusu kesitte plastik mafsall oluşacağından, başka bir kesit esas alınarak hesap tekrarlanır.
- c. Benzer işlemler, denge denkleminde elde edilen momentin, bulunduğu kesitin kapasitesinin altında kaldığı bir durum elde edilinceye kadar tekrarlanır.

3.5.2.3 Kat Kolonları Arasındaki Yeniden Dağılımda Bir Ucu Plastik Mafsallı Çubuk Bulunması Durumu

Bir kattaki kat kolonları arasında yeniden dağılım yapılırken üzerinde yeniden dağılıma neden olan plastik mafsallın bulunduğu kolonların sadece bir ucunda plastik mafsall oluşmuş olabilir. Buna ek olarak, yeniden dağılımın önceki aşamalarında sadece bir uç kesitinde plastik mafsall oluşmuş kolonlar da mevcut olabilir. Bu durumda, yeniden dağılıma esas oluşturan eğilme momenti kat kesme kuvvetine dönüştürölerek kat kolonlarına dağıtılırken, bir ucunda plastik mafsall bulunan düşey elemanlara aktarılabak iç kuvvetlerin oranının, çubuğun iki ucunun ankastre olması halinde moment sıfır noktasını veren katsayılarla çarpılarak azaltılması önerilmektedir. Düşey elemanların moment sıfır noktalarına ait katsayılar Ek A 'da verilmiştir.

3.5.3 Görelî Kat Ötelemelerinin Ve Plastik Mafsal Dönmelerinin Yaklaşık Olarak Hesabı

3.5.3.1 Görelî Kat Ötelemelerinin Hesabı

Doğrusal olmayan şekil değıştirmeler nedeniyle yapı taşıyıcı sisteminde oluşan ek görelî kat ötelemelerinin yaklaşık olarak hesabı için (3.17) yaklaşık bağıntısından yararlanılabilir.

$$\delta_{pi} = \frac{V_i h_i^2}{12E} \left(\frac{1}{K_{bA}} + \frac{1}{K_{bU}} + \frac{1}{K_{ci}} \right) \quad (3.17)$$

Bu bağıntıdaki büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır.

δ_{pi} : (i) sayılı katın doğrusal olmayan şekil değıştirmelerden oluşan ek ötelemesi.

Bu değer, verilen dış yüklerden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan kat ötelemesine eklenerek toplam kat ötelemesi bulunmaktadır.

V_i : yeniden dağılımda kat kolonlarına uygulanan kat kesme kuvveti

h_i : kat yüksekliğı

E : elastisite modülü

K_{bA}, K_{bU} : sırasıyla alt kat ve üst kat kirişlerinin (3.18) bağıntısı ile hesaplanan atalet momenti/uzunluk oranlarının toplamı. Bu bağıntıdaki k katsayısı için

- i) antimetrik şekil değıştiren kirişlerde $k = 1.50$
- ii) bir ucu mafsallı olan veya bir ucunda plastik mafsal bulunan kirişlerde $k = 0.75$
- iii) diğer kirişlerde $k = 1.00$

değerlerinin kullanılması önerilmektedir.

Bir kat döşemesindeki kirişlere (3.18) bağıntısı uygulanırken, kirişlerin şekil değiştirmelerinin alt ve üst katları etkilediği göz önünde tutularak, K_b rijitlik değeri alt ve üst katlara, kat kolonlarının rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtılmalıdır.

$$K_b = \sum k \frac{I_b}{l_b} \quad (3.18)$$

K_{ci} : kat kolonlarının (3.19) bağıntısı ile hesaplanan atalet momenti/yükseklik oranlarının toplamı.

$$K_{ci} = \sum \frac{I_c}{h_i} \quad (3.19)$$

3.5.3.2 Plastik Mafsal Dönmelerinin Hesabı

Eğilme momentlerinin yeniden dağılımı sırasında oluşan plastik mafsal dönmelerinin hesabı plastik mafsalın konumuna göre bazı farklılıklar gösterebilir. Örneğin, bir çubuğun düğüm noktasında birleşen ucunda oluşan plastik mafsalın dönmesi, üzerinde olduğu elemanın katkısının yanında bu düğüm noktasında birleşen diğer kiriş ve kolonların katkılarının toplamı ile hesaplanır. Eğer söz konusu plastik mafsal elemanın üzerindeki her hangi bir noktada oluşmuş ise, plastik mafsalın dönmesi sadece üzerinde bulunduğu elemanın katkısı ile bulunur.

Bir kirişin (i) ucuna etkitilen fark momentten dolayı, kirişin bu ucunda meydana gelen plastik mafsal dönmesi

$$\Delta\theta^{ij} = \frac{M_{ij}}{m_{i\theta}^{ij}} \quad (3.20)$$

yaklaşık formülü ile hesaplanabilir. Burada, M_{ij} kiriş ucuna etkitilen fark eğilme momentini, $m_{i\theta}^{ij}$ ise kirişin birim yer değiştirme sabitini göstermektedir.

Benzer şekilde, bir kolonun (i) ucuna etkitilen M_{ij} fark momentinden oluşan plastik mafsal dönmesi, kolonun yanal yer değiştirmesinin etkisini de hesaba katmak üzere

$$\Delta\theta^{ij} = \frac{M_{ij} - m_{i\delta}^{ij} \delta_{pi}}{m_{i\theta}^{ij}} \quad (3.21)$$

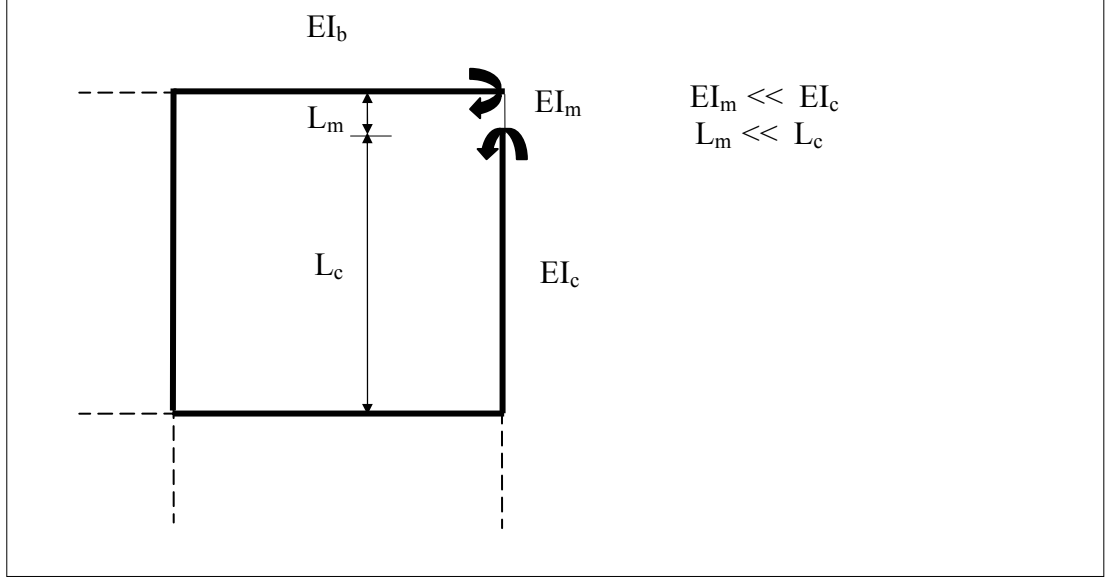
şeklinde bulunur. Bu denklemde, $m_{i\theta}^{ij}$ ve $m_{i\delta}^{ij}$ kolonun birim yer değiştirme sabitlerini, δ_{pi} ise önceki paragrafta açıklandığı şekilde hesaplanan ek görelî kat ötelemesini göstermektedir.

3.5.4 Yeniden Dağılımın Bilgisayar Programları İle Yapılması

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin bu çalışmada önerilen yeniden dağılım yaklaşımı ile hesabı için, sadece doğrusal statik çözümleme yapabilen bilgisayar yazılımlarından da yararlanılabilir. Ancak uygulamada kullanılan bilgisayar yazılımlarında, genel olarak, herhangi bir çubuk üzerinde bulunan bir mafsallın her iki yüzüne bir moment çifti etkililerek hesap yapılmasında güçlülkle karşılaşılmaktadır.

Aşağıda, taşıyıcı sistemin modellemesinde yapılan bazı değişikliklerle, yeniden dağılım işleminin bilgisayar programları aracılığı ile gerçekleştirilmesine yönelik bazı öneriler açıklanmıştır.

Bu yaklaşımda, sistemin herhangi bir kesitinde oluşan bir plastik mafsallın yerine, onunla aynı davranışı gösterecek bir *mafsal elemanı* tanımlanması öngörülmektedir. Mafsall elemanının L_m boyunun ve EI_m eğilme rijitliğinin, mafsallın üzerinde bulunduğı çubuğun boyuna ve eğilme rijitliğine oranla çok küçük olması, ayrıca mafsall elemanının EI_m / L_m oranının da sıfıra yakın olması istenir. Böylece, elemanın mafsall özellikleri göstermesi ve ayrıca her iki ucuna tekil dış moment uygulanabilmesi sağlanabilmektedir, Şekil 3.6.



Şekil 3.6. Mafsal Elemanı

Esasları yukarıda açıklanan modellemelerden yararlanarak, malzeme bakımından doğrusal kurama göre hesap yapabilen bir bilgisayar programı yardımıyla, yeniden dağılım işlemlerini kesin sonuç verecek bir biçimde gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir.

3.6 Hesapta İzlenen Yol

Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılması öngörülen ve esasları yukarıda açıklanan yaklaşım, Bölüm 4 kapsamında verilen işlemler dizisinin, taşıyıcı sistem hesap modelinin oluşturulması ile yapının deprem güvenliğinin sağlanması safhaları arasındaki taşıyıcı sistem hesabı aşamasında kullanılmaktadır. Geliştirilen yaklaşım, kapasite ve yeniden dağılım ilkelerini doğrusal statik hesap ile bir araya getirerek, doğrusal olmayan statik hesap sonuçlarını yeterli yaklaşıklıkla elde etmeyi amaçlamaktadır.

Önerilen yaklaşımın uygulanmasında izlenen yol şu adımlardan oluşmaktadır.

1. Mevcut yapı üzerinde gerçekleştirilen gözlem ve inceleme sonuçları yardımı ile elde edilen bilgilerden yararlanarak taşıyıcı sistem hesap modeli oluşturulur ve yapıya etkiyen işletme yükleri belirlenir. Sistem özelliklerinin ve yüklerin

belirlenmesi için ilgili standart ve yönetmelikler (TS500, TS648, TS498, ABYYHY vb.) göz önünde bulundurulur.

2. Önemli burulma düzensizlikleri içermeyen uzay çerçeve sistemlerin eşdeğer düzlem çerçevelere dönüştürülerek bu yöntemle hesabı için, yatay yüklerin etkidiği doğrultudaki çerçeveler aynı düzlemde arka arkaya sıralanır. Döşemelerin kendi düzlemleri içindeki diyafram rijitliği göz önüne alınarak bu çerçeveler, kat seviyelerinde, iki ucu mafsallı olan ve uzama şekil değiştirmeleri terk edilebilen çubuk elemanlarla birbirine bağlanır. Bu işlem her iki doğrultu için ayrı ayrı yapılır.

3. Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin dayanım bazlı olarak değerlendirilmesi istendiğinde, yapı sistemi düşey yüklerin ve yatay deprem kuvvetlerinin

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 E$$

veya daha elverişsiz sonuç vermesi durumunda,

$$0.9 G \pm 1.0 E$$

birleşimleri altında ayrı ayrı tahkik edilir. Burada, G yapı yüklerini, Q hareketli yükleri, E ise eşdeğer deprem kuvvetlerini göstermektedir. Bu yük katsayıları göz önüne alınarak taşıyıcı sistem hesap modelinin doğrusal statik hesabı yapılır. Bu hesap sonucunda, sistem elemanlarına ait iç kuvvetler (M,N,T) elde edilir.

Yapı sisteminin deprem güvenliğinin yer değiştirme bazlı olarak değerlendirilmesi halinde ise, sisteminin kapasite diyagramının elde edilebilmesi için, yatay yük parametresinin artan değerleri için aşağıdaki maddelerde verilen işlemlerin tekrarlanarak uygulanması gerekmektedir.

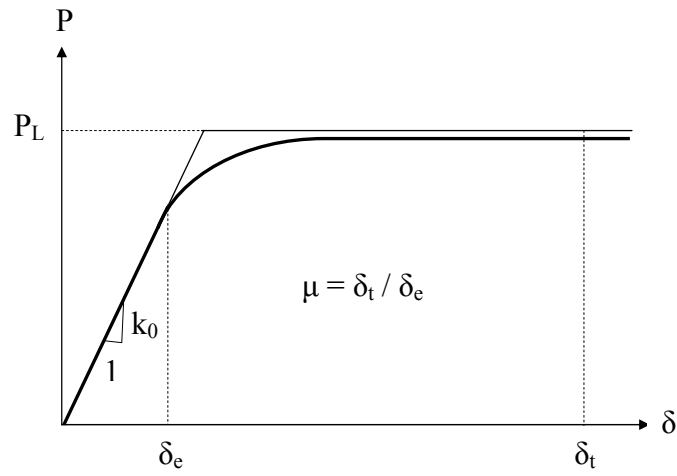
4. Malzeme ve kesit özellikleri ile bir önceki adımda elde edilen normal kuvvetler esas alınarak, taşıyıcı sistem elemanları üzerindeki, plastik mafsallı oluşma potansiyeli olan kesitler için M_p eğilme momenti taşıma kapasiteleri (indirgenmiş plastik momentler) hesaplanır.

5. Bu adımda, hesaba devam edilip edilmeyeceğine yönelik olarak, bir ön değerlendirme yapılır. Her kat seviyesi için ayrı ayrı olmak üzere, üçüncü adımda hesaplanan kolon kesme kuvvetleri toplanarak kat kesme kuvvetleri elde edilir. Ayrıca, adım 4 'te hesaplanan, kolon alt ve üst uçlarına ait M_p plastik momentlerinden yararlanarak kat kesme kuvveti taşıma kapasiteleri elde edilir. Dış yükler etkisinde oluşan kat kesme kuvvetleri, kat kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile karşılaştırılır. Eğer herhangi bir katta kesme kuvveti taşıma kapasitesi aşılyorsa, kat mekanizması oluştuğu ve bu nedenle yapının yeterli güvenliğe sahip olmadığı anlaşılır ve hesaba son verilir. İstenirse, yapının güçlendirilmesi kararına ışık tutmak amacı ile, hesaba devam edilerek göçme mekanizması hakkında daha ayrıntılı bilgi elde edilir.
6. Adım 3 'te elde edilen ve dış yüklerle dengede olan iç kuvvet durumu için, kolon ve kiriş kesitlerinde akma koşulunun aşılyp aşılmadığı kontrol edilir. Diğer bir deyişle, plastik mafsall oluşma potansiyeli olan tüm kesitler için $M \leq M_p$ kontrolü yapılır. Akma koşulunun aşıldığı kesitlerde, yeniden dağılım aşamasında dengelenmek üzere, $M - M_p$ fark momentleri belirlenir.
7. Yeniden dağılım ilkesi uyarınca, akma koşulunun aşıldığı kesitlerdeki fark eğilme momentleri komşu kesitlere dağıtılır. Bu işlem, Bölüm 3.5.1 veya Bölüm 3.5.4 'te açıklandığı şekilde yapılır. Yeniden dağılım işleminin tamamlanmasından sonra, akma koşulunun aşıldığı kesitlerde akma sınırına geri dönüldüğü görülür. Akma koşulunun aşıldığı kesitlerdeki fark eğilme momentlerinin komşu kesitlere dağıtılması sonucunda, bu kesitlerin bazılarında akma koşulları aşılabılır. Yeniden dağılım sonucunda akma koşulunun aşıldığı kesitler için, benzer şekilde, yeniden dağılım işlemi uygulanır. Bu işlemlere taşıyıcı sistemin bütün kesitlerinde $M \leq M_p$ koşulunun sağlayan ve dış kuvvetlerle dengede olan bir iç kuvvet durumu bulununcaya kadar devam edilir. Yeniden dağılımın her hangi bir aşamasında, bölgesel veya tümsel mekanizma durumu oluşursa, yapının yeterli deprem güvenliğine sahip olmadığına karar verilir ve hesap sonuçlandırılır.
8. Önerilen yöntemin yaklaşıklık düzeyini etkileyen faktörlerden biri de, özellikle kolonlar gibi normal kuvvetin etkin olduğu taşıyıcı elemanların eğilme momenti taşıma kapasitesinin eleman normal kuvvetine bağlı olarak değişimidir.

Elemanların eğilme momenti kapasiteleri, başlangıçta $1.0G+1.0Q\pm1.0E$ veya $0.9G\pm1.0E$ yükleme durumlarından elde edilen normal kuvvetler için elemanın karşılıklı etki diyagramından alınır. Ancak, hesabın ilerleyen adımlarında eleman normal kuvvetlerinin değişmesi ve bu değişimin eğilme momenti kapasitelerini de etkilemesi halinde, normal kuvvetleri değişen elemanlar için eğilme momenti taşıma kapasiteleri yeniden hesaplanır. Değiştirilen eğilme momenti kapasiteleri dikkate alınarak işlemler tekrarlanır.

9. Bazı kesitlerinde plastik mafsallar oluşmasına karşın, dış yükler altında dengede olan (herhangi bir mekanizma durumunun söz konusu olmadığı) bir durum elde edildikten sonra taşıyıcı sistemin yer değiştirmelerinin ve plastik mafsal dönmelerinin hesabına geçilir. Göreli kat yer değiştirmelerinin ve plastik mafsal dönmelerinin elde edilmesine ilişkin ayrıntılı bilgi Bölüm 3.5.3 'te verilmiştir.
10. İstenirse, yapının yatay yer değiştirmeleri ve plastik mafsal dönmeleri FEMA 273 ve FEMA 356 isimli kaynaklarda çeşitli performans seviyeleri için ayrı ayrı verilmiş olan sınır değerler ile kontrol edilir. Yapıya ait şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin hangi performans seviyesine karşı geldiği belirlenerek yapının performans düzeyi hakkında bir fikir elde edilebilir. Değerlendirme 1998 ABYYHY çerçevesinde yapılacaksa, bu yönetmelikte esas alınan depremin, ATC 40'ta Tasarım Depremine (DE), FEMA 273 ve 356'da ise Temel Güvenlik Depremi-1 (BSE-1)'e karşı geldiği de göz önünde tutulmalıdır.
11. Yapının tepe noktasının toplam yatay yer değiştirmesinin (δ_t), doğrusal-elastik yer değiştirmeye (δ_e) oranı olarak tanımlanan yapı süneklik oranı (μ) hesaplanarak, 1998 ABYYHY 'ye göre yapının tasarım hesaplarında öngörülen **R** katsayısının uygunluğu irdelenir, Şekil 3.7. Geliştirilen yaklaşım eğer henüz tasarım aşamasındaki bir yapıya uygulanıyorsa, **R** katsayısı değiştirilebileceği gibi, yapının sünekliğini arttırıcı önlemler de alınabilir. Yaklaşım mevcut yapılar için kullanılıyorsa, gereğinde **R** katsayısı uygun şekilde değiştirilerek yapıya etkiyen deprem yükleri yeniden belirlenir ve hesaplar tekrarlanır. Bu yaklaşımın belirli bir yapıya uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapının güçlendirilmesine karar verilebilir. Güçlendirme sonunda elde edilen sisteme bu

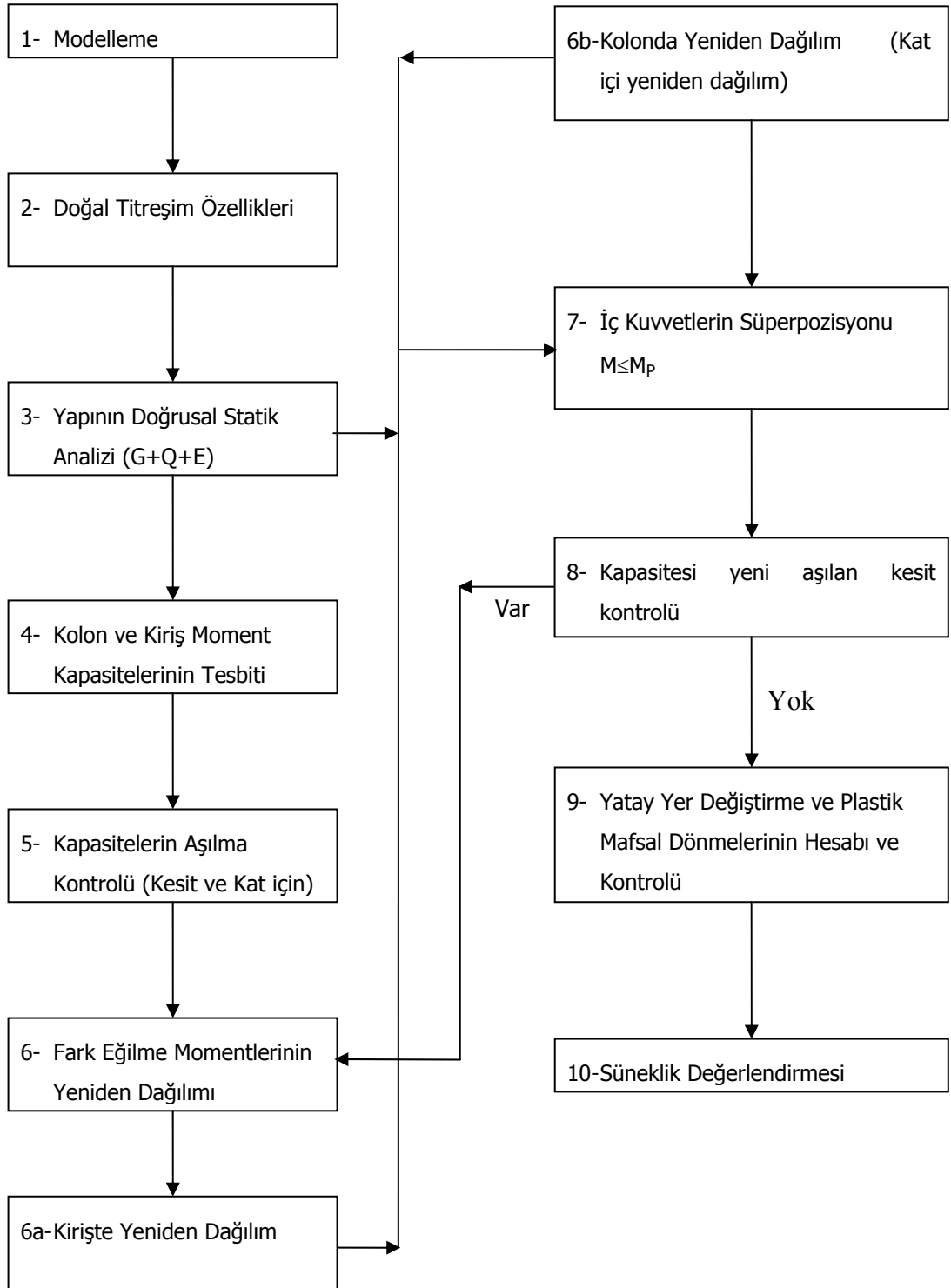
yaklaşım yeniden uygulanarak yapının performansında meydana gelen artış gözlenir.



Şekil 3.7. Yapı Sisteminin Süneklik Oranının Belirlenmesi

12. Geliştirilen yaklaşımın özellikle narin yapılara uygulanmasında, ikinci mertebe etkilerinin de göz önüne alınması istenirse, düşey taşıyıcı elemanlardaki eksenel kuvvetlere bağlı olarak hesaplanan ikinci mertebe birim yer değiştirme ve yükleme sabitleri esas alınarak benzer hesaplar tekrarlanır.

Hesapta izlenen yolun adımları Şekil 3.8 üzerinde şematik olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.8 Hesapta İzlenen Yol

4. MEVCUT BETONARME YAPILARIN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE REHABİLİTASYONU

Ülkemizde meydana gelen depremlerin büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları, bu büyük kayıpların kırsal alanlarda olduğu kadar yoğun yerleşim alanlarında ve endüstri bölgelerinde de meydana gelmiş olması dikkat çekicidir. Bu durum deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların önemli bir bölümünün yönetmeliklerin öngördüğü yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir.

Yakın geçmişte ülkemizde meydana gelen depremlerin sonrasında yapılan yoğun incelemeler ve araştırmalar, depremde hasar gören yapıların deprem güvenliklerindeki yetersizliklerin,

1. bilimsel esaslara ve yönetmeliklere uygun olmayan hatalı tasarımdan,
2. malzeme ve özellikle beton kalitesindeki yetersizlikten,
3. projeye, yönetmeliklere ve temel mühendislik prensiplerine uygun olmayan kusurlu inşaat uygulamalarından,
4. kullanım amacı değişikliğinden,
5. taşıyıcı sistemi etkileyecek biçimde yapılan çeşitli yapı içi düzenlemelerinden,
6. yapı zemini veya çevre koşullarının etkilerinden (yeraltı su seviyesinin değişmesi, korozyon vb.),
7. komşu yapıların etkisinden,
8. bilinçsizce yapılan onarım ve güçlendirme çalışmalarından

kaynaklandığını göstermektedir.

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, olası yeni depremlerde de benzeri olumsuz sonuçların meydana gelmemesi için yapı mühendisliği açısından çeşitli önlemlerin alınması kaçınılmaz olmaktadır. Bu önlemler iki grupta toplanabilir :

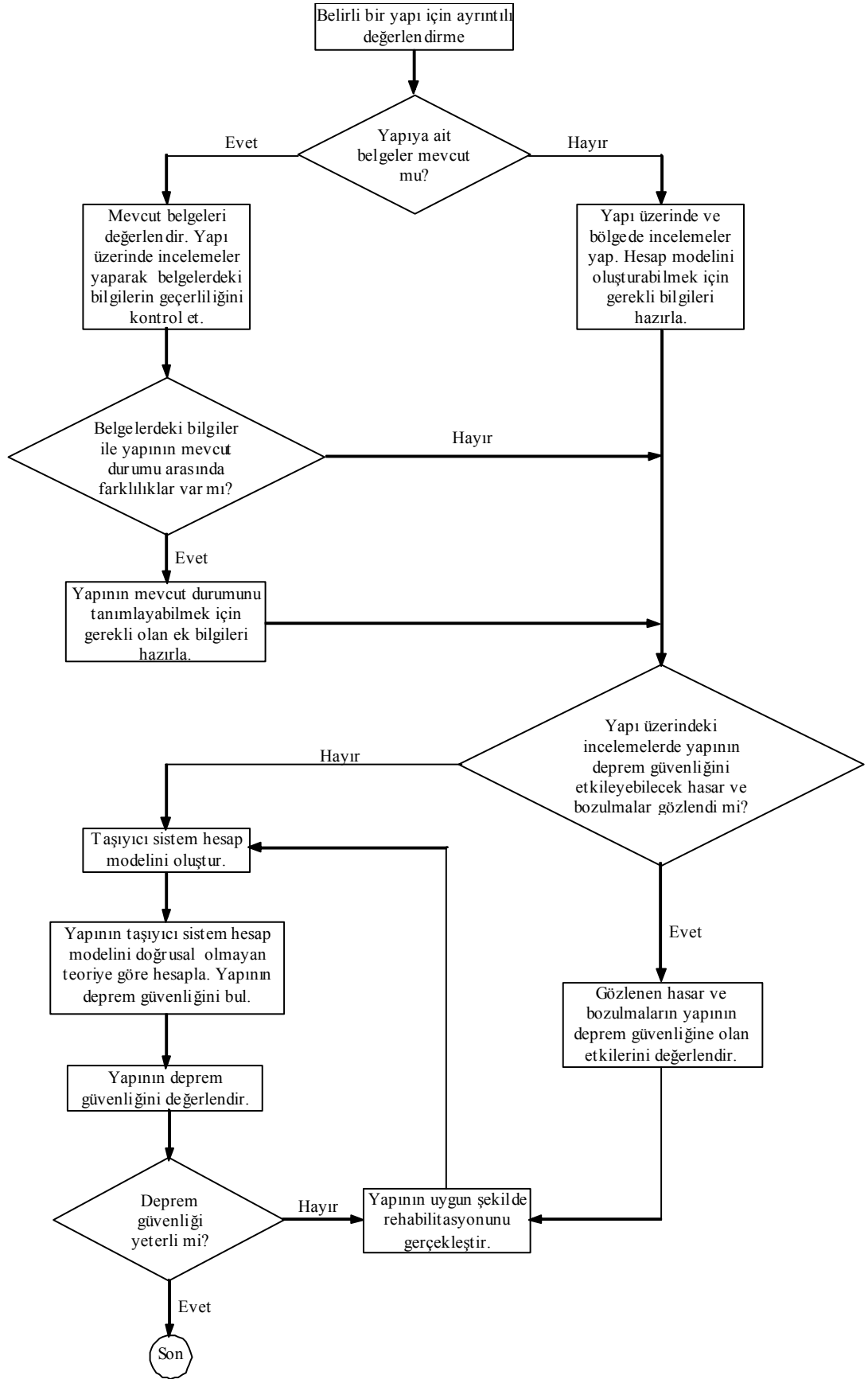
- a) yeni inşa edilecek olan yapıların tasarım ve yapım aşamalarında gerekli özeni göstererek yapıların bilimsel esaslara, mühendislik prensiplerine ve yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmelerinin sağlanması,
- b) özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerden ve bu bölgelerdeki yoğun yerleşim alanlarından başlayarak, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli güvenliğe sahip olmayan yapıların duruma göre güçlendirilmesi veya yıkılarak yeniden inşası.

İkinci grupta yeralan deprem güvenliği belirleme ve güçlendirme işlemlerinin adımları ve kapsamı aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

4.1 Mevcut Yapı Üzerindeki İncelemeler ve Hasar Tesbit Çalışmaları

İnceleme ve hasar tespit çalışmalarının amacı, incelenen yapının mevcut durumunun tespiti ve elde edilen verilere dayanarak yapılacak hesaplar ışığında yapıya ilişkin önerilerin belirlenmesidir. Bu öneriler, yapının mevcut durumunun korunmasından, onarım ve güçlendirmeye tabi tutulmasına veya yapının yıkılarak yeniden inşasına kadar geniş bir durum yelpazesi içinde yer alır. Mevcut betonarme yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılması gereken çalışmaların bütünü Şekil 4.1 'de bir akış diyagramı olarak verilmiştir. Bu çalışmaları oluşturan ana adımlar aşağıda sıralanmıştır, [12-14].

1. Yapıya ait belgelerin sağlanması ve değerlendirilmesi.
2. Mevcut yapı üzerinde incelemeler yapılması.
3. Taşıyıcı sistem hesap modelinin oluşturulması.



Şekil 4.1 Akış Diyagramı

4. Hesap modelinin doğrusal olmayan kurama göre kesin veya yaklaşık yöntemlerle hesabı.
5. Yapının deprem güvenliğinin değerlendirilmesi ve çözüm önerileri.

4.1.1 Yapıya Ait Belgelerin Sağlanması ve Değerlendirilmesi

Bu ilk aşamada, özellikle mühendislik bilgilerini içeren, yapıya ait tüm belgeler toplanır ve değerlendirilir. Söz konusu belgeler, yapının mimari projesinin hazırlanmasından değerlendirme aşamasına kadar geçen süreci kapsayan yazılı bir tarihçe niteliğindedir. Bu belgelerin başlıcaları şunlardır.

- a) Yapıya ait mimari projeler, tesisat projeleri ve statik projeler : Yapının taşıyıcı sisteminin değerlendirilmesinde, statik projelere temel olan statik ve betonarme (ve/veya çelik konstrüksiyon) hesaplarının özel bir önemi vardır. Çünkü bu hesaplardan yararlanarak, yapı sisteminin boyutlandırılmasında esas alınan yükler, deprem kuvvetleri ve diğer dış etkiler, deprem yükü azaltma katsayısının değeri, yapı taşıyıcı sisteminin modellenmesi, tasarımda yapılan varsayımlar ve idealleştirmeler, uygulanan hesap yöntemleri hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.
- b) Tasarımda esas alınan ilgili standart ve yönetmelikler.
- c) İnşaat bölgesine ait geoteknik rapor ve varsa jeofizik etüd raporu. Bu raporlar, inşaat alanının zemin özellikleri (zemin emniyet gerilmesi), sıvılaşma riski, yeraltı su seviyesi durumu, şev eğimi, bölgenin sismik karakteristikleri (deprem bölgesi) gibi bilgileri içerir. Ayrıca, varsa yakın çevredeki komşu yapıların zemin raporları da yapı zemini hakkında bir fikir edinmeye yardımcı olabilir. Etkin yer ivmesi katsayısının değerlendirilmesi açısından, yapının fay hattına yakınlık derecesi de bu raporda yer alabilir.
- d) Yapım sırasında gerçekleştirilen malzeme deneylerine ait raporlar. Projede öngörülen malzeme karakteristiklerinin yapım sırasında hangi ölçüde gerçekleştirilebildiğini gösteren bu rapordaki bilgilerden başlıcaları, beton

çeliği test sonuçları ile beton dökümü sırasında alınan numuneler üzerinde yapılan beton deneylerine ait sonuçlardır.

- e) Yapının inşası sırasında tutulan ve proje ile uygulama arasındaki farklılıkları belirten kayıtlar. Bazı durumlarda projenin aynen uygulanması mümkün olmayabilir veya ortaya çıkan çeşitli gereksinimler nedeniyle projenin uygulanmasında değişiklikler yapılmasına karar verilebilir. Bu değişiklikleri belgeleyen kayıtlar yapının mevcut durumunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır.
- f) Yapının kullanımı sırasında taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda yapılan değişikliklere ilişkin kayıtlar. Yapının projesine uygun olarak inşa edilmesi halinde dahi, kullanım sırasında bazı değişiklikler yapılmış ve/veya çeşitli nedenlerle oluşan hasar ve bozulmaların giderilmesi amacıyla onarım ve/veya güçlendirme işlemleri uygulanmış olabilir. Yapının taşıyıcı sistemini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen bu değişikliklerinde bilinmesi, taşıyıcı sistem hesap modelinin gerçek yapı davranışına uygun olarak oluşturulması bakımından önemlidir.

Yapıya ait belgeler şu kaynaklardan sağlanabilir :

- a) yapının sahiplerinden,
- b) yapının projelerini hazırlayan mimar ve mühendislerden,
- c) ilgili mühendis ve mimar odalarından,
- d) imar planını yapan ve gerekli izinleri veren belediyeden.

Kamu ve toplu konut binalarında, yapıya ait belgelerin tümünün veya büyük bir kısmının kolaylıkla sağlanabilmesine karşılık, bir çok durumda bu belgelerin elde edilmesinde önemli güçlüklerle karşılaşmaktadır.

Yukarıda sıralanan belgeler değerlendirilerek, yapının doğrusal olmayan kurama göre hesabında kullanılacak olan taşıyıcı sistem hesap modelini oluşturmaya veri teşkil edecek olan taşıyıcı sistem geometrisi, enkesit ve malzeme karakteristikleri, yatay ve düşey işletme yükleri belirlenir. Ancak hesap modelinin kesinleşebilmesi

için, belgelerdeki bilgilerin mevcut yapı üzerinde yapılacak incelemelerle doğrulanması gerekmektedir.

4.1.2 Mevcut Yapı zerindeki İncelemeler

Mevcut yapı üzerindeki incelemeler çeşitli amaçlarla yapılır.

Yapıya ait belgelerin mevcut olmaması veya yetersiz olması halinin yanı sıra yapıya ait belgelerin sağlanabilmesi ve bunların yeterli bilgi içermesi halinde dahi, bu bilgilerin mevcut yapı ile uyumunu kontrol ederek taşıyıcı sistem hesap modelini oluşturmak için gerekli olan bilgiler, yapı ve etkileşimde olduğu zemin üzerinde gerçekleştirilen inceleme, ölçüm, deney ve gözlemler ile elde edilir. Bu amaçla aşağıdaki işlemlerin yapılması gerekmektedir.

- a) Yapının mimari ve tesisat rölövesinin hazırlanması : Hazırlanacak rlvede yapının hacimlerinin kullanım şekillerinin, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvarlar ile kapı ve pencere boyutlarının ve konumlarının belirtilmesi gerekir. İlgili teknik personelin eşliğinde, tesisatın yapı içindeki dolaşımı ve konumu belirlenir. Ayrıca tesisatın taşıyıcı sistem elemanlarıyla etkileşimleri gözlemlenmelidir. Çünkü, bazı durumlarda tesisat boruları ve benzeri elemanlar estetik vb. sebeplerle yer yer taşıyıcı nitelikteki yapı elemanlarının içinden geçirilmektedir.
- b) Yapının taşıyıcı sistem rölövesinin hazırlanması : Yapının taşıyıcı sistemine ait kiriş, kolon ve perde boyutlarının ve konumlarının belirtildiği kat kalıp planları çizilmelidir. Olanaklar dahilinde döşeme türleri ve enkesitlerini oluşturan tabakaların kalınlıkları belirlenmeye çalışılır. Özellikle kirişlerin bölme duvarları içinde kalması veya asmolen döşemelerde geniş kirişlerin döşeme içinde bulunması taşıyıcı sistemin belirlenmesinde büyük zorluk doğurabilir. Binanın temeli yer yer açılarak temel düzeni, temelin geometrik boyutları, derinliği ve bağ kirişlerinin durumu belirlenerek temel kalıp planı çizilir. Kalıp planlarının yanı sıra sistem enkesitlerinin çizilmesine yönelik olarak, sistem geometrisini, taşıyıcı elemanların konumlarını ve enkesit boyutlarını belirlemek amacıyla ölçümler yapılır.

c) Yapının hasar rölövesinin hazırlanması : Yapının inşası sırasında yapım kusurları nedeniyle veya kullanım süresi içinde deprem, çevresel etkenler ve benzeri nedenlerle meydana gelen hasar ve bozulmaların saptanması amacıyla bir hasar rölövesi hazırlanması gerekebilir, Şekil 4.2. Hazırlanan taşıyıcı sistem rölövesi esas alınarak, binada her katta bölme duvarı, döşeme, kiriş, kolon, kiriş-kolon birleşim bölgesi, perde ve temel hasarları planlara işlenmelidir. Hasar ve bozulmaların başlıcaları,

- betonda oluşan yapısal çatlaklar,
- betondaki ezilmeler, kırılmalar, boşluklar, dökülmeler ve diğer yüzeysel kusurlar,
- donatının burkulması,
- donatının korozyonu,
- sülfat ve asit etkisi ile oluşan beton bozuklukları,
- yapı elemanlarının aşırı şekil değiştirmeleri

olarak sayılabilir.

➤ **Hasar rölövesi**

- ❶ taşıyıcı sistemdeki çatlaklar
- ❷ beton kabuğundaki ezilmeler ve dökülmeler
- ❸ donatının burkulması
- ❹ beton çekirdek bölgesindeki ezilme ve kırılmalar
- ❺ taşıyıcı sistem ve yapı elemanlarındaki aşırı şekil değiştirmeler
- ❻ donatının korozyonu
- ❼ sülfat, asit ve benzeri etkilerle oluşan beton bozuklukları vb.

Şekil 4.2 Hasar Rölövesi

Hasar rölövesinde özellikle çatlakların türleri, kalınlık, derinlik ve boyları belirtilmeli, gerekirse bu bilgiler fotoğraf ve video kayıtları ile belgelenmelidir. Yapıda, dönme veya farklı oturmalar olup olmadığı kontrol edilmelidir. Ayrıca yapının, zemin hareketine bağlı olarak, ilk konumuna göre yer değiştirme yapıp yapmadığı kontrol edilir. Bunun için olanaklar

dahilinde çevredeki yapılardan veya nirengi noktalarından faydalanılabilir. Deprem etkisine maruz kalan bir yapı için, hasar rölövesinde yer alan hasarın türü, miktarı, büyüklüğü de yapının depremden etkilenme derecesini göstermesi bakımından önemlidir. Taşıyıcı sistem hesap modelinin oluşturulması sırasında göz önüne alınmasında güçlükler bulunan bu hasar ve bozulmaların yapının deprem güvenliğine etkisi ayrıca değerlendirilir.

- d) Donatı miktarının ve düzeninin tespiti : Donatı detaylarının mevcut olması halinde, ölçümler az sayıdaki belirli noktalarda yapılarak, projede öngörülen donatının gerçekleşme oranı saptanır. Donatı detaylarının mevcut olmaması halinde ise, donatı ölçümlerinin daha geniş ölçüde ve ayrıntılı olarak yapılması gerekir. Donatı ölçümleri genelde tahribatsız yöntemle yapılır. Bununla beraber, belirli yerlerde beton paspayı kaldırılarak tahribatsız ölçüm sonuçlarının kontrol edilmesi yararlı olabilir. Binanın büyüklüğüne bağlı olarak yeterli sayıda bodrum ve zemin kat kolonunda paspayı kaldırılarak boyuna ve enine donatı miktarı ile donatı düzeni tespit edilmelidir. Kolonlardan biri bütün kenarlarından açılabilse de, diğer kolonların bir veya iki kenarından açılması mevcut sistemi zayıflatmamak açısından tercih edilmelidir. Benzer şekilde seçilecek yeterli sayıdaki kirişte, açıklıkta ve mesnet kesitlerine yakın kısımlarda alttan bakılarak, boyuna donatı düzeni, varsa pilye sayısı ve enine donatı aralık ve çapları belirlenebilir. Donatıda korozyon nedeniyle çap küçülmesi olup olmadığı da kontrol edilmelidir. Her şeye rağmen bu bilgilerin elde edilmesinde daima bir belirsizlik bulunduğu unutulmamalıdır.
- e) Malzeme deneyleri : Bu deneyler, yapının taşıyıcı nitelikteki mevcut malzemelerinin karakteristik özelliklerini tesbit etmeye yönelik olarak yapılırlar, Şekil 4.3. Bu amaçla betonarme yapılarda beton ve beton çeliği deneyleri üzerinde yoğunlaşılır.
- Beton deneyleri : Genellikle darbeli çekiç (Schmidt çekici) deneyleri ve ses hızı ölçümü (ultrases) deneyleri gibi tahribatsız yöntemlerden yararlanılır. Ancak, bu yöntemlerle elde edilen sonuçların doğrulanması için, yeterli sayıda beton örneği alınarak laboratuvarında test edilmesi gerekir. Bu amaçla binadan en az üç karot numunesi alınmalıdır. Binanın

➤ **Malzeme Deneyleri**

✓ Beton deneyleri

- Karot (~3 Adet / Bina)
- Ultrases deneyi (~10 Adet / Bina)
- Schmidt çekici (~10 Adet / Bina)



Korelasyon



Değerlendirme

- % 90 güvenilirliğe sahip beton basınç dayanımı

✓ Beton çeliği deneyleri

- Çelik çekme deneyi
- Beton çeliğinin akma gerilmesi

Şekil 4.3 Malzeme Deneyleri

büyüklüğüne göre sayı arttırılabilse de, bunların alındığı elemanları zayıflatacağı ve bulunan mukavemetin ortalama bir değer olması düşünülerek, çoğaltılması tercih edilmeyebilir. Ayrıca yapıda perdeler varsa, karotların küçük enkesitli narin kolonlardan alınması yerine normal kuvvetin daha az etkin olduğu perdelerden alınması uygun olacaktır. Karot değerleri, her katta en az üç kolon ve perdede yapılacak Schmidt çekici ve ultrases deneyleri ile karşılıklı korelasyon kurularak yaygınlaştırılır. Bu deney sonuçlarının kendi aralarında korelasyonu sağlandıktan sonra, sonuçlar değerlendirilir ve beton sınıfı ve karakteristikleri belirlenir. Beton sınıfı belirlenirken, deneylerin mevcut yapı üzerinde gerçekleştirilmesi nedeniyle, bunların değerlendirilmesinde daha küçük güvenlik sayılarının kullanılabileceği unutulmamalıdır. Örneğin, ACI 318 yönetmeliğine göre deney örneklerinin ortalama basınç dayanımının $0,85f_{ck}$, asgari basınç dayanımının ise $0,75f_{ck}$ değerinden daha küçük olmaması halinde beton dayanımı yeterli kabul edilebilmektedir.

- Beton çeliği deneyleri : Yapının uygun yerlerinden alınan beton çeliği örneklerine çekme deneyi uygulanır. Elde edilen değerlerle beton çeliğinin sınıfı ve karakteristik özellikleri belirlenmeye çalışılır. Karot örneklerinde olduğu gibi alınacak donatı örneklerinin de sayıca sınırlı tutulması, alındıkları elemanlarda oluşacak taşıma gücü zafiyeti açısından önemlidir.
- f) Geoteknik incelemeler : Bu kapsamda, yeraltı su seviyesi ölçümü, dinamik sonda deneyleri ve açılan muayene çukurlarından alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonuçlarından yararlanarak temel zemininin profili ve geoteknik özellikleri belirlenir. Buna paralel olarak jeofizik etüdlere ait sonuçlar da göz önünde tutularak, bölgenin depremselliğine ve zeminin dinamik özelliklerine ilişkin veriler elde edilir, Şekil 4.4.

➤İnşaat Alanına Ait Geoteknik Raporların Hazırlanması

- ✓ Muayene çukurları
- ✓ Laboratuvar deneyleri
- ✓ Dinamik sonda deneyleri
- ⇓
- ✓ Zemin profili
- ✓ Temel zemininin geoteknik özellikleri
 - Birim hacim ağırlığı
 - Zemin emniyet gerilmesi
 - Yatak katsayısı
- ✓ Bölgenin ve zeminin dinamik özellikleri
 - Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0)
 - Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B)
- ✓ Yer altı su seviyesi durumu
- ✓ Sıvılaşma potansiyeli
- ✓ Fay hattına yakınlık
- ✓ Şev durumu

Şekil 4.4 İnşaat Alanına Ait Geoteknik Raporların Hazırlanması

- g) Taşıyıcı sistem üzerindeki incelemeler : Yapının taşıyıcı sistemi üzerinde yapılan incelemelerle, yapının hesap modelini doğrudan etkileyen veya deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde göz önünde tutulması gereken etkenler saptanır. Bunların bir bölümü aşağıda sıralanmıştır, Şekil 4.5.

➤	Taşıyıcı Sistem Üzerindeki İncelemeler
✓	Taşıyıcı sistem incelemesi
●	düzensizlikler
●	komşu binalar ile etkileşim
●	dolaylı mesnetlenmeler
●	kısa kolonlar
●	birleşimler
●	ani rijitlik değişimi
●	yapısal kusurlar vb.
✓	Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının incelenmesi
●	dolgu duvarlarının nitelikleri, miktarı, plandaki konumları vb.

Şekil 4.5 Taşıyıcı Sistem Üzerindeki İncelemeler

- plandaki veya düşey düzlemdeki düzensizlikler,
- yapı ile komşu yapılar arasındaki olası etkileşim (farklı kat seviyesi ve derz durumu gibi),
- yapı taşıyıcı sisteminin süneklik düzeyi,
- dolaylı mesnetlenmelerin varlığı,
- yapı elemanlarında inşaattan sonra çeşitli nedenlerle açılmış olan delikler ve boşluklar,
- yapı kusurları nedeniyle yapının ideal geometrisinde meydana gelen sapmalar,
- kötü yapısal birleşimler,
- kirişe oranla daha güçlü kolon koşulunun gerçekleşme oranı,
- yapının taşıyıcı sisteminden kaynaklanan veya dolgu duvarları nedeniyle meydana gelebilen kısa kolonlar,

- katlar arasında ani rijitlik değişimlerinin varlığı (yumuşak kat vb. gibi),
- yapı sistemindeki aşırı yer değiştirmeler ve şekil değiştirmeler,
- çeşitli nedenlerle yeri değiştirilen veya tamamen kaldırılan taşıyıcı nitelikteki elemanların varlığı.

Taşıyıcı sistem üzerindeki incelemeler sırasında yukarıdaki incelemelere ek olarak, yapıya ömrü boyunca onarım ve/veya güçlendirme işlemlerinin uygulanıp uygulanmadığı da araştırılmalıdır. Bu işlemlerin uygulandığı yapılarda, taşıyıcı sistemde meydana gelen değişiklikler özellikle belirtilmelidir.

- h) Yapıya etkiyen yüklerin belirlenmesi : Taşıyıcı olmayan yapı elemanları (duvarlar, döşeme kaplamaları vb.) üzerinde yapılan ölçümler de dikkate alınarak yapı öz ağırlığı tayin edilir. Ayrıca yapının kullanım amaçlarına uygun olarak hareketli yükler belirlenir. Bu düşey yüklerden, yapı taşıyıcı sistemi üzerindeki inceleme sonuçlarından, geoteknik rapor sonuçlarından ve ilgili yönetmeliklerden yararlanarak eşdeğer deprem kuvvetleri hesaplanır. Yapının hesabında göz önüne alınması gereken diğer dış etkiler de (sıcaklık değişmesi, mesnet çökmesi vb.) bu aşamada belirlenir.
- ı) Taşıyıcı olmayan yapı elemanları üzerindeki incelemeler : Bu incelemelerde genel olarak, dolgu duvarlarının yerleri, boyutları, malzemesi, işçilik kalitesi, duvar boşluklarının yerleri ve boyutları belirlenir. Bu bilgiler taşıyıcı sistem hesap modelinin oluşturulmasında doğrudan veya yapının deprem güvenliğinin değerlendirilmesi aşamasında dolaylı olarak göz önünde tutulur.

4.1.3 Taşıyıcı Sistem Hesap Modelinin Oluşturulması

Yapıya ait belgelerden ve mevcut yapı üzerindeki incelemelerden elde edilen bilgiler değerlendirilerek taşıyıcı sistem hesap modeli oluşturulur. Hesap modelinin en az şu bilgileri içermesi gerekir :

- a) taşıyıcı sistem geometrisi,
- b) yapı elemanlarının enkesit boyutları, donatı miktarı ve yerleşim durumları,

- c) betonarme betonu ve çeliğinin sınıfı ve mekanik özellikleri,
- d) düşey işletme yükleri ve deprem yükleri,
- e) zeminin karakteristikleri.

Sistem hesabında uygulanması öngörülen hesap yönteminin içeriğine bağlı olarak, yapılan incelemelerde elde edilen verilerin tümünün hesap modeline yansıtılması mümkün olmayabilir. Doğrudan göz önüne alınamayan bu verilerin yapının deprem güvenliğine etkisi ayrıca değerlendirilir.

4.1.4 Hesap Modelinin Doğrusal Olmayan Kurama Göre Hesabı

Yapının taşıyıcı sistemini temsil eden hesap modelinin düşey yükler ve deprem etkileri altında doğrusal olmayan statik veya dinamik hesabı yapılarak yapı güvenliği belirlenir. Bu aşamada yapılan hesaplar için aşağıda açıklanan iki yaklaşım söz konusudur.

- 1) Yapının klasik (kesin) yöntemlerden yararlanarak doğrusal olmayan kurama göre statik hesabı : Taşıyıcı sistem hesap modelinin düşey yükler ve eşdeğer statik yüklerle temsil edilen deprem etkileri altında doğrusal olmayan statik hesabı iki şekilde yapılabilir. Bunlardan birincisinde, orantılı olarak artan düşey ve yatay yükler için, genelde tercih edilen ikincisinde ise sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler için hesap yapılarak yapının limit ve göçme yükleri bulunur. İkinci yolla yapılan hesap sonunda, düşey yükler için öngörülen belirli bir güvenlik katsayısı altında yapının deprem güvenliği elde edilir. Bu incelemede ayrıca,
 - a) yapı sisteminin artan yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı ve göçme şekli ,
 - b) oluşan plastik kesitlerin türleri ve yapı içindeki dağılımı,
 - c) toplam ve görelî yer değiştirmeler,
 - d) yapı sisteminin süneklik düzeyi,

- e) plastik kesitlerdeki plastik şekil değiştirmeler,
- f) dönme kapasitesi ve/veya birim burulma açısı sınırı aşıl原因an plastik kesitler

belirlenir. Böylece yapının deprem güvenliğinin değerlendirilmesine ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların rehabilitasyonuna esas teşkil edecek olan bilgiler elde edilir.

Bu madde de bahsedilen hesap yöntemi Bölüm 2 'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

- 2) Yapının yaklaşık yöntemlerden yararlanarak doğrusal olmayan kurama göre statik hesabı : Bazı durumlarda, hesap modelinin kesin yöntemlerle analizi yerine, daha pratik ve hızlı yöntemler kullanılarak çözümün yeterli yaklaşıklıkla elde edilmesi amaçlanır. Bu tez çalışmasının da konusunu oluşturan bu yaklaşımlar gereksinimlere bağlı olarak sürekli bir biçimde geliştirilmektedir. Bu çalışmada önerilen yaklaşık yöntemde, hesap modelinin deprem etkisini de içeren çeşitli yükleme durumlarına göre doğrusal statik hesabı yapılır ve bazı kesitlerde kapasitenin aşılması halinde yeniden dağılım ilkesi uyarınca iç kuvvetler diğer kesitlere dağıtılır. Yeniden dağılımın tamamlanmasıyla elde edilen veriler ışığında yapının deprem güvenliği belirlenir ve gerekmesi halinde yapı sisteminin rehabilitasyonu aşamasına geçilir.

Bu kapsamda yer alan yaklaşık yöntem Bölüm 3 'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.1.5 Yapının Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi

Hesap modelinin doğrusal olmayan kurama göre analizi ile elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapının deprem güvenliği belirlenir. Bu aşamada, taşıyıcı sistem modeli içinde yer almadığı halde yapının deprem güvenliğini etkileyebilecek diğer faktörler de (örneğin, yapı elemanlarındaki hasarlar ve bozulmalar, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının sistem davranışına katkısı v.b.) göz önünde tutulur.

Sistemin analizi sonucunda bulunan deprem güvenlik katsayısı, ilgili yönetmeliklerin öngördüğü yük ve malzeme güvenlik katsayıları ile karşılaştırılarak yapının deprem

güvenliği değerlendirilir. Bu değerlendirmede, incelemenin mevcut yapıya ait gerçek verilere dayandığı göz önünde tutularak, daha küçük güvenlik katsayıları esas alınabilir.

Yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapılar, hesap sonuçlarından elde edilen veriler dikkate alınarak uygun şekilde güçlendirilir. Güçlendirilen yapı sistemi doğrusal olmayan kurama göre yeniden hesaplanarak, öngörülen deprem güvenliğinin sağlanıp sağlanmadığı irdelenir.

4.2 Betonarme Yapı Sistemlerinin Rehabilitasyonu

Bir yapının rehabilitasyonu, yapı taşıyıcı sisteminin dış etkiler altındaki güvenliğinin öngörülen düzeye çıkarılması amacıyla yapılan onarım ve güçlendirme işlemlerinin tümünü kapsamaktadır. Ülkemizde, gerek mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi gerekse yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların taşıyıcı sistemlerinin güçlendirilmesi işlemleri 1998 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliği esaslarına uygun olarak yapılmaktadır. Bu yönetmeliğe ilgili bölümlerin eklenmesi ve mevcut bölümlerinin iyileştirilmesi çalışmaları yürütülmektedir.

Mevcut deprem yönetmeliğinde bina türü yapılar için öngörülen eşdeğer deprem yükü yönteminin, mevcut betonarme yapıların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesinde ve gerekli hallerde bu yapıların güçlendirilmesine uygulanmasında, $R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısının tayini büyük önem arz etmektedir. Bu katsayı, değerlendirme aşamasında mevcut yapının süneklik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Güçlendirme aşamasında ise, yapının süneklik düzeyini arttırıcı önlemler alınması suretiyle $R_a(T)$ katsayısının arttırılması mümkün olabilmektedir.

Bu bölümde, betonarme yapı sistemlerinin onarım ve güçlendirilmesinde uygulanmakta olan yöntemlere kısaca değinilecektir.

4.2.1 Onarım Yöntemleri

Kullanım süresi içinde deprem, çevresel etkenler ve benzeri nedenlerle meydana gelen hasar ve bozulmaların giderilerek yapı sisteminin ilk durumuna getirilmesi

ve/veya yapının inşası sırasında oluşan kusurların ortadan kaldırılması amacıyla yapılan işlemlere onarım denilmektedir. Bir yapı sisteminin onarılması, hasar, bozulma ve inşa kusurlarının giderilerek yapının mevcut güvenliğinin korunmasını amaçlar.

Bir yapı sisteminin onarılmasında izlenen yol şu aşamalardan oluşmaktadır:

- a) Bölüm 4.1.2 'de açıklandığı gibi, hasar, bozulma ve kusurların türlerini, derecelerini, nedenlerini, geometrik özelliklerini ve hasarlı elemanların yapı içindeki konumlarını belirten ayrıntılı bir hasar rölövesinin hazırlanması,
- b) hasar, bozulma ve kusurların türlerine ve özelliklerine bağlı olarak, uygulanması gereken onarım yöntemlerinin ve kullanılacak onarım malzemelerinin seçimi,
- c) bu bilgileri içeren bir onarım projesinin hazırlanması,
- d) onarımın uygulanması ve bakımı.

Aşağıda çeşitli hasar, kusur ve bozulmaların giderilmesi amacıyla uygulanmakta olan onarım yöntemleri kısaca açıklanacaktır.

- a) Taşıyıcı sistemde oluşan çatlakların onarılması

Yerel olan bu uygulama taşıyıcı sistemin mevcut rijitlik dağılımını önemli oranda etkilemeyeceği için, iç kuvvet dağılımını da değiştirmez. Çatlakların onarılmasında uygulanan genel yöntem enjeksiyon yöntemidir. Bu yöntemde, çatlak kalınlığına bağlı olarak epoksi reçinesi veya çimento harcı kullanılır. Reçineler çok çeşitlilik arz ettiği için amaca uygun reçinenin seçilmesi ve uygulamanın kontrol edilmesi önemlidir. Enjeksiyon malzemesinin viskozitesinin enjekte edilecek çatlağın kalınlığına uygun olması gerekir. Reçine belirli aralıklarla açılan deliklerden basınç ile uygulanarak çatlaklara doldurulur. Epoksi enjeksiyonu genellikle genişliği 0,5-5,0 mm arasındaki çatlaklar için başarı ile uygulanabilir. 2,0-5,0 mm arasındaki çatlaklara reçine katkılı çimento harcı uygulanabilir. Çatlak genişliğinin daha büyük olduğu durumlarda ise, betonun sökülerek çatlaklı bölgenin yeniden betonlanması uygun olmaktadır. Uygulama

pahalı olduğu için, çok çatlaklı kolonların duruma göre, yapının askıya alınarak kolonların tekrar inşası veya mantolanma ile onarılması yoluna gidilebilir. Ayrıca, beton kalitesinin düşük olması durumunda genellikle uygulamadan beklenen sonuca ulaşamaz.

b) Korozyon hasarı onarımı

Donatının korozyonu binanın sadece bodrum katında ileri olmayan derecede tespit edilmişse; donatının üzerindeki pas tel fırça ile temizlenir, üzerine korozyonu önleyen ve aderansı azaltmayacak bir tabaka sürüldükten sonra tamir harcı uygulanır. Korozyon ilerlemiş ve donatının kesitinde önemli bir azalma meydana gelmişse, elemanın ayrıca onarılması gerekmektedir.

c) Hafif hasarlı ve kusurlu beton yüzeylerinin onarılması

Yapım kusurları nedeniyle boşluklar içeren, deprem ve benzeri nedenlerle hafif hasar gören veya çevresel etkiler (sülfat, asit etkisi v.b.) ile bozulan beton yüzeylerinin onarılmasında aşağıdaki işlemler sıra ile uygulanır:

- hafif hasarlı olan beton sökülür,
- beton yüzeyi pürüzlendirilir, temizlenir ve gerekli görüldüğünde reçine uygulanır,
- hazırlanan yüzey üzerine reçine katkılı beton veya hazır tamir harcı dökülür.

Onarılacak bölgenin büyüklüğüne bağlı olarak, yeni beton içine ek donatı konulması da gerekebilir.

Ayrıca, karot alınması sırasında açılacak boşluklar da, hazır tamir harcı ile doldurulmalıdır.

d) Orta veya ağır hasarlı betonarme elemanların onarılması

Özellikle çarpma, patlama veya deprem etkileri nedeniyle betonu ezilerek parçalanmış, boyuna donatısı ve etriyeleri kopmuş veya burkulmuş olan

betonarme elemanların onarımı için, hasarlı bölgenin büyük ölçüde veya tamamen yenilenmesi gerekmektedir.

Orta veya ağır hasarlı betonarme elemanların yenilenmesinde ilk yapılması gereken işlem, yenilenecek yapı elemanı dolaylarında geçici askıya alma önlemlerinin alınması ve böylece onarım sırasında yapı güvenliğinin sağlanmasıdır. İzleyen adımda yenilenmesi gereken bölgedeki beton ve donatı kaldırılır ve daha önce anlatıldığı üzere mevcut beton yüzeyi yeni beton dökümüne hazırlanır. Yeni betonun boyuna ve enine donatısı hazırlanarak yerine yerleştirilir ve kaynaklama veya mekanik yöntemler kullanılarak mevcut donatıya bağlanır. Onarılacak bölge düşük rötreli betonla doldurularak onarım işlemi tamamlanır.

Bu onarım yönteminde, genellikle mevcut beton enkesiti ve donatısı aynen korunur. Ancak, hasarın yapı için önemli olan bir bölgede meydana gelmesi veya söz konusu elemana ayrıca güçlendirme uygulanmasının gerekmesi halinde, enkesit boyutları büyütülerek donatı arttırılabilir.

4.2.2 Güçlendirme Yöntemleri

Yeterli güvenlikte olmayan bir yapı sisteminin dayanımını (yük taşıma kapasitesini), rijitliğini, kararlılığını ve sünekliğini arttırmak suretiyle, yapı güvenliğini öngörülen bir düzeye çıkartmak amacıyla yapılan işlemlere güçlendirme denilmektedir. Güçlendirme yukarıda belirtilen amaçlardan birine veya birkaçına yönelik olarak yapılabilir. Güçlendirme işlemi sadece hasar görmüş yapılar için değil, aynı zamanda yapının teknik açıdan istenen seviyeye yükseltilmesi amacıyla da uygulanabilir. Güçlendirmede temel ilke, yapının mevcut estetiğini ve kullanımdaki fonksiyonelliğini mümkün olduğunca korurken , ekonomi ve emniyetin en uygun oranı bulunarak yapıyı istenilen performans seviyesine yükseltmektir.

Uygulamada, yapı güvenliğındeki yetersizliğin nedenlerine ve güçlendirmenin amaçlarına bağlı olarak, çeşitli güçlendirme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Aşağıda, çeşitli güçlendirme yöntemleri ve uygulanma amaçlarına kısaca değinilecektir.

a) Mantolama

Mantolama, betonarme yapı elemanının enkesitini büyüterek enkesit özelliklerini olumlu yönde değiştirmek amacıyla uygulanan bir tür güçlendirme yöntemidir. Bu yöntemle, bir yapı elemanının dayanımının, rijitliğinin, kararlılığının ve sünekliğinin arttırılabilmesi mümkün olabilmektedir. Mantolama işlemi bölgesel bir güçlendirme olmakla beraber, yapı sisteminin genel güvenliğine dolaylı bir katkısı da olmaktadır.

Bu güçlendirme işlemi yapı elemanının konumuna ve durumuna bağlı olarak dört yüzeyine uygulandığı gibi, özellikle kirişlerde birkaç yüzeyle ve döşeme gibi elemanlarda da bir yüzeyle sınırlı kalabilir.

Mantolamada betonarmeden, yapı çeliğinden veya cam ve karbon lifli malzemelerden faydalanılır. Betonarme mantolamada, mevcut beton yüzeyindeki paspayı tabakası kaldırılır. Yüzey temizlenerek yeni beton dökümüne hazır hale getirildikten sonra manto donatısı hazırlanarak yerine yerleştirilir ve beton dökülür. Manto betonunun kalınlığı ve manto donatısının miktarı, öngörülen güçlendirme düzeyine göre belirlenir. Beton dökümü ve donatının yerleştirilmesi için, manto betonu kalınlığının 10 cm'den daha az olmaması önerilmektedir. Manto uygulamasında beton kesit kalınlığının az olması nedeniyle kendinden yerleşen beton kullanılmalı veya vibratör uygulanmalıdır. Birbirine komşu olan yapı elemanlarının mantolanmasında, örneğin ardışık kat kolonları mantolanırken, mantonun sürekliliğinin sağlanması önem kazanmaktadır. Düşey taşıyıcı elemanların mantolanmasıyla oluşan rijitlik değişimi neticesinde iç kuvvet dağılımı da değişmektedir. Kolon mantosunun kolon-kiriş birleşim bölgelerini sarması ve iç kuvvetlerin temele güvenle aktarılmasının sağlanması açısından, donatının sürekli olması ve temel bloğuna kenetlenmesi önem kazanmaktadır. Genellikle bir katta kolon mantolanmasına gereksinim varsa, bu temele kadar inmeli ve manto donatısı temele bağlanmalıdır. Mantolanma sonrasında daha fazla iç kuvvet etkisinde olan kolonun bu etkileri aktardığı temelin yeterliliği kontrol edilmeli ve gerekirse temel güçlendirilmelidir.

Bazı hallerde, mimari nedenlerle veya güçlendirme işlemlerine hız kazandırmak amacıyla çelik mantolamaya başvurulabilir. Güçlendirmenin amacına ve öngörülen güçlendirme düzeyine bağlı olarak, sürekli veya bölgesel çelik manto yöntemlerinden biri uygulanır.

Çelik ile mantolamada, mevcut beton ile çelik manto arasındaki boşluk, rötre yapmayan çimento harcı veya reçine katkılı harç ile doldurulmalıdır. Ayrıca çelik mantonun yangından ve korozyondan etkilenmesini önlemek için önlem alınmalıdır.

b) Çelik şerit elemanlar ile bölgesel güçlendirme

Bazı betonarme yapı elemanlarının belirli bölgelerinde eğilme ve kesme dayanımı ile plastik şekildeğiştirme kapasitesinin (dönme kapasitesinin) artırılması gerektiğinde veya özellikle düğüm noktalarında sünekliğin artırılması amacıyla, çelik elemanlar ile bölgesel güçlendirme yöntemine başvurulabilir.

Bu yöntemde, elemanın enine ve/veya boyuna doğrultularında düzenlenen çelik şeritler beton yüzeyine reçine veya reçineli harç ile yapıştırılır. Şerit düzeninin seçiminde, elemandaki gerilme dağılışı dikkate alınmalıdır. Boyuna doğrultudaki elemanlar daha çok eğilme dayanımının artırılması amacıyla, enine doğrultudaki çelik elemanlar ise özellikle kirişlerde kesme dayanımının artırılması, dönme kapasitesinin ve süneklik düzeyinin yükseltilmesi amacıyla uygulanırlar. Çelik şeritlerin üstlendiği görev betonarme çeliğinin görevi ile aynı niteliktedir.

Betonda enine basıncın yeterli bir şekilde oluşması için şeritlerin dar olmaması (~50mm genişlikte) ve birbirinden çok ayrı yerleştirilmemesi (~0,20m aralıkta) gerekir.

Çelik şeritlerin üzeri tamir harcı ile örtülerek hem korozyona hem de sınırlı ölçüde yangına karşı korunmalıdır. Çelik şeritlerle güçlendirme uygulaması, ancak elemanın beton dayanımının yeterli olduğu durumlarda tercih edilmelidir.

c) Cam lifli veya karbon lifli malzemeler ile elemanların güçlendirilmesi

Ülkemizde özellikle son depremlerden sonra kullanılmaya başlayan ve üzerinde çok sayıda deneysel çalışmanın yapıldığı alternatif güçlendirme

yöntemlerindendir. Bir kumaş gibi istenilen ölçülerde kesilerek gereksinime göre bir veya birkaç kat sarılabilir. Sargı sayısının belirlenmesi aşamasında beton kalitesi de önem taşımaktadır. Gerek beton yüzeyi ile malzeme, gerekse malzemenin iki tabakası arasında bağlayıcı olarak epoksi kullanılır. Liflerin bir veya iki doğrultuda düzenlenmiş olmasına göre iki çeşittir. Özellikle tek yönlü liflere sahip olanlar için yapıştırma doğrultusu karşılayacağı gerilmelere göre seçilmelidir. Bu yöntemde, malzeme elemanın tümüne veya bir bölümüne tamamen uygulanabileceği gibi şeritler halinde de uygulanabilir. Mimari açıdan çok önemli avantajları olmasına rağmen yangına karşı dayanımı azdır. Pahalı bir malzeme olmasının yanında uygulamada kaliteli işçilik gerektirmektedir, [15].

d) Prefabrik çelik lifli beton plaklarla güçlendirme

Ülkemizde henüz çok sınırlı bir grup tarafından bilinen yeni bir güçlendirme yöntemidir. Çelik liflerin homojen bir dağılıma sahip olduğu beton plaklar taşıyıcı elemanların belli bölgelerine epoksi ve benzeri bağlayıcılarla uygulanır, [16].

e) Yapı sistemine yeni taşıyıcı elemanlar ekleyerek güçlendirme

Mevcut yapı sisteminin genel dayanımını, rijitliğini, kararlılığını arttırmak, yerdeğiştirmelerin yönetmeliğin öngördüğü seviyeye çekilmesini sağlamak ve bazı hallerde yapının süneklik düzeyini yükseltmek için genellikle başvurulanan bir güçlendirme yöntemidir.

Yapı sistemine yeni taşıyıcı elemanlar eklenmesi çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Bunlardan başlıcaları aşağıda açıklanmıştır.

e.1) Yapıya betonarme perdeler eklenmesi

Bu yöntemde, yapının iç bölgesine veya yapı çevresine gerekli sayıda ve boyutta betonarme perdeler ekleyerek yatay yüklerin bir bölümünün bu elemanlara aktarılması sağlanır. Perde yerlerinin seçiminde, yapının mimari karakterinin, cephe görünüşlerinin ve işlevinin olumsuz yönde etkilenmemesine özen gösterilir. Yapıya eklenen betonarme perdeler eksenel ve dışmerkez olarak düzenlenebilirler.

e.2) Çerçeve gözlerinin donatılı beton duvar ile doldurulması

Bu yöntemde, mevcut yapı sistemindeki bazı çerçeve gözleri donatılı beton ile doldurulur ve dolgu betonu, çevresindeki kiriş ve kolonlara ankraj çubukları ile bağlanarak yeni bir perde oluşturulur. Böylece, yapıya etkiyen yatay yüklerin bir bölümünün bu perdeler aracılığı ile karşılanması sağlanır.

e.3) Çerçeve gözlerine çelik çaprazlar eklenmesi

Bu yöntemde, eklenen çelik çaprazların yerleştirileceği bölgedeki kiriş ve kolonlara uygun şekilde bağlantısı sağlanarak, betonarme ve çelik elemanların birlikte oluşturduğu perde elemanlar elde edilir. Perdenin işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için betonarme ve çelik elemanlar arasındaki birleşimler uygun şekilde detaylandırılmalıdır.

Yukarıda belirtildiği gibi, çeşitli şekillerde oluşturulan güçlendirme perdelerinden beklenen başlıca özellikler aşağıda sıralanmıştır, Şekil 4.6.

- 1) Güçlendirme perdelerinin konumları yapının mimari tasarımı ile uyumlu olmalı, kullanım fonksiyonlarını engellememeli ve tesisatın yoğun olarak bulunduğu duvarların güçlendirme perdesine dönüştürülmesinden sakınılmalıdır.
- 2) Güçlendirme perdelerinin sayısı en az üç olmalı ve her doğrultuda en az bir perde bulunmalıdır. Böylece, yapıya minimum düzeyde bir burulma rijitliği sağlanması öngörülmektedir. Bu yeni perdelerin plandaki yerleşimi yapının yeterli düzeyde burulma rijitliği sağlayacak şekilde seçilmelidir.
- 3) Yapıya eklenecek perdelerin, her iki deprem doğrultusu için ayrı ayrı olmak üzere, taban kesme kuvvetinin yaklaşık olarak % 80'ini veya devrilme momentinin % 60-70'ini karşılayacak boyutlarda ve sayıda olmasına, ayrıca tüm yapı yüksekliği boyunca devam etmesine özen gösterilmelidir.
- 4) Perdelerin düzenlenmesinde, perde temellerinin ekonomik olarak tasarımı da gözönünde tutulmalıdır.

➤ **Güçlendirme perdelerinin sayılarının, plandaki konumlarının ve enkesit boyutlarının belirlenmesi**

✓ **güçlendirme perdelerinden beklenen özellikler**

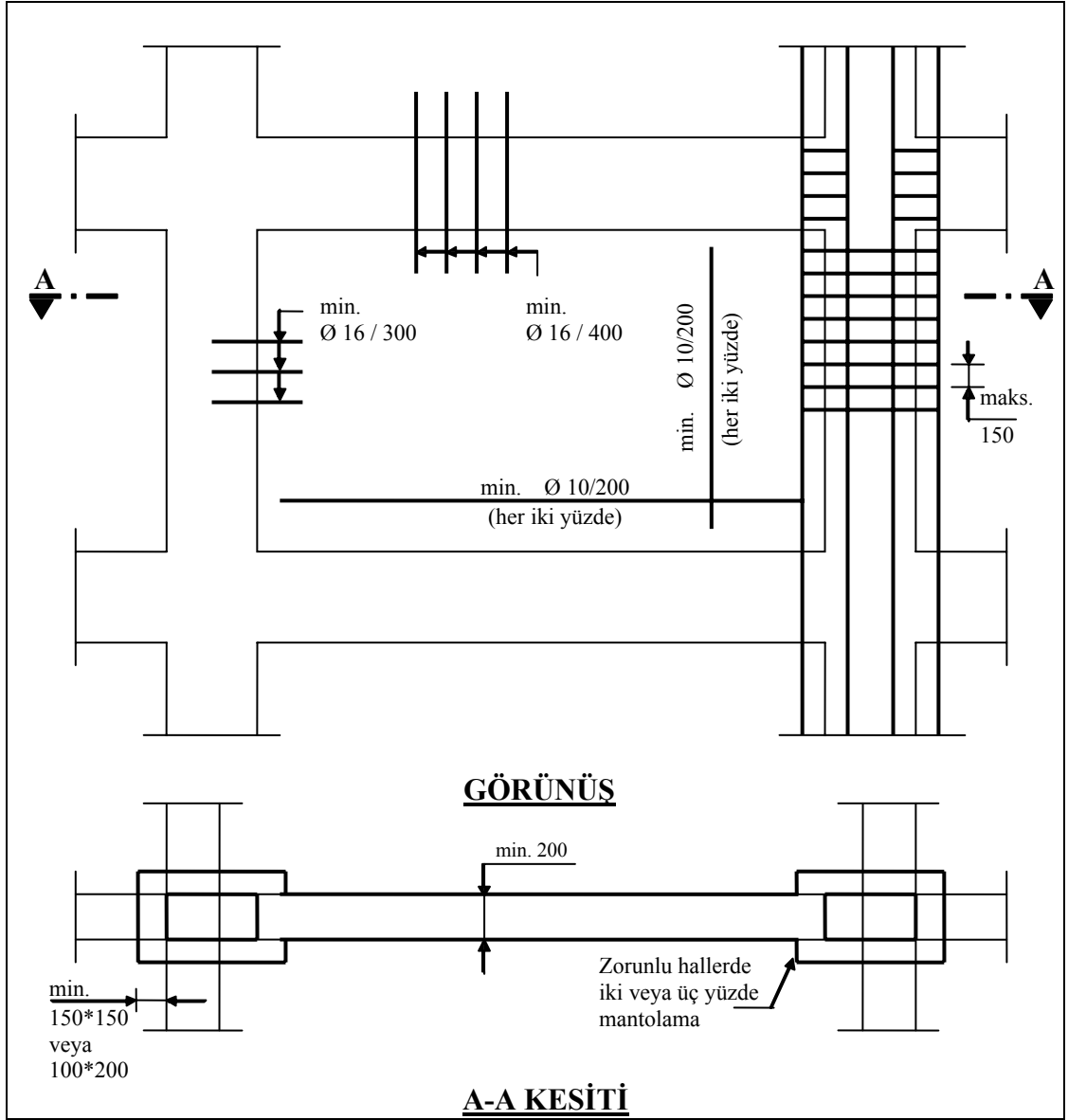
- güçlendirme perdeleri yapının mimari tasarımı ile uyumlu olmalı ve fonksiyonlarını engellememeli
- her doğrultuda en az bir adet olmak üzere, toplamda en az 3 adet güçlendirme perdesi kullanılmalı
- deprem yüklerinden oluşan taban kesme kuvvetinin yaklaşık olarak % 80'i güçlendirme perdeleri tarafından karşılanmalı
- yapıya yeterli burulma rijitliği sağlamalı
- temel sisteminin ekonomik olarak tasarımında elverişli olmalı
- perde enkesit boyutları ve donatısı minimum koşulları sağlamalı

✓ **güçlendirme perdelerinin boyutlandırılması ve donatılması**

- güçlendirilmiş yapı sisteminin hesabı
 - üç boyutlu hesap
 - güçlendirme perdelerinin ve mevcut taşıyıcı sistemin gerçek rijitlikleri
- güçlendirme perdelerinin donatılması
 - minimum koşullar
- ankraj elemanlarının hesabı
 - perde – kiriş birleşimleri
 - perde – kolon birleşimleri
- perde uç bölgelerinin donatılması ve gerekli hallerde bu bölgelerdeki mevcut kolonların mantolanması
- perde uç donatılarının yapı yüksekliği boyunca sürekliliğinin sağlanması

Şekil 4.6 Güçlendirme Perdelerinin Boyutlandırılması ve Donatılması

5) Yeni oluşturulan perdelerin ve perde uç bölgelerinde oluşturulan kolon mantolarının enkesit boyutları ve donatıları Şekil 4.7 'de verilen minimum koşulları sağlamalıdır.



Şekil 4.7 Güçlendirme Perdelerinde Minimum Koşullar

Güçlendirme perdelerinin boyutlandırılmasında ve donatılmasında şu temel ilkelere uyulması gerekmektedir.

- 1) Güçlendirilmiş yapı sisteminin üç boyutlu hesabı yapılmalı, farklı zaman ve koşullarda inşa edilmiş olan mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının ve güçlendirme perdelerinin gerçek rijitlikleri hesaplarda gözönüne alınmalıdır.
- 2) Çeşitli şekillerde oluşturulan güçlendirme perdeleri yapının yatay rijitliğini önemli ölçüde arttıracak ve doğal olarak perdeler önemli

miktarda deprem kuvvetlerinin etkimesine neden olacaktır. Bu kuvvetlerin mevcut yapı ile perdeler arasında sorunsuz olarak iletilmesini gerçekleştirmek için ankrajlar yeterli sıklıkta ve uygun şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca, yeni perdenin etkisiyle çevresindeki yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet artışı değerlendirilmeli ve gerekirse bu elemanlar güçlendirilmelidir.

- 3) Perde uç bölgelerinde düşey donatı gerekmesi halinde, perde uçlarındaki mevcut kolonlar genellikle mantolanır ve manto içine yerleştirilen perde uç donatısı döşemede açılan boşluklardan geçirilerek yapı yüksekliği boyunca devam ettirilir. Böylece perde uç donatısının sürekliliği sağlanır.
- 4) Yeni düzenlenen perdenin boyutlarının ve donatısının mevcut yönetmeliklerdeki sınır değerlerin içinde kalmasına dikkat edilmelidir.
- 5) Yapıya etkileyen yüklerin üst yapıdan temellere kadar güvenle aktarılması sağlanmalı, ek betonarme perdelerin temelleri bu esasa göre boyutlandırılmalıdır. Bu perde temellerindeki düşey yüklerin deprem etkisiyle oluşan momentlere oranla çok düşük olması, diğer bir deyişle perde tabanındaki dış merkezliğin büyük olması, yapılacak bazı düzenlemelerle giderilmeye çalışılır. Bu amaçla, güçlendirme perdelerinin temellerine mesnetlenen komşu kolonlar da mantolanarak perde temeli ile bütünleştirilir.

f) Sismik izolasyon ve sönümleyiciler kullanılması

Bu güçlendirme tekniği, taşıyıcı sistemde özellikle deprem nedeniyle oluşacak etkilerin yapıdan izole edilmesi, sönümlendirilmesi ve böylece depremin olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla kullanılır. Sismik nedenlerle yapıya gelen enerjinin bir kısmı taban izolatörleri veya sönümleyiciler vasıtasıyla emilerek, depremin yapıya etkisi azaltılabilir.

4.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilerek Rehabilitasyon Yönteminin Seçimi

Aşağıda, rehabilitasyon yöntemlerinin seçiminde mevcut yapı sisteminin doğrusal olmayan kurama göre kesin veya yaklaşık yöntemler ile hesabı sonunda elde edilen bilgilerden nasıl yararlanılabileceği açıklanmaktadır.

- a) İncelenen yapı sisteminin deprem güvenliğinin öngörülen güvenliğin altında olması halinde, yapıya yeni taşıyıcı elemanlar ekleyerek dayanım, rijitlik ve kararlılığının artırılması uygun olmaktadır.
- b) Özellikle narin yapılarda, birinci mertebe limit yüke karşı gelen yük parametresi öngörülen deprem güvenliğini sağlamakla birlikte, ikinci mertebe limit yük bu güvenliğin altında değer alabilir. Bu sonuç incelenen yapıda ikinci mertebe etkilerinin önemli olduğunu ve göçmenin yapıdaki kararlılık yetersizliği nedeniyle meydana geldiğini gösterir. Bu durumda, yapının bölgesel veya tümsel kararlılığını arttırmak amacıyla güçlendirme önlemlerinin alınması gerekmektedir. Bölgesel güçlendirme önlemleri kararlılık zafiyetinin söz konusu olduğu bölgedeki mevcut yapı elemanlarının rijitliklerini artırarak, örneğin mantolama suretiyle, tümsel güçlendirme önlemleri ise mevcut yapıya yeni taşıyıcı elemanlar ekleyerek gerçekleştirilebilir.
- c) Süneklik düzeyinin sınırlı olduğu betonarme yapı sistemlerinde göçme, genellikle plastik kesitlerdeki dönme kapasitesinin aşılması nedeniyle meydana gelmektedir. Mevcut yapı sisteminin analizi sırasında bu durumla karşılaşılması halinde, plastik kesitlerin dönme kapasitelerini arttırarak göçmenin ertelenmesi ve dolayısıyla göçme güvenliğinin artırılması mümkün olmaktadır. Plastik kesitlerin dönme kapasitelerinin arttırılması ise, söz konusu kesitler dolayında alınacak bölgesel güçlendirme önlemleri ile örneğin mantolama veya enine doğrultuda düzenlenen çelik ve karbon lifli elemanlar uygulanması suretiyle sağlanabilir.
- d) Bazı yapı sistemlerinde, genellikle tasarım veya yapım hatalarından kaynaklanan nedenlerle, bölgesel mekanizmalar (kiriş veya kat mekanizmaları gibi) oluşarak göçme meydana gelebilir. Böyle durumlarda,

bölgesel mekanizmayı oluşturan yapı elemanlarının dayanımlarını arttıracak önlemler alınarak yapının göçme güvenliği artırılabilir.

- e) Yapı sistemlerinde toplam veya görelî yer değıştirmelerin büyük değler alması bir başka göçme nedenidir. Uygulanacak hesap yönteminin her adımında toplam ve görelî yer değıştirmeler hesaplanarak, bu tür göçmenin meydana gelip gelmediğı kolaylıkla saptanabilir. Göçmenin toplam yatay yer değıştirmenin büyük değler alması sonucunda meydana gelmesi halinde, tüm yapı rijitliğini arttıracak önlemler alınır. Bu amaçla, sisteme yeni taşıyıcı elemanlar, örneğın perdeler eklenir. Görelî yer değıştirmelerin önemli olduğı yapılarda ise, bölgesel güçlendirme yöntemleri uygulanır.
- f) Bir yapı sisteminin deprem güvenliğının arttırılmasında uygulanabilecek diğler bir yol deprem etkilerini azaltmaktır. Bilindiğı gibi deprem etkileri yapının süneklik düzeyi (enerji söndürme kapasitesi) ile yakından ilgilidir. İncelenen yapı sisteminin yük parametresi – yer değıştirme bağıntısı elde edilerek toplam yer değıştirmenin elastik yer değıştirmeye oranı olarak tanımlanan sistem süneklik katsayısı kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Bu şekilde belirlenen süneklik katsayısının arttırılması istendiğinde, öngörülen süneklik düzeyine uygun olarak yük parametresi–yer değıştirme bağıntısını değıştirmek amacıyla çeşitli güçlendirme önlemleri alınabilir.
- g) Doğrusal olmayan analiz yönteminin her adımında oluşan plastik kesitler ve bunların yapı içindeki dağılımı elde edildiğinden, bazı yapı elemanlarının dayanımını arttıracak bölgesel güçlendirme yöntemleri uygulanarak, plastik kesit dağılımı istenildiğı şekilde değıştirilebilir. Örneğın, kirişle oranda daha güçlü kolon koşulunun sağlanması öngörülen bir yapı sisteminde, bu koşulun sağlanmadığı belirlenen düğüm noktalarına birleşen kolonlara mantolama veya çelik elemanlar ile bölgesel güçlendirme uygulanabilir.

4.4. Onarım ve Güçlendirme Projesinin Hazırlanması

Önceki bölümlerde açıklanan temel ilkeler çerçevesinde, mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesinde ve yeterli güvenliğe sahip olmayan yapıların

onarım ve güçlendirme projelerinin hazırlanmasında izlenen yol başlıca şu adımlardan oluşmaktadır, Şekil 4.8.

- a) Mevcut yapı sisteminin, yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmelikler göz önünde tutularak (TS500, TS648, TS 498, ABYYHY vb.) ve yapı sisteminin süneklik düzeyi esas alınarak, düşey yükler ve deprem etkisi altında $(1,4G+1,6Q)$, $(G+Q+E)$ ve $(0,9G+E)$ yüklemeleri için hesabı yapılır.

➤ **Deprem etkilerinin belirlenmesi**

- ✓ eşdeğer deprem yükü katsayısı (1998 Deprem Yönetmeliği)

$$A(T) / R_a = A_0 I S(T) / R_a \geq 0.10 A_0$$

⊗ etkin yer ivmesi katsayısı : A_0

⊗ yapı önem katsayısı : I

⊗ spektrum katsayısı : $S(T)$

$$T \leq T_B \text{ için } S(T) \cong 2.50$$

$$T > T_B \text{ için } S(T) = 2.50 (T_B / T)^{0.8}$$

⊗ deprem yükü azaltma katsayısı : R_a

➤ **Güçlendirme yönteminin seçimi**

⊗ uygulanmakta olan güçlendirme yöntemleri

⊗ betonarme veya çelik mantolama

⊗ cam veya karbon lifli malzemeler ile güçlendirme

⊗ prefabrik çelik lifli beton plaklar ile güçlendirme

⊗ eksenel betonarme perde

⊗ dışmerkez betonarme perde

● yapı içinde

● yapı dışında

⊗ köşegenli eksenel çelik çerçeve

⊗ donatılı eksenel duvar vb.

Şekil 4.8 Deprem Etkilerinin Belirlenmesi ve Güçlendirme Yönteminin Seçimi

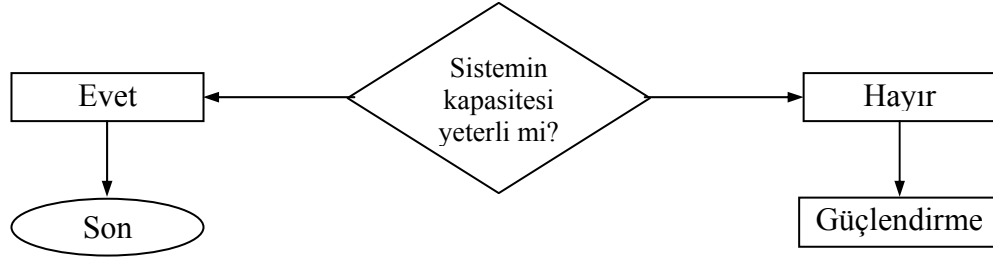
- b) Mevcut sistemin hesabı sonunda elde edilen iç kuvvetler esas alınarak sistemin eleman özelinde ve tümsel olarak taşıma kapasitesi kontrol edilir. Bu işlem Şekil 4.9 'da verilen akış diyagramına uygun olarak yapılabilir.
- c) Mevcut yapı sisteminin taşıma kapasitesinin yeterli olmaması halinde, güçlendirmeye yönelik temel ilkeler ile inceleme ve hasar tespit çalışmaları sonucunda belirlenen öneriler doğrultusunda güçlendirme sistemi oluşturulur.
- d) Güçlendirilmiş yapı sisteminin düşey yükler ve deprem etkisi altında çözümlemesi yapılır. Bu hesapta deprem yükleri belirlenirken, güçlendirilmiş yapı sisteminin süneklik özellikleri göz önünde tutulur. Ayrıca güçlendirme elemanlarının elastiklik modüllerinin farklılığı göz önüne alınmalıdır. Bu durum mevcut elemanlarla güçlendirme elemanları arasındaki yük paylaşımında etkili olur.
- e) Güçlendirilmiş sistemin hesabı sonucunda elde edilen kesit zorları altında, yapıya eklenen güçlendirme elemanları ile temelleri boyutlandırılır ve donatılır.
- f) Ayrıca, mevcut taşıyıcı sistemin kolon, kiriş ve temellerinin taşıma kapasiteleri kontrol edilir. Yeterli taşıma kapasitesine sahip olmayan elemanlara bölgesel güçlendirme uygulanır, Şekil 4.10.
- g) Onarım ve güçlendirme projelerinin son aşamasını güçlendirilmiş sisteme ait temel ve kalıp planları ile detay projelerinin hazırlanması oluşturmaktadır. Bu aşamada kat kalıp planları, güçlendirme perdelerinin donatı detayları, temel planı ve detayları, mevcut taşıyıcı sistemin hasarlı ve yetersiz elemanlarına ait onarım ve bölgesel güçlendirme detayları çizilir.

➤ **Güçlendirme projeleri**

1. Mevcut yapı sisteminin hesabı

- $1.4 G + 1.6 Q$
 - $G + Q + E$
 - $0,9 G + E$
- } G : sabit yükler
 Q : hareketli yükler
 E : deprem yükleri

2. Mevcut sistemin taşıma kapasitesinin kontrolü



3. Mevcut taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi

- temel ilkeler
- inceleme ve hasar tespiti

4. Güçlendirilen taşıyıcı sistemin hesabı

- $1.4 G + 1.6 Q$
- $G + Q + E$
- $0,9 G + E$

5. Güçlendirme perdelerinin donatılması

6. Temellerin hesabı ve boyutlandırılması

7. Mevcut taşıyıcı sistemin bölgesel olarak güçlendirilmesi

- kolonlar
- kirişler

8. Güçlendirme projesine ait kalıp ve temel planları ile detay projelerinin hazırlanması

- kat kalıp planları
- güçlendirme perdelerinin donatı detayları
- temel planı ve detayları
- mevcut taşıyıcı sistemin diğer elemanlarına ait bölgesel güçlendirme detayları

Şekil 4.9 Güçlendirme Projeleri

➤ **Güçlendirilmiş yapıda mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının kontrolü ve güçlendirilmesi**

✓ **kolonlar**

⊛ $A_{s,gerekli} \leq (1.20 \sim 1.50) A_{s,mevcut}$ (mevcut donatı biliniyorsa)

veya

$A_{s,gerekli} \leq (0.012 \sim 0.015) A_c$ (mevcut donatı bilinmiyorsa)

olmalı, ayrıca tasarım normal kuvveti

⊛ $N_d \leq 0,50 A_c f_{ck}$

koşulunu sağlamalı

✓ **kirişler**

⊛ $A_{s,gerekli} \leq (1.00 \sim 1.25) A_{s,mevcut}$ (mevcut donatı biliniyorsa)

veya

$A_{s,gerekli} \leq (0.015 \sim 0.020) A_c$ (mevcut donatı bilinmiyorsa)

olmalı

➤ **Yeterli olmayan yapı elemanları için bölgesel güçlendirme yöntemleri**

✓ mantolama

✓ çelik elemanlar ile güçlendirme

✓ cam veya karbon lifli malzemeler ile güçlendirme

✓ prefabrik çelik lifli elemanlar ile güçlendirme vb.

Şekil 4.10 Güçlendirilmiş Yapıda Mevcut Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Kontrolü ve Güçlendirilmesi

5. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde, yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere geliştirilen basitleştirilmiş yaklaşımın ayrıntılarını sayısal olarak açıklamak amacıyla iki düzlem çerçeve sistem üzerinde sayısal uygulamalar yapılmıştır.

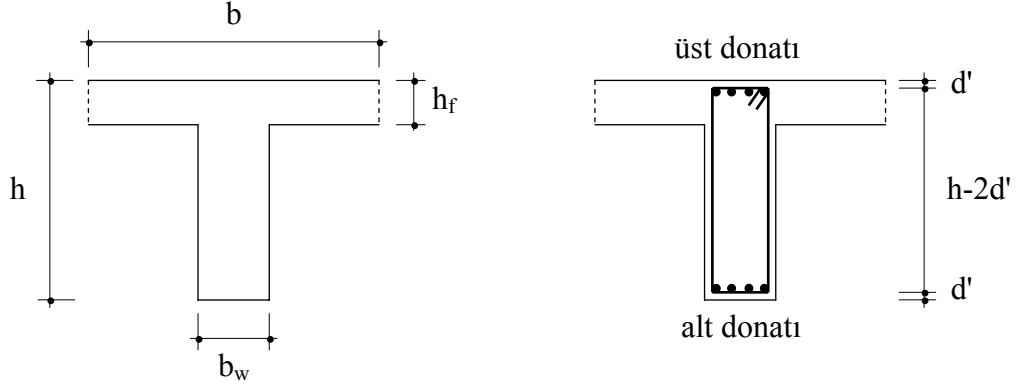
Sayısal uygulamalar, ülkemizde yürürlükte olan TS 500, TS498 standartlarına ve 1998 deprem yönetmeliğine göre belirlenen yükler dikkate alınarak boyutlandırılan sistemler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırmada, ülkemizdeki mevcut binaların genel bir özelliğini yansıtmak üzere, kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu dikkate alınmamıştır. Bu bölüm kapsamında aşağıda incelenen sistemlerin boyutlandırılmasında ($1.4G + 1.6Q$), ($1.0G + 1.0Q + 1.0E$) ve ($0.9G + 1.0E$) yükleme durumları esas alınmıştır.

Boyutlandırılan yapı sistemlerinin deprem güvenlikleri değerlendirilirken, betonun kalitesinin projede öngörülenden daha düşük olduğu ve uygulama kusurları nedeniyle sistem sünekliğinin hedeflenen düzeyde olmadığı varsayımı yapılmıştır. Böylece, pratikte karşılaşılan mevcut yapıları temsil eden örnekler üzerinde çalışılması amaçlanmıştır.

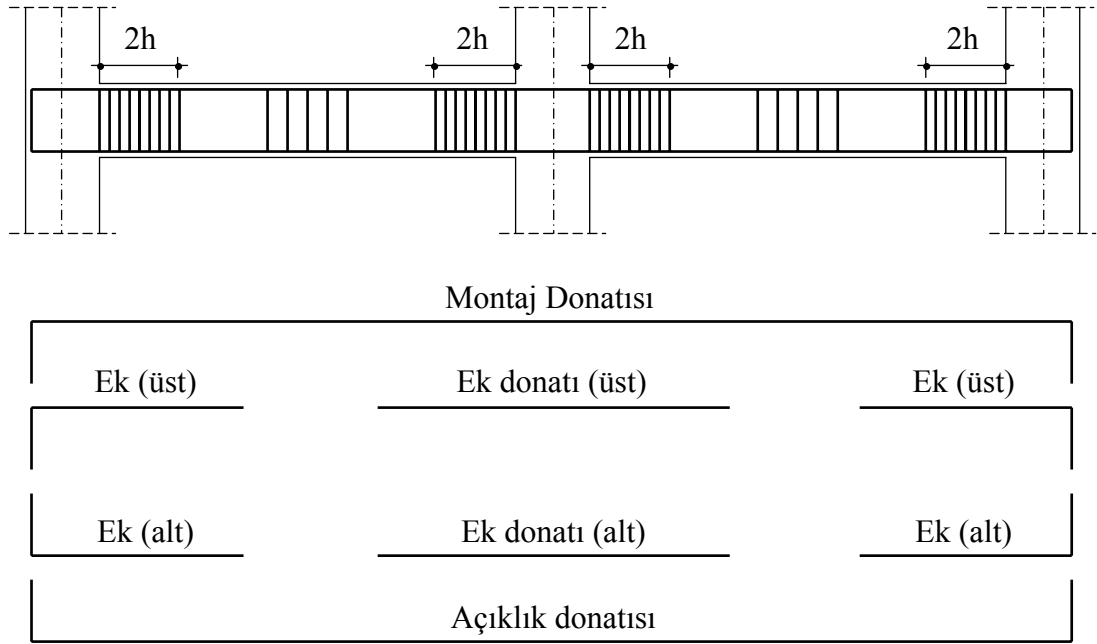
İzleyen bölümlerde, incelenen taşıyıcı sistem modelleri sırasıyla ele alınarak tanıtılmakta ve geliştirilen yaklaşım uygulanarak deprem güvenlikleri ve doğrusal olmayan davranışları sayısal olarak incelenmektedir. Elde edilen sayısal sonuçlar, referans olarak alınan EPARC bilgisayar programı sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

İncelenen yapı sistemlerinde kirişlerin enkesit boyutlarını tanımlayan büyüklükler ve enkesitteki donatı yerleşim düzeni Şekil 5.1'de görülmektedir. Paspayı kalınlıkları, tüm kirişlerde $d' = 4$ cm olarak alınmıştır. Üst ve/veya alt donatı sıralarının birden fazla olması halinde, eşdeğer paspayı kalınlıkları donatı düzenine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Kirişlerde boyuna ve enine donatının kiriş boyunca tipik yerleşim

düzeni Şekil 5.2 'de şematik olarak verilmiştir. Bu donatı yerleşim düzeninde, kiriş mesnet bölgelerindeki ek donatının iç açıklığının 1/3'üne kadar devam ettiği varsayılmaktadır.

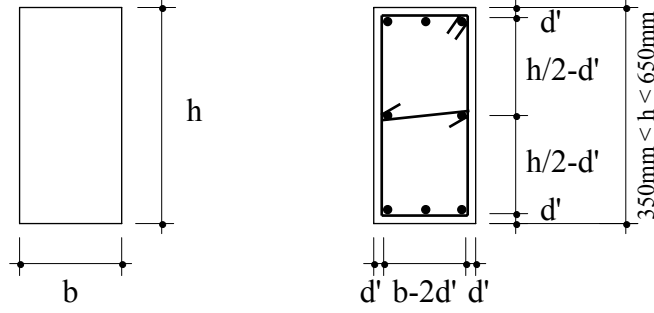


Şekil 5.1 Kiriş Enkesit Boyutlarını Tanımlayan Büyüklükler ve Donatı Yerleşim Düzeni



Şekil 5.2 Kirişlerde Enine ve Boyuna Donatının Yerleşim Düzeni

Kolonların enkesit boyutlarını tanımlayan büyüklükler ve kolon enkesitlerindeki tipik donatı yerleşim düzeni Şekil 5.3 'de görülmektedir. Buna göre, $h \geq 350$ mm olan kesitler için gövde donatısı öngörülmüştür. Paspayı kalınlıkları, bütün kolonlarda $d' = 4$ cm olarak alınmıştır.



Şekil 5.3 Kolon Enkesit Boyutlarını Tanımlayan Büyüklükler ve Donatı Yerleşim Düzeni

5.1 ÖRNEK 1 - İki Katlı Tek Açıklıklı Düzlem Çerçeve Sistem

Çerçeve sistemin geometrisi ve eleman numaraları Şekil 5.4 'de görölmektedir. Yapıda çerçeve aralıkları 4 m olarak seçilmiştir. Sistemin boyutlandırmasında ve hesabında aşağıdaki veriler kullanılmıştır.

Döşeme Kalınlığı (h_f) : 15 cm

Deprem Bölgesi : 1 , Yerel Zemin Sınıfı: Z1, Bina Önem Katsayısı (I) : 1

Hareketli yük katılım katsayısı $n = 0,30$

Spektrum Karakteristik Periyotları ; $T_A = 0,10$ sn. , $T_B = 0,30$ sn.

Birim şekil değıştirme sınırları Beton için ; $\epsilon_{cu} = 0,003$

Beton Çeliği için ; $\epsilon_{su} = 0,010$

Boyutlandırma aşamasında esas alınan veriler :

Beton Sınıfı : BS 25 , Beton Çeliği Sınıfı : BÇ III

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ($R_a(T)$) : 8

Kat deprem yükleri : $F_2 = 24.923$ kN, $F_1 = 13.884$ kN

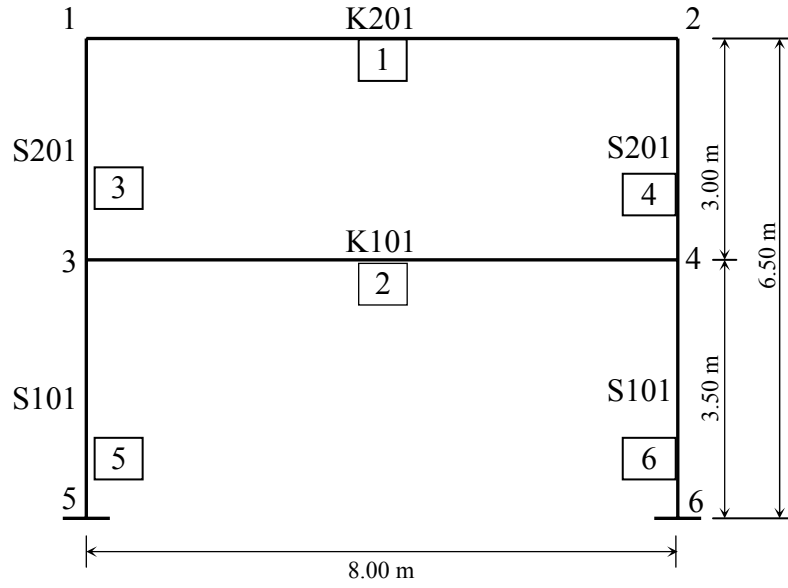
Sistem hesabı aşamasında esas alınan veriler :

Beton Sınıfı : BS 20 , Beton Çeliği Sınıfı : BÇ III

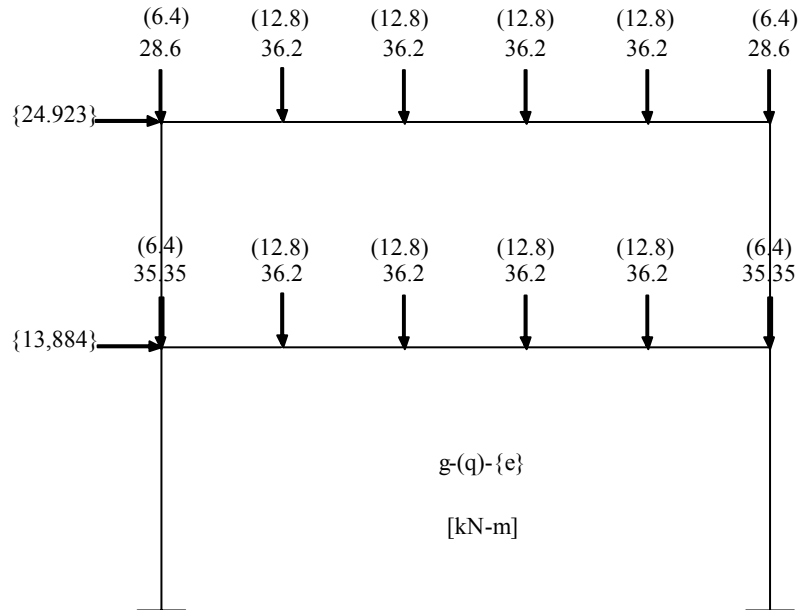
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ($R_a(T)$) : 5

Kat deprem yükleri : $F_2= 38.785$ kN, $F_1= 21.606$ kN

Boyutlandırmaya esas olan düşey yapı yükleri ve hareketli yükler ile yatay deprem kuvvetleri Şekil 5.5 'de bir arada gösterilmişlerdir.



Şekil 5.4 Çerçevenin Genel Görünüşü



Şekil 5.5 Tasarıma Esas Olan Yükler

Kirişler üzerindeki yayılı yükler yeterli sayıda eşdeğer tekil yüklere dönüştürülerek olası plastik mafsallık yerlerinin kontrol altında tutulması amaçlanmaktadır. Boyutlandırma sonucunda elde edilen kiriş ve kolon enkesit boyutları sırası ile Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Kiriş Enkesit Boyutları

Kat	Kiriş	b (cm)	b _w (cm)	h (cm)	h _f (cm)
2	K201	126	30	50	15
1	K101	126	30	50	15

Tablo 5.2 Kolon Enkesit Boyutları

Kat	Kolon	b (cm)	h (cm)
2	S201	30	30
1	S101	30	30

Kolonlarda boyuna donatı, çerçeve düzleminde enkesitin çekme ve basınç bölgelerine yerleştirilmiştir. Tablo 5.3 'de kolon ve Tablo 5.4 'de kiriş donatıları görülmektedir.

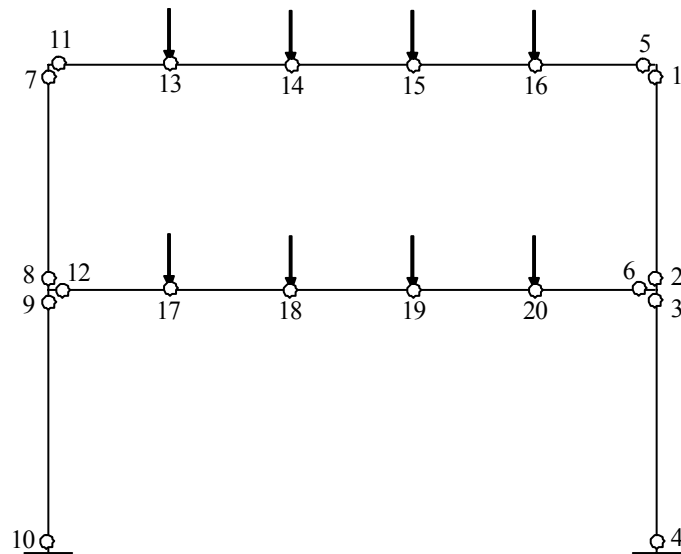
Tablo 5.3 Kolon Boyuna Donatıları

Kat	Kolon	Donatı
2	S201	6Φ20
1	S101	4Φ18

Tablo 5.4 Kiriş Boyuna Donatıları

Kat	Kiriş		Sol Mesnet Bölgesi	Açıklık Bölgesi	Sağ Mesnet Bölgesi
2	K201	Üst	2 Φ 22	2 Φ 22	2 Φ 22
		Alt	4 Φ 22	4 Φ 22	4 Φ 22
1	K101	Üst	4 Φ 18	2 Φ 18	4 Φ 18
		Alt	4 Φ 20	4 Φ 20	4 Φ 20

Yapı elemanlarının yukarıda belirtilen veriler doğrultusunda boyutlandırılması ve kesitlerin donatılmasında sonra, beton sınıfı ve deprem yükü azaltma katsayısı değiştirilerek sistem hesabı yapılmış ve elde edilen iç kuvvet değerleri Tablo 5.5'in 1. ve 2. sütunlarında, bu iç kuvvetler (normal kuvvetler) dikkate alınarak hesaplanan eğilme momenti taşıma kapasiteleri de Tablo 5.5 'in 3. sütununda verilmiştir. Tablo 5.5 'de en elverişsiz yükleme durumu olan 1.0G+1.0Q+1.0E deprem yüklemesine ait iç kuvvet değerleri yer almaktadır. Şekil 5.6 'da çerçeve sistemi üzerinde plastik mafsallara oluşabilecek kesitler görülmektedir. Ayrıca, Şekil 5.6 'da belirtilmemesine karşın ilave donatıların son bulunduğu (kiriş uçlardan $l/3 \cong 270$ cm) ve dolayısıyla dayanımın ani değişim gösterdiği kesitlerde de plastik mafsalları oluşumu izlenmiştir. İşlemlerin daha kolay izlenebilmesi açısından, bu kesitlerden sadece önemli olanlara ait değerler verilecektir.



Şekil 5.6 Plastik Mafsallara Oluşabilecek Kesitler

Tablo 5.5 İç Kuvvetler, Taşıma Kapasiteleri ve Kapasite Aşılma Miktarları

Kesit No	(1) M_{G+Q+E} (kNm)	(2) N (kN)	(3) M_p (kNm)	(4) $M-M_p$ (kNm) (1)-(3)	(5) M_E (kNm)	(6) Oluşma Olasılığı (4)/(5)
1	-104.09	140.86	-85.782	-18.308	-31.45	0.5821
2	91.51	140.86	85.782	5.728	26.73	0.2143
3	-81.85	299.63	-66.886	-14.964	-49.33	0.3033
4	72.62	299.63	66.886	5.734	56.36	0.1017
5	-104.09	-	-120.890	-	-	-
6	-173.36	-	-160.390	-12.97	-76.06	0.1705
7	-41.20	125.14	-85.032	-	-	-
8	38.05	125.14	85.032	-	-	-
9	16.80	245.87	62.800	-	-	-
10	-40.10	245.87	-62.800	-	-	-
11	-41.20	-	-120.89	-	-	-
12	-21.24	-	-160.39	-	-	-
14	168.85	-	244.12	-	-	-
18	153.11	-	203.30	-	-	-

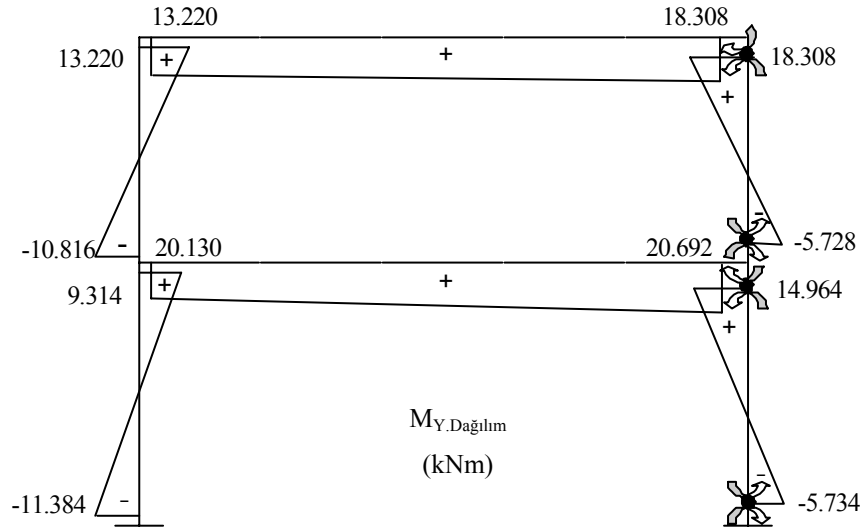
Tablo 5.5 ‘den izlenebileceği gibi 1,2,3,4 ve 6 kesitlerinde eğilme momenti değerleri kapasite değerlerini aşmaktadır. Bu durum, 4 numaralı düğüm noktasında düğüm noktası mekanizması olduğu izlenimi vermekle beraber, düğüm noktası moment denge denklemleri ve yeniden dağılım ilkesi uyarınca 2, 3 ve 6 kesitlerinden sadece ikisinde plastik mafsall oluşabileceği görülmektedir. Bu iki plastik mafsallın yerleri Tablo 5.5’in son sütununda yer alan plastik mafsall oluşma olasılıklarına göre belirlenir. Daha sonra plastik moment kapasiteleri dikkate alınarak düğüm noktası denge denklemi kontrol edilir. Denge denklemi sağlanmıyorsa, diğer bir deyişle diğer kesitteki eğilme momenti kendisine ait kapasite değerini aşıyorsa, bu kesit olası

plastik mafsal olarak alınır. Bu işlemlere düğüm noktası denge denklemleri ve kapasite kontrolleri sağlanana kadar devam edilir. Bu örnekte, plastik mafsal oluşma olasılığı daha yüksek olan 2 ve 3 kesitlerinde plastik mafsal meydana geleceği varsayılmış ve bu kesitlerdeki eğilme momenti taşıma kapasite değerleri göz önüne alınarak kontrol edilen denge denkleminde diğer kesitteki eğilme momentinin kesit kapasitesinin altında kaldığı görülmüştür. İzleyen aşamalarda da görüleceği üzere, 2 ve 3 kesitlerindeki kapasite fazlası momentlerin diğer kesitlere dağıtılması sonucunda, 6 kesitindeki eğilme momenti değeri de kapasite değerinin altına gerilemektedir. Muto yöntemi uygulanarak yapılan yeniden dağılımda kullanılmak üzere hesaplanan, çerçeve elemanlarına ait yardımcı değerler Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6 Muto Yöntemi Katsayıları

Eleman No	Muto Yöntemi Katsayıları
1-2	$I = 56.45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k = 7.05625 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$
3-4	$I = 6.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 2.25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 3.136111$, $a = 0.6106$, $\overline{D_j} = 5129 \text{ m}^4/\text{m}$, $y = 0.45h = 1.35 \text{ m}$
5-6	$I = 6.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 1.928571 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 3.658796$, $a = 0.734926$, $\overline{D_j} = 3887.61 \text{ m}^4/\text{m}$, $y = 0.55h = 1.925 \text{ m}$

Tablo 5.5 Sütun 4 'te hesaplanan 1, 2, 3 ve 4 kesitlerine ait fark eğilme momentleri ters yönlü moment çiftleri olarak plastik mafsalı sisteme yüklenir. Bu moment çiftlerinin dışında sisteme başka yük etkililemez. 4 ve 6 kolonlarının moment denge denklemleri yardımıyla bu kolonlara ait kesme kuvvetleri hesaplanır. Katların yatay denge denklemleri uyarınca, aynı kat içindeki diğer kolonların yeni kesme kuvveti değerleri bulunur. Bu kolonların kesme kuvvetlerinden oluşan kolon uç momentleri, Muto yöntemi ile bulunan moment sıfır noktaları yardımıyla hesaplanır. Daha sonra düğüm noktalarının denge denklemleri yardımıyla giriş uç momentleri elde edilir, Şekil 5.7.



Şekil 5.7 Yeniden Dağılımın Uygulanması

Yeniden dağılım tamamlandıktan sonra elde edilen iç kuvvet değerleri 1.0G+1.0Q+1.0E yüklemesine ait iç kuvvet değerlerine eklenir ve ilk aşamada oluşan plastik kesitlere ilave olarak, diğer kesitlerde eğilme momenti kapasitelerinin aşılp aşılmadığı kontrol edilir. Eğer kapasitesi yeni aşılacak kesitler varsa, benzer şekilde yeniden dağılım uygulanır. Sonuçta, denge denklemlerinin tamamının ve geometrik süreklilik koşullarının da kısmen sağlandığı ve tüm kesitlerinde $M \leq M_p$ koşulunu sağlayan bir iç kuvvet durumu elde edilmeye çalışılır. Bu örnekte, yeniden dağılım tek aşamada tamamlanmış ve yeniden dağılım sonucunda diğer kesitlerde eğilme momenti kapasitelerinin aşılmadığı gözlenmiştir, Tablo 5.7.

Bu örnekte, yeniden dağılım işlemi Bölüm 3.5.4 'te açıklanan yöntemle de hesaplanmış ve her iki yöntem ile bulunan sonuçlar EPARC bilgisayar programı ile elde edilen kesin çözüm ile karşılaştırılmıştır, Tablo 5.7.

Akma koşullarını sağlayan iç kuvvet durumunun ve plastik mafsallıkların yerlerinin elde edilmesinden sonra, sistemin plastik yer değiştirmeleri ve plastik mafsallıkların dönmeleri elde edilir. Bunun için Bölüm 3.5.3 'te açıklanan yol izlenir.

Tablo 5.7 Tüm Kesitlerinde $M \leq M_p$ Koşulunu ve Denge Denklemlerini Sağlayan Çözüm İçin Yaklaşık Yöntem, Kesin Yöntem ve EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kesit No	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	M_{G+Q+E} (kNm)	$M_{Y.Dağılım}$ Yaklaşık Yöntem (kNm)	$M_{Y.Dağılım}$ Kesin Yöntem (kNm)	$M_{Düzeltilmiş}$ Yaklaşık Yöntem (kNm) (1)+(2)	$M_{Düzeltilmiş}$ Kesin Yöntem (kNm) (1)+(3)	M_{Eparc} (kNm)	M_p (kNm)
1	-104.09	18.308	18,308	-85.782	-85.782	-85.740	-85.782
2	91.51	-5.728	-5,728	85.782	85.782	85.740	85.782
3	-81.85	14.964	14,964	-66.886	-66.886	-66.621	-66.886
4	72.62	-5.734	-5,734	66.886	66.886	66.621	66.886
5	-104.09	18.308	18,308	-85.782	-85.782	-85.740	-120.890
6	-173.36	20.692	20,692	-152.668	-152.668	-152.361	-160.390
7	-41.20	13.220	12,801	-27.980	-28.399	-28.215	-85.032
8	38.05	-10.816	-11,235	27.234	26.815	26.842	85.032
9	16.80	9.314	7,689	26.114	24.489	24.688	62.800
10	-40.10	-11.384	-13,009	-51.484	-53.109	-53.096	-62.800
11	-41.20	13.220	12,801	-27.980	-28.399	-28.215	-120.89
12	-21.24	20.130	18,924	-1.110	-2.326	-2.154	-160.39
14	168.85	9.474	9.265	178.324	178.115	178.227	244.12
18	153.11	14.341	13.587	167.451	166.697	166.913	203.30

Görelî Kat Yer Değıştirmelerinin Elde Edilmesi

Doğrusal olmayan şekil değıştirmelerden oluşan görelî kat ötelemeleri (3.17) yaklaşık bağıntısından yararlanarak hesaplanmaktadır.

2.Kat

$$V_2 = \frac{18.308 + 5.728}{3} = 8.012 kN$$

$$K_{c2} = \frac{6.75 * 10^{-4}}{3} = 2.25 * 10^{-4} m^3$$

$$K_{b\ddot{U}} = 0.75 \frac{56.45 * 10^{-4}}{8} = 5.29219 * 10^{-4} m^3$$

$$K_{bA} = 0.75 \frac{56.45 * 10^{-4}}{8} \left(\frac{6.75 * 10^{-4} / 3}{6.75 * 10^{-4} / 3 + 6.75 * 10^{-4} / 3.5} \right) = 2.84964 * 10^{-4} m^3$$

$$\delta_{p2} = \frac{8.012 * 3^2}{12 * 28 * 10^6} \left(\frac{1}{K_{bA}} + \frac{1}{K_{b\ddot{U}}} + \frac{1}{K_{c2}} \right) = 2.112 * 10^{-3} m$$

1.Kat

$$V_1 = \frac{14.964 + 5.734}{3.5} = 5.914 kN$$

$$K_{c1} = \frac{6.75 * 10^{-4}}{3.5} = 1.92857 * 10^{-4} m^3$$

$$K_{b\ddot{U}} = 0.75 \frac{56.45 * 10^{-4}}{8} \left(\frac{6.75 * 10^{-4} / 3.5}{6.75 * 10^{-4} / 3 + 6.75 * 10^{-4} / 3.5} \right) = 2.44255 * 10^{-4} m^3$$

$$\delta_{p1} = \frac{5.914 * (3.5)^2}{12 * 28 * 10^6} \left(\frac{1}{K_{b\ddot{U}}} + \frac{1}{K_{c1}} \right) = 2.000 * 10^{-3} m$$

Buna göre ikinci katın toplam plastik yer değiştirmesi

$$\delta_{Tepe} = \delta_{p1} + \delta_{p2} = 2.000 \times 10^{-3} + 2.112 \times 10^{-3} = 4.112 \times 10^{-3} m$$

değerini almaktadır.

Plastik Mafsal Dönmelerinin Elde Edilmesi

Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerden kaynaklanan plastik mafsal dönmeleri (3.20) ve (3.21) yaklaşık bağıntıları ile hesaplanacaktır. Bu bağıntılarda kullanılan yardımcı büyüklükler Tablo 5.8 ‘de verilmiştir.

Tablo 5.8 Plastik Mafsal Dönmesi Hesabında Kullanılacak Bazı Çubuklara Ait Karakteristik Değerler

Çubuk No	Çubuk Karakteristik Değerleri
1-2	$I = 56.45 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 79030 \text{ kNm}$
4	$I = 6.75 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 25200 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 12600 \text{ kNm/m}$
6	$I = 6.75 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 21600 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 9257.143 \text{ kNm/m}$

1 Kesitinde Meydana Gelen Plastik Mafsal Dönmesinin Hesabı

$$\theta_1^{12} = \frac{M_{21}}{m_{i\theta}^{12}} = \frac{18.308}{79030} = 2.31659 \times 10^{-4}$$

$$M_{24} = m_{i\theta}^{24} \theta_1^{24} + m_{i\theta}^{24} \theta_2^{42} + m_{i\delta}^{24} \delta_{24} \quad (m_{i\theta}^{24} = 0) \text{ kabul edilmiştir. } \delta_{24} = \delta_2$$

$$\theta_1^{24} = \frac{M_{24} - m_{i\delta}^{24} \delta_{24}}{m_{i\theta}^{24}} = \frac{18.308 + 12600 \times 2.112 \times 10^{-3}}{25200} = 1.782508 \times 10^{-3}$$

$$\theta_1 = \theta_1^{12} + \theta_1^{24} = 2.014167 \times 10^{-3}$$

2 Kesitinde Meydana Gelen Plastik Mafsal Dönmesinin Hesabı

$$\theta_2^{43} = \frac{M_{43}}{m_{i\theta}^{34}} = \frac{20.692}{79030} = 2.61824 * 10^{-4}$$

$$M_{42} = m_{i\theta}^{24} \theta_2^{42} + m_{i\theta}^{24} \theta_1^{24} + m_{i\delta}^{24} \delta_{24} \quad (m_{i\theta}^{24} = 0) \text{ kabul edilmiştir. } \delta_{24} = \delta_2$$

$$\theta_2^{42} = \frac{M_{42} - m_{i\delta}^{24} \delta_{24}}{m_{i\theta}^{24}} = \frac{-5.728 + 12600 * 2.112 * 10^{-3}}{25200} = 8.28698 * 10^{-4}$$

$$\theta_2 = \theta_2^{43} + \theta_2^{42} = 1.090522 * 10^{-3}$$

3 Kesitinde Meydana Gelen Plastik Mafsal Dönmesinin Hesabı

$$\theta_3^{43} = \theta_2^{43} = 2.61824 * 10^{-4}$$

$$M_{46} = m_{i\theta}^{46} \theta_3^{46} + m_{i\theta}^{46} \theta_4 + m_{i\delta}^{46} \delta_{46} \quad (m_{i\theta}^{46} = 0) \text{ kabul edilmiştir. } \delta_{46} = \delta_1$$

$$\theta_3^{46} = \frac{M_{46} - m_{i\delta}^{46} \delta_{46}}{m_{i\theta}^{46}} = \frac{14.964 + 9257.143 * 2.000 * 10^{-3}}{21600} = 1.549921 * 10^{-3}$$

$$\theta_3 = \theta_3^{43} + \theta_3^{46} = 1.811745 * 10^{-3}$$

4 Kesitinde Meydana Gelen Plastik Mafsal Dönmesinin Hesabı

$$M_{64} = m_{i\theta}^{46} \theta_4 + m_{i\theta}^{46} \theta_3^{46} + m_{i\delta}^{46} \delta_{46} \quad (m_{i\theta}^{46} = 0) \text{ kabul edilmiştir. } \delta_{46} = \delta_1$$

$$\theta_4 = \frac{M_{64} - m_{i\delta}^{46} \delta_{46}}{m_{i\theta}^{46}} = \frac{-5.734 + 9257.143 * 2.000 * 10^{-3}}{21600} = 5.91680 * 10^{-4}$$

Tablo 5.9 ve Tablo 5.10 ‘da, önerilen yaklaşık yöntem ile elde edilen yer değiştirmeler ve plastik mafsal dönmeleri EPARC bilgisayar programı ile hesaplanan kesin değerler ile karşılaştırılmıştır.

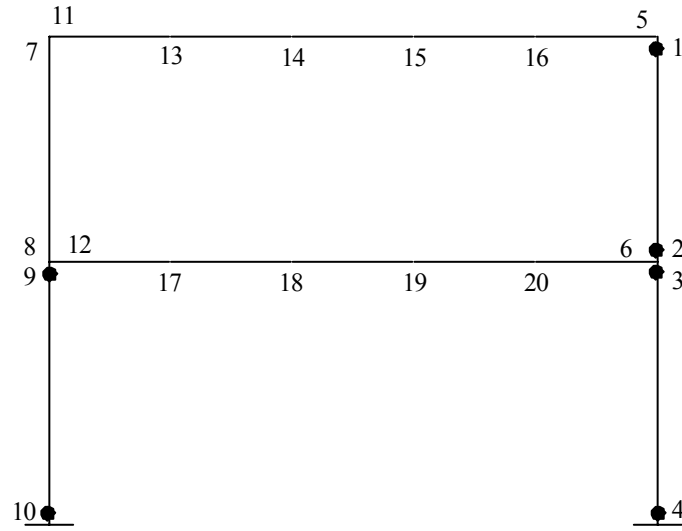
Tablo 5.9 Geliştirilen Yaklaşım İle Elde Edilen Plastik Yer Değiştirmelerin EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarıyla Karşılaştırması

Kat	$\delta_{elastik}$ 10^{-3} (m)	$\delta_{plastik}$ 10^{-3} (m) (Geliştirilen Yaklaşım)	$\delta_{plastik}$ 10^{-3} (m) (Geliştirilen Yaklaşım- Bilgisayarla)	$\delta_{plastik}$ 10^{-3} (m) (EPARC Bil.Prog.)	δ_{Toplam} 10^{-3} (m) Yaklaşım	δ_{Toplam} 10^{-3} (m) Yaklaşım- Bilgisayarla	δ_{Toplam} 10^{-3} (m) EPARC
2	10.550	4.112	4.230	4.116	14.662	14.780	14.666
1	6.850	2.000	1.980	1.953	8.850	8.830	8.803

Sistemin doğrusal elastik hesabı sonucunda, ilk plastik mafsallın meydana geldiği duruma ait yatay yer değiştirme $\delta_{elastik}$ olarak bulunmuştur. Bu durumda, hesap yükleri altında elde edilen taşıyıcı sistem süneklik oranı $\mu = \frac{\delta_{Toplam}}{\delta_{elastik}} = \frac{14.662 \times 10^{-3}}{4.330 \times 10^{-3}} = 3.3861$ değerini almaktadır. Ancak, hesap yükünden sonra meydana gelecek doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle, göçme yükü düzeyindeki süneklik oranı daha büyük değerlere ulaşmaktadır.

Tablo 5.10 Geliştirilen Yaklaşım İle Elde Edilen Plastik Mafsal Dönmelerinin EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarıyla Karşılaştırması

Plastik Mafsalın Adı	Geliştirilen Yaklaşım (10^{-4})	Geliştirilen Yaklaşım - Bilgisayarla (10^{-4})	EPARC Bilgisayar Programı (10^{-4})
θ_1	20.14167	19.8900	20.01260
θ_2	10.90522	10.7720	10.76320
θ_3	18.11745	18.2000	18.46456
θ_4	5.91680	4.5780	4.54342



Şekil 5.8 Birinci Mertebe Limit Yük İçin Plastik Mafsalların Yerleri

Şekil 5.8’de birinci mertebe limit yüke ait plastik mafsalların yerleri görülmektedir. Birinci mertebe limit yük mertebesine ulaşıldığında çerçeve sistem üzerinde bulunan plastik mafsallar sırasıyla 1-3-2-4-10 ve 9 kesitlerinde oluşmaktadır.

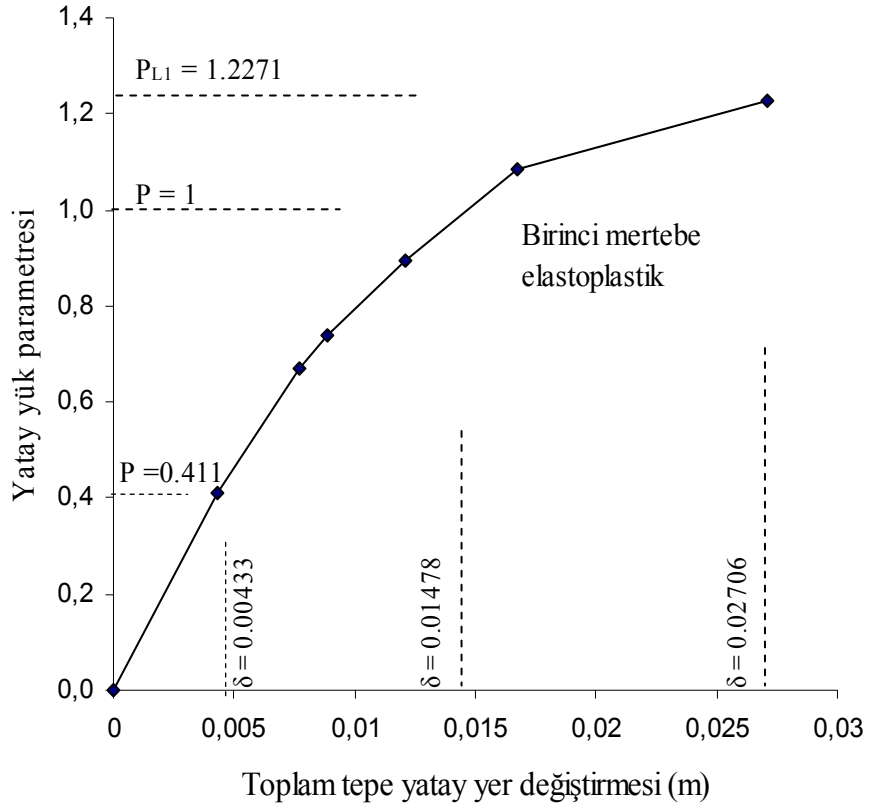
EPARC bilgisayar programı kullanılarak yapılan kesin hesap sonucunda elde edilen, göçme mekanizmasını oluşturan plastik mafsalların dağılımı Şekil 5.8 ‘de, sistemin mekanizma durumuna gelene kadar göstermiş olduğu davranışı ifade etmek üzere çizilen yatay yük parametresi-yer değiştirme diyagramı Şekil 5.9 ‘da ve yapılan hesabın sonuçlarının sayısal bir özetini ifade eden bazı değerler de Tablo 5.11 ‘de verilmektedir. Buna göre, sistemin limit yük parametresi

$$P_{L1} = 1.2271$$

değerini almaktadır. Bu limit yük parametresi değerine (göçme yükü düzeyine) ulaşıldığında, taşıyıcı sistem süneklik oranı

$$\mu = \frac{27.060 \times 10^{-3}}{4.330 \times 10^{-3}} = 6.2494$$

olarak bulunur.



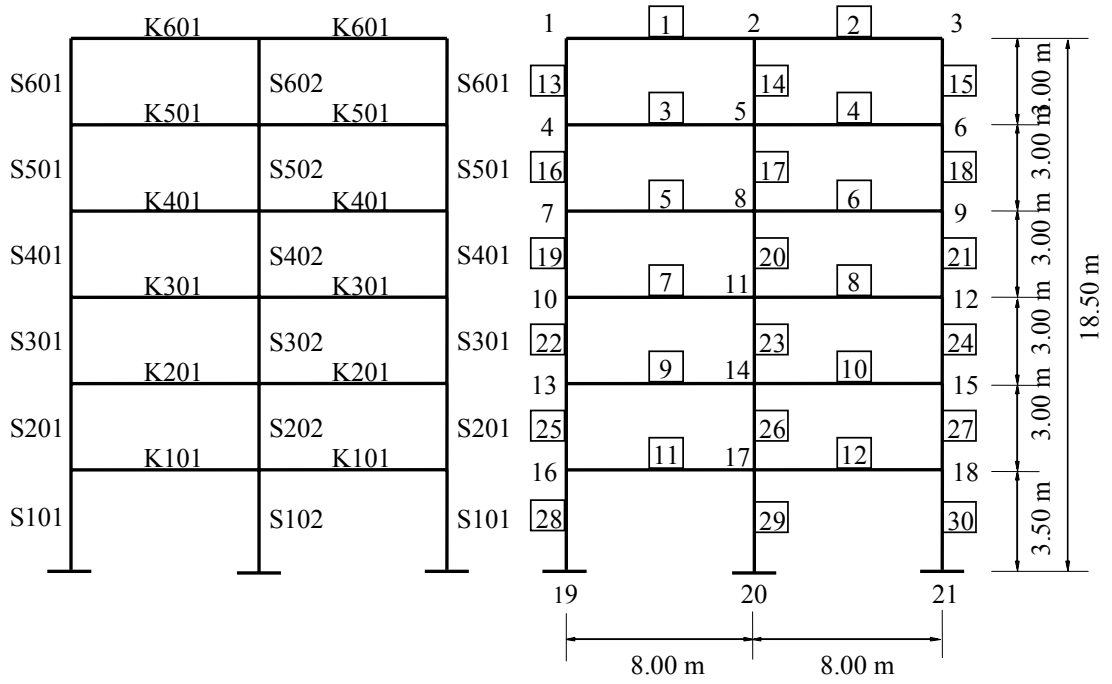
Şekil 5.9 Birinci Mertebe Kuramına Göre EPARC Bilgisayar Programı İle Elde Edilen Yatay Yük Parametresi-Yer Değişirme Diyagramı

Tablo 5.11 EPARC İle Sistem Hesabına Ait Bazı Sayısal Sonuçlar

Yatay Yük Parametresi		Plastik Kesit Sayısı			İlk Plastik Kesitin Oluştugu Yatay Yük Parametresi	
		Toplam	Kirişte	Kolonda	Kirişte	Kolonda
P_{L1}	1.2271	6	0	6	-	0.4110

5.2 ÖRNEK 2 - Altı Katlı İki Açıklıklı Düzlem Çerçeve Sistem

Çerçeve sistemin geometrisi ve eleman numaraları Şekil 5.10 'da görülmektedir. Taşıyıcı sistem simetrik olarak boyutlandırılmıştır ve düşey yükler de sisteme simetrik olarak etkimektedir. Yapıda çerçeve aralıkları 4 m olarak seçilmiştir. Sistemin boyutlandırmasında ve hesabında aşağıdaki veriler kullanılmıştır.



Şekil 5.10 Çerçevenin Genel Görünüşü

Döşeme Kalınlığı (h_f) : 15 cm

Deprem Bölgesi : 1 , Yerel Zemin Sınıfı: Z1, Bina Önem Katsayısı (I) : 1

Hareketli yük katılım katsayısı $n = 0,30$

Spektrum Karakteristik Periyotları ; $T_A = 0,10$ sn. , $T_B = 0,30$ sn.

Birim şekil değiştirme sınırları: Beton için $\epsilon_{cu} = 0,003$, Beton Çeliği için $\epsilon_{su} = 0,010$

Boyutlandırma aşamasında esas alınan veriler :

Beton Sınıfı : BS 25 , Beton Çeliği Sınıfı : BÇ III

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ($R_a(T)$) : 8

Kat deprem yükleri : $F_1 = 12.295$ kN, $F_2 = 22.050$ kN

$F_3 = 32.066$ kN, $F_4 = 41.961$ kN

$F_5 = 51.746$ kN, $F_6 = 50.867$ kN

Sistem hesabı aşamasında esas alınan veriler :

Beton Sınıfı : BS 20 , Beton Çeliği Sınıfı : BÇ III

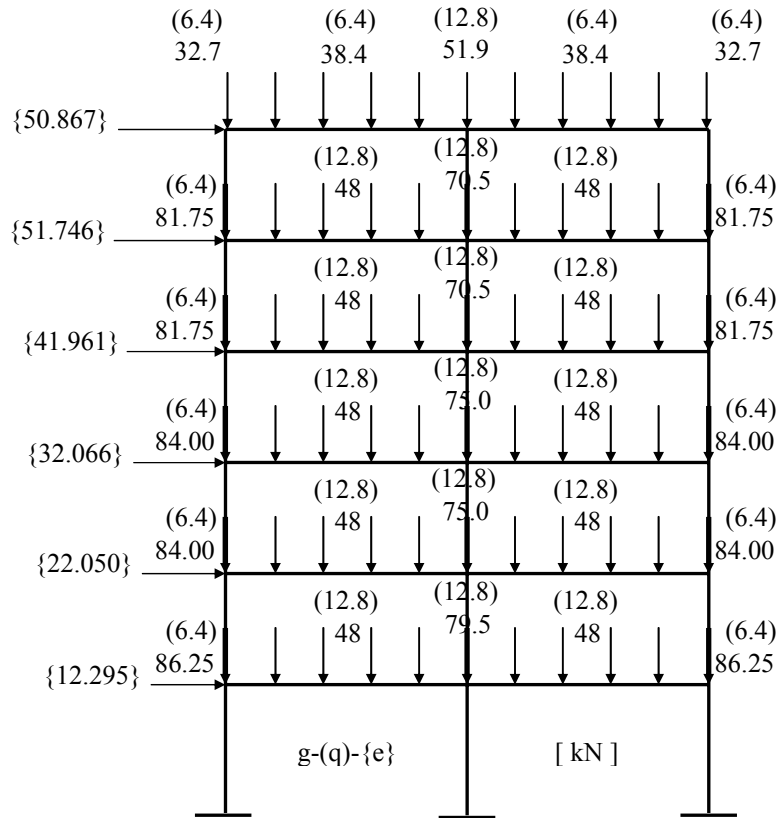
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ($R_a(T)$) : 5

Kat deprem yükleri : $F_1= 18.734$ kN, $F_2= 33.599$ kN

$F_3= 48.861$ kN, $F_4= 63.939$ kN

$F_5= 78.849$ kN, $F_6= 77.509$ kN

Boyutlandırmaya esas olan düşey yapı yükleri ve hareketli yükler ile yatay deprem kuvvetleri Şekil 5.11 'de bir arada gösterilmişlerdir.



Şekil 5.11 Tasarıma Esas Olan Yükler

Kirişler üzerindeki yayılı yükler önceki sayısal örnekte olduğu gibi yeterli sayıda eşdeğer tekil yüklere dönüştürülerek olası plastik mafsalları yerlerinin kontrol altında tutulması amaçlanmaktadır. Boyutlandırma sonucunda elde edilen kiriş enkesit

boyutları Tablo 5.12’de, kenar ve iç kolonların enkesit boyutları ise Tablo 5.13 ’te verilmiştir.

Tablo 5.12 Kiriş Enkesit Boyutları

Kat	Kiriş	b (cm)	b _w (cm)	h (cm)	h _f (cm)
Tüm Katlarda	K101-K601 Tüm Kirişlerde	126	30	60	15

Tablo 5.13 Kolon Enkesit Boyutları

Kat	Kolon	b (cm)	h (cm)
5-6	S501- S601	30	30
	S502-S602	30	40
3-4	S301- S401	30	40
	S302-S402	30	60
1-2	S101- S201	30	50
	S102-S202	30	80

Kolonlarda boyuna donatı, çerçeve düzleminde enkesitin çekme ve basınç bölgelerine yerleştirilmiş, ayrıca yeterli sayıda gövde donatısı konulmuştur. Tablo 5.14 ’te kolon ve Tablo 5.15 ’de kiriş boyuna donatıları görülmektedir.

Tablo 5.14 Kolon Boyuna Donatıları

Kat	Kolon	Donatı	Kolon	Donatı
5-6	S501-S601	4Φ18	S502-S602	4Φ20
3-4	S301-S401	4Φ20	S302-S402	4Φ22+4Φ14
1-2	S101-S201	4Φ20+4Φ14	S102-S202	4Φ22+4Φ18

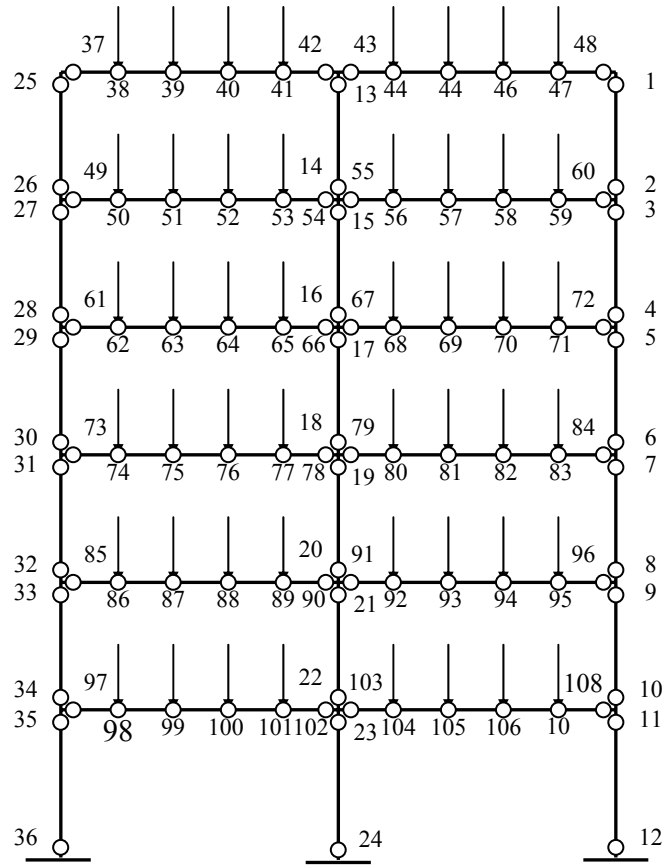
Tablo 5.15 Kiriş Boyuna Donatıları

Kat	Kiriş		Sol Mesnet Bölgesi	Açıklık Bölgesi	Sağ Mesnet Bölgesi
6	K601	Üst	2Φ20	2Φ20	6Φ20
		Alt	3Φ20	3Φ20	3Φ20
5	K501	Üst	2Φ22	2Φ22	6Φ22
		Alt	3Φ22	3Φ22	3Φ22
4	K401	Üst	3Φ22	2Φ22	6Φ22
		Alt	3Φ20	3Φ20	3Φ20+1Φ16
3	K301	Üst	2Φ22+2Φ20	2Φ22	6Φ22
		Alt	3Φ20	3Φ20	3Φ20+1Φ16
2	K201	Üst	3Φ20+2Φ22	2Φ20	6Φ20+2Φ22
		Alt	3Φ20	3Φ20	3Φ20+1Φ22
1	K101	Üst	3Φ20+2Φ22	2Φ20	6Φ20+2Φ22
		Alt	3Φ20	3Φ20	3Φ20+1Φ22

Tablo 5.15 ‘de verilen kiriş boyuna donatıları çerçevenin sol açıklığı esas alınarak verilmiştir, sağ açıklıklarda ise donatı düzeni simetrik olacaktır. Yapı elemanlarının yukarıda belirtilen veriler doğrultusunda boyutlandırılması ve kesitlerin donatılmasından sonra, beton sınıfı ve deprem yükü azaltma katsayısı değiştirilerek sistem hesabı yapılmış ve elde edilen iç kuvvet değerleri Tablo 5.16 ‘nın 1. ve 2. sütunlarında, bu iç kuvvetler (normal kuvvetler) dikkate alınarak hesaplanan eğilme momenti taşıma kapasiteleri de 3. sütunda verilmiştir. Tablo 5.16 ‘da en elverişsiz yükleme durumu olan 1.0G+1.0Q+1.0E deprem yüklemesine ait iç kuvvet değerleri yer almaktadır. Şekil 5.12 ‘de çerçeve sistemi üzerinde plastik mafsall oluşabilecek kesitlerin yerleri görülmektedir. Ayrıca, Şekil 5.12 ‘de belirtilmemesine karşın ilave donatıların son bulunduğu (kiriş uçlardan $l/3 \cong 270$ cm uzaklıkta) ve dolayısıyla dayanımın ani değişim gösterdiği kesitlerde de plastik mafsall oluşumu izlenmiştir. İşlemlerin daha kolay izlenebilmesi açısından, bu kesitlerden sadece önemli olanlara ait değerler verilecektir.

Tablo 5.16 İç Kuvvetler, Taşıma Kapasiteleri ve Kapasite Aşılma Miktarları

Kesit No	Kesitin Üzerinde Bulunduğu Elemanın Türü	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		M_{G+Q+E} (kNm)	N (kN)	M_p (kNm)	$M-M_p$ (kNm) (1)-(3)	M_E (kNm)	Oluşma Olasılığı (4)/(5)
1	Kolon	-70.452	127.890	-53.831	-16.621	-29.550	0.5625
2	Kolon	66.492	127.890	53.831	12.661	26.368	0.4802
3	Kolon	-94.682	338.913	-69.872	-24.810	-58.233	0.4260
4	Kolon	89.323	338.913	69.872	19.451	55.768	0.3488
5	Kolon	-147.702	568.178	-136.906	-10.796	-79.524	0.1358
6	Kolon	139.238	568.178	136.906	2.332	75.561	0.0309
7	Kolon	-149.405	812.173	-112.904	-36.501	-95.172	0.3835
8	Kolon	139.930	812.173	112.904	27.026	90.639	0.2982
9	Kolon	-196.810	1066.449	-180.577	-16.233	-110.921	0.1463
10	Kolon	198.174	1066.449	180.577	17.597	113.015	0.1557
11	Kolon	-135.463	1322.471	-145.468	-	-	-
12	Kolon	155.838	1322.471	145.468	10.370	131.715	0.0787
15	Kolon	-125.622	680.001	-127.734	-	-	-
16	Kolon	115.451	680.001	127.734	-	-	-
19	Kolon	-223.589	1397.208	-240.931	-	-	-
24	Kolon	469.706	2107.350	341.110	128.596	469.706	0.2738
48	Kiriş	-70.452	-	-124.370	-	-	-
60	Kiriş	-161.174	-	-149.410	-11.764	-84.601	0.1391
72	Kiriş	-237.025	-	-220.710	-16.315	-135.292	0.1206
78	Kiriş	-419.863	-	-425.700	-	-	-
84	Kiriş	-288.643	-	-266.720	-21.923	-170.732	0.1284
96	Kiriş	-336.740	-	-324.360	-12.380	-201.559	0.0614
98	Kiriş	144.168	-	188.450	-	-	-
102	Kiriş	-446.311	-	-476.950	-	-	-
108	Kiriş	-333.638	-	-324.360	-9.278	-200.233	0.0463



Şekil 5.12 Plastik Mafsal Oluşabilecek Kesitler

Tablo 5.16 ‘dan izlenebileceği gibi 1-10, 12, 24, 60, 72, 84, 96 ve 108 kesitlerinde eğilme momenti değerleri kapasite değerlerini aşmaktadır. Bu durum, 6, 9, 12 ve 15 numaralı düğüm noktalarında düğüm noktası mekanizması olduğu izlenimi vermektedir. Ancak, düğüm noktası moment denge denklemleri ve yeniden dağılım ilkesi uyarınca bu düğüm noktalarının her birine bağlanan n adet elemandan sadece n-1 tanesinin değerlendirilen düğüm noktasına bağlanan ucunda plastik mafsal oluşabileceği görülmektedir. Bu düğüm noktaları için, Tablo 5.16 ‘nın son sütununda yer alan plastik mafsal oluşma olasılıkları dikkate alınarak 6, 60, 72 ve 96 kesitlerinde plastik mafsal oluşmayacağı öngörüsü yapılmıştır. İzleyen adımda, plastik moment kapasiteleri dikkate alınarak düğüm noktası denge denklemi kontrol edilmiş ve sadece 12 düğüm noktasında denge denkleminin sağlamadığı görülmüştür. Aynı düğüm noktasına bağlanan 84 numaralı kesit için yeni bir öngörü yapılmış ve bunun sonucunda denge denkleminin sağladığı görülmüştür. Muto yöntemi uygulanarak yapılan yeniden dağılımda kullanılmak üzere hesaplanan, çerçeve elemanlarına ait yardımcı değerler Tablo 5.17 ‘de verilmiştir.

Tablo 5.17 Muto Yöntemi Katsayıları

Eleman No	Muto Yöntemi Katsayıları
1,2,...,12	$I = 97.2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k = 12.15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$
13-15-16-18	$I = 6.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 2.25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 5.40$, $a = 0.729730$, $\overline{D_j} = 164.189 \text{ cm}^4/\text{cm}$
14-17	$I = 16.00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 5.333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 4.55625$, $a = 0.694948$, $\overline{D_j} = 370.638 \text{ cm}^4/\text{cm}$
19-21-22-24	$I = 16.00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 5.333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 2.278125$, $a = 0.532506$, $\overline{D_j} = 284.003 \text{ cm}^4/\text{cm}$
20-23	$I = 54.00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 18.000 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 1.350$, $a = 0.402985$, $\overline{D_j} = 725.373 \text{ cm}^4/\text{cm}$
25-27	$I = 31.25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 10.4167 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 1.166396$, $a = 0.368367$, $\overline{D_j} = 383.717 \text{ cm}^4/\text{cm}$
26	$I = 128.00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 42.66667 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 0.569531$, $a = 0.221648$, $\overline{D_j} = 945.698 \text{ cm}^4/\text{cm}$
28-30	$I = 31.25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 8.92857 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 1.360800$, $a = 0.553678$, $\overline{D_j} = 494.355 \text{ cm}^4/\text{cm}$
29	$I = 128.00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $k_c = 36.57143 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$, $\bar{k} = 0.664453$, $a = 0.1426535$, $\overline{D_j} = 521.704 \text{ cm}^4/\text{cm}$

Tablo 5.16 Sütun 4'te hesaplanan, 1-10, 12, 24, ve 108 kesitlerine ait fark eğilme momentleri ters yönlü moment çiftleri olarak dış yüksüz plastik mafsallı sisteme yüklenir. Yeniden dağılım aşaması iki ayrı işlemin toplamı olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisinde, üzerinde plastik mafsal olduğu öngörülen kirişlerde ve/veya plastik mafsal oluşan kolon uçlarındaki fark momentlerin yeniden dağılımından dolayı uç momentinin (düğüm noktası denge denklemi uyarınca)

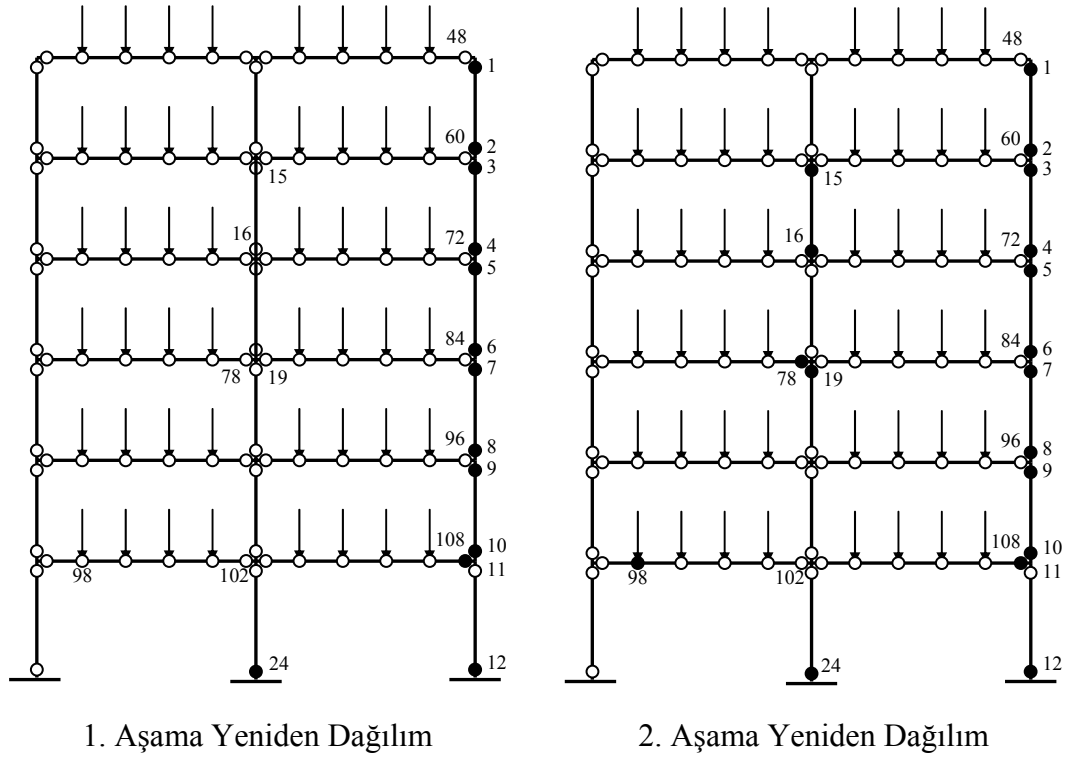
değiştirdiği kirişlerde, fark momentlerin diğer kirişler üzerinde dağılımı işlemi yapılmıştır. İkincisinde ise, kolonlarda meydana gelen fark momentlerin yatay denge denklemini ve mümkün olduğu oranda geometrik süreklilik koşullarını sağlayacak şekilde yeniden dağılımı işlemi yapılmıştır. Kirişlerdeki yeniden dağılımın yatay dengeyi etkilemesi halinde, bu durum kolonlardaki yeniden dağılım sırasında dikkate alınmıştır. Ayrıca, kolonlardaki yeniden dağılım sonrasında, düğüm noktaları dengelenerek kiriş uç momentleri yeniden elde edilmektedir. Yaklaşımda izlenen yol, sırasıyla katların yatay izdüşüm dengelerini ve düğüm noktalarının moment dengelerini sağlayacak şekilde gelişmektedir. Sistemin düşey dengesi korunmak şartıyla kirişlerdeki düşey kuvvet aktarımı serbest bırakılmaktadır. Böylece, kiriş uç momentlerindeki değişim çubuk denge denklemleri yardımıyla kiriş kesme kuvvetine, buradan da kolonlara ait normal kuvvetlere yansıtılmaktadır. Kolon normal kuvvetlerindeki bu değişimler sonucunda, gerekli görüldüğü takdirde kapasite değerleri yeniden hesaplanabilir.

Yeniden dağılım tamamlandıktan sonra elde edilen iç kuvvet değerleri 1.0G+1.0Q+1.0E yüklemesine ait plastik mafsalsız sistemde başlangıçta hesaplanan iç kuvvet değerlerine eklenmiştir. Bunun sonucunda, ilk aşamada oluşan plastik mafsallardaki eğilme momenti değerlerinin kapasite değerlerine eşit veya daha küçük olduğu ($M \leq M_p$), buna karşın 15, 16, 19, 78 ve 98 numaralı kesitlerde yeni kapasite aşılımları gözlenmiştir, Tablo 5.18. Kapasitesi yeni aşılan kesitlerde, bir önceki aşamadaki işlemlere benzer şekilde fark momentler ters yönlü moment çiftleri olarak, bir önceki aşamada oluşan plastik mafsallar ile bu aşamada yeni oluşan plastik mafsalların üzerinde bulunduğu dış yüksüz taşıyıcı sisteme yüklenerek yeniden dağılım gerçekleştirilmiştir. Elde edilen iç kuvvet değerleri bir önceki aşama sonunda elde edilen değerlere eklenerek herhangi diğer bir kesitte yeni bir kapasite aşılması olup olmadığı kontrol edilmiştir ve herhangi yeni bir kesitte plastik mafsall oluşmadığı gözlenmiştir.

Sonuçta, denge denklemlerinin tamamının ve geometrik süreklilik koşullarının da kısmen sağlandığı ve tüm kesitlerinde $M \leq M_p$ koşulunu sağlayan bir iç kuvvet durumu elde edilmiştir, Şekil 5.13.

Tablo 5.18 İlk Yeniden Dağılım Sonucunda Oluşan Eğilme Momenti Değerleri ve Eğilme Momentinin Yeni Aşıldığı Kesitlere Ait Fark Değerler

Kesit No	Kesitin Üzerinde Bulunduğu Elemanın Türü	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		M_{G+Q+E} (kNm)	ΔM_{YD} (kNm)	$(M_{G+Q+E})'$ (kNm) (1)+(2)	M_p (kNm)	$M-M_p$ (kNm) (3)-(4)
1	Kolon	-70.452	16.621	-53.831	-53.831	-
2	Kolon	66.492	-12.661	53.831	53.831	-
3	Kolon	-94.682	24.810	-69.872	-69.872	-
4	Kolon	89.323	-19.451	69.872	69.872	-
5	Kolon	-147.702	10.796	-136.906	-136.906	-
6	Kolon	139.238	-2.332	136.906	136.906	-
7	Kolon	-149.405	36.501	-112.904	-112.904	-
8	Kolon	139.930	-27.026	112.904	112.904	-
9	Kolon	-196.810	16.233	-180.577	-180.577	-
10	Kolon	198.174	-17.597	180.577	180.577	-
11	Kolon	-135.463	-8.319	-143.463	-145.468	-
12	Kolon	155.838	-10.370	145.468	145.468	-
15	Kolon	-125.622	-13.913	-139.535	-127.734	-11.801
16	Kolon	115.451	14.372	129.823	127.734	2.089
19	Kolon	-223.589	-18.990	-242.579	-240.931	-1.648
24	Kolon	469.706	-128.596	341.110	341.110	-
48	Kiriş	-70.452	16.621	-53.831	-124.370	-
60	Kiriş	-161.174	37.471	-123.703	-149.410	-
72	Kiriş	-237.025	30.247	-206.778	-220.710	-
78	Kiriş	-419.863	-20.755	-440.618	-425.700	-14.918
84	Kiriş	-288.643	38.833	-249.810	-266.720	-
96	Kiriş	-336.740	43.259	-293.481	-324.360	-
98	Kiriş	144.168	46.596	190.764	188.450	2.314
102	Kiriş	-446.311	-26.476	-472.787	-476.950	-
108	Kiriş	-333.638	9.278	-324.360	-324.360	-



Şekil 5.13 Plastik Mafsalların Yerleri ve Oluşma Aşamaları

Yaklaşık yöntem ve Bölüm 3.5.4 'te açıklanan kesin yöntem ile elde edilen sonuçlar, EPARC bilgisayar programı sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların önemli derecede yaklaştığı gözlenmiştir, Tablo 5.19. Ancak, değerlerdeki yaklaşıklık arttırmak için, dengeleme sırasında kolon normal kuvvetlerinde meydana gelen değişim göz önüne alınarak hesaplar tekrarlanmış ve bu yaklaşımdan elde edilen değerlerin kesin değerlere daha da yaklaştığı gözlenmiştir. Bu nedenle, yaklaşımın uygulanması sırasında yeniden dağılımda elde edilen kiriş uç momentlerindeki değişim dikkate alınarak, çubuk denge denklemleriyle kiriş kesme kuvvetlerine, düğüm noktası düşey denge denklemleri kullanılarak da kolonların düzeltilmiş normal kuvvetlerine geçilmiştir. Bu değerler göz önüne alınarak kolon uç kesitlerinin eğilme momenti taşıma kapasiteleri yeniden elde edilmiştir. Yeni kapasite değerleri kullanılarak hesaplar tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlardan kritik bazı kesitlere ait değerler Tablo 5.19 'un (5) numaralı sütunda verilmiştir.

Tablo 5.19 Tüm Kesitlerinde $M \leq M_p$ Koşulunu ve Tüm Denge Denklemlerini Sağlayan Çözüm İçin Yaklaşık Yöntem, Kesin Yöntem ve EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kesit No	(1) M_{G+Q+E} (kNm)	(2) M_p (kNm)	(3) $M_{Düzeltilmiş}$ Yaklaşık Yöntem (kNm)	(4) $M_{Düzeltilmiş}$ Kesin Yöntem (kNm)	(5) $M_{Düzeltilmiş}$ Kesin Yöntem (İndirgenmiş Kapasitelerle) (kNm)	(6) M_{Eparc} (kNm)
1	-70.452	-53.831	-53.831	-53.831	-53.743	-53.700
2	66.492	53.831	53.831	53.831	53.743	53.700
3	-94.682	-69.872	-69.872	-69.872	-69.421	-69.400
4	89.323	69.872	69.872	69.872	69.421	69.872
5	-147.702	-136.906	-136.906	-136.906	-135.944	-135.800
6	139.238	136.906	136.906	136.906	135.944	135.800
7	-149.405	-112.904	-112.904	-112.904	-114.337	-114.550
8	139.930	112.904	112.904	112.904	114.337	114.550
9	-196.810	-180.577	-180.577	-180.577	-182.998	-183.200
10	198.174	180.577	180.577	180.577	182.998	180.350
11	-135.463	-145.468	-143.782	-143.782	-141.361	-144.050
12	155.838	145.468	145.468	145.468	147.763	147.950
15	-125.622	-127.734	-127.734	-127.734	-126.511	-126.450
16	115.451	127.734	127.734	127.734	126.511	126.450
19	-223.589	-240.931	-240.931	-240.931	-236.747	-236.250
24	469.706	341.110	341.110	341.110	331.415	330.800
48	-70.452	-124.370	-53.831	-53.831	-53.743	-53.700
60	-161.174	-149.410	-123.703	-123.703	-123.164	-123.100
72	-237.025	-220.710	-206.778	-206.778	-205.365	-205.200
78	-419.863	-425.700	-425.700	-425.700	-425.700	-425.700
84	-288.643	-266.720	-249.810	-249.810	-250.281	-250.350
96	-336.740	-324.360	-293.481	-293.481	-297.335	-297.750
98	144.168	188.450	188.450	185.309	186.364	186.431
102	-446.311	-476.950	-472.035	-476.950	-476.950	-477.000
108	-333.638	-324.360	-324.360	-324.360	-324.360	-324.400

Plastik Görelî Kat Yer Değîştîrmelerinin Elde Edilmesi

Doğrusal olmayan şekil değîştîrmelerden meydana gelen görelî kat ötelemelerinin değeri (3.17) yaklaşık bağıntısından yararlanarak hesaplanmış ve aşağıda topluca verilmiştir.

6.Kat $\delta_{1-4} = 7.136 \times 10^{-4} m$

5.Kat $\delta_{4-7} = 16.733 \times 10^{-4} m$

4.Kat $\delta_{7-10} = 2.512 \times 10^{-4} m$

3.Kat $\delta_{10-13} = 7.785 \times 10^{-4} m$

2.Kat $\delta_{13-16} = 5.508 \times 10^{-4} m$

1.Kat $\delta_{16-19} = 17.914 \times 10^{-4} m$

Plastik Mafsal Dönmelerinin Elde Edilmesi

Doğrusal olmayan şekil değîştîrmelerden kaynaklanan plastik mafsal dönmeleri de (3.20) ve (3.21) yaklaşık bağıntıları ile hesaplanacaklardır. Bu bağıntılarda kullanılan yardımcı büyüklükler Tablo 5.20 'de verilmiştir.

Tablo 5.20 Plastik Mafsal Dönmesi Hesabında Kullanılacak Bazı Çubuklara Ait Karakteristik Değerler

Çubuk No	Çubuk Karakteristik Değerleri
1-12	$I = 97.20 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 136080 \text{ kNm}$
13,16	$I = 6.75 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 25200 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 12600 \text{ kNm/m}$
14,17,19,22	$I = 16.00 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 59733 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 29867 \text{ kNm/m}$
20,23	$I = 54.00 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 201600 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 100800 \text{ kNm/m}$
25	$I = 31.25 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 116667 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 58333 \text{ kNm/m}$
26	$I = 128.00 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 477867 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 238933 \text{ kNm/m}$
28	$I = 31.25 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 100000 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 42857 \text{ kNm/m}$
29	$I = 128.00 \times 10^{-4} m^4$, $m_{i\theta i} = 409600 \text{ kNm}$, $m_{i\delta} = 175543 \text{ kNm/m}$

Bu çalışmada önerilen yaklaşım ile elde edilen ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerden kaynaklanan plastik yer değiştirmeler ve plastik mafsallı dönmeleri Tablo 5.21 ve Tablo 5.22 üzerinde kesin hesap sonuçları ile karşılaştırılmışlardır.

Tablo 5.21 Geliştirilen Yaklaşım İle Elde Edilen Plastik Yer Değiştirmelerin EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarıyla Karşılaştırması

Kat	$\delta_{elastik}$ 10^{-3} (m)	$\delta_{plastik}$ 10^{-3} (m) (Geliştirilen Yaklaşım)	$\delta_{plastik}$ 10^{-3} (m) (Geliştirilen Yaklaşım- Bilgisayarla)	$\delta_{plastik}$ 10^{-3} (m) (EPARC Bil.Prog.)	δ_{Toplam} 10^{-3} (m) Yaklaşım	δ_{Toplam} 10^{-3} (m) Yaklaşım- Bilgisayarla	δ_{Toplam} 10^{-3} (m) Yaklaşım- Bilgisayarla Normal Kuvvet Düzeltilmeli	δ_{Toplam} 10^{-3} (m) EPARC
6	28.467	5.759	5.810	6.410	34.226	34.277	34.567	34.877
5	25.289	5.045	5.220	5.850	30.334	30.509	30.779	31.138
4	19.135	3.372	3.609	3.996	22.507	22.744	22.850	23.131
3	14.415	3.121	3.169	3.354	17.536	17.584	17.624	17.769
2	8.755	2.342	2.256	2.430	11.097	11.011	11.112	11.185
1	4.112	1.791	1.659	1.811	5.903	5.771	5.862	5.923

Sistem süneklik oranı $\mu = \frac{\delta_{Toplam}}{\delta_{elastik}} = \frac{34.877 \times 10^{-3}}{12.130 \times 10^{-3}} = 2.8753$ olarak elde edilmiştir.

Bununla beraber, taşıyıcı sistemin göçmeden önce bir miktar daha plastik yer değiştirme yapabileceği ve süneklik oranının artacağı göz önünde tutulmalıdır.

EPARC çözümünden farklı olarak, 10 ve 98 numaralı kesitlerde plastik mafsallı elde edilmiş; fakat buna karşın 102 numaralı kesitte plastik mafsallı oluşmamıştır. Ancak, bu kesitlerde eğilme momentleri kapasiteye çok yakın değerler almaktadır. Bu nedenle, meydana gelen farklılık terk edilebilecek mertebededir, Tablo 5.22.

Tablo 5.22 Geliştirilen Yaklaşım İle Elde Edilen Plastik Mafsal Dönmelerinin EPARC Bilgisayar Programı Sonuçlarıyla Karşılaştırması

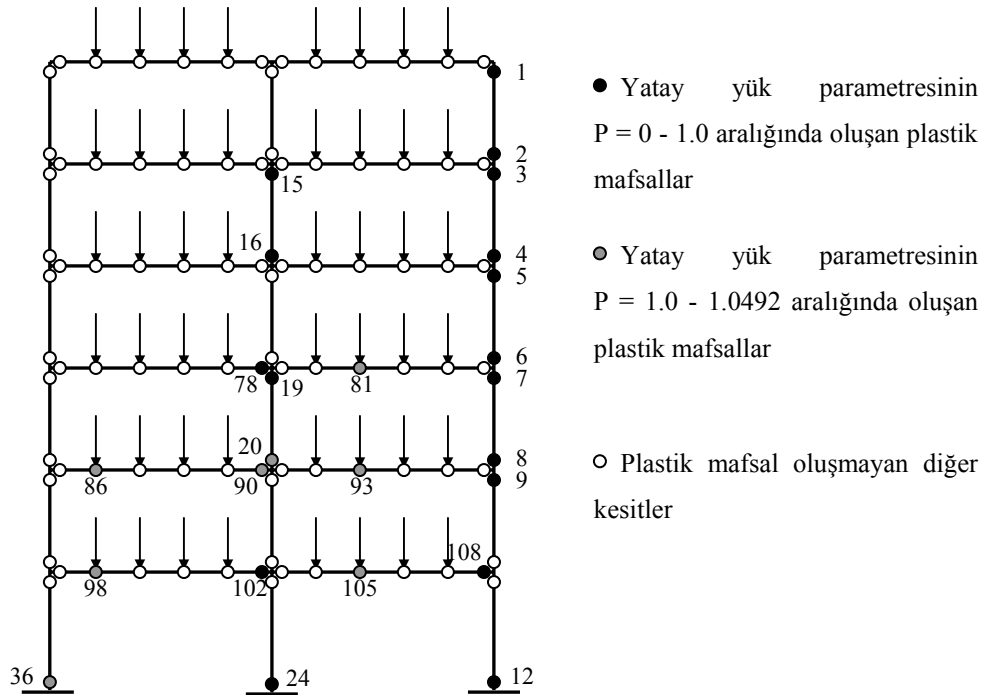
Plastik Mafsalın Adı	Geliştirilen Yaklaşım (10^{-4})	Geliştirilen Yaklaşım-Bilgisayarla (10^{-4})	Geliştirilen Yaklaşım-Bilgisayarla (Normal Kuvvet Düzeltmeli) (10^{-4})	EPARC Bilgisayar Programı (10^{-4})
θ_1	10.6346	10.3400	10.4461	10.4003
θ_2	11.3458	9.1470	8.9349	8.6629
θ_3	20.9653	20.9290	18.6322	18.3578
θ_4	13.8624	13.1183	13.9682	13.1568
θ_5	5.2861	7.4990	7.5510	7.5757
θ_6	4.5001	5.3125	5.5038	5.4441
θ_7	12.8570	12.1310	11.9510	11.9155
θ_8	11.5959	9.7061	9.4082	8.9467
θ_9	7.3243	7.7160	7.2730	6.8906
θ_{10}	1.1108	0.2310	0.6920	-
θ_{12}	6.6404	6.6765	6.5077	6.8038
θ_{15}	6.391	5.4273	6.1877	6.1051
θ_{16}	0.8017	1.7692	2.4773	2.3118
θ_{19}	1.3100	0.0964	0.6400	0.5460
θ_{24}	10.8170	9.4640	10.1199	10.3780
θ_{78}	2.6935	1.9797	1.7900	2.3088
θ_{98}	0.0170	-	-	-
θ_{102}	-	0.4625	0.5796	0.6108
θ_{108}	6.1637	4.9558	5.8070	5.3748

Tablo 5.21, Tablo 5.22 ‘den görüldüğü üzere, kolon kapasite değerlerinde normal kuvvet değişiminden kaynaklanan düzeltmeler yapıldıktan sonra, geliştirilen yaklaşımdan elde edilen sonuçların kesin değerlere daha da yaklaştığı, diğer bir deyişle kapasitede yapılan düzeltmenin sonuçlara olumlu yönde etkilediği anlaşılmıştır. Yapılan düzeltmelerin, bazı kesitlerde yaklaşımdan elde edilen değerlerin kesin değerlerden uzaklaşmasına neden olduğunun gözlenmesine rağmen, bu kesitlerdeki değişimin küçük mertebelerde kaldığı belirlenmiştir.

EPARC bilgisayar programı kullanılarak yapılan kesin hesap sonucunda elde edilen; göçme mekanizmasını oluşturan plastik mafsalların dağılımı Şekil 5.14 ‘de, sistemin mekanizma durumuna gelene kadar göstermiş olduğu davranışı ifade etmek üzere yatay yük parametresi-yer değiştirme diyagramı Şekil 5.15 ‘de, plastik mafsalların oluşma sıraları ve yük parametresi değerleri Tablo 5.23 ‘de ve yapılan hesabın sonuçlarının sayısal bir özetini ifade eden bazı değerler de Tablo 5.24 ‘de verilmektedir. Buna göre, sistem limit yük parametresi

$$P_{L1} = 1.0492$$

değerini almaktadır.



Şekil 5.14 Birinci Mertebe Limit Yük İçin Plastik Mafsalların Yerleri

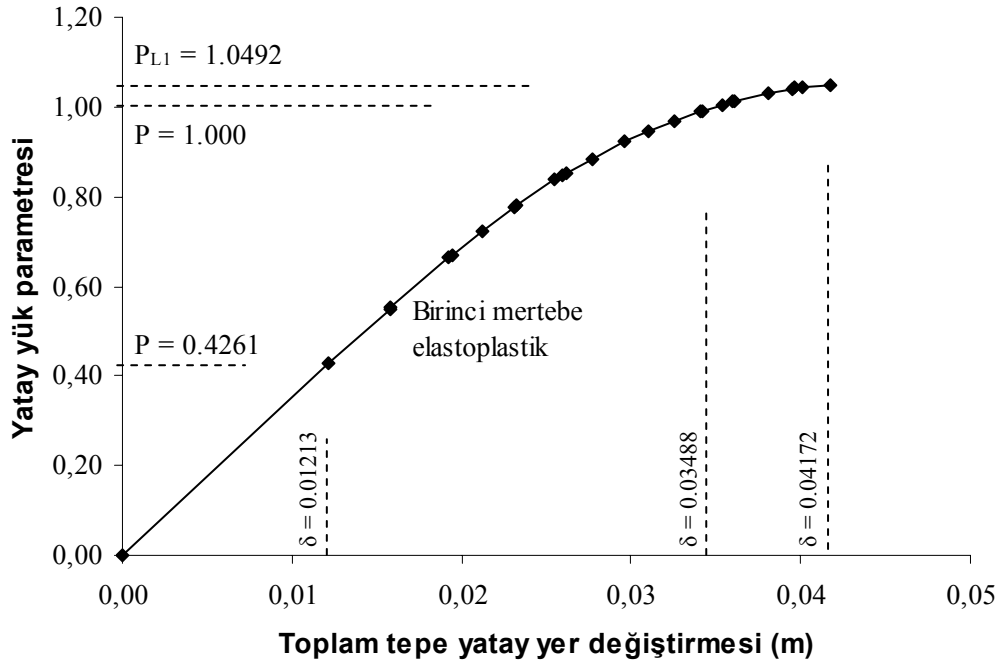
Tablo 5.23 Plastik Mafsalların Oluşma Sıraları ve Yatay Yük Parametresi Değerleri

Oluşma Sırası	Kesit Numarası	Yük Parametresi	Oluşma Sırası	Kesit Numarası	Yük Parametresi	Oluşma Sırası	Kesit Numarası	Yük Parametresi
1	1	0.426	11	6	0.853	21	81	1.030
2	3	0.551	12	108	0.885	22	93	1.041
3	2	0.551	13	15	0.921	23	105	1.042
4	7	0.664	14	78	0.945	24	86	1.044
5	4	0.670	15	16	0.969	25	36	1.049
6	24	0.723	16	102	0.990			
7	8	0.775	17	19	0.992			
8	5	0.780	18	98	1.005			
9	9	0.837	19	90	1.012			
10	12	0.846	20	20	1.013			

Limit yük parametresi değerine (göçme yükü düzeyine) ulaşıldığında taşıyıcı sistem süneklik oranı

$$\mu = \frac{41.720 \times 10^{-3}}{12.130 \times 10^{-3}} = 3.4394$$

olarak bulunur. EPARC Bilgisayar Programı kullanılarak yapılan sistem hesabına ait bazı sayısal sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.15 Birinci Mertebe Kuramına Göre EPARC Bilgisayar Programı İle Elde Edilen Yatay Yük Parametresi-Yer Değiştirme Diyagramı

Tablo 5.24 EPARC İle Sistem Hesabına Ait Bazı Sayısal Sonuçlar

Yatay Yük Parametresi		Plastik Kesit Sayısı			İlk Plastik Kesitin Oluştugu Yatay Yük Parametresi	
		Toplam	Kirişte	Kolonda	Kirişte	Kolonda
P_{L1}	1.0492	25	9	16	0.885	0.426

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Bu çalışmada, yapı sistemlerinin kapsamlı değerlendirme ölçeğinde deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla, basitleştirilmiş bir yaklaşım geliştirilmiştir. Plastik mafsallı varsayımını esas alan ve elastoplastik kuramın alt sınır teoremine dayanan bu yaklaşık hesap yöntemi, her aşamasında iç kuvvetlerin yeniden dağılımı ilkesinin uygulandığı ardışık adımlardan oluşmaktadır. Uygulanan yöntemde, mevcut yapı sisteminin hesap yükleri altındaki deprem güvenliği irdelenmekte, ayrıca sistemdeki plastik mafsallı oluşumunun elde edilmesi, plastik mafsallı dönmeleri ile toplam elastoplastik yer değiştirmelerin hesabı ve sistem süneklik oranının belirlenmesi mümkün olmaktadır.
2. Mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen yöntemden, aynı zamanda, depreme dayanıklı yapı tasarımı amacıyla da yararlanılabilir.
3. Verilen dış yükler altında doğrusal olmayan kurama göre sistem hesabını amaçlayan yöntemin yatay yüklerin artan değerleri için tekrarlanarak uygulanması suretiyle, yapı sistemlerinin kapasite diyagramları (Pushover eğrileri) elde edilebilmekte ve bu diyagramlar performansa dayalı tasarım ve değerlendirme amacıyla kullanılabilir.
4. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkilerinin (ikinci mertebe etkileri) önemli olduğu yapı sistemlerinde, verilen düşey işletme yüklerinden oluşan normal kuvvetleri hesaplamak ve eleman rijitlik katsayılarını (birim yer değiştirme sabitleri) ve yükleme sabitlerini (ankastrelik uç kuvvetleri) bu normal kuvvetlere bağlı olarak ikinci mertebe kuramından almak suretiyle, bu kurama göre hesap yapılabilir.

5. Düzlem çerçeve sistemler için geliştirilen basitleştirilmiş yaklaşım, önemli ölçüde burulma düzensizlikleri içermeyen uzay çerçeve sistemlere de uygulanabilir.
6. Geliştirilen yaklaşım az veya orta yükseklikteki çerçeve sistemlere yönelik olmasına rağmen, yüksek yapıları ve perde-çerçeve sistemleri de kapsayacak şekilde genişletilmeye açıktır.
7. Önerilen yaklaşımda yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışı yakından izlenebilmekte ve bu nedenle yapının deprem güvenliğinin belirlenmesinde mühendisin kişisel deneyim ve becerisini kullanmasına olanak sağlanmaktadır.
8. Çalışmada ayrıca, yeniden dağılım işlemlerinin doğrusal statik hesap yapan bilgisayar programları ile gerçekleştirilmesini sağlamak üzere, bir taşıyıcı sistem modeli önerilmiştir.
9. Yapılan sayısal uygulamalarda varılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.
 - a) Bu çalışmada önerilen basitleştirilmiş yaklaşımın uygulanmasında, genel olarak bir veya iki yeniden dağılım aşamasından sonra sonuca ulaşılabilir.
 - b) Basitleştirilmiş yaklaşım ile elde edilen sonuçların yeter yaklaşıklıkla kesin sonucu verdiği belirlenmiştir.
 - c) Düşey yükler ve 1998 Deprem yönetmeliğine uygun olarak belirlenen eşdeğer deprem kuvvetleri altında, süneklik düzeyi yüksek sistem olarak boyutlandırılan düzlem çerçeve sistemler, daha sonra süneklik düzeyi normal sistem olarak hesaplanmışlardır. Bu hesap sonucunda, incelenen çerçeve sistemlerin yeterli deprem dayanımına sahip oldukları gözlenmiştir. Bunun nedeni, sistemin bazı kesitlerdeki ek eğilme momenti kapasitelerinin sistem üzerinde yeniden dağılımından kaynaklanmaktadır.

d) Her iki örneğin boyutlandırılmasında da daha güçlü kolon tasarımı esas alınmamıştır. Daha güçlü kolon tasarımının uygulandığı ve bu nedenle plastik mafsalların daha çok kirişlerde olduğu yapı sistemlerinde, önerilen yöntemin daha hızlı sonuç vermesi ve yaklaşıklık oranının daha yüksek olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

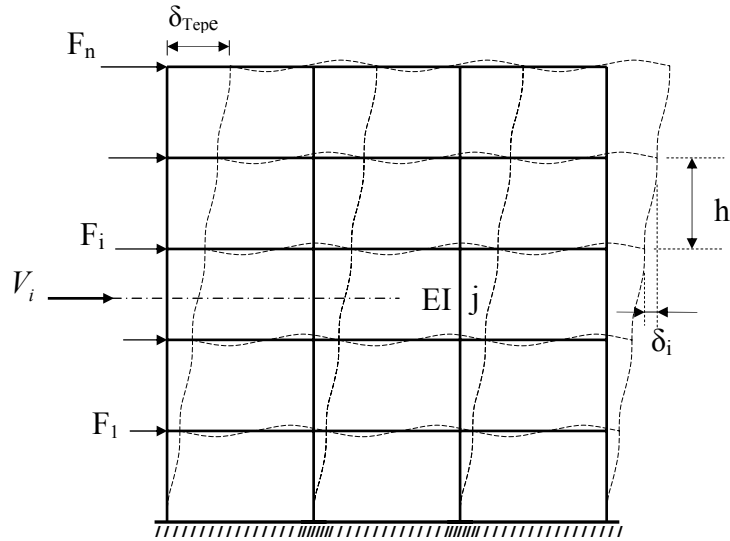
- [1] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [2] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [3] **FEMA-356**, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [4] **Eurocode-8**, 2003. Design of structures for earthquake resistance, Part 3 : Strengthening and repair of buildings, Brussels, *European Committee for Standardization*, Brussels.
- [5] **Parikh, B.P.**, 1966. Elastic-Plastic Analysis and Design of Unbraced Multistory Frames, *PhD Thesis*, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania.
- [6] **Özer, E.**, 1987. Determination of Second-Order Limit Load by a Method of Load Increments, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, 40, 4, 815 - 836.
- [7] **İrtem, E.**, 1991. Uzak Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Limit Yükün ve Göçme Güvenliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artımı Yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **SAP 2000**, 2000. Structural Analysis User' s Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [10] **Sucuoğlu, H., Günay, M.S.**, 2003. Orta Yükseklikli Betonarme Binalar İçin Basitleştirilmiş Deprem Dayanımı Değerlendirme Yöntemleri, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İTÜ, İstanbul, 26-30 Mayıs, s. 57-58.
- [11] **Özer, E.**, 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozer , İstanbul.
- [12] **Özer, E.**, 2000. İstanbul'daki Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, *İkinci İstanbul ve Deprem Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul, 27 Mayıs, s. 75-96.

- [13] **Özer, E., Pala, S., Orakdöğen, E., Girgin, K.,** 1999. Deprem Bölgelerindeki Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Rehabilitasyonu, **TDV/ TR 028-45**, *Türkiye Deprem Vakfı*, İstanbul.
- [14] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 2001. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [15] **İlki, A., Kumbasar, N.,** 2003. Compressive Behaviour of Carbon Fibre Composite Jacketed Concrete with Circular and Non-circular Cross-Sections, *Journal of Earthquake Engineering*, 7, 3, 381-406.
- [16] **İlki, A., Yılmaz, E., Demir, C., Kumbasar, N.,** 2004. Prefabricated SFRC Jackets For Seismic Retrofit of Non-Ductile Reinforced Concrete Columns, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., 1-6 August .
- [17] **TS-498**, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [18] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [19] **TS-648**, 1982. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [20] **ABYYHY**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [21] **Özer, E.,** 2000. Yapı Statiğinde Özel Konular Ders Notları (yayınlanmamış), İTÜ, İstanbul.
- [22] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 2001. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.

EK A. MUTO YÖNTEMİ

Yatay yükler etkisindeki çerçevelerin yaklaşık hesabı için geliştirilen hesap yöntemlerinden biri olan Muto yönteminde esas olarak “ideal kayma çevresi” varsayımı yapılmaktadır. Bu varsayıma göre, her katın yatay yer değiştirmesi o katın yatay rijitliği ile ters orantılıdır. Diğer bir deyişle, katların karşılıklı etkisi hesapta terk edilmektedir. Her katın kendi içinde değerlendirilmesinde, kat kolonlarının yatay ötelenme rijitlikleri hesaplanırken bağlı bulundukları kirişlerin etkisi de belli bir ölçüde dikkate alınmaktadır.

İdeal kayma çerçevesi varsayımının geçerli olabilmesi için kirişlerin kolonlara oranla daha rijit olması gerekmektedir. Bu nedenle, Muto yöntemi kirişleri daha rijit olan çerçevelerde iyi sonuç verir. Buna karşılık, kolonların daha rijit olduğu çerçevelerde yöntemin hata oranı artmaktadır. Perdeli sistemlerde ise Muto yöntemi doğrudan doğruya uygulanamaz, Şekil A.1.



Şekil A.1 Yatay Yükler Altında Düzlem Çerçeve

Varsayımlar ve Hesap Esasları

1. Kat kesme kuvvetleri, her katta bulunan kolonlara göreli yatay ötelenme rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtılır. Örneğin, (i) sayılı kattaki kesme kuvveti

$$V_i = \sum_{k=i}^n F_k \quad (k = i, \dots, n) \quad (n : \text{kat sayısı}) \quad (\text{A.1})$$

ve bu katın (j) sayılı kolonunun görelî yatay yer değiştirme rijitliği

$$D_{ij} = ak_c \quad a \leq 1 \quad (A.2)$$

ise, bu kolon tarafından taşınan kesme kuvveti

$$T_{ij} = V_i \frac{D_{ij}}{\sum_j D_{ij}} \quad (A.3)$$

olarak hesaplanabilir.

(A.2) bağıntısı ile ifade edilen ve kolonların çerçeve düzlemi içindeki rijitliğini veren D_{ij} teriminde, kolonun kendi rijitliğinin yanında, bağlandığı kirişlerin dönme rijitlikleri de etkili olmaktadır.

Bu bağıntıda k_c , uç düğüm noktaları dönmeye karşı tutulmuş olan, (i) sayılı kattaki (j) kolonunun iki uç düğüm noktası arasındaki görelî yatay yer değiştirmesine karşı gelen $12E_c I_c / h^3$ rijitliği, a ise kolonun sınır koşullarının kolon rijitliğine olan etkisini ifade eden bir düzeltme katsayısıdır. Hesabın uygulandığı kattaki kolon boylarının aynı olması halinde, kolonların görelî yatay rijitliği,

$$k_c = \frac{I_c}{h} \quad (A.4)$$

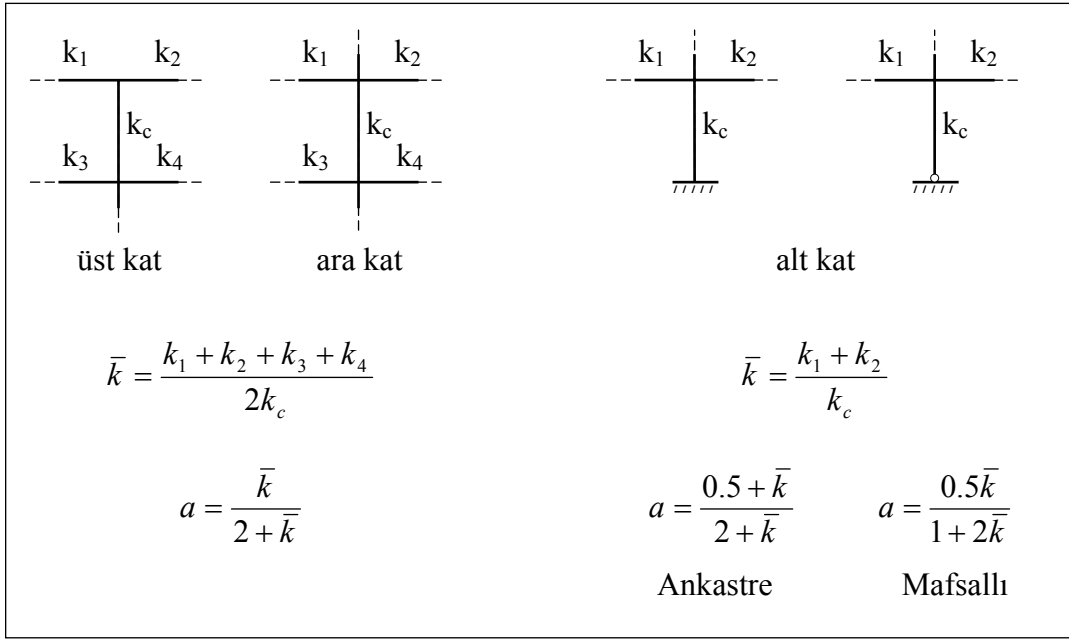
olarak alınabilir. Burada, I_c kolonun çerçeve düzlemi içindeki atalet momentini, h ise kolon yüksekliğini göstermektedir.

Bir ucu tutulmuş çubuk elemanın diğer ucunun birim dönme rijitliği $4EI/h$ dır.

Yukarıda tanımlanan rijitliğin görelî rijitlik olduğu göz önünde tutulursa, kirişlerin görelî rijitlikleri de

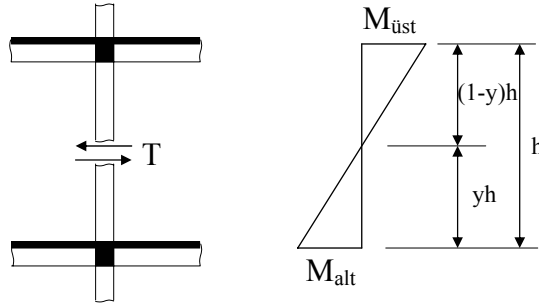
$$k_i = \frac{I_i}{l_i} \quad (A.5)$$

olarak hesaplanabilir. Bu varsayımlar altında, kolonların çerçevedeki değişik konumları ve mesnetlenme koşulları için a düzeltme katsayısının ifadeleri Şekil A.2 'de verilmiştir.



Şekil A.2 Muto Yöntemi Katsayıları

2. Yatay yüklerden dolayı kolonlarda meydana gelen uç momentleri Şekil A.3 'de görüldüğü gibi doğrusal olarak değişir ve çubukların moment denge denklemleri yardımıyla hesaplanır. Kolonlarda moment sıfır noktasının yeri, kolonun çerçevedeki konumuna, kolona birleşen kirişlerin görelî eğilme rijitliğine ve kolonun bulunduğu katın altında ve üstünde bulunan kat kolonlarının yüksekliklerine bağlıdır.



Şekil A.3 Kolon Kesme Kuvvetinden Kolon Uç Momentlerinin Elde Edilmesi

Moment sıfır noktasının kolonun alt ucuna olan uzaklığının kolon yüksekliğine oranı olan y katsayısı için, yaklaşık olarak

$$y = y_0 + y_1 + y_2 + y_3 \quad (A.6)$$

yazılabilir. Burada,

y_0 : yatay yüklerin üçgen veya düzgün yayılı olması durumuna göre, düzgün geometri ve rijitliğe sahip olan çerçeveler esas alınarak hesaplanmış ve Tablo A.1 ve Tablo A.2 'de verilmiştir,

y_1 : kolonların alt ve üst katlarda bağlandığı kirişlerin rijitliklerinin farklı olmasının etkisini kapsayan birinci düzeltme terimidir. Bu terimin değerleri $\bar{k}$ ve α_1 'e bağlı olarak Tablo A.3 'de verilmiştir,

y_2 , y_3 : sırasıyla üst ve alt kat kolonlarının hesaplanan kat kolonlarına oranla farklı boyda olmasının etkilerini içeren ikinci ve üçüncü düzeltme terimleridir ve sırasıyla $\bar{k}$, α_2 ve α_3 'e bağlı olarak Tablo A.4 'de verilmişlerdir.

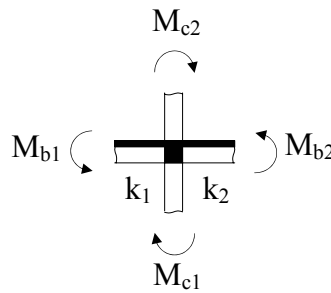
Düzgün çerçevelerde, $y_1 = y_2 = y_3 = 0$ varsayımı yapılarak $y \cong y_0$ alınabilir.

Yukarıda açıklanan şekilde, kolonda moment sıfır noktasının yerini gösteren y katsayısı hesap edildikten sonra, kolon uç momentleri kolayca bulunabilir.

$$M_{c,\text{üst}} = T_{ij}(1 - y)h \quad (\text{A.7})$$

$$M_{c,\text{alt}} = T_{ij}yh \quad (\text{A.8})$$

3. Kiriş uç momentleri düğüm noktalarının moment denge denklemi ile hesaplanır. Bunun için, herhangi bir düğüm noktasında birleşen kolonların uç momentleri toplamı kirişlere $k_i = \frac{I_i}{l_i}$ göreli rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtılır, Şekil A.4.



Şekil A.4 Düğüm Noktası Dengelemesi İle Kiriş Uç Momentlerinin Elde Edilmesi

$$M_{b1} = \sum_{i=1}^n M_{c,i} \frac{k_1}{k_1 + k_2} \quad (n = 1 \text{ veya } 2) \quad (\text{A.9})$$

$$M_{b2} = \sum_{i=1}^n M_{c,i} \frac{k_2}{k_1 + k_2} \quad (n = 1 \text{ veya } 2) \quad (\text{A.10})$$

Yatay Yer Değiştirmelerin Hesabı

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşımda, plastik şekil değiştirmeler nedeniyle meydana gelen grelı kat yer değiştirmelerinin hesabı için (3.17) bağıntısı önerilmiştir. Ancak bilgi bütünlüğü açısından, Muto yönteminde grelı kat yer değiştirmelerinin nasıl elde edildiği de aşağıda açıklanmaktadır. Kolonların birbirine göre rijitlikleri elde edilirken bulunan D_{ij} değerlerinin sadece yüklerin paylaşımı bakımından geçerli olduğu göz önünde bulundurulmalı, yer değiştirmelerin hesaplanması gerektiğinde veya herhangi bir katta farklı yüksekte kolonların bulunması durumunda k_c için $\frac{12E_c I_c}{h^3}$ ifadesi kullanılmalıdır. Katların δ_i grelı yatay yer değiştirmeleri,

$$\delta_i = \frac{V_i}{\sum_{k=1}^n \bar{D}_{ik}} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (\text{A.11})$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada, $\bar{D}_{ik}$ (i) sayılı katta (j) sayılı kolonun mutlak rijitliğini göstermektedir ve

$$\bar{D}_{ik} = a \frac{12E_c I_c}{h^3} = a \frac{12E_c}{h^2} D_{ik} \quad (\text{A.12})$$

şeklinde hesaplanır. Katların d_i toplam yatay yer değiştirmeleri ise

$$d_i = \sum_{j=1}^i \delta_j \quad (\text{A.13})$$

şeklinde en alt kattan yukarıya doğru, δ_j grelı kat yer değiştirmelerinin toplamı alınarak elde edilir.

Yukarıda açıklanan ilkeler, burulma etkilerinin önemli olmadığı üç boyutlu yapı sistemlerine de benzer şekilde uygulanabilir. Bunun için, uzay ereve sistemler eşdeğer düzlem çerçevelere dönüştürülür ve yatay yüklerin etkidiği doğrultudaki çerçeveler aynı dzlemdede arka arkaya sıralanır. Döşemelerin kendi düzlemleri içindeki diyafram rijitliği göz önüne alınarak bu çerçeveler, kat seviyelerinde, iki ucu mafsallı olan ve uzama şekil değiştirmeleri terk edilebilen çubuk elemanlarla birbirine bağlanır. Bu işlem her iki doğrultu için ayrı ayrı yapılır.

Tablo A.1 Yatay Yü­k­ün Ü­ç­gen (veya Benzeri) Dağılımı Durumunda y_0 Terimi

KAT ADEĞİ	KATIN YERİ	y_0													
		$\bar{k}$													
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
1	1	0.80	0.75	0.70	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
2	2	0.50	0.45	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50
	1	1.00	0.85	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.60	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55
3	3	0.25	0.25	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.50
	2	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.15	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55
4	4	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45
	3	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	2	0.70	0.60	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.20	0.95	0.85	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55
5	5	-0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45
	4	0.20	0.25	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	3	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.75	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.30	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55
6	6	-0.15	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45
	5	0.10	0.25	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	4	0.30	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	3	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.80	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.30	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55
7	7	-0.20	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45	0.45
	6	0.05	0.20	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	5	0.20	0.30	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	4	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	3	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.80	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.30	1.00	0.90	0.80	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55
	1	1.30	1.00	0.90	0.80	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55
8	8	-0.20	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45	0.45
	7	0.00	0.20	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	6	0.15	0.30	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	5	0.30	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	4	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	3	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.85	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.30	1.00	0.90	0.80	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55
9	9	-0.25	0.00	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45
	8	0.00	0.20	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	7	0.15	0.30	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	6	0.25	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	5	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	4	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	3	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.85	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.30	1.00	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55

Tablo A.1 Yatay Yükün Üçgen (veya Benzeri) Dağılımı Durumunda y_0 Terimi
(Devamı)

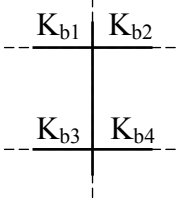
KAT ADEĞİ	KATIN YERİ	y_0														
		$\bar{k}$														
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	
10	10	-0.25	0.00	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	
	9	-0.05	0.20	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	
	8	0.10	0.30	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	
	7	0.20	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	6	0.30	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	5	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	4	0.50	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	3	0.60	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	2	0.85	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	1	1.35	1.00	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	
11	11	-0.25	0.00	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45	0.45	
	10	-0.05	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	
	9	0.10	0.30	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	
	8	0.20	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	
	7	0.25	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	6	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	5	0.40	0.44	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	4	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	3	0.65	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	2	0.85	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	
	1	1.35	1.05	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	
12 veya daha fazla	ÜSTTEN	1	-0.30	0.00	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45
		2	-0.10	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.50
		3	0.05	0.25	0.30	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
		4	0.15	0.30	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
		5	0.25	0.35	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
		6	0.30	0.40	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		7	0.35	0.40	0.55	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		8	0.35	0.45	0.55	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	ALTAN		0.45	0.45	0.55	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		4	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		3	0.65	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		2	0.90	0.70	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		1	1.35	1.05	0.90	0.80	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55

Tablo A.2 Yatay Yükn Düzgün Dağılımı Durumunda y_0 Terimi

KAT ADEĞİ	KATIN YERİ	y_0													
		$\bar{k}$													
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
1	1	0.80	0.75	0.70	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
2	2	0.45	0.40	0.35	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45
	1	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.60	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55
3	3	0.15	0.20	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40
	2	0.55	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	1	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55
4	4	-0.05	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45
	3	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	2	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.10	0.90	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55
5	5	-0.20	0.00	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45
	4	0.10	0.20	0.25	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50
	3	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.65	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.20	0.95	0.80	0.75	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55
6	6	-0.30	0.00	0.10	0.20	0.25	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45
	5	0.00	0.20	0.25	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.50	0.50
	4	0.20	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	3	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.70	0.60	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.20	0.95	0.80	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55
7	7	-0.35	-0.05	0.10	0.20	0.20	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45
	6	-0.10	0.15	0.25	0.30	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.55	0.50	0.50
	5	0.10	0.25	0.30	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	4	0.30	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	3	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.75	0.60	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.20	0.95	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55
8	8	-0.35	-0.15	0.10	0.15	0.25	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	0.45	0.45	0.45
	7	-0.10	0.15	0.25	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.50	0.50	0.50
	6	0.05	0.25	0.30	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	5	0.20	0.30	0.35	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	4	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	3	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.75	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	0.20	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55
9	9	-0.40	-0.05	0.10	0.20	0.25	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45	0.45
	8	-0.15	0.15	0.25	0.30	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50
	7	0.05	0.25	0.30	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
	6	0.15	0.30	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	5	0.25	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	4	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50
	3	0.55	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	2	0.80	0.65	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	1	1.20	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55

Tablo A.3 Kolonların Alt ve Üst Katta Bağlandıkları Kirişlerin Rijitliklerinin Farklı Olmasının Etkisini Hesaba Katan y_1 Düzeltme Terimi

α_1	y_1													
	$\bar{k}$													
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
0.4	0.55	0.40	0.30	0.25	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05
0.5	0.45	0.30	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
0.6	0.30	0.20	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00
0.7	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
0.8	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.9	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



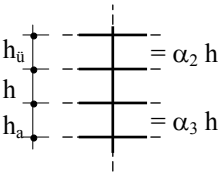
$K_{b\bar{u}} = K_{b1} + K_{b2}$
 $K_{ba} = K_{b3} + K_{b4}$
 $\alpha_1 = K_{b\bar{u}} / K_{ba}$

En alt kat için
 $y_1 = 0$

Eğer $K_{b\bar{u}} > K_{ba}$ ise $\alpha_1 = K_{ba} / K_{b\bar{u}}$ olarak hesaplanacak ve okunacak y_1 değeri (-) işaretli olarak alınacaktır.

Tablo A.4 Sırasıyla Üst ve Alt Kolonların Hesaplanan Kat Kolonlarına Göre Farklı Yükseklikte Olmasının Etkisini Hesaba Katan y_2 ve y_3 Düzeltme Terimleri

α_2	α_3	y_2 ve y_3													
		$\bar{k}$													
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
2.0		0.25	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00
1.8		0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	0.05	0.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
1.6	0.4	0.15	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1.4	0.6	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.2	0.8	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.8	1.2	-0.05	-0.05	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6	1.4	-0.10	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	1.6	-0.05	-0.10	-0.10	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.8	-0.20	-0.15	-0.10	-0.10	-0.10	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	-0.25	-0.15	-0.15	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	0.00	0.00	0.00



y_2 için $\alpha_2 = h_u / h$ 'yı kullanınız
 y_3 için $\alpha_3 = h_a / h$ 'yı kullanınız

En üst kat için
 $y_2 = 0$
En alt kat için
 $y_3 = 0$

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Malatya’da doğan Ergün BİNBİR, lise öğrenimini Ankara Halide Edip Lise’sinde tamamlamıştır, (1995). Mersin Üniversitesi Mersin MYO, İnşaat Bölümü’nden birincilikle mezun olduğu yıl (1997) İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girmiş ve 2000 yılında buradan da mezun olmuştur. Aynı yıl, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.