

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ'NDE REVİZE EDİLEN
DOĞRUSAL YÖNTEMİN DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEM İLE
PARAMETRİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sebla ÇINAR**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Ekim 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ'NDE REVİZE EDİLEN
DOĞRUSAL YÖNTEMİN DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEM İLE
PARAMETRİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sebla ÇINAR
(501051109)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Eylül 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ekim 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erkan ÖZER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Meltem ŞAHİN (MSÜ)**

Ekim 2009

ÖNSÖZ

Lisans öğrenimimin bitirme projesi aşamasından başlayan ve yüksek lisans öğrenimim boyunca devam eden süreçte engin bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, karşılaştığım tüm güçlüklerde kıymetli zamanını benimle paylaşan ve anlayışını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erkan ÖZER'e, yine tez çalışmam süresince benden desteklerini esirgemeyen İnşaat Yüksek Mühendisi Sayın Serdar KARAHASANOĞLU önderliğindeki ARUP Mühendislik Yapı Grubu çalışanlarına saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm hayatım boyunca benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, bana karşı gösterdikleri sevgi, sabır, anlayış ve sağlamış oldukları maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı bugünlere gelmemde büyük emekleri olan anneme, babama ve ablama ithaf ediyorum.

Eylül 2009

İnş. Müh. Sebla ÇINAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konu.....	1
1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar.....	2
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
2.YAPI SİSTEMLERİNİN MALZEME BAKIMINDAN DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİYE GÖRE HESABI.....	5
2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı.....	5
2.1.1 Çözümün sağlaması gereken koşullar.....	6
2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri.....	6
2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı.....	7
2.2 İç Kuvvet - Şekildeğiştirme Bağlılıları ve Akma (Kırılma) Koşulları.....	10
2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri.....	10
2.2.1.1 İdeal malzemeler.....	11
2.2.1.2 Yapı malzemelerinin gerilme- şekildeğiştirme bağıntıları.....	12
2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları.....	14
2.2.2.1 Betonarme çubuklar.....	17
2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı.....	20
2.3.1 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayıllı olması hali.....	21
2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının varsayılması hali.....	21
2.3.2.1 Plastik mafsal hipotezi.....	21
2.3.2.2 Yük artım yöntemi.....	26
2.3.2.3 Limit yükün doğrudan doğruya hesabı.....	30
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME.....	31
3.1 Binalardan Bilgi Toplanması.....	32
3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	32
3.2.1 Kesit hasar sınırları.....	33
3.2.2 Kesit hasar bölgeleri.....	33
3.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri.....	34
3.3.1 Hemen kullanım performans düzeyi.....	34

3.3.2	Can güvenliği performans düzeyi.....	34
3.3.3	Göçme öncesi performans düzeyi.....	35
3.3.4	Göçme durumu.....	36
3.4	Deprem Performansı Belirlenmesinde Esas Alınacak Deprem Hareketleri.....	36
3.5	Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri.....	36
3.6	Depremde Bina Performansının Belirlenmesi.....	37
3.7	Performans Belirlenmesi ve Kullanılan Analiz Yöntemleri.....	37
3.7.1	Doğrusal ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleri için genel ilke ve kurallar.....	38
3.7.2	Doğrusal elastik hesap yöntemleri.....	40
3.7.2.1	Yöntemin esasları.....	40
3.7.2.2	Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile performans değerlendirilmesinde izlenecek hesap adımları.....	40
3.7.2.3	Mod birleştirme yöntemi.....	43
3.7.3	Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri.....	43
3.7.3.1	Tanım.....	43
3.7.3.2	Artımsal itme analizi ile performans değerlendirilmesinde izlenen hesap adımları.....	43
3.7.3.3	Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi.....	44
3.7.3.4	Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi.....	46
3.7.3.5	Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi.....	51
3.7.3.6	Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri.....	52
4.	SAYISAL İNCELEMELER.....	55
4.1	İncelenen Taşıyıcı Sistem Modelleri.....	55
4.2	Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması.....	56
4.2.1	Malzeme bilgileri.....	56
4.2.2	Deprem karakteristikleri.....	57
4.2.3	Boyutlandırmada esas alınan yükler.....	57
4.2.4	Modelleme ve tasarımda yapılan varsayımlar.....	58
4.2.5	Boyutlandırma esas alınan yönetmelikler.....	58
4.2.6	Boyutlandırmada esas alınan yükleme kombinasyonları.....	66
4.2.7	Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılması.....	66
4.3	Boyutlandırılan Taşıyıcı Sistem Modellerinin Performans Değerlendirmesi.....	66
4.4	TSM-2A İçin Ayrıntılı İnceleme.....	67
4.4.1	Sistemin boyutlandırılması.....	67
4.4.2	Sistemin doğrusal elastik hesap yöntemine göre deprem performansının belirlenmesi.....	74
4.4.2.1	2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre doğrusal elastik hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesi.....	74
4.4.2.2	2006 Türk Deprem Yönetmeliğine göre doğrusal elastik hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesi.....	84
4.4.3	Sistemin doğrusal elastik olmayan hesap yöntemine göre deprem performansının belirlenmesi.....	91
4.4.4	Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması.....	103
4.5	TSM-1 İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma.....	105
4.5.1	Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması.....	106

4.6	TSM-1A İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma.....	107
4.6.1	Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması.....	107
4.7	TSM-2 İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma.....	109
4.7.1	Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması.....	109
4.8	TSM-3 İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma.....	110
4.8.1	Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması.....	112
4.9	TSM-3A İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma.....	113
4.9.1	Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması.....	113
4.10	Sayısal İncelemelere İlişkin Değerlendirmeler.....	115
5.	SONUÇLAR.....	117
	KAYNAKLAR.....	121
	ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMALAR

ABYYHY' 68	: 1968 Türk Deprem Yönetmeliği
ABYYHY' 75	: 1975 Türk Deprem Yönetmeliği
ABYYHY' 98	: 1998 Türk Deprem Yönetmeliği
ACI	: American Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY' 06	: 2006 Türk Deprem Yönetmeliği
DBYBHY' 07	: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
ETABS	: Extended 3d Analysis of Building Systems
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
HK	: Hemen Kullanım
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
TS-500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TSM	: Taşıyıcı Sistem Modeli

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri.....	7
Çizelge 3.1	: Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları.....	32
Çizelge 3.2	: Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri.....	37
Çizelge 3.3	: Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s).....	42
Çizelge 3.4	: Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s).....	42
Çizelge 3.5	: Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s).....	42
Çizelge 4.1	: ABYYHY' 75 Deprem Bölge Katsayısı.....	62
Çizelge 4.2	: ABYYHY' 75 Yapı Tipi Katsayıları.....	62
Çizelge 4.3	: ABYYHY' 75 Yapı Önem Katsayısı.....	63
Çizelge 4.4	: ABYYHY' 75 Zemin Hakim Peryodu.....	63
Çizelge 4.5	: ABYYHY' 75 Hareketli Yük Katsayısı.....	64
Çizelge 4.6	: TSM-2A İçin Bina Genel Özellikleri.....	68
Çizelge 4.7	: Düğüm Noktalarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi.....	71
Çizelge 4.8	: TSM-2A için Kolon Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.....	72
Çizelge 4.9	: TSM-2A için Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.....	73
Çizelge 4.10	: 2007 TDY'ne Göre Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı.....	75
Çizelge 4.11	: Kolonlarda Eğilme Momenti Kapasiteleri.....	77
Çizelge 4.12	: Kirişlerde Eğilme Momenti Kapasiteleri.....	78
Çizelge 4.13	: Kirişlerin Etki/Kapasite Oranları.....	79
Çizelge 4.14	: Kolonların Etki/Kapasite Oranları.....	80
Çizelge 4.15	: Kirişler İçin Kesit Hasar Bölgeleri.....	81
Çizelge 4.16	: Kolonlar İçin Kesit Hasar Bölgeleri.....	82
Çizelge 4.17	: Kirişler İçin Özet Sonuçlar.....	83
Çizelge 4.18	: Kolonlar İçin Özet Sonuçlar.....	83
Çizelge 4.19	: 2006 TDY Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı.....	84
Çizelge 4.20	: Kolonlarda Eğilme Momenti Kapasiteleri.....	86
Çizelge 4.21	: Kirişlerde Eğilme Momenti Kapasiteleri.....	87
Çizelge 4.22	: Kirişlerin Etki/Kapasite Oranları.....	88
Çizelge 4.23	: Kolonların Etki/Kapasite Oranları.....	89
Çizelge 4.24	: Kirişlerin Hasar Bölgeleri.....	90
Çizelge 4.25	: Kolonların Hasar Bölgeleri.....	90
Çizelge 4.26	: TSM-2A Periyot, Etkin Kütle, Etkin Kütle Oranı, Modal Katılım Oranı.....	93
Çizelge 4.27	: Taban Kesme Kuvveti – Tepe Noktası Yerdeğiştirme Değerleri.....	93
Çizelge 4.28	: Modal Katkı Çarpanı.....	95
Çizelge 4.29	: Modal Yerdeğiştirme ve Modal İvme Değerleri.....	95
Çizelge 4.30	: Modal Yerdeğiştirme İsteminin Hesabı.....	96

Çizelge 4.31	: Tepe Noktası Yatay Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi.....	96
Çizelge 4.32	: TSM-2A' da Kirişler İçin Toplam Eğrilik İstem Değerlerinin Elde Edilmesi.....	98
Çizelge 4.33	: TSM-2A' da Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X).....	99
Çizelge 4.34	: TSM-2A' da Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri.....	99
Çizelge 4.35	: TSM-2A' da Kolonlar İçin Toplam Eğrilik İstem Değerlerinin Elde Edilmesi.....	100
Çizelge 4.36	: TSM-2A' da Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+X).....	102
Çizelge 4.37	: TSM-2A' da Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri.....	103
Çizelge 4.38	: TSM-2A Kirişlerinin Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	104
Çizelge 4.39	: TSM-2A Kolonlarının Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	104
Çizelge 4.40	: TSM-1 Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.....	105
Çizelge 4.41	: TSM-1 Kolon Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.....	106
Çizelge 4.42	: TSM-1 Kolonlarının Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	106
Çizelge 4.43	: TSM-1 Kirişlerinin Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	107
Çizelge 4.44	: TSM-1A Kolonlarının Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	108
Çizelge 4.45	: TSM-1A Kirişlerinin Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	108
Çizelge 4.46	: TSM-2 Kolonlarının Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	109
Çizelge 4.47	: TSM-2 Kirişlerinin Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	110
Çizelge 4.48	: TSM-3 Kolon Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.....	111
Çizelge 4.49	: TSM-3 Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.....	111
Çizelge 4.50	: TSM-3 Kolonlarının Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	112
Çizelge 4.51	: TSM-3 Kirişlerinin Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	113
Çizelge 4.52	: TSM-3A Kolonlarının Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	114
Çizelge 4.53	: TSM-3A Kirişlerinin Her iki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	114

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağıntıları	8
Şekil 2.2	: Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim	10
Şekil 2.3	: Şematik Yük Parametresi - Şekildeğiştirme Diyagramı	10
Şekil 2.4	: İdeal Malzemeler	11
Şekil 2.5	: Beton Çeliğinde σ - ϵ Diyagramı	12
Şekil 2.6	: Beton Çeliğinin σ - ϵ Diyagramlarının İdealleştirilmesi	13
Şekil 2.7	: Betonarme Çubuğun Eğilmesinde Dış Basınç Lifindeki σ - ϵ Diyagramı	13
Şekil 2.8	: Düzlem Çubuk Elemanda İç Kuvvetler ve Şekildeğiştirmeler	14
Şekil 2.9	: Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterilimi	16
Şekil 2.10	: Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı)	16
Şekil 2.11	: Basit Eğilme Halinde Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı	17
Şekil 2.12	: Betonarme Kesitlerde ($M - \gamma$) Diyagramı	19
Şekil 2.13	: Betonarme Kesitlerde Karşılıklı Etki Diyagramı (Akma Eğrisi)	20
Şekil 2.14	: Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı	22
Şekil 2.15	: Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler	23
Şekil 2.16	: İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı	23
Şekil 2.17	: Plastik Mafsalsal Boyu	25
Şekil 2.18	: Plastik Mafsalsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı	27
Şekil 2.19	: Tümsel ve Bölgesel Mekanizma Durumları	27
Şekil 2.20	: Yerdeğiştirmelerin Hesabı	28
Şekil 2.21	: Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması	29
Şekil 2.22	: Plastik Mafsalların Dönmelerinin Bulunması	29
Şekil 3.1	: Kesit Hasar Bölgeleri	33
Şekil 3.2	: Eğilme Momenti - Plastik Dönme Bağıntıları	46
Şekil 3.3	: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T^{(1)} \geq T_B$)	49
Şekil 3.4	: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T^{(1)} < T_B$)	50
Şekil 3.5	: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T^{(1)} < T_B$)	51
Şekil 4.1	: Taşıyıcı Sistem Modellerinin Kiriş ve Kolon Numaraları	56
Şekil 4.2	: Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması	61
Şekil 4.3	: Sisteme Etkiyen Sabit Yükler (kN ve kN / m)	69
Şekil 4.4	: Sisteme Etkiyen Hareketli Yükler (kN ve kN / m)	70
Şekil 4.5	: Sistemin Düğüm Noktalarına Etkiyen Tekil Yükler (kN)	70
Şekil 4.6	: Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri (kN)	72
Şekil 4.7	: Sistemin M_E Eğilme Momenti Diyagramı (kNm)	75
Şekil 4.8	: Sistemin $M_{G+0.3Q}$ Eğilme Momenti Diyagramı (kNm)	76
Şekil 4.9	: Sistemin M_E Diyagramı (kNm)	84
Şekil 4.10	: Sistemin M_{G+Q} Diyagramı (kNm)	85

Şekil 4.11	: Kolon ve Kiriş Uçlarındaki Olası Plastik Mafsallık Yerleri.....	92
Şekil 4.12	: TSM-2A Statik İtme Eğrisi	94
Şekil 4.13	: Statik İtme Eğrisinin İki Doğruya Dönüştürülmesi	94
Şekil 4.14	: Spektral İvme- Spektral Yerdeğiştirme Diyagramı	96
Şekil 4.15	: Yerdeğiştirme İsteminde Sistemde Oluşan Plastik Mafsallar	97
Şekil 4.16	: S502 Kolonu Kesit Hasar Bölgesinin Belirlenmesi.....	101

SEMBOL LİSTESİ

$A(T_1)$: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_c	: Kolonun brüt kesit alanı
A_s	: Boyuna donatı alanı
a_1	: Birinci moda ait modal ivme
$a_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen, birinci moda ait modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
a	: Modal ivme
b	: Kirişlerde etkili tabla genişliği, kolon kesitinin eğilme doğrultusuna dik boyutu
b_w	: Kirişin gövde genişliği
C	: Deprem katsayısı
C_0	: Deprem bölge katsayısı
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
D	: Yatay yükler doğrultusundaki yapı boyutu
d	: Kiriş ve kolon kesitinin faydalı yüksekliği
d_1	: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen, birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$: Birinci moda ait modal yer değiştirme istemi
E	: Elastisite modülü; deprem yüklemesi
E_c	: Beton elastisite modülü
EI_e	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
EI_0	: Brüt (çatlamamış) kesit eğilme rijitliği
e	: Güvenlik katsayısı
F	: Toplam yatay yük
F_c	: Beton basınç kuvveti
F_s	: Çekme donatısı çekme kuvveti
$F_i(M,N,T)$: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
F_i	: Kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton basınç dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{ctm}	: Mevcut beton çekme dayanımı
f_{yk}	: Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
f_{ym}	: Donatı çeliği mevcut akma dayanımı
G	: Toplam sabit yük
g	: Sabit yük

g_i	: Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
H	: Kolon kesitinin eğilme doğrultusundaki boyutu
H_i	: Yapının i'inci katının temel seviyesinden olan yüksekliği
I	: Kesit atalet momenti, yapı önem katsayısı
K	: Yapı tipi katsayısı
K₁(χ, ϵ, γ)	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını şekil değiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon
K₁(M, N, T)	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını kesit zorlarına bağlı olarak ifade eden fonksiyon
k₁	: Donatı yerleşim durumu katsayısı
k₂	: Paspayı katsayısı
L₀	: Çatlama
L₁	: Plastik şekil değiştirmelerin başlangıcı
L₂	: Kırılma
L_p	: Plastik mafsal boyu
M_x	: X eksenini etrafındaki eğilme momenti
M	: Eğilme momenti
M_{kap}	: Eğilme momenti kapasitesi
M_p	: Kesitin eğilme momenti taşıma gücü (plastik moment)
M_p'	: İndirgenmiş plastik moment
M_{x1}	: X deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
m_x	: X eksenini etrafında hesap yüküne ait boyutsuz eğilme momenti
N	: Normal kuvvet, bina kat sayısı
N_d	: Düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal basınç kuvveti
n	: Hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet, hareketli yük katılım katsayısı
P	: Yük parametresi
P_{cr}	: Kritik yük
P_G	: Göçme yükü
P_i	: İşletme yükü, i'inci kattaki hareketli yüklerin toplamı
P_L	: Limit yük
P_{L1}	: Birinci mertebe limit yük
P_{L2}	: İkinci mertebe limit yük
P-Δ	: Yük parametresi – yerdeğiştirme bağıntısı
P-ΔI	: Yük parametresi – şekil değiştirmeye bağıntısı
Q	: Toplam hareketli yük
q	: Hareketli yük
q_i	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
R	: Yapı davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_a(T₁)	: T ₁ periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
r	: Etki/kapasite oranı
S	: Yapı dinamik katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae1}	: Birinci moda ait elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
S_{de1}	: Birinci moda ait doğrusal-elastik spektral yerdeğiştirme

S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal-elastik olmayan spektral yerdeğiştirme
$S(T_1)$: T_1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
$T_1^{(1)}$: Başlangıçtaki ($i = 1$ adımında) itme adımında birinci (hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
T	: Kesme kuvveti
T_0	: Zemin hakim periyodu
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_e	: Etkin doğal periyod
t	: Kesite etkiyen düzgün sıcaklık değişmesi
u_n	: Tepe noktası yerdeğiştirmesi
$u_{xN1}^{(i)}$: Binanın tepesinde (N 'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$: Binanın tepesinde (N 'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V	: Kesme kuvveti
V_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{x1}(i)$: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen, birinci (hakim) moda ait taban kesme kuvveti
w_i	: Binanın i 'inci katının toplam ağırlığı
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
α	: Deprem zemin katsayısı
α_t	: Sıcaklık genleşme katsayısı
β	: Bina önem katsayısı
χ	: Birim dönme (eğrilik)
χ_p	: Kesitin plastik eğilme momentine karşı gelen birim dönme
Δ	: Yerdeğiştirme
ΔF_N	: Ek eşdeğer deprem yükü
ΔI_1	: Doğrusal şekildeğiştirmeler
ΔI_{p1} ve ΔI_{p2}	: Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler
Δt	: Kesite etkiyen farklı sıcaklık değişmesi
δ	: Yatay yerdeğiştirme
ε	: Birim boy değişmesi
ε_c	: Beton birim şekildeğiştirmesi
ε_{cg}	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_{cu}	: Betonun ezilme birim kısalması
ε_e	: Akma şekildeğiştirmesi
ε_s	: Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliği kopma uzaması
ε_{sy}	: Donatı çeliği akma birim şekildeğiştirmesi
Φ_p	: Plastik eğrilik istemi
Φ_t	: Toplam eğrilik istemi
Φ_u	: Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik
Φ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
γ	: Birim kayma, bina dinamik katsayısı

Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
λ	: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
θ_p	: Plastik dönme istemi
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$: Plastik mafsalların dönmeleri
φ	: Kesitin dönmesi
φ_p	: Plastik mafsal dönmesi
$\text{maks}\varphi_p$: Plastik mafsal dönme kapasitesi
μ	: Süneklik oranı, mekanik donatı oranı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsal oranı
σ	: Gerilme
σ_e	: Akma gerilmesi
σ_p	: Orantı sınırı
σ_k	: Kopma gerilmesi
$\omega_1^{(1)}$: Başlangıçtaki (i = 1) itme adımında birinci (hakim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans
ω	: İvme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal açısal frekans

2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ'NDE REVİZE EDİLEN DOĞRUSAL YÖNTEMİN DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEM İLE PARAMETRİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Yapı sistemlerinin dış yükler ve deprem etkileri altındaki davranışlarının incelenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Doğrusal teoriye göre hesapta, malzemenin doğrusal-elastik ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmakta, yönetmeliklerde yer alan doğrusal hesap yöntemleri uygulanarak yapı sisteminin analizi ve boyutlandırması yapılmaktadır. Doğrusal olmayan hesapta ise, malzemelerin doğrusal-elastik sınırın ötesindeki davranışı hesaba katılmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olmadıkları gözönünde tutulmaktadır.

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde yaşanan depremlerin sonuçları incelendiğinde, yapılardaki hasar miktarının ve bunun sonucunda oluşan can kayıplarının depremlerin büyüklüğüne oranla çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, binaların depreme karşı dayanıklı, yeterli güvenlikte ve ekonomik olarak tasarımının önemini göstermektedir. Diğer taraftan, yapı ve deprem mühendisliğindeki ilerlemeler sonucunda, günümüzde depremlerin yapılar üzerindeki etkileri daha gerçekçi olarak elde edilmekte ve yapı taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışlar daha yakından izlenebilmektedir.

Ülkemizde, 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenerek 2006 Türk Deprem Yönetmeliği hazırlanmış ve bu kapsamdaki çalışmalar uygulanmaya başlanmıştır. 2006 yönetmeliğindeki doğrusal yöntemin revize edilmesi sonucunda oluşan 2007 Türk Deprem Yönetmeliği ise günümüzde kullanılmaktadır.

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmada, ülkemizdeki orta yükseklikli mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen bir grup yapı sistemi üzerinde, mevcut binaların deprem performansları doğrusal olmayan hesap yöntemi ile ve 2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde yayınlandıktan sonra 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde revize edilerek yenilenen doğrusal elastik hesap yöntemi ile parametrik olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Beş bölümden oluşan yüksek lisans tezinin birinci bölümü, konunun açıklanmasına ve konu ile ilgili çalışmaların gözden geçirilmesine ayrılmış, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları incelenmekte ve doğrusal olmayan sistemlerin hesap yöntemleri gözden geçirilmektedir.

Bu bölümde, malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme sistemlerinin iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları verilmiş, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı varsayımına dayanan plastik mafsal hipotezi ve bu hipotezi esas alan hesap yöntemi açıklanmıştır.

Üçüncü bölüm, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek olan yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı amacıyla geliştirilen performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının açıklanmasına ayrılmıştır.

Dördüncü bölümde, sayısal parametrik incelemeler yer almaktadır. Bu bölümde, ülkemizdeki orta yükseklikteki mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri, çeşitli tarihlerde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerine göre boyutlandırılmıştır. Bu sistemlerin ve bunların malzeme kalitesi ve sargı donatısı etkisi gibi parametrelerin değiştirilmesi ile elde edilen alternatiflerinin, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde revize edilen doğrusal yöntem ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile deprem performansları belirlenmiş ve her iki yöntem ile elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölüm, bu çalışmada varılan sonuçları kapsamaktadır. Çalışmanın başlıca özellikleri, sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve incelenen konunun olası genişleme alanları bu bölümde sunulmuştur.

Çalışmanın sayısal incelemelerinde elde edilen sonuçların başlıcaları aşağıda özetlenmiştir :

- i. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen kesit hasar bölgeleri belirli ölçüde benzerlik göstermektedir. İki yöntemin sonuçlarının farklılık gösterdiği elemanlardaki değişim taşıyıcı sistemin boyutlandırıldığı yıllara ve tasarımda kullanılan deprem yönetmeliklerine bağlı olarak değişmektedir.
- ii. Beklenildiği gibi, 2007 TDY'nde öngörülen doğrusal hesap yöntemi ile elde edilen sonuçlar, 2006 TDY doğrusal hesap yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre daha düşük hasar seviyeleri göstermektedir.
- iii. Beton kalitesinin düşük, sargı donatısının yeterli olmadığı durumlarda, kesitlerde görülen hasar seviyesi değişimi genellikle iki veya daha fazla hasar bölgesi aralığı mertebesindedir.
- iv. Doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenen kesit hasar bölgeleri genelde daha düşük hasar seviyeleri ifade etmektedir.

A PARAMETRICAL STUDY ON COMPARISON OF RESULTS OF NON-LINEAR METHOD AND REVISED VERSION OF LINEAR METHOD GIVEN BY 2007 TURKISH EARTHQUAKE CODE

SUMMARY

Both linear and non-linear methods are used to analyze the structural systems subjected to earthquake loads. In the linear theory, it is assumed that the material is linear-elastic and displacements are small, so that the structural analysis can be performed by the conventional linear methods given in the codes. In the non-linear analysis however, the second-order effects and the strength and deformation characteristics of materials beyond linear-elastic limit are taken into account.

The high level of damage and loss of life experienced during the last earthquake events indicate the importance of safe and realistic structural design. On the other hand, the recent developments in structural engineering, computer technology and material science enable engineers to predict the real behavior of structural systems under earthquake effects, more accurately.

In our country, by adding a new chapter to the 1998 Turkish Earthquake Code on the seismic evaluation and strengthening of existing buildings, the 2006 version of earthquake code was issued. One year later, some revisions were made on the linear seismic evaluation method given in the code and the 2007 Turkish Earthquake Code was finalized.

In this study, which is presented as a Master of Science Thesis, a parametrical study is carried out on a group of structural systems which represent the mid-rise existing buildings. The purpose of the study is to evaluate the seismic performances of the selected structural systems through the non-linear method and linear methods given in 2006 and 2007 codes and to compare the results.

The thesis consists of five chapters. The first chapter covers the subject, the results of a literature survey and the scope and objectives of the study.

In the second chapter, the non-linear behavior of structural systems and non-linear analysis methods are investigated. The internal force-deformation relationships of materially non-linear reinforced concrete sections, the basic principles of plastic hinge hypothesis and the load increments method based on this hypothesis are explained.

The third chapter is devoted to the seismic performance evaluations of existing structures, as well as the performance based design of new structures.

In the fourth chapter, parametrical numerical studies are carried out. In this chapter, several framed structures which represent mid-rise reinforced concrete existing buildings are selected and designed in accordance with the code regulations recently used or currently effective in our country. Then, the earthquake performances of these structural system models and their alternatives with different concrete strength and confinement level are determined according to the 2006 version and revised version of linear method and non-linear method given by the 2007 Turkish Earthquake Code and the results are compared and discussed.

The fifth chapter covers the results achieved in this study. The basic features of the study, the evaluation of the numerical results and possible extensions of the study are presented in this chapter.

The basic conclusions of the numerical investigations are summarized below.

- i. The beam and column damage levels obtained through the linear and non-linear methods given 2007 Turkish Earthquake code are similar to some extent. The difference between the results of these two methods generally depends on the time of design and construction of the building and earthquake regulations used in the design.
- ii. As expected, the results obtained by the linear method given in the 2007 code indicate lower levels of damage as compared by those obtained by the 2006 code.
- iii. The beam and column damages obtained for structural systems with low concrete strength and insufficient confinement are generally two or more levels lower.
- iv. The damage levels obtained through the non-linear evaluation method are lower than those obtained by the linear evaluation method.

1.GİRİŞ

1.1 Konu

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler sonucunda oluşan ağır hasar, can ve mal kayıpları deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir. Bu durum, deprem bölgelerindeki mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi ve yeterli performans düzeyinde olmayan bina taşıyıcı sistemlerinin güçlendirilmesi gereksinimini ortaya koymaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde, mevcut bina taşıyıcı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesi alanında yapılan çalışmalar kapsamında, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı ortaya atılmıştır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme, bir yapı sisteminin gözönüne alınan bir veya birden fazla deprem hareketi altında, öngörülen performans seviyeleri için tasarımı ve değerlendirmesi olarak düşünülebilir.

Binaların deprem performanslarının belirlenmesinde etkili olan parametreler yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelerdir. Bu nedenle, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı hesap yöntemlerinin kullanımı ve bu yöntemlerin uygulanmasında seçilecek analiz araçları giderek önem kazanmaktadır. Diğer taraftan, doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap yöntemlerinden yararlanarak, yapı sistemlerinin dış yükler ve deprem etkileri altındaki davranışları yakından izlenebilmekte, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı deprem performansları daha gerçekçi olarak belirlenebilmektedir.

Ülkemizde çeşitli dönemlerde inşa edilmiş olan betonarme binalarda kullanılan malzemelerin genellikle yeterli kalitede olmaması, yapım aşamasında gerekli mühendislik kurallarına ve yönetmeliklerin öngördüğü koşullara uyulmaması gibi faktörlerin etkisi gözönüne alındığında, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinin önemi daha açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

2006 yılında yayınlanan Türk Deprem Yönetmeliği ile temelleri atılan, mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi kavramı, doğrusal elastik hesap yöntemlerinin belirli ölçüde revize edilmesi suretiyle, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği ile son şeklini almıştır [1, 2].

1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar

Yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan kurama göre hesabını amaçlayan yöntemler üzerindeki çalışmalar uzun bir geçmişe dayanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen analiz yöntemleri, temel varsayımları bakımından iki grupta incelenebilirler:

- a) doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerine sürekli olarak yayıldığı gözönüne alındığı çalışmalar ve yöntemler [3-7],
- b) plastik mafsallı hipotezine dayanan yöntemler [8-11].

Bu yöntemlerin geliştirilmesine paralel olarak, doğrusal olmayan kurama dayanan pratik ve etkin bilgisayar programları da giderek gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [12].

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, son yıllarda özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nden başlayarak, geniş bir uygulama alanı bulmuş ve giderek geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu bağlamda, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 projesi [13] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 yayınları [14, 15] gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 raporu [16] hazırlanmıştır. 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, ASCE 41-07 [17]. Bu projelerin sonuçlarından ve yayınlardan yararlanarak, deprem bölgelerinde yer alan mevcut yapıların deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesi, ayrıca yeni inşa edilecek binaların performansa dayalı tasarımı mümkün olmaktadır.

Diğer taraftan, Avrupa Birliği standartları arasında bulunan Eurocode 8.3 standardında da [18], mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik araştırmaların sonuçlarını içeren yaklaşımlar yer almaktadır.

Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi, son yıllarda ölkemizde meydana gelen depremler sonrasında giderek önem kazanmış ve bir gereksinim haline gelmiştir. Nitekim, bu gereksinime cevap vermek amacıyla, sözkonusu tarihlerde yürürlükte olan 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi çalışmaları yürütölmüş ve bu çalışmaların sonucunda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği hazırlanmıştır [2].

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, ölkemizde özellikle son kırk yıl içinde boyutlandırılan ve inşa edilen betonarme yapı stoğunu temsil eden bir grup taşıyıcı sistem modeli (TSM) üzerinde, mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi için 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan ve belirli ölçülerde revize edilen doğrusal değerlendirme yöntemi ile doğrusal olmayan yöntemin sayısal sonuçlarının değerlendirilmesi suretiyle,

- a) yönetmelikte yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması,
- b) söz konusu yapı sistemlerinin deprem performans ve güvenliklerinin, beton dayanımı ve sargı etkisi gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değerişiminin incelenmesidir.

Bu amaçla, çeşitli tarihlerde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerine göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelleri ve bunların beton kalitesi ve sargı donatısı bakımından çeşitli alternatifleri üzerinde sayısal incelemeler yapılmıştır.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- a) Malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme yapı sistemlerinin hesap yöntemlerinin incelenmesi.
- b) Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin gözden geçirilmesi.
- c) Sayısal incelemelere esas oluşturan taşıyıcı sistem modellerinin (TSM) belirlenmesi.
- d) Taşıyıcı sistem modellerinin 1968, 1975 ve 1998 Türk Deprem Yönetmelikleri'ne göre boyutlandırılması [19-21].
- e) Bu sistemler ile bunların beton dayanımı ve sargı donatısı gibi parametrelere bağlı olarak oluşturulan çeşitli alternatiflerinin, 2006 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal hesap yöntemleri ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi.
- f) Her iki yaklaşım ile elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması.
- g) Beton sınıfı (dayanımı) ve sargı donatısı miktarının kesit hasar bölgeleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi.
- h) Çalışmada varılan sonuçların açıklanması.

2. YAPI SİSTEMLERİNİN MALZEME BAKIMINDAN DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİYE GÖRE HESABI

2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal veya doğrusala yakın davranış gösterirler. İşletme yükleri altında doğrusal olmayan yapı sistemleri arasında narin yapılar ve elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları (bünye denklemleri) doğrusal-elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yüklerini aşarak yapı sisteminin taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve narin yapıların yerdeğiştirmeleri çok küçük varsayılamayacak değerler almaktadır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve sistem analizi bakımından doğrusal teoriye dayanan tasarım yaklaşımlarında (çelik yapıların güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarımı ve betonarme yapıların taşıma gücü yöntemine göre tasarımı), yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerinin hesaba katılması ve burkulmaya karşı yeterli bir güvenlik sağlanması amacıyla moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, yapı sisteminin doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi yeniden dağılım ilkesi yardımı ile gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını ve deprem enerjisinin söndürülmesini 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 kapasitelerini gözönüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu

hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarının daha yakından izlenebilmesi ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durumla karşılaşılmaktadır. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin davranışının doğrusal olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek, sistem davranışını gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden bir hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin doğrusal olmayan teoriye göre analizidir.

2.1.1 Çözümün sağlanması gereken koşullar Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu bir arada sağlamaları gerekmektedir [3, 4].

- 1- Bünye denklemleri: Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğiştirme ve iç kuvvet-şekildeğiştirme bağlantılarına 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 sınır koşullardır.

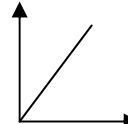
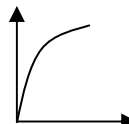
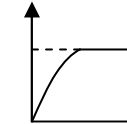
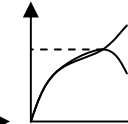
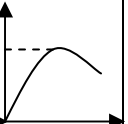
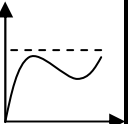
2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki temel nedenden kaynaklanmaktadır [22]:

- 1- malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması,
- 2- geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri gözönüne alan teoriler Çizelge 2.1’de topluca özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri.

Çözümün Sağlanması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından (1)	Geometri Değişimleri Bakımından (2)		Her İki Bakımdan (1+2)	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlılıları)	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
P-δ Bağlılıları						

Denge denklemlerinde yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde, denge denklemleri şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

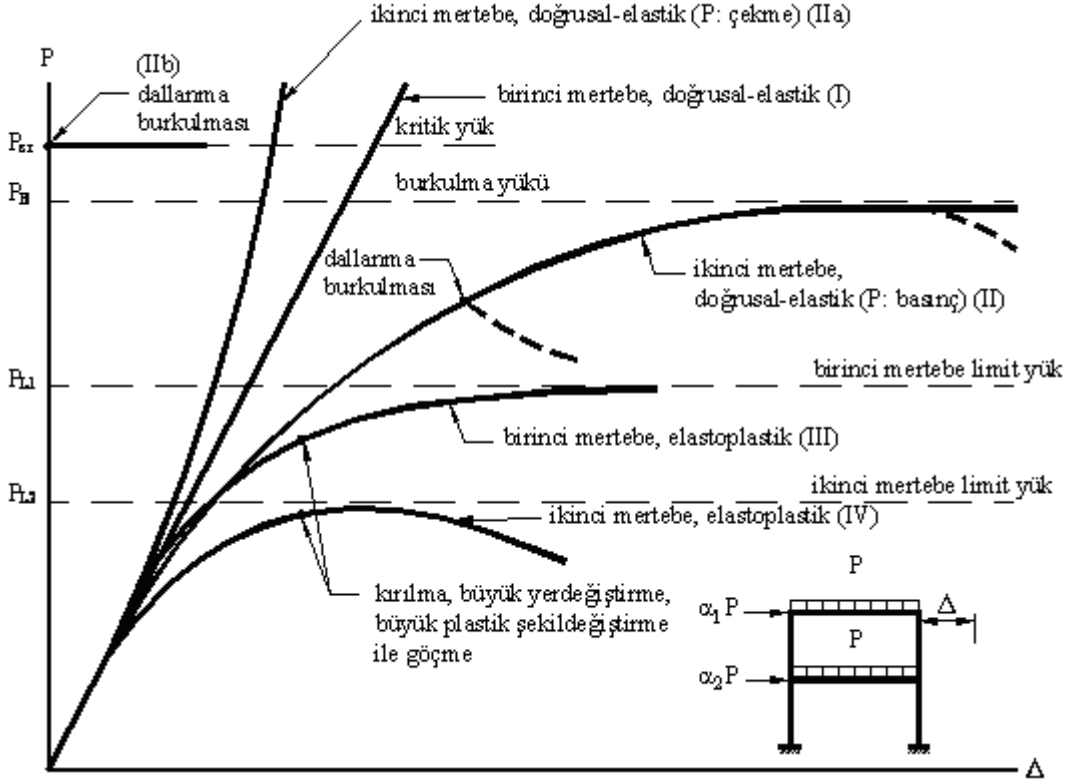
Geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekir.

2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi – yerdeğiştirme (P-Δ) bağıntıları Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmişlerdir.

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı (I) doğrusu ile ifade edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, eksenel kuvvetlerin şekildeğiştirmiş sistem üzerinde oluşturduğu ikinci mertebe etkilerinin (P-Δ etkilerinin) hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise,

eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre iki farklı sistem davranışı ile karşılaşılabilmektedir.



Şekil 2.1 : Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yük Parametresi – Yerdeğiştirme Bağıntıları

Örneğin aksel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yerdeğiştirmeler karşı gelmektedir. Aralarındaki oran sabit kalacak şekilde değişen dış kuvvetlerin büyüklüğünü ifade eden yük parametresi artarak *doğrusal-elastik burkulma yükü* adı verilen bir P_{β} değerine eşit olduğu zaman, yerdeğiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkulur. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir.

Örneğin asma sistemler gibi aksel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen $P-\Delta$ diyagramı peklesen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekildeğiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yerdeğiştirmeler birden artarak sonsuza gider. Dallanma burkulmasına neden olan bu yüke *kritik yük* denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz daha büyük veya ona eşittir. Dallanma

burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).

Doğrusal olmayan malzemedan yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, taşıma kapasitesine karşı gelen toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu, sünek malzemedan yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitlerin dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsallık (plastik kesit) hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci merteye teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallıklar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma kapasitesine erişildiğini gösterir. Bu yük *birinci merteye limit yük* adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte gözönüne alınması halinde, diğer bir deyişle, yapı sisteminin ikinci merteye elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen $P-\Delta$ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_{L2} sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallıklar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, yani $P-\Delta$ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine *ikinci merteye limit yük* denilmektedir.

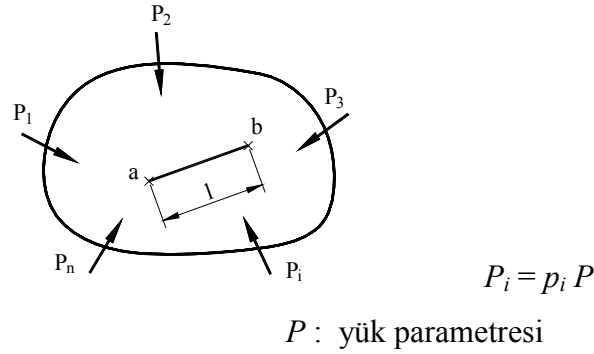
Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler veya betonarme sistemlerde oluşan büyük çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir.

2.2 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

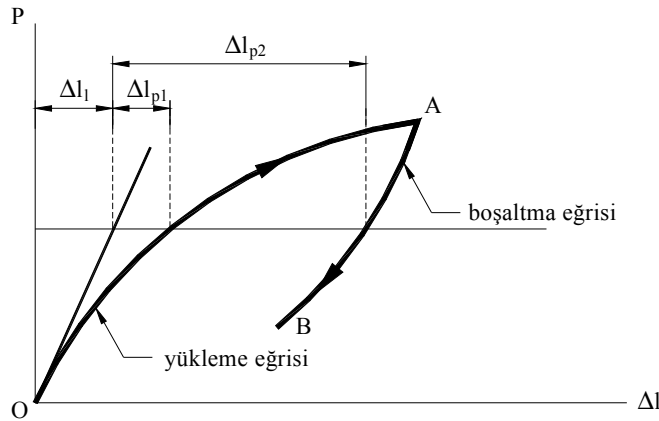
Aşağıda, çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağılılıları ile düzlem çubuk elemanların ve özellikle betonarme çubukların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağılılıları ve akma (kırılma) koşulları incelenecektir.

2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri

Şekil 2.2’de verilen katı cisim, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan P_i dış kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu dış kuvvetlerin büyüklüğünü tanımlayan P yük parametresi ordinata, bu kuvvetlerden dolayı katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun Δl değışimi absise taşınarak çizilen P - Δl diyagramı Şekil 2.3’te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim.



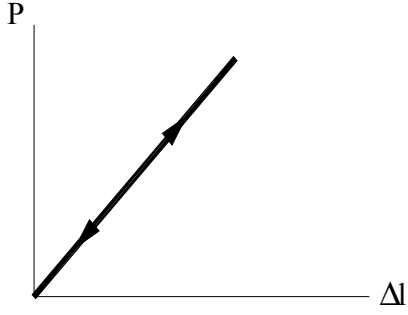
Şekil 2.3 : Şematik Yük Parametresi – Şekildeğiştirme Diyagramı.

Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen OA bölümüne yüklemeye eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen AB bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat eksenindeki Δl_1 şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yüklemeye ve boşaltma eğrileri arasında kalan

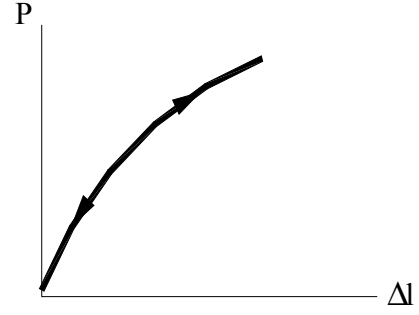
Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır.

2.2.1.1 İdeal malzemeler

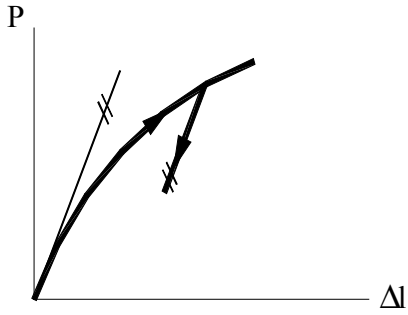
Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek yapı malzemelerinin şekildeğiştirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yaparak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



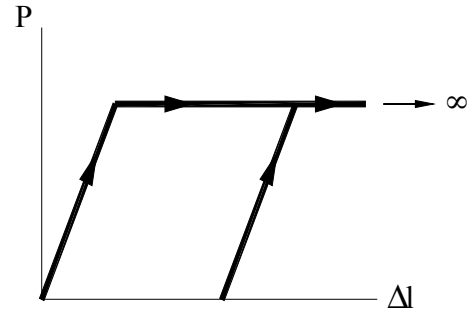
(a) Doğrusal-elastik malzeme



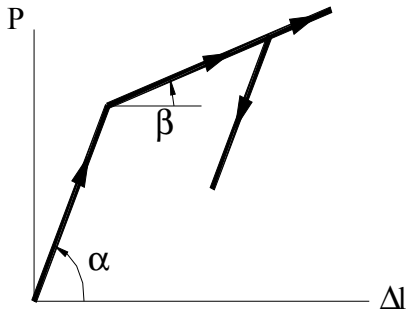
(b) Doğrusal olmayan elastik malzeme



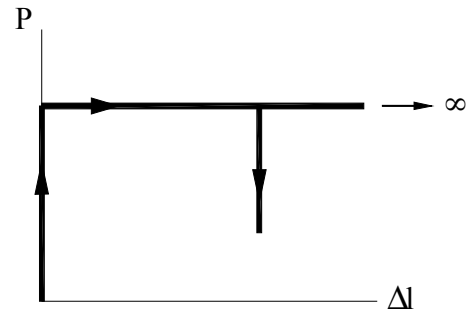
(c) Elastoplastik malzeme



(d) İdeal elastoplastik malzeme



(e) Pekleşen ideal elastoplastik malzeme



(f) Rijit plastik malzeme

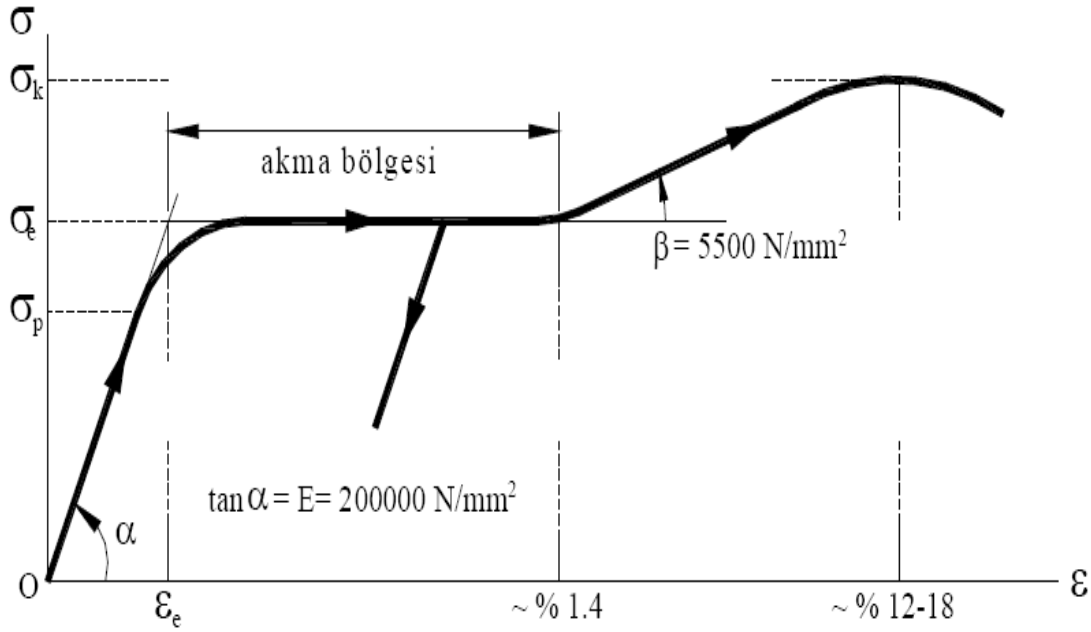
Şekil 2.4 : İdeal Malzemeler.

2.2.1.2 Yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları

Betonarme yapı elemanlarını oluşturan beton çeliği ve betonun gerilme-şekildeğiştirme (σ - ϵ) diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

a) Beton Çeliği

Beton çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 2.5'te görülmektedir.

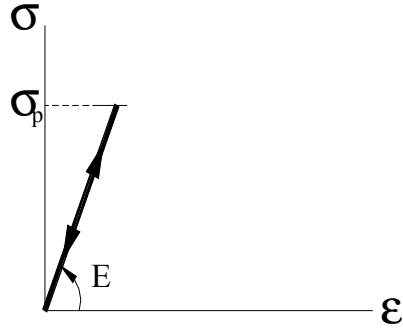


Şekil 2.5 : Beton Çeliğinde σ - ϵ Diyagramı.

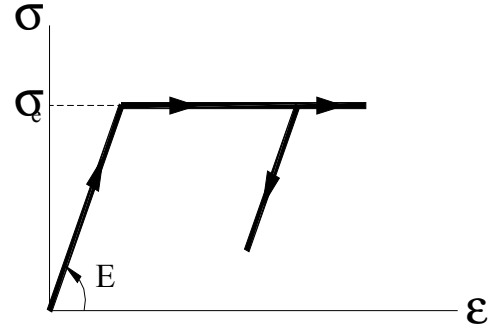
Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi ve ϵ_e akma şekildeğiştirmesinin S420 beton çeliği için aldığı değerler aşağıda verilmiştir:

$$\text{S420 beton çeliği} : \sigma_k = 550 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2 \quad (\epsilon_e \cong 0,0021)$$

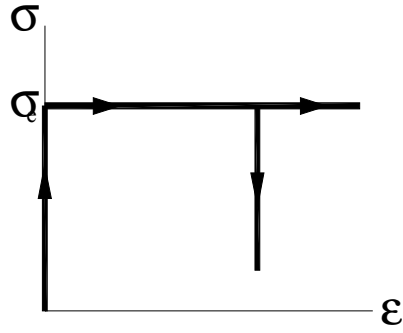
Betonarme yapı elemanlarının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesinde, uygulanan analiz ve tasarım yaklaşımına bağlı olarak, beton çeliğinin σ - ϵ diyagramının bir bölümü veya tümü Şekil 2.6'daki modellerden birine uygun olarak idealleştirilebilir.



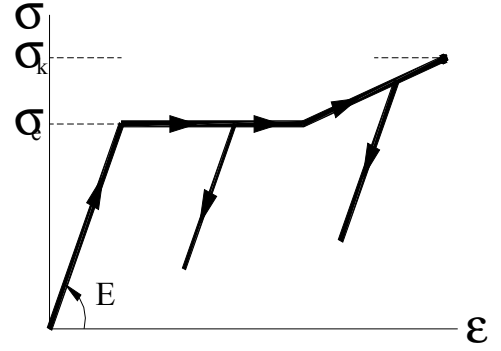
(a) Doğrusal - elastik malzeme



(b) İdeal elastoplastik malzeme



(c) Rijit plastik malzeme

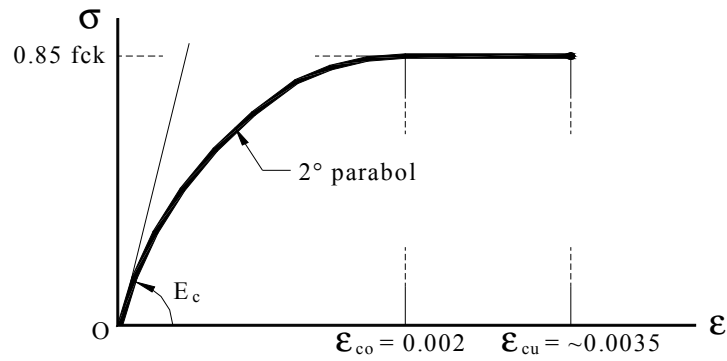


(d) Pekleşen ideal elastoplastik malzeme

Şekil 2.6 : Beton Çeliğinin σ - ϵ Diyagramının İdealleştirilmesi.

b) Beton

Betonarme bir çubuk elemanın eğilmesinde, dış basınç lifindeki betonun σ - ϵ bağıntısı Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7 : Betonarme Çubuğun Eğilmesinde Dış Basınç Lifindeki σ - ϵ Diyagramı.

Şekil 2.7'de f_{ck} karakteristik basınç dayanımını, E_c ise

$$E_c = 14000 + 3250\sqrt{f_{ck}} \quad (N/mm^2) \quad (2.1)$$

formülü ile hesaplanabilen beton elastisite modülünü göstermektedir.

Betonun ezilerek kırılmasına neden olan ϵ_{cu} birim kısalması sargısız betonda yaklaşık olarak 0.003-0.0035 iken, sargılı betonda sargı donatısı (etriye) miktarına bağlı olarak önemli oranda artabilmektedir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği, başkaca bir seçim yapılmadığı durumlarda, sargılı veya sargısız beton modelleri için Mander beton modelinin kullanılmasını önermektedir [2]. Mander sargılı beton modelinde, sargı etkisiyle artan beton basınç dayanımı ve ϵ_{cu} birim kısalması, malzeme dayanımlarının yanında elemandaki enine ve boyuna donatı yerleşimi de gözönüne alınarak hesaplanır. Mander sargısız beton modelinde ise ϵ_{cu} birim kısalmasının değeri 0.004 olarak alınmaktadır.

2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları

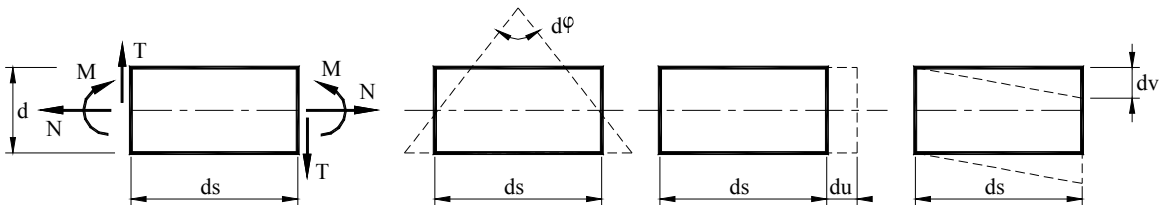
Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler (kesit zorları), M eğilme momenti, N normal kuvveti ve T kesme kuvvetidir. ds boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre göreceli (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri ds elemanın birim şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır. Bunlar φ kesitin dönmesini, u ve v kesitin çubuk eksenine ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere

$$\chi = d\varphi / ds \quad : \quad \text{birim dönme (eğrilik)}$$

$$\epsilon = du / ds \quad : \quad \text{birim boy değişmesi}$$

$$\gamma = dv / ds \quad : \quad \text{birim kayma}$$

adını alırlar (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Düzlem Çubuk Elemanda İç Kuvvetler ve Şekildeğiştirmeler.

Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler ile şekildeğiştirmeler arasındaki bağıntılar (bünye denklemleri), genel olarak

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N, T) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N, T) + \alpha_t t \quad (2.3)$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M, N, T) \quad (2.4)$$

şeklindedir. Burada F_1 , F_2 , F_3 malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağılı olarak belirlenen doğrusal olmayan fonksiyonları, t ve Δt kesite etkiyen düzgün ve farklı sıcaklık değışmelerini, α_t sıcaklık genleşme katsayısını göstermektedir.

İç kuvvetlerin artarak, belirli bir sınır duruma erişmesi halinde akma veya kırılma nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer. Kesitin daha büyük kesit zorlarını taşıyamayacağını ifade eden bu sınır durum kısaca akma veya kırılma olarak tanımlanır. Bu duruma karşı gelen iç kuvvetlere de kesitin taşıma gücü adı verilir. Akma (kırılma) durumunu kesit zorlarına veya şekildeğiştirmelere bağılı olarak ifade eden

$$K_1(M, N, T) = 0 \quad (2.5)$$

veya

$$K_2(\chi, \varepsilon, \gamma) = 0 \quad (2.6)$$

bağıntılarına akma (kırılma) koşulları denilmektedir.

Uygulamada genellikle olduğu gibi, kayma şekildeğiştirmeleri eğilme ve uzama şekildeğiştirmeleri yanında terkedilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boydeğışmesine etkileri ihmal edilirse, iç kuvvet şekildeğiştirme bağıntıları (bünye denklemleri)

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \quad (2.2a)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) + \alpha_i t \quad (2.3a)$$

ve akma (kırılma) koşulu da

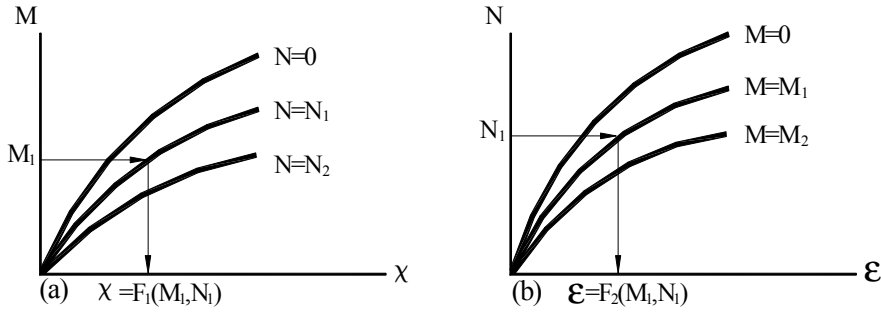
$$K_1(M, N) = 0 \quad (2.5a)$$

veya

$$K_2(\chi, \varepsilon) = 0 \quad (2.6a)$$

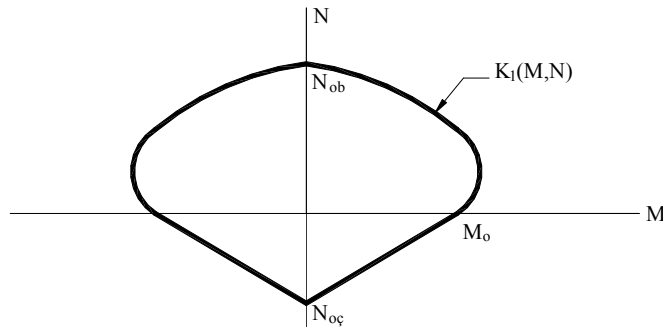
şeklini alır.

Bünye bağıntılarının belirlediği yüzeyler, pratikte genellikle eğri grupları halinde gösterilebilirler (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterilimi.

Akma koşulunu kesit zorları cinsinden ifade eden $K_1(M, N) = 0$ denkleminin belirlediği kapalı eğri, akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramı adını almaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı).

Özel Hal: N=0 hali

Normal kuvvetin sıfır veya terkedilebilecek kadar küçük olması ve kesite sıcaklık değişmesi etkimemesi halinde, iç kuvvet – şekildeğiştirme (eğilme momenti - eğrilik) bağıntısı

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M) \quad (2.7)$$

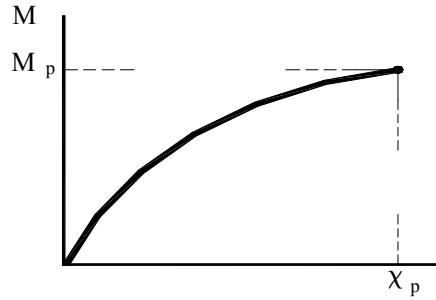
şeklinde yazılabilir. Akma koşulu ise

$$M - M_p = 0 \quad (2.8)$$

veya

$$\chi - \chi_p = 0 \quad (2.9)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü, χ_p ise buna karşı gelen birim dönme göstermektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Basit Eğilme Halinde Eğilme Momenti – Eğrilik Diyagramı.

2.2.2.1 Betonarme çubuklar

Eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet–şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları incelenecektir. Ayrıca, bu bağıntı ve koşulların nasıl idealleştirilebileceği açıklanacaktır. Basit eğilme ($M \neq 0, N = 0$) etkisindeki çubuklar, incelenen durumun özel bir halini oluşturmaktadır.

a) Varsayımlar ve Esaslar

Betonarme çubuk elemanların iç kuvvet–şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesinde şu temel varsayımlar ve esaslar gözönünde tutulmaktadır.

- 1- Düzlem dik kesit şekildeğıştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.
- 2- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- 3- Çatlama betonun çekme dayanımı terk edilmektedir.
- 4- Betonun σ - ϵ diyagramı için Şekil 2.7’de verilen parabol + dikdörtgen modeli veya benzeri bir beton modeli, örneğin Mander modeli esas alınmaktadır.
- 5- Beton çeliğinin σ - ϵ diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 (b).

b) Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Çubuklar

b1) Eğilme Momenti – Birim Dönme ($M - \chi$) Bağıntısı

Sabit normal kuvvet ($N=N_0$) altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğriliği) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır, Şekil 2.12. Bu bölgeleri sınırlayan L_0 , L_1 ve L_2 noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır [24].

L_0 : Beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Dış çekme lifindeki normal gerilme, eğilmedeki betonun çekme dayanımına eşit olunca betonda çatlakların meydana geldiği varsayılmaktadır. Eğilmedeki betonun çekme dayanımı ise

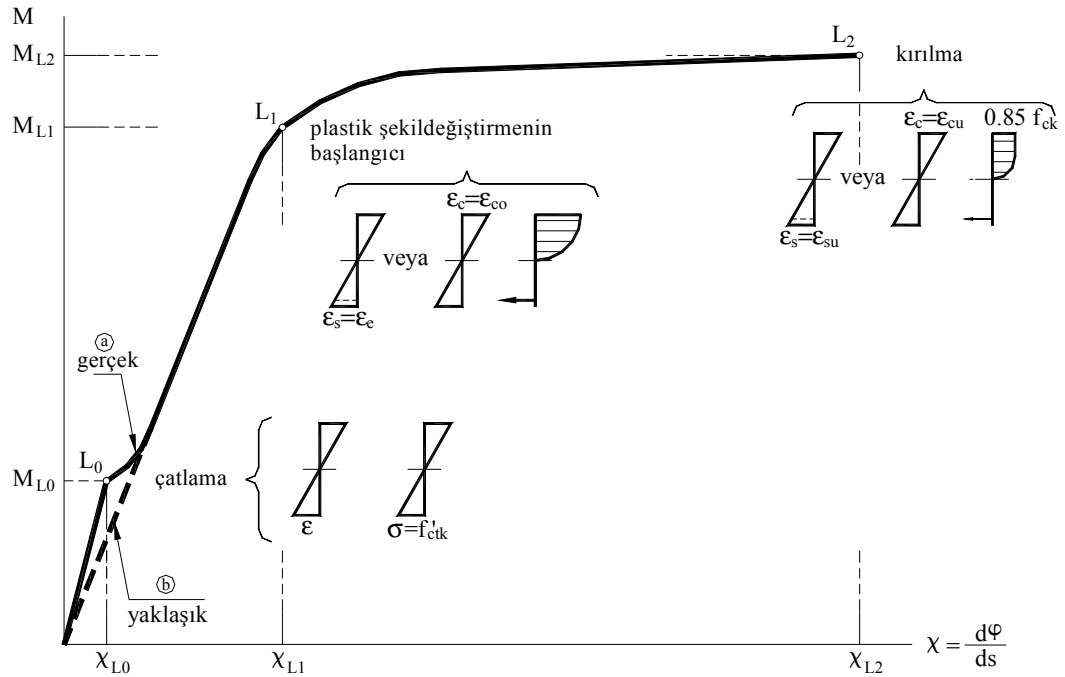
$$f'_{ctk} = 0,70\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2.10)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

L_0 çatlama noktasına karşı gelen M_{L_0} momentinin hesabında, beton kesitin homojen olduğu varsayılmakta ve betonun σ - ϵ bağıntısı doğrusal-elastik olarak alınmaktadır.

L_1 : Betonun dış basınç lifinde veya çekme donatısında plastik şekildeğıştirmelerin başlamasına karşı gelen durumdur. Plastik şekildeğıştirmelerin betonda $\epsilon_{co} = 0,002$ birim kısalmasında, çelikte ise ϵ_e akma sınırında başladığı göz önünde tutulmaktadır. M_{L_1} eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı gözönüne alınmaz.

L₂: Eğilme momenti artarak betonarme kesitin taşıma gücü adı verilen $M_{L2} = M_p$ değerine eşit olunca basınç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı kopar. Betonun ezilerek kırılması birim kısalmanın ϵ_{cu} sınır değerine erişmesi suretiyle meydana gelir. Sargısız betonda kısa süreli yükler için $\epsilon_{cu} = 0.003 - 0.0035$ olan bu sınır değer sargı donatısına bağlı olarak artmaktadır. Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine, genellikle çelikteki birim uzamanın $\epsilon_{su} = 0,01$ değeri ile sınırlandırılması esas alınır.



Şekil 2.12 : Betonarme Kesitlerde $(M - \chi)$ Diyagramı.

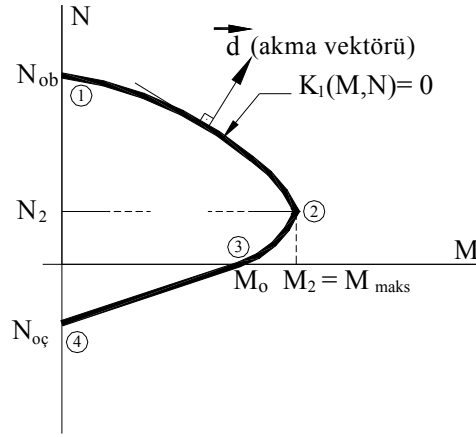
Betonunun çekme dayanımının terk edildiği durumlarda, $M - \chi$ bağıntısının çatlama öncesi bölümü yaklaşık olarak (b) eğrisi ile temsil edilmektedir.

Betonarme kesitlerin taşıma gücü esasına göre boyutlandırılmasında, betonarme betonu ve beton çeliğinin karakteristik dayanımları malzeme güvenlik katsayılarına bölünerek küçültülür. Buna karşılık, betonarme sistemlerin dış yükler altındaki davranışlarının incelenmesinde, örneğin kapasite diyagramlarının elde edilmesinde, malzeme güvenlik katsayılarının kullanılmasına ve çelikteki birim uzamanın $\epsilon_{su} = 0,01$ değeri ile sınırlandırılmasına gerek olmamaktadır.

b2) Akma Koşulu (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Eğilme Momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitte taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramı Şekil 2.13'te şematik olarak gösterilmiştir.

Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayılan betonarme sistemlerde, iç kuvvet durumunun bu eğri üzerinde bulunması bir plastik kesitin oluştuğunu ve bu kesitte sonlu plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiğini (yani kesitin aktığı) ifade etmektedir. Bu nedenle, karşılıklı etki diyagramına akma eğrisi de denilmektedir. Denklem 2.5a'daki bağıntı ile tanımlanan akma eğrisi N normal kuvvetinin çeşitli değerleri için hesaplanan $M_{L2} = M_p$ eğilme momentleri yardımı ile elde edilebilir.



Şekil 2.13 : Betonarme Kesitlerde Karşılıklı Etki Diyagramı (Akma Eğrisi).

Akma eğrisi dört karakteristik noktası ile tanımlanmaktadır. Akma eğrisinin idealleştirilmesinde de yararlanılabilecek olan bu noktalar aksenal basınç, basit eğilme ve aksenal çekme hallerine karşı gelen (1), (3) ve (4) noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı gelen (2) noktasıdır.

Bileşik eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde, plastik şekildeğiştirme bileşenlerini içeren akma vektörünün bazı koşullar altında ve yaklaşık olarak akma eğrisine dik olduğu bilinmektedir [24].

2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı

Malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme sistemlerin hesabı, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması veya plastik kesit adı

verilen belirli kesitlerde toplandığının varsayılması halleri için ayrı ayrı incelenecektir. Doğrusal olmayan şekildeğştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali hakkında kısa bir ön bilgi verildikten sonra, bu çalışmanın kapsamı içinde olan plastik mafsalsal hipotezi ve bu hipoteze dayanan hesap yöntemi ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.3.1 Doğrusal olmayan şekildeğştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığı gözönüne alınması halinde, yük parametresi-yerdeğştirme bağıntılarının (kapasite eğrilerinin) belirlenmesi ve göçme yüklerinin hesabı için, ardışık yaklaşım yöntemlerinden veya yük artımı yöntemlerinden yararlanılabilir [6, 22, 25].

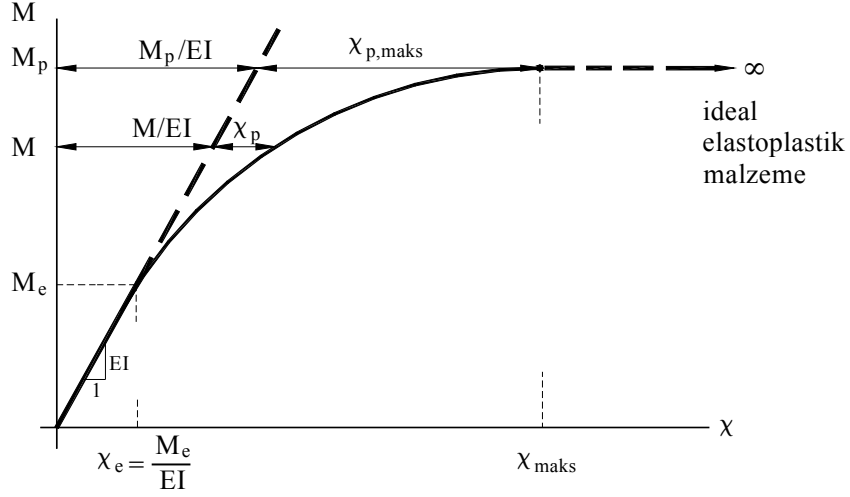
2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının varsayılması hali

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinin (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar) malzeme bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesabında, plastik mafsalsal (veya genel anlamda plastik kesit) varsayımı yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir [22].

2.3.2.1 Plastik mafsalsal hipotezi

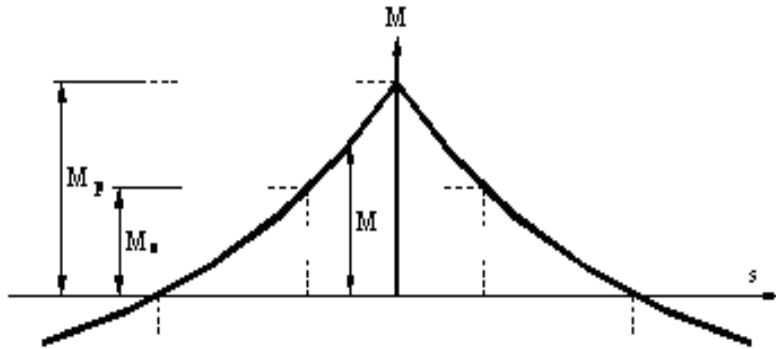
Toplam şekildeğştirmelerin doğrusal şekildeğştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğştirmelerinin plastik mafsalsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, *plastik mafsalsal (plastik kesit) hipotezi* adı verilir.

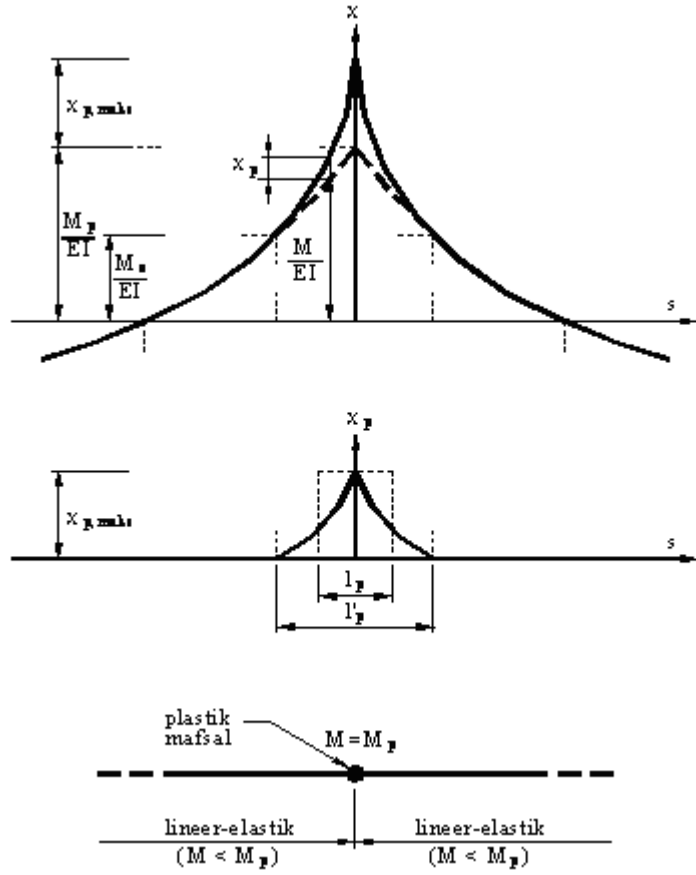
Doğrusal olmayan malzemedan yapılmış bir kesitteki gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.14'te verilen bir düzlem çubuk elemanın bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğştirmeler Şekil 2.15'te gösterilmişlerdir.



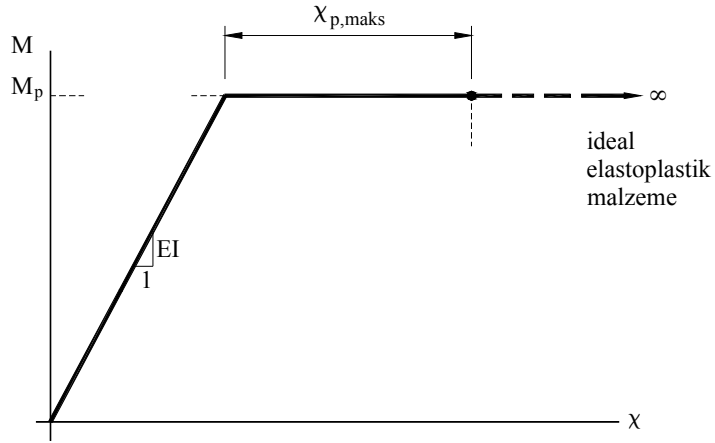
Şekil 2.14 : Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı.

Çelik kesitlerin ve yeterli süneklığe 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-elastik varsayılabılır. Betonarme kesitlerde, bu bölgede beton ve beton çeliği doğrusal davranış bölgesinde kaldığı için, eğilme momenti-eğrilik bağıntısında da benzer özellik ortaya çıkar. Ancak beton ve çelik gerilmelerinin artmasına paralel olarak, doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin kesitin davranışında etkili olmaya başlaması, eğilme momenti-eğrilik bağıntısının da doğrusal davranıştan ayrılmasına neden olur. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde eğrinin eğimi giderek azalır. 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. Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge ideal olarak, bir tanesi yatay olan iki doğru parçası ile ifade edilir (Şekil 2.16).





Şekil 2.15 : Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler.



Şekil 2.16 : İdealleştirilmiş Bünye Bağantısı.

İdealleştirilmiş bünye bağantısının her iki bölümü 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 varsayılabilir ve bu duruma karşı gelen eğrilik Φ_y olarak gösterilir.

Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik de Φ_u ile gösterilirse, kesitin eğilme sünekliği

$$\mu = \Phi_u / \Phi_y \quad (2.11)$$

şeklinde tanımlanır.

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir. Bu idealleştirme, (2.12) ve (2.13)'te verilen bağıntılarla temsil edilmektedir.

$$M < M_p \text{ için } \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.12)$$

$$M = M_p \text{ için } \chi \rightarrow \chi_p \quad (2.13)$$

Artan dış yükler altında, plastik mafsalın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ulaşıncaya, meydana gelen büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır.

Şekil 2.15'den görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler çubuk üzerindeki l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmakta ve en büyük plastik eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine eşit olmaktadır. Bu hipotezde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğunda bir bölgede sürekli olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre plastikleşen bölgedeki toplam plastik dönme

$$\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \quad (2.14)$$

şeklinde hesaplanabilir ve plastik mafsal dönmesi olarak isimlendirilir.

Plastik mafsalın *dönme kapasitesi* ise

$$\text{maks}\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \quad (\chi \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (2.15)$$

şeklinde, eğilme momenti diyagramının şekline ve (M- χ) bağıntısına bağlı olarak belirlenir.

Plastik dönme kapasitesi yaklaşık olarak

1. Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti ($M=M_p$) sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner. Böylece kesitteki eğilme momentinin $M=M_p$ değerinde sabit kalması sağlanır. Plastik mafsaldaki ϕ_p plastik dönmesi artarak dönme kapasitesine ($\text{maks}\phi_p$) erişince kesitte güç tükenmesi meydana gelir.
2. Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal-elastik olarak davranır.
3. Düzlem sistemlerde, kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momentini yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılır.

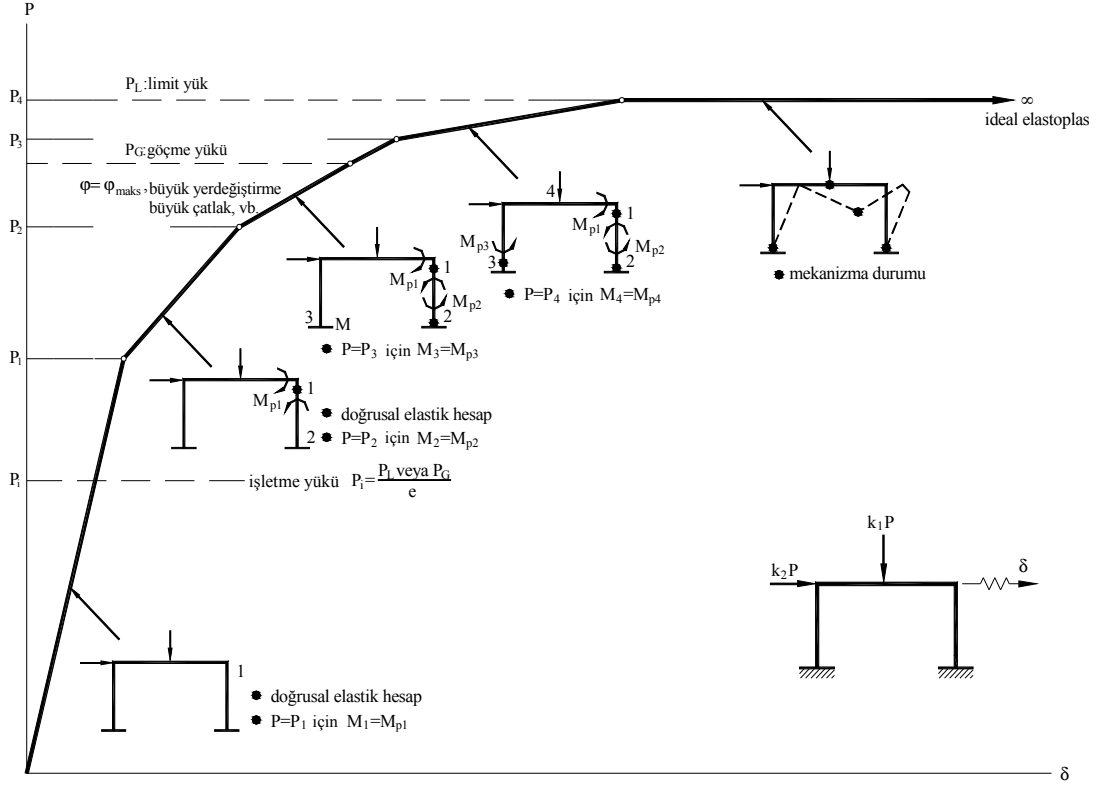
2.3.2.2 Yük artımı yöntemi

Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı Şekil 2.18' te şematik olarak gösterilmiştir.

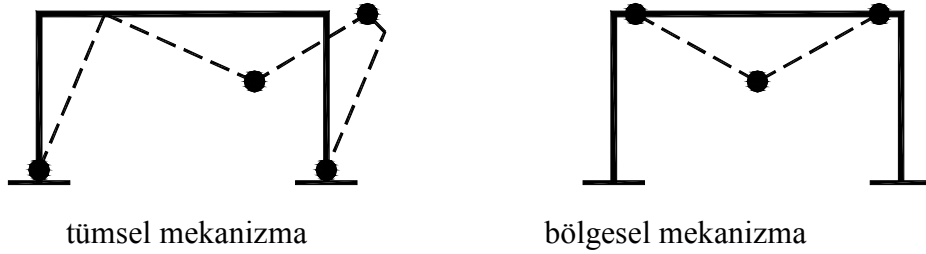
Bu davranışı izleyerek sistem analizinin gerçekleştirildiği yük artımı yönteminde, her plastik mafsalin oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsal koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkilemek suretiyle elde edilen sistem doğrusal-elastik teoriye göre hesaplanır.

Sistem belirli sayıda plastik mafsalin oluşmasından sonra, kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır, diğer bir deyişle, stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir (Şekil 2.19). Bu duruma karşı gelen P_L yük parametresi limit yük (birinci mertebeli limit yük) olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, birinci mertebeli limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüküdür.

Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması, betonarme sistemlerde kırılma veya büyük çatlaklar meydana gelmesi nedeniyle sistem kullanım dışı kalabilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır.



Şekil 2.18 : Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı.



Şekil 2.19 : Tümsel ve Bölgesel Mekanizma Durumları.

Limit yük (veya göçme yükü) bulunduktan sonra, yapının yeter güvenlikle taşıyabileceği yük, e güvenlik katsayısına bölünerek yani işletme yükü

$$P_i = \frac{P_G \text{ veya } P_L}{e} \quad (2.18)$$

şeklinde hesaplanır. Ayrıca işletme yükleri altında doğrusal-elastik sınırın pek aşılmaması, zararlı yerdeğiştirme ve çatlakların oluşmaması istenir.

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir.

- 1- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.

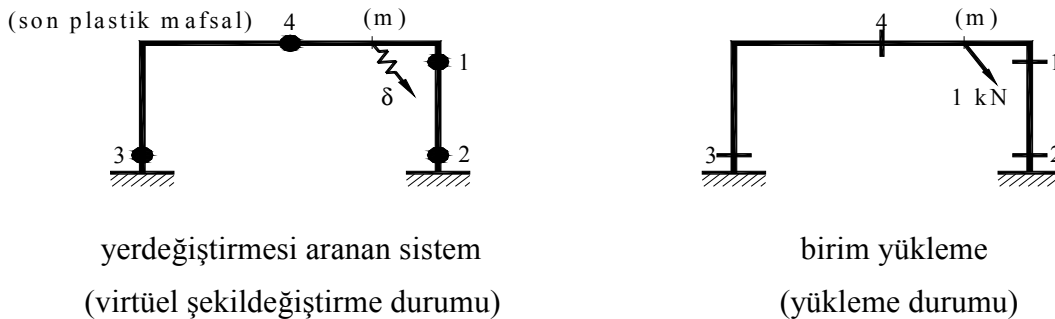
2- Düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkilindikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır ve yatay yüklere ait limit yük (veya göçme yükü) parametresi bulunur. Böylece, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik altında, sistemin yatay yükler altındaki davranışı izlenir ve yatay yük taşıma kapasitesi belirlenir.

Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirgin olduğu, buna karşılık rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu gözönünde tutulduğunda, yapı sisteminin gerçek göçme güvenliğinin belirlenmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği görülmektedir. Diğer taraftan, doğrusal olmayan yöntemlerle deprem performansının belirlenmesinde esas alınan statik itme analizi sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında gerçekleştirilmektedir.

Plastik mafsallarda, eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti (M_p') esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsallardaki normal kuvvetler başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir. Bileşik iç kuvvetler etkisindeki sistemlerin, ardışık yaklaşıma gerek kalmaksızın, yük artımı yöntemi ile doğrudan doğruya hesabı için geliştirilen bir yöntem kaynak [8, 11, 26] de verilmiştir.

Yerdeğiştirmelerin ve Plastik Mafsal Dönmelerinin Hesabı

Üzerinde plastik mafsallar bulunan bir sistemde, limit yüke karşı gelen son plastik mafsaldan oluşan fakat dönmenin başlamadığı andaki yerdeğiştirmeler virtüel iş teoremi ile hesaplanabilir (Şekil 2.20).



Kesit Zorları : M, N, T

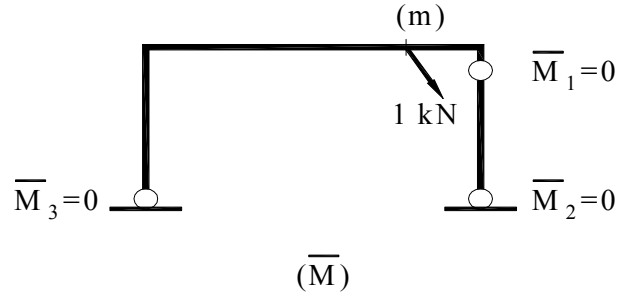
Plastik Mafsal Dönmeleri : $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4 = 0$

Şekil 2.20 : Yerdeğiştirmelerin Hesabı.

Yerdeğiştirmesi aranan sistem virtüel şekildeğiştirme durumu, yerdeğiştirmesi aranan noktaya aranan yerdeğiştirme doğrultusunda yapılan birim yükleme durumu olarak alınır ve virtüel iş teoremi uygulanırsa

$$\sum 1.\delta = \int \bar{M} \frac{M}{EI} ds + \int \bar{N} \frac{N}{EF} ds + \int \bar{T} \frac{T}{GF'} + \sum M_i \varphi_i \quad (2.19)$$

elde edilir. Kısaltma teoremi uyarınca, son plastik mafsalı dışındaki plastik mafsalların bulunduğu noktalara adi mafsallar konularak elde edilen sisteme birim yükleme yapılırsa (şekil 2.21).



şekil 2.21 : Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması.

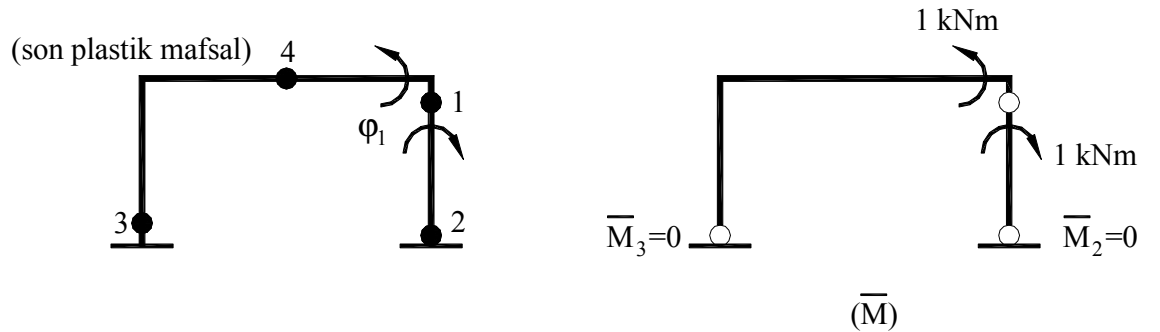
$$\bar{M}_1 \varphi_1 = \bar{M}_2 \varphi_2 = \bar{M}_3 \varphi_3 = \dots = 0 \quad (2.20)$$

olacağından, δ yerdeğiştirmesi

$$\delta = \int (\bar{M}) \frac{M}{EI} ds + \int (\bar{N}) \frac{N}{EF} ds + \int (\bar{T}) \frac{T}{GF'} ds \quad (2.21)$$

şeklinde, plastik mafsalların dönmelerinden bağımsız olarak hesaplanabilir.

Plastik mafsalların dönmeleri de benzer şekilde hesaplanabilir. Bunun için, plastik mafsallara birim moment çifti uygulanır (şekil 2.22).



şekil 2.22 : Plastik Mafsalların Dönmelerinin Bulunması.

Limit yükten önceki aşamalara ait yerdeğiştirmeler de benzer şekilde hesaplanabilir. Ancak bu durumda, plastik mafsallar konulmak suretiyle elde edilen sistem hiperstatik olacağından, ayrıca kesimler yapılarak izostatik hale getirilir.

2.3.2.3 Limit yükün doğrudan doğruya hesabı

Büyük yerdeğiştirmelere ve plastik şekildeğiştirmelere izin verilen süneklik düzeyi yüksek sistemler (örneğin yumuşak çelikten yapılan sistemler ile beton basınç bölgesi derinliği $a/d \leq 0.25$ koşulunu sağlayan bazı betonarme sistemler), kendilerine etkileyen dış yükleri limit yüke kadar göçmeden taşıyabilirler; yani bu sistemlerde $P_G = P_L$ olur. Bu nedenle, söz konusu sistemlerin dayanım bazlı yöntemlerle boyutlandırılmaları doğrudan doğruya limit yük esas alınarak yapılabilir.

Limit yükün doğrudan doğruya hesabı için uygulanmakta olan yöntemlerin başlıcaları, plastik teorinin alt sınır teoremine dayanan statik yöntem ile üst sınır teoreminin uygulandığı sinematik yöntemdir [27, 28].

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesini ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesini amaçlayan pratik uygulamalara hız verilmiştir. Ancak o tarihlerde, diğer birçok ülkede olduğu gibi, ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılından başlayarak, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları yürütülerek 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nin mevcut betonarme binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirmesine ilişkin bölümü (Bölüm 7) oluşturulmuştur [1].

Aşağıdaki bölümlerde, bu yönetmelik üzerinde yapılan revizyonlarla son şeklini alan 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin (DBYBHY'07) mevcut betonarme binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirilmesine ilişkin esasları hakkında bilgi verilecektir. Ayrıca, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerden *Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi* ve *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi*'nin hesap adımları açıklanacaktır [2].

3.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistem geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler binaların projelerinden, ilgili raporlardan, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilebilir. Binalardan toplanan bilginin kapsam ve güvenilirliğine bağlı olarak

- a) sınırlı bilgi düzeyi
- b) orta bilgi düzeyi
- c) kapsamlı bilgi düzeyi

olmak üzere, yönetmelikte üç bilgi düzeyi tanımlanmış ve bu bilgi düzeyleri için eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : Binalar için Bilgi Düzeyi Katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve *dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme* adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini gözönüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayıları çerçevesinde, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, *yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin* esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

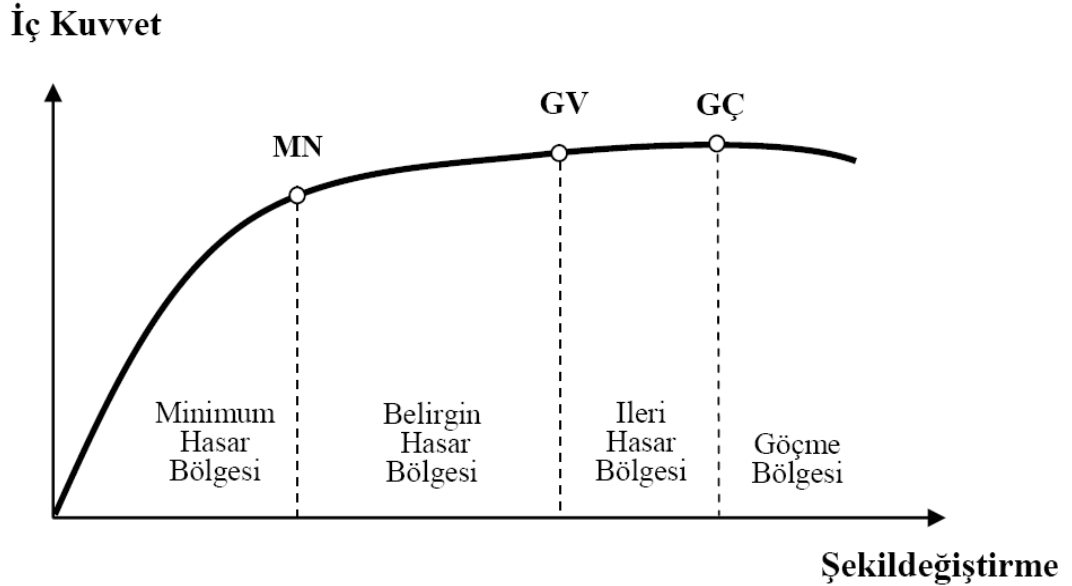
Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “*sünek*” ve “*gevrek*” olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir.

3.2.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)’dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Eksenel basınç ve kesme gibi etkiler altında kapasitesine ulaşan gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışa izin verilmemektedir.

3.2.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN’ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÇ’yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde kabul edilirler (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Kesit Hasar Bölgeleri.

3.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri

Verilen bir bina için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumları performans düzeyleri olarak tanımlanmaktadır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir [22].

2007 Türk Deprem Yönetmeliği binaların deprem performansını, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen yapısal hasara bağlı olarak tanımlamaktadır. Yönetmelikte tanımlanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile binanın deprem performans düzeyi belirlenir.

3.3.1 Hemen kullanım performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir; ancak bunlar onarılabilir düzeydedir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir; ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir. Bu binaların güçlendirilmelerine gerek yoktur.

3.3.2 Can güvenliği performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür; ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey taşıyıcı elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlarda hasar bulunmakla birlikte dolgu duvarları yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir; ancak gözle farkedilebilir değerlerde değildir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla 2006 TDY'ne göre %20'si, 2007 TDY'ne göre %30'u ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Bu durumda, eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bina *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Can güvenliği performans düzeyinin kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

3.3.3 Göçme öncesi performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bir bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınmasında yeterlidir; ancak bazıları aksenal kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Bu durumda bina, eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, *Göçmenin Öncesi Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Göçmenin önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve bina güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

3.3.4 Göçme durumu

Bina uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyenler düşey yükleri taşıyabilmektedir; ancak rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Bina tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddetteki bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bununla beraber, güçlendirme de çok kere ekonomik olmayabilir.

3.4 Deprem Performansı Belirlenmesinde Esas Alınacak Deprem Hareketleri

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda gözönüne alınmak üzere, farklı düzeyde üç deprem hareketi tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

1- *Servis (kullanım) depremi* : 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

2- *Tasarım depremi* : 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmelikleri'nde yeni binaların tasarımında esas alınmaktadır.

3- *En büyük deprem* : 50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katıdır.

3.5 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans düzeyi, *performans hedefi* olarak tanımlanır. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde, mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem hareketleri ve bu deprem

hareketlerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri.

<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	<i>50 yılda %50</i>	<i>50 yılda %10</i>	<i>50 yılda %2</i>
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

3.6 Depremde Bina Performansının Belirlenmesi

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

Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi için uygulanan yöntemler dayanım bazlı *doğrusal elastik* hesap yöntemleri ile şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme bazlı *doğrusal elastik olmayan* hesap yöntemleridir.

3.7 Performans Belirlenmesi ve Kullanılan Analiz Yöntemleri

Aşağıdaki paragraflarda mevcut betonarme yapıların deprem performanslarını belirlemede uygulanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için öngörülen genel ilke ve kurallar, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği [1] ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği [2] için karşılaştırmalı olarak açıklanacak ve doğrusal elastik hesap yöntemi ile bu yöntemde izlenen hesap adımları hakkında bilgi verilecektir. İlerleyen bölümlerde, tez kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği’nde belirtilen hesap adımları incelenecek ve son olarak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleriyle deprem performansının nasıl belirleneceği açıklanacaktır.

3.7.1 Doğrusal ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleri için genel ilke ve kurallar

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için genel ilke ve kurallar aşağıda sıralanmıştır.

- a) Deprem etkisinin tanımında, yönetmelikte aynı zamanda tasarım için verilmiş olan, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılır. Çok seviyeli performans değerlendirmesi gerekli olan binalarda, 50 yılda aşılma olasılıkları %50 ve %2 olan depremler için, spektrum ordinatları sırası ile 0.5 ve 1.5 katsayıları ile çarpılır; buna karşılık bina önem katsayısı uygulanmaz ($I=1.0$ alınır).
- b) Binaların deprem performansı, düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde hesap yükleri kat ağırlıkları ve hareketli yük katılım katsayısı ile çarpılan hareketli yüklerin toplamı olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, hareketli yükler kütle katılım oranında esas alınan katsayı ile kombinasyonlara girmektedir. 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde ise, hesap yükleri olarak esas alınacak birleşik etkiler için herhangi bir düzenleme bulunmamaktadır.
- c) Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilir.
- d) Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri yönetmeliğin ilgili bölümüne göre belirlenir.
- e) Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem kuvvetleri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelerin hesaplanması için yeterli doğrulukta hazırlanır.
- f) Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik dereceleri gözönüne alınır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanır ve ek dışmerkezlilik uygulanmaz.
- g) Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılır.
- h) Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanır.

- i) Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır.
 - i. Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.
 - ii. Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değıştirmesi ise 0.01 olarak alınabilir.
 - iii. Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenebilir. Bu madde ile ilgili olarak 2006 Türk Deprem Yönetmeliğ'i'nde her hangi bir kural belirtilmemiştir.
- j) Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak gözönüne alınabilir.
- k) Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için

(a) kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

(b) kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

$$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ durumunda: } (EI)_e = 0.80 (EI)_o$$

değerleri kullanılır. Eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlama kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı, çatlama kesit için tanımlanan etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılır.

2006 Türk Deprem Yönetmeliğ'i'nde, mevcut binaların deprem performans seviyelerinin doğrusal elastik hesap yöntemleri ile belirlenmesinde, brüt (çatlama kesit rijitliklerinin kullanılması öngörülmektedir. Gelecek bölümdeki hesap örneklerinde ve elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında bu varsayımın etkisi vurgulanacaktır.

- l) Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.
- m) Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında, ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki yetersizlik oranında azaltılabilir.
- n) Zemindeki şekildeğişikliklerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılır.

3.7.2 Doğrusal elastik hesap yöntemleri

3.7.2.1 Yöntemin Esasları

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen ve binaların deprem performanslarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal elastik hesap yöntemleri, *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ve *Mod Birleştirme Yöntemi*'dir. Dayanım bazlı olan bu yöntemlerin amacı, verilen bir deprem etkisi altında, deprem yükü azaltma katsayısının $R_a=1$ değeri için hesaplanan etkiler ile yapı elemanlarının artık kapasiteleri arasındaki etki/kapasite oranlarının hesaplanması ve bu değerlerin ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi ve bunlardan yararlanarak bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılmasıdır.

3.7.2.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile performans değerlendirilmesinde izlenecek hesap adımları

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlilik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi esas alınarak yapılacak doğrusal elastik performans değerlendirmesinde izlenen yolun adımları aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Yapı sistemi düşey işletme yükleri altında hesaplanarak tüm kesitlerdeki eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler elde edilir.
- 2) Mevcut yapı sisteminin kirişlerinin eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır. Eğilme momenti kapasitelerinin hesabında, betonarme betonu ve donatı çeliğinin mevcut dayanımları kullanılır. Bu dayanım değerlerine malzeme güvenlik katsayıları

uygulanmaz; buna karşılık mevcut dayanımlar bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılır. Bu işlem kiriş uçlarının pozitif ve negatif eğilme momenti kapasiteleri için tekrarlanır.

3) Benzer şekilde, mevcut yapı sisteminin kolon kesitlerinin eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır. Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisinde olan kolonların eğilme momenti kapasiteleri, başlangıçta düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler altında hesaplanabilir.

4) Kiriş ve kolon uçlarındaki eğilme momenti kapasiteleri ile düşey yükler altında bu kesitlerde hesaplanan eğilme momentlerinin farkları hesaplanarak kesitlerin artık eğilme momenti kapasiteleri bulunur. Bu işlem, deprem kuvvetlerinin yönü de gözönünde tutularak, kiriş enkesitlerinin pozitif ve negatif eğilme momenti kapasiteleri için tekrarlanmalıdır.

Bu adımda 2006 ve 2007 Türk Deprem Yönetmelikleri arasındaki önemli farklardan biri, kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan eğilme momentleri yeniden dağılım ilkesine göre en fazla %15 oranında azaltılabilmektedir.

5) Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvvetinin) hesabında, deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = 1$ olarak alınır ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır. Bu deprem yükleri için sistem hesaplanarak kritik kesitlerdeki (kiriş ve kolon uç noktalarındaki) eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler bulunur.

6) Uygulanan depremin yönü de dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan eğilme momentlerinin kesitlerin artık eğilme momenti kapasitelerine bölünmesi ile kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r) elde edilir.

7) Kolonların aksenal yükleri, düşey yükler ve söz konusu eleman için hesaplanan (r) katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinin ortak etkisi altında yeniden hesaplanır. Gerekirse, bu normal kuvvetler için kolon eğilme momenti kapasiteleri tekrar hesaplanarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilir. Bu husus, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin Bilgilendirme Eki 7A'da açıklanmıştır [2].

8) Kirişler ve kolonlar için hesaplanan etki/kapasite oranları, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak kesitlerin hangi hasar bölgelerinde buldukları belirlenir. Çizelgelerdeki ara değerler için enterpolasyon yapılır.

9) Ayrıca tüm elemanlarda, kesme ve basınç türü gevrek kırılma kontrolleri yapılır.

- 10) Kiriş ve kolonların uç kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak eleman hasarları ve yapı sisteminin deprem performansı değerlendirilir.

Çizelge 3.3 : Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s).

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Çizelge 3.4 : Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s).

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_K}{A_c f_{cm}}^{(1)}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}^{(2)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

Çizelge 3.5 : Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s).

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Perde Uç Bölgesinde Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

3.7.2.3 Mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yöntemi tüm sistemlere uygulanabilir. Bu yöntem ile hesapta $R_a=1$ alınır, diğer bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan aynen kullanılır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınır.

3.7.3 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

3.7.3.1 Tanım

Deprem etkileri altındaki mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için uygulanan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için, sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılır.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi* (artımsal itme analizi), *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'dir. İlk iki yöntem, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde ve güçlendirilmesinde artımsal itme analizinin esas alındığı yöntemlerdir.

3.7.3.2 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenen hesap adımları

Artımsal itme analizi esas alınarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenen yolun adımları aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesine ve analiz modelinin oluşturulmasına yönelik kurallar esas alınır.
- 2) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

- 3) Artımsal itme analizinin artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kapsamında yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönme) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.
- 4) Artımsal itme analizinin artımsal mod birleştirme yöntemi ile yapılması durumunda, gözönüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilir. Bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.
- 5) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve son olarak toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra, bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde, betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, yönetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır.

3.7.3.3 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile, *yığılı plastik davranış modeli* esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal hipotezi*'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. *Plastik mafsal boyu* olarak tanımlanan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınır.

$$L_p = 0.5 h \quad (3.1)$$

Yalnız aksel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanlarda, plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit olarak alınır.

Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden *plastik kesit*'in, teorik olarak plastik şekildeğiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir:

(a) Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.

(b) Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Bir veya iki aksel eğilme ve aksel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır:

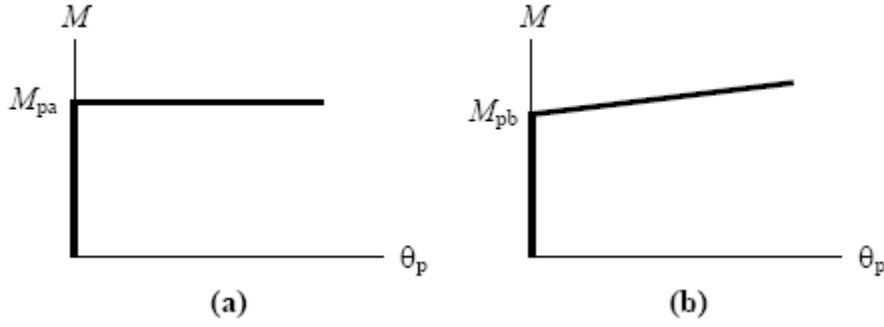
- i. Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.
- ii. Betonun maksimum birim kısalması 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınabilir.

Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenenir.

İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntıları ile ilgili olarak, aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir:

(a) İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 3.2a). Bu durumda, bir veya iki aksel eğilme ve aksel kuvvet etkisindeki kesitlerde, plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekildeğiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu gözönüne alınır.

(b) Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Şekil 3.2b), bir veya iki eksenli eğilme ve aksenal kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanır.



Şekil 3.2 : Eğilme Momenti – Plastik Dönme Bağlılıları.

3.7.3.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında *doğrusal olmayan itme analizi*'nin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlilik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca, gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız olarak sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği

ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan *itme eğrisi* elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, gözönüne alınan x deprem doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları “*modal yerdeğiştirme – modal ivme*” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a) (i)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme $a_1^{(i)}$ aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.2)$$

Bu denklemde $V_{x1}^{(i)}$ x deprem doğrultusunda (i)’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci (hakim) moda ait taban kesme kuvvetini, M_{x1} ise x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleli göstermektedir.

(b) (i)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yer değiştirme $d_1^{(i)}$ ’nin hesabı için aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (3.3)$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımındaki doğrusal elastik davranışı için tanımı ilgili bölümde yapılan L_{x1} ve 1. doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1 ’den yararlanarak

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilir.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıklı deprem istemi için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer bir deyişle, modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{dil} 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{dil} \quad (3.5)$$

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{dil} , itme analizinin ilk adımında doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{del} 'e bağlı olarak Denk.(3.6) ile elde edilir:

$$S_{dil} = C_{R1} S_{del} \quad (3.6)$$

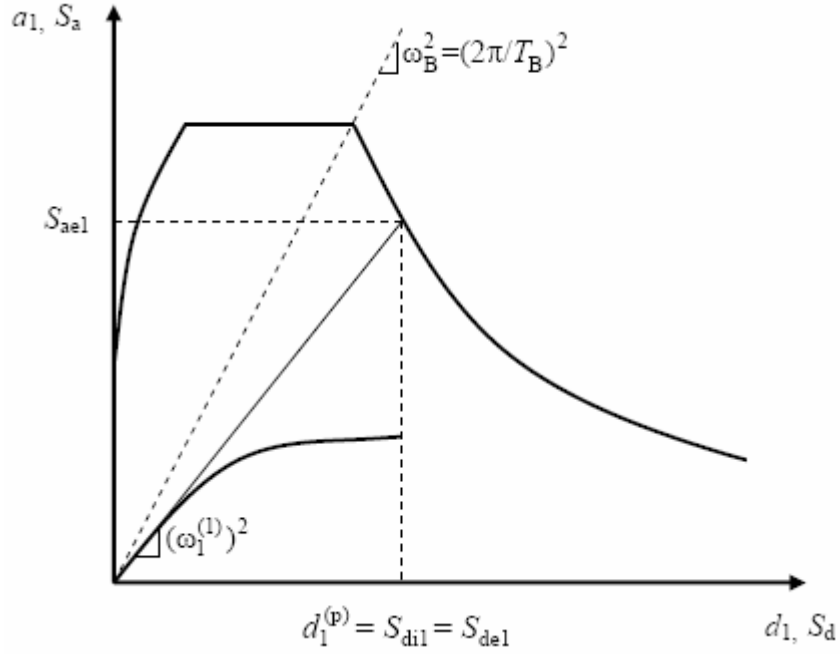
Doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{del} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ael} 'den hesaplanır:

$$S_{del} = \frac{S_{ael}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.7)$$

Spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak belirlenir. $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$), doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{dil} , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{del} 'e eşit alınır. Buna göre spektral yerdeğiştirme oranı

$$C_{R1} = 1 \quad (3.8)$$

olarak tanımlanır (Şekil 3.3).

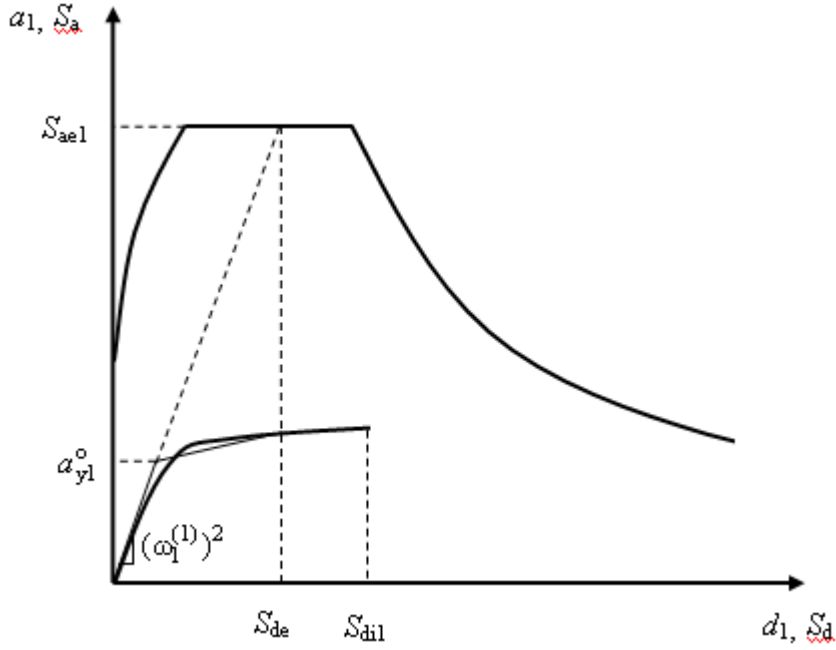


Şekil 3.3 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$).

Şekilde birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları (d_1 , a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları “spektral yerdeğiştirme (S_d) – spektral ivme (S_a)” olan davranış spektrumu birarada çizilmiştir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) ise, spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} ardışık yaklaşımla hesaplanır. Hesap adımları şu şekildedir.

(a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 3.4'ten görüldüğü gibi, yaklaşık olarak iki doğrusu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).



Şekil 3.4 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$).

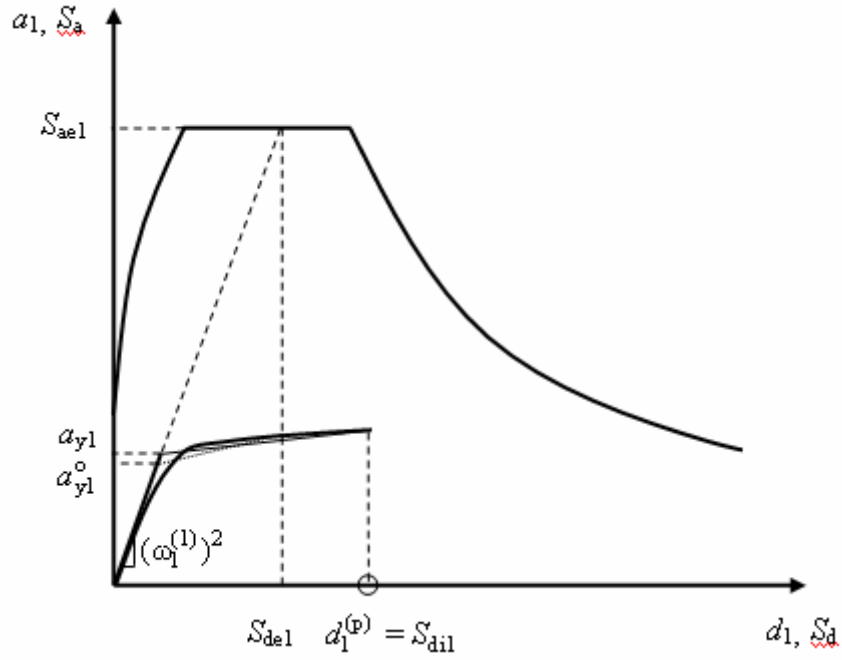
(b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ varsayımı yapılarak, eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.4'de görülen a_{y1}^o esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.9)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.10)$$

(3.9)'dan bulunan C_{R1} değeri kullanılmak suretiyle (3.6) ile hesaplanan S_{dil} spektral yerdeğiştirmesi esas alınarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların birbirine yeter derecede yakın olması halinde ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 3.5 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$).

Son itme adımı $i = p$ için (3.5)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin (3.3)'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.11)$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilir veya tepe yerdeğiştirme istemine ulaşıncaya kadar yapılan yeni bir itme analizi ile hesaplanır.

3.7.3.5 Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

Yönetmelikte belirtilen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, artımsal mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemine göre yapılan analiz sonucunda, çıkış bilgisi olarak herhangi bir plastik kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi*, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.12)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile, pekleşmeyi de gözönüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, (3.12) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.13)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, (3.13) ile tanımlanan toplam eğrilik istemi için moment-eğrilik analizi ile hesaplanır.

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında hasar bölgesi belirlenir.

3.7.3.6 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği sünek betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.

a) *Kesit Minimum Hasar Sınırı* (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirme ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları için:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3.14)$$

b) *Kesit Güvenlik Sınırı* (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirme ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları için:

$$(\epsilon_{csg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.15)$$

c) *Kesit Göçme Sınırı* (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirme ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları için:

$$(\epsilon_{csg})_{GÇ} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GÇ} = 0.060 \quad (3.16)$$

değerleri önerilmektedir.

Bu ifadelerde ρ_s kesitte mevcut bulunan ve özel deprem etriyeleri olarak düzenlenen enine donatının hacimsel oranını, ρ_{sm} ise, süneklik düzeyi yüksek kolon, kiriş veya perde kesitlerinde bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını göstermektedir.

4. SAYISAL İNCELEMELER

Bu bölümde, mevcut betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altındaki davranışlarının ve performans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen parametrik sayısal incelemeler yer almaktadır.

Sayısal incelemeler, mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen üç ayrı taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, 6 katlı düzlem çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistem modelleri 1968, 1975 ve 1998 Türk Deprem Yönetmelikleri'nde öngörülen deprem etkileri esas alınarak boyutlandırılmıştır. Daha sonra, bu taşıyıcı sistem modellerinin beton dayanımı ve sargı etkisi bakımından alternatifler oluşturularak, 2006 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal hesap yöntemleri ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem performansları belirlenmiş, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

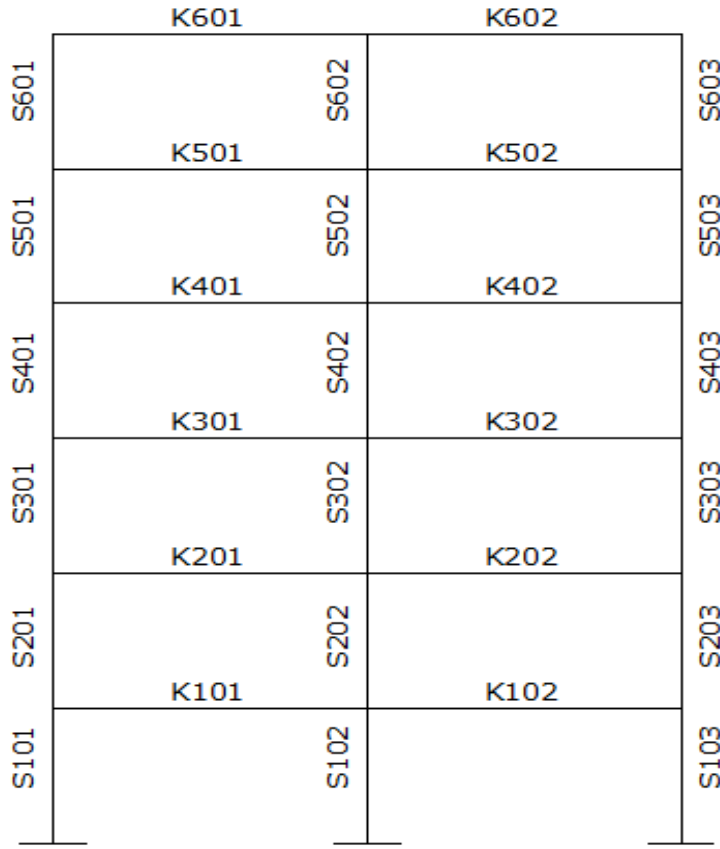
Aşağıda, incelenen taşıyıcı sistem modelleri tanıtılacak, bu sistemlerin 1968, 1975 ve 1998 Türk Deprem Yönetmelikleri'ne göre tasarımı ile, 2006 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal hesap yöntemleri ve doğrusal olmayan hesap yöntemi ile performans belirlenmesine ait hesap adımları anlatılacak, her bir yöntem için kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenerek elde edilen sonuçlar, karşılaştırılmalı olarak değerlendirilecektir. Ayrıca, kullanılan bilgisayar programları ve uygulamaları hakkında bilgi verilecektir.

4.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modelleri

Altı katlı düzlem çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistem modelleri (TSM) sırasıyla TSM-1, TSM-2 ve TSM-3 olarak tanımlanmış, bu sistemlerin beton dayanımı ve sargı etkisi bakımından oluşturulan alternatifleri ise "A" indisi eklenerek sırasıyla TSM-1A, TSM-2A ve TSM-3A olarak isimlendirilmiştir. Alternatif taşıyıcı sistem modelleri, ülkemizde çok karşılaşılan, donatı detayları ve malzeme dayanımı açılarından projeye uygun olmaksızın inşa edilen mevcut binaları temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur.

Sayısal incelemeler için seçilen taşıyıcı sistem modelleri iki açıklıklı ve altı katlı düzlem betonarme çerçeve sistemler olup, kiriş açıklıkları 6 m, kat yükseklikleri ise 3 m olarak seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 5 m'dir. TSM'ne alternatif olarak seçilen TSM-A'ların geometrik özellikleri ve eleman boyuna donatıları TSM ile aynı seçilmiş; fakat malzeme açısından beton dayanımının daha düşük olduğu ve enine donatının sargı etkisinin bulunmadığı gözönünde tutulmuştur.

Tüm taşıyıcı sistem modelleri için ortak olan kiriş ve kolon numaralama sistemi Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Taşıyıcı Sistem Modellerinin Kiriş ve Kolon Numaraları.

4.2 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması

4.2.1 Malzeme bilgileri

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmalarında esas alınan beton ve donatı çeliği sınıflarının TS-500 betonarme standardındaki malzeme tanımları cinsinden karşılıkları aşağıda verilmiştir [30].

TSM-1	: Beton sınıfı C20, donatı çeliği sınıfı S420
TSM-1A	: Beton sınıfı C14, donatı çeliği sınıfı S420
TSM-2	: Beton sınıfı C16, donatı çeliği sınıfı S220
TSM-2A	: Beton sınıfı C12, donatı çeliği sınıfı S220
TSM-3	: Beton sınıfı C12, donatı çeliği sınıfı S220
TSM-3A	: Beton sınıfı C10, donatı çeliği sınıfı S220

4.2.2 Deprem karakteristikleri

1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılan TSM-1 için esas alınan deprem karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

Yapı Önem Katsayısı : $I = 1.0$

Hareketli Yük Katılım Katsayısı : $n = 0.30$

Etkin Yer İvmesi Katsayısı : $A_0 = 0.40$

Yapı Davranış Katsayısı : $R = 8$

Yerel Zemin Sınıfı : Z_2

Spektrum Karakteristik Periyotları : $T_A = 0.10$ s, $T_B = 0.40$ s

1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılan TSM-2 için, deprem karakteristikleri aşağıda listelendiği şekilde alınmıştır.

Deprem Bölge Katsayısı : $C_0 = 0.10$

Yapı Tipi Katsayısı : $K = 1.0$

Zemin Hakim Periyodu : $T_0 = 0.42$ s

Hareketli Yük Katsayısı : $n = 0.30$

Yapı Önem katsayısı : $I = 1.0$

TSM-3, 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmış ve aşağıdaki deprem karakteristikleri esas alınmıştır.

Deprem Bölge Katsayısı : $C_0 = 0.06$

Deprem Zemin Katsayısı : $\alpha = 1.0$

Bina Önem Katsayısı : $\beta = 1$

Hareketli Yük Katsayısı : $n = 0.50$

4.2.3 Boyutlandırmada esas alınan yükler

Tüm taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında aşağıda verilen düşey yükler gözönüne alınmıştır.

Normal kat döşemeleri, $g = 5.25 \text{ kN/m}^2$

$q = 3.50 \text{ kN/m}^2$ (bölme duvarları dahil)

Çatı katı döşemesi, $g = 6.15 \text{ kN/m}^2$

$q = 2.00 \text{ kN/m}^2$ (kar yükü dahil)

4.2.4 Modelleme ve tasarımda yapılan varsayımlar

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında gözönünde tutulan başlıca varsayımlar şunlardır.

a) Boyutlandırmaya esas olan sistem analizleri doğrusal teoriye göre gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık, TSM-1 ve TSM-2 taşıyıcı sistem modellerinin betonarme kesit hesaplarında taşıma gücü yöntemi, TSM-3 taşıyıcı sistem modelinin betonarme kesit hesaplarında ise emniyet gerilmeleri yöntemi kullanılmıştır.

b) Düğüm noktaları rijit olarak alınmış, kolonların temele ankastre olarak bağlandıkları varsayılmıştır.

c) Düşey yükler döşemelerden kirişlere aktarılan trapez yayılı yükler ve düğüm noktalarına etkililen tekil yükler ile hesaba katılmıştır. Çatı katındaki parapet yükü (1.5 kN/m) ve normal kat döşemelerindeki dış duvar yükleri (4.00 kN/m) dış kolonlara tekil yük olarak etkililmiştir.

d) Düzlem çerçeve olarak modellenen sistemlerin çerçeve düzlemi dışındaki yanal yerdeğiştirmelerinin önlenildiği varsayılmıştır.

4.2.5 Boyutlandırmada esas alınan yönetmelikler

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında kullanılan deprem yönetmeliklerinin esasları aşağıdaki maddelerde özetlenmiştir.

a) 1998 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik [21]

TSM-1'in deprem hesaplarında *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* kullanılmıştır. Bu yöntemde göre, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti),

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 IW \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda,

W : binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığını

T_1 : binanın birinci doğal titreşim periyodunu

$A(T_1)$: T_1 periyot değeri için hesaplanan spektral ivme katsayısını

$R_a(T_1)$: T_1 periyot değeri için hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısını

göstermektedir.

Binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığı ise,

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N (g + nq_i) \quad (4.2)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada,

w_i : binanın i ' inci katının toplam ağırlığını

g_i : binanın i ' inci katındaki toplam sabit yükleri

q_i : binanın i ' inci katındaki toplam hareketli yükleri

n : hareketli yük katılım katsayısını

N : binanın kat adedini

göstermektedir. ABYYHY'98 Çizelge 6.7'ye göre, binada $n = 0.30$ olarak seçilmiştir.

Spektral ivme katsayısı,

$$A(T_1) = A_0 I S(T_1) \quad (4.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu ifadede

A_0 : etkin yer ivmesi katsayısını

I : yapı önem katsayısını

$S(T_1)$: T_1 periyot değerine karşı gelen elastik tasarım ivme spektrum değerini

göstermektedir. ABYYHY'98 Çizelge 6.2'ye göre, birinci derece deprem bölgesi için $A_0 = 0.40$ ve Çizelge 6.3'e göre, bina önem katsayısı $I = 1.0$ olarak seçilmiştir. $S(T_1)$ değeri ise zemin sınıfına ve T_1 doğal titreşim periyoduna bağlı olarak aşağıdaki gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.4a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (4.4b)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (4.4c)$$

T_A ve T_B zemin karakteristik periyotları olup zemin sınıfına göre değişmektedir. Z2 zemin sınıfına ait T_A ve T_B değerleri yukarıda, Bölüm 4.2.2'de verilmiştir.

Deprem yükü azaltma katsayısı

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.5a)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > T_B) \quad (4.5b)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır. Burada, R ; taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır.

ABYYHY'98 yönetmeliğine göre boyutlandırılan TSM-1 için gerçekleştirilen analiz sonuçlarında yapının birinci doğal titreşim periyodu T_A değerinden daha büyük olarak hesaplandığından, deprem yükü azaltma katsayısı taşıyıcı sistem davranış katsayısına eşit alınmıştır. ABYYHY'98 Çizelge 6.5'e göre, sistem süneklik düzeyi yüksek sistem olarak boyutlandırılmış ve $R = 8$ alınmıştır.

Taban kesme kuvveti belirlendikten sonra, kütlelerin toplandığı varsayılan kat döşemelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri (4.6) ile hesaplanır.

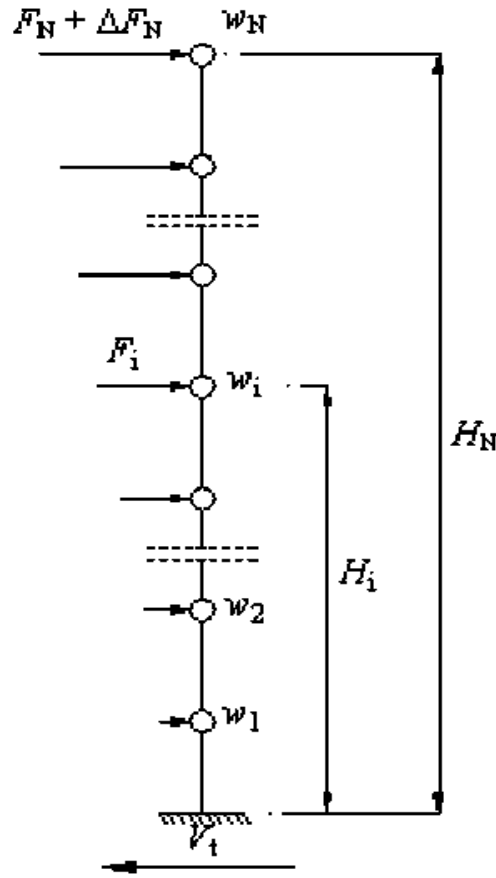
$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (4.6)$$

Eşdeğer deprem yüklerini veren bu bağıntıda,

H_i : yapının i 'inci katının temel seviyesinden yüksekliğini

ΔF_N : ek eşdeğer deprem yükünü göstermektedir (Şekil 4.2).

TSM-1 için uygulanan 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'nin 6.7.2.2 maddesine göre toplam yapı yüksekliği 25 m den daha az olduğu için, $\Delta F_N = 0$ olmaktadır.



Şekil 4.2: Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması.

b) 1975 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik [20]

Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında esas alınacak eşdeğer deprem yüklerinin toplamı (taban kesme kuvveti)

$$F = C W \quad (4.7)$$

şeklinde hesaplanır. Burada C deprem katsayısı olup

$$C = C_0 K S I \quad (4.8)$$

denklemleri ile belirlenir. Bu ifadede,

C_0 : deprem bölge katsayısı

K : yapı tipi katsayısı

S : yapı dinamik katsayısı (spektrum katsayısı)

I : yapı önem katsayısıdır.

Çizelge 4.1 : ABYYHY'75 Deprem Bölge Katsayısı.

Deprem Bölgesi	C₀
1	0.1
2	0.08
3	0.06
4	0.03

Yapılan boyutlandırmada, birinci derece deprem bölgesi için Çizelge 4.1'den $C_0=0.10$, çerçeveleri yatay yüklerin tamamını taşıyabilen hafif ve az bölme duvarlı betonarme sünek çerçeveler için Çizelge 4.2'den $K = 1$ ve halkın az yığıldığı özel konutlar için Çizelge 4.3'den $I = 1.0$ olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.2 : ABYYHY'75 Yapı Tipi Katsayıları.

Yapı Tipi K	K
Aşağıda tanımı ayrıca yapılmış tüm taşıyıcı sistemler	
Tüm perde duvarlı kutu sistemler	
Çerçeveleri yatay yüklerin tamamı taşıyabilen çerçeve taşıyıcı sistemler (Dolgu duvarı tipleri için a, b ve c için dip nota bakınız) ²	
1. Düktil çerçeveleri ² (Çelik ya da betonarme)	a) 0.60
	b) 0.80
	c) 1.00
2. Düktil olmayan çerçeveler	a) 1.20
	b) 1.50
	c) 1.50
3. Diyagonalli çelik kafes çerçeveler	a) 1.33
	b) 1.50
	c) 1.60
Düktil çerçeveleri ile yatay yüklerin en az % 25 ini taşıyabilen perde duvarlı sistemler	a) 0.80
	b) 1.00
	c) 1.20
Yığma binalar	1.50
Bağımsız zemin üstü hazneleri (Maksimum yatay kuvvet katsayısı C =0.30)	3.00
Binalardan başka yapılar, bacalar, kuleler (Maksimum yatay kuvvet katsayısı C =0.30)	2.00

- Notlar :
1. Düktil çerçevelerin tanımı için ABYYHY'75 Bölüm 6.2'ye bakınız
 2. Dolgu duvarı tipleri
 - a. Betonarme ya da yatay ve düşey donatılı yığma bölme duvarlı
 - b. Donatısız yığma bölme duvarlı
 - c. Hafif ve az bölme duvarlı ya da prefabrike beton bölme duvarlı

Çizelge 4.3: ABYYHY'75 Yapı Önem Katsayısı.

Yapı Cinsi	<i>I</i>
a) Bir deprem süresince veya hemen sonra kullanılması zorunlu yapılar (PTT, itfaiye ve radyoevi yapıları, kuvvet santralleri, pompa istasyonları, hastaneler, istasyon ve terminaller, rafineriler v.b.)	1.5
b) Önemli ve değerli maddeleri saklayan yapılar (Müzeler v.b.)	1.5
c) Halkın çok yığıldığı yapılar (Okullar, spor tesisleri, tiyatrolar, sinema ve konser salonları, ibadet mahalleri v.b.)	1.5
d) Halkın az yığıldığı yapılar (Özel konutlar, oteller, işyerleri, lokantalar, endüstri yapıları v.b.)	1.0

Yapı dinamik katsayısı

$$S = \frac{1}{|0.8 + T - T_0|} \leq 1 \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada

T : saniye cinsinden yapının birinci doğal titreşim moduna ait periyodu

T_0 : zeminin hakim periyodudur.

Çizelge 4.4 : ABYYHY'75 Zemin Hakim Periyodu.

Zemin Cinsi	T_0 Zemin Hakim Periyodu (sn)	T_0 Ortalama (sn)
I	a	0.2
	b	0.25
	c	0.3
II	a	0.35
	b	0.4
	c	0.5
III	a	0.55
	b	0.6
	c	0.65
IV	a	0.7
	b	0.8
	c	0.9

T_0 periyodu Z2 zemin cinsi için Çizelge 4.4'e göre $T_0 = 0.42$ s değerini almaktadır.

Bu formülden bulunan S katsayısının maksimum değeri 1.0 olacaktır.

C deprem katsayısı hiçbir zaman $C_0/2$ den daha küçük alınmayacaktır.

Toplam eşdeğer deprem yükünün hesaplamasında kullanılacak olan W toplam yapı ağırlığı

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N (G_i + nP_i) \quad (4.10)$$

olup, burada

G_i : i' inci kattaki sabit yüklerin toplamını

P_i : i' inci kattaki hareketli yüklerin toplamını

n : hareketli yük katsayısını göstermektedir

Çizelge 4.5 : ABYYHY'75 Hareketli Yük Katsayısı.

Yapı Cinsi	n
Depolar, antrepolar v.b.	0.8
Okullar, öğrenci yurtları, spor tesisleri, sinema ve konser salonları, tiyatrolar, garaj, lokanta, mağaza v.b.	0.6
Özel konutlar, oteller, hastaneler, işyeri v.b	0.3

Bu çalışmanın sayısal uygulamalarında, Çizelge 4.5'ten hareketli yük katsayısı 0.3 olarak seçilmiştir.

Binanın kat düzeylerine uygulanacak F_i yatay kuvvetleri

$$F_i = (F - F_t) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (4.11)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu ifadede

F : toplam yatay yük

w_i : i'inci katın ağırlığı

H_i : i'inci katın temel üst kotundan ölçülen yüksekliği

F_t : yapının en üst kat düzeyine uygulanacak ek tekil kuvvettir.

F_t kuvvetinin değeri

$$F_t = 0.004F \left(\frac{H}{D} \right)^2 \quad (4.12)$$

şeklinde hesaplanacaktır.

Not:

F_t ek kuvveti $0.15 F$ den daha büyük olamaz.

$H/D \leq 3$ olması halinde $F_t = 0$ alınabilir.

b) 1968 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik [19].

Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında esas alınacak eşdeğer yatay deprem yüklerinin toplamı

$$F = C W \quad (4.13)$$

şeklinde hesaplanır. Burada C deprem katsayısı olup,

$$C = C_0 \alpha \beta \gamma \quad (4.14)$$

denklemleri ile belirlenir. Bu ifadede

C_0 : deprem bölge katsayısı

α : deprem zemin katsayısı

β : bina önem katsayısı

γ : bina dinamik katsayısıdır.

ABYYHY'68 Çizelge 1'e göre birinci derece deprem bölgesi için $C_0 = 0.06$, zemin sınıfı Z2 için Çizelge 2'den $\alpha = 1$, halkın az yığıldığı özel konutlar için Çizelge 3'ten $\beta = 1.0$ olarak seçilmiştir.

Yapı dinamik katsayısı

$$T \leq 0.5 \text{ saniye için} \quad \gamma = 1$$

$$T > 0.5 \text{ saniye için} \quad \gamma = 0.5/T \quad (4.15)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada

T : saniye cinsinden yapının birinci normal titreşim moduna ait özel periyodunu göstermektedir.

Bu formülden bulunan γ değeri hiçbir zaman 0.3 'ten daha küçük olmayacaktır.

Toplam eşdeğer deprem yükünün hesaplanmasında kullanılacak olan W toplam yapı ağırlığı

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N (G_i + nP_i) \quad (4.16)$$

bağıntısı ile elde edilir. Burada

G_i : i'inci kattaki sabit yüklerin toplamını

P_i : i'inci kattaki hareketli yüklerin toplamını

n : hareketli yük katsayısını göstermektedir.

Yapının kat düzeylerine uygulanacak F_i yatay kuvvetleri

$$F_i = F \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} \quad (4.17)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu ifadede,

F : toplam yatay yük

W_i : i'inci katın ağırlığı

h_i : i'inci katın temel üst kotundan ölçülen yüksekliğidir.

4.2.6 Boyutlandırmada esas alınan yükleme kombinasyonları

Tüm taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında, düşey yükler ve düşey yükler+deprem yükleri altında yapılan sistem analizleri sonucunda hesaplanan en elverişsiz kesit tesirleri gözönüne alınmıştır.

4.2.7 Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılması

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında yukarıda ayrıntıları verilen deprem yükleri hesaba katılmıştır.

Sabit yükler (yapı yükleri), hareketli yükler ve çerçeve doğrultusunda hesaplanan bu deprem etkileri altında, ETABS Analiz Programı [12] sonuçlarından alınan kesit tesiri değerleri kullanılarak, Bölüm 4.2.6'da belirtilen yüklemeler için betonarme kesit hesapları yapılmış ve kiriş, kolon enkesit boyutları ile boyuna donatıları belirlenmiştir.

4.3 Boyutlandırılan Taşıyıcı Sistem Modellerinin Performans Değerlendirmesi

Boyutlandırılan yapı sistemlerinde, deprem kuvvetlerinin yönü de dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan eğilme momentlerinin kesitlerin artık eğilme

momenti kapasitelerine bölünmesi ile kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r) elde edilmiş ve bu değerler ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak, TSM-1 ve TSM-3 için 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal yonteme göre, TSM-2 için ise 2007 ve 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal yonteme göre (*eşdeğer deprem yükü yontemi*) yapı elemanlarının kesit hasar bölgeleri bulunmuştur.

Ayrıca, yukarıda açıklandığı şekilde boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinin her biri için, ETABS bilgisayar programının doğrusal olmayan analiz modülünden [12] yararlanarak, sabit düşey yükler ve monoton olarak artan yatay yükler etkisinde tepe noktası yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti diyagramı (kapasite eğrisi) elde edilmiştir. Elde edilen kapasite eğrisi S_a – S_d spektral formatına dönüştürüldükten sonra, elastik istem spektrumu ve dönüştürülmüş kapasite eğrisi aynı eksen takımında çizilmiş ve elemanların kesit hasar bölgeleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal olmayan yonteme göre (*artımsal eşdeğer deprem yükü yontemi*) belirlenmiştir.

4.4 TSM-2A İçin Ayrıntılı İnceleme

Bu çalışmada gerçekleştirilen parametrik sayısal incelemelere örnek olmak üzere, TSM-2A olarak tanımlanan taşıyıcı sistem modelinin 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılması ve boyutlandırılan sistemin Türk Deprem Yönetmeliği'nin 2006 ve 2007 baskılarında öngörülen doğrusal yontemler ve doğrusal olmayan yontem ile analizlerinin yapılarak kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi aşamaları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Diğer taşıyıcı sistem modelleri için yapılan performans belirleme hesaplarının sonuçları bu ayrıntılı incelemenin ardından çizelgeler halinde özetlenmiştir.

4.4.1 Sistemin Boyutlandırılması

TSM-2A taşıyıcı sistem modelinin boyutlandırılmasında beton sınıfı C16 (karakteristik basınç dayanımı $f_{ck} = 16$ MPa), donatı çeliği sınıfı S220 (akma dayanımı $f_{yk} = 220$ MPa) olarak seçilmiş, binanın birinci derece deprem bölgesinde ve Z2 zemin sınıfı üzerinde inşa edildiği gözönünde tutulmuştur. Boyutlandırmanın bu verilere göre yapılmış olmasına karşın, sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan yontemlerle performans değerlendirmesi beton sınıfının C12, donatı çeliği sınıfının S220 olduğu ve yeterli sargı donatısının bulunmadığı gözönünde tutularak yapılmış,

böylece olumsuz uygulama faktörlerinin bina davranışına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

İncelenen taşıyıcı sistem modelinin bina genel özellikleri aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 TSM-2A İçin Bina Genel Özellikleri.

<u>Bina Geometrik Özellikleri :</u>		<u>Deprem</u> <u>Karakteristikleri</u>	
Kat Adedi	6	Deprem Bölgesi	1
Bina Kat Yüksekliği	3 m	Zemin Sınıfı	Z2
Bina Yüksekliği	18 m	C ₀	0.1
Açıklık Sayısı	2	K	1.0
Açıklık Boyu	6 m	I	1.0
Toplam Açıklık	12 m	T ₀	0.42 s
Planda Çerçeve Aralığı	5 m		

Düşey yük hesabı

Taşıyıcı sistem modelinin tasarımında, döşemelerden kirişlere aktarılan düşey yükleri belirlemek için gözönüne alınan normal kat ve çatı katı döşeme yük analizleri aşağıda özetlenmiştir.

Normal Kat Döşemeleri :

$$\text{Betonarme plak} : 0.15 \text{ m} * 25 \text{ kN} / \text{m}^3 = 3.75 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Sıva} : 0.02 \text{ m} * 20 \text{ kN} / \text{m}^3 = 0.4 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Kaplama} : 0.05 \text{ m} * 22 \text{ kN} / \text{m}^3 = 1.1 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Bölme duvarları} : = 1.5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$g = 6.75 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} \quad q = 2 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Çatı Katı Döşemesi :

Betonarme plak : $0.15 \text{ m} * 25 \text{ kN} / \text{m}^3 = 3.75 \text{ kN} / \text{m}^2$

Sıva : $0.02 \text{ m} * 20 \text{ kN} / \text{m}^3 = 0.4 \text{ kN} / \text{m}^2$

Çatı Kaplama + izolasyon : = $2 \text{ kN} / \text{m}^2$

Bölme duvarları : = $1.5 \text{ kN} / \text{m}^2$

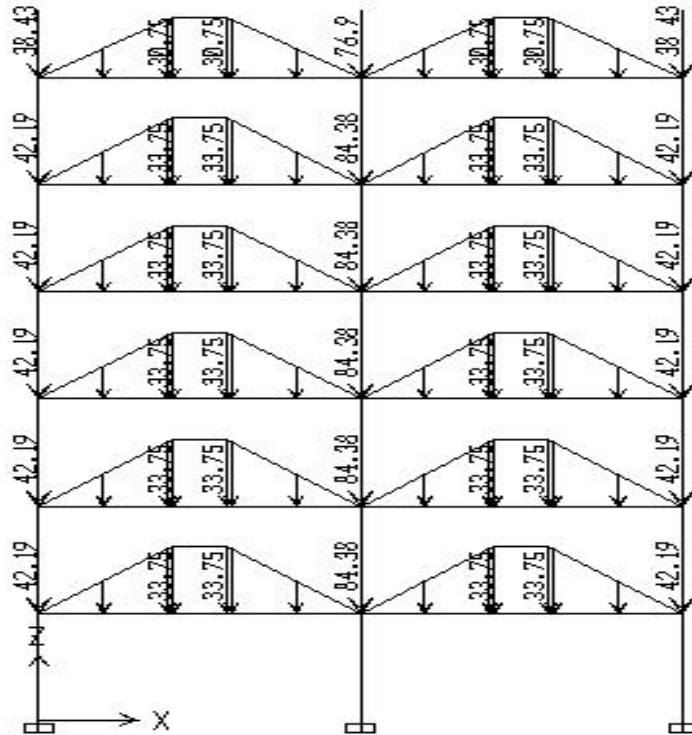
$g = 7.65 \text{ kN} / \text{m}^2$

Hareketli yük $q = 2 \text{ kN} / \text{m}^2$

Parapet yükü (1.5 kN/m) plandaki çerçeve aralığı ile çarpılarak çatı katı dış kolonlarına tekil yük olarak etkilmiştir.

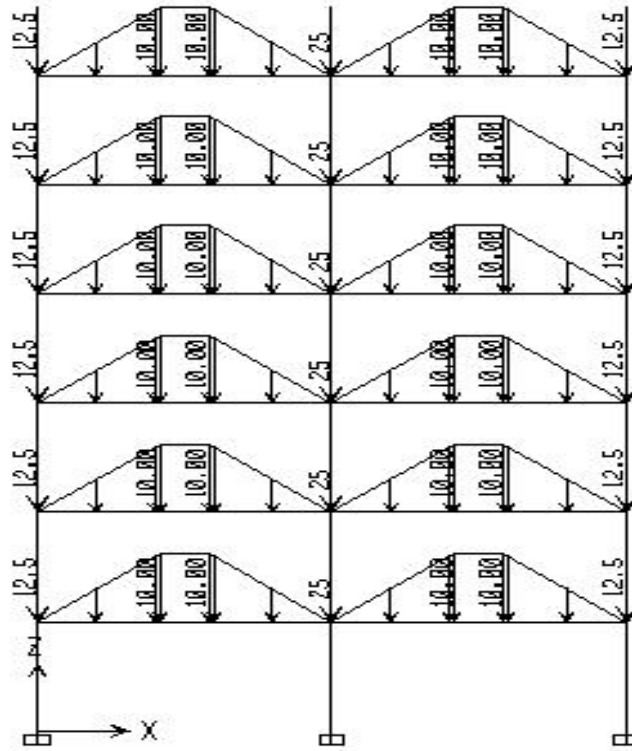
Dış duvar yükleri (4 kN/m) plandaki çerçeve aralığı ile çarpılarak normal kat dış kolonlarına tekil yük olarak etkilmiştir.

Döşemelerden kirişlere aktarılan sabit ve hareketli düşey yüklerin belirlenmesi için, trapez yük dağılımı ve düğüm noktalarına etkitilen tekil yükler esas alınmış ve bu yükler ETABS bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan modele verilmiştir. Sisteme etkileyen sabit düşey yükler aşağıda görülmektedir (Şekil 4.3).



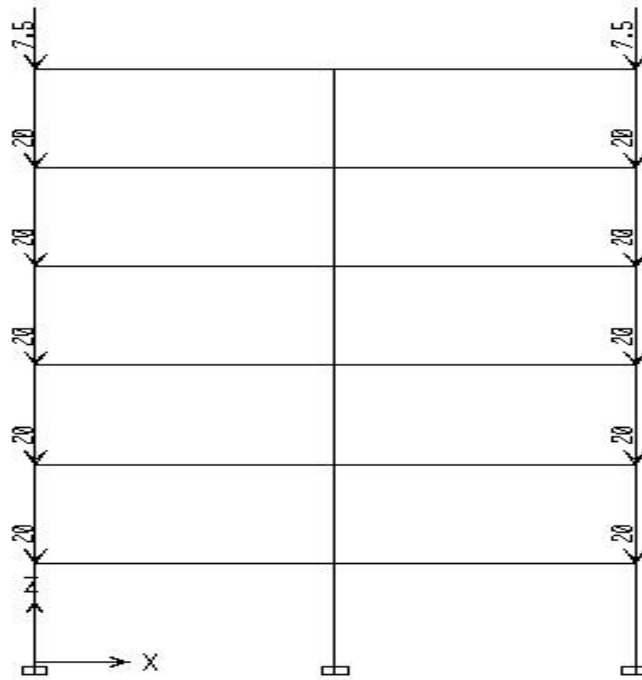
Şekil 4.3 : Sisteme Etkiyen Sabit Yükler (kN ve kN/m).

Sisteme etkileyen hareketli yükler Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Sisteme Etkiyen Hareketli Yükler (kN ve kN/m).

Sistemin dış düğüm noktalarına etkileyen duvar ve parapet tekil yükleri Şekil 4.5 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Sistemin Düğüm Noktalarına Etkiyen Tekil Yükler (kN).

Deprem yüklerinin hesabı

Sistemin deprem hesaplarında 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* kullanılmıştır. Bu yöntemle göre,

$$F = C * W$$

$$C = C_0 K S I$$

$$C_0 = 0.1$$

$$K = 1.0$$

$$I = 1.0$$

$$T_0 = 0.42 \text{ s}$$

$$T = 0.09 * 18 / (12)^{0.5} = 0.468 \text{ s} \quad \text{ve} \quad T = 0.07 * 6 = 0.42 \text{ s}$$

değerlerinden küçüğü alınarak, $T = 0.42 \text{ s}$ olarak bulunur. Bu değer için

$$S = \frac{1}{|0.8 + T - T_0|} = \frac{1}{|0.8 + 0.42 - 0.42|} = 1.25$$

elde edilir.

S değeri 1.00 den daha büyük olmayacağı için $S = 1.00$ olarak alınır. Buna göre

$$C = 0.1 * 1.0 * 1.0 * 1.0 = 0.10$$

olarak hesaplanır. Bulunan deprem katsayısı C , $C_0/2$ değerinden küçük alınamaz.

Bina toplam ağırlığı: $W = 3620.55 \text{ kN}$

$$F = 0.1 * 3620.55 = 362.055 \text{ kN}$$

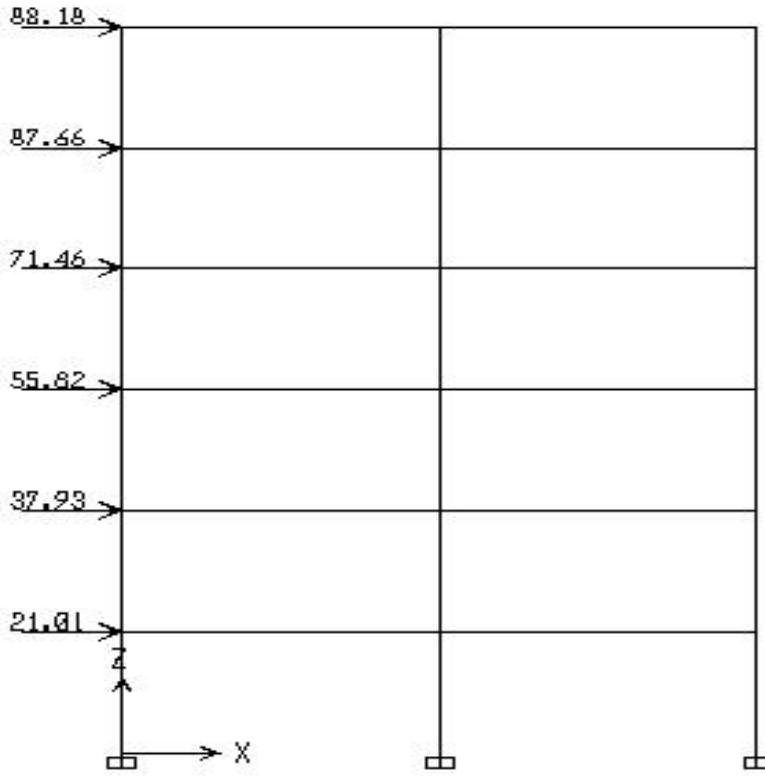
Bu şekilde hesaplanan taban kesme kuvveti,

$H/D = 1.5 < 3$ durumu için $F_t = 0$ alınarak, (4.11) ile kat düzeylerine dağıtılır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 : Düğüm Noktalarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

KAT	$W_i(\text{kN})$	$H_i(\text{m})$	$W_i H_i$	$W_i H_i / \sum W_i H_i$	F_i
6	489.60	18	8812.82	0.244	88.177
5	584.06	15	8760.85	0.242	87.657
4	595.20	12	7142.42	0.197	71.464
3	619.85	9	5578.66	0.154	55.817
2	631.74	6	3790.44	0.105	37.925
1	700.10	3	2100.29	0.058	21.014

Sisteme etkiyen eşdeğer deprem yükleri Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Sisteme Etkiyen Deprem Yükleri (kN).

Yukarıda belirtilen yüklere bağlı olarak oluşturulan yükleme kombinasyonları için gerçekleştirilen sistem analizleri ve betonarme kesit hesapları sonucunda elde edilen kolon ve kiriş enkesit boyutları ile boyuna donatıları Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8 : TSM-2A İçin Kolon Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.

Kolon	b (cm)	h (cm)	Donatı
S101 - S103	40	60	14Ø18
S102	40	70	14Ø18
S201 - S203	40	60	14Ø16
S202	40	70	14Ø18
S301 - S303	40	50	14Ø16
S302	40	50	14Ø18
S401 - S403	40	50	14Ø14
S402	40	50	14Ø16
S501 - S503	30	50	10Ø14
S502	30	50	10Ø14
S601 - S603	30	50	10Ø14
S602	30	50	10Ø14

Çizelge 4.9 : TSM-2A İçin Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.

KAT 6	Kiriş No	K601	K602
	b / h (cm)	30 / 55	30 / 55
	Alt donatı	6Ø16	6Ø16
	Montaj Donatısı	3Ø14	3Ø14
	Dış Mesnet İlave donatı	2Ø18	2Ø18
	İç mesnet İlave donatı	3Ø18	3Ø18
KAT 5	Kiriş No	K501	K502
	b / h (cm)	30 / 55	30 / 55
	Alt donatı	6Ø16	6Ø16
	Montaj Donatısı	3Ø16	3Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	5Ø20	5Ø20
	İç mesnet İlave donatı	4Ø20	4Ø20
KAT 4	Kiriş No	K401	K402
	b / h (cm)	30 / 55	30 / 55
	Alt donatı	6Ø16	6Ø16
	Montaj Donatısı	4Ø16	4Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	4Ø24	4Ø24
	İç mesnet İlave donatı	3Ø24	3Ø24
KAT 3	Kiriş No	K301	K302
	b / h (cm)	30 / 70	30 / 70
	Alt donatı	6Ø16	6Ø16
	Montaj Donatısı	4Ø16	4Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	4Ø24	4Ø24
	İç mesnet İlave donatı	3Ø24	3Ø24
KAT 2	Kiriş No	K201	K202
	b / h (cm)	30 / 70	30 / 70
	Alt donatı	6Ø16	6Ø16
	Montaj Donatısı	4Ø16	4Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	4Ø24	4Ø24
	İç mesnet İlave donatı	4Ø24	4Ø24
KAT 1	Kiriş No	K101	K102
	b / h (cm)	30 / 70	30 / 70
	Alt donatı	6Ø16	6Ø16
	Montaj Donatısı	4Ø16	4Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	4Ø24	4Ø24
	İç mesnet İlave donatı	4Ø24	4Ø24

4.4.2 Sistemin doğrusal elastik hesap yöntemine göre deprem performansının belirlenmesi

Boyutlandırılan TSM-2A taşıyıcı sistem modelinin kesit hasar bölgelerinin belirlenmesinde, beton sınıfının C12, donatı çeliği sınıfının S220 olduğu, yeterli miktar ve özellikte sargı donatısı bulunmadığı gözönünde tutulmuştur. TS500 standardı, betonun elastisite modülü için

$$E_{ej} = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 \text{ (Mpa)} \quad (4.18)$$

formülünü önermektedir, [29]. Ancak, beton dayanımının standartta öngörülen beton sınıflarından daha küçük olduğu durumlarda (4.18) ile hesaplanan değerler anlamlı değildir. Bu nedenle, taşıyıcı sistem modelinin deprem performansının belirlenmesi aşamalarında kullanılan elastisite modülü için, American Concrete Institute (ACI 318) yönetmeliğine göre

$$E_c = 4700\sqrt{f'_{ck}} \quad (4.19)$$

formülü ile elde edilen $E_c = 16280$ Mpa olarak kullanılmıştır [30].

2007 ve 2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde öngörülen doğrusal elastik hesap yöntemi ile, deprem performansının belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda açıklanmıştır.

4.4.2.1 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre doğrusal elastik hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesi

a) Boyutlandırılan sistem, sabit düşey yükler ve deprem hesabında gözönüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanan hareketli yüklerin etkisi altında çözümlenerek kolonlarda oluşan normal kuvvetler hesaplanır. Aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak kolonların çatlamış kesit eğilme rijitlikleri bulunur. N_D eksenel kuvvetinin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılır. Kirişlerde çatlamış kesit eğilme rijitliği $0.40 EI_0$ olarak alınır.

$$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda: } 0.40 EI_0$$

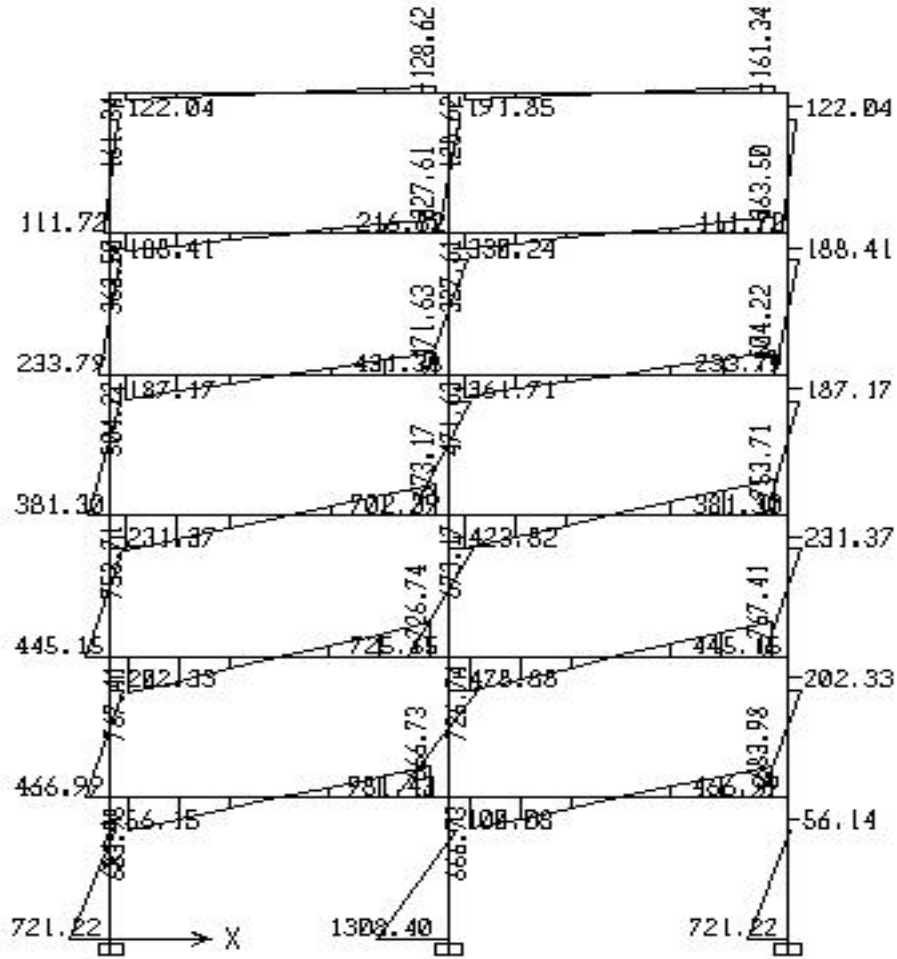
$$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda: } 0.80 EI_0$$

b) DBYBHY 2007, Madde 7.5.1.1 uyarınca $R_a = 1$, $\lambda = 0.85$ alınarak toplam eşdeğer deprem yükü bulunur ve sisteme kat düzeylerinden dağıtılır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10 : 2007 TDY'ne Göre Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı.

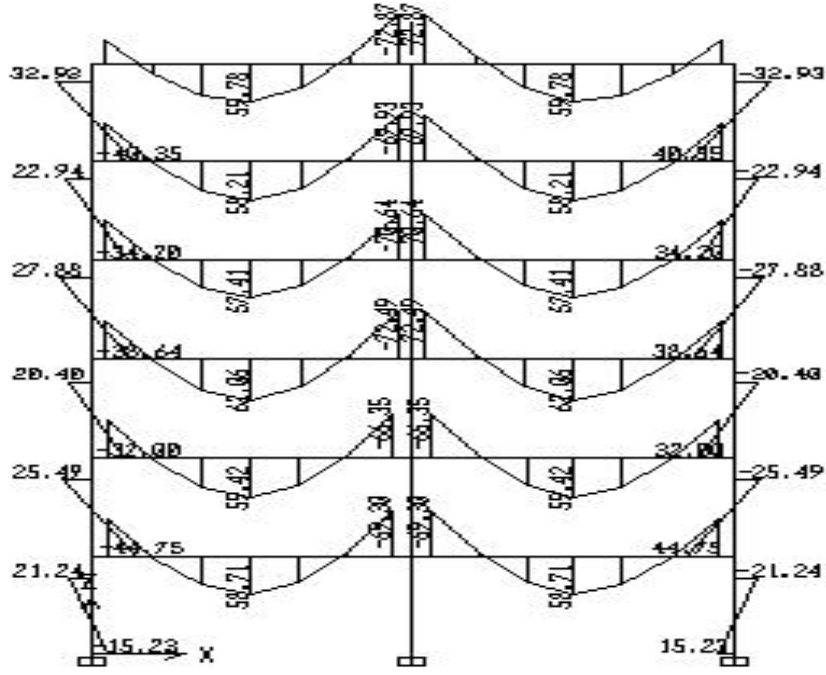
KAT	$W_i(kN)$	$H_i(m)$	$W_i H_i$	$W_i H_i / \sum W_i H_i$	F_i
6	489.60	18	8812.82	0.244	357.634
5	584.06	15	8760.85	0.242	297.891
4	595.20	12	7142.42	0.197	242.860
3	619.85	9	5578.66	0.154	189.688
2	631.74	6	3790.44	0.105	128.884
1	700.10	3	2100.29	0.058	71.415

- c) Sistem bu deprem yükleri altında hesaplanarak tüm kesitlerdeki eğilme momentleri (Şekil 4.7) ve normal kuvvetleri elde edilir.



Şekil 4.7 : Sistemin M_E Eğilme Momenti Diyagramı (kNm).

- d) Sistem $G + 0.3Q$ kombinasyonu altında çözülerek tüm kesitlerdeki eğilme momentleri (Şekil 4.8) ve normal kuvvetleri elde edilir.



Şekil 4.8 : Sistemin $M_{G+0.3Q}$ Eğilme Momenti Diyagramı (kNm).

e) Sistemin kolonlarının eğilme momenti kapasiteleri, betonarme betonu ve beton çeliğinin bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılan mevcut dayanımları kullanılarak taşıma gücü formülleri ile hesaplanır [31].

$$n = \frac{N_d}{0.85bh f_{cm}} \quad (4.20)$$

$$m_x = \frac{M_{cap}}{0.85bh^2 f_{cm}} \quad (4.21)$$

$$\mu = \frac{A_s f_{ym}}{0.85bh k_1 k_2 f_{cm}} \quad (4.22)$$

1) $n < 0.35$ hali için,

$$m = (\mu - 1.44n^2 + 1.29n) / 2.49 \quad (4.23a)$$

2) $0.35 \leq n \leq 0.50$ hali için,

$$m = (\mu + 0.295) / 2.54 \quad (4.23b)$$

3) $n \geq 0.50$ hali için,

$$m = (\mu - 0.305n^2 - 0.22n + 0.49) / 2.54 \quad (4.23c)$$

Bu formüllerde, b ve h dikdörtgen kesitinin enkesit boyutlarını, A_s toplam boyuna donatı alanını, k_1 ve k_2 donatı yerleşimi ve paspayı oranları ile ilgili düzeltme katsayılarını göstermektedir.

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisinde olan kolon kesitlerinin eğilme momenti kapasiteleri, başlangıçta düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler altında hesaplanarak, ardından normal kuvvetler üzerinde bir iterasyon adımı uygulayarak elde edilmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 : Kolonlarda Eğilme Momenti Kapasiteleri.

KOLON	UÇ NOKTALARI	μ	n	m	M_{kap}
S601	alt uc	0.1770	0.0665	0.1030	78.77
S601	üst uc	0.1770	0.0601	0.1001	76.59
S501	alt uc	0.1758	0.1388	0.1314	100.51
S501	üst uc	0.1758	0.1176	0.1235	94.51
S401	alt uc	0.1921	0.1503	0.1420	144.79
S401	üst uc	0.1921	0.0770	0.1136	115.87
S301	alt uc	0.2468	0.1669	0.1695	172.86
S301	üst uc	0.2468	0.0403	0.1190	121.43
S201	alt uc	0.2057	0.1216	0.1371	201.31
S201	üst uc	0.2057	0.0706	0.1163	170.81
S101	alt uc	0.2582	0.1668	0.1740	255.59
S101	üst uc	0.2582	0.1095	0.1535	225.43
S602	alt uc	0.1742	0.1607	0.1383	105.78
S602	üst uc	0.1742	0.1547	0.1363	104.24
S502	alt uc	0.1686	0.3266	0.1752	134.07
S502	üst uc	0.1686	0.3206	0.1744	133.41
S402	alt uc	0.2429	0.3713	0.2118	215.99
S402	üst uc	0.2429	0.3653	0.2118	215.99
S302	alt uc	0.3049	0.5017	0.2393	244.08
S302	üst uc	0.3049	0.4960	0.2362	240.91
S202	alt uc	0.2178	0.4533	0.2019	403.62
S202	üst uc	0.2178	0.4476	0.2019	403.62
S102	alt uc	0.2161	0.5488	0.1943	388.41
S102	üst uc	0.2161	0.5432	0.1955	390.86
S603	alt uc	0.1770	0.0929	0.1142	87.38
S603	üst uc	0.1770	0.0873	0.1119	85.61
S503	alt uc	0.1758	0.2146	0.1552	118.71
S503	üst uc	0.1758	0.2238	0.1576	120.57
S403	alt uc	0.1921	0.2640	0.1736	177.07
S403	üst uc	0.1921	0.3253	0.1845	188.16
S303	alt uc	0.2468	0.3991	0.2133	217.57
S303	üst uc	0.2468	0.5145	0.2137	218.01
S203	alt uc	0.2057	0.4793	0.1971	289.52
S203	üst uc	0.2057	0.6602	0.1644	241.41
S103	alt uc	0.2582	0.5626	0.2078	305.25
S103	üst uc	0.2582	0.8276	0.1406	206.57

f) Sistemin kirişlerinin eğilme momenti kapasiteleri, pozitif eğilme momenti kapasitesi için tablalı kesit hesabı, negatif eğilme momenti kapasitesi için dikdörtgen kesit hesabı yapılarak bulunur. Negatif moment kapasitesi bulunurken tabla içinde yer alan döşeme donatıları da hesaba katılır.

Tüm sistemlerde döşeme donatısı üstte ve altta Ø10 / 140 olarak seçilmiştir, (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 : Kirişlerde Eğilme Momenti Kapasiteleri.

Kiriş	Mesnet Noktası	M_{KAP}⁻	M_{KAP}⁺
K601	Dış Mesnet	157.76	125.71
K601	İç Mesnet	180.81	125.71
K501	Dış Mesnet	257.71	125.71
K501	İç Mesnet	233.82	125.71
K401	Dış Mesnet	288.53	125.71
K401	İç Mesnet	256.78	125.71
K301	Dış Mesnet	392.56	125.71
K301	İç Mesnet	345.88	125.71
K201	Dış Mesnet	392.56	125.71
K201	İç Mesnet	392.56	125.71
K101	Dış Mesnet	392.56	125.71
K101	İç Mesnet	392.56	125.71
K602	İç Mesnet	180.81	165.52
K602	Dış Mesnet	157.76	165.52
K502	İç Mesnet	233.82	165.52
K502	Dış Mesnet	257.71	165.52
K402	İç Mesnet	256.78	165.52
K402	Dış Mesnet	288.53	165.52
K302	İç Mesnet	345.88	165.52
K302	Dış Mesnet	392.56	165.52
K202	İç Mesnet	392.56	165.52
K202	Dış Mesnet	392.56	165.52
K102	İç Mesnet	392.56	165.52
K102	Dış Mesnet	392.56	165.52

g) Kiriş ve kolon kesitlerinin artık eğilme momenti kapasiteleri, kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri ile düşey yükler altında bu kesitlerde hesaplanan eğilme momentlerinin farkları alınarak elde edilir. Kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan eğilme momentleri, yeniden dağılım ilkesine göre en fazla % 15 oranında azaltılmıştır.

- h) Kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r), uygulanan deprem kuvvetlerinin yönü de dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin kesitin artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir (Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14).

Çizelge 4.13 : Kirişlerin Etki / Kapasite Oranları.

Kiriş	Mesnet Noktası	$0.85 * M_{G+0.3Q}$	M_E	M_{KAP}^-	M_{KAP}^+	$r_{üst}$	r_{alt}
K601	Dış Mesnet	-29.108	161.341	157.76	125.71	1.254	1.009
K601	İç Mesnet	-61.937	-128.617	180.81	125.71	1.082	0.648
K501	Dış Mesnet	-49.681	363.503	257.71	125.71	1.747	1.974
K501	İç Mesnet	-59.444	-327.607	233.82	125.71	1.879	1.674
K401	Dış Mesnet	-50.432	504.218	288.53	125.71	2.118	2.725
K401	İç Mesnet	-60.047	-471.632	256.78	125.71	2.397	2.402
K301	Dış Mesnet	-48.190	753.712	392.56	125.71	2.189	4.132
K301	İç Mesnet	-61.617	-673.171	345.88	125.71	2.368	3.396
K201	Dış Mesnet	-48.327	767.407	392.56	125.71	2.229	4.203
K201	İç Mesnet	-56.398	-726.74	392.56	125.71	2.162	3.784
K101	Dış Mesnet	-47.030	683.984	392.56	125.71	1.980	3.778
K101	İç Mesnet	-58.907	-666.728	392.56	125.71	1.998	3.419
K602	İç Mesnet	-61.937	128.617	180.81	165.52	1.082	0.540
K602	Dış Mesnet	-29.108	-161.341	157.76	165.52	1.254	0.808
K502	İç Mesnet	-59.444	327.606	233.82	165.52	1.879	1.391
K502	Dış Mesnet	-49.681	-363.503	257.71	165.52	1.747	1.623
K402	İç Mesnet	-60.047	471.632	256.78	165.52	2.397	1.997
K402	Dış Mesnet	-50.432	-504.218	288.53	165.52	2.118	2.242
K302	İç Mesnet	-61.617	673.171	345.88	165.52	2.368	2.828
K302	Dış Mesnet	-48.190	-753.711	392.56	165.52	2.189	3.392
K202	İç Mesnet	-56.398	726.74	392.56	165.52	2.162	3.134
K202	Dış Mesnet	-48.327	-767.406	392.56	165.52	2.229	3.451
K102	İç Mesnet	-58.907	666.727	392.56	165.52	1.998	2.839
K102	Dış Mesnet	-47.030	-683.983	392.56	165.52	1.980	3.097

Çizelge 4.14 : Kolonların Etki / Kapasite Oranları.

KOLON	UÇ NOKTALARI	M_{G+nQ}	M_E	M_u	r
S601	alt uc	-40.351	111.723	78.77	2.908
S601	üst uc	32.926	-122.043	76.59	2.795
S501	alt uc	-34.204	233.791	100.51	3.526
S501	üst uc	22.942	-188.414	94.51	2.633
S401	alt uc	-38.636	381.300	144.79	3.592
S401	üst uc	27.878	-187.169	115.87	2.127
S301	alt uc	-32.002	445.152	172.86	3.160
S301	üst uc	20.397	-231.371	121.43	2.290
S201	alt uc	-44.749	466.991	201.31	2.983
S201	üst uc	25.489	-202.332	170.81	1.392
S101	alt uc	-15.231	721.219	255.59	3.001
S101	üst uc	21.241	-56.145	225.43	0.275
S602	alt uc	0.000	216.821	105.78	2.050
S602	üst uc	0.000	-191.851	104.24	1.840
S502	alt uc	0.000	431.384	134.07	3.218
S502	üst uc	0.000	-330.243	133.41	2.475
S402	alt uc	0.000	702.394	215.99	3.252
S402	üst uc	0.000	-361.712	215.99	1.675
S302	alt uc	0.000	725.652	244.08	2.973
S302	üst uc	0.000	-423.823	240.91	1.759
S202	alt uc	0.000	981.430	403.62	2.432
S202	üst uc	0.000	-478.881	403.62	1.186
S102	alt uc	0.000	1308.400	388.41	3.369
S102	üst uc	0.000	-100.084	390.86	0.256
S603	alt uc	40.351	111.723	87.38	2.376
S603	üst uc	-32.926	-122.043	85.61	2.317
S503	alt uc	34.204	233.791	118.71	2.767
S503	üst uc	-22.942	-188.413	120.57	1.930
S403	alt uc	38.636	381.299	177.07	2.754
S403	üst uc	-27.878	-187.168	188.16	1.168
S303	alt uc	32.002	445.152	217.57	2.399
S303	üst uc	-20.397	-231.371	218.01	1.171
S203	alt uc	44.749	466.991	289.52	1.908
S203	üst uc	-25.489	-202.331	241.41	0.937
S103	alt uc	15.231	721.216	305.25	2.487
S103	üst uc	-21.241	-56.145	206.57	0.303

- i) Kirişler ve kolonlar için hesaplanan etki / kapasite oranlarının ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle bu elemanların kesit hasar bölgeleri belirlenir. (Çizelge 4.15, Çizelge 4.16).

Çizelge 4.15 : Kirişler İçin Kesit Hasar Bölgeleri.

Kiriş	Mesnet Noktası	$\rho-\rho'/\rho_b$	sargılama	$V/(b_wdf_{ctm})$	$r_{üst}$	Hasar Bölgesi	r_{alt}	Hasar Bölgesi	Kesit Hasar Bölgesi
K601	Dış Mesnet	-0.05341	yok	0.0193	1.254	MHB	1.009	MHB	MHB
K601	İç Mesnet	0.00427	yok	0.3413	1.082	MHB	0.648	MHB	MHB
K501	Dış Mesnet	0.21932	yok	0.1500	1.747	MHB	1.974	MHB	MHB
K501	İç Mesnet	0.14811	yok	0.5387	1.879	MHB	1.674	MHB	MHB
K401	Dış Mesnet	0.31901	yok	0.2894	2.118	MHB	2.725	BHB	BHB
K401	İç Mesnet	0.21647	yok	0.6781	2.397	BHB	2.402	BHB	BHB
K301	Dış Mesnet	0.24651	yok	0.3897	2.189	MHB	4.132	BHB	BHB
K301	İç Mesnet	0.16727	yok	0.6824	2.368	BHB	3.396	BHB	BHB
K201	Dış Mesnet	0.24651	yok	0.4311	2.229	MHB	4.203	BHB	BHB
K201	İç Mesnet	0.24651	yok	0.7235	2.162	MHB	3.784	BHB	BHB
K101	Dış Mesnet	0.24651	yok	0.3770	1.980	MHB	3.778	BHB	BHB
K101	İç Mesnet	0.24651	yok	0.6876	1.998	MHB	3.419	BHB	BHB
K602	İç Mesnet	0.00427	yok	0.0571	1.082	MHB	0.540	MHB	MHB
K602	Dış Mesnet	-0.05341	yok	0.3035	1.254	MHB	0.808	MHB	MHB
K502	İç Mesnet	0.14811	yok	0.1387	1.879	MHB	1.391	MHB	MHB
K502	Dış Mesnet	0.21932	yok	0.5274	1.747	MHB	1.623	MHB	MHB
K402	İç Mesnet	0.21647	yok	0.2784	2.397	BHB	1.997	MHB	BHB
K402	Dış Mesnet	0.31901	yok	0.6670	2.118	MHB	2.242	BHB	BHB
K302	İç Mesnet	0.16727	yok	0.3777	2.368	BHB	2.828	BHB	BHB
K302	Dış Mesnet	0.24651	yok	0.6910	2.189	MHB	3.392	BHB	BHB
K202	İç Mesnet	0.24651	yok	0.4217	2.162	MHB	3.134	BHB	BHB
K202	Dış Mesnet	0.24651	yok	0.7323	2.229	BHB	3.451	BHB	BHB
K102	İç Mesnet	0.24651	yok	0.3641	1.998	MHB	2.839	BHB	BHB
K102	Dış Mesnet	0.24651	yok	0.6747	1.980	MHB	3.097	BHB	BHB

Çizelge 4.16 : Kolonlar İçin Kesit Hasar Bölgeleri.

KOLON	UÇ NOKTALARI	$N/(A_c f_{ck})$	sargılama	$V/(b_w df_{ctm})$	r	Hasar Bölgesi
S601	alt uc	0.057	yok	0.20	2.908	BHB
S601	üst uc	0.051	yok	0.20	2.795	BHB
S501	alt uc	0.118	yok	0.45	3.526	İHB
S501	üst uc	0.100	yok	0.45	2.633	BHB
S401	alt uc	0.128	yok	0.46	3.592	İHB
S401	üst uc	0.065	yok	0.42	2.127	BHB
S301	alt uc	0.142	yok	0.61	3.160	BHB
S301	üst uc	0.034	yok	0.47	2.290	BHB
S201	alt uc	0.103	yok	0.48	2.983	BHB
S201	üst uc	0.060	yok	0.48	1.392	MHB
S101	alt uc	0.142	yok	0.59	3.001	BHB
S101	üst uc	0.093	yok	0.59	0.275	MHB
S602	alt uc	0.137	yok	0.50	2.050	BHB
S602	üst uc	0.131	yok	0.50	1.840	MHB
S502	alt uc	0.278	yok	0.65	3.218	İHB
S502	üst uc	0.273	yok	0.65	2.475	BHB
S402	alt uc	0.316	yok	0.79	3.252	İHB
S402	üst uc	0.310	yok	0.79	1.675	BHB
S302	alt uc	0.426	yok	0.95	2.973	GB
S302	üst uc	0.422	yok	0.94	1.759	BHB
S202	alt uc	0.385	yok	0.99	2.432	İHB
S202	üst uc	0.380	yok	0.99	1.186	MHB
S102	alt uc	0.467	yok	0.96	3.369	GB
S102	üst uc	0.462	yok	0.96	0.256	MHB
S603	alt uc	0.079	yok	0.37	2.376	BHB
S603	üst uc	0.074	yok	0.37	2.317	BHB
S503	alt uc	0.182	yok	0.58	2.767	BHB
S503	üst uc	0.190	yok	0.58	1.930	BHB
S403	alt uc	0.224	yok	0.58	2.754	BHB
S403	üst uc	0.276	yok	0.58	1.168	MHB
S303	alt uc	0.339	yok	0.71	2.399	İHB
S303	üst uc	0.437	yok	0.71	1.171	MHB
S203	alt uc	0.407	yok	0.59	1.908	BHB
S203	üst uc	0.561	yok	0.59	0.937	MHB
S103	alt uc	0.478	yok	0.65	2.487	İHB
S103	üst uc	0.703	yok	0.65	0.303	MHB

- j) Yukarıda verilen tüm çizelgeler deprem kuvvetlerinin pozitif yönü esas alınarak hesaplanmış olup, deprem kuvvetinin tersinir olduğu gözönünde tutularak, bu değerler elverişsiz durum için simetrik kiriş ve kolonlarda tek hasar seviyesine indirgenmiş ve sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde özetlenmiştir (Çizelge 4.17, Çizelge 4.18).

Çizelge 4.17 : Kirişler İçin Özet Sonuçlar.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Hasar Bölgesi
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB
	K601/K602	İç Mesnet	MHB
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB
	K501/K502	İç Mesnet	MHB
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	BHB
	K401/K402	İç Mesnet	BHB
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	BHB
	K301/K302	İç Mesnet	BHB
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	BHB
	K201/K202	İç Mesnet	BHB
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	BHB
	K101/K102	İç Mesnet	BHB

Çizelge 4.18 : Kolonlar İçin Özet Sonuçlar.

KAT	KOLON	UÇ NOKTALARI	Hasar Bölgesi
KAT6	S601/S603	alt uc	BHB
	S601/S603	üst uc	BHB
KAT5	S501/S503	alt uc	İHB
	S501/S503	üst uc	BHB
KAT4	S401/S403	alt uc	İHB
	S401/S403	üst uc	BHB
KAT3	S301/S303	alt uc	İHB
	S301/S303	üst uc	BHB
KAT2	S201/S203	alt uc	BHB
	S201/S203	üst uc	MHB
KAT1	S101/S103	alt uc	İHB
	S101/S103	üst uc	MHB
KAT6	S602	alt uc	BHB
	S602	üst uc	MHB
KAT5	S502	alt uc	İHB
	S502	üst uc	BHB
KAT4	S402	alt uc	İHB
	S402	üst uc	BHB
KAT3	S302	alt uc	GB
	S302	üst uc	BHB
KAT2	S202	alt uc	İHB
	S202	üst uc	MHB
KAT1	S102	alt uc	GB
	S102	üst uc	MHB

4.4.2.2 2006 Türk Deprem Yönetmeliğine göre doğrusal elastik hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesi

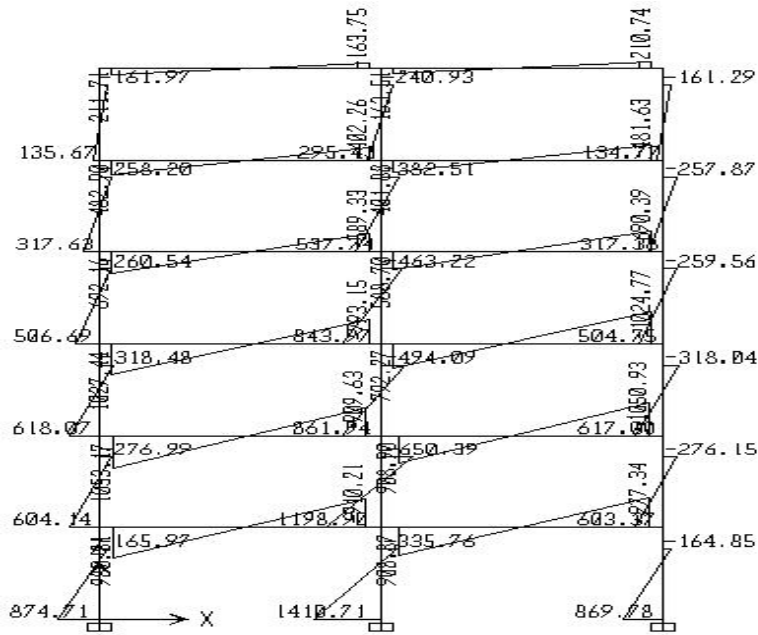
2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen doğrusal elastik hesap yönteminin adımları Bölüm 4.4.2.1'de açıklanan hesap adımları ile aynı sıra izlenerek ve aradaki farklar belirtilerek aşağıda özetlenmiştir.

- Boyutlandırılan taşıyıcı sistem için gerçekleştirilen deprem analizleri brüt (çatlama) kesit eğilme rijitlikleri esas alınarak yapılır.
- DBYBHY 2006, Madde 7.5.1.1 uyarınca $R_a = 1$, $\lambda = 0.85$ alınarak eşdeğer deprem yükleri bulunur ve sisteme kat düzeylerinde etkililir [1].

Çizelge 4.19 : 2006 TDY Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı.

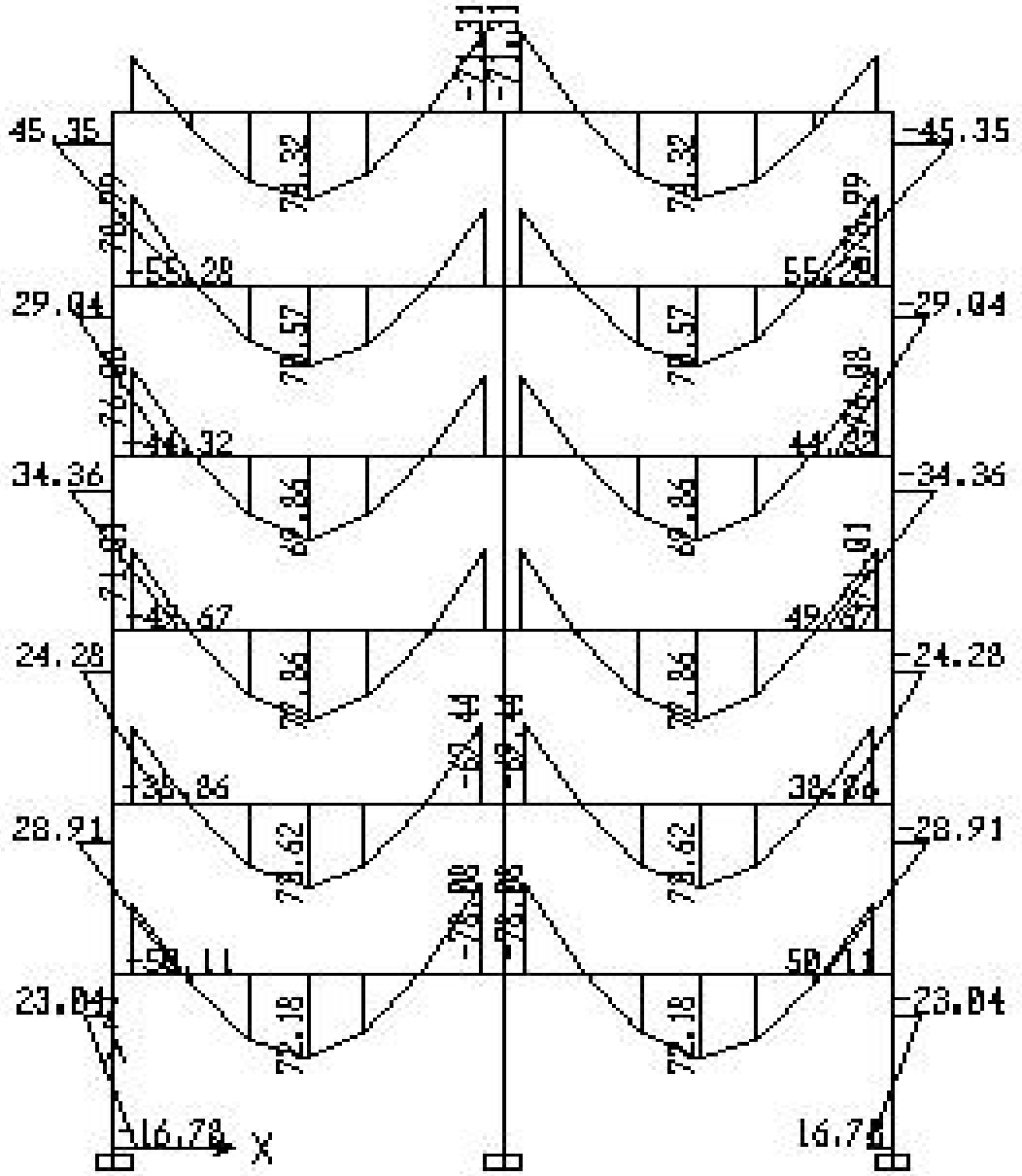
KAT	W_i (kN)	H_i (m)	$W_i H_i$	$W_i H_i / \sum W_i H_i$	F_i
6	489.60	18	8812.82	0.244	461.249
5	584.06	15	8760.85	0.242	384.196
4	595.20	12	7142.42	0.197	313.222
3	619.85	9	5578.66	0.154	244.645
2	631.74	6	3790.44	0.105	166.225
1	700.10	3	2100.29	0.058	92.106

- Sistem bu deprem yükleri altında hesaplanarak tüm kesitlerdeki eğilme momentleri ve normal kuvvetler elde edilir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Sistemin M_E Diyagramı (kNm).

- d) Sistem, G + Q yük kombinasyonu altında çözülerek tüm kesitlerdeki eğilme momentleri ve normal kuvvetler elde edilir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 : Sistemin M_{G+Q} Diyagramı (kNm).

- e) Sistemin kolonlarının eğilme momenti kapasiteleri, betonarme betonu ve beton çeliğinin bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılan mevcut dayanımları kullanılarak (4.20) –(4.23c) yardımı ile hesaplanır (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20 : Kolonlarda Eğilme Momenti Kapasiteleri.

KOLON	UÇ NOKTALARI	μ	n	m	M_{kap}
S601	alt uc	0.1770	0.0846	0.1108	84.72
S601	üst uc	0.1770	0.0781	0.1080	82.63
S501	alt uc	0.1758	0.1744	0.1434	109.68
S501	üst uc	0.1758	0.1523	0.1361	104.13
S401	alt uc	0.1921	0.1882	0.1542	157.24
S401	üst uc	0.1921	0.1184	0.1304	132.97
S301	alt uc	0.2468	0.2222	0.1857	189.41
S301	üst uc	0.2468	0.0977	0.1442	147.10
S201	alt uc	0.2057	0.1662	0.1527	224.31
S201	üst uc	0.2057	0.0903	0.1246	183.08
S101	alt uc	0.2582	0.2075	0.1863	273.61
S101	üst uc	0.2582	0.2022	0.1848	271.44
S602	alt uc	0.1742	0.1843	0.1458	111.54
S602	üst uc	0.1742	0.1783	0.1440	110.13
S502	alt uc	0.1686	0.3722	0.1825	139.64
S502	üst uc	0.1686	0.3662	0.1825	139.64
S402	alt uc	0.2429	0.4232	0.2118	215.99
S402	üst uc	0.2429	0.4173	0.2118	215.99
S302	alt uc	0.3049	0.5710	0.2243	228.83
S302	üst uc	0.3049	0.5656	0.2256	230.08
S202	alt uc	0.2178	0.5170	0.2018	403.42
S202	üst uc	0.2178	0.5115	0.2029	405.70
S102	alt uc	0.2161	0.6278	0.1763	352.41
S102	üst uc	0.2161	0.6230	0.1774	354.70
S603	alt uc	0.1770	0.1062	0.1196	91.48
S603	üst uc	0.1770	0.1007	0.1174	89.78
S503	alt uc	0.1758	0.2434	0.1625	124.27
S503	üst uc	0.1758	0.2534	0.1648	126.05
S403	alt uc	0.1921	0.2979	0.1802	183.76
S403	üst uc	0.1921	0.3558	0.1918	195.60
S303	alt uc	0.2468	0.4393	0.2133	217.57
S303	üst uc	0.2468	0.5524	0.2056	209.70
S203	alt uc	0.2603	0.5574	0.2098	308.15
S203	üst uc	0.2603	0.8166	0.1446	212.37
S103	alt uc	0.3188	0.6616	0.2085	306.31
S103	üst uc	0.3188	1.0331	0.1008	148.00

- f) Sistemin kirişlerinin eğilme momenti kapasiteleri, pozitif eğilme momenti kapasitesi için tablalı kesit hesabı, negatif eğilme momenti kapasitesi için dikdörtgen kesit hesabı yapılarak bulunur.

Çizelge 4.21 : Kirişlerde Eğilme Momenti Kapasiteleri.

Kiriş	Mesnet Noktası	M_{KAP-}	M_{KAP+}
K601	Dış Mesnet	101.47	126.24
K601	İç Mesnet	125.6	126.24
K501	Dış Mesnet	206.54	126.24
K501	İç Mesnet	181.32	126.24
K401	Dış Mesnet	239.24	126.24
K401	İç Mesnet	205.56	126.24
K301	Dış Mesnet	325.49	126.24
K301	İç Mesnet	276.89	126.24
K201	Dış Mesnet	325.49	126.24
K201	İç Mesnet	325.49	126.24
K101	Dış Mesnet	325.49	126.24
K101	İç Mesnet	325.49	126.24
K602	İç Mesnet	125.6	166.06
K602	Dış Mesnet	101.47	166.06
K502	İç Mesnet	181.32	166.06
K502	Dış Mesnet	206.54	166.06
K402	İç Mesnet	205.56	166.06
K402	Dış Mesnet	239.24	166.06
K302	İç Mesnet	276.89	166.06
K302	Dış Mesnet	325.49	166.06
K202	İç Mesnet	325.49	166.06
K202	Dış Mesnet	325.49	166.06
K102	İç Mesnet	325.49	166.06
K102	Dış Mesnet	325.49	166.06

- g) Kiriş ve kolon kesitlerinin artık eğilme momenti kapasiteleri, kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri ile düşey yükler altında bu kesitlerde hesaplanan eğilme momentlerinin farkları alınarak elde edilir. 2006 Türk Deprem Yönetmeliği uyarınca, düşey yükler altında kiriş mesnet momentlerine herhangi bir azaltma uygulanmamaktadır.
- h) Kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r), uygulanan deprem kuvvetlerinin yönü de dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin kesitin artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir, (Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23).

Çizelge 4.22 : Kirişlerin Etki / Kapasite Oranları.

Kiriş	Mesnet Noktası	M_{GQ}	M_E	M_{KAP^-}	M_{KAP^+}	$r_{üst}$	r_{alt}
K601	Dış Mesnet	-49.01	211.71	101.466	126.24	4.036	1.208
K601	İç Mesnet	-71.31	-163.75	125.598	126.24	3.016	0.829
K501	Dış Mesnet	-78.99	482.90	206.544	126.24	3.786	2.353
K501	İç Mesnet	-66.97	-402.26	181.317	126.24	3.518	2.082
K401	Dış Mesnet	-76.08	692.16	239.238	126.24	4.242	3.421
K401	İç Mesnet	-71.31	-589.33	205.565	126.24	4.390	2.983
K301	Dış Mesnet	-71.01	1027.44	325.494	126.24	4.037	5.209
K301	İç Mesnet	-68.87	-793.15	276.891	126.24	3.813	4.065
K201	Dış Mesnet	-65.84	1053.17	325.494	126.24	4.056	5.483
K201	İç Mesnet	-69.44	-909.63	325.494	126.24	3.553	4.648
K101	Dış Mesnet	-60.1	980.81	325.494	126.24	3.696	5.263
K101	İç Mesnet	-78.08	-910.21	325.494	126.24	3.679	4.455
K602	İç Mesnet	-71.31	163.51	125.598	166.06	3.012	0.689
K602	Dış Mesnet	-49.01	-210.74	101.466	166.06	4.018	0.980
K502	İç Mesnet	-66.97	401.88	181.317	166.06	3.515	1.725
K502	Dış Mesnet	-78.99	-481.63	206.544	166.06	3.776	1.965
K402	İç Mesnet	-71.31	588.70	205.565	166.06	4.385	2.480
K402	Dış Mesnet	-76.08	-690.39	239.238	166.06	4.231	2.851
K302	İç Mesnet	-68.87	792.27	276.891	166.06	3.809	3.372
K302	Dış Mesnet	-71.01	-1024.78	325.494	166.06	4.027	4.323
K202	İç Mesnet	-69.44	908.90	325.494	166.06	3.550	3.860
K202	Dış Mesnet	-65.84	-1050.94	325.494	166.06	4.047	4.532
K102	İç Mesnet	-78.08	908.87	325.494	166.06	3.673	3.723
K102	Dış Mesnet	-60.1	-977.34	325.494	166.06	3.683	4.321

Çizelge 4.23 : Kolonların Etki / Kapasite Oranları.

KOLON	UÇ NOKTALARI	M_{GQ}	M_E	M_U	r
S601	alt uc	-55.283	135.669	84.72	4.608
S601	üst uc	45.351	-161.965	82.63	4.345
S501	alt uc	-44.318	317.628	109.68	4.859
S501	üst uc	29.04	-258.198	104.13	3.439
S401	alt uc	-49.672	506.687	157.24	4.710
S401	üst uc	34.364	-260.544	132.97	2.642
S301	alt uc	-38.856	618.067	189.41	4.105
S301	üst uc	24.283	-318.475	147.10	2.593
S201	alt uc	-50.11	604.139	224.31	3.468
S201	üst uc	28.91	-276.993	183.08	1.797
S101	alt uc	-16.777	874.711	273.61	3.406
S101	üst uc	23.041	-165.975	271.44	0.668
S602	alt uc	0.000	295.433	111.54	2.649
S602	üst uc	0.000	-240.929	110.13	2.188
S502	alt uc	0.000	537.745	139.64	3.851
S502	üst uc	0.000	-382.512	139.64	2.739
S402	alt uc	0.000	843.968	215.99	3.907
S402	üst uc	0.000	-463.222	215.99	2.145
S302	alt uc	0.000	861.945	228.83	3.767
S302	üst uc	0.000	-494.088	230.08	2.147
S202	alt uc	0.000	1198.895	403.42	2.972
S202	üst uc	0.000	-650.387	405.70	1.603
S102	alt uc	0.000	1410.706	352.41	4.003
S102	üst uc	0.000	-335.756	354.70	0.947
S603	alt uc	55.283	134.773	91.48	3.723
S603	üst uc	-45.351	-161.29	89.78	3.630
S503	alt uc	44.318	317.384	124.27	3.969
S503	üst uc	-29.04	-257.872	126.05	2.658
S403	alt uc	49.672	504.75	183.76	3.764
S403	üst uc	-34.364	-259.563	195.60	1.610
S303	alt uc	38.856	617.004	217.57	3.452
S303	üst uc	-24.283	-318.039	209.70	1.715
S203	alt uc	50.11	603.374	308.15	2.338
S203	üst uc	-28.91	-276.148	212.37	1.505
S103	alt uc	16.777	869.785	306.31	3.004
S103	üst uc	-23.041	-164.847	148.00	1.319

- i) Kirişler ve kolonlar için hesaplanan etki / kapasite oranlarının ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle bu elemanların kesit hasar bölgeleri belirlenir. Sonuçlar Bölüm 4.4.2.1 (j) de belirtildiği gibi özet tablolar halinde ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalı verilmiştir (Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25).

Çizelge 4.24 : Kirişlerin Hasar Bölgeleri.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Hasar Bölgesi 2007	Hasar Bölgesi 2006
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB	BHB
	K601/K602	İç Mesnet	MHB	BHB
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB	BHB
	K501/K502	İç Mesnet	MHB	BHB
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	BHB	BHB
	K401/K402	İç Mesnet	BHB	BHB
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	BHB	BHB
	K301/K302	İç Mesnet	BHB	BHB
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	BHB	BHB
	K201/K202	İç Mesnet	BHB	BHB
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	BHB	BHB
	K101/K102	İç Mesnet	BHB	BHB

Çizelge 4.25 : Kolonların Hasar Bölgeleri.

KAT	KOLON	UÇ NOKTALARI	Hasar Bölgesi 2007	Hasar Bölgesi 2006
KAT6	S601/S603	alt uc	BHB	İHB
	S601/S603	üst uc	BHB	İHB
KAT5	S501/S503	alt uc	İHB	GB
	S501/S503	üst uc	BHB	İHB
KAT4	S401/S403	alt uc	İHB	GB
	S401/S403	üst uc	BHB	BHB
KAT3	S301/S303	alt uc	İHB	GB
	S301/S303	üst uc	BHB	BHB
KAT2	S201/S203	alt uc	BHB	İHB
	S201/S203	üst uc	MHB	BHB
KAT1	S101/S103	alt uc	İHB	GB
	S101/S103	üst uc	MHB	GB
KAT6	S602	alt uc	BHB	BHB
	S602	üst uc	MHB	BHB
KAT5	S502	alt uc	İHB	GB
	S502	üst uc	BHB	İHB
KAT4	S402	alt uc	İHB	GB
	S402	üst uc	BHB	İHB
KAT3	S302	alt uc	GB	GB
	S302	üst uc	BHB	İHB
KAT2	S202	alt uc	İHB	GB
	S202	üst uc	MHB	BHB
KAT1	S102	alt uc	GB	GB
	S102	üst uc	MHB	MHB

4.4.3 Sistemin doğrusal elastik olmayan hesap yöntemine göre deprem performansının belirlenmesi

TSM–2A taşıyıcı sistem modelinin, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi ile, deprem performansının belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda sayısal olarak açıklanmıştır.

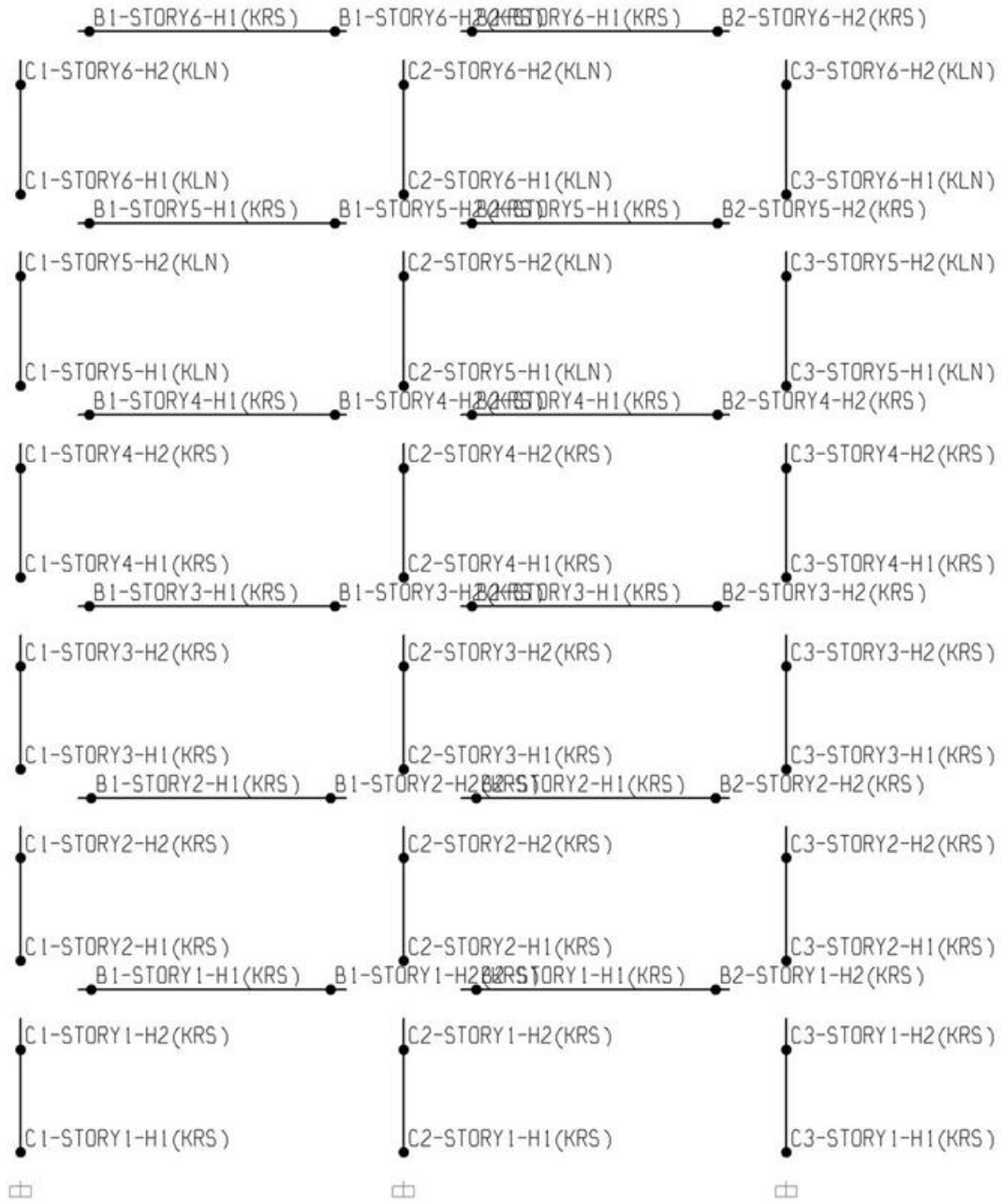
- a) Sistem, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu olan düşey işletme yükleri altında hesaplanarak kolon normal kuvvetleri bulunur. Aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak kolonların çatlamış kesit eğilme rijitlikleri hesaplanır. N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılır. Kirişlerde çatlamış kesit eğilme rijitliği $0.40 EI_0$ olarak alınır.

Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ve deprem hesabında elde edilen bu etkin eğilme rijitlikleri kullanılır.

$$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda: } 0.40 EI_0$$

$$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda: } 0.80 EI_0$$

- b) Kolon ve kirişlerin her iki ucunda olası plastik kesit yerleri tanımlanır. Plastik kesitlerin akma yüzeylerinin belirlenmesinde betonarme betonu ve beton çeliğinin mevcut dayanımları kullanılır. Bu dayanım değerlerine malzeme güvenlik katsayıları uygulanmaz; buna karşılık mevcut dayanımlar bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılır. Akma yüzeylerinin oluşturulmasında betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirme 0.003 , donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirme ise 0.01 alınır. Plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi terk edilir. Tanımlanan plastik mafsallar kolon ve kiriş uçlarında plastik kesitin çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olan plastik mafsal boyunun ortasına yerleştirilir. Şekil 4.11'de, kolon ve kiriş uçlarına yerleştirilen olası plastik mafsallar ve isimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Kolon ve Kiriş Uçlarındaki Olası Plastik Mafsallık Yerleri.

- c) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu olan düşey yüklerin ($G+0.3Q$) gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır.

Bu analiz sonuçları artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

- d) Kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı doğrusal olmayan statik analizden ardından sistem, orantılı olarak arttırılan eşdeğer deprem yükleri altında

doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanır. Eşdeğer deprem yükü dağılımı, taşıyıcı sistemdeki plastik kesitlerin oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılarak, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Bu aşamada, yapı sisteminin deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait özellikler elde edilir (Çizelge 4.26).

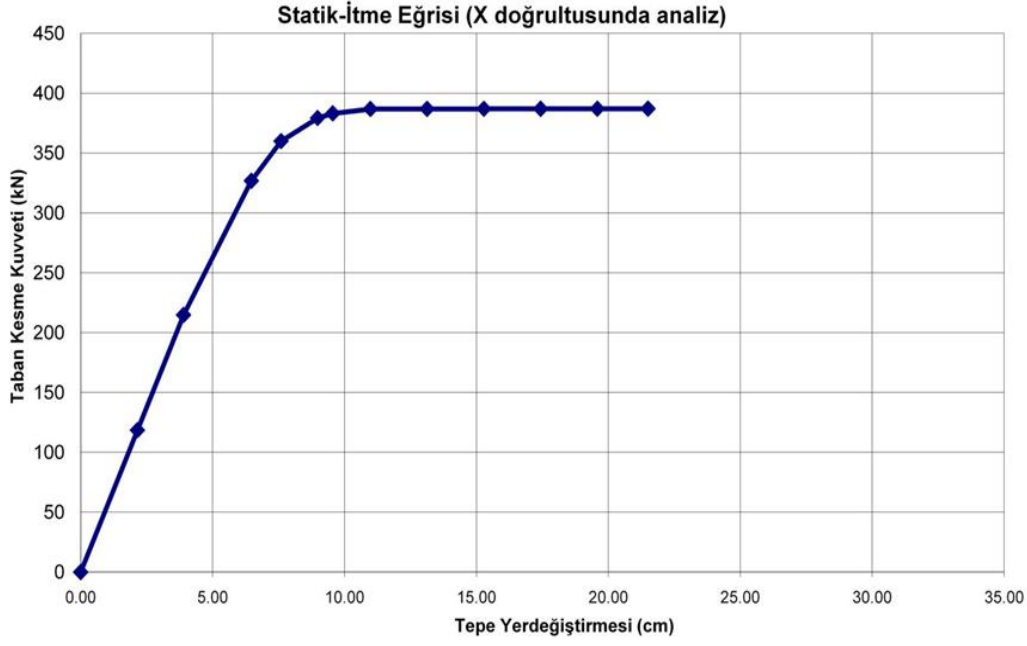
Çizelge 4.26 : TSM-2A Periyot, Etkin Kütle, Etkin Kütle Oranı, Modal Katılım Oranı.

Mode	Period (sn)	Etkin Kütle Oranı %	Toplam E.K.O.	Modal Katılım Oranı
1	1.188	73.0921	73.0921	-16.296
2	0.443	14.8525	87.9446	7.346
3	0.254	5.1916	93.1362	4.343
4	0.179	3.0645	96.2007	3.337
5	0.134	1.4822	97.6829	-2.321
6	0.094	2.3171	100	2.901

- e) İtme analizinin her adımı için taban kesme kuvveti ve tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi bulunur. Analiz sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.27’de verilmiş, verilen değerlerden yararlanarak çizilen statik itme eğrisi Şekil. 4.12’de gösterilmiştir.

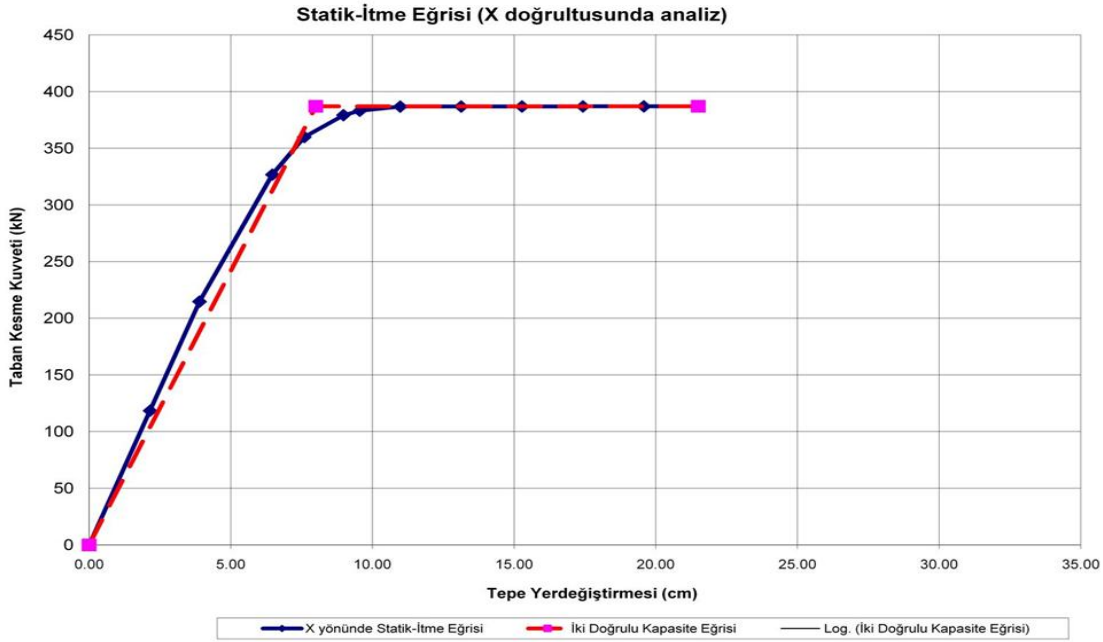
Çizelge 4.27 : Taban Kesme Kuvveti – Tepe Noktası Yerdeğiştirmesi Değerleri.

Adım	$u_{xN1}^{(i)}$ (cm)	$V_{x1}^{(i)}$ (kN)
0	0.00	0.00
1	2.15	118.54
2	3.90	214.78
3	6.47	326.83
4	7.59	359.97
5	8.98	379.23
6	9.55	383.14
7	10.98	386.82
8	13.13	386.87
9	15.28	386.91
10	17.43	386.96
11	19.58	387.00
12	21.50	387.04



Şekil 4.12 : TSM-2A Statik İtme Eğrisi.

f) Şekil 4.12’de elde edilen statik itme eğrisi iki doğru (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu dönüştürmede, iki doğru diyagramın ve statik itme eğrisinin altında kalan alanların yaklaşık olarak birbirlerine eşit olması sağlanır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 : Statik İtme Eğrisinin İki Doğru Diyagrama Dönüştürülmesi.

g) Elde edilen iki doğrulu statik itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak, birinci moda ait modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerlerinden oluşan modal kapasite diyagramı (3.2) ve (3.3)'den yararlanarak elde edilir. Denklemlerde geçen birinci (hakim) moda ait etkin kütle M_{x1} ve modal katkı çarpanı Γ_{x1} (3.4) yardımıyla bulunarak Çizelge 4.28'de gösterilmiştir. Koordinat dönüşümü ile bulunan modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri de Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.28 : Modal Katkı Çarpanı.

$\Sigma K\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}$	Γ	ϕ
363.311	16.296	0.08510

Çizelge 4.29 : Modal Yerdeğiştirme ve Modal İvme Değerleri.

Adım	$u^{(i)}_{xN1}$ (cm)	$V^{(i)}_{x1}$ (kN)	$a^{(i)}_1$ (m/s^2)	$d^{(i)}_1$ (cm)
0	0.00	0.00	0.000	0.000
1	2.15	118.54	0.046	1.550
2	3.90	214.78	0.082	2.809
3	6.47	326.83	0.125	4.663
4	7.59	359.97	0.138	5.475
5	8.98	379.23	0.146	6.472
6	9.55	383.14	0.147	6.888
7	10.98	386.82	0.148	7.916
8	13.13	386.87	0.149	9.467
9	15.28	386.91	0.149	11.017
10	17.43	386.96	0.149	12.568
11	19.58	387.00	0.149	14.118
12	21.50	387.04	0.149	15.504

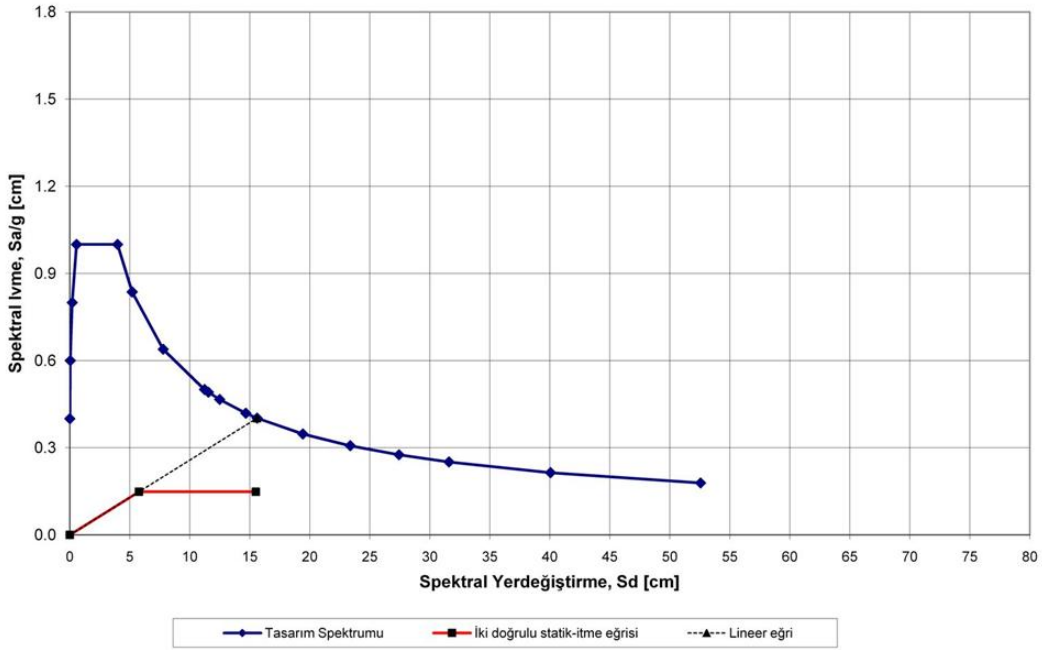
h) Bulunan modal kapasite diyagramı ile zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi gözönüne alınarak modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Modal yerdeğiştirme istemi, $d^{(p)}_1$, doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{d1} 'e eşittir, (3.5) –(3.7).

i) İtme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T^{(1)}_1$, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B ile karşılaştırılır. $T^{(1)}_1$, (3.8) –(3.10) uyarınca, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'den daha büyük olduğu için eşit yerdeğiştirme kuralı uygulanarak

doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye eşit olarak alınır (Çizelge 4.30). Modal yerdeğiştirmenin grafik üzerinde bulunuşu Şekil 4.14 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.30 : Modal Yerdeğiştirme İsteminin Hesabı.

A_0	T_1 (sn)	T_B (sn)	S_{ae1} (m/s ²)	S_{de1} (cm)	C_{R1}	$S_{d11}=d_1^{(p)}$ (cm)
0.4	1.188	0.4	3.943	15.504	1	15.504



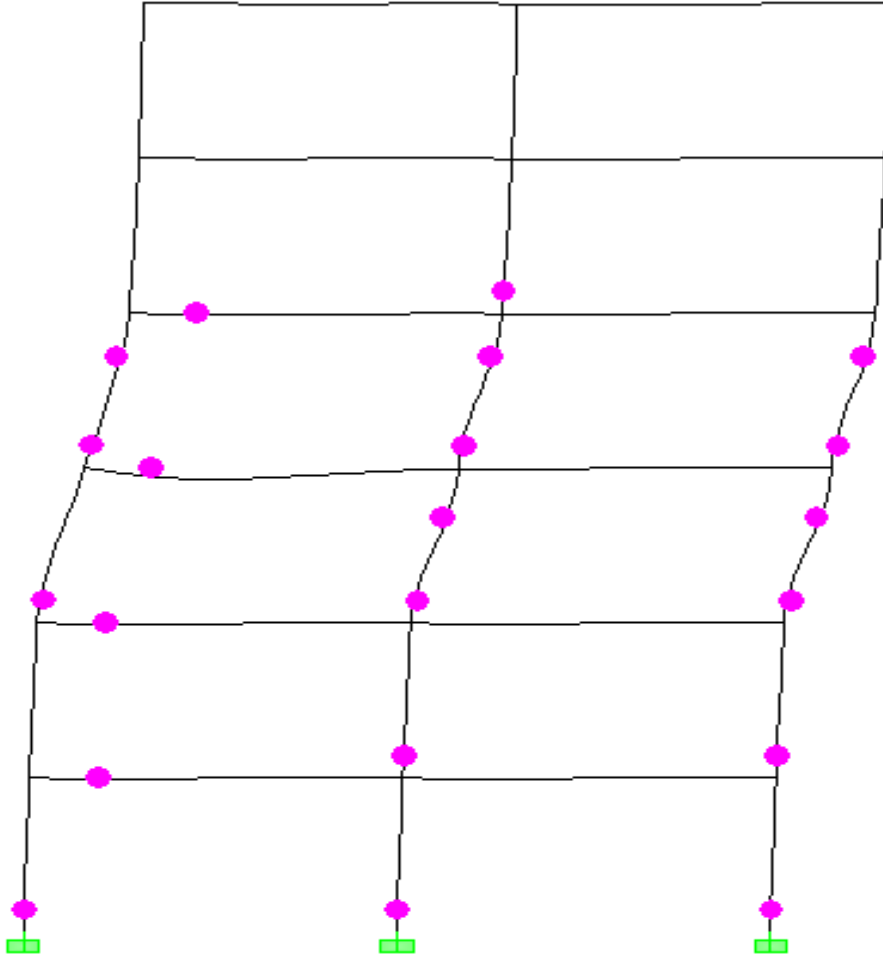
Şekil 4.14 : Spektal İvme – Spektal Yerdeğiştirme Diyagramı.

j) x deprem doğrultusundaki tepe yatay yerdeğiştirmesi istemi (3.11) yardımı ile hesaplanır (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31 : Tepe Noktası Yatay Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi.

Γ_{x1}	Φ_{xN1}	M_{x1}	d_{1p} (cm)	u_{xN1} (cm)
16.296	0.08510	363.311	15.504	21.50

k) Yapı sistemi bu yatay yerdeğiştirme istemine kadar itilir. Bu itme sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 : Yerdeğiştirme İsteminde Sistemde Oluşan Plastik Mafsallar.

- l) İtme analizi sonucunda tüm plastik mafsallarda elde edilen plastik mafsaldnmeleri plastik mafsal boylarına bölünerek, bu kesitlere ait plastik eğrilik istemleri elde edilir.
- l) Eşdeğer akma eğriliği ϕ_y , Priestley formülü yardımıyla hesaplanır [32].

$$\phi_y = \frac{2.1\epsilon_{sy}}{h} \quad (4.24)$$

- m) Eşdeğer akma eğriliği plastik eğrilik istemine eklenerek toplam eğrilik istemi elde edilir, (2.25).
- n) Kirişler için hesapta (j - m) sayılı adımlar ile hesaplanan eğrilik istemi değerleri aşağıda izelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32 : TSM–2A’da Kirişler İçin Toplam Eğrilik İstem Değerlerinin Elde Edilmesi.

Kat	Kiriş	Mafsal Adı	θ_p (radyan)	L_p (m)	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)
KAT6	K601	B1-KAT6-H1	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT6	K601	B1-KAT6-H2	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT5	K501	B1-KAT5-H1	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT5	K501	B1-KAT5-H2	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT4	K401	B1-KAT4-H1	0.00169	0.275	0.006145	0.00424	0.01039
KAT4	K401	B1-KAT4-H2	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT3	K301	B1-KAT3-H1	0.02567	0.35	0.073343	0.00333	0.07667
KAT3	K301	B1-KAT3-H2	0	0.35	0	0.00333	0.00333
KAT2	K201	B1-KAT2-H1	0.00145	0.35	0.004143	0.00333	0.00747
KAT2	K201	B1-KAT2-H2	0	0.35	0	0.00333	0.00333
KAT1	K101	B1-KAT1-H1	0.00051	0.35	0.001457	0.00333	0.00479
KAT1	K101	B1-KAT1-H2	0	0.35	0	0.00333	0.00333
KAT6	K602	B2-KAT6-H1	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT6	K602	B2-KAT6-H2	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT5	K502	B2-KAT5-H1	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT5	K502	B2-KAT5-H2	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT4	K402	B2-KAT4-H1	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT4	K402	B2-KAT4-H2	0	0.275	0	0.00424	0.00424
KAT3	K302	B2-KAT3-H1	0	0.35	0	0.00333	0.00333
KAT3	K302	B2-KAT3-H2	0	0.35	0	0.00333	0.00333
KAT2	K202	B2-KAT2-H1	0	0.35	0	0.00333	0.00333
KAT2	K202	B2-KAT2-H2	0	0.35	0	0.00333	0.00333
KAT1	K102	B2-KAT1-H1	0	0.35	0	0.00333	0.00333
KAT1	K102	B2-KAT1-H2	0	0.35	0	0.00333	0.00333

o) Kirişlerde, toplam eğrilik istemi için, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak eğilme momenti-eğrilik diyagramları çizilir ve betonun birim kısalma, donatı çeliğinin ise birim boy değişmesi istemleri bulunur.

Yapılan sayısal incelemelerde, donatı çeliğinin birim boy değişmesi nedeniyle hasar sınırına ulaşan kiriş kesitlerinde, donatı çeliğinin birim uzama istemi ile kesitin toplam eğrilik istemi arasında, yaklaşık olarak doğrusal bir bağıntı bulunduğu belirlenmiştir.

Bu özellikten yararlanarak, tüm kesitlerde toplam eğrilik istemine karşılık gelen donatı çeliği birim uzama istemleri kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bu istem değerleri kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir, (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.33 : TSM-2A’da Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X).

Kat	Kiriş	Mafsal Adı	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)	Kesit Hasar Bölgesi
KAT6	K601	B1-KAT6-H1	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT6	K601	B1-KAT6-H2	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT5	K501	B1-KAT5-H1	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT5	K501	B1-KAT5-H2	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT4	K401	B1-KAT4-H1	0.0061455	0.00424	0.01039	MHB
KAT4	K401	B1-KAT4-H2	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT3	K301	B1-KAT3-H1	0.0733429	0.00333	0.07667	BHB
KAT3	K301	B1-KAT3-H2	0	0.00333	0.00333	MHB
KAT2	K201	B1-KAT2-H1	0.0041429	0.00333	0.00747	MHB
KAT2	K201	B1-KAT2-H2	0	0.00333	0.00333	MHB
KAT1	K101	B1-KAT1-H1	0.0014571	0.00333	0.00479	MHB
KAT1	K101	B1-KAT1-H2	0	0.00333	0.00333	MHB
KAT6	K602	B2-KAT6-H1	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT6	K602	B2-KAT6-H2	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT5	K502	B2-KAT5-H1	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT5	K502	B2-KAT5-H2	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT4	K402	B2-KAT4-H1	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT4	K402	B2-KAT4-H2	0	0.00424	0.00424	MHB
KAT3	K302	B2-KAT3-H1	0	0.00333	0.00333	MHB
KAT3	K302	B2-KAT3-H2	0	0.00333	0.00333	MHB
KAT2	K202	B2-KAT2-H1	0	0.00333	0.00333	MHB
KAT2	K202	B2-KAT2-H2	0	0.00333	0.00333	MHB
KAT1	K102	B2-KAT1-H1	0	0.00333	0.00333	MHB
KAT1	K102	B2-KAT1-H2	0	0.00333	0.00333	MHB

p) Kirişler için deprem yönünün –X olması halinde elde edilen değerler simetrik olacağından özet çizelgeler halinde hasar seviyeleri verilmiştir (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34 : TSM-2A’da Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Hasar Bölgesi
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB
	K601/K602	İç Mesnet	MHB
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB
	K501/K502	İç Mesnet	MHB
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	MHB
	K401/K402	İç Mesnet	MHB
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	BHB
	K301/K302	İç Mesnet	MHB
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	MHB
	K201/K202	İç Mesnet	MHB
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	MHB
	K101/K102	İç Mesnet	MHB

q) Kolonlar için hesapta, (j - m) sayılı adımlar ile elde edilen eğrilik istemi değerleri aşağıda Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Çizelge 4.35 : TSM-2A’da Kolonlar İçin Toplam Eğrilik İstem Değerlerinin Elde Edilmesi.

Kat	Kolon	Mafsal Adı	P (kN)	θ_p (radyan)	L_p (m)	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)
KAT6	S601	C1-KAT6-H1	-105.48	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT6	S601	C1-KAT6-H2	-96.29	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT5	S501	C1-KAT5-H1	-214.76	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT5	S501	C1-KAT5-H2	-205.57	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT4	S401	C1-KAT4-H1	0	0.0011	0.25	0.00428	0.00466	0.008944
KAT4	S401	C1-KAT4-H2	0	-0.0193	0.25	0.07716	0.00466	0.081824
KAT3	S301	C1-KAT3-H1	0	0.0218	0.25	0.08708	0.00466	0.091744
KAT3	S301	C1-KAT3-H2	0	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT2	S201	C1-KAT2-H1	0	0	0.3	0	0.00389	0.003887
KAT2	S201	C1-KAT2-H2	0	0	0.3	0	0.00389	0.003887
KAT1	S101	C1-KAT1-H1	0	0.0014	0.3	0.00463	0.00389	0.00852
KAT1	S101	C1-KAT1-H2	0	0	0.3	0	0.00389	0.003887
KAT6	S602	C2-KAT6-H1	-246.64	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT6	S602	C2-KAT6-H2	-237.45	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT5	S502	C2-KAT5-H1	-497.62	0.0014	0.25	0.00552	0.00466	0.010184
KAT5	S502	C2-KAT5-H2	-488.43	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT4	S402	C2-KAT4-H1	0	0.0288	0.25	0.11524	0.00466	0.119904
KAT4	S402	C2-KAT4-H2	0	-0.0253	0.25	0.10104	0.00466	0.105704
KAT3	S302	C2-KAT3-H1	0	0.0323	0.25	0.1292	0.00466	0.133864
KAT3	S302	C2-KAT3-H2	0	-0.0311	0.25	0.12432	0.00466	0.128984
KAT2	S202	C2-KAT2-H1	0	0.0014	0.35	0.00389	0.00333	0.007217
KAT2	S202	C2-KAT2-H2	0	0	0.35	0	0.00333	0.003331
KAT1	S102	C2-KAT1-H1	0	0.0025	0.35	0.00726	0.00333	0.010589
KAT1	S102	C2-KAT1-H2	0	0	0.35	0	0.00333	0.003331
KAT6	S603	C3-KAT6-H1	-137.64	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT6	S603	C3-KAT6-H2	-128.45	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT5	S503	C3-KAT5-H1	-328.14	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT5	S503	C3-KAT5-H2	-318.95	0	0.25	0	0.00466	0.004664
KAT4	S403	C3-KAT4-H1	0	0.027	0.25	0.10796	0.00466	0.112624
KAT4	S403	C3-KAT4-H2	0	-0.0238	0.25	0.09532	0.00466	0.099984
KAT3	S303	C3-KAT3-H1	0	0.032	0.25	0.1278	0.00466	0.132464
KAT3	S303	C3-KAT3-H2	0	-0.0288	0.25	0.11512	0.00466	0.119784
KAT2	S203	C3-KAT2-H1	0	0.0011	0.3	0.00373	0.00389	0.00762
KAT2	S203	C3-KAT2-H2	0	0	0.3	0	0.00389	0.003887
KAT1	S103	C3-KAT1-H1	0	0.0019	0.3	0.0063	0.00389	0.010187
KAT1	S103	C3-KAT1-H2	0	0	0.3	0	0.00389	0.003887

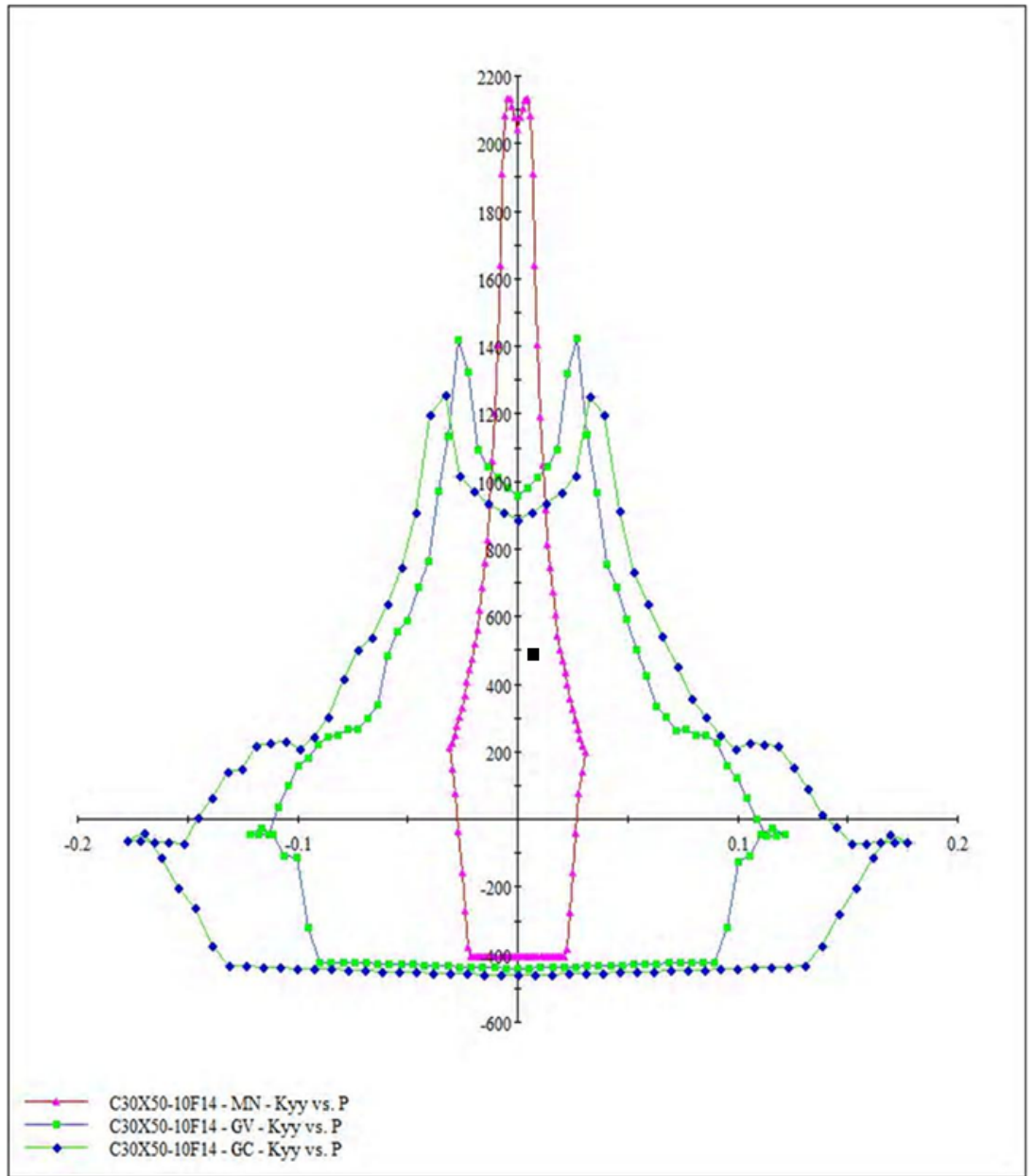
r) Kolonlarda, her farklı kolon kesiti için, beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak eğilme momenti-eğrilik ilişkileri elde edilir. Moment-eğrilik ilişkileri elde edilirken, kolonda sargı donatısının dayanıma ve şekildeğiştirme kapasitesine olan etkisi seçilen Mander sargılı beton modeli ile gözönüne alınır.

Kesit analizi yapılan programa (XTRACT) performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları tanımlanarak ilgili kesitin, bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet - toplam eğrilik diyagramları elde edilir [33]. Şekil 4.16'da, örnek olarak seçilen S502 kolonu için elde edilen Normal Kuvvet-Toplam Eğrilik diyagramı ve kesit hasar bölgesi için elde edilen sonuçlar verilmektedir.

Aranılan değerler: S502 kolonu için,

$$N = 497.62 \text{ kN}$$

$$\Phi_t = 0.010184$$



Şekil 4.16 : S502 Kolonunda Kesit Hasar Bölgesinin Belirlenmesi.

Analiz sonucunda bulunan normal kuvvet - toplam eğrilik istemi değerleri bu diyagram üzerine yerleştirilerek kesitin hasar bölgesi belirlenir (Çizelge 4.36).

Çizelge 4.36 : TSM-2A'da Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+X).

Kat	Kolon	Mafsal Adı	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)	Kesit Hasar Bölgesi
KAT6	S601	C1-KAT6-H1	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT6	S601	C1-KAT6-H2	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT5	S501	C1-KAT5-H1	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT5	S501	C1-KAT5-H2	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT4	S401	C1-KAT4-H1	0.00428	0.00466	0.008944	MHB
KAT4	S401	C1-KAT4-H2	0.07716	0.00466	0.081824	BHB
KAT3	S301	C1-KAT3-H1	0.08708	0.00466	0.091744	BHB
KAT3	S301	C1-KAT3-H2	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT2	S201	C1-KAT2-H1	0	0.00389	0.003887	MHB
KAT2	S201	C1-KAT2-H2	0	0.00389	0.003887	MHB
KAT1	S101	C1-KAT1-H1	0.00463	0.00389	0.00852	MHB
KAT1	S101	C1-KAT1-H2	0	0.00389	0.003887	MHB
KAT6	S602	C2-KAT6-H1	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT6	S602	C2-KAT6-H2	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT5	S502	C2-KAT5-H1	0.00552	0.00466	0.010184	MHB
KAT5	S502	C2-KAT5-H2	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT4	S402	C2-KAT4-H1	0.11524	0.00466	0.119904	İHB
KAT4	S402	C2-KAT4-H2	0.10104	0.00466	0.105704	BHB
KAT3	S302	C2-KAT3-H1	0.1292	0.00466	0.133864	GB
KAT3	S302	C2-KAT3-H2	0.12432	0.00466	0.128984	İHB
KAT2	S202	C2-KAT2-H1	0.00389	0.00333	0.007217	MHB
KAT2	S202	C2-KAT2-H2	0	0.00333	0.003331	MHB
KAT1	S102	C2-KAT1-H1	0.00726	0.00333	0.010589	MHB
KAT1	S102	C2-KAT1-H2	0	0.00333	0.003331	MHB
KAT6	S603	C3-KAT6-H1	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT6	S603	C3-KAT6-H2	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT5	S503	C3-KAT5-H1	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT5	S503	C3-KAT5-H2	0	0.00466	0.004664	MHB
KAT4	S403	C3-KAT4-H1	0.10796	0.00466	0.112624	İHB
KAT4	S403	C3-KAT4-H2	0.09532	0.00466	0.099984	BHB
KAT3	S303	C3-KAT3-H1	0.1278	0.00466	0.132464	İHB
KAT3	S303	C3-KAT3-H2	0.11512	0.00466	0.119784	İHB
KAT2	S203	C3-KAT2-H1	0.00373	0.00389	0.00762	MHB
KAT2	S203	C3-KAT2-H2	0	0.00389	0.003887	MHB
KAT1	S103	C3-KAT1-H1	0.0063	0.00389	0.010187	MHB
KAT1	S103	C3-KAT1-H2	0	0.00389	0.003887	MHB

s) Kolonlar için deprem yönünün –X olması halinde elde edilen değerler simetrik olacağından özet çizelgeler halinde hasar seviyeleri verilmiştir (Çizelge 4.37).

Çizelge 4.37 : TSM-2A’da Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri.

KAT	KOLON	UÇ NOKTALARI	Hasar Bölgesi
KAT6	S601/S603	alt uç	MHB
	S601/S603	üst uç	MHB
KAT5	S501/S503	alt uç	MHB
	S501/S503	üst uç	MHB
KAT4	S401/S403	alt uç	İHB
	S401/S403	üst uç	BHB
KAT3	S301/S303	alt uç	İHB
	S301/S303	üst uç	İHB
KAT2	S201/S203	alt uç	MHB
	S201/S203	üst uç	MHB
KAT1	S101/S103	alt uç	MHB
	S101/S103	üst uç	MHB
KAT6	S602	alt uç	MHB
	S602	üst uç	MHB
KAT5	S502	alt uç	MHB
	S502	üst uç	MHB
KAT4	S402	alt uç	İHB
	S402	üst uç	BHB
KAT3	S302	alt uç	GB
	S302	üst uç	İHB
KAT2	S202	alt uç	MHB
	S202	üst uç	MHB
KAT1	S102	alt uç	MHB
	S102	üst uç	MHB

4.4.4 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması

Sistemin kiriş ve kolon uç noktaları için, yukarıda açıklanan her iki yöntem ile belirlenen kesit hasar bölgeleri Çizelge 4.38 ve Çizelge 4.39 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.38 : TSM-2A Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Doğrusal yönteme göre		Doğrusal olmayan yönteme göre	
			Hasar Bölgesi 2007	Hasar Bölgesi 2006	Hasar Bölgesi	
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
	K601/K602	İç Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
	K501/K502	İç Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	BHB	BHB	MHB	X
	K401/K402	İç Mesnet	BHB	BHB	MHB	X
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	BHB	BHB	BHB	√
	K301/K302	İç Mesnet	BHB	BHB	MHB	X
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	BHB	BHB	MHB	X
	K201/K202	İç Mesnet	BHB	BHB	MHB	X
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	BHB	BHB	MHB	X
	K101/K102	İç Mesnet	BHB	BHB	MHB	X

Çizelge 4.39 : TSM-2A Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KOLON	UÇ NOKTALARI	Doğrusal yönteme göre		Doğrusal olmayan yönteme göre	
			Hasar Bölgesi 2007	Hasar Bölgesi 2006	Hasar Bölgesi	
KAT6	S601/S603	alt uc	BHB	İHB	MHB	X
	S601/S603	üst uc	BHB	İHB	MHB	X
KAT5	S501/S503	alt uc	İHB	GB	MHB	X
	S501/S503	üst uc	BHB	İHB	MHB	X
KAT4	S401/S403	alt uc	İHB	GB	İHB	√
	S401/S403	üst uc	BHB	BHB	BHB	√
KAT3	S301/S303	alt uc	İHB	GB	İHB	√
	S301/S303	üst uc	BHB	BHB	İHB	X
KAT2	S201/S203	alt uc	BHB	İHB	MHB	X
	S201/S203	üst uc	MHB	BHB	MHB	√
KAT1	S101/S103	alt uc	İHB	GB	MHB	X
	S101/S103	üst uc	MHB	GB	MHB	√
KAT6	S602	alt uc	BHB	BHB	MHB	X
	S602	üst uc	MHB	BHB	MHB	√
KAT5	S502	alt uc	İHB	GB	MHB	X
	S502	üst uc	BHB	İHB	MHB	X
KAT4	S402	alt uc	İHB	GB	İHB	√
	S402	üst uc	BHB	İHB	BHB	√
KAT3	S302	alt uc	GB	GB	GB	√
	S302	üst uc	BHB	İHB	İHB	X
KAT2	S202	alt uc	İHB	GB	MHB	√
	S202	üst uc	MHB	BHB	MHB	X
KAT1	S102	alt uc	GB	GB	MHB	√
	S102	üst uc	MHB	MHB	MHB	X

4.5 TSM-1 İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma

Sayısal incelemeler için seçilen TSM-1, iki açıklıklı ve altı katlı düzlem ereve olup kiriş açıklıkları 6 m, kat yükseklikleri ise 3 m ve ereve aralıkları 5 m dir.

ABYYHY'98 göre boyutlandırılan TSM-1 taşıyıcı sistem modelinde beton sınıfı C20, donatı çeliği sınıfı S420 olarak seçilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek ($R = 8$) olarak boyutlandırılan sistemin deprem performans değerlendirilmesinde, kiriş ve kolonların sargılı oldukları gözönünde tutulmuştur.

(1.4G+1.6Q) ve (G+Q±E) yükleme kombinasyonlarına göre yapılan betonarme kesit hesapları sonucunda elde edilen kiriş ve kolon enkesit boyutları ile boyuna donatıları izelge 4.40 ve izelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.40 : TSM-1 Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.

		KAT 6	
		Kiriş No	K601
KAT 6	b / h (cm)	30 / 50	30 / 50
	Alt donatı	5Ø14	5Ø14
	Montaj Donatısı	3Ø12	3Ø12
	Dış Mesnet İlave donatı	2Ø12	2Ø12
	İç mesnet İlave donatı	4Ø14	4Ø14
KAT 5	Kiriş No	K501	K502
	b / h (cm)	30 / 50	30 / 50
	Alt donatı	5Ø14	5Ø14
	Montaj Donatısı	3Ø14	3Ø14
	Dış Mesnet İlave donatı	3Ø14	3Ø14
	İ mesnet İlave donatı	3Ø14	3Ø14
KAT 4	Kiriş No	K401	K402
	b / h (cm)	30 / 50	30 / 50
	Alt donatı	5Ø14	5Ø14
	Montaj Donatısı	3Ø16	3Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	3Ø16	3Ø16
	İ mesnet İlave donatı	3Ø16	3Ø16
KAT 3	Kiriş No	K301	K302
	b / h (cm)	30 / 60	30 / 60
	Alt donatı	5Ø14	5Ø14
	Montaj Donatısı	3Ø16	3Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	3Ø16	3Ø16
	İ mesnet İlave donatı	3Ø16	3Ø16
KAT 2	Kiriş No	K201	K202
	b / h (cm)	30 / 60	30 / 60
	Alt donatı	5Ø14	5Ø14
	Montaj Donatısı	3Ø16	3Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	3Ø16	3Ø16
	İ mesnet İlave donatı	3Ø16	3Ø16
KAT 1	Kiriş No	K101	K102
	b / h (cm)	30 / 60	30 / 60
	Alt donatı	5Ø14	5Ø14
	Montaj Donatısı	3Ø16	3Ø16
	Dış Mesnet İlave donatı	3Ø16	3Ø16
	İ mesnet İlave donatı	3Ø16	3Ø16

Çizelge 4.41 : TSM-1 Kolon Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.

Kolon	b (cm)	h (cm)	Donatı
S101 - S103	30	60	12Ø16
S102	35	75	12Ø20
S201 - S203	30	60	12Ø14
S202	35	75	12Ø20
S301 - S303	30	50	10Ø14
S302	35	55	10Ø16
S401 - S403	30	50	10Ø14
S402	35	55	10Ø16
S501 - S503	30	40	8Ø14
S502	30	40	8Ø14
S601 - S603	30	40	8Ø14
S602	30	40	8Ø14

4.5.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması

Sistemin kolon ve kiriş uç noktaları için, yukarıda açıklanan her iki yöntem ile belirlenen deprem performansları (kesit hasar bölgeleri) Çizelge 4.42 ve Çizelge 4.43 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.42 : TSM-1 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KOLON	UÇ NOKTALARI	Doğrusal yöntemle göre Hasar Bölgesi	Doğrusal olmayan yöntemle göre Hasar Bölgesi	
KAT6	S601/S603	alt uç	MHB	MHB	√
	S601/S603	üst uç	MHB	MHB	√
KAT5	S501/S503	alt uç	BHB	MHB	X
	S501/S503	üst uç	MHB	MHB	√
KAT4	S401/S403	alt uç	BHB	MHB	X
	S401/S403	üst uç	MHB	MHB	√
KAT3	S301/S303	alt uç	BHB	MHB	X
	S301/S303	üst uç	MHB	MHB	√
KAT2	S201/S203	alt uç	BHB	MHB	X
	S201/S203	üst uç	MHB	MHB	√
KAT1	S101/S103	alt uç	MHB	BHB	X
	S101/S103	üst uç	MHB	MHB	√
KAT6	S602	alt uç	MHB	MHB	√
	S602	üst uç	MHB	MHB	√
KAT5	S502	alt uç	BHB	MHB	X
	S502	üst uç	MHB	MHB	√
KAT4	S402	alt uç	MHB	MHB	√
	S402	üst uç	MHB	MHB	√
KAT3	S302	alt uç	BHB	MHB	X
	S302	üst uç	MHB	MHB	√
KAT2	S202	alt uç	MHB	MHB	√
	S202	üst uç	MHB	MHB	√
KAT1	S102	alt uç	BHB	BHB	√
	S102	üst uç	MHB	MHB	√

Çizelge 4.43 : TSM-1 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Doğrusal yönteme göre Hasar Bölgesi	Doğrusal olmayan yönteme göre Hasar Bölgesi	
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB	MHB	√
	K601/K602	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB	MHB	√
	K501/K502	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	MHB	BHB	X
	K401/K402	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	MHB	BHB	X
	K301/K302	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	MHB	BHB	X
	K201/K202	İç Mesnet	MHB	BHB	X
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	MHB	BHB	X
	K101/K102	İç Mesnet	MHB	BHB	X

4.6 TSM-1A İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma

TSM-1A yukarıda tanımlanan, TSM-1 taşıyıcı sistem modelinin sargısız ve beton kalitesi C14, donatı çeliği kalitesi S420 olarak modellenmiş şeklindedir.

4.6.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması

Sistemin kolon ve kiriş uç noktaları için, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile belirlenen deprem performansları (kesit hasar bölgeleri) Çizelge 4.44 ve Çizelge 4.45’de verilmiştir.

Çizelge 4.44 : TSM-1A Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Deprem Performanslarının Karşılaştırılması.

KAT	KOLON	UÇ NOKTALARI	Doğrusal yönteme göre Hasar Bölgesi	Doğrusal olmayan yönteme göre Hasar Bölgesi	
KAT6	S601/S603	alt uç	BHB	MHB	X
	S601/S603	üst uç	MHB	MHB	√
KAT5	S501/S503	alt uç	BHB	MHB	X
	S501/S503	üst uç	BHB	MHB	X
KAT4	S401/S403	alt uç	BHB	MHB	X
	S401/S403	üst uç	MHB	MHB	√
KAT3	S301/S303	alt uç	İHB	MHB	X
	S301/S303	üst uç	BHB	MHB	X
KAT2	S201/S203	alt uç	BHB	MHB	X
	S201/S203	üst uç	MHB	MHB	√
KAT1	S101/S103	alt uç	İHB	BHB	X
	S101/S103	üst uç	MHB	MHB	√
KAT6	S602	alt uç	MHB	MHB	√
	S602	üst uç	MHB	MHB	√
KAT5	S502	alt uç	İHB	BHB	X
	S502	üst uç	BHB	BHB	√
KAT4	S402	alt uç	BHB	MHB	X
	S402	üst uç	MHB	MHB	√
KAT3	S302	alt uç	İHB	MHB	X
	S302	üst uç	BHB	MHB	X
KAT2	S202	alt uç	BHB	MHB	X
	S202	üst uç	MHB	MHB	√
KAT1	S102	alt uç	İHB	BHB	X
	S102	üst uç	MHB	MHB	√

Çizelge 4.45 : TSM-1A Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Doğrusal yönteme göre performans	Doğrusal olmayan yönteme göre performans	
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB	MHB	√
	K601/K602	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB	MHB	√
	K501/K502	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	MHB	BHB	X
	K401/K402	İç Mesnet	MHB	BHB	X
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	BHB	BHB	√
	K301/K302	İç Mesnet	BHB	BHB	√
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	BHB	BHB	√
	K201/K202	İç Mesnet	BHB	BHB	√
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	BHB	BHB	√
	K101/K102	İç Mesnet	BHB	BHB	√

4.7 TSM-2 İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması

Sayısal incelemeler için seçilen TSM-2, nceki bölümde ayrıntılı olarak incelenen TSM-2A taşıyıcı sisteminin boyutlandırılması aşamasında esas alınan sistem olup beton kalitesi C16, donatı çeliği kalitesi S220 olarak seçilmiştir. Taşıyıcı sistemin deprem performansı belirlenirken kolon ve kirişlerin sargılı olduğu gözönünde tutulmuştur. Tüm bina özellikleri ve deprem zellikleri TSM-2A ile aynıdır.

4.7.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile deprem performanslarının karşılaştırılması

Sistemin kolon ve kiriş uç noktaları için, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile belirlenen deprem performansları (kesit hasar bölgeleri) izelge 4.46 ve izelge 4.47’de verilmiştir.

Çizelge 4.46 : TSM-2 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KOLON	U NOKTALARI	Doğrusal yönteme göre		Doğrusal olmayan yönteme göre Hasar Bölgesi	
			Hasar Bölgesi 2007	Hasar Bölgesi 2006		
KAT6	S601/S603	alt uç	BHB	BHB	MHB	X
	S601/S603	st uç	BHB	BHB	MHB	X
KAT5	S501/S503	alt uç	BHB	BHB	MHB	X
	S501/S503	st uç	BHB	BHB	MHB	X
KAT4	S401/S403	alt uç	BHB	BHB	MHB	X
	S401/S403	st uç	MHB	BHB	MHB	√
KAT3	S301/S303	alt uç	BHB	BHB	MHB	X
	S301/S303	st uç	MHB	BHB	MHB	√
KAT2	S201/S203	alt uç	BHB	BHB	MHB	X
	S201/S203	st uç	MHB	MHB	MHB	√
KAT1	S101/S103	alt uç	BHB	BHB	BHB	√
	S101/S103	st uç	MHB	MHB	MHB	√
KAT6	S602	alt uç	MHB	BHB	MHB	√
	S602	st uç	MHB	MHB	MHB	√
KAT5	S502	alt uç	BHB	BHB	MHB	X
	S502	st uç	BHB	BHB	MHB	X
KAT4	S402	alt uç	BHB	BHB	MHB	X
	S402	st uç	MHB	MHB	MHB	√
KAT3	S302	alt uç	BHB	İHB	MHB	X
	S302	st uç	MHB	BHB	MHB	√
KAT2	S202	alt uç	BHB	BHB	MHB	X
	S202	st uç	MHB	MHB	MHB	√
KAT1	S102	alt uç	BHB	İHB	BHB	√
	S102	st uç	MHB	MHB	MHB	√

Çizelge 4.47 : TSM-2 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Doğrusal yönteme göre		Doğrusal olmayan yönteme göre	
			Hasar Bölgesi 2007	Hasar Bölgesi 2006	Hasar Bölgesi	
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
	K601/K602	İç Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
	K501/K502	İç Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	BHB	BHB	BHB	√
	K401/K402	İç Mesnet	MHB	BHB	MHB	√
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	BHB	BHB	BHB	√
	K301/K302	İç Mesnet	BHB	BHB	BHB	√
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	BHB	BHB	MHB	X
	K201/K202	İç Mesnet	BHB	BHB	MHB	X
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	BHB	BHB	BHB	√
	K101/K102	İç Mesnet	BHB	BHB	BHB	√

4.8 TSM-3 İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma

Sayısal incelemeler için seçilen TSM-3 taşıyıcı sistem modeli, iki açıklıklı ve altı katlı düzlem çerçeve sistem olup kiriş açıklıkları 6 m, kat yükseklikleri ise 3 m olarak seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 5 m'dir.

ABYYHY'68 göre boyutlandırılan TSM-3 taşıyıcı sistem modelinde, beton sınıfı C12 (karakteristik basınç dayanımı $f_{ck} = 12$ MPa), donatı çeliği sınıfı ise S220 (akma dayanımı $f_{yk} = 220$ MPa) olarak seçilmiştir. Sistemin deprem performansı değerlendirilmesinde, kolonların ve kirişlerin sargılı olduğu gözönünde tutulmuştur.

Düşey yükler ve düşey yükler+deprem yükleme kombinasyonlarına göre yapılan betonarme kesit hesapları sonucunda elde edilen kolon ve kiriş enkesit boyutları ve boyuna donatıları Çizelge 4.48 ve Çizelge 4.49'de verilmiştir.

Çizelge 4.48 : TSM-3 Kolon Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.

Kolon	b (cm)	h (cm)	Donatı
S101 - S103	40	65	12Ø16
S102	40	65	18Ø20
S201 - S203	40	65	12Ø16
S202	40	65	12Ø20
S301 - S303	30	55	10Ø14
S302	30	55	12Ø20
S401 - S403	30	55	10Ø14
S402	30	55	12Ø16
S501 - S503	30	40	10Ø12
S502	30	40	12Ø12
S601 - S603	30	40	10Ø12
S602	30	40	10Ø12

Çizelge 4.49 : TSM-3 Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları.

KAT	Kiriş No		K601		K602		
	b / h (cm)		30 / 60	30 / 60	30 / 60	30 / 60	
KAT 6	Alt donatı		6Ø16	6Ø16	6Ø16	6Ø16	
	Montaj Donatısı		3Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12	
	Dış Mesnet İlave donatı		3Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12	
	İç mesnet İlave donatı		3Ø16	3Ø16	3Ø16	3Ø16	
	KAT 5	Kiriş No		K501	K502	K501	K502
		b / h (cm)		30 / 60	30 / 60	30 / 60	30 / 60
Alt donatı			6Ø16	6Ø16	6Ø16	6Ø16	
Montaj Donatısı			3Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12	
Dış Mesnet İlave donatı			4Ø18	4Ø18	4Ø18	4Ø18	
İç mesnet İlave donatı			3Ø18	3Ø18	3Ø18	3Ø18	
KAT 4	Kiriş No		K401	K402	K401	K402	
	b / h (cm)		30 / 60	30 / 60	30 / 60	30 / 60	
	Alt donatı		6Ø16	6Ø16	6Ø16	6Ø16	
	Montaj Donatısı		4Ø14	4Ø14	4Ø14	4Ø14	
	Dış Mesnet İlave donatı		3Ø22	3Ø22	3Ø22	3Ø22	
	İç mesnet İlave donatı		3Ø18	3Ø18	3Ø18	3Ø18	
KAT 3	Kiriş No		K301	K302	K301	K302	
	b / h (cm)		30 / 70	30 / 70	30 / 70	30 / 70	
	Alt donatı		6Ø16	6Ø16	6Ø16	6Ø16	
	Montaj Donatısı		4Ø14	4Ø14	4Ø14	4Ø14	
	Dış Mesnet İlave donatı		3Ø22	3Ø22	3Ø22	3Ø22	
	İç mesnet İlave donatı		3Ø18	3Ø18	3Ø18	3Ø18	
KAT 2	Kiriş No		K201	K202	K201	K202	
	b / h (cm)		30 / 70	30 / 70	30 / 70	30 / 70	
	Alt donatı		6Ø16	6Ø16	6Ø16	6Ø16	
	Montaj Donatısı		4Ø14	4Ø14	4Ø14	4Ø14	
	Dış Mesnet İlave donatı		3Ø24	3Ø24	3Ø24	3Ø24	
	İç mesnet İlave donatı		3Ø20	3Ø20	3Ø20	3Ø20	
KAT 1	Kiriş No		K101	K102	K101	K102	
	b / h (cm)		30 / 70	30 / 70	30 / 70	30 / 70	
	Alt donatı		6Ø16	6Ø16	6Ø16	6Ø16	
	Montaj Donatısı		4Ø14	4Ø14	4Ø14	4Ø14	
	Dış Mesnet İlave donatı		3Ø22	3Ø22	3Ø22	3Ø22	
	İç mesnet İlave donatı		3Ø20	3Ø20	3Ø20	3Ø20	

4.8.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması

Sistemin kolon ve kiriş uç noktaları için, yukarıda açıklanan her iki yöntem ile belirlenen kesit hasar bölgeleri Çizelge 4.50 ve Çizelge 4.51 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.50 : TSM-3 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KOLON	UÇ NOKTALARI	Doğrusal yönteme göre	Doğrusal olmayan yönteme göre	
			Hasar Bölgesi	Hasar Bölgesi	
KAT6	S601/S603	alt uç	BHB	MHB	X
	S601/S603	üst uç	BHB	MHB	X
KAT5	S501/S503	alt uç	İHB	GB	X
	S501/S503	üst uç	BHB	GB	X
KAT4	S401/S403	alt uç	BHB	MHB	X
	S401/S403	üst uç	MHB	MHB	√
KAT3	S301/S303	alt uç	BHB	MHB	X
	S301/S303	üst uç	MHB	MHB	√
KAT2	S201/S203	alt uç	BHB	MHB	X
	S201/S203	üst uç	MHB	MHB	√
KAT1	S101/S103	alt uç	BHB	MHB	X
	S101/S103	üst uç	MHB	MHB	√
KAT6	S602	alt uç	BHB	MHB	X
	S602	üst uç	MHB	MHB	√
KAT5	S502	alt uç	İHB	BHB	X
	S502	üst uç	BHB	BHB	√
KAT4	S402	alt uç	İHB	MHB	X
	S402	üst uç	BHB	MHB	X
KAT3	S302	alt uç	İHB	MHB	X
	S302	üst uç	BHB	MHB	X
KAT2	S202	alt uç	BHB	MHB	X
	S202	üst uç	MHB	MHB	√
KAT1	S102	alt uç	BHB	MHB	X
	S102	üst uç	MHB	MHB	√

Çizelge 4.51 : TSM-3 Kirişlerin Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Doğrusal yönteme göre	Doğrusal olmayan yönteme göre	
			Hasar Bölgesi	Hasar Bölgesi	
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB	MHB	√
	K601/K602	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB	MHB	√
	K501/K502	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	BHB	MHB	X
	K401/K402	İç Mesnet	BHB	MHB	X
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	BHB	MHB	X
	K301/K302	İç Mesnet	BHB	MHB	X
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	BHB	MHB	X
	K201/K202	İç Mesnet	BHB	MHB	X
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	BHB	MHB	X
	K101/K102	İç Mesnet	BHB	MHB	X

4.9 TSM-3A İçin Performans Değerlendirilmesi ve Karşılaştırma

TSM-3A yukarıda tanımlanan TSM-3 taşıyıcı sistem modelinin sargısız ve beton kalitesi C10, donatı çeliği kalitesi S220 olarak modellenmiş şeklindedir.

4.9.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile bulunan deprem performanslarının karşılaştırılması

Sistemin kolon ve kiriş uç noktaları için, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile belirlenen kesit hasar bölgeleri Çizelge 4.52 ve Çizelge 4.53’de verilmiştir.

Çizelge 4.52 : TSM-3A Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KOLON	UÇ NOKTALARI	Doğrusal yönteme göre göre	Doğrusal olmayan yönteme göre	
			Hasar Bölgesi	Hasar Bölgesi	
KAT6	S601/S603	alt uç	GB	MHB	X
	S601/S603	üst uç	BHB	MHB	X
KAT5	S501/S503	alt uç	GB	GB	√
	S501/S503	üst uç	İHB	GB	X
KAT4	S401/S403	alt uç	GB	MHB	X
	S401/S403	üst uç	BHB	MHB	X
KAT3	S301/S303	alt uç	GB	MHB	X
	S301/S303	üst uç	İHB	MHB	X
KAT2	S201/S203	alt uç	İHB	MHB	X
	S201/S203	üst uç	MHB	MHB	√
KAT1	S101/S103	alt uç	GB	MHB	X
	S101/S103	üst uç	MHB	MHB	√
KAT6	S602	alt uç	İHB	MHB	X
	S602	üst uç	BHB	MHB	X
KAT5	S502	alt uç	GB	GB	√
	S502	üst uç	GB	GB	√
KAT4	S402	alt uç	GB	MHB	X
	S402	üst uç	İHB	MHB	X
KAT3	S302	alt uç	GB	MHB	X
	S302	üst uç	İHB	MHB	X
KAT2	S202	alt uç	GB	MHB	X
	S202	üst uç	BHB	MHB	X
KAT1	S102	alt uç	GB	MHB	X
	S102	üst uç	MHB	MHB	√

Çizelge 4.53 : TSM-3A Kirişlerin Her İki Yöntemle Belirlenen Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.

KAT	KİRİŞ	MESNET	Doğrusal yönteme göre göre	Doğrusal olmayan yönteme göre	
			Hasar Bölgesi	Hasar Bölgesi	
KAT 6	K601/K602	Dış Mesnet	MHB	MHB	√
	K601/K602	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 5	K501/K502	Dış Mesnet	MHB	MHB	√
	K501/K502	İç Mesnet	MHB	MHB	√
KAT 4	K401/K402	Dış Mesnet	BHB	MHB	X
	K401/K402	İç Mesnet	BHB	MHB	X
KAT 3	K301/K302	Dış Mesnet	İHB	MHB	X
	K301/K302	İç Mesnet	BHB	MHB	X
KAT 2	K201/K202	Dış Mesnet	İHB	MHB	X
	K201/K202	İç Mesnet	İHB	MHB	X
KAT 1	K101/K102	Dış Mesnet	İHB	MHB	X
	K101/K102	İç Mesnet	BHB	MHB	X

4.10 Sayısal İncelemere İlişkin Değerlendirmeler

Sayısal incelemeler, orta yükseklikli mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen iki açıklıklı, altı katlı üç farklı taşıyıcı sistem modeli ve bunların beton dayanımı ve sargı donatısı etkisi bakımından alternatifleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kesit ve eleman hasar bölgelerinin belirlenmesinde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler esas alınmıştır. TSM-2 modeli ve alternatifi üzerinde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal yöntem için düzenlenen revizyonların sonuçları, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Sayısal incelemelerde elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Mevcut betonarme yapıların 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen kesit hasar bölgeleri belirli ölçüde benzerlik göstermektedir. Taşıyıcı sistemlerin boyutlandırıldığı yıllara ve yönetmeliklere göre, bu benzerlikler değişkenlik göstermektedir.
- 2) ABYYHY'68 e uygun olarak boyutlandırılan ve inşa edilen taşıyıcı sistem modellerinde belirlenen hasar bölgelerinin farklılık gösterdiği kesit sayısının çerçevedeki toplam kesit sayısına oranı kirişlerde ve kolonlarda %66 iken, ABYYHY'75 e uygun olarak boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinde % 50, ABYYHY'98 e uygun olarak boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinde kirişlerde % 30, kolonlarda ise %40 dolaylarındadır.
- 3) 2007 TDY'de revize edilen doğrusal hesap yöntemleri ile elde edilen sonuçlar 2006 TDY sonuçları ile karşılaştırıldığında, kesit hasar bölgelerinin genel olarak bir alt düzeyde olduğu görülmektedir.
- 4) Taşıyıcı sistem modellerinin beton kalitesi ve sargı etkisi değiştirilerek oluşturulan alternatiflerinin her iki yöntemle elde edilen performans değerlendirilmelerinde daha elverişsiz kesit hasar seviyelerine ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, yapı sistemlerinin deprem performansında sargı etkisinin ve beton kalitesinin önemini vurgulamaktadır.
- 5) Doğrusal yöntem ve doğrusal olmayan yöntemlere göre elde edilen sonuçların farklılık gösterdiği elemanlardaki değişim malzeme kalitesi ve sargı etkisine bağlı olarak bir veya iki hasar bölgesi aralığı mertebesindedir.

- 6) İncelenen taşıyıcı sistem modellerinde beton dayanımının çok düşük değerler almaması nedeniyle, performans değerlendirilmesinde donatı çeliğinin birim boydeğiştirmesi etkin olmaktadır.
- 7) Sayısal incelemeler, yönetmeliklere uygun olarak boyutlandırılan ve inşa edilen binaların deprem performanslarının, yönetmeliklerin öngördüğü deprem etkilerinin çok düşük düzeyde olmaması koşulu ile, genellikle yeterli olduğunu göstermektedir.

5.SONUÇLAR

‘Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesinde 2007 TDY’nde revize edilen doğrusal yöntemin doğrusal olmayan yöntem ile parametrik olarak karşılaştırılması’ konulu tez çalışmasında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Bu çalışmada, ülkemizdeki orta yükseklikli mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri, çeşitli tarihlerde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerine göre boyutlandırılmışlardır. Daha sonra, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği’nde yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak bu yapıların deprem performansları belirlenmiş ve her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.
2. Şekildeğiştirme bazlı doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem performansı belirlenmesinde beton ve donatı çeliğinin birim boydeğişimleri baz alınmaktadır. Buna karşılık, dayanım bazlı doğrusal hesap yöntemlerinde betonarme yapı elemanları için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları kullanılmaktadır. Etki/kapasite oranları bulunurken uygulanan hesap aşamalarında 2006 yılında yayınlanan ve daha sonra 2007 yılında revize edilen Türk Deprem Yönetmeliği arasında belirli farklar bulunmaktadır.
 - a) 2006 TDY’nde kiriş ve kolonlar için brüt kesit eğilme rijitlikleri kullanılarak deprem analizleri yapılırken, 2007 TDY’nde kiriş ve kolonların çatlama kesit eğilme rijitliklerinin kullanılması öngörülmektedir. Bu fark, 2007 TDY’ne göre hesaplanan eşdeğer deprem kuvvetlerinin daha küçük değerler almasına ve bunun sonucunda daha düşük seviyede kesit hasarları elde edilmesine neden olmaktadır.
 - b) 2007 TDY’nde kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan eğilme momentlerinin, yeniden dağılım ilkesi uyarınca ve denge koşulları sağlanacak şekilde, % 15 oranında azaltılmasına izin verilmektedir.
 - c) Düşey yükler için sistem analizi aşamasında, hareketli düşey yüklerin kütleler ile uyumlu oldukları, diğer bir deyişle, hareketli yük azaltması içeren

kombinasyonlar gözönüne alınmaktadır.

- d) Kirişlerin eğilme momenti kapasitelerinin hesabında tabla betonu ve içindeki döşeme donatısı hesaba katılabilmektedir.
3. Bu çalışma ve benzeri parametrik sayısal çalışmaların sonuçlarına dayanarak, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin irdelenmesi, sonuçlarının karşılaştırılması ve gerekli olan durumlarda bu yaklaşımlarda revizyon yapılması mümkün olabilmektedir.
4. Bu çalışmanın sonuçları ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesinde beton dayanımının ve enine donatının sargı etkisinin önemini vurgulamaktadır.
5. Çalışmanın sayısal ve parametrik incelemelerine dayanarak varılan bazı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.
- i. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen kesit hasar bölgeleri belirli ölçüde benzerlik göstermektedir. İki yöntemin sonuçlarının farklılık gösterdiği elemanlardaki değişim taşıyıcı sistemin boyutlandırıldığı yıllara ve tasarımda kullanılan deprem yönetmeliklerine bağlı olarak değişmektedir.
- ii. Beklenildiği gibi, 2007 TDY'nde revize edilen doğrusal hesap yöntemi ile elde edilen sonuçlar, 2006 TDY doğrusal hesap yöntemi ile elde edilen sonuçlarına göre daha düşük kesit hasar seviyeleri göstermektedir.
- iii. Beton dayanımının düşük ve enine donatının sargı donatısının yeterli olmadığı durumlarda, gerek doğrusal yöntemle gerekse doğrusal olmayan yöntemle belirlenen kesit hasar bölgesi değişimleri genellikle iki veya daha fazla hasar bölgesi aralığı mertebesindedir.
- iv. Doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenen kesit hasar bölgeleri, genel olarak, doğrusal yöntemle elde edilenlerden daha düşük hasar seviyeleri ifade etmektedir.
6. Bu çalışmada mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri düzlem çerçeve sistemleridir. Bu çalışmanın olası uzantıları uzay çerçeve sistemleri de kapsayacak şekilde genişletilebilir.

7. Ülkemizdeki mevcut betonarme binalarda genellikle karşılaşılan bir durum olan, çok düşük beton dayanımlı binalar üzerinde benzeri parametrik çalışmaların gerçekleştirilmesi suretiyle, bu çalışmada elde edilen sonuçların daha da genişletilebilmesi mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **DBYBHY**, 2006. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [2] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [3] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [4] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [5] **Attala, M.R., Deierlein, G. G. and McGuire, W.**, 1995. Spread of plasticity quasi-plastic hinge approach, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **120**, 2451-2473.
- [6] **Özer, G.**, 2003. Malzeme bakımından lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir ardışık yaklaşım yöntemi ve bilgisayar programı, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] **Özer, E.**, 1969. Lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir metot, *Doktora Tezi* İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [8] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Parikh, B.P.**, 1966. The elastic-plastic analysis and design of unbraced multistory steel frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.
- [10] **Kim, S.W.**, 1971. Elastic-plastic analysis of unbraced frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.
- [11] **Özer, E.**, 1987. Determination of second-order limit load by a method of load increments, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, **40**, 815-836.
- [12] **ETABS**, 2000. Extended 3d Analysis of Building Systems, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [13] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [14] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [15] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.

- [16] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency* Washington.
- [17] **ASCE, 41-07**, 2006. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers
- [18] **European Committee for Standardization**, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance-Assessment and Retrofitting of Buildings, Eurocode 8-3.
- [19] **ABYYHY**, 1968. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [20] **ABYYHY**, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [21] **ABYYHY**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [22] **Özer, E.**, 2007. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozar, İstanbul.
- [23] **Çakıroğlu, A. ve Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- [24] **Çakıroğlu, A., Özer, E. ve Girgin, K.**, 1999. Yield conditions and yield vector for combined biaxial bending of rectangular reinforced concrete sections, *Proceedings of the Uğur Ersoy Symposium in Structural Engineering*, METU Pres, Ankara, July 1-2, 121-135.
- [25] **Çavuş, K.**, 2000. Malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan sistemlerin hesabına yönelik bir yaklaşım ve sayısal uygulamalar, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] **İrtem, E.**, 1991. Uzay çubuk sistemlerde ikinci mertebe limit yükün hesabı için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Neal, B.G.**, 1956. The Plastic Methods of Structural Analysis, Chapman & Hall, London.
- [28] **Hodge, P.G.**, 1959. Plastic Analysis of Structures, McGraw-Hill, New York.
- [29] **TS-500**, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [30] **ACI 318-05**, 2005. Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- [31] **Çakıroğlu, A. ve Özer, E.**, 1990. Dikdörtgen ve daire betonarme kesitlerde taşıma gücü formülleri ve yaklaşık mertebeleri, *İ.M.O. Teknik Dergi*, **1, 1**, 25-48.
- [32] **Priestley, M.J.N.**, 2003. Myths and Fallacies in Earthquake Engineering, Revisited, IUSS Press, Italy.
- [33] **XTRACT**, 2001, Cross Section Analysis Program for Structural Engineers, Imbsen Software Systems.

ÖZGEÇMİŞ

Sebla ÇINAR, 1981 yılında İstanbul'da doğmuştur. İlk öğrenimini Emin Ali Yaşın İlkokulu'nda, orta öğrenimini Çapa Ortaokulu'nda ve lise öğrenimini Kabataş Erkek Lisesi'nde tamamlamıştır. 1999 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazanmış, 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yapmıştır. 2005 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.

