

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİR OKUL BİNASININ DOĞRUSAL ELASTİK
VE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP
YÖNTEMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ VE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İsmail YAVUZ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

**MEVCUT BİR OKUL BİNASININ DOĞRUSAL ELASTİK
VE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP
YÖNTEMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ VE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. İsmail YAVUZ
(501031219)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Metin AYDOĞAN

Diğer Jüri Üyeleri: Doç.Dr Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Konuralp GİRGİN (İ.T.Ü)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında değerli yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr.Metin AYDOĞAN'a , verdikleri eğitimle yüksek lisans tezimi yapmamda büyük katkısı olan Deprem ve Yapı Anabilim Dalı öğretim üyelerine ve tezin hazırlandığı süre boyunca benden yardımını ve desteğini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

HAZİRAN 2006

İsmail YAVUZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xvi
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Özeti	1
2. MEVCUT BİR BETONARME YAPININ ABYYHY-2006 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ	3
2.1 Binadan Bilgi Toplanması ve Bina Bilgi Düzeyi	3
2.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	4
2.3 Depremde Yapının Mevcut Halinin Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemiyle Analizi	5
3. DEPREMDE BİNA PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ	12
3.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi	12
3.1.1 Doğrusal olmayan sistemler	12
3.1.2 Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler	13
3.1.3 Plastik mafsallı teorisi	14
3.1.4 Yük artımı yöntemi ile plastik mafsallı teorisine göre hesap	15
3.1.5 Geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan sistemler	15
3.1.6 Her iki bakımdan doğrusal olmayan sistemler	16
3.1.7 Doğrusal olmayan analiz türleri	16
3.1.8 Kuvvet kontrollü analiz	16
3.1.9 Yerdeğiştirme kontrollü analiz	17
3.1.10 Yapı sistemlerinin performansa dayalı tasarımı	18
4. ÇEŞİTLİ YÖNETMELİKLERDE BULUNAN PERFORMANSA DAYALI TASARIM YAKLAŞIMLARI	20
4.1 ATC 40 Yaklaşımı	20
4.1.1 Performans amacı	20
4.1.2 Performans seviyesi	21
4.1.3 Yapısal performans seviyeleri	21
4.1.4 Yapısal olmayan performans seviyeleri	22
4.1.5 Bina performans seviyeleri	23
4.1.6 Deprem etki seviyeleri	25
4.1.7 Deprem bölgesi sismik karakteristikleri	27
4.1.8 Elastik ivme-periyot spektrum eğrisi	27
4.1.9 Elastik ivme-yerdeğiştirme spektrum eğrisi	28

4.1.10 Kapasite spektrum yöntemi	30
4.1.11 Elastik ivme-yerdeğiştirme spektrumunun sönüm ile azaltılması	31
4.1.12 Taşıyıcı sistemin değerlendirilmesi	33
4.1.13 Performans noktasının kabul kriterleri	34
4.2 FEMA 356 Yaklaşımı	36
4.2.1 Yer değiştirme katsayıları yöntemi	36
5. DOĞRUSAL OLMAYAN ELASTİK HESAP YÖNTEMLERİ İÇİN ABYYHY-2006 YAKLAŞIMI	39
5.1 Artımsal İtme Analizi ile Performans Değerlendirmesinde İzlenecek Yol	39
5.2 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi	40
5.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi	43
5.4 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Spektral Yerdeğiştirme	45
5.5 Spektral Yerdeğiştirme Oranı	45
5.6 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi	48
5.7 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	49
5.8 Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi	49
5.9 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri	50
5.10 Donatı Çeliği Modeli	52
5.11 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri	53
6 BİNA DEPREM PERFORMANSININ ABYYHY-2006 YÖNETMELİĞİNE GÖRE TESPİTİ VE GÜÇLENDİRME KARARI	54
6.1 Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi	54
6.2 Hemen Kullanım Durumu	54
6.3 Can Güvenliği Durumu	54
6.4 Göçmenin Önlenmesi Durumu	55
6.5 Göçme Durumu	55
6.6 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması	55
6.7 Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri	56
6.8 Binaların Güçlendirilmesi	56
6.9 Güçlendirme Türleri	57
6.10 Kolonların Mantolanması	58
6.10.1 Betonarme manto	58
6.10.2 Çelik manto	58
6.10.3 Lifli polimer (LP) sargı	59
6.11 Kolonların Eğilme Kapasitesinin Arttırılması	59
6.12 Kirişlerin Sarılması	60
6.12.1 Dıştan etriye ekleme	60
6.12.2 Lifli polimer (LP) ile sarma	60
6.13 Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmesi	61
6.13.1 Çerçeve düzlemi içinde betonarme perde eklenmesi	61

6.13.2 Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi	62
6.14 Betonarme Sisteme Yeni Çerçeveler Eklenmesi	62
6.15 Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması	62
7 MEVCUT BİR BETONARME YAPININ DEPREM GÜVENLİĞİNİN SAPTANMASI ve GÜÇLENDİRİLMESİ	64
7.1 Yapının Tanıtılması	64
7.2 Binadan bilgi toplanması	66
7.3 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemiyle Yapının Mevcut Halinin Analizi	70
7.4 Yapının Mevcut Halinin Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemiyle Analizi	73
7.4.1 Özet ve değerlendirme	76
7.4.2 Malzeme yönünden doğrusal olmayan çözümlemeler	77
7.5 Yapının Güçlendirilmesi	79
8 SONUÇLAR	82
KAYNAKLAR	84
EKLER	86
EK A.	86
EK B.	97
ÖZGEÇMİŞ	104

KISALTMALAR

ATC	: Applied Technology Council
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
ADRS	: Acceleration-Displacement Response Spectra (İvme-Yer Değişirme Tepki Spektrumu)
CSM	: Capacity Spectrum Method (Kapasite Spektrum Yöntemi)
NP	: Nonstructural Performance (Yapısal Olmayan Performans)
SP	: Structural Performance (Yapısal Performans)
TGD	: Temel Güvenlik Depremi
HK	: Immediate Occupancy (Hemen Kullanım)
CG	: Life Safety (Can Güvenliği)
YS	: Collapse Prevention (Yapısal Stabilité)
ABYYHY-2006	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik - 2006
ABYYHY-1997	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik - 1997
MN	: Minimum Hasar Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
GÇ	: Göçme Sınırı
TS 498	: Türk Standardı 498
TS500	: Türk Standardı 500

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r)	7
Tablo 2.2 : Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları(r)	7
Tablo 2.3 : Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r)	8
Tablo 2.4 : Güçlendirilmiş Yığma Dolgu Duvarlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r) Ve Görelî Kat Ötelemesi	8
Tablo 3.1 : Yapı Sistemlerinin Davranışları	13
Tablo 4.1 : Yapısal Performans Seviye ve Aralıkları	21
Tablo 4.2 : Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	22
Tablo 4.3 : Bina Performans Seviyeleri	23
Tablo 4.4 : Binalar için Bazı Önemli Performans Seviyeleri	25
Tablo 4.5 : Deprem Etki Seviyeleri	26
Tablo 4.6 : Kaynağa Uzaklık Katsayısı	28
Tablo 4.7 : Deprem Bölge Katsayısı	28
Tablo 4.8 : Deprem Katsayısı, C_A	29
Tablo 4.9 : Deprem Katsayısı, C_V	29
Tablo 4.10 : Zemin Sınıflarının Tanımı	30
Tablo 4.11 : Katlar Arası Yerdeğiştirmenin Kat Yüksekliğine Oranı	35
Tablo 5.1 : S220 ve S420 Donatı Çeliklerine Ait Değerler	52
Tablo 6.1 : Görelî Kat Ötelemesi Sınırları	56
Tablo 6.2 : Binalar İçin Farklı Deprem Etkileri Altında Hedeflenen PerformansDüzeyleri	57
Tablo 7.1 : Paspayı Açma Deneyleri Sonuçları	69
Tablo 7.2 : Yapı Analizi Sonucu Elde Edilen YapıyaAit Genel Bilgiler	72
Tablo 7.3 : Yapıya Ait Periyot Ve Modal Katılım Oranları	72
Tablo 7 4 : Görelî kat ötelemesi değerleri	73
Tablo 8 1 : Mevcut Sistemin Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle Analizi Sonucu Yapısal Elemanlarda Oluşan Birleştirilmiş Hasar Yüzdeleri	82
Tablo 8 2 : Mevcut Sistemin Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleriyle Analizi Sonucu Yapısal Elemanlarda Oluşan Birleştirilmiş Hasar Yüzdeleri	82
Tablo B.1 : Yapısal Elemanların +X Yönü Yükleme İçin Oluşan Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Hasar Yüzdeleri	97
Tablo B.2 : Kolonlar, Kirişler ve Perdeler İçin +X Yönü Yükleme İçin Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Eleman Sayıları	97
Tablo B.3 : Kolonlar, Kirişler ve Perdeler İçin +X Yönü Yükleme İçin	98

	Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Eleman Yüzdeleri	
Tablo B.4	: Kolonlar, Kirişler ve Perdeler İçin +Y Yönü Yükleme İçin Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Eleman Sayıları	98
Tablo B.5	: Kolonlar, Kirişler ve Perdeler için +Y yönü Yükleme İçin Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Eleman Yüzdeleri	99
Tablo B.6	: Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Kesit Bazında Hasarlı Eleman Adetleri	99
Tablo B.7	: Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Kesit Bazında Hasarlı Eleman Yüzdeleri	100
Tablo B.8	: Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Hasarlı Eleman Adetleri	100
Tablo B.9	: Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Kesit Bazında Hasarlı Eleman Adetleri	100
Tablo B.10	: Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Kesit Bazında Hasarlı Eleman Yüzdeleri	101
Tablo B.11	: Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Hasarlı Eleman Adetleri	101
Tablo B.12	Güçlendirilmiş Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Adetleri	101
Tablo B.13	: Güçlendirilmiş Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Yüzdeleri	102
Tablo B.14	: Güçlendirilmiş Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Hasarlı Eleman Adetleri	102
Tablo B.15	: Güçlendirilmiş Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Adetleri	102
Tablo B.16	: Güçlendirilmiş Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Yüzdeleri	102
Tablo B.17	: Güçlendirilmiş Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Hasarlı Eleman Adetleri	103

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Hasar Bölgeleri	5
Şekil 2.2 : Kirişlerde Enine Donatı Hesabına Esas Alınacak Kesme Kuvvetlerinin Bulunması.....	6
Şekil 2.3 : Bir Kolonun Deprem Yükleri Altındaki Eksenel Kuvveti N_E nin Bulunması.....	10
Şekil 3.1 : Moment-Eğrilik Bağıntısı (Gerçek Sistem).....	14
Şekil 3.2 : Moment-Eğrilik Bağıntısı (Plastik Mafsal Teorisi).....	14
Şekil 3.3 : Kuvvet ve Yer Değiştirme Kontrollü Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	18
Şekil 4.1 : Bina Performans Seviyeleri.....	26
Şekil 4.2 : $(S_a - T)$ Spektrum Eğrisi.....	27
Şekil 4.3 : İvme Spektrumundan Talep Spektrumunun Elde Edilmesi.....	29
Şekil 4.4 : Spektral Azaltma için Sönüm Elde Edilmesi.....	33
Şekil 4.5 : Talep Spektrumunun Azaltılması.....	33
Şekil 4.6 : Taşıyıcı Sistemde Kapasite Spektrum Eğrisi.....	34
Şekil 4.7 : Gerçek ve İdealleştirilmiş Kapasite Eğrileri.....	37
Şekil 5.1 : İç Kuvvetlerin ve Plastik Şekildeğiştirme Vektörünün Sağlaması Gereken Koşullar.....	42
Şekil 5.2 : Spektral Yerdeğiştirme (S_d) – Spektral İvme (S_a) Olan Davranış Spektrumu.....	46
Şekil 5.3 : İtme Analizi Sonucunda Elde Edilen Modal Kapasite Diyagramları.....	48
Şekil 5.4 : Sargılı ve Sargısız Beton İçin Gerilme Şekil-Değiştirme Bağıntıları.....	51
Şekil 5.5 : Donatı Çeliği İçin Gerilme- Şekil Değiştirme Grafiği.....	52
Şekil 6.1 : Dıştan Etriye Ekleyerek Kiriş Güçlendirme.....	60
Şekil 7.1 : Yapının Dıştan Görünüşü.....	64
Şekil 7.2 : Mevcut Yapı Normal Kat Planı.....	65
Şekil 7.3 : Kolonlarda Uygulanan Paspayı Açma Deneyi.....	67
Şekil 7.4 : Yapıya Ait Mevcut Beton Malzeme Dayanımının Öğrenilmesi İçin Gerçekleştirilen Karot Deneyi.....	68
Şekil 7.5 : Kiriş ve Kolon Birleşim Noktasına Uygulanılan Paspayı Açma Deneyi.....	68
Şekil 7.6 : Yapının Matematiksel Modeli.....	70
Şekil 7.7 : Plastik Mafsalarda İç Kuvvet Şekildeğiştirme İlişkisi.....	74

Şekil 7.8	: Mevcut Yapının +X yönü İtme Analizi Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi.....	78
Şekil 7.9	: Mevcut Yapının +Y yönü İtme Analizi Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi.....	78
Şekil 7.10	: Yapıda +X Yükleme Sonucu Oluşan Mafsallar.....	79
Şekil 7.11	: Güçlendirilmiş Sistem İçin Tipik Kat Planı.....	80
Şekil 7.12	: Güçlendirilmiş Yapının +X yönü İtme Analizi Taban Kesme Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi.....	80
Şekil 7.13	: Güçlendirilmiş Yapının +Y yönü İtme Analizi Taban Kesme Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi.....	81
Şekil A.1	: Mimari Plan +0.00 kotu.....	86
Şekil A.2	: Mimari Plan +3.20 kotu.....	86
Şekil A.3	: Mimari Plan +6.40 kotu.....	87
Şekil A.4	: Mimari Plan +8.60 kotu.....	87
Şekil A.5	: A-A Kesiti.....	88
Şekil A.6	: B-B Kesiti.....	88
Şekil A.7	: Kalıp Planı +3.20 kotu.....	89
Şekil A.8	: Kalıp Planı +6.40 kotu.....	89
Şekil A.9	: Kalıp Planı +8.60 kotu.....	90
Şekil A.10	: Kalıp Planı +12.80 kotu.....	90
Şekil A.11	: Test Yerleri Planı +3.20 kotu.....	91
Şekil A.12	: Test Yerleri Planı +6.40 kotu.....	91
Şekil A.13	: Test Yerleri Planı +8.60 kotu.....	92
Şekil A.14	: Test Yerleri Planı +12.80 kotu.....	92
Şekil A.15	: Zemin Sondaj Logu I.....	93
Şekil A.16	: Zemin Sondaj Logu II.....	94
Şekil A.17	: Zemin Sondaj Örnekleri.....	95
Şekil A.18	: Güçlendirme Perde Detayı.....	96

SEMBOL LİSTESİ

A_g	: Brüt en kesit alanı
a_y	: İdealleştirilmiş kapasite spektrum eğrisinin akma anındaki spektral ivme değeri
a_{pi}	: i. ardışık yaklaşım için seçilen spektral ivme değeri
B_s	: Kısa periyot spektral ivme değeri için etkili sönüm oranına bağlı olarak bulunan bir değer
B_1	: Bir saniye periyodu spektral ivmesi için etkili sönüm oranına bağlı olarak bulunan bir değer
C_A	: Sabit ivme bölgesinde sismik çarpan
C_V	: Sabit hız bölgesinde sismik çarpan
C_0	: Tek serbestlik dereceli sistemden elde edilen spektral yer değiştirmeyi, çok serbestlik dereceli sistemin hedef yer değiştirmesi ile ilişkilendiren bir katsayı
C_1	: Beklenen en büyük elastik ötesi yer değiştirmeyi, doğrusal elastik varsayımı ile hesaplanan yer değiştirme ile ilişkilendiren bir katsayı
C_2	: Deprem etkisi ile oluşan çevrimsel davranış şeklinin en büyük yer değiştirmeye olan etkisini temsil eden bir katsayı
C_3	: Dinamik P-Δ etkisiyle yer değiştirmelerdeki artışı göz önüne alan bir katsayı
d_y	: İdealleştirilmiş kapasite spektrum eğrisinin akma anındaki spektral yer değiştirme değeri
d_{pi}	: i. ardışık yaklaşım için seçilen spektral yer değiştirme değeri
d_p	: i. ardışık yaklaşım sonucu bulunan spektral yer değiştirme değeri
E	: Deprem etki türü katsayısı
E_s	: Çelik için elastisite modülü
EI	: Eğilme rijitliği
E_{S0}	: En büyük yer değiştirme enerjisi
E_D	: Çevrimsel sönüm ile yutulan enerji miktarı
F_a	: Kısa periyot spektral parametresine ve zemin sınıfına bağlı olarak bulunan bir değer
F_v	: Bir saniye periyodu spektral parametresine ve zemin sınıfına bağlı olarak bulunan bir değer
F_{ye}	: Malzeme akma gerilmesi (σ_a)
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Kayma modülü
H	: Kat yüksekliği
$I_{c,b}$	: Sırasıyla kolon ve kiriş kesitlerine ait atalet momentleri
K_i	: İlk rijitlik
K_{eff}	: Etkili rijitlik
K_s	: Pekleşme bölgesi rijitliği

K_e	: Hesap yapılan doğrultudaki elastik rijitlik
l_p	: Plastik mafsal uzunluğu
l'_p	: Plastikleşme bölgesi uzunluğu
M	: Eğilme momenti
M_e	: Elastik eğilme momenti
N	: Normal kuvvet
N_A	: Sabit ivme bölgesi kaynağa uzaklık katsayısı
N_V	: Sabit hız bölgesi kaynağa uzaklık katsayısı
P_{Limit}	: Limit yük parametresi
P_G	: Göçme yükü parametresi
P_i	: İşletme yükü, i. kata gelen toplam düşey yük
ΣP_i	: i. adım sonunda bulunan toplam yatay yük parametresi
PF_1	: Birinci doğal moda ait modal katılım çarpanı
R	: Gerekli olan elastik dayanımın akma dayanımına oranı
S_e	: Etkili T_e periyoduna karşı gelen spektral ivme
S_a	: İvme spektrumu
S_d	: Yer değiştirme spektrumu
S_1	: Bir saniye periyodu spektral parametresi
S_{X1}	: Bir saniye periyodu ivme parametresi
S_S	: Kısa periyot spektral parametresi
S_{XS}	: Kısa periyot ivme parametresi
T	: Yapının birinci doğal titreşim periyodu
$T_A=T_0, T_S$	: Spektrum karakteristik periyotları
T_e	: Etkin doğal periyot
T_i	: Hesap yapılan doğrultudaki elastik periyot
V	: Toplam yatay kuvvet, Taban kesme kuvveti
V_t	: Hedef yer değiştirme için taban kesme kuvveti
V_y	: İdealleştirilmiş kapasite eğrisinin akma dayanımı
V_i	: i. kata etkiyen kat kesme kuvveti
W	: Yapının toplam ağırlığı
w_i	: i. kata ait ağırlık
Z	: Deprem bölge katsayısı
α	: Kapasite eğrisinde negatif eğimli davranış için bir çarpan
α_1	: Birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı
α_i	: i. kata ait yatay yük dağıtma çarpanı
β	: Sönüm oranı
β_0	: Çevrimsel (eşdeğer viskoz) sönüm oranı
β_{eq}	: Etkili sönüm oranı
Δ	: Kat ötelemesi, Kesitin toplam (elastik+plastik) uzama miktarı
Δ_y	: Kesitin akma anındaki uzaması
Δl	: Boy değişmesi
Δl_e	: Elastik boy değişmesi
Δl_p	: Plastik boy değişmesi
Δ_{roof}	: En üst katın yatay ötelemesi
δ	: Yer değiştirme (d)
δ_t	: Hedef yer değiştirme
κ	: Yapının davranışına bağlı düzeltme çarpanı
λ	: Narinlik oranı
χ	: Eğrilik

χ_e	: Elastik eğrilik
χ_p	: Plastik eğrilik
ϕ	: Dönme
ϕ_p	: Plastik mafsal dönmesi
maks ϕ_p	: En büyük plastik mafsal dönmesi
$\Phi_{1,roof}$	: En üst katta birinci modun genliği
θ	: Kesitin toplam (elastik+plastik) dönme miktarı ($\Sigma\theta_{(k)} iPM$)
θ_y	: Kesitin akma anındaki dönmesi
μ	: Süneklik oranı
ν	: Poisson oranı
A_c	: Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
$a_i^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
b	: Yatay plakaların genişliği
b_w	: Kirişin gövde genişliği
d	: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
$d_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$	: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
E_c	: Çerçeve betonunun elastisite modülü
EI_o	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
f_{yd}	: Hasır donatı çeliğinin tasarım akma dayanımı
f_{yw}	: Manto çeliğinin akma dayanımı
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
h_k	: Kolon boyu (mm)
h_i	: Kat yüksekliği
I_k	: Kolonun atalet momenti (mm ⁴)
L_p	: Plastik mafsal boyu
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
N	: Deprem ve düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal kuvvet
N_D	: Düşey yükler altına kolonda oluşan aksenal kuvvet
R_a	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
r	: Etki/Kapasite Oranı
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(i)}$	: 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	: Deprem ve düşey yükler etkisi altında kiriş uçlarında oluşan kesme kuvveti
V_e	Kolon ve kirişte enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti
V_j	Çelik sargı ile sağlanan ek kesme dayanımı
V_r	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
$V_{x1}^{(i)}$	: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti

$(\delta_i)_{\max}$	: İlgili kattaki en büyük görelî kat ötelemesi
ϵ_{cg}	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
$\phi_{\min}$	: Minimum ankraj çubuğu çapı
ϕ_p	: Plastik eğrilik istemi
ϕ_t	: Toplam eğrilik istemi
ϕ_v	: Eşdeğer akma eğriliği
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 Yüğü Azaltma Katsayısı
θ_p	: Plastik dönme istemi
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_s	: Kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135° kancalı) enine donatının hacımsal oranı
ρ_{sh}	: Perdede ve duvarda yatay gövde donatılarının perde gövdesi brüt enkesit.
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
ℓ_n	: Kirişin kolon yüzünden kolon yüzüne net açıklığı
M_D	: Düşey yüklerden oluşan kiriş uç momentleri
M_E	: Artık moment kapasitesi
M_K	: Malzeme kapasite dayanımlarından hesaplanan moment kapasitesi
N_E	: Deprem yükleri altında oluşan kolon eksenel kuvveti
V_E	: Artık moment kapasitesini dengeleyen kiriş kesme kuvveti
A_s	: Boyuna donatı alanı
a_i	: Kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
b_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı
f_e	: Etkili sargılama basıncı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
h_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit
k_e	: Sargılama Etkinlik Katsayısı
s	: Etriye aralığı
ρ_s	: Toplam enine donatının hacımsal oranı (dikdörtgen kesitlerde $\rho_s = \rho_x + \rho_y$)
ρ_x, ρ_y	: İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı

ϵ_c	: Beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{cu}	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
a_1	: Birinci (hakim) moda ait modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğeri akma ivmesi
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
d_1	: Birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme
d_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğeri akma yerdeğiştirmesi
$d_1^{(p)}$	: En son (p)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait maksimum modal verdeğistirme (modal verdeğistirme istemi)
R_{y1}	: Birinci moda ait Dayanım Azaltma Katsayısı
$S_{ael}^{(1)}$	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
$S_{del}^{(1)}$	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme
T_B	: ivme spektrumundaki karakteristik periyod
$T_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki (i=1) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
$\omega_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki (i=1) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans
ω_B	: ivme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal açısal frekans

MEVCUT BİR OKUL BİNASININ DOĞRUSAL ELASTİK VE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışma giriş ve sonuçlar kısımlarında dahil olduğu sekiz bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde yapı sistemlerinin ABYYHY-2006 ya göre bina bilgi düzeyi tespiti ve binalardan bilgi toplanması anlatılmıştır. Yapı elemanlarında oluşabilecek hasar bölgeleri ve doğrusal elastik hesap yöntemleri esaslarına değinilmiştir.

Üçüncü bölümde yapıda performans kavramı incelenmiş ve yapı sistemlerinin doğrusal olmama sebepleri anlatılmıştır. Ayrıca doğrusal olmayan sistemlerin hesaplara nasıl yansıtılacağı belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde ATC 40 ve FEMA356 yaklaşımlarının doğrusal olmayan analiz ile ilgili kısımlarına değinilmiştir. Bu yönetmelikler için oluşturulmuş olan performans seviyeleri ve deprem kuvvetleri tanımlanmıştır.

Beşinci bölümde doğrusal olmayan hesap yöntemleri için ABYYHY-2006 da verilen yaklaşımlar ele alınmış ve önerilen analiz yöntemleri için verilen kurallara değinilmiştir.

Altıncı bölümde doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleri sonucunda elde edilen verilere dayanarak yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesine karar verilmesi adımları incelenmiştir. Ayrıca bu bölümde uygulanabilecek klasik güçlendirme metodları hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Yedinci bölümde mevcut bir okul binasının bilgi düzeyi seviyesinin tespiti için yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Yapının matematiksel modelinin hazırlanmasında yapılan kabuller açıklanmıştır. Ayrıca önceki bölümlerde anlatılan doğrusal ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleriyle analizi yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre güçlendirme kararı verilmiştir. Son bölüm olan sonuç kısmında da yönetmelik hakkındaki görüşlere yer verilmiştir.

ASSESSMENT AND RETROFIT OF AN EXISTING SCHOOL BUILDING WITH LINEAR AND NONLINEAR SEISMIC ANALYSIS

SUMMARY

The master thesis submitted consists of eight sections including the two sections for introduction and results.

Data collection from the building and building knowledge factor determination according to ABYYHY-2006 were presented in the 2nd chapter. Besides probable failure zones of the structural members and linear elastic analysis procedure were also discussed.

Structural performance concept and the reasons of non-linear behavior were investigated in the third chapter. Additionally non-linear analysis scheme was described.

In the fourth chapter, relevant parts of ATC-40 and FEMA-356 procedures were summarized. Various performance levels and seismic forces for these methods were defined.

Non-linear analysis approaches described in ABYYHY-2006 were investigated and the rules for the proposed analysis methods were discussed in the fifth chapter

Structural performance levels based on linear and non-linear analysis results determination and retrofit decision steps were investigated. Hence brief information on applicable classical retrofit methods was given.

Studies on determining knowledge factor for an existing school building were described in the 7th chapter. The assumptions used in the mathematical model of the building were explained. Additionally previously described linear and non-linear analysis performed for the building and the results were discussed. Retrofit decision

was made according to the obtained results. Finally remarks on the code were given in the results section.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Özeti

Mevcut ve güçlendirilmiş yapıların deprem güvenliğinin saptanması, deprem yükleri altında doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının çözümlenmesi ve sünekliklerinin bulunması, depremselliği oldukça yüksek olan ülkemizde, incelenmesi gereken konulardır. Bilindiği üzere ülkemizin oldukça büyük bir kısmı deprem kuşaklarının üzerinde bulunmaktadır. Yurdumuzda oluşturulan deprem haritalarına göre Türkiye coğrafyasının %92 si , yerleşim yerlerinin ise %95 i deprem tehlikesi altında yaşamaktadır. Ve hemen hemen her sene meydana gelen şiddetli depremler sonucu ülkemiz maddi ve manevi birçok hasar almakta bu da ülke ekonomisini olumsuz etkilemektedir. Son 60 yıl içinde meydana gelen depremler sonucunda 60000 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Depremin önceden tahmin edilebilmesi söz konusu olmadığından yapılacak olan yapıların olabilecek depremlere karşı gerekli güvenlik kriterlerini sağlamaları gerekmektedir.

Mevcut yapıların, inşa edildikleri yıllarda ve günümüzde yürürlükte olan yönetmeliklerin gerektirdiği koşulları ne derecede sağladıklarını görmek amacıyla, seçilen örnek bir okul binasının mevcut halinin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle çözümlemeleri 2006 yılında yayınlanmış olan yeni afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliğinin (ABYYHY-2006) 7. bölümü gözönüne alınarak yapılmıştır. Bu çalışmada, Milli Eğitim Bakanlığı tarafından sıkça kullanılan 10403/YA nolu tip bina projesi ele alınarak incelenmiş ve sonuçları yorumlanmıştır. Mevcut projenin uygulanmış olduğu okullardan birinden bilgi toplanması amacıyla gerekli tahribatlı ve tahribatsız testler uygulanmış ve yapıda mevcut beton ve donatı dayanımları tespit edilmiştir. Ayrıca projenin uygulandığından emin olmak amacıyla bina geometrisi yapıda yapılan ölçümlerle doğrulanmıştır. Böylelikle yapıda kullanılacak olan bilgi düzeyi seviyesi belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucu performansı yetersiz bulunan yapıya güçlendirme perdeleri eklenmiş, bu perdelerin sistem içindeki davranışlarının doğru olarak yansıtılması amacıyla matematik

modeller hazırlanmıştır ve yapı yayınlanan yönetmelik uyarınca, oluşturulan matematik model esas alınarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalarda amaç, mevcut ve güçlendirilmiş yapının yeterliliğinin, doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlemelere dayalı olarak tayinidir ve performans seviyesinin belirlenmesidir.

Sarılmış ve sarılmamış beton gerilme şekildeğiştirme ilişkileri yönetmelikçe önerilen katsayılar gözönünde bulundurularak sargı donatısı oranı farklı betonarme kesitlerdeki malzeme karakteristiklerini tesbit etmek amacıyla incelenmiştir. Kesitlerin taşıma kapasitesi ve sünekliklerinin doğru olarak elde edilmesi amacıyla XTRACT adlı bilgisayar programı kullanılmıştır.

Seçilen mevcut yapının ve güçlendirilmiş halinin, malzeme bakımından doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının anlaşılması amacıyla, malzeme bakımından doğrusal olmayan çözümleme yapabilen bir yapısal analiz programı olan SAP2000 kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Taşıma kapasitesi ve sünekliklerin incelenmesi için hazırlanmış bilgisayar programı ve sarılmış betonda gerilme şekildeğiştirme ilişkisi için önerilen modellerde kullanılarak, yapının matematik modelleri hazırlanıp, çözümlenmiş ve yapının performansının doğru bir şekilde tesbit edilmesi amaçlanmıştır.

2. MEVCUT BİR BETONARME YAPININ ABYYHY-2006 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ

2.1 Binadan Bilgi Toplanması ve Bina Bilgi Düzeyi

Yeni deprem yönetmeliğinde kullanım süresi içinde deprem ve benzeri etkilere maruz kalması muhtemel olan mevcut yapıların taşıyıcı sistemindeki belirsizliklerinin yeni yapılacak binalara oranla fazla olması sebebiyle yapıdan derlenecek olan verilerin kapsamına göre tanımlanmış olan bilgi düzeyi katsayıları ile hesap yöntemine yansıtılır.[1]

İşte bu sebeple mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilecektir.

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür.

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmaktadır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılmaktadır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Sınırlı bilgi düzeyi'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

Orta bilgi düzeyi'nde eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

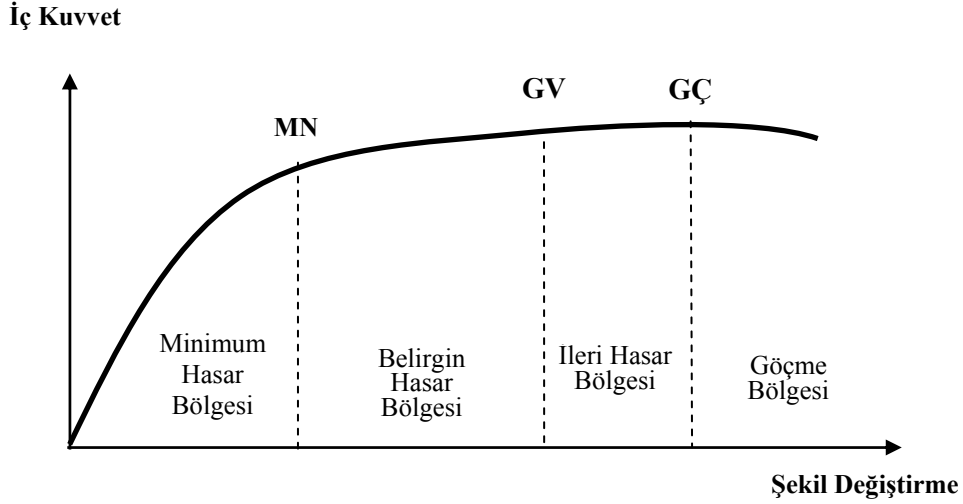
Kapsamlı bilgi düzeyi'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

2.2- Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “sünek” ve “gevrek” olarak iki sınıfa ayrılacaktır. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığı ile ilgilidir.

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 kritik 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. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

Kritik kesitleri 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 edilecektir.(Şekil 2.1)



Şekil 2.1: Hasar Bölgeleri

Doğrusal elastik veya doğrusal olmayan elastik yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin ve şekildeğiştirmelerin, yukarıda tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir.

2.3- Depremde Yapının Mevcut Halinin Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemiyle Analizi

Deprem yönetmeliğinin depremde bina performansının doğrusal elastik hesap yöntemleri ile belirlenmesi ile ilgili kısmında betonarme yapı elemanlarında oluşacak hasarların belirlenmesinde kullanılacak eleman hasar sınırlarının sayısal değerleri tanımlanmaktadır. Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile sünek elemanların hasar sınırlarının tanımında kiriş, kolon ve perde elemanlarının ve güçlendirilmiş yığma dolgu duvarların kesitlerinin etki/kapasite oranları (r) cinsinden ifade edilen sayısal değerler kullanılmaktadır.

Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 2.1-2.4’de sünek ve gevrek elemanlar için ayrı ayrı verilmiştir. Sünek kolon ve kirişlerin kritik kesitlerinde, eğilme kapasitesi ile uyumlu kapasite kesme kuvveti V_e ’nin kesme kapasitesi V_r ’yi aşmaması gereklidir. Aşması durumunda bu elemanlar gevrek eleman sınıfında sayılırlar.[1]

Kolonlarda enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti, V_e , Denk (2.1) ile hesaplanmalıdır.

$$V_e = (M_a + M_{\bar{u}}) / \ell_n \quad (2.1)$$

Denk.(2.1)'teki M_a ve $M_{\bar{u}}$ 'nün hesaplanması için, kolonun alt ve/veya üst uçlarında Denk.(2.2)'nin sağlanması durumunda ile Denk.(2.3) ile hesaplanır,

$$(M_{ra} + M_{r\bar{u}}) \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad (2.2)$$

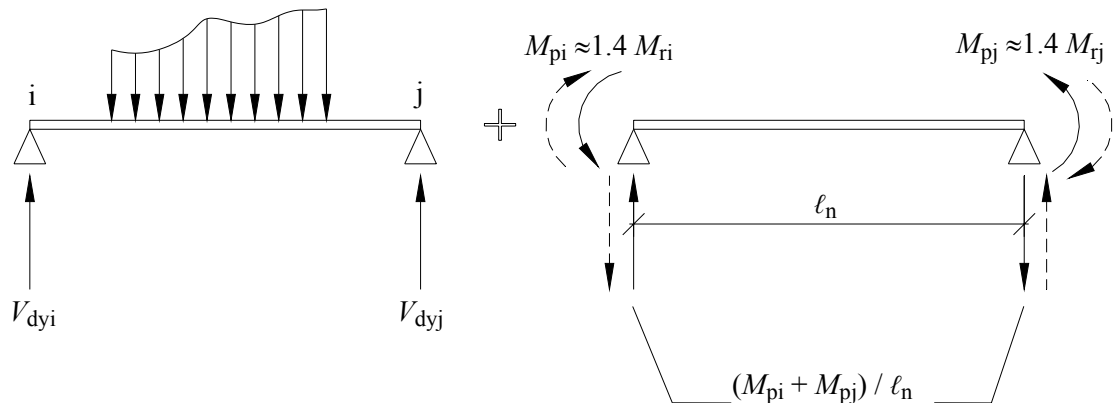
$$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj} \quad (2.3)$$

sağlanamaması durumunda ise düğüm noktasına birleşen kolonların uçlarındaki momentler, kolonların moment kapasiteleri olarak hesaplanacak ve Denk. (2.1)'te M_a ve/veya $M_{\bar{u}}$ olarak kullanılacaktır. Moment kapasiteleri, daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pa} \cong 1.4 M_{ra}$ ve $M_{p\bar{u}} \cong 1.4 M_{r\bar{u}}$ olarak alınabilir. M_{pa} ve $M_{p\bar{u}}$ momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en büyük yapan N_d eksenel kuvvetleri gözönüne alınacaktır.

Kirişlerde enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti, V_e , depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesi durumları için ayrı ayrı ve elverişsiz sonuç verecek şekilde, Denk.(2.4) ile bulunacaktır(Şekil 2.2).

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n \quad (2.4)$$

Kiriş uçlarındaki moment kapasiteleri, daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pi} \cong 1.4 M_{ri}$ ve $M_{pj} \cong 1.4 M_{rj}$ olarak alınabilir.



Şekil 2.2: Kirişlerde Enine Donatı Hesabına Esas Alınacak Kesme Kuvvetlerinin Bulunması

Fakat hesaplamalarda pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılmalıdır.

V_r ise TS-500'e göre, tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak hesaplanacaktır.[2]

$$V_r = V_c + V_w \quad (2.5)$$

$$V_r = V_c + V_w \quad (2.6)$$

$$V_c = 0.8V_{cr} \quad (2.7)$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{cm} . b_w . d . \left(1 + \gamma . \frac{N_d}{A_c} \right) \quad (2.8)$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} . f_{ywd} . d \quad (2.9)$$

$H_w/\ell_w > 2.0$ olan ve yatay gövde donatısı oranı $\rho_{sh} > 0.0025$ olan perdeler de sünek eleman olarak kabul edilir. Burada verilen sünek eleman koşullarını sağlamayan betonarme elemanlar gevrek eleman olarak sınıflandırılır.

Tablo 2.1: Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ctm}}^{(1)}$	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	2.5	4	6
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4
Gevrek Kirişler			1	1	1

Tablo 2.2: Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{A_c f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ctm}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4	Var	≥ 1.30	2	3	5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
Gevrek Kolonlar			1	1	1

Tablo 2.3: Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6
Gevrek Perdeler	1	1	1

Tablo 2.4: Güçlendirilmiş Yığma Dolgu Duvarlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r) Ve Göreli Kat Ötelemesi Oranları

ℓ_{duvar} / h_{duvar} oranı aralığı 0.5 - 2.0	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
Etki/Kapasite Oranı (r)	1	2	-
Görelî Kat Ötelemesi Oranı	0.0015	0.0035	-

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır.

Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kesit kesme kuvveti

dayanımı ve basınç dayanımı hesabında tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılır.

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin ve güçlendirilmiş yığma dolgu duvarların etki/kapasite oranları, Tablo 2.1-2.4’de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak yukarıda anlatılan kesit hasar sınırlarına göre elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Betonarme binaların güçlendirilmiş yığma dolgu duvar elemanlarının hasar bölgelerinin belirlenmesinde ayrıca Tablo 2.4 de verilen görelî kat ötelemesi sınırları sağlanacaktır. Köşegen çubuklar ile modellenen güçlendirilmiş yığma dolgu duvar elemanlarının görelî kat ötelemesi, ilgili kattaki çubuk elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edilecektir. Tablo 2.1-2.4’deki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır.

Betonarme kolon-kiriş birleşimlerinde tüm sınır durumları için birleşime etki eden ve Denk.(2.10)’dan hesaplanacak kesme kuvvetlerinin Denk.(2.11-12)’de verilen kesme dayanımlarını aşmaması gerekir. Ancak Denk.(2.10)’da V_{kol} yerine V_{kol} ’ye göz önüne almadan hesaplanan V_e kullanılacak, dayanım hesabında ise f_{cd} yerine tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut beton dayanımı kullanılacaktır. Birleşim kesme kuvvetinin kesme dayanımını aşması durumunda bu birleşime sapanan tüm elemanlar göçme bölgesinde kabul edilecektir.

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (2.10)$$

a) Kuşatılmış birleşimlerde;

$$V_e \leq 0.60 b_j h f_{cd} \quad (2.11)$$

(b) Kuşatılmamış birleşimlerde;

$$V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd} \quad (2.12)$$

Betonarme binalarda kolon ve perde eksenel yükleri, bu elemanlara bağlanan kirişlerin uçlarının uygulanan deprem yönü ile uyumlu eğilme kapasiteleri ve donatılı yığma duvarlar için kullanılan köşegen basınç çubuklarının duvar kesme kapasitelerine karşılık gelen eksenel kapasitelerinin düşey bileşenleri dikkate

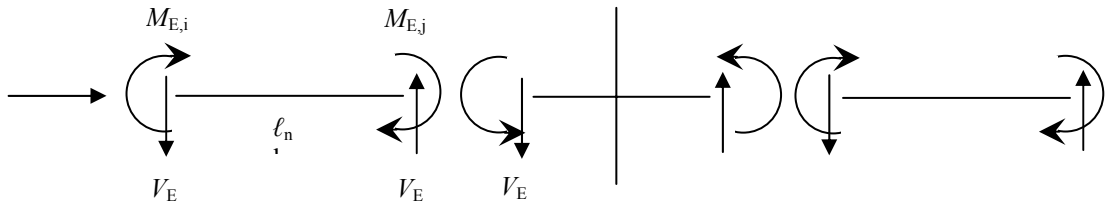
alınarak hesaplanacaktır. Eksenel yükleri hesaplamak için yönetmelikte önerilen yöntem şöyledir.

Düşey yüklerden kaynaklanan kolon eksenel kuvvetleri N_D , düşey yükler altında uygulanan doğrusal elastik yöntemler ile elde edilecektir.

Tüm kirişlerin her iki ucunun uygulanan deprem kuvvetinin yönü ile uyumlu yönlerde eğilme kapasitelerine ulaştığı varsayılacaktır. Böylece hesaplanan toplam kapasite momentlerinden (M_K), düşey yükler altında oluşan kiriş uç momentleri (M_D) çıkartılarak deprem artık kapasite momentleri M_E hesaplanacaktır.

Deprem artık kapasite momentlerini dengeleyen kiriş kesme kuvvetleri V_E , Denk.(2.13) ile bulunacaktır (Şekil 2.3). Bir kolonun deprem yükleri altındaki eksenel kuvveti N_E , bu kolon aksına bağlanıp kolonun üstünde yer alan tüm kirişlerden aktarılan V_E kuvvetlerinin toplamıdır.

$$V_E = (M_{E,i} + M_{E,j}) / \ell_n \quad (2.13)$$



Şekil 2.3: Bir Kolonun Deprem Yükleri Altındaki Eksenel Kuvveti N_E nin Bulunması

Yukarıda hesaplanan kolon eksenel kuvvetleri ($N_D + N_E$) altında kolon alt ve üst uçlarının eğilme kapasiteleri hesaplanacaktır. Daha sonra tüm kolon-kiriş düğüm noktaları için, uygulanan deprem kuvvetlerinin yönü ile uyumlu kolon-kiriş kapasite oranları (KKO) Denk.(2.14) ile bulunacaktır (Şekil 2.3).

$$KKO = \frac{(M_{Ka} + M_{Ku})}{(M_{Ki} + M_{Kj})} \quad (2.14)$$

Eğer bir düğüm noktasında KKO değeri 1'den büyük ise, Denk (2.14) 'de bu birleşime saptanan kirişler için yapılan kiriş uçlarının kapasitelerine ulaştıkları varsayımı geçerlidir. Değilse bu birleşime saptanan kiriş uçlarının kapasite momentleri (M_K) KKO ile çarpılarak azaltılacaktır. Tüm birleşimler için bu işlem

yapıldıktan sonra Denk (2.14) e dönülecek ve kapasite momentleri yerine düzeltilmiş kiriş uç momentleri kullanılarak Denk (2.13)'den N_E tekrar hesaplanacaktır. Bu işlemlerin sadece bir kez tekrar edilmesi yeterlidir.

3. DEPREMDE BİNA PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

3.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi

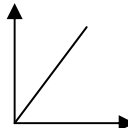
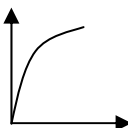
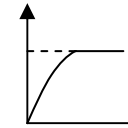
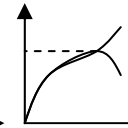
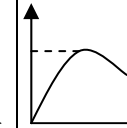
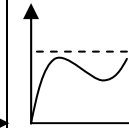
3.1.1 Doğrusal olmayan sistemler

Sistemlerin lineer (doğrusal) olmaması iki sebepten kaynaklanır. Birincisi, malzemenin lineer elastik olmaması nedeniyle gerilme şekil değiştirme (bünye denklemleri) bağıntılarının lineer olmamasıdır. İkincisi, geometri değişimlerinin büyük olduğu kabul edilen sistemlerde denge ve geometrik uygunluk şartlarının lineer olmamasıdır . Bir sistemin lineer olmaması için bu nedenlerden biri yeterlidir. Bazı sistemlerde her iki sebepten dolayı lineer olmama sözkonusu olabilir. Bahsedilen durumlar ayrıntılı bir şekilde Tablo 3.1 de görülebilir.[10]

Denge denklemlerinde, “yerdeğiştirmeler küçük demek” denge denklemlerinin şekil değiştirmemiş sistem üzerinde yazılacağı, “küçük değil demek” denge denklemlerinin şekil değiştirmiş sistem üzerinde yazılacağı anlamına gelir. Benzer şekilde geometrik süreklilik denklemlerinde “yerdeğiştirmeler küçük demek” geometrik süreklilik denklemlerinin şekil değiştirmemiş sistem üzerinde yazılacağı, “küçük değil demek” geometrik süreklilik denklemlerinin şekil değiştirmiş sistem üzerinde yazılacağı anlamına gelir. Tablodan da anlaşılacağı üzere, doğrusal olmayan davranış gösteren yapı sistemleri üç türdür:

- 1) Malzeme bakımından lineer olmayan sistemler
- 2) Geometri değişimi bakımından lineer olmayan sistemler
- 3) Her iki bakımdan lineer olmayan sistemler

Tablo 3.1: Yapı Sistemlerinin Davranışları

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 Yerdeğiştirme Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Yerdeğiştirme Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekil Değiştirme Bağlılıkları)	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 Bağlılıkları						

3.1.2 Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler

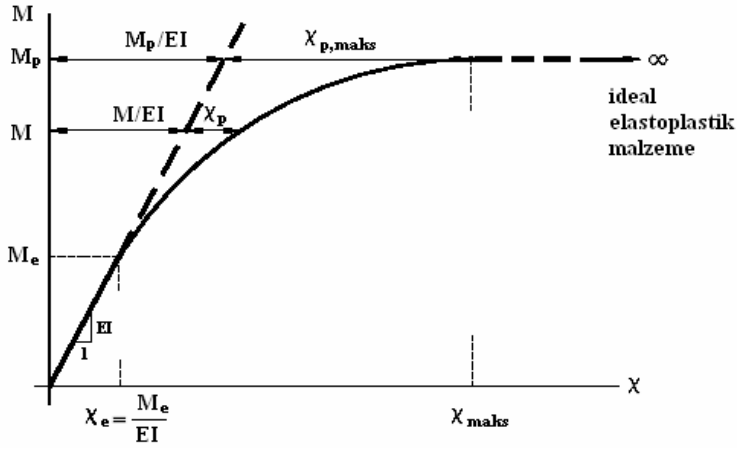
Bu tür sistemlerde, malzemenin lineer elastik olmaması nedeni ile gerilme şekildeğiştirme bağıntılarının lineer olmaması durumu vardır. Hesap yöntemi olarak ardışık yaklaşım yöntemi uygulanır. Buna göre, ilk adımda lineer elastik hesap yapılır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, lineerleştirme tekniklerinden biri ile ikinci adıma ait EI rijitlik ve $\mathcal{X}$ dönme değerleri bulunur. Benzer adımlar ardışık olarak tekrarlanır. Ardışık iki adımda bulunan sonuçlar yeter derece yakın olduğu zaman hesaba son verilir.

Lineerleştirme teknikleri;

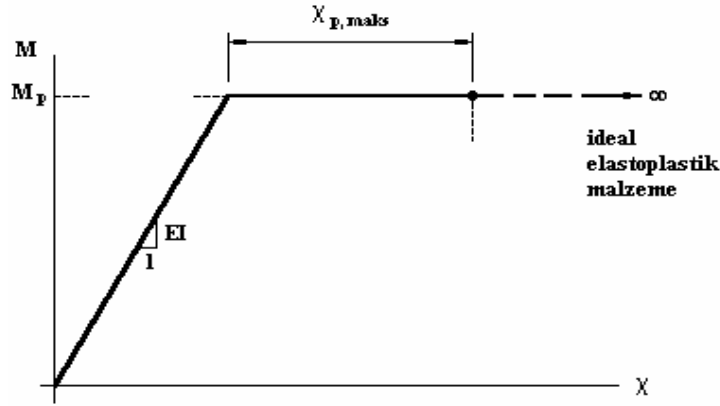
- Başlangıç teğeti yöntemi
- Başlangıç kirişi yöntemi
- Teğet yöntemi
- Kiriş yöntemi

3.1.3 Plastik mafsal teorisi

Bu hipotezde yeter derecede süneklilik özelliği gösterebilen, oluşması muhtemel plastik mafsal bölgelerinin çok büyük olmadığı sistemlerde lineer olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal adı verilen kesitlerde toplandığı, diğer bölümlerde ise lineer davranışın devam ettiği kabul edilir.



Şekil 3.1: Moment-Eğrilik Bağıntısı (Gerçek Sistem)



Şekil 3.2: Moment-Eğrilik Bağıntısı (Plastik Mafsal Teorisi)

Plastik mafsalın dönmesi, dönme kapasitesi adı verilen bir değere ulaşınca o kesitte güç tükenmesi meydana gelir.

Plastik mafsal hipotezine göre:

- Eğilme momenti artarak M_p ye ulaşıncaya plastik mafsal oluşur. Daha sonra $M=M_p$ olarak sabit kalır ve kesit serbestçe döner. χ dönmesi, dönme kapasitesine eşit olunca kesitte güç tükenmesi olur.
- Plastik mafsallar arasında eleman bölümleri lineer elastik davranır.
- Kesitte M ve N birlikte ise M_p plastik momenti yerine akma koşullarından bulunan bir moment sınır değeri olarak kullanılabilir.

3.1.4 Yük artımı yöntemi ile plastik mafsal teorisine göre hesap

Yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılır. Her plastik mafsalın oluşumundan sonra o noktaya eğilme momentine uygun bir plastik mafsal koymak, ve M_p momentini dış yük olarak etkilemek suretiyle elde edilen sistem lineer elastik teoriye göre hesaplanır. Sistem belirli sayıda plastik mafsal oluşumundan sonra tümüyle veya bölgesel mekanizma durumuna gelir. Bu duruma karşı gelen yüke “limit yük” denir. Bazen limit yükten önce plastik mafsallardaki dönmelerin kapasitelerini aşması, sistemde büyük yerdeğiştirmelerin oluşması, veya betonarme sistemlerde büyük çatlakların meydana gelmesi suretiyle sistem göçebilir. Bu durumda $P_{göçme} < P_{limit}$ olabilir.

3.1.5 Geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan sistemler

Yer değiştirmelerin yeter derece küçük olmadığı sistemlerde denge denklemlerinin şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin gözönüne alındığı bu teoriye “II. Mertebe Teorisi” denir. II. Mertebe teorisinde yerdeğiştirmelerin geometrik süreklilik denklemlerine etkisi terk edilmektedir. Bu etkilerin gözönüne alındığı hesap yöntemine “Sonlu Yerdeğiştirme Teorisi” denir.

Bu yöntemde de bir ardışık yaklaşım yapılmaktadır. Çünkü, şekil değiştirmiş eksen başta bilinmemektedir. Ardışık iki adımda kullanılan eksenler yeter derecede birbirine yakın olunca hesaba son verilir. Hesaplar iki şekilde yapılabilir:

- Yaklaşık Yöntem
- Fiktif Kesme Kuvvetleri ile Hesap

Her adımda şekil değiştirmiş eksen üzerinde denge denklemleri yazmak yerine yüksüz eksen esas alınabilir. Bu durumda her adımda “ $N \frac{\delta}{L} 2\lambda$ ” fiktif kesme kuvvetleri dikkate alınır.

N = Normal kuvvet

δ = II. Mertebe moment oluşturan mesafe

L = Moment kolu

Buradaki λ terimi elastik eğrinin doğrusal olmamasından kaynaklanmaktadır. Genellikle $1.0 \leq \lambda \leq 2.0$ arasındadır.

3.1.6 Her iki bakımdan doğrusal olmayan sistemler

Bu tür sistemlerde, hem malzeme bakımından hem de yerdeğiştirme bakımından lineer olmama durumu vardır. Hesap yöntemi olarak ardışık yaklaşım yapılır. Her adımda, denge denklemleri yer değiştirmiş eksen üzerinde yazılır. Bununla beraber her adıma ait bünye bağıntıları olarak lineerleştirme tekniklerinden biri kullanılarak elde edilen değerler kullanılır.

3.1.7 Doğrusal olmayan analiz türleri

Malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemlerin artan dış yükler altındaki davranışının belirlenebilmesinde iki yöntem uygulanır:

- Kuvvet kontrollü analiz
- Yerdeğiştirme kontrollü analiz

3.1.8 Kuvvet kontrollü analiz

Hesabın başlangıcında yük parametresi seçilir ve ardışık yaklaşımın her adımında bu yük parametresi esas alınarak hesap yapılır. Bu durumda elde edilecek çözüm, sistemin başlangıçta seçilen yük parametresi için çözümüdür.

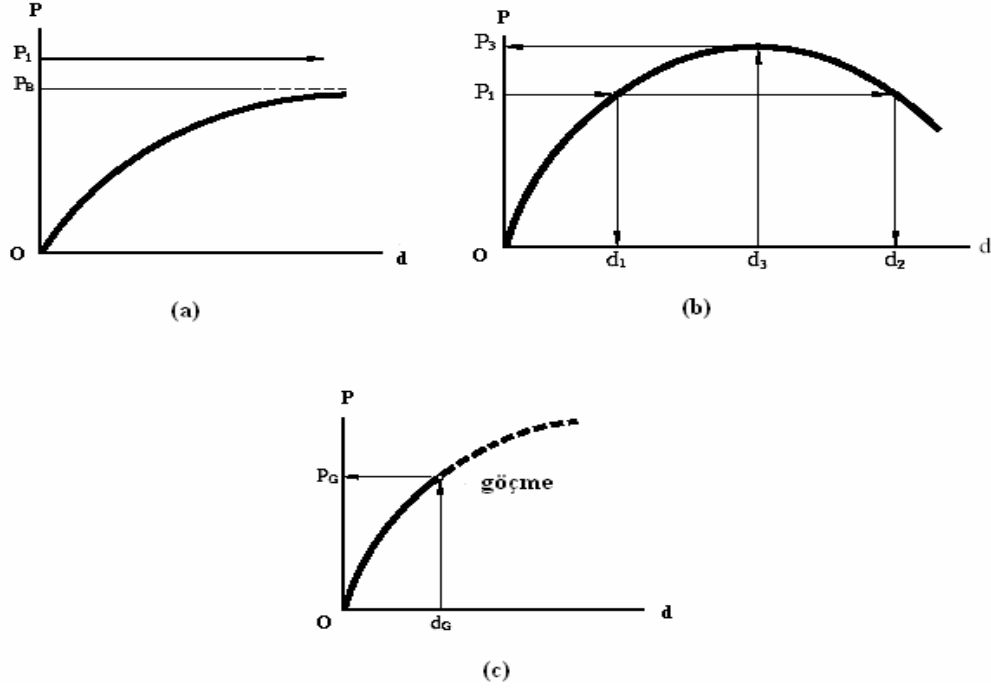
3.1.9 Yerdeğiştirme kontrollü analiz

Hesabın başlangıcında, sisteme ait bir büyüklük seçilir. Bu büyüklük yer değiştirme, şekil değiştirme veya iç kuvvet olabilir. Ardışık yaklaşımın her adımında, seçilen değere karşı gelen yük parametresi hesabı amaçlanır. Bu durumda, ardışık yaklaşımın sonunda bulunan yük parametresi sistemde seçilen büyüklüğü meydana getiren değere eşit olacaktır. Elde edilen iç kuvvet, şekil değiştirme ve yer değiştirmeler ise sistemin bu yük parametresi için çözümünü vermektedir.

İki analiz türü karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

- Tek serbestlik dereceli sistemlerde, seçilen herhangi bir büyüklük sistemin iç kuvvet, şekil değiştirme ve yerdeğiştirme durumunu tanımlamak için yeterli olduğundan, yerdeğiştirme kontrollü analiz sonuçları kesindir. Tek adımda sonuca ulaşılmış olur. Çok serbestlik dereceli sistemlerde ise, ardışık yaklaşımın birinci adımında elde edilen çözüm artan yükler altında sistemdeki büyüklüklerin aralarındaki oran sabit kalacak şekilde değişeceği varsayımı ile problemin yaklaşık çözümünü vermektedir.
- şekil 3.1 a dan görüleceği üzere, sistemin taşıma gücünü aşan yük parametreleri için, kuvvet kontrollü analiz sonuç vermemektedir. Buna karşın, yerdeğiştirme kontrollü analizde seçilen her yer değiştirme değeri için aranan çözüm bulunabilmektedir.
- şekil 3.1 b den de anlaşılacağı üzere, (P-d) eğrisi bir maksimum değerden geçen sistemlerde, seçilen tek yük parametresine için birden fazla yerdeğiştirme karşı geldiği halde, her yerdeğiştirme değeri için tek bir yük parametresi elde edilmektedir. Bu özellik dikkate alınacak olursa, yer değiştirme kontrollü analiz ile elde edilen çözümlerin, limit yükün bulunması için daha kullanışlı niteliğe sahip olduğu görülmektedir.

Göçmenin kırılma, büyük yer değiştirmeler veya büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle meydana gelmesi halinde, söz konusu kritik büyüklüğün seçilen sınır değeri için hesap yapmak suretiyle, yerdeğiştirme kontrollü analizde göçme yükü doğrudan doğruya elde edilebilmektedir. (şekil 3.1c)



Şekil 3.3: Kuvvet ve Yer Değiştirme Kontrollü Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması

3.1.10 Yapı sistemlerinin performansa dayalı tasarımı

Yerdeğiştirme esaslı performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri özellikle son yıllarda sıkça kullanılmaya başlamıştır. Bu tasarımın çıkış noktasında, yapıların doğrusal olmayan davranışının gerçekçi olarak belirlenmesi ve klasik tasarımda öngörülen hedeflerin kontrol edilebilmesi düşüncesi vardır. Bu doğrultuda yerdeğiştirme esaslı doğrusal olmayan analiz yöntemleri adı altında çeşitli yaklaşımlar üretilmiştir. Bu yaklaşımlardan ATC 40 (Applied Technology tarafından yayınlanan “Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings”) ve FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency tarafından yayınlanan “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings”) projeleri en bilinenleridir. Bu çalışma kapsamında bu iki yaklaşımın ilgili bölümleri özetlenmiş ve ABYYHY-2006 yönetmeliğine de eklenen doğrusal elastik olmayan sistemlerin analizi incelenmiştir.

Genel olarak performansa dayalı tasarım kavramına baktığımızda bunun klasik yapı tasarımı ile örtüştüğünü görmekteyiz. Şöyleki, klasik yapı tasarımında kullandığımız kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu performans noktaları olarak değerlendirilebilir. Kullanma sınır durumunda, işletme yükleri

altında tarif edilen emniyet gerilmeleri kullanılarak hesaplar yapılır. Taşıma gücü hesap yönteminde ise arttırılmış yükler altında, malzemenin şekil değiştirme durumları için yapılan kabullerden hareketle hesaplar yapılır. Hedeflenen performans seviyelerini de benzer şekilde görebiliriz. Yapıların, küçük depremleri hasarsız atlatması, orta büyüklükteki depremleri can güvenliğini sağlayacak şekilde atlatması, büyük depremlerde ise toptan göçmenin engellenmesi hedeflenir. Görüleceği üzere klasik boyutlandırmada kullanılan performans noktaları ve hedefleri ayrıntılı değildir. Bu noktadan hareketle, klasik tasarım kavramını birkaç adım öteye götürülmesi ile amaçların daha belirgin olduğu, yapının daha ayrıntılı analizinin yapılabileceği performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı ortaya çıkmıştır.

4. ÇEŞİTLİ YÖNETMELİKLERDE BULUNAN PERFORMANSA DAYALI TASARIM YAKLAŞIMLARI

4.1 ATC 40 Yaklaşımı

Perfomansa dayalı tasarım konusunda hazırlanan ilk yaklaşımdır. Kapsamı betonarme binalar ile sınırlıdır. Mevcut yapıların incelenmesine yönelik hazırlanmıştır. Günümüzde yeni yapılacak yapıların incelenmesi içinde kullanılmaktadır. Yöntemin esası, deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen performans seviyesinin belirlenmesi ve bu seviyenin kontrol edilmesidir. Bu performans seviyesinin belirlenebilmesi için, dikkate alınacak deprem yükünün sınırlarının çizilmesi gerekir. Ayrıca performans seviyesi diye tarif edilen durumlarının matematiksel olarak ifade edilmesi gerekir. Bazı durumlar yoruma açık bırakılmıştır. Bu noktada mühendisin bilgi ve tecrübesi önem kazanmaktadır. Genel olarak, bu analizde iki kavram öne çıkmaktadır.[16]

- Performans amacı
- Performans seviyesi

4.1.1 Performans amacı

Yapıda depremden sonra nasıl bir hasar seviyesi ve bununla ilgili olarak nasıl bir performans seviyesi kabul edilecektir. Bunların belirlenmesinde hangi deprem esas alınacaktır. Bu iki sorunun cevabının birleştirilmesi ile “Bina Deprem Performans Amacı” tanımlanır.

4.1.2 Performans seviyesi

Yapıda performans seviyesi, gözönüne alınan depremde oluşacak hasar ve buna bağlı olarak yapının kullanıma devam edebilmesine bağlı olarak tanımlanır. Buradaki hasar kavramı ile anlatılmak istenen, hem yapısal elemanlarda hem de yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarı kapsamaktadır.

4.1.3 Yapısal performans seviyeleri

Yapısal elemanlar, binanın taşıyıcı sistemini oluşturan kolon, kiriş, perde gibi birincil elemanlar ile ana taşıyıcı sistem dışındaki tali elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlarda, deprem sonrasında meydana gelebilecek hasar miktarına göre çeşitli performans durumları öngörülmektedir. Tablo 4.1 de bu performans seviye ve aralıklarına ilişkin tanımlar verilmiştir.

Tablo 4.1: Yapısal Performans Seviye ve Aralıkları

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Tanım
SP-1		Hemen Kullanım Performans Seviyesi
	SP-2	Hasar Kontrolü Performans Aralığı
SP-3		Can Güvenliği Performans Seviyesi
	SP-4	Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı
SP-5		Yapısal Stabilite Performans Seviyesi
SP-6		Yapısal Performansın Gözönüne Alınmadığı Durum

SP-1 (Hemen Kullanım): Depremden sonra çok sınırlı hasar meydana gelmiştir. Binanın depremden önceki taşıyıcılık özellikleri ve kapasitesi hemen hemen aynen korunmaktadır. Yapısal hasarlardan kaynaklanan bir yaralanma sözkonusu değildir. Bina deprem sonrasında sınırsız olarak kullanıma açıktır.

SP-2 (Hasar Kontrollü): Bu durum SP-1 ve SP-3 seviyeleri arasındaki bir aralığa karşı gelmektedir. Hasarın belirli ölçüde sınırlandırılması yanında can güvenliği de sağlanmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde, 50 yıllık bir süre içerisinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan depremde öngörülen performans seviyesi bu aralığa düşer.

SP-3 (Can Güvenliği): Deprem sonrasında taşıyıcı sistemde önemli ölçüde hasar olmasına karşın, yerel veya toptan göçme söz konusu değildir. Binanın toptan göçmeye karşı kapasitesi hala bulunmaktadır.

SP-4 (Sınırlı Güvenlik): SP-3 ve SP-5 seviyeleri arasındaki duruma karşılık gelir. Bir binanın güçlendirilmesinde can güvenliğinin tam olarak sağlanması durumunda göz önüne alınabilir.

SP-5 (Toptan Göçmenin Önlenmesi): Bu seviye, taşıyıcı sistemin güç tükenmesi sınırında bulunmasına karşılık gelir. Deprem sonrası sistemde önemli hasar meydana gelmiş olup binanın taşıyıcı elemanlarında kapasitenin yitirilmesi söz konusudur. Can güvenliği sınırı aşılmış olduğu için artçı depremlerle birlikte, güç tükenmesi sınırındaki yapı toptan göçme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Hasarın çok fazla olması nedeniyle binanın mutlaka güçlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo 4.2: Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Performans Seviyesi	Tanım
NP-A	Kullanıma Devam Performans Seviyesi
NP-B	Hemen Kullanım Performans Seviyesi
NP-C	Can Güvenliği Performans Seviyesi
NP-D	Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi
NP-E	Yapısal Olmayan Performansın Göz önüne Alınmadığı Durum

4.1.4 Yapısal olmayan performans seviyeleri

Yapısal olmayan elemanlarda çeşitli performans seviyeleri Tablo 4.2 de tanımlanmıştır.

NP-A (Kullanıma Devam): Depremden sonra yapısal olmayan elemanlarda kullanımı engelleyecek bir durum söz konusu değildir.

NP-B (Hemen Kullanım): Yapısal olmayan elemanlarda önemli bir hasar durumu söz konusu değildir. Kullanımı engelleyen ancak kolayca giderilebilen küçük hasarlar beklenmektedir.

NP-C (Can Güvenliği): Deprem sonrasında yapıda önemli sayılabilecek hasar olmasına karşın binanın yerel veya toptan göçmesi söz konusu değildir. Can güvenliği açısından tehlike görülmemektedir. Binada taşıyıcı olmayan elemanlarda onarım gerekmemektedir.

NP-D (Azaltılmış Hasar): Bu seviyede yaygın bir yapısal olmayan hasar beklenmektedir. Ancak parapet, yığma duvar, cephe kaplaması veya ağır tavan gibi büyük parça düşmesi sonucu bir yaralanma söz konusu değildir. Bu tez çalışması kapsamında yapısal olmayan elemanlarda oluşacak performans seviyeleri incelenmemiştir.

4.1.5 Bina performans seviyeleri

Bina performans seviyeleri, binadaki taşıyıcı elemanlar ile taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir birleşimi olarak tanımlanır. Binadaki performans seviyelerine ilişkin bilgiler Tablo 4.3 te özetlenmiştir.

Tablo 4.3: Bina Performans Seviyeleri

Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Hasar Kontrolü	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik	SP-5 Yapısal Stabilite	SP-6 Gözönüne Alınmadı
NP-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A				
NP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B			
NP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar		2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Göz önüne Alınmadı			3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilite	

1-A (Kullanıma Devam Performans Seviyesi): Binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar miktarı, kullanımı engelleyecek seviyede değildir.

1-B (Hemen Kullanım Performans Seviyesi): Bu seviye, önemli yapılar için öngörülen bir seviyedir. Bina hacimleri ve sistemleri kullanılabilir durumda. Bina içindeki eşyalarda hasar görülmesi muhtemeldir.

3-C (Can Güvenliği Performans Seviyesi): Yapısal olan ve olmayan elemanlarda hasar meydana gelebilir. Ancak bu hasar sonrasında yaralanma söz konusu olsa da can güvenliği tehlikesi yoktur. Bu seviye, günümüz yönetmeliklerinin yeni binalar için öngördüğü performans seviyesinden biraz daha düşük olarak tanımlanmıştır.

5-E (Yapısal Stabilité Performans Seviyesi): Deprem sonrasında binanın yatay yük taşıma kapasitesi tamamen tükenmiştir. Sistem sadece düşey yük altında taşıyıcılığını sürdürebilir. Artçı depremler ile birlikte yapıda güç tükenmesi meydana gelebilir. Binada, taşıyıcı olan ve olmayan elemanlardan dolayı can güvenliği tehlikesi mevcuttur. Bina rölatif kat ötelemeleri öngörülen sınırların çok üstüne çıkmıştır.

3-D (Bina Performans Seviyesi): Taşıyıcı elemanlarda can güvenliği ve taşıyıcı olmayan elemanlarda azaltılmış hasar seviyelerinin birleşimidir. Yönetmeliklerde esas alınan ve 50 yıllık süre içerisinde aşılma olasılığı %10 olan deprem için verilen deprem kuvvetlerinin %75 ini alarak yapılan güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesini sağlaması öngörülür.

3-B (Bina Performans Seviyesi): Bu seviyede, taşıyıcı sistemdeki hasar binanın kullanımına engel olmamaktadır.

Binalar için önemli sayılabilecek bazı performans seviyeleri Tablo 4.4 te özetlenmiştir.

Tablo 4.4: Binalar için Bazı Önemli Performans Seviyeleri

Bina Performans Seviyesi	Performans Seviyesi	Tanım
1-A	SP-1 NP-A	Kullanıma devam performans seviyesi : Yedek sistemlerin devreye girmesi ile kullanıma devam ediliyor, çok az hasar söz konusudur.
1-B	SP-1 NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi : İnceleme sonucu binanın kullanılabilir olduğuna karar veriliyor, küçük onarım gerekli olabilir.
3-C	SP-3 NP-C	Can güvenliği performans seviyesi : Taşıyıcı sistemin kapasitesi hala yeterli, taşıyıcı olmayan sistemde hasar kontrol altındadır.
5-E	SP-5 NP-E	Yapısal stabilite : Bina ancak ayakta duruyor. Bunun dışındaki her türlü hasar kabul ediliyor.

4.1.6 Deprem etki seviyeleri

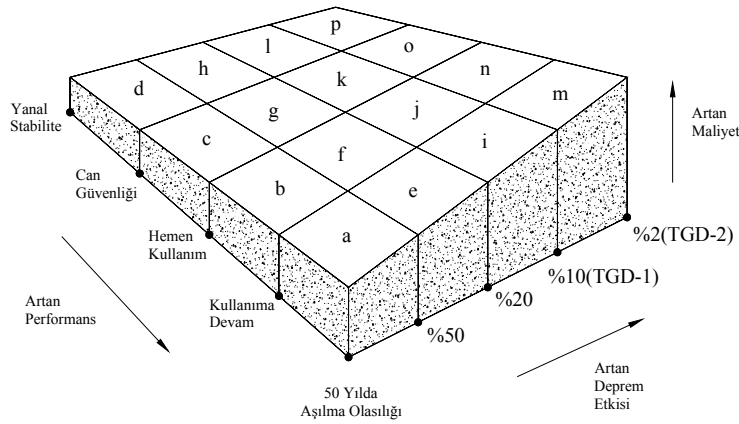
Deprem hareketini temsil edebilmek için üç adet deprem etki seviyesi tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla, kullanım depremi, tasarım depremi ve maksimum deprem olarak isimlendirilirler. Performansa dayalı tasarımda, bir binanın performans seviyesi belirlenirken, bu binanın hangi deprem etki seviyesinde bulunacağını tanımlanması gerekir. Ayrıca deprem etki seviyesinin belirlenmesi için spektrum eğrisinin tanımlanması gerekir. Deprem etki seviyesinin tanımında, 50 yıllık bir dönüş periyodu esas alınıp aşılma olasılıklarına bağlı olarak çeşitli büyüklükteki deprem etkileri tanımlanır. Bu tanımlara göre 50 yıllık dönüş periyoduna bağlı kalınarak sırasıyla aşılma olasılıkları %50, %20, %10 ve %2 olan deprem etki seviyeleri alınmaktadır. Buna göre, etki seviyeleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Kullanım depremi olarak %50/50 yıl deprem etkileri göz önüne alınır ve bu deprem tasarım depreminin yarısı olarak kabul edilir. Ortalama dönüş periyodu 75 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca bir veya iki kere ortaya çıkması olası gözükmemektedir.

Tasarım depremi olarak %10/50 yıl deprem etkileri göz önüne alınır. Bu depremin etki seviyesi, yönetmeliklerde yeni binaların tasarımında kullanılmak üzere verilmiştir. Ortalama dönüş periyodu 500 yıl olan bu deprem etkisinin yapının ömrü boyunca ortaya çıkması pek olası değildir.

Maksimum deprem olarak 1000 yıllık dönüş periyodu olan deprem göz önüne alınır. Maksimum deprem etki seviyesinin tasarım depreminin 1.25 ile 1.50 katı arasında etkisi olduğu söylenebilir. Yönetmeliklerde yer alan bina önem katsayısı tanımı ile bu arttırım göz önüne alınmış olmaktadır.

Tablo 4.5 te, çeşitli deprem etki seviyeleri için yukarıda tarif edilen durumlar anlatılmak istenmiştir. Seçilen performans noktasının maliyetle olan ilişkisi Şekil 4.1 den görülebilmektedir. Şekilde a-f-k-p ile sembolize edilen performans amaçları ana binalara yönelik, e-j-o performans amaçları önemli binalar için ve i-n performans amaçları çok özel binalar için önerilmektedir.



Şekil 4.1: Bina Performans Seviyeleri

Tablo 4.5: Deprem Etki Seviyeleri

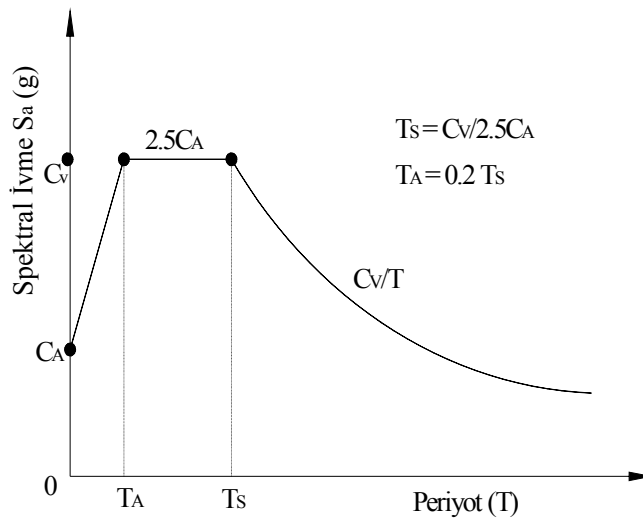
	Bina Performans Seviyesi			
Deprem Etki Seviyesi	Kullanıma devam performans seviyesi 1-A	Hemen kullanım performans seviyesi 1-B	Can güvenliği performans seviyesi 3-C	Yapısal stabilite performans seviyesi 5-E
%50/50yıl Kullanım Depremi	a	b	c	d
%20/50 yıl	e	f	g	h
TGD-1 %10/50yıl Tasarım Depremi	i	j	k	l
TGD-2 ~%2/50yıl Maksimum Deprem	m	n	o	p

4.1.7 Deprem bölgesi sismik karakteristikleri

Hesaplarda göz önüne alınacak depremin temsil edilebilmesi gerekir. Temsil edilen bu depremin etki seviyesini göstermek amacıyla spektrum eğrileri tanımlanır. Diğer bir anlatımla, spektrum eğrisi deprem etkisini temsil eder. Bu eğrinin tanımında C_A ve C_V parametreleri kullanılır.

4.1.8 Elastik ivme-periyot spektrum eğrisi

Şekil 3.2 de tipik bir elastik ivme-periyot spektrum diyagramı görülmektedir. Burada C_A zeminin etkili maksimum ivme katsayısını gösterir. C_V ise periyodu 1s olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini gösterir. Bu parametreler deprem katsayısına ZEN ve zemin sınıfına bağlıdır. ZEN ifadesi deprem bölge katsayısı Z , deprem etkisi türü katsayısı E , deprem kaynağına uzaklık N katsayısının çarpımına eşittir. Söz konusu katsayılar Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9 ve Tablo 4.10 da görülmektedir.



Şekil 4.2: ($S_a - T$) Spektrum Eğrisi

Tablo 4.6: Kaynağa Uzaklık Katsayısı

Deprem Kaynağı Türü	Deprem Kaynağına Uzaklık							
	≤ 2 km		5 km		10 km		≥ 15 km	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A: Büyük Deprem Oluşturan Kaynak	1.5	2.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0
B: Orta Deprem Oluşturan Kaynak	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
C: Küçük Deprem Oluşturan Kaynak	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tablo 4.7: Deprem Bölge Katsayısı

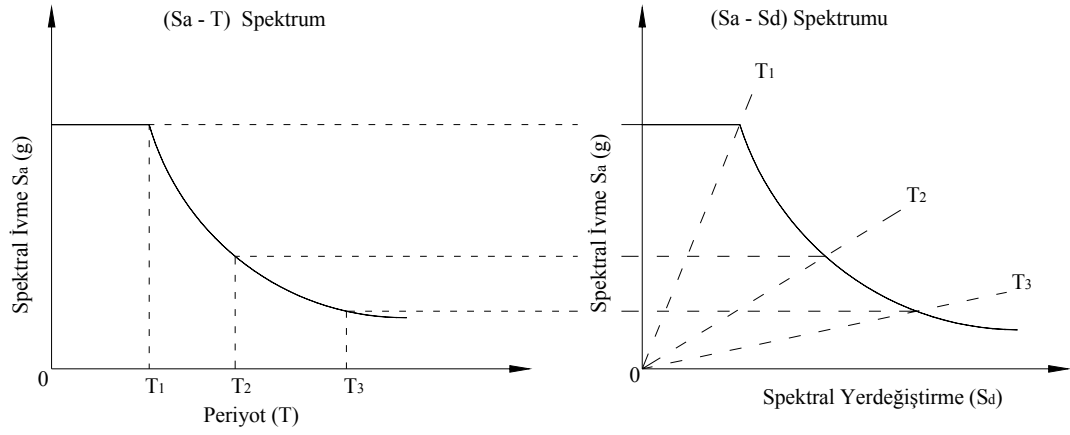
Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

4.1.9 Elastik İvme-Yerdeğiştirme Spektrum Eğrisi

Genel halde, $S_a(T)$ ivme spektrum eğrilerinin yatay ekseninde tek serbestlik dereceli sistemin periyodu, düşey ekseninde ise sistemde meydana geldiği kabul edilen mutlak ivmenin en büyük değeri bulunur. Bilindiği gibi, yerdeğiştirme spektrumu ile ivme spektrumu arasında,

$$S_d(T) = \frac{1}{\omega^2} g S_a(T) \approx \frac{T^2}{4\pi^2} g S_a(T) \quad (4.1)$$

bağıntısı bulunmaktadır. Bu bağıntı aracılığı ile, ivme spektrum değerinden yaklaşık yerdeğiştirme spektrum değerine geçilebilir. Elde edilen yerdeğiştirme spektrum eğrisine Talep Spektrum Eğrisi (S_a - S_d) adı verilir. Böylece, yönetmeliklerde öngörülen deprem etkisi temsil edilmiş olur. Şekil 4.3 te ivme spektrumundan talep spektrumu elde edilmesi anlatılmak istenmiştir.



Şekil 4.3: İvme Spektrumundan Talep Spektrumunun Elde Edilmesi

Tablo 4.8: Deprem Katsayısı, C_A

CA	Deprem Katsayısı : ZEN					
Zemin	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	> 0.40
SA	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
SC	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0*ZEN
SD	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.1*ZEN
SE	0.19	0.3	0.34	0.36	0.36	0.90*ZEN
SF	Yerel Zemin İncelemesi Gerekli					

(E=0.5 kullanım depremi, E=1.0 tasarım depremi, E=1.25 veya 1.5 maksimum deprem)

Tablo 4.9: Deprem Katsayısı, C_V

CV	Deprem Katsayısı : ZEN					
Zemin Sınıfı	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	> 0.40
SA	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
SC	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4*ZEN
SD	0.18	0.32	0.4	0.54	0.64	1.6*ZEN
SE	0.26	0.5	0.64	0.84	0.96	2.4*ZEN
SF	Yerel Zemin İncelemesi Gerekli					

(E=0.5 kullanma depremi, E=1.0 tasarım depremi, E=1.25 veya 1.5 maksimum deprem)

Tablo 4.10: Zemin Sınıflarının Tanımı

Zemin Sınıfı ve Tanımı	SA	SB	SC	SD	SE	SF
	Sert Kaya	Kaya	Sıkı zemin, yumuşak kaya	Sert Zemin	Yumuşak Zemin	Yerel Zemin İncelemesi gerekli

4.1.10 Kapasite spektrum yöntemi

Yapıların analizinde kullanılan hesap yöntemleri

- Elastik yöntemler
- Basitleştirilmiş lineer olmayan yöntemler
 - Kapasite spektrum yöntemi
 - Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi
 - İkincil (secant) yöntem
- Zaman tanım alanında hesap yöntemi

olarak sıralanabilir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi pratik değildir. Hatta detaylı bir yöntemdir. Bu yöntem yerine basitleştirilmiş lineer olmayan hesap yöntemleri tercih edilmektedir. Bu doğrultuda, bu bölümde kapasite spektrum yöntemi anlatılacaktır. Yöntemin esası, sabit düşey yükler altında artan yatay yükler için, yapının öngörülen deplasman sınırına kadar itilmesidir. Kapasite, talep ve performans noktası yöntemin üç anahtar terimidir.

Kapasite deprem etkisine karşı yapının gösterdiği dayanımdır. Bir yapının kapasitesi, onu oluşturan elemanların her birinin şekil değiştirme kapasitelerine bağlı olarak belirlenir. Sözkonusu kapasiteyi belirleyebilmek için itme analizi uygulanmaktadır.

Talep yapının boyutlandırılmasında esas alınan deprem etkisi olarak tanımlanabilir. Bu etki, yapıda gelişigüzel yer değiştirmelerin meydana gelmesine sebep olur. Göz önüne alınan her bir deprem için, her bir zaman diliminde bu hareketin izini sürmek ve tasarımda kullanmak pratik değildir. Bu yüzden spektrum eğrileri kullanılmaktadır.

Performans kapasite ile talep eğrisinin kesişimi olarak tarif edilebilir. Deprem talebi altında yapının gösterdiği davranış performans noktasını oluşturmaktadır. Bu noktanın kontrolü ile, öngörülen hedeflerin tutarlılığı incelenmektedir.

Yapının kapasitesi, kapasite eğrisi adı verilen kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ile temsil edilir. Bu eğriyi elde etmek için, taban kesme kuvveti ile en üst kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki kaydedilir. Buna göre, hesapta izlenilen yol aşağıdaki adımlardan oluşur.

- Yapıyı oluşturan elemanların bünye denklemlerine bağlı kalınarak taşıyıcı sistem modeli oluşturulur.
- Her bir eleman yapısal ve yapısal olmayan eleman olarak tanımlanır.
- Yatay kuvvetler, kat kütlesi ve kat yüksekliği ile orantılı olarak katlara dağıtılır.
- Herbir adımda, artan yatay yükler için kesit tesirleri belirlenir.
- Herbir adımda taban kesme kuvveti ve en üst kat yerdeğiştirmesi hesaplanır.
- Akma koşulunun sağlandığı ilk eleman çok küçük rijitliğe sahip olacak biçimde yeniden tanımlanır.
- Arttırılmış yeni yatay yük değeri yapıya uygulanarak diğer elemanlarda da akma koşulları sağlatılır.
- Artan yatay yükler ile birlikte taban kesme kuvveti ve en üst katın yatay yerdeğiştirmesi gözden geçirilir.
- Son iki adım yeter sayıda tekrar edilerek yapı göçme sınır durumuna getirilir. Sınır durum halleri, $P - \Delta$ etkisi nedeniyle sistemin stabilitesinin bozulması, yer değiştirmelerin hedeflenen performans seviyesini aşması veya toptan göçme olarak tanımlanabilir

4.1.11 Elastik ivme-yerdeğiştirme spektrumunun sönüm ile azaltılması

Yapının ve zeminin özelliğinden dolayı deprem hareketi altında yapılarda değişik türden sönümler ortaya çıkar:

- Dış viskoz sönüm: Yapının içinde bulunduğu ortamın meydana getirdiği sönümdür. Genellikle ihmal edilir.
- İç viskoz sönüm: Yapı malzemesinin iç sönümüdür. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki plastik yerdeğiştirmeler iç viskoz sönüme sebep olur.
- Coulomb rijid cisim sönümü: Taşıyıcı sistemin mesnetlerinde ve birleşim bölgelerinde ortaya çıkar.
- Çevrimsel sönüm: Malzemenin doğrusal olmayan davranışında ve yükün yön değiştiren türden etkimesi durumunda meydana gelir.

- Enerji yayılma sönümü: Deprem hareketi zemin tabakalarında ilerlerken bu sönüm meydana gelir. Deprem enerjisinin yapıya gelip, yansıyıp geri dönmek üzere ortamda yayılıp kaybolmasıdır.

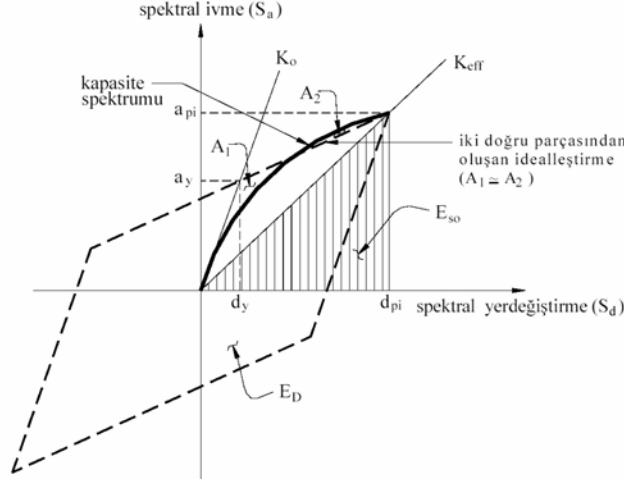
Yönetmeliklerde verilen ve bu yöntemde de öngörülen elastik ivme-yerdeğiştirme spektrum eğrisi %5 lik bir sönümü içerir, ancak depremin etkisinde yapıda çevrimsel sönümler de söz konusudur. Deprem etkisi altında yerdeğiştirme ile yük arasındaki bağıntı Şekil 2.10 da görüldüğü gibi elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değişim gösterir. Bu eğrinin içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_0 olarak eşdeğer viskoz sönüme yaklaşık olarak dönüştürülebilir. Sonuç olarak etkili toplam sönüm oranı β_{ef}

$$\beta_{ef} = \beta_0 + 0.05 \quad \beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{s0}} \quad (4.2)$$

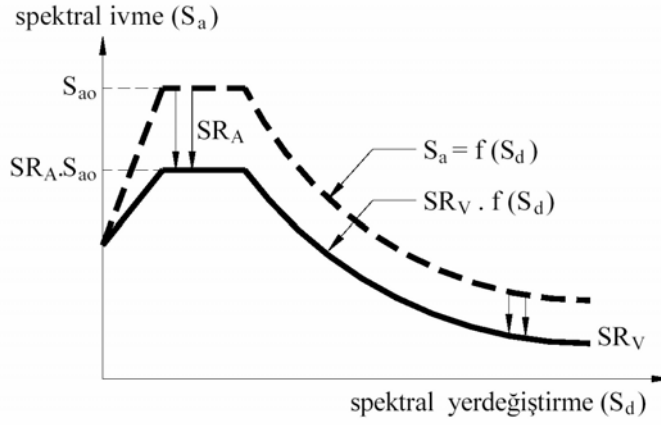
olarak bulunabilir. Burada E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup, çevrim içinde kalan alana ve E_{s0} aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisine karşı gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak,

$$\beta_{ef} = \beta_0 + 0.05 = 0.64 \kappa \frac{a_y d_{pi} - d_y a_{pi}}{a_{pi} d_{pi}} + 0.05 \quad (4.3)$$

yazılabilir. Burada d_y ve a_y doğrusal elastik davranışın sınırındaki ve d_{pi} ve a_{pi} hedeflenen performans seviyesindeki yerdeğiştirme ve ivme spektral değerlerini göstermektedir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın gerçek yapıda farklı olabileceği düşüncesiyle bir κ düzeltme katsayısı öngörülmüştür.



Şekil 4.4: Spektral Azaltma için Sönüm Elde Edilmesi



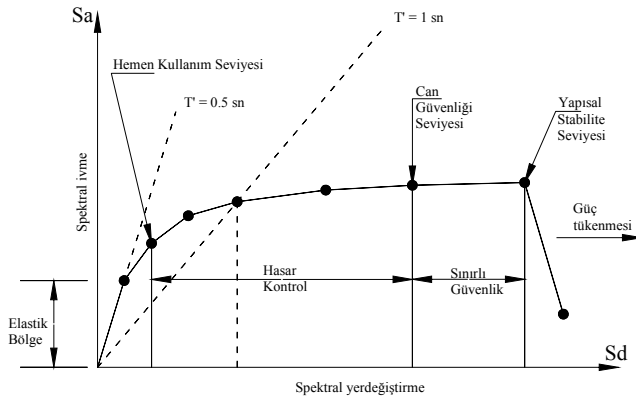
Şekil 4.5: Talep Spektrumunun Azaltılması

Doğrusal olmayan davranışın gözönüne alınması için tanımlanan bu eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda SR_A ve SR_V katsayıları ile azaltma yapılır. Bu katsayılar yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlıdır. Bu konuda detaylı bilgi ilgili kaynağa bakılabilir.

4.1.12 Taşıyıcı sistemin değerlendirilmesi

Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını en üst kat yerdeğiştirmesinin yatay kuvvete bağlı olarak elde edilen kapasite spektrum eğrisinin temsil ettiği kabul edilir. Şekil 2.12 da böyle bir eğri gösterilmiştir. Söz konusu kapasite eğrisinde, başlangıçtan geçen doğrular elastik periyoda karşı gelir. İlerleyen yükleme durumlarında rijitlik azaldıkça periyot da artar. Elastik davranıştan sonra, hasar ile orantılı plastik davranış ortaya çıkar. Yükün artması ile sistemdeki plastik şekil

değiştirmeler sonucu sistem yumuşar ve rijitlik azalır. Eğrinin bu bölümünde kesitlerdeki betonda dökülmeler ve çatlamlar ile donatıda plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Yükleme ile elemanlarda hasar olarak belirlenen bu tür plastik şekil değiştirmeler artarak devam eder. Kesitlerin bir veya bir kaçında plastik mafsallara dönme kapasitelerine erişilmesi sistemi taşıma gücü sınır durumuna getirebilir. Eğer plastik mafsallarda kesitlerinde yeterli dönme kapasitesi varsa, taşıyıcı sistem en sonunda yapısal stabilite sınırına gelir ve güç tükenmesi ortaya çıkar. Herhangi bir yükleme adımında meydana gelen hasar ve taşıyıcı sistemde geriye kalan ek taşıma kapasitesi göz önüne alınarak, hemen kullanım, can güvenliği ve yapısal stabilite performans seviyeleri tanımlanır. Bunun gibi, hasar kontrollü ve sınırlı güvenlik performans aralıkları oluşturulabilir.



Şekil 4.6: Taşıyıcı Sistemde Kapasite Spektrum Eğrisi

4.1.13 Performans noktasının kabul kriterleri

Performans noktasının bulunmasından sonra, bu noktanın bina için öngörülen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. Öngörülen hedeflerin sağlanamaması durumunda performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı elemanların dayanımlarının artırılması gerekmektedir. Söz konusu sınır değerler iki ana grupta toplanmaktadır.

- Bina için öngörülen kabul kriterleri
- Elemanlar için öngörülen kabul kriterleri

Bina için öngörülen kabul kriterleri, binanın düşey yük taşıma kapasitesi, yatay yüklere karşı dayanım ve yatay yer değiştirme ile ilgili sınırlarını içermektedir.

Düşey Yük Taşıma Kapasitesi: Bina taşıyıcı sisteminin düşey yük taşıma kapasitesini, her bir performans seviyesinde sürdürebilmelidir. Bu noktada, betonarmede yeniden dağılım ilkesi göz önünde bulundurulmalıdır.

Yatay Yüklere Karşı Dayanım: Binanın performans noktasındaki toplam yatay yük taşıma kapasitesinin, ilerleyen yükleme adımlarında oluşan plastik mafsallarla beraber, %20 den daha fazla azalmaması gerekir. Böylece, deprem etkisindeki ardışık yükleme sonucu oluşan dayanım azalması sınırlandırılmış olur.

Yatay Yer Değiştirmeler: Performans seviyelerine bağlı olarak rölatif kat ötelemelerinin sınırlandırılması gerekir. Bu konuda ilgili sınır değerler Tablo 4.11 den görülebilir. Tabloda yer alan V_i ifadesi “i.” kata ait kat kesme kuvvetini, P_i ifadesi de “i.” kattaki toplam düşey yükü temsil etmektedir.

Tablo 4.11: Katlar Arası Yerdeğiştirmenin Kat Yüksekliğine Oranı

	Performans Seviyesi			
Katlar Arası Yerdeğiştirme / Kat Yüksekliği Sınırı	Hemen Kullanım	Hasar Kontrolü	Can Güvenliği	Yapısal Stabilité
Maksimum Toplam Oranı	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33V_i/P_i$
En Büyük Elastik Ötesi Yerdeğiştirme Oranı	0.005	0.005-0.015	sınır yok	sınır yok

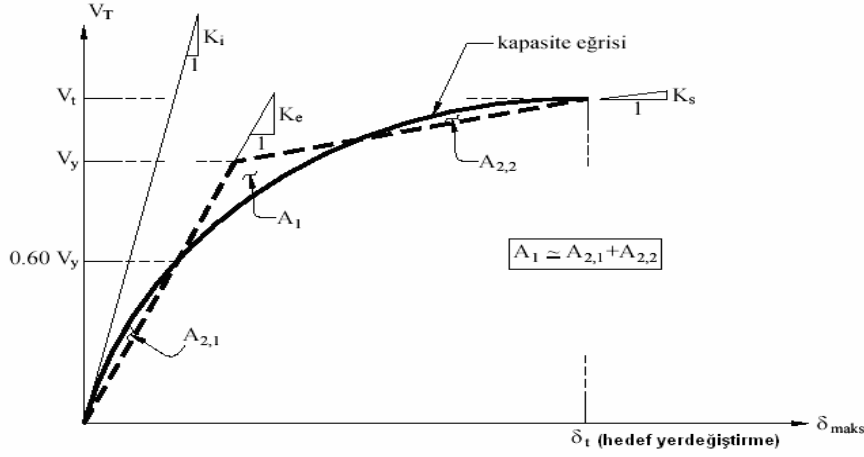
Yapıların elemanları taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar şeklinde ikiye ayrılır. Benzer şekilde taşıyıcı elemanlar da kendi aralarında birincil ve ikincil olarak sınıflandırılırlar. Kapasite eğrisi üzerinde elde edilen performans noktasında her eleman üzerindeki gerilmeler ve şekil değiştirmeler hesaplanarak, kabul edilen performans noktasının koşullarını sağlayıp sağlamadıkları ve gerekli sınırlar altında kalıp kalmadıkları kontrol edilir. Elemanlar için uygulanan kabul kriterleri, elemanların türüne ve bunlardaki güç tükenmesini meydana getiren etkinin şekline bağlı olarak saptanır. Kiriş veya kolonlarda oluşan plastik mafsallı dönmelerinin, sınır değerleri dikkate alınarak kontrol edilmesi gerekir. Söz konusu sınır değerler için ilgili kaynağa bakılabilir.

4.2 FEMA 356 Yaklaşımı

FEMA 356 yaklaşımı ATC 40 yaklaşımının genişletilmesi ile oluşturulmuştur denilebilir. Çünkü, ATC 40 sadece betonarme yapıları kapsamaktadır. Oysaki, FEMA 356 tüm yapı türlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlemelerini içermektedir. Bu yaklaşım kapsamında analiz yöntemi olarak yerdeğiştirme katsayısı yöntemi anlatılmaktadır. Sunulan bu tez çalışmasında da sözkonusu projenin ilgili bölümleri kısaca özetlenecektir. Genel olarak her iki proje, performans seviyesi, performans amacı ve deprem etki seviyeleri tanımları bakımından birbiri ile uyumludur. Sadece isimlendirme farklılıkları vardır. Yapısal stabilite performans seviyesi tanımı yerine toptan göçmenin önlenmesi performans seviyesi tanımı getirilmiştir.[17]

4.2.1 Yer değiştirme katsayıları yöntemi

Yöntemin esası, kapasite spektrum yöntemine benzer olarak, kapasite ve talebin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yer değiştirme talebi grafik olarak değil sayısal bir biçimde belirlenmektedir. Yer değiştirme katsayısı yönteminde ilk olarak, yapıya ait taban kesme kuvvetinin en üst kat yerdeğiştirmesi bağlı olarak değişimini gösteren kapasite eğrisi oluşturulur. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyodu dikkate alınır. Sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında yapının doğrusal olmayan analizi yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğri, elastik rijitliği K_e , elastoplastik rijitliği K_s temsil eden iki doğru parçası ile idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite eğrilerinin altında kalan alanların eşit olması esas alınır. Ayrıca K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s doğrularının kestiği noktanın ordinatının 0.60 katı olması esas alınır. İlgili resim Şekil 4.7 de görülebilir.



Şekil 4.7: Gerçek ve İdealleştirilmiş Kapasite Eğrileri

Statik itme analizi sonunda, elde edilen “taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme” itme eğrisinin modal kapasite diyagramına dönüştürülmesi gerekir. Modal yer değiştirme talebi, modal tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan en büyük yer değiştirmesine karşı gelen inelastik spektral yer değiştirme $S_{di}(T_e)$ ye eşittir. Bu büyüklük, eşdeğer doğal periyoda T_e karşı gelen elastik spektral yer değiştirmenin $S_{de}(T_e)$ aşağıda tanımlanan C_1 ve C_2 katsayıları ile çarpılması ile elde edilmektedir.

$$S_{di}(T_e) = C_1 C_2 S_{de}(T_e) \quad (4.4)$$

C_1 katsayısı

$$C_1 = 1 + (R_y - 1)/3.6 \quad T_e < 0.2s \text{ için}$$

$$C_1 = 1 + (R_y - 1)/(90T_e^2) \quad 0.2s \leq T_e \leq 1.0s \text{ için}$$

$$C_1 = 1 \quad T_e > 1.0s \text{ için}$$

C_2 katsayısı

$$C_2 = 1 + (R_y - 1)^2/32 \quad T_e < 0.2s \text{ için}$$

$$C_2 = 1 + (R_y - 1)^2/(800T_e^2) \quad 0.2s \leq T_e \leq 1.0s \text{ için}$$

$$C_2 = 1 \quad T_e > 1.0s \text{ için}$$

Bu bağıntılarda yer alan R_y (dayanım azaltma katsayısı) ise

$$R_y = S_{ac}(T_e)/a_y \quad (4.5)$$

şeklinde tanımlanır. Modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesinin ardından hedef yerdeğiştirmesi, elde edilir. Daha sonra, tepe yerdeğiştirmesi hedef yerdeğiştirmesine eşit oluncaya kadar taşıyıcı sistem itilir.

Kısaca özetlemek gerekirse, yer değiştirme katsayısı yönteminde, hedef yer değiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekir. Başlangıçta seçilen ve sistemin etkin doğal periyodunun hesabına esas olan δ_t yer değiştirmesi ile hesap sonunda bulunan değerlerin birbirine yeterince yakın olması durumunda hedef yer değiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir. Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yer değiştirme bulunduktan sonra performans hedefinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği kontrol edilir. Bunun için sisteme ait büyüklüklerin değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır. Performansı belirlenecek olan yapı sisteminin doğrusal olmayan analizinin yapılabilmesi için modelleme parametrelerine uyulmalıdır. Her iki yaklaşım kapsamında da bu parametreler ilgili kaynaklarda verilmiştir.

5 DOĞRUSAL OLMAYAN ELASTİK HESAP YÖNTEMLERİ İÇİN ABYYHY-2006 YAKLAŞIMI

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanmış bulunan şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılacaktır.

Yönetmelik kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. İlk iki yöntem, yönetmelikte doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için temel alınan Artımsal İtme Analizi'nde kullanılacak olan yöntemlerdir.[1]

5.1 Artımsal İtme Analizi ile Performans Değerlendirmesinde İzlenecek Yol

Artımsal İtme Analizi esas alınarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenecek adımlar aşağıda özetlenmiştir.

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmaktadır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılacak değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal

yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dñnmeler) ve i kuvvet istemleri hesaplanır.

Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yñntemi ile yapılması durumunda, gñzñnñne alınan bñtñn modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilir ve bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dñnmeler) ve i kuvvet istemleri hesaplanır.

Plastikleşen (sñnek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dñnme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit dñzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan ilgili birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit dñzeyinde sñnek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Ayrıca, gñlendirilen bñlme duvarlarında gñrelı kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan şekildeğiştirme istemleri tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit dñzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

5.2 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Yñnetmelikte, doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli’nin kullanılması òngñrñlmñřtñr. Basit eğilme durumunda plastik mafsal hipotezi’ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde tñrñ taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bñlgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin dñzgñn yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Basit eğilme durumunda plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bñlgesi’nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)’nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0.5 h$).

Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bñlgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.

Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden plastik kesit'in, teorik olarak tanımlanan plastik şekildeğiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilir.

(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 eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeylerinin (etkileşim diyagramlarının) tanımlanmasında aşağıdaki koşullara uyulacaktır:

(a) Analizde beton ve donatı çeliğinin mevcut dayanımları esas alınacaktır.

(b) Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.

Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenebilir.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

(a) Kirişlerde: $0.40 EI_o$

(b) Kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $0.40 EI_o$

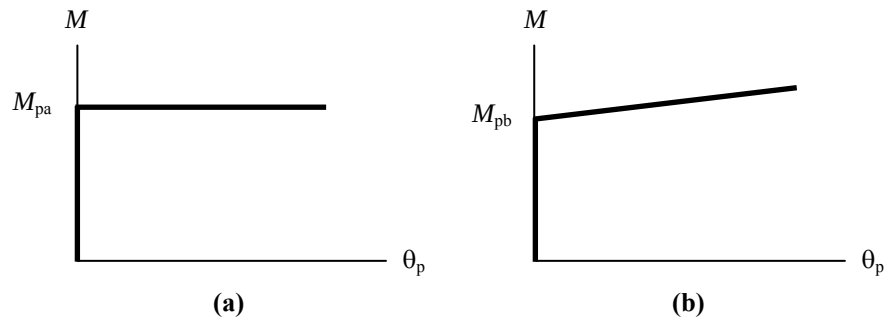
$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $0.80 EI_o$

Yukarıdaki bağıntılarda yer alan eksenel basınç kuvveti N_D , düşey yükler altında hesaplanacaktır. N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki paragraflar dikkate alınacaktır:

(a) İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 5.1 a). Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel 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 alınacaktır.

(b) Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Şekil 5.1 b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanacaktır.



Şekil 5.1: İç Kuvvetlerin Ve Plastik Şekildeğiştirme Vektörünün Sağlaması Gereken Koşullar

5.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin 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 hesaplanacaktır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik 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 yüğü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde 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 tanımlanacaktır. 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 alınacaktır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan itme eğrisi elde edilecektir. 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:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (5.1)$$

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

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (5.2)$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , Denklem (5.3) ile verilen ve x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımındaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan L_{x1} ve M_1 'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin} \quad (5.3)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2)$$

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (5.4)$$

Alternatif olarak, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken olarak gözönüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik kesitler gözönüne alınarak hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim mod şeklinin genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanacaktır.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle modal yerdeğiştirme istemi hesaplanacaktır. Tanım

olarak modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{di1} 'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (5.5)$$

Doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{di1} 'in belirlenmesine ilişkin işlemler aşağıda verilmiştir.

5.4 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Spektral Yerdeğiştirme

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak Denk.(5.6) ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (5.6)$$

Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (5.7)$$

5.5 Spektral Yerdeğiştirme Oranı

Denk.(5.6)'da yer alan spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak Denklem 5.7 veya 5.8'e göre belirlenir.

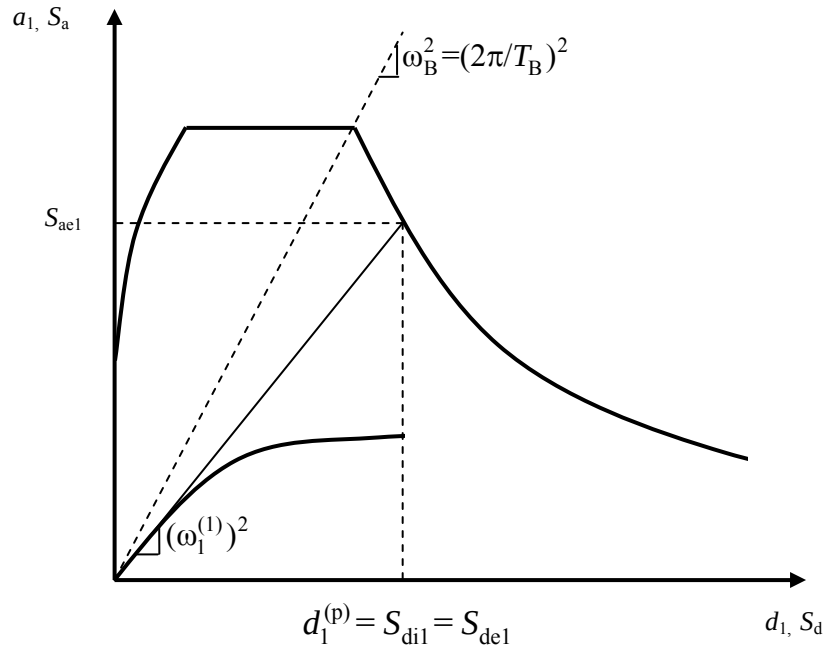
$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, tanımlanan ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$), doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{di1} , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait lineer

elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e eşit alınacaktır. Buna göre Denk.(5.6)'daki spektral yerdeğiştirme oranı:

$$C_{R1} = 1 \quad (5.8)$$

şekil 5.2'de ve onu izleyen şekil 5.3'de 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, tanımlanan ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) ise, Denk.(5.6)'daki spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:



şekil 5.2: Spektral Yerdeğiştirme (S_d) – Spektral İvme (S_a) Olan Davranış Spektrumu

(a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, şekil 5.3(a)'da gösterildiğı üzere, yaklaşık olarak iki doğrulu (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 ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).

(b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, diğer deyişle Denk. (5.7) kullanılarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 5.3(a)'da görülen a_{y1}^0 esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (5.9)$$

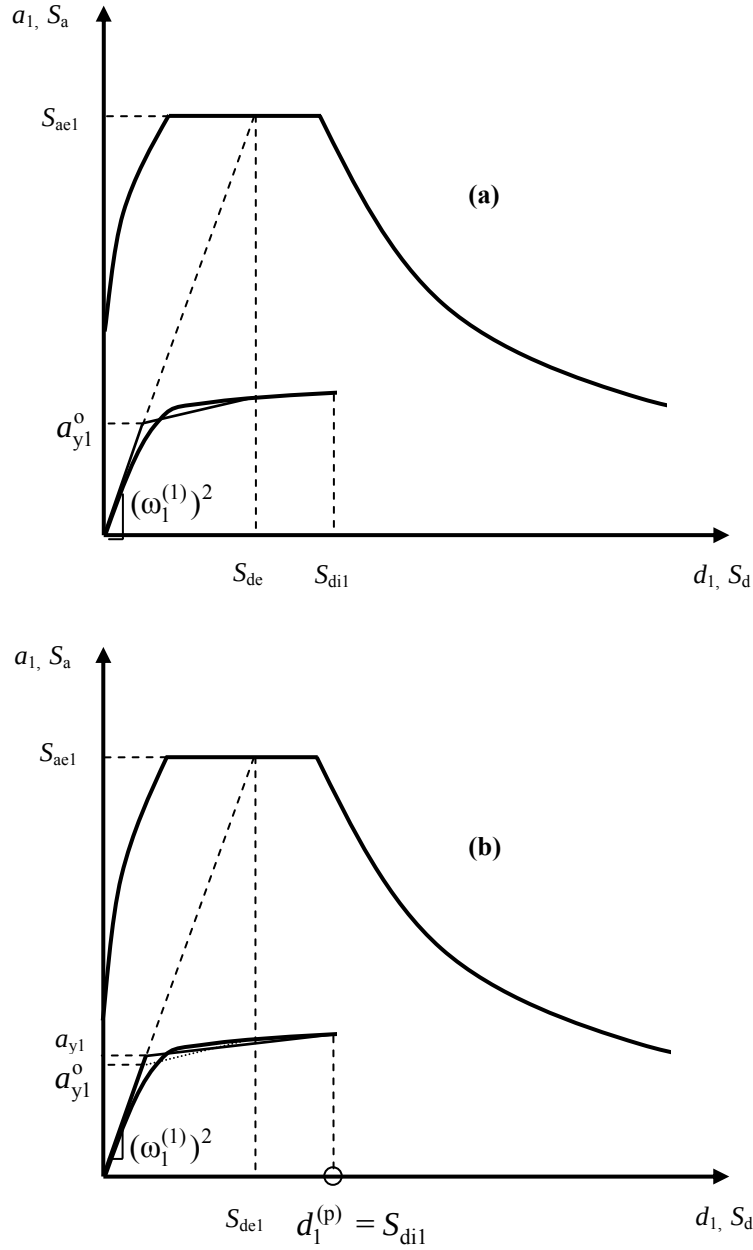
Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ael}}{a_{y1}} \quad (5.10)$$

(c) Denk.(5.9)'dan bulunan C_{R1} kullanılarak Denk.(5.6)'ya göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları, Şekil 5.3(b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

Son itme adımı $i = p$ için Denk.(5.5)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin Denk.(5.2)'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilecektir:[1]

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (5.11)$$



Şekil 5.3: İtme Analizi Sonucunda Elde Edilen Modal Kapasite Diyagramları

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanacaktır.[1]

5.6 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik

olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır.

5.7 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış gözönüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

5.8 Birim şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

İtme analizi veya zaman tanım alanında yapılan hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (5.12)$$

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

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (5.13)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.[1]

5.9 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

Doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirmesinde, başkaca bir modelin seçilmediği durumlarda kullanılmak üzere, sargılı ve sargısız beton için aşağıdaki gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları tanımlanmıştır (Şekil 5.4)

(a) Sargılı betonda beton basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekildeğiştirmesi ϵ_c 'nin fonksiyonu olarak aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir:

$$f_c = \frac{f_{cc} \times r}{r - 1 + x^r} \quad (5.14)$$

Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (5.15)$$

Buradaki f_e etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir:

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (5.16)$$

Bu bağıntılarda f_{yw} enine donatının akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacımsal oranlarını, k_e ise aşağıda tanımlanan sargılama etkinlik katsayısı'nı göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (5.17)$$

Burada a_i kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_o ve h_o göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir. Denk.(5.14)'deki normalize edilmiş beton birim şekildeğiştirmesi x ile r değişkenine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.[1]

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad ; \quad \epsilon_{cc} = \epsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \epsilon_{co} \cong 0.002 \quad (5.18)$$

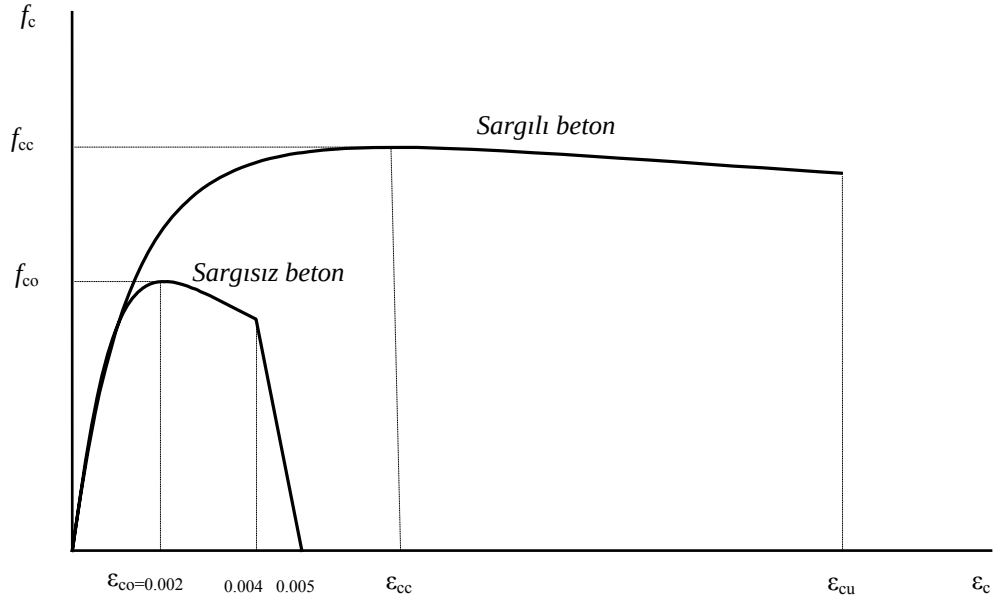
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (5.19)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi ϵ_{cu} aşağıda verilmiştir.

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (5.20)$$

Burada ρ_s toplam enine donatının hacımsal oranını (dikdörtgen kesitlerde $\rho_s = \rho_x + \rho_y$), ϵ_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirmesini göstermektedir.

(b) Sargılı beton için verilen Denk.(5.14), $\epsilon_c = 0.004$ 'e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı $f_e = 0$ ve buna bağılı olarak Denk.(5.15)'den $\lambda_c=1$ olacağından Denk.(5.18) ve Denk.(5.19)'da $f_{cc} = f_{co}$ ve $\epsilon_{cc} = \epsilon_{co}$ alınacaktır. $\epsilon_c = 0.005$ 'de $f_c = 0$ olarak tanımlanır. $0.004 < \epsilon_c \leq 0.005$ aralığında gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi doğrusaldır.[1]



Şekil 5.4: Sargılı ve Sargısız Beton İçin Gerilme Şekil-Değiştirme Bağıntıları

5.10 Donatı Çeliği Modeli

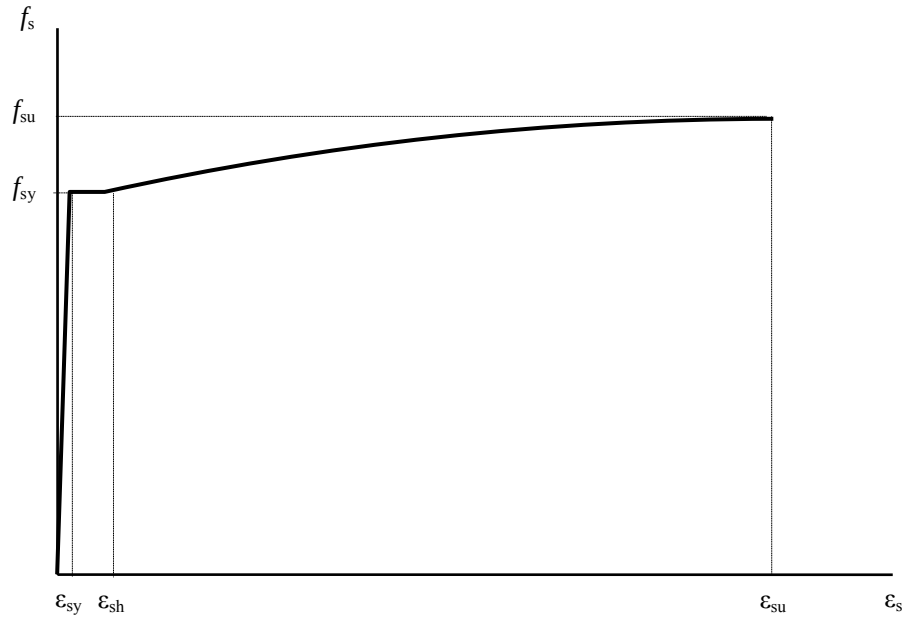
Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları tanımlanmıştır (Şekil 5.5).[1]

$$\begin{aligned}
 f_s &= E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \\
 f_s &= f_{sy} & (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \\
 f_s &= f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} & (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})
 \end{aligned} \tag{5.21}$$

Donatı çeliğinin elastiklik modülü $E_s = 2 \cdot 10^5$ MPa'dır. S220 ve S420 kalitesindeki donatı çeliklerine ait diğer bilgiler aşağıdaki tablodan alınabilir.

Tablo 5.1: S220 ve S420 Donatı Çeliklerine Ait Değerler

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550



Şekil 5.5: Donatı Çeliği İçin Gerilme- Şekil Değiştirme Grafiği

5.11 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden göre elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir.

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

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

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.004 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (5.22)$$

(b) Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (5.23)$$

(c) Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (5.24)$$

6 BİNA DEPREM PERFORMANSININ ABYYHY-2006 YÖNETMELİĞİNE GÖRE TESPİTİ VE GÜÇLENDİRME KARARI

6.1 Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

Binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Bunun sonucuna göre bina için güçlendirme kararları oluşturulur. Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda sırasıyla verilmiştir. Burada verilen kurallar betonarme ve prefabrike beton binalarda geçerlidir.[1]

6.2 Hemen Kullanım Durumu

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. Bu durumda bina Hemen Kullanım Durumu'nda kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

6.3 Can Güvenliği Durumu

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina Can Güvenliği Durumu'nda kabul edilir. Can güvenliği durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki

tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların 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.

6.4 Göçmenin Önlenmesi Durumu

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nda 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 kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

6.5 Göçme Durumu

Bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nu sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binada güçlendirme uygulanmalıdır, ancak güçlendirilmesi ekonomik olarak verimli olmayabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

6.6 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki göreli kat ötelemesi her performans düzeyi için Tablo 6.1'i sağlayacaktır.

Tablo 6.1:Görelî Kat Ötelemesi Sınırları

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_i)_{\max}/h_i$	0.008	0.02	0.03

$(\delta_i)_{\max}$ ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesini, h_i ise kat yüksekliğini göstermektedir.

6.7 Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri

Yönetmelikte tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisini esas almaktadır. 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu tanımlanan spektrumun yaklaşık olarak yarısı, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumu ise tanımlanan spektrumun yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir. Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenecek performans düzeyleri Tablo 6.2’de verilmektedir.

6.8 Binaların Güçlendirilmesi

Binaların güçlendirilmesi, deprem hasarlarına neden olacak kusurlarının giderilmesi, deprem güvenliğini arttırmaya yönelik olarak yeni elemanlar eklenmesi, kütle azaltılması, mevcut elemanlarının deprem davranışlarının geliştirilmesi, kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması türündeki işlemleri içerir.

Güçlendirilen binaların ve elemanlarının deprem güvenliklerinin hesaplanmasında, mevcut binalar için elastik ve elastik olmayan hesap yöntemleri ve değerlendirme esasları kullanılacaktır.

Tablo 6.2: Binalar İçin Farklı Deprem Etkileri Altında Hedeflenen PerformansDüzeyleri

<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Depremi Aşılma Olasılığı</i>		
	50 yılıda %50	50 yılıda %10	50 yılıda %2
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	-	CG	GÖ
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	-

HK: Hemen Kullanım; **CG:** Can Güvenliği; **GÖ:** Göçmenin Önlenmesi

Güçlendirme amacıyla binalara eklenecek yeni elemanların tasarımında, yine yönetmelikte yürürlükte olan yeni eleman boyutlandırması ve donatılması kurallarına uyularak ve bu bölümde verilen özel kurallarla donatılmalıdır.

6.9 Güçlendirme Türleri

Güçlendirme uygulamaları, her taşıyıcı sistem türü için eleman ve bina sistemi düzeyinde olmak üzere iki farklı kapsamda değerlendirilecektir.

Binanın kolon, kiriş, perde, birleşim bölgesi ve dolgu duvar gibi deprem yüklerini karşılayan elemanlarında dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin artırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler eleman güçlendirmesidir.

Binanın taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekildeğiştirme kapasitesinin arttırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, deprem etkilerinin azaltılması amacıyla binaya yeni elemanlar eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, binanın kütlelerinin azaltılması işlemleri sistem güçlendirmesidir.

6.10 Kolonların Mantolanması

Kolonların sünekliğini arttırmaya yönelik olarak kesme ve basınç dayanımlarının arttırılması, kayma ve basınç gerilmelerinin azaltılması ve bindirmeli eklerin zayıflıklarının giderilmesi için aşağıda verilen mantolama yöntemleri kullanılır. Mantolama ile kolonun eğilme kapasitesi arttırılamaz.

6.10.1 Betonarme manto

Mevcut kolonun pas payı sıyrılarak veya yüzeyleri örselenerek uygulanacaktır. Betonarme manto gerek yatay, gerekse düşey donatının yerleştirilmesi, beton dökülmesi ve minimum pas payının sağlanması için yeterli kalınlıkta olmalıdır. En az manto kalınlığı 100 mm'dir. Betonarme manto alt kat döşemesinin 10 mm üstünde başlar ve üst kat döşemesinin 10 mm altında sona erer. Mantolanmış kolonun kayma ve basınç gerilmelerinin ve dayanımlarının hesabında mantolanmış brüt kesit boyutları ile manto betonunun tasarım dayanımı kullanılacak, ancak elde edilen dayanımlar 0.9 ile çarpılarak azaltılacaktır.

6.10.2 Çelik manto

Çelik manto dikdörtgen betonarme kolonların köşelerine dört adet boyuna köşebent yerleştirilmesi ve köşebentlerin belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanması ile oluşturulur. Köşebentler ile betonarme yüzeyler arasında boşluk kalmamalıdır. Yatay plakalar dört yüzeyde sürekli olmalıdır. Çelik mantonun kolon eksenel yük kapasitesini arttırması için korniyerlerin alt ve üst döşemeler arasında sürekli olması (boşlukların alınması) ve döşemelere başlık plakaları ile basınç aktarması sağlanmalıdır. Gerekirse köşebentlere ön yükleme yapılarak mevcut betonarme kolon kesitinin düşey yüklerden kaynaklanan eksenel basınç yükü azaltılabilir. Çelik manto ile sağlanacak ek kesme dayanımı Denk.(6.1) ile hesaplanacaktır.

$$V_j = \frac{t_j b d}{s} f_{yw} \quad (6.1)$$

Denk.(6.1)'de t_j , b , ve s yatay plakaların kalınlığı, genişliği ve aralığı, d ise kesitin faydalı yüksekliğidir. Çelik manto ile bindirmeli eklerin zayıflıklarının giderilmesi için manto boyunun bindirme bölgesi boyundan en az %50 uzun olması ve çelik mantonun donatı bindirme bölgesinde kolonun karşılıklı yüzlerinde düzenlenen en az 16 mm çapında iki sıra bulonlu ankrajla sıkıştırılması gereklidir. Bindirme ekinin kolonun alt ucunda yapılmış olması durumunda en az iki sıra bulonlu ankraj alt döşemenin sırasıyla 250 ve 500 mm üzerinde yapılacaktır.

6.10.3 Lifli polimer (LP) sargı

LP tabakasının kolonların çevresine, lifler enine donatılara paralel olacak şekilde, sarılması ve yapıştırılması ile sargılama sağlanır. LP sargısı ile betonarme kolonların süneklik kapasitesi, kesme ve basınç kuvveti dayanımları ile boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme dayanımı arttırılır. LP sargılama ile yapılan güçlendirmelerde tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalıdır. LP ile yapılan sargılamalarda sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. LP sargısı dikdörtgen kolonlarda kolon köşelerinin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanır. LP uygulaması üretici firma tarafından önerilen yöntemeye uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

6.11 Kolonların Eğilme Kapasitesinin Arttırılması

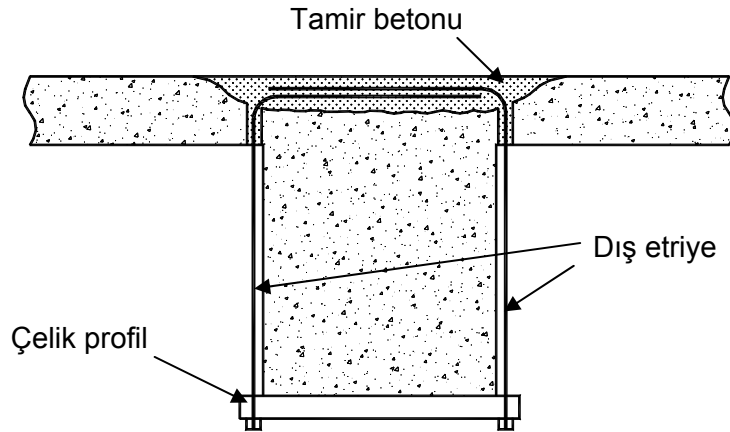
Kolonların eğilme kapasitesini arttırmak için kolon kesitleri büyütülebilir. Bu işlem aynı zamanda kolonun kesme ve basınç kuvveti kapasitelerini de arttırır. Büyütülen kolona eklenen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanacaktır. Boyuna donatılar kat döşemelerinde açılan deliklerden geçirilecektir. Kolonun büyütülen kesiti yönetmelikte bulunan enine donatı kurallarına göre sarılacaktır. Büyütülen kolon kesitinin pas payı, eklenen düşey ve yatay donatıyı örtmek için yeterli kalınlıkta olacaktır. Yeni ve eski betonun aderansının sağlanması için mevcut kolonun yüzeyindeki sıva tabakası sıyrılacak ve beton yüzeyleri pürüzlendirilecektir. Büyütülmüş kolon kesitinin eğilme, kesme, basınç dayanımının ve eğilme rijitliğinin hesabında brüt kesit boyutları ve eklenen kesit betonunun tasarım özellikleri esas alınacak, ancak elde edilen rijitlik ve dayanımlar 0.9 ile çarpılarak azaltılacaktır.

6.12 Kirişlerin Sarılması

Betonarme kirişlerin sarılmasının amacı kirişlerin kesme dayanımlarının ve süneklik kapasitelerinin artırılmasıdır.

6.12.1 Dıştan etriye ekleme

Kesme dayanımı yetersiz olan kiriş mesnet bölgelerinde gerekli sayıda etriye çubuğu kirişin iki yüzüne Şekil 6.1’de gösterildiği gibi dıştan eklenecektir. Kiriş altına yerleştirilen bir çelik profile bulonla bağlanan çubuklar, üstteki döşemede açılan deliklerden geçirilerek döşeme üst yüzeyinde açılan yuvanın içine bükülerek yerleştirilecektir. Daha sonra betonda açılan boşluklar beton ile doldurulacaktır. Bu yöntem aynı esaslarla farklı detaylar kullanılarak da uygulanabilir. Kirişlerin dıştan eklenen etriyeler ile arttırılan kesme dayanımı TS-500’e göre hesaplanacaktır. Dıştan eklenen etriyelerin sargılama etkisi yoktur, kiriş kesitinin sünekliğini arttırmaz. Bu uygulamada profil ve bulonlar dış etkilere karşı korunmalıdır.



Şekil 6.1: Dıştan Etriye Ekleyerek Kiriş Güçlendirme

6.12.2 Lifli polimer (LP) ile sarma

LP sargılama ile kiriş kesme dayanımının arttırılmasında tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalıdır.

6.13 Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmesi

Yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilebilir. Betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak düzenlenebilir.

6.13.1 Çerçeve düzlemi içinde betonarme perde eklenmesi

Betonarme sisteme eklenecek perdeler çerçeve aksının içinde düzenlenecek, temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekli olacaktır. Bu amaçla, perde uç bölgesindeki boyuna donatıların ve gereği durumunda perde gövdesindeki boyuna donatıların perde yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanacaktır. Perdeler, içinde bulundukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacaktır. Ankraj çubukları, mevcut çerçeve elemanları ile eklenen betonarme perde elemanı arasındaki arayüzlerde deprem kuvvetleri altında oluşan kayma gerilmelerini karşılamak için yeterli dayanıma sahip olacaklardır. Arayüzlerdeki kayma gerilmelerinin çerçeve elemanları boyunca dağılımı bilinen mekanik prensiplerine uygun olarak hesaplanacaktır. Ankraj çubuklarının tasarımında TS-500 4.1.7'deki sürtünme kesmesi esasları kullanılacaktır. En küçük ankraj çubuğu çapı 16 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 400 mm olmalıdır. Perde ucunda mevcut kolon bulunmaması durumunda yönetmelikte bulunan esaslara göre perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Perde ucunda mevcut kolon bulunması durumunda mevcut kolondan uç bölgesi olarak yararlanılabilir. Gerekli durumlarda mevcut kolon 6.11'e göre büyütülerek veya mevcut kolona bitişik perde içinde gizli kolon düzenlenerek perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Her iki durumda da perde uç bölgesine eklenecek düşey donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanacaktır. Perdenin altına yönetmeliğin 6. bölümünde verilen esaslar uyarınca temel yapılacaktır. Perde temeli, perde tabanında oluşan iç kuvvetleri temel zeminine güvenle aktaracak şekilde boyutlandırılacaktır. Perde temelinde oluşabilecek dış merkezliği azaltmak amacıyla perde temeli komşu kolonları içerecek şekilde genişletilerek mevcut kolonların eksenel basınç kuvvetlerinden yararlanılabilir. Perde temelinin mevcut temel sistemi ile birlikte çalışması için gerekli önlemler alınacaktır.

6.13.2 Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi

Betonarme sisteme eklenecek perdeler dış çerçeve aksının dışında, çerçeveye bitişik olarak düzenlenecek, temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekli olacaktır. Perdeler bitişik oldukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacaktır. Ankraj çubukları, mevcut çerçeve elemanları ile sisteme eklenen dışmerkezli perde elemanı arasındaki arayüzlerde deprem kuvvetleri altında oluşan kayma gerilmelerini karşılamak için yeterli dayanıma sahip olacaklardır. Ankraj çubuklarının tasarımında **6.13.1** de verilen esaslara uyulacaktır.

Perde ucunda mevcut kolon bulunmaması durumunda yönetmeliğin ilgili bölümünde belirtilen hususlara göre perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Perde ucunda mevcut kolon bulunması durumunda mevcut kolondan uç bölgesi olarak yararlanılabilir. Gerekli durumlarda mevcut kolon **6.11**'ye göre büyütülerek perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Perdenin altına yönetmeliğin 6. bölümünde verilen esaslar uyarınca temel yapılacaktır. Perde temeli, perde tabanında oluşan iç kuvvetleri temel zeminine güvenle aktaracak şekilde boyutlandırılacaktır. Perde temelinde oluşabilecek dış merkezliği azaltmak amacıyla perde temeli komşu kolonları içerecek şekilde genişletilerek mevcut kolonların eksenel basınç kuvvetlerinden yararlanılabilir. Perde temelinin mevcut temel sistemi ile birlikte çalışması için gerekli önlemler alınacaktır.

6.14 Betonarme Sisteme Yeni Çerçeveler Eklenmesi

Betonarme sistemin dışına yeni çerçeveler eklenerek yatay kuvvetlerin paylaşımı sağlanabilir. Sisteme eklenecek çerçevelerin temelleri mevcut binanın temelleri ile birlikte düzenlenecektir. Yeni çerçevelerin mevcut binanın taşıyıcı sistemi ile birlikte çalışması için bu çerçeveler mevcut binanın döşemelerine gerekli yük aktarımını sağlayacak şekilde bağlanacaktır.

6.15 Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması

Kütle azaltılması bir yapı güçlendirme yöntemi değildir. Ancak yapıya etki eden düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin azalan kütle ile orantılı olarak azalacak olması yapı güvenliğini arttıracaktır. Azaltılacak veya kaldırılacak kütle ne kadar yapı üst kotlarına yakın ise, deprem güvenliğini arttırmadaki etkinliği de o kadar fazla olacaktır. En etkili kütle azaltılması türleri binanın üst katının veya katlarının

iptal edilerek kaldırılması, mevcut çatının hafif bir çatı ile değiştirilmesi, çatıda bulunan su deposu vb tesisat ağırlıklarının zemine indirilmesi, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarların, cephe kaplamalarının daha hafif elemanlar ile değiştirilmesidir.

7 MEVCUT BİR BETONARME YAPININ DEPREM GÜVENLİĞİNİN SAPTANMASI ve GÜÇLENDİRİLMESİ

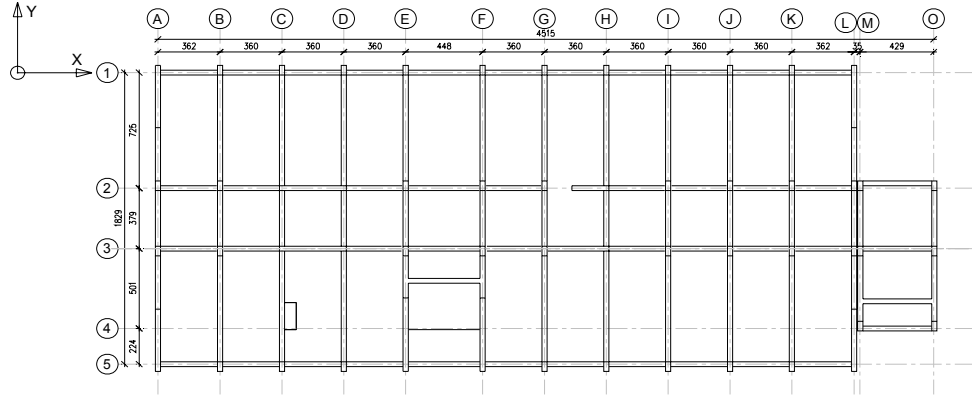
7.1 Yapının Tanıtılması



Şekil 7.1: Yapının Dıştan Görünüşü

Tez kapsamında incelenilen 10403/YA numaralı tip proje Milli Eğitim Bakanlığı tarafından ülkemiz ve İstanbul da sıkça kullanım alanı bulmuştur. ABYYHY-2006 yönetmeliğinde belirtilen hususlar gözönünde bulundurularak projenin uygulandığı bir okul binası incelenmiştir.

Mevcut bina inşası 1992 yılında tamamlanmış bir okul yapısıdır. Giriş ile birlikte toplam 4 katlıdır. Kat yüksekliği sabit olup 3.2 m'dir. Toplam bina yüksekliği 12.8 m'dir. Binanın plandaki boyutları 18.2 m × 40.5 m'dir (Şekil 6.2). Planda ve düşey de herhangi bir düzensizlik bulunmamaktadır. Ayrıca yapıda öğrenci merdiveni olarak kullanılan ana yapıdan derzle ayrılmış bir merdiven bloğu bulunmaktadır.



Şekil 7.2: Mevcut Yapı Normal Kat Planı

Döşeme kalınlığı 12cm ile 16 cm arasında değişen betonarme plaklardan oluşmaktadır. Döşemelerde süreksizlik düzensizliği söz konusu değildir. Yapının dış duvarlarında 35cm kalınlığında iç duvarlarında ise 17cm kalınlığında boşluklu tuğlalar bulunmaktadır. Duvar yerleşimi tüm katlarda düzenlidir. Yapı 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde hasar görmüştür. Bazı kolon kiriş birleşimlerinde diagonal çatlaklar görülmektedir. Servis yükleri altında kullanılabilirliğini engelleyecek bir sehim problemi veya çatlak bulunmamaktadır.

Yatay yük taşıyıcı sistem, binanın asal eksenlerine paralel X ve Y yönlerinde sırasıyla 4 ve 12 adet düzlem çerçevelerden oluşmaktadır. Düzlem çerçeveleri oluşturan kirişlerin kalınlıkları 30 cm, yükseklikleri ise 70 cm dir. Kolonlarda kısa kenar 30 cm ile 40 cm arasında değişmekte , uzun kenarlar ise 60 cm dir.Çerçeve kolonlarının düşey doğrultuda süreksizliği söz konusu değildir.

Yapıda bulunan perde duvarlar tipik olarak 30 cm x 390 cm dir.X doğrultusunda 4 ve Y doğrultusunda 6 adet olmak üzere toplam 10 adettir.

Yapının temel sistemi münferit temellerden oluşmaktadır ve bağ kirişleri ile birbirlerine bağlanmışlardır.

Yapı ağırlığının hesaplanmasında ve düşey yük analizlerinde kullanılacak olan yükler, TS498 de bulunan katsayılarından yararlanılarak hesaplanmıştır.

7.2 Binadan Bilgi Toplanması

Yeni deprem yönetmeliğinde kullanım süresi içinde deprem ve benzeri etkilere maruz kalması muhtemel olan mevcut yapıların taşıyıcı sistemindeki belirsizliklerinin yeni yapılacak binalara oranla fazla olması sebebiyle yapıdan derlenecek olan verilerin kapsamına göre tanımlanmış olan bilgi düzeyi katsayıları ile hesap yöntemine yansıtılır.

İşte bu sebeple mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilmelidir.

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür.

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmaktadır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılmaktadır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Sınırlı bilgi düzeyi'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

Orta bilgi düzeyi'nde eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

Kapsamlı bilgi düzeyi'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

Yapıya gerçekleştirilen ziyaretlerle yapıya ait betonarme projeler elde edilmiştir. Ayrıca mevcut geometrinin projelere uygunluğu alınan rölövelerle kontrol edilmiştir. Binanın eleman detaylarına ait projeler mevcuttur. Donatı kontrolü yapılması amacıyla yönetmelikçe öngörülen elemanlarda pas payları sıyrılmış ve uygunluğu görülmüştür(Şekil7.3) (Şekil 7.5).



Şekil 7.3: Kolonlarda Uygulanan Paspayı Açma Deneyi

Mevcut malzeme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla kolon ve perdelerden yeterli sayıda karot alınmış ve gerekli deneyler laboratuvarlarda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen beton mevcut malzeme dayanımının $f_{cm} = 9 \text{ Mpa}$ olduğu tespit edilmiştir(Şekil 7.4).



Şekil 7.4: Yapıya Ait Mevcut Beton Malzeme Dayanımının Öğrenilmesi Amacıyla Gerçekleştirilen Karot Deneyi

Sıyrılan yüzeylerden ve yapılan deneylerden donatı sınıfının S220 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.5: Kiriş ve Kolon Birleşim Noktasına Uygulanan Paspayı Açma Deneyi

Tablo 7.1: Paspayı Açma Deneyleri Sonuçları

<i>Kırım Yeri</i>	<i>Eleman Boyutları</i>	<i>Donatı Çapı (mm)</i>	<i>Etriye Çapı (mm)</i>	<i>Etriye Aralığı (mm)</i>	<i>Sıklaştırma Bölgesi</i>
G / EORC1	410	14 - 16 - 18	9	230 - 255	yok
1 / EORC2	335	16	8	280 - 310	yok
2 / EORC3	350	18	9	270 - 325	yok
3 / EORC4	650	16 - 18	9	270 - 320	yok
G / EORB1	330 - 700	14 - 16	8 - 9	155 - 230	yok
1 / EORB2	280 - 670	12 - 14 - 16 - 18	8 - 9	130 - 280	yok
2 / EORB3	320 - 650	12 - 14 - 16	9	130 - 240	yok

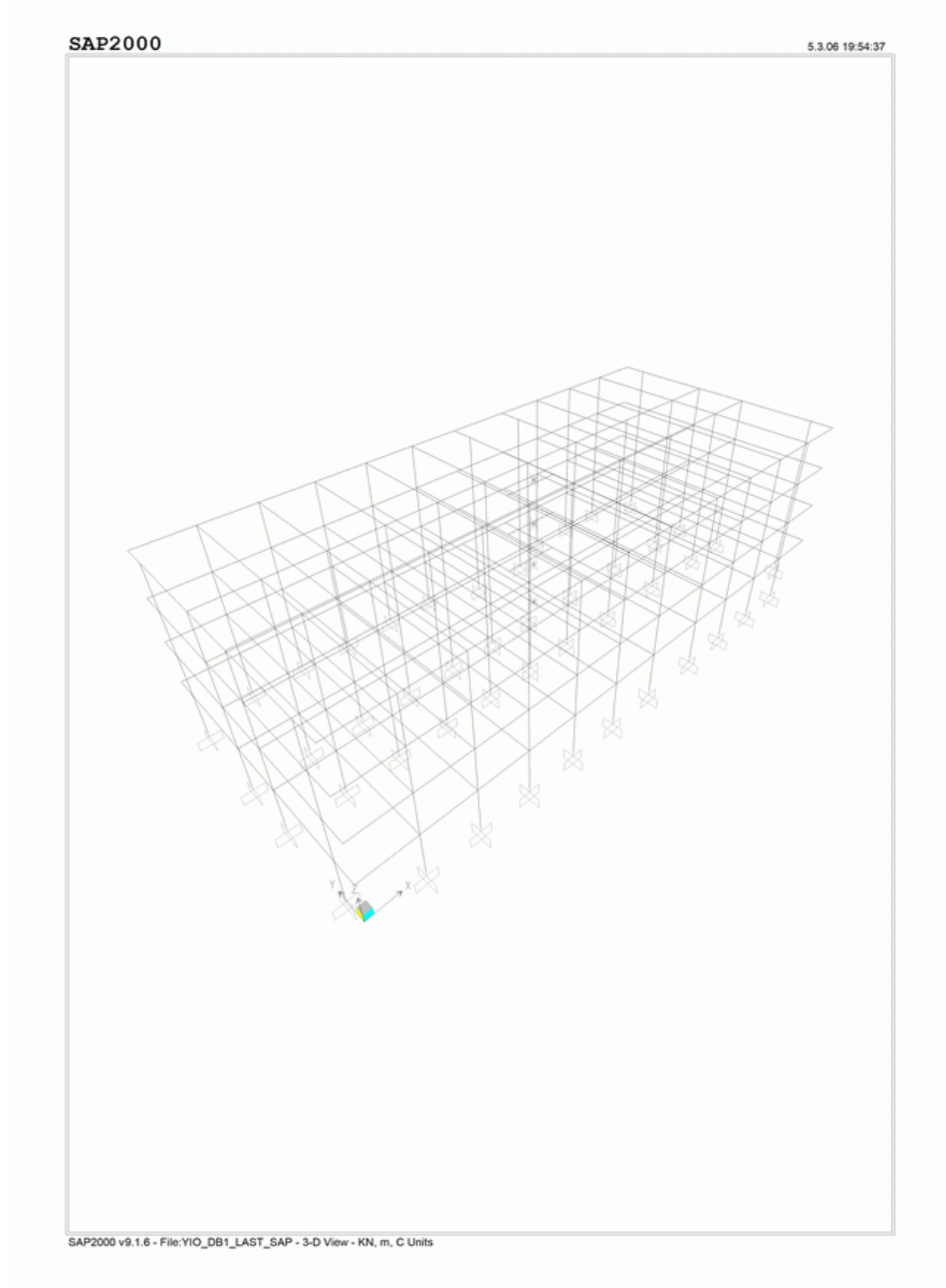
Yapılan araştırmalar sonucu yapıdan elde edilen verilere göre yapının kapsamlı bilgi düzeyi seviyesinde olduğu görülmüştür. Bilgi düzeyi katsayısı olarak 1 alınmıştır. Eleman kapasitelerinin hesabında mevcut malzeme dayanımları kullanılmıştır.

Ayrıca yapı çevresinde gerçekleştirilen zemin etüdleri ile yapının zeminin Z3 olduğu görülmüş ve herhangi bir sıvılaşma riskinin olmadığı tespit edilmiştir.

Yönetmeliğin 7. bölümünde mevcut yapının deprem hesabının amacı mevcut ve güçlendirilmiş binaların deprem performanslarının belirlenmesidir. Bu amaçla doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinde bina önem katsayısı uygulanmamaktadır. Yapı 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu sebeple $A_0 = 0.4g$ olarak alınmıştır.[1]

Kat seviyelerinde rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Buna göre, yapının deprem yükü analizi yapılırken deprem yükünün etkilediği, atalet kuvveti ve sönüm kuvveti oluşturmeyen yerdeğiştirme bileşenleri indirgenmiştir. Benzer düşünceyle, eşdeğer deprem yükünde zamana bağlı kat kesme kuvvetleri kat seviyelerinde etkiltilmiştir. Taşıyıcı sistem hesabında, kirişlerin dikdörtgen kesitli (tablasız) olduğu kabul edilmiştir. Yapının ankastre olarak zemine mesnetlendiği varsayılmıştır. Dolayısı ile zemin-temel etkileşimi ve bu etkileşimin üst yapıya etkileri bu tez çalışması kapsamı dışında tutulmuştur.

7.3 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemiyle Yapının Mevcut Halinin Analizi



Şekil 7.6: Yapının matematiksel modeli

Mevcut yapının doğrusal elastik hesap yöntemiyle hesabı için mod birleştirme yönteminin kullanılmıştır ve $R_a=1$ alınmıştır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu olan eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesaplanmasında da bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınmıştır.

Yapının matematiksel modeli SAP2000 yapısal analiz programıyla oluşturulmuştur. Sistemde perdeler çubuk eleman olarak modellenmiştir. Döşemeler herhangi bir sonlu eleman ağıyla modele dahil edilmemiş ancak, döşemenin düzlem içi deformasyonlara karşı rijit diyafram gibi çalıştığı kabul edilerek bu davranış, programın özellikleri kullanılarak, kat hizalarındaki düğüm noktalarının döşeme düzlemi içindeki doğrusal deplasmanlarının eşitlenmesi suretiyle modele dahil edilmiştir Z3 sınıfı zemin sınıfı için bölüm 6.7 de tanımlanan 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan elastik ivme spektrumu kullanılmıştır. Deprem hesabında tanımlanan bina önem katsayısı uygulanmamıştır($I=1.0$).

Tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak yapılan hesaplar ile yapıya etki edecek yüklerin yapının gerçek kapasite değerlerinin oranlanmasıyla elde edilecek katsayıların yönetmelikçe verilen etki/kapasite oranları (r) ye kıyaslanması ve eleman hasar bölgeleri tespit edilmesidir. Böylelikle yapının performans noktasının tespiti yapılır.

Etki/kapasite oranları (r) katsayılarının tanımlandığı Tablo 2.1-2.4 den de görüleceği üzere katsayılar yapısal elemanın gevrek, sünek ya da sargılı, sargısız olmasına göre değişmektedir. Bölüm 2 de yapısal elemanlar için gevrek sünek tanımları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Yapıya ait elemanların kapasiteleri hesaplanmış ve sünek ya da gevrek olup olmamaları belirlenmiştir. Ara değerlerin hesaplamalarında yardımcı olması amacıyla visual basic for applications programlama diliyle etki/kapasite oranları (r) nın ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapan ara program yazılmıştır.

Uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınarak kolon ve perde eksenel yükleri, bu elemanlara bağlanan kirişlerin uçlarının uygulanan deprem yönü ile uyumlu eğilme kapasiteleri, eksenel kapasitelerinin düşey bileşenleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Düşey yüklerden kaynaklanan kolon ve perde eksenel kuvvetleri N_D , düşey yükler esas alınarak hesaplanmıştır. Tüm kirişlerin her iki ucunun uygulanan deprem kuvvetinin yönü ile uyumlu yönlerde eğilme kapasitelerine ulaştığı varsayılmış ve böylece hesaplanan toplam kapasite momentlerinden (M_K), düşey yükler altında oluşan kiriş uç momentleri (M_D) çıkartılarak deprem artık kapasite momentleri M_E hesaplanmıştır. Deprem artık kapasite momentlerini dengeleyen kiriş kesme kuvvetleri V_E , Denk.(2.13) ile bulunmuş ve bir kolonun deprem yükleri

altındaki eksenel kuvveti N_E , bu kolon aksına bağlanıp kolonun üstünde yer alan tüm kirişlerden aktarılan V_E kuvvetleri ile toplanmıştır. Kolon kiriş kapasite oranları hesabı Denk(2.14) e göre yapılmış ve KKO oranlarına göre kiriş kapasitelerinde gerekli değişiklikler yapılmıştır.

Tablo 7.2: Yapı Analizi Sonucu Elde Edilen Yapıya Ait Genel Bilgiler

<i>Kat No</i>	<i>Kat Yükseklikleri (m)</i>	<i>Kat Alanı (m²)</i>	<i>Zati Yük (kN)</i>	<i>Hareketli Yük (kN)</i>	<i>Kat Kesme Kuvvetleri (X Yönü) (kN)</i>	<i>Kat Kesme Kuvvetleri (Y Yönü) (kN)</i>
1	3.2	779	8926	2863	34384	34200
2	3.2	779	8709	2862	31254	31185
3	3.2	779	8708	2863	24154	24088
4	3.2	779	8267	0	12484	12313
Toplam	12.8	3116	34610	8588		

Tablo 7.3: Yapıya Ait Periyot Ve Modal Katılım Oranları

Mod.No	Period	UX	UY	UZ	UX	ΣUY	ΣUZ
	(sn)						
1	0.42	0.74	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00
2	0.34	0.00	0.74	0.00	0.74	0.74	0.00
3	0.30	0.00	0.00	0.00	0.74	0.74	0.00
4	0.11	0.19	0.00	0.00	0.93	0.74	0.00
5	0.09	0.00	0.19	0.00	0.93	0.93	0.00
6	0.08	0.00	0.00	0.00	0.93	0.93	0.00
7	0.07	0.00	0.00	0.07	0.93	0.93	0.07
8	0.07	0.00	0.00	0.14	0.93	0.93	0.21
9	0.07	0.00	0.00	0.14	0.93	0.93	0.35
10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.93	0.93	0.35

Yapıdan elde edilen sonuçlardan da görülebileceği (Tablo B.1-5) üzere yapı göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamaktadır. Bu sebeple yapı göçme seviyesindedir. Halbuki yapıya tanımlanan 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için beklenen performans seviyesi Can Güvenliği performans seviyesidir. Sistem genel yapısı itibariyle simetrik kabul edilebileceğinden negatif yönde bir yüklemeye ihtiyaç duyulmamıştır. Sistemin güçlendirilmesi gerekliliği uygulanan doğrusal elastik yöntemlerle görülmüştür.

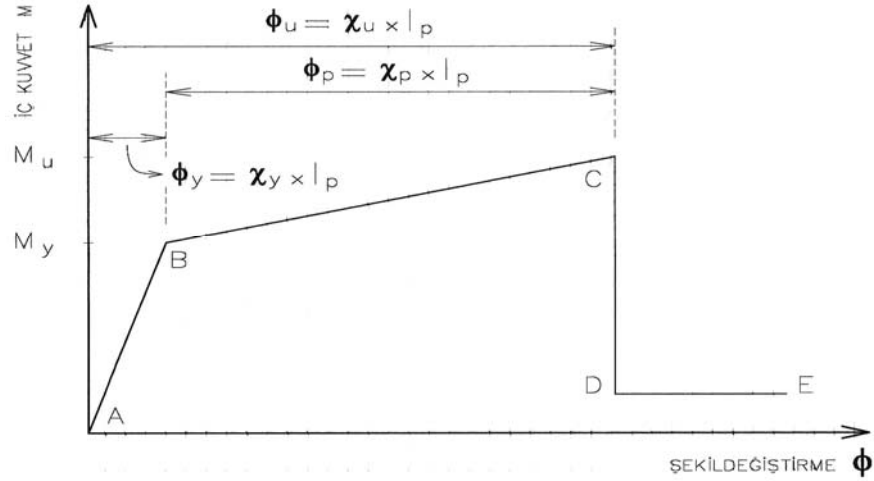
Tablo 7.4: Göreli kat ötelemesi değerleri

KAT	$H_i(m)$	$(\delta_i)_{max}(m)$		$(\delta_i)_{max}/h_i$	
		X	Y	X	Y
1	3.2	0.0125	0.0089	0.0039	0.0028
2	3.2	0.0235	0.0164	0.0074	0.0051
3	3.2	0.0266	0.0184	0.0083	0.0057
4	3.2	0.0251	0.0172	0.0078	0.0054

Görelî kat seviyeleri can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır.

7.4 Yapının Mevcut Halinin Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemiyle Analizi

Seçilen yapı doğrusal elastik hesap yöntemleriyle çözümlemesi yapılmış, gerekli karşılaştırmalar yapılmış ve deprem güvenliği yeterli düzeyde bulunmayarak, perdelerle güçlendirilmesine karar verilmiştir. Ancak buraya kadar yapılan tüm analizlerde, malzeme bakımından doğrusal olmayan davranış gözönüne alınmamıştır. Bu kısımda, seçilen yapının mevcut ve güçlendirilmiş halleri, malzeme bakımından lineer olmayan davranış gözönüne alınarak, göçme yükünün bulunması amacıyla incelenmiştir. İnceleme, yük artımı yöntemiyle SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 7.7: Plastik Mafsallarda İç Kuvvet Şekildeğiştirme İlişkisi

Malzeme bakımından lineer olmayan davranış, kritik kesitlerde oluşması muhtemel plastik mafsalların gözönüne alınmasıyla hesaba katılmıştır. Kullanılan bilgisayar programı, elemanların plastikleşen bölgelerinde yayılı haldeki lineer olmayan şekildeğiştirmenin toplamının, kritik kesitlere atanacak mafsallara yığılması yöntemiyle çözümleme yapmaktadır. Dolayısıyla, mafsal atanan kritik kesitler dışındaki yapı kısımlarının davranışları, bilinen lineer yöntemlerle çözümlemelere katılmaktadır.Çözümlemelerde malzeme bakımından lineer olmayan davranışın tanımlanması amacıyla, biri PMM olarak isimlendirilen ve eksenel normal kuvvetle birlikte eğik eğilmeye maruz elemanların lineer olmayan davranışını yansıtan mafsal türü (kolon, perde), diğeri M olarak isimlendirilen ve basit eğilmeye maruz elemanların lineer olmayan davranışını yansıtan mafsal türü (kiriş) olmak üzere, iki tip mafsal kullanılmıştır. Kayma kapasitesinin ve kayma şekildeğiştirmelerinde hesaba katılması için verilmiş mafsal tipleride mevcuttur. Ancak kayma kapasitesi ve kayma şekildeğiştirmeleri bu bölümde kapsam dışı tutulmuş ve taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti taşıma kapasitesinin aşılması sonucu göçmediği varsayılmıştır.Kullanılacak olan her iki tipteki mafsal içinde, göçmenin dönme sünekliği ile kontrol edildiği bir iç kuvvet şekildeğiştirme eğrisi tanımlanmaktadır (Şekil 7.7). Bu eğride şekildeğiştirme eksenini, plastikleşen bölgedeki toplam dönmeye, kuvvet eksenini ise mafsal atanan kesitteki eğilme momentine karşı gelmektedir. Program mafsallarda akma noktası olarak tabir edilen B noktasına varılıp varılmadığını, mafsalin atandığı kesitteki iç kuvvetin, kesit özellikleri kullanılarak program tarafından bulunan yada, doğrudan kullanıcı tarafından atanan

akma momentine eşit olup olmadığını kontrol etmek suretiyle belirlemektedir. Akma noktasındaki dönme şekildeğiştirilmesi, program tarafından hesaplanmakta yada kullanıcı tarafından atanmakta, ancak her iki haldede akma noktasına varılıp varılmadığının kontrolü için kullanılmamaktadır. Kesite atanan mafsaldaki lineer olmayan davranış, B ve C noktaları arasındaki toplam plastik dönme ve B-C doğrusunun eğimine bağlı olarak güncellenen eğilme rijitliği ile gözönüne alınmaktadır. Bu noktada önemli olan, B-C aralığındaki plastik eğrilik değerinin hesaplanması ve kabul edilebilir bir plastik mafsallık boyu ile çarpılıp, toplam plastik dönmelerin doğru olarak bulunmasıdır. Program herhangi bir plastik mafsalda C noktasına gelindiğinde, yani mafsallığın nihai plastik şekildeğiştirme limitine ulaşıldığında, taşıma kapasitesindeki düşüşü hesaba katmak için yükü azaltmakta ve yeni bir denge hali aramaktadır. Bu yeni denge halinin aranması sırasında, iç kuvvetlerin yeniden dağılımını sağlamak amacıyla üç ayrı yöntem kullanılmaktadır.

Yöntem 1 (Unload Entire Structure) : Herhangi bir plastik mafsalda nihai plastik şekildeğiştirmeye, yani C noktasına ulaşıldığında, program söz konusu mafsaldaki iç kuvvet D noktasına düşene kadar, sisteme tatbik edilen yükü azaltmakta, ancak şekildeğiştirmeleri değiştirmemektedir. Mafsaldaki iç kuvvet D noktasına düştüğünde, mafsallık kesitinde plastikleşen bölgeye ait eğilme rijitliği güncellenen yeni sistemde, yük tekrar arttırılmakta ve bu şekilde iç kuvvetlerin yeniden dağılımı sağlanmaktadır. Yöntem, mafsaldaki iç kuvvetin düşürülmesi için yükde büyük azaltmalar gerekmediği durumlarda iyi sonuçlar vermektedir.

Yöntem 2 (Apply Local Redistribution) : Prensip olarak birinci yöntemle benzetmekle beraber farkı, mafsaldaki iç kuvvetin düşürülmesi için sisteme tatbik edilen yükün azaltılması yerine, mafsallığın atandığı elemandaki yükün azaltılması şeklindedir. Bu amaçla program elemana, geçici ve denge koşullarının sağlayan bir yükleme yapar. Bu yükleme ile mafsaldaki iç kuvvet D noktasına düşürüldükten sonra, yapılan geçici yüklemeler eleman üzerinden kaldırılarak, komşu elemanlara transfer edilir.

Yöntem 3 (Restart Using Secant Stiffness) : Bu yöntem diğer iki yöntemden oldukça farklıdır. Bu yöntemde, herhangi bir plastik mafsallık C noktasına ulaştığı zaman, sistemde plastik şekildeğiştirmelerin başladığı tüm mafsallarda, iç kuvvet şekildeğiştirme eğrisinde bulundukları güncel nokta kullanılarak, C noktasına

ulaşılan mafsalda ise D noktası kullanılarak, kiriş yöntemi ile, mafsal kesitlerinde kullanılan plastikleşen bölgeye ait eğilme rijitlikleri güncellenmekte ve analiz tekrar başlatılmaktadır. Tekrar başlayan analizde, mafsal kesitlerindeki eğilme rijitlikleri, iç kuvvet şekildeğıştirme eğrisini kesen kirişin eğimi ile hesaplanmakta, bulunacak iç kuvvet şekildeğıştirme çifti, kirişin eğiriyi kestiğı noktaya karşı geldiğinde, mafsal kesitlerindeki eğilme rijitlikleri eğrinin eğimi dikkate alınarak yeniden güncellenmektedir. İç kuvvet şekildeğıştirme diyagramlarını kesen kirişin başlangıç noktası, yük artımı analizinin başlangıcında, mafsalın iç kuvvet şekildeğıştirme eğrisi üzerinde bulunduğı nokta olarak alınmaktadır. Bu nokta genellikle, düşey yükler altında yapılan doğrusal olmayan çözümlemeler sonucunda bulunan iç kuvvet şekildeğıştirme çiftine karşı gelmektedir.

7.4.1 Özet ve değerlendirme

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı başlangıçta mevcut binaların incelenmesinde ve gerekli görüldüğü taktirde güçlendirilmesinde kullanılmakta iken, daha sonra yeni yapılacak binaların projelendirilmesinde gerçekçi çözümler elde etmek amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde, mevcut deprem yönetmeliklerinde verilen tek bir çözüme karşılık, performansa dayalı tasarımda, binanın fonksiyonuna ve göz önüne alınacak deprem etkilerine göre birden fazla çözüm sunulabilmektedir.

Deprem yönetmeliğı kurallarına göre gerçekçi çözümler sunan, matematiksel çekiciliğı olan ve ardışık yaklaşım gerektiren bu yöntemin zayıf tarafları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kontrollerde kullanılan tüm sayısal sınır değerler sınırlı sayıdaki çözümlerden elde edilmiştir. Yeni yapılacak çözümlerden kazanılacak deneyimler ile birlikte bu değerlerde değışiklik yapılması ve daha gerçekçi değerlerin elde edilmesi beklenmektedir.
- Yöntem, birinci modun etkin olduğı düşünülerek geliştirilmiştir. Çözümde kapasite eğrisinin elde edilmesinde birinci mod değışimine uygun bir yükleme alınmaktadır. Ancak, plastik şekil değıştirmelerin oluşması ile birlikte rijitlik ve

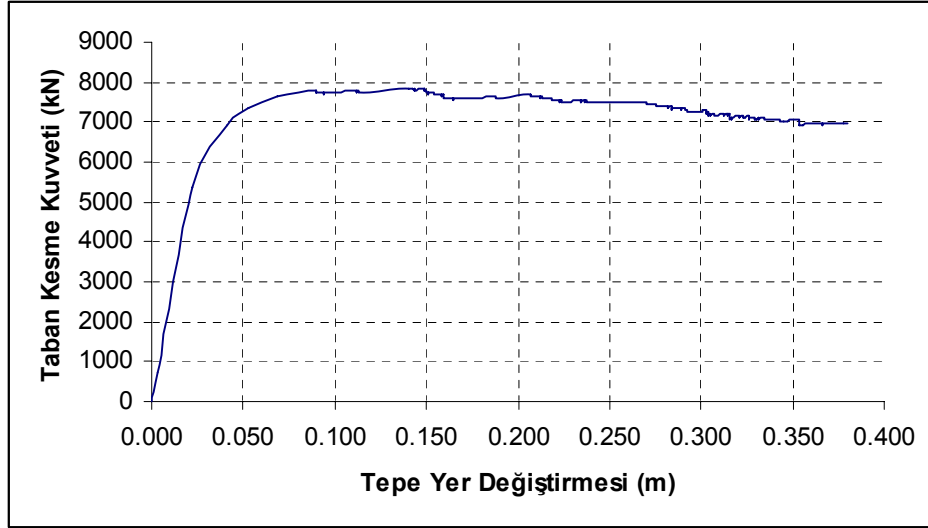
birinci mod olarak kabul edilen titreşim şekli değişir. Ayrıca, periyodu büyük olan binalarda, diğer modların katkısı nedeniyle yöntemin yaklaşıklığı azalır.

- Çözüm genel olarak düzlem çerçeve sistemler için geliştirilmiştir. Üç boyutlu taşıyıcı sistemlere yapılacak genelleştirme için yeni varsayımlara gerek vardır.
- Depremde oluşan plastik mafsallarda çevrimsel şekil değiştirmelerden dolayı önemli miktarlarda enerji tüketilir. Kapasite eğrisi tek bir yönde yapılan yükleme sonucu elde edildiği için, çevrimsel davranışın içinde kalan alanla ilgili olan bu enerji tüketimini yöntemin uygulanmasında belirlemek mümkün değildir. Bu enerji tüketimi sadece bir sönüm katsayısı ile hesaba katılmaktadır.

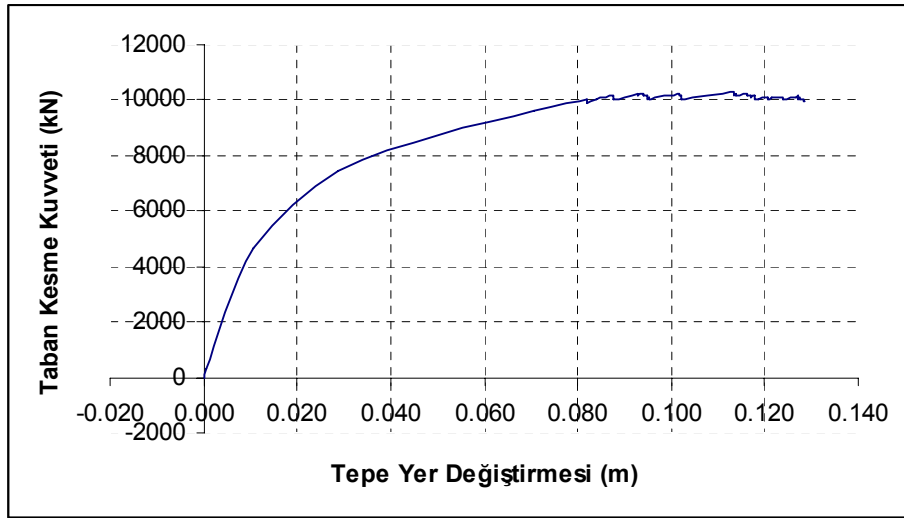
7.4.2 Malzeme yönünden doğrusal olmayan çözümlemeler

SAP2000 Nonlinear programı hakkında verilen bilgiler çerçevesinde, mevcut yapıda, malzeme bakımından lineer olmayan çözümlemeler yapmak üzere matematik modeller hazırlanmıştır. Modellerde kiriş ve perdelerin kritik kesitlerinde M tipi mafsallar, kolonların kritik kesitlerinde ise PMM tipi mafsallar kullanılmıştır. Yapılacak olan malzeme bakımından lineer olmayan çözümlemelerde, kritik kesitlerde göçme anındaki eğriliklerin ve taşıma kapasitelerinin bulunması için, Bölüm 5’ de anlatılan yönetmelikçe öngörülen sarılmış betonda gerilme şekildeğiştirme ilişkisini açıklayan modeller kullanılmıştır. Mevcut taşıyıcı sistem elemanları için kullanılacak olan sarılmış beton gerilme şekildeğiştirme ilişkisi Mander modeli esas alınarak tayin edilmiştir. Bu malzeme karakteristikleri XTRACT bilgisayar programı kullanılarak, taşıyıcı sistem elemanları için bulunan moment eğrilik diyagramları, Ek-A’ da görülebilir. Söz konusu moment eğrilik diyagramlarından elde edilen plastik eğrilikler ve tahmin edilen plastik mafsallık boyları kullanılarak, plastik dönmeler hesaplanmıştır.

Yatay yükler altında yapılan analizlerin başlangıç hali olarak, düşey yükler altında yapılan doğrusal olmayan çözümlemelerin sonuçları kullanılmıştır. Düşey yükler altında yapılan çözümlemelerde, yük artımlarına başvuran yöntem kullanılmış, yatay yükler altında yapılan çözümlemelerde ise yerdeğiştirme artımlarına başvuran yöntem kullanılmıştır. Yatay yükler altındaki çözümlemelerin tümünde, yerdeğiştirmenin izlenmesi, bina tepe kotundaki bir düğüm noktasının mutlak ötelemeleri kullanılarak yapılmıştır.

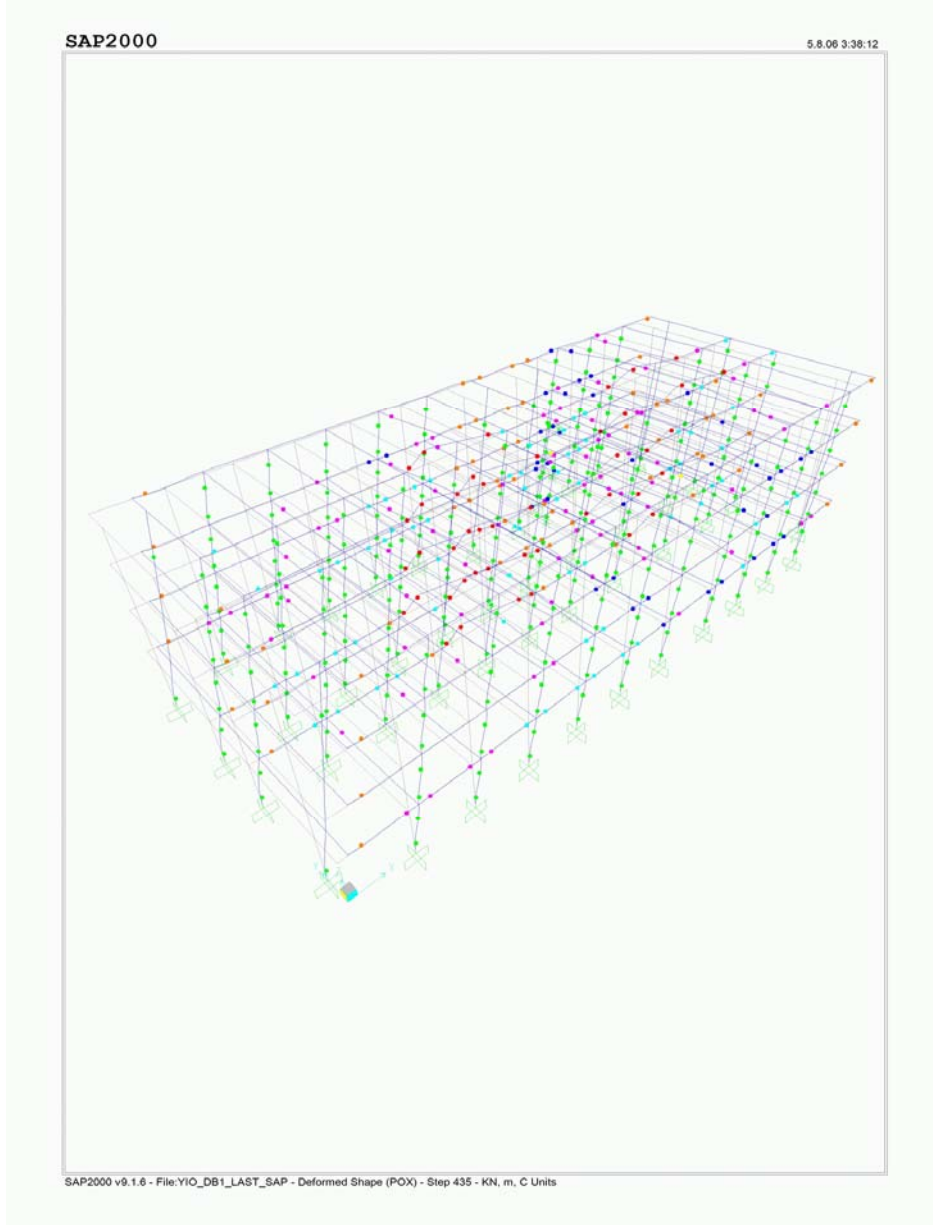


şekil 7.8: Mevcut Yapının +X yönü İtme Analizi Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi



şekil 7.9: Mevcut Yapının +Y yönü İtme Analizi Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi

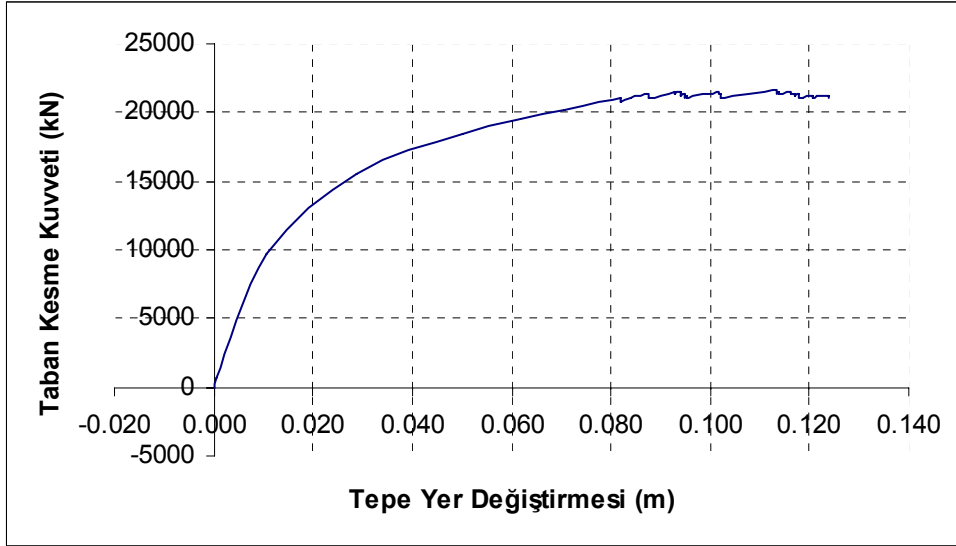
Yapının doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleriyle analiz edilmesi ile elde edilen sonuçlar Ek-B Tablo (B 6-11) de verilmiştir.



Şekil 7.10: Yapıda +X Yüklemesi Sonucu Oluşan Mafsallar

7.5 Yapının Güçlendirilmesi

Yapının doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleri sonuçlarından da görüleceği üzere güçlendirilmesi gerekmektedir. İşte bu sebeple yapı için güçlendirme projesi hazırlanmıştır.



şekil 7.13: Güçlendirilmiş Yapının +Y yönü İtme Analizi Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi

Güçlendirilmiş Sistemin doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleriyle analiziyle elde edilen sonuçlar Ek-B Tablo (B 11-17) de verilmiştir.

8 SONUÇLAR

Bu çalışmada Milli Eğitim Bakanlığının ilk ve orta dereceli okullarda sıklıkla kullanmış olduğu 10403/YA numaralı tip projesinin uygulandığı bir bina yeni deprem yönetmeliği ABYYHY-2006 ya göre incelenmiştir.75 yönetmeliğine göre boyutlandırılmış olan yapıda yönetmeliğin getirmiş olduğu kurallara göre bina bilgi seviyesi belirlenmiştir. Mevcut malzeme dayanımları, yerel zemin koşulları ve yapıya ait projelerin uygun olup olmadığı yapılan testler ve rölöve çalışmaları ile tespit edilmiş ve tez çalışmasında laboratuvar sonuçlarına dayanan veriler kullanılmıştır. Yapıdan elde edilen bilgiler ışığında yapıya yeni yönetmelik dahilinde doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleri uygulanarak hesaplamalar yapılmıştır. Mevcut halin tespiti için yapılan analizlerden görülmüştür ki düşük malzeme özelliklerine sahip olan yapı performans seviyesi olarak göçmenin önlenmesi (GÇ) nin altındadır. Ve yapı güçlendirilmiştir.

Tablo 8.1: Mevcut Sistemin Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle Analizi Sonucu Yapısal Elemanlarda Oluşan Birleştirilmiş Hasar Yüzdeleri

Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle Analiz			
Yapısal Eleman	Minimum Hasar %	Güvenlik Sınırı %	Göçme Sınırı %
Kirişler	88.3	69.3	51.8
Kolonlar	76.4	22.2	16.7
Perdeler	37.5	32.5	25.0

Tablo 8.2: Mevcut Sistemin Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleriyle Analizi Sonucu Yapısal Elemanlarda Oluşan Birleştirilmiş Hasar Yüzdeleri

Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleriyle Analiz			
Yapısal Eleman	Minimum Hasar %	Güvenlik Sınırı %	Göçme Sınırı %
Kirişler	89.6	31.3	0.0
Kolonlar	31.2	983.0	9.8
Perdeler	15.0	10.0	0.0

Doğrusal olmayan analiz yönteminde kullanılmak üzere perdelerin matematik modele dahil edilebilmesi ancak çubuk eleman olarak tanımlama ile sağlanabilmiştir. Mevcut bilgisayar yazılımları şu an için perdelerle plastik mafsalları tanımlama yapamamaktadır. Dolayısıyla, gerçeğe yakın davranışı daha doğru temsil edebilmek için bu problemin biran önce çözülmesi gerekmektedir.

Mevcut binaların incelenmesi amacıyla ortaya çıkmış olan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin yeni yapılacak binalar içinde uygun görülmesi, şu an uygulama kolaylığı bakımından pek pratik görünmemektedir. Kullanıcı tarafından farklı donatı ve alanlara sahip kesitlere plastik mafsalları tanımlaması oldukça zahmetli ve yapı analiz programlarının karmaşık sistem çözme yeteneğine tam olarak sahip olmamaları sebebiyle sorunlu olmaktadır. Yapılarda artacak olan komplekslikle oluşturulacak modeller sonuca ulaşamayacaktır. Bunun yerine deprem yönetmeliğinin öngördüğü elastik analiz yöntemlerinin programlamaya uygun olması sebebiyle varolan işlem kalabalığına rağmen daha pratik olacağı ve kullanıcılar tarafından daha fazla tercih edileceği gözükmemektedir.

Fema356 gibi yabancı yönetmeliklerde eleman hasar durumları tanımlanırken plastik mafsalları dönme değerlerinden hareket edilmiştir, deprem yönetmeliği ise donatıdaki uzama ve betondaki kısılmaya bağlı sınır durumları tanımlamıştır. Mevcut yazılımların plastik dönme değerlerine bağlı sonuçları yorumladığı gözönüne alınırsa bu yazılımların tasarım deprem yönetmeliğine uygun değerlendirme yapabilmesi için yenilenmesi gerekmektedir. Aksi halde yönetmeliğinin öngördüğü kısılma ve uzama miktarlarını hesap edebilmek pratik olmamaktadır.

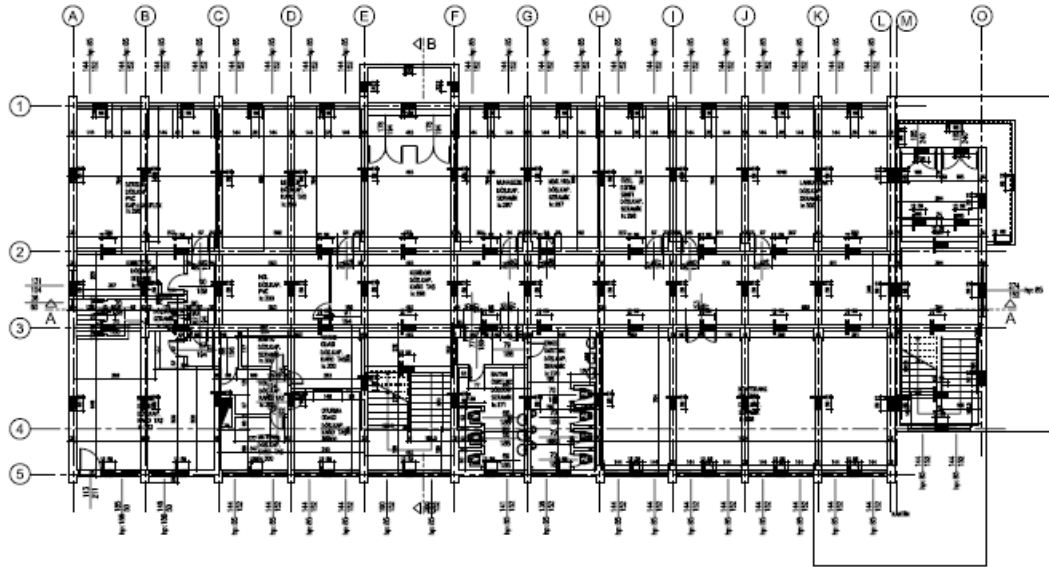
KAYNAKLAR

- [1] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 2006. *İmar İskan Bakanlığı , Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*
- [1] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1997. *İmar İskan Bakanlığı , Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*
- [2] **TS500**, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [3] **TS498**, 1984. Betonarme Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*
- [4] **ACI 318-99**, 2000. Building Code Requeriments for Structural Concrete, *American Concrete Institute , Michigan.*
- [5] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2005. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [6] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [7] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2001. Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [8] **Ersoy, U., Özcebe, G.**, 2001. Betonarme, Bizim Büro Basımevi, Ankara
- [9] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı için Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinesi Programları, CiltI ve Cilt II, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [10] **Özer, E.**, 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul.
- [11] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Limit Yükün ve Göçme Güvenliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artım Yöntemi, *Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- [12] **İrtem, E., Türker, K., Hasgöl, U.**, 2003. Türk Deprem Yönetmeliğinin Performans Hedeflerinin Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, *V. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İTÜ, İstanbul, 26-30 Mayıs.*

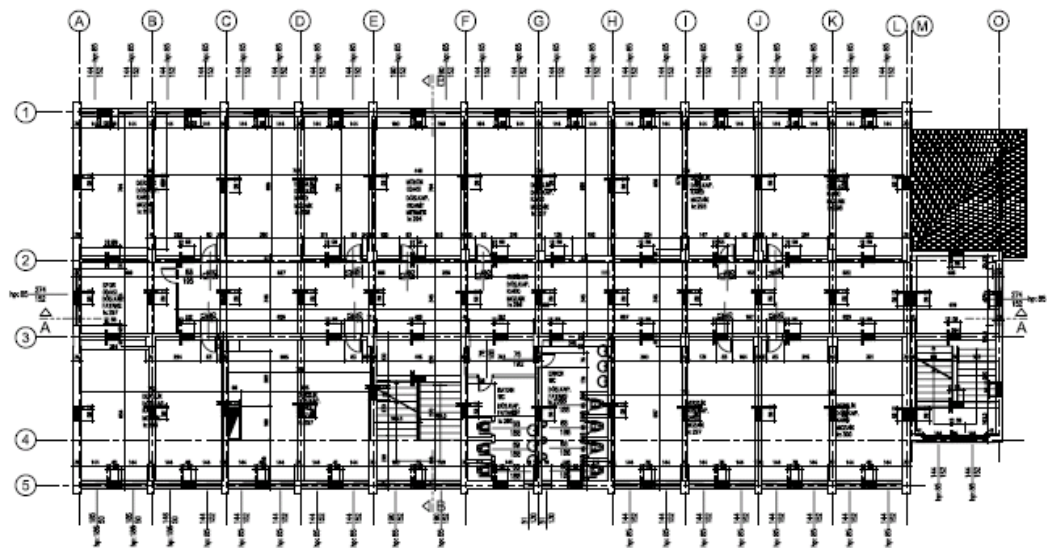
- [13] **Yöney, Ö.**, 2003. Mevcut bir betonarme binada değerlendirme ve doğrusal olmayan davranış, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Eker, O.**, 2005. Betonarme düzensiz bir binanın deprem güvenliğinin doğrusal olmayan yöntemle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **SAP2000 Nonlinear Version 9.1.6**, 2005. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California.
- [16] **ATC 40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [17] **FEMA 356**, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.

EKLER

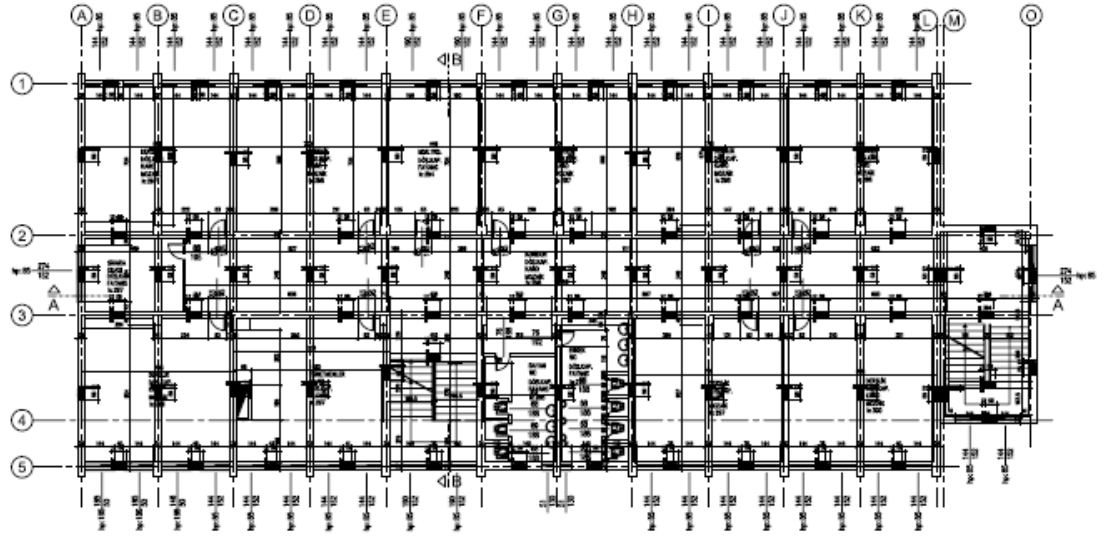
EK-A



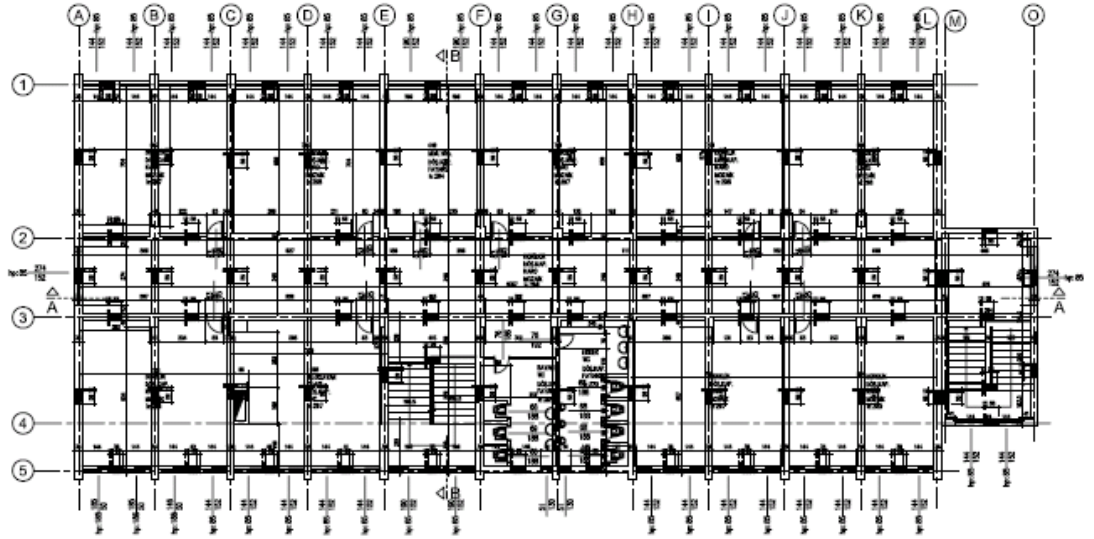
Şekil A.1: Mimari Plan +0.00 kotu



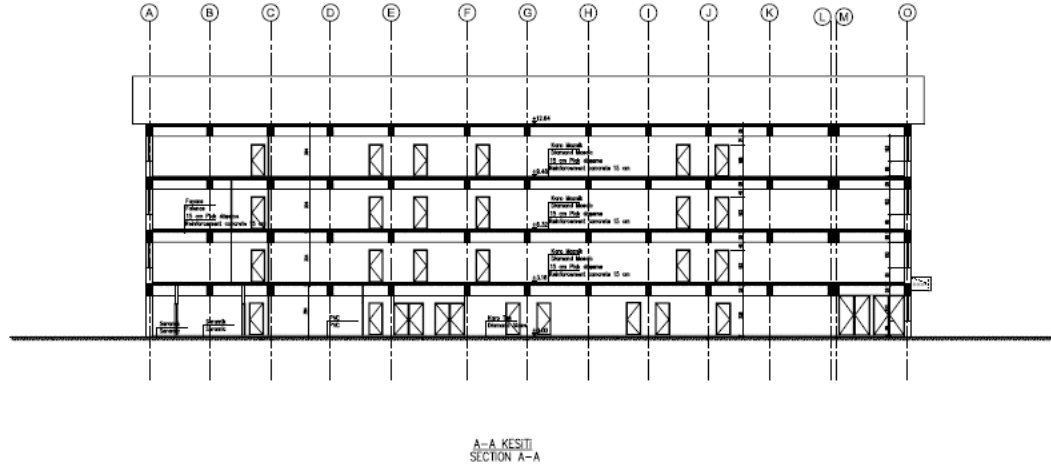
Şekil A.2: Mimari Plan +3.20 kotu



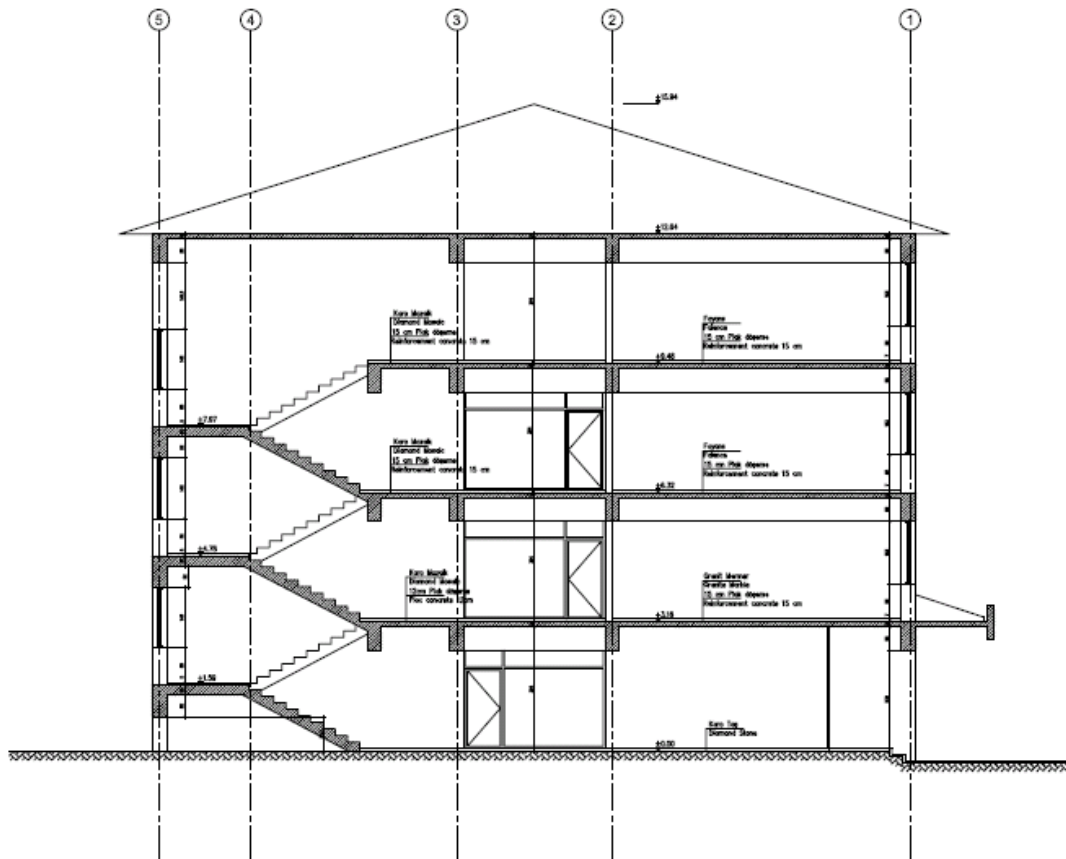
Şekil A.3: Mimari Plan +6.40 kotu



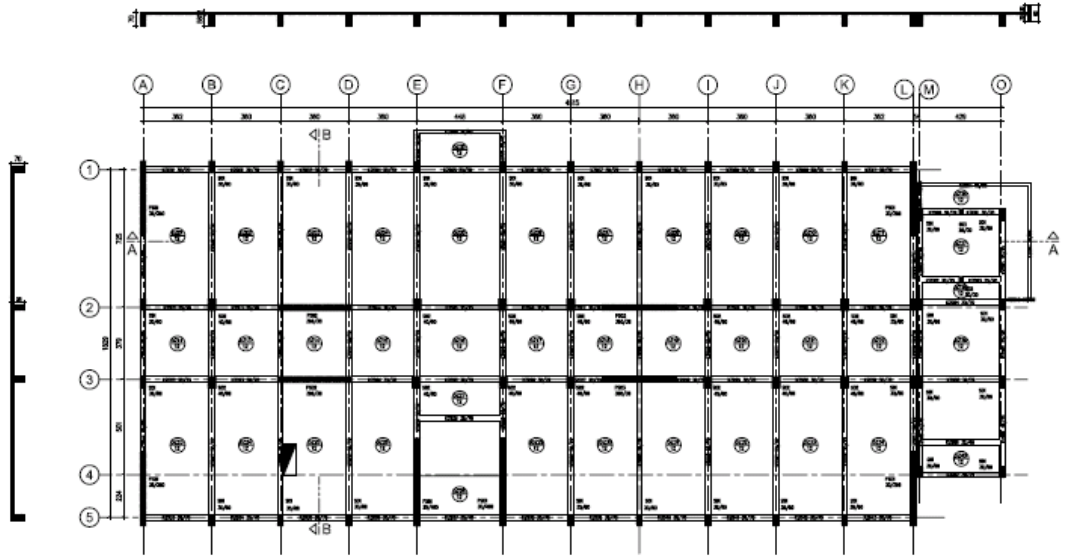
Şekil A.4: Mimari Plan +8.60 kotu



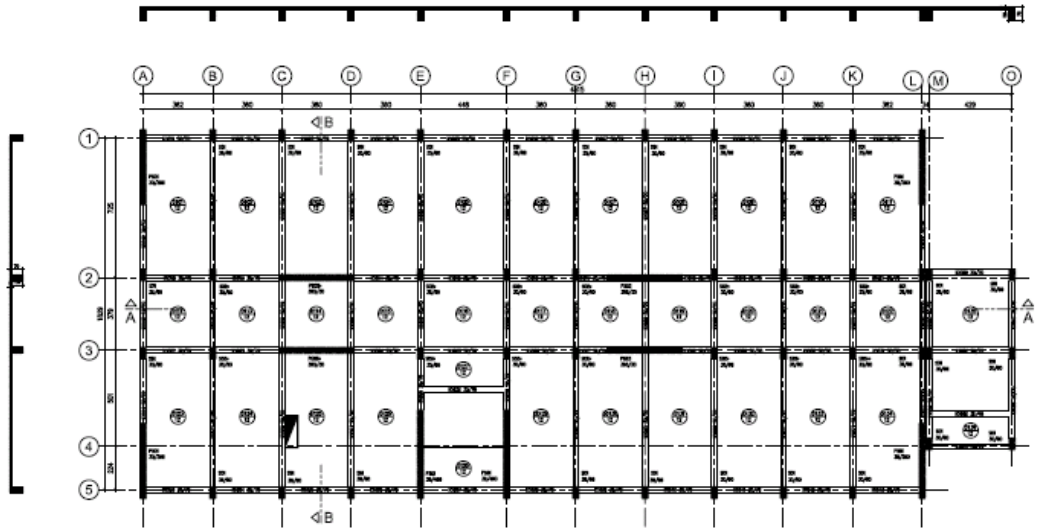
Şekil A.5: A-A Kesiti



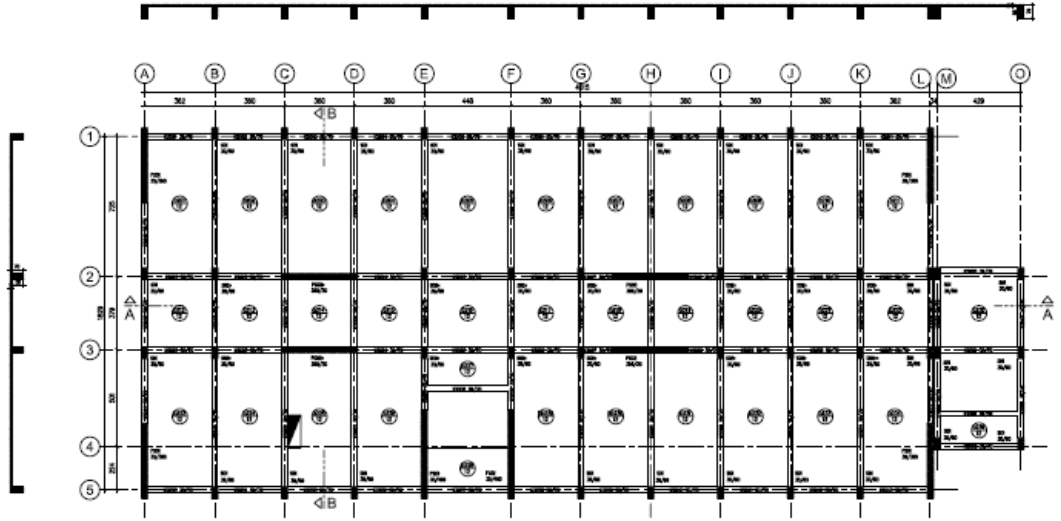
Şekil A.6: B-B Kesiti



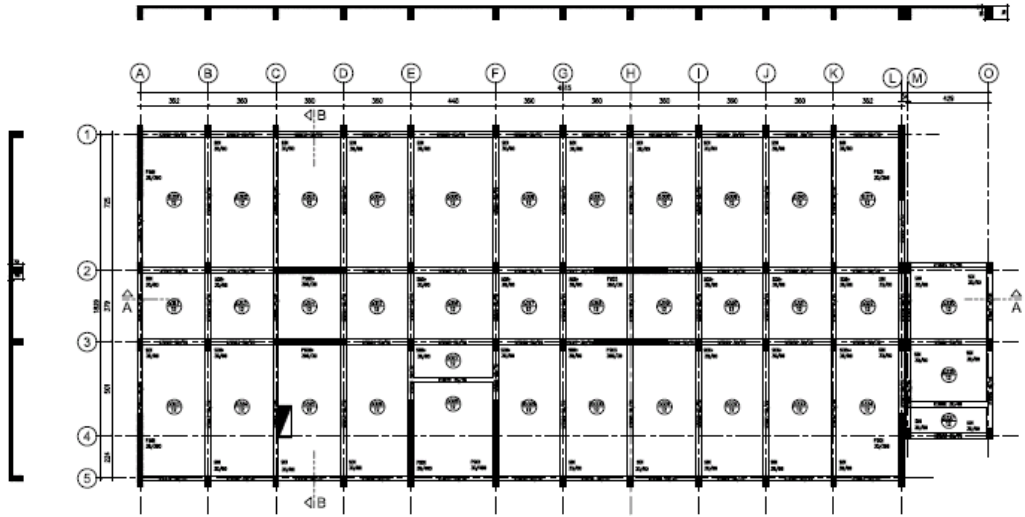
Şekil A.7: Kalıp Planı +3.20 kotu



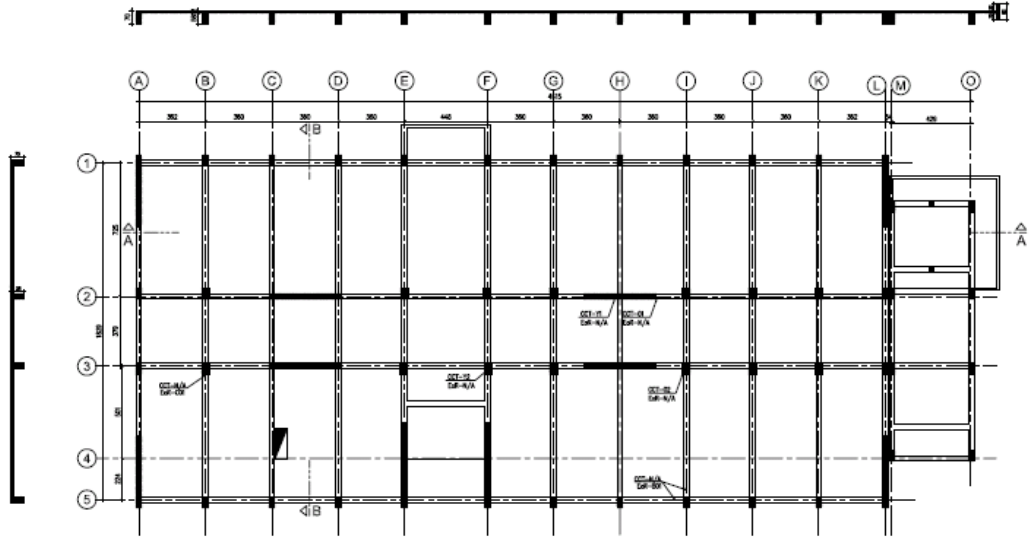
Şekil A.8: Kalıp Planı +6.40 kotu



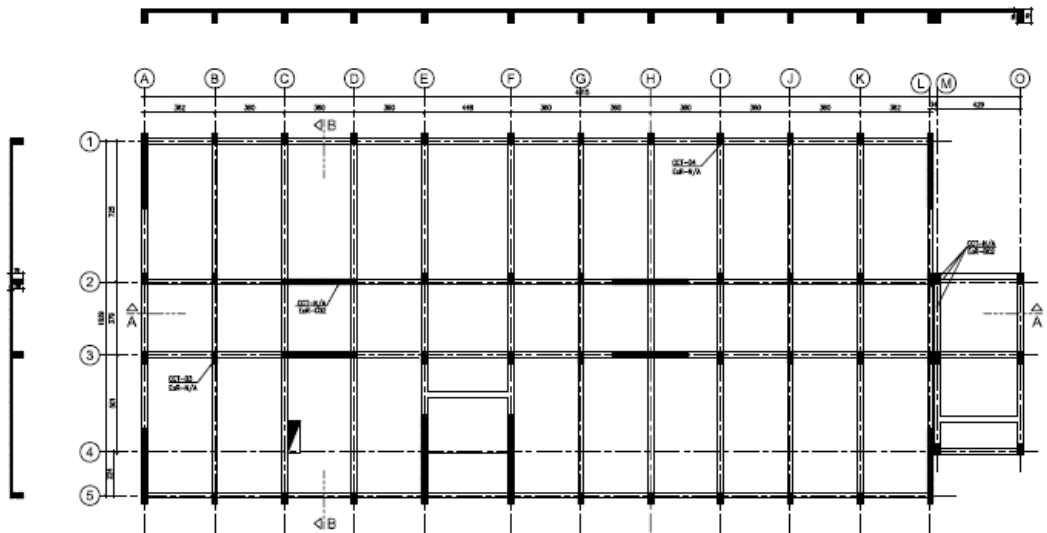
Şekil A.9: Kalıp Planı +8.60 kotu



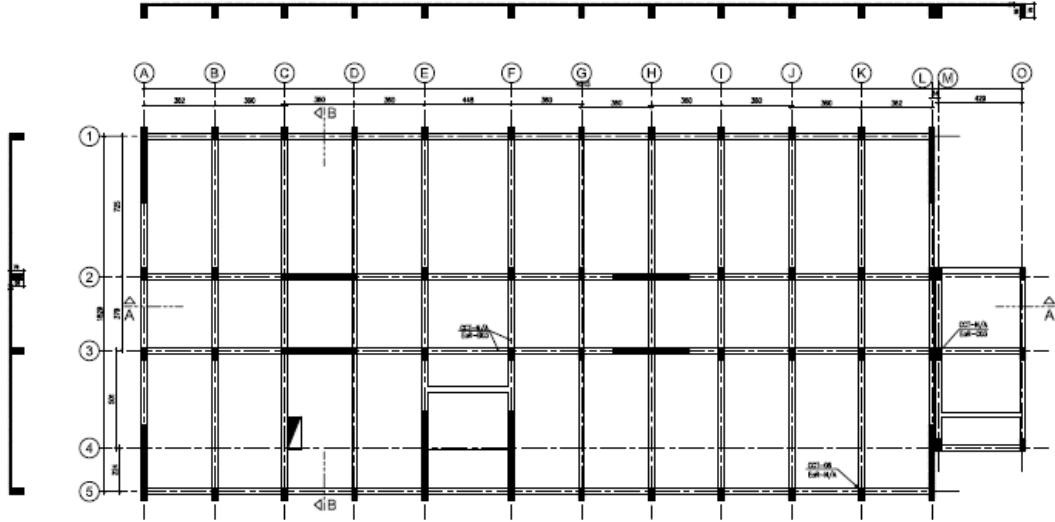
Şekil A.10: Kalıp Planı +12.80 kotu



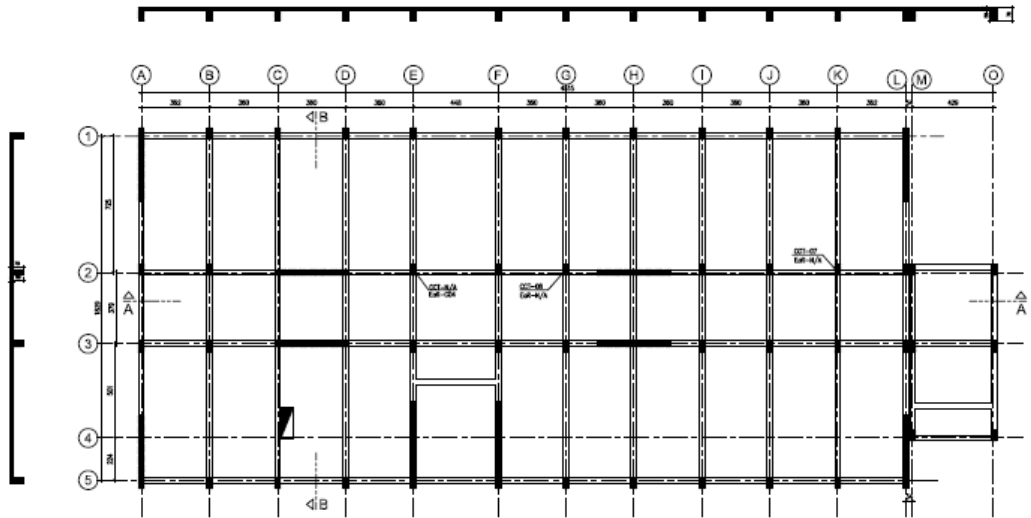
Şekil A.11: Test Yerleri Planı +3.20 kotu



Şekil A.12: Test Yerleri Planı +6.40 kotu



Şekil A.13: Test Yerleri Planı +8.60 kotu



Şekil A.14: Test Yerleri Planı +12.80 kotu

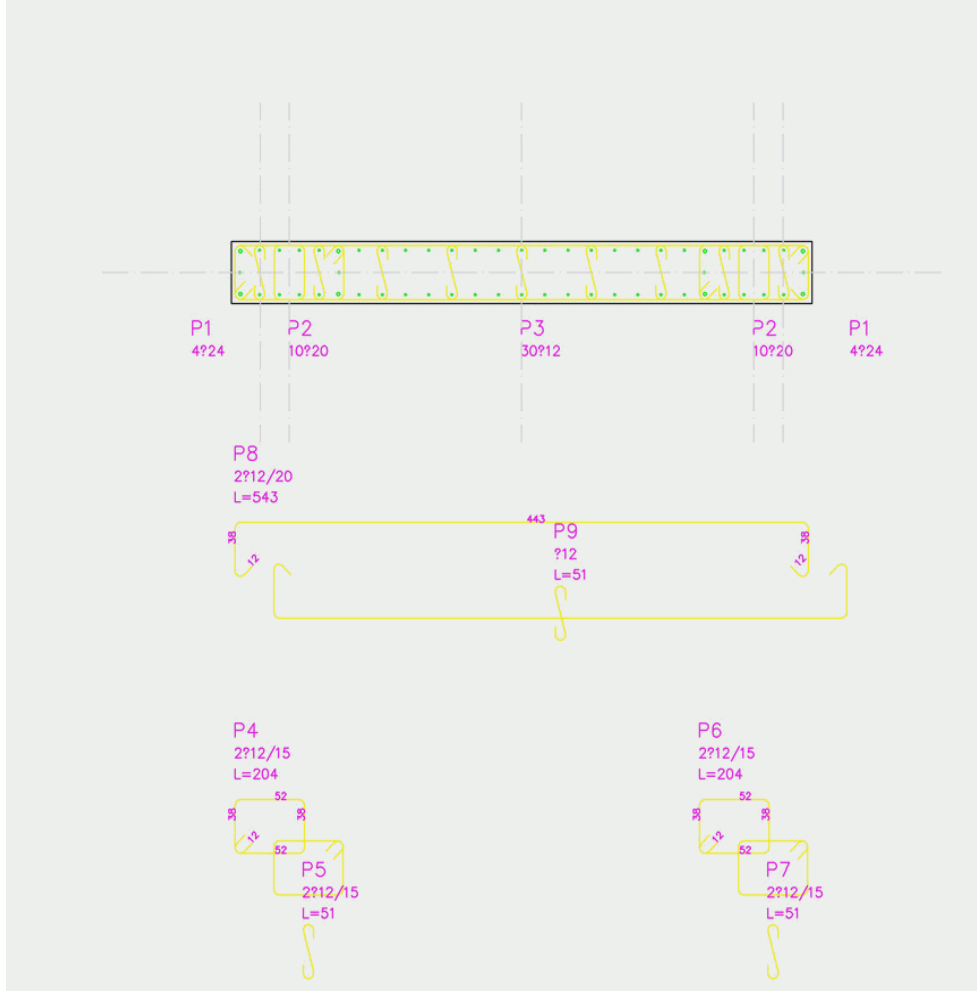
Şekil A.15: Zemin Sondaj Logu I

 TEMEL SONDAJ LOGU BORING LOG										SAYFA / Sheet No : 1 / 1													
ZEMİN TEKNOLOJİLERİ MERKEZİ YER MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ THE CENTER OF SOIL TECHNOLOGY CONSULTING ENGINEERS										TARİH / Tarih :													
PROJE ADI / Project Name: ÜMRANİYE YAMANEVLER İLKÖĞRETİM OKULU										SONDAJ KUYU NO : SK-2 Boring Number													
PAFTA : - ADA : - PARSEL : -					KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S) :-																		
SONDAJ YERİ / Boring Location : ÜMRANİYE/İSTANBUL					KOORDİNAT / Coordinate X (E-W) :-																		
SONDAJ DERİNLİĞİ / Boring Depth (m): 16.50 m.					BAŞLANGIÇ - BİTİŞ TARİHİ / Start-Finish Date : 22/02/2005																		
SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m) : -					NUMUNE / Test Specimen		D	UD	SPT	KN													
YERALTI SUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)					TOPLAM (ADET) / Total (Each)		-	-	-	-													
Derinlik Depth (m)	Y.A.S. Seviyesi (m) Groundwater Level	Numune Tipi ve No Sample Type & No.	Numune Derinliği Sample Depth (m)	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests																			
				SPT DENEYİ / Standard Penetration Test					Pr. VST Perm.	JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ											
				Darbe Sayısı Number of Blows		N ₆₀	SPT- N Grafiği Graph					Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Kırık / 30 cm Fracture / 30 cm	Karot TCR (%) Core Recovery	RQD (%)							
0-15 lgln	15-30 lgln	30-45 lgln	30 cm lgln	10	20	30	40					25	50	75	25	50	75						
0																							
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
GÜNCEL DOLGU				KİL; Açık kahverenkli kil				KUMTAŞI; Sarı renkli, beyaz kil benekli				KİREÇTAŞI; Gri renkli, kuvaris damarlı kireçtaşı				GROVAK; Kahverenkli sert grovak				KUYU SONU			
KIVAM DURUMU / Stiffness (İnce taneli)				SİKİLİK / Density (İn taneli)				ORANLAR / Proportions				AÇIKLAMALAR / Explanations				SONDÖR / Chiller							
N=0-2 Çok yumuşak Very soft				N=0-4 Çok gevşek Very loose				%5 > Pek az Slightly				UD : Örselenmemiş numune				M. Ali ÇAVUŞ LOGU YAPAN Oğuz ONLO Jeoloji Mühendisi Evrim YEŞİLYURT Jeofizik Mühendisi							
N=3-4 Yumuşak Soft				N=5-10 Gevşek Loose				%10-20 Az Little				D : Örselenmiş numune											
N=5-8 Orta katı Middle stiff				N=11-30 Orta sıkı Medium loose				%20-35 Çok Very				SPT : Standart Penetrasyon											
N=9-15 Katı Stiff				N=31-50 Sıkı Dense				%35 > Ve And				Pr. : Presiyometre Deneyi											
N=16-30 Çok katı Very stiff				N>50 Çok sıkı Very dense								KN : Karot Numunesi											
N>30 Sert Hard												VST : Arazi Veyn Deneyi											
AYRIŞMA / Weathering				DAYANIM / Strength				KIRIKLAR / 30 cm Fractures				KAYA KALİTESİ TANIMI / RQD											
W1 Taze (Ayrışmamış) Fresh				I Çok zayıf Very Weak				<1 Seyrek Wide (W)				%0-25 Çok kötü Very Poor											
W2 Az ayrışmış Slightly W.				II Zayıf Weak				1-2 Orta Moderate (M)				%25-50 Kötü Poor											
W3 Orta derecede ayr. Moderatly W.				III Orta zayıf Moderatly Weak				2-10 Sık Close (Cl.)				%50-75 Orta Fair											
W4 Çok ayrışmış Highly W.				IV Orta dayanımlı Moderatly Strong				10-20 Çok sık Intense (I)				%75-90 İyi Good											
W5 Tamamen ayrışmış Completely W.				V Dayanımlı Strong				>20 Parçalı Crushed (Cr)				%90-100 Çok iyi Excellent											

Şekil A.16: Zemin Sondaj Logu II



Şekil A.17: Zemin Sondaj Örnekleri



Şekil A.18 Güçlendirme Perde Detayı

EK - B**Tablo B.1:** Yapısal Elemanların +X Yönü Yükleme İçin Oluşan Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Hasar Yüzdeleri

Yapısal Eleman	Minimum Hasar %	Güvenlik Sınırı %	Göçme Sınırı %
Kirişler	88.3	69.3	51.8
Kolonlar	76.4	22.2	16.7
Perdeler	37.5	32.5	25.0

Tablo B.2: Kolonlar, Kirişler ve Perdeler İçin +X Yönü Yükleme İçin Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Eleman Sayıları

	KAT	TOPLAM ELEMEN SAYISI	MN	GV	GÇ
			ELEMEN SAYISI		
KOLONLAR	1	36	14	8	8
	2	36	36	8	8
	3	36	36	8	8
	4	36	24	8	0
	TOTAL	144	110	32	24
PERDELER	1	10	4	4	4
	2	10	6	5	4
	3	10	5	4	2
	4	10	0	0	0
	TOTAL	40	15	13	10
KİRİŞLER	1	86	75	69	34
	2	86	78	66	63
	3	86	78	69	58
	4	84	71	33	22
	TOTAL	342	302	237	177

Tablo B.3: Kolonlar, Kirişler ve Perdeler İçin +X Yönü Yüklemesi İçin Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Eleman Yüzdeleri

	KAT	MN	GV	GÇ
KOLONLAR	1	38.9	22.2	22.2
	2	100	22.2	22.2
	3	100	22.2	22.2
	4	67	22	0
	TOTAL	76.4	22.2	16.7
PERDELER	1	40.0	40.0	40.0
	2	60	50.0	40.0
	3	50	40.0	20.0
	4	0	0	0
	TOTAL	37.5	32.5	25.0
KIRIŞLER	1	87.2	80.2	39.5
	2	90.7	76.7	73.3
	3	90.7	80.2	67.4
	4	85	39	26.2
	TOTAL	88.3	69.3	51.8

Tablo B.4: Kolonlar, Kirişler ve Perdeler İçin +Y Yönü Yüklemesi İçin Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Eleman Sayıları

	KAT	TOPLAM ELEMEN SAYISI	MN	GV	GÇ
KOLONLAR	1	36	11	6	6
	2	36	27	6	6
	3	36	27	6	6
	4	36	18	6	0
	TOTAL	144	83	24	18
PERDELER	1	10	3	3	3
	2	10	5	4	3
	3	10	4	3	2
	4	10	0	0	0
	TOTAL	40	11	10	8
KIRIŞLER	1	86	56	52	26
	2	86	59	50	47
	3	86	59	52	44
	4	84	53	25	17
	TOTAL	342	227	178	133

Tablo B.5: Kolonlar, Kirişler ve Perdeler için +Y yönü Yüklemesi İçin Kesit Hasar Sınırını Sağlamayan Eleman Yüzdeleri

	KAT	MN	GV	GÇ
KOLONLAR	1	29.2	16.7	16.7
	2	75.0	16.7	16.7
	3	75.0	16.7	16.7
	4	50.0	16.7	0.0
	TOTAL	57.3	16.7	12.5
PERDELER	1	30.0	30.0	30.0
	2	45.0	37.5	30.0
	3	37.5	30.0	15.0
	4	0.0	0.0	0.0
	TOTAL	28.1	24.4	18.8
KİRİŞLER	1	65.4	60.2	29.7
	2	68.0	57.6	54.9
	3	68.0	60.2	50.6
	4	63.4	29.5	19.6
	TOTAL	66.2	52.0	38.8

Tablo B.6: Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Adetleri

		Toplam Eleman Sayısı	MN		GV		GÇ	
			Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	B30X70	305	95	95	16	30	0	30
KOLONLAR	1C30X60	106	76	100	0	30	0	0
	1C40X60	14	14	14	0	13	0	0
	2C30X60	8	3	8	0	2	0	0
	3C30X60	16	2	7	0	0	0	0
PERDELER	P11	4	4	4	0	0	0	0
	P12	9	0	0	0	0	0	0
	P21	1	0	0	0	0	0	0
	P22	6	0	0	0	0	0	0
	P31	2	2	2	0	2	0	0
	P41	1	0	0	0	0	0	0

Tablo B.7: Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Yüzdeleri

		MN		GV		GÇ	
		Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	B30X70	31.15%	31.15%	5.25%	9.84%	0.00%	9.84%
KOLONLAR	1C30X60	71.70%	94.34%	0.00%	28.30%	0.00%	0.00%
	1C40X60	100.00%	100.00%	0.00%	92.86%	0.00%	0.00%
	2C30X60	37.50%	100.00%	0.00%	25.00%	0.00%	0.00%
	3C30X60	12.50%	43.75%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
PERDELER	P11	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P21	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P22	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P31	100.00%	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
	P41	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tablo B.8: Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Hasarlı Eleman Adetleri

		Toplam Eleman Sayısı	MN		GV		GÇ	
			Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER		305	95	95	16	30	0	30
KOLONLAR		144	95	129	0	45	0	0
PERDELER		40	6	6	0	4	0	0

Tablo B.9: Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Adetleri

		Toplam Eleman Sayısı	MN		GV		GÇ	
			Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	B30X70	305	84	84	16	30	0	20
KOLONLAR	1C30X60	106	62	84	0	20	0	0
	1C40X60	14	8	6	0	4	0	0
	2C30X60	8	2	6	0	2	0	0
	3C30X60	16	2	7	0	0	0	0
PERDELER	P11	4	2	2	0	0	0	0
	P12	9	0	0	0	0	0	0
	P21	1	0	0	0	0	0	0
	P22	6	0	0	0	0	0	0
	P31	2	2	2	0	2	0	0
	P41	1	0	0	0	0	0	0

Tablo B.10: Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Yüzdeleri

		MN		GV		GÇ	
		Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	B30X70	27.54%	27.54%	5.25%	9.84%	0.00%	6.55%
KOLONLAR	1C30X60	58.49%	79.24%	0.00%	18.86%	0.00%	0.00%
	1C40X60	57.14%	42.85%	0.00%	28.57%	0.00%	0.00%
	2C30X60	25.00%	75.00%	0.00%	25.00%	0.00%	0.00%
	3C30X60	12.50%	43.75%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
PERDELER	P11	50.00%	50.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P21	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P22	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P31	100.00%	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
	P41	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tablo B.11: Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Hasarlı Eleman Adetleri

	Toplam Eleman Sayısı	MN		GV		GÇ	
		Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	305	84	84	16	30	0	20
KOLONLAR	144	74	103	0	26	0	0
PERDELER	40	4	4	0	2	0	0

Tablo B.12: Güçlendirilmiş Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Adetleri

		Toplam Eleman Sayısı	MN		GV		GÇ	
			Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	B30X70	305	0	0	0	0	0	20
KOLONLAR	1C30X60	106	37	100	0	6	0	0
	1C40X60	14	1	14	0	1	0	0
	2C30X60	8	3	8	0	3	0	0
	3C30X60	16	0	0	0	0	0	0
PERDELER	DW101	24	0	0	0	0	0	0
	DW201	24	0	6	0	0	0	0

Tablo B.13: Güçlendirilmiş Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Yüzdeleri

		MN		GV		GÇ	
		Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	B30X70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
KOLONLAR	1C30X60	34.90%	94.34%	0.00%	5.66%	0.00%	0.00%
	1C40X60	100.00%	100.00%	0.00%	92.86%	0.00%	0.00%
	2C30X60	7.14%	100.00%	0.00%	7.14%	0.00%	0.00%
	3C30X60	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
PERDELER	P11	50.00%	50.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tablo B.14: Güçlendirilmiş Yapının +X Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Hasarlı Eleman Adetleri

		Toplam Eleman Sayısı	MN		GV		GÇ	
			Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER		305	0	0	0	0	0	0
KOLONLAR		144	41	122	0	10	0	0
PERDELER		48	0	6	0	0	0	0

Tablo B.15: Güçlendirilmiş Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Adetleri

		Toplam Eleman Sayısı	MN		GV		GÇ	
			Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	B30X70	305	0	0	0	0	0	0
KOLONLAR	1C30X60	106	0	1	0	0	0	0
	1C40X60	14	1	14	0	1	0	0
	2C30X60	8	0	0	0	0	0	0
	3C30X60	16	0	0	0	0	0	0
PERDELER	DW101	24	0	0	0	0	0	0
	DW201	24	0	6	0	0	0	0

Tablo B.16: Güçlendirilmiş Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Kesit Bazında Hasarlı Eleman Yüzdeleri

		MN		GV		GÇ	
		Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	B30X70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
KOLONLAR	1C30X60	0.00%	0.94%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	1C40X60	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	2C30X60	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	3C30X60	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
PERDELER	P11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	P12	0.00%	16.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tablo B.17: Güçlendirilmiş Yapının +Y Yönü İçin İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Sonuçlara Göre Hasarlı Eleman Adetleri

	Toplam Eleman Sayısı	MN		GV		GÇ	
		Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton	Donatı Çeliği	Sargılı Beton
KİRİŞLER	305	0	0	0	0	0	0
KOLONLAR	144	0	1	0	0	0	0
PERDELER	48	0	6	0	0	0	0

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Van'da doğan İsmail YAVUZ ilk ve orta öğrenimini Van'da tamamladı. 1999 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1999-2003 yılları arası lisans eğitimini tamamladı. Mezun olduğu dönem başladığı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programına halen devam etmektedir. 2005 yılında başladığı proje mühendisliği görevini özel bir firmada sürdürmektedir.