

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİR YAPININ PERFORMANS
YAKLAŞIMI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Emre YÜCEER**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2006

**BETONARME BİR YAPININ PERFORMANS
YAKLAŞIMI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Emre YÜCEER
(501031009)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2006**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Tülay Aksu ÖZKUL (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI (İ.T.Ü.)**

OCAK 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, şiddetli deprem riskine karşı mevcut bir yapının deprem güvenliği açısından incelenmesi ve güçlendirilmesi çalışması yapılmıştır. Doğrusal analiz yapıldıktan sonra, mümkün oldukça gerçeğe yakın sonuçlar alabilmek için, yapıların doğrusal olmayan davranışlarını da gözönüne alabilmek üzere, performans dayalı tasarım yöntemleriyle çözüme gidilmiştir. Mevcut ve güçlendirilmiş yapının deprem yükleri altında göstereceği performans incelenmiş, Taslak Deprem Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri yorumlanmıştır.

Kendisi ile çalışmaktan her zaman onur duyduğum hocam Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK başta olmak üzere İTÜ İnşaat Fakültesi hocalarıma, yardımlarını ve deneyimlerini benden esirgemeyen meslektaşım Orhan EKER'e ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme, teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık, 2005

Emre YÜCEER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. İçerik	2
1.2. Çalışmada Yapılan Kabuller	3
2. MEVCUT YAPI SİSTEMLERİNİN TESPİTİ	8
2.1. Mevcut Durumun Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi	8
2.2. Binalardan Bilgi Toplanması	8
2.2.1. Betonarme binalarda bilgi düzeyleri	9
2.2.2. Bilgi düzeyi katsayıları	11
3. YAPI SİSTEMLERİNİN ANALİZ YÖNTEMLERİ	12
3.1. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri	12
3.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	13
3.2.1. Kapasite spektrumu yöntemi (ATC 40 Yaklaşımı)	14
3.2.1.1. Performans seviyeleri	15
3.2.1.2. Elastik ivme-periyot spektrum eğrisi	18
3.2.1.3. Elastik ivme-yerdeğiştirme spektrum eğrisi	20
3.2.1.4. Elastik ivme-yerdeğiştirme spektrumunun sönüm ile azaltılması ve performans noktasının bulunması	21
3.2.1.5. Taşıyıcı sistemin değerlendirilmesi	26
3.2.1.6. Performans noktasının kabul kriterleri	27
3.2.2. Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi (FEMA 356 Yaklaşımı)	28
3.2.3. Taslak deprem yönetmeliği yaklaşımı	30
4. MEVCUT YAPININ DOĞRUSAL ANALİZİ	34
4.1. Düşey Yük Analizi	36
4.2. Yatay Yük Analizi	36
4.2.1. Yatay yüklere göre hesap	36
4.2.2. Eşdeğer deprem yükü hesabı	37
4.2.3. Betonarme kolonların kontrolü	37
4.2.4. Rölatif kat ötelemeleri kontrolü	41

5. MEVCUT YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ	42
5.1. İtme Analizi	42
5.2. Kapasite Spektrum Yöntemi	43
5.2.1. Kapasite spektrum yöntemi ile hesap	43
5.2.2. Rölatif kat ötelemeleri kontrolü	47
5.3. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi	47
5.2.1. Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi ile hesap	47
6. GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ DOĞRUSAL ANALİZİ	51
6.1. Yapının Güçlendirme Sonrası Taşıyıcı Sistemi	51
6.2. Betonarme Perdelerin Hesabı	51
6.3. Betonarme Perdelerin Kesme Kuvveti Kontrolü	52
6.4. Mevcut Kolonların Kontrolü	54
6.5. Rölatif Kat Ötelemeleri Kontrolü	56
7. GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ	59
7.1. Artımsal İtme Analizi ile Hesap (Tasarı Deprem Yön. Yaklaşımı)	59
7.1.1. Tasarım depremine göre hesap	59
7.1.2. Kullanım depremine göre hesap	62
7.1.3. Maksimum depreme göre hesap	64
7.2. Rölatif Kat Ötelemeleri Kontrolü	67
8. SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	74
EK A. (5. BÖLÜM)	75
EK B. (7. BÖLÜM)	81
EK C. (7. BÖLÜM)	87
ÖZGEÇMİŞ	93

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ATC	: Applied Technology Council (Uygulamalı Teknoloji Merkezi)
CG	: Life Safety (Can Güvenliği)
ETABS	: Extented Three Dimensional Analysis of Building Systems
EX	: x Doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yüğü
EY	: y Doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yüğü
FEMA	: Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Merkezi)
G	: Düşey Sabit Yüğüler
HK	: Immediate Occupancy (Hemen Kullanım)
PUSH1X	: x Doğrultusunda İtme Analizi Yüğü
PUSH1Y	: y Doğrultusunda İtme Analizi Yüğü
Q	: Düşey Hareketli Yüğüler
YS	: Collapse Prevention (Yapısal Stabilitite)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları	11
Tablo 3.1 : Yapısal Performans Seviye ve Aralıkları	15
Tablo 3.2 : Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	16
Tablo 3.3 : Bina Performans Seviyeleri	17
Tablo 3.4 : Deprem Bölge Katsayısı	18
Tablo 3.5 : Kaynağa Uzaklık Katsayısı	19
Tablo 3.6 : Zemin Sınıflarının Tanımı	19
Tablo 3.7 : Deprem Katsayısı, C_A	19
Tablo 3.8 : Deprem Katsayısı, C_V	20
Tablo 3.9 : Sönüm düzeltme katsayısı (κ) değerleri (ATC-40)	22
Tablo 3.10 : Yapısal Davranış Tipleri (ATC-40)	23
Tablo 3.11 : SRA ve SRV' nin alabileceği minimum değerler (ATC-40)	24
Tablo 3.12 : Katlar Arası Yerdeğiştirmenin Kat Yüksekliğine Oranı	27
Tablo 3.13 : Binalar İçin Farklı Deprem Etkileri Altında Hedeflenen Performans Düzeyleri	33
Tablo 4.1 : Deprem Kuvvetleri	38
Tablo 4.2 : C1 Kolonu Kesit Tesirleri	38
Tablo 4.3 : Rölatif Kat Ötelemeleri.....	41
Tablo 5.1 : Performans Noktası Değerleri	45
Tablo 5.2 : Mevcut Yapının x Doğrultusu Analiz Sonuçları (ATC 40)	46
Tablo 5.3 : Mevcut Yapının y Doğrultusu Analiz Sonuçları (ATC 40)	46
Tablo 5.4 : Rölatif Kat Ötelemeleri.....	47
Tablo 5.5 : Hedef Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi	50
Tablo 5.6 : Mevcut Yapının x Doğrultusu Analiz Sonuçları (FEMA)	50
Tablo 5.7 : Mevcut Yapının y Doğrultusu Analiz Sonuçları (FEMA)	50
Tablo 6.1 : Perdelere Gelen Momentler ve Taşıma Gücü Momentleri	52
Tablo 6.2 : Perde Kesme Kuvveti Güvenliği	53
Tablo 6.3 : Rölatif Kat Ötelemeleri.....	56
Tablo 7.1 : Hedef Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi (Tasarım Depremi)	61
Tablo 7.2 : Güçlendirilmiş Yapının x Doğrultusu Analiz Sonuçları (Tasarım Depremine Göre Artımsal İtme Analizi)	61
Tablo 7.3 : Güçlendirilmiş Yapının y Doğrultusu Analiz Sonuçları (Tasarım Depremine Göre Artımsal İtme Analizi)	61
Tablo 7.4 : Hedef Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi (Kullanım Depremi)	63
Tablo 7.5 : Güçlendirilmiş Yapının x Doğrultusu Analiz Sonuçları (Kullanım Depremine Göre Artımsal İtme Analizi)	64

Tablo 7.6	: Güçlendirilmiş Yapının y Doğrultusu Analiz Sonuçları (Kullanım Depremine Göre Artımsal İtme Analizi)	64
Tablo 7.7	: Hedef Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi (Maksimum Deprem)	66
Tablo 7.8	: Güçlendirilmiş Yapının x Doğrultusu Analiz Sonuçları (Maksimum Depreme Göre Artımsal İtme Analizi)	66
Tablo 7.9	: Güçlendirilmiş Yapının y Doğrultusu Analiz Sonuçları (Maksimum Depreme Göre Artımsal İtme Analizi)	66
Tablo 7.10	: Rölatif Kat Ötelemeleri	67
Tablo 8.1	: Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi Sonuçları	71

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : S420 Donatısı İçin Gerilme-Şekil değiştirme Diyagramı	5
Şekil 1.2 : C16 Betonu İçin Gerilme-Şekil değiştirme Diyagramı	5
Şekil 1.3 : C20 Betonu İçin Gerilme-Şekil değiştirme Diyagramı	6
Şekil 1.4 : Plastik Mafsallık Kabulü	6
Şekil 3.1 : (S _a – T) Spektrum Eğrisi	19
Şekil 3.2 : İvme Spektrumundan Talep Spektrumunun Elde Edilmesi	21
Şekil 3.3 : Spektral Azaltma için Sönüm Elde Edilmesi	23
Şekil 3.4 : Talep Spektrumunun Azaltılması	24
Şekil 3.5 : Kapasite Diyagramı ve Tahmini İndirgenmiş Talep Spektrumu ...	25
Şekil 3.6 : Kapasite Diyagramı ve İndirgenmiş Talep Spektrumu	25
Şekil 3.7 : Taşıyıcı Sistemde Kapasite Spektrum Eğrisi	26
Şekil 3.8 : Gerçek ve İdealleştirilmiş Kapasite Eğrileri	29
Şekil 4.1 : Yapının Mevcut Taşıyıcı Sistem Planı	34
Şekil 4.2 : Yapının X-X Doğrultusunda Kesiti	35
Şekil 4.3 : Yapının Y-Y Doğrultusunda Kesiti	35
Şekil 4.4 : C1 Kolonu Donatı Planı	38
Şekil 4.5 : C1 Kolonunun Moment-Eğrilik Grafiği	39
Şekil 4.6 : A-A Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları ..	39
Şekil 4.7 : B-B Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları ..	39
Şekil 4.8 : C-C Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları ..	39
Şekil 4.9 : D-D Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları ..	39
Şekil 5.1 : Mevcut Yapının Kapasite Eğrileri	43
Şekil 5.2 : Mevcut Yapının x Doğrultusundaki İtme Analizi	44
Şekil 5.3 : Mevcut Yapının y Doğrultusundaki İtme Analizi	45
Şekil 5.4 : A-A Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	74
Şekil 5.5 : B-B Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	74
Şekil 5.6 : C-C Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	75
Şekil 5.7 : D-D Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	75
Şekil 5.8 : 1 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	76
Şekil 5.9 : 2 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	76
Şekil 5.10 : 3 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	76
Şekil 5.11 : 4 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	76
Şekil 5.12 : 5 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	77
Şekil 5.13 : 6 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	77
Şekil 5.14 : 7 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	77
Şekil 5.15 : 8 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	77
Şekil 5.16 : 9 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	78

Şekil 5.17	: 10 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	78
Şekil 5.18	: 11 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	78
Şekil 5.19	: 12 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	78
Şekil 5.20	: 13 Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)	79
Şekil 5.21	: Mafsallarda Performans Seviyeleri	79
Şekil 5.22	: İki Doğru Parçası ile İdealleştirilen x Doğ. Kapasite Eğrisi	49
Şekil 5.23	: İki Doğru Parçası ile İdealleştirilen y Doğ. Kapasite Eğrisi	49
Şekil 6.1	: Yapının Güçlendirme Sonrası Taşıyıcı Sistem Planı	51
Şekil 6.2	: P1 Perdesinin Moment-Eğrilik Grafiği	53
Şekil 6.3	: P5 Perdesinin Moment-Eğrilik Grafiği	54
Şekil 6.4	: A-A Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları ..	54
Şekil 6.5	: B-B Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları ..	55
Şekil 6.6	: C-C Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları ..	55
Şekil 6.7	: D-D Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları ..	55
Şekil 6.8	: P1 Perdesi Donatı Düzeni	57
Şekil 6.9	: P5 Perdesi Donatı Düzeni	58
Şekil 7.1	: Güçlendirilmiş Yapının Kapasite Eğrileri	59
Şekil 7.2	: Güçlendirilmiş Yapının Tasarım Depremine Göre x Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi	60
Şekil 7.3	: Güçlendirilmiş Yapının Tasarım Depremine Göre y Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi	60
Şekil 7.4	: Güçlendirilmiş Yapının Kullanım Depremine Göre x Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi	63
Şekil 7.5	: Güçlendirilmiş Yapının Kullanım Depremine Göre y Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi	63
Şekil 7.6	: A-A Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	80
Şekil 7.7	: B-B Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	80
Şekil 7.8	: C-C Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	81
Şekil 7.9	: D-D Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	81
Şekil 7.10	: 1 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	82
Şekil 7.11	: 2 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	82
Şekil 7.12	: 3 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	82
Şekil 7.13	: 4 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	82
Şekil 7.14	: 5 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	83
Şekil 7.15	: 6 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	83
Şekil 7.16	: 7 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	83
Şekil 7.17	: 8 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	83
Şekil 7.18	: 9 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	84
Şekil 7.19	: 10 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	84
Şekil 7.20	: 11 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	84
Şekil 7.21	: 12 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	84
Şekil 7.22	: 13 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)	85
Şekil 7.23	: Mafsallarda Performans Seviyeleri	85
Şekil 7.24	: Güçlendirilmiş Yapının Maksimum Depreme Göre x Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi	65

Şekil 7.25	: Güçlendirilmiş Yapının Maksimum Depreme Göre y Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi	65
Şekil 7.26	: A-A Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	86
Şekil 7.27	: B-B Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	86
Şekil 7.28	: C-C Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	87
Şekil 7.29	: D-D Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	87
Şekil 7.30	: 1 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	88
Şekil 7.31	: 2 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	88
Şekil 7.32	: 3 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	88
Şekil 7.33	: 4 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	88
Şekil 7.34	: 5 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	89
Şekil 7.35	: 6 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	89
Şekil 7.36	: 7 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	89
Şekil 7.37	: 8 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	89
Şekil 7.38	: 9 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	90
Şekil 7.39	: 10 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	90
Şekil 7.40	: 11 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	90
Şekil 7.41	: 12 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	90
Şekil 7.42	: 13 Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)	91
Şekil 7.43	: Mafsallarda Performans Seviyeleri	91
Şekil 8.1	: Güçlendirme Öncesi Yapının Kapasite Eğrileri (Tasarım Dep.) ...	69
Şekil 8.2	: Güçlendirme Sonrası Yapının Kapasite Eğrileri (Tasarım Dep.) ...	69
Şekil 8.3	: X-X Doğrultusu Karşılaştırmalı Kapasite Eğrileri (Tasarım Dep.)	70
Şekil 8.4	: Y-Y Doğrultusu Karşılaştırmalı Kapasite Eğrileri (Tasarım Dep.)	70

SEMBOL LİSTESİ

a_{pi}	: i. ardışık yaklaşım için seçilen spektral ivme değeri
a_y	: İdealleştirilmiş kapasite spektrum eğrisinin akma anındaki spektral ivme değeri
A_c	: Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
A_s	: Çekme donatısı alanı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
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_{pi}	: i. ardışık yaklaşım için seçilen spektral yer değiştirme değeri
d_p	: i. ardışık yaklaşım sonucu bulunan spektral yer değiştirme değeri
d_y	: İdealleştirilmiş kapasite spektrum eğrisinin akma anındaki spektral yer değiştirme değeri
E	: Deprem etki türü katsayısı
E_s	: Çelik için elastisite modülü
EI	: Eğilme rijitliği
E_D	: Çevrimsel sönüm ile yutulan enerji miktarı
E_{S0}	: En büyük yer değiştirme enerjisi
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{yk}	: Donatı karakteristik akma gerilmesi
g	: Yerçekimi ivmesi
h_i	: i. kata ait kat yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
$I_{c,b}$	: Sırasıyla kolon ve kiriş kesitlerine ait atalet momentleri
K_e	: Hesap yapılan doğrultudaki elastik rijitlik
K_i	: Yapının başlangıç (elastik) rijitliği
K_s	: Pekleşme bölgesi rijitliği
K_{eff}	: Etkili rijitlik
l_p	: Plastik mafsallık 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_i	: İşletme yükü, i. kata gelen toplam düşey yük
ΣP_i	: i. adım sonunda bulunan toplam yatay yük parametresi
R	: Gerekli olan elastik dayanımın akma dayanımına oranı (Dayanım azaltma katsayısı)
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
S_e	: Etkili T_e periyoduna karşı gelen spektral ivme
S_a	: İvme spektrumu
S_d	: Yer değiştirme spektrumu
S_{de}	: Elastik spektral yerdeğiştirme
S_{di}	: İn elastik spektral yerdeğiştirme
SR_A, SR_V	: Spektral azaltma çarpanı
S_1	: Bir saniye periyodu spektral parametresi
T	: Yapının birinci doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: 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_{ef}	: 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	: Yer değiştirme (d)
δ_t	: Hedef yer değiştirme
κ	: Yapının davranışına bağlı düzeltme çarpanı
ϕ	: Dönme
ϕ_p	: Plastik mafsalsal dönmesi
$\text{maks}\phi_p$	: En büyük plastik mafsalsal 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

BETONARME BİR YAPININ PERFORMANS YAKLAŞIMI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Mevcut deprem yönetmeliği özellikle yeni yapılacak binaların tasarımı üzerine durmuş, mevcut binaların değerlendirme ve güçlendirmesine ilişkin bölümü yetersiz kalmıştır. Bu çerçevede, mevcut yönetmelik gözden geçirilmiş ve mevcut binaların değerlendirme ve güçlendirilmesi üzerine 13. bölüm eklenerek Taslak Deprem Yönetmeliği hazırlanmıştır.

Sunulan bu tez çalışmasında, öncelikle beş katlı bir okul yapısının doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Daha sonra bu yapı perde ilave edilerek güçlendirilmiş ve güçlendirilmiş yapının doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır.

Birinci bölüm konuya giriş ve yapılan genel kabulleri içermektedir. İkinci bölümde, yapı sistemlerinin Taslak Yönetmelik 13. Bölüm’e göre değerlendirilebilmesi için yapılması gereken ön çalışmalar anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, ATC 40 Yaklaşımı, FEMA 356 Yaklaşımı ve Tasarı Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı olan artımsal itme analizi’nin ilgili bölümleri özetlenmiştir. Bu üç yaklaşım mevcut binaların doğrusal olmayan yöntemle performansla dayalı tasarımını anlatmaktadır. Çeşitli performans seviyeleri ve deprem kuvvetleri tanımlanmıştır.

Dördüncü bölümde, mevcut yapının doğrusal analizi yapılarak, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” (Deprem Yönetmeliği) ve “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” (TS 500) çerçevesinde değerlendirilmesi yapılmıştır. Çeşitli yükleme durumlarına ait kesit tesirleri ve betonarme hesapları ETABS v8.50 programı yardımı ile yapılmıştır.

Beşinci bölümde, mevcut yapının tasarım depremine göre doğrusal olmayan davranışları, ATC 40 yaklaşımının önerdiği kapasite spektrum yöntemi, FEMA 356 yaklaşımın önerdiği yerdeğiştirme katsayıları yöntemi esas alınarak incelenmiş ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Doğrusal olmayan analiz hesapları da ETABS v8.50 programı ile yapılmıştır.

Altıncı bölümde, mevcut yapı her iki doğrultuda perde ilavesi ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş yapının doğrusal analizi yapılarak, güçlendirmenin etkileri araştırılmış ve yorumlanmıştır.

Yedinci bölümde, güçlendirilmiş yapının yakında uygulamaya sunulacak olan Tasarı Deprem Yönetmeliği’nin önerdiği artımsal itme analizi esas alınarak yapılan elastik

olmayan performans değerlendirmesi yapılmıştır. Öncelikle güçlendirmenin performansa etkilerinin görölebilmesi ve beşinci bölüm sonuçları ile karşılaştırılabilmesi için tasarım depremine göre hesap yapılmıştır. Daha sonra Tasarı Deprem Yönetmeliği 13. bölümde okul yapısı için verilen performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için kullanım depremine ve maksimum depreme göre doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

Çalışmanın sonunda, mevcut ve güçlendirilmiş yapının doğrusal ve doğrusal olmayan analizle bulunan sonuçlar karşılaştırılmış ve yapının performansı değerlendirilmiştir.

RETROFITTING OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING WITH THE PERFORMANCE APPROACH

SUMMARY

Present Turkish Earthquake Code usually gives the design rules of new structures. However it is insufficient about the evaluation and the retrofitting of the existing buildings. Because of this reason, present code was examined and 13th chapter was added, so the Draft Turkish Earthquake Code was published.

In the present study, first linear and nonlinear seismic analysis of a school having five stories are carried out. Then, this school building is retrofitted with the additionally constructed shear walls, and linear and nonlinear seismic analysis of that retrofitted school building are checked out.

The first chapter consists of an introduction to the problem and gives general assumptions used. In the second chapter, the preliminary works to evaluate the structural systems according to the 13th chapter of the Draft Turkish Earthquake Code are explained.

In the third chapter, ATC-40, FEMA-356 and the pushover analysis method proposed by Draft Turkish Earthquake Code which give nonlinear approaches for the seismic analysis of buildings are summarized. These three documents give performance based evaluation of existing buildings by considering nonlinear method. They define various performance levels and seismic forces.

In the fourth chapter, linear seismic analysis of the existing school building is carried out, and it is considered according to the “Specifications for Structures to be Built in Disaster Areas” (Turkish Earthquake Code) and “Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures” (TS 500). Structural analysis of the reinforced concrete system is done using structural program ETABS v8.50.

In the fifth chapter, the structural program is used for the nonlinear analysis of the existing school building to investigate nonlinear behaviour of the structure. The nonlinear pushover analysis carried out by capacity spectrum method proposed by ATC-40 Project and displacement coefficient method proposed by FEMA-356 Project according to the earthquake of 10%/50 years (BSE-1) hazard level.

In the sixth chapter, the existing school is retrofitted with the addition of the shear walls. Linear analysis of that retrofitted school building is carried out and the effects of the retrofitting are explained.

In the seventh chapter, the nonlinear analysis of the retrofitted school building carried out by the pushover analysis method proposed by Draft Turkish Earthquake

Code. First, the analysis is made using the earthquake of 10%/50 years (BSE-1) hazard level to consider the effects of the retrofitting to the performance of the structure and to compare the results to the existing school. Then, the earthquake of 50%/50 years hazard level and the the earthquake of 2%/50 years (BSE-2) hazard level are used to evaluate the performance of the school building according to the performance levels given by the 13th chapter for the school structures.

According to the linear and nonlinear seismic analysis of existing and retrofitted school building, comparative investigation between the analysis results and the performance of the structures is done at the end of this study.

1. GİRİŞ

Yapıların, deprem gibi dinamik dış etkiler karşısında kabul edilebilir davranış göstermesini sağlayacak boyutlandırma, Deprem Yönetmeliği'nde (ABYYHY) belirtilen kurallara uyulması ile sağlanır. Gerek mevcut deprem yönetmeliğinden önce yapılmış binalarda, gerekse boyutlandırılmasında ve imalatında gerekli özen gösterilmemiş yapılarda, dinamik etkiler altında öngörülenden fazla hasar oluşması muhtemeldir. Bu nedenle beklenen şiddetli deprem karşısında hasarı en aza indirebilmek için, mevcut yapıların kontrol edilmesi ve gerekli güçlendirme çalışmalarının yapılması deprem ve inşaat mühendisliğinin önemli konularından biridir.

Yeni yapılan bir binada istenecek yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik, mevcut yapıların güçlendirilmesinde de hedeftir. Mevcut binanın güçlendirilmesinde sisteme yeni elemanlar eklenmesi veya mevcut elemanların takviye edilmesi esastır. Bu şekilde mevcut yapının dayanım kapasitesi artırılabilir ve yanal yer değiştirmeler azaltılabilir.

Güçlendirme yapılırken en çok kullanılan yöntem, mevcut taşıyıcı sisteme perde ve/veya çerçeve eklemek, mevcut kolonları mantolamaktır. Mantolama ile mevcut kolona beton kesiti ve donatı eklenir. Kolonların mantolanmasında amaç, kolon kesitlerinin büyütülmesi ve böylece kolonların eğilme kapasitelerinin artırılmasıdır. Bu işlem aynı zamanda kolonların kesme ve eksenel yük kapasitelerini de artırır. Sistem, mevcut çerçeve düzlemi içinde, veya çerçeve düzlemine bitişik yerinde dökme betonarme perdeler ile güçlendirilebilir. Bu perdeler ile yapının yanal rijitliği ve dayanımı artırılır. Perdelerin yerleştirilmesinde, deprem yükleri altında ek burulma momenti meydana getirmemesi için kütle ve rijitlik merkezlerinin yakın olmasına özen gösterilir.

Kolonların sünekliğini arttırmaya yönelik olarak kesme ve basınç dayanımlarının artırılması, kesme ve basınç gerilmelerinin azaltılması ve bindirmeli eklerin

zayıflıklarının giderilmesi için betonarme, çelik veya lifli polimer sargılama yöntemleri uygulanır. Ancak sargılama ile kolonun eğilme kapasitesi arttırılamaz.

Taşıyıcı sistem çelik çaprazlar kullanılarak da güçlendirilebilir. Bu durumda en basit uygulama kiriş-kolon düzlemine yerleştirilecek çaprazlar yanında kolon ve kirişe bitişik konulacak çelik elemanlarla yapılabilir.

Gerek kolonların mantolanması, gerekse perde eklenmesi nedeniyle değişen rijitlik, güçlendirilen elemanlarda, dolayısıyla temelde daha büyük deprem momentlerinin oluşmasına yol açar. Bu yüzden temelin de kontrol edilmesi ve gerekiyorsa güçlendirilmesi söz konusu olabilir.

Bu çalışmanın amacı, mevcut bir iş hanı yapısının deprem güvenliğinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve önerilen güçlendirme ile yeni yapının performansının, doğrusal olmayan davranışı dikkate alarak belirlenmesidir. Bu işlemler yapılırken kullanılabilecek çözümleme yöntemleri, doğrusal çözümleme yöntemi (Geleneksel çözümleme yöntemi) ve doğrusal olmayan çözümleme yöntemleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

1.1. İçerik

Sunulan bu çalışma kapsamında mevcut okul yapısında güçlendirme öncesinde ve sonrasında klasik tasarımın genişletilmesi olarak düşünülebilen doğrusal olmayan analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırma yapılırken yapının performans noktasındaki durumu esas alınmıştır.

Çalışmanın içeriği aşağıdaki şekildedir.

1. Bölüm’ de konu ve çalışmanın amacı özetlenmiştir.
2. Bölüm’ de Taslak Deprem Yönetmeliği’ne göre mevcut yapı sistemlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için yapılması gerekenler anlatılmıştır.
3. Bölüm’de yapı sistemlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan (performansa dayalı) tasarımı anlatılmıştır. Bu doğrultuda, ATC 40 Yaklaşımı, FEMA 356 Yaklaşımı ve Tasarı Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı’nın ilgili bölümleri özetlenmiştir.

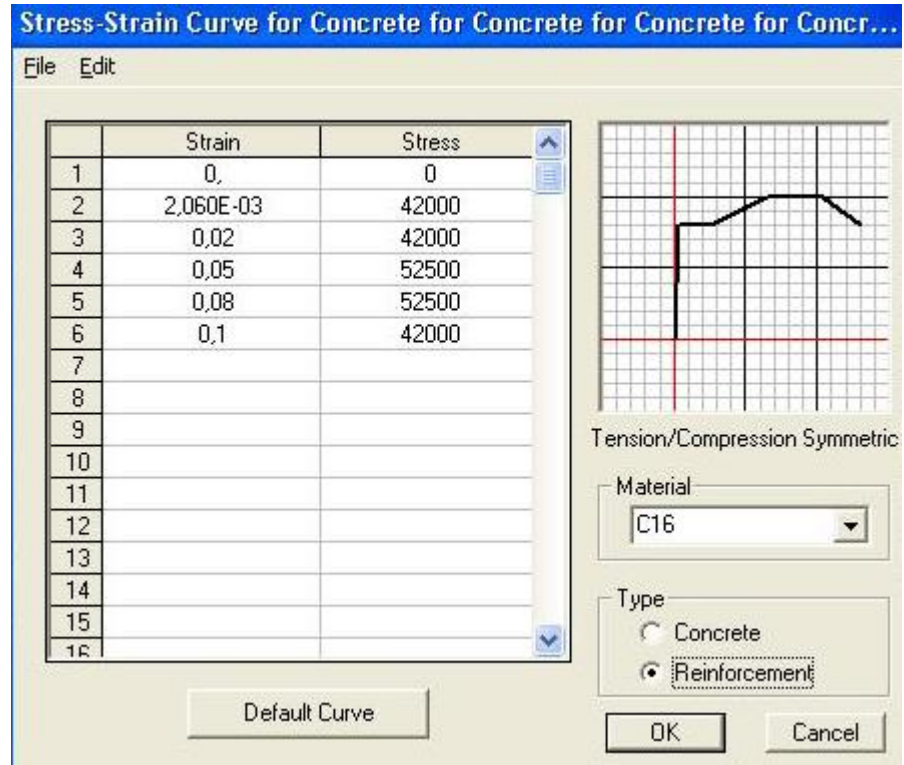
4. Bölüm’de sözkonusu yapının doğrusal analizi yapılmıştır. Düşey ve deprem yüklerinin oluşturduğu çeşitli yükleme durumlarına ait doğrusal olmayan analizleri ETABS v8.50 (Extented Three Dimensional Analysis of Building Systems) programı yardımı ile yapılmıştır. Bunun için, mevcut kesitler için yatay yüklere göre çözüm yapılmıştır.
5. Bölüm’de 4. Bölüm’de doğrusal analizi yapılan betorname yapının doğrusal olmayan davranışı araştırılmıştır. Doğrusal olmayan analizleri, ATC 40 yaklaşımının önerdiği kapasite spektrum yöntemi, FEMA 356 yaklaşımın önerdiği yerdeğiştirme katsayısı yöntemi esas alınarak yapılmıştır.
6. Bölüm’de perde ilaveleri ile güçlendirilmiş yapının doğrusal analizi yapılmış ve güçlendirmenin etkileri gösterilmiştir.
7. Bölümde güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan analizi, bu sene içerisinde uygulamaya sunulacak olan Tasarı Deprem Yönetmeliği’ nin önerdiği artımsal itme analizi esas alınarak yapılmıştır. Güçlendirmenin yapının performansına etkileri gösterilmiştir.
8. Bölüm’de çalışmada ulaşılan sonuçlar toplu bir şekilde özetlenmiştir. Yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçları hem kendi içinde hem de karşılaştırılmalı olarak yorumlanmıştır.

1.2. Çalışmada Yapılan Kabuller

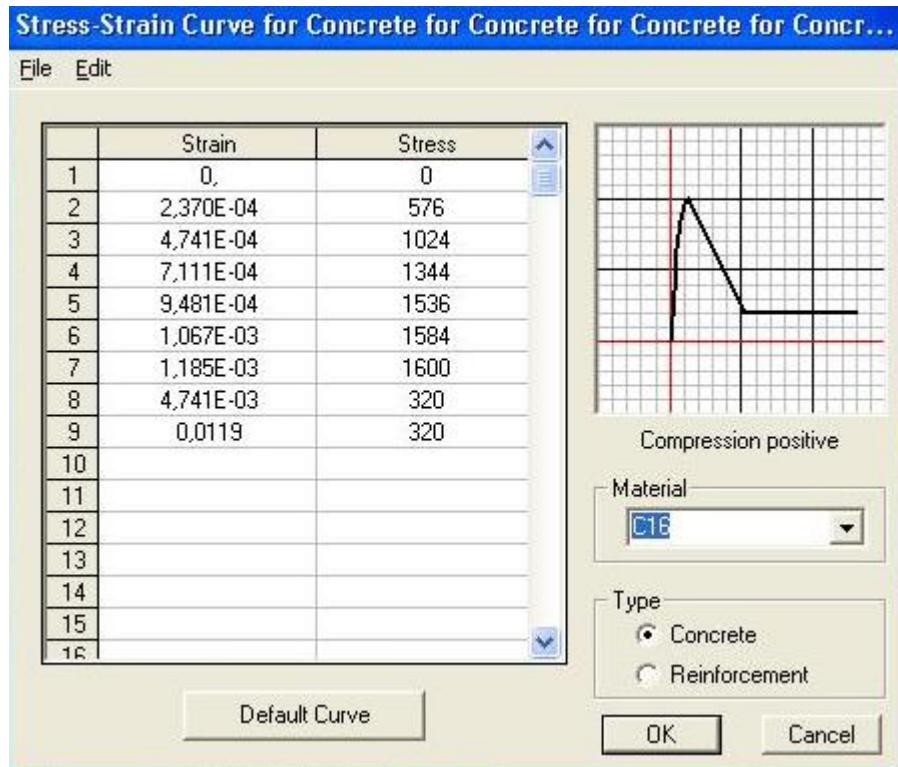
Yapının doğrusal analizinde esas alınan kabuller ve parametreler,

- Çatı katında düşey sabit yük 2.57 kN/m^2 , diğer katlarda ise 3.25 kN/m^2 alınmıştır. Hareketli yük olarak ise çatıda 0.75 kN/m^2 , diğer katlarda ise 3.50 kN/m^2 alınmıştır. Taşıyıcı sistem zati ağırlıkları program tarafından hesaba katılmaktadır.
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı olarak mevcut sistemde her iki doğrultuda 4, güçlendirilmiş yapıda X-X doğrultusunda 5.7, Y-Y doğrultusunda ise 6 alınmıştır.

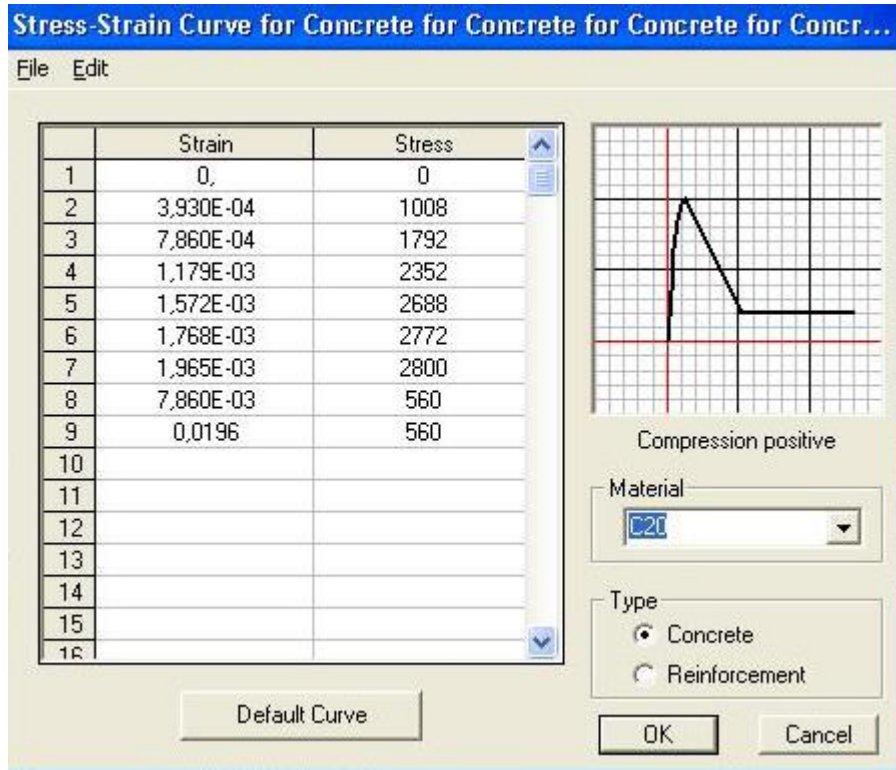
- Yatay yük olarak deprem yükleri alınmıştır.
- Bu yatay deprem yükleri eşdeğer deprem yükü yöntemi ile bulunmuştur.
- Düşey ve yatay dış etkilere meydana gelen iç kuvvet, şekil değiştirme ve yerdeğiştirmeler ETABS V 8.50 programı aracılığı ile elde edilmiştir.
- Taşıyıcı olmayan elemanlar taşıyıcı sistem modeline dahil edilmemiştir.
- Taşıma gücü hesap yönteminde aşağıdaki kabuller kullanılmıştır:
 - Eğilmeden önce düzlem olan kesitler, eğilmeden sonrada düzlem kalır.
 - Beton çatladıktan sonra, betonun çekme dayanımı ihmal edilir.
 - Donatı için kabul edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 1.1' de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, donatının aktıktan sonra 1.25 f_y kadar pekleştiği varsayılmıştır.
 - Mevcut yapıdaki C16 betonu için kabul edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 1.2' de verilmiştir.
 - Güçlendirilmiş yapıda perdelerdeki C20 betonu için kabul edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 1.3' de verilmiştir.
- Kat seviyelerinde rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Kurulan üç boyutlu taşıyıcı sistem modelinde, kolon ve kirişler çubuk eleman olarak, perdeler kabuk eleman olarak, döşemeler levha eleman olarak modellenmiştir.
- Taşıyıcı sistem hesabında, kirişlerin dikdörtgen kesitli (tablasız) olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 1.1: S420 Donatısı için Gerilme-Şekil değiştirme Diyagramı



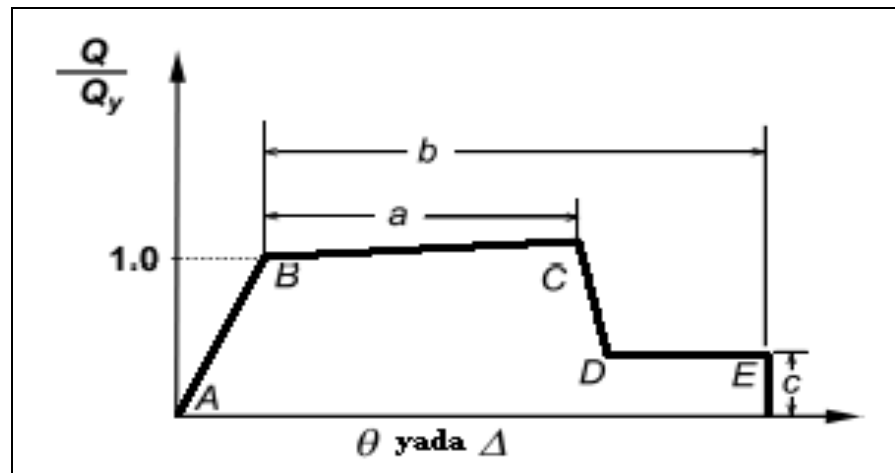
Şekil 1.2: C16 Betonu için Gerilme-Şekil değiştirme Diyagramı



Şekil 1.3: C20 Betonu için Gerilme-Şekil değiştirme Diyagramı

Yapının doğrusal olmayan analizinde esas alınan kabuller ve parametreler,

- Perdeler çubuk eleman olarak modellenmiştir.
- Plastik mafsalsal olarak Şekil 1.4 teki yük-şekildeğiştirme diyagramına eşdeğer davranış gösteren mafsalsal kullanılmıştır.



Şekil 1.4: Plastik Mafsalsal Kabulü

- Yapısal olmayan elemanlardaki sönüm ihmal edilmiştir.
- Kiriş elemanlar için güçlü eksen etrafındaki eğilme rijitliği çatlamış kesit oluşturabilmek için $0.40 EI_o$ alınmıştır.
- Kolon ve perde elemanların her iki eksen etrafındaki eğilme rijitliği çatlamış kesit oluşturabilmek için belirli bir katsayı ile azaltılmıştır. Buna göre,
 $0.40 EI_o$ (eğer $N_d/A_s f_{ck} < 0.10$)
 $0.80 EI_o$ (eğer $N_d/A_s f_{ck} \geq 0.40$)
- Elemanların kesme kuvveti rijitliği azaltılmamıştır.
- Kesme kuvveti donatısının (etkiye ve çiroz) sünekliliğe katkısı dikkate alınmamıştır. Moment-eğrilik bağıntıları, betonarme kesitlerdeki boyuna donatı alanından hareketle hesap edilmiştir.
- Yapının ankastre olarak zemine mesnetlendiği varsayılmıştır

2. MEVCUT YAPI SİSTEMLERİNİN TESPİTİ

2.1. Mevcut Durumun Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Kullanım süresi içinde deprem ve benzeri dış etkilere ve değişikliklere maruz kalması muhtemel olan mevcut yapıların taşıyıcı sistemindeki belirsizlikleri yeni yapılacak binalara oranla daha fazladır. Bu binaların deprem performanslarının yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında kontrol edilmesi, değerlendirilmesi ve gerekiyorsa güçlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

2.2. Binalardan Bilgi Toplanması

Bu konuda yapılacak araştırma ve çalışmaların detayları “Taslak Deprem Yönetmeliği 2005”de belirtilmiştir. Buna göre, 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 varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür. Bu kapsamda 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. Binaların incelenmesinde elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanarak, taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılır.

- a. Sınırlı Bilgi Düzeyi :** Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.
- b. Orta Bilgi Düzeyi :** 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.
- c. Kapsamlı Bilgi Düzeyi :** Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla orta bilgi düzeyine göre daha kapsamlı ölçümler yapılır.

Taslak Deprem Yönetmeliği'nde ayrı ayrı bu bilgi düzeyleri için yapılacak olan çalışmalar betonarme binalar, çelik binalar, prefabrike betonarme binalar ve yığma binalar için açıklanmıştır. Bu çalışmada çözülecek sistemin betonarme bina olması nedeniyle detayları açıklanacaktır.

2.2.1. Betonarme binalarda bilgi düzeyleri

- a. Sınırlı bilgi düzeyi :** Bina geometrisinin belirlenmesi amacıyla saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkartılacaktır. Mimari projeler mevcut ise, röleve çalışmalarına yardımcı olarak kullanılır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların tam yerlerini, boyutlarını içermelidir ve binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Temel sistemi de açılacak çukurlar ile belirlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir.

Sınırlı bilgi düzeyine göre betonarme projeler mevcut değildir. Betonarme binalarda donatı miktarı en fazla binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşulu olarak alınabilir. Her katta en az birer adet olmak üzere kolonların ve kirişlerin herbirinden yüzde 10 oranında elemanın paspayları sıyrılarak donatı tespiti yapılır. Ayrıca paspayı sıyrılmayan elemanların yüzde 20'sinde mevcut donatı durumu donatı tesbit cihazları ile tahribatsız olarak ölçülecektir.

Her katta kolonlardan veya perdelerden en az iki adet beton örneği alınarak deney yapılacak ve örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımı betonun kapasite dayanımı olarak alınacaktır. Donatı sınıfı, sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel

inceleme ile tesbit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma dayanımı çeliğin kapasite dayanımı olarak alınacaktır.

b. Orta bilgi düzeyi : Binanın betonarme projeleri mevcut ise, binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projesine uygunluğu kontrol edilir. Proje yoksa saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkarılır. Toplanan bilgiler tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların tam yerlerini, boyutlarını içermelidir ve binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi ve temel sistemi de belirlenecektir.

Betonarme projeler mevcut değil ise her katta en az 2’şer adet olmak üzere kolon ve kirişlerin yüzde 20’sinin paspayları sıyrılarak mevcut donatı tespiti yapılacaktır. Betonarme projeler mevcut ise her katta en az 1’er adet olmak üzere kolon ve kirişlerin yüzde 10’unun paspayları sıyrılarak mevcut donatı tespiti yapılacaktır. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk olması halinde, eleman kapasitelerinin belirlenmesine kullanılacak “donatı gerçekleşme katsayısı” belirlenir. Ayrıca paspayı sıyrılmayan elemanların mevcut donatı durumu donatı tesbit cihazları ile tahribatsız olarak ölçülecektir.

c. Kapsamlı bilgi düzeyi : Binanın betonarme projeleri mevcuttur. Binada yapılacak ölçümlerle mevcut projelerin uygunluğu kontrol edilir. Projeler önemli farklılıklar gösteriyorsa, projeler yok kabul edilir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütlelerinin hassas bir şekilde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi ve temel sistemi de belirlenecektir.

Her katta en az 1’er adet olmak üzere kolon ve kirişlerin yüzde 10’unun paspayları sıyrılarak mevcut donatı tespiti yapılacaktır. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk olması halinde, eleman kapasitelerinin belirlenmesine kullanılacak “donatı gerçekleşme katsayısı” belirlenir. Ayrıca paspayı sıyrılmayan elemanların mevcut donatı durumu donatı tesbit cihazları ile tahribatsız olarak ölçülecektir.

Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam 3 adetten az olmamak üzere ve binada toplam 12 adetten az olmamak üzere, her 200 m²’den bir adet beton numunesi alınarak test edilecektir. Betonun kapasite dayanımı olarak bu numunelerden elde edilen ortalama değerler kullanılacaktır. Her sınıftaki donatı için uygun bölgelerden birer numune alınarak, çeliğin akma ve kopma dayanımları ile şekil değiştirme

özellikleri belirlenecektir. Sonuçlar projeye uygunsa, projede kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı kapasite dayanımı olarak alınacak, uygun değilse en az üç adet daha numune tast edilerek, elde edilen en elverişsiz değerler, kapasite dayanımı olarak alınacaktır.

2.2.2. Bilgi düzeyi katsayıları

İncelenen binalardan elde edilen bilgi düzeylerine göre, eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları **Tablo 2.1**'de verilmektedir.

Tablo 2.1: Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0,75
Orta	0,90
Kapsamlı	1,00

3. YAPI SİSTEMLERİNİN ANALİZ YÖNTEMLERİ

Yapıların analizinde kullanılan hesap yöntemleri aşağıda sıralanmıştır [8].

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

3.1. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri

Mevcut yapının taşıyıcı sisteminin performansının belirlenebilmesi için TS500 ve Deprem Yönetmeliği esas alınarak düşey yük ve deprem etkisi altında $(1,4G+1,6Q)$, $(G+Q\pm E)$ ve $(0,9G+E)$ yük kombinasyonlarına göre çözümleme yapılır.

Taşıyıcı sisteme duyulan güven oranında, deprem yükleri Deprem Yönetmeliği'nde öngörülenden en fazla %25 oranında azaltılarak hesaba katılabilir [6]. Bunun nedeni, mevcut binanın ömründe yönetmelikte öngörülen deprem etkisinin ortaya çıkması ihtimalinin daha düşük olmasıdır. Kamu binalarının kullanım ömürleri daha uzun olduğundan, Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen yüklerin azaltılmaması gerekir.

Deprem yüklerinin mevcut sistem ile taşınıp taşınmadığı incelenirken; belirsizlikler varsa, mevcut sistemin kapasitesi 0,85 katsayısı ile azaltılabilir [6].

Deprem hesabı yapılırken mevcut belirsizlikler nedeniyle bazı kabuller yapılması gerekir. Yapılan bu kabuller ile eşdeğer deprem yükü yöntemi, modların süperpozisyonu yöntemi, zaman tanım alanında çözüm yöntemleri ortaya çıkmıştır.

Yapıların gerek malzeme bakımından lineer olmaması, gerekse geometrik bakımından lineer olmaması nedeniyle, lineer hesap yöntemlerinde dış etkiler elastik ötesi davranışı temsil eden bir katsayısı ile azaltılır. Anlaşılacağı üzere bu kabulde, elastik hesapla bulunan dinamik hesaba esas iç kuvvetler, yapıdaki elastik ötesi kapasite sebebiyle, belirli hasarlar kabul edilerek belirli bir katsayı ile azaltılmaktadır.

Yapılan bu incelemeler ile taşıyıcı sistemin deprem yükü altındaki davranışı belirlenir ve güvenlik seviyesi göz önüne alınarak güçlendirme gerekip gerekmediğine karar verilir.

3.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Lineer olmayan statik hesap yöntemleri temel olarak, yapının yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin belirlenmesini, bu kapasite eğrisinden yararlanarak göz önüne alınan deprem için yapının elastik olmayan maksimum deplasmanının (deplasman talebinin) hesaplanmasını ve bu deplasman değerine statik olarak itilmiş bir yapının performansının (deprem güvenliğinin) belirlenmesini içermektedir [9].

Sistemlerin lineer (doğrusal) olmaması iki nedenle olabilir. 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. Bu sebeplerden birinin veya her ikisinin de sistemde bulunması nedeniyle sistem lineer olmayan davranış gösterir.

Doğrusal analiz yönteminde, yapının doğrusal olmayan davranışı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı dolayısıyla deprem yükü azaltma katsayısıyla hesaba katılmaktaydı. Doğrusal olmayan davranışın tek bir katsayıyla çözüme girmesi, depremde yapıya etkiyecek deprem kuvvetinin, oluşacak olan yer değiştirmelerin ve şekil değiştirmelerin belirlenmesi bakımından bazı belirsizlikler getirmektedir.

Bu belirsizlikleri azaltmaya yönelik yerdeğiştirme esaslı performansa dayalı hesap yöntemleri üzerinde durulmaktadır. Bu yöntemin 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.

Performansa dayalı çözüm yönteminde hedeflenen performans seviyeleri, aslında klasik yapı tasarımında kullandığımız “kullanma sınır durumu” ve “taşıma gücü sınır durumu” performans noktalarının daha ayrıntılı incelenmesi ve amaçların daha belirgin ortaya konulması olarak yorumlanabilir. 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.

Performansa dayalı çözümleme yöntemlerinde ise, hedeflenen performans seviyeleri yapıların, küçük depremleri hasarsız atlatması, orta büyüklükteki depremleri can güvenliğini sağlayacak şekilde atlatması, büyük depremlerde ise toptan göçmenin engellenmesi hedeflenir.

3.2.1. Kapasite spektrumu yöntemi (ATC 40 Yaklaşımı)

Kapsamı betonarme binalar ile sınırlıdır. Mevcut yapıların incelenmesine yönelik hazırlanmıştır. Günümüzde yeni yapılacak yapıların incelenmesi için de kullanılmaktadır. Yöntemin esası, deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen performans seviyesinin belirlenmesi ve bu seviyenin kontrol edilmesidir. Yöntem, kapasite eğrisinden üretilen kapasite spektrumu ile tasarım depremine karşılık çizilmiş talep spektrumu veya azaltılmış, yani doğrusal olmayan davranışı dikkate almak üzere spektral azaltma katsayıları ile çarpılmış talep spektrumunun kesişim noktasının (performans noktası) bulunması üzerine kuruludur.

Yapıda hangi deprem seviyesi esas alınacak ve bu depreme karşılık ne gibi hasarlar oluşacak ve yapı nasıl bir performans gösterecektir? Bu sorulara karşılık “Bina Deprem Performans Amacı” tanımlanır.

3.2.1.1. Performans seviyeleri

Gözönüne alınan depremde oluşacak hasar ve yapının deprem sonrası kullanımına ne şekilde devam edebileceğine bağlı olarak performans seviyeleri tanımlanır. Performans seviyeleri, yapısal elemanlarda ve yapısal olmayan elemanlarda olmak üzere iki şekilde tanımlanmıştır.

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 3.1’de bu performans seviye ve aralıklarına ilişkin tanımlar verilmiştir.

Tablo 3.1: 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 Stabilitate Performans Seviyesi
SP-6		Yapısal Performansın Gözönüne Alınmadığı Durum

Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1): Çok hafif taşıyıcı sistem hasarına karşılık gelir. Bina, deprem öncesindeki düşey ve yatay yük taşıyıcılık özelliklerini ve kapasitesini hemen hemen aynen korumaktadır. Yapısal hasarlardan kaynaklanan bir yaralanma sözkonusu değildir. Bina deprem sonrasında sınırsız olarak kullanıma açıktır.

Hasar Kontrolü Performans Aralığı (SP-2): Deprem sonrası hasar durumunun, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında kalan performans aralığıdır. 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.

Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3): Deprem sonrasında taşıyıcı sistemde önemli ölçüde hasar olmasına karşın, yerel veya toptan göçme söz konusu değildir. Binanın toptan göçmeye karşı kapasitesi hala bulunmaktadır. Deprem sırasında yapısal hasarla ilgili olmayan yaralanmalar olabilir.

Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (SP-4): Can güvenliği ile toptan göçmenin önlenmesi performans seviyeleri arasında kalan aralıktır. Bir binanın güçlendirilmesinde can güvenliğinin tam olarak sağlanması durumunda göz önüne alınabilir.

Yapısal Stabilite (Göçmenin Önlenmesi) Performans Seviyesi (SP-5): 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. Yapının düşey yük taşıma kapasitesi halen mevcuttur. Hasarın çok fazla olması nedeniyle binanın mutlaka güçlendirilmesi gerekmektedir.

Yapısal elemanlarda tanımlanan performans seviyelerinin benzeri, yapısal olmayan elemanlar için de tanımlanmıştır. Binanın taşıyıcı olmayan elemanlarında deprem etkisinde meydana gelecek muhtemel hasara ve deprem sonrası kullanımına bağlı olarak tanımlanan performans seviyeleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: 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

Binadaki taşıyıcı elemanlar ile taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir birleşimi olarak “bina performans seviyeleri” tanımlanır. Binadaki performans seviyelerine ilişkin bilgiler Tablo 3.3 te gösterilmiştir.

Tablo 3.3: 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	

Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A): Binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar miktarı, kullanımı engelleyecek seviyede değildir. Yedek sistemlerin devreye girmesi ile kullanıma devam edilebilir.

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

Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C): 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. Taşıyıcı sisteminde önemli bir kapasite halen kalmış durumdadır.

Yapısal Stabilite Performans Seviyesi (5-E): 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.

Bina Performans Seviyesi (3-D): 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.

Bina Performans Seviyesi (3-B): Bu seviyede, taşıyıcı sistemdeki hasar binanın kullanımına engel olmamaktadır. Bu tür performans seviyesinin bütün bir bina için öngörülmesi yerine, binanın kontrol merkezi ve bilgisayar merkezi gibi belirli hacimleri için kabul edilmesi uygun olabilir [Celep ve Kumbasar, 2004].

ATC 40'a göre yapılacak hesaplarda, grafik bir prosedür sayesinde yapının kapasitesi yapıdaki deprem talebi ile karşılaştırılmaktadır. Deprem talebinin belirlenebilmesi için öncelikle elastik spektrum eğrisinin tanımlanması daha sonra bunun talep spektrumuna dönüştürülmesi gerekir.

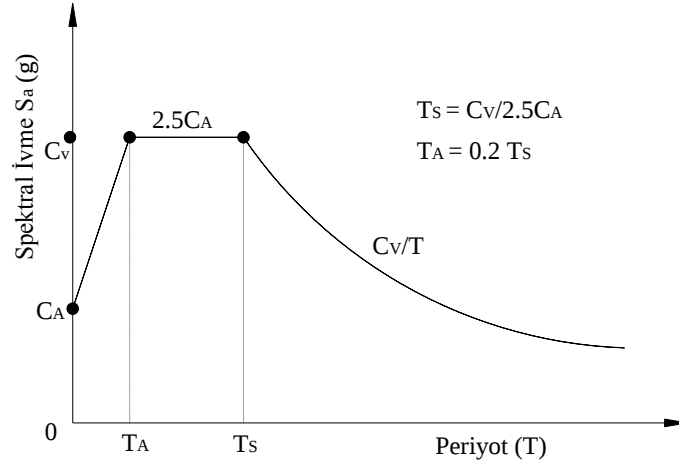
3.2.1.2. Elastik ivme-periyot spektrum eğrisi

Hesaplarda göz önüne alınacak depremin etki seviyesini göstermek amacıyla spektrum eğrileri tanımlanır. Bu eğrinin tanımında C_A ve C_V parametreleri kullanılır. Bu parametrelerden C_A zeminin etkili maksimum ivme katsayısını, C_V ise periyodu 1s olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini gösterir. Bu parametreler, binanın bulunduğu deprem bölgesine, bilinen bir deprem kaynağına uzaklığına bağlıdır.

Şekil 3.1'de tipik bir elastik ivme-periyot spektrum diyagramı görülmektedir. C_A ve C_V parametreleri ZEN parametresine ve zemin sınıfına (Tablo 3.6) bağlı olarak belirlenecektir. ZEN ifadesi deprem bölge katsayısı Z (Tablo 3.4), deprem etkisi türü katsayısı E , deprem kaynağına uzaklık N katsayısının (Tablo 3.5) çarpımına eşittir. C_A ve C_V parametreleri Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de görülmektedir.

Tablo 3.4: Deprem Bölge Katsayısı

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



Şekil 3.1: (Sa – T) Spektrum Eğrisi

Tablo 3.5: Kaynağa Uzaklık Katsayısı

Deprem Kaynağı Türü	Deprem Kaynağına Uzaklık							
	≤ 2 km		5 km		10 km		≥ 15 km	
	NA	NV	NA	NV	NA	NV	NA	NV
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 3.6: 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

Tablo 3.7: Deprem Katsayısı, CA

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 3.8: 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)

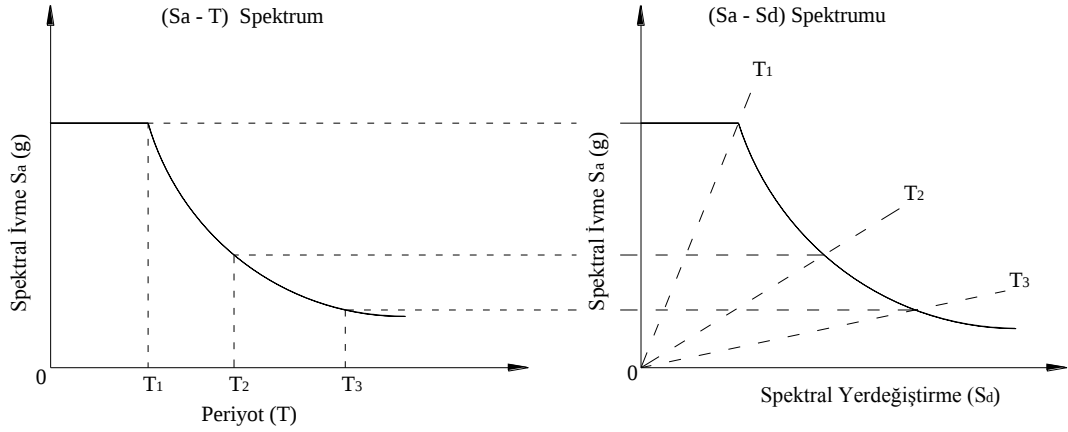
3.2.1.3. Elastik ivme-yerdeğiştirme spektrum eğrisi

“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.

Kapasite diyagramı ile talep spektrumunun aynı diyagramda karşılaştırılabilmesi için “spektral ivme – periyot” (S_a-T) formatındaki talep spektrumunun “spektral ivme – spektral yer değiştirme” (S_a-S_d) formatına dönüştürülmesi gerekir. Bunun için spektral ivme ile spektral yer değiştirme arasındaki Denklem 3.1’ den yararlanılır.

$$S_d(T) = \frac{1}{\omega^2} g S_a(T) \approx \frac{T^2}{4\pi^2} g S_a(T) \quad (3.1)$$

Bu denklem 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 3.2’de ivme spektrumundan talep spektrumuna geçiş gösterilmiştir.



Şekil 3.2: İvme Spektrumundan Talep Spektrumunun Elde Edilmesi

3.2.1.4. Elastik ivme-yerdeğiştirme spektrumunun sönüm ile azaltılması ve performans noktasının bulunması:

$(S_a - S_d)$ formatına dönüştürülen elastik talep spektrumunun, yapının doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere indirgenmesi gerekir. 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 [8].

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 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} ,

$$\beta_{ef} = \kappa \beta_0 + 0.05 \quad \beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{SO}} \quad (3.2)$$

olarak bulunabilir. Burada,

κ : Kapasite diyagramının şekline bağlı olarak bulunan sönüm düzeltme katsayısı

β_0 : Histerik sönüm yüzdesi (eşdeğer viskoz sönüm)

E_D : Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji

E_{SO} : Aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisidir.

Sönüm düzeltme katsayısı κ ATC-40'da yapısal davranış tipine ve β_0 değerine bağlı olarak tanımlanmıştır. Tablo 3.9'da sönüm düzeltme katsayısı κ verilmiştir.

Tablo 3.9: Sönüm düzeltme katsayısı (κ) değerleri (ATC-40)

Yapısal Davranış Tipi	β_0 (%)	κ
A Tipi	≤ 16.25	1.0
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
B Tipi	≤ 25	1.0
	> 25	$0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
C Tipi	Değer Yok	0.33

Bu tabloda,

d_y ve a_y : Doğrusal elastik davranışın sınırındaki yerdeğiştirme ve ivme spektral değerleri,

d_{pi} ve a_{pi} : Hedeflenen performans seviyesindeki yerdeğiştirme ve ivme spektral değerlerini göstermektedir.

ATC-40'da verilen yapısal davranış tipleri, yapı taşıyıcı elemanlarının durumuna ve deprem esnasında oluşan sarsıntının süresine bağlı olarak Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10: Yapısal Davranış Tipleri (ATC-40)

Sarsılma Süresi	Yeni Binalar	Orta Yaşlı Binalar	Yaşlı Binalar
Kısa	A Tipi	B Tipi	C Tipi
Uzun	B Tipi	C Tipi	C Tipi

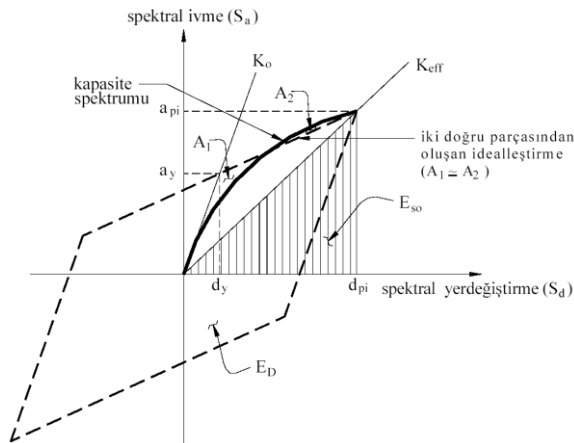
Sarsılma süresi, binanın yer hareketi kaynağına olan uzaklığına, zemin cinsine ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak açıklanmıştır. Yine tablodaki *yeni binalar* kavramı, kullanımdaki deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış, taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki davranışları bilinen binaları, *yaşlı binalar* kavramı, taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki davranışları bilinmeyen ve kötü durumdaki eski binaları, *orta yaşlı binalar* kavramı ise, açıklanan iki kavram dışında kalan durumları ve mevcut güçlendirilmiş binaları kapsamaktadır.

Geometrik bağıntılar kullanılarak,

$$\beta_{ef} = \beta_0 + 0.05 = 0.64 \kappa \frac{a_y d_{pi} - d_y a_{pi}}{a_{pi} d_{pi}} + 0.05 \quad (3.3)$$

yazılabilir.

Şekil 3.3'de spektral azaltma için sönüm elde edilmesi görülmektedir.



Şekil 3.3: Spektral Azaltma için Sönüm Elde Edilmesi

Hesabı kolaylaştırmak için kapasite diyagramı ikili doğrusal biçime çevrilir.

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi, $(d_{pi} ; a_{pi})$ koordinatı aranılan performans noktasını gösterir. Bu noktanın bulunması için, öncelikle kapasite diyagramında performans noktası $(d_{pi} ; a_{pi})$ tahmin edilir. Bu noktaya göre kapasite diyagramı A_1 ve A_2 alanları eşit olacak şekilde ikili doğrusal biçime çevrilerek etkili sönüm yüzdesi hesaplanır ve spektral azaltma çarpanları SR_A ve SR_V (denklem 3.4 ve 3.5) bulunarak elastik talep spektrumu indirgenir. Bu çarpanlar yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlıdır.

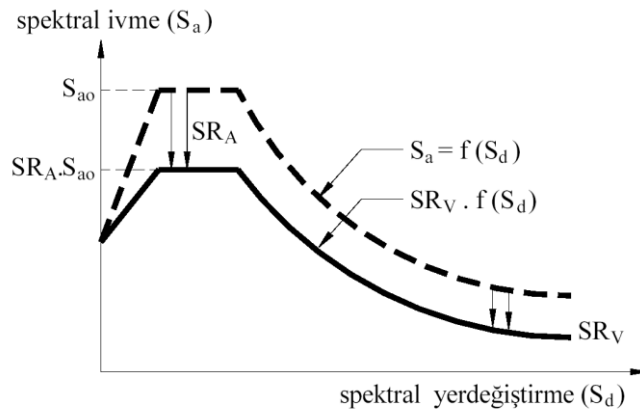
$$SR_A : \frac{3.21 - 0.68 \ln(100\beta_{ef})}{2.12} \quad (3.4)$$

$$SR_V : \frac{2.31 - 0.41 \ln(100\beta_{ef})}{1.65} \quad (3.5)$$

SR_A ve SR_V çarpanlarının alabileceği minimum değerler Tablo 3.11’de, talep spektrumunun azaltılması ise Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

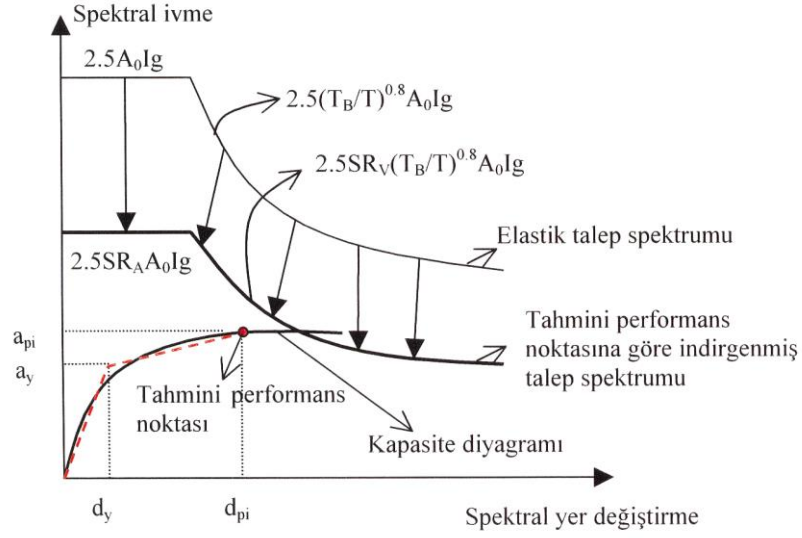
Tablo 3.11: SR_A ve SR_V ’nin alabileceği minimum değerler (ATC-40)

Yapısal Davranış Tipi	SR_A	SR_V
A Tipi	0.33	0.50
B Tipi	0.44	0.56
C Tipi	0.56	0.67



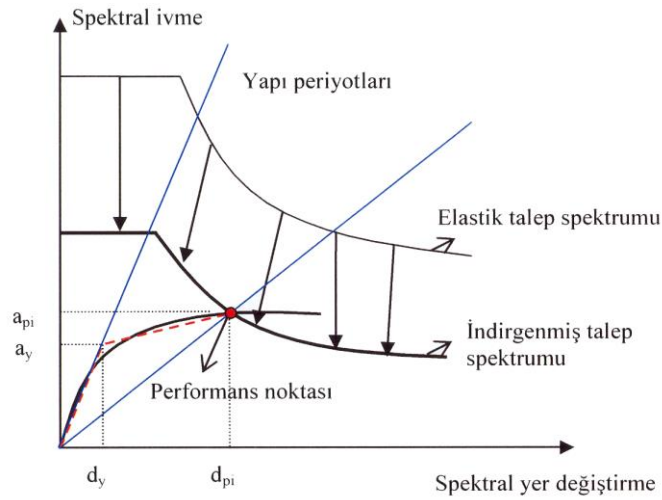
Şekil 3.4: Talep Spektrumunun Azaltılması

Şekil 3.5’de kapasite diyagramında tahmini performans noktası ve bu noktaya göre hesaplanmış tahmini indirgenmiş talep spektrumu görülmektedir.



Şekil 3.5: Kapasite Diyagramı ve Tahmini İndirgenmiş Talep Spektrumu

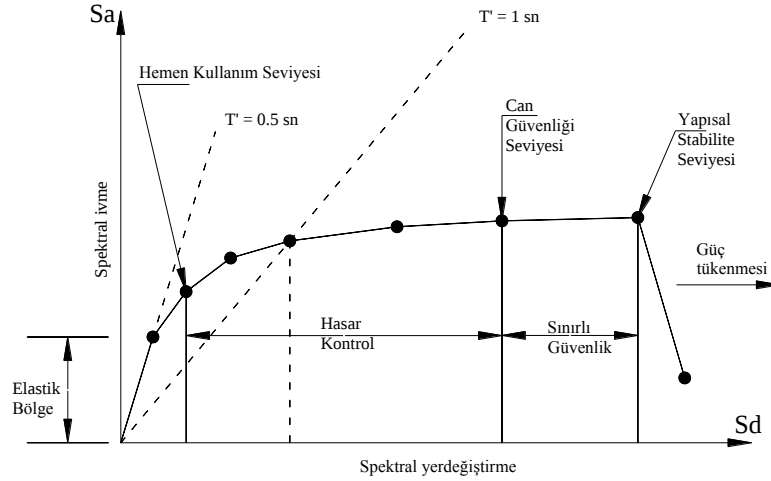
İndirgenmiş talep spektrumunun kapasite diyagramını kestiği nokta, başlangıçta tahmin edilen performans noktasıyla çakışmıyorsa (%5 hata oranı kabul edilebilir), yeni bir performans noktası tahmin edilir ve bu noktaya göre elastik talep spektrumu tekrar indirgenir. İndirgenen spektrumun kapasite diyagramını kestiği nokta, tahmin edilen performans noktasına yeteri kadar yakınsa, performans noktası bulunmuş sayılır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Kapasite Diyagramı ve İndirgenmiş Talep Spektrumu

3.2.1.5. Taşıyıcı sistemin değerlendirilmesi

ATC-40 yöntemine göre taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını en üst kat yerdeğiştirmesinin yatay kuvvete bağlı olarak elde edilen kapasite spektrum eğrisinin temsil ettiği kabul edilir. Şekil 3.7’de böyle bir eğri gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Taşıyıcı Sistemde Kapasite Spektrum Eğrisi

Sözkonusu 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 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 [6].

3.2.1.6. Performans noktasının kabul kriterleri

Performans noktasının bulunmasından sonra, binanın öngörülen performans seviyesinin koşullarını sağlayıp sağlamadığı, ilgili seviye için öngörülen sınırların kontrol edilmesi ile belirlenir. Öngörülen hedeflerin sağlanamaması durumunda performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı elemanların dayanımlarının arttırılması 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: Herbir performans seviyesinde, bina taşıyıcı sistemi, düşey yük taşıma kapasitesini sürdürebilmelidir.

Yatay Yüklere Karşı Dayanım: Deprem etkisindeki ardışık yükleme sonucu oluşan dayanım azalmasının sınırlandırılması gereklidir. Bunun için, binanın performans noktasındaki toplam yatay yük taşıma kapasitesinin, ilerleyen yükleme adımlarında oluşan plastik mafsallarla beraber, %20 den daha fazla azalmaması gerekir.

Yatay Yer Değiştirmeler: Tablo 3.12’ de sınır değerler görüldüğü üzere, performans seviyelerine bağlı olarak rölatif kat ötelemelerinin sınırlandırılması gerekir. Tabloda yer alan V_i ifadesi “i.” kata ait kat kesme kuvvetini, P_i ifadesi de “i.” kattaki toplam düşey yükü temsil etmektedir.

Tablo 3.12: Katlar Arası Yerdeğiştirmenin Kat Yüksekliğine Oranı

Katlar Arası Yerdeğiştirme / Kat Yüksekliği Sınırı	Performans Seviyesi			
	Hemen Kullanım	Hasar Kontrolü	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
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

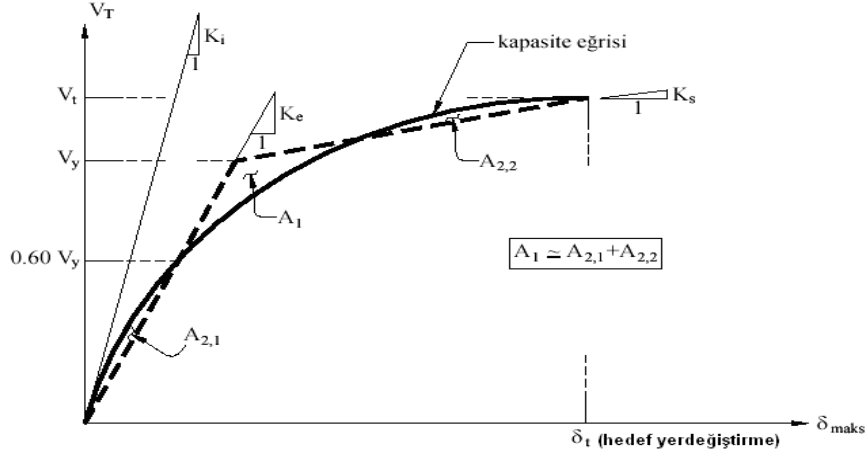
Yapı elemanlarının, taşıyıcı olan ve taşıyıcı olmayan elemanlar şeklinde ikiye ayrılması gibi, taşıyıcı elemanlar da kendi aralarında birincil taşıyıcı elemanlar ve ikincil taşıyıcı elemanlar olarak olarak sınıflandırılırlar. Performans noktası belirlendikten sonra, bu noktaya karşılık her eleman üzerindeki 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.

3.2.2. Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi (FEMA 356 Yaklaşımı)

FEMA 356 yaklaşımı ATC 40 yaklaşımının genişletilmesi ve sadece betonarme yapıları değil, tüm yapıları kapsayacak şekilde düzenlenmesi ile ortaya çıkmıştır. Anlaşılabileceği üzere, FEMA 356 tüm yapı türlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlemelerini içermektedir. Bu yaklaşım kapsamında analiz yöntemi olarak yerdeğiştirme katsayısı yöntemi anlatılmaktadır. Genel olarak her iki yöntem, performans seviyesi, performans amacı ve deprem etki seviyeleri tanımları bakımından birbiri ile aynıdır. Sadece isimlendirme farklılıkları vardır. Yapısal stabilite performans seviyesi tanımı yerine toptan göçmenin önlenmesi performans seviyesi tanımı getirilmiştir.

Kapasite katsayıları yöntemi, 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. Çözümde, yerdeğiştirmenin bina yüksekliğince değişiminde birinci mod etkili olacağı için, sadece en üst kat yerdeğiştirmesinin hesaba katılması yeterli olacaktır. Yapının birinci doğal periyodu dikkate alınarak, sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında yapının doğrusal olmayan analizi yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra çözümün yapılabilmesi amacıyla kapasite eğrisi, 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. Şekil 3.8’ da gerçek ve idealleştirilmiş kapasite eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.8: Gerçek ve İdealleştirilmiş Kapasite Eğrileri

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

$$S_{di}(T_e) = C_1 C_2 S_{de}(T_e) \quad (3.6)$$

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 yeralan R_y (dayanım azaltma katsayısı) ise

$$R_y = S_{ac}(T_e)/a_y \quad (3.7)$$

şeklinde tanımlanır. Modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesinin ardından hedef yerdeğiştirmesi, elde edilir. Daha sonra, tepe yerdeğiştirmesi hedef yerdeğiştirmesine eşit oluncaya kadar taşıyıcı sistem itilir [8].

Yerdeğiştirme katsayısı yönteminde, hedef yer değiştirme bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekir. Bu hesap yapılırken başlangıçta bir yerdeğiştirme seçilir ve iterasyon yöntemi uygulanır. Seçilen ve sistemin etkin doğal periyodunun hesabına esas olan δ_t yer değiştirme 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.

3.2.3. Taslak deprem yönetmeliği yaklaşımı

1998 yılında hazırlanan mevcut deprem yönetmeliğine göre, afet bölgelerinde yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek, onarılacak ya da güçlendirilecek tüm bina türü yapılar yönetmelik kurallarına uygun olarak yapılacaktır. Ancak zamanla bu yönetmeliğin bina değerlendirme ve güçlendirmesine ilişkin bölümünün yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu nedenle mevcut yönetmelik güncellenmiş ve 13. bölüm eklenmiştir. Bu bölüm deprem bölgelerinde bulunan tüm bina türü yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kurallarını, güçlendirilmesine karar verilen yapıların güçlendirme tasarımı ilkelerini içermektedir. Eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisi, malzeme özelliklerine ilişkin değerler kullanılarak taşıyıcı elemanların kapasiteleri hesap edilecektir. Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları *sünek* ve *gevrek* olarak ikiye ayrılacaktır. Betonarme elemanlar için, kırılma eğilme dolayısıyla oluşuyor ise *sünek*, kırılma eksenel basınç veya kesme dolayısıyla oluşuyor ise *gevrek* olarak sınıflandırılırlar. Eksenel yük oranı $N / A_c f_c > 0.7$ olan sargılanmamış kolonlarda *gevrek* olarak tanımlanırlar. Depremde bina

performansının belirlenmesi için *Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi* ve *Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi* kullanılabilir.

Taslak deprem yönetmeliği ile mevcut yönetmelik deprem karşılaştırıldığı zaman aşağıdaki farklılıklar dikkati çekmektedir [8]:

- Mevcut yönetmelikte, eşdeğer deprem yükü hesap edilirken sistemin elastik ötesi kapasitesini de göz önüne alabilmek için deprem yükü azaltma katsayısı kullanılır. Taslak yönetmeliğe göre, elastik hesap yöntemi ile toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesaplanmasında $R_a=1$ alınacaktır. Tüm sistem yerine eleman bazında azaltma katsayıları kullanılacaktır.
- Mevcut yönetmelikte dikkate alınan bina önem katsayısı, taslak yönetmelikte sözkonusu değildir. Çünkü, binanın değerlendirme aşamasında farklı deprem etkilerine bağlı olarak çeşitli performans seviyeleri tanımlanmıştır.
- Mevcut yönetmelikte yapı kütlelerinin düzgün olmayan dağılımını göz önünde bulundurmak için kullandığımız ek dış merkezlik 0.05 yeni değerlendirme yönteminde sözkonusu değildir.
- Taslak yönetmelikte kırılma türü kesme kuvveti güç tükenmesi olan (gevrek kırılma) kısa kolonlara ilişkin değerlendirme özellikle vurgulanmıştır.
- Taslak yönetmelikte betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılacaktır. Çalışan tabla genişliği TS 500 e göre belirlenecektir.
- Taslak yönetmeliğin önerdiği doğrusal olmayan hesap yöntemi ile değerlendirmede çatlamış kesit rijitlikleri göz önüne alınacaktır.
- Taslak yönetmeliğe göre zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zeminin şekil değiştirme özellikleri yapı modeline dahil edilecektir.

Taslak deprem yönetmeliğine göre doğrusal olmayan analizde amaç, verilen bir deprem için sünük davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet taleplerinin hesaplanarak, bu değerlerin şekil değiştirme

ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece binaların yapısal performanslarının belirlenmesidir.

Artımsal itme analizi ile yapılan hesap, FEMA 356 yaklaşımı kapsamında verilen yer değiştirme katsayısı yöntemi ile büyük benzerlik göstermektedir. Ancak, beton ve donatı çeliği için şekil değiştirme taleplerinin birim şekil değiştirme performans seviyesine bağlı sınır değerleri ile karşılaştırılması ile yapılacak olan bir performans değerlendirmesi sözkonusudur. Hesapta izlenecek adımlar sırası ile verilmiştir [8]:

- Yapısal elemanları gözönüne alarak analiz modelinin oluşturulması ve doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi. İtme analizi yapılarak $V_t - \Delta$ grafiğinin değişiminin çizilmesi.
- Çizilen bu değişimden koordinatları modal yerdeğiştirme-modal ivme olan modal kapasite diyagramının oluşturulması.
- %5 sönümlü elastik davranış spektrumundan yararlanarak modal yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi.
- Her iki grafikten faydalanarak performans noktasının bulunması.
- Performans noktasına karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet taleplerinin hesap edilmesi.
- Plastik mafsallık boyu kabul edilerek, plastikleşen kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik mafsallık dönme taleplerinden plastik eğrilik taleplerine geçilmesi. Buradan toplam eğrilik taleplerine geçilip, bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme taleplerinin hesaplanması.
- Kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi olarak, hesaplanan beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme talepleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan ilgili birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması. Ayrıca, analiz sonucunda elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti talepleri, kapasite normal kuvvet ve kesme kuvveti değerleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirilmesinin yapılması.

Tablo 3.13’ de Taslak Deprem Yönetmeliği 13. Bölüm’de verilen deprem güvenliği düzeyleri görülmektedir.

Tablo 3.13: Binalar İçin Farklı Deprem Etkileri Altında Hedeflenen Performans Düzeyleri

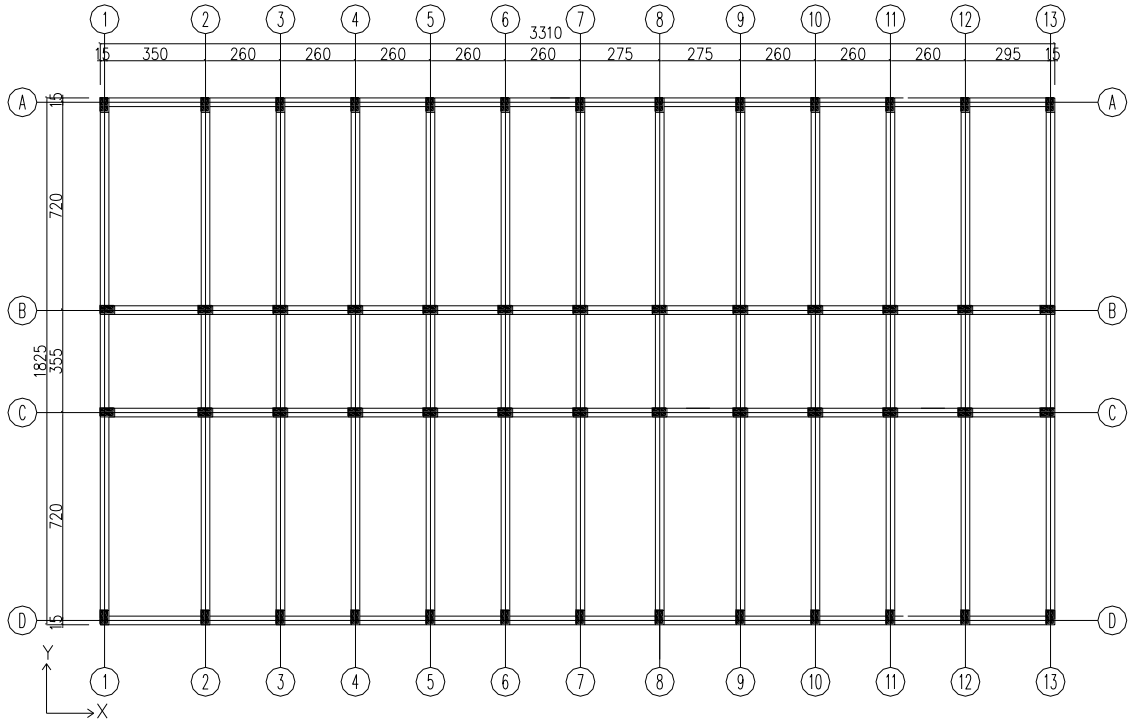
Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda % 50	50 yılda % 10	50 yılda % 2
Deprem Sonrası kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim 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, vb.	-	CG	GÖ
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar, vb.	-	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

4. MEVCUT YAPININ DOĞRUSAL ANALİZİ

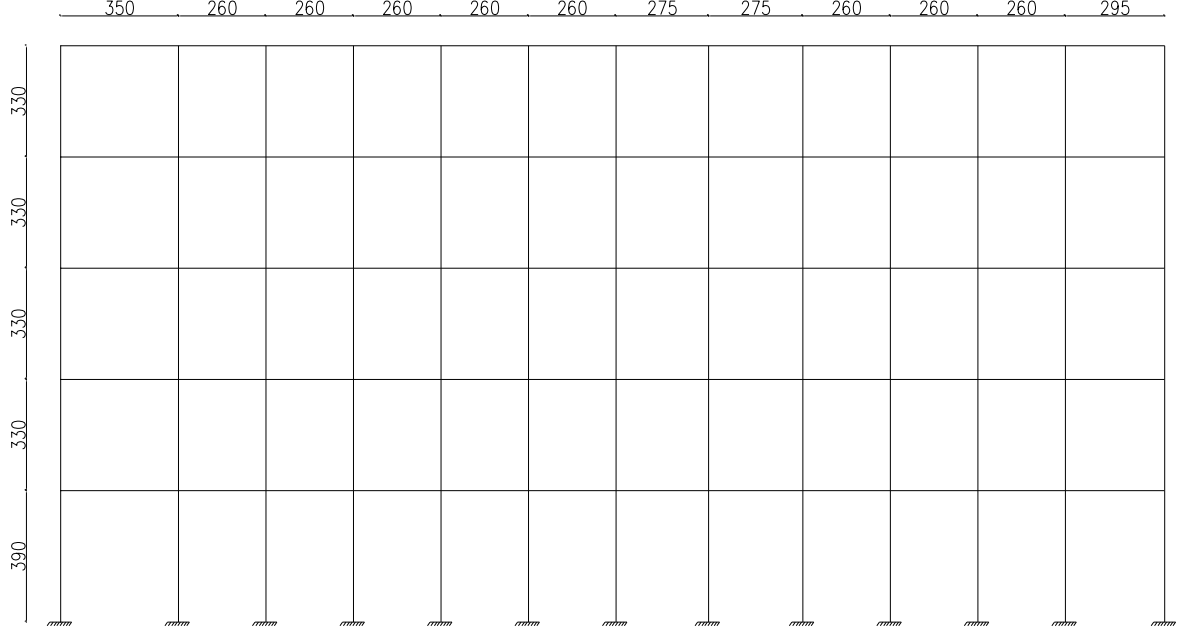
Yapı, 1. dereceden deprem bölgesinde, Z2 zemin sınıfında, okul olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Mevcut projesinde beton sınıfı olarak C20, donatı sınıfı ise S420 olarak tasarlanmıştır. Smith çekici, karot testleri, ultrases gibi kontroller neticesinde, beton sınıfı olarak C16 bulunmuştur. Kontrol neticesinde, donatı miktarları ve yerleşimleri projeye uygun bulunmuştur ancak, etriye sıklaştırmalarında ve boyuna donatı bindirme boylarında eksiklikler mevcuttur. Yapılan zemin etüdüne göre, zemin sınıfı projeye uygun bulunmuştur. Taşıyıcı sistemin geometrik boyutları ve yerleşimleri projeye uygun yapılmıştır.

Güçlendirme öncesi sistem planı Şekil 4.1’de verildiği gibidir.

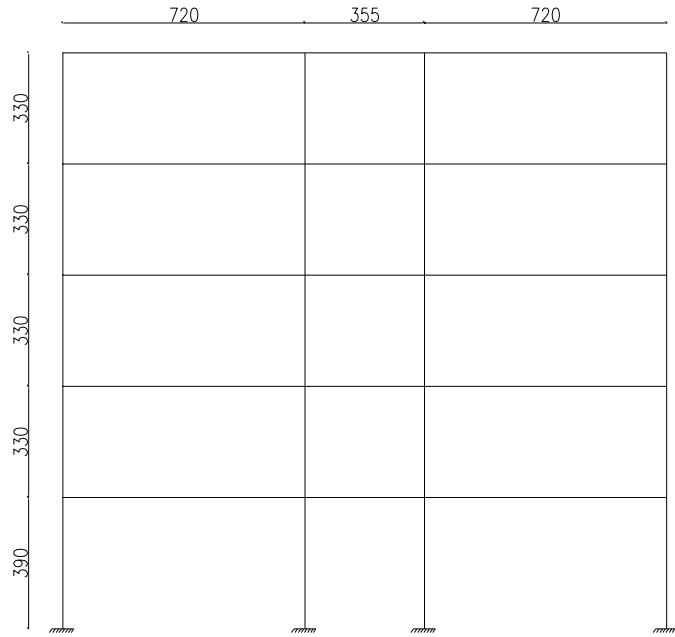


Şekil 4.1: Yapının Mevcut Taşıyıcı Sistem Planı

Yapı, 3.90 m yüksekliğinde bodrum katı ve 3.30 m yüksekliğinde dört adet olmak üzere toplam beş katlıdır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de yapının X-X ve Y-Y doğrultularında kesitleri verilmiştir.



Şekil 4.2: Yapının X-X Doğrultusunda Kesiti



Şekil 4.3: Yapının Y-Y Doğrultusunda Kesiti

4.1. Düşey Yük Analizi

Tüm yapıda 12cm yüksekliğinde kirişli plak döşeme sistemi, 30×50 cm kolonlar, 30×60 cm kirişler kullanılmıştır. Sistemin çözümünde, yapı elemanlarının kendi yüklerini program kendisi almaktadır. Bu nedenle bunlar ayrıca yük olarak katılmamaktadır. Buna göre, TS 498 Yönetmeliği uyarınca yapılan düşey yük analizi aşağıda verilmiştir:

Çatı Katı Döşemesi (h=12cm):

Çatı Yüğü	:	1.20 kN/m ²
İzolasyon Malzemesi	:	0.12 kN/m ²
Asma tavan	:	0.50 kN/m ²
Şap + Harç	:	0.75 kN/m ²
	g=	2.57 kN/m
Kar Yüğü	q=	0.75 kN/m ²

Kirişli Plak Döşeme (h=12cm):

Kaplama	:	0.75 kN/m ²
Şap + Harç	:	0.75 kN/m ²
Asma tavan	:	0.50 kN/m ²
Duvar yükleri	:	1.25 kN/m ²
	g=	3.25 kN/m ²
	q=	3.50 kN/m ²

4.2. Yatay Yük Analizi

4.2.1. Yatay yüklere göre hesap

Bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilecek yöntemler, Deprem Yönetmeliği’imizde verilmiştir. Buna göre, *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi* bu etkinin hesap edilmesinde kullanılabilir. Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde A1 türü burulma düzensizliği olmayan ve B2 türü komşu katlar arası rijitlik düzensizliği olmayan, toplam kat yüksekliği 60 m den az olan yapılarda

uygulanabilmektedir. Sözkonusu yapılar, A1 ve B2 türü düzensizlik içermemektedirler. Tez çalışmasında kontrol edilen örnekte eşdeğer deprem yükü hesabı uygulanmıştır.

4.2.2. Eşdeğer deprem yükü hesabı

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü V_t , Denklem 4.4 ile belirlenecektir:

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 A_o I W \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de yer alan ve binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığı olarak gözönüne alınacak olan W , Denklem 4.2 ile belirlenecektir.

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

$$w_i = g_i + n q_i \quad (4.2b)$$

Sistemin X ve Y doğrultularındaki periyotları bulunmuştur. Buna göre $T_x = 0,724$ sn, $T_y = 0,8976$ sn’dir. ETABS v8.50 programı ile çözüm yapılabilmesi için $\frac{A_0 IS(T)}{R}$

değerleri hesaplanarak *taban kesme katsayısı (base shear coefficient(C))* olarak sisteme girilmiştir. Yapının kontrollerinde birçok birleşim bölgesinde etriye sıklaştırması yapılmadığı ve belirsizlikleri nedeniyle, yapı süneklik düzeyi normal yapı olarak çözülmüş ve deprem yükü azaltma katsayısı $R = 4$ alınmıştır. Buna göre $C_x = 0,218$ ve $C_y = 0,183$ olarak bulunmuştur.

Her iki doğrultu için eşdeğer deprem yükü yöntemine göre bulunan katlarla gelen deprem kuvvetleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

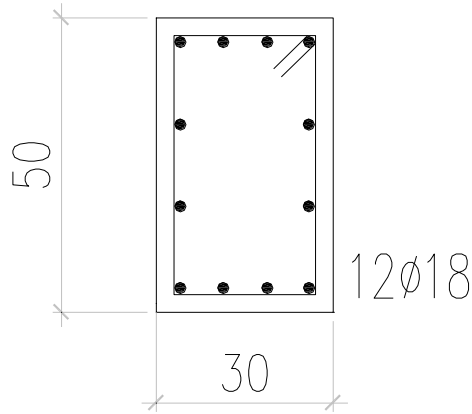
4.2.3. Betonarme kolonların kontrolü

Bu bölümde kolonların betonarme kontrolleri yapılmaktadır. Buna göre, yapının +0.00m kotu ile +3.90m kotu arasındaki 1.kat 30×50 kolonlarından 1 ve D akslarının kesişimindeki C1 kolonu betonarme kontrolü örnek olarak verilecektir. Kolonda

mevcut donatı 12Ø18' dir. Dolayısıyla donatı alanı 30,54 cm²'dir. C1 kolonu donatı planı Şekil 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Deprem Kuvvetleri

Kat	W (kN)	Veş (X) (kN)	Veş (Y) (kN)
5	5118,11	1864,32	1565,00
4	6301,67	3716,78	3120,05
3	6301,67	5126,26	4303,24
2	6301,67	6092,76	5114,57
1	6359,06	6611,94	5567,15
Σ	30382,18		
	ΣV/ΣW	0,16	0,13



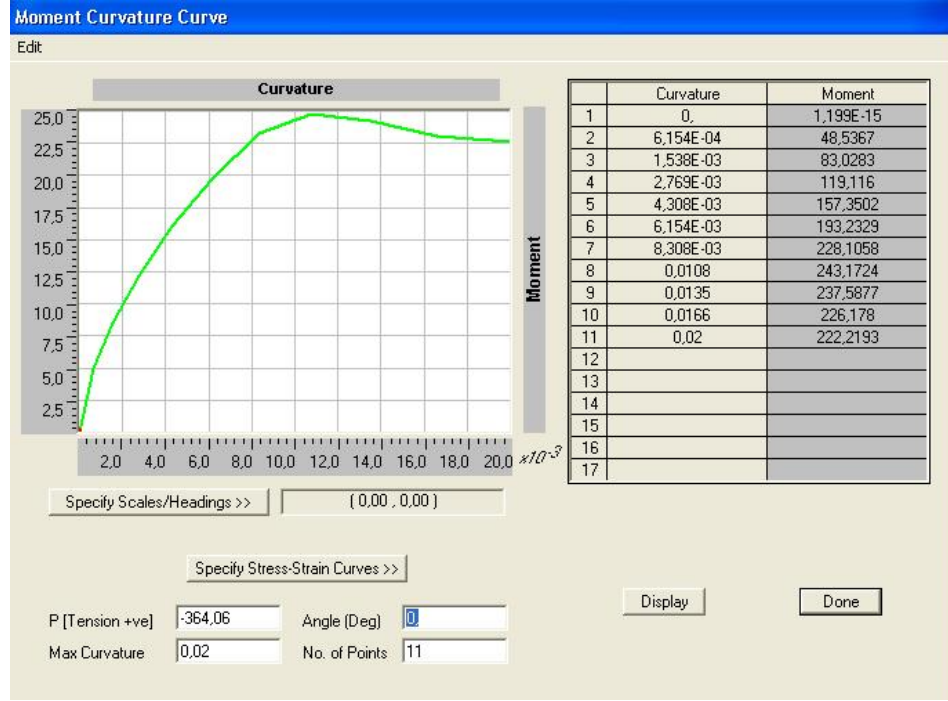
Şekil 4.4: C1 Kolonu Donatı Planı

Boyutlamaya esas en elverişsiz kesit tesirleri ve gerekli donatı alanları Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2: C1 Kolonu Kesit Tesirleri

Kolon	Yükleme	Yer	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	A _s (cm ²)
C1 (30X50)	GGQQ	0	-302,47	-8,87	1,1	1,432	-11,264	15
	GGQQ	3,3	-302,47	-8,87	1,1	-2,204	18,022	15
	GQEX1	0	25,21	-5,67	-47,55	-100,438	-7,202	42,67
	GQEX1	3,3	25,21	-5,67	-47,55	56,469	11,524	25,834
	GQEY1	0	-39,97	92,55	1,29	2,125	241,077	56,19
	GQEY1	3,3	-39,97	92,55	1,29	-2,13	-64,34	15
	GQEX2	0	-429,24	-6,13	49,02	102,346	-7,781	47,20
	GQEX2	3,3	-429,24	-6,13	49,02	-59,404	12,45	19,87
	GQEY2	0	-364,06	-104,36	0,18	-0,217	-256,06	68,83
	GQEY2	3,3	-364,06	-104,36	0,18	-0,806	88,314	15
	GQ	0	-484,2	-10,94	1,4	1,814	-13,883	15
	GQ	3,3	-472,06	-10,94	1,4	-2,797	22,212	15

Görüldüğü üzere, en elverişsiz donatı alanı GQEY2 yüklemesine karşılık gelmek üzere 68,83 cm²'dir. Ancak mevcut bulunan donatı alanı 30,54 cm² bu değer in altında kalmaktadır. Mevcut C1 kolonunun tasarıma karşılık gelen eksenel kuvvete (P= -364,06 kN) karşılık gelen *moment-eğrilik grafiği* Şekil 4.5'de görülmektedir. Şekil 4.5'de ise akslara göre tüm kolonların sahip olması gereken donatı miktarları cm² cinsinden gösterilmiştir.



Şekil 4.5: C1 Kolonunun Moment-Eğrilik Grafiği

71,34	28,55	23,75	15,00	15,00
73,09	47,26	37,40	24,86	15,00
72,29	45,84	37,31	25,24	15,00
71,91	45,97	37,38	25,32	15,00
71,59	45,97	37,43	25,37	15,00
71,29	45,92	37,38	25,37	15,00
71,09	46,00	37,46	25,41	15,00
70,87	46,11	37,47	25,40	15,00
70,41	46,10	37,37	25,33	15,00
69,97	46,07	37,39	25,31	15,00
69,65	46,08	37,48	25,34	15,00
69,39	47,13	37,39	24,85	15,00
66,78				15,00

Şekil 4.6: A-A Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları (cm²)

75,77	73,00	52,83	37,52	19,15
80,16	77,17	56,56	38,58	19,79
79,14	76,02	56,37	37,99	18,92
79,12	75,69	54,89	37,83	18,92
79,11	75,43	54,65	37,74	18,86
79,12	75,17	54,50	37,66	18,77
79,24	75,10	54,61	37,69	18,83
79,01	75,00	54,66	37,71	18,85
79,27	74,53	54,18	37,50	18,65
79,17	74,07	53,66	37,29	18,46
79,05	73,80	53,44	37,20	18,39
79,66	73,71	53,04	37,20	18,95
78,55	67,51	48,08	35,65	17,59

Şekil 4.7: B-B Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları (cm²)

75,77	73,00	52,83	37,52	19,15
80,16	77,17	56,56	38,58	19,79
79,14	76,02	56,37	37,99	18,92
79,12	75,69	54,89	37,83	18,92
79,11	75,43	54,65	37,74	18,86
79,12	75,17	54,50	37,66	18,77
79,24	75,10	54,61	37,69	18,83
79,01	75,00	54,66	37,71	18,85
79,27	74,53	54,18	37,50	18,65
79,17	74,07	53,66	37,29	18,46
79,05	73,80	53,44	37,20	18,39
79,66	73,71	53,04	37,20	18,95
78,55	67,51	48,08	35,65	17,59

Şekil 4.8: C-C Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları (cm²)

68,83	28,55	23,75	15,00	15,00
70,90	47,26	37,40	24,86	15,00
70,03	45,84	37,31	25,24	15,00
69,62	45,97	37,38	25,32	15,00
69,30	45,97	37,43	25,37	15,00
69,00	45,92	37,38	25,37	15,00
68,83	46,00	37,46	25,41	15,00
68,63	46,11	37,47	25,40	15,00
68,15	46,10	37,37	25,33	15,00
67,69	46,07	37,39	25,31	15,00
67,39	46,08	37,48	25,34	15,00
67,10	47,13	37,39	24,85	15,00
64,90	31,00	24,36	15,00	15,00

Şekil 4.9: D-D Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları (cm²)

Şekil 4.6 – Şekil 4.9’ da görüldüğü üzere, çeşitli yüklemeler altında birçok kolonda bulunması gereken donatı alanı, mevcut donatı alanı olan $30,54 \text{ cm}^2$ ’ den daha büyüktür. Dolayısıyla sistemin güçlendirilmesi gerekmektedir.

4.2.4. Rölatif kat ötelemeleri kontrolü

Mevcut deprem yönetmeliğine göre her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i’inci katındaki kolonlarda hesaplanan göreceli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\Delta_i)_{\max}$ Denklem 4.3’de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlamalıdır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 ; (\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02/R = 0.005 \quad (4.3)$$

Deprem yüklemesi altında, her iki doğrultu için kat yerdeğiştirmeleri ve rölatif kat ötelemeleri değerleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3: Rölatif Kat Ötelemeleri

Kat	Yükleme	dx (mm)	$(\Delta_i)_{\max} / h_i$	Yükleme	dy (mm)	$(\Delta_i)_{\max} / h_i$
5	EX	41	0,00097	EY	54	0,00143
4		38	0,00183		50	0,00259
3		32	0,00251		41	0,00356
2		24	0,00299		29	0,00428
1		14	0,00417		15	0,00462

Tablo 4.3’den anlaşılabacağı üzere yapı X doğrultusunda en alt katta, Y doğrultusunda ise 1, 2 ve 3. katlarda rölatif kat ötelemeleri koşulunu sağlamamaktadır. Dolayısıyla, güçlendirme yapılarak rölatif kat ötelemeleri sınırlandırılmalıdır.

Ancak, Taslak Deprem Yönetmeliği’nde $(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035$ şartı kaldırılmıştır. Taslak yönetmeliğe göre rölatif kat ötelemeleri $(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02/R = 0.005$ şartını sağlamaktadırlar.

5. MEVCUT YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

5.1. İtme Analizi

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin amacı, beklenen bir deprem için sünec davranışa ilişkin plastik şekil değıştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanarak, bu istemlerin kesit veya elemanda bulunan şekil değıştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, yapısal performans değerdendirilmesinin yapılmasıdır. Bu doğrultuda taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan itme analizleri her iki doğrultuda, birbirinden bağımsız olarak ETABS v8.50 programı yardımıyla yapılmıştır.

Mevcut yapının lineer olmayan analizi, itme analizi, kapasite spektrum yöntemi ve yerdeğıştirme katsayıları yöntemi ile yapılmıştır. İtme analizinde eşdeğer deprem yükü esas alınmıştır. Yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik mafsallar göz önüne alınarak başlangıçta hesaplanan deprem doğrultusundaki hakim titreşim mod şekli ile orantılı olarak tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan davranış idealleştirilmesi için betonarme çerçevelerde kolon-kiriş birleşim bölgesinin rijit olduğu varsayılmıştır.

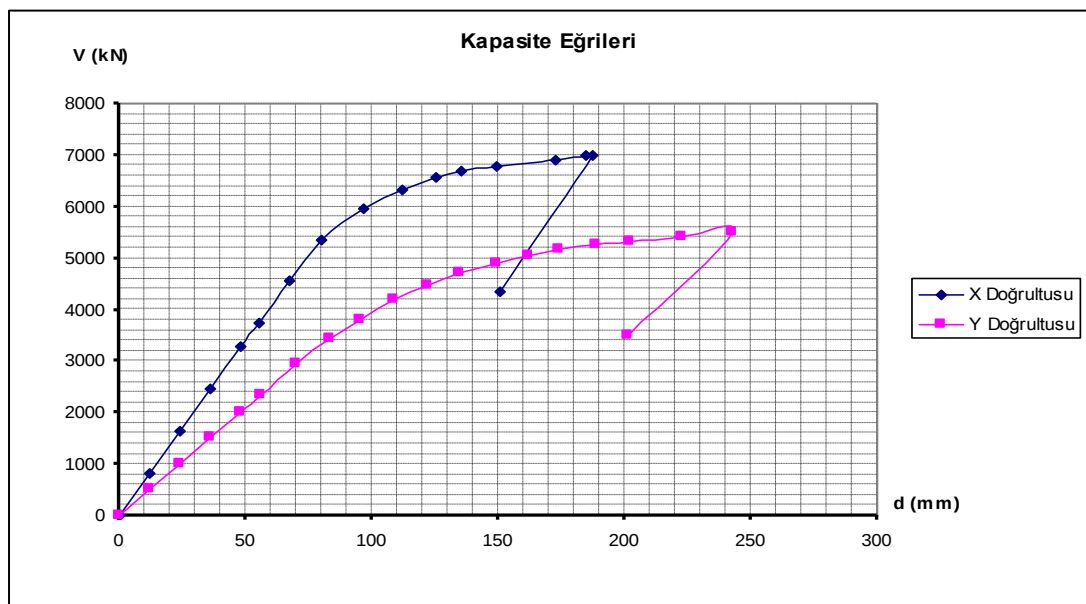
Plastik mafsalları boyu, kolon ve kiriş elemanları için çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olarak alınmıştır. Ayrıca bu elemanlar için elastik eğilme rijitliği olarak çatlamış kesit rijitlikleri tasarımı deprem yönetmeliğine uygun olarak alınmıştır. İtme analizi G+Q yükü altında yapılmıştır. Öncelikle plastik şekil değıştirmelerden elde edilen hasar durumları elemanlar esas alınarak belirlenmiş, daha sonra binanın tümü için performans değerdendirmesi yapılmıştır.

5.2. Kapasite Spektrum Yöntemi

5.2.1. Kapasite spektrum yöntemi ile hesap

Bu hesap yönteminde, kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktası aranmaktadır. Bu amaçla, yapının performans noktasını belirleyebilmek için bir grafik yöntem izlenmektedir. Kapasite ve talep eğrilerinin karşılaştırılabilmesi için eksen takımlarının aynı olması gerekmektedir. Bunun için ATC 40 yaklaşımı kapasite eğrisini spektrum eğrisine (spektral ivme-spektral yerdeğiştirme) dönüştürülmesini önermektedir. Sözkonusu kapasite eğrileri elde edilirken, yapıda arttırılmamış düşey yüklerin bulunduğu kabul edilerek, yatay yük (eşdeğer deprem yükü) adım adım arttırılmıştır. Bu yatay yükün hesap edilmesinde, her iki doğrultu için hakim eğilme modu esas alınmıştır. Dolayısıyla yerdeğiştirmenin bina yüksekliğince değişiminde de bu mod etkili olacağı için sadece en üst katın yerdeğiştirmesinin göz önüne alınması yeterli bulunmuştur.

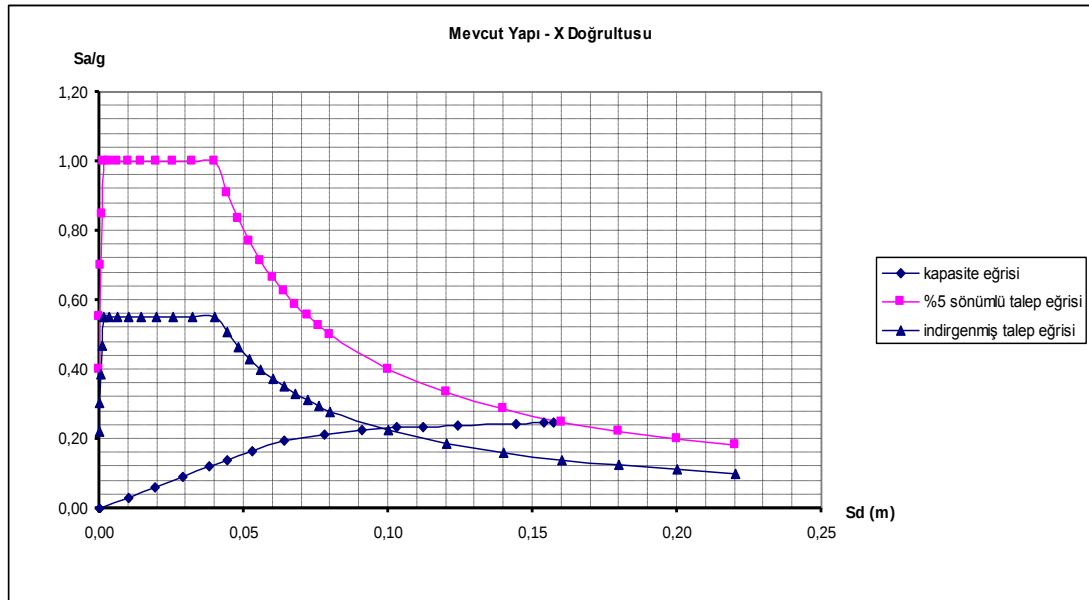
Hesaplar yapılırken, deprem bölgesine bağlı olarak $Z = 0.40$, deprem oluşturan kaynağa uzaklık ≥ 15 km, dolayısıyla $N_A = 1$ ve $N_V = 1$, zemin sınıfı SB alınmıştır. Bu değerlere karşılık C_A ve C_V değerleri 0,40 olarak hesaplanarak programa girilmiştir. Hesaplar tasarım depremine göre yapılmıştır. Yapının her iki doğrultuda kapasite eğrileri Şekil 5.1’de verilmiştir.



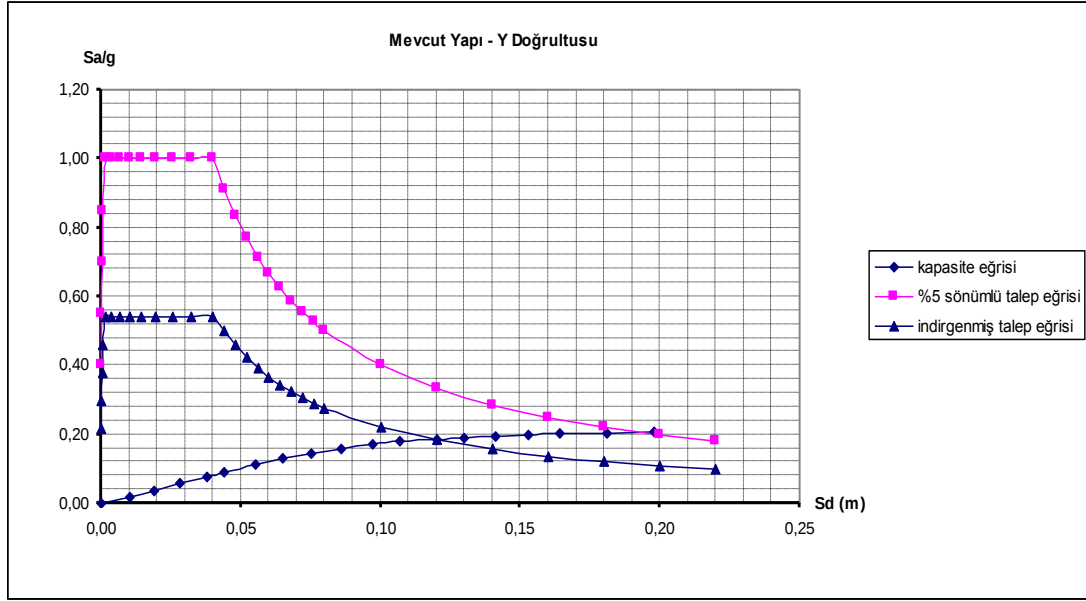
Şekil 5.1: Mevcut Yapının Kapasite Eğrileri

Şekil 5.1'den anlaşılacağı üzere yapı y doğrultusunda daha sünek davranış göstermektedir. Yapı x doğrultusunda daha rijittir. Bu rijitliğe bağlı olarak yapı x doğrultusunda daha fazla deprem kuvveti kapasitesine sahiptir. Kapasite eğrilerin başlangıçta doğrusal olan kısmı elastik bölgeye karşılık gelmektedir. Eğrilerin eğiminin yumuşaması artan yatay yükler altında betonda oluşabilecek çatlama, donatıda akma ve bazı kesitlerin taşıma gücüne ulaşması sonucu ortaya çıkan plastik şekil değiştirmeleri temsil eden plastik mafsall oluşumu ve dönmesi sonucudur. Artan deprem yükleri ile beraber oluşan plastik dönmeler hızlı bir şekilde artmaktadır. Dolayısıyla yapı hızlı bir şekilde mekanizma durumuna ulaşmaktadır. Yapının y doğrultusunda göstermiş olduğu sünek davranış nedeniyle, yapı bu doğrultuda belirgin bir şekilde daha fazla yatay öteleme kapasitesine sahiptir. Diğer bir anlatımla, bu doğrultuda sistemin mekanizma durumuna ulaşabilmesi için gerekli plastik dönmelerin sayısı daha fazladır.

Tasarım depremi gözönüne alınarak talep eğrisi oluşturulmuştur. X doğrultusundaki kapasite eğrisi ve talep eğrileri Şekil 5.2'de, y doğrultusundaki kapasite eğrisi ve talep eğrileri ise Şekil 5.3'de gösterilerek her iki doğrultu için performans noktaları grafik yöntem ile hesaplanmıştır.



Şekil 5.2: Mevcut Yapının x Doğrultusundaki İtme Analizi



Şekil 5.3: Mevcut Yapının y Doğrultusundaki İtme Analizi

Performans noktasına karşı gelen sırasıyla taban kesme kuvveti (V), yapı tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi (d), spektral ivme (S_a), spektral yerdeğiştirme (S_d), efektif periyot (T_{eff}), efektif sönüm (β_{eff}) ve elastik periyot (T_i) değerleri Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1: Performans Noktası Değerleri

	x Doğrultusu	y Doğrultusu	Birim
V	6441.62	4957.33	kN
d	0.118	0.153	m
S_a	0.229	0.188	Sa/g
S_d	0.096	0.123	m
T_{eff}	1.302	1.624	s
β_{eff}	0.140	0.130	
T_i	1.13	1.41	s

Her iki doğrultuda yapılan doğrusal olmayan itme analizi sırasında her bir adıma karşı gelen plastik mafsalları ve plastik mafsallarda oluşan dönme değerine bağlı olarak performans seviyesi, tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti değerleri Tablo 5.2 ve Tablo 5.3’de verilmiştir. Tabloda verilen toplam plastik mafsalları her iki doğrultudaki elemanların tamamına atanmış mafsalları sayısıdır.

Tablo 5.2: Mevcut Yapının X Doğrultusu Analiz Sonuçları (ATC-40)

Adım	Yer Değişirme d (mm)	Taban Kesme Kuvveti V (kN)	Plastik Mafsal Performans Seviyeleri								Toplam
			A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0	1390	0	0	0	0	0	0	0	1390
1	12	818	1390	0	0	0	0	0	0	0	1390
2	24	1636	1390	0	0	0	0	0	0	0	1390
3	36	2455	1390	0	0	0	0	0	0	0	1390
4	48	3273	1388	2	0	0	0	0	0	0	1390
5	55	3754	1366	24	0	0	0	0	0	0	1390
6	67	4561	1356	34	0	0	0	0	0	0	1390
7	80	5363	1284	82	24	0	0	0	0	0	1390
8	97	5970	1272	66	52	0	0	0	0	0	1390
9	112	6329	1245	89	30	26	0	0	0	0	1390
10	126	6575	1175	94	69	52	0	0	0	0	1390
11	136	6683	1116	126	94	54	0	0	0	0	1390
12	150	6771	1057	185	92	54	0	2	0	0	1390
13	172	6911	1037	205	92	38	0	16	2	0	1390
14	184	6984	1037	205	92	38	0	16	0	2	1390

Tablo 5.3: Mevcut Yapının Y Doğrultusu Analiz Sonuçları (ATC-40)

Adım	Yer Değişirme d (mm)	Taban Kesme Kuvveti V (kN)	Plastik Mafsal Performans Seviyeleri								Toplam
			A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0	1390	0	0	0	0	0	0	0	1390
1	12	505	1390	0	0	0	0	0	0	0	1390
2	24	1009	1390	0	0	0	0	0	0	0	1390
3	36	1514	1390	0	0	0	0	0	0	0	1390
4	48	2018	1389	1	0	0	0	0	0	0	1390
5	56	2354	1384	6	0	0	0	0	0	0	1390
6	70	2947	1321	69	0	0	0	0	0	0	1390
7	83	3425	1294	96	0	0	0	0	0	0	1390
8	96	3814	1244	132	14	0	0	0	0	0	1390
9	109	4190	1167	197	26	0	0	0	0	0	1390
10	122	4485	1140	181	69	0	0	0	0	0	1390
11	135	4716	1132	159	97	2	0	0	0	0	1390
12	149	4911	1109	160	97	24	0	0	0	0	1390
13	162	5052	1075	159	115	41	0	0	0	0	1390
14	174	5167	1056	148	108	78	0	0	0	0	1390
15	189	5265	1031	158	110	91	0	0	0	0	1390
16	202	5338	1028	152	104	106	0	0	0	0	1390
17	223	5428	1028	152	98	111	0	1	0	0	1390
18	243	5508	1028	152	98	110	0	1	0	1	1390

Tablolarda;

HK = Hemen Kullanım Performans Seviyesi

CG = Can Güvenliği Performans Seviyesi

YS = Yapısal Stabilité Performans Seviyesi

anlamına gelmektedir.

Görüldüğü üzere, X doğrultusunda performans noktasına karşılık 52 adet, Y doğrultusunda ise 24 adet can güvenliği performans seviyesinin üzerinde mafsall oluşmuştur. Oysa ki, tasarım depremine karşılık, oluşan mafsalların can güvenliği performans seviyesini sağlaması gerekmektedir.

EK-A' da Şekil 5.4 – Şekil 5.7'de x doğrultusunda, Şekil 5.8 – Şekil 5.20'de y doğrultusunda kapasite spektrum yöntemine (ATC-40) göre performans noktasında oluşan mafsallar gösterilmiştir. Şekil 5.21'de ise, bu mafsall renklerinin performans aralıkları belirtilmiştir.

5.2.2. Rölatif kat ötelemeleri kontrolü

Performans noktasına karşı gelen rölatif kat ötelemeleri değerleri Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4: Rölatif Kat Ötelemeleri

Kat	Yüklem	dx (mm)		Yüklem	dy (mm)	
5	PUSH1X	118	0,00119	PUSH1Y	153	0,00183
4		114	0,00277		145	0,00421
3		105	0,00554		127	0,00734
2		87	0,00963		94	0,01013
1		55	0,01662		50	0,01141

Tablo 5.4 incelendiği zaman fark edileceği üzere, performans noktasına karşı gelen ötelemenin yapıda Tasarı Deprem Yönetmeliği'nin öngördüğü $\frac{\delta_{max}}{h_i} \leq 0.02$ denklemini sağladığı görülmektedir.

5.3. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi

5.3.1. Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi ile hesap

Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi de, kapasite spektrum yöntemine benzer olarak, kapasite ile talebin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Hesap yöntemi olarak aralarındaki fark, yerdeğiştirme isteminin grafik olarak değil, sayısal bir biçimde bulunmasıdır. Bu doğrultuda öncelikle kapasite eğrileri elde edilmiştir. Bunun için sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, lineer

olmayan teoriye göre hesap yapılmıştır. Daha sonra bu eğriler, birincisinin eğimi elastik rijitliği K_e , ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği K_s olacak şekilde iki doğru ile temsil edilmişlerdir. İki doğru ile temsil edilirken, gerçek ve temsili kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve K_e eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının yaklaşık olarak 0.60 katı olması koşulları esas alınmaktadır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekmiştir. Sözkonusu kapasite eğrileri elde edilirken, kapasite spektrum yöntemindeki adımlar aynen izlenmiştir. Statik itme analizi ile çizilen taban kesme kuvveti-tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi diyagramları ve bunların idealleştirilmesi ile elde edilen iki doğrulu kapasite eğrileri Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’de verilmiştir.

Modal yerdeğiştirme istemi, modal tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan en büyük yerdeğiştirmesine karşı gelen elasto-plastik spektral yerdeğiştirme $S_{di}(T_e)$ ye eşittir. Bu büyüklük eşdeğer doğal periyoda karşı gelen elastik spektral yerdeğiştirme $S_{di}(T_e)$ nin aşağıda tanımlanan C_1 ve C_2 katsayıları ile çarpılması ile elde edilmiştir.

$$S_{di}(T_e) = C_1 C_2 S_{de}(T_e) \quad (5.1)$$

C_1 katsayısı

$$C_1 = 1 + (R_y - 1) / 3.6 \quad (T_e < 0.2 \text{ s}) \quad (5.2a)$$

$$C_1 = 1 + (R_y - 1) / (90 T_e^2) \quad (0.2 \text{ s} \leq T_e \leq 1.0 \text{ s}) \quad (5.2b)$$

$$C_1 = 1 \quad (T_e > 1.0 \text{ s}) \quad (5.2c)$$

C_2 katsayısı

$$C_2 = 1 + (R_y - 1)^2 / 32 \quad (T_e < 0.2 \text{ s}) \quad (5.3a)$$

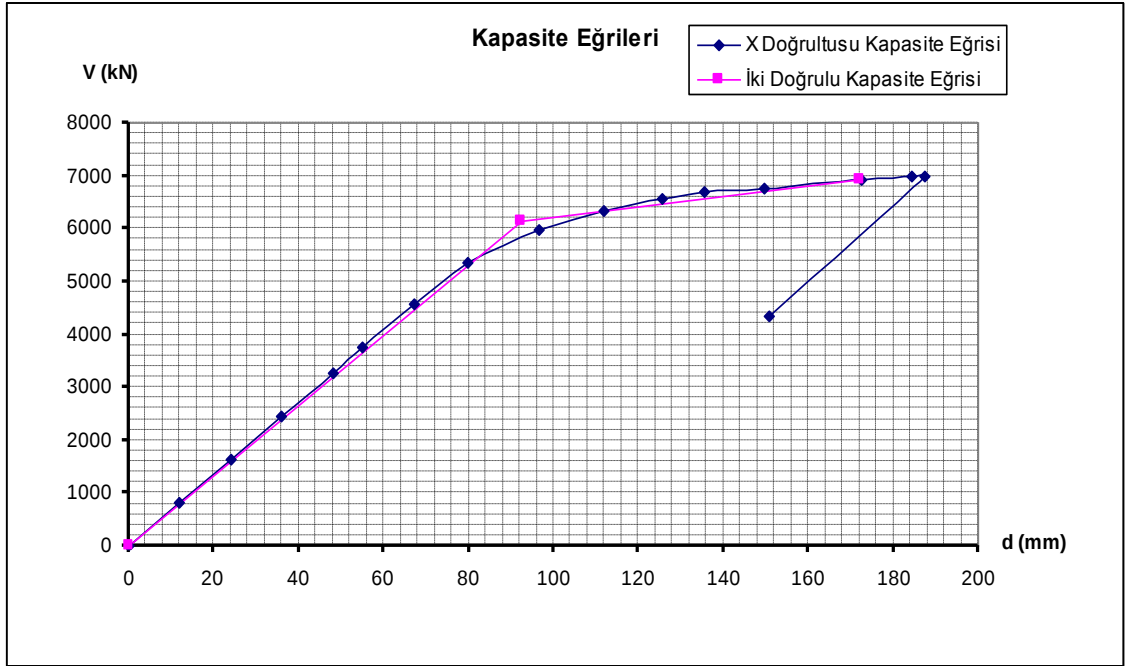
$$C_2 = 1 + (R_y - 1)^2 / (800 T_e^2) \quad (0.2 \text{ s} \leq T_e \leq 0.7 \text{ s}) \quad (5.3b)$$

$$C_2 = 1 \quad (T_e > 0.7 \text{ s}) \quad (5.3c)$$

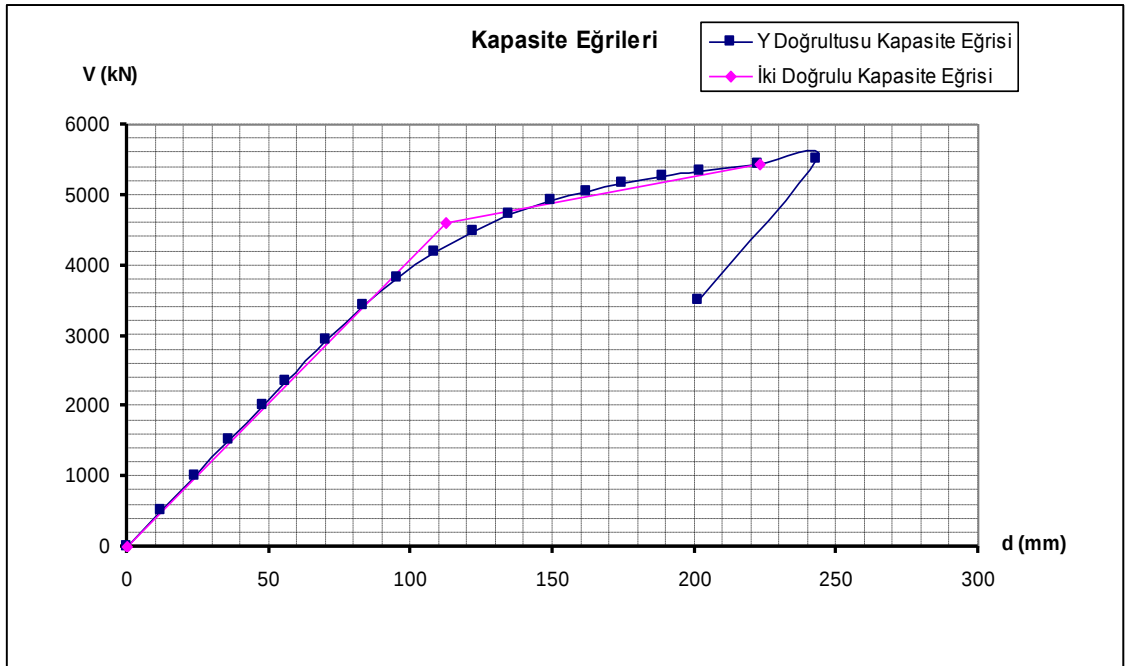
$$R_y = S_{ac}(T_e) / a_y \quad (5.4)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesinin ardından maksimum tepe yerdeğiştirmesi (hedef yerdeğiştirme) hesaplanmıştır:

$$u_{nx,hedef} = u_{nx,maks} = \Phi_{nx} \Gamma_x S_{di}(T_e) \quad (5.5)$$



Şekil 5.22: İki Doğru Parçası ile İdealleştirilen X Doğrultusundaki Kapasite Eğrisi



Şekil 5.23: İki Doğru Parçası ile İdealleştirilen Y Doğrultusundaki Kapasite Eğrisi

Daha sonra, tepe yerdeğiştirmesi yukarıda verilen hedef yerdeğiştirmeye eşit oluncaya kadar taşıyıcı sistem itilmiş ve bunun sonucunda, istenen bütün büyüklüklere ait maksimum talep değerleri elde edilmiştir. X ve y doğrultularında

modal yerdeğiştirme taleplerinin belirlenmesine ait sayısal değerler Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5: Hedef Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi

	x Doğrultusu	y Doğrultusu	Birim
T_e	1,17	1,52	s
C1	1,000	1,000	
C2	1,000	1,000	
$S_{ac}(Te)$	0,342	0,265	Sa/g
$S_{de}(Te)$	0,117	0,151	m
$S_{di}(Te)$	0,117	0,151	m
M	3097,1	3097,1	kN/s ² m
Kütle Katılım	0,90	0,87	
M_b	2800	2695	kN/s ² m
Γ	52,92	51,91	
Φ	0,0236	0,0241	m
U_x -hedef	0,146	0,190	m

Hedef yerdeğiştirme talepleri bulunduğundan sonra, bu değerler ETABS v8.5.0 programına girilerek, sistem artan yükler altında bu deplasmanı yapana kadar itilerek analiz yapılmıştır. Hedef yerdeğiştirme taleplerine karşılık oluşan mafsallar ve performans seviyeleri x doğrultusunda analiz için Tablo 5.6’da, y doğrultusunda analiz için ise Tablo 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.6: Mevcut Yapının X Doğrultusu Analiz Sonuçları (FEMA)

Yer Değiştirme d (mm)	Taban Kesme Kuvveti V (kN)	Plastik Mafsall Performans Seviyeleri								Toplam
		A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
146	6785	1060	182	94	54	0	0	0	0	1390

Tablo 5.7: Mevcut Yapının Y Doğrultusu Analiz Sonuçları (FEMA)

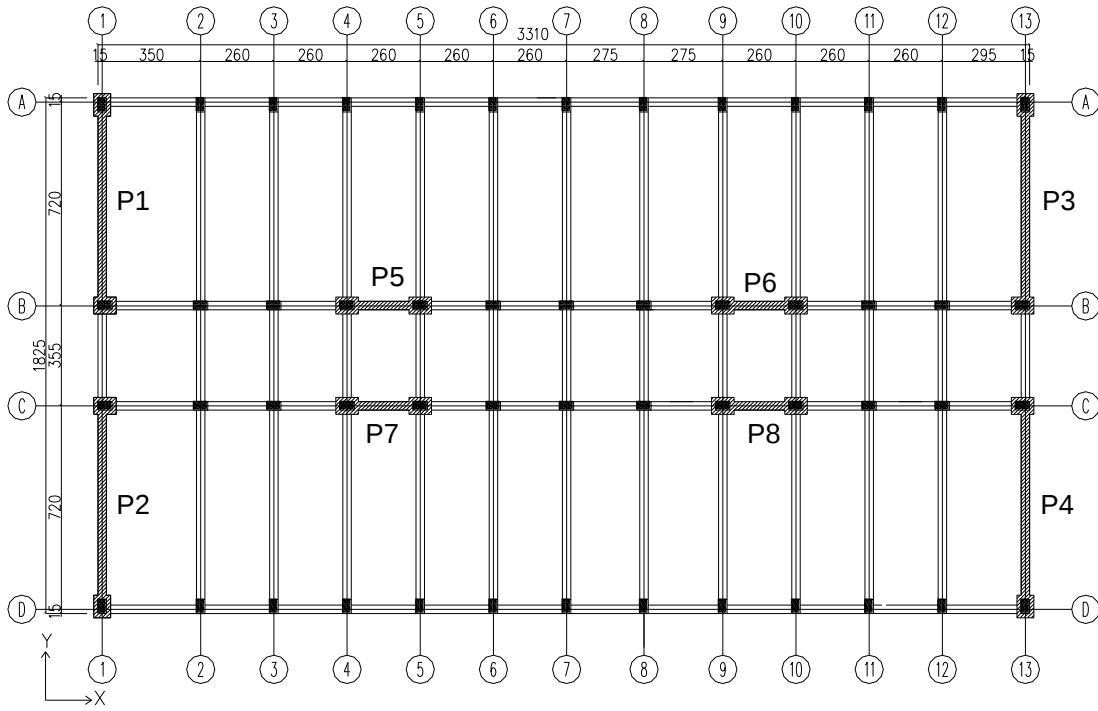
Yer Değiştirme d (mm)	Taban Kesme Kuvveti V (kN)	Plastik Mafsall Performans Seviyeleri								Toplam
		A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
189	5271	1053	148	109	80	0	0	0	0	1390

Tablolardan görüldüğü üzere, yerdeğiştirme katsayıları yöntemine göre x doğrultusunda 54, y doğrultusunda 80 adet can güvenliği performans seviyesini aşan mafsall oluşmuştur. Dolayısıyla yapının güçlendirilmesi gerekmektedir.

6. GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ DOĞRUSAL ANALİZİ

6.1. Yapının Güçlendirme Sonrası Taşıyıcı Sistemi

Güçlendirme projesi çerçevesinde yapıya her iki doğrultuda ilave perdeler eklenmiştir. Mevcut kirişlere herhangi bir ilave yapılmamıştır. Taşıyıcı sisteme ilave edilen perdelerde kullanılan beton sınıfı C20, donatı sınıfı ise S420 olarak kullanılmıştır. Güçlendirme sonrası taşıyıcı sistem planı Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1: Yapının Güçlendirme Sonrası Taşıyıcı Sistem Planı

6.2. Betonarme Perdelerin Hesabı

İlave edilen perdelerde genişlik 30 cm olarak alınmıştır. Bu perdelerin hesabında perde uç bölgesi olarak mantolanmış kolon kesitleri alınmıştır. Perde gövde

bölgelerinde yatayda ve düşeyde Ø10/20 gövde donatısı konulmuştur. Perde uç bölgelerinin herbirine ise, mevcut donatılar haricinde 20Ø14 donatı eklenmiştir.

Sistem süneklik düzeyi normal betonarme çerçevelerle, süneklik düzeyi yüksek perdelerin beraber kullanımı ile oluşmuştur. Yapılan hesaplar neticesinde α_{Mx} 0,56 ve α_{My} yaklaşık 1,00 bulunmuştur. Buna göre sistem süneklik düzeyi karma sistemdir ve $R = 4 + 3\alpha_M$ formülüne göre $R_x = 5,7$ ve $R_y = 6$ alınmıştır. Buna göre yapılan hesaplar ile, Tablo 6.1’de bu perdeler gelen yükler ve perdelerin verilen donatı ve kesit tesirleri altındaki taşıma gücü momentleri verilmiştir.

Tablo 6.1: Perdeler Gelen Kuvvetler ve Taşıma Gücü Momentleri

Perde	Hesap Yönü	M (kNm)	N (kN)	V (kN)	Taşıma gücü Momenti (kNm)
P1	Y	15370,85	-87,10	1951,56	18467,70
P2		15309,78	-984,08	1971,29	21363,10
P3		15294,56	-43,12	1963,3	17162,10
P4		15237,69	-946,57	1981,74	21244,40
P5	X	6034,36	-780,36	1602,31	8547,60
P6		6029,12	-737,66	1598,61	8486,80
P7		6034,36	-780,36	1602,31	8547,60
P8		6029,12	-737,66	1598,61	8486,80

Örnek olarak, Şekil 6.2’de P1 perdesinin, Şekil 6.3’de P5 perdesinin moment-eğrilik grafiği verilmiştir.

Tablo 6.1’de görüldüğü üzere, tüm perdeler mevcut taşıma kapasiteleriyle, maksimum momentleri taşıyabilmektedirler.

6.3. Betonarme Perdelerin Kesme Güvenliği Kontrolü

Perde kesitlerinin kesme kuvveti dayanımı V_r , Denklem 6.1 ile hesaplanacaktır.

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{yd}) \quad (6.1)$$

V_d kesme kuvveti aşağıda tanımlanan koşulları sağlayacaktır.

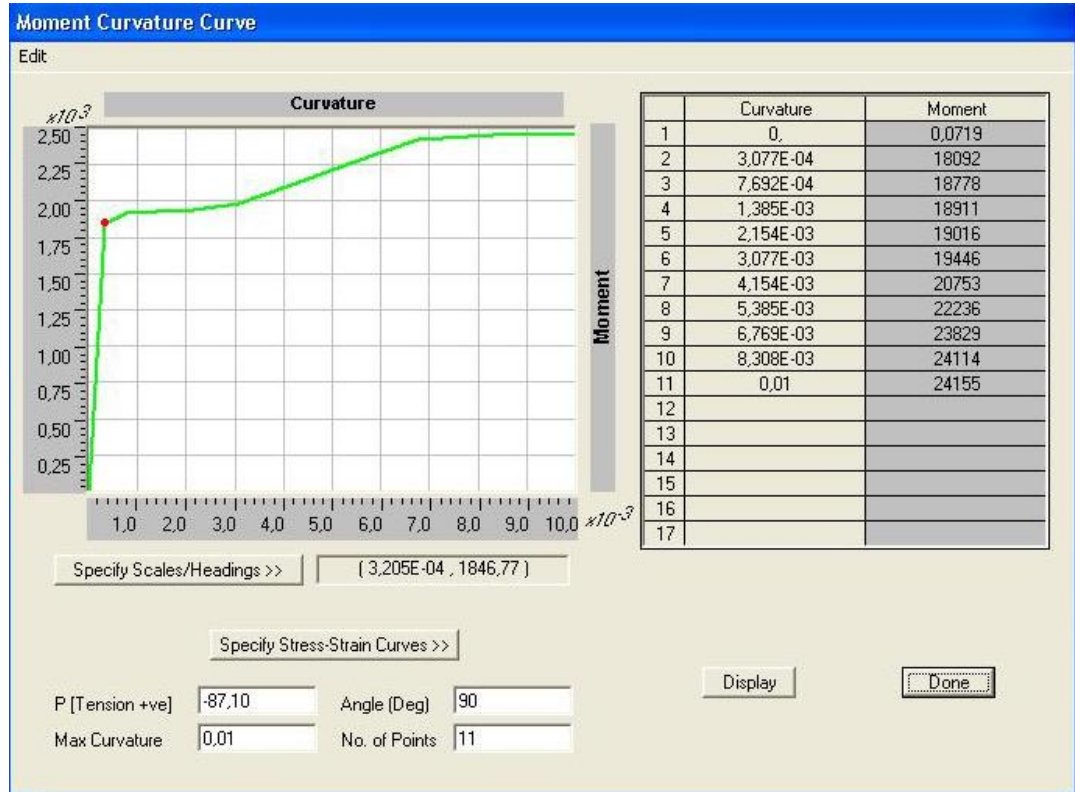
$$V_d \leq V_r \quad (6.2a)$$

$$V_d \leq 0.22 A_{ch} f_{cd} \quad (6.2b)$$

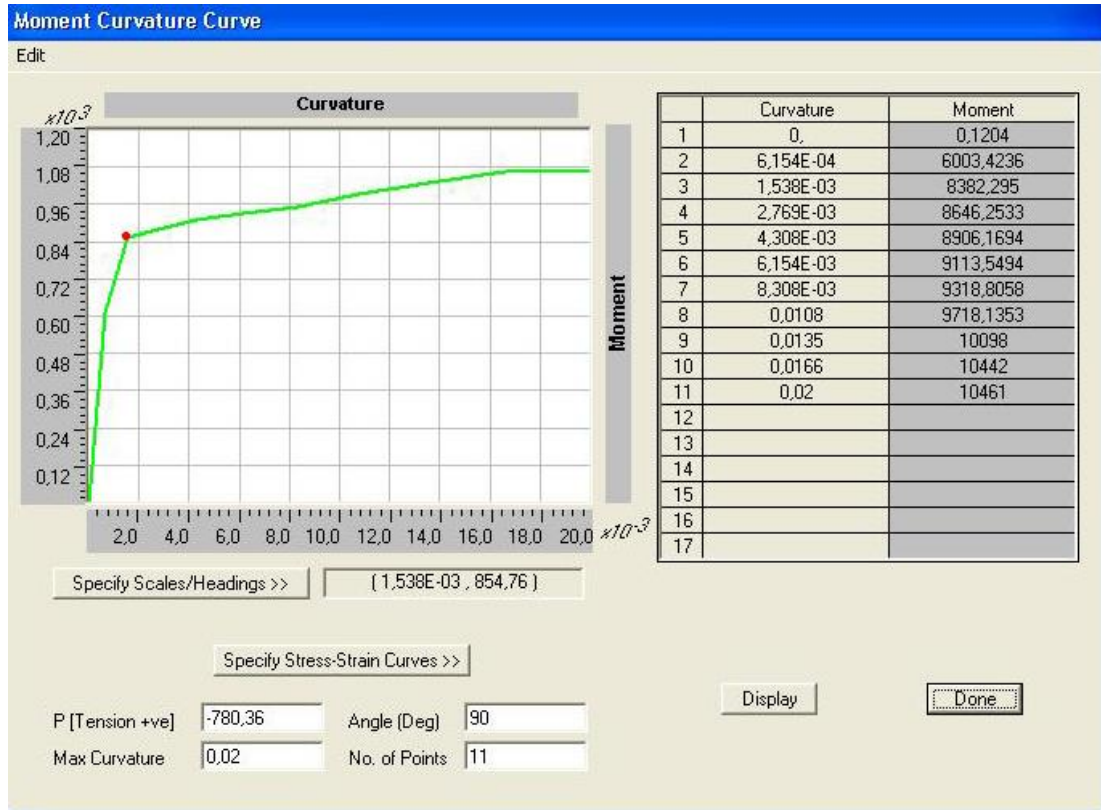
Aksi durumda, perde kesit boyutları bu koşullar sağlanmak üzere arttırılmalıdır. Tablo 6.2’den anlaşılacağı üzere perdeler kesme kuvveti tahkiki bakımından yönetmeliğin önerdiği şartları sağlamaktadırlar.

Tablo 6.2: Perde Kesme Kuvveti Güvenliği

Perde	A_{ch} (cm ²)	V_{beton} (kN)	$V_{donatı}$ (kN)	V_r (kN)	V_e (kN)
P1	29100	1891,50	2782,83	4674,33	1951,56
P2	29100	1891,50	2782,83	4674,33	1971,29
P3	29100	1891,50	2782,83	4674,33	1963,30
P4	29100	1891,50	2782,83	4674,33	1981,74
P5	15000	975,00	1434,45	2409,45	1602,31
P6	15000	975,00	1434,45	2409,45	1598,61
P7	15000	975,00	1434,45	2409,45	1602,31
P8	15000	975,00	1434,45	2409,45	1598,61



Şekil 6.2: P1 Perdesinin Moment-Eğrilik Grafiği



Şekil 6.3: P5 Perdesinin Moment-Eğrilik Grafiği

6.4. Mevcut Kolonların Kontrolü

Yapıya ilave perdeler eklendikten sonra, yatay yükler altında sistem çözülerek, mevcut kolonlarda bulunması gerekli donatı alanları hesaplanarak Şekil 6.4 – Şekil 6.7’de verilmiştir.

	17,96	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	18,17
	19,64	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	20,29
	20,53	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,17	21,48
	17,39	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	19,42
	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00

Şekil 6.4: A-A Kesitinde Kolonlarda Boyutlamaya Esas Donatı Miktarları (cm²)

Şekil 6.4 – Şekil 6.7’ de görüldüğü üzere, çeşitli yüklemeler altında tüm kolonlarda bulunması gereken donatı alanı, mevcut donatı alanı olan $30,54 \text{ cm}^2$ ’ den daha küçüktür.

6.5. Rölatif Kat Ötelemeleri Kontrolü

Deprem yüklemesi altında, her iki doğrultu için kat yerdeğiştirmeleri ve rölatif kat ötelemeleri değerleri Tablo 6.3’de verilmiştir.

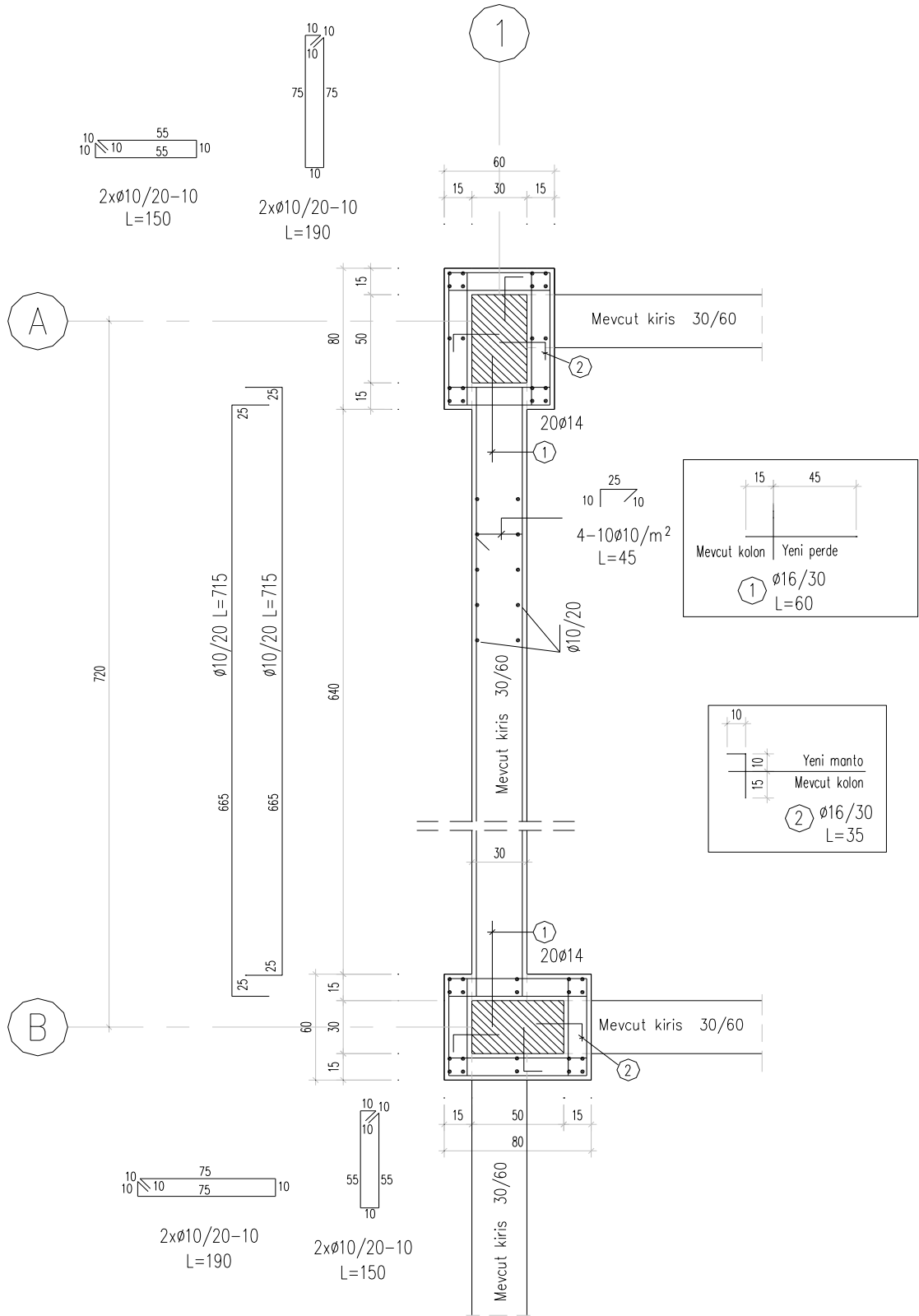
Tablo 6.3: Rölatif Kat Ötelemeleri

Kat	Yükleme	dx (mm)	$(\Delta_i)_{\max} / h_i$	Yükleme	dy (mm)	$(\Delta_i)_{\max} / h_i$
5	EX	18	0,00100	EY	5	0,00033
4		14	0,00117		4	0,00034
3		10	0,00126		3	0,00033
2		6	0,00116		2	0,00028
1		2	0,00073		1	0,00019

Tablo 4.3’den anlaşılaacağı üzere yapı her iki doğrultuda, deprem yönetmeliği değerleri olan Denklem 6.1’i sağlamaktadır

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 ; (\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02/R = 0.005 \quad (6.1)$$

Sözkonusu perdelerin detaylı donatı düzeni çizimleri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’ da verilmiştir.



Şekil 6.8: P1 Perdesi Donatı Düzeni



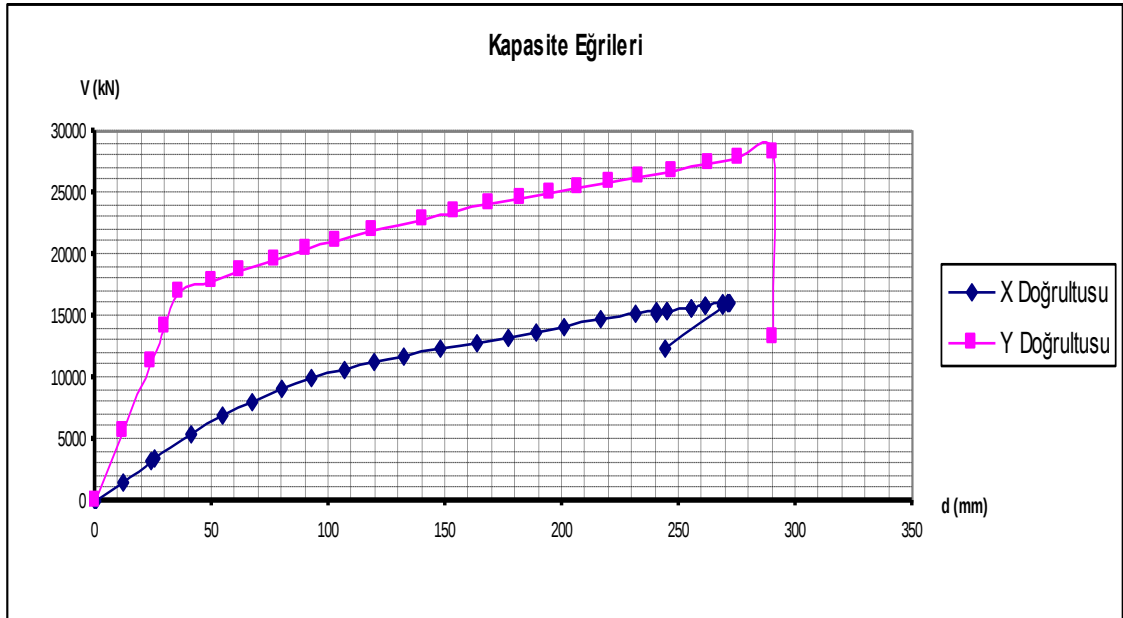
7. GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Güçlendirilmiş yapının doğrusal analizi ile gerekli yönetmelik şartlarını sağladığını gördükten sonra, güçlendirmenin yapının performansı üzerine etkilerini görebilmek için doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Doğrusal olmayan analiz yöntemi olarak Tasarı Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı kullanılmıştır.

7.1. Artımsal İtme Analizi ile Hesap (Tasarı Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı)

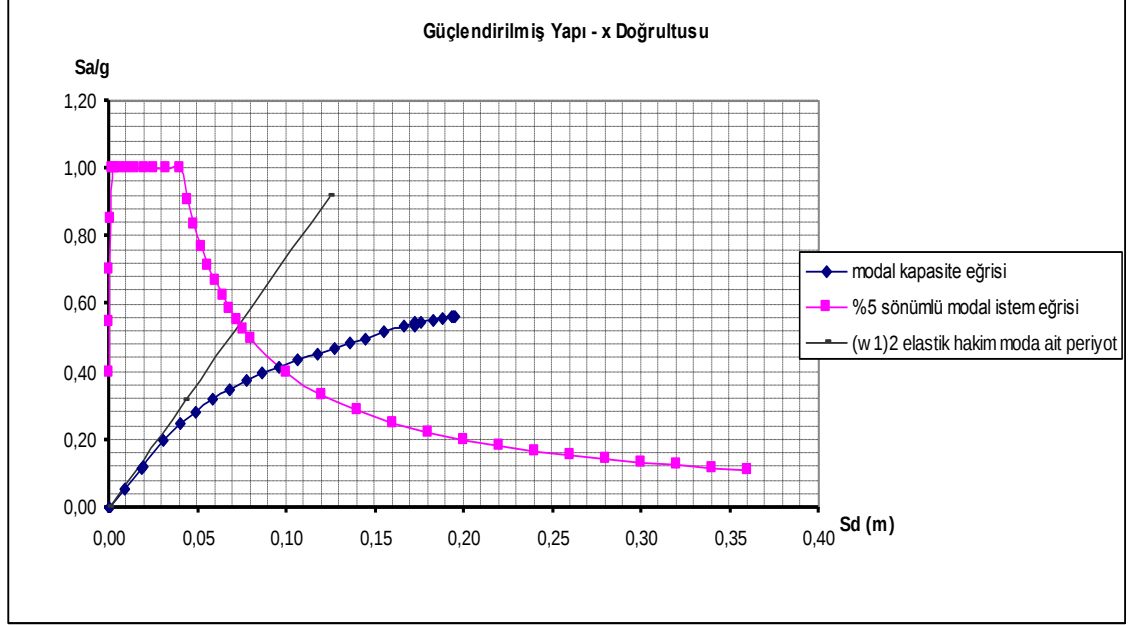
7.1.1. Tasarım depremine göre hesap

Yapı güçlendirildikten sonra oluşacak performans seviyelerinin güçlendirme öncesindeki performans seviyeleri ile karşılaştırılabilmesi için, öncelikle tasarım depremine göre doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Tasarım depremine göre oluşan x ve y doğrultularındaki kapasite eğrileri Şekil 7.1’ de verilmiştir.

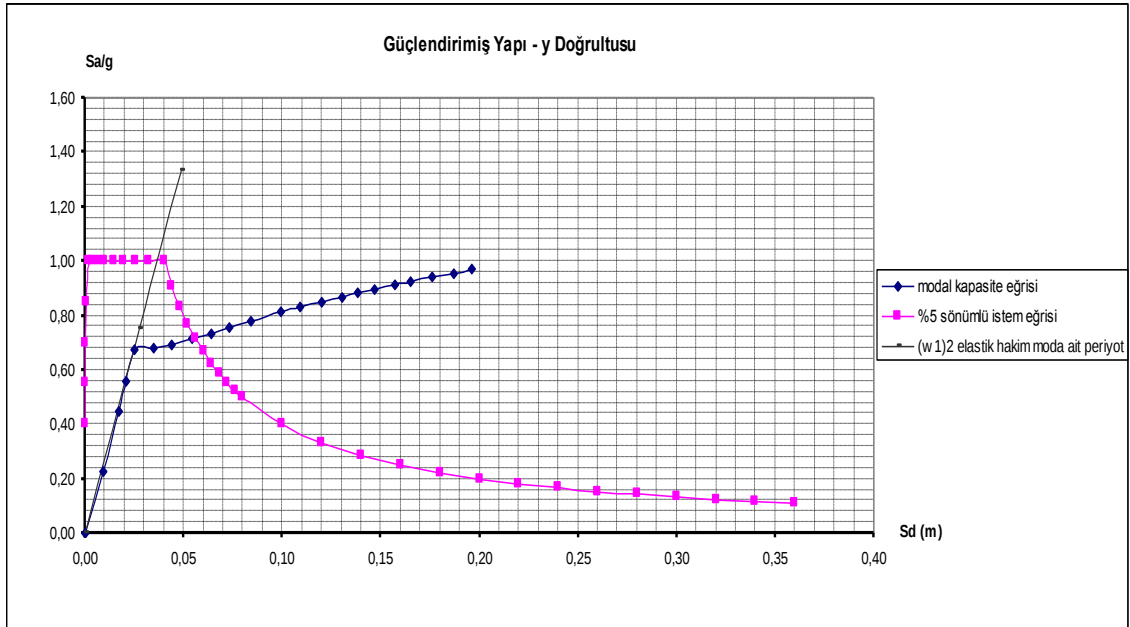


Şekil 7.1: Güçlendirilmiş Yapının Kapasite Eğrileri

Güçlendirilmiş yapı için, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan itme analizi sonucu elde edilen modal kapasite diyagramları ve tasarım depremine göre %5 sönümlü istem eğrisi Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’ de verilmiştir.



Şekil 7.2: Güçlendirilmiş Yapının Tasarım Depremine Göre X Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi



Şekil 7.3: Güçlendirilmiş Yapının Tasarım Depremine Göre Y Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi

X ve Y doğrultularında modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesine ait sayısal değerler Tablo 7.1’ de verilmiştir.

Tablo 7.1: Hedef Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi (Tasarım Depremi)

	x Doğrultusu	y Doğrultusu
T_B	0,40	0,40
T_1	0,78	0,38
$(w_B)^2$	246	246
$(w_1^{(1)})^2$	65	273
S_{de}	0,077	0,037
S_{dl}	0,077	0,037
M	4281,86	4281,86
Kütle Katılım	0,77	0,748
M_b	3297	3203
Γ	57,42	56,59
Φ	0,0266	0,0276
U_x -hedef	0,118	0,058

Hedef yerdeğiştirme talepleri bulunduktan sonra, bu değerler ETABS v8.5.0 programına girilerek, sistem artan yükler altında bu deplasmanı yapana kadar itilerek analiz yapılmıştır. Hedef yerdeğiştirme taleplerine karşılık oluşan mafsallar ve performans seviyeleri x doğrultusunda analiz için Tablo 7.2’de, y doğrultusunda analiz için ise Tablo 7.3’de gösterilmiştir.

Tablo 7.2: Güçlendirilmiş Yapının x Doğrultusu Analiz Sonuçları
(Tasarım Depremine Göre Artımsal İtme Analizi)

Yer Değiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Plastik Mafsallarda Performans Seviyeleri								Toplam
		A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
d (mm)	V (kN)									
118	11169	866	330	34	0	0	0	0	0	1230

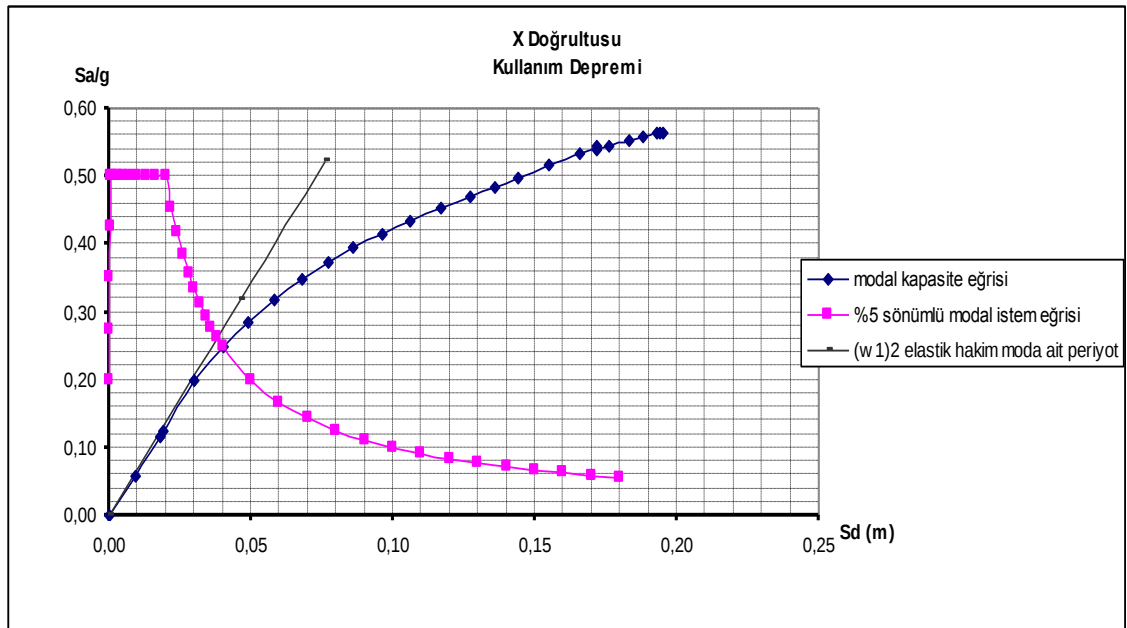
Tablo 7.3: Güçlendirilmiş Yapının y Doğrultusu Analiz Sonuçları
(Tasarım Depremine Göre Artımsal İtme Analizi)

Yer Değiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Plastik Mafsallarda Performans Seviyeleri								Toplam
		A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
d (mm)	V (kN)									
58	18394	1168	62	0	0	0	0	0	0	1230

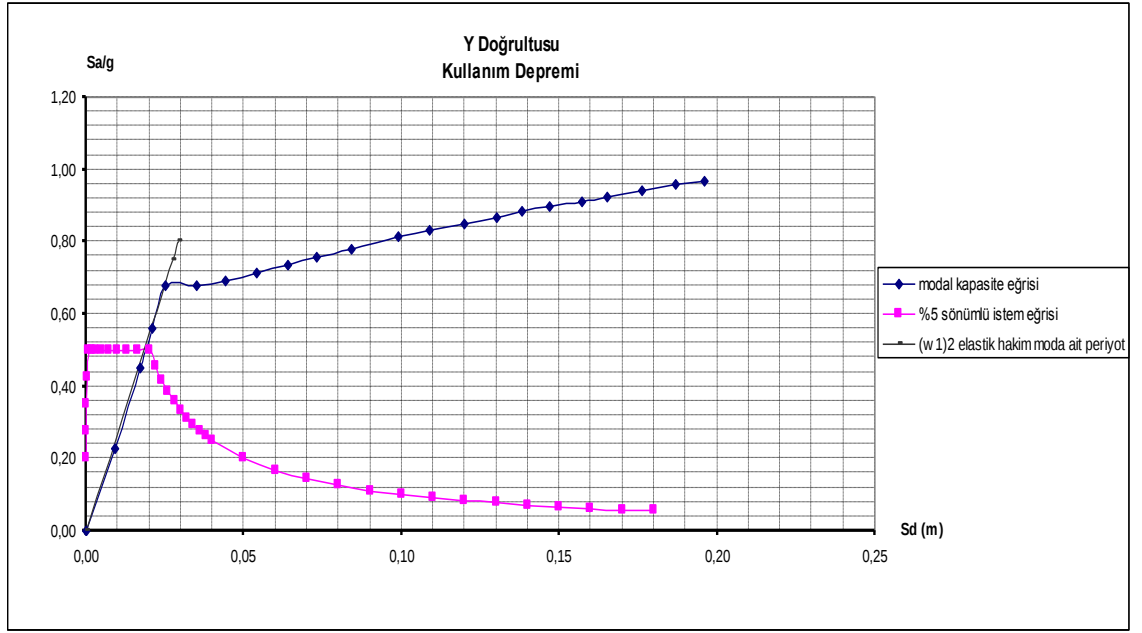
Tablo 7.2 ve Tablo 7.3’ den anlaşılacağı üzere, güçlendirilmiş yapıda oluşmuş mafsalların tamamı, tasarım depremine karşılık hesapta beklendiği gibi, can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır. Bununla birlikte y doğrultusundaki mafsalların tamamı hemen kullanım performans seviyesinin de altında kalmaktadır.

7.1.2. Kullanım depremine göre hesap

Taslak Yönetmelik 13. Bölüm'e göre, okul gibi insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulundukları binaların performans değerlerinin belirlenmesinde kullanılacak deprem olarak 50 yılda gerçekleşme ihtimali %50 olan kullanım depremi veya 50 yılda gerçekleşme ihtimali %2 olan maksimum deprem belirtilmiştir. Buna göre kullanım depremi için sistemin hemen kullanım performans seviyesini sağlaması, maksimum deprem için ise, can güvenliği performans seviyesini sağlaması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, performans seviyesi kontrolü kullanım depremine göre yapılacaktır. Kullanım depreminin ivme spektrumu, tasarım depremi spektral ivmelerinin yarısı olarak alınacaktır. Güçlendirilmiş yapı için, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan itme analizi sonucu elde edilen modal kapasite diyagramları ve kullanım depremine göre %5 sönümlü istem eğrisi Şekil 7.4 ve Şekil 7.5' de verilmiştir.



Şekil 7.4: Güçlendirilmiş Yapının Kullanım Depremine Göre X Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi



Şekil 7.5: Güçlendirilmiş Yapının Kullanım Depremine Göre Y Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi

X ve Y doğrultularında modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesine ait sayısal değerler Tablo 7.4' de verilmiştir.

Tablo 7.4: Hedef Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi (Kullanım Depremi)

	x Doğrultusu	y Doğrultusu
T_B	0,40	0,40
T_1	0,78	0,38
$(w_B)^2$	246	246
$(w_1^{(1)})^2$	65	273
S_{de}	0,037	0,019
S_{di}	0,037	0,019
M	4281,86	4281,86
Kütle Katılımı	0,77	0,748
M_b	3297	3203
Γ	57,42	56,59
Φ	0,0266	0,0276
U_x -hedef	0,057	0,030

Kullanım depremine karşılık hedef yerdeğiştirme talepleri bulunduğundan sonra, bu değerler programa girilerek, sistem artan yükler altında bu deplasmanı yapana kadar itilerek analiz yapılmıştır. Hedef yerdeğiştirme taleplerine karşılık oluşan mafsallar ve performans seviyeleri x doğrultusunda analiz için Tablo 7.5'de, y doğrultusunda analiz için ise Tablo 7.6'da gösterilmiştir.

Tablo 7.5: Güçlendirilmiş Yapının x Doğrultusu Analiz Sonuçları
(Kullanım Depremine Göre Artımsal İtme Analizi)

Yer Değiştirme d (mm)	Taban Kesme Kuvveti V (kN)	Plastik Mafsall Performans Seviyeleri								Toplam
		A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
57	7143	1164	66	0	0	0	0	0	0	1230

Tablo 7.6: Güçlendirilmiş Yapının y Doğrultusu Analiz Sonuçları
(Kullanım Depremine Göre Artımsal İtme Analizi)

Yer Değiştirme d (mm)	Taban Kesme Kuvveti V (kN)	Plastik Mafsall Performans Seviyeleri								Toplam
		A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
30	14084	1229	1	0	0	0	0	0	0	1230

Tablo 7.5 ve Tablo 7.6’ dan anlaşılabacağı üzere, güçlendirilmiş yapıda oluşmuş mafsalların tamamı, kullanım depremine karşılık hesapta , hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır. Bununla birlikte y doğrultusu yaklaşık olarak elastik bölgede kalmıştır. Bu durum ise, Taslak Yönetmelik Bölüm 13’ün istediği şartı sağlamaktadır. Kullanım depremine göre hesapta hedef yerdeğiştirmeye kadar itilmiş sistemde elemanlarda oluşan plastik mafsallar ve performans seviyeleri EK-B’ de Şekil 7.6 – Şekil 7.23 arasında verilmiştir.

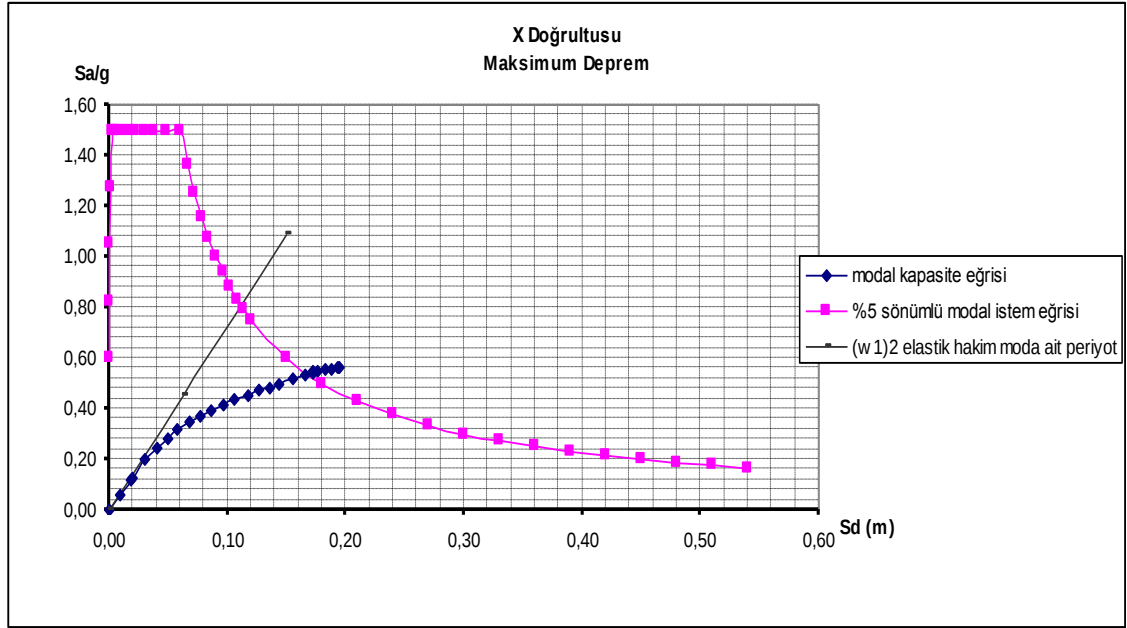
7.1.3. Maksimum depreme göre hesap

Bu çalışma kapsamında, performans seviyesi kontrolü maksimum depreme göre yapılacaktır. Maksimum depreminin ivme spektrumu, tasarım depremi spektral ivmelerinin 1.5 katı olarak alınacaktır. Güçlendirilmiş yapı için, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan itme analizi sonucu elde edilen modal kapasite diyagramları ve maksimum depreme göre %5 sönümlü istem eğrisi Şekil 7.24 ve Şekil 7.25’ de verilmiştir.

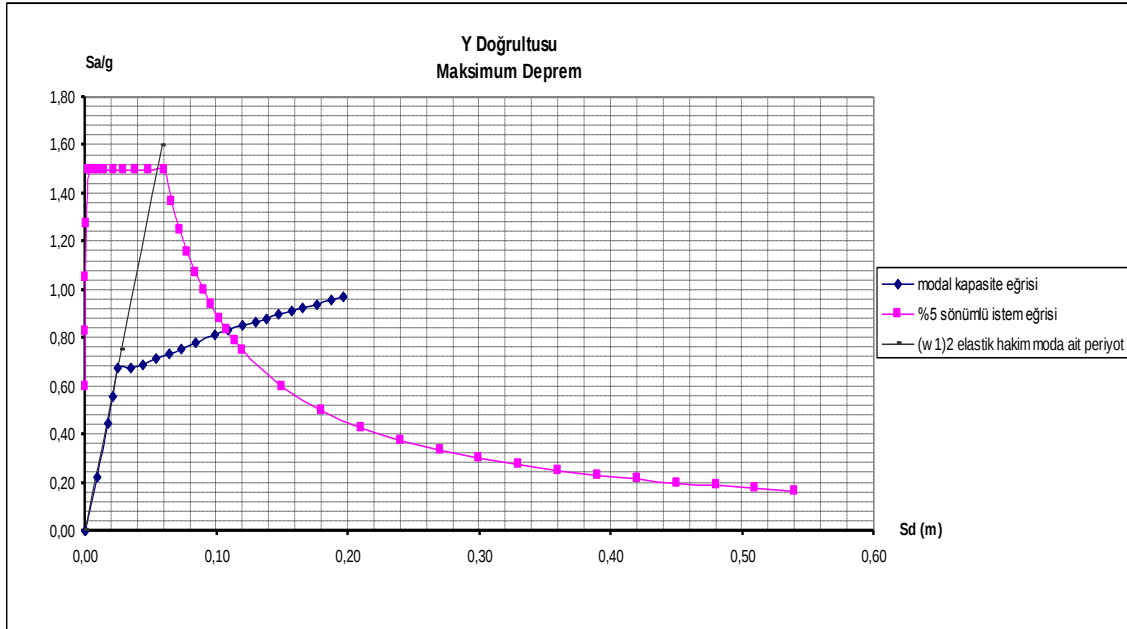
X ve Y doğrultularında modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesine ait sayısal değerler Tablo 7.7’ de verilmiştir.

Maksimum depreme karşılık hedef yerdeğiştirme talepleri bulunduktan sonra, bu değerler programa girilerek, sistem artan yükler altında bu deplasmanı yapana kadar itilerek analiz yapılmıştır. Hedef yerdeğiştirme taleplerine karşılık oluşan mafsallar

ve performans seviyeleri x doğrultusunda analiz için Tablo 7.8’de, y doğrultusunda analiz için ise Tablo 7.9’da gösterilmiştir.



Şekil 7.24: Güçlendirilmiş Yapının Maksimum Depreme Göre X Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi



Şekil 7.25: Güçlendirilmiş Yapının Maksimum Depreme Göre Y Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme Talebinin Belirlenmesi

Tablo 7.7: Hedef Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi (Maksimum Deprem)

	x Doğrultusu	y Doğrultusu
T_B	0,40	0,40
T_1	0,78	0,38
$(w_B)^2$	246	246
$(w_1^{(1)})^2$	65	273
S_{de}	0,110	0,058
S_{di}	0,110	0,058
M	4281,86	4281,86
Kütle Katılım	0,77	0,748
M_b	3297	3203
Γ	57,42	56,59
Φ	0,0266	0,0276
U_x -hedef	0,160	0,091

Tablo 7.8: Güçlendirilmiş Yapının x Doğrultusu Analiz Sonuçları
(Maksimum Depreme Göre Artımsal İtme Analizi)

Yer Değiştirme d (mm)	Taban Kesme Kuvveti V (kN)	Plastik Mafsal Performans Seviyeleri								Toplam
		A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
160	12764	726	279	217	8	0	0	0	0	1230

Tablo 7.9: Güçlendirilmiş Yapının y Doğrultusu Analiz Sonuçları
(Maksimum Depreme Göre Artımsal İtme Analizi)

Yer Değiştirme d (mm)	Taban Kesme Kuvveti V (kN)	Plastik Mafsal Performans Seviyeleri								Toplam
		A-B	B-HK	HK-CG	CG-YS	YS-C	C-D	D-E	>E	
91	20381	1114	112	4	0	0	0	0	0	1230

Tablo 7.8’ de görüldüğü üzere, X-X doğrultusunda maksimum depreme karşılık oluşan mafsalların hemen hepsi can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır. Can güvenliği performans seviyesini aşan 8 adet plastik mafsal ise kirişlerde oluşmuştur. Kolon ve perdelerde oluşan mafsalların tamamı can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır. Tablo 7.9’ dan anlaşılacağı üzere, Y-Y doğrultusunda oluşan mafsalların tamamı, maksimum depreme karşılık can güvenliği performans seviyesini ve yaklaşık olarak hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır. Bu durum ise, Taslak Yönetmelik Bölüm 13’ün istediği şartı sağlamaktadır. Maksimum depreme göre hesapta hedef yerdeğiştirmeye kadar itilmiş sistemde elemanlarda oluşan plastik mafsallar ve performans seviyeleri EK-C’ de Şekil 7.26 – Şekil 7.43 arasında verilmiştir.

7.2. Rölâtif kat ötelemeleri kontrolü

Hedef tepe yerdeğiştirmesine karşılık katlarda oluşan rölâtif kat ötelemeleri değeri maksimum depreme göre hesaplanarak Tablo 7.10’da verilmiştir.

Tablo 7.10: Rölâtif Kat Ötelemeleri

Kat	Yükleme	dx (mm)		Yükleme	dy (mm)	
5	PUSH1X	160	0,00879	PUSH1Y	91	0,00434
4		131	0,00970		72	0,00456
3		99	0,01000		52	0,00434
2		66	0,01061		33	0,00388
1		31	0,00939		16	0,00365

Tablo 5.4 incelendiğı zaman fark edileceğı üzere, performans noktasına karşı gelen ötelemenin yapıda Tasarı Deprem Yönetmeliğı’nin öngördüğü

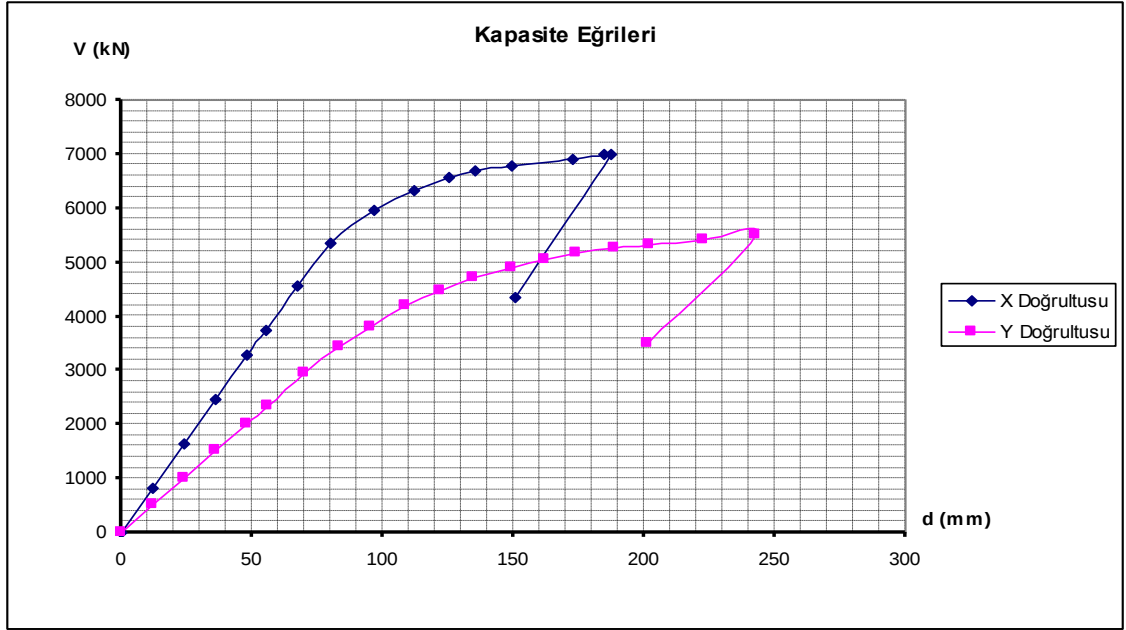
$$\frac{\delta_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \text{ denklemini sağladığı görölmektedir.}$$

8. SONUÇLAR

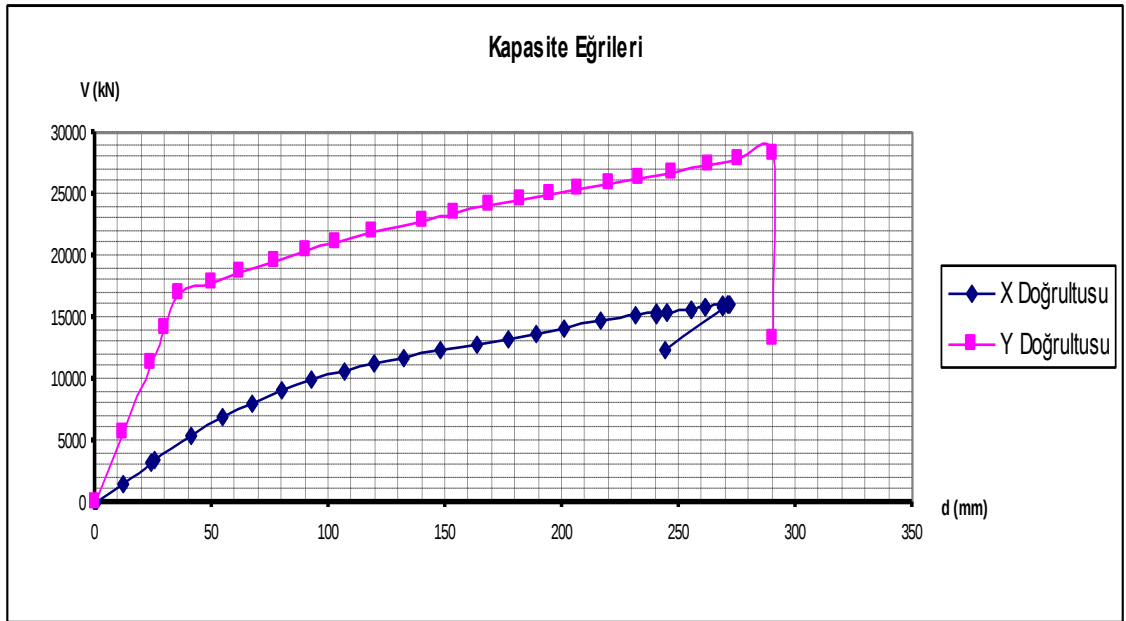
Bu çalışmada 5 kattan oluşan betonarme bir okul yapısı TS 500 ve Deprem Yönetmeliği'ne göre kontrol edilmiş ve doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Daha sonra bu yapı perde ilave edilmesi ile güçlendirilmiştir ve güçlendirilmiş yapı da doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile kontrol edilmiştir. Güçlendirilmemiş yapıda doğrusal olmayan analiz tasarım depremine göre ATC 40 yaklaşımının önerdiği kapasite spektrum yöntemi, FEMA 356 yaklaşımın önerdiği yerdeğiştirme katsayısı yöntemi ile yapılmıştır. Güçlendirilmiş yapıda ise öncelikle güçlendirmenin yapı performansına etkilerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla tasarım depremine göre doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Daha sonra, yeni olarak uygulamaya sunulacak olan Taslak Deprem Yönetmeliği'nin önerdiği artımsal itme analizi esas alınarak kullanım depremine göre elastik olmayan performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında, yapının güçlendirme öncesi ve sonrası doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken yapının performans noktasındaki durumu esas alınmıştır. Bu değerlendirme sonucunda, yapıların boyutlandırılmasına ilişkin Deprem Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri yorumlanmıştır.

X ve Y doğrultularında kapasite eğrileri güçlendirme öncesi için Şekil 8.1' de, güçlendirme sonrası için Şekil 8.2' de verilmiştir.

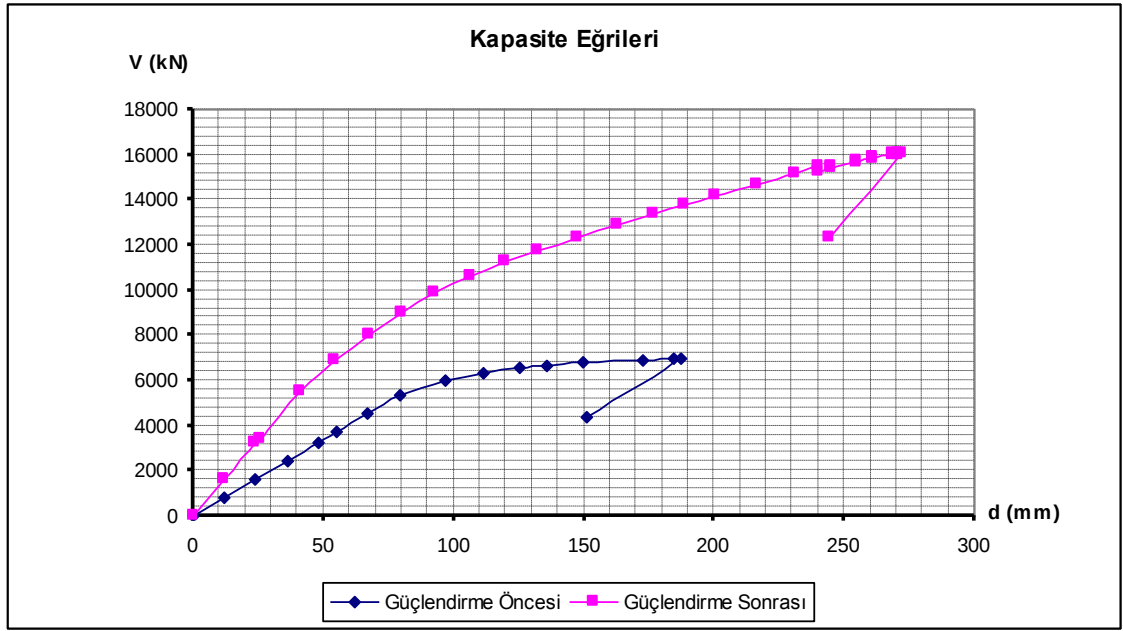
Güçlendirme öncesi ve sonrası tasarım depremine göre X-X doğrultusunda kapasite eğrileri Şekil 8.3' de, Y-Y doğrultusunda kapasite eğrileri ise Şekil 8.4' de verilmiştir.



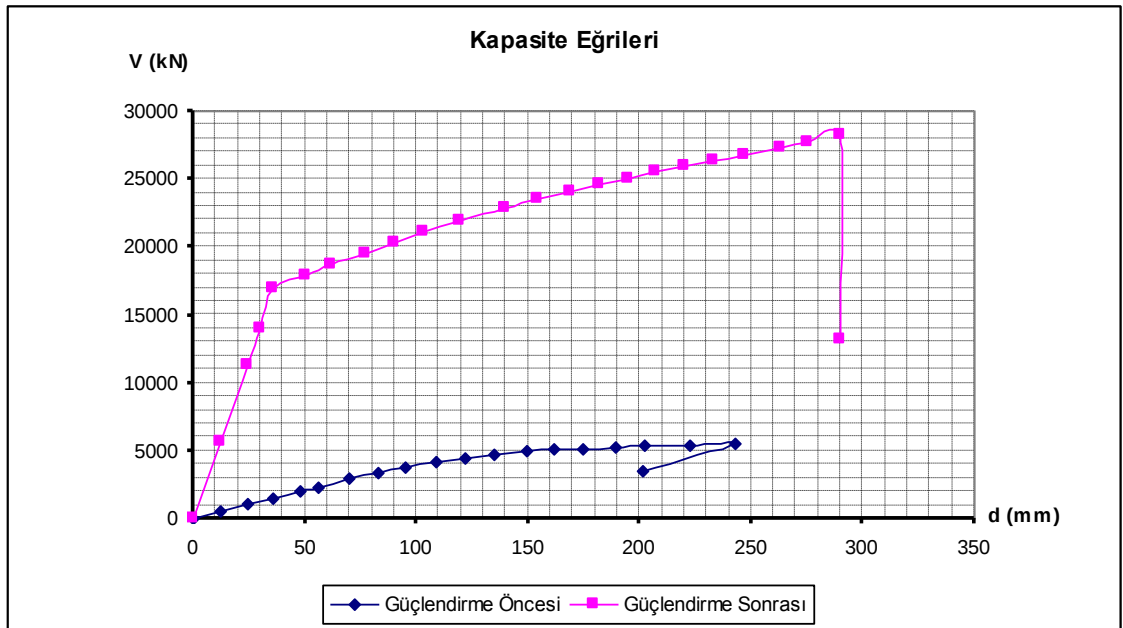
Şekil 8.1: Güçlendirme Öncesi Yapının Kapasite Eğrileri (Tasarım Depremi)



Şekil 8.2: Güçlendirme Sonrası Yapının Kapasite Eğrileri (Tasarım Depremi)



Şekil 8.3: X-X Doğrultusu Karşılaştırmalı Kapasite Eğrileri (Tasarım Depremi)



Şekil 8.4: Y-Y Doğrultusu Karşılaştırmalı Kapasite Eğrileri (Tasarım Depremi)

Güçlendirme öncesi ve sonrası tasarım depremine göre bazı yapısal davranış parametreleri Tablo 8.1' de verilmiştir.

Tablo 8.1: Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi Sonuçları

	Doğrultu	T (sn)	u_t (m)	W (kN)	V_{es} (kN)	V_{per} (kN)	V_{per}/V_{es}
Güçlendirme Öncesi	X	0,724	0,146	30382,18	6621,05	6785,38	1,02
Güçlendirme Sonrası		0,433	0,118	34741,66	7990,15	11168,98	1,40
Güçlendirme Öncesi	Y	0,898	0,190	30382,18	5558,04	5271,41	0,95
Güçlendirme Sonrası		0,216	0,058	34741,66	8094,37	18394,21	2,27

Elde edilen kapasite eğrileri, yapısal davranış parametreleri ve taşıyıcı sistem elemanlarının performans değerlendirmeleri ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılabılır:

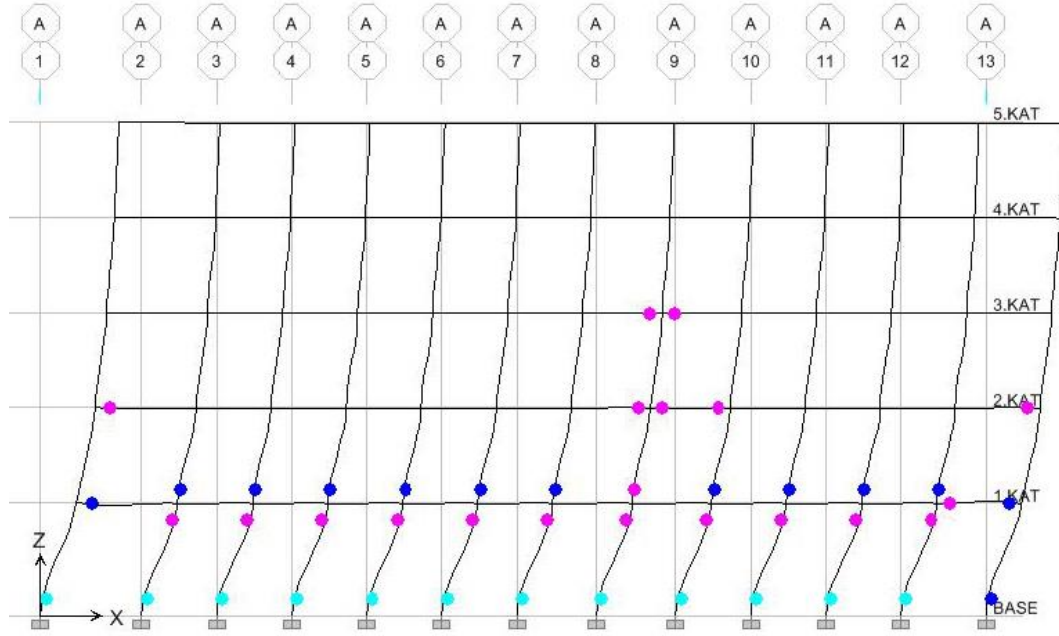
- Güçlendirme öncesinde yapı Y-Y doğrultusunda daha sünek davranış göstermektedir. Y-Y doğrultusunda daha az sayıda aks bulunmakta ve akslar arası mesafeler ve dolayısıyla kiriş açıklıkları fazladır. X-X doğrultusunda ise daha çok sayıda ve kısa açıklıklar mevcuttur, dolayısıyla X-X doğrultusunda çerçeve etkileşimi daha fazladır, sistem daha rijit davranmaktadır. Bu doğrultuda sistemin yatay yük taşıma kapasitesi daha fazladır. Y-Y doğrultusunda yatay öteleme daha fazladır. Bu doğrultuda sistemin mekanizma durumuna gelebilmesi için gerekli plastik dönmelerin sayısı daha fazladır.
- Yapı güçlendirilirken görüldüğü üzere, Y doğrultusunda koyulan perdeler, X doğrultusunda koyulan perdelerle göre daha rijittir. Bu nedenle, bu doğrultuda sistemin rijitliği, X doğrultusuna göre önemli derecede artmıştır. Bu rijitliğe bağlı olarak yapı, Y doğrultusunda daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu doğrultuda perdelerin etkili çalışabilmesi, perdeleri birbirine bağlayan kısa kirişler ile sağlanmaktadır. Y doğrultusunda sistemin hem daha rijit olması, hem de mekanizma durumuna gelmesi için yatay yerdeğiştirmenin daha fazla olması, bu bağlantı kirişlerinin yeterli olduğunu göstermektedir.
- Güçlendirme sonrası sistemde, X-X doğrultusunda eklenen perdelerden dolayı, yapının yatay yük taşıma kapasitesi yaklaşık 2 kat artmıştır. Y-Y doğrultusunda ise, eklenen perdeler sayesinde güçlendirme öncesi sisteme göre yaklaşık 4 kat artış olmuştur.
- Eklenen perdeler ile sistemin periyodu X doğrultusunda yaklaşık 2 kat, Y doğrultusunda ise 4 kat azalmıştır.

- Güçlendirme sonrası perde-çerçeve sistem etkileşimi nedeniyle X doğrultusunda sistemin yatay yerdeğiştirme talebi %20 oranında azalmıştır. Y doğrultusunda rijitliğin önemli miktarda artması ve yatay ötelemelerin azalması ise etkili olmuş, sistemin yatay yerdeğiştirme talebi yaklaşık %70 oranında azalmıştır.
- Güçlendirme öncesi sistemde özellikle Y-Y doğrultusunda $V_{eş} > V_{per}$ olduğu görülmektedir. Bundan dolayı sistemin gelen yatay yükü taşıyamayacağı açıktır.
- Güçlendirme sonrası $V_{per}/V_{eş}$ değerinin öngörülen R'den düşük olmasının nedenlerinde biri, kesitlerin moment-eğrilik bağıntıları oluşturulurken boyuna donatıdan hareket edilmesi olarak açıklanabilir. Kesme kuvveti elemanları ve duvar gibi elemanların sönümlemeye etkileri hesaba katılmamıştır.
- Güçlendirme öncesi doğrusal analizde kolonlardaki mevcut donatının, gelen etkileri karşılamada yetersiz oldukları görülmektedir.
- Güçlendirme sonrası doğrusal analizde kolonlardaki mevcut donatının, gelen etkileri karşılamada yeterli duruma görülmektedir. Güçlendirmenin etkili olduğu, doğrusal analiz ile görülmüştür.
- Güçlendirme öncesi taşıyıcı sistemde her iki doğrultuda hemen hemen tüm kirişlerde can güvenliği sağlanmıştır. Ancak, özellikle X-X doğrultusunda kolonların çoğunun zemin kat tabanlarında can güvenliği performans seviyesi aşılmıştır.
- Güçlendirme sonrası taşıyıcı sistemde her iki doğrultuda tüm kiriş ve kolonlarda can güvenliği performans seviyesi sağlanmıştır. Hatta, Y-Y doğrultusunda tüm mafsallar hemen kullanım performans seviyesinin de altında kalmıştır.
- Perdelerde her iki doğrultuda sadece zemin kat tabanında mafsallar oluşmuştur. Oluşan mafsallar X-X doğrultusunda can güvenliği performans seviyesini, Y-Y doğrultusunda ise hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır. Normal kat perdelerinin tümü elastik davranış bölgesinde kalmıştır.
- Güçlendirilmiş sistemde, zemin kat kolonlarına normal kat kolonlarına göre daha az yük gelmekte, boyutlandırmaya esas donatı alanları daha az çıkmaktadır. Bu bir çelişki gibi gözükse de, zemin katta perdelerin etkili çalıştığını, normal

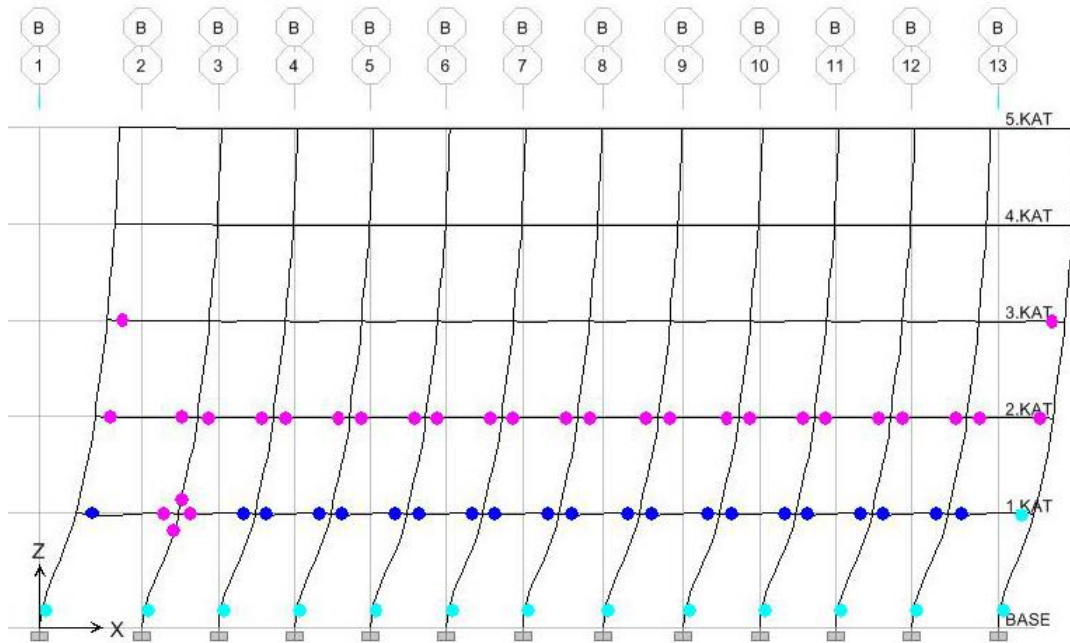
katlarda ise perde-çerçeve sistem etkileşiminin artarak, yapının sistem olarak çalıştığını göstermektedir. Bu nedenle, zemin katta rölatif kat ötelemesi daha azdır, normal katlarda artmaktadır.

- Gerek doğrusal analizde, gerekse doğrusal olmayan analizde, güçlendirme sonrasında rölatif kat ötelemeleri azalmaktadır.
- Analiz sonuçlarını yöntem bazında değerlendirecek olursak, bina performans noktası değerleri tasarı deprem yönetmeliği ile yerdeğiştirme katsayısı yönteminde üst üste örtüşmüştür. Kapasite spektrum yönteminde bina performans seviyesine daha erken ulaşılmıştır. Buna rağmen her üç yöntemin sonuçlarının kabul edilir mertebede aynı olduğu görülmüştür.
- Deprem yönetmeliğinin öngördüğü diğer bir tasarım ilkesi gevrek güç tükenme durumunun hiçbir zaman ortaya çıkmamasıdır. Hiçbir performans düzeyinde, kesme kuvvetinin aşılması olarak tanımlayabileceğimiz gevrek güç tükenme durumu ortaya çıkmamıştır. Güçlendirme öncesi ve sonrasında, her iki doğrultuda yapı yeterince sünektir.
- Diğer bir tasarım felsefesi olan yapı hangi hasar durumunda olursa olsun düşey yük taşıma kapasitesini muhafaza edebilme şartının, yapılan itme analizinde sağlandığı görülmüştür.
- Güçlendirilmiş sistemin performansının Taslak Deprem Yönetmeliği 13. Bölüm'e göre değerlendirilebilmesi için, kullanım depremine göre doğrusal olmayan itme analizi yapılmıştır. Buna göre, sistemde X-X doğrultusunda oluşan plastik mafsalların tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır. Y-Y doğrultusunda ise tüm yapı yaklaşık olarak elastik bölgede kalmıştır.
- Taslak Deprem Yönetmeliği 13. Bölüm'ün maksimum depreme göre değerlendirilebilmesi için yapılan doğrusal analize göre, X-X doğrultusunda 4 tanesi 4. kat, 4 tanesi 5. kat kirişlerinde olmak üzere sadece 8 adet can güvenliği performans seviyesini aşan plastik mafsal oluşmuştur. Bu mafsallar göçme güvenliği performans seviyesini ise sağlamaktadırlar. Kolon ve perdelerin tamamı can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır. Y-Y doğrultusunda ise oluşan tüm mafsallar can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır.

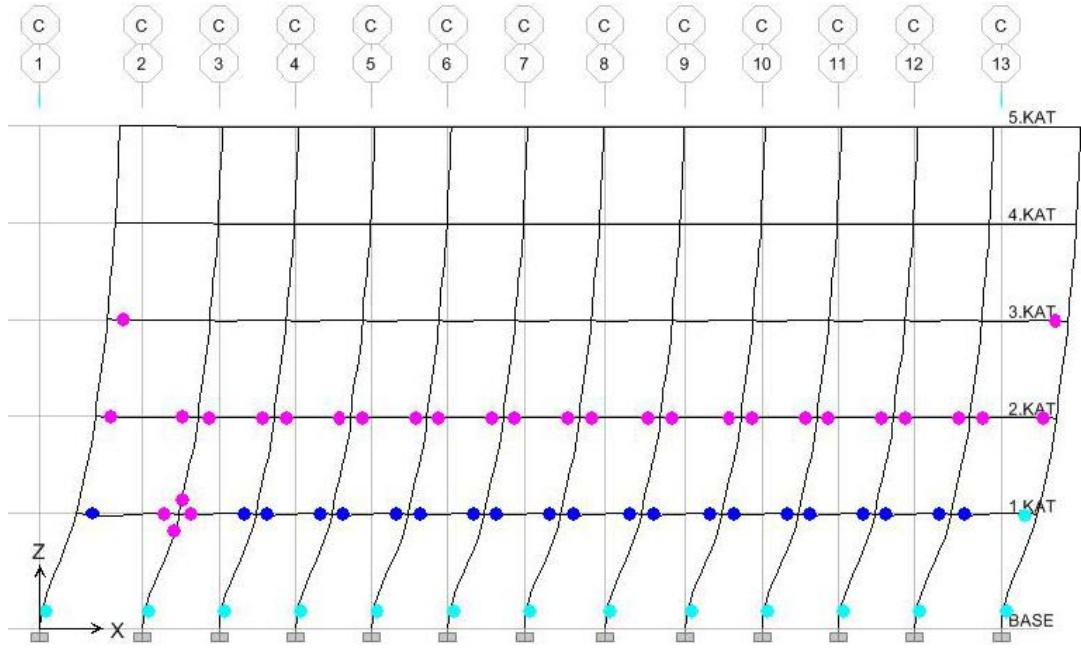
EK-A (5. BÖLÜM)



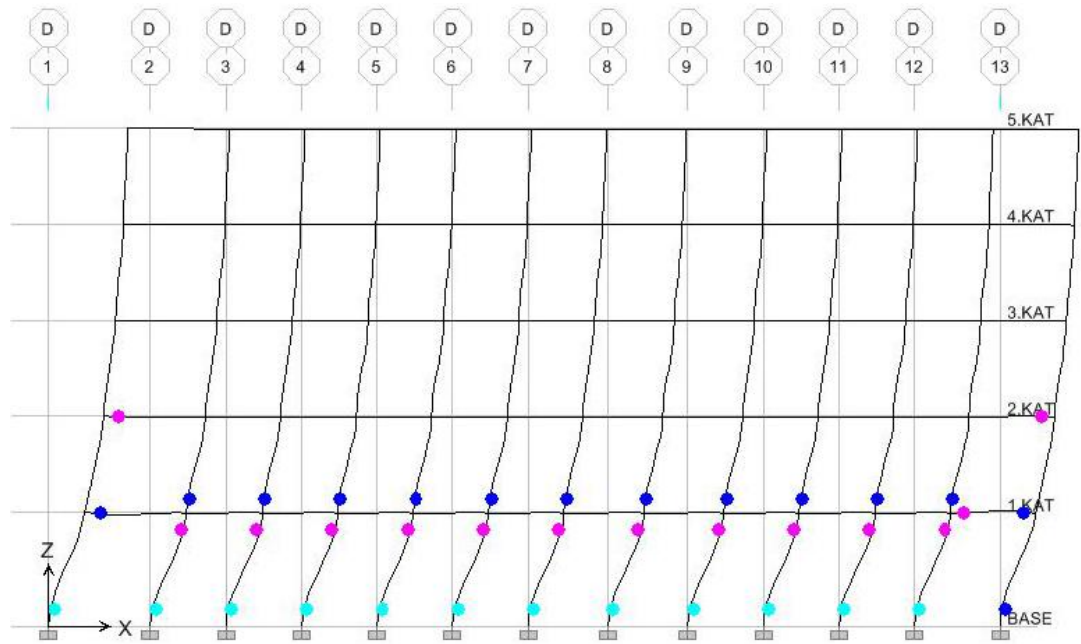
Şekil 5.4: A-A Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)



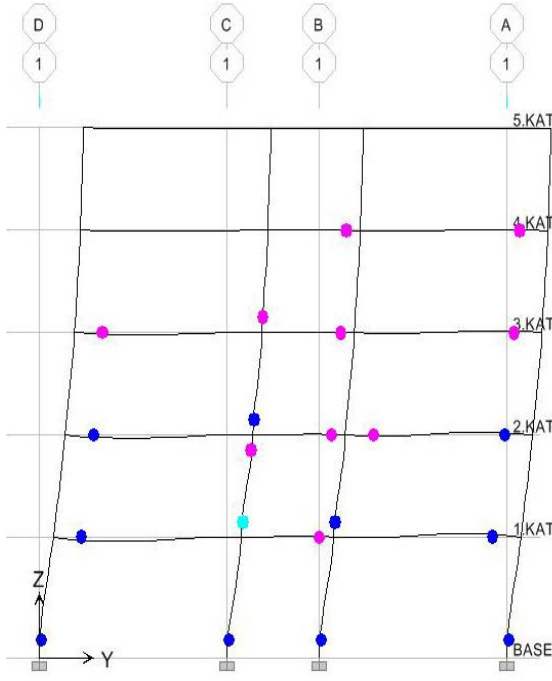
Şekil 5.5: B-B Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)



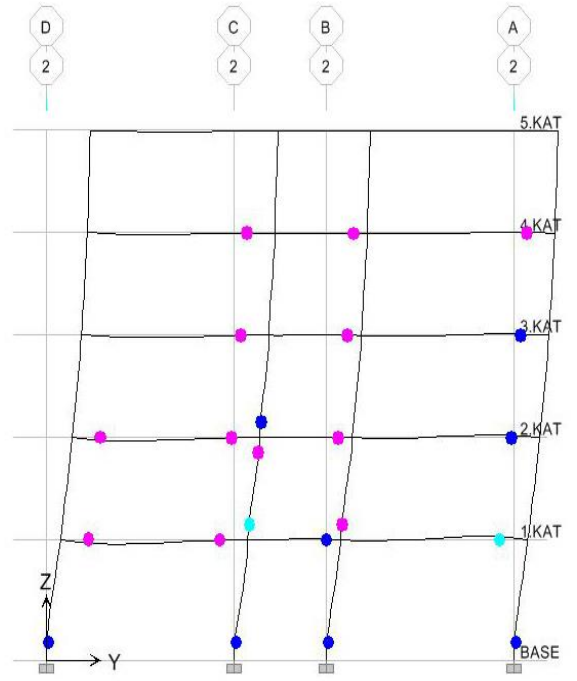
Şekil 5.6: C-C Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)



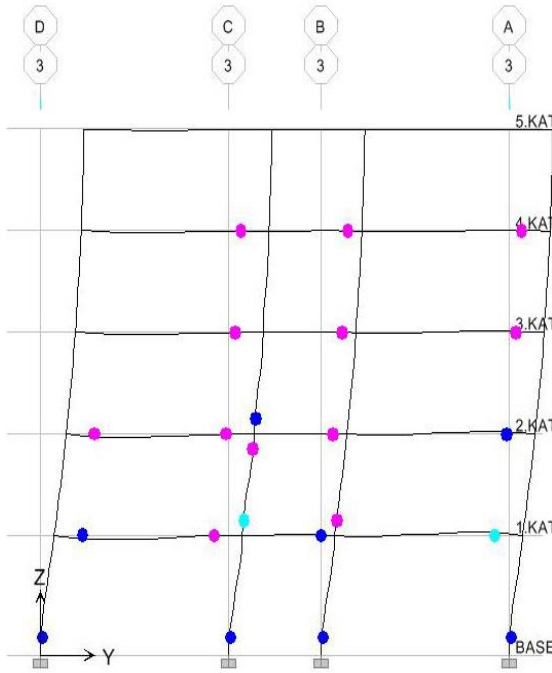
Şekil 5.7: D-D Aksında Oluşan Mafsallar (Mevcut Yapı-ATC 40)



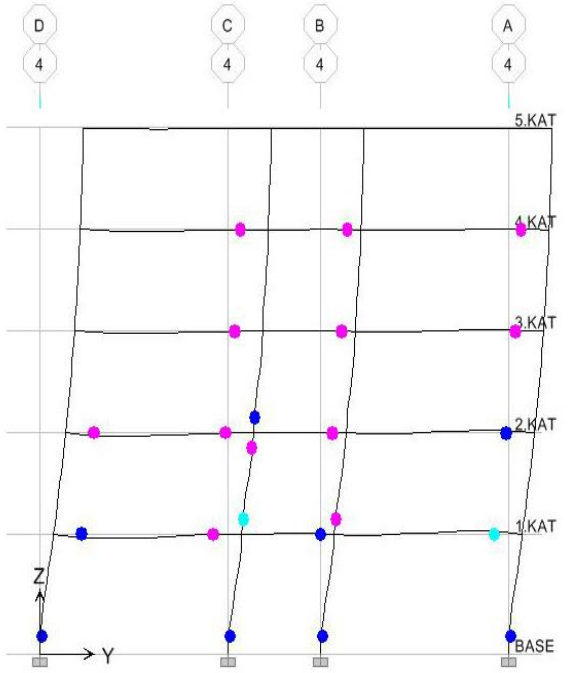
Şekil 5.8: 1 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



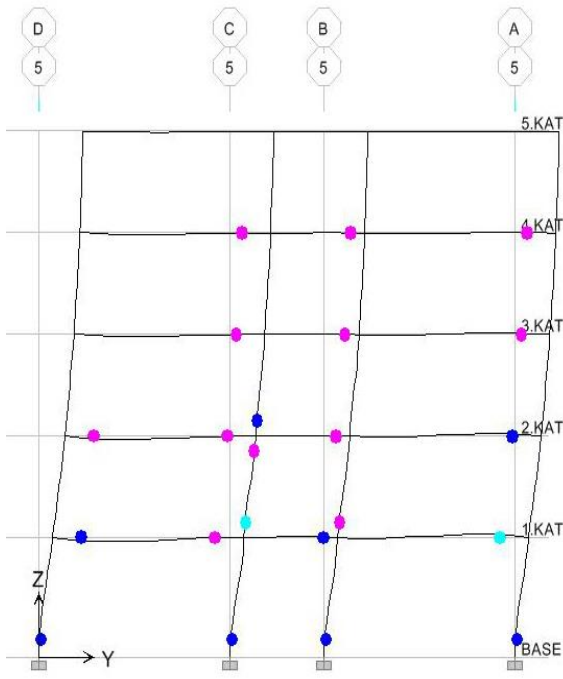
Şekil 5.9: 2 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



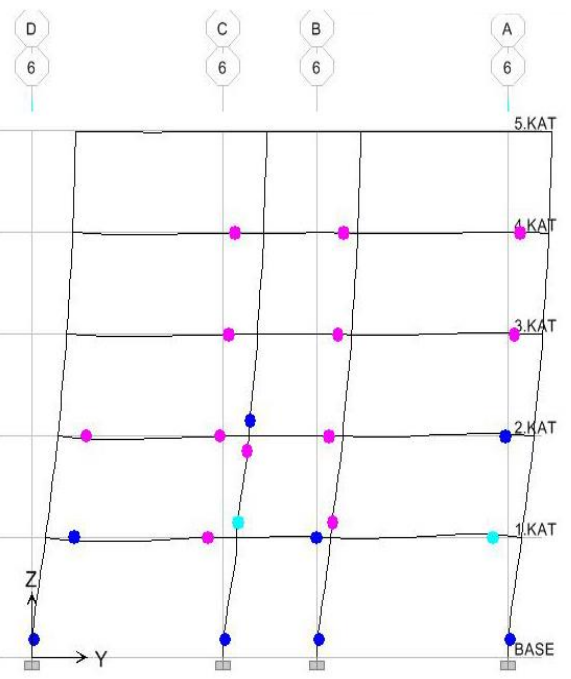
Şekil 5.10: 3 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



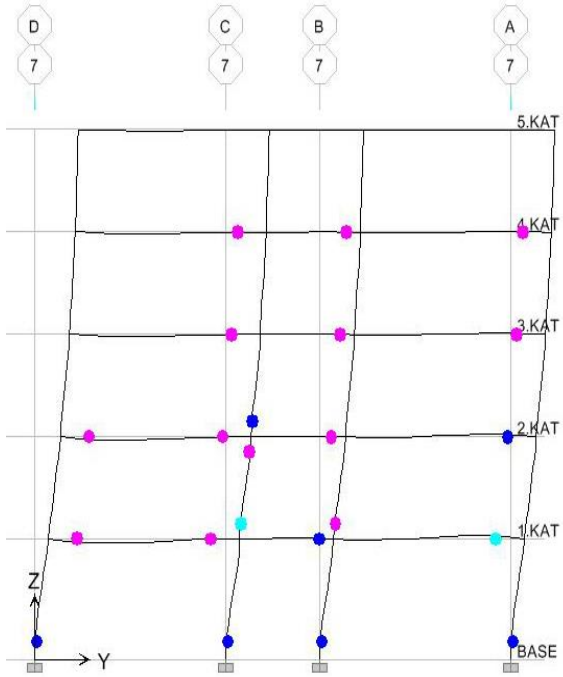
Şekil 5.11: 4 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



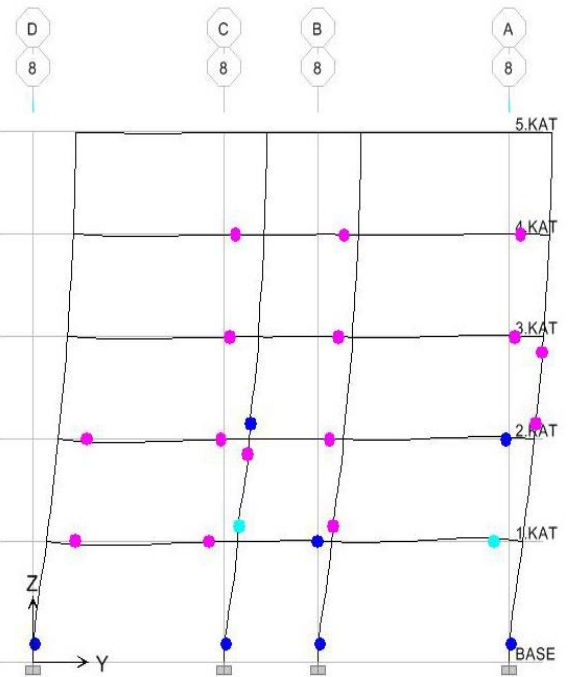
Şekil 5.12: 5 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



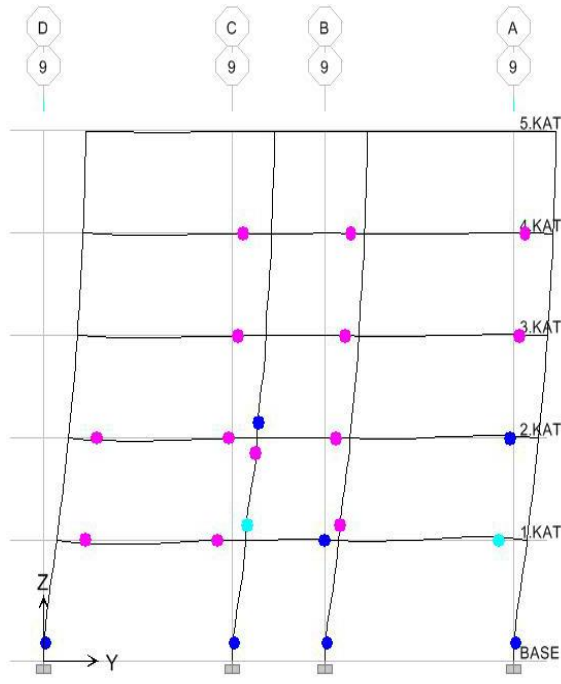
Şekil 5.13: 6 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



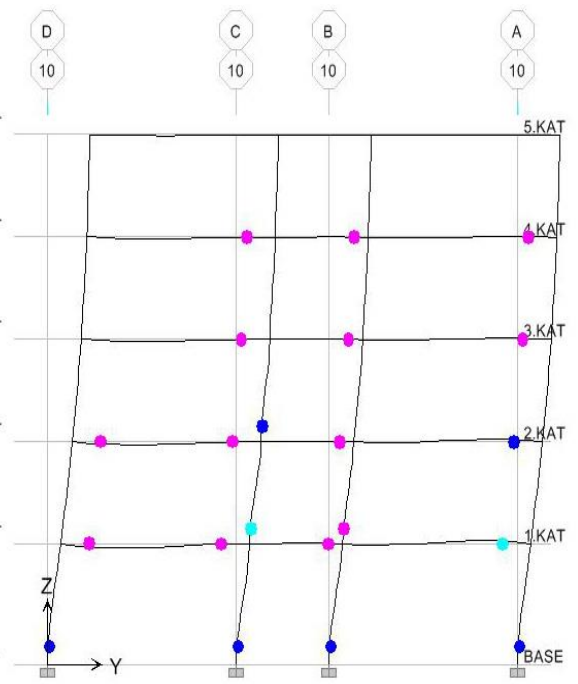
Şekil 5.14: 7 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



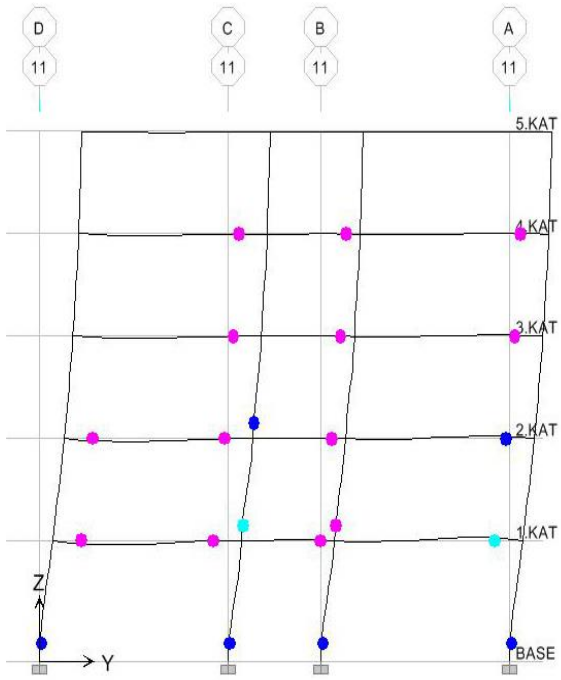
Şekil 5.15: 8 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



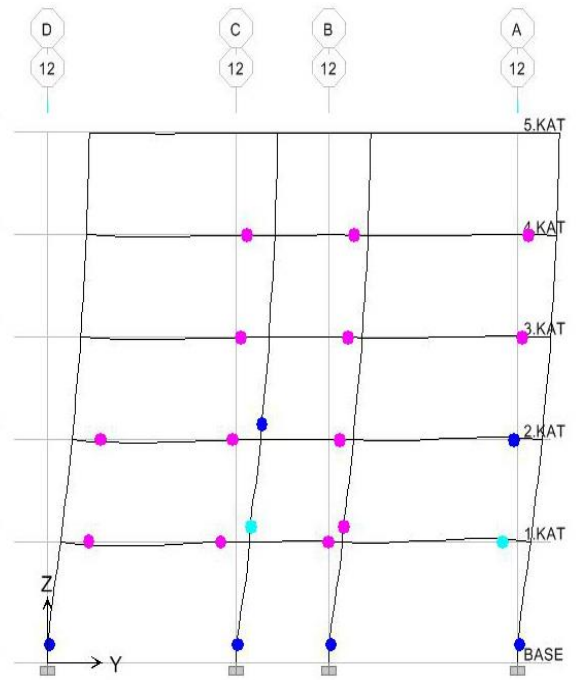
Şekil 5.16: 9 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



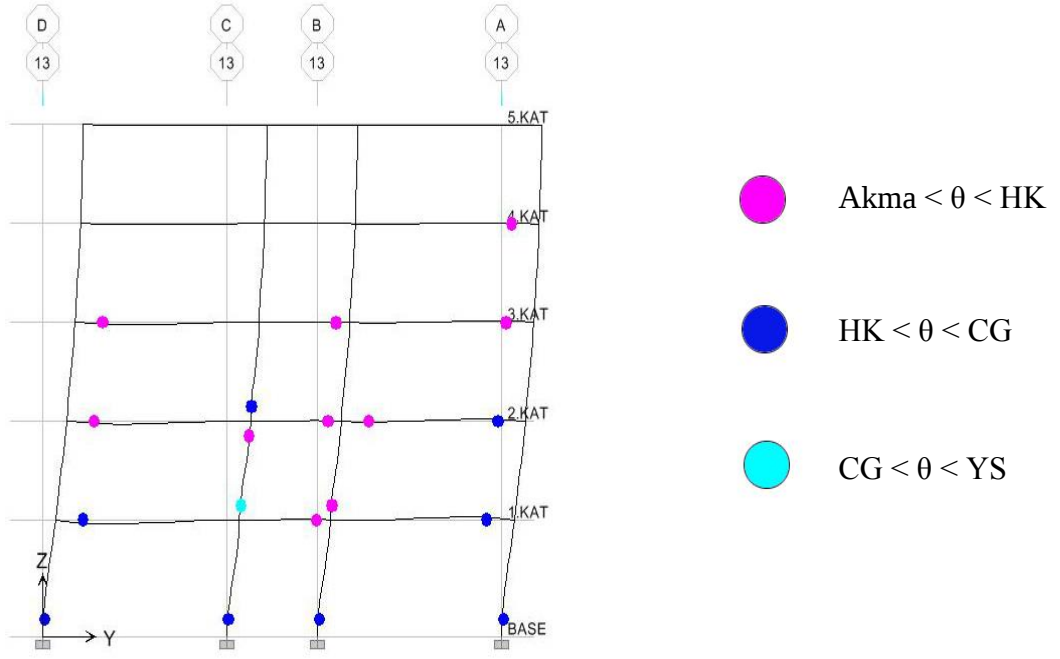
Şekil 5.17: 10 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)



Şekil 5.18: 11 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)

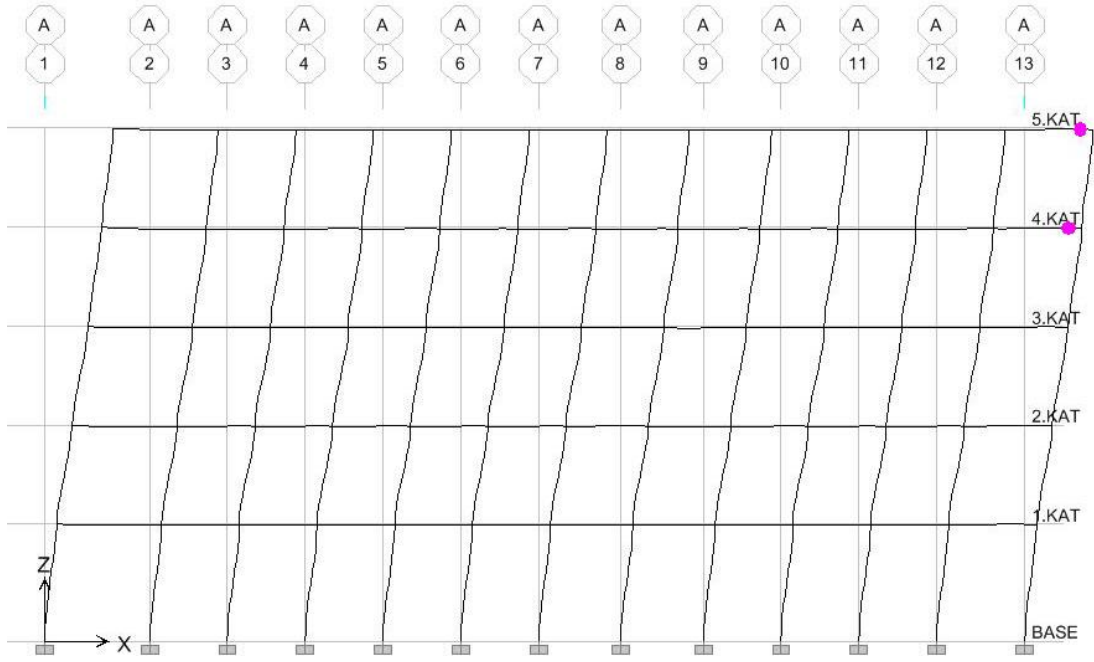


Şekil 5.19: 12 Aksında Oluşan Mafsallar
(Mevcut Yapı-ATC 40)

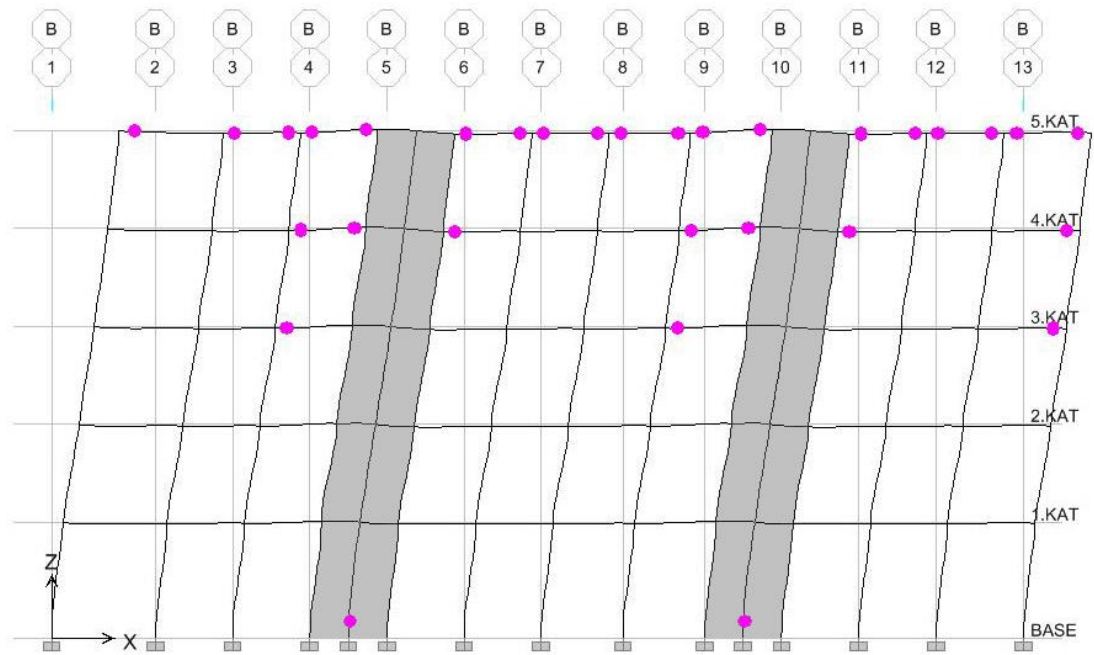


Şekil 5.20: 13 Aksında Oluşan Mafsalalar Şekil 5.21: Mafsal Performans Seviyeleri
(Mevcut Yapı-ATC 40)

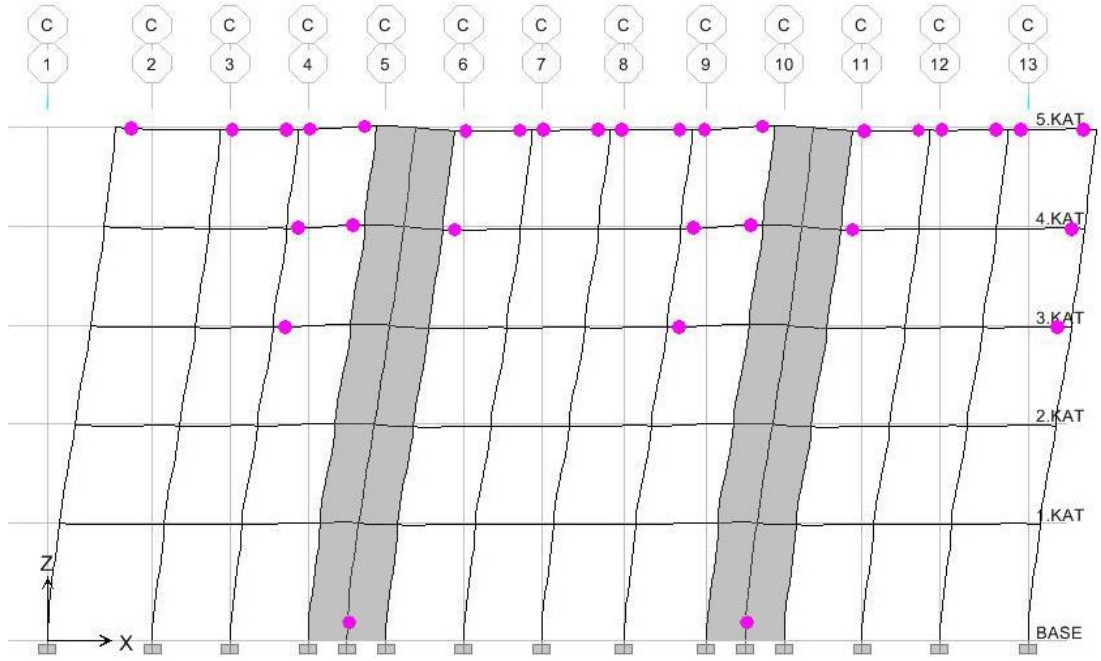
EK-B (7. BÖLÜM)



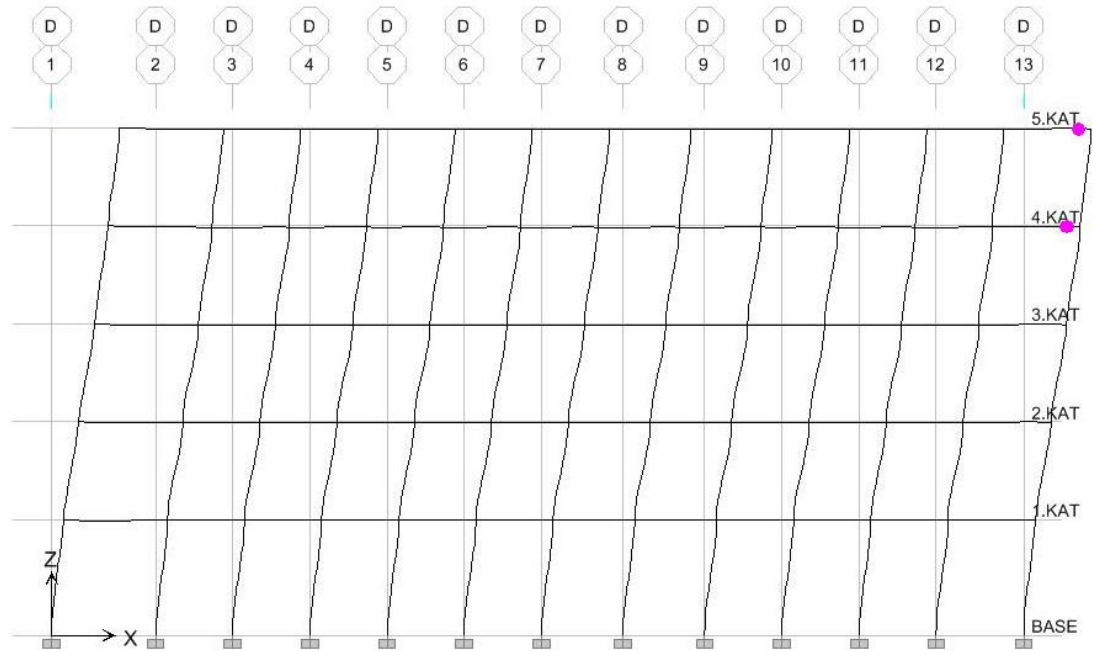
Şekil 7.6: A-A Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)



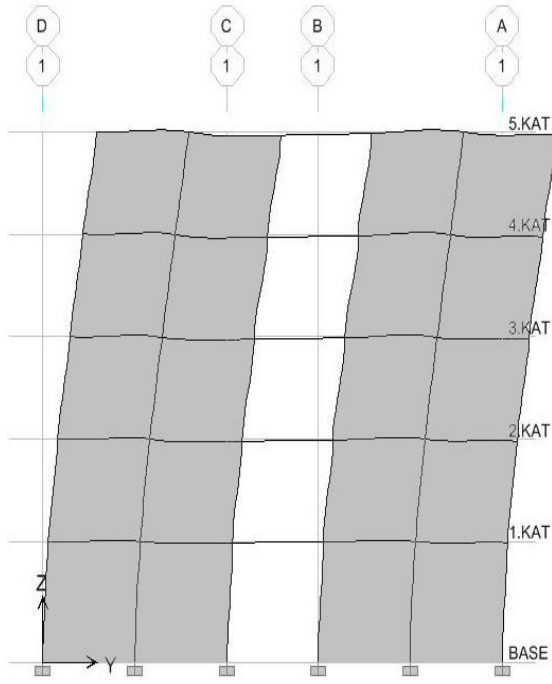
Şekil 7.7: B-B Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)



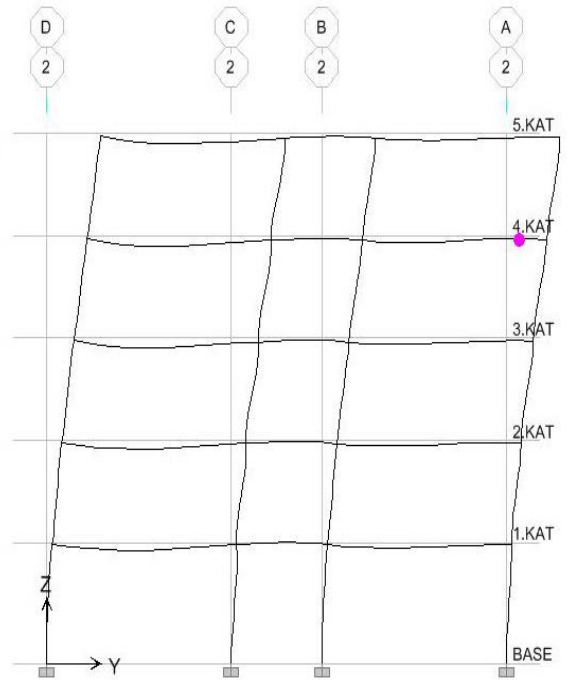
Şekil 7.8: C-C Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)



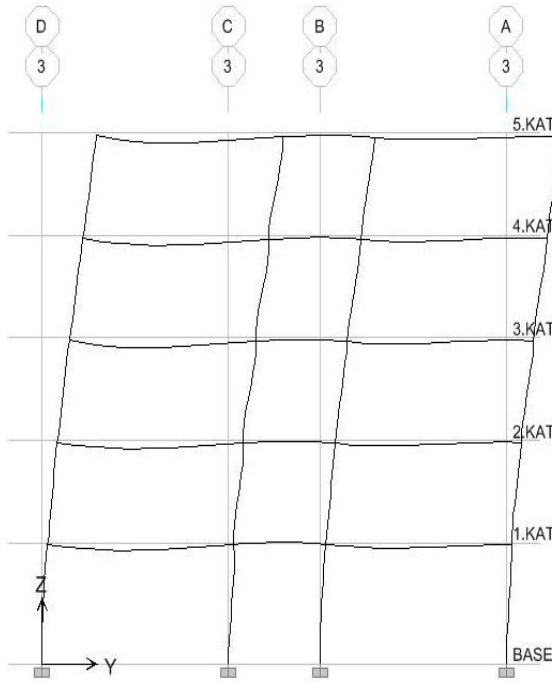
Şekil 7.9: D-D Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi)



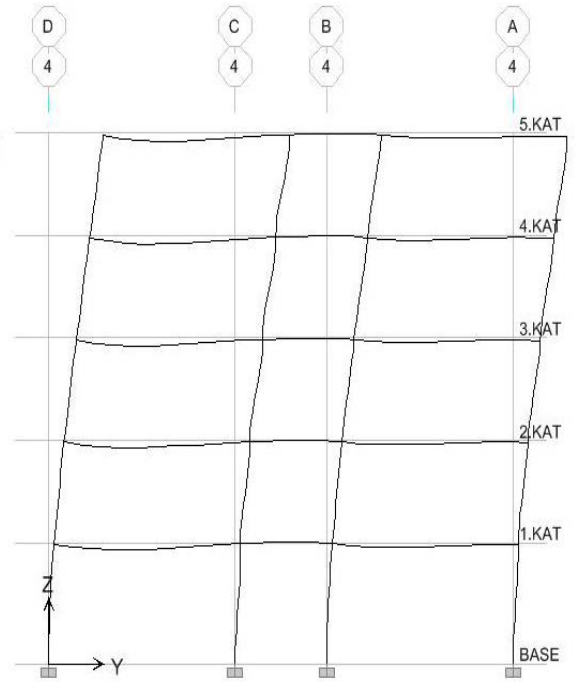
Şekil 7.10: 1 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



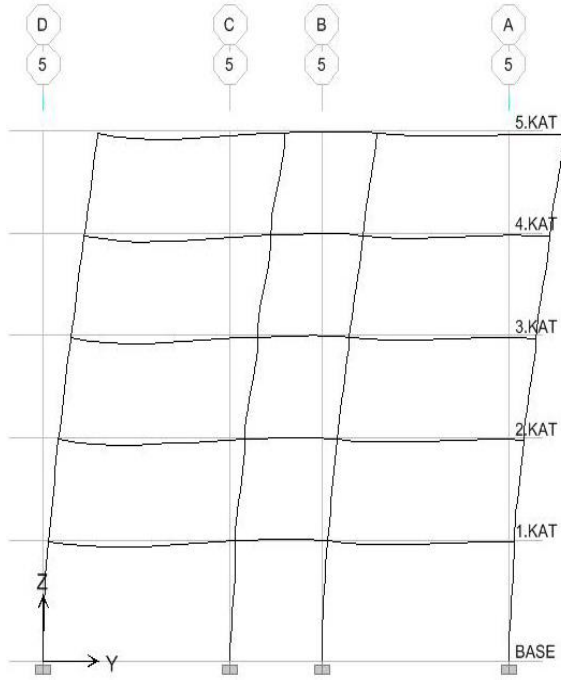
Şekil 7.11: 2 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



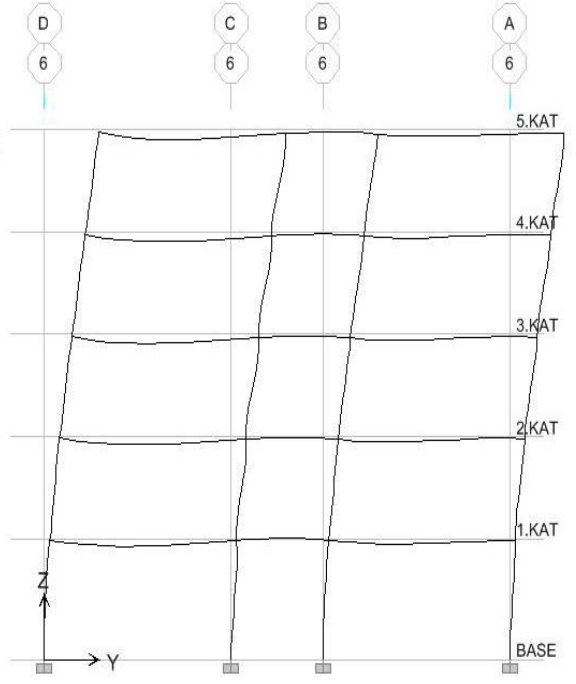
Şekil 7.12: 3 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



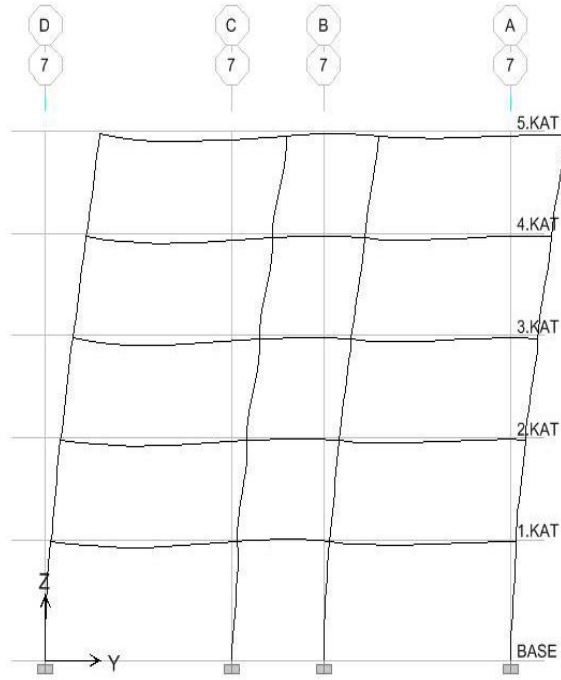
Şekil 7.13: 4 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



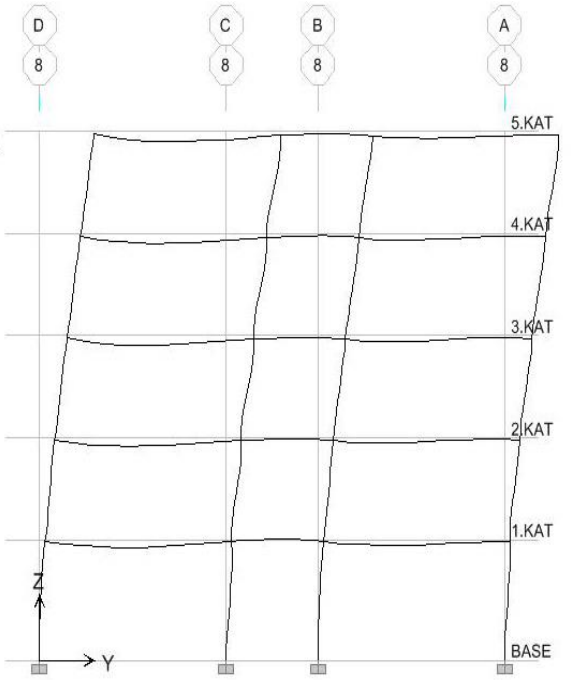
Şekil 7.14: 5 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



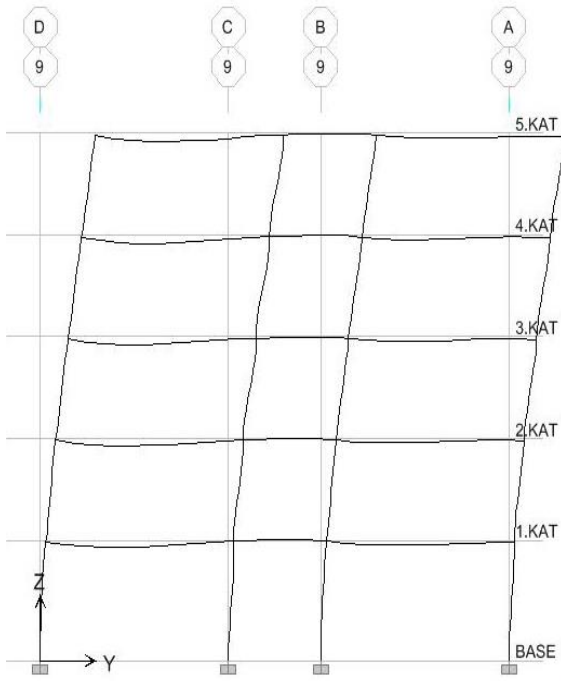
Şekil 7.15: 6 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



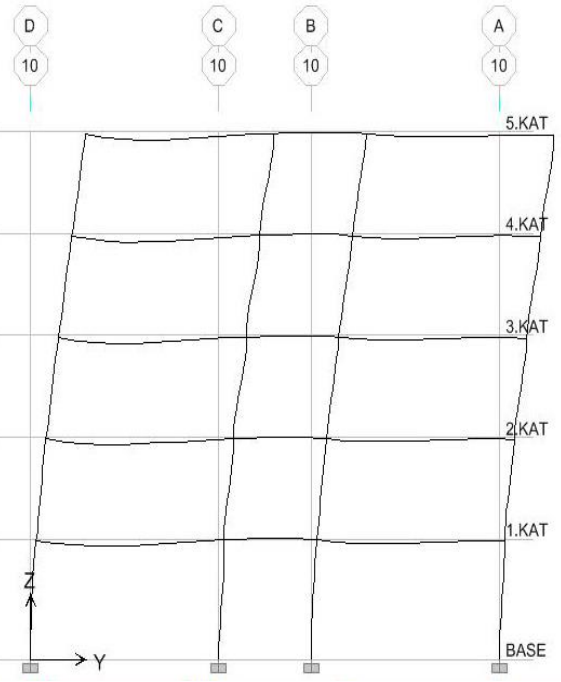
Şekil 7.16: 7 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



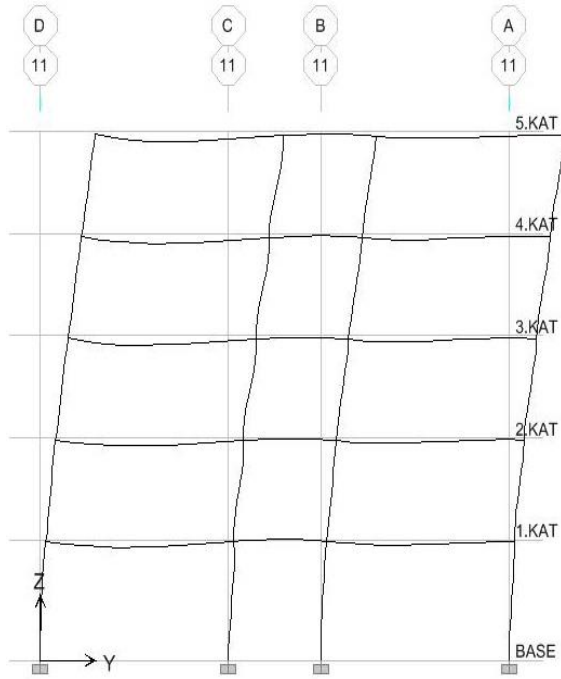
Şekil 7.17: 8 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



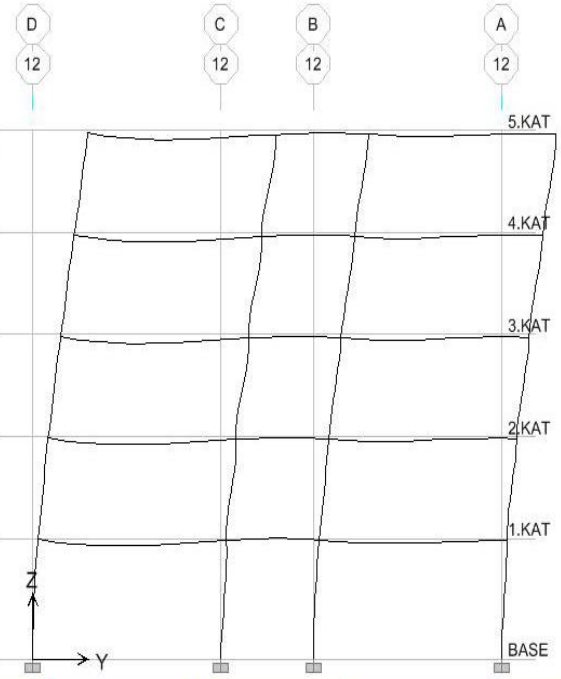
Şekil 7.18: 9 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



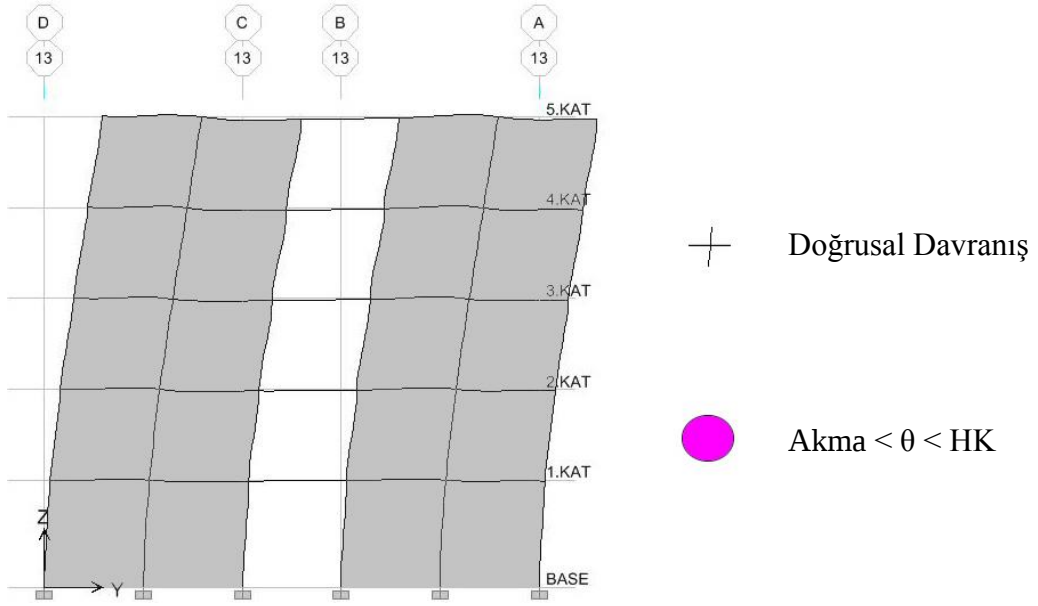
Şekil 7.19: 10 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)



Şekil 7.20: 11 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)

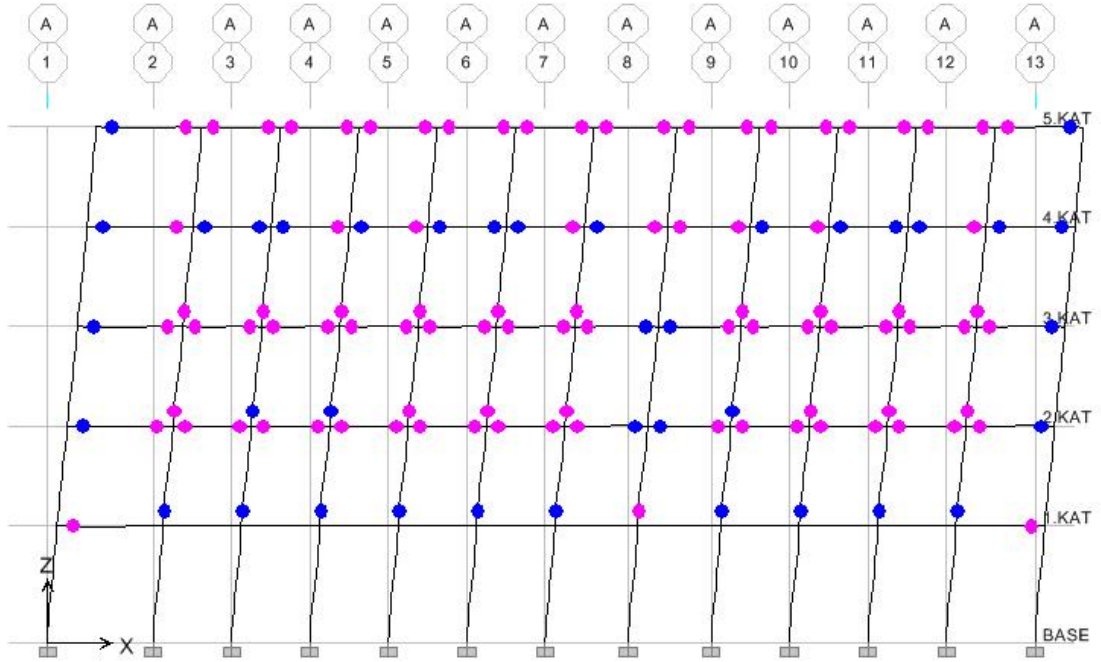


Şekil 7.21: 12 Aksında Oluşan Mafsallar
(Kullanım Depremi)

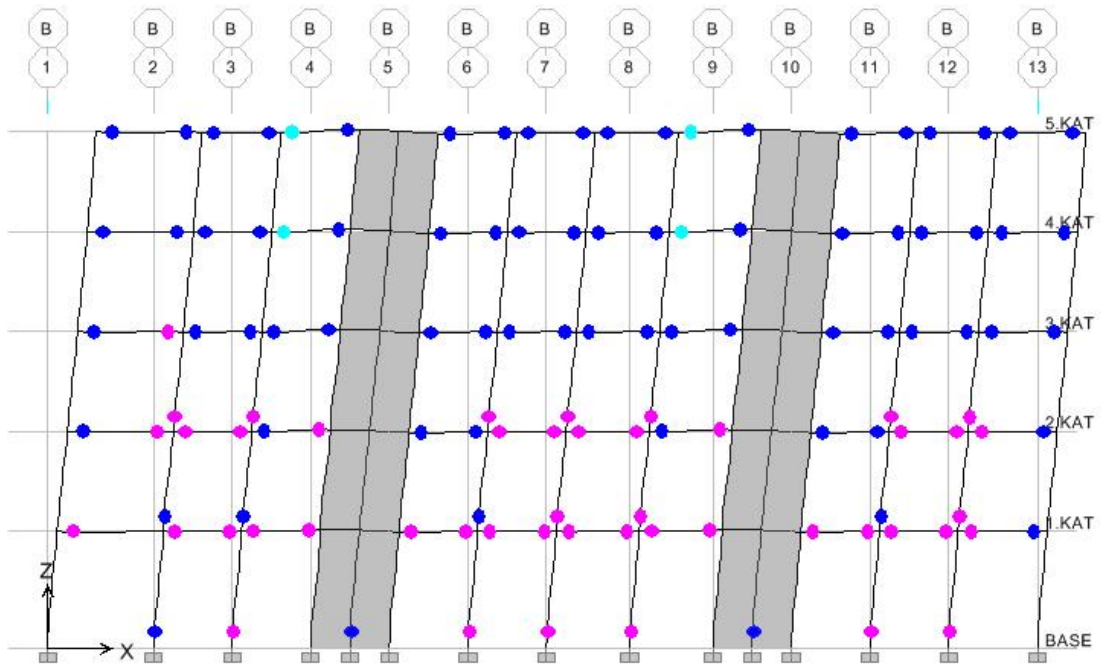


Şekil 7.22: 13 Aksında Oluşan Mafsallar (Kullanım Depremi) Şekil 7.23: Mafsal Performans Seviyeleri

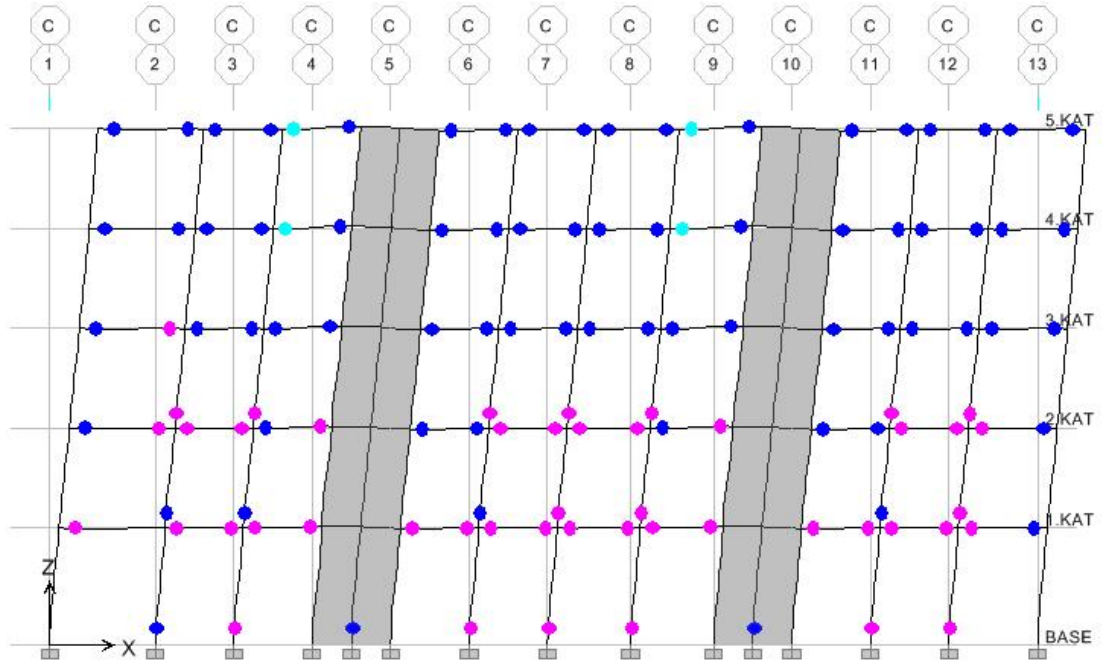
EK-C (7. BÖLÜM)



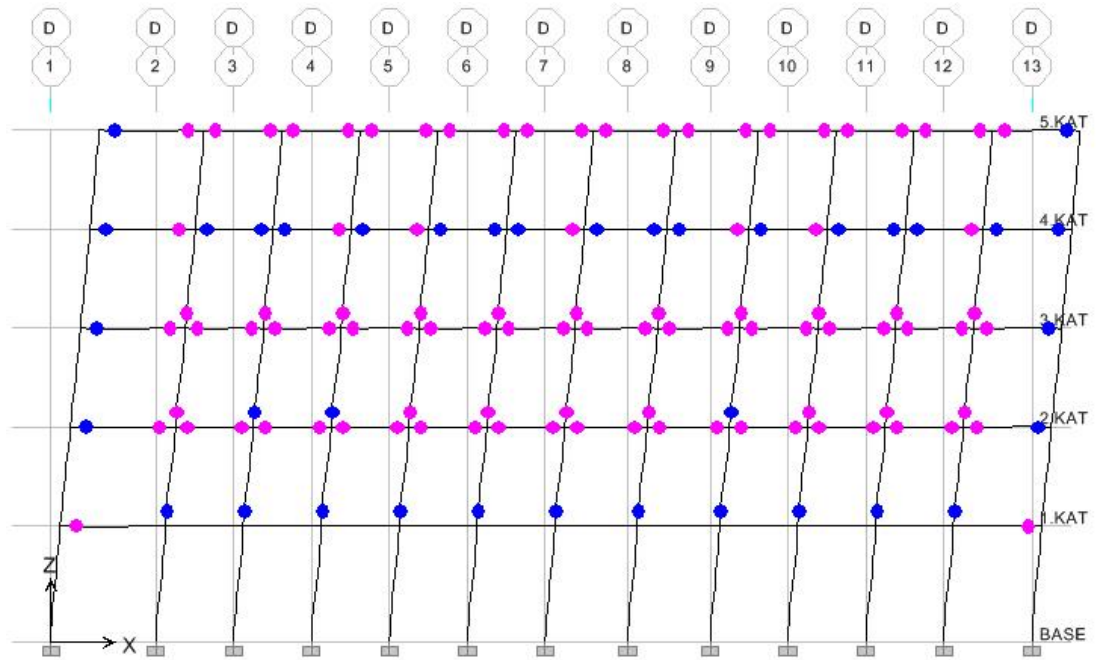
Şekil 7.26: A-A Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)



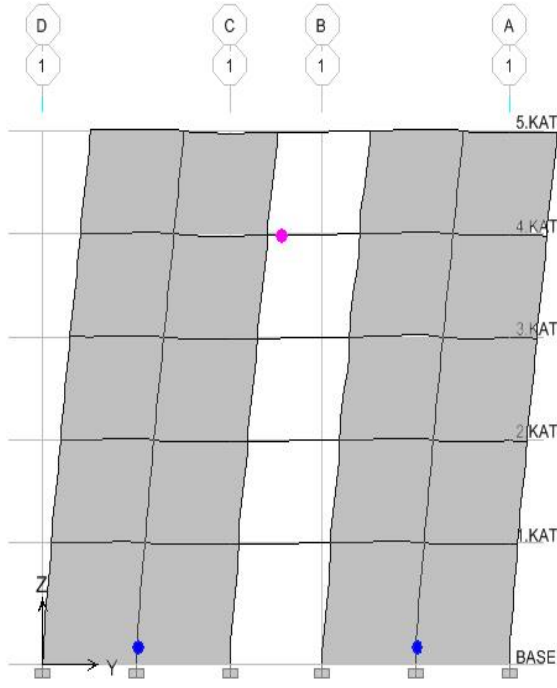
Şekil 7.27: B-B Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)



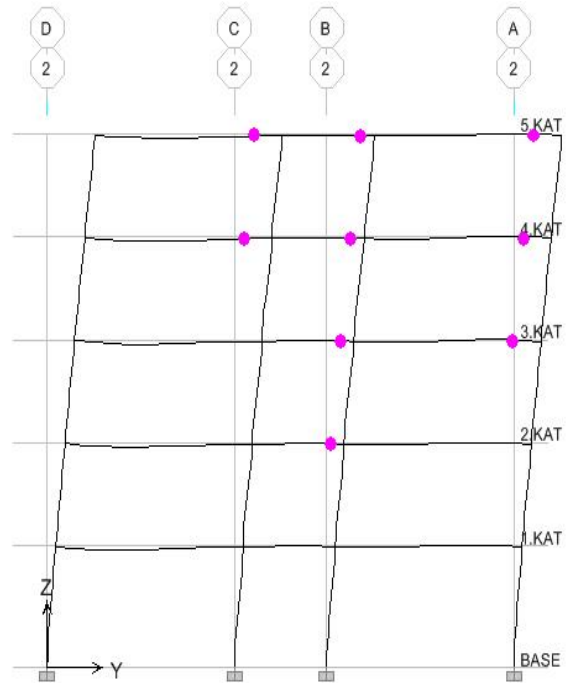
Şekil 7.28: C-C Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)



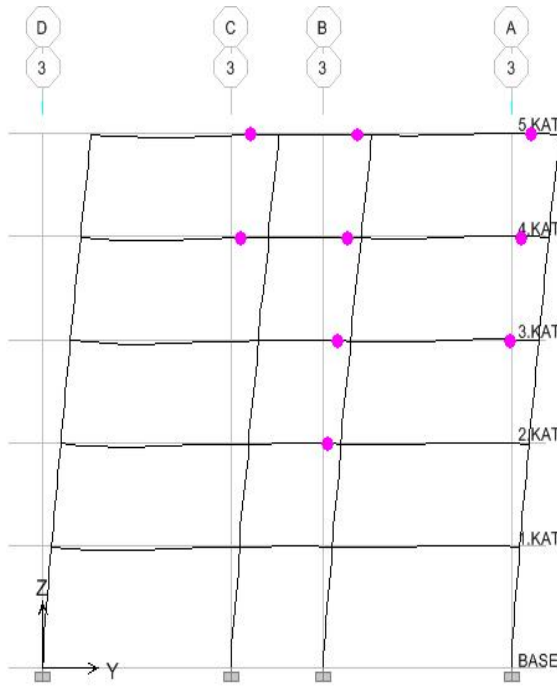
Şekil 7.29: D-D Aksında Oluşan Mafsallar (Maksimum Deprem)



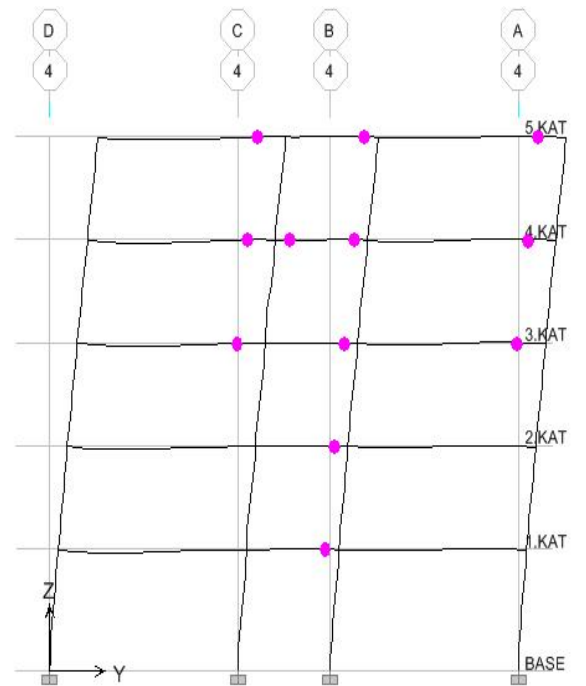
Şekil 7.30: 1 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



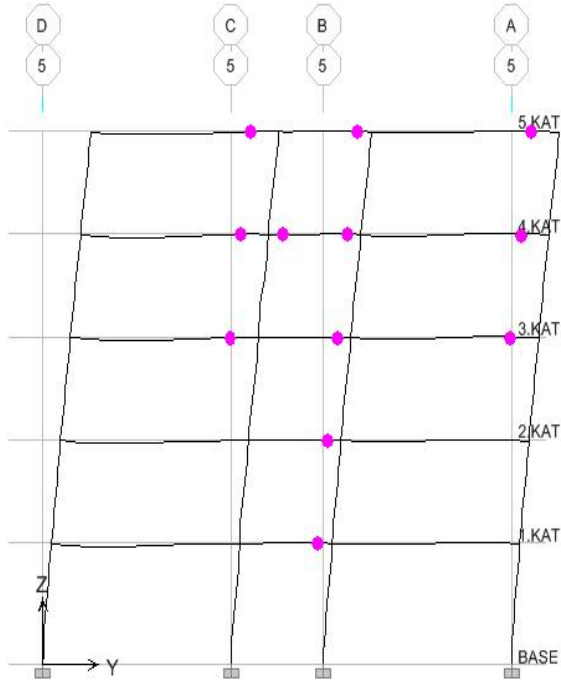
Şekil 7.31: 2 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



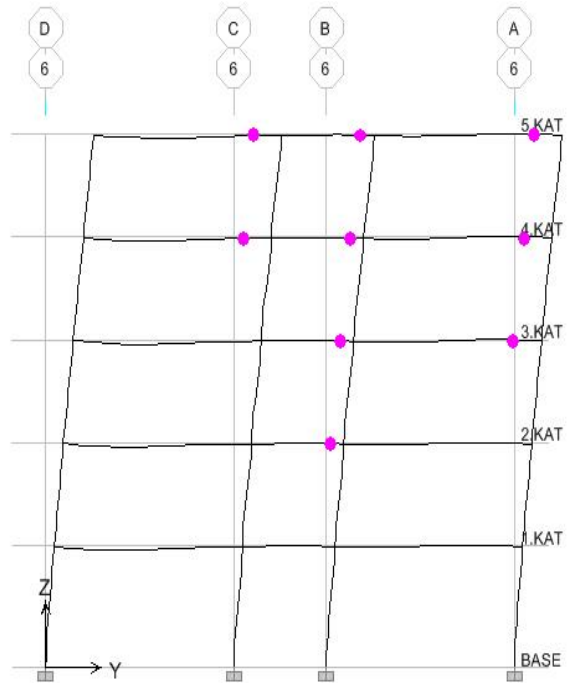
Şekil 7.32: 3 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



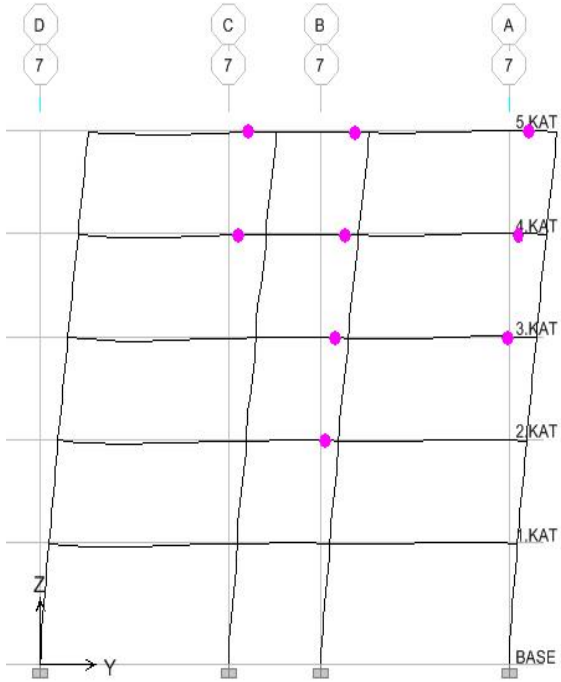
Şekil 7.33: 4 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



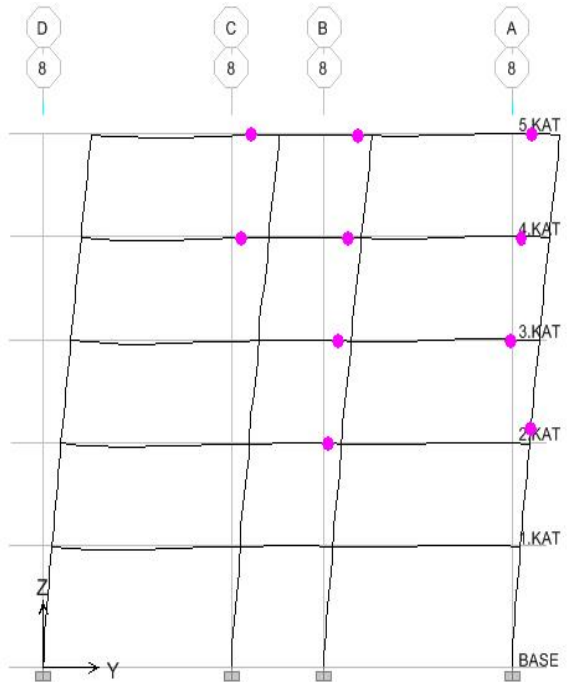
Şekil 7.34: 5 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



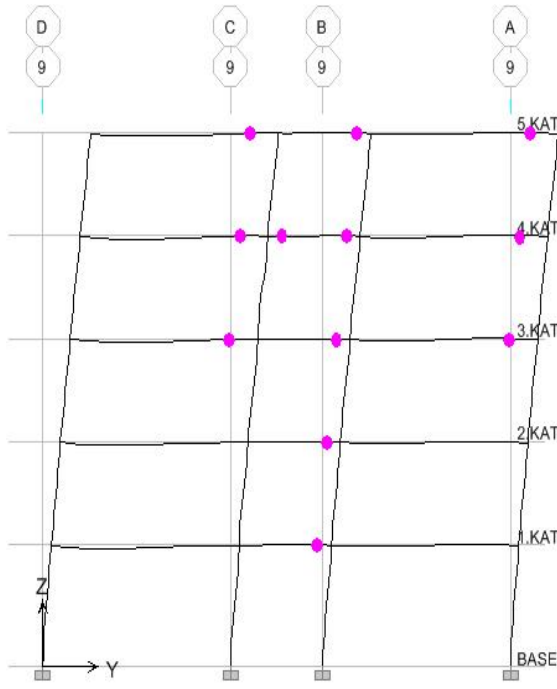
Şekil 7.35: 6 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



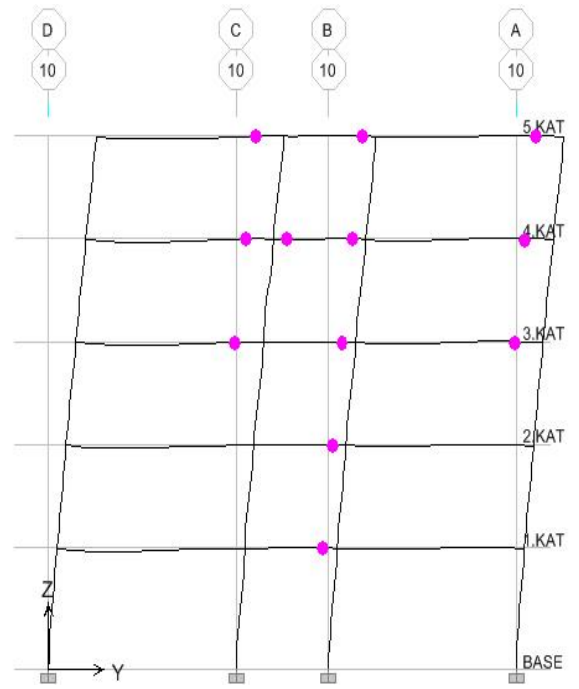
Şekil 7.36: 7 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



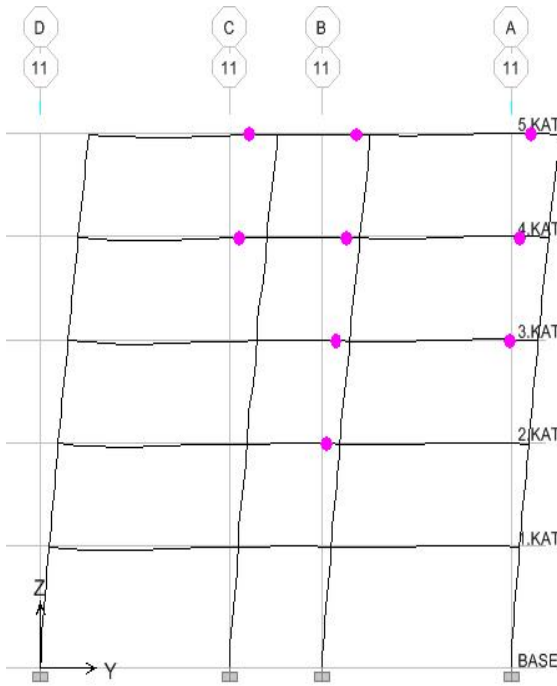
Şekil 7.37: 8 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



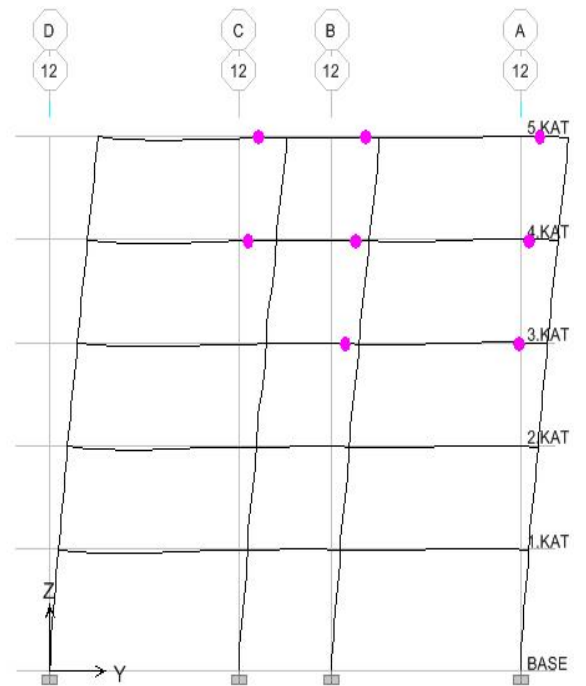
Şekil 7.38: 9 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



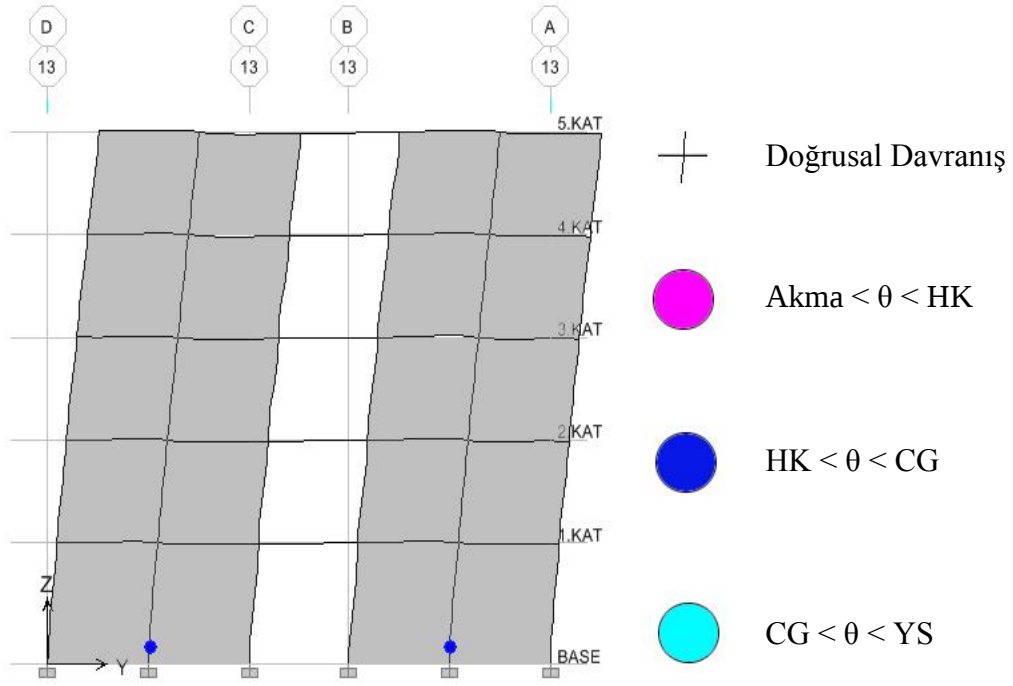
Şekil 7.39: 10 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



Şekil 7.40: 11 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



Şekil 7.41: 12 Aksında Oluşan Mafsallar
(Maksimum Deprem)



Şekil 7.42: 13 Aksında Oluşan Mafsallar Şekil 7.43: Mafsal Performans Seviyeleri (Maksimum Deprem)

KAYNAKLAR

- [1] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1998. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı , Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- [2] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 2005. (Taslak Deprem Yönetmeliği) Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- [3] **TS500**, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [4] **TS498**, 1984. Betonarme Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2001. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [6] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [7] **Özer, E.**, 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul.
- [8] **Eker, O.**, 2005. Betonarme Düzensiz Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Doğrusal Olmayan Yöntemle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Hancıoğlu, B.**, 2004. Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Performans Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **ETABS Nonlinear Version 8.47**, 2004. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California.
- [11] **ATC 40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [12] **FEMA 356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İstanbul’da doğan Emre YÜCEER ve orta öğrenimini İstanbul’da Cağaloğlu Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1998 yılında İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. İngilizce hazırlık programını tamamlayıp, 1999-2003 arası lisans eğitimini iyi derece ile bitirdi. Mezun olduğu dönem başladığı Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programına halen devam etmektedir.

Yazar, 2003–2004 yıllarında İstanbul’da kontrol mühendisi olarak, 2004-2005 yılları arasında ise Türkmenistan’da planlama mühendisi olarak çalışmıştır.