

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARLANAN BETONARME  
YAPILARIN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE  
DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nesrin DUMAN**

**ŞUBAT 2012  
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARLANAN BETONARME  
YAPILARIN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE  
DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nesrin DUMAN**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**“İnşaat Yüksek Mühendisi”**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13.01.2012**

**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 16.02.2012**

**ŞUBAT 2012**

## KABUL ve ONAY

Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR danışmanlığında Nesrin DUMAN tarafından hazırlanan “2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARLANAN BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan :Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR

Üye (Danışman) :Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK

ONAY

Bu tez ...../...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARLANAN BETONARME  
YAPILARIN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE  
DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

Nesrin DUMAN

Gümüşhane Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR

2012, 181 sayfa

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde amaç, sismik performansları belirlenebilen güvenli yapıların inşa edilmesini sağlamaktır. Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavramdır. Öncelikle mevcut yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitesinin hesaplanması ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Zaman geçtikçe yeni yapıların tasarımında da performans kavramı önemini kazanmıştır.

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım yöntemi, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelebilecek hasar durumu ile

ilgilidir. Performansa dayalı yapı tasarımında belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla hasar seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Bu çalışmada, betonarme binaların deprem performanslarının deprem yönetmeliğinde tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle belirlenmesi üzerine düzlem çerçeve modeli ele alınarak ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır.

Çalışmanın devamında TS500 ve DBYBHY 2007göre tasarımı yapılan üç boyutlu 5 katlı bir sağlık kuruluşunun performansı, SAP2000 programında, doğrusal bir yöntem olan “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ve doğrusal olmayan bir yöntem olan “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi” yapılarak belirlenmiştir. Performans değerlendirmesi için seçilen binanın, amacına dayalı olarak tasarım depremi ve en büyük deprem yüğü etkisi altındaki yapısal performansı incelenmiştir.

Üç bölümden oluşan bu yüksek lisans tezinin birinci bölümünde konu kısaca açıklandıktan sonra kaynaklar ışığında çalışmanın amacı ve kapsamı verilmiştir. Devamında ise performans kavramı ve plastik mafsallı hipotezi, DBYBHY 2007’ye göre doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin genel ilkeleri ve dayandığı kabuller, FEMA440’a (Federal Emergency Management Agency) göre Eşdeğer Doğrusallaştırma yöntemlerinden performansa dayalı tasarım ve değerlendirme bu bölümde incelenmiştir.

İkinci bölümde, deprem yönetmeliğinde tanımlı doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile FEMA’ya göre tanımlı doğrusal olmayan yöntem, düzlem çerçeve modeli üzerinde detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca DBYBHY 2007’ye göre tasarlanmış üç boyutlu beş katlı sağlık kuruluşunun en büyük deprem ve tasarım depremine göre analizleri gerçekleştirilmiş ve değerlendirme neticesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Üçüncü bölüm, bu tez kapsamında varılan sonuçları içermektedir.

Çalışma sonunda; (1) Deprem Yönetmeliği’nde tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen kesit hasar bölgeleri farklılık gösterebildiği, (2) DBYBHY 2007göre tasarlanan betonarme sağlık kuruluşunun doğrusal olan yöntemde tasarım depremi, doğrusal olmayan yöntemde ise en büyük deprem etkisi altında beklenen performans hedefini sağlayamadığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Doğrusal Analiz, Doğrusal Olmayan Statik Analiz, DBYBHY 2007, FEMA-440, Performans Değerlendirmesi

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**DETERMINATION OF THE EARTHQUAKE PERFORMANCE USING LINEAR  
AND NON-LINEAR METHODS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES  
DESIGNED ACCORDING TO TURKISH SEISMIC CODE 2007**

Nesrin DUMAN

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Ass. Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR

2012, 181 pages

The purpose of performance-based earthquake engineering is to provide the construction of to build safe structures which seismic performance can be determined. The performance-based design is newly developed concept in earthquake engineering. This method is firstly developed to be calculated the load capacity of bearing system elements of the existing structures and to be evaluated the earthquake resistance of them. The concept of performance had also gained its importance in the design of new structures in the course of time.

In the earthquake engineering, performance-based design method is used to determine the level of expected performance from the structure under the earthquake effect. Level of performance is related to the damage situation that could be occurred in the

structure after the earthquake. In the performance-based structural design, it is predicted that more than one damage levels are emerged under one certain earthquake effect.

In this study, a comprehensive investigation on determining the earthquake performance of the reinforced concrete structures with the linear and non-linear methods determined in Turkish seismic code is made by discussing plane frame model.

Through the study, performance of a three-dimensions and five storeyed hospital designed according to TS500 and Turkish seismic code 2007 is determined according to “Equivalent Seismic Load Method” which is a linear method and “Incremental Equivalent Seismic Load Method” that is a non-linear method by SAP2000 analysis program. Structural performance of chosen building for performance evaluation is investigated under the maximum earthquake and the design earthquake loading.

In the first part of this master thesis composed of three chapters, after the subject is explained briefly the objectives and scope are given under the light of literatures. In addition, the phenomena of performance, the hypothesis of plastic hinge, the basic principles and the assessment of linear and non-linear calculation methods according to the Turkish seismic code of 2007 and the performance-based design and the evaluation from Equivalent Linearization methods according to FEMA440 (Federal Emergency Management Agency) are investigated in this chapter.

In the second part, the linear and non-linear methods defined in Turkish seismic code and non-linear method defined in FEMA are applied to the plane frame model and detailed investigation is done. In addition, a three-dimensions and five storeyed hospital designed according to Turkish seismic code 2007 is analyzed under the maximum earthquake and the design earthquake loading and obtained results are compared with each other. The third part contains the conclusions of the study.

It is concluded that (1) different performance regions for the sections that are obtained from linear and non-linear calculation methods defined in seismic code can be differs each other. (2) The reinforced concrete health building that is designed according to seismic code (2007), cannot provide the expected performance under design earthquake for the linear method and under maximum seismic action for non-linear method.

**Keywords:** Linear Analysis, Non-Linear Static Analysis, Turkish seismic code 2007, FEMA-440, Performance Analysis.



## TEŞEKKÜR

Binaların deprem performanslarının deprem yönetmeliğinde tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle belirlenmesi üzerine yapılan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince, bana zamanını ayıran ve hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR'a, bana yol gösterip bilgisinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Zekai CELEP'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca her türlü desteği benden esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan babam Ekrem DUMAN ve annem Hashatun DUMAN'a kısacası aileme teşekkür ederim.

Nesrin DUMAN  
Gümüşhane, 2012

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Konu ile Yapılan Çalışmalar .....	3
1.1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	9
1.2. Performans Kavramına Dayalı Tasarım.....	9
1.2.1. Performansın Amaçları.....	9
1.2.2. Plastik Mafsalsal Teorisi .....	10
1.3. DBYBHY 2007'ye Göre Binaların Performans Değerlendirilmesi.....	15
1.3.1. Binalardan Bilgi Toplanması.....	15
1.3.2. Bilgi Düzeyleri.....	16
1.3.3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	16
1.3.3.1. Kesit Hasar Sınırları.....	17
1.3.3.2. Kesit Hasar Bölgeleri.....	18
1.3.4. Performansın Belirlenmesi Ve Kullanılan Analiz Yöntemleri.....	18
1.3.5. Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İçin Genel İlke Ve Kurallar.....	19
1.3.6. Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Yöntemi İle Belirlenmesi..	21
1.3.6.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	21
1.3.6.2. Mod Birleştirme Yöntemi.....	25
1.3.6.3. Betonarme Binaların Yapı Elemanlarında Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi.....	26
1.3.6.4. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü.....	27
1.3.7. Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemi İle Belirlenmesi.....	27
1.3.7.1. Artımsal İtme Analizi İle Performans Değerlendirilmesinde İzlenecek Hesap Adımları.....	28
1.3.7.2. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi.....	29
1.3.7.3. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi.....	30
1.3.7.4. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi İle İtme Analizi.....	37
1.3.7.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	37
1.3.7.6. Kesitteki Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi.....	38
1.3.7.7. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri.....	38
1.3.8. Bina Deprem Performans Düzeyleri.....	39
1.3.8.1. Hemen Kullanım Performans Düzeyi.....	39
1.3.8.2. Can Güvenliğı Performans Düzeyi.....	40
1.3.8.3. Göçmenin Önlenmesi Sınır Durumu.....	40

1.3.8.4.	Göçme Durumu Sınır Durumu.....	41
1.3.9.	Performans Belirlemede Esas Alınacak Deprem Hareketleri.....	42
1.3.10.	Performans Hedefi Ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri.....	43
1.4.	FEMA440'a Göre Performansa Dayalı Tasarım Ve Değerlendirme.....	43
1.4.1.	Giriş.....	43
1.4.2.	FEMA Raporlarına Göre Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemlerinin Temelleri.....	45
1.4.3.	FEMA Raporlarında Belirtilen Performans Seviyeleri.....	47
1.4.3.1.	Taşıyıcı Eleman Performans Seviyeleri.....	47
1.4.3.2.	Taşıyıcı Olmayan Eleman Performans Seviyeleri.....	49
1.4.3.3.	Bina Hedef Performans Seviyeleri.....	51
1.4.3.4.	Deprem Hareketi.....	54
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER.....	56
2.1.	Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Deprem Performansı Değerlendirme Yöntemlerinin Düzlem Çerçeve Modeli Üzerinde Detaylı Olarak İncelemesi.....	56
2.1.1.	Genel Yapı Bilgileri.....	57
2.1.2.	Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi İle Belirlenmesi.....	58
2.1.2.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	58
2.1.3.	Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi ile Belirlenmesi.....	82
2.1.3.1.	Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	82
2.2.	DBYBHY 2007'ye Göre Tasarımı Yapılan Betonarme Yapının Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Deprem Performansının Belirlenmesi.....	98
2.2.1.	Çalışılan Modelin Tanıtılması.....	98
2.2.2.	Çalışılan Sağlık Kuruluşu Yapısının Planları.....	100
2.2.3.	Çalışılan Sağlık Kuruluşu Yapısının Deprem Performansının Belirlenmesi... ..	103
2.2.4.	Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin Belirlenmesi.....	103
2.2.5.	Hedeflenen Performans.....	107
2.2.6.	Yapı Mod Şekilleri ve Periyotları.....	108
2.2.7.	Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi İle Yapı Performansının Belirlenmesi.....	109
2.2.7.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	109
2.2.7.2.	Bina Performansının Değerlendirilmesi.....	128
2.2.7.3.	Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması.....	132
2.2.8.	Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Yapı Performansının Belirlenmesi.....	133
2.2.8.1.	Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	133
2.2.8.2.	Bina Performansının Değerlendirilmesi.....	142
3.	SONUÇLAR.....	151
4.	KAYNAKLAR.....	155
5.	EKLER.....	159

ÖZGEÇMİŞ

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Eğrilik momenti – Eğrilik diyagramı..... 11
Şekil 1.2.	Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler ..... 12
Şekil 1.3.	İdealleştirilmiş bünye bağıntısı..... 13
Şekil 1.4.	Plastik mafsal boyu..... 14
Şekil 1.5.	Yapı elemanlarının kırılma türleri..... 17
Şekil 1.6.	Şekil değiştirme-iç kuvvet grafiği..... 18
Şekil 1.7.	Kolon etkileşim diyagramı ..... 24
Şekil 1.8.	Eğilme momenti-plastik dönme bağıntıları..... 30
Şekil 1.9.	Farklı yapı türlerinin statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrileri ve yıkılma özellikleri..... 32
Şekil 1.10.	Statik itme ve modal kapasite eğrileri..... 33
Şekil 1.11.	$T_1^{(1)} \geq T_B$ performans noktasının belirlenmesi..... 35
Şekil 1.12.	$T_1^{(1)} \leq T_B$ performans noktasının belirlenmesi..... 35
Şekil 1.13.	$T_1^{(1)} \leq T_B$ performans noktasının belirlenmesi..... 36
Şekil 1.14.	Performans seviyelerinin grafiksel gösterimi..... 42
Şekil 1.15.	Taşıyıcı eleman performans seviyeleri ..... 48
Şekil 1.16.	Taşıyıcı eleman performans seviyelerinin kapasite eğrisi üzerinde gösterimi..... 48
Şekil 1.17.	Taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri..... 50
Şekil 1.18.	Temel bina hedef performans seviyeleri..... 51
Şekil 1.19.	Yığılı plastik davranış hipotezi ..... 53
Şekil 1.20.	Bir eleman için tipik kuvvet-deformasyon eğrisi ..... 53
Şekil 2.1.	Betonarme çerçeve sisteminin modeli ..... 57
Şekil 2.2.	Sistem üzerindeki sabit ve hareketli yükler..... 59
Şekil 2.3.	G+0.3Q Düşey yüklemesi altında eksenel yük diyagramı..... 59
Şekil 2.4.	Kiriş enkesit detayı ..... 60
Şekil 2.5.	Basit eğilme diyagramı..... 61
Şekil 2.6.	Kolon kesit detayı..... 62
Şekil 2.7.	Sisteme uygulanan eşdeğer deprem kuvveti ve yükleme durumu ..... 64
Şekil 2.8.	Düşey yükler altında oluşan iç kuvvetler..... 64
Şekil 2.9.	Deprem yükleri altında oluşan iç kuvvetler ..... 65
Şekil 2.10.	Düşey yükler altında kirişlerde oluşan iç kuvvetler..... 66
Şekil 2.11.	EX depremi altında kirişlerde oluşan iç kuvvetler ..... 66
Şekil 2.12.	+EX depremiyle uyumlu kiriş taşıma kapasiteleri..... 66
Şekil 2.13.	+X depremi altında kirişte oluşan iç kuvvetler..... 69
Şekil 2.14.	Ara değerler için sınır kapasite oranının enterpolasyon ile bulunması... 71
Şekil 2.15.	Kolonda dengeli şekildeğiştirme durumu etkileri..... 73
Şekil 2.16.	Kolon kapasite kuvvetinin bulunması..... 75
Şekil 2.17.	Kolon kiriş birleşim bölgesi..... 80

Şekil 2.18.	Birleşim bölgesi kiriş donatıları.....	81
Şekil 2.19.	İtme analizinde kullanılacak yük dağılımı .....	84
Şekil 2.20.	Statik itme eğrisi .....	85
Şekil 2.21.	Modal kapasite diyagramı .....	88
Şekil 2.22.	Davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramının karşılaştırılması.....	89
Şekil 2.23.	Spektral yerdeğiştirmenin bulunması .....	90
Şekil 2.24.	İki doğru hale getirilmiş modal kapasite eğrisi.....	93
Şekil 2.25.	İki doğru hale getirilmiş modal kapasite eğrisi .....	95
Şekil 2.26.	Doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmenin hesaplanması .....	96
Şekil 2.27.	İtme analizi sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar.....	97
Şekil 2.28.	1., 2. ve 3. Katlara ait kalıp planı .....	101
Şekil 2.29.	4 ve 5 Katlara ait kalıp planı .....	102
Şekil 2.30.	Üç boyutlu SAP2000 modeli.....	103
Şekil 2.31.	Farklı deprem etkileri için ivme spektrumu .....	107
Şekil 2.32.	Yapıya ait ilk 5 mod şekilleri .....	108
Şekil 2.33.	X Yönünde katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri .....	134
Şekil 2.34.	Y Yönünde katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri .....	134
Şekil 2.35.	X Yönü itme eğrisi .....	136
Şekil 2.36.	Y Yönü itme eğrisi .....	136
Şekil 2.37.	X Yönü modal kapasite diyagramı .....	138
Şekil 2.38.	X eksenini doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.....	138
Şekil 2.39.	Y Yönü modal kapasite diyagramı .....	140
Şekil 2.40.	Y eksenini doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.....	140
Şekil 2.41.	X Doğrultusunda EX1 depremine göre itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar.....	142
Şekil 2.42.	X Doğrultusunda EX1 depremi için akslarda oluşan plastik mafsallar.....	143
Şekil 2.43.	X Doğrultusunda EX2 depremine göre itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar .....	145
Şekil 2.44.	X Doğrultusunda EX2 depremi için akslarda oluşan plastik mafsallar.....	145
Şekil 2.45.	Y Doğrultusunda EY1 depremine göre itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar.....	147
Şekil 2.46.	Y Doğrultusunda EY1 depremi için akslarda oluşan plastik mafsallar.....	147
Şekil 2.47.	Y Doğrultusunda EY2 depremine göre itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar.....	149
Şekil 2.48.	Y Doğrultusunda EY1 depremi için akslarda oluşan plastik mafsallar.....	149

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.....	16
Tablo 1.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite ...oranları (rs) .....	22
Tablo 1.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs).....	23
Tablo 1.4. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs).....	23
Tablo 1.5. Göreli kat ötelemesi sınırları.....	27
Tablo 1.6. Deprem türleri ve elastik spektrum eğrisindeki değişim.....	43
Tablo 1.7. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	43
Tablo 1.8. Bina hedef performans seviyeleri.....	52
Tablo 2.1. Kiriş donatıları.....	60
Tablo 2.2. Kiriş taşıma kapasitesi.....	62
Tablo 2.3. Düşey yükler altında oluşan iç kuvvetler.....	65
Tablo 2.4. EX depremi altında oluşan iç kuvvetler.....	65
Tablo 2.5. K101 kirişi etkili donatı oranları.....	70
Tablo 2.6. K101 kirişi kesit hasar sınırı.....	72
Tablo 2.7. Kiriş iç kuvvetleri ve donatı alanları.....	72
Tablo 2.8. Kiriş hasar tablosu.....	72
Tablo 2.9. + X depreminde kolon iç kuvvetleri.....	79
Tablo 2.10. +X depreminde kolon hasar sınırları.....	79
Tablo 2.11. - X depreminde kolon iç kuvvetleri.....	79
Tablo 2.12. - X depreminde kolon hasar sınırları.....	80
Tablo 2.13. Göreli kat ötelemeleri.....	82
Tablo 2.14. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü.....	82
Tablo 2.15. Sistemin periyot ve kütle katılım oranları.....	83
Tablo 2.16. İtme analizi taban kesme kuvveti ve tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	85
Tablo 2.17. Modal kapasite diyagramının koordinatları.....	87
Tablo 2.18. Modal yerdeğiştirme - modal ivme değerleri.....	92
Tablo 2.19. Modal yerdeğiştirme - modal ivme değerleri.....	93
Tablo 2.20. Modal yerdeğiştirme - modal ivme değerleri.....	94
Tablo 2.21. X Doğrultusundaki depreme göre kiriş hasar seviyeleri .....	97
Tablo 2.22. X Doğrultusundaki depreme göre kolon hasar seviyeleri .....	99
Tablo 2.23. 1. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları.....	104
Tablo 2.24. 2. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları.....	105
Tablo 2.25. 3. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları.....	105
Tablo 2.26. 4. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları.....	106
Tablo 2.27. 5. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları.....	106
Tablo 2.28. Periyotlar ve kütle katılım oranları.....	108

Tablo 2.29.	+X yönünde burulma düzensizliği kontrolü.....	109
Tablo 2.30.	+Y yönünde burulma düzensizliği kontrolü.....	109
Tablo 2.31.	Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	111
Tablo 2.32.	X Doğrultusundaki depremde 1. kat kirişlerinde oluşan iç kuvvetler .....	112
Tablo 2.33.	X Doğrultusundaki depremde 1. kat kirişlerdeki hasar seviyeleri .....	113
Tablo 2.34.	Y Doğrultusundaki depremde 1. kat kirişlerinde oluşan iç kuvvetler .....	114
Tablo 2.35.	Y Doğrultusundaki depremde 1. kat kirişlerindeki hasar seviyeleri.....	115
Tablo 2.36.	EX1 Depreminde 1. kat kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve kapasiteleri... 117	
Tablo 2.37.	EX2 Depreminde 1. kat kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve kapasiteleri... 118	
Tablo 2.38.	EX1 ve EX2 Depremi sonucu 1. kat kolonlarındaki hasar sınırları.....	119
Tablo 2.39.	EY1 Depreminde 1. kat kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve kapasiteleri... 121	
Tablo 2.40.	EY2 Depreminde 1. kat kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve kapasiteleri... 122	
Tablo 2.41.	EY1 ve EY2 Depremi sonucu 1. kat kolonlarındaki hasar sınırları.....	123
Tablo 2.42.	X doğrultusu 1., 2. ve 3. kat için birleşim bölgesi kontrolü.....	125
Tablo 2.43.	X doğrultusu 4. ve 5. kat için birleşim bölgesi kontrolü.....	126
Tablo 2.44.	Y doğrultusu 1., 2. ve 3. kat için birleşim bölgesi kontrolü .....	127
Tablo.2.45.	Y doğrultusu 4. ve 5. kat için birleşim bölgesi kontrolü .....	128
Tablo.2.46.	X Doğrultusundaki depremde giriş hasar seviyeleri .....	129
Tablo.2.47.	X Doğrultusundaki deprem için kolon hasar dağılımı .....	129
Tablo 2.48.	Y Doğrultusundaki depremde giriş hasar seviyeleri .....	130
Tablo 2.49.	Y Doğrultusundaki deprem için kolon hasar dağılımı .....	130
Tablo 2.50.	X Doğrultusu için göreceli kat ötelemelerinin irdelenmesi.....	132
Tablo 2.51.	Y Doğrultusu için göreceli kat ötelemelerinin irdelenmesi.....	132
Tablo 2.52.	X Doğrultusu için eşdeğer deprem yükü dağılımı.....	134
Tablo 2.53.	Y Doğrultusu için eşdeğer deprem yükü dağılımı.....	134
Tablo 2.54.	Taban kesme kuvveti tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	135
Tablo 2.55.	X Doğrultusu için modal kapasite değerleri.....	137
Tablo 2.56.	Y Doğrultusu için modal kapasite değerleri.....	139
Tablo 2.57.	X Doğrultusundaki EX1 depremine göre giriş ve kolon hasar seviyeleri... 144	
Tablo 2.58.	X Doğrultusundaki EX2 depremine göre giriş ve kolon hasar seviyeleri... 146	
Tablo 2.59.	Y Doğrultusundaki EY1 depremine göre giriş ve kolon hasar seviyeleri... 148	
Tablo 2.60.	Y Doğrultusundaki EY2 depremine göre giriş ve kolon hasar seviyeleri... 150	
Ek Tablo 1.	Sağlık Kuruluğu 1., 2. ve 3. kat giriş donatıları .....	160
Ek Tablo 2.	Sağlık Kuruluğu 4. ve 5. kat giriş donatıları .....	161
Ek Tablo 3.	Sağlık Kuruluğu 1. kat kolon donatıları.....	162
Ek Tablo 4.	Sağlık Kuruluğu 2. ve 3. kat kolon donatıları.....	163
Ek Tablo 5.	Sağlık Kuruluğu 4. ve 5. kat kolon donatıları.....	164

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$A_0$	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$A_c$	: Kolonun brüt kesit alanı
$A_s$	: Boyuna donatı alanı
$a$	: Modal yerdeğiştirme
$b$	: Kesit genişliği
$b_w$	: Kirişin gövde genişliği
$C_{R1}$	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
$d$	: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği, modal yerdeğiştirme
$d_1$	: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$	: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
$E$	: Elastisite modülü, deprem yükü
$E_c$	: Beton elastisite modülü
$EI_o$	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
$EI_e$	: Çatlamış kesit eğilme rijitliği
$f_{ck}$	: Beton karakteristik basınç dayanımı
$f_{cm}$	: Mevcut beton dayanımı
$f_{ctk}$	: Beton karakteristik çekme dayanımı
$f_{ctm}$	: Mevcut betonun çekme dayanımı
$f_{yk}$	: Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
$F$	: Toplam yatay yük
$F_c$	: Beton basınç kuvveti
$F_s$	: Çekme donatısı çekme kuvveti
$g$	: Sabit yük
$h$	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
$H_i$	: Yapının $i$ ' inci katının temel seviyesinden yüksekliği
$I$	: Kesitin atalet momenti, yapı önem katsayısı
$L_o$	: Çatlama
$L_1$	: Plastik şekildeğiştirmenin başlangıcı
$L_2$	: Kırılma
$L_p$	: Plastik mafsal boyu
$M$	: Eğilme momenti
$M_{x1}$	: $x$ deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
$n$	: Hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet, hareketli yük katılım katsayısı
$N$	: Normal kuvvet, binanın kat adedi
$N_d$	: Düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal basınç kuvveti
$q$	: Hareketli yük
$q_i$	: Binanın $i$ ' inci katındaki toplam hareketli yük
$Q$	: Hareketli yük
$r$	: Etki/kapasite oranı
$r_s$	: Etki/kapasite oranının sınır değeri
$R$	: Yapı davranış katsayısı
$R_a$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$S_a$	: Spektral ivme
$S_{ae1}$	: Birinci moda ait elastik spektral ivme



$S_d$	: Spektral yerdeğiştirme
$S_{de1}$	: Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
$S_{di1}$	: Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
$S(T1)$	: T1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
$T$	: Kesme kuvveti
$T_1$	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$T_A$	: Spektrum karakteristik periyodu
$T_B$	: İvme spektrumundaki karakteristik periyod
$u_n$	: Tepe noktası yerdeğiştirmesi
$u_{xN1}^{(i)}$	: Binaın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$	: Binaın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
$V_e$	: Kesme kuvveti
$V_t$	: Taban kesme kuvveti
$V_{x1}^{(i)}$	: x deprem doğrultusunda (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen
$W$	: Binaın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
$\chi$	: Birim dönme (eğrilik)
$\chi_p$	: Kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönme
$\Delta F_N$	: Ek eşdeğer deprem yükü
$\varepsilon$	: Birim boy değişmesi
$\varepsilon_c$	: Beton birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_{cg}$	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_{cu}$	: Beton ezilme birim kısalması
$\varepsilon_y$	: Akma şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_s$	: Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_{su}$	: Donatı çeliğinin kopma uzaması
$\phi_y$	: Eşdeğer akma eğriliği
$\phi_p$	: Plastik eğrilik istemi
$\phi_i$	: Toplam eğrilik istemi
$\Phi_{xN1}$	: Binaın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
$\Gamma_{x1}$	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
$\eta_{bi}$	: i' inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$\lambda$	: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
$\theta_p$	: Plastik dönme istemi
$\rho$	: Çekme donatısı oranı
$\rho'$	: Basınç donatısı oranı
$\rho_b$	: Dengeli donatı oranı
$\rho_{sm}$	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsal oranı $\Gamma$ derecesine ait genliği

ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASCE 41-06	: Seismic Rehabilitation of Existing Buildings
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
ATC 55	: Evaluation and Improvement of Inelastic Seismic Analysis Procedures
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY 2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
EERCUCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273, 356	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
FEMA 440	: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures
GB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
PDM	: Performansa Dayalı Mühendislik
SAP2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
TS-500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Büyük doğal afetlerden biri olan deprem; yerkabuğunda meydana gelen kırılmalar sonucu açığa çıkan çok büyük enerjinin dalgalar halinde yayılması olayıdır. Ne zaman nerde ve ne büyüklükte ortaya çıkacağı net bir şekilde kestirilemeyen bu doğal felaket bugüne kadar yurdumuzda pek çok maddi ve manevi zararlar, can ve mal kaybına yol açmıştır. Bu doğal afeti engellemek mümkün değildir, fakat uğratacağı hasarı azaltmak ve sosyo-ekonomik kayıpların kabul edilebilir seviyelere indirmek mümkündür.

Ülkemizde meydana gelen büyük ve yıkıcı 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan, 1999 Kocaeli-Düzce, 2002 Afyon, 2003 Bingöl ve son yaşanan 2011 Van depremlerinin ardından yerinde yapılan incelemelerde mevcut yapıların büyük bir kısmında proje ve/veya imalat ve kullanım hatalarından dolayı hasar ve can kaybının çok yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. Deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkelerde depremden sonra bir yapının hemen kullanılıp kullanılmayacağı veya güçlendirilip güçlendirilmeyeceğinin belirlenmesi önemlidir. Bunun yanı sıra öngörülen bir deprem için bir yapının kapasitesinin tayin edilerek güvenlik düzeyinin belirlenmesi ve bu çalışmalarının sonucunda yapının kullanımı hakkında karar verilmesi olası bir depremde hasarın sınırlı kalmasını sağlayabilecektir.

Günümüz depreme dayanıklı yapı tasarımı düşüncesi can kaybını önlemek ilkesinden yola çıkılarak ortaya konulmuştur. Dünyanın her yerinde yıllarca süren bilimsel araştırmalar neticesinde ortaya çıkan bu yaklaşım, birçok deprem yönetmeliğinde ve ülkemizde yürürlükte bulunan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007); “Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi” ifadesi ile belirtilmektedir .

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde amaç, sismik performansları belirlenebilen güvenli yapıların inşa edilmesini sağlamaktır. Performans (deprem güvenliği) kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavramdır. Öncelikle mevcut yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitesinin hesaplanması ve deprem

dayanımlarının değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Zaman geçtikçe yeni yapıların tasarımında da performans kavramı önemini kazanmıştır.

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım yöntemi, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılır. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelebilecek hasar durumu ile alakalıdır. Performansa dayalı yapı tasarımında belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla hasar seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Deprem yönetmeliğine göre yapıların deprem etkileri altında performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Bunlar; doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerdir.

Yapıları doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin temelini oluşturan dayanım (kuvvet) esaslı değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanlarının sünekliğini göz önüne alan eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayısı çerçevesinde binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir (Özer, 2007).

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemleri ise, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye dayalı olarak yapılmaktadır. Genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir (Özer, 2007).

Doğrusal elastik olmayan artımsal itme analizleri doğrusal elastik analizdeki belirsizlikler ile doğrusal olmayan dinamik analizin işlem karmaşıklığı ve uygulama zorlukları arasında bir geçiş niteliğindedir. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde yapının doğrusal olmayan elastik ötesi performansının ve hasar sınırlarının belirlenebilmesi için adım adım artan yatay yüklemeler yapılmaktadır. Her adımda yatay yükler artarken aralarındaki oran sabit kalmaktadır. Böylece yapının mekanizma durumuna gelinceye kadar olan taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki belirlenir. Bu bilgiler ışığında yapıyı limit durumuna getiren yük ve bu yük altında kesit hasar durumları ve yapı performans seviyesi belirlenir. Güçlendirilmesi gereken yapılara güçlendirme uygulanarak deprem performansı sağlanmaktadır.

Büyük depremler yapıların genellikle elastik ötesi davranışa sebep olarak ağır hasar görmesine neden olabilmektedir. Bu durumda yapı davranışının elastik kalacağı varsayımı

ile yapılan analizler, yapının gerçek performansının anlaşılmasını engellemektedir. Oysaki, doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle yapıların elastik ötesi davranışlarının belirlenebilmesi mümkün olmaktadır. Bu yöntemler ile yapı taşıyıcı sistem veya taşıyıcı sistem elemanlarının hangisinin göz önüne alınan depreme göre ilk önce devre dışı kalacağı belirlenebilmektedir.

### **1.1.1. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar**

DBYBHY 2007 yılında yürürlüğe girmiştir. “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” konusu yeni yönetmelikte Bölüm 7 olarak yer almaktadır. Söz konusu bölüm ilk defa bir yönetmelik ile düzenlenmiştir. Bu nedenle ülkemizde bu konuda henüz yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır.

Yurtdışında, özellikle Avrupa ülkeleri, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri’nde, deprem performanslarının belirlenmesine yönelik detaylı çalışmalar mevcuttur. Deprem güvenliği konusunda çalışmalar gerçekleştiren Applied Technology Council (ATC) tarafından “Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 projesi” ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 yayınları” gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamıştır. Bu projelerden ve yayınlardan yararlanarak, deprem bölgelerinde yer alan mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek binaların performansa dayalı tasarımı mümkün olmaktadır (Özer, 2007).

Deprem mühendisliği konusunda bilgilerin genişleme ve bilgisayar teknolojisindeki ilerlemelerle, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapıların davranışlarının incelenmesinin daha ayrıntılı ve olabildiğince daha gerçekçi yapılması imkanı ortaya çıkmaktadır. Yurdumuzda mevcut binaların deprem güvenliklerinin incelenmesi konusu ilk defa 2007 deprem yönetmeliğinde ayrı bir bölüm olarak ele alınmıştır.

Günümüzde mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi, yöntemin kapsamlı olması sebebiyle bilgisayar yazılımları yardımı ile gerçekleştirilir. Bilgisayar çok

değişik kabulleri içeren çözümleri kısa zamanda yapabilmesi bakımından faydalıdır. Ancak, çözümlerle sonuçların değerlendirilmesi, karşılaştırmaların yapılması ve bir sorunla karşılaşınca çıkış yolu bulunması için, taşıyıcı sistem davranışının, hesap ilkelerinin ve çözüm adımlarının iyice kavranmış olması gerekmektedir. Bu nedenle, günümüzde mevcut yapıların deprem güvenliğini inceleyen ve gerek gördüklerini güçlendiren mühendislerin kullanılan yöntemin ana kavramlarını özümsemiş olmaları beklenir. Ayrıca yönetmelikte bulunan kayıtların temel nedenlerinin bilinmesi, bunların uygulanması sırasında ortaya çıkacak problemlerin sağlıklı biçimde çözülmesine yardım edecektir.

Deprem yönetmeliğine göre yapıların deprem etkileri altında performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Bunlar; doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerdir.

Moghadam ve Tso (2000), artımsal itme analizini deprem talebinin asimetric binalarda oluşturduğu zararın değerlendirilmesinde kullanmışlardır. Çalışmada eksantrik ve simetrik binaların üç boyutlu artımsal itme analizi örnekler yardımı ile verilmektedir. Modal analizler, kapasite diyagramları, momentler ve grafikler tablolar halinde verilmekte ve sonuçlar karşılaştırmaktadır.

Coleman ve Spacone (2001) tarafından yapılan çalışmada, üzerine uygulanan yük sonucu bir yapı elemanın nasıl bir kapasite eğrisi çizdiği anlatılmaktadır. Plastik mafsalların nerelerde meydana geldiği kolon ve kiriş örnekleri üzerinde gösterilmiştir.

Kılar ve Fajfar (2001) tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların sismik tasarımı ve değerlendirilmesinde kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kabul edilebilirliği araştırılmıştır. Yapı sistemleri için elde edilen toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin idealleştirilmesini esas alan analiz yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Antoniou vd. (2002), doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin bazı kısıtlamalarını azaltmak üzere, yeni bir doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, yapının elastik ötesi davranışının çeşitli kademelerinde, elemanların değişen rijitliklerine ve yapı sisteminin dinamik özelliklerine bağlı olarak, yapı sistemi yüksekliği boyunca yatay yük dağılımının değişimini dikkate almakta ve yüksek mod etkilerini içermektedir.

Lee ve Woo (2002), çalışmalarında duvarların depremin etkisini nasıl azalttığını üç katlı bir bina modeli üzerinde çeşitli ivme kayıtlarıyla yaptıkları laboratuvar deneyleriyle

belirlemişlerdir. Ayrıca, plastik mafsal noktalarının hangi bölgelerde oluştuğu, duvardaki çatlakların nasıl ve nerede oluştuğu da gösterilmiştir.

Chopra ve Goel (2002) yaptıkları çalışmada, binaların deprem davranışını belirlemek için modal artımsal itme analiz formülasyonunu sunmaktadırlar. Çalışmada dokuz katlı bir binanın analizi yapıp, bazı katların plastik mafsal noktaları belirlenmiştir.

Aydinoğlu (2003), çalışmasında çok modlu deprem performans değerlendirmeleri için elastik olmayan spektral yerdeğiştirmelere dayalı bir artımsal davranış spektrum işlemi sunmuştur.

İrtem vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada, 3 katlı her bir yönde üç açıklıklı çerçeve yapı, ikincisi 6 katlı her bir yönde beş açıklıklı çerçeve yapı ve üçüncüsü 10 katlı her bir yönde beş açıklıklı perde-çerçeve olmak üzere üç farklı düzenli yapı sisteminde Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış düzenli betonarme yapıların Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayısı Yöntemi (DKY) ile performanslarının belirlenmesi ve bunların yönetmelikte öngörülen genel performans hedefleri ile karşılaştırılarak yönetmeliğin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, kullanılan lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yöntemlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Chintanapakdee ve Chopra (2003), çalışmalarında 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 katlı binaların statik itme yöntemine göre analizlerini yapıp kapasite eğrilerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada alt katlardan yüksek katlara göre yerdeğiştirmelerin nasıl değiştiği vurgulanmaktadır.

Almeida ve Carneiro-Barros (2003), birinci doğal titreşim modu şekline göre yatay yük dağılımı uygulanması durumunda çok iyi sonuçlar veren, fakat yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda bu hassasiyetini kaybeden doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerine alternatif olarak her modun katılımını içeren bir yatay yük dağılımı geliştirmişlerdir.

İrtem vd. (2004), çalışmalarında performans değerlendirmelerini yapmak üzere, 3 katlı betonarme çerçeve yapı sistemini incelemişlerdir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY,1998) depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi olarak öngörülen performans (deprem güvenliği) hedeflerinin değerlendirilmesi amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda duvarların etkisinin bina taşıyıcı sisteminde göz önünde bulundurulduğu ve ihmal edildiği iki farklı durum için elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Öncü ve Calayır (2005) tarafından yapılan çalışmada, betonarme yapıların ABYYHY 1998’de verilen talep spektrumu kabul edilerek performansa dayalı değerlendirilmesi ve Kapasite Spektrum Yöntemi kullanılarak performans noktasının bulunması amaçlanmıştır. Performans kriterlerinin belirlenmesinde ATC-40 ve FEMA-356 yaklaşımlarını kullanmışlardır. Sayısal uygulama olarak, çerçeve ve perdeli çerçevesel sistem olmak üzere iki ayrı şekilde tasarlanmış yedi katlı betonarme bir binanın iki ayrı duruma ait doğrusal olmayan statik analizi SAP2000 programı ile yapılmış ve Kapasite Spektrum Yöntemi ile performans noktaları bulunmuştur.

Sung (2005), tek kolon veya çerçeve tipli betonarme yapıların artımsal itme analizini gerçekleştirmiş olup plastik mafsalların karakterini belirlemiştir.

Maison (2005), çalışmasında seçmiş oldukları binaların FEMA’ ya göre artımsal itme analizini gerçekleştirerek bir değerlendirme sunmaktadırlar. Bu değerlendirmede, artımsal itme analizinin tartışmaya açık konularına da açıklık getirmeye çalışmışlardır.

Korkmaz ve Düzgün (2006), yapıların performanslarının belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerini, doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizler ile karşılaştırılarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada periyotları farklı, üç açıklıklı, 3, 5, 8 ve 15 katlı dört betonarme çerçeve yapı ele alınmış ve bu çerçeve yapılar için dikdörtgen, üçgen (IBC,  $k=1$ ) ve parabol (IBC,  $k=2$ ) yük etkileri altında doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Statik artımsal itme analizleri, farklı 50 deprem verisi ile yapılan zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Korkmaz vd. (2006), çalışmalarında betonarme bir yapı modelini, mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesinde kullanılan performansa bağlı analizlerden “Kapasite Spektrumu” ve “Yer Değiştirme Katsayısı” yöntemlerini kullanarak analiz etmişlerdir.

Kutunis (2006), zaman tanım alanında hesap yöntemine alternatif olarak geliştirilen doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden uyumlu (adaptive) statik itme yöntemi ve klasik statik itme yöntemlerinden elde edilen sonuçları, Artımsal Dinamik Analiz sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

İrtem vd. (2006), çalışmalarında Türkiye’de meydana gelen depremlerde betonarme binaların göçme nedenleri ile ilgili gerçekçi bir değerlendirme yapabilmek için ABYYHY 1998’de tanımlanan performans hedeflerini irdelemişlerdir.



İnel vd. (2007), çalışmalarında doğrusal olmayan eleman davranışını dikkate alınarak seçilen tip projeli mevcut betonarme okul binalarının sismik kapasitelerini bularak, performans değerlendirmelerini yapmışlardır.

Sezer vd. (2007), çalışmalarında DBYBHY 2007 Bölüm 2 ve Bölüm 3'e göre yeni olarak tasarlanan binaların, mevcut bina kabul edilerek DBYBHY 2007'de mevcut binalar için tanımlanan performans hedefleri ve sonuçlar arasındaki uyum üzerinde durmuşlardır.

Sucuoğlu (2007), çalışmasında DBYBHY 2007'de tanımlanan analiz yöntemlerini örnekler ile açıklanmış ve sonuçları yayınlamıştır.

Sezer ve Akın (2007) tarafından yapılan çalışmada, mevcut bir betonarme bina üzerinde, öncelikle TDY-2007'de yer alan doğrusal elastik hesap yöntemlerinden eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yapının hasar durumu belirlenmeye çalışılmış, daha sonra ise doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi için, FEMA356 raporu esas alınarak statik itme analizi (pushover analiz) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapının performans düzeyi belirlenmiş ve kapasite eğrileri çizilmiştir.

Türker ve İrtem (2007), çalışmalarında FEMA 356 ön standardında binaların Doğrusal Olmayan Statik Analiz (DOSA) ile değerlendirilmesinde öngörülen yatay yük dağılımlarını irdelenmişlerdir. Bunun için, üç tipik düzenli betonarme çerçeve üzerinde, farklı karakteristiklerdeki deprem yer hareketleri için, FEMA 356'da öngörülen yük dağılımları (spektral dağılım, üniform dağılım ve uyarlamalı dağılım) kullanılarak DOSA'lar yapılmış ve elde edilen davranış büyüklükleri (görelî kat ötelemeleri, maksimum kiriş plastik dönmeleri ve kat kesme kuvvetleri), aynı yer hareketleri için gerçekleştirilen Lineer Olmayan Dinamik Analiz (DOSA) sonuçları ile karşılaştırılarak dağılımlar değerlendirilmişlerdir.

Kutaniş (2007) tarafından yapılan çalışmada, 2 açıklıklı 4 katlı betonarme bir bina örneğini ele alarak 50 yılda aşılma olasılığı %2 olarak kabul edilen ve Can Güvenliği performans hedefini sağlaması amaçlanarak doğrusal olmayan yöntemlerle performansı belirlenmiştir .

Korkmaz ve Kayhan (2008) tarafından yapılan çalışmada, büyük bina yer değiştirmesi açısından, kapasite spektrumu yöntemi, yer değiştirme katsayısı yöntemi, DBYBHY 2007'de öngörülen elastik yöntem ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ele alınarak örnek betonarme bir yapı üzerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir.

Providakis (2008), çalışmasında taban izalasyonlu çelik ve betondan oluşan kompozit 5 katlı iki farklı binanın yakın fay etkisine göre doğrusal olmayan statik itme analizini gerçekleştirmiştir.

Rahai ve Alinia (2008), düzlem çerçeve sistemlerde farklı şekillerde düzenlenmiş kompozit eğik elemanların etkisini araştırmışlardır. Mevcut olan 3 ve 9 katlı iki betonarme bina modeli üzerinde kompozit eğik elemanların olması durumlarında binaların performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Korkmaz vd. (2010), çalışmalarında konut tipi yapılarda yaygın olarak uygulanan bağ kirişli temel sistemlerinde, bağ kirişinin yapı performansına etkisini incelemişlerdir. Analizlerde betonarme bir yapı sistemi dolgu duvarlı olarak ele alınarak, farklı şekillerde uygulanan bağ kirişleriyle üç boyutlu olarak artımsal itme analizini uygulamışlardır. Bu analizler neticesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Korkmaz vd. (2010), çalışmalarında 10 katlı betonarme 16 tip yapının deprem davranışındaki değişiklikler inceleyerek düzensizliklerin yapısal davranışa etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Analizler kapsamında doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiş, yapıların kapasite eğrileri, yatay kat yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, katlardaki maksimum plastik dönmeler belirlenmiştir.

Arısoy ve Arel (2010) tarafından yapılan çalışmada, çerçevelerden ve perde-çerçevelerden oluşan sekiz katlı iki adet betonarme binanın performans analizleri, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem etkisi için doğrusal ve doğrusal olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemleri ile yapılar ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Doğrusal olmayan hesap yönteminde hasar bölgelerinin tespitinde kullanılan hedef yer değiştirme değeri iki farklı yöntem, Deplasman Katsayıları ve Kapasite Spektrumu, ile ayrı ayrı hesaplanıp, karşılaştırılmıştır.

Lagaros ve Fragiadakis (2011), Avrupa ve Amerika yönetmeliklerinde önerilen statik itme analizi yöntemlerini binaların optimum tasarımını elde edebilmek için ayrı ayrı incelemişler ve maliyet açısından sonuçları karşılaştırmışlardır. Sayısal örnek olarak simetrik ve simetrik olmayan dört farklı bina modeli için performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

### **1.1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Deprem mühendisliği uygulamalarında mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesinde ve yeni yapıların depreme dayanıklı olarak yapılmasında şekil değiştirmeye göre tasarlanması ilkesinin benimsenmesi ile önemli bir gelişme elde edilmiştir. Bu nedenle Mart 2007 yılında yürürlüğe giren DBYBHY'nin içeriği bu ihtiyacı karşılamayı hedeflemektedir. Yönetmeliğin ilk altı bölümü dayanım esaslı olarak düzenlenmiş olup yedinci bölümü performansa dayalı olarak düzenlenmiştir.

Bu tez kapsamında, betonarme binaların deprem performanslarının deprem yönetmeliğinde tanımlanan doğrusal olan “Eşdeğer Deprem Yüğü” ve doğrusal olmayan “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü” yöntemleriyle belirlenmesi üzerine düzlem çerçeve modeli ele alınarak detaylı bir çalışma yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada SAP2000 programında, DBYBHY 2007'ye ve TS-500'e uygun olarak tasarımı yapılan üç boyutlu beş katlı sağlık kuruluşu boyutlandırılmış ve boyutlandırılan yapı modeli üzerinde sayısal incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Bu amaca yönelik olarak, örnek yapı modelleri öncelikle DBYBHY 2007'ye göre boyutlandırılıp, yönetmelikte öngörülen tasarım depremi ve en büyük deprem etkisi altında yapısal performansları incelenmiştir. Analizlerde kullanılan doğrusal olan ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, DBYBHY 2007'de bahsedilen “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ve “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ve FEMA 440 raporunda bahsedilen Eşdeğer Doğrusallaştırma yöntemleridir.

## **1.2. Performans Kavramına Dayalı Tasarım**

### **1.2.1. Performansın Amaçları**

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin ortaya çıkması için kullanılacak yöntemleri vermektedir. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür.

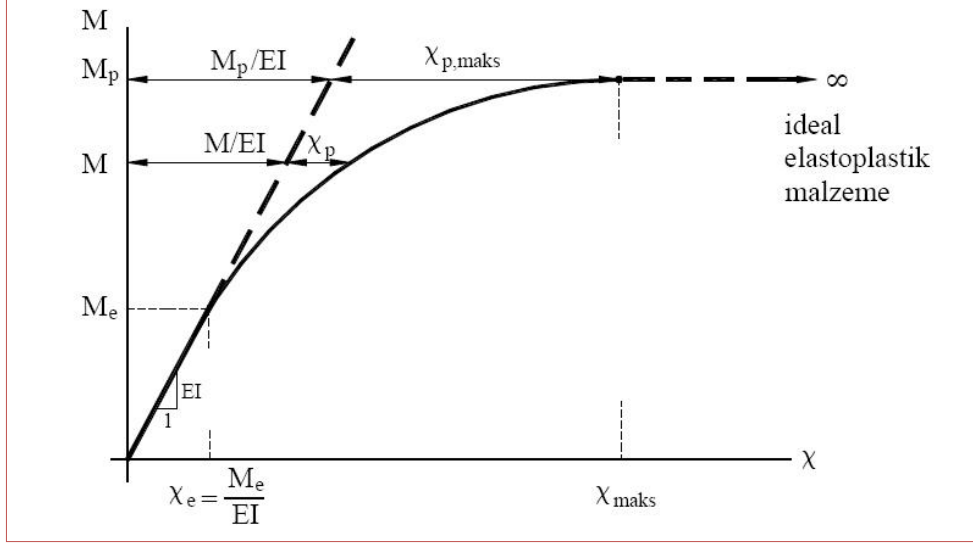
Gerçekte bütün mühendislik boyutlandırmalarının performansa dayalı olduğu söylenebilmektedir. Bilindiği üzere, betonarme taşıyıcı sistem boyutlamasında iki performans seviyesi esas almaktadır. Bunlar kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumudur. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki yükler altında taşıyıcı sistemin hasarın kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı yerdeğiştirmelerin meydana gelmemesi istemektedir. İkinci performans seviyesinde de

taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin artırılmış değerleri altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliğinin mevcut olması beklenilir (Celep ve Kumbasar, 2004). Deprem güvenliği belirlenecek veya güçlendirilecek binalarda taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranması durumu, taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve ona bağlı olan deprem yükü azaltma katsayısı ile göz önüne alınmaktadır. Taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışının tek bir katsayı ile göz önüne alınması, buna bağlı olarak depremde meydana gelen kuvvetlerin ve oluşacak olan yerdeğiştirmelerin belirlenmesi bakımından yetersiz görülebilir. Mevcut binaların deprem güvenliğinin yetersiz bir yöntemle incelenmesi, gerçekçi güç tükenmesi mekanizmasının belirlenmesinde ve yeterli güvenliğin elde edilmesindeki belirsizlikleri beraberinde getirmektedir. Sonuç olarak, binada maliyeti yüksek ve aşırı güvenli güçlendirmenin yapılması veya bunların bina sahibinin istekleri doğrultusunda oluşmaması gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir. Performans kavramı bu eksikliklere cevap vermek üzere oluşturulmuştur. Performansa dayalı incelemede ilk adım bina için Deprem Performans Amacı tanımıdır.

### **1.2.2. Plastik Mafsal Teorisi**

Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze plastik mafsal hipotezi adı verilir.

Gerçek eğilme momenti – eğrilik bağıntısı Şekil 1.1’de verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 1.2’de görülmektedir.

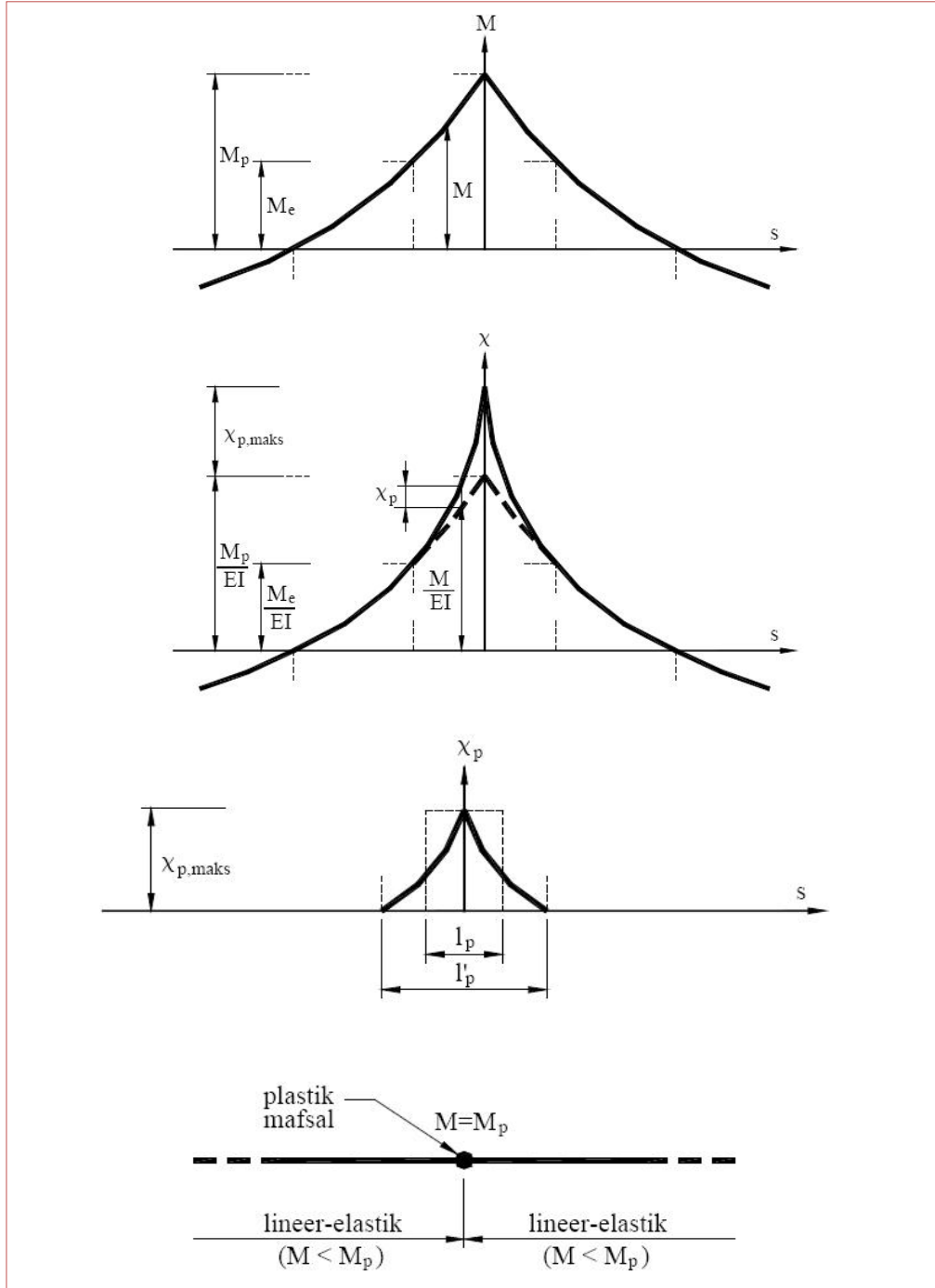


Şekil 1.1. Eğrilik momenti – Eğrilik diyagramı (Özer, 2009).

Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde  $l_p'$  uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekildeğişirmelerin;

$$\theta_p = \int_{l_p} \chi_p \cdot ds \quad (1.1)$$

şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada,  $\theta_p$  plastik mafsalın dönmesi olarak tanımlanır.



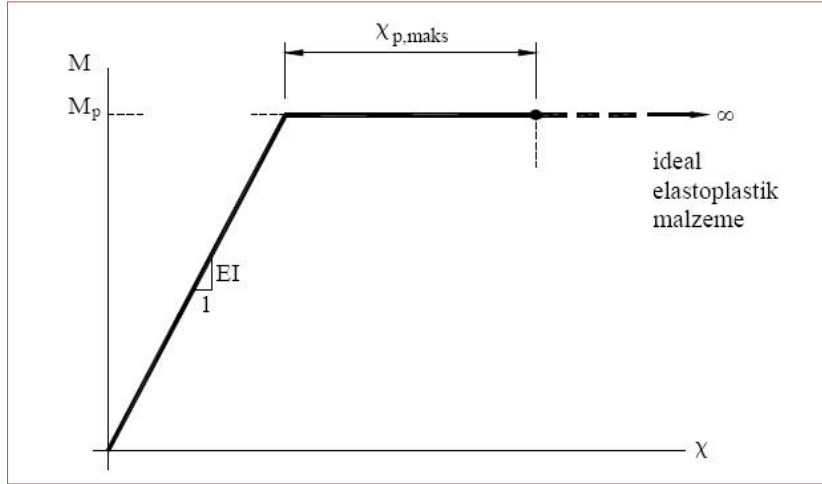
Şekil 1.2. Doğrusal olmayan şekildeğişimler (Özer, 2009).

Plastik mafsal hipotezinin uygulanmasında, gerçek eğilme-eğrilik bağıntısının

$$M < M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (1.2)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \longrightarrow \chi_{p,max} \quad (1.3)$$

şeklinde iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. İdealleştirilmiş bünye bağıntısı (Özer, 2009).

Artan dış yükler altında plastik mafsalsın dönmesi artarak dönme kapasitesi adı verilen bir sınır değere eşit olunca, oluşan büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsalsal dönmelerinin dönme kapasitesine ulaşması ise, yapının tümünün kullanılamaz hale gelmesine (işletme dışı olmasına), diğer bir deyişle göçmesine neden olmaktadır.

Plastik mafsalsal dönmesi Denk. (1.1) ile ifade edildiği gibi bu değer *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere eşit olunca kesit güç tükenmesine ulaşır. Plastik mafsalsal dönme kapasitesi ise;

$$\theta_p = \int_{l_p} \chi_p \cdot d_s \quad (\chi \longrightarrow \chi_{p,max}) \quad (1.4)$$

şeklinde elde edilmektedir. Dönme kapasitesi, yukarıdaki bağıntıya alternatif olarak aşağıda verilen yaklaşık bağıntı ile de elde edilebilmektedir;

$$\theta_p = I_p \cdot \chi_{p,max} \quad (1.5)$$

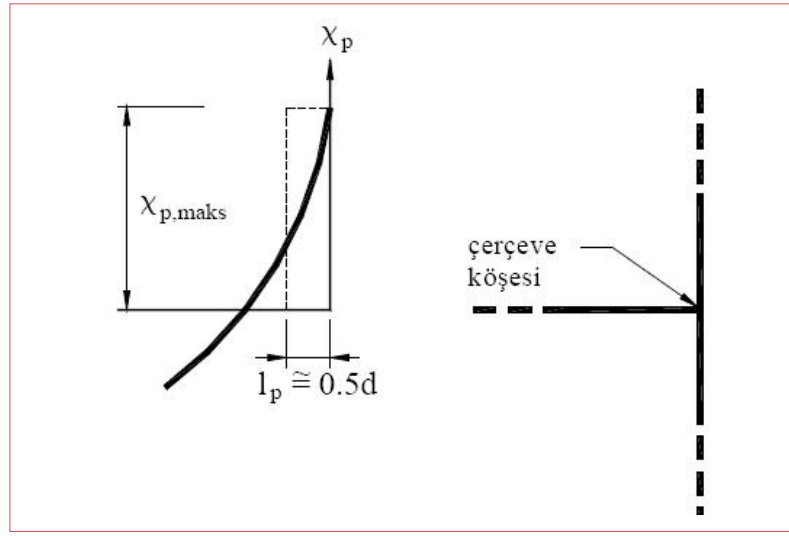
Eğilme davranışının hakim olmasından ötürü *plastik mafsalsal boyu* olarak adlandırılan *plastik şekildeğiştirme bölgesi*'nin uzunluğu ( $l_p$ ) için, kesin bir değer verilememekle beraber çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $d$ )'nin yarısına eşit alınabilir;

$$l_p = 0.5 d \quad (d: \text{en kesit yüksekliği}) \quad (1.6)$$

formülü ile ifade edilir.

Plastik mafsalsal hipotezinin yapılabilmesi için plastik deformasyonların toplandığı bu bölge çok büyük olmamalıdır. Yığılı plastik davranışı karakterize eden plastik mafsalsal,

belirtilen bu bölgenin tam ortasında noktasal bir eleman olarak idealleştirilebilir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Plastik mafsallık boyu (Özer, 2009).

Plastik şekil değiştirme bölgesi uzunluğu; moment-eğrilik diyagramına, eleman boyunca eğilme momentinin değişimine, kesit yüksekliğine ve kesitteki normal kuvvete bağlıdır. Örneğin basit kirişin açıklık kesitindeki gibi momentin daha yavaş değiştiği açıklık bölümlerinde elasto-plastik bölge boyu daha büyük olarak ortaya çıkarken, konsol kirişin mesnet bölgesinde olduğu gibi momentin keskin değiştiği bölgelerde plastikleşme bölgesinin boyu daha küçük olmaktadır.

Betonarme yapı sistemlerinde, plastik mafsalların dönme kapasiteleri aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişmektedir:

- Betonun ve beton çeliğinin gerilme birim boy değişim ( $\sigma-\varepsilon$ ) diyagramlarını belirleyen betondaki en büyük birim kısalma ( $\varepsilon_{cu}$ ) ve donatıdaki en büyük birim uzama ve kısalma ( $\varepsilon_{su}$ ) boy değişimi değerleri
- Betonun ( $\varepsilon_{cu}$ ) birim kısalmasını etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları
- Eleman boyunca eğilme momentinin değişimi
- Kesitteki normal kuvvet değeri

Temel üstü toplam perde yüksekliği ( $H_w$ ) / perde yüksekliği ( $l_w$ )  $\leq 2.0$  olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekil değiştirmeler göz önüne alınmayacaktır.



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

Sonuç olarak plastik mafsal hipotezinin esasları şunlardır:

1. Bir kesitte artan dış yüklerle birlikte, eğilme momenti ( $M$ ) de artarak plastik moment ( $M_p$ ) değerine ulaşınca, o kesitte plastik mafsal oluşmaktadır. Artmaya devam eden dış yükler altında, plastik mafsal gerçek bir mafsal gibi serbestçe dönmekte ve kesitteki  $M=M_p$  olarak kalmaktadır. Plastik mafsaldaki plastik dönme ( $\theta_p$ ) değeri artarak dönme kapasitesine erişince ( $\theta_{p,maks}$ ) sistem kullanılamaz hale gelmekte ve göçmektedir.
2. Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal elastik davranmaktadır.
3. Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin ( $N$ ) de etkimesi durumunda, plastik momenti yerine, kesitteki normal kuvvet değerine bağlı olarak karşılıklı etki diyagramından elde edilen indirgenmiş plastik moment değeri kullanılmaktadır.

### **1.3. DBYBHY 2007'ye Göre Binaların Performans Değerlendirilmesi**

Bu bölümde, DBYBHY 2007'nin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerinin kullanılabilmesi için başlangıç aşamasında yapılması gerekenler ile ilgili maddeler yer almaktadır. Bu kısımda yer alan maddeler doğrudan DBYBHY 2007'den alınmıştır (DBYBHY, 2007).

#### **1.3.1. Binalardan Bilgi Toplanması**

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

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

### 1.3.2. Bilgi Düzeyleri

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı Tablo 1.1’de belirtilen bilgi düzeyi katsayıları tanımlanacaktır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılacaktır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır.

#### ➤ *Sınırlı Bilgi Düzeyi*

Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir. Sınırlı bilgi düzeyi Tablo 1.7’de tanımlanan “Deprem Sonrası Hemen Kullanımı Gereken Binalar” ile “İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar” için uygulanamaz.

#### ➤ *Orta Bilgi Düzeyi*

Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

#### ➤ *Kapsamlı Bilgi Düzeyi*

Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

Tablo 1.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları (DBYBHY 2007).

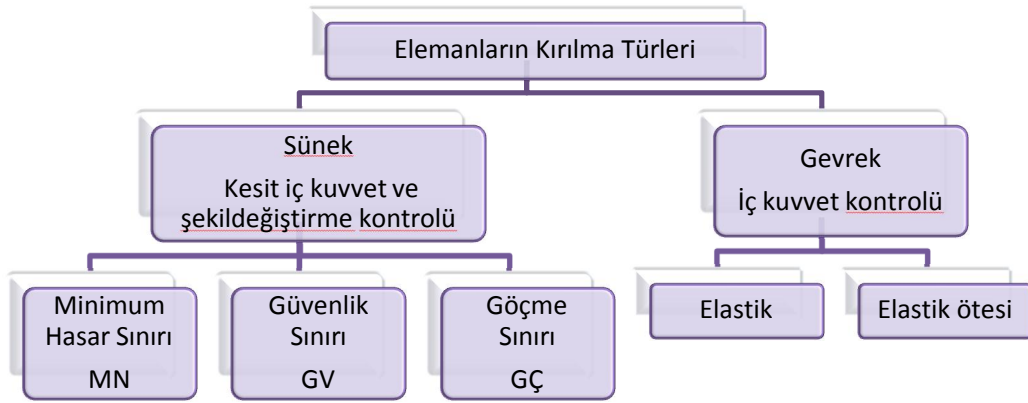
<b>Bilgi Düzeyi</b>	<b>Bilgi Düzeyi Katsayısı</b>
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

### 1.3.3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi yapılırken farklı kriterler dikkate alınmalıdır. Dayanıma (kuvvete) dayalı değerlendirme olarak bilinen doğrusal elastik yöntemlerde, yapının sünekliğinin göz önüne alınarak belirlenen yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri, doğrusal teoriye göre hesaplanan elastik deprem yüklerinin etkileriyle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma DBYBHY 2007’de verilen

etki/kapasite oranlarına göre yapılır. Bunun sonucunda binadan beklenen performans hedefinin ne ölçüde sağlandığı belirlenir.

Yerdeğiştirmeye ve şekildeğiştirmeye dayalı değerlendirmeler doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemleriyle yapılmaktadır. Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, önceden belirlenen deprem etkisi altında ele alınan binanın talep edilen yerdediğiştirme değerine ulaştığında, yapı elemanlarında meydana gelen plastik mafsal dönmelerine göre beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. İki yöntem içinde deprem yönetmeliğinde, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanlarını sünek ve gevrek davrandığı göz önüne alınarak elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları belirlenmektedir (Sucuoğlu, 2006).



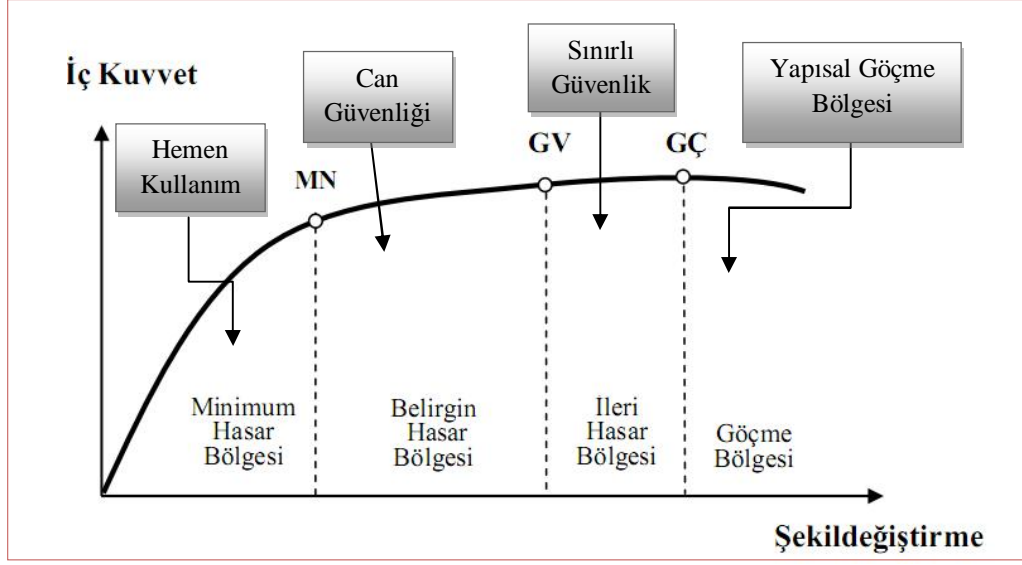
Şekil 1.5. Yapı elemanlarının kırılma türleri

### 1.3.3.1. Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

### 1.3.3.2. Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Şekil değiştirme-iç kuvvet grafiği (DBYBHY 2007; Özer, 2007).

### 1.3.4. Performansın Belirlenmesi Ve Kullanılan Analiz Yöntemleri

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

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

Bu bölümde ilk olarak, DBYBHY 2007'ye göre mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla, uygulanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için öngörülen genel ilke ve kurallar açıklanacaktır. Daha sonra, DBYBHY 2007'nin 7. Bölümünde verilen doğrusal elastik "Eşdeğer Deprem Yüğü" ve doğrusal elastik olmayan "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü" hesap yöntemleri ile deprem performansının belirlenmesi hakkında detaylı bilgi verilecek ve hesap adımları incelenecektir.

### 1.3.5. Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İçin Genel İlke Ve Kurallar

Mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansının belirlenmesinde kullanılan doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanmasında, deprem hesabına ilişkin olarak, aşağıdaki ilke ve kurallar gözönünde tutulur (DBYBHY 2007):

- ❑ Deprem etkilerinin tanımında, yönetmelikte aynı zamanda tasarım için de verilmiş olan 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılır. Çok seviyeli performans değerlendirmesi gerekli olan binalarda, 50 yılda aşılma olasılıkları %50 ve %2 olan depremler için spektrum ordinatları sırası ile 0.5 ve 1.5 katsayıları ile çarpılır, buna karşılık bina önem katsayısı uygulanmaz ( $I=1.0$ ).
- ❑ Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. Hareketli düşey yükler, deprem hesabında gözönüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak tanımlanır.
- ❑ Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı uygulanır.
- ❑ Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri bina alanının geoteknik raporuna ve deprem yönetmeliğinin ilgili bölümüne göre belirlenir.
- ❑ Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem kuvvetleri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanmalıdır.
- ❑ Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestli dereceleri gözönüne alınır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanır ve ek dışmerkezlik uygulanmaz.
- ❑ Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen bilgilerin kapsamına göre, bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılır.
- ❑ Kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanır.
- ❑ Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır:

- a. Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.
- b. Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınabilir.
- c. Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğru veya çok düzlemlı diyagramlar olarak modellenenebilir.

□ Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak gözönüne alınabilir.

□ Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamaş kesite ait etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e$  kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için (DBYBHY 2007);

a. Kirişlerde:  $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

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

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

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

□ Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.

□ Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksiklik oranında azaltılabilir.

□ Zemindeki şekildeğiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılır.

### 1.3.6. Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

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

#### 1.3.6.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8’i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} < 1.4$  olan binalara uygulanır. Bu yöntemde, toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında deprem yükü azaltma katsayısı ( $R_a$ ) 1 alınır ve denklemin sağ tarafı eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı ( $\lambda$ ) ile çarpılır.  $\lambda$  katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nde binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü;

$$V_t = \lambda W A (T_1) / R_a$$

(1.7)

Bu eşitlikte;

$V_t$  ; Taban kesme kuvveti

$W$  ; Binanın toplam ağırlığı

$A$  ; Spektral ivme katsayısı

$T_1$  ; Binanın 1. doğal titreşim periyodunu vermektedir.

Yöntemin adımları şu şekilde özetlenebilir.

- Taşıyıcı sistem  $G+nQ$  ( $G$  sabit yük,  $Q$  hareketli yük,  $n$ ; hareketli yük katılım katsayısı) altında çözümlenerek düşey yüklerden oluşan moment ( $M_D$ ) ve düşey yüklerden oluşan aksenal kuvvet ( $N_D$ ) çiftleri bulunur.

- b) Taşıyıcı sistem azaltılmamış deprem kuvvetleri altında çözülerek deprem yükleri altında oluşan moment ( $M_E$ ) ve deprem yükleri altında oluşan eksenel kuvvet ( $N_E$ ) çiftleri hesaplanır.
- c) Şekil 1.7 yardımıyla kolonların eğilme momenti ve normal kuvvet kapasiteleri bulunur. Kirişlerin kesit özellikleri ve donatı düzeni dikkate alınarak pozitif ve negatif eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır.
- d) Kolon ve kirişlerde kesme kuvveti kapasiteleri hesaplanır. Bu değerler tanımlanan değerlerle karşılaştırılarak kesitin sünek veya gevrek eleman olduğuna karar verilir.
- e) Sistem elemanları analizine devam edilerek kiriş, kolon ve perdelerde *etki/kapasite* oranları hesaplanır. Tablo 1.2, Tablo 1.3 ve Tablo 1.4'teki sınır değerleri verilmiştir. Tablo 1.2, Tablo 1.3 ve Tablo 1.4'teki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır.

Tablo 1.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ ) (DBYBHY 2007).

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

Tablodaki eşitlikte;

$\rho$  ; Çekme donatısı oranı

$\rho'$  ; Basınç donatısı oranı

$\rho_b$  ; Dengeli donatı oranı

$b_w$  ; Kirişin gövde genişliği

$d$  ; Kirişin faydalı yüksekliği

$f_{ctm}$  ; Mevcut betonun çekme dayanımını vermektedir.



Tablo 1.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs) (DBYBHY 2007).

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

Tablodaki eşitlikte;

$N$  ; Normal kuvvet

$A_c$  ; Kolonun brüt kesit alanı

$d$  ;Kolonun faydalı yüksekliği

$f_{cm}$  ; Mevcut beton dayanımını vermektedir.

Tablo 1.4. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs) (DBYBHY 2007).

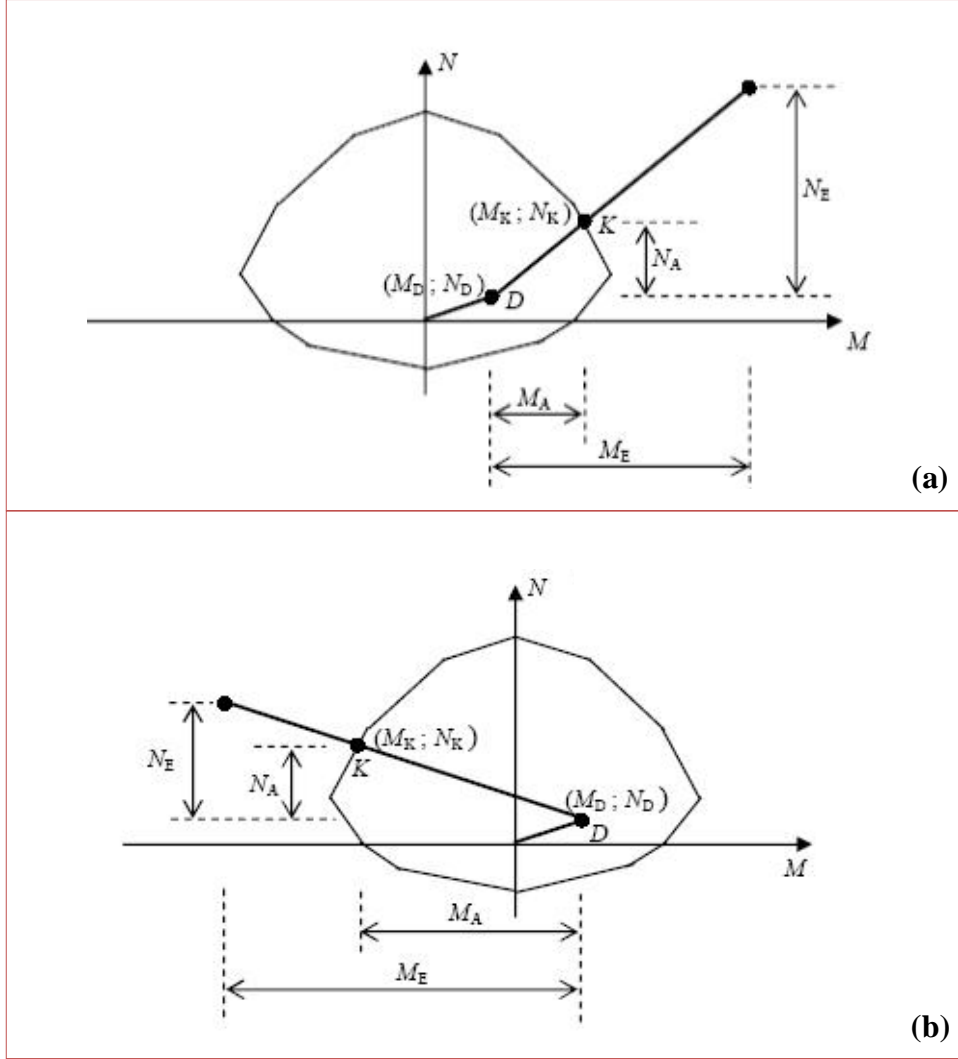
Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Perde Uç Bölgesinde Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Hesaplama adımları aşağıda açıklanmıştır.

Doğrusal elastik yöntemler ile yapılan hesapta, moment–eksenel kuvvet etkisi altındaki kolon ve perde kesitlerinde  $r$ 'nin belirlenmesi için uygulanabilecek yöntemler aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Herhangi bir kolon veya perdeye göre doğrusallaştırılan moment–eksenel kuvvet etkileşim diyagramı Şekil 1.7'de görülmektedir. Şekildeki D noktasının koordinatları, düşey yüklerden meydana gelen  $M_D-N_D$  çiftine karşı gelmektedir. D noktasından başlayan ve etkileşim diyagramının dışına çıkan ikinci doğru parçasının yatay ve düşey izdüşümleri ise,  $R_a=1$  için deprem hesabından elde edilen ve depremin yönü ile uyumlu olan  $M_E-N_E$

çiftine karşı gelmektedir (Şekil 1.7’de  $M_E$ ’nin işaretlerinin farklı olduğu iki durum ayrı ayrı gösterilmiştir). İkinci doğru parçasının etkileşim diyagramını kestiği  $K$  noktasının koordinatları, kolon veya perde kesitinin  $M_K$  moment kapasitesi ve buna karşı gelen  $N_K$  aksenal kuvvetidir.



Şekil 1.7. Kolon etkileşim diyagramı (DBYBHY 2007).

Artık moment kapasitesi ( $M_A$ ) ve buna karşı gelen aksenal kuvvet ( $N_A$ ) aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$M_A = M_K - M_D \quad (1.8)$$

$$N_A = N_K - N_D \quad (1.9)$$

Kolon veya perdenin  $r$  ise şu şekilde tanımlanabilir;

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} \leq r_s \quad (1.10)$$

Denklemden geçen  $r_s$  etki/kapasite oranının sınır değerini göstermektedir.

Şekil 1.7'deki  $K$  kesişme noktasının koordinatları olan  $M_K$  veya  $N_K$ 'nin geometrik veya sayısal olarak elde edilmesi durumunda, düşey yük hesabından  $M_D$  veya  $N_D$ , deprem hesabından ise  $M_E$  veya  $N_E$  bilindiğine göre, Denk. (1.8) ve Denk. (1.9)'dan yararlanılarak kesitin eğilme ve aksenal kuvvet altındaki etki/kapasite oranı doğrudan hesaplanabilir. Kolon kesitinin moment kapasitesine karşı gelen aksenal kuvvet  $N_K$ , hasar sınırlarını tanımlayan Tablo 1.3'te göz önüne alınacak olan aksenal kuvvettir.

Kolon veya perdenin  $r$ , bir ardışık yaklaşım hesabı ile de belirlenebilir. Bu amaçla başlangıçta  $r$  için bir tahmin yapılır.  $N_E$  deprem hesabından bilindiğinden Denk. (1.10)'dan  $N_A$  hesaplanır ve  $N_D$  bilindiğine göre Denk. (1.9)'dan  $N_K$  bulunur. Buna bağlı olarak  $M_K$  moment kapasitesi kesit hesabından elde edilir ve bundan  $M_D$  çıkarılarak Denk. (1.8)'den  $M_A$  hesaplanır.  $M_A$  ve  $M_E$  kullanılarak Denk. (1.10)'dan  $r$ 'nin yeni değeri elde edilir ve başa dönülerek ardışık yaklaşımın bir sonraki adımına geçilir. Bir önceki adımda bulunana yeteri kadar yakın olarak elde edilen son ardışık yaklaşım adımıdaki  $r$  değeri, kesitin eğilme ve aksenal kuvvet altındaki  $r$  olarak tanımlanır. Son adımdaki  $M_A$  ve  $N_A$  değerleri Denk. (1.8) ve Denk. (1.9)'da yerlerine konularak  $M_K$  ve  $N_K$  hesaplanır. Elde edilen  $N_K$ , hasar sınırlarını tanımlayan Tablo 1.3'te gözönüne alınacak olan aksenal kuvvettir. Yukarıda tek aksenli eğilme/aksenal kuvvet durumu için açıklanan  $r$  hesabı, iki aksenli eğilme/aksenal kuvvet durumu için de benzer biçimde uygulanabilir.

- f) Bulunan  $r$  değeri Tablo 1.2 ve Tablo 1.3'teki değerler ile karşılaştırılarak taşıyıcı sistem elemanların hasar bölgesi belirlenir.
- g) Analizi yapılan yapı için görelî kat kontrolleri yapıldıktan sonra bu değerler yönetmelikteki değerler ile karşılaştırılır.
- h) Taşıyıcı eleman düzeyinde hasar bölgesi belirlendikten sonra bu değerler kullanılarak taşıyıcı sistem performans durumu belirlenir.

### 1.3.6.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalarda  $R_a=1$  alınır, diğeri bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan aynen kullanılır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınmaktadır.

### 1.3.6.3. Betonarme Binaların Yapı Elemanlarında Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde, gözönüne alınan elemanın  $r$  olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılmaktadır.

Kesit hasar bölgelerinin belirlenmesinde betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise sünek, kesme ise gevrek olarak sınıflandırılırlar. Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvvetinin ( $V_e$ ), bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesini ( $V_r$ ) aşmaması gereklidir.  $V_e$ 'nin hesabı kolonlar, kirişler ve perdeler için yönetmelikte belirtilen ilgili bölümlere göre yapılır, ancak perdelerde kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı ( $\beta_v$ ) 1 alınır. Kolon, kiriş ve perdelerde  $V_e$ 'nin hesabında pekleşmeli (plastik dönme artısına bağlı olarak plastik momentin artışı) taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılır. Düşey yükler ile birlikte, elastik deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a=1$  alınarak depremden hesaplanan toplam kesme kuvvetinin  $V_e$ 'den küçük olması durumunda ise,  $V_e$  yerine bu kesme kuvveti kullanılır. Ek koşul olarak perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmesi için ayrıca  $H_w / \ell_w > 2.0$  koşulunu sağlaması gerekir. Bu koşulları sağlamayan betonarme elemanlar gevrek olarak hasar gören elemanlar olarak nitelendirilir.

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında elastik deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a=1$  alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır.  $r$ 'nin hesabında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır. Kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan moment etkisi, yeniden dağılım ilkesine göre en fazla %15 oranında azaltılabilir. Sarılma bölgesindeki enine donatının düzeni ve miktarı bakımından yönetmeliğin ilgili bölümlerindeki koşulları sağlayan betonarme kolonlar, betonarme kirişler ve betonarme perdeler “sargılanmış”, sağlamayanlar ise “sargılanmamış” eleman sayılır. “Sargılanmış” sayılan elemanlarda sargı donatılarının “özel deprem etriyeleri ve çirozları” olarak düzenlenmiş olması ve donatı aralıklarının yönetmelikte belirtilen koşulları sağlaması gereklidir.

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin  $r$ , yönetmelikte verilen ilgili sınır değerler ( $r_s$ ) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir.

#### 1.3.6.4. Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Tablo 1.5'te verilen değeri aşmayacaktır. Aksi durumda Bölüm 1.3.6.5'te yapılan hasar değerlendirmeleri gözönüne alınmayacaktır. Tablo 1.5'te  $\delta_{ji}$ ;  $i$ 'inci katta  $j$ 'inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yerdeğiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelemesini,  $h_{ji}$  ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir.

Tablo 1.5. Göreli kat ötelemesi sınırları (DBYBHY 2007).

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
$\delta_{ji}/h_{ji}$	0.01	0.03	0.04

#### 1.3.7. Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle Belirlenmesi

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

DBYBHY 2007'de yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi* olmak üzere üç tip yöntemden oluşmaktadır.

İlk iki yöntem, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde ve güçlendirilmesinde artımsal itme analizinin esas alındığı yöntemlerdir. Tez kapsamında yer alan doğrusal elastik olan ve olmayan analiz yöntemlerine yer verilecektir.

### 1.3.7.1. Artımsal İtme Analizi İle Performans Değerlendirilmesinde İzlenecek Hesap Adımları

*Artımsal İtme Analizi* uygulanarak yapılan doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenen yolun adımları aşağıda özetlenmiştir (DBYBHY 2007):

- a) Genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesine ve analiz modelinin oluşturulmasına yönelik kurallar esas alınır.
- b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan bir statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.
- c) Artımsal itme analizinin artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kapsamında yapılması durumunda, koordinatları “*modal yerdeğiştirme-modal ivme*” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “*modal kapasite diyagramı*” elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.
- d) Artımsal itme analizinin artımsal mod birleştirme yöntemi ile yapılması durumunda, gözönüne alınan bütün modlara ait “*modal kapasite diyagramları*” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilir. Bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.
- e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış olan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve son olarak toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra, bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, yönetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır.

### 1.3.7.2. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin doğrusal elastik hesap yöntemlerine göre en önemli avantajı, artan yükler altında sistemde bulunan yapısal elemanlar sırayla kapasitelerine ulaştıkça, bu elemanlar tarafından taşınamayan yüklerin diğer elemanlara dağılmasına (yeniden dağılım) izin vermesidir. Böylece iç kuvvet dağılımı daha gerçekçi olarak hesaplanabilmektedir. Doğrusal olmayan çözüm yöntemleri henüz standartlaşmış değildir. Ancak kullanımları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Diğer yandan deprem etkisi altında performans değerlendirmesine esas teşkil eden doğrusal olmayan sisteme ait maksimum yerdeğiştirmeler, tasarım depremi altında yaklaşık yöntemlerle tahmin edilebilmektedir. Eşit yerdeğiştirme kuralı, yaklaşık yöntemlerin en yaygın kullanılanıdır.

Doğrusal olmayan yöntemlerde eşdeğer deprem yükleri bir defada değil adım adım artırılarak uygulanır. Bu nedenle bu yöntemler “statik itme analizi” olarak adlandırılır.

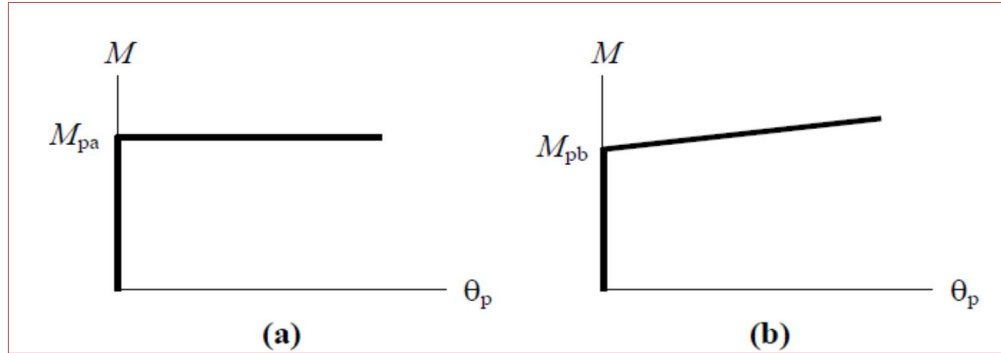
Sadece aksenal kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınır. Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitin, teorik olarak plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir:

- a. Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.
- b. Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır. Bir veya iki eksenli eğilme ve aksenal kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır:
  - Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.

- ❑ Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
- ❑ Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğru lu veya çok düzleml i diyagramlar olarak modellenebilir.

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

- ❑ İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artısına bağılı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 1.8a). Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekildeğiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu gözönüne alınır.
- ❑ Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Şekil 1.8b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlanması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanır.



Şekil 1.8. Eğilme momenti-plastik dönme bağıntıları (DBYBHY, 2007).

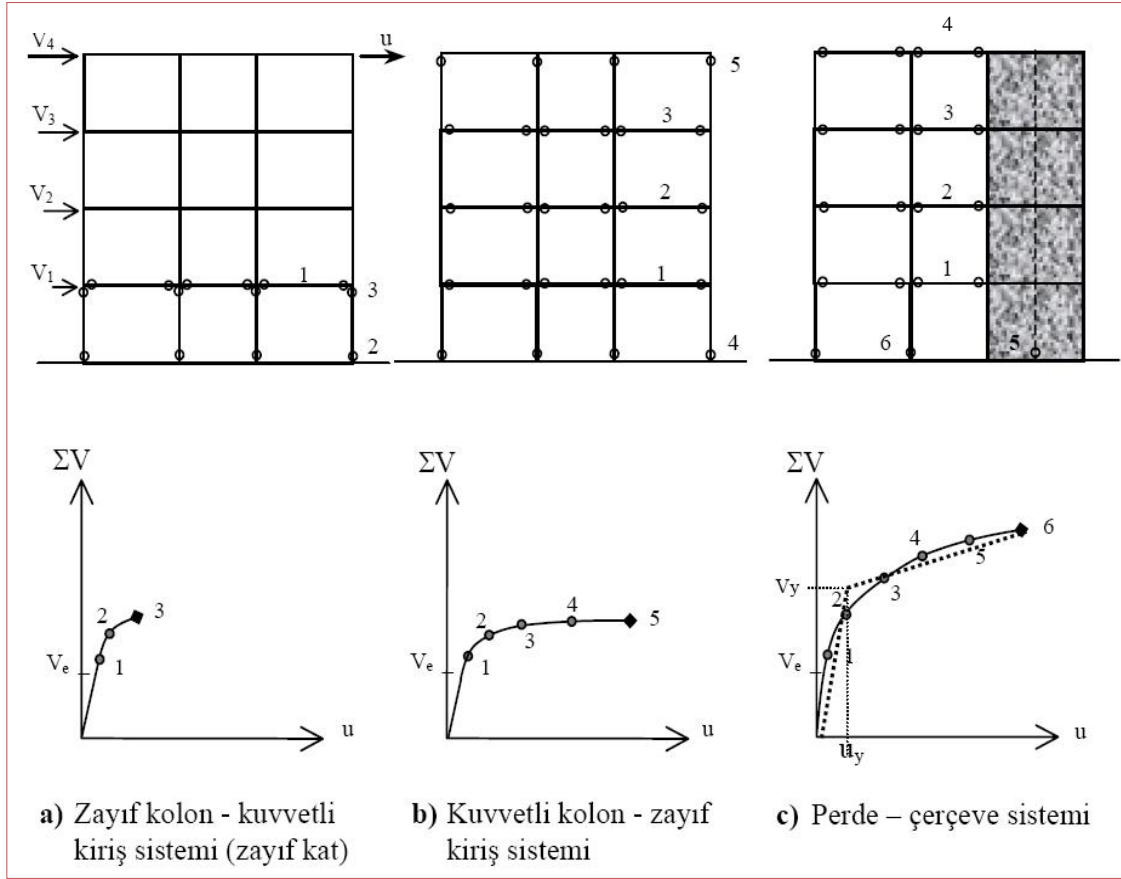
### 1.3.7.3. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi

Bu yöntem doğrusal elastik sistemler için eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanabildiğı binalara uygulanır. Eşdeğer statik yatay yük dağılımı doğrusal elastik sistem ile aynı şekilde hesaplanır, ancak adım adım artırılarak uygulanır. Deprem sırasında binanın en fazla zorlandığı duruma bu şekilde ulaştığı varsayılır. Arttırılarak



uygulanan yatay yükler altında binada elastik ötesi statik davranışın oluşması Şekil 1.9'da temsili olarak gösterilmektedir.

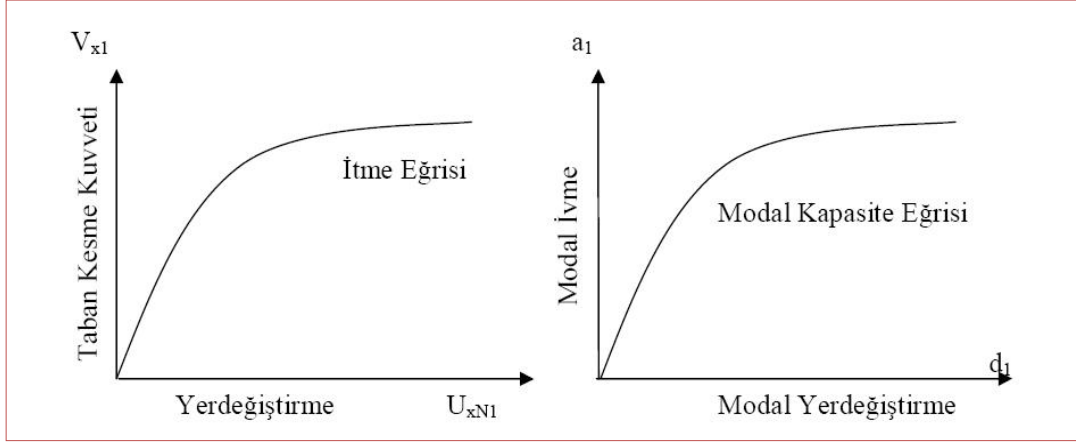
Farklı yapı türlerine ait kapasite eğrileri bu yapıların yatay yük altındaki dayanım ve süneklik özelliklerini yansıtır. Şekil 1.9 (a)'da önce birinci kat kirişleri mafsallaşmakta, daha sonra sırasıyla birinci kat kolonlarının alt ve üst uçları mafsallaşmaktadır. Bu durumda birinci katta mekanizma oluşur, yapı daha fazla yük alamaz ve kapasitesine ulaşır. Yıkılma birinci katın kararlılığını yitirmesi ile oluşur. Yumuşak-zayıf zemin katlı binalarda oluşan bu durumda yapı pek fazla süneklik sergileyemez. Depremlerde sıkça gözlenen bu yıkılma türü oldukça gevreklerdir. Buna karşın Şekil 1.9 (b)'de gösterilen durumda önce bütün katlardaki kirişler aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla kapasitelerine ulaşarak mafsallaşır. Bu oluşum sırasında yapının yanal rijitliği yavaş yavaş azalır ve yapı kararlılığını yitirmeden yanal ötelenme yapmaya devam eder. Tüm kirişlerin mafsallaşması ile ankastre duruma düşen kolonlar bir sonraki adımda alt mesnetlerinde mafsallaşır ve böylece yapı yanal kararlılığını yitirerek kapasitesine ulaşır. Çatı katı kirişlerinin özel konumu nedeniyle mafsal oluşturması ara kat kirişlerine oranla gecikebilir, hatta kolonlardan sonra olabilir. Ancak bu durum sünek bir davranış elde edilmesini pek fazla engellemez. Şekil 1.9 (c)'de ise perde-çerçeve sistemine ait kapasite eğrisi gösterilmektedir. Bu sistemde de önce alttan üste doğru kirişler mafsallaşacak ve düşey elemanlar ankastre duruma düşecektir. Perdenin yanal rijitliği kolonlara göre çok fazla olduğu ve kat kirişleri tarafından her katta perde ve kolonlar aynı yanal ötelenmeyi yapmaya zorlandıkları için bu durumda perde yatay yüklerin çoğunu yanal rijitliği oranında karşılamaya başlayacaktır. Bir süre sonra perde tabanında plastik mafsal oluşunca yükünü kolonlara aktaracak ve kolonların da tabanda mafsallaşması ile sistem yatay kapasitesine ulaşacaktır. Bu sistemin sünekliği Şekil 1.9 (b)'deki kuvvetli kolon-zayıf kiriş sistemine yakın olabilir, ancak perdenin yüksek yatay yük dayanımı sistemin kapasitesini de önemli ölçüde arttırmıştır.



Şekil 1.9. Farklı yapı türlerinin statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrileri ve yıkılma özellikleri (Aydınoglu vd., 2009).

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme göz önüne alınır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan itme eğrisi elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, gözönüne alınan x deprem doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Statik itme ve modal kapasite eğrileri

- a. (i)'nci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme ( $a_i^{(1)}$ ) aşağıdaki şekilde elde edilir;

$$a_i^{(1)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (1.12)$$

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

- b. (i). itme adımında birinci moda ait modal yerdeğiştirme ( $d_1^{(i)}$ )'in hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir;

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN} \Gamma_{x1}} \quad (1.13)$$

Birinci moda ait modal katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ ), x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımıdaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan etkili modal kütle ( $L_{x1}$ ) ve modal kütle ( $M_1$ )'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir;

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (1.14)$$

İtme analizi sonucunda yukarıda açıklandığı şekilde elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer bir deyişle modal yerdeğiştirme talebi

hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme ( $d_1^{(i)}$ ) talebi, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ )'e eşittir.

$$d_1^{(i)} = S_{di1} \quad (1.15)$$

$S_{di1}$ , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci moda ait başlangıç periyoduna ( $T_1^{(1)}$ ) karşı gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye ( $S_{de1}$ ) bağlı olarak Denk. (1.16) ile elde edilir;

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (1.16)$$

$S_{de1}$ , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivmeden ( $S_{ae1}$ ) hesaplanır;

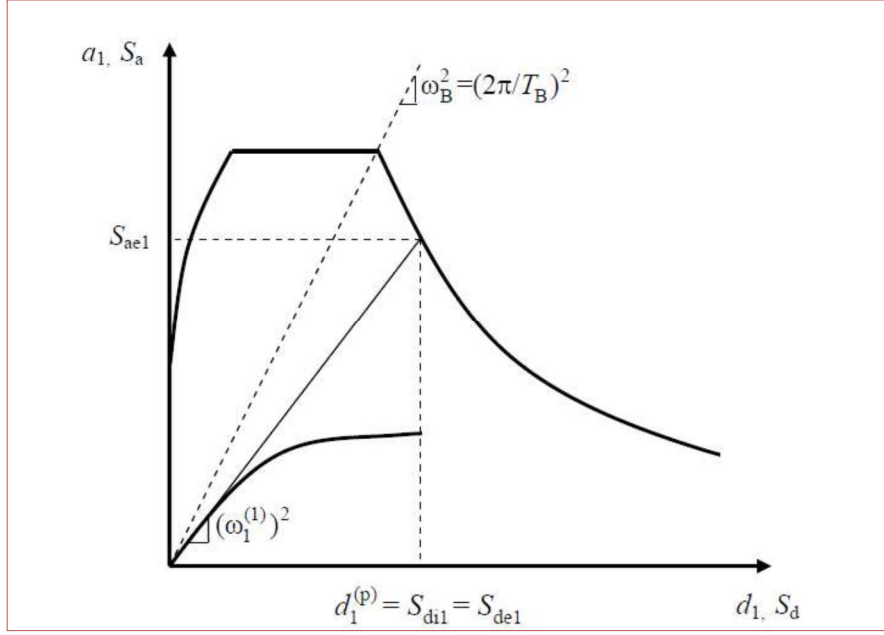
$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (1.17)$$

Spektral yerdeğiştirme oranı ( $C_{R1}$ ),  $T_1^{(1)}$ 'in değerine ( $T_1^{(1)} = 2\pi/\omega_1^{(1)}$ ) bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir.  $T_1^{(1)}$ , ivme spektrumundaki karakteristik periyot ( $T_B$ )'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ( $T_1^{(1)} \geq T_B$  veya  $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$ ),  $S_{di1}$ , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine  $T_1^{(1)}$  olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait  $S_{de1}$   $S_{di1}$ 'e eşit alınacaktır. Buna göre Denk. (1.18)'deki spektral yerdeğiştirme oranı:

$$C_{R1}=1 \quad (1.18)$$

değerini almaktadır.

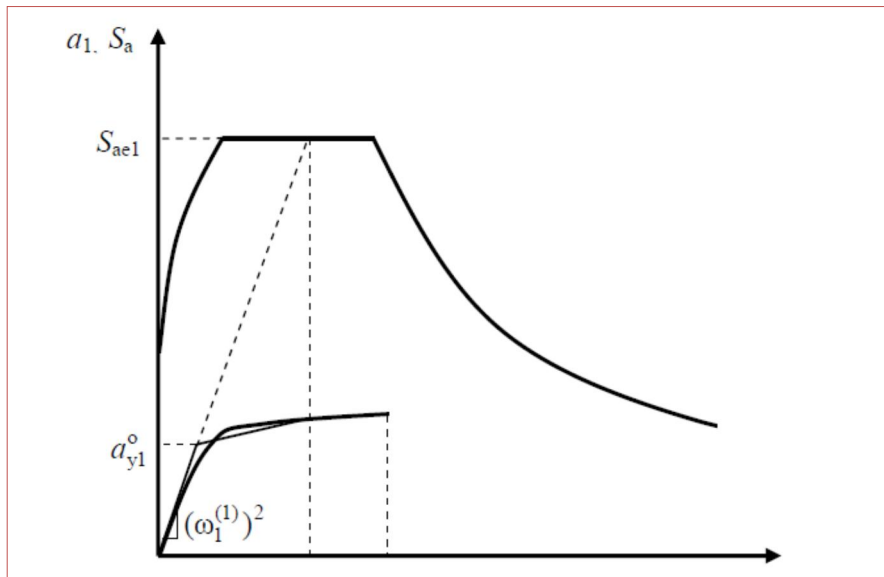
şekil 1.11'de, birinci titreşim moduna ait ve koordinatları ( $d_I, a_I$ ) olan *modal kapasite diyagramı* ile koordinatları “*spektral yerdeğiştirme ( $S_d$ ) - spektral ivme ( $S_a$ )*” olan davranış spektrumu bir arada çizilmiştir.



Şekil 1.11.  $T_1^{(1)} \geq T_B$  performans noktasının belirlenmesi (DBYBHY 2007).

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

- a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 1.12'de gösterildiği gibi, yaklaşık olarak iki doğrusu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ( $i=1$ ) doğrunun eğimi olan birinci moda ait öz değere,  $(\omega_1^{(1)})^2$ , eşit alınır. ( $T_1^{(1)} = 2\pi/\omega_1^{(1)}$ )



Şekil 1.12.  $T_1^{(1)} \leq T_B$  performans noktasının belirlenmesi (DBYBHY 2007).

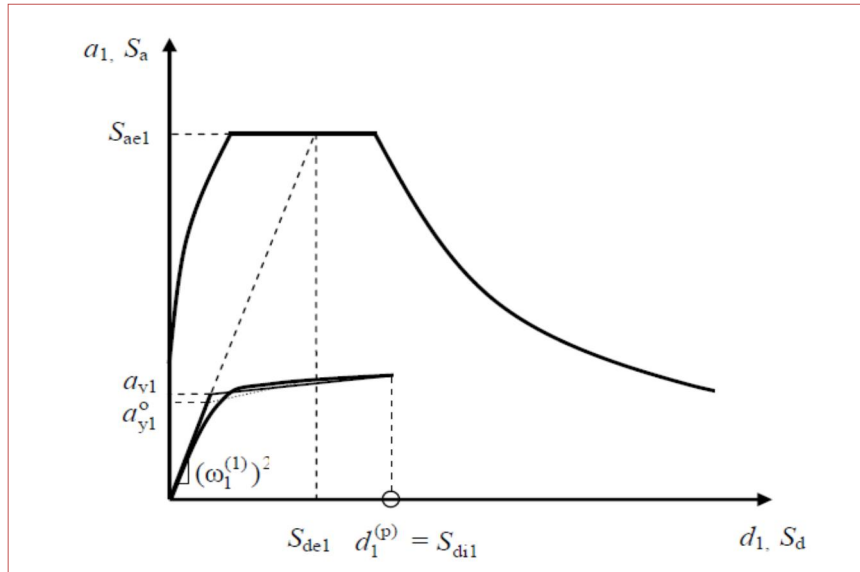
b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında  $C_{R1} = 1$  varsayımı yapılarak, eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 1.12'de görülen birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi ( $a_{y1}^0$ ) esas alınarak  $C_{R1}$  aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B/T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (1.19)$$

Bu bağıntıda  $R_{y1}$  birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı'nı göstermektedir;

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (1.20)$$

Denk. (1.19)'dan bulunan  $C_{R1}$  kullanılarak, Denk. (1.16)'ya göre hesaplanan  $S_{di1}$  esas alınarak bulunan eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 1.10'da gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre  $a_{y1}$ ,  $R_{y1}$  ve  $C_{R1}$  tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 1.13.  $T_1^{(1)} \leq T_B$  performans noktasının belirlenmesi (DBYBHY 2007).

Son itme adımı  $i = p$  için Denk. (1.15)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme talebi  $d_1^{(p)}$ 'nin Denk. (1.13)'te yerine konulması ile x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme talebi ( $u_{xN1}^{(p)}$ ) elde edilir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (1.21)$$

Buna karşı gelen diğer tüm talep büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet talepleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yerdeğiştirmesi talebine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanır.

#### **1.3.7.4. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi İle İtme Analizi**

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile itme analizi, deprem istem limitine kadar her bir titreşim modunda monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak yapılır. Mod Birleştirme Yöntemi, ardışık iki plastik mafsallı oluşumu arasındaki her bir itme adımında artımsal olarak uygulanır. Bu itme adımlarında taşıyıcı sistemlerde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi, tüm binalara uygulanabilir.

Bu yöntemde, önce doğrusal elastik sistemin titreşim modları hesaplanır ve her moda ait modal kuvvetler binaya birbirinden bağımsız şekilde ayrı ayrı uygulanarak statik itme analizi yapılır. Ancak her modun statik itme analizi sırasında oluşan elastik ötesi etkiler birbirinden bağımsız olamayacağı için bu durumun bazı ilave yaklaşık hesaplarla düzeltilmesi gerekir. Daha sonra elde edilen modal değerler bir istatistiksel yöntemle birleştirilir. Çok modlu statik itme analizi henüz gelişmekte olan bir araştırma konusudur. Kabul edilmiş bir standart yöntemine sahip değildir. Çok modlu statik itme analizi için geliştirilmekte olan birbirinden farklı yöntemler vardır ve hepsinde birbirinden farklı sonuçlar vermektedir. Bu yöntemin içerdiği hesaplar oldukça karmaşıktır ve pratik olarak uygulanması pek de kolay değildir. İtme analizinin yöntemlerinin hassasiyeti arttıkça, yapılan hesap miktarı zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine yaklaşmakta ve amacını yitirmektedir. Bu nedenle de ülkemiz haricinde hiçbir ülkenin bina deprem yönetmeliğinde yer almamaktadır.

#### **1.3.7.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi**

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi de tıpkı diğer iki yöntemde olduğu gibi sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denklemi öngörülen deprem için çözümlenmektedir. Doğrusal davranışta olduğu gibi yapı elemanlarının elastik ve plastik şekil değiştirmeleri, yerdeğiştirmeleri ve kesit iç

etkileri zamana bağılı olarak bulunur. Plastik mafsal kapasiteleri beton ile donatımı uzama ve kısalma talepleri ile belirlenir. Bu analiz yönteminin çözümü diğer yöntemlere nazaran daha kapsamlı olmasından dolayı sonuçların yorumlamasına dikkat edilmelidir. Analiz için kullanılan deprem kaydının yönetmelikle uyuşması ve olabildiğince çok kayıt için analizin çözümünün yapılması yöntemin doğruluğu için önemlidir.

#### 1.3.7.6. Kesitteki Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

Doğrusal elastik olmayan yöntemlere göre yapılan itme analizi veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemlere göre yapılan hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen plastik dönme ( $\Theta_p$ ) istemine bağılı olarak plastik eğrilik istemi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır (DBYBHY 2007);

$$\phi_p = \frac{\Theta_p}{L_p} \quad (1.22)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de gözönüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksenal kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan eşdeğer akma eğriliği ( $\phi_y$ ) ve plastik eğrilik ( $\phi_p$ ) istemine eklenerek, kesitteki toplam eğrilik ( $\phi_t$ ) istemi izleyen şekilde elde edilir;

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (1.23)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denk. (1.23) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanır.

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

#### 1.3.7.7. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri

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



- a. Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı uzama birim şekildeğiştirmesi üst sınırları izleyen şekildedir;

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (1.24)$$

- b. Kesit güvenlik sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı uzama birim şekil değiştirmesi üst sınırları izleyen şekildedir;

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (1.25)$$

- c. Kesit göçme sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı uzama birim şekildeğiştirmesi üst sınırları izleyen şekildedir;

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (1.26)$$

Burada  $\rho_s$  ; kesitte mevcut bulunan deprem etriyeleri ve çirozları olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranı,  $\rho_{sm}$ ; deprem yönetmeliğine göre bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı olarak tariflenir.

### 1.3.8. Bina Deprem Performans Düzeyleri

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir. Bu hasar durumları, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir (Özer, 2007).

DBYBHY 2007’de tanımlanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile binanın deprem performans seviyesi belirlenir.

#### 1.3.8.1. Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı

ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir; ancak bunlar onarılabilir düzeydedir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir (DBYBHY, 2007).

### **1.3.8.2. Can Güvenliği Performans Düzeyi**

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanların yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bir bölümü korunmaktadır. Düşey taşıyıcı elemanlar, düşey yükleri taşımakta yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlar hasarlı olmakla birlikte dolgu duvarlar yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir, ancak gözle fark edilebilir değerlerde değildir (Özer, 2005).

Herhangi bir katta uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesindedir. Bu durumda bina Can Güvenliği durumunda kabul edilebilir. Can Güvenliği durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst kattaki ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetinin toplamının, o kattaki tüm kattaki kolonların kesme kuvvetinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içerisindeki dağılıma göre karar verilir (DBYBHY, 2007).

### **1.3.8.3. Göçmenin Önlenmesi Sınır Durumu**

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanla düşey yükleri taşımada yeterlidir, ancak bazıları eksenel

kapasitelere ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır ve dolgu duvarların bir kısmı yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur (Özer, 2005).

Herhangi bir katta uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesindedir. Bu durumda Bina Göçmenin Önlenmesi Durumunda kabul edilebilir. Göçmenin önlenmesi durumunda kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetinin toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve güçlendirilmesi gereklidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir (DBYBHY, 2007).

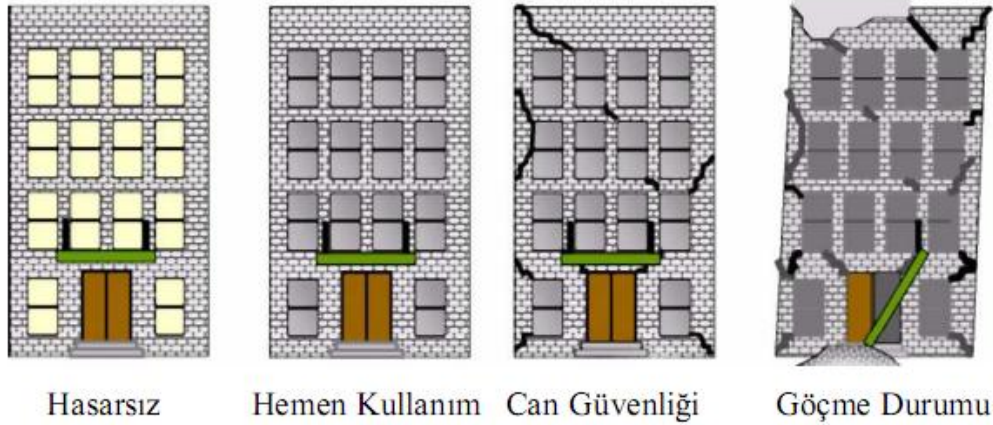
Sünek elemanlar için çeşitli hasar durumları tanımlanırken, gevrek elemanların taşıma güçlerine eriştikten sonra doğrudan göçme durumuna geldiği kabul edilmektedir. Burada da hasar durumu kirişlerde oran olarak verilirken, kolonlarda kolon kesme kuvvetine bağlı olarak verilmektedir. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi olumsuz ve güçlü kolon kavramı olumlu bir durum olarak kabul edilmektedir (Sucuoğlu, 2006).

#### **1.3.8.4. Göçme Durumu Sınır Durumu**

Yapı, uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyenler düşey yükleri taşıyabilmektedir, ancak rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı hasarlar oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddetteki bir yer hareketi altında yıkılma olasılığı yüksektir (Özer, 2005).

Bina göçmenin önlenmesi durumunu sağlamıyorsa Göçme Durumundadır. Binada güçlendirme uygulanmalıdır, ancak güçlendirilmesi ekonomik olarak verimli olmayabilir.

Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır (DBYBHY, 2007).



Şekil 1.14. Performans seviyelerinin grafiksel gösterimi

### 1.3.9. Performans Belirlemede Esas Alınacak Deprem Hareketleri

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

➤ *Servis (kullanım) depremi*

50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Yaklaşık geri dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin spektrum eğrisi tasarım depreminin yarısı kadardır.

➤ *Tasarım depremi*

50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık geri dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerinde esas alınmaktadır.

➤ *En büyük deprem*

50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan yer hareketidir. Yaklaşık geri dönüş periyodu 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin spektrum eğrisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katıdır.

Tablo 1.6. Deprem türleri ve elastik spektrum eğrisindeki değişim

Deprem Türü	Deprem Etkisi Katsayısı	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu	Elastik Spektrum Eğrisindeki Değişiklik
Kullanım Depremi	0.50	%50	72 yıl	
Tasarım Depremi	1.00	%10	475 yıl	
En Büyük Deprem	1.50	%2	2475 yıl	

### 1.3.10. Performans Hedefi Ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans düzeyi, *performans hedefi* olarak tanımlanır. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir.

Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 1.7’de verilmiştir.

Tablo 1.7. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri (DBYBHY 2007).

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

**HK:** Hemen Kullanım; **CG:** Can Güvenliği; **GÖ:** Göçme Öncesi

## **1.4. FEMA440'a Göre Performansa Dayalı Tasarım Ve Değerlendirme**

### **1.4.1. Giriş**

FEMA440 raporunun ana amacı FEMA356 ve ATC-40 raporları içinde bahsi geçen Doğrusal Olmayan Statik Analiz (İtme Analizi) Prosedürlerinin değerlendirilmesi, iyileştirilmesi ve daha sonra oluşturulacak raporlar için referans olmasıdır.

Mühendisler uzun zamandan beri depremlerden dolayı oluşan kuvvetli yer hareketlerinin sonucunda binaların doğrusal olmayan davranış gösterdiğini bilmektedir. Bu doğrusal olmayan davranışın değerlendirilebilmesi için şekil değiştirmeye ve yer değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı ortaya çıkmıştır. Bu konu son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuştur (Özer, 2007).

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, şekil değiştirmeye ve yer değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, ATC ve FEMA tarafından ATC 40, 55, FEMA 273, 274, 356, 440 raporları yayınlanmıştır. Bu araştırma ve çalışmaların sonuçları ASCE tarafından hazırlanan ASCE 41-06 standardında yer almıştır. Yukarıdaki organizasyonların yanında, BSSC, ve EERCUCB tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır (Özer, 2007).

Yukarıda adı geçen çalışmalar sonucunda doğrusal olmayan statik itme analizi prosedürleri geliştirilerek, binaların depreme karşı olan davranışlarının tahmin edilebilmesi kullanılmaya başlanmıştır.

ATC-40 ve FEMA356 raporlarının her ikisinde de binaların deprem isteminin belirlenmesinde hemen hemen aynı yöntemler kullanılmaktadır. Her iki raporda da binaların doğrusal olmayan davranışını temsil eden kuvvet-deformasyon eğrilerinin yani itme eğrilerinin çizilmesinden bahsedilirken, belirli bir deprem etkisi altında doğrusal olmayan yer değiştirme istemi hesaplama teknikleri bakımından birbirlerinden ayrılmaktadırlar. FEMA356'da Katsayılar Yönteminden bahsedilmektedir. Bu yönteme

göre doğrusal olmayan yerdeğiştirme istemi yani performans noktasındaki tepe yerdeğiştirme istemi, elastik yerdeğiştirme tahminlerinin bazı katsayılar ile değiştirilmesi sonucu belirlenir. ATC-40'da ise Kapasite Spektrumu Yönteminden bahsedilmektedir. Bu yöntemde deprem etkisini temsil eden istem eğrisi ile binanın doğrusal olmayan davranışını temsil eden kapasite eğrisinin kesişim noktasının belirlenmesi aracılığı ile performans noktası tahmin edilir. Bu yöntemlerin yaygınlaşması ile mühendisler yaptıkları hesaplar sonucunda şu durumu fark etmişlerdir. Aynı bina için her iki yöntemden elde edilen performans noktasındaki yerdeğiştirme istemleri çok büyük farklar göstermekteydi ve bunun sebebinin ortaya çıkarılması istenmekteydi. Bunun üzerine 2000 yılında ATC, FEMA'ya bu farklılığın nedenlerinin ortaya çıkarılması için bir çalışma başlatmasını teklif etmiştir. Böylece ATC-55 projesi başlatılmıştır. ATC-55 projesinin sonuçlarına dayanarak FEMA440 raporu oluşturulmuştur. Böylece FEMA440 raporunda her iki yöntemin iyileştirilmesi çalışmalarının sonuçlarından bahsedilmiş ve yöntemler son halleri ile ortaya konmuştur.

Bu tez çalışmasında FEMA440'ın Eşdeğer Doğrusallaştırma Yöntemi kullanılmıştır.

#### **1.4.2. FEMA Raporlarına Göre Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemlerinin Temelleri**

Tasarım ölçütlerinin seçilmesi, uygun yapısal sistemin seçilmesi, yapı taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların boyutlandırılması, yapı ve elemanlarının kalite güvencesinin sağlanması, yapı servis ömrünün garanti edilmesi ve bu sürede oluşabilecek hasarların önceden belirlenmiş hedefleri aşmamasının sağlanması performansa dayalı mühendisliğin ana konusudur. Performansa dayalı deprem mühendisliği deprem riskinin yönetilmesi için geliştirilen bir yöntemdir ve yapısal tasarımda deprem hasarlarının kontrolü esasına dayanır. Bu nedenle; tasarım, yapım, kontrol, onarım ve işlevselliğin sağlanması işleri önceden belirlenmiş yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için tanımlanmış hasar sınırları aşılmadan yapının deprem hareketine dayanmasını hedefler (Bertero ve Bertero, 2002).

Bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların belirli bir deprem etkisi altında ayrı ayrı göstermiş oldukları performans seviyeleri yapısal performans kavramı olarak tanımlanabilir. Binaların deprem performansı yeni bir kavramdır. Deprem performansı, "Belirli bir deprem etkisi altında bir binada oluşabilecek hasarların düzeyi ve

dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu” olarak tanımlanır (Akbaş, 2004). Yapının toplam performans seviyesi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşur. Performans seviyeleri ise yapıda oluşan hasar miktarlarının sınırı durumu olarak adlandırılır. Yapı için öngörülen farklı sınır (hasar) durumları vardır. Bu sınır durumlar yapıda oluşan hasarın miktarına bağlı olarak sıralanır (Özer, 2007).

Performans esaslı depreme dayanıklı yapı tasarımının ana hedefi birçok tasarım seviyesi için deprem hareketlerini, yapısal ve yapısal olmayan hasarlarla yakından ilgili olarak tanımlamaktır (Julian vd, 2005).

Tasarım performans hedefi, her tasarım depremi seviyesi için yapının ulaşması beklenen performansının ifadesidir. Performans seviyesi ise, yapıya etkiyen belirli bir tasarım depremi için kabul edilecek en büyük hasarın ifadesidir. Performans hedefi; gerilme, şekil değiştirme, yerdeğiştirme, ivme vb. herhangi bir yapısal tepki parametresi sınırlandırılarak belirlenebilir. Bununla birlikte, performans seviyeleri hakkında çeşitli yayınlar (ATC-40, FEMA-273, SEAOC vs.) aynı görüşlerde olmalarına rağmen detaylarda farklılaşır ve farklı performans seviyeleri verebilirler (Lawson, 1994). Belirli bir deprem etkisi altındaki bir bina için öngörülen yapısal performans “performans hedefi” denir. Bir yapının performansı, yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Eğer bir yapı için birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülmüş ise, buna “çok seviyeli performans hedefi” denir.

Mühendisler doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerini mevcut veya projelendirme aşamasındaki binaların gelecekte maruz kalabilecekleri deprem etkilerine karşı göstereceği davranışı tahmin etmek için kullanmaktadır. Bu durum Performansa Dayalı Mühendislik (PDM) yaklaşımı ile oldukça önemli bir hal almıştır. PDM’de güvenlik ve göze alınan riske ilişkin kararlar performans ile tahmin edilmeye çalışılır. Bu amaçla PDM’de performans kavramı,

- Yapısal elemanlardan beklenen hasar oranına,
- Yapısal olmayan elemanlardan beklenen hasar oranına bağlıdır.

Yapısal hasar demek doğrusal olmayan davranışın var olması demektir. Geleneksel tasarım ve analiz metotları ise doğrusal elastik teknikleri kullanmakta; performans kavramını dolaylı olarak işin içine dahil etmektedir. Buna karşın doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin amacı ise direkt olarak doğrusal olmayan davranış sonucunda ortaya



çıkan deformasyonların tahmin edilmesidir. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin, yapı modelinin oluşturulması ve yapıya uygun deprem etkilerinin etki edilmesi bakımından doğrusal analiz yöntemleri ile benzer yönleri vardır. Doğrusal olmayan analiz sonucunda, binanın istenilen performans kriterlerini sağlayıp sağlamadığı konusunda bilgi edinilir. Bu performans kriterleri şunlardan oluşur;

- Global yerdeğiştirme (çatı veya bir başka referans noktasının yerdeğiştirmesi),
- Göreli kat ötelemeleri,
- Kat kuvvetleri (kesme kuvvetleri ve devrilme momenti),
- Yapı elemanlarının deformasyonları ve eleman iç kuvvetleri (kolon, kiriş ve perde elemanlar).

#### **1.4.3. FEMA Raporlarında Belirtilen Performans Seviyeleri**

ATC-40, FEMA 273, 356 ve ASCE 41-06 dokümanlarında tanımlanan performans seviyeleri birbirinin aynıdır. Bu dokümanlarda bina performansı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performansının bir kombinasyonudur .

Performans seviyeleri verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir. Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinasyonu olarak belirlenir.

##### **1.4.3.1. Taşıyıcı Eleman Performans Seviyeleri**

Taşıyıcı eleman performans seviyeleri temel olarak 4 seviyeden ve 2 adet de ara performans seviyesinden oluşur. Ara performans seviyeleri, bir üst ve bir alt performans seviyelerinin koşullarını belirli oranlarda sağlayan performans seviyeleridir. Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri gösterim olarak S-(1 ile 6 arasında bir sayı) olarak gösterilir. Bu gösterimde S, yapısal yani taşıyıcı elemanlardan bahsedildiğini; yanındaki sayı ise performans seviyesinin düzeyini belirtir. Bu sayı ne kadar büyük ise hasar düzeyi o kadar büyük demektir. Şekil 1.15'te taşıyıcı eleman performans seviyeleri ve birbirleri



#### *S-1 Hemen Kullanım Performans Seviyesi:*

Deprem sonrasında binadaki yatay ve düşey taşıyıcı elemanlar, deprem öncesindeki dayanım ve rijitliklerini büyük oranda korumakta ve taşıyıcı sistem çok az hasar almaktadır.

#### *S-2 Hasar Kontrolü Performans Seviyesi:*

Deprem sonrasında binada oluşan hasarın, S-1 Hemen Kullanım ile S-3 Can Güvenliği Performans Seviyeleri arasında kalan performans aralığıdır.

#### *S-3 Can Güvenliği Performans Seviyesi:*

Taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık, bölgesel veya toptan göçme söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir veya yapısal hasarlardan dolayı olma riski çok düşüktür.

#### *S-4 Sınırlı Güvenlik Performans Seviyesi:*

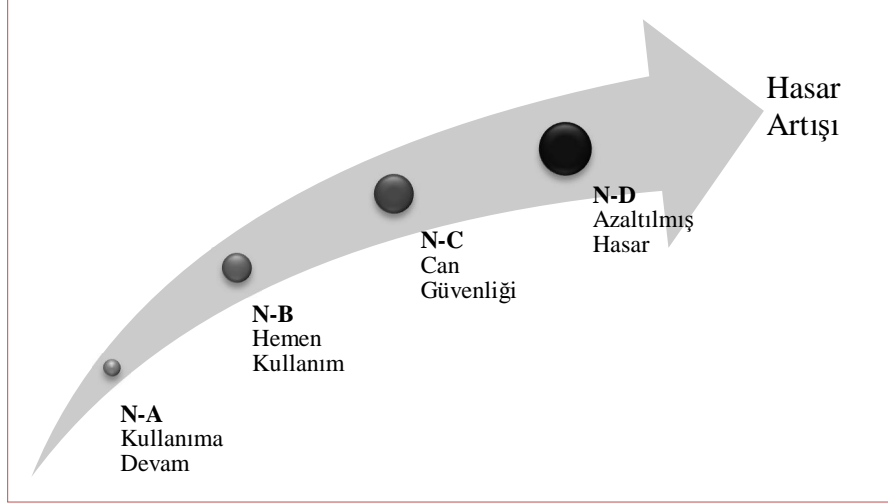
Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir, ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir.

#### *S-5 Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi:*

Yapıyı bölgesel veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda büyük hasar oluşmuş, dayanım ve rijitlikler de önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı stabilitesini korumakla birlikte, önemli oranda can güvenliği ve artçı şokların etkisi ile yıkılma riski taşımaktadır. Bina güçlendirilmek veya onarılmak için uygun durumda değildir.

### **1.4.3.2. Taşıyıcı Olmayan Eleman Performans Seviyeleri**

Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri 5 seviyeden oluşmaktadır ve gösterim olarak N-(A ile E arasında bir harf) olarak gösterilir. Bu gösterimde N, taşıyıcı olmayan elemanlardan bahsedildiğini; yanındaki harf ise performans seviyesinin düzeyini belirtir.



Şekil 1.17. Taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri

*N-A Kullanıma Devam Performans Seviyesi:*

Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanın kullanımını engellemez.

*N-B Hemen Kullanım Performans Seviyesi:*

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

*N-C Can Güvenliği Performans Seviyesi:*

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Ancak, binanın içinde veya dışındaki ağır elemanlarda, yaralanmalara neden olabilecek makine devrilmesi, kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanda onarım gereksinimi doğar.

*N-D Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi:*

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasar meydana gelebilir. Ancak, dış cephe kaplamalarının dökülmesi, asma tavanların düşmesi gibi insanların gruplar halinde yaralanmalarına neden olabilecek hasar oluşmaz.

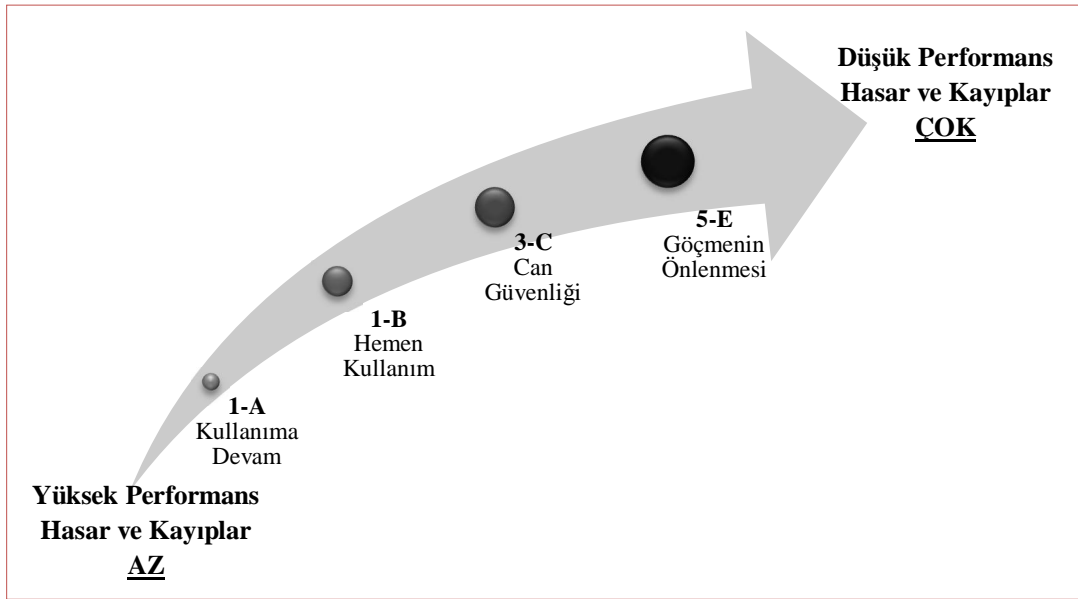
*N-E Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye:*

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

### 1.4.3.3. Bina Hedef Performans Seviyeleri

Bina hedef performans seviyeleri, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Binanın kullanım amacına, deprem sonrasında göstermesi istenilen yapısal davranış ve işletme şartlarına bağlı olarak uygun taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan performans seviyeleri birleştirilir. Bina hedef performans seviyelerinin gösterimi (1 ile 5 arasında bir sayı - A ile E arasında bir harf) olarak yapılır. Bu gösterimdeki sayı kısmı, taşıyıcı elemanların performans seviyesi gösterimindeki sayı kısmını; harf kısmı ise taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyesi gösterimindeki harf kısmını temsil eder.

Şekil 1.18’de bu birleşimlerinden en çok kullanılan ve kullanımları tavsiye edilen temel bina hedef performans seviyeleri gösterilmiştir. Tablo 1.8’de ise olası performans birleşimleri gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Temel bina hedef performans seviyeleri

#### *1-A Kullanıma Devam Yapısal Performans Seviyesi (S1 + NA):*

Binada hasar yoktur veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı sistemi deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Bina kullanıma devam edilebilecek durumdadır.

*1-B Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S1 + NB):*

Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür.

*3-C Can Güvenliği Performans Seviyesi (S3 + NC):*

Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli ölçülerde hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Ancak yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir.

*5-E Göçmenin Önlenmesi-Yapısal Stabilitenin Korunması Performans Seviyesi (S5 + NE):*

Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik veya ekonomik bakımdan uygun değildir.

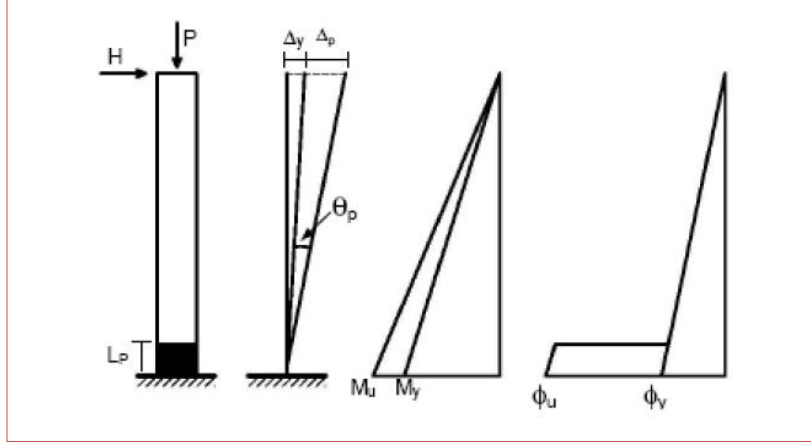
Tablo 1.8. Bina hedef performans seviyeleri

		Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri					
		S-1 Hemen Kullanım	S-2 Hasar Kontrolü	S-3 Can Güvenliği	S-4 Sınırlı Güvenlik	S-5 Göçmenin Önlenmesi	S-6 Perf. Dikkate Alınmaması
Taşıyıcı Olmayan Elm. Perf. Sev.	N-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A	T.E.	T.E	T.E	T.E
	N-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B	T.E	T.E	T.E
	N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
	N-D Azaltılmış Hasar	T.E	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
	N-E Perf. Dikkate Alınmaması	T.E	T.E	T.E	4-E	5-E Göçmenin Önlenmesi	Onarım Yapılmaz

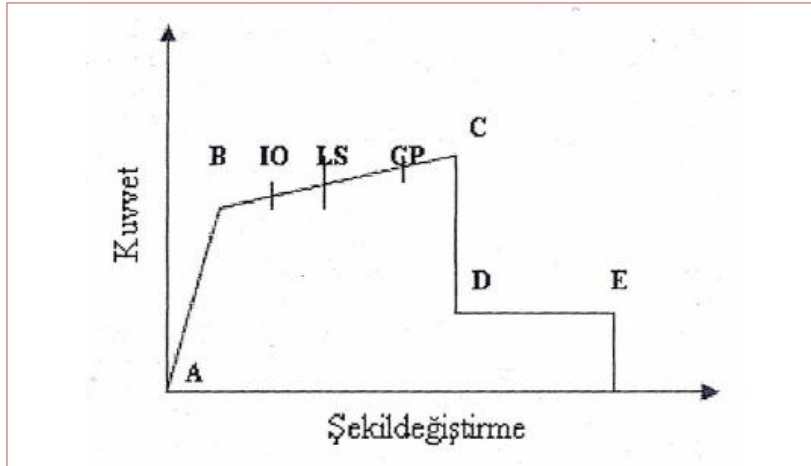
T.E; Tercih edilmez

İtme analizinde elemanlara ait doğrusal olmayan davranış parametreleri, bu davranışın eleman uçlarında yoğunlaşacağı varsayımına dayalı “yığılı plastik davranış hipotezi” kullanılmıştır (Şekil 1.19). Plastik mafsallık boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )’nin

yarısına eşit alınmıştır ( $L_p = 0.5h$ ). Bir elemanın doğrusal ötesi davranışı FEMA356’da gösterilen kuvvet-deformasyon eğrisi ile ifade edilebilir (Şekil 1.20). Her bir plastik mafsalmın Şekil 1.20’de gösterildiği gibi B, C ve E noktaları tanımlanmıştır. Buna göre bir elemanın davranışını ifade etmek için Şekil 1.20’deki B, C, ve E noktalarının tespit edilmesi gerekir. Şekil 1.19’da gösterildiği gibi kolon ve kiriş uçlarında plastik mafsallar tanımlanmıştır.



Şekil 1.19. Yığılı plastik davranış hipotezi (FEMA 2000).



Şekil 1.20. Bir eleman için tipik kuvvet-deformasyon eğrisi (FEMA 2000).

A-B Elastik bölgede kalan mesnet sayısı,

B noktası plastik şekil değiştirmelerin başladığı nokta,

B-IO Plastik Mafsal oluşmuş, akma sınırına henüz ulaşmamış mesnet sayısı,

IO noktası hemen kullanım seviyesi,

IO-LS Akma sınırına ulaşmış, hasar sınırına henüz ulaşmamış mesnet sayısı,

LS noktası can güvenliği seviyesi,

LS-CP Hasar sınırına ulaşmış, göçme sınırına henüz ulaşmamış mesnet sayısı,  
CP noktası göçmenin önlenmesi seviyesi,  
CP-C Göçme sınırına ulaşmış, henüz göçmemiş mesnet sayısı,  
C noktası kesit taşıma gücünü belirtmekte,  
D noktasından sonra artan şekildeğiştirme durumları için kesit küçük değerler almaktadır.

E noktasından sonra kesit taşıma gücünü tamamen kaybetmektedir.

Çözüm sonrasında oluşturulan her adım için plastik mafsalların şekildeğiştirme seviyeleri elde edilebilmektedir.

SAP2000 programındaki hasar seviyeleri ile FEMA356 arasındaki tek fark Yapısal Stabilitate (SS) yerine Göçmenin Önlenmesi (CP) kısaltması kullanılmıştır ve son sınırı olarak kabul edilmektedir. IO, LS, CP kısaltmaları ile isimlendirilen hasar seviyeleri kesitin alacağı kesme kuvveti, donatı pirsantajları ve etriyelerin uygun olup olmadığı gibi koşullar için FEMA356'da tarif edilmektedir.

#### **1.4.3.4. Deprem Hareketi**

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

ATC 40 projesinde üç farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır. Diğer bir deyişle, üç ayrı deprem risk seviyesi göz önüne alınmaktadır. Benzer tanımlar FEMA 273 ve 356 dokümanlarında da yapılmıştır. Aşağıda, ATC 40'da tanımlanan deprem hareketleri verilerek FEMA 273, 356 depremleri ile karşılaştırılmıştır.

##### *1- Servis (kullanım) Depremi (SE):*

50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Yaklaşık geri dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan Tasarım Depreminin yarısı kadardır.

##### *2- Tasarım depremi (DE):*

50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık geri dönüş periyodu 475 yıldır. ABYYHY 1998 ve DBYBHY 2007'de de esas alınan bu deprem FEMA 273'te Temel Güvenlik Depremi-1 (BSE-1) olarak isimlendirilir.



### 3- En Büyük Deprem (ME):

ATC 40'a göre, belirli bir bölgede jeolojik veriler çerçevesinde meydana gelebilecek en büyük deprem hareketidir. 50 yılda aşılma olasılığı % 5, geri dönüş periyodu yaklaşık 1000 yıldır. Bu depremin etkisi tasarım depreminin 1,25-1,50 katı dolaylarındadır. Ayrıca FEMA 273'te, Temel Güvenlik Depremi-2 (BSE-2) olarak isimlendirilen ve 50 yılda aşılma olasılığı % 2, geri dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir deprem daha tanımlanmıştır. Bu depremin ATC 40'daki En Büyük Depreme karşı geldiği, ancak etkisinin daha büyük olduğu söylenebilir.

Bir yapıda, belirli bir deprem hareketi altında tek bir performans hedefi öngörülebileceği gibi, birden fazla yer hareketi altında çok seviyeli performans hedefleri de esas alınabilir.

Yukarıda bahsedilen deprem etkileri altında yapılan hesaplar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar düzeyleri belirlenir. Elemanın hangi hasar aralığında ve buna bağlı olarak hangi performans seviyesinde olduğuna karar verilmesi aşamasında, kullanılan değerlendirme metoduna (doğrusal veya doğrusal olmayan) ve yapı tipine (betonarme, çelik, yığma, ahşap ve hafif metal binalar) bağlı olarak FEMA356 raporunda belirtilen hasar sınırları kullanılır. Buradan hareketle bina performans seviyesinin/seviyelerinin, hedef bina performans seviyesi/seviyelerini sağlayıp sağlamadığına karar verilerek güçlendirme ve onarım işlerinin gerekliliği ve seviyesi ortaya konulur.

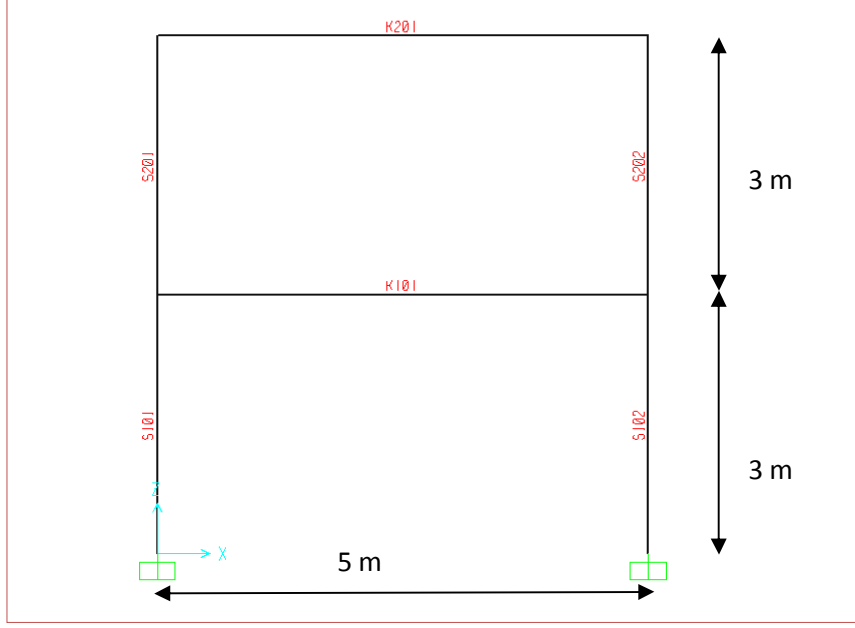
## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER**

Betonarme binaların deprem performanslarının deprem yönetmeliğinde tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle belirlenmesi üzerine düzlem çerçeve modeli ele alınarak ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın devamında TS-500 ve DBYBHY 2007'ye göre tasarımı yapılan üç boyutlu 5 katlı bir sağlık kuruluşu analizleri için SAP2000 V14 programı seçilmiştir. Analiz için öncelikle yapı SAP2000 programında uygun şekilde modellenmiştir. Doğrusal analiz olan “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ve doğrusal olmayan analizde ise “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi” yapılmıştır. Performans değerlendirmesi için seçilen bina, amacına dayalı olarak tasarım depremi ve en büyük deprem etkisi altında yapısal performansı incelenmiştir.

### **2.1. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Deprem Performansı Değerlendirme Yöntemlerinin Düzlem Çerçeve Modeli Üzerinde Detaylı Olarak İncelemesi**

Bu bölümde, betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altındaki doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının ve performans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla iki katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve modeli kullanılarak yapılan sayısal inceleme yer almaktadır.

Ele alınan düzlem çerçeve modeli DBYBHY 2007'de tanımlanan doğrusal analiz için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve doğrusal olmayan analiz için Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile çözümlenerek deprem performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bu bölümde amaçlanan çalışma, deprem yönetmeliğinde tanımlanan yöntemleri detaylı şekilde incelemek ve elde edilen sonuçları karşılaştırarak değerlendirmektir. Şekil 2.1'de analiz edilen düzlem çerçeve modeli yer almaktadır.



Şekil 2.1. Betonarme çerçeve sisteminin modeli

### 2.1.1. Genel Yapı Bilgileri

#### Bina Bilgileri

Kat adedi = 2

Kat yüksekliği = 3,00m

Toplam bina yüksekliği,  $[H] = 6,00\text{m}$

Kullanım amacı = Konut

#### Malzeme Bilgileri

Beton sınıfı = C20 ( $f_{cm} = 20 \text{ MPa}$ )

Donatı çeliği = S420 ( $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$ )

Beton elastisite modülü,  $[E_c] = 28000 \text{ MPa}$

Donatı çeliği elastisite modülü,  $[E_s] = 200000 \text{ MPa}$

#### Proje Parametreleri

Deprem bölgesi = 1

Etkin yer ivme katsayısı,  $[A_0] = 0,4$

Bina önem katsayısı,  $[I] = 1$

Yerel zemin sınıfı = Z2

Spektrum karakteristik periyotları =  $T_a=0,15 \text{ s}$ ,  $T_b=0,4 \text{ s}$

Hareketli yük katılım katsayısı,  $n=0,3$

### **Taşıyıcı Sistem Bilgisi**

Kolonlar = 0,4m x 0,4m d' = 0,04m

Kirişler = 0,25m / 0,5m d' = 0,04m

Döşeme = 0,12 m

### **Yükler**

#### Kat Döşemesi

Plak zati = 0,12(m) x 25 (kN/m<sup>3</sup>) = 3,00 kN/m<sup>2</sup>

Kaplama + Sıva = 1,5 kN/m<sup>2</sup>

$$g = 4,50 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3,50 \text{ kN/m}^2$$

## **2.1.2. Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi İle Belirlenmesi**

### **2.1.2.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi**

- **Bina Bilgi Düzeyi**

Binanın malzeme özelliklerinin ve betonarme detaylarının projeye tamamen uyduğu kabul edilmiş olup buna göre bina bilgi düzeyi “kapsamlı” olarak belirlenmiş ve bilgi düzeyi kat sayısı 1.0 alınmıştır.

- **Analiz Modelinin Oluşturulması**

Deprem performansı belirlenecek binalarda, eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitliği kullanılacaktır. Kirişlerde çatlama kesitin etkin eğilme rijitliği, çatlama kesitin eğilme rijitliğinin 0.4 ile çarpılması ile tanımlanabilir. Fakat kolonlarda çatlama kesitin etkin eğilme rijitliğinin tanımlanabilmesi için sistemin öncelikle deprem hesabında kullanılacak düşey yük kombinasyonu ( $G+nQ$ ) altında, çatlama kesitler kullanılarak bir ön düşey yük hesabı yapılması gereklidir. Deprem hesabında kullanılacak bina ağırlığı ve düşey yük kombinasyonu Denk. (2.1)'deki gibi tanımlanır.

$$W = G + 0,3Q \quad (2.1)$$

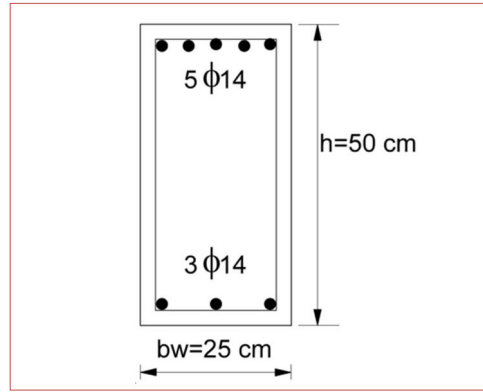
Öncelikle yukarıda verilen yükleme altında çatlama kesitler kullanılarak düşey yük hesabı yapılacaktır.



$$\frac{N_D}{A_c f_{cm}} = \frac{73,90}{40 \times 40 \times 2} = 0,0231 < 0,1 \quad (2.2)$$

Eksenel basınç kuvveti oranı 0,1 den küçük olduğu için kolonlarda da etkin eğilme rijitliği, çatlamamış kesitin eğilme rijitliğinin 0,4 katı alınacaktır. Bilgisayar modeline etkin eğilme rijitlikleri, ilgili atalet momentlerinin 0,4 katsayısı  $I_e = 0,4 \times I_0$  ile çarpılarak tanıtılır. Bundan sonraki tüm hesap adımlarında çatlamış kesitlerin oluşturduğu bilgisayar modeli kullanılır.

- **Kirişlerin Taşıma Kapasitelerinin Hesaplanması**



Şekil 2.4. Kiriş enkesit detayı

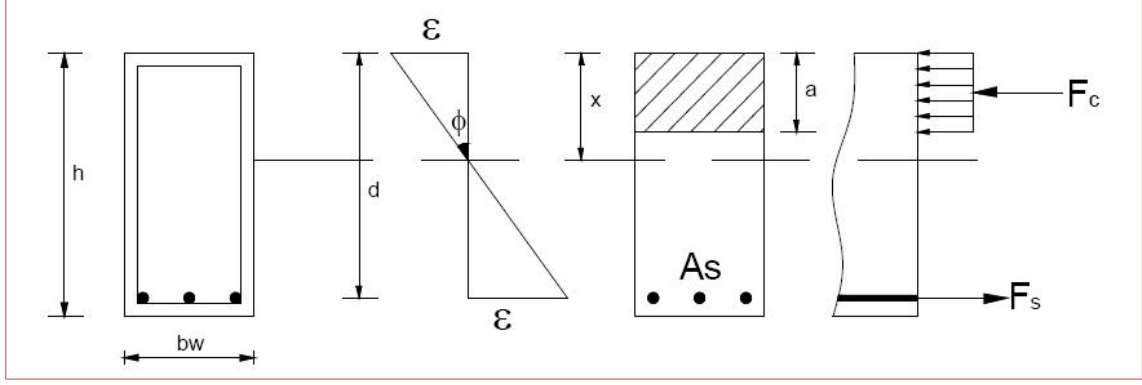
Çerçeveyi oluşturan kirişler aynı kesite ve donatı alanına sahiptirler. Kirişlerin kesit özellikleri ve mevcut donatıları Tablo 2.1'de verilmiştir;

Tablo 2.1. Kiriş donatıları

Kiriş No	b/h (cm)	Alt Donatısı	Montaj Donatısı	Sol Uç Üst Ek Donatı	Sağ Uç Üst Ek Donatı	Sol Uç Kesme Donatısı	Sağ Uç Kesme Donatısı
K101	25/50	3 φ 14	3 φ 14	2 φ 14	2 φ 14	φ 8/10	φ 8/10
K201	25/50	3 φ 14	3 φ 14	2 φ 14	2 φ 14	φ 8/10	φ 8/10

Kirişlerin moment ve kesme kapasiteleri hesaplanacaktır. Kapasite hesabı için betonarme betonu ve donatı çeliği için mevcut malzeme dayanımları kullanılır. Bu dayanım değerlerine malzeme güvenlik katsayıları uygulanmaz, buna karşılık mevcut dayanımlar bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılır.

Basit eğilme etkisi altındaki kirişlerin eğilme kapasitelerinin hesabı aşağıdaki Şekil 2.5'teki gibi ele alınabilir (Celep, 2008).



Şekil 2.5. Basit eğilme diyagramı

- *Negatif Moment;*

$$F_c = F_s \quad 0,85 \times f_{cm} \times b_w \times a = A_s \times f_{ym} \quad (2.3)$$

$$0,85 \times 20 \times 250 \times a = (770) \times 420$$

$$a = 76,094 \text{ mm}$$

$$M_r = A_s \times f_{ym} \times (d - 0,5a) \quad (2.4)$$

$$M_r = 770 \times 420 \times (460 - 0,5 \times 76,094)$$

$$M_r = 136459581,2 \text{ Nmm} = 136,46 \text{ kNm}$$

- *Pozitif Moment;*

$$0,85 \times f_{cm} \times b \times a = A_s \times f_{ym} \quad (2.5)$$

$$0,85 \times 20 \times 250 \times a = 462 \times 420 \implies a = 45,656 \text{ mm}$$

$$M_r = A_s \times f_{ym} \times (d - 0,5a) \quad (2.6)$$

$$M_r = 462 \times 420 \times (460 - 0,5 \times 45,656) \quad (2.7)$$

$$M_r = 84828809,22 \text{ Nmm} = 84,83 \text{ kNm}$$

- *Kirişlerin Kesme Dayanımı Aşağıdaki Şekilde Tanımlanır;*

$$A_{sw} = 2\Phi 8 = 100 \text{ mm}^2, \quad s = 200 \text{ mm}' \text{dir.}$$

$$V_r = 0,8V_{cr} + V_w \quad (2.8)$$

$$V_r = (0,8 \times 0,65 f_{ctm} b_w d) + (A_{sw} f_{ywn} d/s) \quad (2.9)$$

$$V_r = (0,8 \times 0,65 \times 1,6 \times 250 \times 460) + (100 \times 420 \times 460/200)$$

$$V_r = 192280 \text{ N} = 192,28 \text{ kN}$$

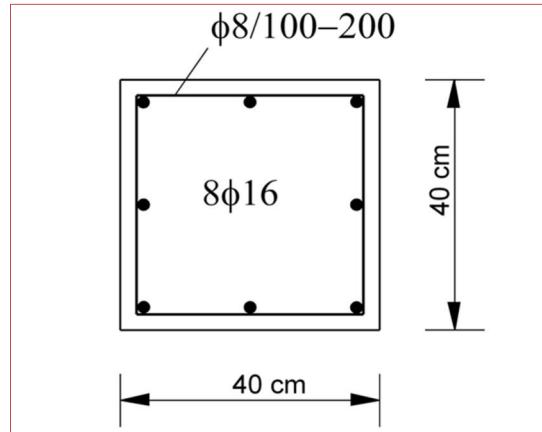
$$V_{rmax} = 0,22 f_{cm} b_w d \quad (2.10)$$

$$V_{rmax} = 0,22 \times 20 \times 250 \times 460 = 506000 \text{ N} = 506 \text{ kN} \text{ olarak bulunur.}$$

Tablo 2.2. Kiriş taşıma kapasitesi

Kesit Özellikleri			Donatı Alanları			Kapasite Kuvvetleri		
			Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Kesme Donatısı	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Kesme Kuvveti
Kiriş No	bw (cm)	h (cm)	Ast (cm <sup>2</sup> )	Ast (cm <sup>2</sup> )	(As/s)	M- (kNm)	M- (kNm)	Vr (kN)
			Asb (cm <sup>2</sup> )	Asb (cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> /cm)	M+ (kNm)	M+ (kNm)	Vrmax (kN)
K101	25	50	7,70	7,70	0,05	136,46	136,46	192,28
			4,62	4,62		84,83	84,83	506
K201	25	50	7,70	7,70	0,05	136,46	136,46	192,28
			4,62	4,62		84,83	84,83	506

- Kolonların Taşıma Kapasitelerinin Hesaplanması**



Şekil 2.6. Kolon enkesit detayı

Çerçeveyi oluşturan kolonlar aynı kesite ve donatıya sahiptirler. Kolonların normal kuvvet ve kesme kuvveti taşıma kapasitesi aşağıdaki şekilde elde edilir;

$$\text{Kolonlarda} \quad A_{sw} = 2\phi 8 = 100 \text{ mm}^2, \quad s = 200 \text{ mm}' \text{dir.}$$

$$V_r = 0,8V_{cr} + V_w = (0,8 \times 0,65 f_{ctm} b_w d) + (A_{sw} f_{ywn} d/s)$$

$$V_r = (0,8 \times 0,65 \times 1,6 \times 400 \times 360) + (100 \times 420 \times 360/200)$$



$$V_r = 129808 + 75600 = 195,408 \text{ N} = 195,408 \text{ kN}$$

➤ *Normal Kuvvet:*

$$N_{rmax} = 0,5f_{cm}bh \quad (2.11)$$

$$N_{rmax} = 0,5 \times 20 \times 400 \times 400 = 1600000 \text{ N} = 1600 \text{ kN}$$

Sistemi oluşturan elemanların taşıma kapasiteleri hesaplandıktan sonra sistem düşey ve yatay yükler altında çözülür. Bunun için öncelikle sisteme etkiyen yatay yük belirlenmelidir. Eşdeğer deprem yükü metodunda sisteme etkiyen yatay yükün belirlenmesi aşağıda verilmiştir.

### • Eşdeğer Deprem Yükünün Hesaplanması

Binanın toplam kat sayısı 8'i aşmadığından ve sistemin düzlem çerçeve olması sebebiyle  $\eta_{bi} < 1,4$  koşulunun ortadan kalkmasından dolayı eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılabilir. Taban kesme kuvveti aşağıda verilen denklem ile hesaplanır;

$$V_t = \lambda WA(T_1) = \lambda WA_0 IS(T)/R_a = 1 \times WA_0 IS(T)/R_a \quad (2.12)$$

Denklemdaki ilgili büyüklükler;

$$W = 147,8 \text{ kN} \quad A_0 = 0,4 \quad R_a = 1 \quad I = 1 \quad \lambda = 1$$

$$T_1 = 0,259 \text{ s} \quad S(T_1 = 0,259) = 2,5$$

şeklinde alınmıştır.

Taban kesme kuvveti aşağıdaki şekilde bulunur;

$$V_t = 1,0 \times 147,8 \times 0,4 \times 1,0 \times 2,5/1,0 = 147,8 \text{ kN}$$

Tepe noktası kuvveti  $\Delta F_N$  aşağıdaki şekilde bulunur;

$$\Delta F_N = 0,0075NV_t \quad (2.13)$$

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 2 \times 147,8 = 2,217 \text{ kN}$$

Denk. (2.13)'te belirtilen  $N$ , kat sayısını göstermektedir.

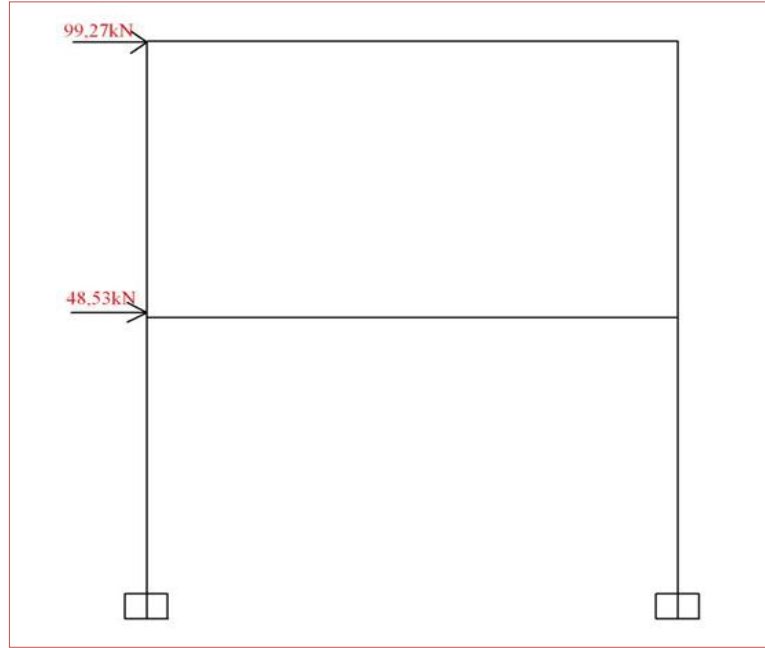
Kat kütleleri ve yükseklikleri eşit olduğu için, kat kuvvetleri aşağıdaki şekilde verilir;

$$F_1 = (V_t - \Delta F_N)/3 \quad (2.14)$$

$$F_1 = (147,8 - 2,217) / 3 = 48,53 \text{ kN}$$

$$F_2 = 2F_1 + \Delta F_N \quad (2.15)$$

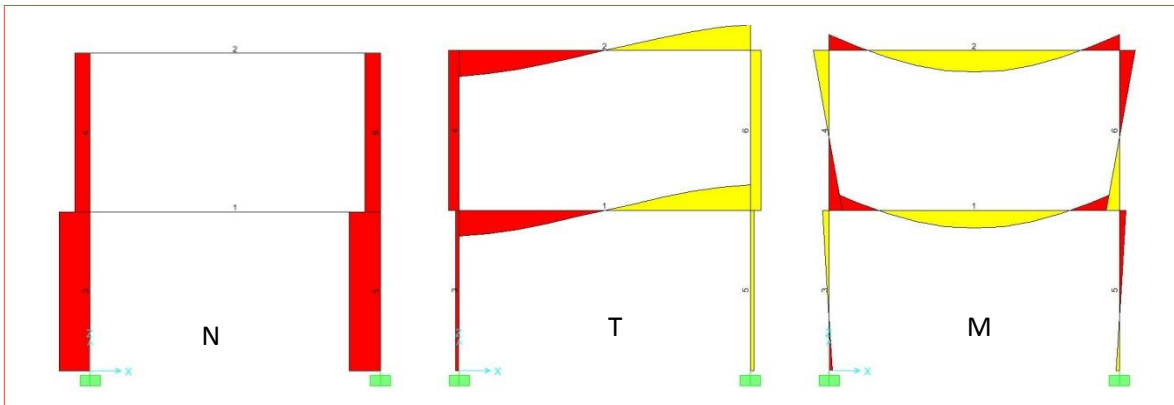
$$F_2 = 2 \times 48,53 + 2,217 = 99,27 \text{ kN}$$



Şekil 2.7. Sisteme uygulanan eşdeğer deprem kuvveti ve yükleme durumu

Böylelikle sistem üzerindeki tüm yükler belirlenmiştir. Sistem düşey ve yatay yükler altında çözülmüştür. Elde edilen iç kuvvetler Şekil 2.8 ve Tablo 2.3'te verilmiştir.

- **Düşey Yükler Altındaki İç Kuvvetler**

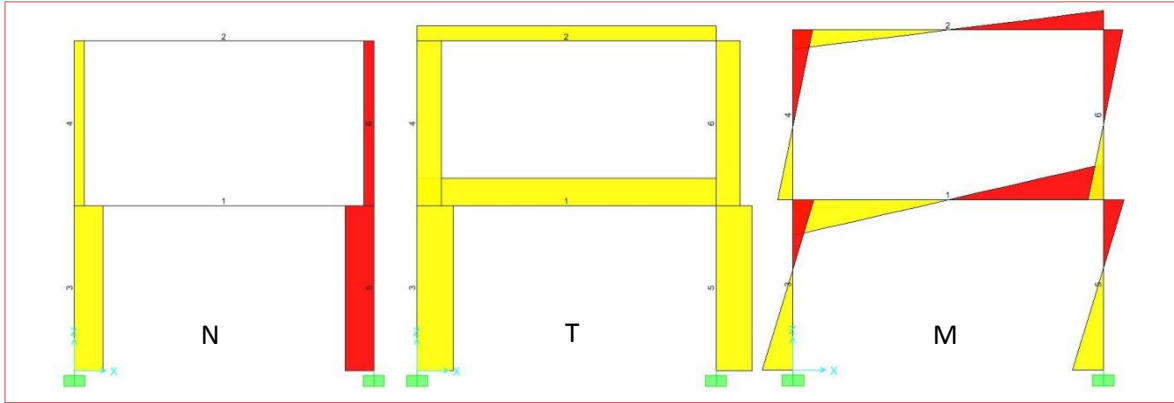


Şekil 2.8. Düşey yükler altında oluşan iç kuvvetler

Tablo 2.3. Düşey yükler altında oluşan iç kuvvetler

Eleman No	Normal Kuvvet P (kN)		Kesme Kuvveti V (kN)		Eğilme Momenti M (kNm)	
	Sol Uç	Sağ Uç	Sol Uç	Sağ Uç	Sol Uç	Sağ Uç
K101			-36,95	36,95	-32,29	-32,29
K201			-36,95	36,95	-28,06	-28,06
S101	-73,90	-73,90	-5,71	-5,71	-5,17	10,53
S201	-36,95	-36,95	-18,12	-18,12	-21,77	28,06
S102	-73,90	-73,90	5,71	5,71	5,17	-10,53
S202	-36,95	-36,95	18,12	18,12	21,77	-28,06

- Yatay Yükler Altındaki İç Kuvvetler**



Şekil 2.9. Deprem yükleri altında oluşan iç kuvvetler

Tablo 2.4. EX depremi altında oluşan iç kuvvetler

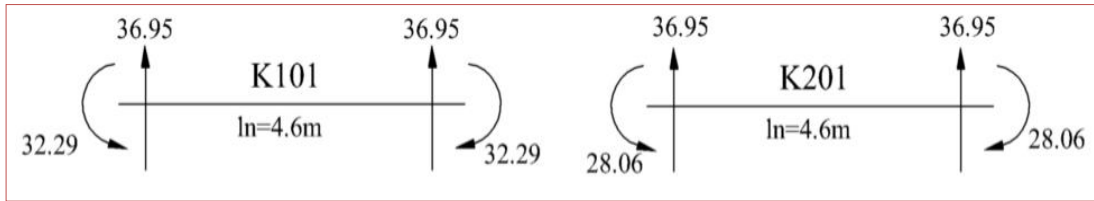
Eleman No	Çubuk No	Normal Kuvvet P (kN)		Kesme Kuvveti V (kN)		Eğilme Momenti M (kNm)	
		Sol Uç	Sağ Uç	Sol Uç	Sağ Uç	Sol Uç	Sağ Uç
K101	1			50,56	50,56	126,39	-126,39
K201	2			31,95	31,95	79,89	-79,89
S101	3	82,52	82,52	73,93	73,93	133,57	-69,74
S201	4	31,95	31,95	49,66	49,66	56,66	-79,89
S102	5	-82,52	-82,52	73,93	73,93	133,57	-69,74
S202	6	-31,95	-31,95	49,66	49,66	56,66	-79,89

- Kirişlerin Etki/Kapasite (r) Oranlarının ve Kırılma Türünün Belirlenmesi**

Kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r), deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin, kesitin artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir.

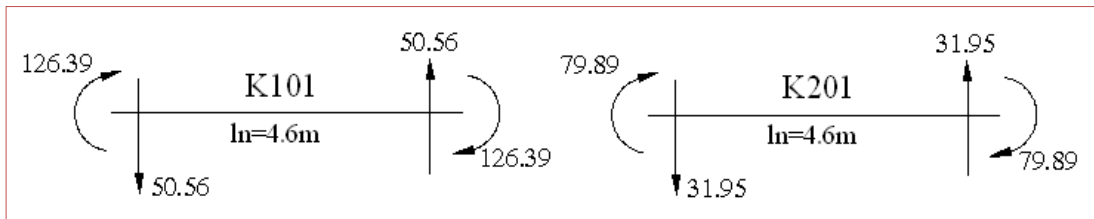
Artık eğilme momenti kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Kesitin eğilme momenti kapasitesi ise ele alınan deprem yönüyle uyumlu olmalıdır. Yani ele alınan deprem doğrultusunda kesitte oluşan moment pozitif ise o kesitin pozitif moment taşıma kapasitesi ele alınmalıdır. Kapasite momentinin hesabında pekleşme etkisi ihmal edilecektir.

$G + 0,3Q$  yüklemesi altında kiriş eğilme momentleri ( $M_D$ )



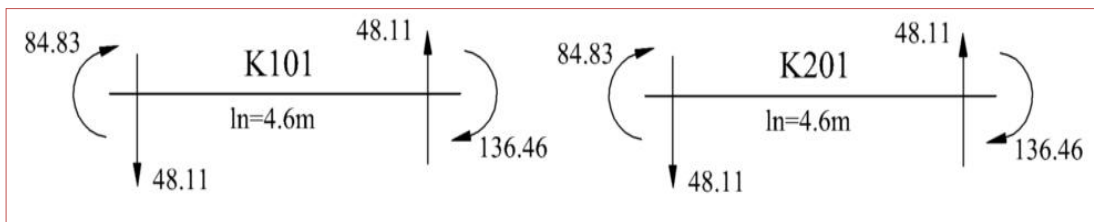
Şekil 2.10. Düşey yükler altında kirişlerde oluşan iç kuvvetler

$+X$  Depremi altında kiriş eğilme momentleri ( $M_E$ )



Şekil 2.11. EX depremi altında kirişlerde oluşan iç kuvvetler

$+X$  Depremi yönünde kiriş taşıma kapasiteleri ( $M_K$ )



Şekil 2.12. +EX depremiyle uyumlu kiriş taşıma kapasiteleri

K101 kirişinin  $i$  ucunda  $+X$  yönündeki depremde oluşan moment  $M_E = 126,39 \text{ kNm}$  olarak bulunmuştur. Kirişin deprem yönüyle uyumlu moment taşıma kapasitesi ise  $M_K = 84,83 \text{ kNm}$  hesaplanmıştır. K101 kirişinin  $i$  ucunda ise düşey yüklerden dolayı oluşan moment, deprem momentinin tersi yönünde  $M_D = -32,29 \text{ kNm}$  olarak hesaplanmıştır. K101 kirişinin  $i$  ucunun artık moment kapasitesi;

$$M_A = M_K - M_D = 84,83 - 32,29 = 117,12 \text{ kNm} \quad (2.16)$$

olarak hesaplanmıştır.

Burada kapasite momenti ile düşey yüklerden oluşan eğilme momentin yönleri terstir. Yani depremden oluşan moment, düşey yüklerden oluşan momentle ters yönlüdür. Bu yüzden artık moment kapasitesi hesaplanırken yönlerden dolayı kapasite momenti ile düşey yük momenti sayısal olarak toplanmıştır. Başka bir deyimle ele aldığımız *i* ucunda deprem momenti düşey yük momenti ile ters yönde olduğu için, deprem yüklemesinden oluşan moment önce düşey yüklerden oluşan momentini sıfırlayacak sonra kesitin eğilme kapasite momentini yakalayacaktır. Yani bu durumda *r* değeri küçük çıkacaktır. Fakat depremin tersinir olmasından dolayı bu durumun tersine olacağı unutulmamalıdır.

Bu durumda *i* ucundaki *r* aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{126,39}{117,12} = 1,079 \quad (2.17)$$

Aynı şekilde K101 kirişinin *j* ucunda artık moment kapasitesi izleyen şekilde hesaplanır;

$$M_A = M_K - M_D = 136,46 - 32,29 = 104,17 \text{ kNm} \quad (2.18)$$

Burada artık moment kapasitesi hesaplanırken kapasite momenti ile düşey yük momentinin sayısal olarak farkları alınmıştır. Çünkü *j* ucunda depremden oluşan moment ile düşey yüklerden oluşan moment aynı yönlüdür. Dolayısıyla *r* değeri büyük çıkacaktır. Başka bir ifade ile depremden dolayı oluşan moment kapasite momentini yakalamak için düşey yük momentinden başlayacaktır.

*j* ucundaki etki kapasite değeri *r* izleyen şekilde bulunur;

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{126,39}{104,17} = 1,213 \quad (2.19)$$

Aynı şekilde -X yönündeki depremde K101 kirişinin *i* ucundaki etki kapasite (*r*) değeri hesaplanırsa, *i* ucunda depremden dolayı oluşan moment negatif yönde  $M_E = 126,39 \text{ kNm}$ , bu yöndeki kapasite momenti  $M_K = 136,46 \text{ kNm}$  şeklinde hesaplanmıştır. Artık moment kapasitesi;

$$M_A = M_K - M_D = 136,46 - 32,29 = 104,17 \text{ kN} \quad (2.20)$$

-X yönü depremde ise  $i$  ucunda deprem yüklemesinden oluşan moment ile düşey yüklerden oluşan moment aynı yönlüdür. Bu yüzden artık moment kapasitesi, kapasite momenti ile düşey yüklerden oluşan momentin sayısal farkı olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda  $i$  ucundaki  $r$  izleyen şekilde hesaplanır;

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{126,39}{104,17} = 1,213 \quad (2.21)$$

Aynı şekilde  $j$  ucu için  $r$  değeri izleyen şekilde hesaplanır;

$$M_A = M_K - M_D = 84,83 - (-32,29) = 117,12 \text{ kNm} \quad (2.22)$$

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{126,39}{117,12} = 1,079 \quad (2.23)$$

Etki/kapasite değerleri hesaplandıktan sonra elemanın kırılma türü belirlenir. Elemanın kesme kuvveti taşıma kapasitesi  $V_r$ , eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan  $V_e$ , kesme kuvvetinden büyük ise elemanın kırılma tipi sünek, eğer  $V_r$  değeri  $V_e$  değerinden küçük ise elemanın kırılma tipi gevrek olarak ele alınacaktır. Eğer düşey yükler ile deprem kombinasyonundan ( $G+nQ+E$ ) hesaplanan kesme kuvveti  $V$ 'nin  $V_e$ 'den küçük olması durumunda  $V_e$  yerine  $V$  kullanılacaktır.

K101 kirişinin  $\pm X$  yönündeki deprem yüklemesinden dolayı  $i$  ucunda oluşan kesme kuvveti  $V = 50,56 \text{ kN}$  olarak bulunmuştur. Düşey yükler altında  $i$  noktasındaki kesme kuvveti  $V_{dy} = 36,95 \text{ kN}$  olarak hesaplanmıştır. Düşey yüklerle birlikte deprem kombinasyonundan oluşan moment;

$$V = V_{dy} + V_{ex} = 36,95 + 50,56 = 87,51 \text{ kN} \quad (2.24)$$

Eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan  $V_e$  kesme kuvveti aşağıdaki şekilde verilir;

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{M_{pi} + M_{pj}}{l_n} \quad (2.25)$$

$$V_e = 36,95 \pm \frac{84,83 + 136,46}{4,6} = 36,95 + 48,11 = 85,06 \text{ kN}$$

Kesme kuvveti olarak küçük olan  $V_e$  değeri ele alınır. K101 kirişinin taşıma kapasitesi  $V_r = 192,28 \text{ kN}$  olarak hesaplanmıştır (Tablo 2.2).

$V_r > V_e$  kiriş kırılma sünektir.

- **Kirişlerin Boyutsuz Kesme Kuvveti Etkisi ve Donatı Oranının Belirlenmesi**

Depremi oluşum yönüne göre kirişlerde oluşacak kesme kuvveti etkisi ve donatı oranı farklılık gösterebilir. K101 kirişi ele alınarak ilgili değerler aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Dengeli donatı oranı  $\rho_b$ , aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\rho_b = 0,85 \frac{f_{cm}}{f_{ym}} k_1 \frac{x}{d} ; \quad \frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{3}{3 + 2,1} = 0,588 \quad (2.26)$$

$$\rho_b = 0,85 \times \frac{200}{4200} \times 0,85 \times 0,588 = 0,0202$$

$$\rho = \frac{A_{st}}{b_w d} \quad (2.27)$$

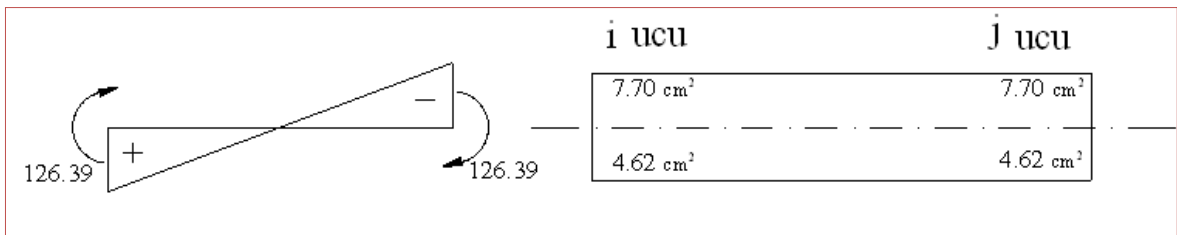
$$\rho = \frac{7,70}{25 \times 46} = 0,00670$$

$$\rho' = \frac{A_{sb}}{b_w d} \quad (2.28)$$

$$\rho' = \frac{4,62}{25 \times 46} = 0,00402$$

X Depremi altında kiriş eğilme momentleri ( $M_E$ )

K101 kirişinin i ve j ucundaki basınç ve çekme donatıları Şekil 2.13'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.13. +X depremi altında kirişte oluşan iç kuvvetler

+X yönündeki depremde K101 kirişinin *i* ucunda pozitif moment, *j* ucunda negatif moment oluşmuştur. Bu durumda *i* ucundaki alt donatı ( $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$ ) çekme donatısı, üst donatı ( $A_s = 7,70 \text{ cm}^2$ ) basınç donatısı olmaktadır. +X yönündeki depremde K101 kirişinin *j* ucunda negatif moment oluşmuştur. Bu durumda *j* ucundaki üst donatı ( $A_s = 7,70 \text{ cm}^2$ ) çekme donatısı, alt donatı ( $A_s = 4,62 \text{ cm}^2$ ) basınç donatısı olmaktadır. Bu durumda +X yönündeki depremde K101 kirişinin *i* ve *j* ucu için çekme, basınç donatı oranları Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. K101 kirişi etkili donatı oranları

Mesnet	$A_s$ ( $\text{cm}^2$ )	$A_s'$ ( $\text{cm}^2$ )	$\rho_b$ %	$\rho$ %	$\rho'$ %	$(\rho-\rho')/\rho_b$ %
Negatif= <i>j</i>	7,70	4,62	2,024	0,670	0,402	0,132
Pozitif= <i>i</i>	4,62	7,70	2,024	0,402	0,670	-0,132

Tablo 2.5'te görüldüğü gibi +X yönü depremde K101 kirişinin *i* ucunda donatı oranı etkisi negatif, *j* ucunda ise pozitif çıkmıştır. -X yönü depremde K101 kirişinin uçlarındaki momentler işaret değiştirecektir. Dolayısıyla her bir uçtaki çekme donatıları basınç, basınç donatıları çekme donatısı olacaktır.

Kesme kuvvetinin etkisi deprem yönüne göre önem kazanmaktadır. K101 kirişinin düşey yüklerden dolayı *i* ve *j* uçlarındaki kesme kuvveti  $V = 36,95 \text{ kN}$  dur. Bu kirişin +X yönündeki depremde eğilme kapasitesinden dolayı *i* ve *j* uçlarında oluşan kesme kuvveti  $V = 48,11 \text{ kN}$ 'dur ve *i* ucunda bu kesme kuvvetleri ters yönlü *j* ucunda ise aynı yönlüdür. Her bir uçta  $V_e$  kesme kuvveti hesaplanırsa aşağıdaki değerler bulunur;

$$V_{ie} = 48,11 - 36,95 = 11,16 \text{ kN}$$

$$V_{je} = 48,11 + 36,95 = 85,06 \text{ kN}$$

Her bir uç için boyutsuz kesme kuvveti etkisi aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\frac{V_{ie}}{b_w d f_{ctm}} = \frac{1116}{25 \times 46 \times 16} = 0,061 \quad (i \text{ ucu})$$

$$\frac{V_{je}}{b_w d f_{ctm}} = \frac{8506}{25 \times 46 \times 16} = 0,462 \quad (j \text{ ucu})$$

Kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan  $r_s$ ; boyutsuz kesme kuvveti etkisi ve donatı oranı etkisi kombinasyonu ile belirlenir. +X yönlü depremde K101 kirişinin *i* ucunda





kesme kuvveti etkisi üzerinde yapılacaktır. K101 kirişinin sınır değerler Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6. K101 kirişi kesit hasar sınırı

K101			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
0,132	Var	0,343	3,00	6,47	9,21
0,132	Yok	0,343	2,37	3,74	5,74

K101 kirişinin +X yönlü depremde etki kapasite oranı  $r = 1,08$  olarak bulunmuştur. Bu değer sınır değerlerle karşılaştırılırsa K101 kirişinin kesit hasar sınırı (MN)’nin altında, hasar bölgesi minimum hasar bölgesinde çıkmaktadır.

$$r = 1,08 < 3$$

Kesit hasar sınırı: Minimum hasar sınırı (MN)

Kesit hasar bölgesi: Minimum hasar bölgesi

K101 ve K102 kirişlerinin hesap özetleri Tablo 2.7 ve 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.7. Kiriş iç kuvvetleri ve donatı alanları

Kesit Özellikleri				$G+0.3Q$		$EX$		Donatı Alanları		
				Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Kesme Donatısı	Sol Mesnet	Sağ Mesnet
Kiriş No	$b_w$ (cm)	$h$ (cm)	$l_n$ (m)	$M$ (kNm)	$M$ (kNm)	$M$ (kNm)	$M$ (kNm)	$(A_s/s)$	$As'$ (cm <sup>2</sup> )	$As'$ (cm <sup>2</sup> )
				$V$ (kN)	$V$ (kN)	$V$ (kN)	$V$ (kN)	cm <sup>2</sup> /cm	$As$ (cm <sup>2</sup> )	$As$ (cm <sup>2</sup> )
K101	25	50	4,6	-32,29	-32,29	126,39	-126,39	0,05	7,70	4,62
				-36,95	36,95	50,56	50,56		4,62	7,70
K201	25	50	4,6	-28,06	-28,06	79,89	-79,89	0,05	7,70	4,62
				-36,95	36,95	31,95	31,95		4,62	7,70

Tablo 2.8. Kiriş hasar tablosu

Kiriş No	$\rho_b$	$(\rho - \rho')/\rho_b$ sol	$(\rho - \rho')/\rho_b$ sağ	Eleman Kırılma Tipi	Sargılama	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Kesit Hasar sınırı
		$M^-$	$M^-$		sol mesnet	$r^-$	$r^-$	$v$	$v$	
K101	0,020	$M^+$	$M^+$	sünek	sağ mesnet	$r^+$	$r^+$	$v$	$v$	MN
		0,132	0,132		var	1,21	1,21	0,462	0,462	
K201	0,020	-0,132	-0,132	sünek	var	1,08	1,08	0,061	0,061	MN
		0,132	0,132		var	0,74	0,74	0,374	0,374	
K201	0,020	-0,132	-0,132	sünek	var	0,71	0,71	0,027	0,027	MN
		0,132	0,132		var	0,71	0,71	0,027	0,027	

- **Kolonların Etki/Kapasite (r) Oranlarının ve Kırılma Türünün Belirlenmesi**

Betonarme bir kesitin karşılayabileceği eğilme momenti ve normal kuvvet sınır değerleri beton ve donatı için kabul edilecek gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak hesap edilebilir ve *Karşılıklı Etki Diyagramı* olarak bilinen bu diyagram bir eksen takımında çizilebilir.

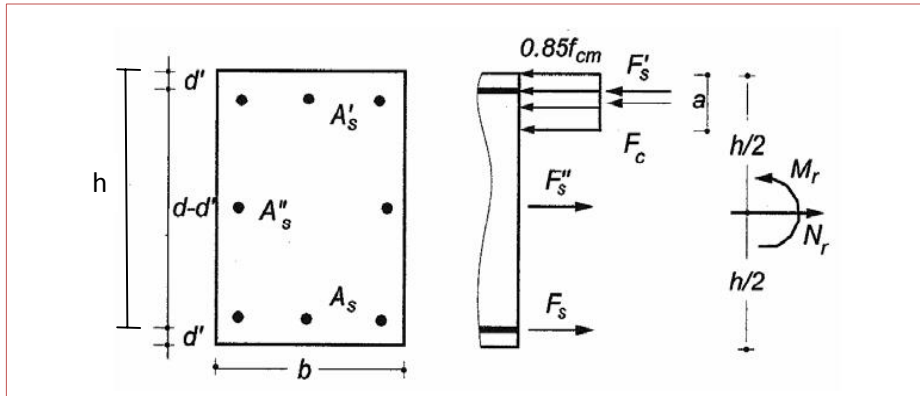
$$N_{0\text{ÇEKME}} = A_s f_{ym}$$

$$N_{0\text{ÇEKME}} = 1608 \times 420 = 675360 \text{ N} = 675,36 \text{ kN}$$

$$N_{0\text{BASINÇ}} = A_s f_{ym} + 0,85 f_{cm} b h$$

$$N_{0\text{BASINÇ}} = (1608 \times 420) + (0,85 \times 20 \times 400 \times 400) = 3395360 \text{ N}$$

$$N_{0\text{BASINÇ}} = 3395,36 \text{ kN}$$



Şekil 2.15. Kolonda dengeli şekildeğiştirme durumu etkileri

Dengeli durum için;

$$\frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{3}{3 + 2,1} = 0,588$$

$$x = 0,588d = 0,588 \times 360 = 212 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 x = 0,85 \times 212 = 180 \text{ mm}$$

$$F_c = 0,85 f_{cm} b a = 0,85 \times 20 \times 400 \times 180 = 1224000 \text{ N} = 1224 \text{ kN}$$

$$F_s = A_s \sigma_s$$

$$F_s = 603 \times 420 = 253260 \text{ N} = 253 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \frac{x - d'}{x} = 0,003 \frac{212 - 40}{212} = 0,00243$$

$$\sigma_s' = E\varepsilon_s' = 200000 \times 0,00243 = 486$$

$$F_s' = A_s' \sigma_s'$$

$$F_s' = 603 \times 486 = 293058 \text{ N} = 293 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_s'' = \varepsilon_{cu} \frac{x - h/2}{x} = 0,003 \frac{212 - 200}{212} = 0,0001698$$

$$\sigma_s'' = E\varepsilon_s''$$

$$\sigma_s'' = 200000 \times 0,0001698 = 34 \text{ MPa}$$

$$F_s'' = A_s'' \sigma_s''$$

$$F_s'' = 402 \times 34 = 13653 \text{ N} = 14 \text{ kN}$$

$$N_r = F_c + F_s''$$

$$N_r = 1224 + 14 = 1238 \text{ kN}$$

$$M_r = F_c(0,5h - 0,5a) + F_s(0,5h - d') + F_s'(0,5h - d')$$

$$M_r = 1224(0,5 \times 400 - 0,5 \times 212) + 253(0,5 \times 400 - 40) + 293(0,5 \times 400 - 40)$$

$$M_r = 115056 + 40480 + 46880 = 202416 \text{ kNmm} = 202,416 \text{ kNm}$$

Şekil 1.7'de moment-eksenel kuvvet etkileşim diyagramı görülmektedir. Şekildeki D noktasının koordinatları, düşey yüklerden meydana gelen  $M_D - N_D$  çiftine karşı gelmektedir. D noktasından başlayan ve etkileşim diyagramının dışına çıkan ikinci doğru parçasının bitiş noktası düşey yük ve deprem kombinasyonunun koordinatlarını vermektedir. Şekil 1.7a'da düşey yüklerde oluşan moment ile depremden oluşan moment aynı yönlü, Şekil 1.7b'de ise ters yönlüdür. Kolon eksenel yük ve moment çifti etkileşim diyagramının dışına çıkamayacağına göre, şekildeki ikinci doğrunun etkileşim diyagramını kestiği K noktasının koordinatları, kolon taşıma kapasitesi olan  $M_K - N_K$  çiftini verir.

Artık moment kapasitesi ve buna karşı gelen eksenel yük izleyen şekilde tanımlanır;

$$M_A = M_K - M_D \quad (2.29a)$$

$$N_A = N_K - N_D \quad (2.29b)$$

Kolon etki kapasite oranı aşağıdaki şekilde verilir;

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{M_E}{M_K - M_D} = \frac{N_E}{N_A} = \frac{N_E}{N_K - N_D} \quad (2.30)$$

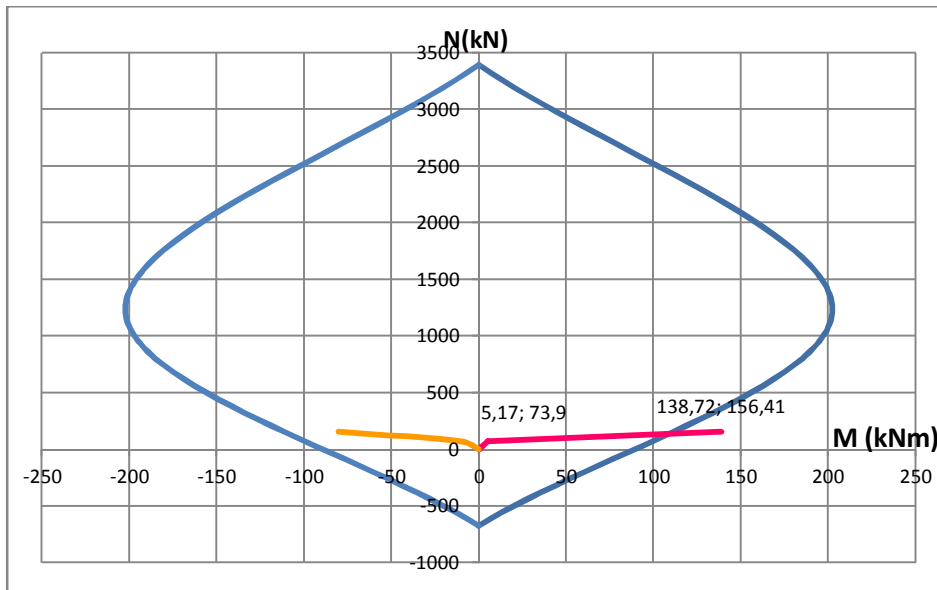
S102 kolonu ele alınırsa, S102 kolonun alt ucunda ve üst ucunda düşey yüklerden ve depremden elde edilen iç kuvvetler Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'teki değerler alınarak aşağıdaki şekilde verilir;

Alt uç:

$$N_D = 73,90 \text{ kN} \quad N_E = 82,51 \text{ kN} \quad N_{D+E} = 156,41 \text{ kN}$$

$$M_D = 5,17 \text{ kNm} \quad M_E = 133,55 \text{ kNm} \quad M_{D+E} = 138,72 \text{ kNm}$$

Moment ve eksenel yük etkileşim diyagramının dışına çıkan ikinci doğrusal çizginin başlangıç değerlerini  $M_D - N_D$  çifti, bitiş değerlerini  $M_{D+E} - N_{D+E}$  değerleri oluşturacaktır. Bu değerler S102 kolonunu etkileşim grafiği üzerinde Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Kolon kapasite kuvvetinin bulunması

Şekil üzerindeki ikinci doğrusal çizginin etkileşim grafiğini kestiği noktanın eksenler üzerindeki iz düşümleri  $M_K - N_K$  değerlerini verecektir. S102 kolonun alt (*i*) ucu için bu değerler aşağıda verilmektedir.

$$N_K = 142 \text{ kN} \quad M_K = 122 \text{ kNm}$$

Böylelikle S102 kolonun alt ucu (*i*) için  $r$  değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{M_E}{M_K - M_D} = \frac{133,55}{122 - 5,17} = 1,15$$

$N_k$  normal kuvvetinin  $r$  hasar sınırlarının belirlenmesine etkisi aşağıdaki şekilde verilir;

$$n = \frac{N_k}{A_c f_{cm}} = \frac{14200}{40 \times 40 \times 200} = 0,0444$$

Üst uç;

$$N_D = 73,90 \text{ kN} \quad N_E = 82,51 \text{ kN} \quad N_{D+E} = 156,41 \text{ kN}$$

$$M_D = -10,53 \text{ kNm} \quad M_E = -69,73 \text{ kNm} \quad M_{D+E} = -80,26 \text{ kNm}$$

S102 kolonunun üst (*j*) ucu için yukarıda anlatıldığı şekilde  $M_K - N_K$  değerleri bulunur.

$$N_K = 156,41 \text{ kN} \quad M_K = -80,26 \text{ kNm}$$

Görüldüğü gibi kapasite momenti deprem altında oluşan moment ile uyumlu olarak hesaplanmıştır.  $r$  değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{M_E}{M_K - M_D} = \frac{-69,73}{-80,26 + 10,53} = 1,00$$

$N_k$  normal kuvvetinin etki kapasite hasar sınırlarının belirlenmesine etkisi aşağıdaki şekilde verilir;

$$n = \frac{N_k}{A_c f_{cm}} = \frac{15641}{40 \times 40 \times 200} = 0,0488$$

S102 Kolonunun kesme güvenliğinin belirlenirse  $G+nQ+Ex$  yüklemesi altında kolonun alt ve üst ucunda oluşan normal kuvvet  $N_{D+E} = 156,41 \text{ kN}$  olarak elde edilmişti.

Bu normal kuvvet altında kolonun pekleşmesiz moment taşıma kapasitesi  $M_a = M_{ra} = 124,4$  kNm olarak elde edilir. Buradan eğilme kapasitesinden oluşan keme kuvveti aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$V_e = \frac{M_{ra} + M_{ru}}{l_n} = \frac{124,4 + 124,4}{2,5} = 98,87 \text{ kN} \quad (2.31)$$

$G+nQ+Ex$  yüklemesinden S102 kolonunda oluşan kesme kuvveti;

$$V_{G+nQ} = 5,71 \quad V_{Ex} = 73,92 \quad V_{G+nQ+Ex} = 79,63 \text{ kN} \quad (2.32)$$

elde edilir.

$G+nQ+Ex$  yüklemesinden elde edilen kesme kuvveti  $V_e$  den küçük olduğu için ( $V_{G+nQ+Ex} < V_e$ ),  $V_{G+nQ+Ex}$  küçük olan kesme kuvveti değeri olan 79,63 kN olarak ele alınacaktır. Kolonların kesme kuvveti taşıma kapasitesi  $V_r = 195,41$  kN olarak bulunmuştu.

$$V_{G+nQ+Ex} < V_r$$

Görüldüğü gibi S102 kolonunun kırılma türü sünektir. S102 kolonun etki kapasite sınırlarının belirlenmesinde kesme kuvveti etkisi aşağıdaki şekilde verilir;

$$v = \frac{V_e}{b_w d f_{ctm}} = \frac{7963}{40 \times 36 \times 16} = 0,346 \quad (2.33)$$

- **Kolonların Kesit Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi**

S102 kolonunun alt ve üst uçlarında hesaplanan etki kapasite oranları, normal kuvvet etkisi ve kesme kuvveti etkisine göre S102 kolonunun kesit hasar seviyeleri Tablo 1.3 kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir.

Alt uç:

S102 kolonunun alt ucunda aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$r = 1,15 \quad n = 0,0444 \quad v = 0,346$$

Elde edilen değerler tabloda verilen değerlerle karşılaştırılırsa normal kuvvet etkisi ve kesme kuvveti etkisi aşağıdaki aralıklardadır;

$$n < 0,1$$

$$v < 0,65$$

Buradan r değeri karşılaştırılırsa aşağıdaki sonuç elde edilir;

$$r = 1,15 < r_{MN} = 3$$

Kesit hasar sınırı: Hemen Kullanım (HK) hasar sınırının altında

Kesit hasar bölgesi: Minimum hasar bölgesi

Üst uç:

S102 kolonunun üst ucunda aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$r = 1,00 \quad n = 0,0488 \quad v = 0,346$$

Elde edilen değerler tabloda verilen değerlerle karşılaştırılırsa normal kuvvet etkisi ve kesme kuvveti etkisi aşağıdaki aralıklardadır;

$$n < 0,1$$

$$v < 0,65$$

Buradan r değeri karşılaştırılırsa aşağıdaki sonuç elde edilir;

$$r = 1,00 < r_{MN} = 3$$

Kesit hasar sınırı: Hemen Kullanım (HK) hasar sınırının altında

Kesit hasar bölgesi: Minimum hasar bölgesi

Eğer normal kuvvet etkisi değeri  $n$  ve kesme kuvveti etkisi  $v$  yukarıda verilen tabloda ara değerler arasında kalsaydı bu değerler için enterpolasyon yapılacaktı.

Tablo 2.9 ve Tablo 2.11'de tüm kolonların kesit özellikleri, iç kuvvetleri ve hasar sınırları verilmiştir. Eleman iç kuvvetlerinin gösteriminde normal kuvvetin negatif değeri basınç olduğundan  $N_k$  değerlerinin de negatif değerleri basınç kuvvetini temsil eder.  $N_k$  değerlerine karşı gelen moment taşıma kapasiteleri her durumda pozitif olarak kabul edilmiştir. Fakat bu moment değerleri deprem momenti ile uyumlu olarak ele alınmıştır. Depremin ters yönde etkimesi durumu içinde elemanların hasar durumları hesaplanmıştır. Düzlem çerçeve modelindeki tüm kolonlar Hemen Kullanım seviyesinde oldukları belirlenmiştir.



Tablo 2.10 ve Tablo 2.12’de kolon hasar seviyelerini ve hasar sınırları gösterilmektedir.

+ X yönlü Deprem:

Tablo 2.9. + X depreminde kolon iç kuvvetleri

<b>G+nQ+EX</b>				<b>Donatı Alanları</b>		<b>G+nQ (kN-m)</b>			<b>EX (kN-m)</b>		
Kolon No	h (cm)	b (cm)	ln (m)	Asu1 (cm <sup>2</sup> )	Aswu/s (cm <sup>2</sup> /cm)	N	Mxu (My)	Vxu	N	Mxu(My)	Vxx
				Asa1 (cm <sup>2</sup> )	Aswa/s (cm <sup>2</sup> /cm)	+ = çekme	Mxa(My)	Vxa	N	Mxa(My)	Vyy
S201	40	40	2,5	6,0	0,085	-36,95	28,06	-18,12	31,95	-79,89	49,66
				6,0	0,085	-36,95	-21,77	-18,12	31,95	56,67	49,66
S101	40	40	2,5	6,0	0,085	-73,90	10,53	-5,71	82,51	-69,73	73,92
				6,0	0,085	-73,90	-5,17	-5,71	82,51	133,55	73,92
S202	40	40	2,5	6,0	0,085	-36,95	-28,06	18,12	-31,95	-79,89	49,66
				6,0	0,085	-36,95	21,77	18,12	-31,95	56,67	49,66
S102	40	40	2,5	6,0	0,085	-73,90	-10,53	5,71	-82,51	-69,73	73,92
				6,0	0,085	-73,90	5,17	5,71	-82,51	133,55	73,92

Tablo 2.10. +X depreminde kolon hasar sınırları

Kolon No	<b>G+nQ+EX</b>			<b>Nk Mk (kN-m)</b>			Kırılma Türü	<b>Hasar Sınırı</b>				
	Nkü	Mrxx(My)	Vrxu	Nka	Mryy(Mx)	Vrxa		ru	N <sub>k</sub> /A <sub>fcm</sub>	Sarıлма	V <sub>d</sub> /bdf <sub>cm</sub>	Hasar Sınırı
S201	-5	51,83	184,33	-5	34,90	184,33	SÜNEK	1,00	0,035	var	0,294	MN
	-5	51,83	184,33	-5	34,90	184,33		1,00	0,003	var	0,294	MN
S101	-9	59,20	182,13	-8	102,23	184,13	SÜNEK	1,00	0,003	var	0,346	MN
	-9	59,20	182,13	-8	102,23	184,13		1,26	0,003	var	0,346	MN
S202	-69	104,68	187,68	-69	78,44	187,68	SÜNEK	1,04	0,022	var	0,294	MN
	-69	104,68	187,68	-69	78,44	187,68		1,00	0,022	var	0,294	MN
S102	-156	80,26	192,27	-118	114,50	196,79	SÜNEK	1,00	0,048	var	0,346	MN
	-156	80,26	192,27	-118	114,50	196,79		1,15	0,044	var	0,346	MN

- X yönlü Deprem:

Tablo 2.11. - X depreminde kolon iç kuvvetleri

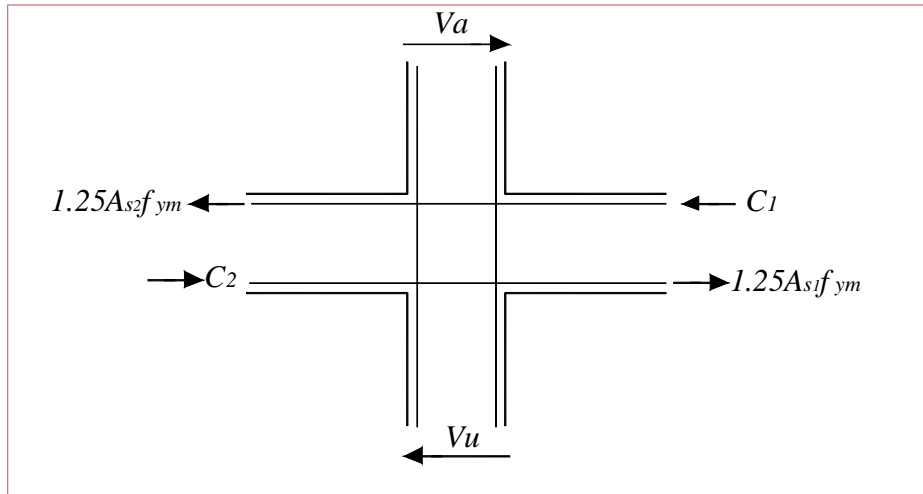
<b>G+nQ-EX</b>				<b>Donatı Alanları</b>		<b>G+nQ (kN-m)</b>			<b>-EX (kN-m)</b>		
Kolon No	h (cm)	b (cm)	ln (m)	Asu1 (cm <sup>2</sup> )	Aswu/s (cm <sup>2</sup> /cm)	N	Mxu (My)	Vxu	N	Mxu(My)	Vxx
				Asa1 (cm <sup>2</sup> )	Aswa/s (cm <sup>2</sup> /cm)	+ = çekme	Mxa(My)	Vxa	N	Mxa(My)	Vyy
S201	40	40	2,5	6	0,085	-36,95	28,06	-18,12	-31,95	79,89	-49,66
				6	0,085	-36,95	-21,77	-18,12	-31,95	-56,67	-49,66
S101	40	40	2,5	6	0,085	-73,90	10,53	-5,71	-82,51	69,73	-73,92
				6	0,085	-73,90	-5,17	-5,71	-82,51	-133,55	-73,92
S202	40	40	2,5	6	0,085	-36,95	-28,06	18,12	31,95	79,89	-49,66
				6	0,085	-36,95	21,77	18,12	31,95	-56,67	-49,66
S102	40	40	2,5	6	0,085	-73,9	-10,53	5,71	82,51	69,73	-73,92
				6	0,085	-73,9	5,17	5,71	82,51	-133,55	-73,92

Tablo 2.12. - X depreminde kolon hasar sınırları

**	Nk Mk (kN-m)			Kırılma Türü	Hasar Sınırı					
	Kolon No	$N_{k\bar{u}}$	$M_{rxx}(M_y)$		$V_{rxu}$	$r_u$	$N_k/A_c f_{cm}$	Sarıлма	$V_e/bd f_{cm}$	Hasar Sınırı
S201		-69	107,95	187,68	SÜNEK	1,00	0,022	var	0,294	MN
		-69	78,44	187,68		1,00	0,022	var	0,294	MN
S101		-145	70,63	191,67	SÜNEK	1,16	0,045	var	0,346	MN
		-156	138,72	192,27		1,00	0,049	var	0,346	MN
S202		-5	51,83	184,33	SÜNEK	1,00	0,002	var	0,294	MN
		-5	34,90	184,33		1,00	0,002	var	0,294	MN
S102		-9	44,32	184,56	SÜNEK	1,27	0,003	var	0,344	MN
		-9	128,38	182,13		1,00	0,003	var	0,344	MN

Binanın yapısal performansı “Can Güvenliği” düzeyindedir. Bina 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için hedeflenen “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamaktadır.

- **Kolon Kiriş Birleşim Bölgelerinde Kesme Güvenliğinin İrdelenmesi**

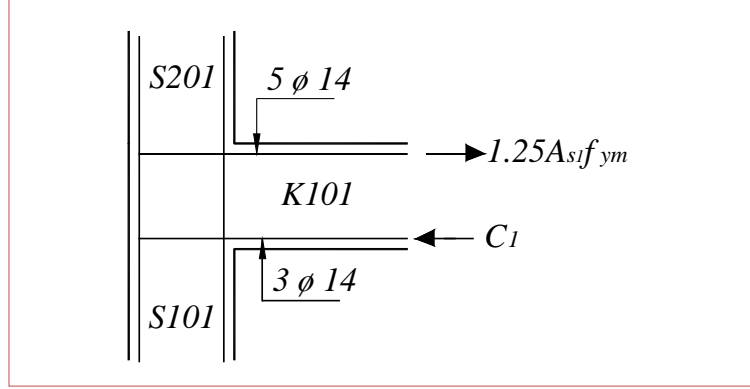


Şekil 2.17. Kolon kiriş birleşim bölgesi (DBYBHY 2007).

Birleşim bölgesinde kesme güvelliği hesaplanırken göz önüne alınan deprem doğrultusunda kolon kiriş birleşim bölgesindeki kesme kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$V_e = 1,25f_{ym}(A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (2.34)$$

Kirişin kolona sadece bir taraftan saplandığı ve öbür tarafa devam etmediği durumlarda  $A_{s2} = 0$  olacaktır.



Şekil 2.18. Birleşim bölgesi kiriş donatıları

$$V_e = 1,25 \times 4200 \times 7,7 = 404,25 \text{ kN} \quad (2.35)$$

Birleşim bölgesinde hesaplanan kesme kuvveti hiçbir zaman aşağıda verilen değeri geçemez.

$$V_e < V_r ;$$

$$V_r = 0.6 b_j h f_{cm} \quad \text{kuşatılmış birleşimlerde} \quad (2.36a)$$

$$V_r = 0.45 b_j h f_{cm} \quad \text{kuşatılmamış birleşimlerde} \quad (2.36b)$$

$$V_r = 0,45 \times 250 \times 400 \times 20 = 900 \text{ kN}$$

Birleşim bölgelerinde kesme güvenliği sağlanmaktadır.

- **Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması**

Görelî kat ötelemelerinin kontrolünde; herhangi bir kattaki tüm kolon ve perdelerin görelî kat ötelemeleri kontrol edilerek en büyük değere sahip elemanın görelî kat öteleme değeri o katın görelî kat ötelemesi olarak ele alınacaktır.

Sistemin düzlem çerçeve olması sebebiyle kat burulması söz konusu değildir ve aynı zamanda kiriş eksenel şekildeğiştirmesinin ihmal edilmesi (rijit diyafram kabulü) ile kat kolonlarının aynı yatay yerdeğiştirmeyi yapacağı açıktır. Dolayısıyla ilgili kat için o kattaki herhangi bir kolonun yerdeğiştirme değerini ele almak yeterli olacaktır.

X doğrultusundaki deprem altında sistemin görelî kat ötelemeleri Tablo 2.13'te verilmiştir.

Tablo 2.13. Göreli kat ötelemeleri

<i>Kat No</i>	<i>h<sub>i</sub> (m)</i>	<i>d<sub>i,max</sub> (m)</i>	<i>δ<sub>i,max</sub> (m)</i>	<i>δ<sub>i,max</sub>/h<sub>i</sub></i>
2	3,00	0,0225	0,0120	0,0040
1	3,00	0,0105	0,0105	0,0035

Binanın her bir katındaki göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması, her bir hasar sınırı için Tablo 1.5’te verilmiştir.

Göreli kat ötelemeleri Tablo 1.5’te verilen hasar sınırını aşmayacaktır. Aksi takdirde *r* değerleri kullanılarak yapılan performans değerlendirilmesi göz önüne alınmayacaktır.

Ele alınan sistem için göreli kat ötelemesi bazında belirlenen hasar sınırı Tablo 2.14’te verilir:

Tablo 2.14. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

<i>Kat No</i>	<i>δ<sub>i,max</sub>/h<sub>i</sub></i>	<i>Koşul</i>	<i>Hasar Sınırı</i>
2	0,0040	<0,01	<b>MN</b>
1	0,0035	<0,01	<b>MN</b>

- **Bina Deprem Performansının Belirlenmesi**

Kritik kesitleri MN’ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*’nde, GÇ’yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*’nde olduğu Şekil 1.6’da gösterildiği gibi kabul edilecektir.

Sistemi oluşturan düzlem çerçeve modeli, performans değerlendirme yöntemlerini ayrıntılı olarak incelemek için ele alınan sembolik bir modeldir. Dolayısıyla bu sembolik model için yapısal performanstan söz etmek doğru olmayacaktır. Bunun yerine analiz sonucunda elemanlarda oluşan hasar seviyeleri özetlenecektir. Yapılan analiz sonucunda sistemdeki tüm elemanların minimum hasar bölgesinde yer aldığı görülmüştür.

### 2.1.3. Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi İle Belirlenmesi

#### 2.1.3.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- **Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Dağılımının Belirlenmesi**

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan bir statik analiz yapılır. Bu analiz kuvvet kontrollüdür ve bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır. Doğrusal olmayan statik analiz hesabında düşey yükler aşağıdaki şekilde dikkate alınır:

Düsey yük kombinasyonu:  $G + nQ = G + 0,3Q$

Artımsal itme analizi için öncelikle itme hesabında kullanılacak, sistem üzerindeki orantılı yük dağılımının belirlenmesi gerekir. Artımsal itme analizi yerdeğiştirme kontrollü olduğu için yükler arasındaki oran önemlidir yükün şiddetinin önemi yoktur. Bunun için çatlama kesitler kullanılarak oluşturulan sistemin doğrusal elastik yolla periyot hesabı yapılır ve 1. hakim periyotu hesaplanır. Hakim moda karşı gelen kütle katılım oranı % 70' den fazla olmalıdır. Aksi halde eşdeğer artımsal yöntem uygulanamaz.

İtme analizinde kullanılacak yük dağılımı hakim moddan elde edilir. Yani hakim moddan kat kuvvetleri hesaplanarak itme analizinin yük dağılımı olarak alınır.

Sistemin hakim periyodu ve kütle katılım oranı Tablo 2.15'te verilmiştir.

Tablo 2.15. Sistemin periyot ve kütle katılım oranları

Mod Numarası	Periyot s	Titreşim Doğrultusu Ux Kütle Katılım Oranı	Toplam Kütle
1	0,259	0,883	0,883
2	0,076	0,117	1,000

Sistemin birinci mod vektörü ve kütle matrisi aşağıdaki şekilde verilir;

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1,000 \\ 0,467 \end{Bmatrix} \quad m = \begin{bmatrix} 7,53 & 0 \\ 0 & 7,53 \end{bmatrix}$$

Tablo 2.15'te görüleceği üzere hakim modun kütle katılım oranı yeterlidir ve bu moda göre katlara etkileyen yatay yükler aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\{F_1\} = \Gamma_1 [m] \{\phi_1\} S_{a1} \quad (2.37)$$

Burada  $\Gamma_1$  ve  $S_{a1}$  çarpımına  $V_{b1}$  denilirse hakim modun kat kuvvetleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} f_{12} \\ f_{11} \end{Bmatrix} = [m] \{\phi_1\} V_{b1} = \begin{bmatrix} 7,53 & 0 \\ 0 & 7,53 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} 1,000 \\ 0,467 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 7,53V_{b1} \\ 3,52V_{b1} \end{Bmatrix} \quad (2.38)$$

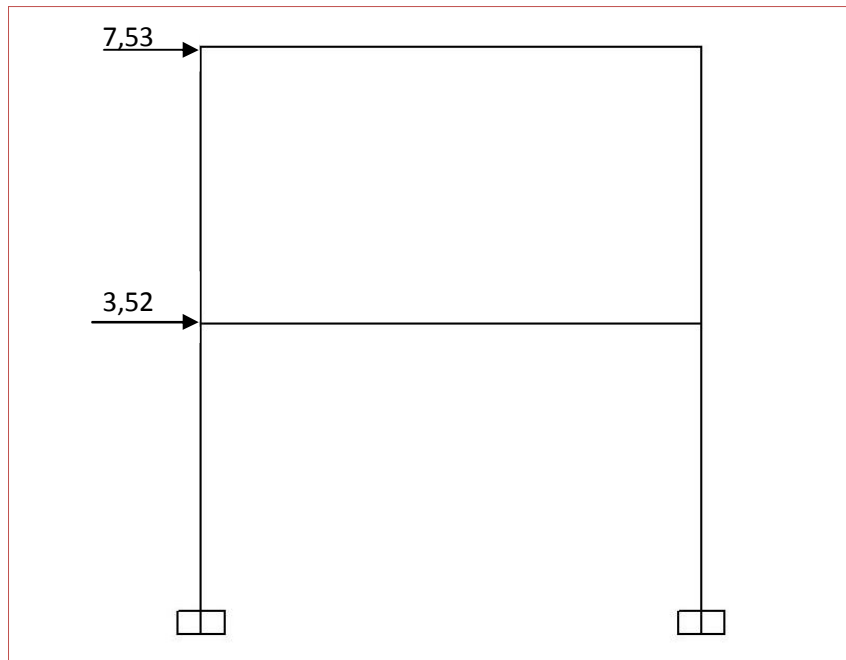
Böylelikle her bir kata gelen birim kuvvet hesaplanmış olur. Burada şöyle bir yolda izlenebilir; öncelikle  $V_t$  taban kesme kuvveti hesaplanır ya da bu kuvvetin varlığı kabul edilir ve bu kuvvet her kata kütlesi ve genliği ile orantılı olarak (hakim moda ait genlik) Denk. (2.39 – 2.39b)'de gösterildiği şekilde dağıtılır.

$$f_{ij} = \frac{\phi_{ij} \times m_j}{\sum \phi_{ij} \times m_j} \times V_t \quad 2.39$$

$$f_{11} = \frac{\phi_{11} \times m_1}{\phi_{11} \times m_1 + \phi_{12} \times m_2} \times V_t \quad 2.39a$$

$$f_{12} = \frac{\phi_{12} \times m_2}{\phi_{11} \times m_1 + \phi_{12} \times m_2} \times V_t \quad 2.39b$$

Katlara yapılan birim yüklemeler Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.19. İtme analizinde kullanılacak yük dağılımı

- **Yöntemin Uygulanabilirliği**

Binanın toplam katsayısı 8’i aşmadığından ve ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları bütün katlarda  $\eta_{bi} < 1,4$  koşulu sağlandığından ve hakim modun kütle katılım oranı % 70 den fazla olduğu için “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ile itme analizi uygulanabilir.

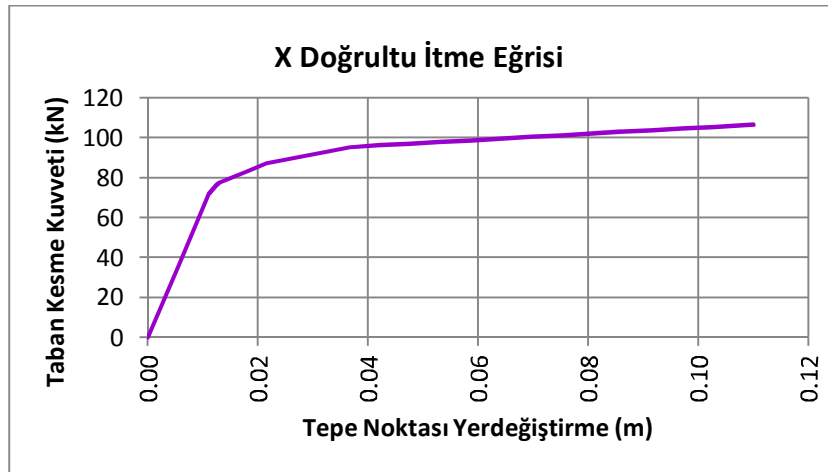
- **İtme Analizi**

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılmıştır (DBYBHY 2007 Madde 7.6.5.3). Buna göre hakim titreşim modu ile orantılı

olarak katlara gelen yükler altında yapılan itme analizinden elde edilen itme eğrisi Şekil 2.20’de ve bu eğrinin sayısal değerleri Tablo 2.16’da verilmiştir.

Tablo 2.16. İtme analizi taban kesme kuvveti ve tepe noktası yerdeğiştirmesi

Adım	Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Plastik Mafsal Sayısı
0	0,0000	0,000	0
1	0,0055	35,895	0
2	0,0110	71,790	2
3	0,0124	76,170	3
4	0,0130	77,540	4
5	0,0185	83,816	4
6	0,0215	87,200	5
7	0,0270	90,139	5
8	0,0325	93,079	5
9	0,0366	95,281	6
10	0,0421	96,111	6
11	0,0476	96,943	6
12	0,0531	97,774	6
13	0,0586	98,607	6
14	0,0641	99,440	6
15	0,0696	100,274	6
16	0,0751	101,109	6
17	0,0806	101,944	6
18	0,0861	102,780	6
19	0,0916	103,616	7
20	0,0971	104,422	7
21	0,1026	105,228	7
22	0,1081	106,035	7
23	0,1100	106,318	7



Şekil 2.20. Statik itme eğrisi

Bunun için (i)'nci itme adımında (j)' inci moda ait modal ivme ve modal yerdeğiştirme sırasıyla aşağıdaki şekilde verilir;

$$a_j^{(i)} = \frac{V_{xj}^{(i)}}{M_{x(j)}^*} \quad (2.40)$$

$$d_j^{(i)} = \frac{u_{xNj}^{(i)}}{\Phi_{xNj}\Gamma_{xj}} \quad (2.41)$$

Burada birinci mod ele alındığı için, (i)'nci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme  $a_1^{(i)}$  ve modal yerdeğiştirme  $d_1^{(i)}$  sırasıyla aşağıdaki şekildedir;

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x(1)}^*} \quad (2.42)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}} \quad (2.43)$$

Burada  $V_x$ , (i)'nci itme adımındaki taban kesme kuvveti,  $M_{x1}$ , birinci moda ait etkili modal kütle ve aşağıdaki şekildedir;

$$M_{x1}^* = \frac{L_1^2}{M_1} = \Gamma_1 L_1 \quad (2.44)$$

Burada  $M_1$ , modal kütle olup aşağıdaki şekilde verilir:

$$M_1 = [\Phi_1]^T [M] [\Phi_1] \quad (2.45)$$

$L_1$ , etkili modal kütle olup aşağıdaki şekilde verilir:

$$L_1 = [\Phi_1]^T [M] [1] \quad (2.46)$$

$\Gamma_1$ , birinci modun katılım çarpanı olup aşağıdaki şekilde verilir:

$$\Gamma_1 = \frac{[\Phi_1]^T [M] [1]}{[\Phi_1]^T [M] [\Phi_1]} \quad (2.47)$$

$\Phi_{xN1} = 1$ . moda ait tepe noktası yer değiştirme genliği

$u_{xN1} = (i)$ ' inci adımdaki tepe noktası yer değiştirmesi olarak tanımlanır.

Ele alınan sistem için ilgili büyüklükler izleyen aşağıdaki hesaplanır:



$$L_1 = [1,00 \quad 0,467] \begin{bmatrix} 7,53 & 0 \\ 0 & 7,53 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 11,05 \text{ kNms}^2/m$$

$$\Gamma_1 = \frac{[1,00 \quad 0,467] \begin{bmatrix} 7,53 & 0 \\ 0 & 7,53 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}}{[1,00 \quad 0,467] \begin{bmatrix} 7,53 & 0 \\ 0 & 7,53 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1,00 \\ 0,467 \end{bmatrix}} = \frac{11,05}{9,17} = 1,205$$

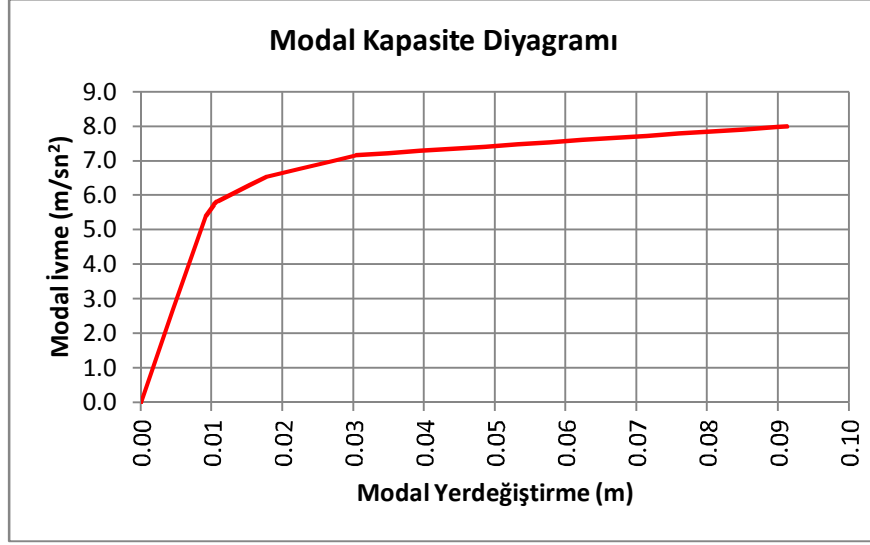
$$M_{x1}^* = 11,05 \times 1,205 = 13,31 \text{ kNs}^2/m$$

$$\phi_{xN1} = 1,00$$

Her itme adımı için modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri hesaplanır. Tablo 2.17’de her bir adım için modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri verilmiştir. Modal yerdeğiştirme ve modal ivme grafiği Şekil 2.21’deki gibi elde edilir.

Tablo 2.17. Modal kapasite diyagramının koordinatları

Adım	Yerdeğiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Etkili Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1. modun katılım çarpanı	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
n	$u_{xN1}^{(i)}$ (m)	$V_{x1}^{(i)}$ (kN)	$M^*_{x1}$	$\phi_{xN1}$	$\Gamma_{x1}$	$d_1^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ (m/sn <sup>2</sup> )
0	0,0000	0,000	13,310	1,000	1,205	0,000000	0,000000
1	0,0055	35,895	13,310	1,000	1,205	0,004564	2,696844
2	0,0110	71,790	13,310	1,000	1,205	0,009129	5,393689
3	0,0124	76,170	13,310	1,000	1,205	0,010281	5,722765
4	0,0130	77,540	13,310	1,000	1,205	0,010781	5,825695
5	0,0185	83,816	13,310	1,000	1,205	0,015345	6,297220
6	0,0215	87,200	13,310	1,000	1,205	0,017805	6,551465
7	0,0270	90,139	13,310	1,000	1,205	0,022369	6,772276
8	0,0325	93,079	13,310	1,000	1,205	0,026934	6,993163
9	0,0366	95,281	13,310	1,000	1,205	0,030350	7,158603
10	0,0421	96,111	13,310	1,000	1,205	0,034915	7,220962
11	0,0476	96,943	13,310	1,000	1,205	0,039479	7,283471
12	0,0531	97,774	13,310	1,000	1,205	0,044043	7,345905
13	0,0586	98,607	13,310	1,000	1,205	0,048607	7,408490
14	0,0641	99,440	13,310	1,000	1,205	0,053172	7,471074
15	0,0696	100,274	13,310	1,000	1,205	0,057736	7,533734
16	0,0751	101,109	13,310	1,000	1,205	0,062300	7,596469
17	0,0806	101,944	13,310	1,000	1,205	0,066865	7,659204
18	0,0861	102,780	13,310	1,000	1,205	0,071429	7,722014
19	0,0916	103,616	13,310	1,000	1,205	0,075993	7,784823
20	0,0971	104,422	13,310	1,000	1,205	0,080558	7,845379
21	0,1026	105,228	13,310	1,000	1,205	0,085122	7,905935
22	0,1081	106,035	13,310	1,000	1,205	0,089686	7,966566
23	0,1100	106,318	13,310	1,000	1,205	0,091286	7,987829



Şekil 2.21. Modal kapasite diyagramı

Modal kapasite diyagramı elde edildikten sonra, bu diyagram ile elastik ivme spektrumu aynı eksen takımı üzerinde çakıştırılır. Buradan birinci hakim moda ait maksimum modal yer değiştirme istemi hesaplanır. Tanım olarak modal yer değiştirme istemi ( $d_1$ ), doğrusal olmayan spektral yer değiştirme ( $S_{d1}$ )' e eşittir.

Ele alınan problemde etkin yer ivme katsayısı ( $A_0 = 0,4$ ), zemin sınıfı (Z2) olarak verilmiştir. Dolayısıyla Elastik İvme Spektrumunun ordinatı olan elastik spektral ivme aşağıdaki şekilde elde edilir;

$$A(T) = A_0 S(T) \quad (2.48)$$

$$S_a(T) = A(T) g \quad (2.49)$$

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\ S(T) &= 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T) \end{aligned} \quad (2.50)$$

Buradan  $S_a$  değeri periyota bağlı olarak aşağıdaki şekilde elde edilir;

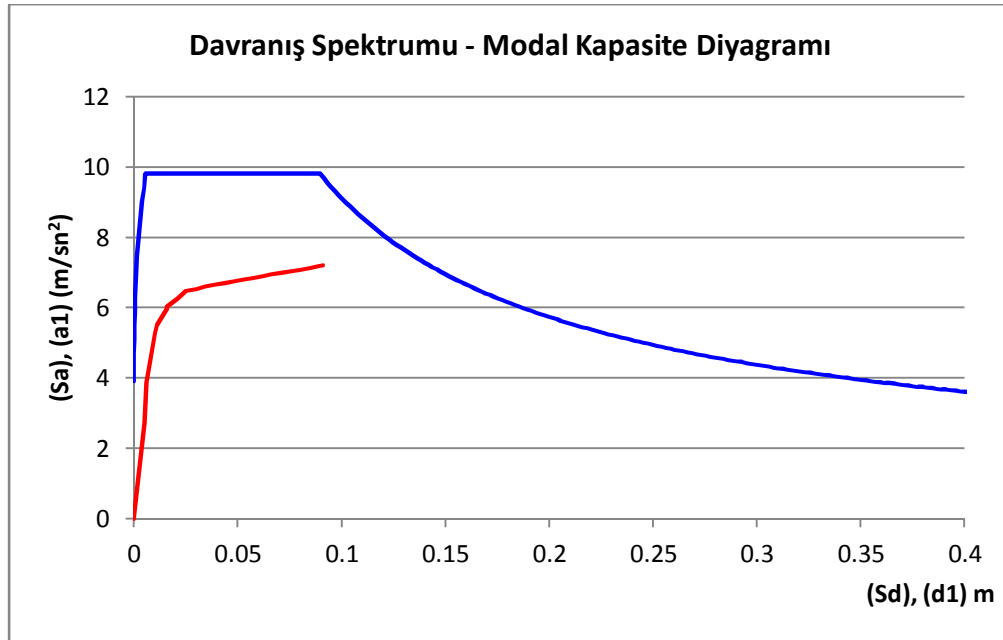
$$\begin{aligned}
S_a &= A_0 g \left(1 + 1.5 \frac{T}{T_A}\right) & (0 \leq T \leq T_A) \\
S_a &= 2.5 A_0 g & (T_A < T \leq T_B) \\
S_a &= 2.5 A_0 g \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} & (T_B < T)
\end{aligned} \tag{2.51}$$

Burada ele alınan spektrum eğrisi DBYBHY 2007 Madde (2.4)'te tanımlanan spektrum eğrisidir. Bu eğri 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depreme karşı gelmektedir. Dolayısıyla 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için Denk. (2.51)'de tanımlanan ivme değerleri 1,5 ile, 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem için 0,5 ile çarpılır.

Öncelikle spektral ivme - periyot eksen takımından oluşan elastik spektrum eğrisi spektral ivme – spektral yerdeğiştirme eksen takımının oluşturduğu spektrum eğrisine dönüştürülür ve bu eğriye davranış spektrumu denir. Bunun için aşağıdaki ifade kullanılır.

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} = \frac{S_a T^2}{(2\pi)^2} \tag{2.52}$$

Elde edilen Modal Kapasite diyagramı ile Davranış Spektrumu diyagramı aynı eksen takımında Şekil 2.22'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



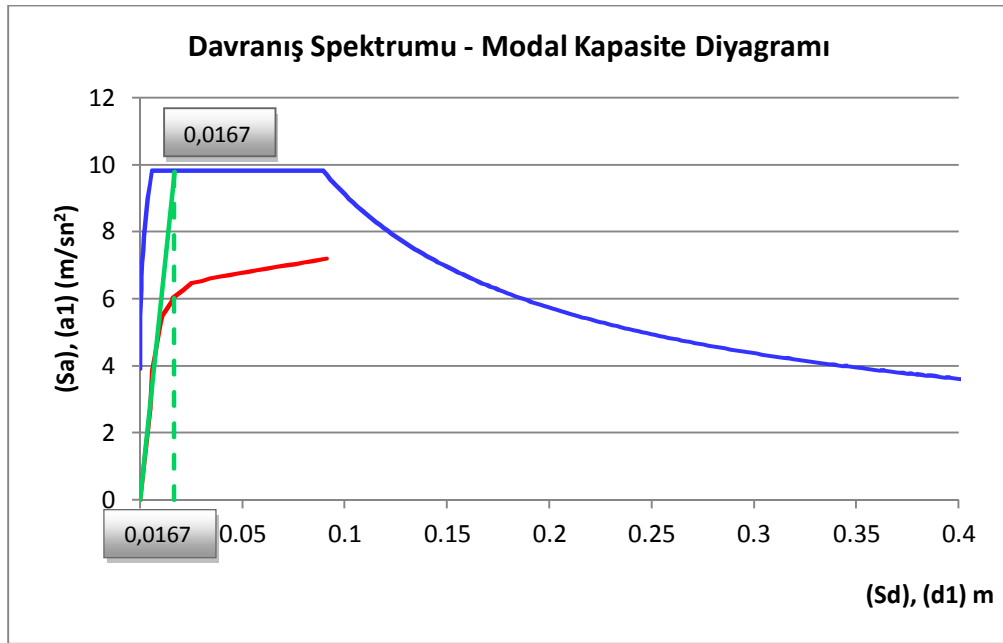
Şekil 2.22. Davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramının karşılaştırılması

Daha önce belirtildiği gibi modal yerdeğiştirme istemi, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme ( $S_{d1}$ )'e eşittir.  $S_{d1}$  değeri ise sistemin doğrusal elastik davranışı esas alınarak

hesaplanan birinci hakim moda ait  $T_1$  periyotuna karşılık gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme  $S_{de1}$ 'in bir katsayı ile çarpımına eşittir. Bu katsayı  $C_{R1}$  olarak tanımlanır ve spektral yerdeğiştirme oranı olarak adlandırılır.

$$S_{d1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2.53)$$

Dolayısıyla, öncelikle sistemin  $T_1$  periyotuna karşılık gelen elastik spektral yerdeğiştirme hesaplanacaktır. Bu ise davranış spektrumundan hesaplanır. Şekil 2.23'de gösterildiği gibi modal kapasite eğrisinin başlangıç teğeti  $T_1$  periyodunu vermektedir. Bu durumda modal kapasite eğrisinin başlangıç teğetinin davranış spektrumunu kestiği noktanın yatay eksen üzerindeki izdüşümü  $S_{de1}$  değerini verir.



Şekil 2.23. Spektral yerdeğiştirmenin bulunması

Grafik üzerinde spektral yerdeğiştirme  $S_{de1} = 0,0167 m$  olarak bulunmuştur. Bu değer analitik yolla aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir;

$$S_{de1} = \frac{S_a}{(\omega_1)^2} = \frac{S_a T_1^2}{(2\pi)^2} \quad (2.54)$$

(2.54) ifadesi daha açık olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$S_{de1} = \frac{S_a}{(\omega)^2} = \frac{S_a T^2}{(2\pi)^2} = \frac{2,5A_0 g T^2}{(2\pi)^2} \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (2.55)$$

$$S_{de1} = \frac{S_a}{(\omega)^2} = \frac{S_a T^2}{(2\pi)^2} = \frac{2,5A_0 g T_B^{0,8} T^{1,2}}{(2\pi)^2} \quad (T_B < T)$$

Sistemin periyodu  $T_I=0,259 s < T_B=0,4 s$  buradan  $S_{de1}$  aşağıdaki şekilde bulunur;

$$S_{de1} = \frac{2,5A_0 g T^2}{(2\pi)^2} = \frac{2,5 \times 0,4 \times 9,81 \times 0,259^2}{(2\pi)^2} = 0,0167 m$$

Böylelikle elastik spektral yer değiştirme,  $S_{de1}$  hesaplanmış oldu. Bundan sonra spektral yer değiştirme oranı olan  $C_{RI}$  katsayısı hesaplanıp ve bu iki değer çarpılarak doğrusal olmayan spektral yer değiştirme elde edilir.  $C_{RI}$  katsayısı başlangıç periyodu  $T_I$  değerine bağlı olarak belirlenir.

Sistemin  $T_I$  başlangıç periyodunun, zemin karakteristik periyodu olan  $T_B$ 'ye eşit yada daha büyük olması durumunda spektral yer değiştirme oranı  $C_{RI} = 1$  olarak ele alınır.  $T_I$  başlangıç periyodunun, zemin karakteristik periyodu olan  $T_B$ 'den küçük olması durumunda spektral yer değiştirme oranı  $C_{RI}$  ardışık yaklaşımla hesaplanır.

$$C_{RI} = 1 \quad T_B \leq T$$

$$C_{RI} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T}{R_{y1}} \geq 1 \quad (R_{y1} = \frac{S_{a1}}{a_{y1}}) \quad T < T_B \quad (2.56)$$

Ele alınan problemde  $T_I=0,259 s < T_B=0,4 s$  olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla  $C_{RI}$  katsayısı ardışık yaklaşımla hesaplanacaktır.

Öncelikle  $C_{RI} = 1$  kabulü yapılarak yani doğrusal olmayan spektral yer değiştirme elastik spektral yerdeğiştirmeye eşit alınarak ( $S_{d1} = S_{de1}$ ) modal kapasite eğrisi iki doğrulu (bi-linear) bir diyagrama dönüştürülür.

$$S_{d1} = 1 \times S_{de1} = 0,0167 m$$

Bu modal yerdeğiştirmeye karşı gelen modal ivme, modal kapasite eğrisini niteleyen Tablo 2.18'den bulunur. Ara değer için enterpolasyon yapılır.  $d_1 = 0,0167 m$  değeri 5. ve 6. adımlardaki modal yerdeğiştirme değerinin arasındadır. Bu durumda  $d_1 = 0,0167 m$  değerine karşılık gelen modal ivme enterpolasyon yapılarak bulunur.

Tablo 2.18. Modal yerdeğiştirme - modal ivme değerleri

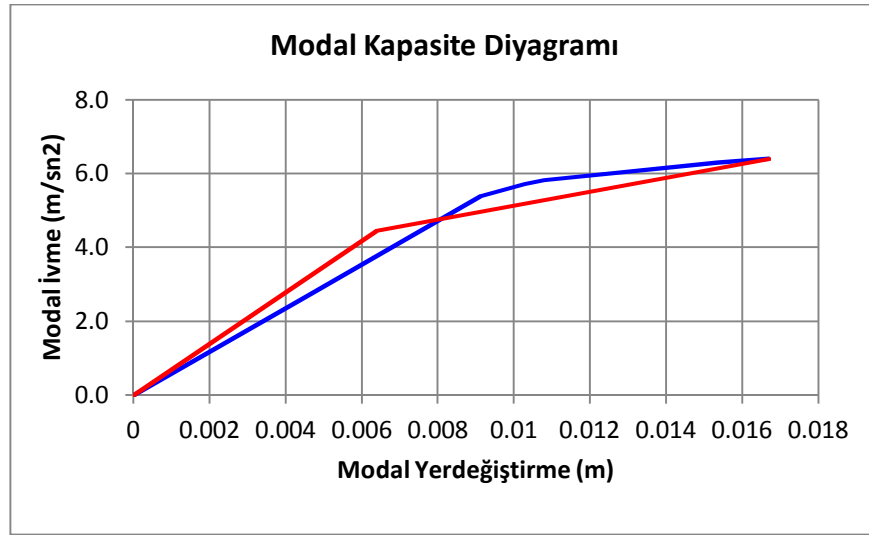
Adım	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
n	$d_1^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ (m/sn <sup>2</sup> )
0	0,000000	0,000000
1	0,004564	2,696844
2	0,009129	5,393689
3	0,010281	5,722765
4	0,010781	5,825695
5	0,015345	6,297220
6	0,017805	6,551465
7	0,022369	6,772276
8	0,026934	6,993163
9	0,030350	7,158603
10	0,034915	7,220962
11	0,039479	7,283471
12	0,044043	7,345905
13	0,048607	7,408490
14	0,053172	7,471074
15	0,057736	7,533734
16	0,062300	7,596469
17	0,066865	7,659204
18	0,071429	7,722014
19	0,075993	7,784823
20	0,080558	7,845379
21	0,085122	7,905935
22	0,089686	7,966566
23	0,091286	7,987829

Tablo 2.19’da  $d_1 = 0,0167 m$  değerine karşılık modal ivme  $d_1 = 6,396 m/sn^2$  olarak bulunur.

şekil 2.24’te bu sayısal değerleri modal kapasite eğrisinin son değerleri olarak ele alınıp modal kapasite eğrisi eşit alanlar kuralı ile yaklaşık olarak iki doğrulu diyagrama dđnüşürölür.

Tablo 2.19. Modal yerdeğiştirme - modal ivme değerleri

Adım	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
n	$d^{(i)}_1$ (m)	$a^{(i)}_1$ (m/sn <sup>2</sup> )
0	0,000000	0,000000
1	0,004564	2,696844
2	0,009129	5,393689
3	0,010281	5,722765
4	0,010781	5,825695
5	0,015345	6,297220
6	0,016700	6,396000



şekil 2.24. İki doğrulu hale getirilmiş modal kapasite eğrisi

İki doğrulu hale getirilen modal kapasite eğrisinin eşdeğer akma noktasının koordinatları  $a_{y1}=4,46$  m/sn<sup>2</sup>,  $d_{y1}=0,0064$  m olarak bulunur. Buradan birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} = \frac{9,81}{4,46} = 2,20$$

Spektral yerdeğiştirme oranı  $C_{R1}$  aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_b/T}{R_{y1}} = \frac{1 + (2,20 - 1) \times 0,4/0,259}{2,20} = 1,30$$

Buradan doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme  $C_{R1}$  katsayısı kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunur;

$$S_{d1} = C_{R1} S_{de1} = 1,30 \times 0,0167 = 0,022 \text{ m}$$

ardışık yaklaşımın ikinci adımında  $S_{d1} = 0,022 \text{ m}$  değeri esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları yeniden belirlenir ve bunlara göre  $R_{y1}$ ,  $C_{R1}$  tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımında elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

Modal kapasite eğrisinin son değeri  $d_1 = 0,022 \text{ m}$  kabul edilerek, eğri tekrar iki doğrulu diyagrama dönüştürülür ve eşdeğer akma noktasının koordinatları bulunur. Bunun için öncelikle modal kapasite eğrisini niteleyen tablodan  $d_1 = 0,022 \text{ m}$  değerine karşılık modal ivme değeri bulunur.  $d_1 = 0,022 \text{ m}$  değeri 6. ve 7. adımdaki değerler arasında kalmaktadır. Bu ara değer için enterpolasyon yapılırsa  $d_1 = 0,022 \text{ m}$  değerine karşılık gelen modal ivme aşağıdaki şekilde hesaplanır. Tablo 2.20'de değerler ara değerler verilmiştir.

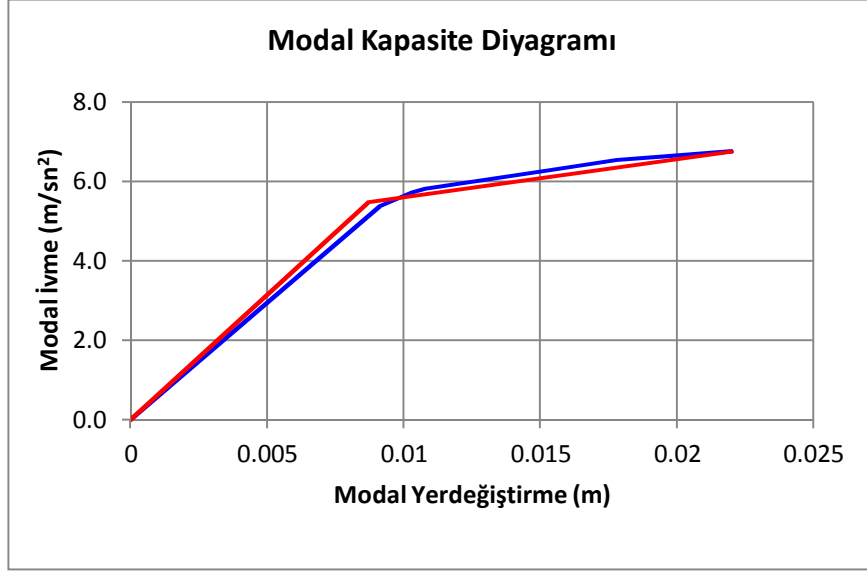
$$d_1 = 0,022 \text{ m} \quad a_1 = 6,76 \text{ m/sn}^2$$

Tablo 2.20. Modal yerdeğiştirme - modal ivme değerleri

Adım	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
n	$d_1^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ (m/sn <sup>2</sup> )
0	0,000000	0,000000
1	0,004564	2,696844
2	0,009129	5,393689
3	0,010281	5,722765
4	0,010781	5,825695
5	0,015345	6,297220
6	0,017805	6,551465
7	0,022369	6,772276

Şekil 2.25'te bu modal kapasite eğrisi eşit alanlar kuralı kullanılarak iki doğrulu diyagrama dönüştürülür. Eşdeğer akma noktasının koordinatları  $a_{y1} = 5,49 \text{ m/s}^2$   $d_{y1} = 0,0087 \text{ m}$  olarak bulunur.





Şekil 2.25. İki doğrusal hale getirilmiş modal kapasite eğrisi

Bulunan yeni  $a_{y1} = 5,49 \text{ m/sn}^2$  değeri kullanılarak birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} = \frac{9,81}{5,49} = 1,79$$

Spektral yerdeğiştirme oranı  $C_{R1}$  aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_b/T}{R_{y1}} = \frac{1 + (1,79 - 1) \times 0,4/0,259}{1,79} = 1,24$$

İkinci ardışık yaklaşımda bulunan  $C_{R1}$  değeri birinci yaklaşımda bulunan değere yeterince yaklaşık ise ardışık yaklaşıma son verilir. Burada ardışık yaklaşım bir adım daha devam ettirilecektir. Yeni  $C_{R1} = 1,24$  kullanılarak doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$S_{d1} = C_{R1}S_{de1} = 1,24 \times 0,0167 = 0,0207 \text{ m}$$

Bu değer modal kapasite eğrisinde son değer kabul edilerek yeniden modal kapasite eğrisi iki doğrusal diyagrama dönüştürülür ve eşdeğer akma noktasının koordinatları ( $d_{y1}$ ,  $a_{y1}$ ) hesaplanır.

Modal kapasite eğrisini niteleyen Tablo 2.20'de  $d_1 = 0,0207 \text{ m}$  karşılık gelen modal ivme aşağıdaki şekilde bulunur;

$$d_1 = 0,0207 \text{ m}, \quad a_1 = 6,69 \text{ m/sn}^2$$

Bu modal kapasite eğrisi eşit alanlar kuralı kullanılarak izleyen şekilde iki doğru diyagrama dönüştürülür. Eşdeğer akma noktasının koordinatları  $a_{y1} = 5,35 \text{ m/sn}^2$   $d_{y1} = 0,0085 \text{ m}$  olarak bulunur.

Bulunan yeni  $a_{y1} = 5,35 \text{ m/sn}^2$  değeri kullanılarak birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır;

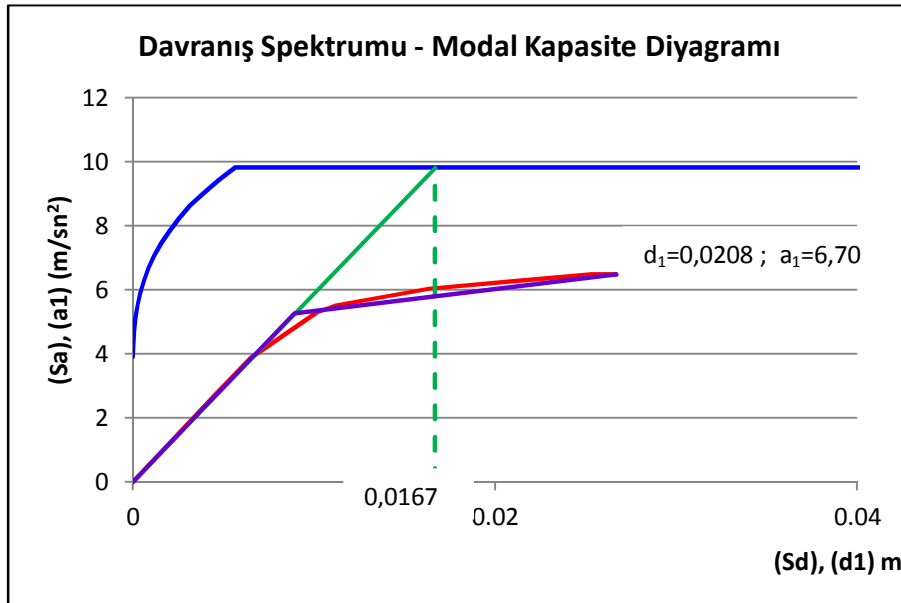
$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} = \frac{9,81}{5,35} = 1,83$$

Spektral yerdeğiştirme oranı  $C_{R1}$  aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_b/T}{R_{y1}} = \frac{1 + (1,83 - 1) \times 0,4/0,259}{1,83} = 1,25$$

Üçüncü ardışık yaklaşım adımında hesaplanan  $C_{R1}$  ve  $R_{y1}$  değerleri bir önceki adımda hesaplanan değerlere yeterince yaklaşıktır ve ardışık yaklaşıma son verilir. Üçüncü ardışık yaklaşım adımında hesaplanan  $C_{R1} = 1,25$  değeri kullanılarak doğrusal olmayan yerdeğiştirme aşağıdaki Şekil 2.26'daki gibi hesaplanır.

$$S_{d1} = C_{R1}S_{de1} = 1,25 \times 0,0167 = 0,0208 \text{ m}$$

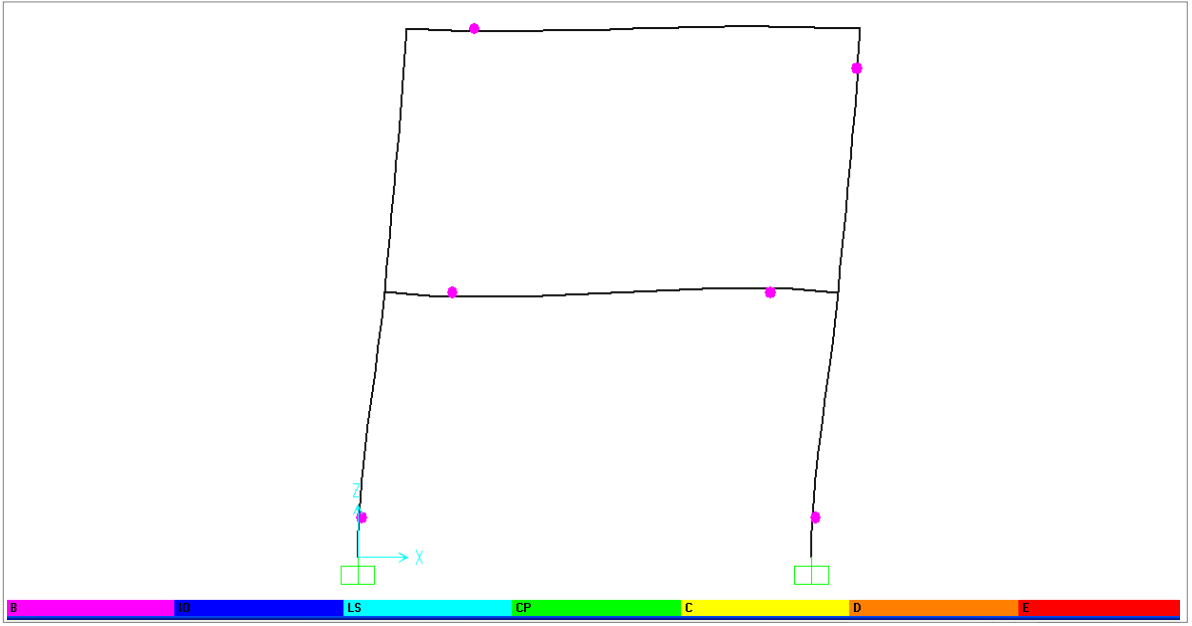


Şekil 2.26. Doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmenin hesaplanması

Böylelikle modal yerdeğiştirme istemi  $d_1 = 0,0208 m$  olarak hesaplanmıştır. Sistemin x doğrultusundaki tepe noktası yer değiştirme istemi  $u_{XN1}$ , aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$u_{XN1} = \Phi_{XN1} \Gamma_{x1} d_1 = 1 \times 1,205 \times 0,0208 = 0,0251 m \quad (2.57)$$

Yapı bu yerdeğiştirme istemine kadar itilir. Bu itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar Şekil 2.27’de verilmiştir.



Şekil 2.27. İtme analizi sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar

Tablo 2.21. X Doğrultusundaki depreme göre kiriş hasar seviyeleri

EDYY		EX1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)															
KAT NO	Kattaki Kiriş Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
2	1		1								100%						
1	1		1								100%						
TOPLAM	2		2								100%						

Tablo 2.22. X Doğrultusundaki depreme göre kolon hasar seviyeleri

EDYY		EX1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)															
KAT NO	Kattaki Kolon Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
2	2	1	1							50%							
1	2		2							100%							
TOPLAM	4	1	3							25%	75%						
MN		GV		GÇ		Göçme											

- ✓ 1. ve 2. katta giriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.

Binanın yapısal performansı “Can Güvenliği” düzeyindedir. Bina 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için hedeflenen “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamaktadır.

Tablo 2.22. X Doğrultusundaki depreme göre kolon hasar seviyeleri

EDYY		EX1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)															
KAT NO	Kattaki Kolon Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
2	2	1	1							50%							
1	2		2								100%						
TOPLAM	4	1	3							25%	75%						
MN		GV		GÇ		Göçme											

- ✓ 1. ve 2. katta giriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.

Binanın yapısal performansı “Can Güvenliği” düzeyindedir. Bina 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için hedeflenen “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamaktadır.

## 2.2. DBYBHY 2007’ye Göre Tasarımı Yapılan Betonarme Yapının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Deprem Performansının Belirlenmesi

Bu bölümde, DBYBHY 2007’ye göre tasarlanmış ve SAP2000 programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Döşemelerden gelen yükler TS-500 e göre belirlenen betonarme binanın, doğrusal yöntem olan “Eşdeğer Deprem Yüğü” ve doğrusal olmayan yöntem olan “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü” yöntemlerinden deprem performansının belirlenmesi amaçlanmıştır.

### 2.2.1. Çalışılan Modelin Tanıtılması

İncelenen yapı, planda 23m x 14,5m boyutlarında olan, 5 kattan oluşan bir yapıdır. Yapıda x doğrultusunda 4, y doğrultularında 3 açıklık bulunmakla beraber, kat yükseklikleri 4-3,5 m olmak üzere toplam bina yüksekliği 18 m’dir.

Binanın taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Kolon boyutları ilk üç katta 60x60 cm<sup>2</sup>, son iki katta 50x50 cm<sup>2</sup>’dir. Giriş boyutları ise ilk üç katta 50x60 cm<sup>2</sup>, son iki katta 40x50 cm<sup>2</sup> olarak düzenlenmiştir. Döşeme sistemi ise 18 cm kalınlığında kirişli plaktan oluşmaktadır. Her katta döşemelerin düzlemleri içinde rijit diyafram olarak davrandığı kabulü ile rijit diyafram tanımlanması yapılmıştır.

### **Bina Bilgileri**

Kat adedi= 5

Kat yüksekliği= 4,00-3,50m

Toplam bina yüksekliği,  $[H] = 18,00\text{m}$

Bina oturma alanı =  $333,50 \text{ m}^2$

Kullanım amacı = Sağlık Kuruluğu

### **Malzeme Bilgileri**

Beton sınıfı = C25 ( $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ )

Donatı çeliği = S420 ( $f_{yk} = 420 \text{ MPa}$ )

Beton elastisite modülü,  $[E_c] = 30000 \text{ MPa}$

Donatı çeliği elastisite modülü,  $[E_s] = 200000 \text{ MPa}$

### **Proje Parametreleri**

Deprem bölgesi = 1

Etkin yer ivme katsayısı,  $[A_0] = 0,4$

Bina önem katsayısı,  $[I] = 1,5$

Yerel zemin sınıfı = Z2

Spektrum karakteristik periyotları,  $T_a = 0,15 \text{ s}$ ,  $T_b = 0,4 \text{ s}$

Hareketli yük katılım katsayısı,  $n = 0,6$

### **Taşıyıcı Sistem Bilgisi**

Kolonlar (1., 2. ve 3. katlar) =  $0,6\text{m} \times 0,6\text{m}$   $d' = 0,04\text{m}$

(4. ve 5. katlar) =  $0,5\text{m} \times 0,5\text{m}$   $d' = 0,04\text{m}$

Kirişler (1., 2. ve 3. katlar) =  $0,5\text{m} \times 0,6\text{m}$   $d' = 0,04\text{m}$

(4. ve 5. katlar) =  $0,4\text{m} \times 0,5\text{m}$   $d' = 0,04\text{m}$

Döşeme =  $0,18 \text{ m}$

### **Yükler**

#### Normal Kat Döşemesi

Plak zati=  $0,18(\text{m}) \times 25 (\text{kN/m}^3) = 4,50 \text{ kN/m}^2$

Kaplama + Sıva =  $2,0 \text{ kN/m}^2$

$g = 6,50 \text{ kN/m}^2$

Hasta odaları  $q = 3,50 \text{ kN/m}^2$

Koridor	$q = 5,00 \text{ kN/m}^2$
Merdiven	$g = 7,50 \text{ kN/m}^2$
	$q = 3,50 \text{ kN/m}^2$

#### Çatı Katı Döşemesi

$$\text{Plak zati} = 0,18(\text{m}) \times 25 (\text{kN/m}^3) = 4,50 \text{ kN/m}^2$$

$$10 \text{ eğim betonu} + \text{İzolasyon} = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

$$10 \text{ cm çakıl} = 0,10(\text{m}) \times 18(\text{kN/m}^3) = 1,80 \text{ kN/m}^2$$

$$g = 8,50 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

#### Duvar Yükleri

$$\text{Dış duvar yükü} = 0,20 \times (4,0 - 0,6) \times 13,5 = 9,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kaplama} + \text{Sıva} = 2 \times 0,02 \times (4,0 - 0,6) \times 20 = 2,72 \text{ kN/m}^2$$

$$g = 11,90 \text{ kN/m}^2$$

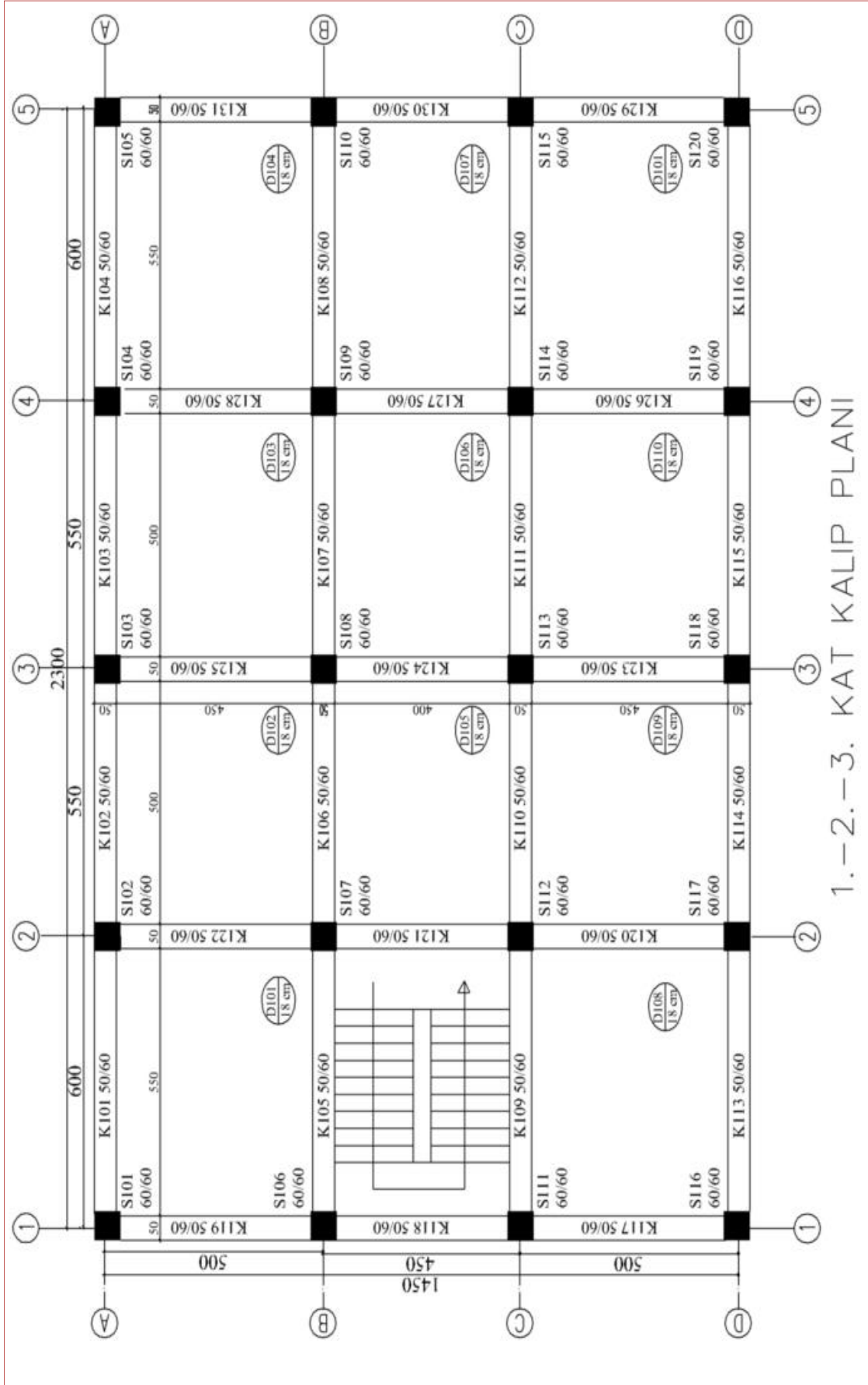
$$\text{İç duvar yükü} = 0,135 \times (4,0 - 0,6) \times 13,5 = 6,20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kaplama} + \text{Sıva} = 2 \times 0,02 \times (4,0 - 0,6) \times 13,5 = 1,84 \text{ kN/m}^2$$

$$g = 8,04 \text{ kN/m}^2$$

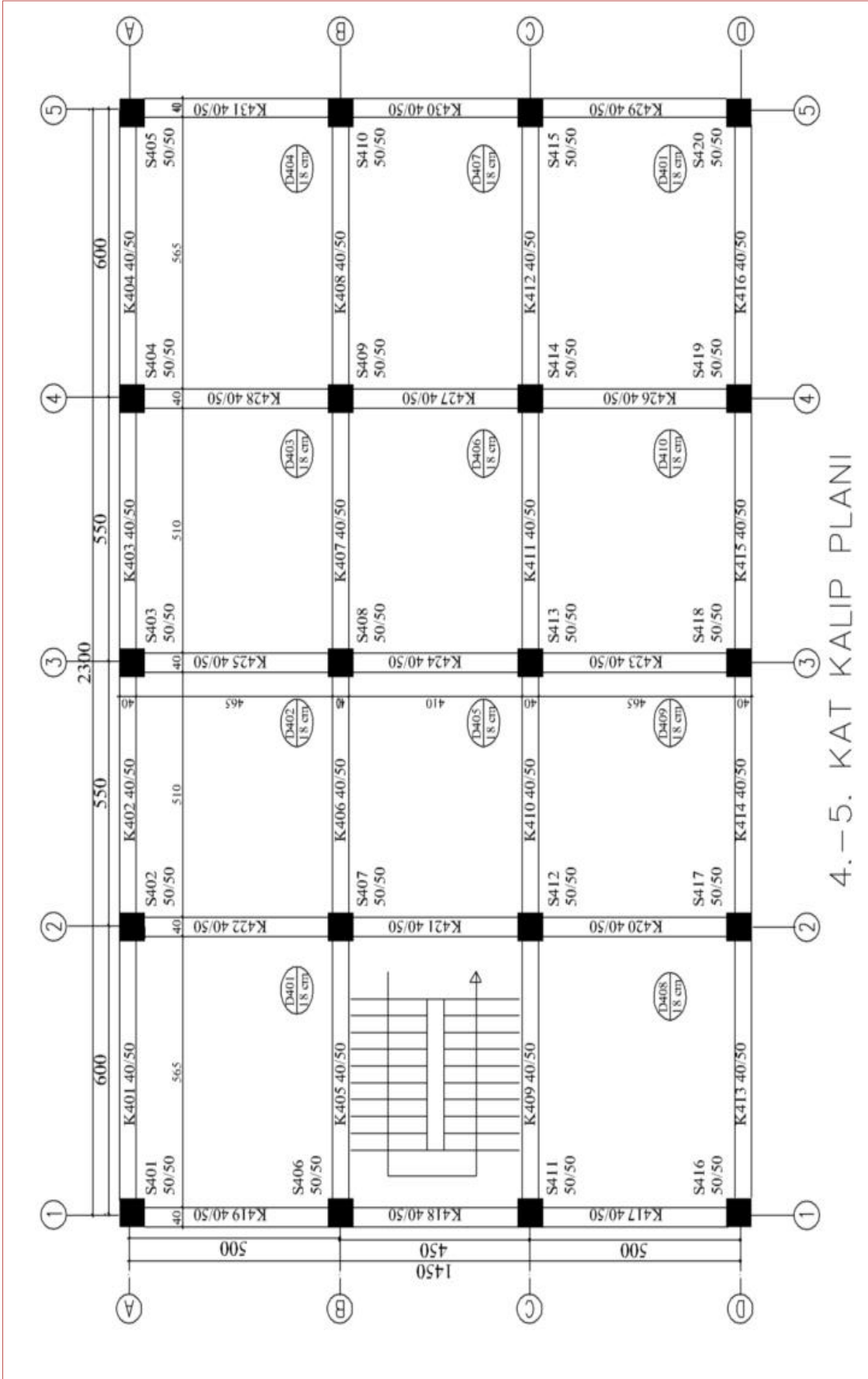
### **2.2.1. Çalışılan Sağlık Kuruluşu Yapısının Planları**

Kalıp planları aşağıdaki Şekil 2.28 ve Şekil 2.29'da verilen sağlık kuruluşunun düşey ve yatay yükler altında analizi ve DBYBHY 2007'ye göre süneklik kontrolleri yapılmıştır.

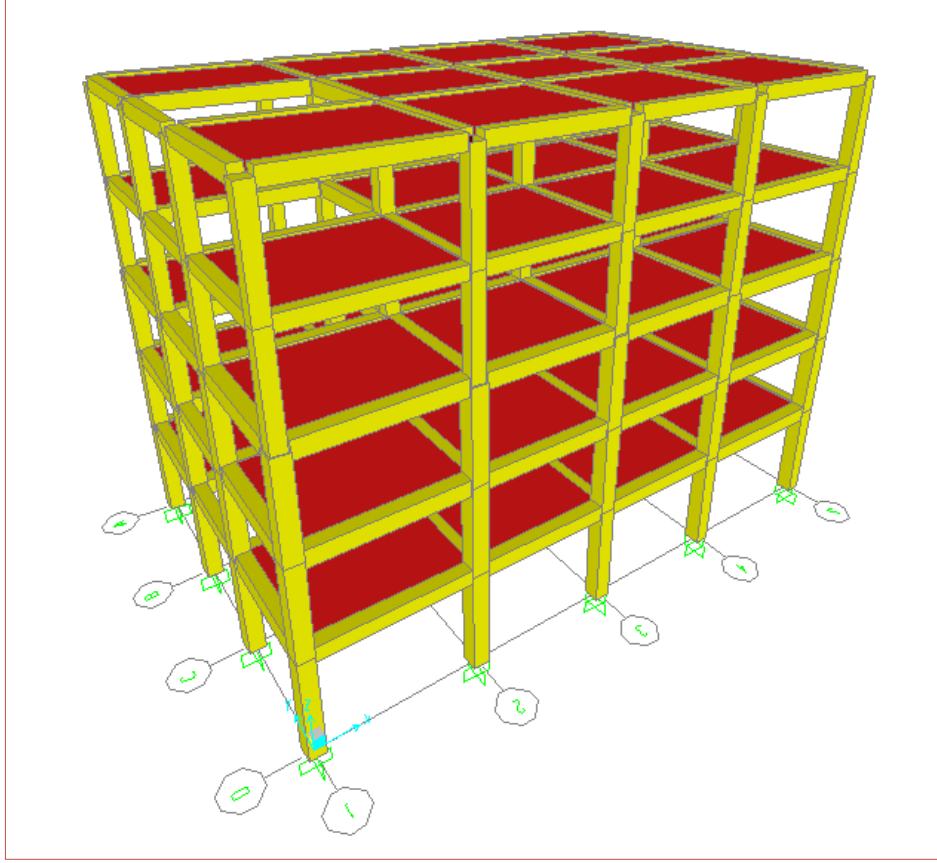


Şekil 2.28. 1., 2. ve 3. Katlara ait kalıp planı





Şekil 2.29. 4. ve 5. Katlara ait kalıp planı



Şekil 2.30. Üç boyutlu SAP2000 modeli

### 2.2.2. Çalışılan Sağlık Kuruluşu Yapısının Deprem Performansının Belirlenmesi

Binanın yeni olarak DBYBHY 2007'ye göre tasarlanmış olması nedeni ile projeleri mevcuttur. Malzeme özelliklerinin ve betonarme detaylarının projeye tamamen uyduğu kabul edilmiştir. Bu durumda yönetmeliğe göre bina bilgi düzeyi “kapsamlı” olarak belirlenmiş ve Bilgi Katsayısı 1.00 alınmıştır.

### 2.2.3. Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin Belirlenmesi

Matematik modeli Sap2000 V.14 programında oluşturulan yapı G+0.6Q düşey yüklemesiyle çözülmüştür. Kirişler için çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğinin çatlamamış kesitin rijitliğe oranı 0.4 olarak ele alınacaktır. Kolonlar için ise öncelikle çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin belirlenmesi için deprem hesabında kullanılacak kütlelerle uyumlu düşey yük analizi yapılacaktır. Yapılan analiz sonucunda kolonlarda oluşan normal kuvvet değerine bağlı olarak çatlamış kesite ait olan eğilme rijitlikleri

belirlenir. Sağlık Kuruluşu yapısı için deprem hesabında kullanılacak kütlelerle uyumlu düşey yük kombinasyonu aşağıdaki şekilde verilir;

$$W = g+nq = g+0,6q \quad (2.58)$$

Düşey yükler altında yapılan analiz sonucunda kolonlarda elde edilen aksenal kuvvetler ve hesaplanan etkin rijitlik katsayıları aşağıdaki Tablo 2.23-2.24-2.25-2.26 ve 2.27’de sırasıyla verilir. Yapı tasarımında beton sınıfı C25 olarak ele alınmıştır, tasarımı yapılan binanın deprem performansı değerlendirildiğinden  $f_{cm}$  mevcut beton dayanımı  $f_{cm}=25MPa$  olarak ele alınır.

Tablo 2.23. 1. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları

<i>1. Kat (+4,00 Kotu) Kolonları Etkin Rijitlik Katsayısı</i>								
<i>Kolon No</i>	<i>Eleman No</i>	<i>Aks No</i>	<i>bx (cm)</i>	<i>by (cm)</i>	<i>Combo</i>	<i>Nd (kN)</i>	<i>Nd/(A<sub>c</sub>f<sub>cm</sub>)</i>	<i>(EI)<sub>e</sub>/(EI)<sub>o</sub></i>
S101	1	A/1	60	60	G+0,6Q	-1107,148	0,123	<b>0,43</b>
S102	21	A/2	60	60	G+0,6Q	-1765,322	0,196	<b>0,53</b>
S103	41	A/3	60	60	G+0,6Q	-1706,542	0,190	<b>0,52</b>
S104	61	A/4	60	60	G+0,6Q	-1765,219	0,196	<b>0,53</b>
S105	81	A/5	60	60	G+0,6Q	-1107,052	0,123	<b>0,43</b>
S106	6	B/1	60	60	G+0,6Q	-1697,993	0,189	<b>0,52</b>
S107	26	B/2	60	60	G+0,6Q	-2682,626	0,298	<b>0,66</b>
S108	46	B/3	60	60	G+0,6Q	-2597,885	0,289	<b>0,65</b>
S109	66	B/4	60	60	G+0,6Q	-2680,043	0,298	<b>0,66</b>
S110	86	B/5	60	60	G+0,6Q	-1695,381	0,188	<b>0,52</b>
S111	11	C/1	60	60	G+0,6Q	-1697,993	0,189	<b>0,52</b>
S112	31	C/2	60	60	G+0,6Q	-2682,626	0,298	<b>0,66</b>
S113	51	C/3	60	60	G+0,6Q	-2597,885	0,289	<b>0,65</b>
S114	71	C/4	60	60	G+0,6Q	-2680,043	0,289	<b>0,65</b>
S115	91	C/5	60	60	G+0,6Q	-1695,381	0,298	<b>0,66</b>
S116	16	D/1	60	60	G+0,6Q	-1107,148	0,188	<b>0,52</b>
S117	36	D/2	60	60	G+0,6Q	-1765,322	0,123	<b>0,43</b>
S118	56	D/3	60	60	G+0,6Q	-1706,542	0,196	<b>0,53</b>
S119	76	D/4	60	60	G+0,6Q	-1765,219	0,190	<b>0,52</b>
S120	96	D/5	60	60	G+0,6Q	-1107,052	0,196	<b>0,53</b>

Tablo 2.24. 2. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları

<b>2. Kat (+7.50 Kotu) Kolonları Etkin Rijitlik Katsayısı</b>								
<b>Kolon No</b>	<b>Eleman No</b>	<b>Aks No</b>	<b>bx (cm)</b>	<b>by (cm)</b>	<b>Combo</b>	<b>Nd (kN)</b>	<b>N<sub>d</sub>/(A<sub>c</sub>f<sub>cm</sub>)</b>	<b>(EI)<sub>e</sub>/(EI)<sub>o</sub></b>
S201	2	A/1	60	60	G+0,6Q	-863,751	0,096	<b>0,40</b>
S202	22	A/2	60	60	G+0,6Q	-1381,272	0,153	<b>0,47</b>
S203	42	A/3	60	60	G+0,6Q	-1338,852	0,149	<b>0,47</b>
S204	62	A/4	60	60	G+0,6Q	-1381,178	0,153	<b>0,47</b>
S205	82	A/5	60	60	G+0,6Q	-863,662	0,096	<b>0,40</b>
S206	7	B/1	60	60	G+0,6Q	-1326,446	0,147	<b>0,46</b>
S207	27	B/2	60	60	G+0,6Q	-2102,148	0,234	<b>0,58</b>
S208	47	B/3	60	60	G+0,6Q	-2041,514	0,227	<b>0,57</b>
S209	67	B/4	60	60	G+0,6Q	-2100,244	0,233	<b>0,58</b>
S210	87	B/5	60	60	G+0,6Q	-1324,499	0,147	<b>0,46</b>
S211	12	C/1	60	60	G+0,6Q	-1326,446	0,147	<b>0,46</b>
S212	32	C/2	60	60	G+0,6Q	-2102,148	0,234	<b>0,58</b>
S213	52	C/3	60	60	G+0,6Q	-2041,514	0,227	<b>0,57</b>
S214	72	C/4	60	60	G+0,6Q	-2100,244	0,227	<b>0,57</b>
S215	92	C/5	60	60	G+0,6Q	-1324,499	0,233	<b>0,58</b>
S216	17	D/1	60	60	G+0,6Q	-863,751	0,147	<b>0,46</b>
S217	37	D/2	60	60	G+0,6Q	-1381,272	0,096	<b>0,40</b>
S218	57	D/3	60	60	G+0,6Q	-1338,852	0,153	<b>0,47</b>
S219	77	D/4	60	60	G+0,6Q	-1381,178	0,149	<b>0,47</b>
S220	97	D/5	60	60	G+0,6Q	-863,662	0,153	<b>0,47</b>

Tablo 2.25. 3. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları

<b>3. Kat (+11.00 Kotu) Kolonları Etkin Rijitlik Katsayısı</b>								
<b>Kolon No</b>	<b>Eleman No</b>	<b>Aks No</b>	<b>bx (cm)</b>	<b>by (cm)</b>	<b>Combo</b>	<b>Nd (kN)</b>	<b>N<sub>d</sub>/(A<sub>c</sub>f<sub>cm</sub>)</b>	<b>(EI)<sub>e</sub>/(EI)<sub>o</sub></b>
S301	3	A/1	60	60	G+0,6Q	-619,431	0,069	<b>0,40</b>
S302	23	A/2	60	60	G+0,6Q	-1001,715	0,111	<b>0,42</b>
S303	43	A/3	60	60	G+0,6Q	-968,948	0,108	<b>0,41</b>
S304	63	A/4	60	60	G+0,6Q	-1001,646	0,111	<b>0,42</b>
S305	83	A/5	60	60	G+0,6Q	-619,367	0,069	<b>0,40</b>
S306	8	B/1	60	60	G+0,6Q	-961,016	0,107	<b>0,41</b>
S307	28	B/2	60	60	G+0,6Q	-1543,558	0,172	<b>0,50</b>
S308	48	B/3	60	60	G+0,6Q	-1496,222	0,166	<b>0,49</b>
S309	68	B/4	60	60	G+0,6Q	-1542,297	0,171	<b>0,50</b>
S310	88	B/5	60	60	G+0,6Q	-959,721	0,107	<b>0,41</b>
S311	13	C/1	60	60	G+0,6Q	-961,016	0,107	<b>0,41</b>
S312	33	C/2	60	60	G+0,6Q	-1543,558	0,172	<b>0,50</b>
S313	53	C/3	60	60	G+0,6Q	-1496,222	0,166	<b>0,49</b>
S314	73	C/4	60	60	G+0,6Q	-1542,297	0,166	<b>0,49</b>
S315	93	C/5	60	60	G+0,6Q	-959,721	0,171	<b>0,50</b>
S316	18	D/1	60	60	G+0,6Q	-619,431	0,107	<b>0,41</b>
S317	38	D/2	60	60	G+0,6Q	-1001,715	0,069	<b>0,40</b>
S318	58	D/3	60	60	G+0,6Q	-968,948	0,111	<b>0,42</b>
S319	78	D/4	60	60	G+0,6Q	-1001,646	0,108	<b>0,41</b>
S320	98	D/5	60	60	G+0,6Q	-619,367	0,111	<b>0,42</b>

Tablo 2.26. 4. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları

4. Kat (+14.50 Kotu) Kolonları Etkin Rijitlik Katsayısı								
Kolon No	Eleman No	Aks No	bx (cm)	by (cm)	Combo	Nd (kN)	$N_d/(A_f c_m)$	$(EI)_e/(EI)_o$
S401	4	A/1	50	50	G+0,6Q	-376,122	0,060	<b>0,40</b>
S402	24	A/2	50	50	G+0,6Q	-621,941	0,100	<b>0,40</b>
S403	44	A/3	50	50	G+0,6Q	-599,064	0,096	<b>0,40</b>
S404	64	A/4	50	50	G+0,6Q	-621,901	0,100	<b>0,40</b>
S405	84	A/5	50	50	G+0,6Q	-376,084	0,060	<b>0,40</b>
S406	9	B/1	50	50	G+0,6Q	-596,758	0,095	<b>0,40</b>
S407	29	B/2	50	50	G+0,6Q	-986,628	0,158	<b>0,48</b>
S408	49	B/3	50	50	G+0,6Q	-951,905	0,152	<b>0,47</b>
S409	69	B/4	50	50	G+0,6Q	-986,009	0,158	<b>0,48</b>
S410	89	B/5	50	50	G+0,6Q	-596,113	0,095	<b>0,40</b>
S411	14	C/1	50	50	G+0,6Q	-596,758	0,095	<b>0,40</b>
S412	34	C/2	50	50	G+0,6Q	-986,628	0,158	<b>0,48</b>
S413	54	C/3	50	50	G+0,6Q	-951,905	0,152	<b>0,47</b>
S414	74	C/4	50	50	G+0,6Q	-986,009	0,152	<b>0,47</b>
S415	94	C/5	50	50	G+0,6Q	-596,113	0,158	<b>0,48</b>
S416	19	D/1	50	50	G+0,6Q	-376,122	0,095	<b>0,40</b>
S417	39	D/2	50	50	G+0,6Q	-621,941	0,060	<b>0,40</b>
S418	59	D/3	50	50	G+0,6Q	-599,064	0,100	<b>0,40</b>
S419	79	D/4	50	50	G+0,6Q	-621,901	0,096	<b>0,40</b>
S420	99	D/5	50	50	G+0,6Q	-376,084	0,100	<b>0,40</b>

Tablo 2.27. 5. Kat kolonları etkin rijitlik katsayıları

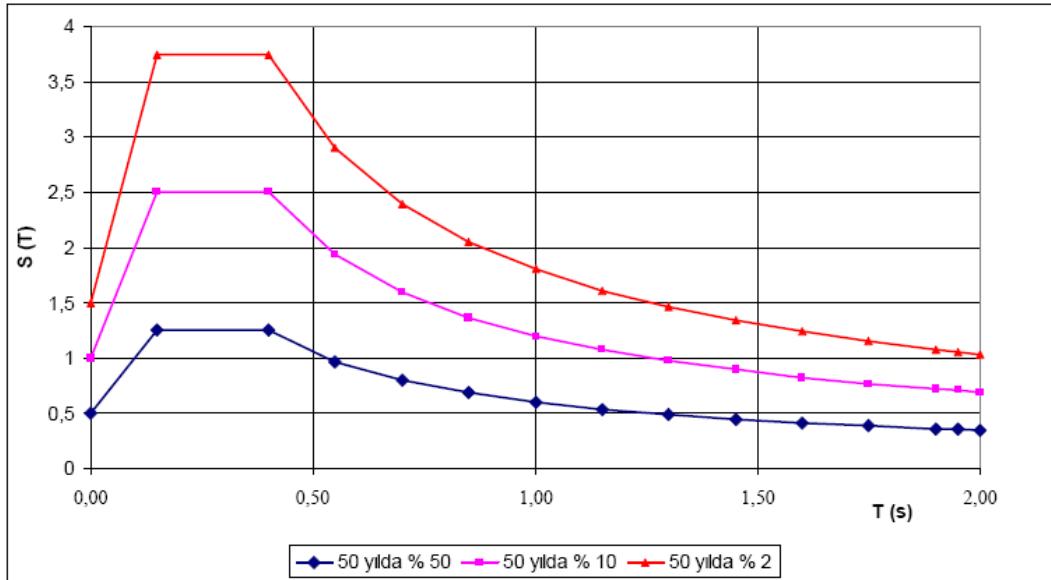
5. Kat (+18.00 Kotu) Kolonları Etkin Rijitlik Katsayısı								
Kolon No	Eleman No	Aks No	bx (cm)	by (cm)	Combo	Nd (kN)	$N_d/(A_f c_m)$	$(EI)_e/(EI)_o$
S501	5	A/1	50	50	G+0,6Q	-156,281	0,025	<b>0,40</b>
S502	25	A/2	50	50	G+0,6Q	-270,272	0,043	<b>0,40</b>
S503	45	A/3	50	50	G+0,6Q	-258,787	0,041	<b>0,40</b>
S504	65	A/4	50	50	G+0,6Q	-270,248	0,043	<b>0,40</b>
S505	85	A/5	50	50	G+0,6Q	-156,257	0,025	<b>0,40</b>
S506	10	B/1	50	50	G+0,6Q	-258,035	0,041	<b>0,40</b>
S507	30	B/2	50	50	G+0,6Q	-457,917	0,073	<b>0,40</b>
S508	50	B/3	50	50	G+0,6Q	-438,412	0,070	<b>0,40</b>
S509	70	B/4	50	50	G+0,6Q	-457,968	0,073	<b>0,40</b>
S510	90	B/5	50	50	G+0,6Q	-258,048	0,041	<b>0,40</b>
S511	15	C/1	50	50	G+0,6Q	-258,035	0,041	<b>0,40</b>
S512	35	C/2	50	50	G+0,6Q	-457,917	0,073	<b>0,40</b>
S513	55	C/3	50	50	G+0,6Q	-438,412	0,070	<b>0,40</b>
S514	75	C/4	50	50	G+0,6Q	-457,968	0,070	<b>0,40</b>
S515	95	C/5	50	50	G+0,6Q	-258,048	0,073	<b>0,40</b>
S516	20	D/1	50	50	G+0,6Q	-156,281	0,041	<b>0,40</b>
S517	40	D/2	50	50	G+0,6Q	-270,272	0,025	<b>0,40</b>
S518	60	D/3	50	50	G+0,6Q	-258,787	0,043	<b>0,40</b>
S519	80	D/4	50	50	G+0,6Q	-270,248	0,041	<b>0,40</b>
S520	100	D/5	50	50	G+0,6Q	-156,257	0,043	<b>0,40</b>

Bilgisayar modeline etkin eğilme rijitlikleri, elde edilen katsayıların ilgili atalet momentleri ile çarpımı ile tanıılır. Böylelikle performans değerlemesinde kullanılacak bilgisayar modeli tamamlanır.

### 2.2.5. Hedeflenen Performans

Yeni yapılacak binalar da deprem yüklerinin hesabı için tanımlanan ivme spektrumu 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremini esas almaktadır. Fakat bu deprem düzeyine ek olarak mevcut binaların performansının değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere farklı deprem düzeyleri tanımlanmıştır.

İncelenen yapı sağlık kuruluşu olduğu için minimum performans hedefi 50 yılda aşılma olasılığı % 10 (50/%10) olan deprem de “*Hemen Kullanım*” performans hedefini ve 50 yılda aşılma olasılığı % 2 (50/%2) olan deprem de ise “*Can Güvenliği*” performans hedefini sağlaması istenmektedir. Ele alınan yapı için kullanılacak ivme spektrumu Şekil 2.31’de verilmiştir.



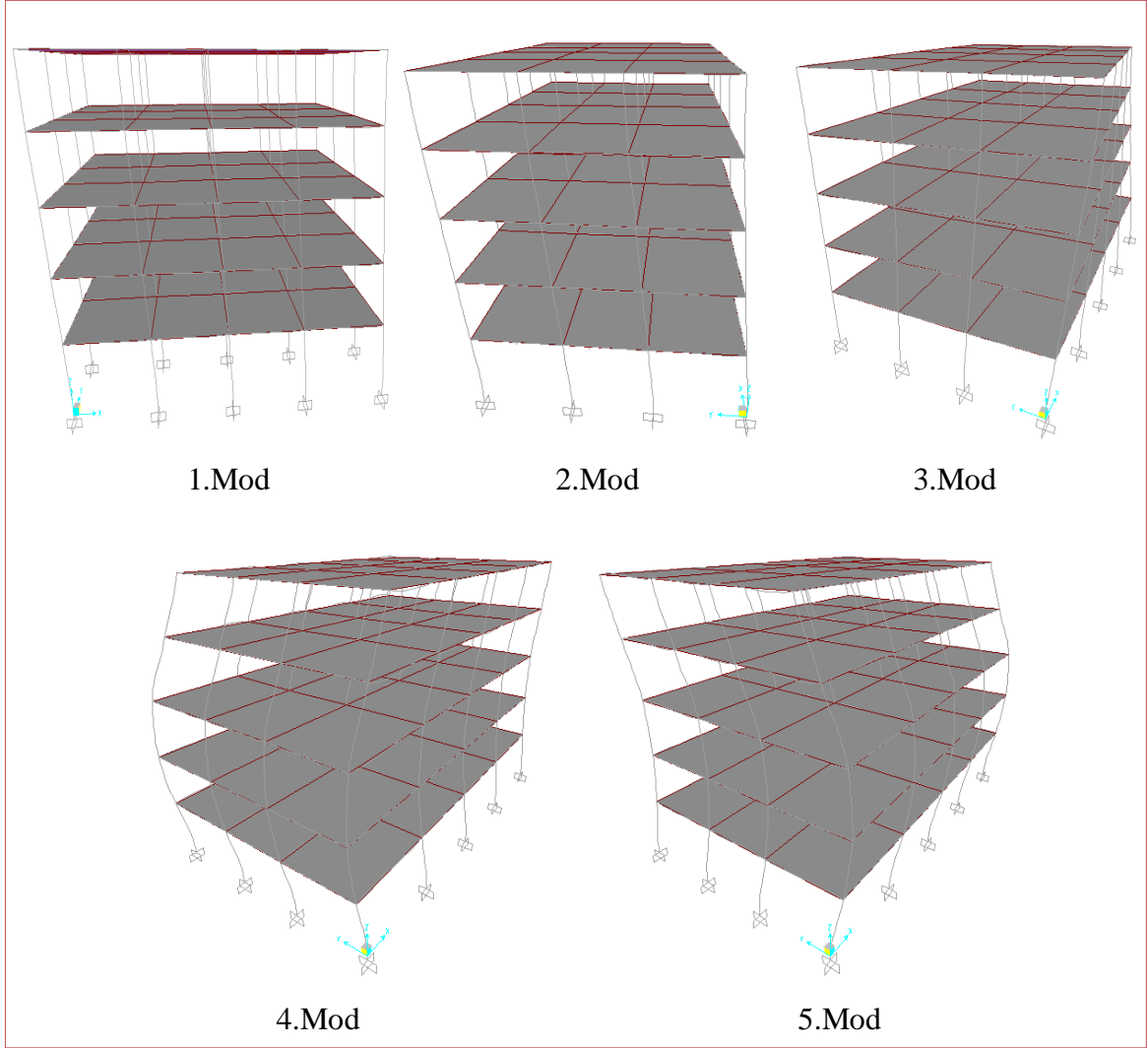
Şekil 2.31. Farklı deprem etkileri için ivme spektrumu

## 2.2.6. Yapı Mod Şekilleri Ve Periyotları

Çatlamış kesit rijitliklerine sahip bina taşıyıcı sistem modeline ait mod şekilleri Şekil 2.32 ve modlara karşı gelen periyotları ile kütle katılım oranları Tablo 2.28’de yer almaktadır.

Tablo 2.28. Periyotlar ve kütle katılım oranları

<i>Mod</i>	<i>Period</i>	<i>UX</i>	<i>UY</i>
<i>No</i>	<i>sn</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
1	1,251	81,80	0,00
2	1,190	0,00	81,85
3	1,109	0,00	0,03
4	0,464	11,81	0,00
5	0,445	0,00	11,79



Şekil 2.32. Yapıya ait ilk 5 mod şekilleri

## 2.2.7. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi İle Yapı Performansının Belirlenmesi

### 2.2.7.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Binanın toplam kat sayısı 8'i aşmadığından, toplam bina yüksekliği  $H=18.00m < 25m$  ve sistemin burulma katsayısı  $\eta_{bi} < 1.4$  olmasından dolayı (Tablo 2.29 ve Tablo 2.30) eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabilir. Eşdeğer deprem yükü yönteminde taban kesme kuvveti hesaplanırken deprem yükü azaltma kat sayısı ve bina önem katsayısı da uygulanmayacaktır. Ayrıca denklemin sağ tarafı  $\lambda$  ile çarpılacaktır ve söz konusu bina 5 katlı oldu için  $\lambda=0.85$  alınacaktır. Taban kesme kuvveti Denk. (2.59) ile hesaplanmaktadır.

$$V_t=0,85 \times W A_0 S(T) \quad (2.59)$$

Tablo 2.29. +X yönünde burulma düzensizliği kontrolü

<i>Kat No</i>	<i>h<sub>i</sub></i> (cm)	<i>Δ<sub>imax</sub></i> (cm)	<i>Δ<sub>imin</sub></i> (cm)	<i>Δ<sub>i-ort</sub></i>	<i>n<sub>bi</sub>&lt;1,4</i>	<i>Koşul</i>	<i>Sonuç</i>
5	350	24,05	24,03	24,04	1,0004	1,4	Sağladı
4	350	20,66	20,64	20,65	1,0005	1,4	Sağladı
3	350	15,21	15,19	15,20	1,0007	1,4	Sağladı
2	350	10,24	10,21	10,23	1,0015	1,4	Sağladı
1	400	4,79	4,77	4,78	1,0021	1,4	Sağladı

Tablo 2.30. +Y yönünde burulma düzensizliği kontrolü

<i>Kat No</i>	<i>h<sub>i</sub></i> (cm)	<i>Δ<sub>imax</sub></i> (cm)	<i>Δ<sub>imin</sub></i> (cm)	<i>Δ<sub>i-ort</sub></i>	<i>n<sub>bi</sub>&lt;1,4</i>	<i>Koşul</i>	<i>Sonuç</i>
5	350	22,78	22,42	22,6	1,0080	1,4	Sağladı
4	350	19,61	19,25	19,43	1,0093	1,4	Sağladı
3	350	14,43	14,14	14,285	1,0102	1,4	Sağladı
2	350	9,79	9,56	9,675	1,0119	1,4	Sağladı
1	400	4,68	4,54	4,61	1,0152	1,4	Sağladı

#### X Yönü Toplam Eşdeğer Deprem Yüğüünün Hesabı:

X yönü titreşim periyodu:  $T_x=1,251$  sn

Etkin yer ivme katsayısı:  $A_0=0,4$

Yapı önem katsayısı:  $1,5$

Spektrum karakteristik periyotları:  $T_a=0,15$ sn  $T_b=0,4$ sn

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı:  $R_a=1$

$T_x > T_b$  olduğundan



$$W = 37610,42 \text{ kN}$$

$$S(T_x)_{\%10} = 2,5 \left( \frac{T_b}{T_x} \right)^{0,8} = 2,5 \left( \frac{0,4}{1,251} \right)^{0,8} = 1,004$$

$$S(T_x)_{\%50} = 1,506$$

$$V_{tx} = 0,85 \times W A_0 S(T)$$

$$V_{tx(\%10)} = 0,85 \times 37610,42 \times 0,4 \times 1,004 = 12843,3 \text{ kN}$$

$$V_{tx(\%50)} = 0,85 \times 37610,42 \times 0,4 \times 1,506 = 19263,51 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{n(\%10)} = 0,0075 N V_t = 0,0075 \times 5 \times 12843,3 = 482 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{n(\%50)} = 723 \text{ kN}$$

#### Y Yönü Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Hesabı:

Y yönü titreşim periyodu:  $T_y=1,190$  sn

Etkin yer ivme katsayısı:  $A_0=0,4$

Yapı önem katsayısı:  $1,5$

Spektrum karakteristik periyotları:  $T_a=0,15$ sn  $T_b=0,4$ sn

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı:  $R_a=1$

$T_y > T_b$  olduğundan

$$S(T_y)_{\%10} = 2,5 \left( \frac{T_b}{T_x} \right)^{0,8} = 2,5 \left( \frac{0,4}{1,190} \right)^{0,8} = 1,045$$

$$S(T_y)_{\%50} = 1,568$$

$$W = 37610,42 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = 0,85 \times W A_0 S(T)$$

$$V_{ty(\%10)} = 0,85 \times 37610,42 \times 0,4 \times 1,045 = 13367,4 \text{ kN}$$

$$V_{ty(\%50)} = 0,85 \times 37610,42 \times 0,4 \times 1,568 = 20051,04 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{n(\%10)} = 0,0075 N V_t = 0,0075 \times 5 \times 13367,4 = 502 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{n(50)} = 752 \text{ kN}$$

Taban kesme kuvvetinin katlara göre dağılımı Tablo 2.31’de verilmiştir.

Tablo 2.31. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

<i>X Yönlü Depremde Katlara Gelen Kuvvetler</i>			<i>50 Yılda %10</i>	<i>50 Yılda %2</i>
<i>Kat No</i>	<i>h(i) m</i>	<i>H(i) m</i>	<i>F<sub>x(i)</sub> kN</i>	<i>F<sub>x(i)</sub> kN</i>
5	3.5	18.0	3616	5424
4	3.5	14.5	3550	5325
3	3.5	11.0	2776	4164
2	3.5	7.5	1893	2839
1	4.0	4.0	1010	1514
		$\Sigma V_{ix}$	12844 kN	19264 kN
<i>Y Yönlü Depremde Katlara Gelen Kuvvetler</i>			<i>50 Yılda %10</i>	<i>50 Yılda %2</i>
<i>Kat No</i>	<i>h(i) m</i>	<i>H(i) m</i>	<i>F<sub>y(i)</sub> kN</i>	<i>F<sub>y(i)</sub> kN</i>
5	3.5	18.0	3764	5645
4	3.5	14.5	3696	5543
3	3.5	11.0	2889	4334
2	3.5	7.5	1970	2955
1	4.0	4.0	1051	1576
		$\Sigma V_{iy}$	13365kN	20052 kN

Böylelikle katlara etkiyen deprem kuvvetleri belirlenmiştir. Bundan sonra 50 yılda aşılma olasılığı %10 (50/%10) olan deprem EX1/EY1, 50 yılda aşılma olasılığı %2 (50/%2) olan deprem EX2/EY2 olarak adlandırılacaktır. Her iki deprem içinde elde edilen kuvvetler doğrultusunda yapı analizi yapılmıştır. Hesaplanan iç kuvvetler ve elemanların hasar seviyeleri aşağıda sunulmuştur.

- **Kiriş İç Kuvvetleri ve Hasar Seviyeleri:**

Yapı geometrisinin ve yapı elemanlarının eksenlerinin genel eksenlerle çakışmasından dolayı x yönündeki depremde bu yöne paralel kirişlerde zorlanmalar olmuş, x yönüne dik kirişlerde ise iç kuvvetler hesaplanmıştır. Bu durumun tersi y yönündeki deprem için oluşmaktadır. Dolayısıyla ele alınan deprem doğrultusuna paralel çerçevelerin deprem yüklerini taşıdığı düşünülmüştür.

1. Kat kirişlerin iç kuvvetleri ve hasar seviyeleri tablolar halinde sunulacaktır.

Tablo 2.32’de +4.00 kotu 1. Kat x yönüne paralel (1-5 aksları arası) kirişlerin, düşey yükler altında, x doğrultusundaki her iki deprem (EX1/EX2) altında oluşan iç kuvvetleri ve bu kirişlerin taşıma kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 2.32. X Doğrultusundaki depremde 1. kat kirişlerinde oluşan iç kuvvetler

Eleman Bilgileri					G+0,6Q		EX1		EX2		Kapasite Kuvvetleri		
Kiriş No	Elem an No	b (cm)	h (cm)	ln (m)	Sol Moment	Sağ Moment	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Kesme Kuvveti	Sol Moment	Sağ Moment
					M (kNm)	M (kNm)	M (kNm)	M (kNm)	M (kNm)	M (kNm)		M- (kNm)	M+ (kNm)
					V (kN)	V (kN)	V (kN)	V (kN)	V (kN)	V (kN)		Vmax	M+ (kNm)
K101	161	50	60	5,4	-69,4	-76,4	1150,6	-1011,7	1725,9	-1517,6	389	557,32	557,32
					-88,3	90,9	400,4	400,4	600,6	600,6	1540	349,01	349,01
K102	166	50	60	4,9	-63,4	-60,2	1006,7	-1043,9	1510,0	-1565,8	389	557,32	557,32
					-80,0	78,7	418,5	418,5	627,7	627,7	1540	349,01	349,01
K103	171	50	60	4,9	-60,5	-62,9	1069,9	-1065,0	1604,8	-1597,5	389	557,32	557,32
					-78,9	79,9	435,7	435,7	653,5	653,5	1540	349,01	349,01
K104	176	50	60	5,4	-76,7	-69,4	1066,3	-1176,2	1599,5	-1764,4	389	557,32	557,32
					-91,0	88,3	415,3	415,3	622,9	622,9	1540	349,01	349,01
K105	141	50	60	5,4	-98,9	-107,5	1130,2	-1048,1	1695,3	-1572,2	389	557,32	557,32
					-120,1	123,2	403,4	403,4	605,1	605,1	1540	349,01	349,01
K106	146	50	60	4,9	-87,2	-84,4	1065,5	-1062,1	1598,3	-1593,2	389	557,32	557,32
					-107,0	105,8	434,2	434,2	651,3	651,3	1540	349,01	349,01
K107	151	50	60	4,9	-84,6	-86,9	1059,5	-1059,3	1589,3	-1589,0	389	557,32	557,32
					-105,9	106,9	432,4	432,4	648,6	648,6	1540	349,01	349,01
K108	156	50	60	5,4	-106,2	-101,0	1061,7	-1171,2	1592,5	-1756,9	389	557,32	557,32
					-122,2	120,3	413,5	413,5	620,3	620,3	1540	349,01	349,01
K109	121	50	60	5,4	-98,9	-107,5	1129,7	-1049,5	1694,5	-1574,3	389	557,32	557,32
					-120,0	123,2	403,6	403,6	605,3	605,3	1540	349,01	349,01
K110	126	50	60	4,9	-87,2	-84,4	1067,6	-1062,6	1601,3	-1594,0	389	557,32	557,32
					-107,0	105,8	434,7	434,7	652,1	652,1	1540	349,01	349,01
K111	131	50	60	4,9	-84,6	-87,0	1062,5	-1067,1	1593,7	-1600,6	389	557,32	557,32
					-105,9	106,9	434,6	434,6	651,9	651,9	1540	349,01	349,01
K112	136	50	60	5,4	-107,3	-98,4	1049,9	-1131,4	1574,9	-1697,2	389	557,32	557,32
					-122,9	119,6	404,0	404,0	605,9	605,9	1540	349,01	349,01
K113	101	50	60	5,4	-67,4	-77,4	1139,0	-1056,4	1708,5	-1584,6	389	557,32	557,32
					-87,8	91,5	406,5	406,5	609,8	609,8	1540	349,01	349,01
K114	106	50	60	4,9	-63,2	-60,3	1071,5	-1067,8	1607,3	-1601,7	389	557,32	557,32
					-80,0	78,8	436,6	436,6	654,9	654,9	1540	349,01	349,01
K115	111	50	60	4,9	-60,5	-63,1	1067,8	-1071,5	1601,7	-1607,3	389	557,32	557,32
					-78,9	79,9	436,6	436,6	654,9	654,9	1540	349,01	349,01
K1116	116	50	60	5,4	-77,6	-67,2	1056,4	-1139,1	1584,6	-1708,6	389	557,32	557,32
					-91,5	87,7	406,6	406,6	609,8	609,8	1540	349,01	349,01

Bu kuvvetler altında hesaplanan etki kapasite oranları ve eleman hasar seviyeleri Tablo 2.33’te verilmiştir.

Tablo 2.33. X Doğrultusundaki depremde 1. kat kirişlerdeki hasar seviyeleri

Kiriş No	Eleman No	b (cm)	h (cm)	Donatı Alanları		r=Me/(Mr-Md)		v = Ve/hdfctm				sarılma var-sınır				EX1 (50 Yılda %10)		EX2 (50 Yılda %2)	
				Sol Mesnet As1/As1	Sağ Mesnet As3	(p-p)/pb sol	(p-p)/pb sağ	Sargılama	Eleman Kırılma Tipi	mm	gv	gc	Sol Mesnet As1/As1	Sağ Mesnet As3	Eleman Hasar Sınırı	Sol Mesnet As1/As1	Sağ Mesnet As3	Eleman Hasar Sınırı	
K101	161	50	60	26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,83	5,83	8,44	8,41	2,36	2,10	3,54	3,16	GV	
K102	166	50	60	15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,75	2,38	4,12	3,57	GV	
K103	171	50	60	26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,81	5,75	8,35	8,36	2,04	2,10	3,06	3,15	GV	
K104	176	50	60	15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,44	2,55	3,66	3,83	GV	
K105	141	50	60	26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,81	5,76	8,36	8,35	2,15	2,15	3,23	3,23	GV	
K106	146	50	60	15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,61	2,59	3,92	3,88	GV	
K107	151	50	60	26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,82	5,81	8,41	8,44	2,22	2,41	3,33	3,62	GV	
K108	156	50	60	15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,50	2,81	3,76	4,22	GV	
K109	121	50	60	26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,75	5,55	8,11	8,07	2,47	2,33	3,70	3,50	GV	
K110	126	50	60	15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,52	2,30	3,78	3,44	GV	
K111	131	50	60	26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,74	5,51	8,08	8,10	2,35	2,57	3,53	3,85	GV	
K112	136	50	60	15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,33	2,60	3,50	3,90	GV	
K113	101	50	60	26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,75	5,52	8,11	8,07	2,46	2,33	3,70	3,50	GV	
K114	106	50	60	15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,52	2,30	3,78	3,45	GV	
K115	111	50	60	26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,74	5,51	8,06	8,08	2,27	2,25	3,41	3,37	GV	
K116	116	50	60	15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,45	2,45	3,67	3,68	GV	
				26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,74	5,52	8,08	8,07	2,25	2,27	3,37	3,40	GV	
				15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,45	2,45	3,68	3,67	GV	
				26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,75	5,52	8,11	8,11	2,33	2,47	3,50	3,70	GV	
				15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,30	2,53	3,45	3,79	GV	
				26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,82	5,84	8,44	8,41	2,32	2,20	3,49	3,30	GV	
				15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,73	2,48	4,10	3,72	GV	
				26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,81	5,75	8,35	8,36	2,17	2,15	3,25	3,22	GV	
				15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,60	2,61	3,90	3,91	GV	
				26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,81	5,76	8,36	8,35	2,15	2,17	3,22	3,25	GV	
				15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,61	2,60	3,91	3,90	GV	
				26,1	26,1	0,025	0,147	var	sünek	2,82	5,80	8,41	8,45	2,20	2,32	3,30	3,49	GV	
				15,71	15,71	0,025	-0,147	var	sünek	3,00	7,00	10,00	10,00	2,48	2,74	3,71	4,10	GV	

Tablo 2.33 incelendiğinde görülmektedir ki EX1 (50/%10) depreminde x yönündeki kirişlerin tamamı “Minimum Hasar” bölgesindedir.

EX2 (50/%2) depreminde ise x yönündeki kirişlerin tamamı “Belirgin Hasar” bölgesindedir.

Aynı şekilde +4.00 Kotu 1. Kat y yönüne paralel kirişlerin, düşey yükler altında, y doğrultusundaki her iki deprem altında oluşan iç kuvvetleri ve bu kirişlerin taşıma kapasiteleri Tablo 2.34’te verilmiştir.

Tablo 2.34. Y Doğrultusundaki depremde 1. kat kirişlerinde oluşan iç kuvvetler

Eleman Bilgileri					G+0,6Q		EY1		EY2		Kapasite Kuvvetleri		
Kiriş No	Eleman No	b (cm)	h (cm)	ln (m)	Sol Moment	Sağ Moment	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Kesme Kuvveti	Sol Moment	Sağ Moment
					M (kNm)	M (kNm)	M (kNm)	M (kNm)	M (kNm)	M (kNm)	Vr (kN)	M- (kNm)	M+ (kNm)
					V (kN)	V (kN)	V (kN)	V (kN)	V (kN)	V (kN)	Vmax (kN)	M+ (kNm)	M+ (kNm)
K117	181	50	60	4,4	-41,2	-45,0	1183,1	-1072,4	1774,7	-1608,5	389	557,32	557,32
					-68,3	70,0	512,6	512,6	768,9	768,9	1540	349,01	349,01
K118	186	50	60	3,9	-37,1	-37,0	1087,7	-1085,5	1631,6	-1628,3	389	557,32	557,32
					-61,7	61,7	557,2	557,2	835,9	835,9	1540	349,01	349,01
K119	191	50	60	4,4	-44,5	-42,5	1089,7	-1229,1	1634,6	-1843,7	389	557,32	557,32
					-69,6	68,7	527,0	527,0	790,5	790,5	1540	349,01	349,01
K120	196	50	60	4,4	-58,7	-58,7	1159,1	-1051,3	1738,7	-1577,0	389	557,32	557,32
					-89,1	89,1	502,4	502,4	753,6	753,6	1540	349,01	349,01
K121	201	50	60	3,9	-49,1	-49,3	1073,3	-1075,6	1609,9	-1613,3	389	557,32	557,32
					-79,5	79,5	551,0	551,0	826,5	826,5	1540	349,01	349,01
K122	206	50	60	4,4	-59,3	-57,0	1032,3	-1108,9	1548,5	-1663,4	389	557,32	557,32
					-89,6	88,6	486,6	486,6	730,0	730,0	1540	349,01	349,01
K123	211	50	60	4,4	-58,3	-58,9	1155,5	-1048,2	1733,3	-1572,3	389	557,32	557,32
					-88,9	89,3	500,8	500,8	751,3	751,3	1540	349,01	349,01
K124	216	50	60	3,9	-49,0	-49,0	1068,5	-1068,7	1602,7	-1603,0	389	557,32	557,32
					-79,3	79,3	548,0	548,0	822,0	822,0	1540	349,01	349,01
K125	221	50	60	4,4	-58,9	-58,3	1049,1	-1156,9	1573,6	-1735,4	389	557,32	557,32
					-89,3	88,9	501,4	501,4	752,0	752,0	1540	349,01	349,01
K126	226	50	60	4,4	-58,7	-58,6	1145,3	-1038,8	1717,9	-1558,3	389	557,32	557,32
					-89,1	89,1	496,4	496,4	744,6	744,6	1540	349,01	349,01
K127	231	50	60	3,9	-49,0	-49,0	1056,7	-1053,5	1585,1	-1580,3	389	557,32	557,32
					-79,3	79,3	541,1	541,1	811,6	811,6	1540	349,01	349,01
K128	236	50	60	4,4	-58,7	-58,6	1032,7	-1140,9	1549,0	-1711,3	389	557,32	557,32
					-89,1	89,1	494,0	494,0	741,0	741,0	1540	349,01	349,01
K129	241	50	60	4,4	-41,2	-45,0	1152,0	-1040,1	1728,0	-1560,1	389	557,32	557,32
					-68,3	70,0	498,2	498,2	747,3	747,3	1540	349,01	349,01
K130	246	50	60	3,9	-37,1	-36,5	1089,9	-1140,3	1634,9	-1710,4	389	557,32	557,32
					-61,6	61,3	571,8	571,8	857,8	857,8	1540	349,01	349,01
K131	251	50	60	4,4	-44,6	-42,6	1139,6	-1231,1	1709,4	-1846,7	389	557,32	557,32
					-69,6	68,7	538,8	538,8	808,2	808,2	1540	349,01	349,01

Bu kuvvetler altında hesaplanan etki kapasite oranları ve eleman hasar seviyeleri Tablo 2.35’te verilmiştir.

Tablo 2.35. Y Doğrultusundaki depremde 1. kat kirişlerdeki hasar seviyeleri

Kiriş No	Eleman No	b (cm)	h (cm)	Donatı Alanları		r = Me/(Mr-Md)		v = Ve/bd $\rho$ ctm		sarılma var sınır						EYI (50 Yılda %10)		EY2 (50 Yılda %2)						
				Sol Mesnet As1/As1	Sağ Mesnet As3	(p-p)/pb sol	(p-p)/pb sağ	Eleman Kırılma Tipi	Sargılama	Sol Mesnet As1/As1	Sağ Mesnet As3	mm	gv	gc	Sol Mesnet As1/As1	Sağ Mesnet As3	Eleman Hasar Sınırı	Sol Mesnet As1/As1	Sağ Mesnet As3	Eleman Hasar Sınırı				
				Ast (cm2)	Asb (cm2)	M <sup>-</sup>	M <sup>+</sup>		Sol Msnt	Sağ Msnt	İS <sup>-</sup>	İS <sup>+</sup>	İS <sup>-</sup>	İS <sup>+</sup>	İS <sup>-</sup>	İS <sup>+</sup>	İS <sup>-</sup>	İS <sup>+</sup>	İS <sup>-</sup>	İS <sup>+</sup>	İS <sup>-</sup>	İS <sup>+</sup>		
K117	181	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	0,93 0,47	0,94 0,46	2,78 3,00	2,78 3,00	5,67 7,00	5,65 7,00	8,23 10,00	8,23 10,00	2,29 3,03	2,29 3,03	3,44 4,55	3,14 4,08	GV	GV
K118	186	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,00 0,58	1,00 0,58	2,73 3,00	2,73 3,00	5,49 7,00	5,49 7,00	8,04 10,00	8,04 10,00	2,09 2,82	2,09 2,82	3,14 4,23	3,13 4,22	GV	GV
K119	191	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	0,94 0,46	0,93 0,47	2,78 3,00	2,78 3,00	5,66 7,00	5,67 7,00	8,24 10,00	8,24 10,00	2,12 2,77	2,12 2,77	3,19 4,15	3,58 4,71	GV	GV
K120	196	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,00 0,40	1,00 0,40	2,73 3,00	2,73 3,00	5,48 7,00	5,48 7,00	8,03 10,00	8,03 10,00	2,32 2,84	2,32 2,84	3,49 4,26	3,16 3,87	GV	GV
K121	201	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,06 0,52	1,06 0,52	2,68 3,00	2,68 3,00	5,33 7,00	5,33 7,00	7,86 10,00	7,86 10,00	2,11 2,70	2,11 2,70	3,17 4,04	3,18 4,05	GV	GV
K122	206	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,01 0,40	1,00 0,40	2,73 3,00	2,73 3,00	5,48 7,00	5,48 7,00	8,03 10,00	8,03 10,00	2,07 2,53	2,22 2,73	3,11 3,79	3,32 4,1	GV	GV
K123	211	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,00 0,40	1,00 0,40	2,73 3,00	2,73 3,00	5,49 7,00	5,48 7,00	8,03 10,00	8,03 10,00	2,32 2,84	2,10 2,57	3,47 4,26	3,15 3,85	GV	GV
K124	216	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,06 0,52	1,06 0,52	2,68 3,00	2,68 3,00	5,34 7,00	5,34 7,00	7,86 10,00	7,86 10,00	2,10 2,68	2,10 2,68	3,15 4,03	3,15 4,03	GV	GV
K125	221	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,00 0,40	1,00 0,40	2,73 3,00	2,73 3,00	5,49 7,00	5,49 7,00	8,03 10,00	8,03 10,00	2,10 2,57	2,10 2,57	3,16 3,86	3,48 4,26	GV	GV
K126	226	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,00 0,40	1,00 0,40	2,73 3,00	2,73 3,00	5,48 7,00	5,48 7,00	8,03 10,00	8,03 10,00	2,30 2,81	2,08 2,55	3,45 4,21	3,12 3,82	GV	GV
K127	231	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,06 0,52	1,06 0,52	2,68 3,00	2,68 3,00	5,34 7,00	5,34 7,00	7,86 10,00	7,86 10,00	2,08 2,66	2,07 2,65	3,12 3,98	3,11 3,97	GV	GV
K128	236	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,00 0,40	1,00 0,40	2,73 3,00	2,73 3,00	5,48 7,00	5,48 7,00	8,03 10,00	8,03 10,00	2,07 2,53	2,29 2,80	3,11 3,8	3,43 4,2	GV	GV
K129	241	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	0,93 0,47	0,94 0,46	2,78 3,00	2,78 3,00	5,67 7,00	5,65 7,00	8,23 10,00	8,23 10,00	2,23 2,95	2,03 2,64	3,35 4,43	3,05 3,96	GV	GV
K130	246	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	1,00 0,58	1,00 0,58	2,73 3,00	2,73 3,00	5,49 7,00	5,49 7,00	8,05 10,00	8,05 10,00	2,10 2,82	2,19 2,96	3,14 4,23	3,28 4,44	GV	GV
K131	251	50	60	26,1 15,71	26,1 15,71	0,025	0,147 -0,147	0,147 -0,147	stünek	var	0,94 0,46	0,93 0,47	2,78 3,00	2,78 3,00	5,66 7,00	5,67 7,00	8,24 10,00	8,24 10,00	2,22 2,90	2,39 3,14	3,33 4,34	3,59 4,72	GV	GV

Tablo 2.35 incelendiğinde görülmektedir ki EY1 (50/%10) depreminde 3 adet kiriş belirgin hasar bölgesindedir. Belirgin hasar bölgesindeki kirişlerin y yönündeki toplam kiriş sayısına oranı %20' dir.

EY2 (50/%2) depreminde ise kirişlerin tamamı “Belirgin Hasar” bölgesindedir.

- **Kolon İç Kuvvetleri ve Hasar Seviyeleri**

1. kat kolonlarında, düşey yükler altında oluşan iç kuvvetler, deprem yüklemesi altında oluşan iç kuvvetler ve kolonların yük birleşimi altındaki taşıma kapasiteleri hasar seviyeleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 2.36'da +4.00 kotu 1. kat kolonlarının, düşey yükler altında, x yönündeki EX1 (50/%10) depremi altında oluşan iç kuvvetleri ve bu kolonların taşıma kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 2.36. EX1 Depreminde 1. kat kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve kapasiteleri

Eleman Bilgileri						G+0.6Q (kN-m)			EX1(KN-m)			G+0.6Q+EX1 Kapasitesi			G+0.6Q-EX1 Kapasitesi		
Kolon	Eleman	Aks	bx=h	by=b	ln	N	Mxa (My)	Vxx <sub>alt</sub>	N <sub>alt</sub>	Mxx(My)	Vxx <sub>alt</sub>	Nk <sub>alt</sub>	Mrxx(My)	Vrxa	Nk <sub>alt</sub>	Mrxx(My)	Vrxa
No	No	No	(cm)	(cm)	(m)	± çekme	Mxu(My)	Vxx <sub>üst</sub>	N <sub>üst</sub>	Mxx(My)	Vxx <sub>üst</sub>	Nk <sub>üst</sub>	Mrxx(My)	Vrxu	Nk <sub>üst</sub>	Mrxx(My)	Vrxu
S101	16	A/1	60	60	3,40	-1083	-21,1	-16,2	1900	1959,2	731,9	-123	975,5	1119,4	-128	976,7	1119,6
						-1052	34,1	-16,2	1900	-529,3	731,9	848	730,9	889,6	848	730,9	889,6
S102	36	A/2	60	60	3,40	-1753	3,5	2,7	106	1972,6	874,3	-1685	1263,2	1214,9	-1685	1263,2	1214,9
						-1722	-5,7	2,7	106	-999,9	874,3	-1616	1257,2	1210,7	-1616	1257,2	1210,7
S103	56	A/3	60	60	3,40	-1678	-0,2	-0,1	29	2313,5	990,2	-1662	1261,2	1213,5	-1662	1261,2	1213,5
						-1647	0,1	-0,1	29	-1053,0	990,2	-1618	1257,3	1210,8	-1618	1257,3	1210,8
S104	76	A/4	60	60	3,40	-1753	-3,9	-2,9	-102	2284,5	982,5	-1810	1274,1	1222,5	-1810	1274,1	1222,5
						-1723	6,1	-2,9	-102	-1055,8	982,5	-1824	1275,3	1223,4	-1824	1275,3	1223,4
S105	96	A/5	60	60	3,40	-1083	20,8	16,0	-1932	1993,9	743,9	-2321	1315,1	1253,8	-2321	1315,1	1253,8
						-1052	-33,8	16,0	-1932	-1053,0	743,9	-2984	1356,4	1294,3	-2984	1356,4	1294,3
S106	11	B/1	60	60	3,40	-1697	-27,9	-21,5	2327	2038,0	791,3	-472	1058,0	1140,7	-465	1056,5	1140,3
						-1666	45,0	-21,5	2327	-652,5	791,3	661	779,0	938,5	661	779,0	938,5
S107	31	B/2	60	60	3,40	-2728	5,4	4,2	161	2873,6	1230,7	-2653	1337,8	1274,1	-2653	1337,8	1274,1
						-2697	-8,9	4,2	161	-1310,6	1230,7	-2536	1330,3	1266,9	-2536	1330,3	1266,9
S108	51	B/3	60	60	3,40	-2614	-0,2	-0,1	-4	2843,2	1221,7	-2616	1335,5	1271,8	-2616	1335,5	1271,8
						-2584	0,1	-0,1	-4	-1310,7	1221,7	-2588	1333,7	1270,1	-2588	1333,7	1270,1
S109	71	B/4	60	60	3,40	-2721	-5,2	-4,0	-118	2843,9	1222,3	-2777	1345,3	1281,6	-2777	1345,3	1281,6
						-2690	8,3	-4,0	-118	-1311,9	1222,3	-2808	1347,0	1283,5	-2808	1347,0	1283,5
S110	91	B/5	60	60	3,40	-1696	29,0	22,5	-2369	2477,9	924,6	-2956	1355,0	1292,6	-2956	1355,0	1292,6
						-1666	-47,5	22,5	-2369	-665,6	924,6	-4034	1332,9	1358,5	-4034	1332,9	1358,5
S111	6	C/1	60	60	3,40	-1697	-28,1	-21,6	2329	2045,5	795,9	-471	1057,9	1140,6	-471	1057,9	1140,6
						-1667	45,2	-21,6	2329	-660,5	795,9	663	778,5	938,1	663	778,5	938,1
S112	26	C/2	60	60	3,40	-2727	5,4	4,2	163	2875,8	1230,8	-2651	1337,7	1273,9	-2651	1337,7	1273,9
						-2696	-9,0	4,2	163	-1309,0	1230,8	-2533	1330,0	1266,7	-2533	1330,0	1266,7
S113	46	C/3	60	60	3,40	-2614	-0,2	-0,1	-1	2850,3	1225,8	-2615	1335,4	1271,7	-2615	1335,4	1271,7
						-2583	0,1	-0,1	-1	-1317,5	1225,8	-2585	1333,5	1269,9	-2585	1333,5	1269,9
S114	66	C/4	60	60	3,40	-2724	-5,6	-4,3	-156	2876,8	1231,6	-2797	1346,4	1282,9	-2797	1346,4	1282,9
						-2693	8,9	-4,3	-156	-1310,7	1231,6	-2849	1349,3	1286,1	-2849	1349,3	1286,1
S115	86	C/5	60	60	3,40	-1695	27,5	21,2	-2334	2042,1	793,3	-3210	1366,3	1308,1	-3210	1366,3	1308,1
						-1664	-44,7	21,2	-2334	-655,1	793,3	-3998	1337,1	1356,3	-3998	1337,1	1356,3
S116	1	D/1	60	60	3,40	-1081	-19,9	-15,2	1910	1657,1	643,6	10	942,9	1109,1	10	942,9	1109,1
						-1051	31,8	-15,2	1910	-531,2	643,6	860	727,9	886,5	860	727,9	886,5
S117	21	D/2	60	60	3,40	-1755	3,9	3,1	122	2329,5	998,6	-1689	1263,6	1215,1	-1689	1263,6	1215,1
						-1724	-6,5	3,1	122	-1065,9	998,6	-1603	1255,9	1209,8	-1603	1255,9	1209,8
S118	41	D/3	60	60	3,40	-1678	-0,2	-0,1	0	2297,0	988,3	-1678	1262,6	1214,4	-1678	1262,6	1214,4
						-1647	0,1	-0,1	0	-1063,3	988,3	-1647	1259,9	1212,5	-1647	1259,9	1212,5
S119	61	D/4	60	60	3,40	-1755	-4,2	-3,2	-121	2329,6	998,7	-1821	1275,0	1223,2	-1821	1275,0	1223,2
						-1724	6,6	-3,2	-121	-1066,0	998,7	-1845	1277,1	1224,7	-1845	1277,1	1224,7
S120	81	D/5	60	60	3,40	-1081	19,6	15,1	-1911	1656,9	643,5	-2573	1332,7	1269,2	-2585	1333,5	1269,9
						-1050	-31,8	15,1	-1911	-531,0	643,5	-2961	1355,2	1292,9	-2961	1355,2	1292,9

Tablo 2.37’de +4.00 kotu 1. Kat kolonlarının, düşey yükler altında, x yönündeki EX2 (50/%2) depremi altında oluşan iç kuvvetleri ve bu kolonların taşıma kapasiteleri verilmiştir.



Tablo 2.37. EX2 Depreminde 1. kat kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve kapasiteleri

Eleman Bilgileri						G+0.6Q (kN-m)			EX2(KN-m)			G+0.6Q+EX2 Kapasitesi			G+0.6Q-EX2 Kapasitesi		
Kolon	Eleman	Aks	bx=h	by=b	ln	N	Mxa (My)	Vxx <sub>alt</sub>	N <sub>alt</sub>	Mxx(My)	Vxx <sub>alt</sub>	Nk <sub>alt</sub>	Mkx(My)	Vrxa	Nk <sub>alt</sub>	Mkx(My)	Vrxa
No	No	No	(cm)	(cm)	(m)	+ çekme	Mxu(My)	Vxx <sub>üst</sub>	N <sub>üst</sub>	Mxx(My)	Vxx <sub>üst</sub>	Nk <sub>üst</sub>	Mkx(My)	Vrxu	Nk <sub>üst</sub>	Mkx(My)	Vrxu
S101	16	A/1	60	60	3,40	-1082,9	-21,1	-16,2	2850,5	2938,8	1097,9	-117	973,9	1119,0	-126	976,3	1119,6
						-1052,3	34,1	-16,2	2850,5	-794,0	1097,9	1323	607,7	765,0	1247	627,6	785,1
S102	36	A/2	60	60	3,40	-1752,7	3,5	2,7	158,6	2958,9	1311,4	-1685	1263,2	1214,9	-1685	1263,2	1214,9
						-1722,1	-5,7	2,7	158,6	-1499,8	1311,4	-1590	1254,8	1209,1	-1590	1254,8	1209,1
S103	56	A/3	60	60	3,40	-1677,5	-0,2	-0,1	43,0	3470,3	1485,2	-1662	1261,2	1213,5	-1662	1261,2	1213,5
						-1646,9	0,1	-0,1	43,0	-1579,5	1485,2	-1613	1256,8	1210,5	-1613	1256,8	1210,5
S104	76	A/4	60	60	3,40	-1753,2	-3,9	-2,9	-152,8	3426,8	1473,7	-1810	1274,0	1222,5	-1810	1274,0	1222,5
						-1722,6	6,1	-2,9	-152,8	-1583,8	1473,7	-1846	1277,1	1224,7	-1846	1277,1	1224,7
S105	96	A/5	60	60	3,40	-1083,0	20,8	16,0	-2897,6	2990,9	1115,9	-2337	1316,3	1254,8	-2327	1315,5	1254,1
						-1052,4	-33,8	16,0	-2897,6	-803,2	1115,9	-3950	1342,5	1353,4	-3950	1342,5	1353,4
S106	11	B/1	60	60	3,40	-1696,6	-27,9	-21,5	3490,9	3057,0	1187,0	-463	1056,0	1140,1	-467	1057,0	1140,4
						-1666,0	45,0	-21,5	3490,9	-978,7	1187,0	516	816,1	976,6	939	707,4	865,7
S107	31	B/2	60	60	3,40	-2727,9	5,4	4,2	241,6	4310,4	1846,0	-2653	1337,8	1274,1	-2653	1337,8	1274,1
						-2697,3	-8,9	4,2	241,6	-1965,9	1846,0	-2535	1330,2	1266,9	-2535	1330,2	1266,9
S108	51	B/3	60	60	3,40	-2614,2	-0,2	-0,1	-6,7	4264,7	1832,6	-2616	1335,5	1271,8	-2616	1335,5	1271,8
						-2583,6	0,1	-0,1	-6,7	-1966,1	1832,6	-2588	1333,7	1270,1	-2588	1333,7	1270,1
S109	71	B/4	60	60	3,40	-2720,9	-5,2	-4,0	-176,4	4265,9	1833,5	-2777	1345,3	1281,6	-2777	1345,3	1281,6
						-2690,3	8,3	-4,0	-176,4	-1967,9	1833,5	-2811	1347,2	1283,7	-2811	1347,2	1283,7
S110	91	B/5	60	60	3,40	-1696,2	29,0	22,5	-3553,2	3716,8	1386,8	-2956	1355,0	1292,6	-2956	1355,0	1292,6
						-1665,6	-47,5	22,5	-3553,2	-998,4	1386,8	-5219	1193,4	1431,0	-5219	1193,4	1431,0
S111	6	C/1	60	60	3,40	-1697,1	-28,1	-21,6	3494,2	3068,2	1193,8	-471	1057,9	1140,6	-471	1057,9	1140,6
						-1666,5	45,2	-21,6	3494,2	-990,8	1193,8	477	826,0	986,8	517	815,8	976,2
S112	26	C/2	60	60	3,40	-2726,7	5,4	4,2	244,8	4313,6	1846,2	-2651	1337,7	1273,9	-2651	1337,7	1274,0
						-2696,1	-9,0	4,2	244,8	-1963,5	1846,2	-2532	1330,0	1266,7	-2532	1330,0	1266,7
S113	46	C/3	60	60	3,40	-2614,1	-0,2	-0,1	-1,9	4275,5	1838,8	-2615	1335,4	1271,7	-2615	1335,4	1271,7
						-2583,5	0,1	-0,1	-1,9	-1976,2	1838,8	-2585	1333,5	1269,9	-2585	1333,5	1269,9
S114	66	C/4	60	60	3,40	-2723,6	-5,6	-4,3	-234,4	4315,2	1847,4	-2797	1346,4	1282,9	-2797	1346,4	1282,9
						-2693,0	8,9	-4,3	-234,4	-1966,0	1847,4	-2855	1349,6	1286,4	-2855	1349,6	1286,4
S115	86	C/5	60	60	3,40	-1694,6	27,5	21,2	-3500,4	3063,1	1189,9	-3216	1366,5	1308,5	-3216	1366,5	1308,5
						-1664,0	-44,7	21,2	-3500,4	-982,6	1189,9	-5164	1200,1	1427,6	-5164	1200,1	1427,6
S116	1	D/1	60	60	3,40	-1081,3	-19,9	-15,2	2865,5	2485,6	965,4	25	939,3	1105,2	25	939,3	1105,2
						-1050,7	31,8	-15,2	2865,5	-796,8	965,4	1337	604,0	761,4	1337	604,0	761,4
S117	21	D/2	60	60	3,40	-1754,9	3,9	3,1	182,3	3494,3	1498,0	-1689	1263,6	1215,1	-1689	1263,6	1215,1
						-1724,3	-6,5	3,1	182,3	-1598,8	1498,0	-1583	1254,2	1208,6	-1583	1254,2	1208,6
S118	41	D/3	60	60	3,40	-1677,6	-0,2	-0,1	-0,2	3445,6	1482,5	-1678	1262,6	1214,4	-1678	1262,6	1214,4
						-1647,0	0,1	-0,1	-0,2	-1594,9	1482,5	-1647	1259,9	1212,6	-1647	1259,9	1212,6
S119	61	D/4	60	60	3,40	-1754,7	-4,2	-3,2	-182,0	3494,4	1498,0	-1821	1275,0	1223,2	-1821	1275,0	1223,2
						-1724,1	6,6	-3,2	-182,0	-1599,0	1498,0	-1870	1279,1	1226,2	-1870	1279,1	1226,2
S120	81	D/5	60	60	3,40	-1080,8	19,6	15,1	-2865,8	2485,4	965,2	-2589	1333,7	1270,2	-2581	1333,2	1269,7
						-1050,2	-31,8	15,1	-2865,8	-796,5	965,2	-3916	1346,4	1351,3	-3916	1346,4	1351,3

X doğrultusundaki her iki deprem seviyesi için hesaplanan iç kuvvetler altında elemanlardaki r değerleri, eleman hasar sınırları ve kesme güvenliğine bağlı olarak belirlenen kırılma türleri Tablo 2.38’de verilmiştir.

Tablo 2.38. EX1 ve EX2 Depremi sonucu 1. kat kolonlarındaki hasar sınırları

Kolon No	Eleman No	Aks		Kırılma Türü	Sargılama	Nk/Ac <sub>cm</sub>	Ve/bdf <sub>cm</sub>	sarıma var sınır			G+0,6Q+EX1		G+0,6Q+EX2		G+0,6Q+EX2		Eleman Hasar Sınırları		
		No	No					mm	gv	gc	f <sub>ait</sub>	Hasar Sınırları	f <sub>list</sub>	Hasar Sınırları	f <sub>ait</sub>	Hasar Sınırları		f <sub>list</sub>	Hasar Sınırları
S101	16	A/1	var	sünek	var	0,014	0,830	2,86	5,72	7,45	1,98	MN	1,99	MN	2,95	GV	2,98	GV	GV
S102	36	A/2	var	sünek	var	-0,094	0,830	2,86	5,72	7,45	1,00	MN	1,00	MN	1,20	MN	1,24	MN	GV
S103	56	A/3	var	sünek	var	0,187	1,226	2,27	4,40	5,52	1,57	MN	1,57	MN	2,35	GV	2,35	GV	GV
S104	76	A/4	var	sünek	var	0,180	1,226	2,29	4,47	5,58	1,00	MN	1,00	MN	1,20	MN	1,20	MN	GV
S105	96	A/5	var	sünek	var	0,185	1,225	2,28	4,43	5,54	1,84	MN	1,84	MN	2,76	GV	2,76	GV	GV
S106	11	B/1	var	sünek	var	0,180	1,225	2,29	4,47	5,58	1,00	MN	1,00	MN	1,26	MN	1,26	MN	GV
S107	31	B/2	var	sünek	var	0,201	1,240	2,21	4,27	5,36	1,79	MN	1,79	MN	2,69	GV	2,69	GV	GV
S108	51	B/3	var	sünek	var	0,203	1,240	2,20	4,25	5,35	1,00	MN	1,00	MN	1,24	MN	1,24	MN	GV
S109	71	B/4	var	sünek	var	0,258	1,257	2,01	3,77	4,84	1,56	MN	1,56	MN	2,31	GV	2,33	GV	GV
S110	91	B/5	var	sünek	var	0,332	1,257	1,76	3,16	4,23	1,00	MN	1,00	MN	1,00	MN	1,00	MN	GV
S111	6	C/1	var	sünek	var	0,052	0,893	2,81	5,63	7,25	1,90	MN	1,89	MN	2,83	GV	2,84	GV	GV
S112	26	C/2	var	sünek	var	-0,073	0,893	2,81	5,63	7,25	1,00	MN	1,00	MN	1,60	MN	1,34	MN	GV
S113	46	C/3	var	sünek	var	0,295	1,298	1,85	3,38	4,39	2,16	GV	2,16	GV	3,23	GV	3,23	GV	GV
S114	66	C/4	var	sünek	var	0,282	1,298	1,90	3,49	4,49	1,00	MN	1,00	MN	1,49	MN	1,49	MN	GV
S115	86	C/5	var	sünek	var	0,291	1,298	1,87	3,41	4,42	2,13	GV	2,13	GV	3,20	GV	3,20	GV	GV
S116	1	D/1	var	sünek	var	0,288	1,298	1,88	3,44	4,44	1,00	MN	1,00	MN	1,48	MN	1,48	MN	GV
S117	21	D/2	var	sünek	var	0,309	1,309	1,80	3,26	4,26	2,11	GV	2,11	GV	3,16	GV	3,16	GV	GV
S118	41	D/3	var	sünek	var	0,312	1,309	1,79	3,23	4,23	1,00	MN	1,00	MN	1,46	MN	1,46	MN	GV
S119	61	D/4	var	sünek	var	0,328	1,307	1,74	3,10	4,10	1,88	GV	1,88	GV	2,82	GV	2,82	GV	GV
S120	81	D/5	var	sünek	var	0,448	1,307	1,50	2,50	3,50	1,00	MN	1,00	MN	1,00	MN	1,00	MN	GV
			var		var	0,052	0,893	2,81	5,63	7,25	1,90	MN	1,90	MN	2,85	GV	2,85	GV	GV
			var		var	-0,074	0,893	2,81	5,63	7,25	1,00	MN	1,00	MN	1,63	MN	1,60	MN	GV
			var		var	0,295	1,297	1,85	3,38	4,39	2,16	GV	2,16	GV	3,23	GV	3,24	GV	GV
			var		var	0,281	1,297	1,90	3,49	4,50	1,00	MN	1,00	MN	1,49	MN	1,49	MN	GV
			var		var	0,291	1,298	1,87	3,42	4,42	2,14	GV	2,14	GV	3,21	GV	3,21	GV	GV
			var		var	0,287	1,298	1,88	3,44	4,45	1,00	MN	1,00	MN	1,49	MN	1,49	MN	GV
			var		var	0,311	1,311	1,80	3,24	4,24	2,12	GV	2,13	GV	3,20	GV	3,20	GV	GV
			var		var	0,317	1,311	1,78	3,20	4,20	1,00	MN	1,00	MN	1,45	MN	1,45	MN	GV
			var		var	0,357	1,315	1,64	2,86	3,86	1,54	MN	1,54	MN	2,30	GV	2,30	GV	GV
			var		var	0,444	1,315	1,50	2,50	3,50	1,00	MN	1,00	MN	1,00	MN	1,00	MN	GV
			var		var	-0,001	0,813	2,87	5,75	7,50	1,75	MN	1,75	MN	2,59	MN	2,59	MN	MN
			var		var	-0,096	0,813	2,87	5,75	7,50	1,00	MN	1,00	MN	1,20	MN	1,20	MN	GV
			var		var	0,188	1,225	2,27	4,40	5,52	1,85	MN	1,85	MN	2,78	GV	2,77	GV	GV
			var		var	0,178	1,225	2,30	4,48	5,59	1,00	MN	1,00	MN	1,29	MN	1,29	MN	GV
			var		var	0,186	1,227	2,27	4,41	5,52	1,82	MN	1,82	MN	2,73	GV	2,73	GV	GV
			var		var	0,183	1,227	2,28	4,44	5,55	1,00	MN	1,00	MN	1,27	MN	1,27	MN	GV
			var		var	0,202	1,241	2,20	4,25	5,34	1,83	MN	1,83	MN	2,74	GV	2,74	GV	GV
			var		var	0,205	1,241	2,20	4,23	5,32	1,00	MN	1,00	MN	1,25	MN	1,25	MN	GV
			var		var	0,286	1,089	2,04	3,88	5,20	1,28	MN	1,27	MN	1,90	GV	1,91	GV	GV
			var		var	0,329	1,089	1,90	3,54	4,87	1,00	MN	1,00	MN	1,00	MN	1,00	MN	GV

Tablo 2.38 incelendiğinde görülmektedir ki EX1 (50/%10) depreminde 7 adet kolon belirgin hasar bölgesindedir. Bu sayıyı toplam kat kolonlarına oranlarsak; 1. kat kolonlarının %35'i "Belirgin Hasar Bölgesi" 'inde, %65'i "Minimum Hasar Bölgesi" inindedir.

EX2 (50/%2) depreminde ise kolonların tümü belirgin hasar bölgesindedir.

Tablo 2.39'da +4.00 kotu 1. Kat kolonlarının, düşey yükler altında, y yönündeki EY1 (50/%10) depremi altında oluşan iç kuvvetleri ve bu kolonların taşıma kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 2.39. EY1 Depreminde 1. kat kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve kapasiteleri

Eleman Bilgileri						G+0.6Q (kN-m)			EY1(KN-m)			G+0.6Q+EY1 Kapasitesi			G+0.6Q-EY1 Kapasitesi		
Kolon	Eleman	Aks	bx=h	by=b	ln	N	Mxa (My)	Vxx <sub>alt</sub>	N <sub>alt</sub>	Mxx(My)	Vxx <sub>alt</sub>	Nk <sub>alt</sub>	Mrxx(My)	Vrxa	Nk <sub>alt</sub>	Mrxx(My)	Vrxa
No	No	No	(cm)	(cm)	(m)	<sup>+=</sup> çekme Mxu(My)	Vxx <sub>üst</sub>	N <sub>üst</sub>	Mxx(My)	Vxx <sub>üst</sub>	Nk <sub>üst</sub>	Mrxx(My)	Vrxu	Nk <sub>üst</sub>	Mrxx(My)	Vrxu	
S101	16	A/1	60	60	3,40	-1083	13,7	10,6	-2509	2019,4	793,3	-2722	1342,1	1278,3	-2712	1341,4	1277,7
						-1052	-22,2	10,6	-2509	-677,7	793,3	-3561	1376,8	1329,6	-3561	1376,8	1329,6
S102	36	A/2	60	60	3,40	-1753	16,5	12,7	-3052	1789,9	751,1	-3997	1337,2	1356,2	-4430	1287,4	1382,7
						-1722	-26,7	12,7	-3052	-763,9	751,1	-4774	1247,1	1403,8	-4774	1247,1	1403,8
S103	56	A/3	60	60	3,40	-1678	17,9	13,8	-3017	2099,1	851,6	-3624	1378,0	1333,4	-3624	1378,0	1333,4
						-1647	-29,0	13,8	-3017	-796,4	851,6	-4664	1260,1	1397,0	-4664	1260,1	1397,0
S104	76	A/4	60	60	3,40	-1753	17,4	13,4	-3064	2052,0	834,9	-3769	1363,1	1342,3	-3769	1363,1	1342,3
						-1723	-28,2	13,4	-3064	-786,5	834,9	-4787	1245,6	1404,5	-4787	1245,6	1404,5
S105	96	A/5	60	60	3,40	-1083	13,6	10,5	-2574	1993,0	781,2	-2788	1345,9	1282,3	-2788	1345,9	1282,3
						-1052	-22,2	10,5	-2574	-663,2	781,2	-3627	1378,0	1333,6	-3627	1378,0	1333,6
S106	11	B/1	60	60	3,40	-1697	-2,2	-1,7	-183	2365,3	1059,7	-1795	1272,7	1221,6	-1795	1272,7	1221,6
						-1666	3,5	-1,7	-183	-1237,5	1059,7	-1849	1277,3	1224,9	-1849	1277,3	1224,9
S107	31	B/2	60	60	3,40	-2728	-2,7	-2,1	-318	2949,9	1317,8	-2874	1350,7	1287,6	-2873	1350,6	1287,5
						-2697	4,4	-2,1	-318	-1530,5	1317,8	-2979	1356,1	1294,0	-2976	1356,0	1293,8
S108	51	B/3	60	60	3,40	-2614	-2,6	-2,0	-283	2887,8	1290,6	-2746	1343,4	1279,7	-2746	1343,4	1279,7
						-2584	4,2	-2,0	-283	-1500,4	1290,6	-2838	1348,7	1285,4	-2838	1348,7	1285,4
S109	71	B/4	60	60	3,40	-2721	-2,6	-2,0	-283	2878,2	1289,9	-2854	1349,6	1286,3	-2854	1349,6	1286,3
						-2690	4,1	-2,0	-283	-1507,6	1289,9	-2943	1354,3	1291,8	-2943	1354,3	1291,8
S110	91	B/5	60	60	3,40	-1696	-2,4	-1,8	-194	2749,0	1183,4	-1786	1272,0	1221,0	-1786	1272,0	1221,0
						-1666	3,9	-1,8	-194	-1274,6	1183,4	-1859	1278,3	1225,5	-1859	1278,3	1225,5
S111	6	C/1	60	60	3,40	-1697	2,3	1,8	203	2360,4	1055,9	-1590	1254,8	1209,1	-1590	1254,8	1209,1
						-1667	-3,7	1,8	203	-1229,5	1055,9	-1464	1243,5	1201,4	-1464	1243,5	1201,4
S112	26	C/2	60	60	3,40	-2727	2,5	1,9	287	2956,2	1322,7	-2598	1334,3	1270,7	-2598	1334,3	1270,7
						-2696	-4,0	1,9	287	-1540,9	1322,7	-2451	1324,4	1261,7	-2451	1324,4	1261,7
S113	46	C/3	60	60	3,40	-2614	2,5	2,0	281	2888,2	1291,0	-2486	1326,9	1263,8	-2485	1326,8	1263,8
						-2583	-4,1	2,0	281	-1501,2	1291,0	-2339	1316,5	1254,9	-2339	1316,5	1254,9
S114	66	C/4	60	60	3,40	-2724	2,5	1,9	285	2911,7	1301,8	-2593	1334,0	1270,4	-2593	1334,0	1270,4
						-2693	-4,1	1,9	285	-1514,5	1301,8	-2445	1324,0	1261,3	-2447	1324,2	1261,5
S115	86	C/5	60	60	3,40	-1695	2,2	1,7	303	2295,9	1028,5	-1531	1249,5	1205,4	-1530	1249,4	1205,4
						-1664	-3,7	1,7	303	-1201,1	1028,5	-1360	1232,1	1195,0	-1360	1232,1	1195,0
S116	1	D/1	60	60	3,40	-1081	-12,8	-9,9	2487	1693,8	686,9	242	885,5	1048,5	221	890,7	1053,9
						-1051	20,7	-9,9	2487	-641,6	686,9	1388	590,9	748,1	1252	626,1	783,6
S117	21	D/2	60	60	3,40	-1755	-17,8	-13,7	3085	2120,2	862,4	-257	1007,7	1127,5	-413	1044,5	1137,1
						-1724	28,8	-13,7	3085	-811,9	862,4	913	714,2	872,6	649	782,1	941,7
S118	41	D/3	60	60	3,40	-1678	-17,7	-13,6	3018	2062,3	837,5	-212	997,0	1124,8	-168	986,5	1122,1
						-1647	28,5	-13,6	3018	-785,0	837,5	1072	672,9	830,8	827	736,3	895,1
S119	61	D/4	60	60	3,40	-1755	-17,8	-13,7	3063	2087,5	848,1	-253	1006,8	1127,3	-261	1008,6	1127,8
						-1724	28,7	-13,7	3063	-796,1	848,1	1086	669,4	827,3	786	746,8	905,7
S120	81	D/5	60	60	3,40	-1081	-12,9	-9,9	2464	1639,0	662,8	258	881,4	1044,2	237	886,8	1049,8
						-1050	20,7	-9,9	2464	-614,5	662,8	1413	584,2	741,4	1389	590,6	747,8

Tablo 2.40'da +4.00 kotu 1. Kat kolonlarının, düşey yükler altında, y yönündeki EY2 (50/%2 ) depremi altında oluşan iç kuvvetleri ve bu kolonların taşıma kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 2.40. EY2 Depreminde 1. kat kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve kapasiteleri

Eleman Bilgileri						G+0.6Q (kN-m)			EY2(KN-m)			G+0.6Q+EY2 Kapasitesi			G+0.6Q-EY2 Kapasitesi		
Kolon	Eleman	Aks	bx=b	by=h	ln	N	Mxa (My)	Vxx <sub>alt</sub>	N <sub>alt</sub>	Mxx(My)	Vxx <sub>alt</sub>	Nk <sub>alt</sub>	Mrxx(My)	Vrxa	Nk <sub>alt</sub>	Mrxx(My)	Vrxa
No	No	No	(cm)	(cm)	(m)	± çekme	Mxu(My)	Vxx <sub>üst</sub>	N <sub>üst</sub>	Mxx(My)	Vxx <sub>üst</sub>	Nk <sub>üst</sub>	Mrxx(My)	Vrxu	Nk <sub>üst</sub>	Mrxx(My)	Vrxu
S101	16	A/1	60	60	3,40	-1083	13,7	10,6	-3763	3029,2	1189,9	-2719	1341,9	1278,1	-2719	1341,9	1278,1
						-1052	-22,2	10,6	-3763	-1016,5	1189,9	-4815	1242,2	1406,3	-4815	1242,2	1406,3
S102	36	A/2	60	60	3,40	-1753	16,5	12,7	-4578	2684,9	1126,7	-3997	1337,2	1356,2	-3986	1338,4	1355,6
						-1722	-26,7	12,7	-4578	-1145,8	1126,7	-5884	1108,5	1471,7	-5922	1103,4	1474,0
S103	56	A/3	60	60	3,40	-1678	17,9	13,8	-4525	3148,7	1277,4	-3628	1378,1	1333,7	-3620	1377,9	1333,2
						-1647	-29,0	13,8	-4525	-1194,5	1277,4	-5724	1129,6	1461,8	-5876	1109,6	1471,2
S104	76	A/4	60	60	3,40	-1753	17,4	13,4	-4596	3078,1	1252,3	-3751	1365,1	1341,2	-3751	1365,1	1341,2
						-1723	-28,2	13,4	-4596	-1179,8	1252,3	-5826	1116,2	1468,1	-6018	1090,5	1479,8
S105	96	A/5	60	60	3,40	-1083	13,6	10,5	-3861	2989,5	1171,9	-2792	1346,1	1282,5	-2799	1346,6	1283,0
						-1052	-22,2	10,5	-3861	-994,9	1171,9	-4914	1230,4	1412,3	-4914	1230,4	1412,3
S106	11	B/1	60	60	3,40	-1697	-2,2	-1,7	-274	3548,0	1589,5	-1795	1272,7	1221,6	-1795	1272,7	1221,6
						-1666	3,5	-1,7	-274	-1856,2	1589,5	-1854	1277,8	1225,2	-1854	1277,8	1225,2
S107	31	B/2	60	60	3,40	-2728	-2,7	-2,1	-477	4424,8	1976,7	-2874	1350,7	1287,6	-2879	1351,0	1287,9
						-2697	4,4	-2,1	-477	-2295,8	1976,7	-2980	1356,1	1294,0	-2978	1356,1	1293,9
S108	51	B/3	60	60	3,40	-2614	-2,6	-2,0	-424	4331,6	1936,0	-2746	1343,5	1279,7	-2746	1343,5	1279,8
						-2584	4,2	-2,0	-424	-2250,6	1936,0	-2838	1348,7	1285,3	-2839	1348,8	1285,4
S109	71	B/4	60	60	3,40	-2721	-2,6	-2,0	-424	4317,3	1934,9	-2854	1349,6	1286,4	-2856	1349,7	1286,4
						-2690	4,1	-2,0	-424	-2261,3	1934,9	-2944	1354,4	1291,9	-2946	1354,4	1292,0
S110	91	B/5	60	60	3,40	-1696	-2,4	-1,8	-291	4123,5	1775,1	-1786	1272,0	1221,0	-1786	1272,0	1221,1
						-1666	3,9	-1,8	-291	-1912,0	1775,1	-1859	1278,3	1225,5	-1861	1278,4	1225,6
S111	6	C/1	60	60	3,40	-1697	2,3	1,8	304	3540,6	1583,8	-1590	1254,8	1209,0	-1590	1254,8	1209,0
						-1667	-3,7	1,8	304	-1844,3	1583,8	-1463	1243,4	1201,3	-1463	1243,4	1201,3
S112	26	C/2	60	60	3,40	-2727	2,5	1,9	430	4434,3	1984,0	-2598	1334,3	1270,7	-2598	1334,3	1270,7
						-2696	-4,0	1,9	430	-2311,4	1984,0	-2450	1324,4	1261,7	-2452	1324,5	1261,8
S113	46	C/3	60	60	3,40	-2614	2,5	2,0	421	4332,4	1936,5	-2485	1326,8	1263,8	-2487	1326,9	1263,9
						-2583	-4,1	2,0	421	-2251,8	1936,5	-2339	1316,4	1254,8	-2339	1316,4	1254,8
S114	66	C/4	60	60	3,40	-2724	2,5	1,9	428	4367,5	1952,7	-2593	1334,0	1270,4	-2593	1334,0	1270,4
						-2693	-4,1	1,9	428	-2271,8	1952,7	-2444	1324,0	1261,3	-2444	1324,0	1261,3
S115	86	C/5	60	60	3,40	-1695	2,2	1,7	455	3443,9	1542,8	-1530	1249,4	1205,4	-1530	1249,4	1205,4
						-1664	-3,7	1,7	455	-1801,6	1542,8	-1354	1231,1	1194,6	-1352	1230,8	1194,5
S116	1	D/1	60	60	3,40	-1081	-12,8	-9,9	3731	2540,7	1030,3	223	890,1	1053,3	237	886,6	1049,7
						-1051	20,7	-9,9	3731	-962,4	1030,3	1281	618,6	776,1	1356	599,0	756,4
S117	21	D/2	60	60	3,40	-1755	-17,8	-13,7	4628	3180,3	1293,6	-257	1007,7	1127,5	-262	1008,9	1127,8
						-1724	28,8	-13,7	4628	-1217,9	1293,6	998	692,1	850,2	998	692,1	850,2
S118	41	D/3	60	60	3,40	-1678	-17,7	-13,6	4527	3093,5	1256,2	-193	992,4	1123,6	-208	995,9	1124,5
						-1647	28,5	-13,6	4527	-1177,6	1256,2	1097	666,5	824,4	1097	666,5	824,4
S119	61	D/4	60	60	3,40	-1755	-17,8	-13,7	4594	3131,3	1272,2	-248	1005,6	1127,0	-273	1011,4	1128,5
						-1724	28,7	-13,7	4594	-1194,2	1272,2	1060	676,0	834,0	1027	684,7	842,7
S120	81	D/5	60	60	3,40	-1081	-12,9	-9,9	3695	2458,5	994,2	263	880,1	1042,9	263	880,1	1042,9
						-1050	20,7	-9,9	3695	-921,7	994,2	1365	596,8	754,1	1381	592,7	749,9

Y doğrultusundaki her iki deprem seviyesi için hesaplanan iç kuvvetler altında elemanlardaki r değerleri, eleman hasar sınırları ve kesme güvenliğine bağlı olarak belirlenen kırılma türleri Tablo 2.41’de verilmiştir.



Tablo 2.41 incelendiğinde görülmektedir ki EY1 (50/%10) depreminde 9 adet kolon belirgin hasar bölgesindedir. Bu sayıyı toplam kat kolonlarına oranlarsak; 1. kat kolonlarının %45'i "Belirgin Hasar Bölgesi" 'inde, %55'i "Minimum Hasar Bölgesi" inindedir.

EX2 (50/%2) depreminde ise kolonların tümü belirgin hasar bölgesindedir.

- **Kolon Kiriş Birleşim Bölgelerinde Kesme Güvenliğinin İrdelenmesi**

Sağlık kuruluşunun ilk üç katında tüm kiriş ve kolonların boyutları aynıdır ve kiriş donatıları kat bazında aynıdır. Dolayısıyla birleşim bölgesindeki kolon kesme kuvveti ihmal edilip ilk üç katın birden birleşim bölgesindeki kesme güvenliği irdelenebilir.

X deprem doğrultusunda kolon kiriş birleşim kontrolü Tablo 2.42 ve Tablo 2.43'te verilmiştir.

Tablo 2.42. X doğrultusu 1., 2. ve 3. kat için birleşim bölgesi kontrolü

1. 2. ve 3. Kat Kolonları								Kiriş Donatıları				X Doğrultusu		
Kolon No	Eleman No	Aks No	bx=h (cm)	by=b (cm)	Vkol (kN)	Kuşatma	bj (cm)	Sol Kiriş	Ast (cm2) Asb (cm2)	Ast (cm2) Asb (cm2)	Sağ Kiriş	Ve (kN)	Vr (kN)	Durum
S116	1	A/1	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K101	1370,78	4050	√
S117	21	A/2	60	60	0	yok	60	K101	26,11 15,71	26,11 15,71	K102	2196	4050	√
S118	41	A/3	60	60	0	yok	60	K102	26,11 15,71	26,11 15,71	K103	2196	4050	√
S119	61	A/4	60	60	0	yok	60	K103	26,11 15,71	26,11 15,71	K104	2196	4050	√
S120	81	A/6	60	60	0	yok	60	K104	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√
S111	6	B/1	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K105	1371	4050	√
S112	26	B/2	60	60	0	yok	60	K105	26,11 15,71	26,11 15,71	K106	2196	4050	√
S113	46	B/3	60	60	0	yok	60	K106	26,11 15,71	26,11 15,71	K107	2196	4050	√
S114	66	B/4	60	60	0	yok	60	K107	26,11 15,71	26,11 15,71	K108	2196	4050	√
S115	86	B/6	60	60	0	yok	60	K108	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√
S106	11	C/1	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K109	1371	4050	√
S107	31	C/2	60	60	0	yok	60	K109	26,11 15,71	26,11 15,71	K110	2196	4050	√
S108	51	C/3	60	60	0	yok	60	K110	26,11 15,71	26,11 15,71	K111	2196	4050	√
S109	71	C/4	60	60	0	yok	60	K111	26,11 15,71	26,11 15,71	K112	2196	4050	√
S110	91	C/6	60	60	0	yok	60	K112	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√
S101	16	D/1	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K113	1371	4050	√
S102	36	D/2	60	60	0	yok	60	K113	26,11 15,71	26,11 15,71	K114	2196	4050	√
S103	56	D/3	60	60	0	yok	60	K114	26,11 15,71	26,11 15,71	K115	2196	4050	√
S104	76	D/4	60	60	0	yok	60	K115	26,11 15,71	26,11 15,71	K116	2196	4050	√
S105	96	D/6	60	60	0	yok	60	K116	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√



Tablo 2.43. X doğrultusu 4. ve 5. kat için birleşim bölgesi kontrolü

4. ve 5. Kat Kolonları								Kiriş Donatıları				X Doğrultusu		
Kolon No	Elema No	Aks No	bx=h (cm)	by=b (cm)	Vkol (kN)	Kuşat ma	bj (cm)	Sol Kiriş	Ast (cm2) Asb (cm2)	Ast (cm2) Asb (cm2)	Sağ Kiriş	Ve (kN)	Vr (kN)	Durum
S416	4	A/1	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K401	875,7	2812,5	√
S417	24	A/2	50	50	0	yok	50	K401	16,68 12,56	16,68 12,56	K402	1535	2812,5	√
S418	44	A/3	50	50	0	yok	50	K402	16,68 12,56	16,68 12,56	K403	1535	2812,5	√
S419	64	A/4	50	50	0	yok	50	K403	16,68 12,56	16,68 12,56	K404	1535	2812,5	√
S420	84	A/6	50	50	0	yok	50	K404	16,68 12,56	0 0	-	876	2812,5	√
S411	9	B/1	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K405	876	2812,5	√
S412	29	B/2	50	50	0	yok	50	K405	16,68 12,56	16,68 12,56	K406	1535	2812,5	√
S413	49	B/3	50	50	0	yok	50	K406	16,68 12,56	16,68 12,56	K407	1535	2812,5	√
S414	69	B/4	50	50	0	yok	50	K407	16,68 12,56	16,68 12,56	K408	1535	2812,5	√
S415	89	B/6	50	50	0	yok	50	K408	16,68 12,56	0 0	-	876	2812,5	√
S406	14	C/1	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K409	876	2812,5	√
S407	34	C/2	50	50	0	yok	50	K409	16,68 12,56	16,68 12,56	K410	1535	2812,5	√
S408	54	C/3	50	50	0	yok	50	K410	16,68 12,56	16,68 12,56	K411	1535	2812,5	√
S409	74	C/4	50	50	0	yok	50	K411	16,68 12,56	16,68 12,56	K412	1535	2812,5	√
S410	94	C/6	50	50	0	yok	50	K412	16,68 12,56	0 0	-	876	2812,5	√
S101	19	D/1	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K413	876	2812,5	√
S402	39	D/2	50	50	0	yok	50	K413	16,68 12,56	16,68 12,56	K414	1535	2812,5	√
S403	59	D/3	50	50	0	yok	50	K414	16,68 12,56	16,68 12,56	K415	1535	2812,5	√
S404	79	D/4	50	50	0	yok	50	K415	16,68 12,56	16,68 12,56	K416	1535	2812,5	√
S405	99	D/6	50	50	0	yok	50	K416	16,68 12,56	0 0	-	876	2812,5	√

Y deprem doğrultusunda kolon kiriş birleşim kontrolü Tablo 2.44 ve Tablo 2.45'te verilmiştir.

Tablo 2.44. Y doğrultusu 1., 2. ve 3. kat için birleşim bölgesi kontrolü

1. 2. ve 3. Kat Kolonları							Kiriş Donatıları					Y Doğrultusu		
Kolon No	Elema No	Aks No	by=h (cm)	bx=b (cm)	Vkol (kN)	Kuşatma	bj (cm)	Sol Kiriş	Ast (cm2) Asb (cm2)	Ast (cm2) Asb (cm2)	Sağ Kiriş	Ve (kN)	Vr (kN)	Durum
S116	1	A/1	60	60	0	yok	60	K119	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√
S117	21	A/2	60	60	0	yok	60	K122	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√
S118	41	A/3	60	60	0	yok	60	K125	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√
S119	61	A/4	60	60	0	yok	60	K128	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√
S120	81	A/5	60	60	0	yok	60	K131	26,11 15,71	0 0	-	1371	4050	√
S111	6	B/1	60	60	0	yok	60	K118	26,11 15,71	26,11 15,71	K119	2196	4050	√
S112	26	B/2	60	60	0	yok	60	K121	26,11 15,71	26,11 15,71	K122	2196	4050	√
S113	46	B/3	60	60	0	yok	60	K124	26,11 15,71	26,11 15,71	K125	2196	4050	√
S114	66	B/4	60	60	0	yok	60	K127	26,11 15,71	26,11 15,71	K128	2196	4050	√
S115	86	B/5	60	60	0	yok	60	K130	26,11 15,71	26,11 15,71	K131	2196	4050	√
S106	11	C/1	60	60	0	yok	60	K117	26,11 15,71	26,11 15,71	K118	2196	4050	√
S107	31	C/2	60	60	0	yok	60	K120	26,11 15,71	26,11 15,71	K121	2196	4050	√
S108	51	C/3	60	60	0	yok	60	K123	26,11 15,71	26,11 15,71	K124	2196	4050	√
S109	71	C/4	60	60	0	yok	60	K126	26,11 15,71	26,11 15,71	K127	2196	4050	√
S110	16	C/6	60	60	0	yok	60	K129	26,11 15,71	26,11 15,71	K130	2196	4050	√
S101	36	D/1	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K117	1371	4050	√
S102	56	D/2	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K120	1371	4050	√
S103	76	D/3	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K123	1371	4050	√
S104	96	D/4	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K126	1371	4050	√
S105	23	D/5	60	60	0	yok	60	-	0 0	26,11 15,71	K129	1371	4050	√

Tablo 2.45. Y doğrultusu 4. ve 5. Kat için birleşim bölgesi kontrolü

4. ve 5. Kat Kolonları							Kiriş Donatıları					Y Doğrultusu		
Kolon No	Eleman No	Aks No	by=h (cm)	bx=b (cm)	Vkol (kN)	Kuşatma	bj (cm)	Sol Kiriş	Ast (cm2) Asb (cm2)	Ast (cm2) Asb (cm2)	Sağ Kiriş	Ve (kN)	Vr (kN)	Durum
S401	4	A/1	50	50	0	yok	50	K419	16,68 12,56	0 0	-	876	2813	√
S402	24	A/2	50	50	0	yok	50	K422	16,68 12,56	0 0	-	876	2813	√
S403	44	A/3	50	50	0	yok	50	K425	16,68 12,56	0 0	-	876	2813	√
S404	64	A/4	50	50	0	yok	50	K428	16,68 12,56	0 0	-	876	2813	√
S405	84	A/5	50	50	0	yok	50	K431	16,68 12,56	0 0	-	876	2813	√
S406	9	B/1	50	50	0	yok	50	K118	16,68 12,56	16,68 12,56	K419	1535	2813	√
S407	29	B/2	50	50	0	yok	50	K121	16,68 12,56	16,68 12,56	K422	1535	2813	√
S408	49	B/3	50	50	0	yok	50	K124	16,68 12,56	16,68 12,56	K425	1535	2813	√
S409	69	B/4	50	50	0	yok	50	K127	16,68 12,56	16,68 12,56	K428	1535	2813	√
S410	89	B/5	50	50	0	yok	50	K130	16,68 12,56	16,68 12,56	K431	1535	2813	√
S411	14	B/6	50	50	0	yok	50	K417	16,68 12,56	16,68 12,56	K118	1535	2813	√
S412	34	C/1	50	50	0	yok	50	K420	16,68 12,56	16,68 12,56	K121	1535	2813	√
S413	54	C/2	50	50	0	yok	50	K423	16,68 12,56	16,68 12,56	K124	1535	2813	√
S414	74	C/3	50	50	0	yok	50	K426	16,68 12,56	16,68 12,56	K127	1535	2813	√
S415	94	C/4	50	50	0	yok	50	K429	16,68 12,56	16,68 12,56	K130	1535	2813	√
S416	19	C/5	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K417	876	2813	√
S417	39	C/6	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K420	876	2813	√
S418	59	D/1	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K423	876	2813	√
S419	79	D/2	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K426	876	2813	√
S420	99	D/3	50	50	0	yok	50	-	0 0	16,68 12,56	K429	876	2813	√

### 2.2.7.2. Bina Performansının Değerlendirilmesi

Ele alınan sağlık kuruluşu deprem performansının 50/%10 olan depremde “Hemen Kullanım”, 50/%2 olan depremde “Can Güvenliği” performansını sağlaması gerekir.

X doğrultusunda EX1 ve EX2 depremleri için yapılan analizler sonucunda; kat ve bina için kiriş hasar dağılımı Tablo 2.46, kolon hasar dağılımı ise Tablo 2.47’de verilmiştir.

Tablo 2.46. X Doğrultusundaki depremde kiriş hasar seviyeleri

EDYY		EX1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)								EX2 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %2)							
KAT NO	Kattaki Kiriş Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi			
		MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB
5.K (+18.00)	16	16				100%				16				100%			
4.K (+14.50)	16	16				100%				8	8			50%	50%		
3.K (+11.00)	16	16				100%				4	12			25%	75%		
2.K (+7.50)	16	16				100%					16				100%		
1.K (+4.00)	16	16				100%					16				100%		
TOPLAM	80	80				100%				28	52			35%	65%		

Tablo 2.47. X Doğrultusundaki deprem için kolon hasar dağılımı

EDYY		EX1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)								EX2 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %2)							
KAT NO	Kattaki Kolon Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi			
		MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB
5.K (+18.00)	20	20				100%				20				100%			
4.K (+14.50)	20	20				100%				20				100%			
3.K (+11.00)	20	20				100%				20				100%			
2.K (+7.50)	20	20				100%				14	6			70%	30%		
1.K (+4.00)	20	13	7			65%	35%				20				100%		
TOPLAM	100	93	7			93%	7%			74	26			74%	26%		

### 50 / %10 Olan Deprem İçin X Doğrultusunda Performans Değerlendirmesi

- ✓ 2., 3., 4. ve 5. katta kiriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir(MHB).
- ✓ 1. katta kirişlerin tümü minimum hasar bölgesindedir. Kolonların ise %65’i minimum hasar bölgesinde, %35’i belirgin hasar bölgesindedir(BHB).

Bina X doğrultusunda 50 / % 10 olan deprem için bina performansının hedeflenen “Hemen Kullanım” seviyesini sağlamadığı ve bina performansının “Can Güvenliği” seviyesinde olduğu görülmüştür.

### 50 / %2 Olan Deprem İçin X Doğrultusunda Performans Değerlendirmesi

- ✓ 5. katta kiriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.

- ✓ 4. katta kirişlerin %50'si belirgin hasar bölgesindedir. Kolonların ise tümü minimum hasar bölgesindedir.
- ✓ 3. katta kirişlerin %75'i belirgin hasar bölgesindedir. Kolonların ise tümü minimum hasar bölgesindedir.
- ✓ 2. katta kirişlerin tümü belirgin hasar bölgesindedir(BHB). Kolonların ise %70'i minimum hasar bölgesinde(MHB), %30'u belirgin hasar bölgesindedir(BHB).
- ✓ 1. katta kiriş ve kolonların tümü belirgin hasar bölgesindedir(BHB).

Binanın yapısal performansı “Can Güvenliği” düzeyindedir. Bina X doğrultusunda 50 / %2 olan deprem için hedeflenen “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamaktadır.

Y doğrultusunda EY1 ve EY2 depremleri için yapılan analizler sonucunda; kat ve bina için kiriş hasar dağılımı Tablo 2.48, kolon hasar dağılımı ise Tablo 2.49'da verilmiştir.

Tablo 2.48. Y Doğrultusundaki depremde kiriş hasar seviyeleri

EDYY		EY1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)								EY2 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %2)							
KAT NO	Kattaki Kiriş Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi			
		MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB
5.K (+18.00)	15	15				100%				15				100%			
4.K (+14.50)	15	15				100%				15				100%			
3.K (+11.00)	15	15				100%				15				100%			
2.K (+7.50)	15	15				100%				15				100%			
1.K (+4.00)	15	12	3			80%	20%			15				100%			
TOPLAM	75	72	3			96%	4%			30	45			40%	60%		

Tablo 2.49. Y Doğrultusundaki deprem için kolon hasar dağılımı

EDYY		EY1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)								EY2 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %2)							
KAT NO	Kattaki Kolon Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi			
		MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB
5.K (+18.00)	20	20				100%				20				100%			
4.K (+14.50)	20	20				100%				14	6			70%	30%		
3.K (+11.00)	20	20				100%				20				100%			
2.K (+7.50)	20	20				100%				13	7			65%	35%		
1.K (+4.00)	20	11	9			55%	45%			2	18			10%	90%		
TOPLAM	100	91	9			91%	9%			69	31			69%	31%		

### **50 / %10 Olan Deprem İçin Y Doğrultusunda Performans Değerlendirmesi**

- ✓ 2., 3., 4. ve 5. katta kiriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.
- ✓ 1. katta kirişlerin %20'si belirgin hasar bölgesinde, %80'i minimum hasar bölgesindedir. Kolonların ise %55'i minimum hasar bölgesinde, %45'i belirgin hasar bölgesindedir.

Bina X doğrultusunda 50 / % 10 olan deprem için bina performansının hedeflenen "Hemen Kullanım" seviyesini sağlamadığı ve bina performansının "Can Güvenliği" seviyesinde olduğu görülmüştür.

### **50 / %2 Olan Deprem İçin Y Doğrultusunda Performans Değerlendirmesi**

- ✓ 5. katta kiriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.
- ✓ 4. katta kirişlerin tümü minimum hasar bölgesindedir. Kolonların ise %70'i minimum hasar bölgesinde, %30'u belirgin hasar bölgesindedir.
- ✓ 3. katta kirişlerin tümü belirgin hasar bölgesindedir. Kolonların ise tümü minimum hasar bölgesindedir.
- ✓ 2. katta kirişlerin tümü belirgin hasar bölgesindedir. Kolonların ise %65'i minimum hasar bölgesinde, %35'i belirgin hasar bölgesindedir.
- ✓ 1. katta kirişlerin tümü belirgin hasar bölgesindedir. Kolonların ise %10'u minimum hasar bölgesinde, %90'ı belirgin hasar bölgesindedir.

Binanın yapısal performansı "Can Güvenliği" düzeyindedir. Bina Y doğrultusunda 50 / %2 olan deprem için hedeflenen "Can Güvenliği" performans seviyesini sağlamaktadır.

Yukarıda verilen sonuçlar neticesinde X ve Y doğrultusu için 50 /%10 olan deprem için bina performansının hedeflenen "Hemen Kullanım" seviyesini sağlamadığı ve bina performansının "Can Güvenliği" seviyesinde olduğu görülmüştür. X ve Y doğrultuları için 50 / %2 olan deprem için ise hedeflenen performansın sağlandığı ve bina performansının "Can Güvenliği" seviyesinde olduğu görülmüştür.

### 2.2.7.3. Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Görelî kat ötelemeleri Tablo 1.5’te verilen hasar sınırını aşmayacaktır. Aksi takdirde etki kapasite oranları (r) değerleri kullanılarak yapılan performans değerlendirilmesi göz önüne alınmayacaktır. Görelî kat ötelemelerinin belirlenmesinde izlenen yol şu şekildedir; ilgili kattaki tüm kolonların göreli yerdeğiştirmelerine bakılarak en büyük değere sahip kolonun göreli yerdeğiştirmesi o katın göreli kat ötelemesi olarak ele alınmıştır. Bu doğrultuda yapılan hesap sonucunda elde edilen göreli kat ötelemeleri Tablo 2.50 ve Tablo 2.51’de verilmiştir.

Tablo 2.50. X Doğrultusu için göreli kat ötelemelerinin irdelenmesi

EDYY		EX1 (50 Yılda %10)					EX2 (50 Yılda %2)				
KAT NO	hi (cm)	dimax (cm)	δimax (cm)	δimax / hi	Koşul	Hasar Sınırı	dimax (cm)	δimax (cm)	δimax / hi	Koşul	Hasar Sınırı
5	350	24,05	3,39	0,0097	< 0.01	MN	36,08	5,09	0,0145	> 0.01 <0.03	GV
4	350	20,66	5,45	0,0156	> 0.01 <0.03	GV	30,99	8,18	0,0234	> 0.01 <0.03	GV
3	350	15,21	4,97	0,0142	> 0.01 <0.03	GV	22,82	7,46	0,0213	> 0.01 <0.03	GV
2	350	10,24	5,45	0,0156	> 0.01 <0.03	GV	15,36	8,18	0,0234	> 0.01 <0.03	GV
1	400	4,79	4,79	0,0120	> 0.01 <0.03	GV	7,19	7,19	0,0180	> 0.01 <0.03	GV

Tablo 2.51. Y Doğrultusu için göreli kat ötelemelerinin irdelenmesi

EDYY		EY1 (50 Yılda %10)					EY2 (50 Yılda %2)				
KAT NO	hi (cm)	dimax (cm)	δimax (cm)	δimax / hi	Koşul	Hasar Sınırı	dimax (cm)	δimax (cm)	δimax / hi	Koşul	Hasar Sınırı
5	350	22,78	3,17	0,0091	< 0.01	MN	34,17	4,76	0,0136	> 0.01 <0.03	GV
4	350	19,61	5,18	0,0148	> 0.01 <0.03	GV	29,42	7,77	0,0222	> 0.01 <0.03	GV
3	350	14,43	4,64	0,0133	> 0.01 <0.03	GV	21,65	6,96	0,0199	> 0.01 <0.03	GV
2	350	9,79	5,11	0,0146	> 0.01 <0.03	GV	14,69	7,67	0,0219	> 0.01 <0.03	GV
1	400	4,68	4,68	0,0117	> 0.01 <0.03	GV	7,02	7,02	0,0176	> 0.01 <0.03	GV

Tablo 2.50 ve Tablo 2.51 incelendiğinde görülmektedir ki X ve Y doğrultuları için, 50 / % 10 olan deprem için bina performansının hedeflenen “Hemen Kullanım” seviyesini sağlamadığı ve bina performansının “Can Güvenliği” seviyesinde olduğu görülmüştür. 50 / %2 olan deprem için ise hedeflenen “Can Güvenliği” performans düzeyinin sağlandığı görülmüştür.

Görelî kat ötelemesi sonucu elde edilen performans seviyeleri r oranları değerlendirilerek elde edilen sonuçlarla aynı çıkmıştır. Dolayısıyla r oranları değerlendirilerek yapılan performans değerlendirmesi geçerlidir.

## 2.2.8. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Yapı Performansının Belirlenmesi

### 2.2.8.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Bu bölümde 2007 deprem yönetmeliğine göre tasarımı yapılan sağlık kuruluşunun deprem performansı doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ile irdelenecektir. Sistemde kullanılacak elemanların çatlamış kesitlerine ait eğilme rijitlikleri Bölüm 2.2.4’te irdelenmişti.

Binanın toplam katsayısı 8’i aşmadığından ve ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları bütün katlarda  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulu sağlandığından ve hakim modun kütle katılım oranı % 70 den fazla olduğu için “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ile itme analizi uygulanabilir.

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan bir statik analiz yapılır. Bu analiz kuvvet kontrollüdür ve bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır. Doğrusal olmayan statik analiz hesabında düşey yükler aşağıdaki şekilde dikkate alınır:

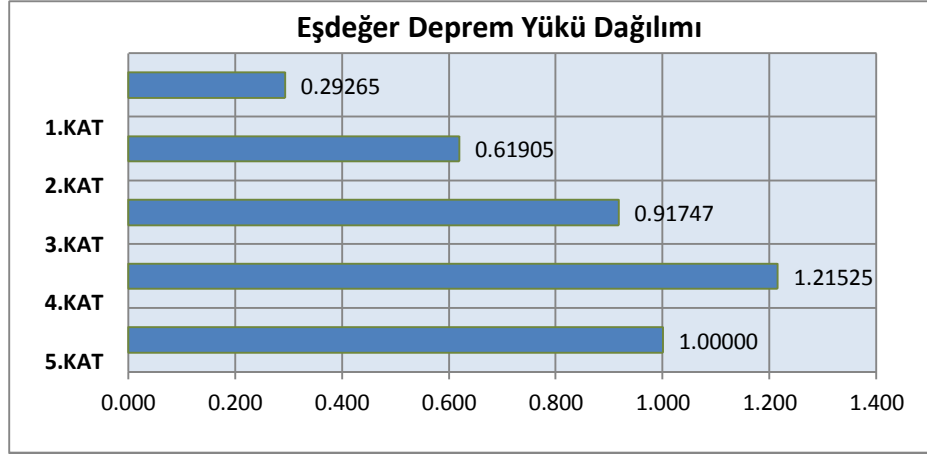
$$\text{Düşey yük kombinasyonu: } G + nQ = G + 0.6Q$$

Binaların hakim mod şekillerine ve kat ağırlıklarına (dolayısıyla kütlelerine) bağlı olarak artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yüğü dağılımları sırası ile Tablo 2.52 ve 2.53, Şekil 2.33 ve Şekil 2.34’te verilmiştir.



Tablo 2.52. X Doğrultusu için eşdeğer deprem yükü dağılımı

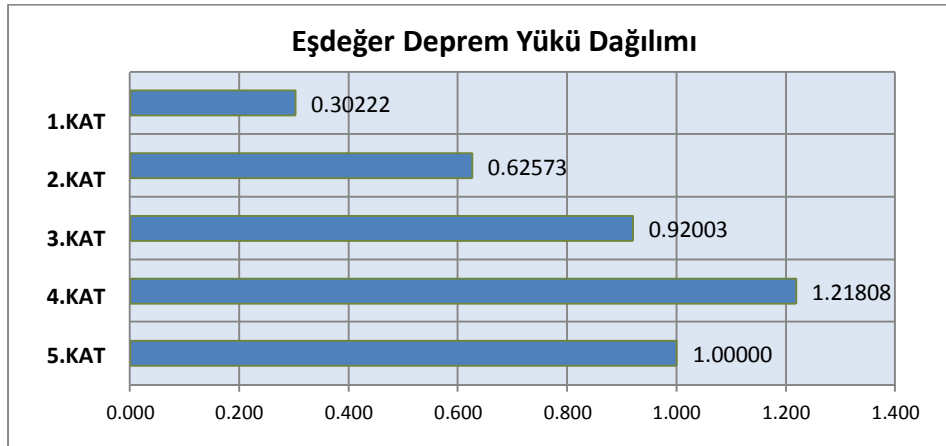
Kat No	Kümülatif Kat Ağırlıkları (kN)	Kat Ağırlığı (kN)	Kat Kütlesi kNs2/m	1. Mod Şekli Genlikleri (m)	Kat. Küt. x1.Mod	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı
5	5595,70	5595,70	570,408	0,021	11,779	1,00000
4	13462,55	7866,85	801,921	0,018	14,314	1,21525
3	21481,84	8019,29	817,461	0,013	10,807	0,91747
2	29501,13	8019,29	817,461	0,009	7,292	0,61905
1	37610,42	8109,29	826,635	0,004	3,447	0,29265



Şekil 2.33. X Yönünde katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Tablo 2.53. Y Doğrultusu için eşdeğer deprem yükü dağılımı

Kat No	Kümülatif Kat Ağırlıkları (kN)	Kat Ağırlığı (kN)	Kat Kütlesi kNs2/m	1. Mod Şekli Genlikleri (m)	Kat. Küt. x1.Mod	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı
5	5595,70	5595,70	570,408	0,022	12,555	1,00000
4	13462,55	7866,85	801,921	0,019	15,293	1,21808
3	21481,84	8019,29	817,461	0,014	11,551	0,92003
2	29501,13	8019,29	817,461	0,010	7,856	0,62573
1	37610,42	8109,29	826,635	0,005	3,794	0,30222

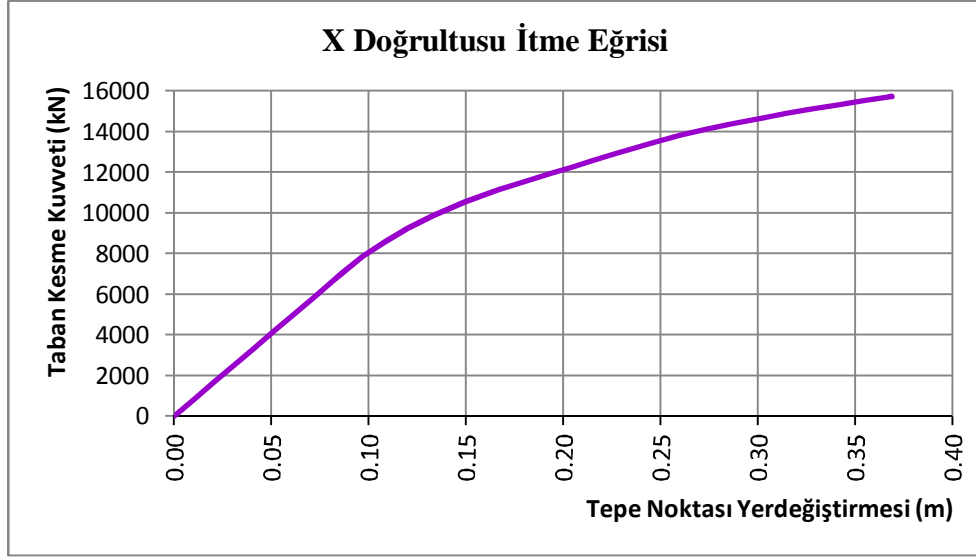


Şekil 2.34. Y Yönünde katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

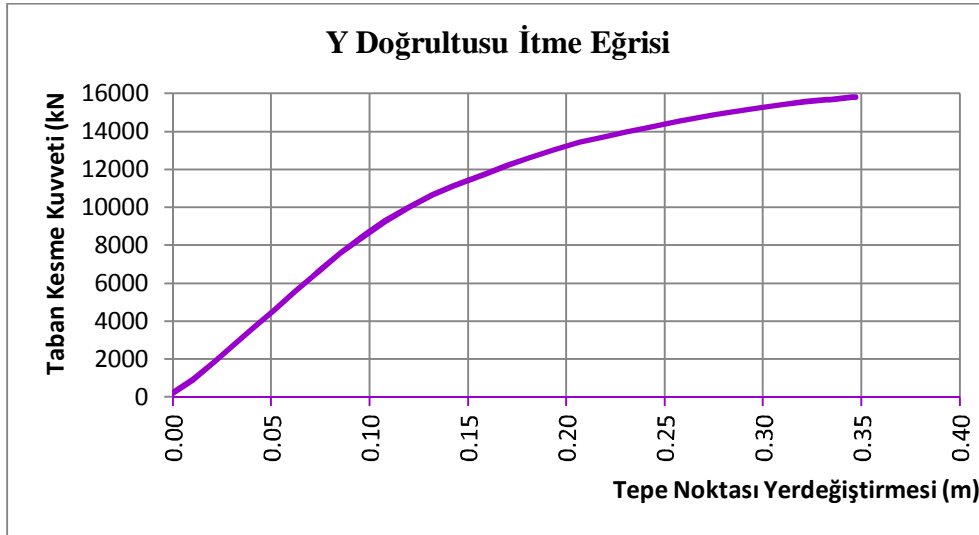
Eşdeğer deprem yükü dağılımları kat hizalarında ve kat kütle merkezlerine ve ek dış merkezlik uygulanmadan bina hesap modellerinde tanımlanmıştır ve yükler altında yapılan itme analizinden elde edilen itme eğrileri Şekil 2.35 ve Şekil 2.36’da ve bu eğrinin sayısal değerleri Tablo 2.54’te verilmiştir.

Tablo 2.54. Taban kesme kuvveti tepe noktası yerdeğiştirmesi

Adım	Yerdeğiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Adım	Yerdeğiştirme	Taban Kesme Kuvveti
n	ux (m)	V <sub>x</sub> (kN)	n	uy (m)	V <sub>y</sub> (kN)
0	-0,000021	0	0	-0,003262	0,000
1	0,010265	838,069	1	0,010282	923,567
2	0,020550	1676,139	2	0,020568	1847,135
3	0,030836	2514,208	3	0,030854	2770,702
4	0,041122	3352,278	4	0,041140	3694,269
5	0,051407	4190,347	5	0,051425	4617,836
6	0,061693	5028,417	6	0,061711	5541,404
7	0,071979	5866,486	7	0,071997	6464,971
8	0,082265	6704,555	8	0,073510	6600,849
9	0,085721	6986,153	9	0,085044	7592,635
10	0,097245	7872,585	10	0,096937	8501,548
11	0,108295	8592,296	11	0,107756	9278,726
12	0,119795	9232,210	12	0,120273	10044,890
13	0,132974	9859,034	13	0,131967	10667,685
14	0,149937	10559,789	14	0,142572	11158,799
15	0,167277	11145,248	15	0,159368	11798,920
16	0,178850	11503,086	16	0,170009	12213,004
17	0,194509	11965,861	17	0,180297	12586,035
18	0,204795	12275,594	18	0,193515	13037,426
19	0,215081	12583,864	19	0,206342	13429,563
20	0,226899	12938,052	20	0,220056	13749,124
21	0,247312	13497,691	21	0,230342	13969,635
22	0,260214	13842,879	22	0,241588	14209,053
23	0,273038	14121,388	23	0,257219	14541,107
24	0,287316	14398,136	24	0,275002	14883,025
25	0,303162	14693,436	25	0,285468	15064,938
26	0,314700	14903,301	26	0,298539	15261,505
27	0,327943	15118,975	27	0,310139	15421,232
28	0,340761	15319,680	28	0,321738	15557,089
29	0,354899	15537,378	29	0,332037	15662,610
30	0,366012	15681,366	30	0,333920	15682,230
31	0,369009	15712,954	31	0,345574	15798,934
			32	0,347094	15810,953



Şekil 2.35. X Yönü itme eğrisi



Şekil 2.36. Y Yönü itme eğrisi

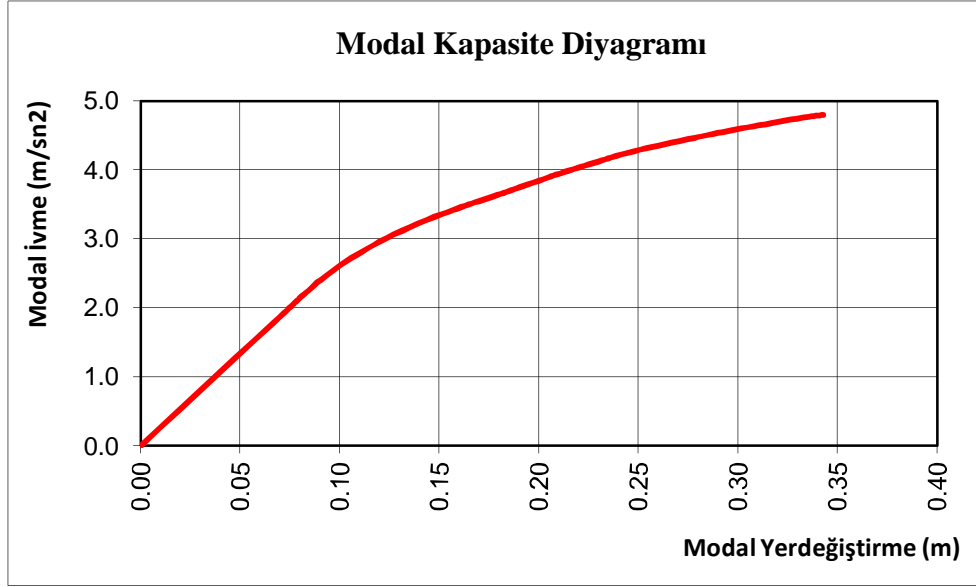
- **Modal Kapasite Diyagramlarının Elde Edilmesi**

Her iki yön içinde elde edilen itme eğrileri Bölüm 2’de anlatıldığı gibi modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmüştür.

X doğrultusu için Tablo 2.55’te her bir adım için modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri ve modal kapasite eğrisi Şekil 2.37’de verilmiştir.

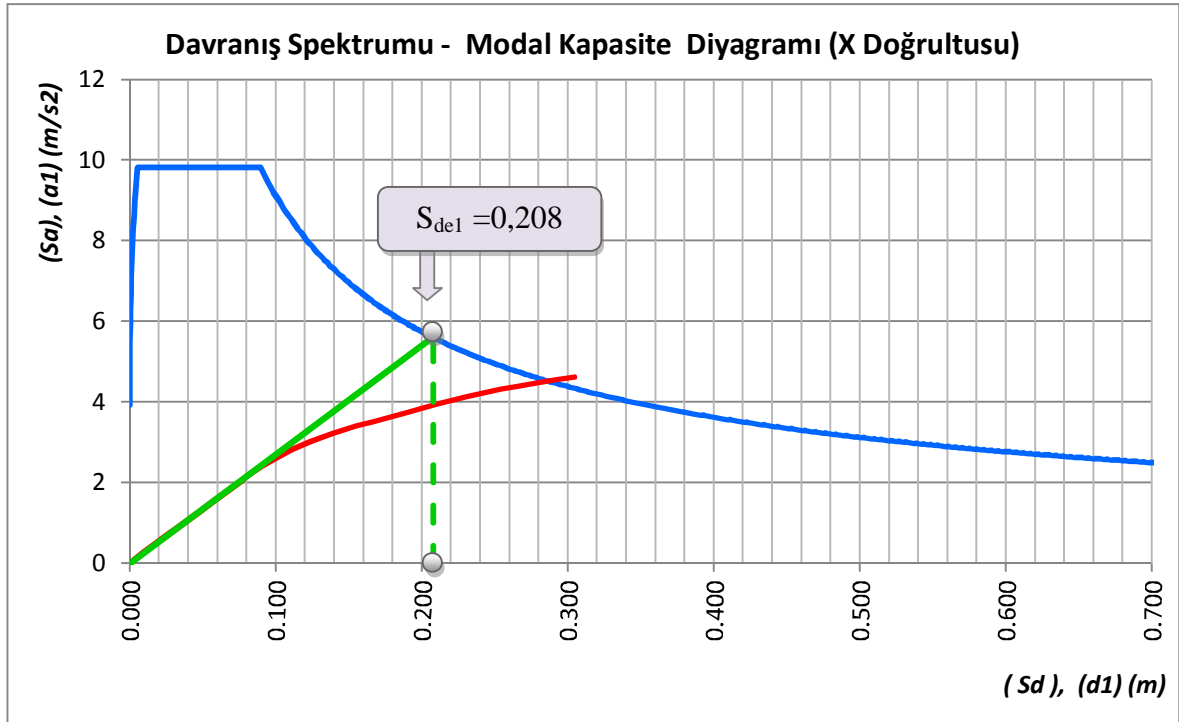
Tablo 2.55. X Doğrultusu için modal kapasite değerleri

Adım	Yerdeğiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Etkili Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1. modun katılım çarpanı	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
n	$u_{xN1}^{(i)}$ (m)	$V_{x1}^{(i)}$ (kN)	$M \cdot x_1$	$\Phi_{xn1}$	$\Gamma_{x1}$	$d_{i1}^{(i)}$ (m)	$a_{i1}^{(i)}$ (m/sn <sup>2</sup> )
0	-0,000021	0	3275	1,00	1,076	0,000	0,000
1	0,010265	838,069	3275	1,00	1,076	0,010	0,256
2	0,020550	1676,139	3275	1,00	1,076	0,019	0,512
3	0,030836	2514,208	3275	1,00	1,076	0,029	0,768
4	0,041122	3352,278	3275	1,00	1,076	0,038	1,023
5	0,051407	4190,347	3275	1,00	1,076	0,048	1,279
6	0,061693	5028,417	3275	1,00	1,076	0,057	1,535
7	0,071979	5866,486	3275	1,00	1,076	0,067	1,791
8	0,082265	6704,555	3275	1,00	1,076	0,076	2,047
9	0,085721	6986,153	3275	1,00	1,076	0,080	2,133
10	0,097245	7872,585	3275	1,00	1,076	0,090	2,404
11	0,108295	8592,296	3275	1,00	1,076	0,101	2,623
12	0,119795	9232,21	3275	1,00	1,076	0,111	2,819
13	0,132974	9859,034	3275	1,00	1,076	0,124	3,010
14	0,149937	10559,789	3275	1,00	1,076	0,139	3,224
15	0,167277	11145,248	3275	1,00	1,076	0,155	3,403
16	0,178850	11503,086	3275	1,00	1,076	0,166	3,512
17	0,194509	11965,861	3275	1,00	1,076	0,181	3,653
18	0,204795	12275,594	3275	1,00	1,076	0,190	3,748
19	0,215081	12583,864	3275	1,00	1,076	0,200	3,842
20	0,226899	12938,052	3275	1,00	1,076	0,211	3,950
21	0,247312	13497,691	3275	1,00	1,076	0,230	4,121
22	0,260214	13842,879	3275	1,00	1,076	0,242	4,226
23	0,273038	14121,388	3275	1,00	1,076	0,254	4,311
24	0,287316	14398,136	3275	1,00	1,076	0,267	4,396
25	0,303162	14693,436	3275	1,00	1,076	0,282	4,486
26	0,314700	14903,301	3275	1,00	1,076	0,292	4,550
27	0,327943	15118,975	3275	1,00	1,076	0,305	4,616
28	0,340761	15319,68	3275	1,00	1,076	0,317	4,677
29	0,354899	15537,378	3275	1,00	1,076	0,330	4,744
30	0,366012	15681,366	3275	1,00	1,076	0,340	4,788
31	0,369009	15712,954	3275	1,00	1,076	0,343	4,797



Şekil 2.37. X Yönü modal kapasite diyagramı

Elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik ivme spektrumu aynı eksen takımı üzerinde Şekil 2.38’de gösterildiği gibi çakıştırılmıştır.

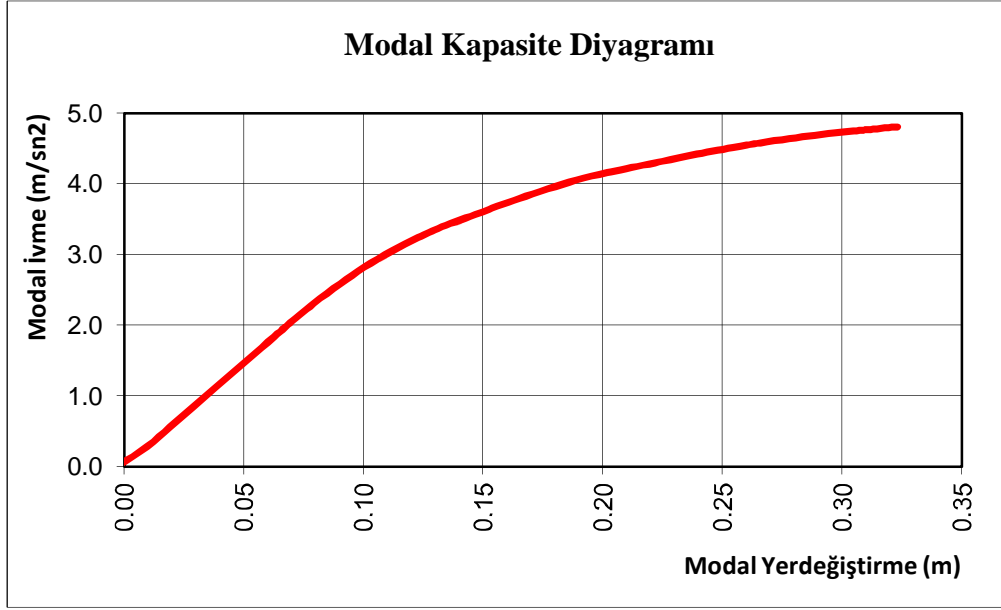


Şekil 2.38. X eksenini doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi

Y doğrultusu için Tablo 2.56’da her bir adım için modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri ve modal kapasite eğrisi ise Şekil 2.39’da verilmiştir.

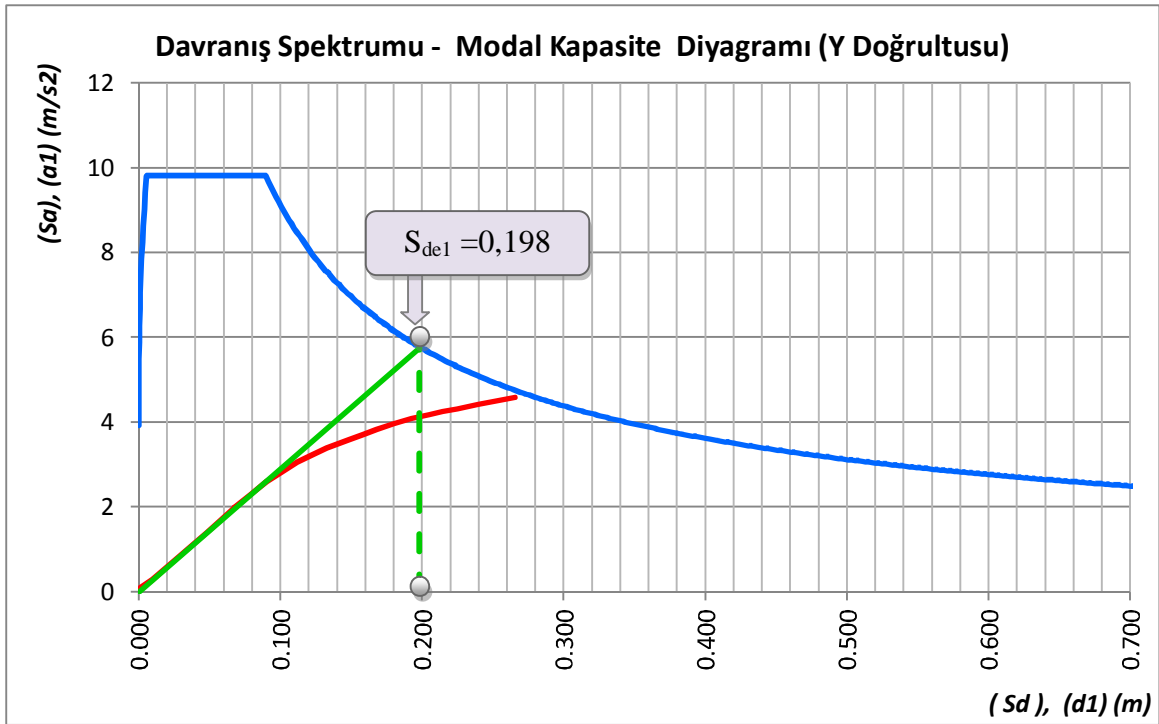
Tablo 2.56. Y Doğrultusu için modal kapasite değerleri

Adım	Yerdeğiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Etkili Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1. modun katılım çarpanı	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
n	$u_{xN1}^{(i)}$ (m)	$V_{x1}^{(i)}$ (kN)	$M^*x1$	$\Phi_{xn1}$	$\Gamma_{x1}$	$d^{(i)}_1$ (m)	$a^{(i)}_1$ (m/sn <sup>2</sup> )
0	-0,003262	0,000	3289	1,00	1,0748	-0,003	0,000
1	0,010282	923,567	3289	1,00	1,0748	0,010	0,281
2	0,020568	1847,135	3289	1,00	1,0748	0,019	0,562
3	0,030854	2770,702	3289	1,00	1,0748	0,029	0,842
4	0,041140	3694,269	3289	1,00	1,0748	0,038	1,123
5	0,051425	4617,836	3289	1,00	1,0748	0,048	1,404
6	0,061711	5541,404	3289	1,00	1,0748	0,057	1,685
7	0,071997	6464,971	3289	1,00	1,0748	0,067	1,965
8	0,073510	6600,849	3289	1,00	1,0748	0,068	2,007
9	0,085044	7592,635	3289	1,00	1,0748	0,079	2,308
10	0,096937	8501,548	3289	1,00	1,0748	0,090	2,585
11	0,107756	9278,726	3289	1,00	1,0748	0,100	2,821
12	0,120273	10044,890	3289	1,00	1,0748	0,112	3,054
13	0,131967	10667,685	3289	1,00	1,0748	0,123	3,243
14	0,142572	11158,799	3289	1,00	1,0748	0,133	3,392
15	0,159368	11798,920	3289	1,00	1,0748	0,148	3,587
16	0,170009	12213,004	3289	1,00	1,0748	0,158	3,713
17	0,180297	12586,035	3289	1,00	1,0748	0,168	3,826
18	0,193515	13037,426	3289	1,00	1,0748	0,180	3,963
19	0,206342	13429,563	3289	1,00	1,0748	0,192	4,083
20	0,220056	13749,124	3289	1,00	1,0748	0,205	4,180
21	0,230342	13969,635	3289	1,00	1,0748	0,214	4,247
22	0,241588	14209,053	3289	1,00	1,0748	0,225	4,320
23	0,257219	14541,107	3289	1,00	1,0748	0,239	4,421
24	0,275002	14883,025	3289	1,00	1,0748	0,256	4,524
25	0,285468	15064,938	3289	1,00	1,0748	0,266	4,580
26	0,298539	15261,505	3289	1,00	1,0748	0,278	4,640
27	0,310139	15421,232	3289	1,00	1,0748	0,289	4,688
28	0,321738	15557,089	3289	1,00	1,0748	0,299	4,729
29	0,332037	15662,610	3289	1,00	1,0748	0,309	4,761
30	0,333920	15682,230	3289	1,00	1,0748	0,311	4,767
31	0,345574	15798,934	3289	1,00	1,0748	0,322	4,803
32	0,347094	15810,953	3289	1,00	1,0748	0,323	4,807



Şekil 2.39. Y Yönü modal kapasite diyagramı

Elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik ivme spektrumu aynı eksen takımı üzerinde Şekil 2.40'da gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.40. Y eksenini doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi

Buradaki elastik ivme spektrumu 50 / %10 olan depremi temsil etmektedir. 50 / %2 olan deprem için spektrum değerleri 1,5 ile çarpılır.

Her iki yön içinde spektral yerdeğiştirme  $S_{de1}$  aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$T_B < T_{1x}, T_{1y} \rightarrow S_{de1} = \frac{S_a}{(\omega)^2} = \frac{2.5A_0gT_B^{0.8}T^{1.2}}{(2\pi)^2} \quad (50 \text{ yılda } \%10)$$

$$S_{de1} = \frac{S_a}{(\omega)^2} = \frac{1.5 \times 2.5A_0gT_B^{0.8}T^{1.2}}{(2\pi)^2} \quad (50 \text{ yılda } \%2)$$

doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme  $S_{d1}$  ;

$$S_{d1} = C_{R1} S_{de1} \quad T_B < T_{1x}, T_{1y} \rightarrow C_{R1} = 1$$

$$T_{1x} = 1,251s \quad S_{de1} = S_{d1} = d_1 = 0,208 m \quad (50 \text{ yılda } \%10)$$

$$S_{de1} = S_{d1} = d_1 = 0,312 m \quad (50 \text{ yılda } \%2)$$

$$T_{1y} = 1,190s \quad S_{de1} = S_{d1} = d_1 = 0,198 m \quad (50 \text{ yılda } \%10)$$

$$S_{de1} = S_{d1} = d_1 = 0,297 m \quad (50 \text{ yılda } \%2)$$

Böylelikle her iki yön için modal yerdeğiştirme istemi  $d_1$  değerleri hesaplanmıştır. Sistemin X ve Y doğrultusundaki yerdeğiştirme istemi  $u_{xN1}$ ,  $u_{yN1}$  aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$u_{xN1} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1 = 1 \times 1,076 \times 0,208 = 0,224 m \quad (50 \text{ yılda } \%10)$$

$$= 1 \times 1,076 \times 0,312 = 0,336 m \quad (50 \text{ yılda } \%2)$$

$$u_{yN1} = \Phi_{yN1} \Gamma_{y1} d_1 = 1 \times 1,075 \times 0,198 = 0,213 m \quad (50 \text{ yılda } \%10)$$

$$= 1 \times 1,075 \times 0,297 = 0,320 m \quad (50 \text{ yılda } \%2)$$

Her iki doğrultunun pozitif ve negatif yönleri için sistem yukarıda hesaplanan yerdeğiştirme değerleri kadar itilerek itme analizine son verilir.

Burada şunu söylemek gerekir sistemin simetrik olması sebebiyle (aynı zamanda simetrik kolon ve kirişlerin özdeş donatıya sahip olması sebebiyle) +x ve +y yönünde itme analizi yapılarak modal kapasite diyagramı çıkarılmıştır.

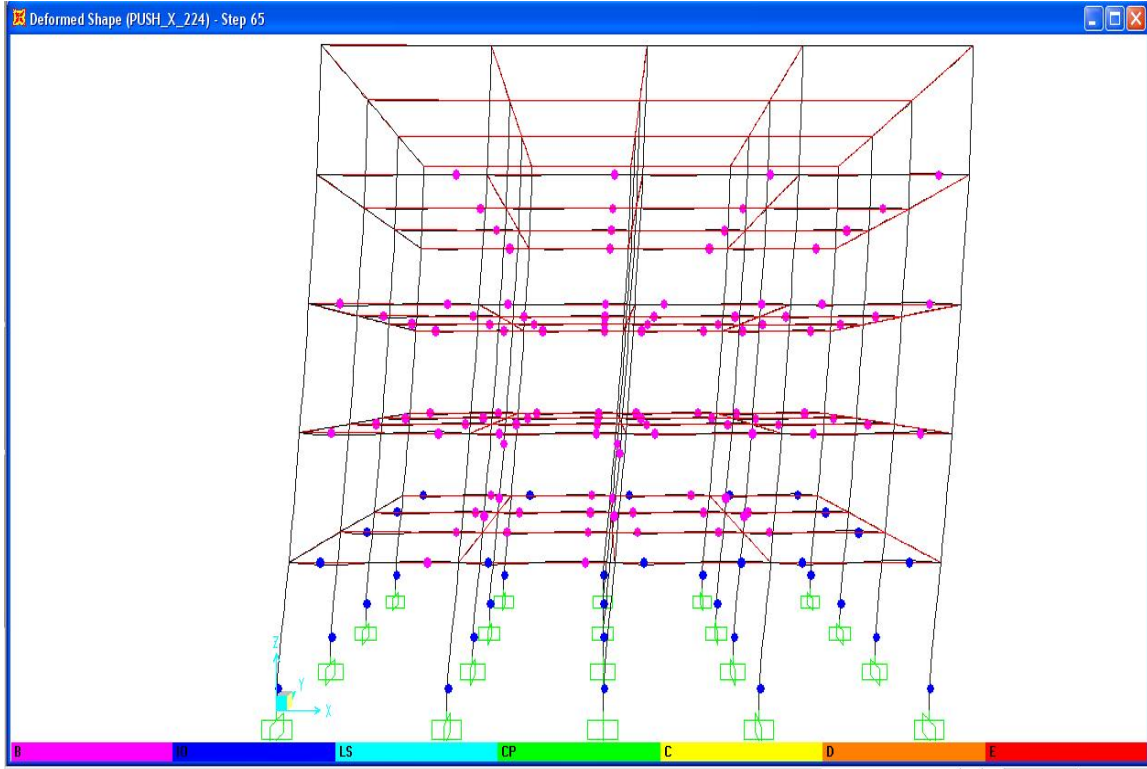


### 2.2.8.2.Bina Performansının Değerlendirilmesi

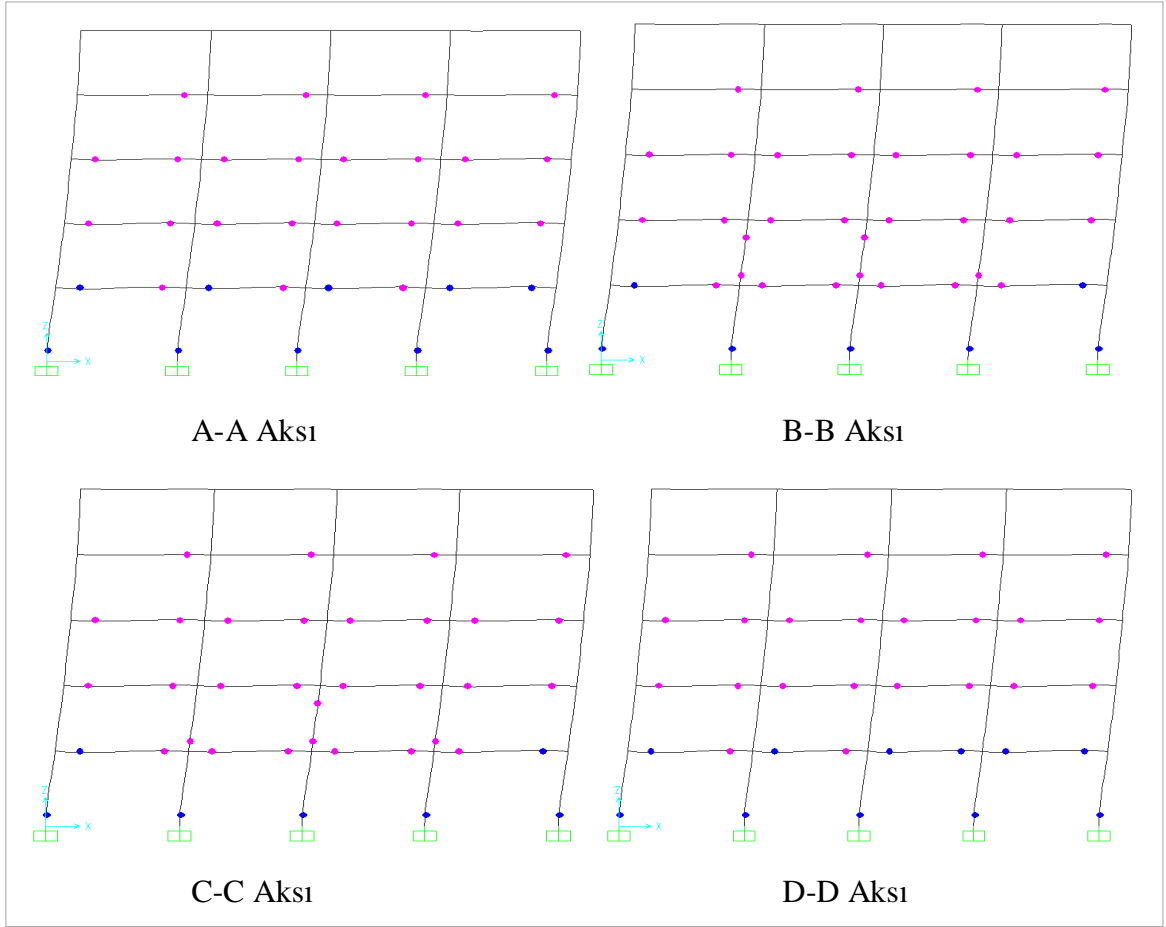
Ele alınan sağlık kuruluşu deprem performansının 50 / %10 olan depremde “hemen kullanım”, 50 / %2 olan depremde “Can güvenliği” performansını sağlaması gerekir.

#### 50 / %10 Olan Deprem İçin X Doğrultusunda Performans Değerlendirmesi:

50 / %10 olan deprem (EX1) altında +x yönü için yapılan itme analizi sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar Şekil 2.41’de, akslarda meydana gelen plastik mafsallar ise Şekil 2.42’de gösterilmiştir.



Şekil 2.41. X Doğrultusunda EX1 depremine göre itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar



Şekil 2.42. X doğrultusunda EX1 depremi için akslarda oluşan plastik mafsallar

X doğrultusunda EX1 depremi için yapılan analizler sonucunda; kat ve bina için giriş ve kolon hasar dağılımı Tablo 2.57’de verilmiştir.

Tablo 2.57. X Doğrultusundaki EX1 depremine göre kiriş ve kolon hasar seviyeleri

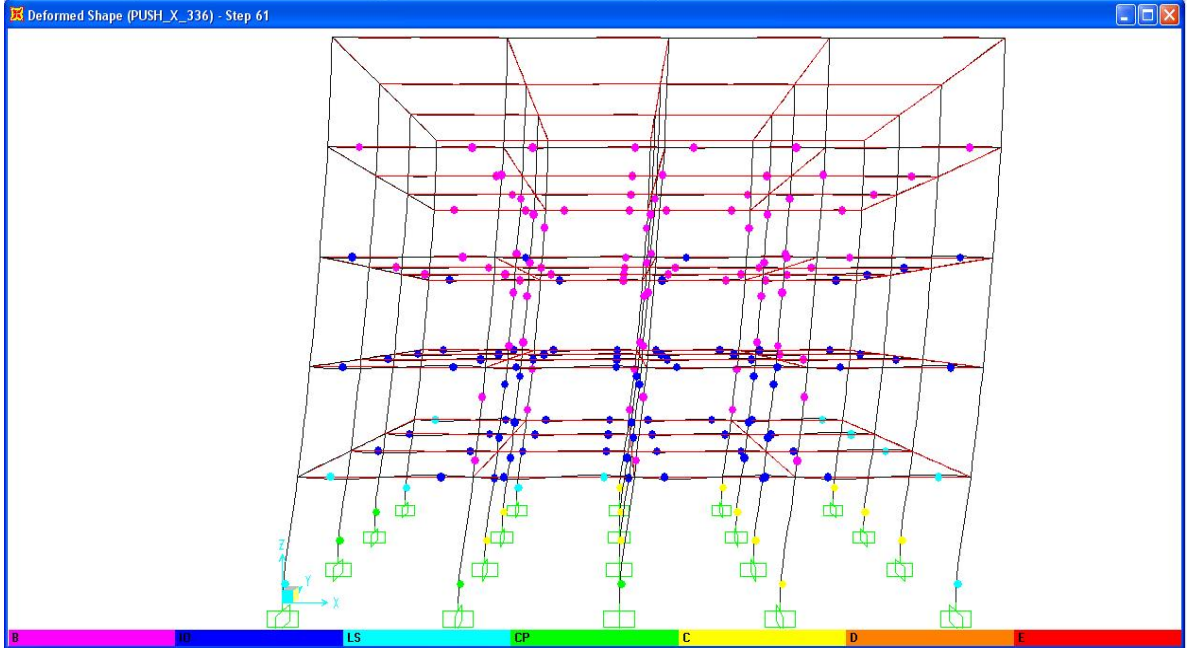
EDYY		EX1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)															
KAT NO	Kattaki Kiriş Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
5.K (+18.00)	16	16								100%							
4.K (+14.50)	16		16								100%						
3.K (+11.00)	16		16								100%						
2.K (+7.50)	16		16								100%						
1.K (+4.00)	16		4	12							25%	75%					
TOPLAM	80	16	52	12						20%	65%	15%					
EDYY		EX1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)															
KAT NO	Kattaki Kolon Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
5.K (+18.00)	20	20								100%							
4.K (+14.50)	20	20								100%							
3.K (+11.00)	20	20								100%							
2.K (+7.50)	20	14	6							70%	30%						
1.K (+4.00)	20			20								100%					
TOPLAM	100	74	6	20						74%	6%	20%					
MN		GV		GÖ		Göçme											

✓ 1., 2., 3., 4. ve 5. katta kiriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.

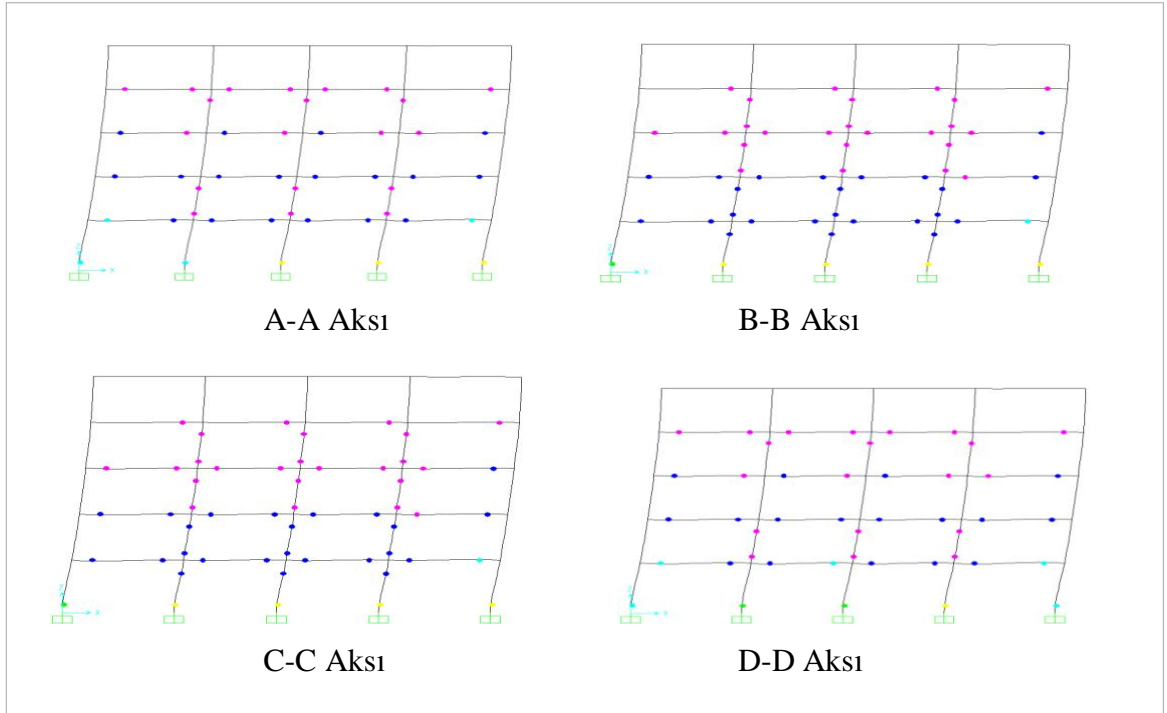
Binanın yapısal performansı “Hemen Kullanım” düzeyindedir. Bina X doğrultusunda 50 / %10 olan deprem için hedeflenen “Hemen Kullanım” performans seviyesini sağlamaktadır.

50 / %2 Olan Deprem İçin X Doğrultusunda Performans Değerlendirmesi:

50 / %2 olan deprem (EX2) altında +x yönü için yapılan itme analizi sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar Şekil 2.43'te, akslarda meydana gelen plastik mafsallar ise Şekil 2.44'te gösterilmiştir.



Şekil 2.43. X Doğrultusunda EX2 depremine göre itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar



Şekil 2.44. X doğrultusunda EX2 depremi için akslarda oluşan plastik mafsallar

X doğrultusunda EX2 depremi için yapılan analizler sonucunda; kat ve bina için kiriş ve kolon hasar dağılımı Tablo 2.58’de verilmiştir.

Tablo 2.58. X Doğrultusundaki EX2 depremine göre kiriş ve kolon hasar seviyeleri

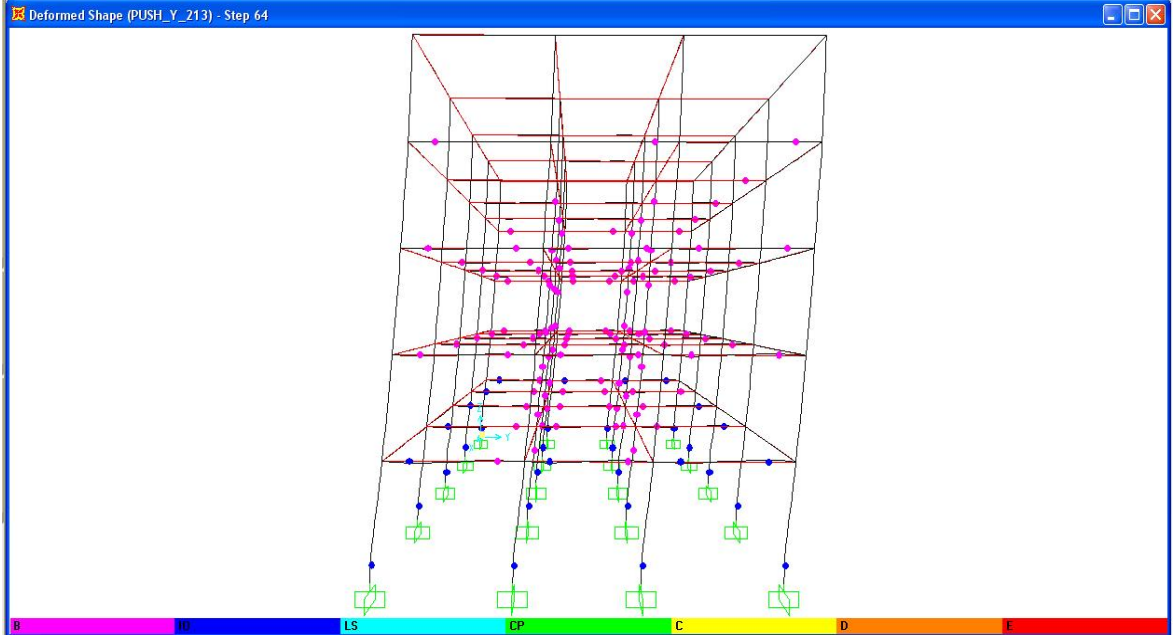
EDYY		EX2 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %2)															
KAT NO	Kattaki Kiriş Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
5.K (+18.00)	16	16								100%							
4.K (+14.50)	16		16								100%						
3.K (+11.00)	16		6	10							38%	63%					
2.K (+7.50)	16			16								100%					
1.K (+4.00)	16			9	7							56%	44%				
<b>TOPLAM</b>	<b>80</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>35</b>	<b>7</b>					<b>20%</b>	<b>28%</b>	<b>44%</b>	<b>9%</b>				
EDYY		EX2 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %2)															
KAT NO	Kattaki Kolon Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
5.K (+18.00)	20	20								100%							
4.K (+14.50)	20	8	12							40%	60%						
3.K (+11.00)	20	14	6							70%							
2.K (+7.50)	20	8	6	6						40%	30%	30%					
1.K (+4.00)	20				4	4	12						20%	20%	60%		
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>12</b>			<b>50%</b>	<b>24%</b>	<b>6%</b>	<b>4%</b>	<b>4%</b>	<b>12%</b>		
		MN		GV		GÖ				Göçme							

- ✓ 2., 3., 4. ve 5. katta kiriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.
- ✓ 1. katta kirişlerin %44’ü belirgin hasar bölgesinde, %56’sı minimum hasar bölgesindedir. Kolonların ise %20 si belirgin hasar bölgesinde, %20 si ileri hasar bölgesinde, %60’ı göçme bölgesindedir.

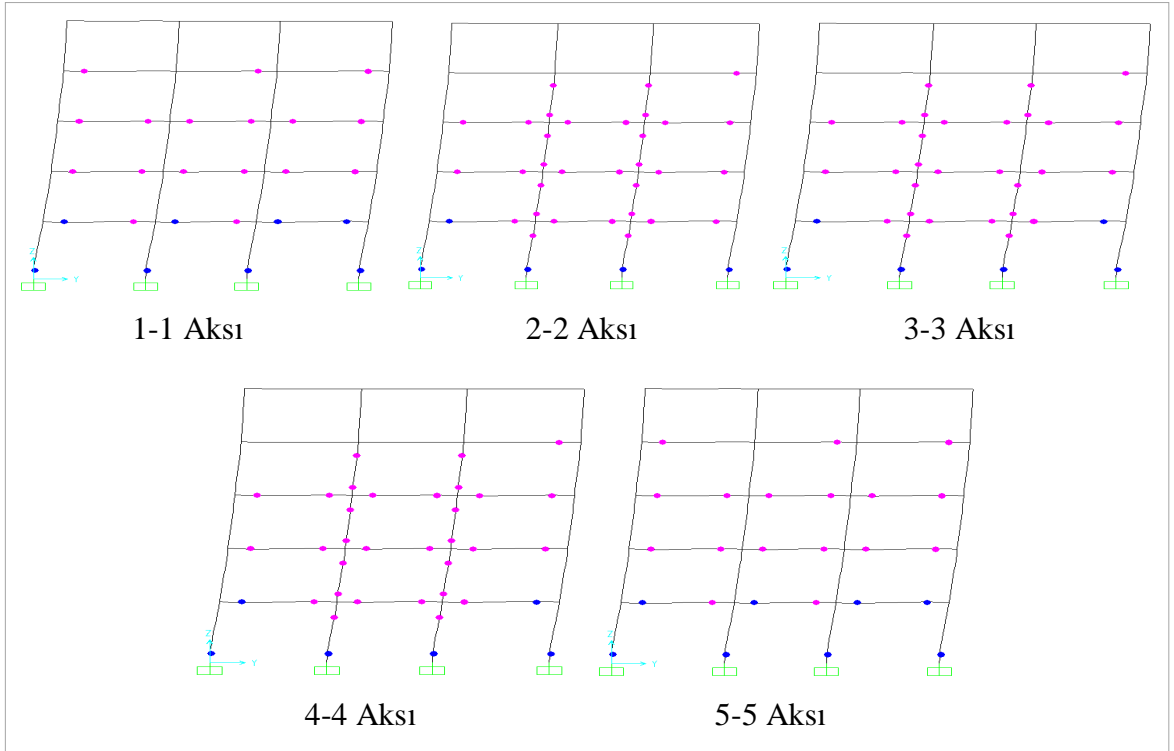
Binanın yapısal performansı “Can Güvenliği” düzeyindedir. Bina X doğrultusunda 50 / %2 olan deprem için hedeflenen “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamamaktadır.

### 50 / %10 Olan Deprem İçin Y Doğrultusunda Performans Değerlendirmesi:

50 / %10 olan deprem (EY1) altında +y yönü için yapılan itme analizi sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar Şekil 2.45'te, akslarda meydana plastik mafsallar ise Şekil 2.46'da gösterilmiştir.



Şekil 2.45. Y Doğrultusunda EY1 depremine göre itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar



Şekil 2.46. Y Doğrultusunda EY1 depremi için akslarda oluşan plastik mafsallar

Y doğrultusunda EY1 depremi için yapılan analizler sonucunda; kat ve bina için kiriş ve kolon hasar dağılımı Tablo 2.59’da verilmiştir.

Tablo 2.59. Y Doğrultusundaki EY1 depremine göre kiriş ve kolon hasar seviyeleri

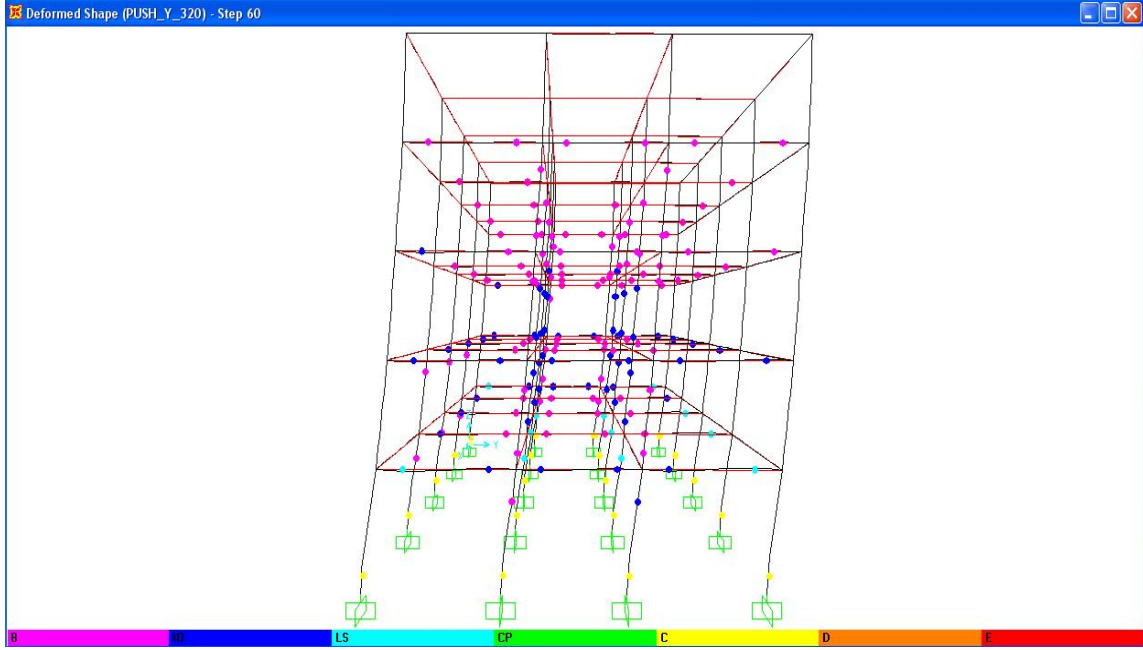
EDYY		EY1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)															
KAT NO	Kattaki Kiriş Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
5.K (+18.00)	15	15								100%							
4.K (+14.50)	15	6	9							40%	60%						
3.K (+11.00)	15		15								100%						
2.K (+7.50)	15		15								100%						
1.K (+4.00)	15		4	11							27%	73%					
TOPLAM	75	21	43	11						28%	57%	15%					
EDYY		EY1 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %10)															
KAT NO	Kattaki Kolon Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
5.K (+18.00)	20	20								100%							
4.K (+14.50)	20	14	6							70%	30%						
3.K (+11.00)	20	15	5							75%	25%						
2.K (+7.50)	20	14	6							70%	30%						
1.K (+4.00)	20			20								100%					
TOPLAM	100	63	17	20						63%	17%	20%					
		MN		GV		GÖ				Göçme							

✓ 1., 2., 3., 4. ve 5. katta kiriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.

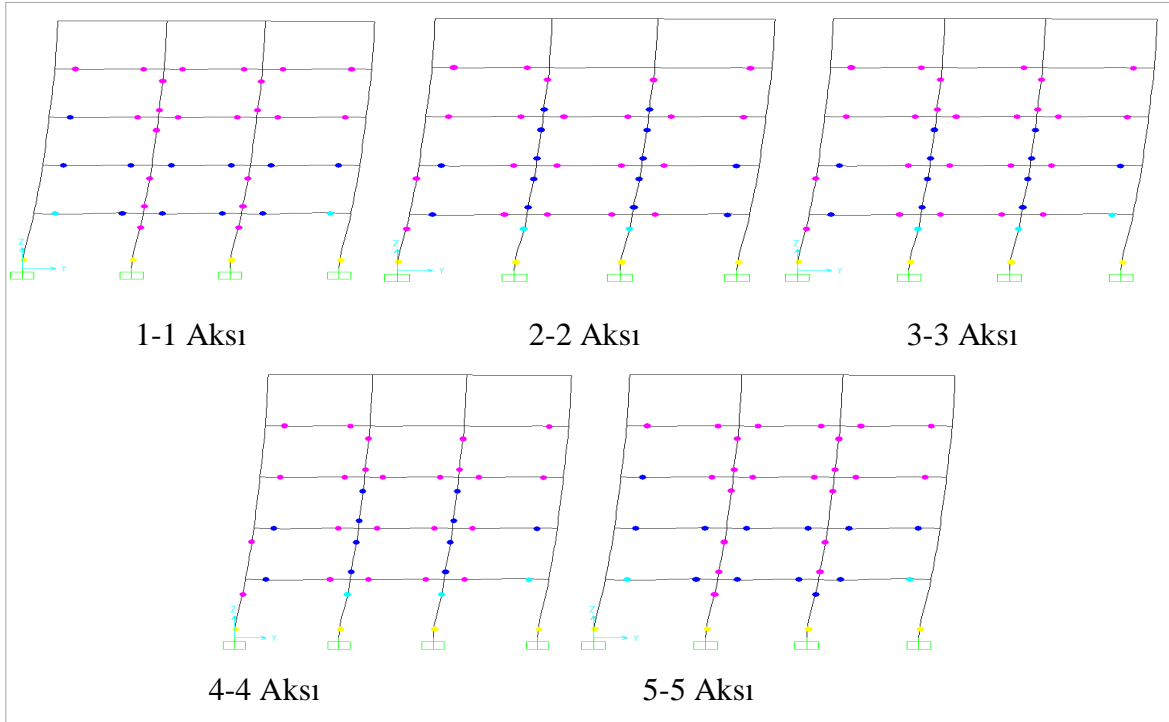
Binanın yapısal performansı “Hemen Kullanım” düzeyindedir. Bina Y doğrultusunda 50 / %10 olan deprem için hedeflenen “Hemen Kullanım” performans seviyesini sağlamaktadır.

50 / %2 Olan Deprem İçin Y Doğrultusunda Performans Değerlendirmesi:

50 / %2 olan deprem (EY2) altında +y yönü için yapılan itme analizi sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar Şekil 2.47’de, akslarda meydana plastik mafsallar ise Şekil 2.48’de gösterilmiştir.



Şekil 2.47. Y Doğrultusunda EY2 depremine göre itme analizi sonucu sistemde oluşan plastik mafsallar



Şekil 2.48. Y Doğrultusunda EY2 depremi için akslarda oluşan plastik mafsallar



Y doğrultusunda EY2 depremi için yapılan analizler sonucunda; kat ve bina için kiriş ve kolon hasar dağılımı Tablo 2.60'da verilmiştir.

Tablo 2.60. Y Doğrultusundaki depreme göre kiriş ve kolon hasar seviyeleri

EDYY		EY2 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %2)															
KAT NO	Kattaki Kiriş Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
5.K (+18.00)	15	15								100%							
4.K (+14.50)	15	2	13							13%	87%						
3.K (+11.00)	15		13	2							87%	13%					
2.K (+7.50)	15		3	12							20%	80%					
1.K (+4.00)	15		3	6	6						20%	40%	40%				
<b>TOPLAM</b>	<b>75</b>	<b>17</b>	<b>32</b>	<b>20</b>	<b>6</b>					<b>23%</b>	<b>43%</b>	<b>27%</b>	<b>8%</b>				
EDYY		EY2 Depremi (50 Yılda Aşılma Olasılığı %2)															
KAT NO	Kattaki Kolon Sayısı	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi								Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi							
		A	B	IO	LS	CP	C	D	E	A	B	IO	LS	CP	C	D	E
5.K (+18.00)	20	20								100%							
4.K (+14.50)	20	10	8	2						50%	40%	10%					
3.K (+11.00)	20	11	3	6						55%	15%	30%					
2.K (+7.50)	20	7	7	6						35%	35%	30%					
1.K (+4.00)	20						15								75%		
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>48</b>	<b>18</b>	<b>14</b>			<b>15</b>			<b>48%</b>	<b>18%</b>	<b>14%</b>			<b>15%</b>		
		MN		GV		GÖ						Göçme					

- ✓ 2., 3., 5. ve 4. katta kiriş ve kolonların tümü minimum hasar bölgesindedir.
- ✓ 1. katta kirişlerin %40'ı belirgin hasar bölgesinde, %60'ı minimum hasar bölgesindedir. Kolonların ise tümü göçme bölgesindedir.

Binanın yapısal performansı “Can Güvenliği” düzeyindedir. Bina Y doğrultusunda 50 / %2 olan deprem için hedeflenen “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamamaktadır.

Yukarıda verilen sonuçlar neticesinde X ve Y doğrultusu için 50 /%10 olan deprem için hedeflenen bina performansının “Hemen Kullanım” seviyesinde olduğu görülmüştür. X ve Y doğrultuları için 50 / %2 olan deprem için ise hedeflenen “Can Güvenliği” performansın sağlanmadığı ve bina performansının “İleri Hasar Bölgesi” seviyesinde olduğu görülmüştür.

### 3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde amaç, sismik performansları belirlenebilen güvenli yapıların inşa edilmesini sağlamaktır. Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavramdır. Öncelikle mevcut yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitesinin hesaplanması ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Zaman geçtikçe yeni yapıların tasarımında da performans kavramı önemini kazanacaktır.

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım yöntemi, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılır. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelebilecek hasar durumu ile alakalıdır. Performansa dayalı yapı tasarımında belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla hasar seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Bu tez çalışmasında; öncelikli olarak DBYBHY 2007’de tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin, tek açıklıklı ve iki katlı olan düzlem çerçeve modeli üzerinde ayrıntılı olarak incelenmesi ele alınmıştır. Bu amaçla düzlem çerçeve modelinin tasarım depremi altında, doğrusal yöntemler olan “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ve doğrusal olmayan yöntemler olan “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” yöntemleriyle deprem performansının belirlenmesi ayrıntılı şekilde yapılmıştır.

Çalışmanın devamında ise DBYBHY 2007 kapsamında tasarımı yapılan betonarme bir sağlık kuruluşu binasının, deprem performansının doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle belirlenmesi ele alınmıştır. Bu doğrultuda x yönünde 4 açıklığı, y yönünde 3 açıklığı bulunan 5 katlı sağlık kuruluşunun, tasarım depremi ile en büyük deprem etkisi altında, deprem performansının belirlenerek, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı araştırılmıştır. Binanın deprem performansının belirlenmesinde 2 yöntem kullanılmıştır. Bunlar “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ve “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” yöntemleridir.

Doğrusal hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesi kuvvet esaslı olup betonarme yapı elemanları için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları kullanılmaktadır.

Yapıları doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin temelini oluşturan dayanım (kuvvet) esaslı değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı

elemanlarının sünekliğini göz önüne alan eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayısı çerçevesinde binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem performansı belirlenmesi ise şekildeğiştirme esaslı olup malzemelerin birim boy değişimleri dikkate alınmaktadır.

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esası, yer değiştirme ve şekil değiştirme esaslı değerlendirmenin temel alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde, belirli bir deprem etkisi için binadaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Yapılan ilk çalışma sonucunda;

1. Doğrusal yöntemle yapılan değerlendirme neticesinde yapının tüm elemanları Minimum Hasar Bölgesinde yer aldığı görülmüştür. Doğrusal olmayan yöntemle yapılan değerlendirme neticesinde ise tüm elemanların Minimum Hasar Bölgesinde yer aldığı görülmüştür. Her iki yöntemde de bina X doğrultusunda 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için hedeflenen “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamaktadır. Binanın yapısal performansı “Can Güvenliği” düzeyindedir.

Yapılan ikinci çalışma sonucunda;

2. Doğrusal yöntem olan “Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi” ile yapılan değerlendirme neticesinde, 50 yılda aşılma olasılığı %10 yani tasarım depremi altında bina performansının hedeflenen “Hemen Kullanım” seviyesini sağlamadığı ve bina performansının “Can Güvenliği” seviyesinde olduğu görülmüştür. 50 yılda aşılma olasılığı %2 yani en büyük deprem altında ise bina performansının hedeflenen “Can Güvenliği” düzeyinde olduğu belirlenmiş ve yapıdan beklenen performans hedefinin sağladığı görülmüştür.

Can güvenliği performans seviyesinde yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Ancak yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir.

3. Doğrusal analizde, tasarım depremi ve en büyük deprem sonucunda elde edilen etki kapasite oranları ile görelî kat ötelemeleri sonuçları ile paralellik göstermektedir.

4. Doğrusal olmayan yöntem olan “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ile yapılan değerlendirme neticesinde 50 yılda aşılma olasılığı %10 yani tasarım depremi altında bina performansının hedeflenen “Hemen Kullanım” düzeyinde olduğu belirlenmiş yapıdan beklenen performans hedefinin sağladığı görülmüştür. 50 yılda aşılma olasılığı %2 yani en büyük deprem altında ise bina performansının hedeflenen “Can Güvenliği” düzeyindeki performans hedefinin sağlanmadığı ve “Göçme Öncesi” performans düzeyinde olduğu görülmüştür.

Göçme öncesi bölgesindeki performans seviyesinde yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Bina güçlendirilmek veya onarılmak için uygun durumda değildir.

5. Kolon elemanlarında kirişlerle karşılaştırıldığında oluşan plastik mafsalsayısı oldukça azdır. Bu da binanın sünek davranışını itme analizi esnasında yansıttığını ve kolonların kirişlerden daha güçlü olması ilkesini sağladığını göstermiştir.
6. Her iki yöntemle yapılan analiz sonucunda; en elverişsiz sonucu Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi Yöntemi vermiştir. Sonuçların birebir aynı sonucu vermemesi iki yöntemin yapının performans analizinin yapılmasında ve değerlendirilmesinde farklı yaklaşımları temel almasıdır.
7. Sonuç olarak Deprem Yönetmeliğine göre tasarımı yapılan sağlık kuruluşunun; “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”nde tasarım depremi altında yapıdan beklenen performansın sağlamadığı, en büyük deprem altında ise beklenen performansın sağladığı, “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”nde ise tasarım depreminde hedeflenen performansını sağladığı en büyük deprem de ise sağlamadığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın devamında önerilecek çalışmalar;

1. Bu çalışmada doğrusal analizde “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”, doğrusal olmayan analizde ise “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılmıştır. Çalışmanın devamında ise; doğrusal analizde “Mod Birleştirme Yöntemi”, doğrusal olmayan analizde ise “Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi” ve “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi” kullanılarak da analizler gerçekleştirilebilir.

2. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde üç boyutlu çerçeve sistem modeli ele alınmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda taşıyıcı sistemi perdelerden veya eğik elemanlardan oluşan sistemler incelenebilir.
3. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında, binalar yapılmadan önce performans analizleri yapılarak inşa edilmesinin daha uygun olacağı öngörülmektedir.

#### 4. KAYNAKLAR

- Akbaş, B., 2004. Performansa Dayalı Tasarım, Dersi Notları, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Almeida, R. Ve Carneiro-Barros, R., 2003. A New Multimode Load Pattern For Pushover Analysis: The Effect Of Higher Modes Of Vibration, Earthquake Resistant Engineering Structures, 4, 3-13.
- Antoniou, S., Rovithakis, A. ve Pinho, R., 2002. Development And Verification Of A Fully Adaptive Pushover Procedure, The Twelfth European Conference on Earthquake Engineering.
- Arısoy, B., Arel, H. ř., 2010. Yapısal Özellikleri Farklı Binaların Performansa Dayalı Analizi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 25, No 3, 431-439, Ankara.
- ASCE 41-06, 2007. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American.
- ATC 40, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings, Applied Technology Council, California.
- Aydinoğlu, M. N., 2003. An Incremental Response Spectrum Analysis Procedure Based on Inelastic Spectral Displacements for Multi-Mode Seismic Performance Evaluation, Bulletin of Earthquake Engineering, 1, 3–36.
- Aydinoğlu, M. N., Celep, Z., Özer, E., Sucuoğlu, H., 2009. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Bertero, R. D. ve Bertero, V. V., 2002. Performance-Based Seismic Engineering: the Need for a Reliable Conceptual Comprehensive Approach, Earthquake Engng Struct. Dyn. 31:627–652.
- Celep, Z., Kumbasar N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z., 2008. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Kavramları Davranışı Ve Çözümleme/Deprem Yönetmeliği (2007) Kavramları, Beta Yayınları; İstanbul, 226 sayfa, 2nci Baskı.
- Chintanapakdee, C. ve Chopra, A. K., 2003. Evaluation of Modal Pushover Analysis Using Generic Frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 417–442.
- Chopra, A. K. ve Goel, R. K., 2002. A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Building, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 561–582.

- Coleman, J., Spacone, E., 2001. Localization Issues In Force-Based Frame Elements”, Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No. 11.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 159 s, Ankara.
- FEMA-273, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- FEMA-356, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- FEMA-440, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- İnel, M., Bilgin, H., Özmen, H. B., 2007. Okul Binalarının Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Değerlendirilmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- İrtem, E., Türker, K., Hasgül, U., 2003. Türkiye Türk Deprem Yönetmeliğinin Performans Hedeflerinin Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre Sergisi.
- İrtem, E., Türker, K., Hasgül U., 2004. Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- İrtem, E., Türker, K., Hasgül, U., 2006. Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi ve Türk Deprem Yönetmeliği'nin Performans Hedeflerinin İrdelenmesi, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu Bildiriler Kitabı.
- Julian, J., Bommer, ve Pinho, R., 2005. Adapting Earthquake Actions in Eurocode 8 for Performance-Based Seismic Design, Department of Civil and Environmental Engineering; Imperial College London; SW72AZ; U.K, <http://www.interscience.wiley.com>.
- Kılar, V. ve Fajfar, P., 2001. On The Applicability Of Pushover Analysis To The Seismic Performance Evaluation Of Asymmetric Buildings, European Earthquake Engineering, Vol. 15, No.1, 20–31.
- Korkmaz, A., ve Düzgün, M., 2006. Statik Artımsal İtme Analizinde Kullanılan Yük Dağılımlarının Değerlendirilmesi,, İMO Teknik Dergi, 3873 -3878, Yazı 255, Kısa Bildiri.

- Korkmaz, A., Demir, F., Türkmen, M., Tekeli, H. ve Çırak İ., 2006. Mevcut Yapıların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin Değerlendirilmesi, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu Bildiriler Kitabı.
- Korkmaz, A., Kayhan, A. H., 2008. Yer Değiştirme Esaslı Yöntemlerin Elastik ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılması, <http://fbe.trakya.edu.tr> Trakya Univ J Sci, 9(1):7-13, 2008 ISSN 1305-6468
- Korkmaz, A., Ay, Z., Çimen, Ö., Keskin, N., Çelik, D., Bayrak, Ç., 2010. Dolgu Duvarlı Betonarme Yapıların Deprem Davranışında Bağ Kirişlerinin Yapı Performansına Etkisinin İncelenmesi, C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi Cilt 30 Sayı 1.
- Korkmaz, A., Uçar, T., Düzgün, M., 2010. Yapısal Düzensizlikleri Olan Betonarme Yapıların Deprem Davranışlarının Değerlendirilmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2) 123-138, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Kutanis, M., 2006. Statik İtme Analizi Yöntemlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu Bildiriler Kitabı.
- Kutanis, M., 2007. Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Performans Yaklaşımı, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı.
- Lagaros, N. D., Fragiadakis, M., 2011. Evaluation of ASCE-41, ATC-40 and N2 Static Pushover Methods Based on Optimally Designed Buildings, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 31 77-90.
- Lee, H. S., Woo, W., S., 2002. Effect of Masonry Infills on Seismic Performance of a 3-Storey X Frame with Non-Seismic Detailing, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 31, 353-378.
- Maison, B. F., 2005. Discussions of Evaluation of Modal and FEMA Pushover Analyses, Earthquake Spectra, 21, 275-279.
- Moghadam, A.S., Tso, W.K., 2000. 3-D Pushover Analysis for Damage Assessment of Buildings, Journal of Structural Engineering, Vol. 2, No. 3 / 23.
- Öncü, M. E., Calayır, Y., 2005. Betonarme Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Özer, E., 2005. Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Özer, E., 2007. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme. Ders notları, 14 s. <http://www.ins.itu.edu.tr/eozer>



- Özer, E., 2009. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul.  
<http://www.ins.itu.edu.tr/eozer>
- Providakis, C. P., 2008. Pushover Analysis of Base-Isolated Steel–Concrete Composite Structures Under Near-Fault Excitations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 28 293–304
- Rahai, A. R., Alinia, M. M., 2008. Performance Evaluation and Strengthening of Concrete Structures with Composite Bracing Members, *Construction and Building Materials* 22 2100–2110
- SAP2000, 2009. Integrated Structural Analysis and Design Software, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.
- Sezer, F., Gençoğlu, M., Celep, Z., 2007. Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesinde Deprem Yönetmeliği 2007’de Kurallarına Örnekle Kıyaslamalı Bir Bakış, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- Sezer, R., Akın, A., 2007. Yeni Deprem Yönetmeliği 2007’ye Göre Mevcut Bir Binanın Deprem Performansının İncelenmesi, *International Symposium on Advances in Earthquake & Structural Engineering*, Süleyman Demirel University, Isparta-Antalya, Turkey.
- Sucuoğlu, H., 2006. 2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Değerlendirmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 444-445 , 4-5, Ankara.
- Sucuoğlu, H., 2007. Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi, İMO Adana Şubesi Semineri.
- Sung, Yu-Chi., 2005. A Study on Pushover Analyses of Reinforced Concrete Columns, *Structural Engineering and Mechanics*, 21, 35-52
- Tuncer, Ö., 2008. Betonarme Yapıların Deprem Performansının Doğru ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı, İstanbul.
- Türk Standardı TS-498, 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türk Standardı TS-500, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türker, K., İrtəm, E., 2007. FEMA 356’da Lineer Olmayan Statik Analiz İçin Öngörülen Yatay Yük Dağılımlarının Değerlendirilmesi, *International Symposium on Advances in Earthquake & Structural Engineering*, Süleyman Demirel University, Isparta-Antalya, Turkey.

EKLER

KİRİŞ ve KOLON DONATILARI

Ek Tablo 1. Sağlık Kuruluşu 1. 2. ve 3. kat kiriş donatıları

1. 2. 3. Kat Kiriş Donatıları							
Kiriş No	b (cm)	h (cm)	Sol Uç Üst Ek Donatı	Montaj Donatısı	Alt Donatı	Sağ Uç Üst Ek Donatı	Kesme Donatısı
K101	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K102	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K103	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K104	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K105	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K106	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K107	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K108	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K109	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K110	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K111	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K112	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K113	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K114	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K115	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K116	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K117	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K118	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K119	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K120	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K121	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K122	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K123	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K124	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K125	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K126	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K127	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K128	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K129	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K130	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20
K131	50	60	3Φ26	4Φ18	5Φ20	3Φ26	2xΦ8/10-20

Ek Tablo 2. Sağlık Kuruluşu 4. ve 5. kat kiriş donatıları

4. 5. Kat Kiriş Donatıları							
Kiriş No	b (cm)	h (cm)	Sol Uç Üst Ek Donatı	Montaj Donatısı	Alt Donatı	Sağ Uç Üst Ek Donatı	Kesme Donatısı
K401	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K402	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K403	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K404	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K405	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K406	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K407	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K408	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K409	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K410	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K411	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K412	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K413	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K414	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K415	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K416	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K417	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K418	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K419	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K420	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K421	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K422	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K423	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K424	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K425	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K426	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K427	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K428	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K429	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K430	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20
K431	40	50	2Φ24	3Φ18	4Φ20	3Φ18	2xΦ8/10-20

Ek Tablo 3. Sağlık Kuruluşu 1. kat kolon donatıları

1. Kat Donatıları							
Kiriş No	Aks No	b (cm)	h (cm)	Boyuna Donatı	Etriye Donatısı	Çiroz Donatısı (X)	Çiroz Donatısı (Y)
S101	A/1	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S102	A/2	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S103	A/3	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S104	A/4	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S105	A/5	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S106	B/1	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S107	B/2	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S108	B/3	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S109	B/4	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S110	B/5	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S111	C/1	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S112	C/2	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S113	C/3	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S114	C/4	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S115	C/5	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S116	D/1	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S117	D/2	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S118	D/3	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S119	D/4	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S120	D/5	60	60	20Φ28	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20

Ek Tablo 4. Sağlık Kuruluşu 2. ve 3. kat kolon donatıları

2. 3. Kat Donatıları							
Kiriş No	Aks No	b (cm)	h (cm)	Boyuna Donatı	Etriye Donatısı	Çiroz Donatısı (X)	Çiroz Donatısı (Y)
S201	A/1	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S202	A/2	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S203	A/3	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S204	A/4	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S205	A/5	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S206	B/1	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S207	B/2	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S208	B/3	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S209	B/4	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S210	B/5	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S211	C/1	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S212	C/2	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S213	C/3	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S214	C/4	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S215	C/5	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S216	D/1	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S217	D/2	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S218	D/3	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S219	D/4	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20
S220	D/5	60	60	20Φ26	Φ12/10-20	Φ12/10-20	Φ12/10-20

Ek Tablo 5. Sağlık Kuruluşu 4. ve 5. kat kolon donatıları

4. 5. Kat Donatıları							
Kiriş No	Aks No	b (cm)	h (cm)	Boyuna Donatı	Etriye Donatısı	Çiroz Donatısı (X)	Çiroz Donatısı (Y)
S401	A/1	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S402	A/2	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S403	A/3	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S404	A/4	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S405	A/5	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S406	B/1	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S407	B/2	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S408	B/3	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S409	B/4	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S410	B/5	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S411	C/1	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S412	C/2	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S413	C/3	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S414	C/4	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S415	C/5	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S416	D/1	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S417	D/2	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S418	D/3	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S419	D/4	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20
S420	D/5	50	50	16Φ26	Φ10/10-20	Φ10/10-20	Φ10/10-20

## ÖZGEÇMİŞ

Nesrin DUMAN, 13.01.1985 de Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 2002 yılında Yomra Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında bitirdi. 2009–2010 eğitim yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bölümünde yüksek lisansa başladı.



