

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETON VE DONATI DAYANIMININ
BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Onur ARAZ

**HAZİRAN 2009
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETON VE DONATI DAYANIMININ
BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİ**

İnş. Müh. Onur ARAZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İnşaat Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.05.2009
Tezin Savunma Tarihi : 24.06.2009**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ömer İskender TULUK



Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

'Beton ve Donatı Dayanımının Betonarme Binaların Deprem Performansına Olan Etkileri' adlı bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN' e ve üzerimde emeği geçen tüm öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Sayın Prof. Dr. Ahmet DURMUŞ' a ve Yrd. Doç. Ömer İskender TULUK' a tez için yapmış oldukları değerli katkılarından ötürü teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullandığım performans analizlerine ilişkin sonuçlarının elde edilmesindeki yardımları için Y. Müh. Serdar AMASRALI' ya teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim boyunca moral ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen Yakup YAVUZ' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatın her safhasında bana sınırsız destek veren ve bu günlere gelmemde önemli bir yeri olan değerli abim Murat ARAZ' a ve lisansüstü eğitimim sırasında vermiş olduğu maddi ve manevi tüm desteklerden ötürü değerli amcam Nedim ARAZ' a sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı, bugünlere ulaşmamı sağlayan, hayatım boyunca benim için maddi manevi destek ve dualarını hiçbir zaman eksik etmeyen, gösterdikleri sevgi, saygı, sabır ve hoşgörü için başta annem ve babam olmak üzere değerli ailemin bütün fertlerine ithaf ediyorum.

Onur ARAZ
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.4. Performans Kavramı	4
1.4.1. Performans Seviyeleri	4
1.4.1.1. Hemen Kullanım Performans Düzeyi	4
1.4.1.2. Can Güvenliği Performans Düzeyi	5
1.4.1.3. Göçme Öncesi Performans Düzeyi	5
1.4.1.4. Göçme Durumu	6
1.5. Mevcut Binaların Değerlendirilmesi	6
1.5.1. Binalardan Bilgi Toplanması	7
1.5.2. Bilgi Düzeyleri ve Bilgi Düzey Katsayıları	7
1.5.2.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi	8
1.5.2.2. Betonarme Binalarda Orta Bilgi Düzeyi	9
1.5.2.3. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi	10
1.5.3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	12
1.5.3.1. Yapı Elemanlarının Kırılma Türleri	12
1.5.3.2. Kesit Hasar Sınırları	13
1.5.3.3. Kesit Hasar Bölgeleri	13
1.5.4. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar	14

1.6.	Yapı Performansının Doğrusal Elastik Yöntemler ile Belirlenmesi	15
1.6.1.	Doğrusal Elastik Yöntemler	15
1.6.1.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	15
1.6.1.2.	Mod Birleştirme Yöntemi	18
1.6.2.	Yapının Kapasite Analizi	19
1.6.2.1.	Kiriş Moment Kapasitelerinin Hesaplanması	19
1.6.2.2.	Kolon Eksenel Yüğü ve Moment Kapasitelerinin Hesaplanması	20
1.6.2.3.	Düğüüm Noktalarındaki KKO Değerlerinin Hesaplanması	21
1.6.2.4.	Kiriş Uç Momentlerinin Düzeltilmesi ve Kolon Kapasitelerinin Yenilenmesi	22
1.6.2.5.	Akması Olası Eleman Uçlarının Belirlenmesi	22
1.6.2.6.	Etki/Kapasite Oranlarının Hesabı ve Akma Dağılımının Belirlenmesi	22
1.6.3.	Yapı Elemanlarında Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi	23
1.7.	Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Analizi	26
1.7.1.	Plastik Davranışın İdealleştirilmesi	27
1.7.2.	Yapı Performans Noktasının Belirlenmesi	29
1.7.2.1.	Yer değiştirme Katsayıları Yöntemi	29
1.7.2.2.	Kapasite Spektrum Yöntemi	31
1.7.3.	Deprem Talep Büyüklükleri Cinsinden Performans Seviyelerine Ait Sınır Değerler	37
1.7.3.1.	Birim Şekil Değiştirme İsteminin Belirlenmesi	38
1.7.3.2.	Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri	38
1.8.	Bina Performansının Belirlenmesi	39
1.8.1.	Performans Düzeyleri	39
1.8.1.1.	Hemen Kullanım Durumu	39
1.8.1.2.	Can Güvenliği Durumu	40
1.8.1.3.	Göçmenin Önlenmesi Durumu	40
1.8.1.4.	Göçme Durumu	41
1.8.2.	Görelİ Kat Ötelenmelerinin Sınırlandırılması	42
1.8.3.	Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri	42
2.	YAPILAN ÇALIşMALAR	44
2.1.	Giriş	44
2.2.	Bina Bilgilerinin Tanıtılması	45
2.2.1.	Bina Bilgileri	45

2.2.2.	Malzeme Bilgileri	45
2.2.3.	Proje Parametreleri	45
2.2.4.	Yükler	45
2.3.	Yapının Tasarımı	47
2.3.1.	Yapıya İlişkin Bilgiler	48
2.4.	Mevcut Yapının Performans Analizi	51
2.5.	Beton Basınç Dayanımının Yapısal Performansa Etkisi	58
2.5.1.	Beton Basınç Dayanımındaki Düşüklüğün Kolonların Performansına Olan Etkisi	58
2.5.1.1.	Beton Basınç Dayanımının 16 MPa Olması Durumundaki Performans	58
2.5.1.2.	Beton Basınç Dayanımının 14 MPa Olması Durumundaki Performans	62
2.5.1.3.	Beton Basınç Dayanımının 12 MPa Olması Durumundaki Performans	65
2.5.1.4.	Beton Basınç Dayanımının 10 MPa Olması Durumundaki Performans	68
2.5.2.	Beton Basınç Dayanımındaki Düşüklüğün Kirişlerin Performansına Olan Etkisi	71
2.5.3.	Beton Basınç Dayanımındaki Düşüklüğün Görelî Kat Ötelemesine Olan Etkisi	71
2.6.	Donatı Akma Dayanımını Yapısal Performansa Etkisi	72
2.6.1.	Donatı Akma Dayanımındaki Düşüklüğün Kolonların Performansına Olan Etkisi	72
2.6.1.1.	Donatı Akma Dayanımını 360 MPa Olması Durumundaki Performans	72
2.6.1.2.	Donatı Akma Dayanımını 220 MPa Olması Durumundaki Performans	75
2.6.2.	Donatı Akma Dayanımındaki Düşüklüğün Kirişlerin Performansına Olan Etkisi	79
2.6.2.1.	Donatı Akma Dayanımını 360 MPa Olması Durumundaki Performans	79
2.6.2.2.	Donatı Akma Dayanımını 220 MPa Olması Durumundaki Performans	81
3.	İRDELEMELER	85
3.1.	Sayısal Uygulamalardan Elde Edilen Eleman Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	85
3.2.	Sayısal Uygulamalara İlişkin Değerlendirmeler	88
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
5.	KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Deprem etkisi altında mevcut yapıların performanslarının DBYBHY 2007'e göre belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri de doğrusal elastik hesap yöntemleridir. Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile elemanların hasar sınırlarının tanımında kesitlerin etki/kapasite oranları (r) olarak ifade edilen sayısal değerler ile tanımlanan eleman hasar sınırları kullanılmaktadır. Kesitlerin etki/kapasite oranlarının (r) tespitinde gerekli olan gerek kapasite momentlerinin gerekse kesme kuvveti ve basınç kapasitelerinin belirlenmesinde malzeme olarak beton ve donatının yapı yerindeki mevcut dayanımlarının baz alınması gerekmektedir. Bu çalışma mevcut beton ve donatı kalitesinin projede öngörülen dayanımlardan daha düşük olması durumunda betonarme yapının performansında meydana gelebilecek değişiklikleri incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ülkemizde yaygın olarak kullanılan üç katlı betonarme binalara örnek bir yapı 2007 Türk Deprem Yönetmeliği' ne uygun olarak boyutlandırılmıştır. Bu binanın farklı beton dayanımları ve farklı donatı akma dayanımları için, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal elastik hesap yöntemi ile deprem performansları belirlenmiştir.

Farklı beton basınç dayanımları ve donatı akma dayanımlarına göre elde edilen analiz sonuçları ve kapasite değerlerine bağlı olarak bulunan etki/kapasite oranları (r) kolon ve kirişler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Çalışmadan çıkarılan sonuçlara göre kolon ve kirişlerde hesaplanan etki/kapasite oranları ve yapının global performansı beton ve donatı dayanımında meydana gelen azalmadan farklı oranlarda etkilenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Doğrusal elastik yöntem, Performans, Etki/kapasite oranı, Beton basınç dayanımı, donatı akma dayanımı.

SUMMARY

Effect of Concrete Compressive Strength and Steel Yield Strength on Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings

Linear elastic procedure is one of the performance assessments of the existing buildings methods under seismic loads according to DBYBHY 2007. The structural elements are separated as confinement or non-confinement, and then they are classified ductile or non-ductile. The demand-capacity ratios (r) are used to determine the hazard level of structural elements in linear elastic procedure. The concrete compressive strength and steel yield strength of the existing buildings on-site are required for determining either moment capacity or shear capacity and compressive strength of the structural elements which will be used to compute the demand-capacity ratios (r). In this scope, buildings to three stories representing the existing reinforced concrete buildings in Turkey are selected and designed in accordance with the national code regulations. This structural system of different concrete compressive strengths and steel yield strength are observed by means of linear theory. Resulting seismic performances of this system is evaluated through linear elastic procedure which is imposed by 2007 Turkish Earthquake Code.

The lower strength of concrete and the lower strength of steel have been taken into account for analysis and determining capacity. Demand-capacity ratios for columns and beams related with different concrete and steel strength have computed separately. The numerical results obtained by these analyses are compared and offered.

In this study, If Concrete compressive strength and steel yield strength on-site are under the design strength, the capacity of the structural elements in building having the values of different.

Key Words: Linear elastic procedure, Performance, Demand-capacity ratio, Concrete compressive strength, steel yield strength.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
1.1. Yapı elemanlarının kırılma türleri	12
1.2. Yapı elemanlarında kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri	13
1.3. Kiriş artık moment kapasiteleri ve dengeleyen kesme kuvvetleri	21
1.4. Düğüm noktasına bağlanan elemanların deprem yönüyle uyumlu moment kapasiteleri ..	21
1.5. Yapı performansının belirlenmesinde kullanılan doğrusal elastik hesap yönteminin işlem adımları	25
1.6. Eğilme momenti - Plastik dönme bağıntıları	28
1.7. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile kapasite eğrisinin elde edilmesi	30
1.8. İki doğru parçası ile kapasite eğrisinin idealleştirilmesi	30
1.9. Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi	32
1.10. Talep spektrumunun spektral ivme-spektral yer değiştirme formatına dönüştürülmesi	33
1.11. Çok serbestlik dereceli sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi	33
1.12. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	34
1.13. Tahmini performans noktasının belirlenmesi	35
1.14. Kapasite spektrumunun idealleştirilme işlemi	35
1.15. Performans noktasının belirlenmesi	37
2.1. 1. Kat mimari planı	46
2.2. 2. Kat kalıp planı	46
2.3. Yapının 3 boyutlu görünüşü	47
2.4. 1. Kat kolonları için x eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	52
2.5. 1. Kat kolonları için y eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	52
2.6. 2. Kat kolonları için x eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	53
2.7. 2. Kat kolonları için y eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	53
2.8. 3. Kat kolonları için x eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	54
2.9. 3. Kat kolonları için y eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	54
2.10. 1. Kat kirişleri için x eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	55
2.11. 1. Kat kirişleri için y eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	55
2.12. 2. Kat kirişleri için x eksenine doğrultusunda r / r_s değerleri.....	56

2.13.	2. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	56
2.14.	3. Kat kirişleri için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	57
2.15.	3. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	57
2.16.	1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	59
2.17.	1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	59
2.18.	2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	60
2.19.	2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	60
2.20.	3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	61
2.21.	3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	61
2.22.	1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	62
2.23.	1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	62
2.24.	2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	63
2.25.	2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	63
2.26.	3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	64
2.27.	3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	64
2.28.	1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	65
2.29.	1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	65
2.30.	2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	66
2.31.	2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	66
2.32.	3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	67
2.33.	3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	67
2.34.	1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	68
2.35.	1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	68
2.36.	2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	69
2.37.	2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	69
2.38.	3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	70
2.39.	3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	70
2.40.	1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	73
2.41.	1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	73
2.42.	2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	74
2.43.	2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	74

2.44.	3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	75
2.45.	3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	75
2.46.	1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	76
2.47.	1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	76
2.48.	2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	77
2.49.	2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	77
2.50.	3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	78
2.51.	3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	78
2.52.	1. Kat kirişleri için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	79
2.53.	1. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	79
2.54.	2. Kat kirişleri için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	80
2.55.	2. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	80
2.56.	3. Kat kirişleri için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	81
2.57.	3. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	81
2.58.	1. Kat kirişleri için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	82
2.59.	1. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	82
2.60.	2. Kat kirişleri için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	83
2.61.	2. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	83
2.62.	3. Kat kirişleri için x eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	84
2.63.	3. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r / r_s değerleri.....	84
3.1.	Beton dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak kolonlarda meydana gelen hasar artışı (%).....	89
3.2.	Donatı dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak kolonlarda meydana gelen hasar artışı (%).....	89
3.3.	Donatı dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak kirişlerde meydana gelen hasar artışı (%).....	90
3.4.	Beton dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak görel kat ötelemesinde meydana gelen artış (%).....	90

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
1.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları	11
1.2. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar	16
1.3. Hareketli yük katılım katsayısı (n)	17
1.4. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları	24
1.5. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları	24
1.6. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları	25
1.7. DBYBHY'07 Bina performans düzeyleri ve koşulları	41
1.8. Görelî kat ötelenmesi sınırları	42
1.9. Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri	43
2.1. Kat ağırlığı (kN)	48
2.2. Yapı Periyotları	48
2.3. Sisteme etkiyen deprem kuvvetleri (kN)	48
2.4. Düzensizlik kontrolü (x eksenî doğrultusunda)	49
2.5. Düzensizlik kontrolü (y eksenî doğrultusunda)	49
2.6. Kolon donatı tablosu	49
2.7. Zemin kat kirişleri için donatı tablosu	50
2.8. 1. Kat kirişleri için donatı tablosu	50
2.9. 2. Kat kirişleri için donatı tablosu	51
2.10. Görelî kat öteleme kontrolü	58
2.11. Görelî kat öteleme kontrolü (Ec=27000 MPa)	71
2.12. Görelî kat öteleme kontrolü (Ec=26150 MPa)	71
2.13. Görelî kat öteleme kontrolü (Ec=25258 MPa)	72
2.14. Görelî kat öteleme kontrolü (Ec=24277 MPa)	72
3.1. Zemin kat kolonlarında hesap edilen hasar bölgeleri	85
3.2. 1. Kat kolonları için hesap edilen hasar bölgeleri	85
3.3. 2. Kat kolonları için hesap edilen hasar bölgeleri	86
3.4. Zemin Kat kirişleri için hesaplanan hasar bölgeleri	86
3.5. 1. Kat kirişleri için hesaplanan hasar bölgeleri	87
3.6. 2. Kat kirişleri için hesaplanan hasar bölgeleri	87

SEMBOLLER DİZİNİ

$A(T)$: Spektral ivme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivme katsayısı
A_c	: Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
A_s	: Çekme donatısı alanı
A'_s	: Basınç donatısı alanı
a	: Eşdeğer basınç bloğu derinliği
a_i	: Maksimum spektral ivme değeri
a_{pi}	: Tahmini performans noktasına ait spektral ivme değeri
β_{eff}	: Yapının efektif sönüm değeri
b	: Kesit genişliği
b_w	: Kiriş gövde genişliği
C_0	: Modal katılım katsayısı
C_1	: Yer değiştirmeleri ilişkilendiren katsayı
C_2	: Maksimum yer değiştirme davranışını temsil eden katsayı
d	: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği, döşeme kalınlığı
d'	: Beton örtüsü
d_i	: Maksimum yer değiştirme değeridir
d_{pi}	: Tahmini performans noktasına ait spektral yer değiştirme değeri
d_y	: Akma noktasına karşılık gelen yer değiştirme değeri
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$(EI)_e$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_0$: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
f_c	: Beton dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{yk}	: Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
f_{ym}	: Mevcut donatı akma dayanımı
F_c	: Beton basınç kuvveti
F_s	: Çekme donatısı çekme kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s ²)
G	: Sabit yük
H_i	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
H_N	: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
H_w	: Temel üstünden ölçülen toplam perde yüksekliği
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği

h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
I	: Bina önem katsayısı
K_e	: Elastik rijitlik
K_i	: Yapının elastik yanal rijitliğini
K_s	: Elastoplastik rijitliği
k_I	: Basınç bloğu katsayısı
ℓ_w	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
M_A	: Artık moment kapasitesi
M_D	: Düşey yüklerden oluşan moment
M_E	: Deprem yükleri altında oluşan moment
M_K	: Mevcut malzeme dayanımlarına göre hesaplanan moment kapasitesi
M_n	: n'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
M_{xn}	: x eksenli deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
M_{yn}	: y eksenli deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
m_i	: Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i = w_i / g$)
$m_{\theta i}$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti
N	: Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı
N_A	: Artık moment kapasitesine karşı gelen aksenal kuvvet
N_D	: Düşey yüklerden oluşan aksenal kuvvet
N_E	: Deprem yükleri altında oluşan aksenal kuvvet
N_K	: Kesit moment kapasitesine karşı gelen aksenal kuvvet
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
q_i	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_d(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
r	: Etki/kapasite oranı
r_s	: Etki/kapasite oranının sınır değeri
$S(T)$: Spektrum katsayısı
$S_{ae}(T)$: Elastik spektral ivme [m / s^2]
$S_{aR}(T)$: r'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme [m / s^2]
T	: Bina doğal titreşim periyodu [s]
T_I	: Binanın birinci moduna ilişkin titreşim periyodu [s]
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları [s]
T_m, T_n	: Binanın m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotları [s]
T_{eff}	: Yapının efektif periyodu
V_e	: Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
V_i	: Binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
V_r	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı

V_t	: Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
V_{tB}	: Mod birleştirme yöntemi' nde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yükü
W	: Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
Z_2	: Zemin sınıfı
α	: Elastik sonrası rijitlik
μ	: Elastik sonrası süneklilik
Δ_i	: Binanın i 'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$: Binanın i 'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
Δ_{FN}	: Binanın N 'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
δ_i	: Binanın i 'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
$(\delta_i)_{max}$: Binanın i 'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi
η_{bi}	: i 'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i 'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
Φ_{xin}	: n 'inci mod şeklinin i 'inci katta x eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni
Φ_{yin}	: n 'inci mod şeklinin i 'inci katta y eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni
$\Phi_{\theta in}$: n 'inci mod şeklinin i 'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşeni
θ_i	: i 'inci katta tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
ε_{cg}	: Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değıştirmesi
ε_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değıştirmesi
ε_s	: Donatı çeliğı birim şekil değıştirmesi
φ_p	: Plastik eğrilik istemi
φ_t	: Toplam eğrilik istemi
φ_y	: Eşdeğer akma eğriliğı
Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N 'inci katında) depremin x eksenî doğrultusunda etkimesi durumunda birinci moda ait mod şekli genliğı
θ_p	: Plastik dönme istemi
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yakın zamana kadar yurdumuzda olası deprem etkileri altında mevcut binaların taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları ve bu etkiler altında binanın göstereceği deprem performansı, yeni tasarlanan binalar için öngörülen koşullar uygun şekilde değişiklik yapıp kullanılması şeklinde tahmin edilememektedir. Ancak, böyle bir değerlendirme farklı yorumlara açık olduğu için sık sık tartışmalara sebep olmaktadır. Bu gereksinim sonucu olarak, mevcut Deprem Yönetmeliği 1998 [1] in bazı bölümlerinde kapsamlı, bazı bölümlerinde ise küçük değişiklikler yapılarak ve mevcut binaların değerlendirilmesi ile ilgili yeni bölüm eklenerek Deprem Yönetmeliği 2007 [2] hazırlanmıştır.

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Ancak, daha sonra bu yöntemin yeni binaların tasarımında kullanılabileceği söz konusu olmuştur. Geleceğin deprem yönetmeliklerinde, klasik kuralların yanında daha ayrıntılı incelemeyi gerektiren performans kavramına dayalı tasarım ilkelerinin bulunacağı tahmin edilmektedir. Performansa dayalı tasarım, klasik tasarımın genişletilmesi olarak görülebilir.

Yeni yapı tasarımında taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışı tek bir R_a deprem yükü azaltma katsayısı ile göz önüne alınmaktadır. Doğrusal değerlendirme yöntemi bu kavramın genişletilmesi olup, öngörülen bir R_a deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak incelemek yerine, mevcut binada öngörülen deprem etkisi altında talep edilen r değeri hesaplanarak bunun sağlanma ve oluşacak hasarın kabul edilme imkânının bulunup bulunmadığı araştırılmaktadır. Bu işlem, hesaplanan r katsayısının yönetmelikte verilen $r_{sınır}$ değerleri ile karşılaştırılması şeklinde oluşmaktadır. Yönetmelikte r katsayısının sınır değeri elemandaki normal kuvvet ve kesme kuvvetinin değeri ile kesitte sargılama olup olmamasına ve binada kabul edilebilecek hasar seviyesine bağlı verilmiştir. Yer değiştirme ve şekil değiştirme esaslı değerlendirmenin göz önüne alındığı doğrusal olmayan yöntemde ise, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için binadaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında, binanın beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Deprem yönetmeliklerinin oluşumu incelenirse yirmi yıldan daha önce bile performans seviyesinin tanımlandığı görülebilir. Genel anlamda binanın küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri can güvenliğini sağlayan sınırlı hasarla atlatması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmadan atlatması gibi performans seviyeleri hedeflenmiştir. Performansa dayalı değerlendirmede bu amaçlar daha belirgin şekilde tanımlanarak kabul edilmiştir. Deprem Yönetmeliği (2007) de mevcut binaların performansa dayalı değerlendirmesinin, yakın bir gelecekte performansa dayalı tasarım olarak yeni binalarda da uygulanacağı söylenebilir. Alışıla gelen depreme dayanıklı yapı tasarımında “Can Güvenliği” olarak tanımlanan performans seviyesine karşılık geldiği kabul edilen durum için tasarım yapılır [3].

1.2. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

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

Amerika Birleşik Devletlerinin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 [4] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 [5,6] raporları yayınlanmıştır.

Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla FEMA 440 [7] 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 sağlamaktadır.

Diğer taraftan, Avrupa Birliği standartları arasında bulunan Eurocode 8 [8] standardında da, mevcut yapıların deprem performansına yönelik araştırmaların sonuçlarını içeren yaklaşımlar yer almaktadır. Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesine yönelik olarak pratik uygulamalar yapılmaktadır.

Ancak, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla 2003 yılında, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm (Bölüm 13) eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmıştır [9].

Son olarak Türk Deprem Yönetmeliği 2007'nin Yedinci Bölümü'nde Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri ve bu yöntemler kullanılarak bina performans düzeyinin belirlenmesi hesap adımları verilmiştir. Ayrıca yapıya etkiyen deprem etkisi, bu etki altında yapı performans hedefleri ve performans seviyeleri tanımlanmıştır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, beton ve donatı dayanımının çeşitli sebeplerden dolayı projede öngörülen malzeme sınıfının altına düşmesinin yapının performansına olan etkisinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla uygulamada sık karşılaşılan yapı tiplerini temsil edecek şekilde üç katlı betonarme çerçeve sistemli bir bina, yüksek süneklilik düzeyi koşullarını sağlayacak şekilde TS 500 [10] ve DBYBHY 2007 [2] kuralları çerçevesinde geometri ve malzeme bakımından uygun bir şekilde boyutlandırılmıştır.

Ülkemizdeki orta yükseklikli mevcut betonarme binaların önemli bir bölümünü temsil etmek üzere seçilen ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modeli üzerinde beton ve donatı sınıfındaki azalmanın yapı performansına olan etkisini belirlemek üzere yapılan çalışma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- Sayısal incelemelere esas oluşturan taşıyıcı sistem modelinin belirlenmesi
- Taşıyıcı sistem modelinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı

- Mevcut binanın performansının belirlenmesi
- Beton dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak yapı performansının belirlenmesi
- Donatı dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak yapı performansının belirlenmesi
- Elde edilen sonuçların açıklanması

1.4. Performans Kavramı

Performans kavramı, belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanır. Performans seviyeleri 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.

1.4.1. Performans Seviyeleri

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında, bir yapı sistemini oluşturan yapı elemanlarının hasar durumlarına bağlı olarak belirlenir. DBYBHY'07'de dört farklı bina deprem performans seviyeleri Hemen Kullanım Performans Düzeyi, Can Güvenliği Performans Düzeyi, Göçme Öncesi Performans Düzeyi, Göçme Durumu şeklinde verilmiştir.

1.4.1.1. 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 çatlama 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 binanın Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

1.4.1.2. Can Güvenliği Performans Düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlarda hasar bulunmakla birlikte dolgu duvarları yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir; ancak gözle fark edilebilir büyüklükte değildir. 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, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar veya belirgin hasar bölgesindedir. Bu durumda, eğer varsa gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bina Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde kabul edilir. Can güvenliği performans düzeyinin kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u asmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

1.4.1.3. Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir.

Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınmasında yeterlidir; ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur.

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

1.4.1.4. Göçme 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 ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen yıkılmıştır veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddette bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir. Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bununla beraber, güçlendirme de çok kere ekonomik olmayabilir [11].

1.5. Mevcut Binaların Değerlendirilmesi (DBYBHY'07- Bölüm 7)

DBYBHY'07'nin bu bölümünde, deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri verilmiştir.

Deprem Yönetmeliğindeki Bölüm 7 'Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi' ana konu başlıkları özetle şu şekildedir;

- Binalardan Bilgi Toplanması
- Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri,
- Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar,
- Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri ile Belirlenmesi
- Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri ile Belirlenmesi
- Bina Deprem Performansının Belirlenmesi
- Binaların Güçlendirmesi
- Betonarme Binaların Güçlendirmesi

1.5.1. Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların ve bina türü yapıların deprem dayanımlarının değerlendirilmesi için binalardan ne tür veriler toplanacağı ve ne şekilde dikkate alınacağına dair kurallar bu bölümde tanımlanmıştır. DBYBHY uyarınca binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler özetle şu şekilde verilmiştir;

- Yapısal sistemin tanımlanması,
- Bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi,
- Varsa hasarı ve evvelce yapılmış değişiklik veya onarımların belirlenmesi,
- Eleman boyutlarının ölçülmesi,
- Malzeme özelliklerinin saptanması,
- Sahada derlenen tüm bilgilerin varsa projesine uygunluğunun kontrolü

1.5.2. Bilgi Düzeyleri ve Bilgi Düzeyi Katsayıları

Deprem performansı değerlendirilecek mevcut binalar için, gerekli bilgilerin elde edilmesinde bazı zorluklar ortaya çıkabilir. Örneğin deprem performansı belirlenecek bir binanın projesi olmayabilir veya yapı sistemin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin tam olarak belirlenmesinde kimi zaman binanın fiziki ve çevresel şartlarından dolayı zorluklar ortaya çıkabilir.

Yani binadan istenilen bazı bilgilerin toplanamaması durumunda eldeki bilgilerin ne şekilde dikkate alınacağına yönetmelikte tanımlanan “bilgi düzeyleri” ve bunlarla ilgili “bilgi düzeyi katsayıları” ile karar verilmektedir.

DBYBHY 2007’de tanımlanan bilgi düzeyleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmış ve açıklanmıştır. Açıklamalar söz konusu deprem yönetmeliğinde tanımlandığı şekilde aşağıda sunulmaktadır.

Sınırlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

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

Kapsamlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

1.5.2.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi

Bina Geometrisi: Saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem plan rölevesi çıkarılacaktır. Mimari projeler mevcut ise, röleve çalışmalarına yardımcı olarak kullanılır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yerini, eksen açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir ve binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir.

Eleman Detayları: Betonarme projeler veya uygulama çizimleri mevcut değildir. Betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşullarını sağladığı varsayılır. Bu varsayımın doğrulanması veya hangi oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için her katta en az birer adet olmak üzere kolonların her birinden %10 ve kirişlerin her birinden %5 oranında elemanın pas payları sıyrılarak donatı ve donatı bindirme boyu tespiti yapılacaktır. Sıyırma işlemi kolonların ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik bölümde yapılmalı, ancak donatı bindirme

boyunun tespiti amacıyla en az üç kolonda bindirme bölgelerinde yapılmalıdır. Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile kapatılacaktır.

Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Donatı tespiti yapılan betonarme kolon ve kirişlerde bulunan mevcut donatının minimum donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her katta kolonlardan veya perdelerden TS-10465' [12] de belirtilen koşullara uygun şekilde en az iki adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılacak ve örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

1.5.2.2. Betonarme Binalarda Orta Bilgi Düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcut ise, binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projesine uygunluğu kontrol edilir. Proje yoksa, saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkarılacaktır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yerini, açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

Eleman Detayları: Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut değil ise 7.2.4.2'deki koşullar geçerlidir, ancak donatı kontrolü yapılacak kolon ve kirişlerin sayısı her katta en az ikişer adet olmak üzere o kattaki toplam kolon sayısının %20'sinden ve kiriş sayısının %10'undan az olmayacaktır.

Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut ise donatı kontrolü için 7.2.4.2'de belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 400 m²'den bir adet beton örneği (karot) TS-10465 de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik dayanımı eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

1.5.2.3. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcuttur. Binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projelere uygunluğu kontrol edilir. Projeler ölçümler ile önemli farklılıklar gösteriyor ise proje yok sayılır ve bina orta bilgi düzeyine uygun olarak incelenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Komşu binalarla ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolü için 7.2.5.2’de belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20’sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleştirme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1’den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 200 m²’den bir adet beton örneği (karot) TS-10465’de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme ile tespit edilecek, her sınıftaki çelik için (S220, S420, vb.) birer adet örnek alınarak deney yapılacak, çeliğin akma ve kopma dayanımları ve şekil değiştirme özellikleri belirlenerek projeye uygunluğu saptanacaktır. Projesine uygun ise, eleman kapasite hesaplarında projede kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Uygun değil ise, en az üç adet örnek daha alınarak deney yapılacak, elde edilen en elverişsiz değerler eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

Tablo 1.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları [2]

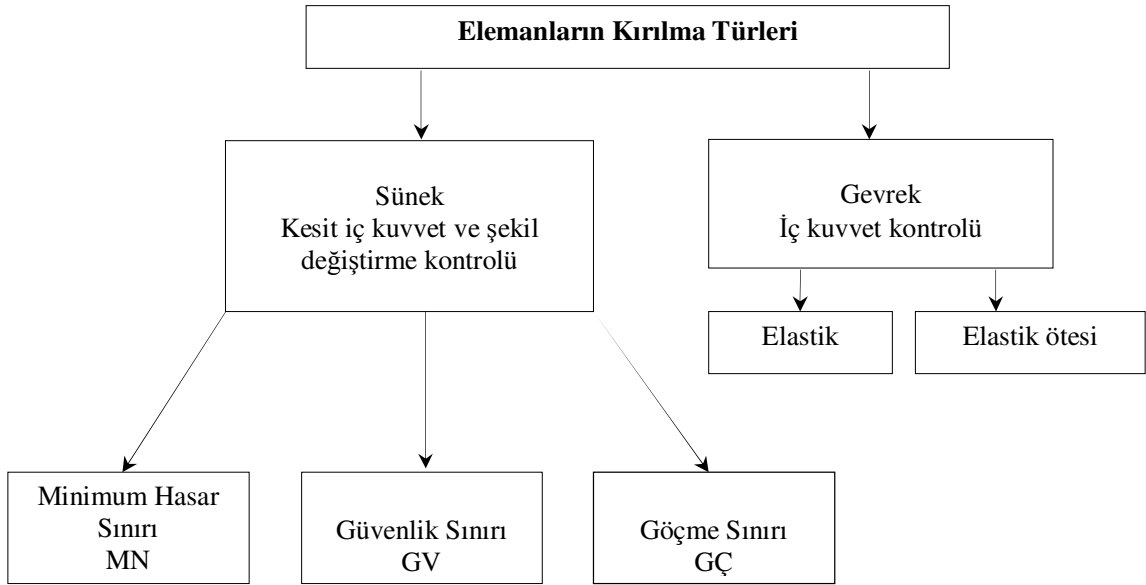
Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

1.5.3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

2007 Deprem yönetmeliğinde yer alan elemanlara ilişkin kırılma türleri, kesit hasar sınırları ve bölgelerine ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

1.5.3.1. Yapı Elemanlarının Kırılma Türleri

Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan kesme dayanımına bölünmesi ile elde edilir [10]. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kesit kesme kuvveti dayanımı ve basınç dayanımı hesabında DBYBHY (2007)'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılmalıdır. Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenebilmesi için öncelikle elemanın kırılma türü belirlenmelidir. Kırılma türü, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türüyle ulaşmasına göre "sünek" ve "gevrek" olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Yönetmelikte betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise "sünek", kesme ise "gevrek" olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.1. Yapı elemanlarının kırılma türleri [13]

1.5.3.2. Kesit Hasar Sınırları

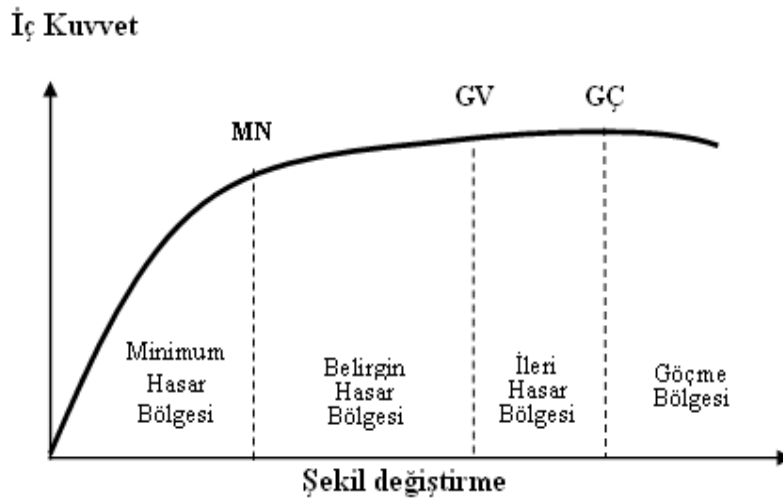
Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi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

1.5.3.3. Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitleri hesap bölgelerine göre sınıflandırılmış olup Şekil 1.2 de hasar sınırları ve hasar bölgeleri şematik olarak gösterilmiştir.

Yönetmelik eleman hasarını, elemanın en fazla hasarlı kesitine göre belirleneceğini ifade eder.

- MN' ye ulaşmayan elemanlar minimum hasar bölgesinde,
- MN ile GV arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesinde,
- GV ve GÇ arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesinde,
- GÇ' yi aşan elemanlar ise göçme bölgesinde olduğu kabul edilir.



Şekil 1.2. Yapı elemanlarında kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri [13]

1.5.4. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre depreme dayanıklı tasarımın genel ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanların hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir.

DBYBHY' ne yeni ilave edilen 7. Bölüme göre, gerçekleştirilecek deprem hesabının amacı, mevcut ve güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemektir. Bina performansını belirlemek için kullanılacak yöntemler aynı bölümde detaylı olarak verilmiştir. Bu yöntemlerde geçerli olan genel ilke ve kurallar şu şekildedir,

- a) Deprem etkisinin tanımında, elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacaktır. Ancak farklı aşılma olasılıkları için yönetmeliğin bu bölümünde verilen değişiklikler göz önüne alınacaktır.
- b) Deprem hesabında bina önem katsayısı uygulanmayacaktır. ($I=1,0$)
- c) Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etkitilecektir.
- d) Zemin özellikleri yine yönetmeliğin ilgili bölümüne göre belirlenecektir.
- e) Kat ağırlıklarının hesabında ve her kat için tanımlanacak serbestlik derecelerinin sayısında yönetmelikte eskiye göre herhangi bir değişiklik yoktur. Ancak tanımlanan kat kütlelerine ayrıca bir ek dışmerkezlilik uygulanmayacaktır.
- f) Kısa kolon durumuna düşürülmüş olan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.
- g) Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınacaktır.
- h) Betonarme tablalı kirişlerin plastik moment kapasitelerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı da dikkate alınabilir.
- i) Betonarme elemanlarda kenetlenme ve bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite hesabında ilgili donatı akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksiklik oranında azaltılacaktır. Bu oran %30'dan fazla ise eleman bu yönetmelikte tanımlanan gevrek eleman olarak sınıflanır.
- j) Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zeminin şekil değiştirme özellikleri yapı modeline yansıtılacaktır.

Yukarıda belirtilen kurallarda DBYBHY (2007)'de, betonarme elemanların modellenmesinde çatlama kesit özelliklerinin kullanılması, doğrusal olmayan yöntemler için verilmişti. Aynı yönetmeliğin Madde 7.4' te, gerek doğrusal gerekse de doğrusal olmayan yöntemler için, çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri kullanımı getirilmiştir. (Madde 7.4.13- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (EI) kullanılacaktır.)

1.6. Yapı Performansının Doğrusal Elastik Yöntemler ile Belirlenmesi

Performansa dayalı deprem mühendisliğindeki gelişmeler, yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılabilecek doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemlerini ortaya çıkarmıştır [4, 6]. Ancak bu yöntemler incelenen bina ile ilgili detaylı bilgiler gerektirmektedir. Ayrıca doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemlerinin genel deprem performansının etkin bir şekilde belirlenmesinde iki dezavantajı vardır. Bunlardan ilki bu yöntemlerin, mühendislik pratiğinde henüz yaygınlaşmamış ve doğrusal elastik yöntemler kadar standartlaşma aşamasında olmayan doğrusal olmayan analizler gerektirmesidir. İkinci olarak incelenmesi gereken, yapı stokunun büyüklüğünden dolayı işlem yoğunluğu olan ve fazla zaman alan yöntemlerin pratik olmayacağıdır. Bu zorlukların üstesinden gelecek basit ve daha verimli yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde işlem adımları açıklanacak olan yöntem olan bu ihtiyaçtan hareketle geliştirilmiştir ve DBYBHY-2007'de yer almıştır.

1.6.1. Doğrusal Elastik Yöntemler

2007 Deprem yönetmeliğine göre yapıların doğrusal elastik yöntemlere göre performansının belirlenmesinde 2 yöntem kullanılır. Bu 2 yönteme ilişkin bilgiler aşağıda verilmektedir.

1.6.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Bu bölümde Eşdeğer Deprem Yüğü yönteminin uygulanabileceği binalar ve hesap adımları verilmiştir; DBYBHY-2007'de verilen, çeşitli yapısal özelliklere göre, eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanabilme sınırları Tablo 1.2.'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar [2]

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2,0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25m$
	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2,0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	$H_N \leq 40m$
3,4	Tüm binalar	$H_N \leq 40m$

Toplam eşdeğer deprem yükünün göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (taban kesme kuvveti), V_t , Denklem 1.1 ile belirlenecektir.

$$V_t = \lambda WA(T_1) / R_a(T_1) \geq 0,01A_0IW \quad (1.1)$$

λ katsayısı bodrum hariç, bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 alınacaktır. Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı, W , Denk.(1.2) ile belirlenecektir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (1.2)$$

w_i , kat ağırlıkları ise Denklem (1.3) ile hesaplanacaktır;

$$w_i = g_i + n q_i \quad (1.3)$$

Denk.(1.3)'de yer alan hareketli yük katılım katsayısı, n , Tablo 1.3'de verilmiştir. Endüstri yapılarında sabit ekipman ağırlıkları için $n = 1$ alınacak, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında göz önüne alınmayacaktır. DBYBHY 2007'de verilen, çeşitli yapı tiplerinde kullanılacak hareketli yük azaltma katsayısı Tablo 1.3' de verilmiştir.

Tablo 1.3. Hareketli yük katılım katsayısı (n) [2]

Bina Kullanım Amacı	n
Depo,antre,vb.	0.80
Okul,öğrenci yurdu,spor tesisi,sinema,tiyatro,konser salonu,garaj, Lokanta,mağaza,vb.	0.60
Konut,işyeri,otel,hastane,vb.	0.30

Denk.(4.1) ile hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak Denk.(1.4) ile ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (1.4)$$

Binanın N ' inci katına (tepe noktasına) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N ' in değeri Denk.(1.5) ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0.0075.N.V_t \quad (1.5)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N ' in dışında geri kalan kısmı, N ' inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Denk.(1.6) ile dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (1.6)$$

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanacaktır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) Denk.(1.1) ile hesaplanmasında $R_a=1$ alınacak ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılacaktır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 alınacaktır.

1.6.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Herhangi bir n ' inci titreşim modunda göz önüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı Denk.(1.7) ile belirlenecektir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (1.7)$$

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, Y , göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütle'lerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir:

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (1.8.a)$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (1.8.b)$$

Denk.(1.8)'de yer alan L_{xn} ve L_{yn} ile modal kütle M_n 'nin ifadeleri, kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin} \quad (1.9)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2) \quad (1.10)$$

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir:

$T_m < T_n$ olmak üzere, göz önüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m / T_n < 0.80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı uygulanabilir.

Yukarıda belirtilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü V_{IB} 'nin, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde Denklem 1.1' den hesaplanan bina toplam deprem yükü V_i 'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda ($V_{IB} < \beta V_i$), Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, Denk.(1.11)'ya göre büyütülecektir.

$$B_D = \frac{\beta V_i}{V_{IB}} B_B \quad (1.11)$$

Deprem yönetmeliğinde tanımlanan A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda Denk.(1.11)'da $\beta=0.90$, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise $\beta=0.80$ alınacaktır.

1.6.2. Yapının Kapasite Analizi

Kapasite analizi yapısal kiriş, kolon, perde elemanlarının kırılma türüne göre moment, kesme, eksenel yük kapasitelerinin ve yapının bütün olarak taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla yapılır.

1.6.2.1. Kiriş Moment Kapasitelerinin Hesaplanması

Depremin etki yönüyle uyumlu olacak şekilde ve azaltılmamış malzeme dayanımları kullanılarak kiriş uçlarının pozitif ve negatif moment kapasiteleri hesaplanır.

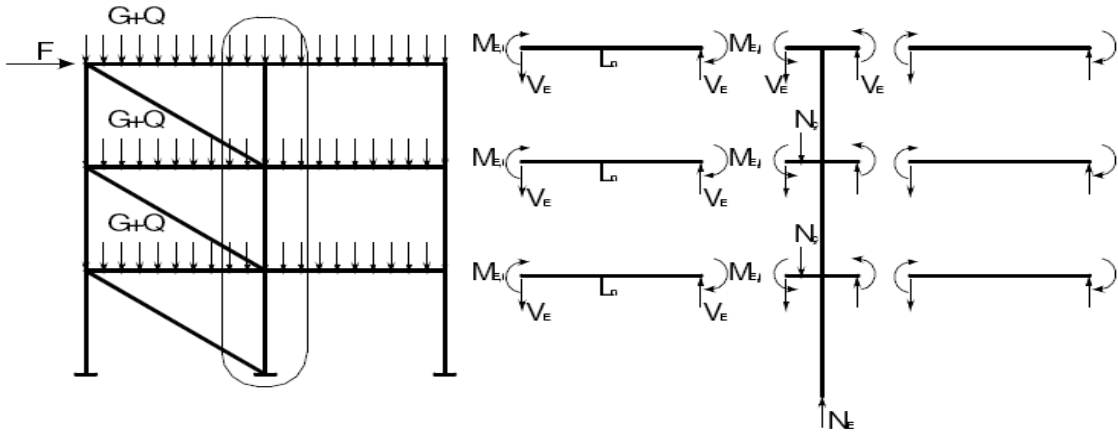
1.6.2.2. Kolon Eksenel Yük ve Moment Kapasitelerinin Hesaplanması

Düşey yüklerden kaynaklanan kolon eksenel kuvvetleri N_D , düşey yükler altında uygulanan doğrusal elastik yöntemler ile elde edilecektir. Deprem yükleri altında oluşan kolon eksenel kuvvetleri N_E ise kirişlerden aktarılabacak en büyük kesme kuvvetleriyle sınırlı olacağından bu yükleri doğrusal elastik hesapla bulmak uygun değildir. Bundan dolayı deprem yükünden kaynaklanan kolon eksenel yükü aşağıdaki paragraflarda açıklanan limit hesabı ile bulunacaktır. Limit analizi ile bulunan bu yükler yapının yatay yük kapasitesine ulaştığı andaki eksenel yükleri olacaktır. Bu durum güçlü depremlerde bir çok yapının yatay yük taşıma kapasitesinin aşıldığı düşünüldüğünde kabul edilebilir bir varsayımdır. İlk aşama olarak tüm kirişlerin her iki ucunun uygulanan deprem kuvvetinin yönü ile uyumlu yönlerde eğilme kapasitelerine ulaştığı varsayılacaktır.

Böylece hesaplanan toplam kapasite momentlerinden (M_K), düşey yükler altında oluşan kiriş uç momentleri (M_D) çıkartılarak deprem artık kapasite momentleri M_E hesaplanacaktır. Deprem artık kapasite momentlerini dengeleyen kiriş kesme kuvvetleri V_E , Denklem (1.12) ile bulunacaktır. Kolonun düşey yöndeki dengesi düşünülürken, kolona düzlemsel olarak bağlanan kirişlerin kesme kuvvetlerinin yanı sıra, çapraz elemanlarla modellenen dolgu duvarların düşey yönde aktaracakları kuvvetler de göz önüne alınmalıdır. Çapraz elemanların düşey yönde aktaracakları kuvvetler bu elemanların eksenel kuvvet kapasitesinin düşey bileşeni ile sınırlı olacaktır.

$$V_E = (M_{E,i} + M_{E,j}) / l \quad (1.12)$$

Kirişlerden aktarılabacak en büyük kesme kuvveti ve çapraz elemanın eksenel yükünün düşey bileşeninin toplamından elde edilen kolon eksenel yüklerinin şematik gösterimi Şekil 1.3.'de sunulmuştur. Hesaplanan N_E tesirlerinin üzerine önceden bulunmuş N_D değerleri eklenerek bu eksenel yük altında kolon moment kapasitesi karşılıklı etkileşim diyagramları kullanarak bulunur.

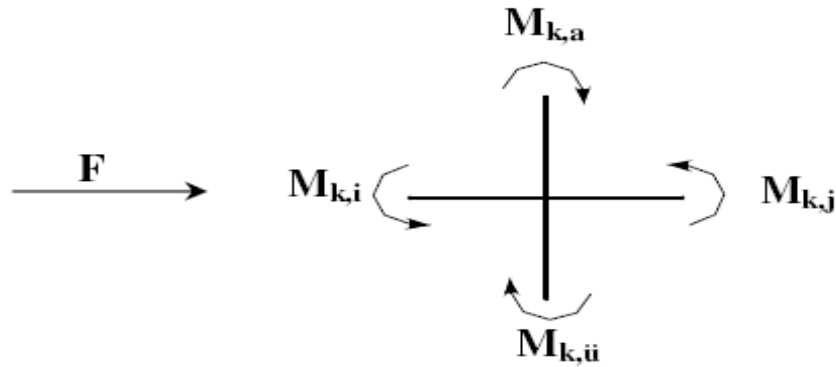


Şekil 1.3. Kiriş artık moment kapasiteleri ve dengeleyen kesme kuvvetleri [14]

1.6.2.3. Düğüm Noktalarındaki KKO Değerlerinin Hesaplanması

Bu noktaya kadar tüm kiriş uçlarının moment kapasitesine ulaşmış olduğu bir başka deyişle akmış olduğu varsayımı yapılmıştı. Ancak kolonların kirişlerden zayıf olduğu düğüm noktalarında kolon uçları akacak ve kiriş uç momentlerinin değerlerinin kapasite değerlerine ulaşmasını engelleyecektir. Bu durumu göz önüne almak için tüm düğüm noktalarında toplam kolon moment kapasitesinin, toplam kiriş moment kapasitesine oranını ifade eden kolon-kiriş kapasite oranı (KKO) değerleri Denklem (1.13) ile bulunacaktır:

$$KKO = \frac{M_{Ka} + M_{Kü}}{M_{Ki} + M_{Kj}} \quad (1.13)$$



Şekil 1.4. Düğüm noktasına bağlanan elemanların deprem yönüyle uyumlu moment kapasiteleri [14]

1.6.2.4. Kiriş Uç Momentlerinin Düzeltilmesi ve Kolon Kapasitelerinin Yenilenmesi

Eğer bir düğüm noktasında KKO değeri 1'den büyük ise, bu birleşime saptanan kirişler için yapılan kiriş uçlarının kapasitelerine ulaştıkları varsayımı geçerlidir. Değilse bu birleşime saptanan kiriş uçlarının kapasite momentleri (M_K) KKO ile çarpılarak azaltılacaktır. Tüm birleşimler için bu işlem yapıldıktan sonra Denklem (1.12)' ye dönülecek ve kapasite momentleri yerine düzeltilmiş kiriş uç momentleri kullanılarak N_E tekrar hesaplanacaktır. Bu işlemlerin sadece bir kez tekrar edilmesi yeterlidir.

1.6.2.5. Akması Olası Eleman Uçlarının Belirlenmesi

Eğer bir düğüm noktasında KKO değeri 0,8 değerinden küçükse kolon uçları, 1,2 değerinden büyükse kiriş uçları akması olası eleman uçları olarak belirlenir. Eğer KKO değeri 0,8 ve 1,2 arasında ise bu düğüme bağlanan tüm eleman uçları akma potansiyeline sahiptir. Burada 0,8 ve 1,2 değerlerinin kullanılmasının iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi kolon aksel yüklerinin, moment kapasitelerinin ve dolayısıyla KKO değerlerinin yaklaşık hesabındaki muhtemel hataları gidermek, ikincisi ise rijit kolon-kiriş düğüm noktalarının dengesinde kesme kuvveti etkisinin göz önüne alınmamasından dolayı yapılan hataları gidermektir.

1.6.2.6. Etki/kapasite Oranlarının Hesabı ve Akma Dağılımının Belirlenmesi

Bir önceki adımda akması muhtemel eleman uçları olarak belirlenen tüm elemanların etki/kapasite (r) oranları deprem talebini artık moment kapasitesine bölerek hesaplanır;

$$M_E = M_K - M_D \quad (1.14)$$

$$r = \frac{M_{deprem}}{M_E} \quad (1.15)$$

Burada M_K kiriş kapasite momentini, M_D düşey yüklerin etkisinden kaynaklanan kiriş uç momentini, M_E artık kapasite momentini, M_{deprem} doğrusal elastik hesapla elde edilen talep deprem momentini ve r ise etki/kapasite oranını göstermektedir.

Eğer akması muhtemel bir eleman ucunda r değeri 1,00 den büyükse bu eleman ucu akan, bir başka deyişle plastikleşen uç olarak adlandırılır. r değeri birden küçükse, o eleman ucu elastik kalmış uç olarak belirlenir [14].

1.6.3. Yapı Elemanlarında Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi

Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 1.4-1.6'da sünek ve gevrek elemanlar için ayrı ayrı verilmiştir. Sünek kolon ve kirişlerin kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu kapasite kesme kuvveti V_e 'nin, DBYBHY 2007'de tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut *malzeme dayanımı* değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesinin V_r 'yi aşmaması gereklidir. Aşması durumunda bu elemanlar gevrek eleman sınıfında sayılırlar. V_e 'nin hesabı kolonlar için 3.3.7'ye, kirişler için 3.4.5'e göre yapılacak, ancak pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılacaktır.

V_r ise TS-500'e göre, 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak hesaplanacaktır. $H_w/\ell_w > 2.0$ olan, 3.6.2'ye göre uç bölgeleri olan ve yatay gövde donatısı oranı $\rho_{sh} > 0.0025$ olan perdeler de sünek eleman olarak kabul edilecektir. Burada verilen sünek eleman koşullarını sağlamayan betonarme elemanlar gevrek eleman olarak sınıflandırılacaktır. Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir.

Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır.

Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilecektir. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilecektir. Kesit kesme kuvveti dayanımı ve basınç dayanımı hesabında 7.2' de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılacaktır.

Tablo 1.4. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) [2]

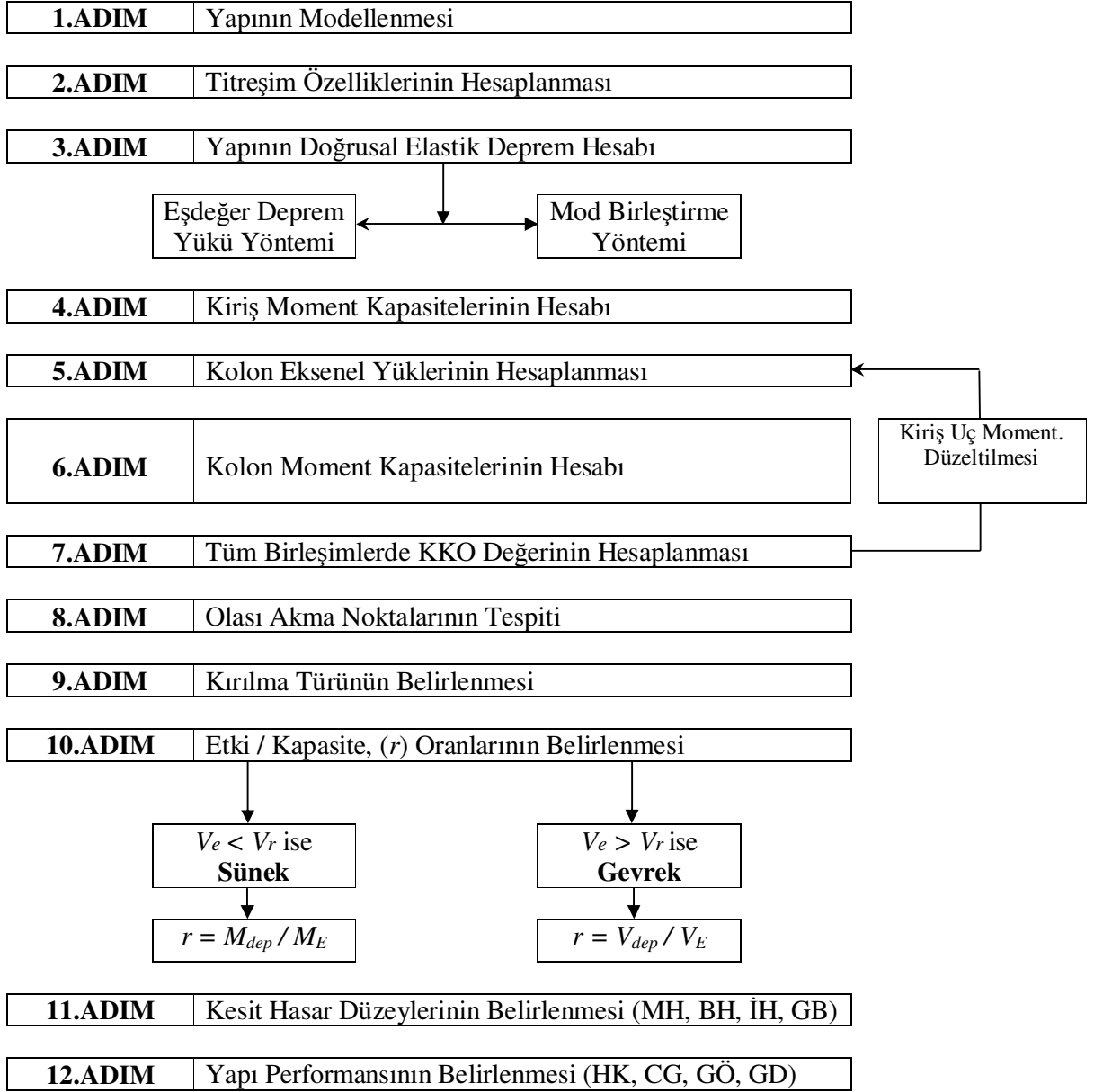
KOLONLAR					
Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$N / Ac f_c$	Sargılama	$V / (bwd fct)$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	2	3	5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
Gevrek Kolonlar			1	1	1

Tablo 1.5. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) [2]

KİRİŞLER					
Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$V / (bwd fct)$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4
Gevrek Kirişler			1	1	1

Tablo 1.6. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) [2]

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



Şekil 1.5. Yapı performansının belirlenmesinde kullanılan doğrusal elastik hesap yönteminin işlem adımları

1.7. Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Analizi

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır.

Daha sonra bu istem büyüklükleri, aşağıda tanımlanan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılır. 2007 Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'dir.

a) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum kat üzerindeki toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde, deprem istem limitine (performans noktasına) kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında, doğrusal olmayan (nonlinear) itme analizi yapılır.

Analizde ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

b) Artımsal mod birleştirme yönteminde, deprem istem limitine kadar her bir titreşim modunda monotonik olarak arttırılan modal yer değiştirmelere göre mod birleştirme yöntemi, ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her bir itme adımında artımsal olarak uygulanır.

Bu itme adımlarında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme 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 uygulanabilmektedir.

c) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan (nonlinear) davranışı göz önüne alınarak, sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi tüm binalara uygulanabilir.

1.7.1. Plastik Davranışın İdealleştirilmesi

2007 Deprem Yönetmeliğinde, doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli'nin (plastik kesit kavramı) kullanılması öngörülmüştür. Basit eğilme durumunda plastik mafsallara hipotezi'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır.

Basit eğilme durumunda plastik mafsalları boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki en kesit yüksekliği (h)'nin yarısına eşit alınmaktadır, ($L_p = 0.5 h$). Sadece aksel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit olarak alınır. Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesit'in, teorik olarak yukarıda tanımlanan plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. 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 göz önüne alınmalıdır.

b) Betonarme perdelerde, plastik kesitler her katta perde kesitinin alt ucuna konulabilir. 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 aksel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeylerinin (etkileşim diyagramlarının) tanımlanmasında, beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyi katsayısı ile

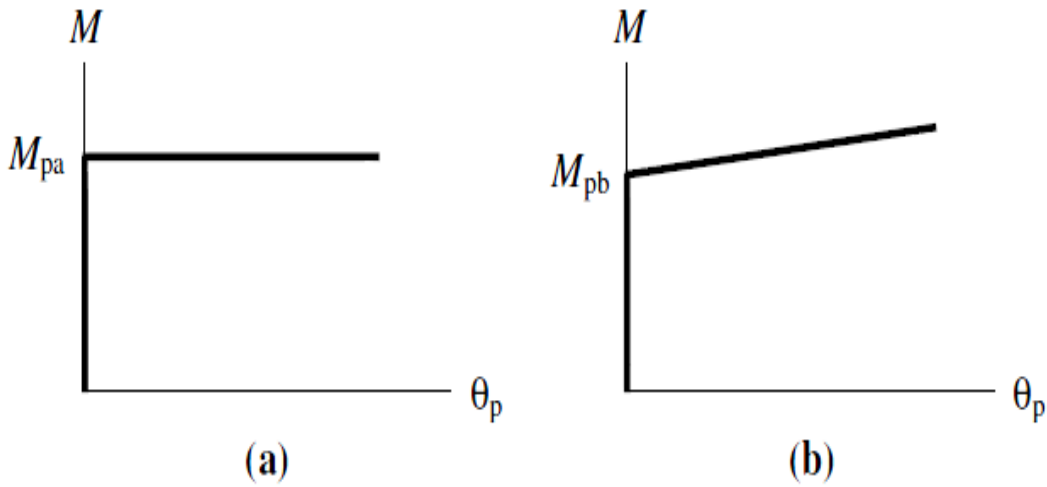
çarpılan mevcut dayanımları esas alınır. Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenebilir.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılacaktır. İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir:

a) İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir, Sekil 1.6a.

Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve aksenal kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınır.

b) Pekleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda (Sekil 1.6b), bir veya iki eksenli eğilme ve aksenal kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekil değiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanmalıdır [15].



Şekil 1.6. Eğilme momenti - Plastik dönme bağıntıları [15]

1.7.2. Yapı Performans Noktasının Belirlenmesi

Mevcut doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile yapı değerlendirilmesinin genel olarak iki farklı kritere göre yapıldığı söylenebilir. Bunlardan birincisi, yatay deprem yükleri seviyesi ikincisi ise belirli bir yatay deprem yükü seviyesi için yapıdaki deplasman talebidir. Birinci kriterin kullanıldığı yöntemlerde, yapıya etkiyen yatay deprem yükü şartnamelerde öngörülen seviyeye ulaştığında, yapıdan istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. İkinci kriterin kullanıldığı yöntemlerde ise belirli bir yatay deprem yükü için yapıdaki deplasman talebine ulaşıldığında, yapıdan istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir [16].

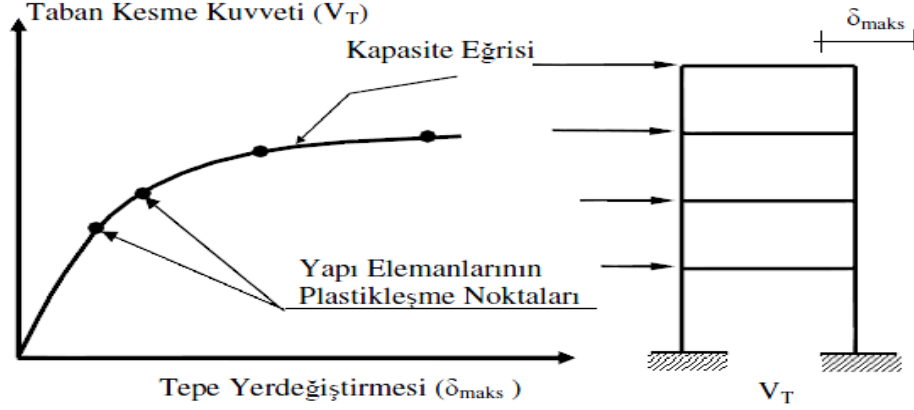
Performans değerlendirmelerinin depremden etkilenen mevcut yapıların performanslarının ortaya konması, gerekiyorsa bu yapıların güçlendirilerek güçlendirilmiş sistemin performans analizi veya yeni yapılacak yapıların bu anlayışla tasarımı gibi iki temel bakış açısı vardır. Bu amaçla yapılara performans kazandırılması (performansa dayalı tasarım) için lineer olmayan analiz yöntemleri vardır [17]. Bu lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden kapasite spektrumu yöntemi ile deplasman katsayıları yöntemi yapısal performansın değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir [18].

1.7.2.1. Yer Değiştirme Katsayıları Yöntemi

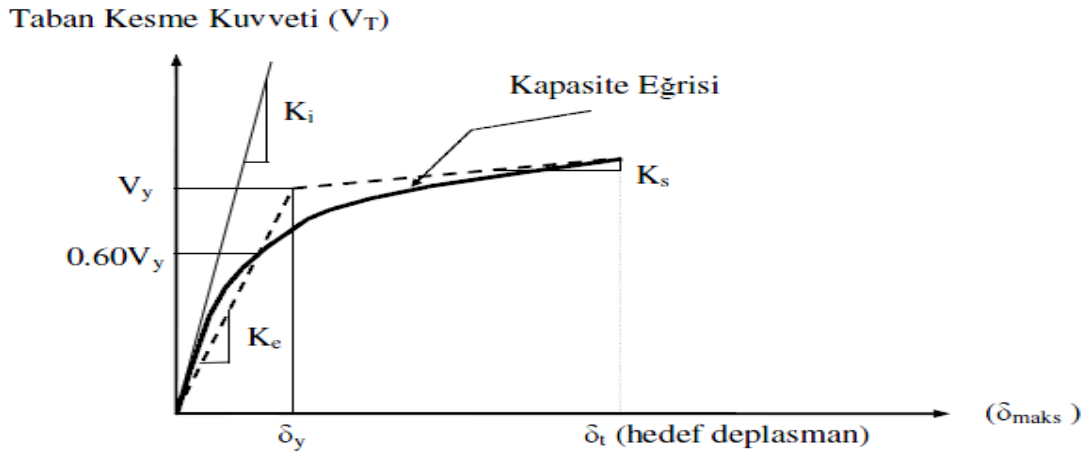
Yer değiştirme katsayısı yönteminde, V_T taban kesme kuvveti ile maksimum tepe noktası deplasmanı (δ_{maks}) arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Yapıya ait kapasite eğrisi ikinci mertebe elasto-plastik hesap ile belirlenmektedir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Yapı, sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımında lineer olmayan teoriye hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar izlenir. Her yük değeri için toplam taba kesme kuvveti (V_T) ve buna karşılık gelen en üst kat yatay deplasmanı (δ_{maks}) arasındaki grafik çizilir.

Yapıya ait kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği (K_s) (elastik sonrası rijitlik) temsil eden iki doğru parçası ile idealleştirilir. İdealleştirilme yapılırken gerçek kapasite eğrisi ve idealleştirilmiş kapasite eğrisi altında kalan alanların eşit olması ve K_e eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s eğimli doğruların kesim noktasının

ordinatının $0.60 (0.6V_y)$ katı olması esasları dikkate alınır. Başlangıçta bu iki doğrunun kesim noktası bilinmediği için bir deneme-yanılma yönteminin uygulanması yoluna gidilir. Buna göre, bir K_e doğrusu seçilir ve V_y değeri belirlenir. K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatı kontrol edilir ve bu değer $0.60V_y$ 'ye eşit oluncaya kadar K_e doğrusu için yeni değerler seçilerek işlem tekrarlanır.



Şekil 1.7. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile kapasite eğrisinin elde edilmesi [19]



Şekil 1.8. İki doğru parçası ile kapasite eğrisinin idealleştirilmesi [19]

Kapasite eğrisi bu şekilde idealleştirildikten sonra, sistemin T_e etkin doğal periyodu aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (1.16)$$

Burada T_i hesap yapılan doğrultuda yapının elastik dinamik analizi ile bulunan birinci doğal periyodunu, K_i yapının elastik yanal rijitliğini, K_e ise elastik efektif rijitliğini göstermektedir. Yapı sisteminin T_e etkin doğal periyodu bulunduktan sonra, yapının performans kontrolünün yapılacağı hedef deplasmanı (δ_T)

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T^2}{4\pi^2} g \quad (1.17)$$

formülü ile elde edilir.

Bu formülde kullanılan katsayı ve büyüklükler ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

C_0 : Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanını çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktası yer değiştirmesi ile ilişkilendiren modal katılım katsayısıdır.

C_1 : Doğrusal elastik yer değiştirmeler ile beklenen en büyük elastik olmayan yer değiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır.

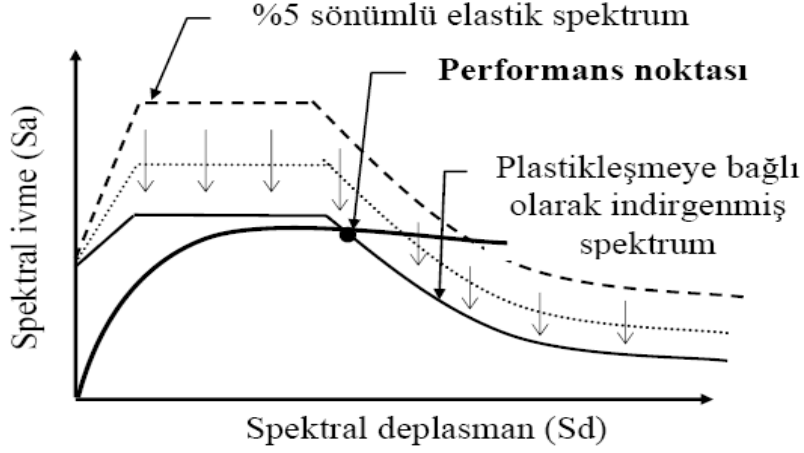
C_2 : Yük-yer değiştirme çevrimsel eğrilerinin maksimum yer değiştirme davranışı üzerindeki etkisini temsil eden katsayıdır.

Yer Değiştirme Katsayısı Yönteminde, hedef yer değiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen ve T_e etkin doğal periyodunun hesabını esas alan δ_T yer değiştirmesi ile yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan değerlerin eşit veya birbirine yeterince yakın olması halinde hedef yer değiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir [19].

1.7.2.2. Kapasite Spektrum Yöntemi

Artan deprem yükleri altındaki bir yapıda doğrusal olmayan şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu şekil değiştirmeler yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla deprem talebini azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen doğrusal olmayan şekil değiştirmelere bağlı olarak, elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenir. Performans noktası adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir (Şekil 1.9).

Bu yöntemde üç temel büyüklüğün belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar kapasite, yer değiştirme talebi ve performans noktasıdır.

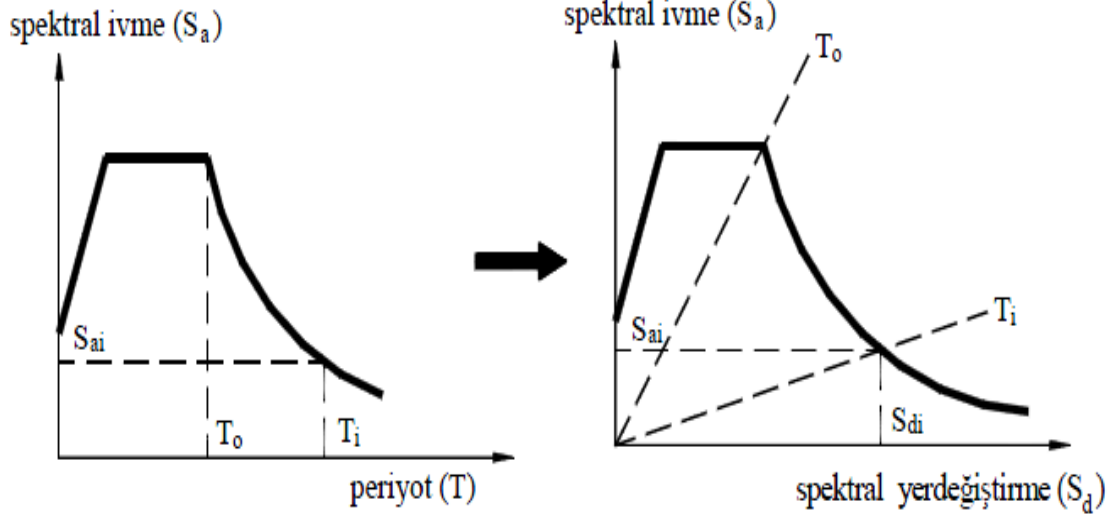


Şekil 1.9. Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi [20]

Kapasite Spektrumu Yöntemi' nde ilk aşama dikkate alınan deprem hareketini temsil etmek üzere, talep spektrumunun tanımlanmasıdır. Talep spektrumunun tanımlanmasında, %5 sönümlü elastik davranış spektrumundan yararlanılmaktadır. %5 sönümlü elastik davranış spektrumu, daha sonra kapasite spektrumu ile karşılaştırılabilmek amacıyla, Spektral İvme-Periyot (S_a-T) formatından, Denklem (1.18) ile spektral ivme-spektral yer değiştirme formatına (S_a-S_d) dönüştürülmektedir (Şekil 1.10).

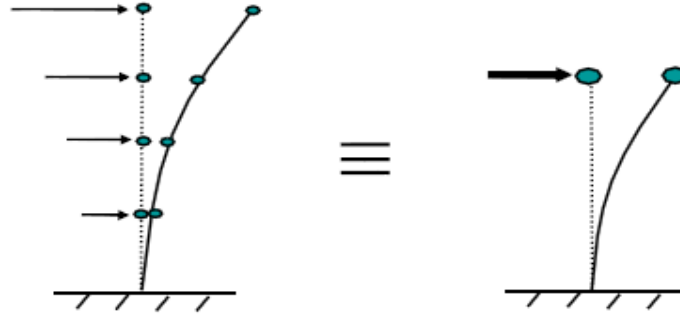
$$S_{di} = S_{ai} \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (1.18)$$

Kapasite Spektrumu Yöntemi ile yapının performans noktası belirlenirken, doğrusal olmayan statik artımsal analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisi, talep spektrumu ile karşılaştırılmak üzere spektral formata dönüştürülmektedir.



Şekil 1.10. Talep spektrumunun spektral ivme-spektral yer değıştirme formatına dönüştürülmesi [19]

Fakat talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğundan, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisinin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir.



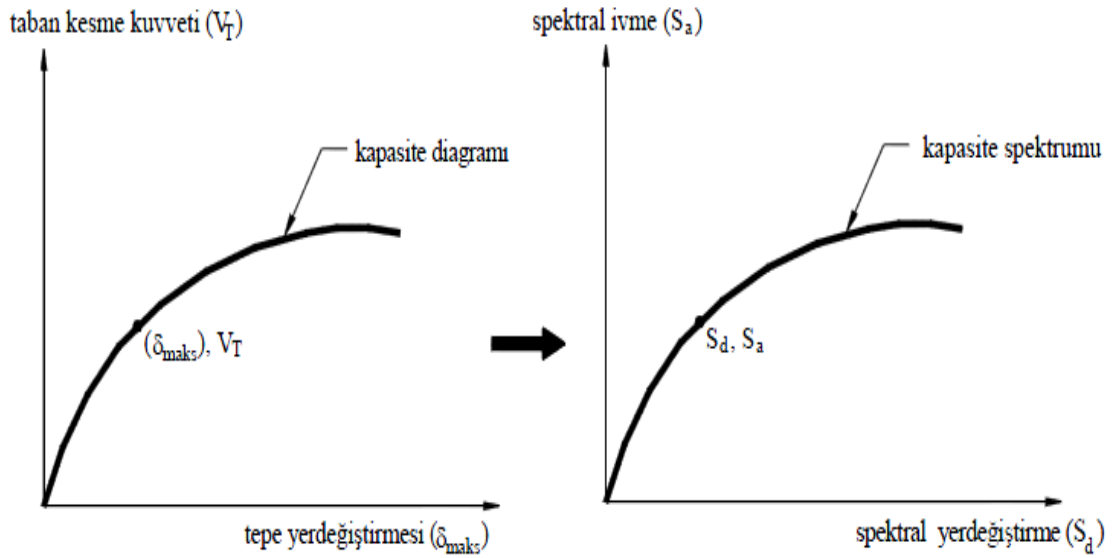
Şekil 1.11. Çok serbestlik dereceli sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi [19]

Bu dönüştürme işlemi için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (1.19)$$

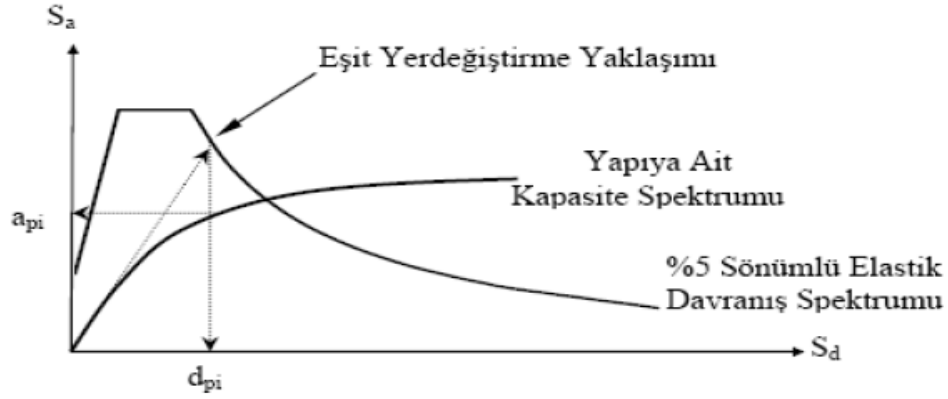
$$S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (1.20)$$

Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesinde ilk adım, birinci moda ait modal katılım çarpanı (P_{F1}) ve birinci moda ait modal kütle çarpanının (α_1) hesaplanmasıdır. Bu değerler bulunduktan sonra, kapasite eğrisinin üzerindeki her noktaya ait spektral ivme (S_a) ve spektral yer değiştirme (S_d) değerleri hesaplanarak yapıya ait kapasite spektrumu oluşturulmaktadır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi [9]

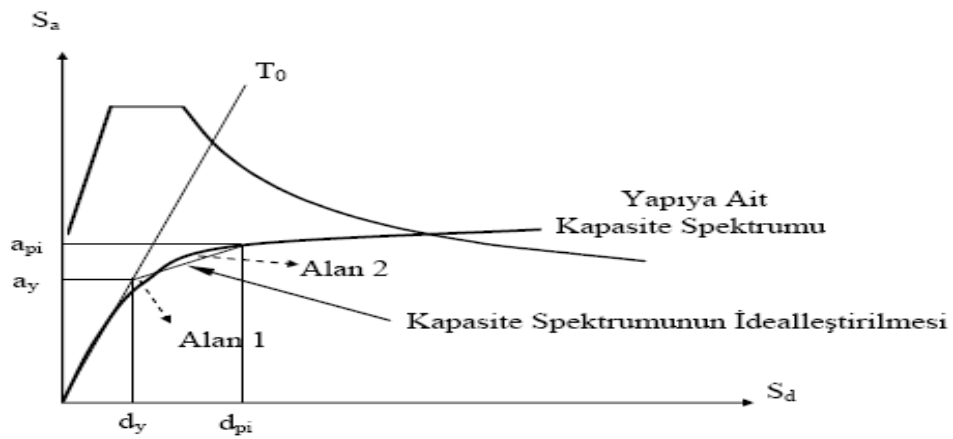
Kapasite spektrumunun elde dilmesinden sonra, spektral ivme-spektral yer değiştirme formatına dönüştürülmüş olan talep spektrumu ile kapasite spektrumu aynı grafik üzerine çizilebilir. Bu adım gerçekleştirildikten sonra, eşit yer değiştirme yaklaşımından yararlanılarak tahmini bir performans noktası seçilmektedir. Seçilen performans noktasına ait spektral ivme-spektral yer değiştirme koordinat değerleri a_{pi} ve d_{pi} olarak Şekil 1.13' de gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Tahmini performans noktasının belirlenmesi [19]

Diğer bir adım ise, kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesidir. İdealleştirme işlemi, spektral talebin uygun bir şekilde azaltılması ve efektif sönüm değerinin belirlenebilmesi için gereklidir.

Yapıya ait kapasite spektrumu üzerinde, eşit yer değiştirme yaklaşımından yararlanılarak tahmini olarak belirlenen performans noktası da dikkate alınarak, kapasite spektrumu iki doğru parçası ile idealleştirilebilir. İdealleştirme işlemi yapılırken, kapasite spektrumu eğrisinin altında kalan alan (Alan 2) ile iki doğru parçası ile idealleştirilmiş eğrinin altında kalan alanın (Alan 1) eşit olmasına dikkat edilmelidir (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Kapasite spektrumunun idealleştirilme işlemi [19]

Şekil 1.14' de gösterilen terimler aşağıda açıklanmıştır:

a_y : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite spektrumunda, akma noktasına karşılık gelen spektral ivme değeri

d_y : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite spektrumunda, akma noktasına karşılık gelen spektral yer değiştirme değeri

a_{pi} : Tahmini performans noktasına ait spektral ivme değeri

d_{pi} : Tahmini performans noktasına ait spektral yer değiştirme değeri

Sonraki adımda, Denklem (1.21) ve Denklem (1.22)' den yararlanarak elastik sonrası rijitlik (α) ve süneklik değerleri (μ) hesaplanmaktadır [7].

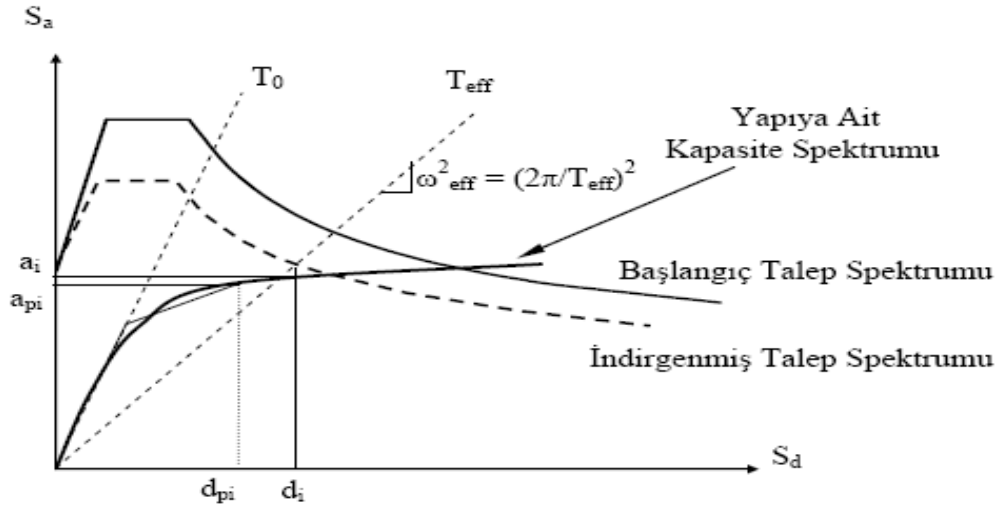
$$\alpha = \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \right)}{\left(\frac{a_y}{d_y} \right)} \quad (1.21)$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \quad (1.22)$$

Hesaplanan elastik sonrası rijitlik (α) ve süneklik (μ) değerlerinden yararlanılarak yapının efektif sönüm değeri (β_{eff}) ve efektif periyodu (T_{eff}) hesap edilir. Sönüm katsayısı $B(\beta_{eff})$ kullanılarak, spektral ivme değerleri Denklem (1.23) ile indirgenmektedir [7].

$$(S_a)_{\beta} = \frac{(S_a)_{\%5}}{B(\beta_{eff})} \quad (1.23)$$

İndirgenmiş spektral ivme değerleri kullanılarak, davranış spektrumu indirgenebilir. İndirgenen davranış spektrumu ile efektif periyodun (T_{eff}) kesiştiği noktanın spektral yer değiştirme değeri (d_i) okunur. (d_i), maksimum yer değiştirme değeridir. Maksimum spektral ivme değeri (a_i) ise, kapasite spektrumu üzerinde (d_i) spektral yer değiştirme değerine karşılık gelen (a_i) değeridir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Performans noktasının belirlenmesi [19]

Belirlenen bu spektral yer değiştirme değeri (d_i), başlangıçta tahmin edilen spektral yer değiştirme değerine kabul edilebilir derecede yakın ise ($0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 d_{pi}$) performans noktasının koordinatları (d_i, a_i) olarak belirlenir. Aksi takdirde, (d_i, a_i) noktası veya tahmini olarak seçilecek başka bir nokta performans noktası olarak kabul edilip aynı işlemler tekrarlanır. Bulunan bu spektral değerler kullanılarak, toplam taban kesme kuvveti (V_T), maksimum tepe noktası yer değiştirmesi değeri (δ_{maks}) hesaplanır.

$$V_T = \alpha_1 S_a W \quad (1.24)$$

$$\delta_{maks} = PF_1 \phi_{tepe,1} S_d \quad (1.25)$$

1.7.3. Deprem Talep Büyüklükleri Cinsinden Performans Seviyelerine Ait Sınır Değerler

Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yer değiştirme belirlendikten sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır. Ayrıca sayısal bütünüyle sayısal değer olarak ifade edilmeyen şartları da sağlaması gerekmektedir.

Bu şartlar ve deprem taleplerine göre performans seviyelerine ait sınır değerler aşağıda sunulmuştur.

1.7.3.1. Birim Şekil Değişirme İsteminin Belirlenmesi

İtme analizi sonucunda herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik mafsal dönmesine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (1.26)$$

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

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (1.27)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, yukarıda tanımlanan toplam eğrilik istemine göre, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen eğilme momenti-eğrilik ilişkisinden hesaplanır. Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında taşıyıcı sistem performansı belirlenir.

1.7.3.2. Betonarme Elemanlarının Kesit Birim Şekil Değişirme Kapasiteleri

DBYBHY-2007'da plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

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

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.004 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (1.28)$$

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

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (1.29)$$

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

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (1.30)$$

ρ_s , kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135° kancalı) enine donatının hacimsel oranını, ρ_{sm} ise DBYBHY-2007 koşullarına göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranının göstermektedir.

1.8. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Bunun sonucuna göre bina için güçlendirme kararları oluşturulur. Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda sırasıyla verilmiştir. Burada verilen kurallar betonarme ve prefabrikte beton binalarda geçerlidir.

1.8.1. Performans Düzeyleri

Binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Bunlar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

1.8.1.1. Hemen Kullanım Durumu

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Bu durumda bina Hemen Kullanım Durumu'nda kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

1.8.1.2. Can Güvenliği Durumu

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlarda hasar bulunmakla birlikte dolgu duvarları yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir; ancak gözle fark edilebilir büyüklükte değildir. 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, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı % 20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar veya belirgin hasar bölgesindedir.

Bu durumda, eğer varsa gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bina Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde kabul edilir. Can güvenliği performans düzeyinin kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının % 30'u asmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla % 40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

1.8.1.3. Göçmenin Önlenmesi Durumu

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır.

Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nda kabul edilir. Göçmenin önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine

oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

1.8.1.4. Göçme Durumu

Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen yıkılmıştır veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddette bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir. Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır [11, 21 ve 22].

Tablo 1.7. DBYBHY'07 Bina performans düzeyleri ve koşulları [11, 21 ve22]

Performans Düzeyi	Performans Koşulları
Hemen Kullanım (HK)	1.Kirişlerin en fazla %10'u MN-GV arasında olmalıdır.
	2.Hiçbir düşey taşıyıcı eleman MN seviyesini geçmemelidir.
	3.Hiçbir kiriş elemanı GV seviyesini geçmemelidir.
	4.Görel kat ötelenmesi % 1 değerini aşmamalıdır.
Can Güvenliği (CG)	1.Kirişlerin en fazla % 20'si GV-GÇ arasında olmalıdır.
	2.GV-GÇ aralığında düşey taşıyıcılar tarafından taşınan kesme kuvvetinin o kattaki kat kesmesine oranı % 20'yi aşmamalıdır. Bu oran en üst katta % 40'ı geçmemelidir.
	3.Her iki ucu birden MN seviyesini aşmış düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır.
	4.Hiçbir düşey taşıyıcı eleman GÇ seviyesini geçmemelidir.
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	1.Kirişlerin en fazla % 20'si GÇ seviyesini geçebilmektedir.
	2.GÇ 'yi geçmiş düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin % 20'sini aşmamalıdır. Bu oran en üst katta % 40'ı geçmemelidir.
	3.Her iki ucu birden GV seviyesini aşmış düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin % 30'unu aşmamalıdır.
	4.Görel kat ötelenmesi %4 değerini aşmamalıdır.
Göçme Durumu	Göçmenin önlenmesi durumu sağlanmıyorsa, göçme durumundadır.

1.8.2. Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki görelî kat ötelemesi her performans düzeyi için Tablo 1.8.'i sağlayacaktır.

Tablo 1.8. Görelî kat ötelenmesi sınırları [2]

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenebilirliği
$(\delta_i)_{max}/h_i$	0,008	0,02	0,03

Tablo 1.11'de $(\delta_i)_{max}$ ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesini, h_i ise kat yüksekliğini göstermektedir.

1.8.3. Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenecek performans düzeyleri Tablo 1.9'de verilmektedir. 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu yönetmelikte tanımlanan spektrumun yaklaşık olarak yarısı, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumu ise yönetmelikte tanımlanan spektrumun yaklaşık 1,5 katı olarak kabul edilmiştir. DBYBHY'de yeni yapılacak binalar için esas alınan tasarım depremi, dönüş periyodu 475 yıl olan, diğer deyişle bir yılda meydana gelme olasılığı $1 / 475 = 0,0021$ olan "seyrek deprem"dir. Bu depremin 50 yılda aşılma olasılığı aşağıdaki bağıntı ile %10 olarak elde edilir [23, 24].

$$P_{50} = 1 - \left(1 - \frac{1}{475}\right)^{50} = 0,1 \quad (1.31)$$

Tablo 1.9. Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri [2]

Binanın kullanım amacı ve türü	Deprem 50 yılda aşılma olasılığı		
	%50	%10	%2
Deprem sonrası hemen kullanılması gereken binalar Hastaneler,sağlık tesisleri,itfaiye binaları,haberleşme ve enerji tesisleri,ulaşım istasyonları,vilayet,kaymakamlık,belediye binaları,afet yönetim merkezleri,vb.	-	HK	CG
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar ve müzeler Okullar, yatakhaneler,yurtlar,pansiyonlar,askeri kışlalar,ceza evleri,müzeler,vb.	HK	-	CG
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Sinema,tiyatro,konser salonları,kültür merkezleri,spor tesisleri,vb.	-	CG	GÖ
Tehlikeli madde içeren binalar Toksit,patlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar,vb.	-	HK	GÖ
Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar,iş yerleri,oteller,turistik tesisler,endüstri yapıları, vb.	-	CG	-

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Son yıllarda yaşanan depremler ülkemizdeki mevcut yapı stokunun deprem etkisini karşılayacak düzeyde olmadığı gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Depremde hasar gören binalar incelendiğinde birçok binada beton kalitesinin projede öngörülen değer in altında olması ayrıca, donatılar üzerinde yapılan tahkiklerde de donatı akma dayanımının projede öngörülen değer in altında olması ülkemizdeki binaların depremden bu denli etkilenmesinin başlıca nedenlerindendir.

Bu durum Kocaeli, Adapazarı depremlerinde birçok yapıda ağır hasarlara ve birçok insanın ölmesine neden olmuştur. Ayrıca, uzmanlar tarafından yapılan incelemelerde birçok yapının deprem öncesinde bu yetersizlikler nedeniyle onarım/güçlendirilmesi gerektiği ortaya konulmuştur.

Bu bölümde, taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan binalarda özellikle beton kalitesi ve donatı akma dayanımında meydana gelen azalmaya bağlı olarak yapının deprem etkisi altındaki performansının eleman ve yapı bazında değişimini belirlemek amacıyla, doğrusal elastik (mod birleştirme) yöntem uygulanarak parametrik incelemelere gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizdeki betonarme binalara bir örnek olarak, üç katlı bir betonarme çerçeveden oluşan taşıyıcı sistem modeli seçilmiş, bu sistemin düşey yükler ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen yatay deprem etkileri altında tasarımı yapılarak, mevcut binanın performansı belirlenmektedir.

Daha sonra, mevcut binanın performansını beton sınıfının C20'den C16, C14, C12 ve C10'a düşmesi halinde yapının performansındaki değişim irdelenmektedir. Benzer çalışma donatı kalitesi içinde yapılmaktadır. Donatı karakteristik akma dayanımının 420 MPa' dan 360 MPa ve 220 MPa'a düşmesi halinde mevcut yapının performansındaki değişim belirlenmektedir.

Performans analizlerinde Sta4-CAD v.13 [25, 26] programından, çizimler için ideCAD Mimari 6 [27] programından yararlanılmıştır.

2.2. Binanın Tanıtılması

2.2.1. Bina Bilgileri

Kat adedi: 3

Zemin kat yüksekliği: 2.90m

Normal Kat yüksekliği: 2.90m

Toplam bina yüksekliği, $[H]$: 8.70m

Bina oturma alanı: 109.47 m²

Kullanım amacı: Konut

2.2.2. Malzeme Bilgileri

Beton sınıfı: C20 ($f_{ck}= 20$ MPa)

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

Beton elastisite modülü, $[E_c]$: 28500 MPa

Donatı çeliği elastisite modülü, $[E_s]$: 200000 MPa

2.2.3. Proje Parametreleri

Deprem bölgesi: 1

Etkin yer ivme katsayısı, $[A_0]$: 0.4

Bina önem katsayısı, $[I]$:1

Yerel zemin sınıfı: Z2

Zemin Emniyet Gerilmesi: 2 kN/m²

Spektrum karakteristik periyotları $T_a=0.15$ s, $T_b=0.4$ s

Hareketli yük katılım katsayısı $n=0.3$

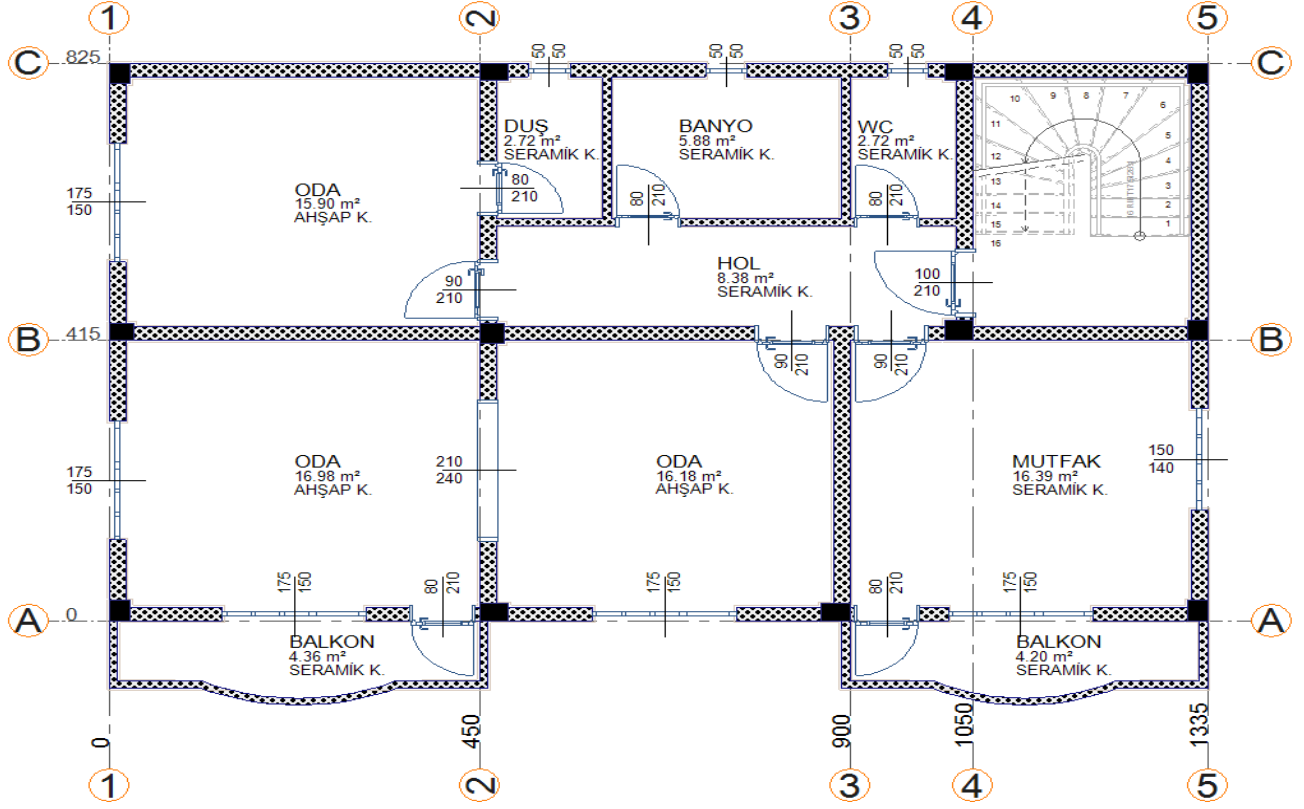
2.2.4. Yükler

Beton birim ağırlığı: 25.00 kN/m³

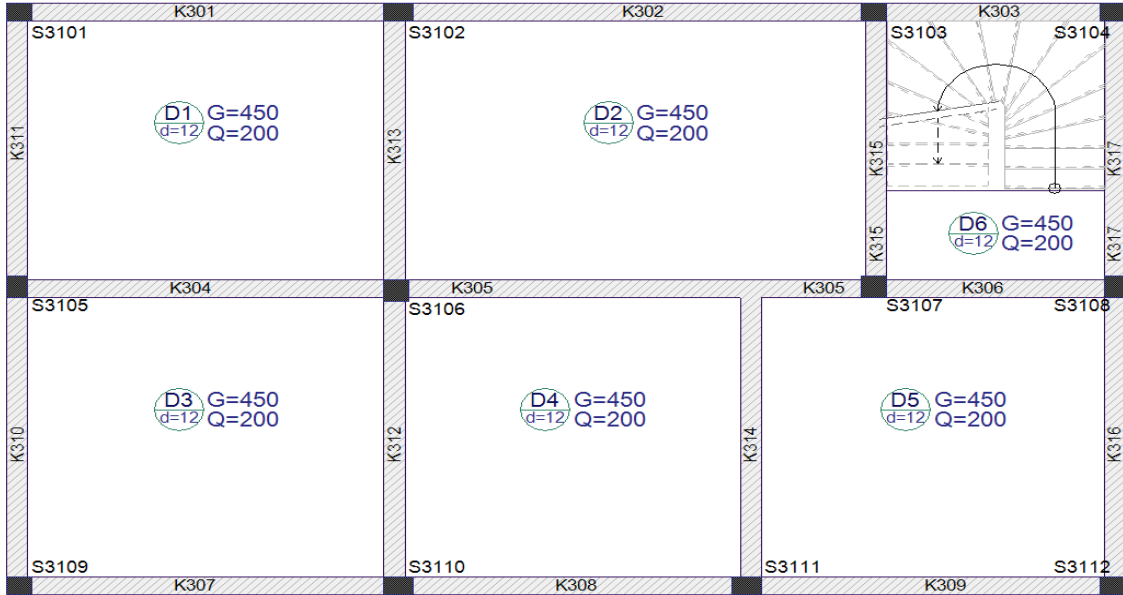
Dış duvar yükü: 4 kN/m²

İç duvar yükü: 2.5 kN/m²

Hareketli yük (bütün katlarda): 2.0 kN/m²



Şekil 2.1. 1. Kat mimari planı



Şekil 2.2. 2. Kat kalıp planı



Şekil 2.3. Yapının 3 boyutlu görünüşü

2.3. Yapının Tasarımı

Bu kısımda Şekil 2.3' de görülen yapının tasarımı yapıdaki mevcut donatılar ve taşıyıcı elemanlara ilişkin boyutlar belirlenecektir. Yapı tasarımı 2007 Deprem Yönetmeliği ve TS500-2000' inde ön görülen kurallara göre yapılmaktadır.

Taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarının tasarımında ilk olarak düşey yük ve deprem etkisi altında yapıya etkiyen yükler hesaplanmaktadır, daha sonra hesaplanan yükler altında kolon ve kirişlerde elde edilen kesit etkileri altında kesitin geometrik boyutları ve donatı özellikleri belirlenmektedir. Analiz sonrasında taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarının tasarımına ilişkin herhangi bir yetersizlik görülmemektedir.

2.3.1. Yapıya İlişkin Bilgiler

Analiz sonuçları sonrasında yapıya ait elde edilen kat ağırlığı, yapı periyotları ve yapıya etkiyen deprem kuvvetlerine ilişkin bilgiler Tablo [2.1–2.3] de verilmektedir.

Tablo 2.1. Kat ağırlığı (kN)

Kat No	H (m)	w_g	w_q	$w_g + 0.3w_q$
3	2.9	6.483	2.096	7.1119
2	2.9	8.646	2.295	9.3345
1	2.9	8.721	2.295	9.4095
$\Sigma w = 25.8559$				

Tablo 2.2 Yapı periyotları

Mod 1	T_x (sn)	T_y (sn)	T_b (sn)
	0.4832	0.5308	0.3939

Tablo 2.3. Sisteme etkiyen deprem kuvvetleri (kN)

Kat No	X yönü		Y yönü	
	Modal Analiz	Eşdeğer Deprem Yön.	Modal Analiz	Eşdeğer Deprem Yön.
3	1.0228	1.2352	0.9567	1.1457
2	0.9449	1.0261	0.8704	0.9518
1	0.5022	0.5172	0.4686	0.4797
Σ	2.4968	2.7784	2.400	2.5772

Mevcut yapının x ve y eksen doğrultuları için $\pm\%5$ ek dış merkezlikte uygulanan yükler altında elde edilen deplasman değerleri ve bu değerler için A1 burulma düzensizliğinin, B2- Yumuşak Kat düzensizliği kontrolü Tablo 2.4, Tablo 2.5’de görülmektedir.

Tablo 2.4. Düzensizlik kontrolü (x eksenini doğrultusu)

Kat	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\min}$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}	η_{ki}	Düzensizlik
3	0.0018253	0.0018031	0.0018142	1.01	0.00	Yoktur
2	0.0032074	0.0032168	0.0032121	1.00	1.77	Yoktur
1	0.0029885	0.0030246	0.0030066	1.01	0.94	Yoktur

Tablo 2.5. Düzensizlik kontrolü (y eksenini doğrultusu)

Kat	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\min}$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}	η_{ki}	Düzensizlik
3	0.0021275	0.0019522	0.0020398	1.04	0.00	Yoktur
2	0.0037716	0.0034508	0.0036112	1.04	1.77	Yoktur
1	0.0035322	0.003230	0.0033811	1.04	0.94	Yoktur

Yapıya etkileyen yüklere göre oluşturulan yük birleşimleri (kombinasyonları) için gerçekleştirilen yapı analizi sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarına ait elde edilen kesit ve donatıya ilişkin özellikler Tablo [2.6-2.9]'da verilmektedir.

Tablo 2.6. Kolon donatı tablosu

Kolon No	Boyut	Donatı	Etriye
S101-S201-S301	25x30	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S102-S202-S302	35x25	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S103-S203-S303	30x25	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S104-S204-S304	30x25	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S105-S205-S305	30x25	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S106-S206-S306	30x30	2x3Ø18 (Kenar)	Ø10/8
S107-S207-S307	30x30	2x3Ø18 (Kenar)	Ø10/8
S108-S208-S308	25x30	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S109-S209-S309	25x30	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S110-S210-S310	35x25	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S111-S211-S311	35x25	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8
S112-S212-S312	25x30	2x2Ø18 (Kenar) + 2x1Ø18 (Gövde)	Ø8/12/8

Tablo 2.7. Zemin kat kirişleri için donatı tablosu

Kiriş no	Boyut	Sol üst ek	Sol alt ek	Montaj	Düz	Pilye	Sağ üst ek	Sağ alt ek
K101	25 x 35	1Ø12	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø16	1Ø12
K102	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	1Ø14	1Ø12	-
K103	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	1Ø12
K104	25 x 35	2Ø12	-	2Ø14	2Ø14	-	2Ø16	1Ø12
K105	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	1Ø16	3 Ø12	1Ø12
K106	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	1Ø12
K107	25 x 35	1Ø12	-	2Ø14	2Ø14	1Ø14	2Ø14	1Ø12
K108	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	3 Ø12	-
K109	25 x 35	-	1Ø12	2Ø14	2Ø14	-	1Ø16	-
K110	25 x 35	1Ø14	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø14	-
K111	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø14	-
K112	25 x 35	2 Ø12	-	2Ø14	2Ø14	-	3 Ø12	1Ø12
K113	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	2 Ø12	-
K114	25 x 35	1Ø14	-	2Ø14	2Ø14	1Ø14	-	-
K115	25 x 35	2Ø14	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø16	-
K116	25 x 35	1Ø12	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø16	-
K117	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-

Tablo 2.8. 1. Kat kirişleri için donatı tablosu

Kiriş no	Boyut	Sol üst ek	Sol alt ek	Montaj	Düz	Pilye	Sağ üst ek	Sağ alt ek
K201	25 x 35	1Ø12	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-
K202	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	1Ø14	1Ø12	-
K203	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K204	25 x 35	1Ø16	-	2Ø14	2Ø14	-	2Ø16	1Ø12
K205	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	1Ø16	3 Ø12	1Ø12
K206	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K207	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	1Ø14	1Ø14	-
K208	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	2Ø14	-
K209	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-
K210	25 x 35	1Ø12	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-
K211	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-
K212	25 x 35	2Ø14	-	2Ø14	2Ø14	-	2 Ø12	-
K213	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø14	-
K214	25 x 35	1Ø12	-	2Ø14	2Ø14	1Ø14	-	-
K215	25 x 35	1Ø12	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø14	-
K216	25 x 35	1Ø12	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-
K217	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-

Tablo 2.9. 2. Kat kirişleri için donatı tablosu

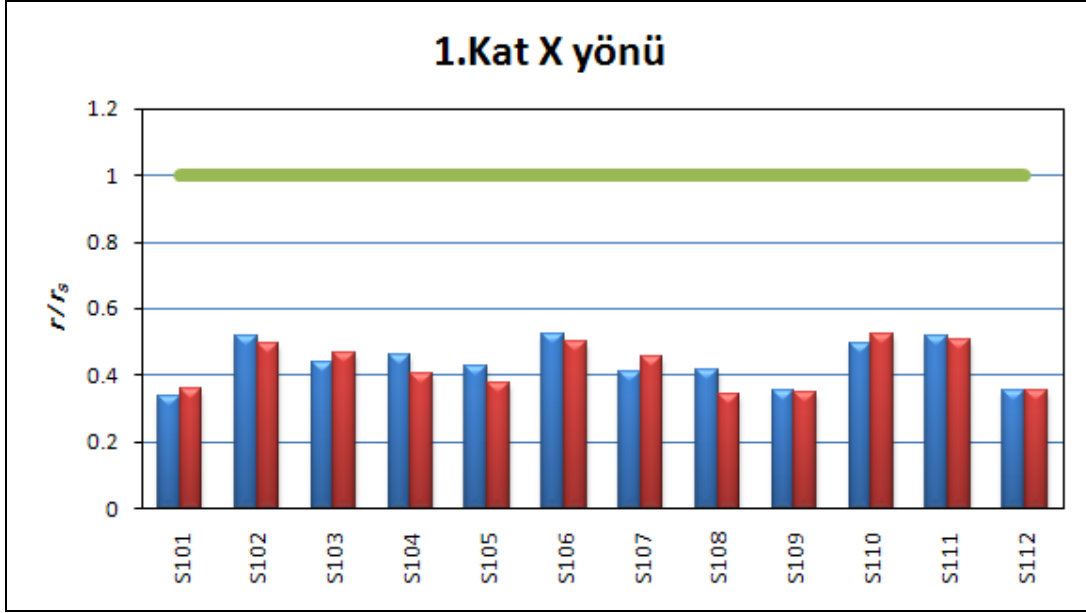
Kiriş no	Boyut	Sol üst ek	Sol alt ek	Montaj	Düz	Pilye	Sağ üst ek	Sağ alt ek
K301	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø14	-
K302	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-
K303	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K304	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	1Ø14	1Ø14	-
K305	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	1Ø16	2Ø12	-
K306	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K307	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K308	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K309	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K310	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K311	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K312	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	1Ø12	-
K313	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K314	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	1Ø14	-	-
K315	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K316	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-
K317	25 x 35	-	-	2Ø14	2Ø14	-	-	-

2.4. Mevcut Yapının Performans Analizi

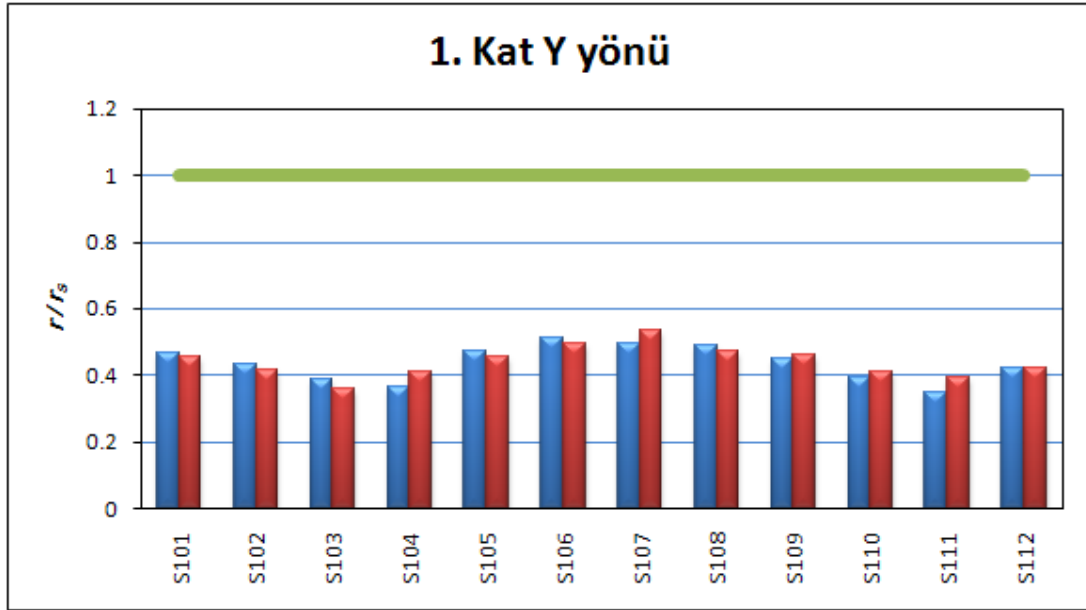
Etki-kapasite oranı (r) öngörülen deprem etkisi altında hesaplanan moment istemlerinin ilgili kesitlerin artık moment kapasitelerine bölünmesi ile hesaplanır. Kolon ve kiriş eğilme kapasitelerinin hesaplanmasının ardından eleman kırılma davranışları belirlenir. Bunun için önce tüm elemanlarda kapasite analizinden elde edilen kesme kuvveti değerleri TS-500 [10]'den hesaplanan kesme kuvveti kapasiteleriyle karşılaştırılarak kırılma türü belirlenir. Daha sonra hesaplanan r istemleri eleman tipine göre yönetmelik Tablo 7.2, 7.3 ve 7.4'de verilen sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilmektedir.

Eğer bir elemanın her hangi bir ucunda sınır değer aşıyor ise, bu eleman göz önünde bulundurulmuş performans seviyesi için yeterli kabul edilmez. Eleman performanslarının belirlenmesinin ardından bina performans hesabı gerçekleştirilir.

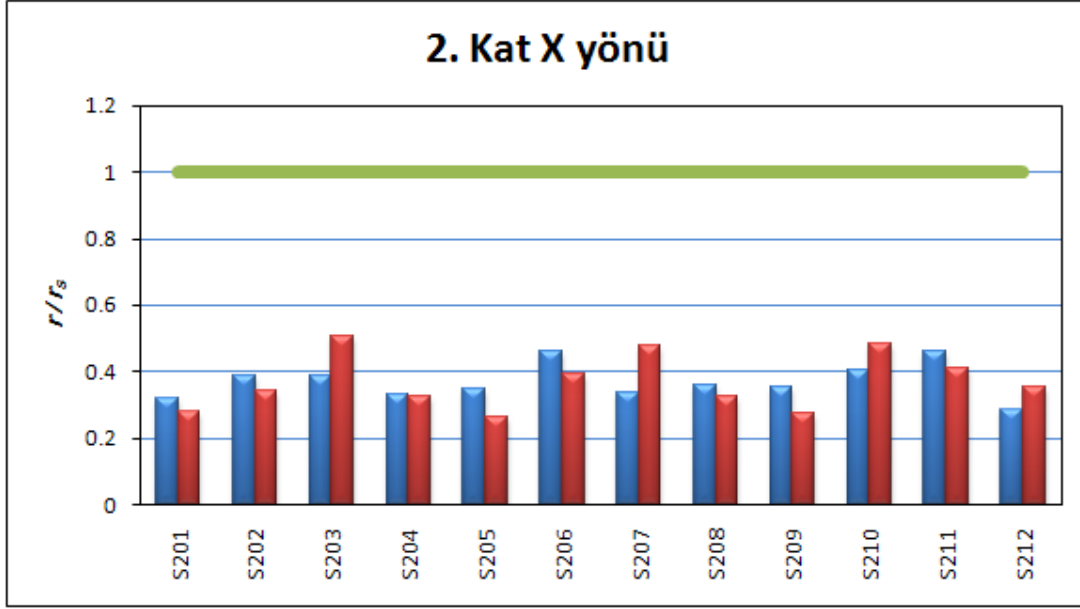
Mevcut yapının performans analizi sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarının her iki ucunda elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen eleman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.4-2.15]'de verilmektedir.



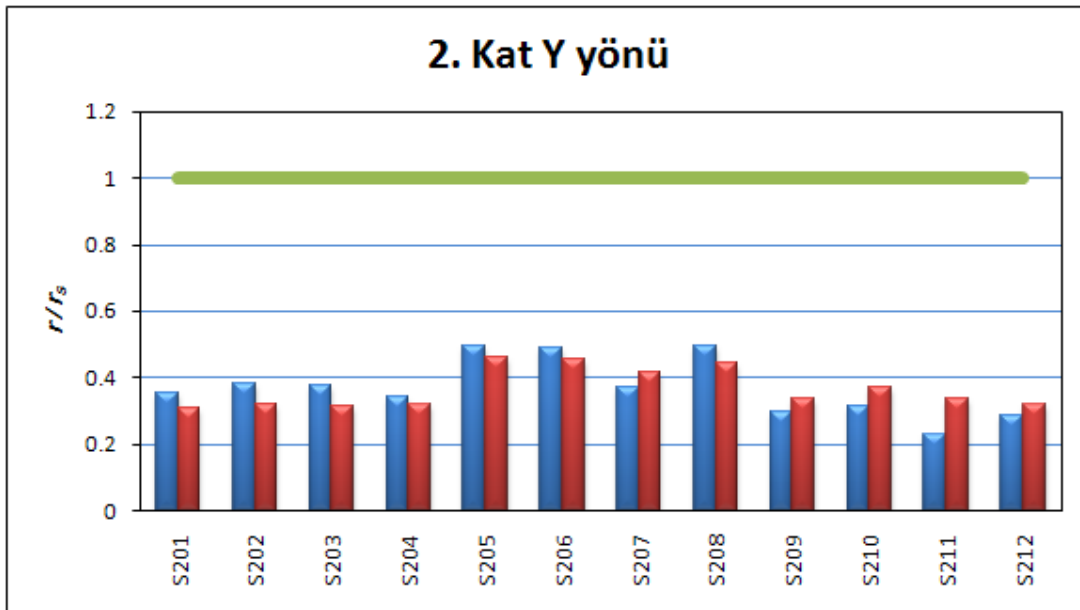
Şekil 2.4. 1. Kat kolonları için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



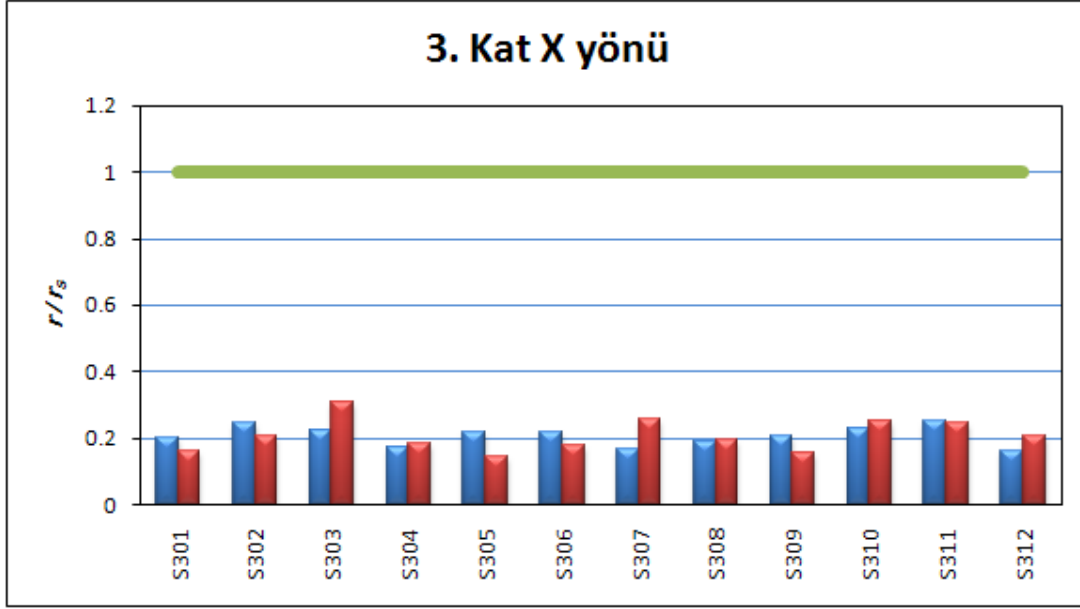
Şekil 2.5. 1. Kat kolonları için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



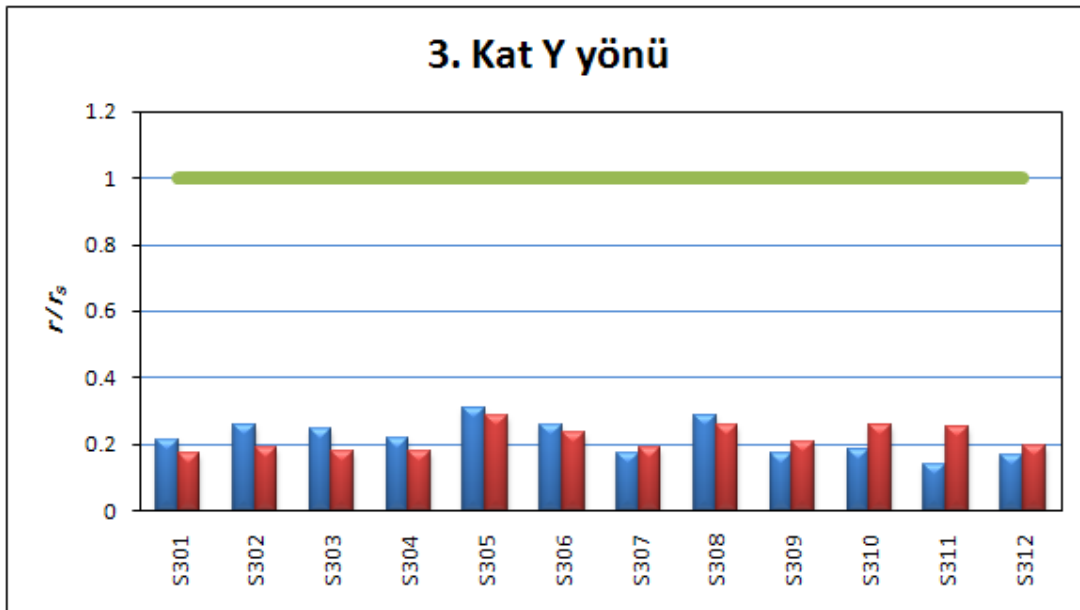
Şekil 2.6. 2. Kat kolonları için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



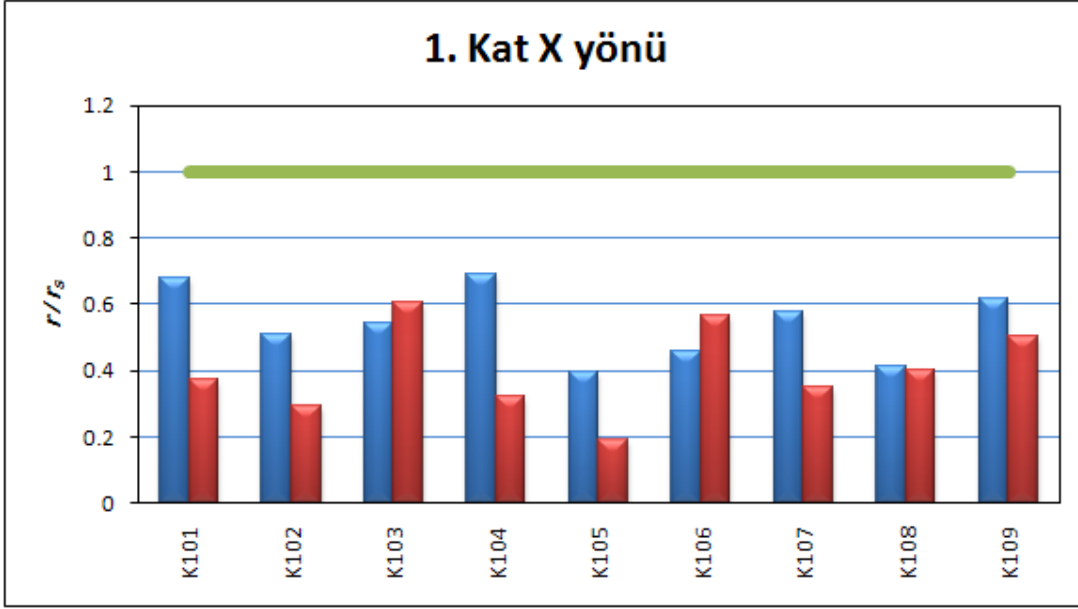
Şekil 2.7. 2. Kat kolonları için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



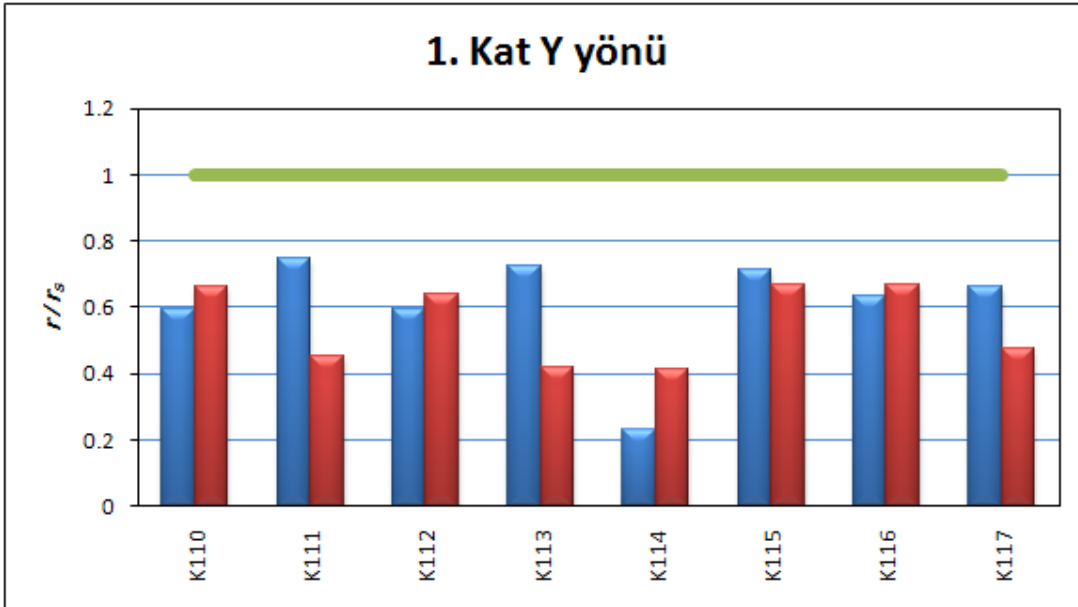
Şekil 2.8. 3. Kat kolonları için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



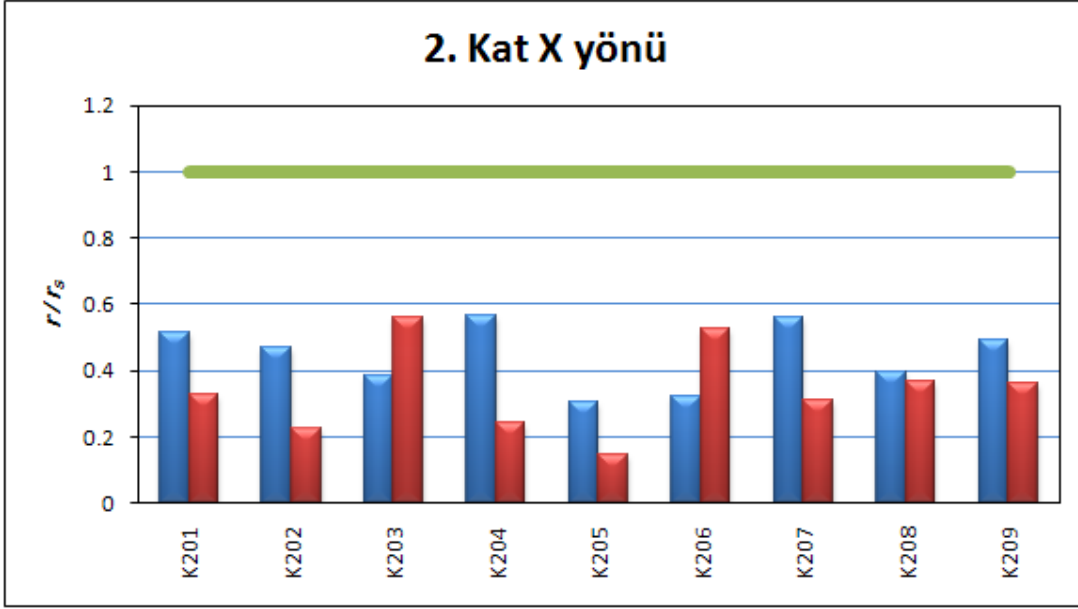
Şekil 2.9. 3. Kat kolonları için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



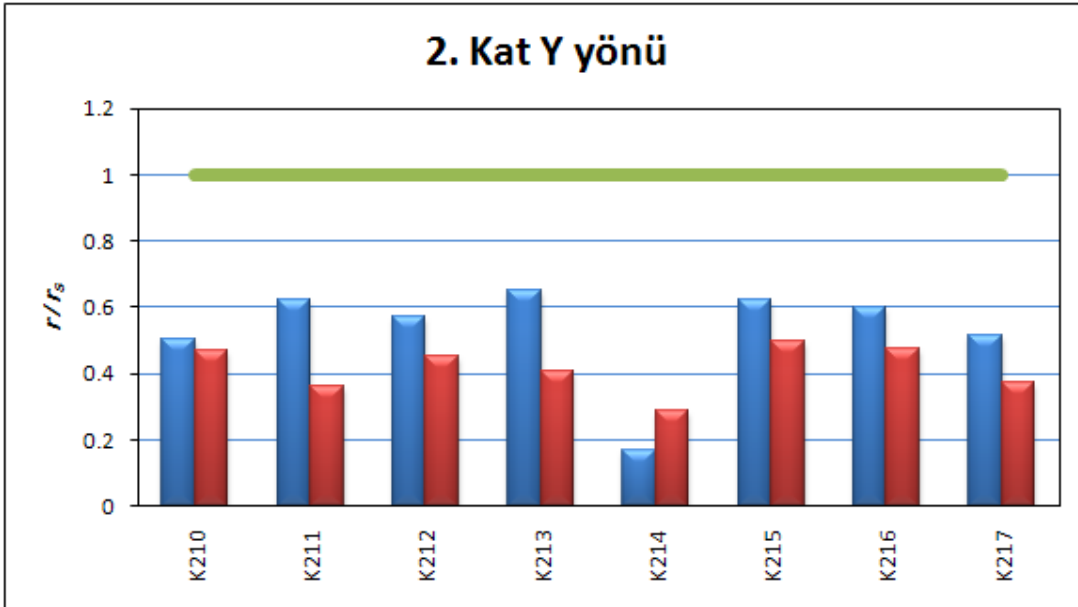
Şekil 2.10. 1. Kat kirişleri için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



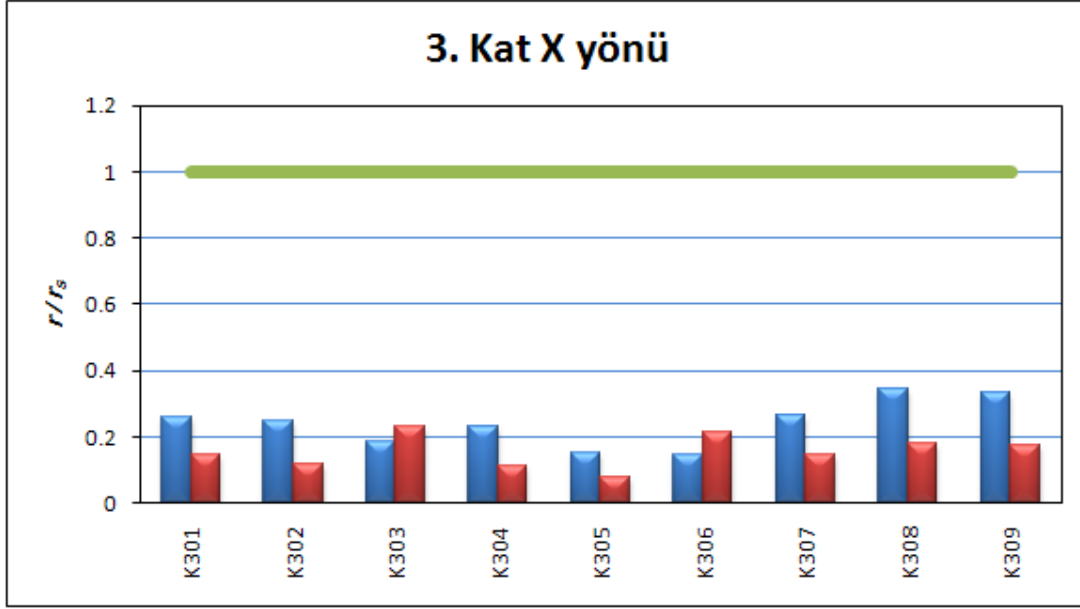
Şekil 2.11. 1. Kat kirişleri için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



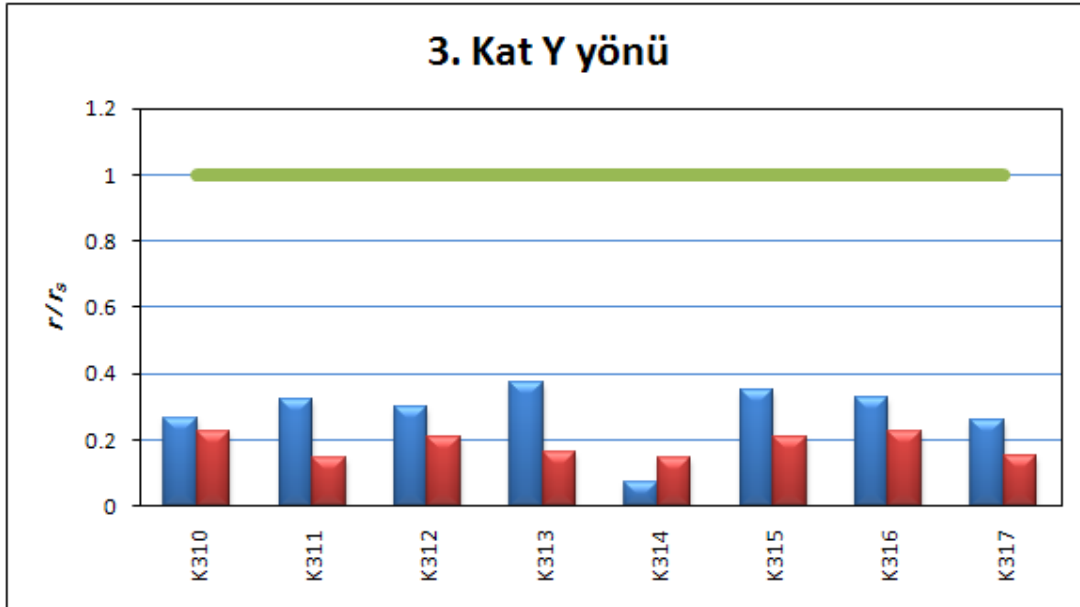
Şekil 2.12. 2. Kat kirişleri için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



Şekil 2.13. 2. Kat kirişleri için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



Şekil 2.14. 3. Kat kirişleri için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



Şekil 2.15. 3. Kat kirişleri için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri

Her bir deprem doğrultusu için kolon elamanlarının her iki ucundaki yatay yerdeğıştirme değeri elaman boyutuna bölünmesi ile elde edilen görelı öteleme değeri ilışkin bilgiler Tablo 2.10'da verilmektedir.

Tablo 2.10. Göreli kat öteleme kontrolü

Kat	h_i (m)	X yönü $R_x \cdot \Delta_x / h$	Y yönü $R_y \cdot \Delta_y / h$
3	2.9	0.0050045	0.0056152
2	2.9	0.0088621	0.0099404
1	2.9	0.0082935	0.0093097

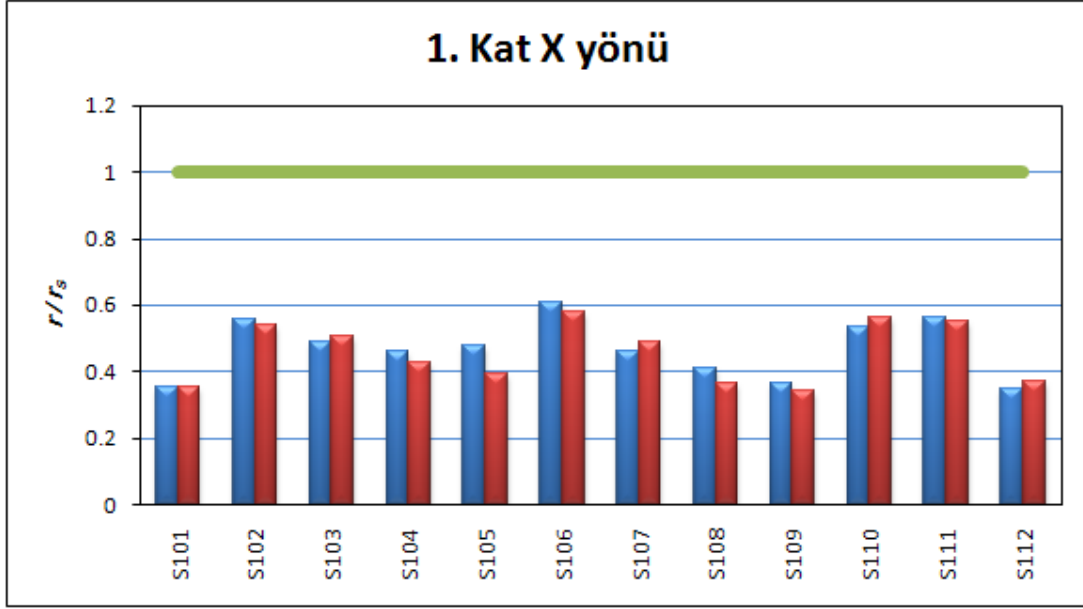
2.5. Beton Basınç Dayanımının Yapısal Performansa Etkisi

Beton dayanımında meydana gelen azalmaya bağlı olarak taşıyıcı sistem elamanlarında meydana gelen hasar oranları ve her bir deprem doğrultusu için elde edilen göreli kat öteleme değerlerine ilişkin bilgiler ayrı başlıklar halinde aşağıda verilmektedir.

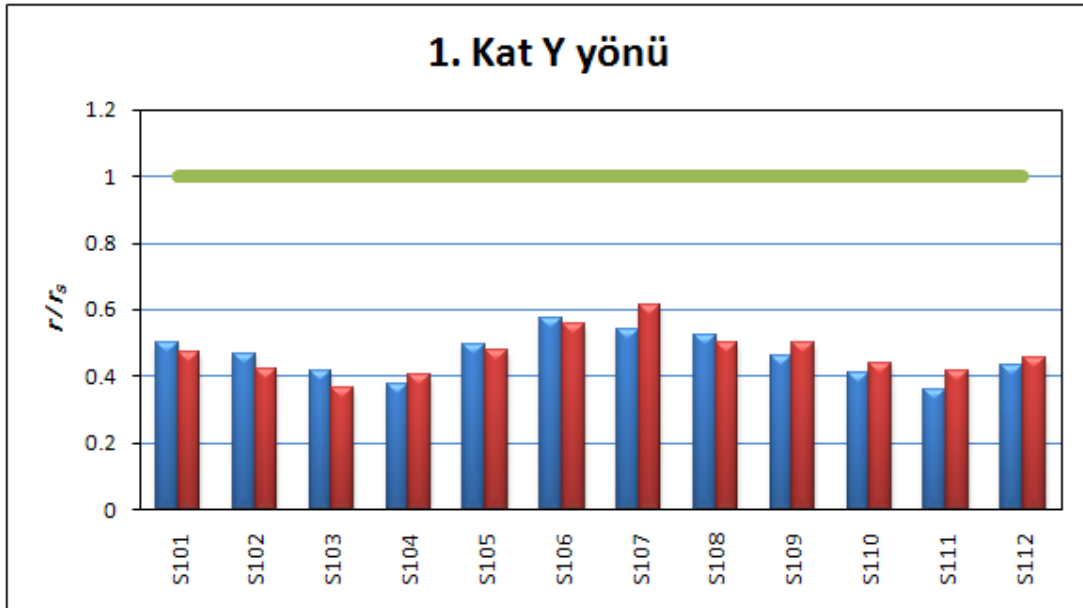
2.5.1. Beton Basınç Dayanımındaki Düşüklüğün Kolonların Performansına Olan Etkisi

2.5.1.1. Beton Basınç Dayanımının 16 MPa Olması Durumundaki Performans

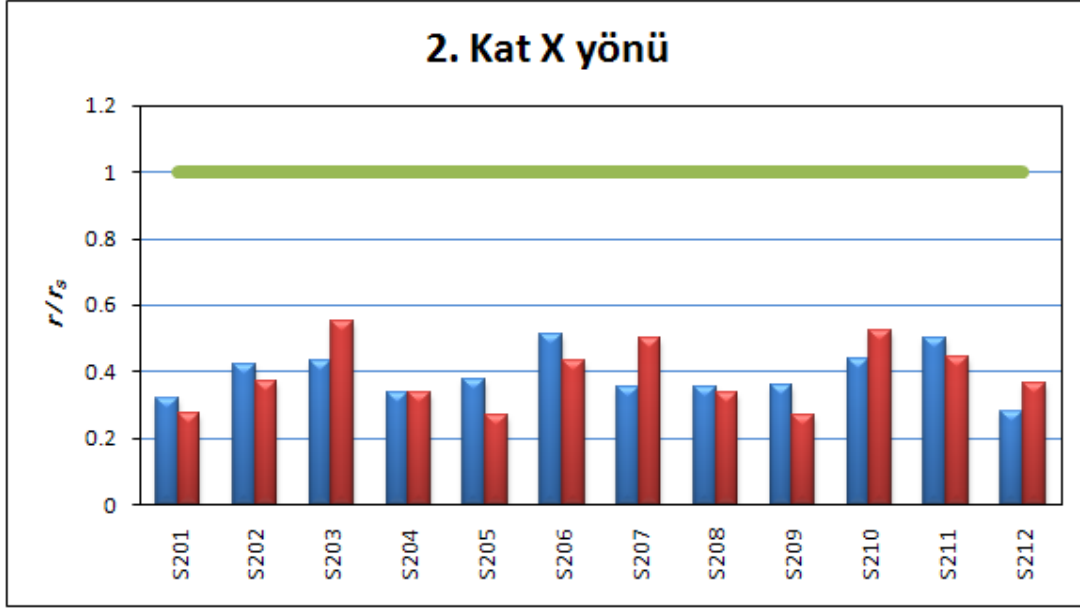
Mevcut yapıya ait beton dayanımının 20 MPa' dan 16 MPa' a düşmesi durumunda beton elastisite modülünde (E_c :27000 MPa) meydana gelen azalmayı da göz önüne alarak yapılan performans hesabında kolonlar için elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen elaman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.16-2.21]'de verilmektedir.



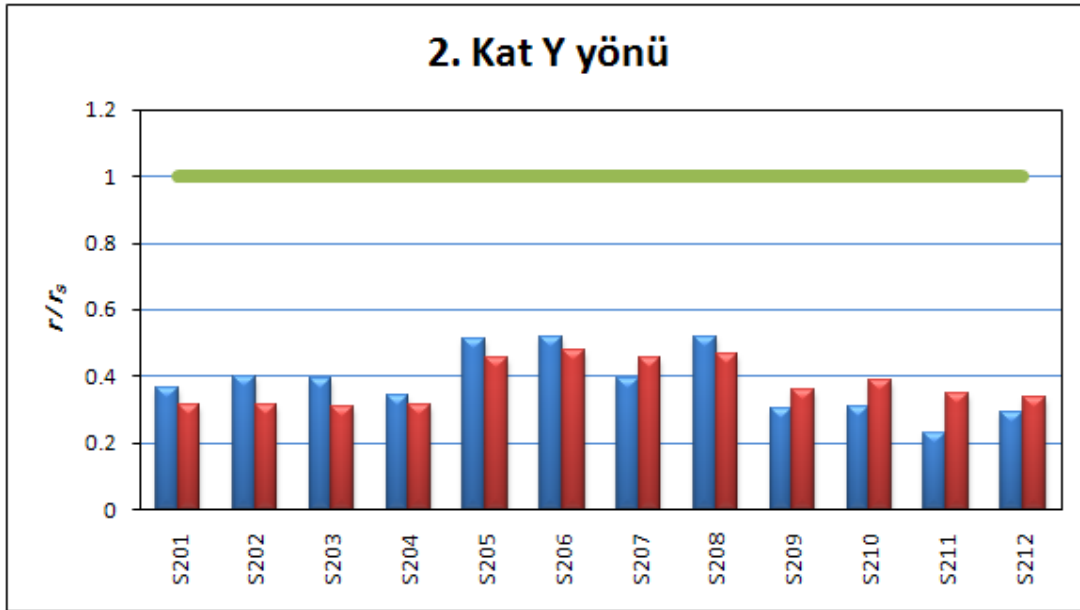
Şekil 2.16. 1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



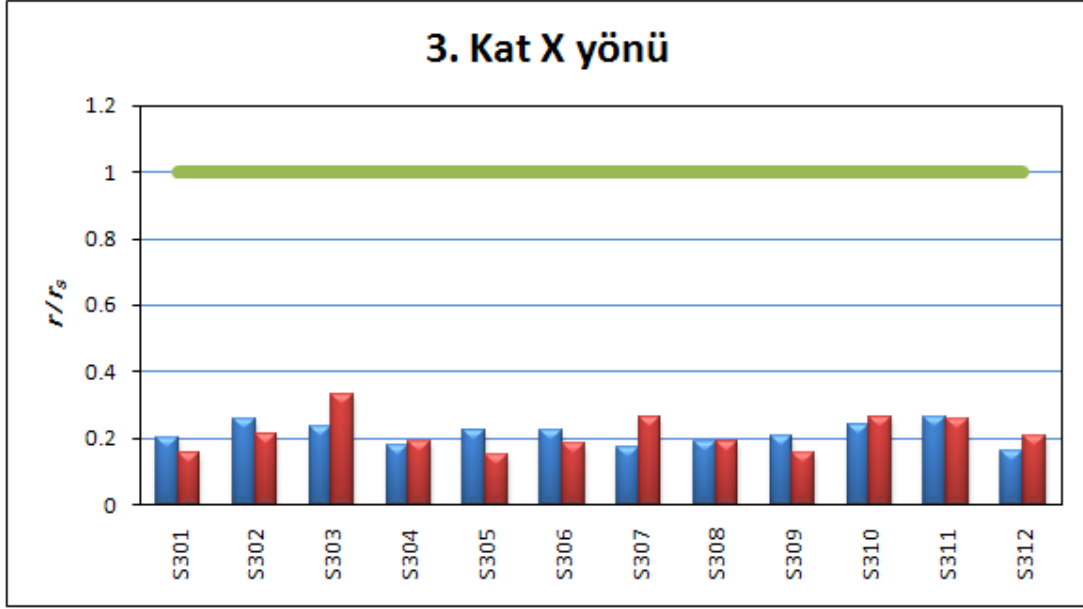
Şekil 2.17. 1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



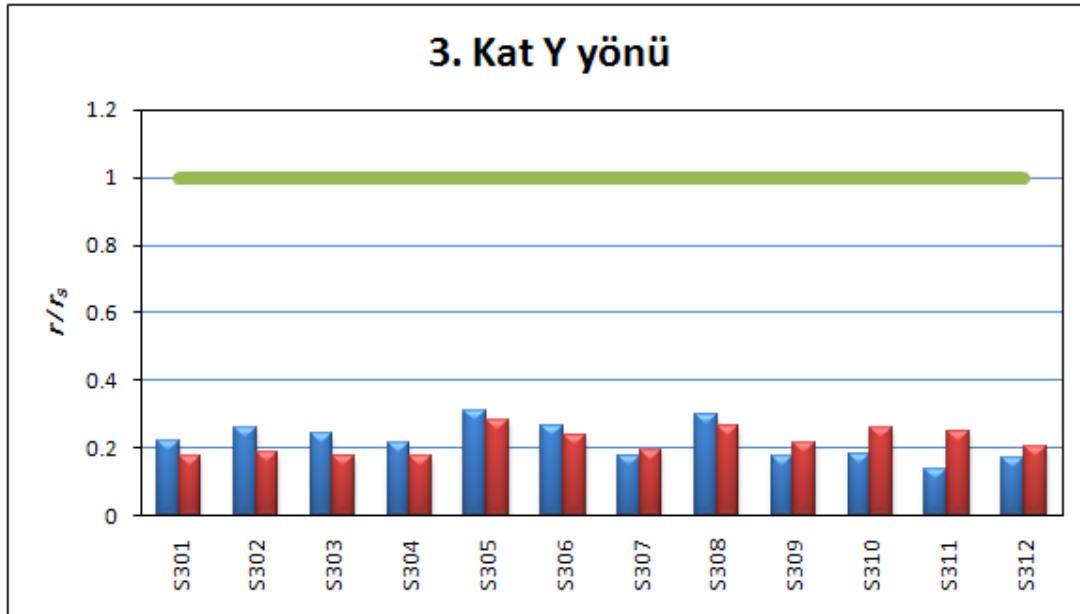
Şekil 2.18. 2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.19. 2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



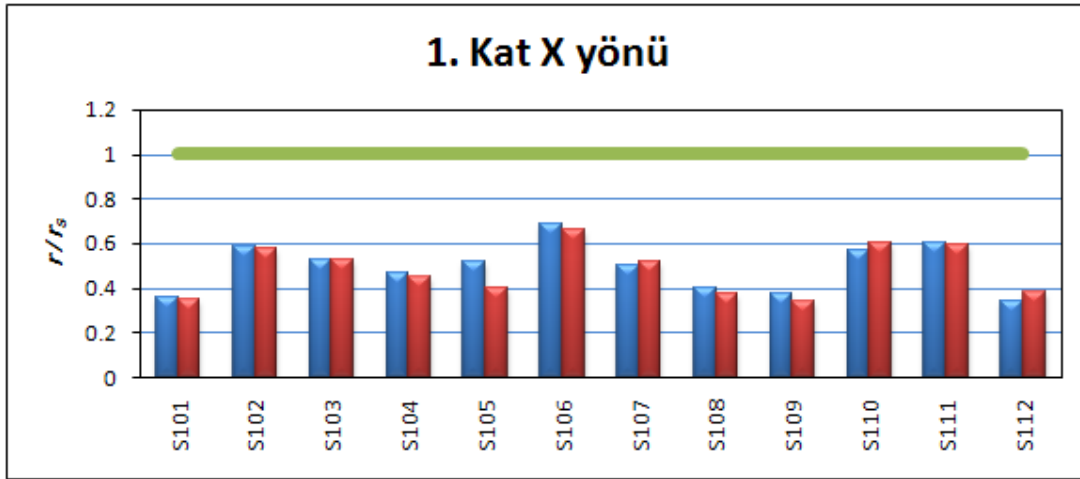
Şekil 2.20. 3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



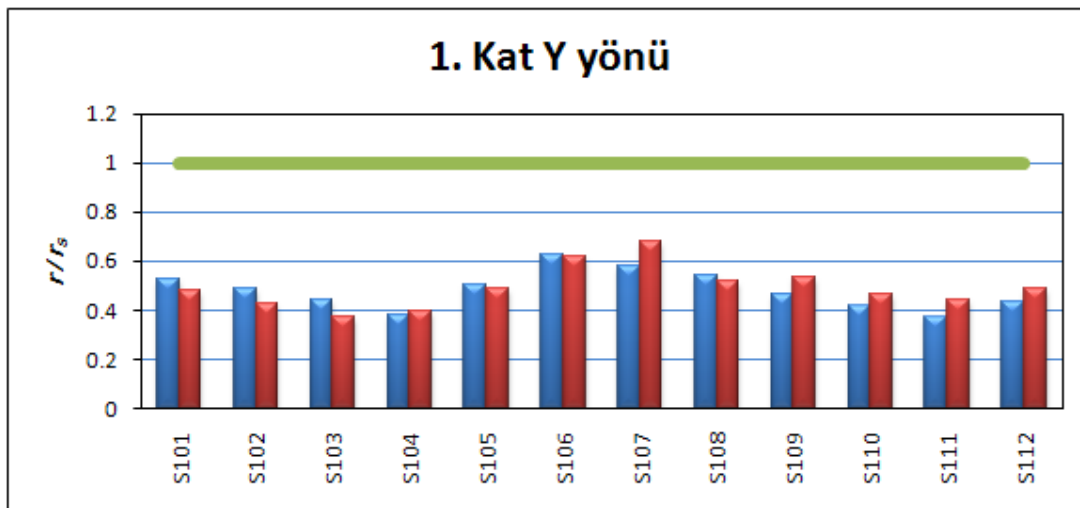
Şekil 2.21. 3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri

2.5.1.2. Beton Basınç Dayanımının 14 MPa Olması Durumundaki Performans

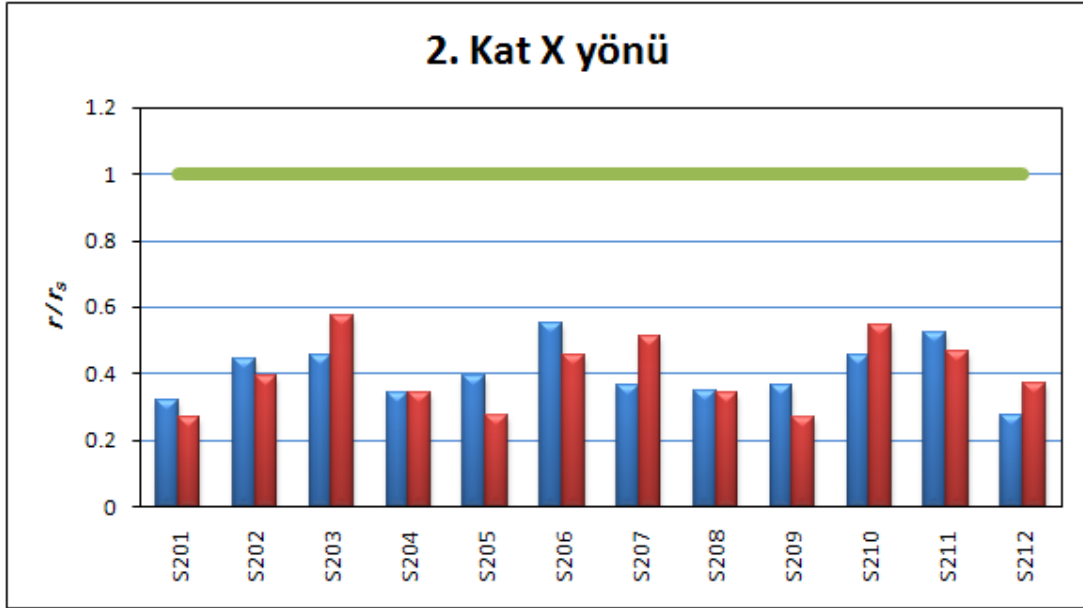
Mevcut yapıya ait beton dayanımının 20 MPa' dan 14 MPa' a düşmesi durumunda beton elastisite modülünde ($E_c:26150$ MPa) meydana gelen azalmayı da göz önüne alarak yapılan performans hesabında kolonlar için elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen elaman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.22-2.27]'de verilmektedir.



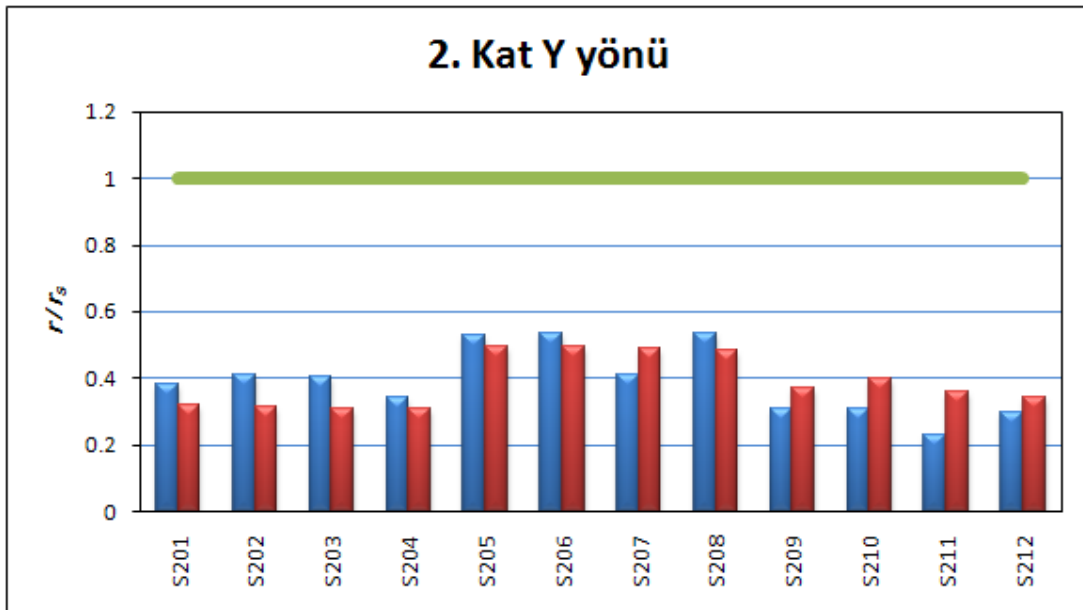
Şekil 2.22. 1. Kat kolonları için x eksenli doğrultusunda r/r_s değerleri



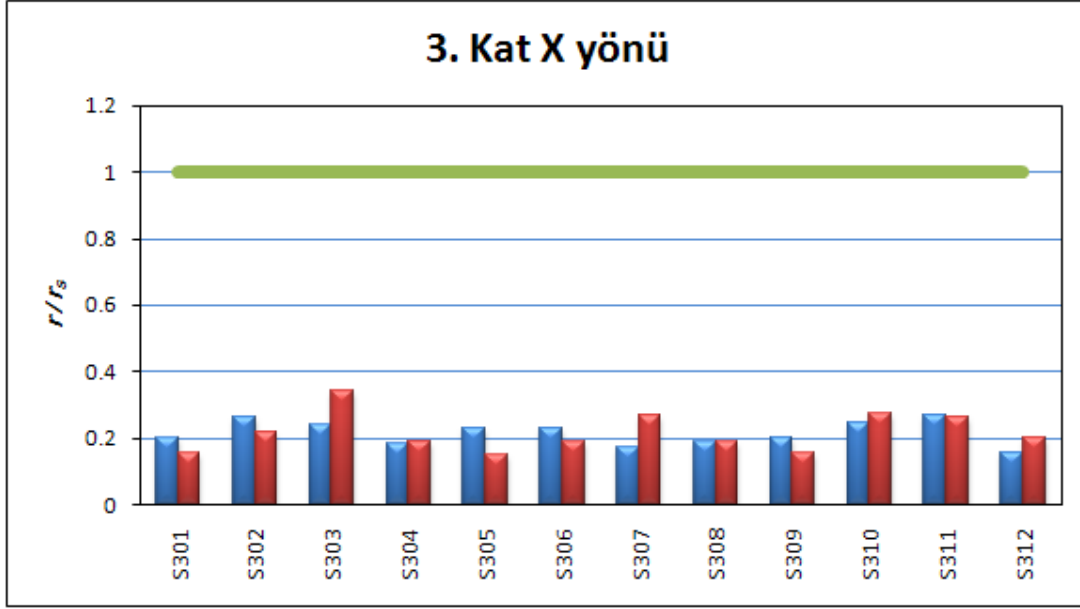
Şekil 2.23. 1. Kat kolonları için y eksenli doğrultusunda r/r_s değerleri



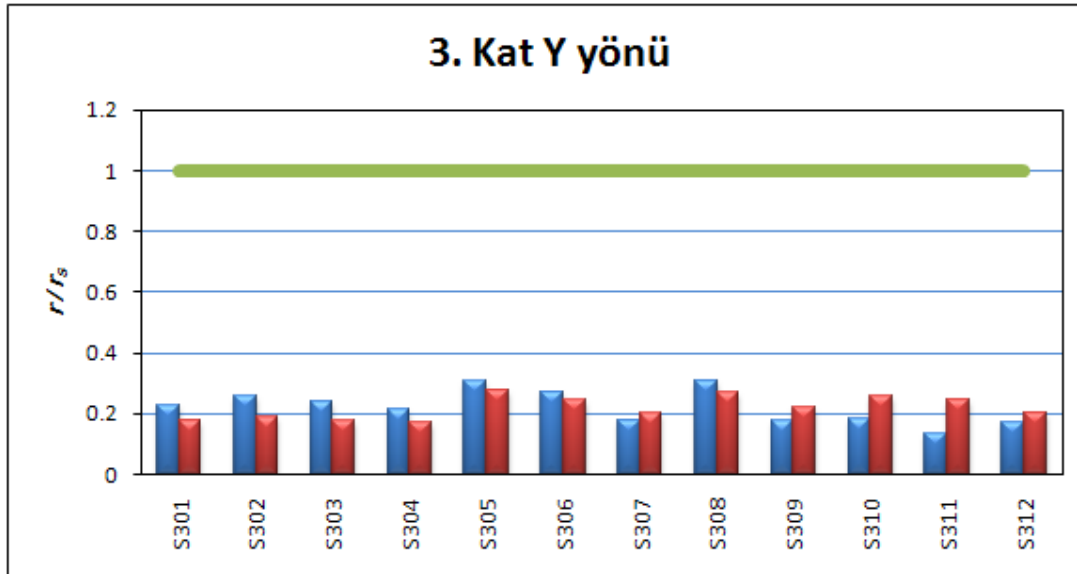
Şekil 2.24. 2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.25. 2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



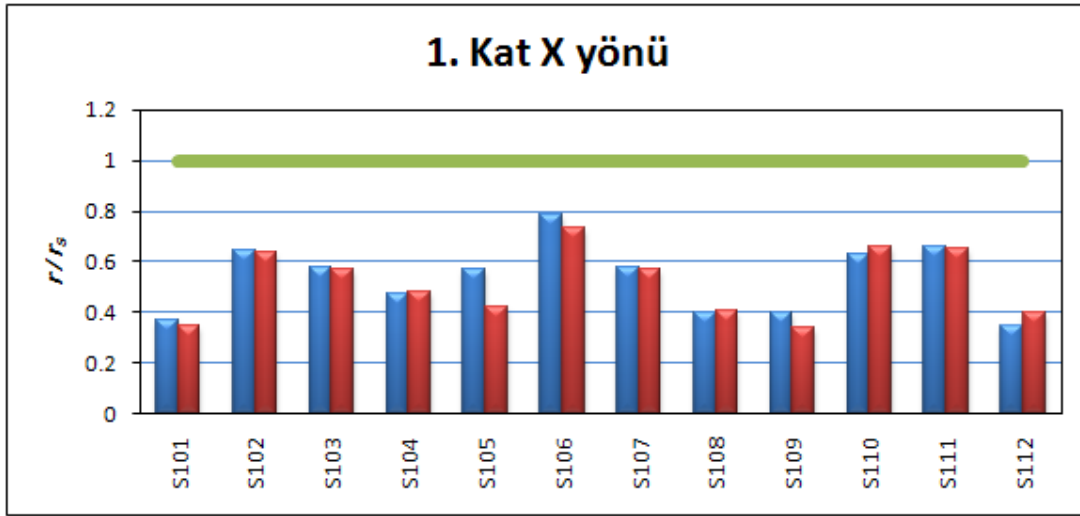
Şekil 2.26. 3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



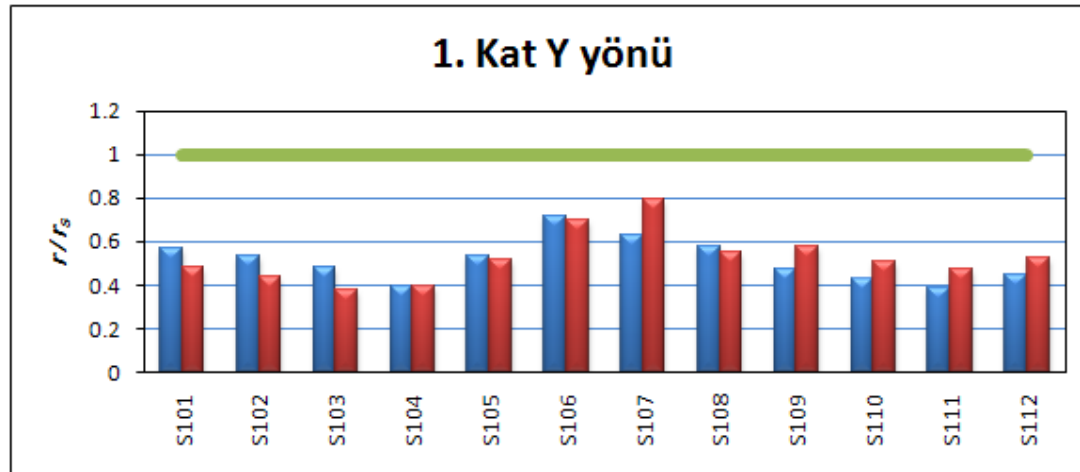
Şekil 2.27. 3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri

2.5.1.3. Beton Basınç Dayanımının 12 MPa Olması Durumundaki Performans

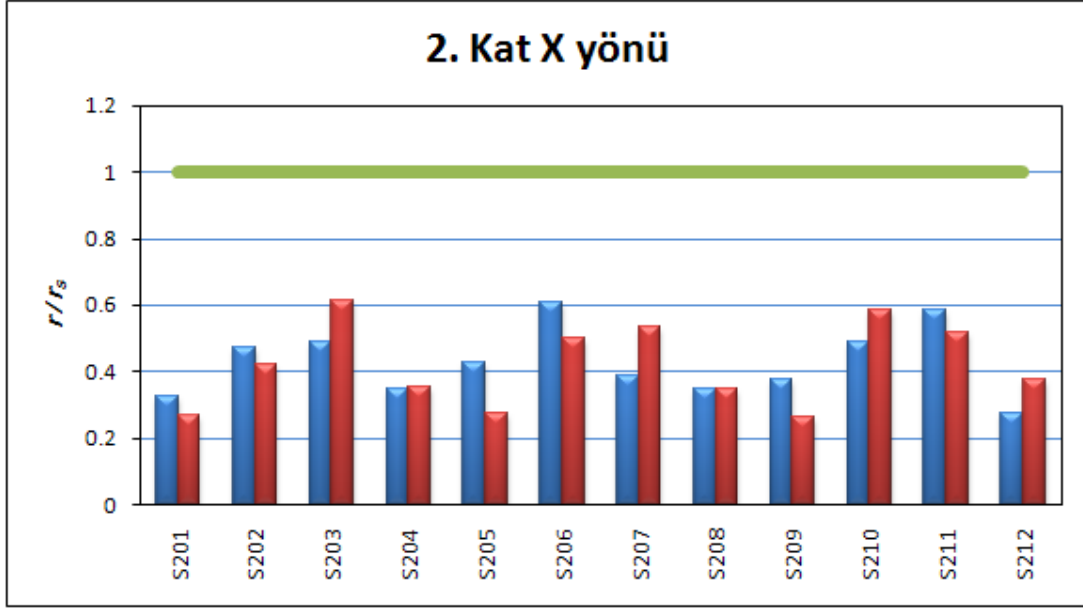
Mevcut yapıya ait beton dayanımının 20 MPa' dan 12 MPa' a düşmesi durumunda beton elastisite modülünde (E_c :25258 MPa) meydana gelen azalmayı da göz önüne alarak yapılan performans hesabında kolonlar için elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen elaman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.28-2.33]'de verilmektedir.



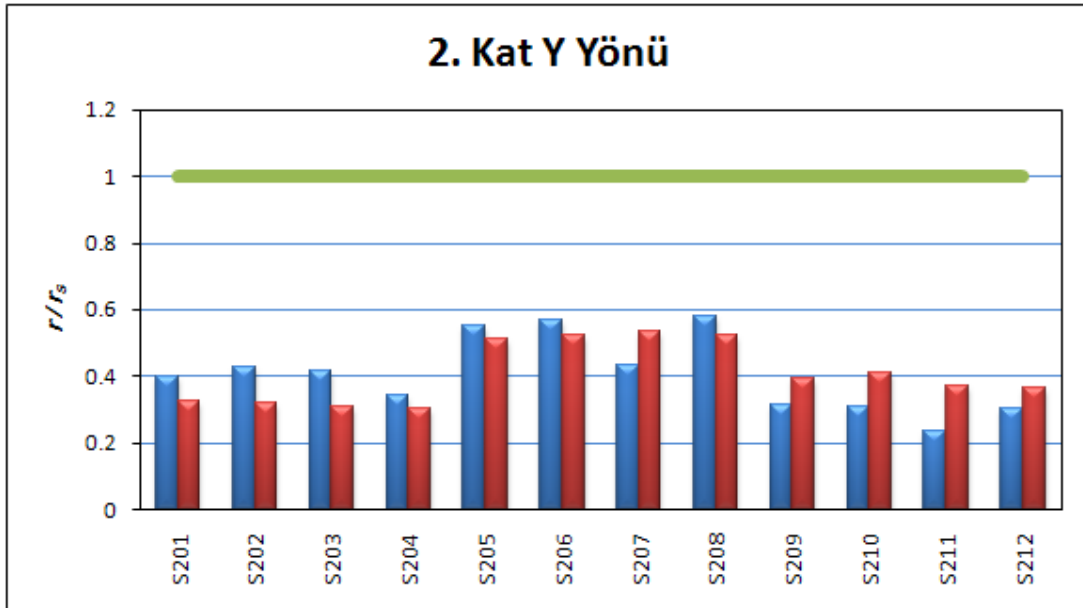
Şekil 2.28. 1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



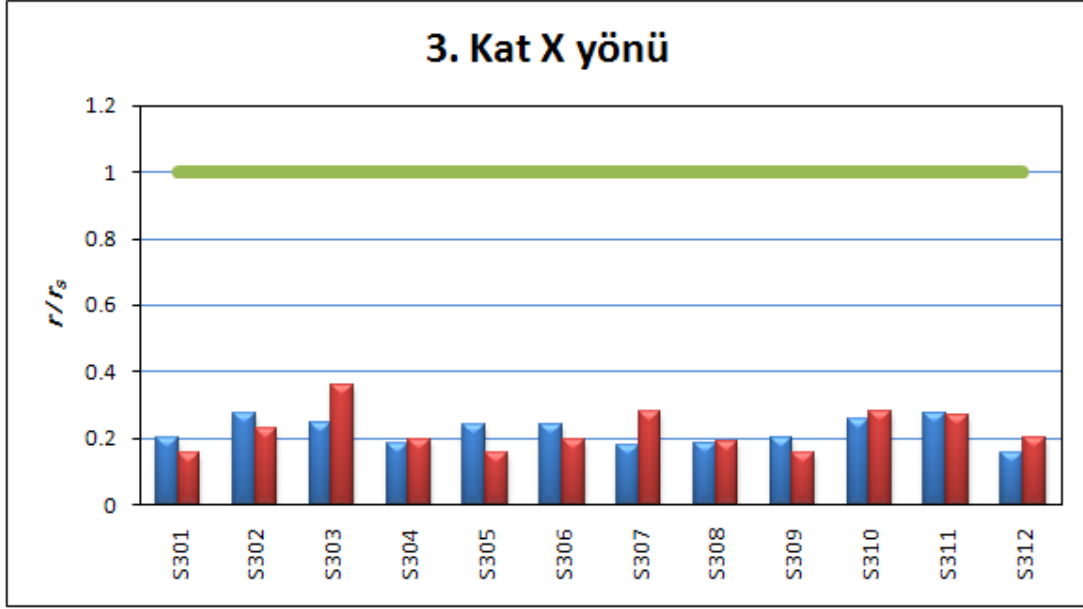
Şekil 2.29. 1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



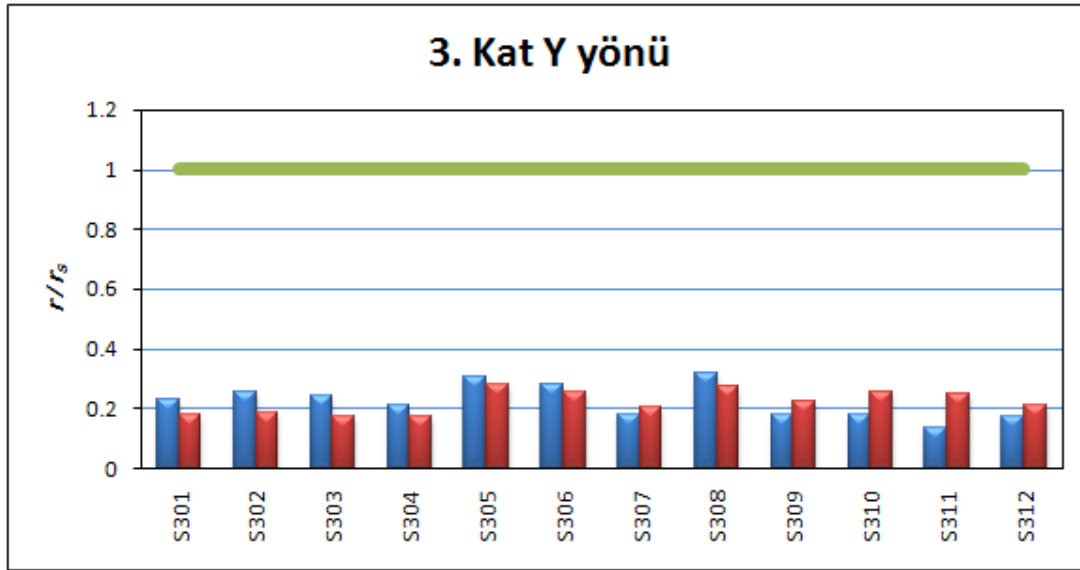
Şekil 2.30. 2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.31. 2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



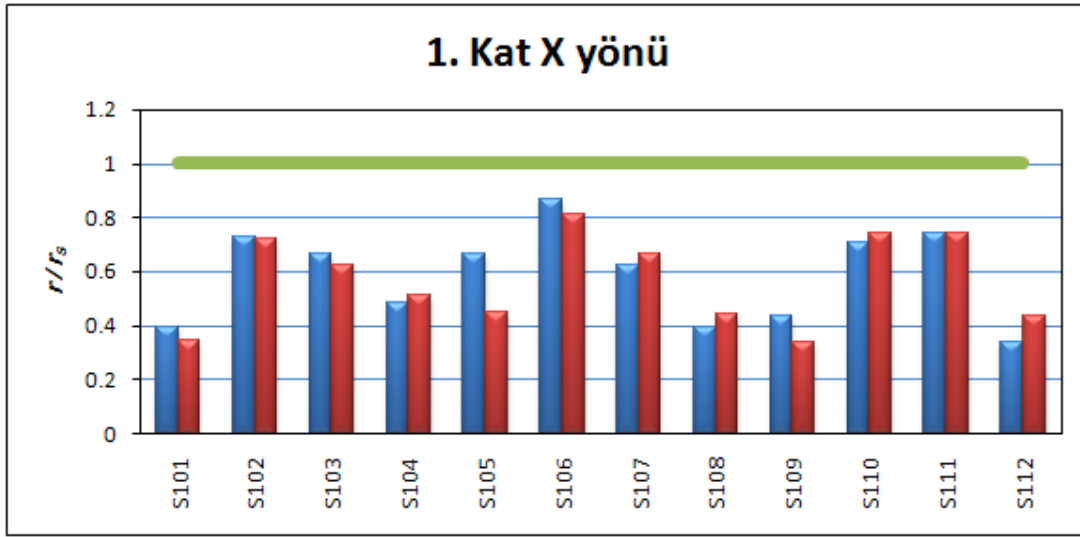
Şekil 2.32. 3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



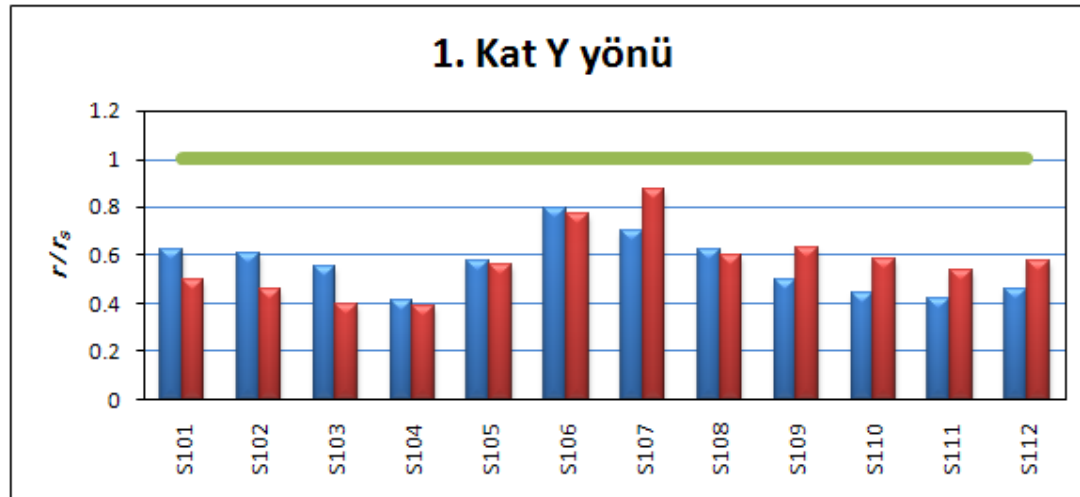
Şekil 2.33. 3. Kat kirişleri için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri

2.5.1.4. Beton Basınç Dayanımının 10 MPa Olması Durumundaki Performans

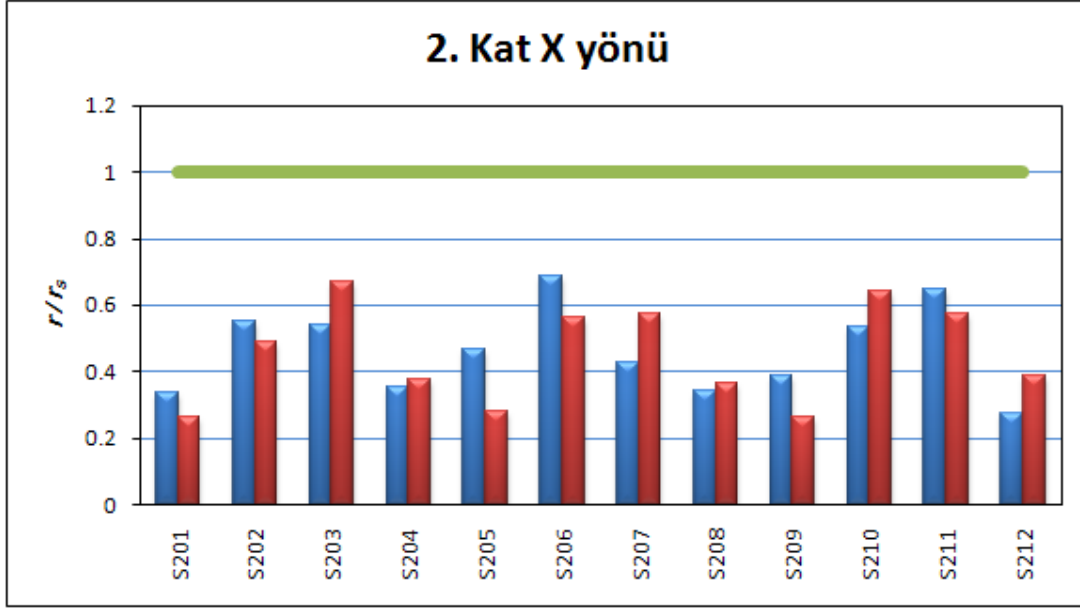
Mevcut yapıya ait beton dayanımının 20 MPa' dan 10 MPa' a düşmesi durumunda beton elastisite modülünde (E_c :24277 MPa) meydana gelen azalmayı da göz önüne alarak yapılan performans hesabında kolonlar için elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen elaman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.34-2.39]'de verilmektedir.



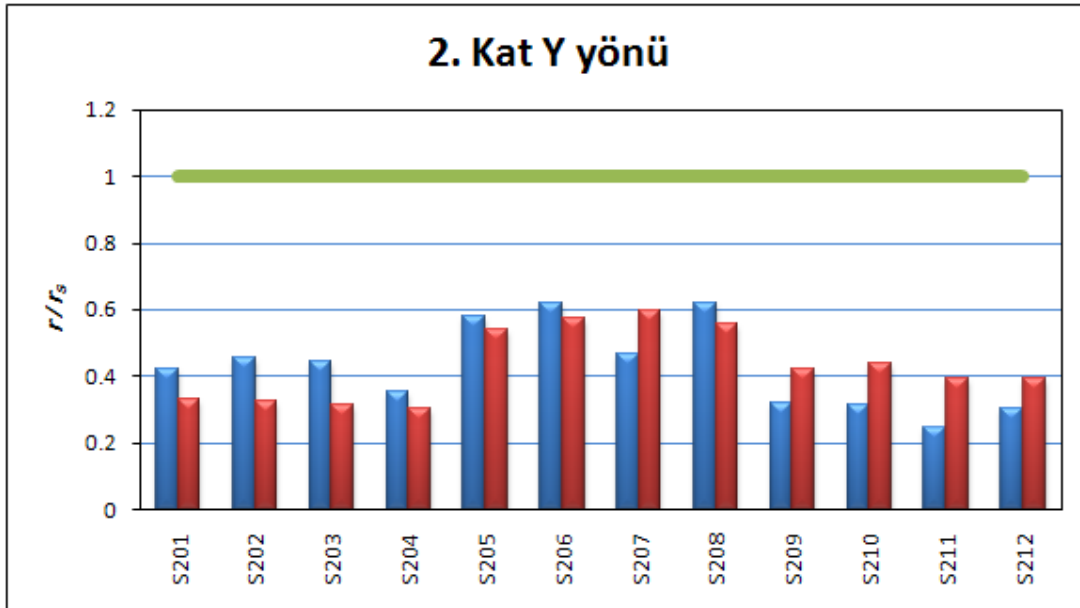
Şekil 2.34. 1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



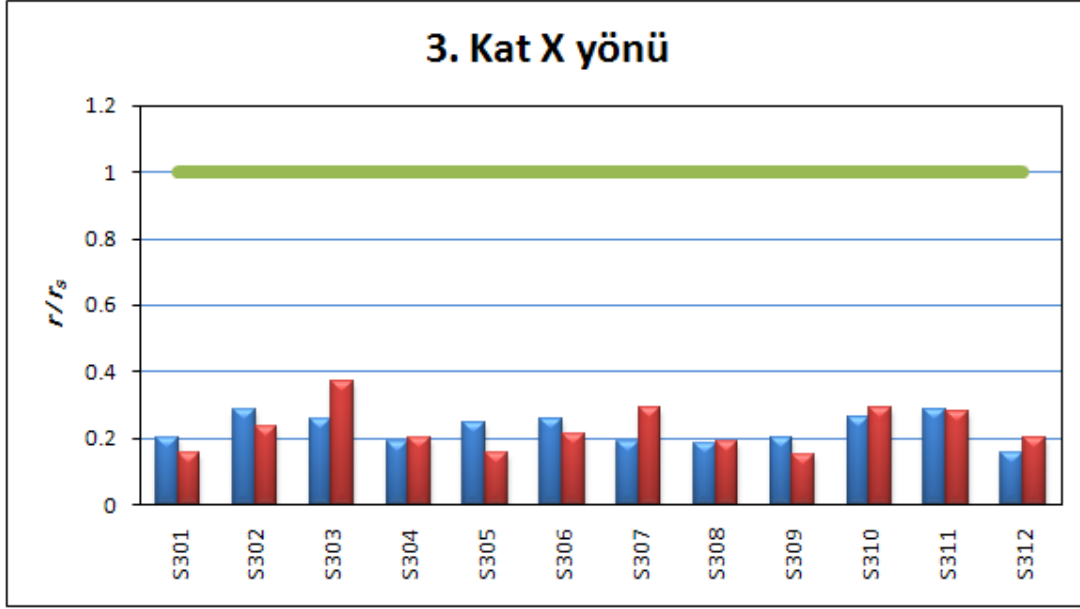
Şekil 2.35. 1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



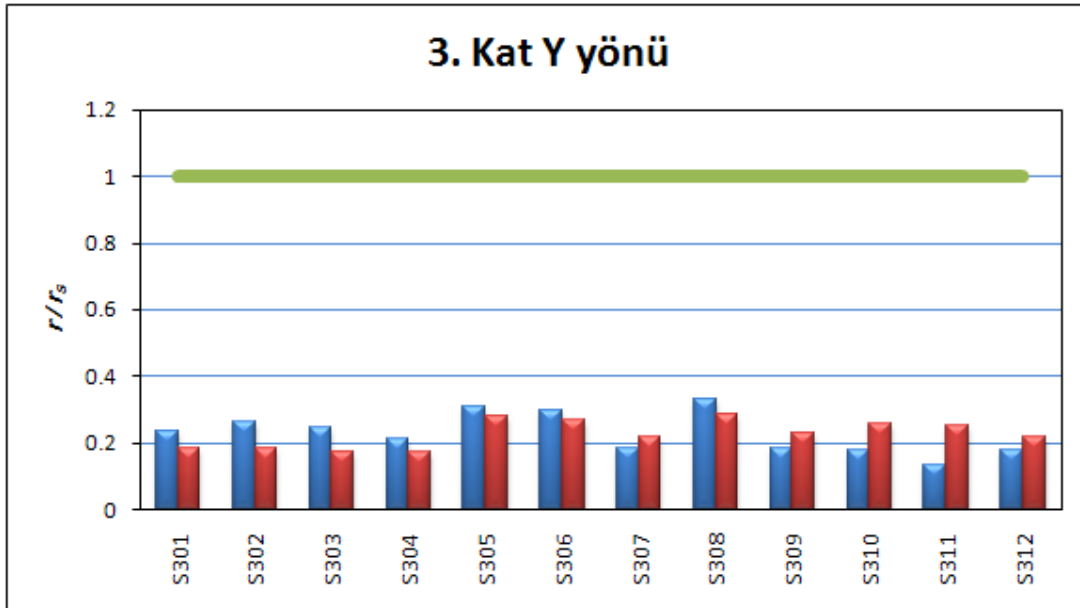
Şekil 2.36. 2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.37. 2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.38. 3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.39. 3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri

2.5.2. Beton Basınç Dayanımındaki Düşüklüğün Kirişlerin Performansına Olan Etkisi

Yapılan performans analizlerinden elde edilen sonuçlara göre, beton dayanımında meydana gelen düşüklüğün kirişlerin eğilme kapasitesinde belirgin bir değişmeye neden olmamaktadır bu nedenle beton dayanımında meydana gelen düşmeye karşılık kirişlerde elde edilen r / r_s değerlerine ilişkin bilgilere yer verilmemektedir.

2.5.3. Beton Basınç Dayanımındaki Düşüklüğün Görelî Kat Ötelemesine Olan Etkisi

Beton dayanımındaki düşmeye karşılık beton elastisite modülünde meydana gelen değişim dikkate alınarak her bir deprem doğrultusu için hesaplanan görelî kat öteleme değerleri her bir beton sınıfı için hesaplanarak elde edilen değerler Tablo [2.11-2.14]'de verilmektedir.

Tablo 2.11. Görelî kat öteleme kontrolü ($E_c=27000$ MPa)

Kat	h_i	X yönü $R_x \cdot \Delta_x / h$	Y yönü $R_y \cdot \Delta_y / h$
3	2.9	0,0051785	0,0058119
2	2.9	0,0091575	0,0102724
1	2.9	0,0085703	0,0096209

Tablo 2.12. Görelî kat öteleme kontrolü ($E_c=26150$ MPa)

Kat	h_i	X yönü $R_x \cdot \Delta_x / h$	Y yönü $R_y \cdot \Delta_y / h$
3	2.9	0,0053038	0,0059536
2	2.9	0,0093696	0,0105108
1	2.9	0,008769	0,0098445

Tablo 2.13. Göreli kat öteleme kontrolü ($E_c=25258$ MPa)

Kat	h_i	X yönü $R_x \cdot \Delta_x / h$	Y yönü $R_y \cdot \Delta_y / h$
3	2.9	0,0054099	0,0060737
2	2.9	0,009549	0,0107126
1	2.9	0,0089372	0,0100336

Tablo 2.14. Göreli kat öteleme kontrolü ($E_c=24277$ MPa)

Kat	h_i	X yönü $R_x \cdot \Delta_x / h$	Y yönü $R_y \cdot \Delta_y / h$
3	2.9	0,0055509	0,0062332
2	2.9	0,0097866	0,0109798
1	2.9	0,0091599	0,0102841

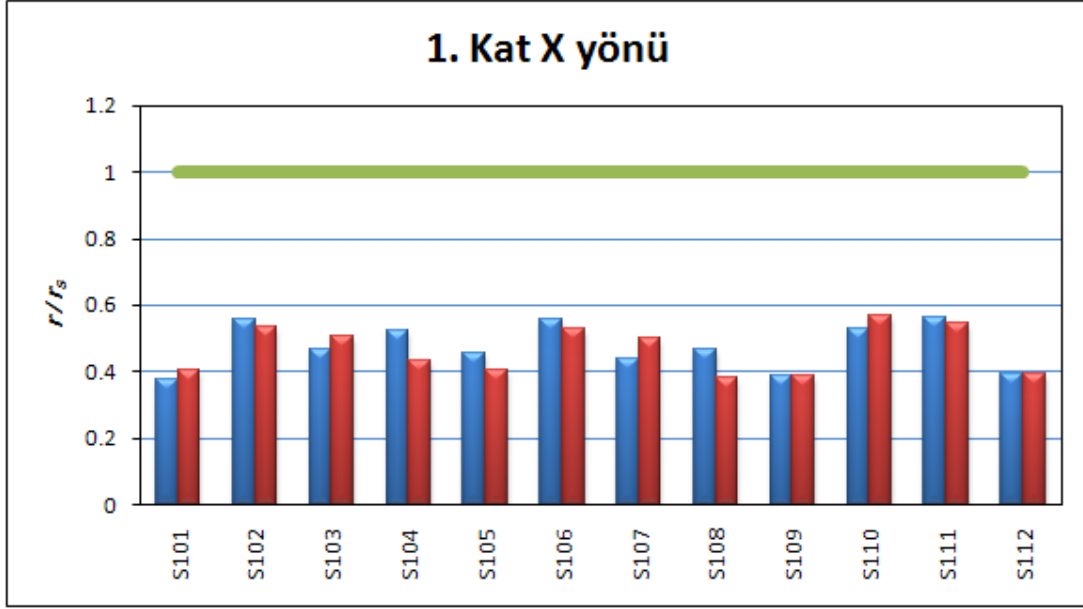
2.6. Donatı Akma Dayanımının Yapısal Performansa Etkisi

Donatı akma dayanımında meydana gelen azalmaya bağlı olarak hesaplanan elaman hasar oranlarına ilişkin değerler kolon ve kirişler için ayrı başlıklar halinde aşağıda verilmektedir.

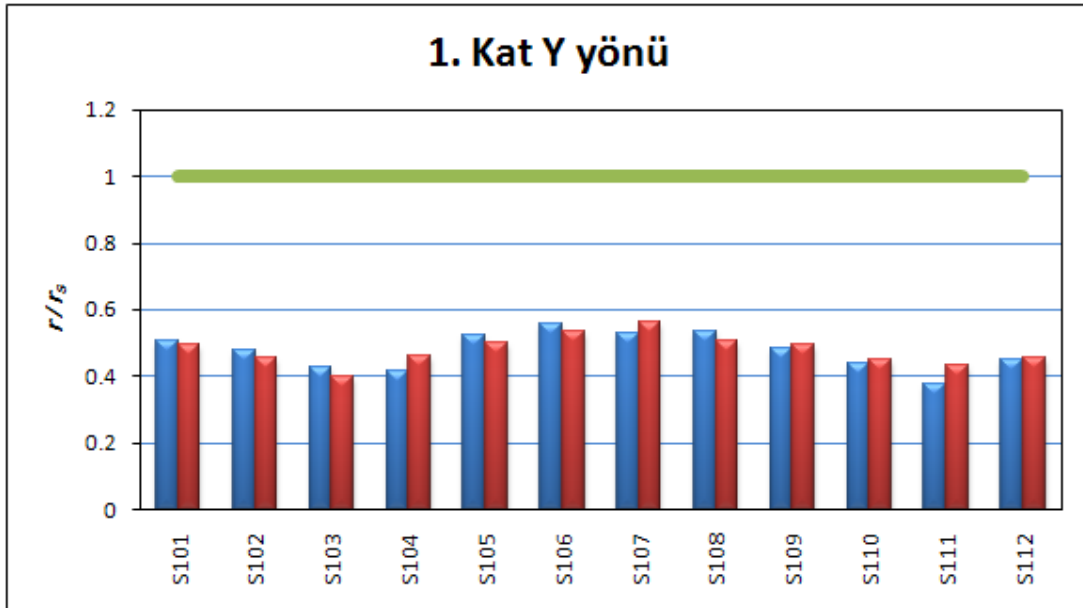
2.6.1. Donatı Akma Dayanımındaki Düşüklüğün Kolonların Performansına Olan Etkisi

2.6.1.1. Donatı Akma Dayanımının 360 MPa Olması Durumundaki Performans

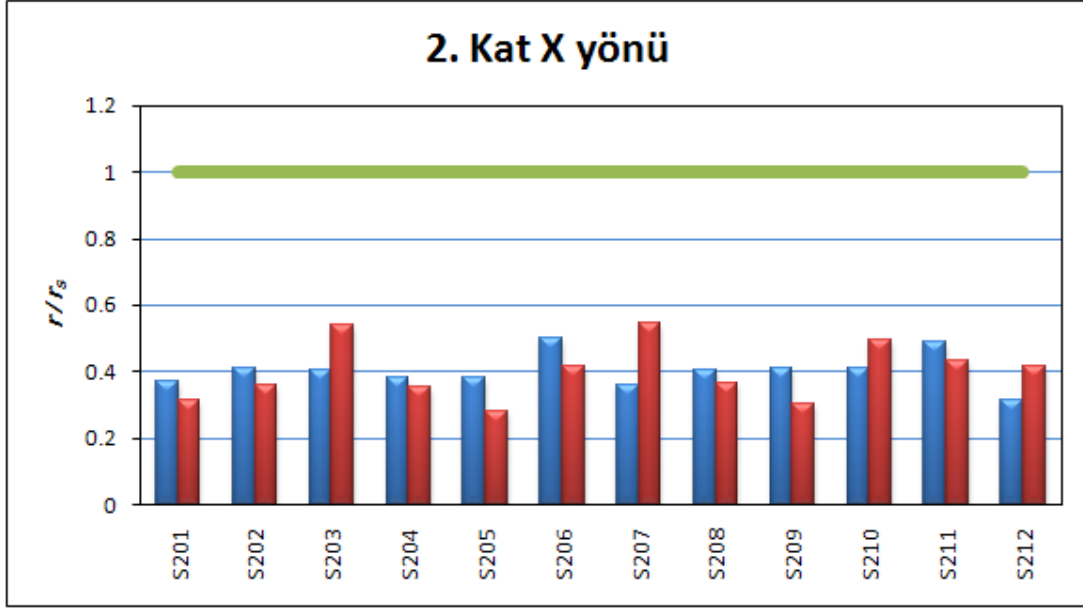
Donatı akma dayanımının 420 MPa'dan 360MPa'a düşmesi durumunda kolonlar için elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen elaman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.40-2.455]'de verilmektedir.



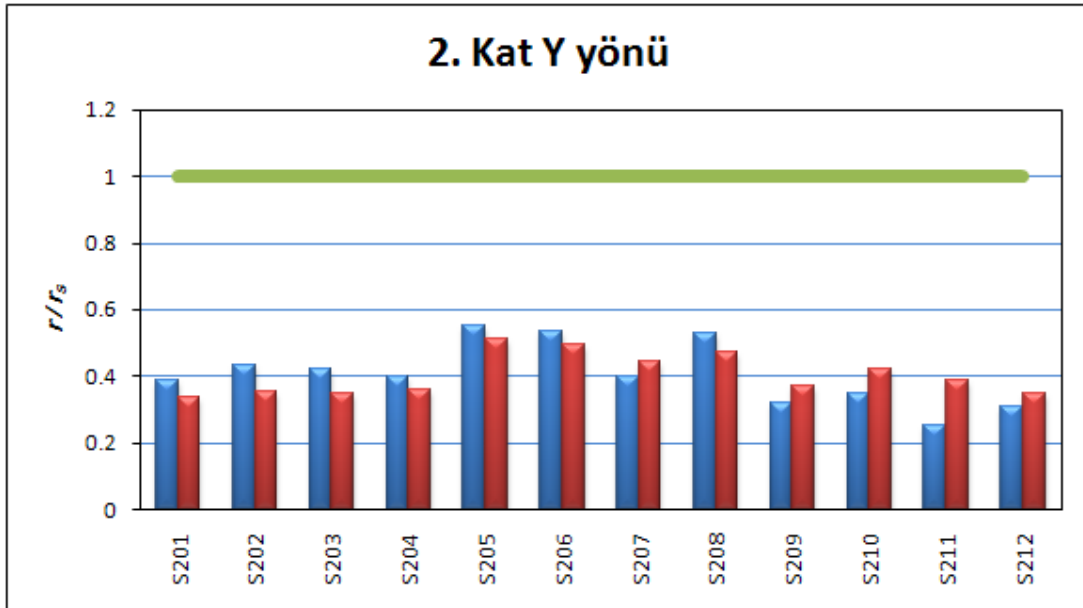
Şekil 2.40. 1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



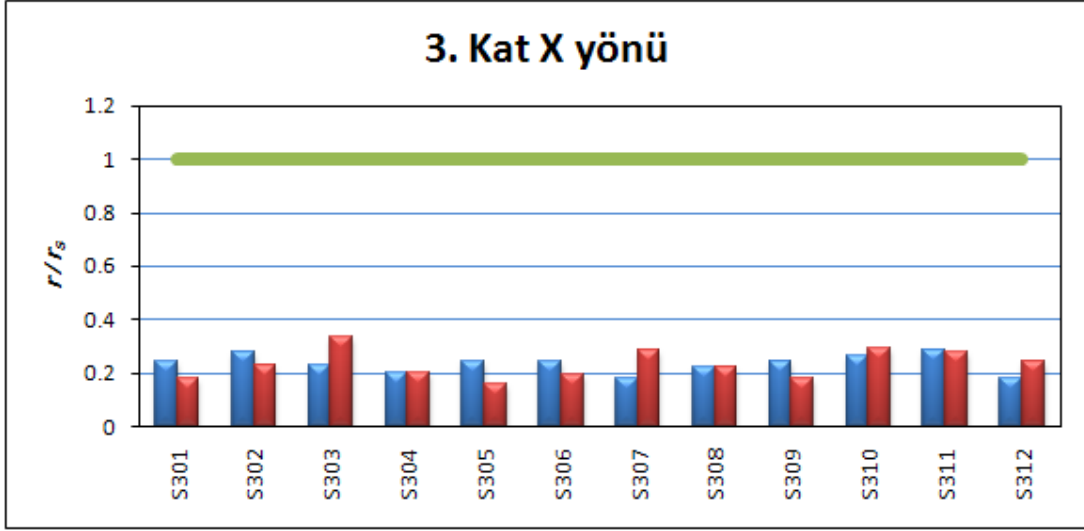
Şekil 2.41. 1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



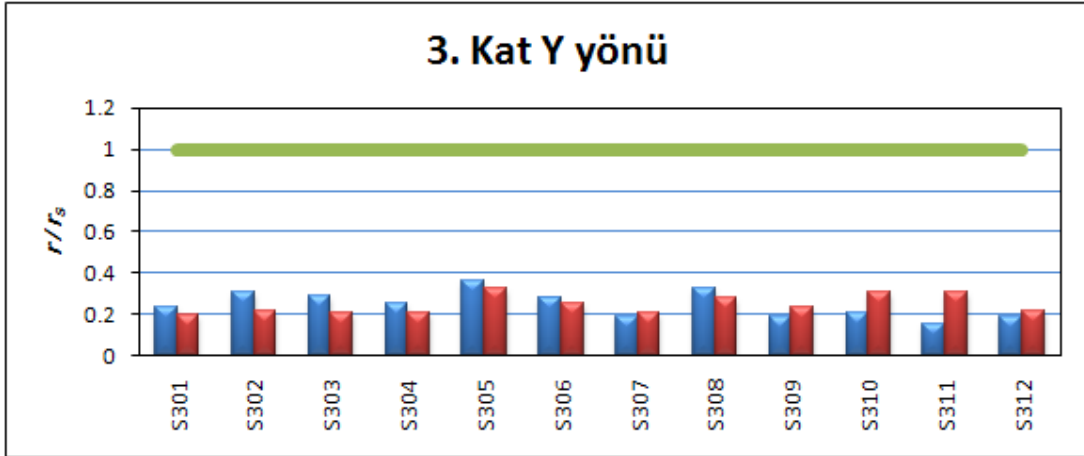
Şekil 2.42. 2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.43. 2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



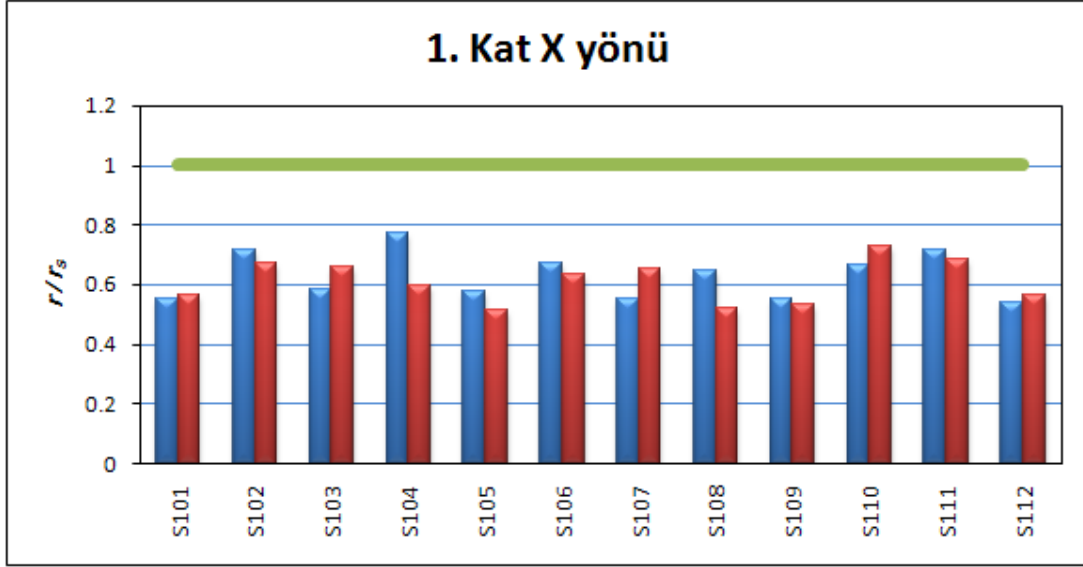
Şekil 2.44. 3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



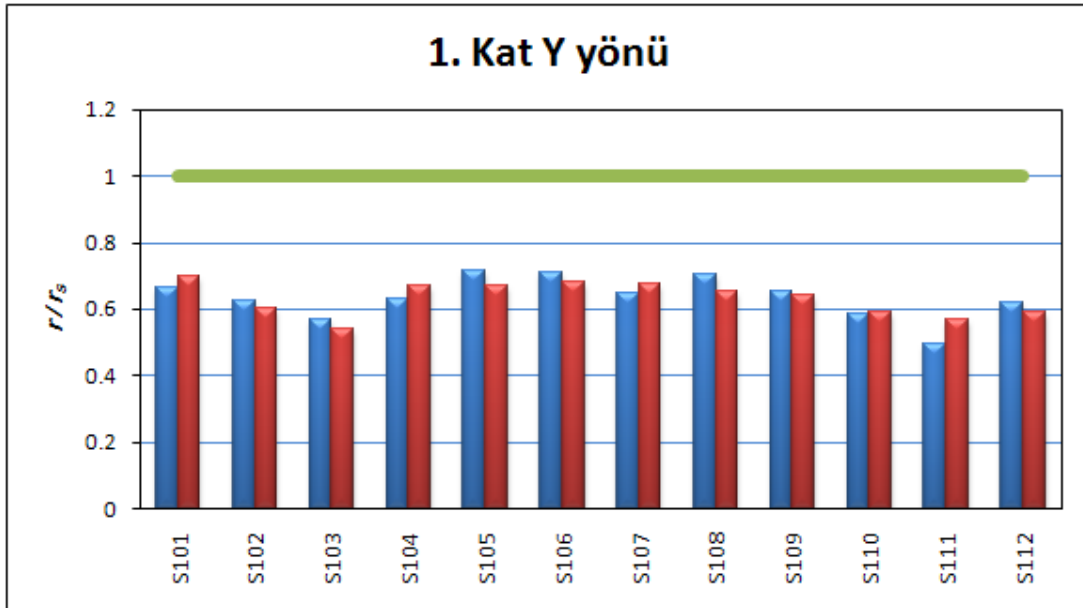
Şekil 2.45. 3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri

2.6.1.2. Donatı Akma Dayanımının 220 MPa Olması Durumundaki Performans

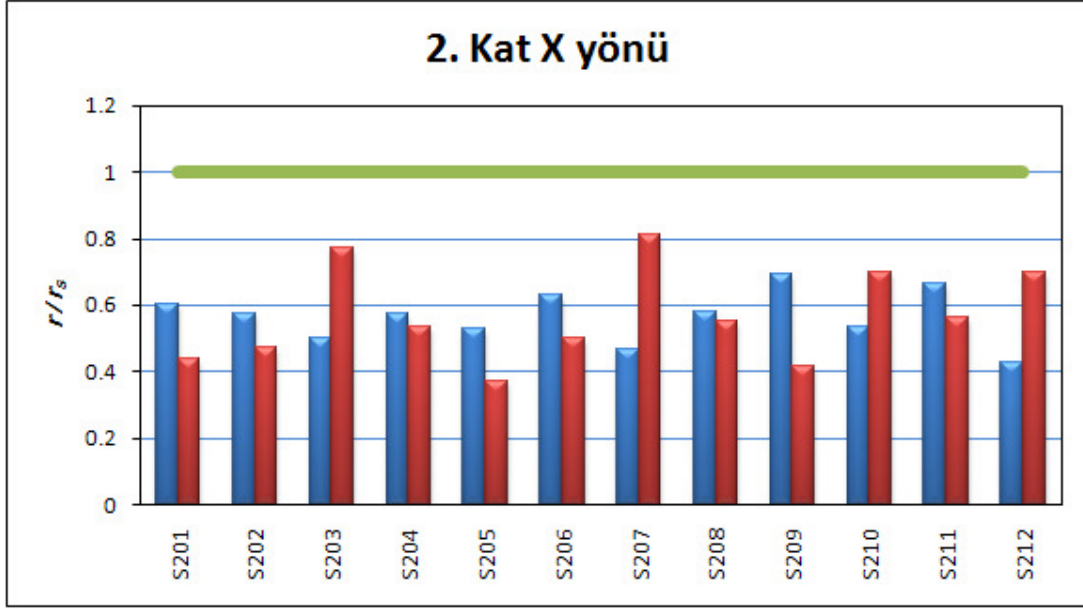
Donatı akma dayanımının 420 MPa'dan 220MPa'a düşmesi durumunda kolonlar için elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen eleman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.46-2.51]'de verilmektedir.



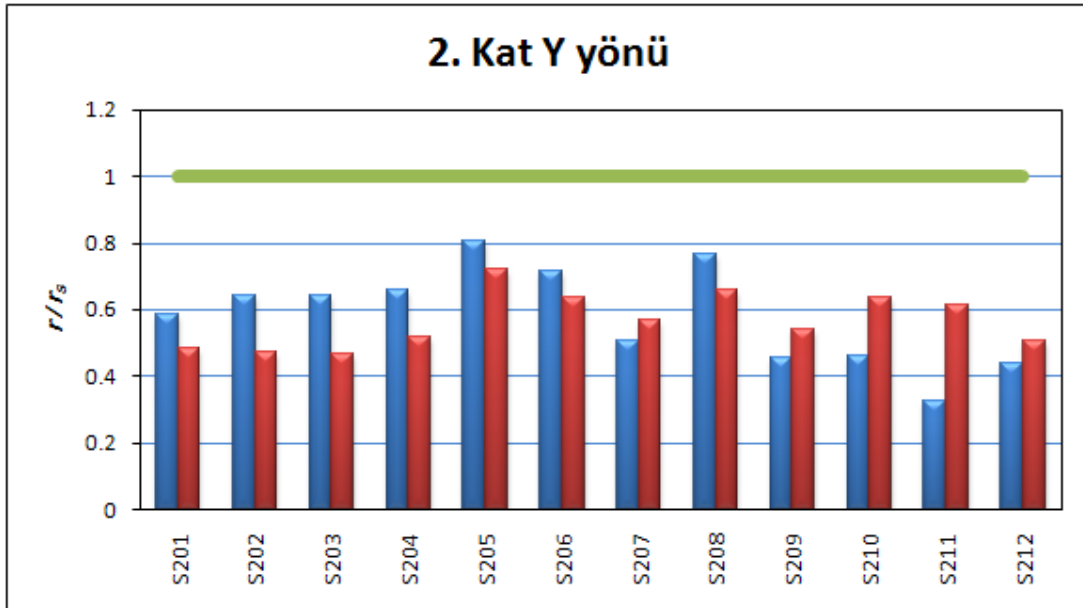
Şekil 2.46. 1. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



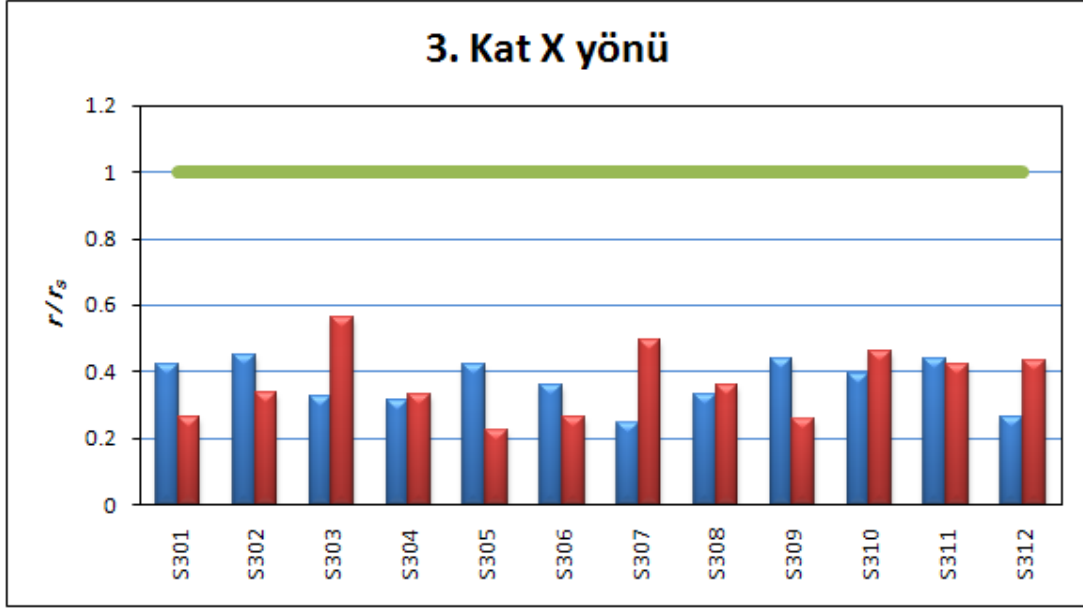
Şekil 2.47. 1. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



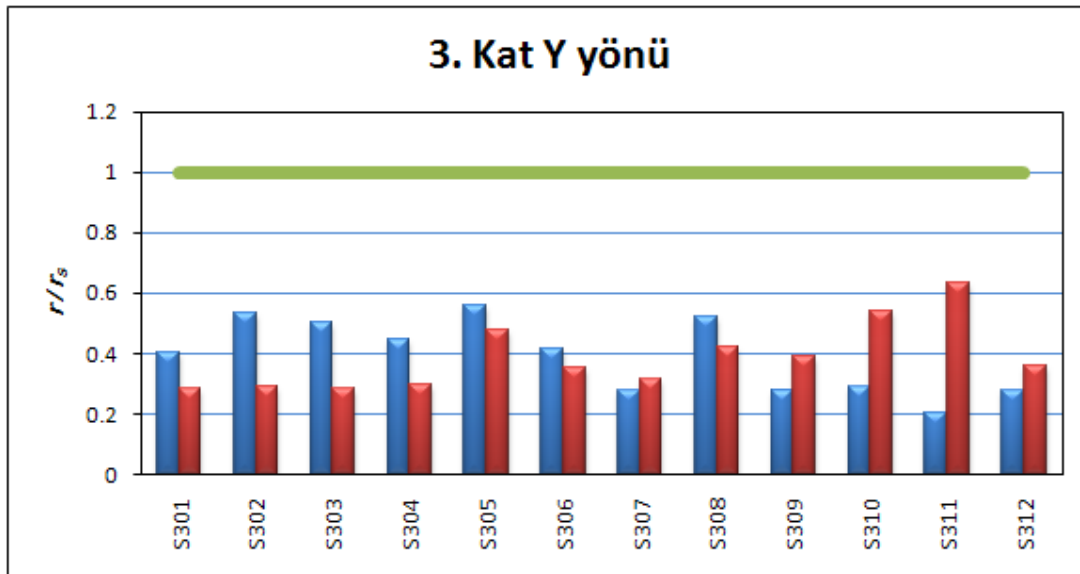
Şekil 2.48. 2. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.49. 2. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri



Şekil 2.50. 3. Kat kolonları için x eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri

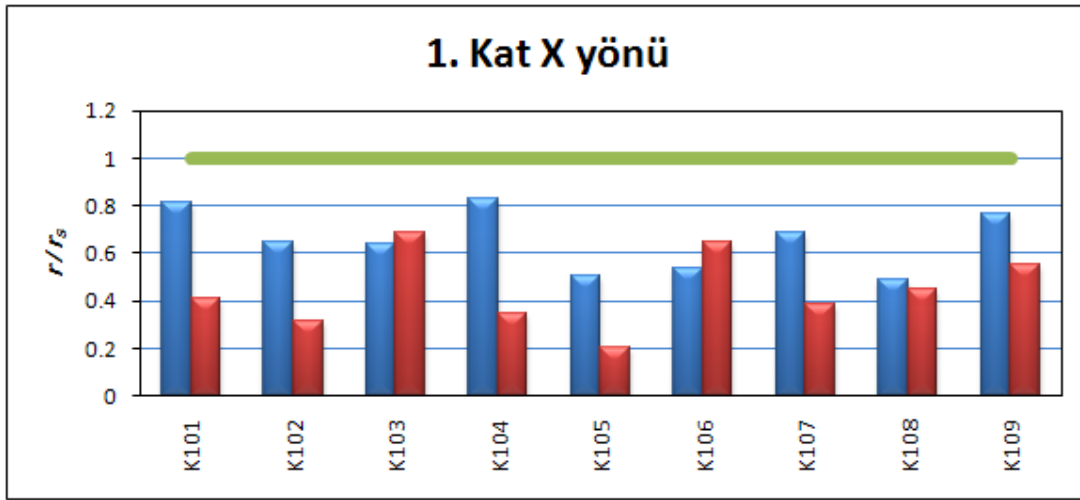


Şekil 2.51. 3. Kat kolonları için y eksenini doğrultusunda r/r_s değerleri

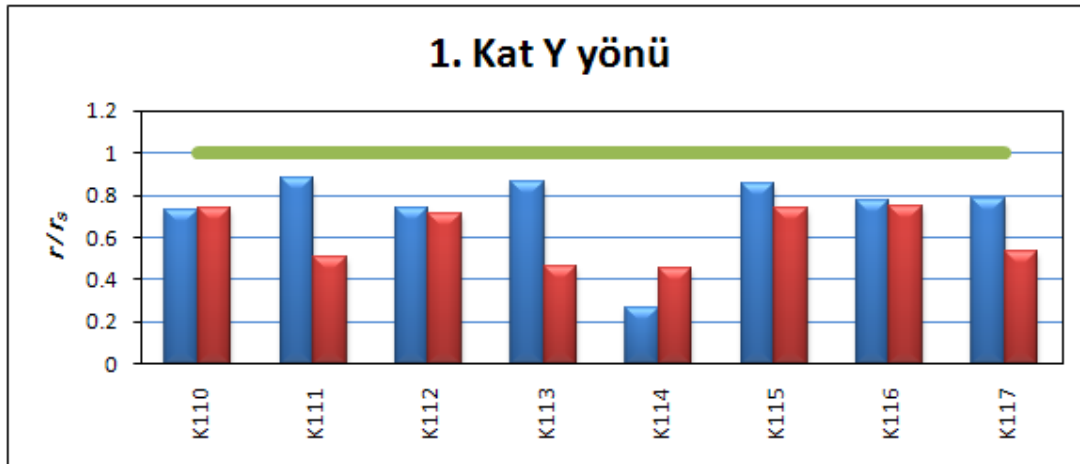
2.6.2. Donatı Akma Dayanımındaki Düşüklüğün Kiriş Performansına Olan Etkisi

2.6.2.1. Donatı Akma Dayanımının 360 MPa Olması Durumundaki Performans

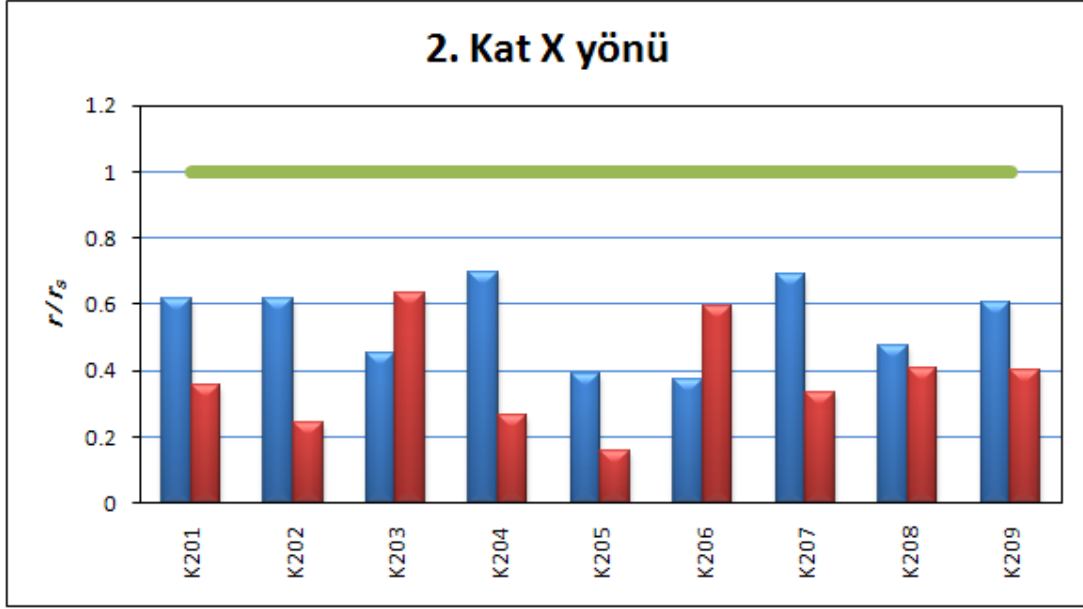
Donatı akma dayanımının 420 MPa'dan 360MPa'a düşmesi durumunda kirişler için elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen elaman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.52-2.57]'de verilmektedir.



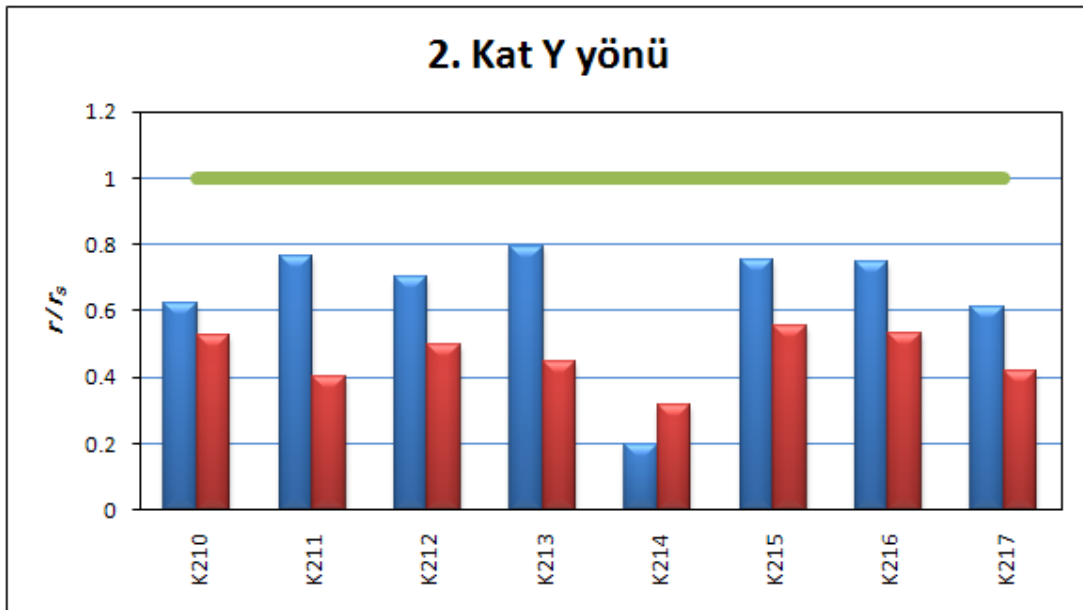
Şekil 2.52. 1. Kat kirişleri için x ekseninde doğrultusunda r / r_s değerleri



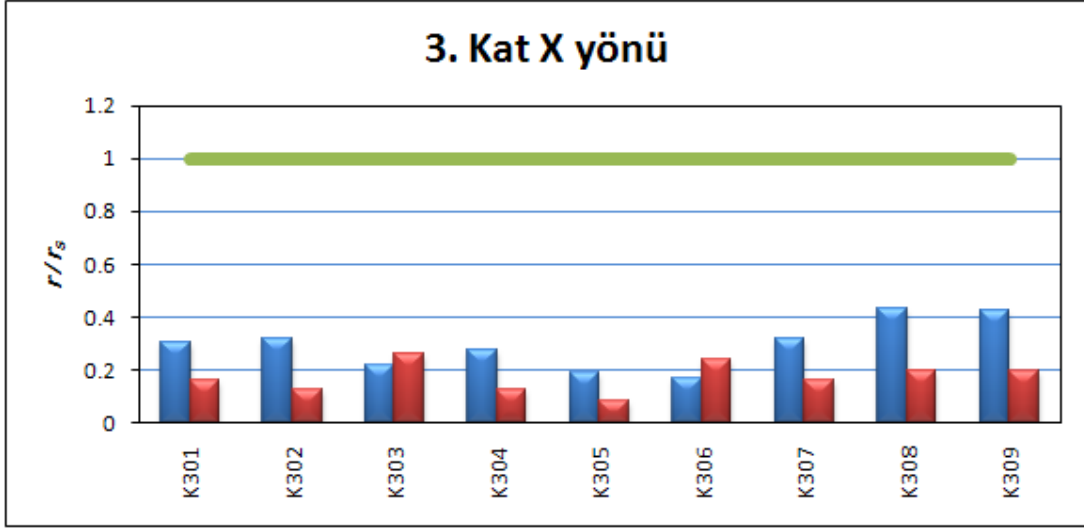
Şekil 2.53. 1. Kat kirişleri için y ekseninde doğrultusunda r / r_s değerleri



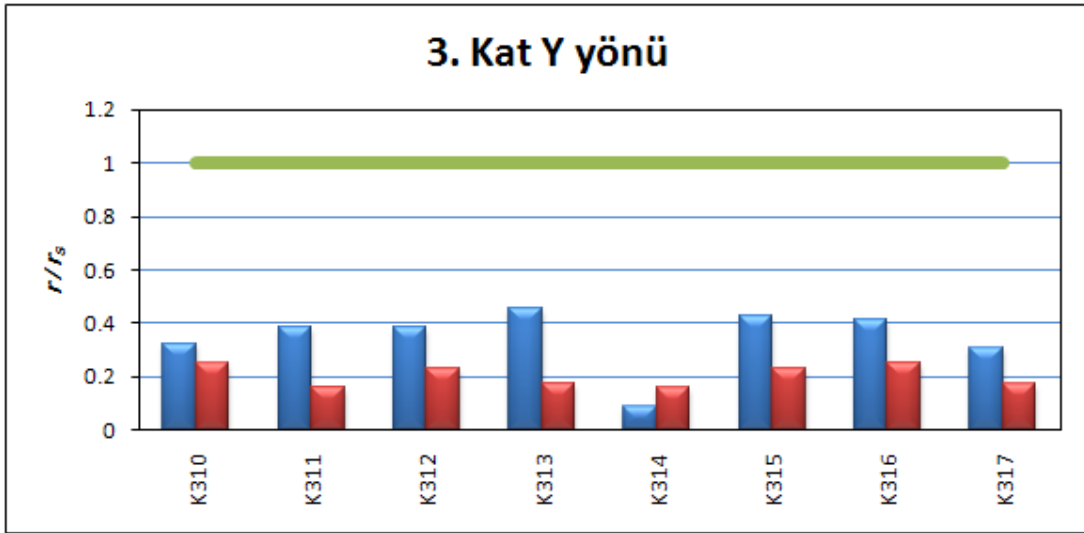
Şekil 2.54. 2. Kat kirişleri için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



Şekil 2.55. 2. Kat kirişleri için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



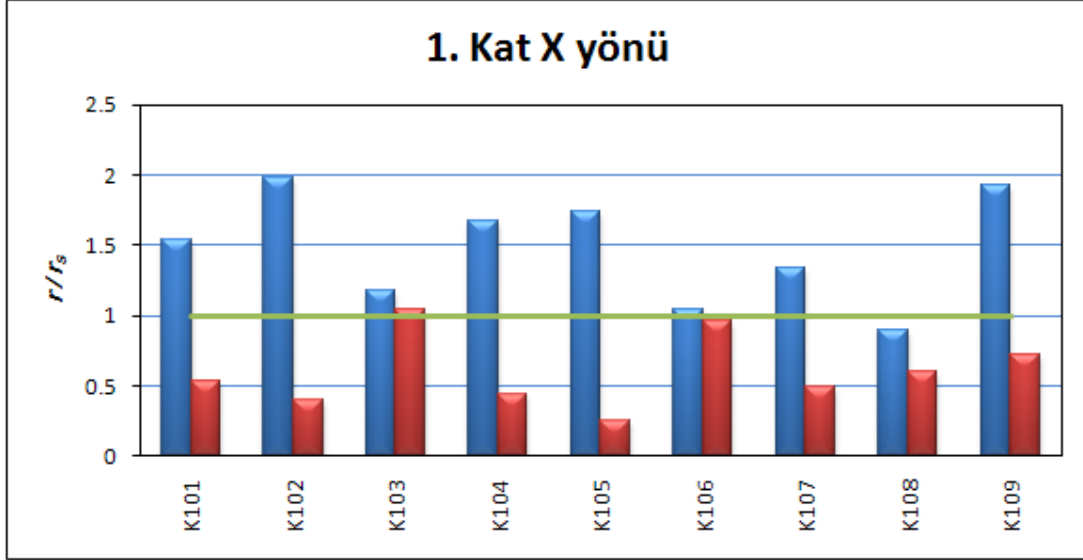
Şekil 2.56. 3. Kat kirişleri için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



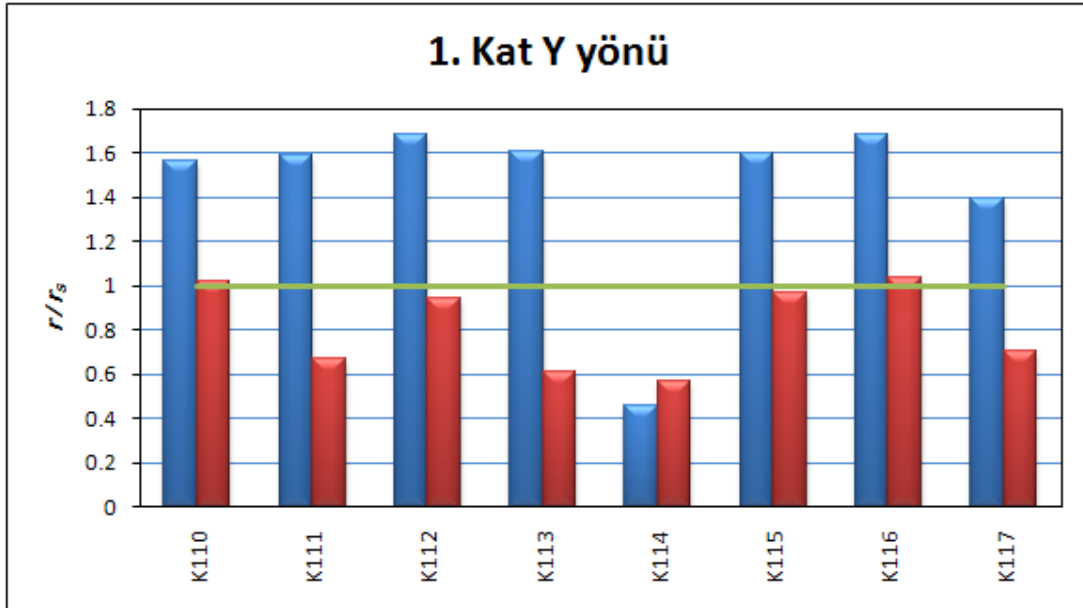
Şekil 2.57. 3. Kat kirişleri için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri

2.6.2.2. Donatı Akma Dayanımının 220 MPa Olması Durumundaki Performans

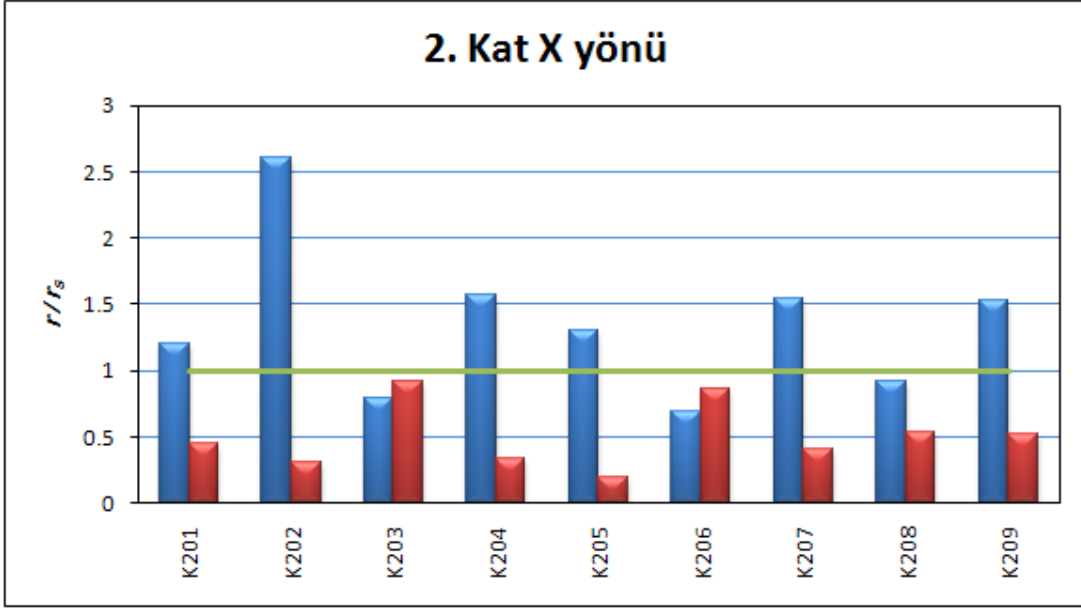
Donatı akma dayanımının 420 MPa'dan 220MPa'a düşmesi durumunda kirişler için elde edilen eğilme etki/kapasite (r) değerlerinin sınır etki/kapasite (r_s) değerlerine oranlanması ile belirlenen elaman hasar oranlarına ilişkin değerler Şekil [2.58-2.63]'de verilmektedir.



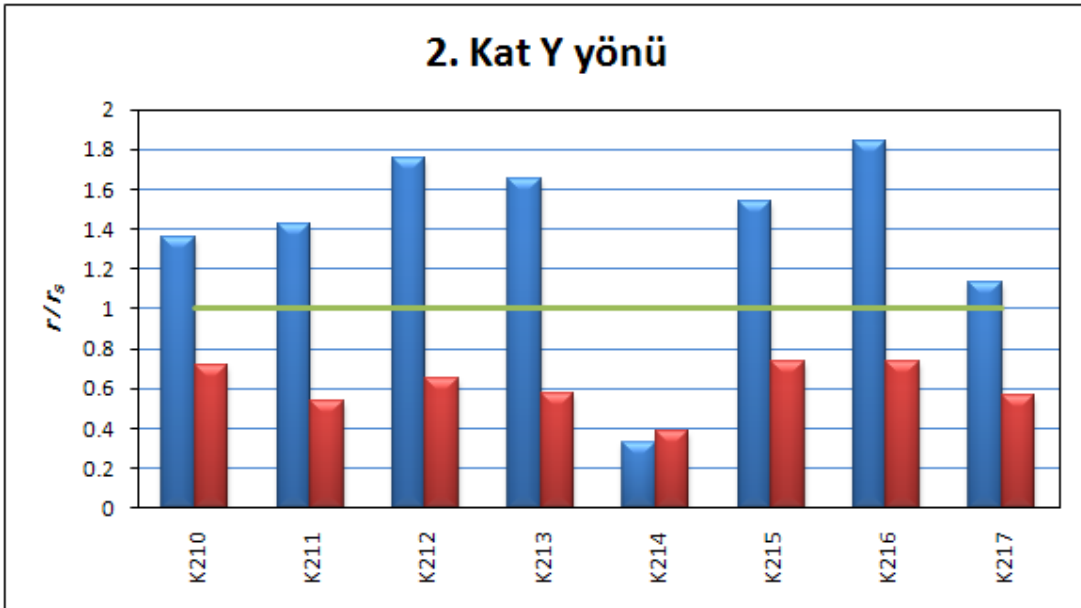
Şekil 2.58. 1. Kat kirişleri için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



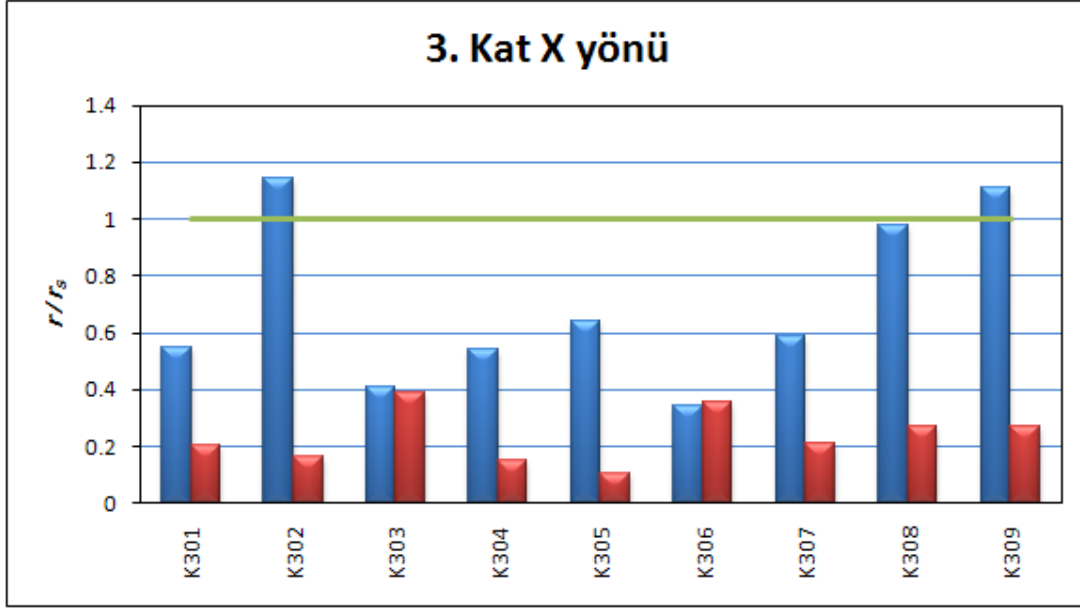
Şekil 2.59. 1. Kat kirişleri için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



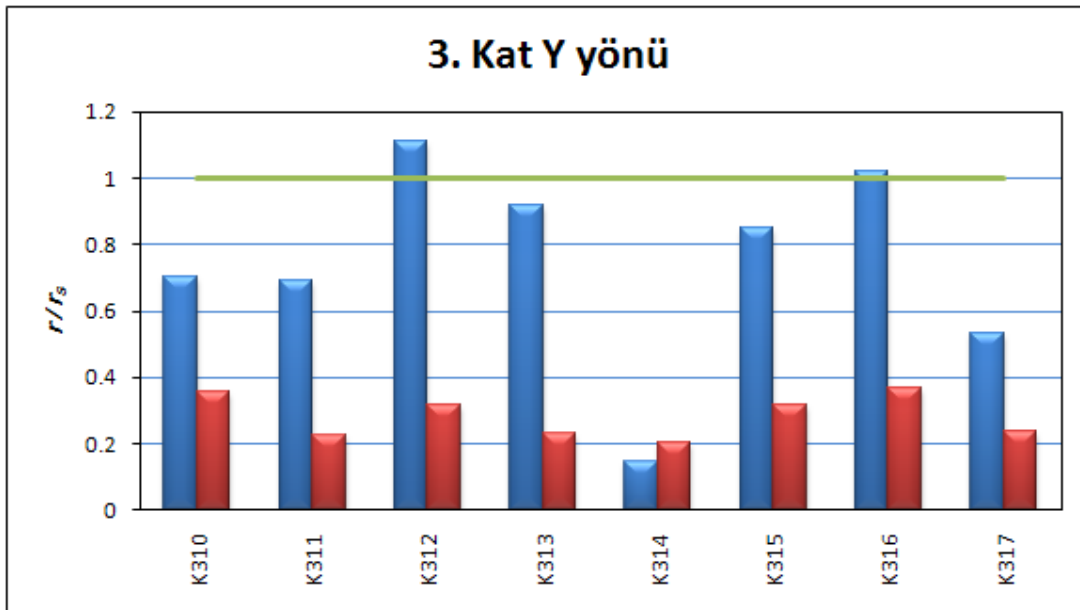
Şekil 2.60. 2. Kat kirişleri için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



Şekil 2.61. 2. Kat kirişleri için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



Şekil 2.62. 3. Kat kirişleri için x eksenı doğrultusunda r/r_s değeri



Şekil 2.63. 3. Kat kirişleri için y eksenı doğrultusunda r/r_s değeri

3. İRDELEMELER

3.1. Sayısal Uygulamalardan Elde Edilen Eleman Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Donatı ve beton dayanımında meydana gelen düşüklüğe bağlı olarak kolonlarda gözlenen hasar bölgeleri ve kırılma türüne ilişkin bilgiler Tablo [3.1-3.3]'de verilmektedir. Tablolarda sünek kırılma "S", gevrek kırılma "G" ile gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Zemin Kat kolonlarında hesaplanan hasar bölgeleri

	Mevcut yapı		C16		C14		C12		C10		S360		S220	
	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S
S101	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S
S102	BH	S	BH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S103	MH	S	BH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S104	MH	S	MH	S	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S
S105	MH	S	MH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S106	BH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S107	BH	S	BH	G	BH	G	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S108	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	G	BH	S	BH	S
S109	MH	S	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S
S110	BH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S111	BH	S	BH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S112	MH	S	MH	S	MH	S	BH	S	BH	S	MH	S	BH	S

Tablo 3.2. 1. Kat kolonların için hesaplanan hasar bölgeleri

	Mevcut yapı		C16		C14		C12		C10		S360		S220	
	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	MH	S	BH	S
S201	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	MH	S	BH	S
S202	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	G	MH	S	BH	S
S203	BH	S	BH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S204	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	MH	S	BH	S
S205	MH	S	BH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S206	MH	S	BH	S	BH	G	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S207	MH	S	BH	G	BH	G	BH	G	BH	G	BH	S	BH	S
S208	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	G	BH	S	BH	S
S209	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	MH	S	BH	S
S210	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	G	MH	S	BH	S
S211	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	G	MH	S	BH	S
S212	MH	S	BH	S	BH	S	BH	S	BH	S	MH	S	BH	S

Tablo 3.3. 2. Kat kolonları için hesaplanan hasar bölgeleri

	Mevcut yapı		C16		C14		C12		C10		S360		S220	
S301	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S
S302	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	G	MH	S	BH	S
S303	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	G	MH	S	BH	S
S304	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S
S305	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	G	MH	S	BH	S
S306	MH	S	MH	S	MH	G	MH	G	MH	G	MH	S	MH	S
S307	MH	S	MH	G	MH	G	MH	G	MH	G	MH	S	MH	S
S308	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	BH	S
S309	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S
S310	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	BH	S
S311	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	BH	S
S312	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S	MH	S

Donatı ve beton dayanımında meydana gelen düşüklüğe bağlı olarak kirişlerde gözlenen hasar bölgelerine ait bilgiler Tablo [3.4-3.6]'de verilmektedir. Kirişlerde meydana gelen kırılma türü beton ve donatı dayanımında meydana gelen düşüklüğe bağlı olarak herhangi bir değişim göstermemektedir.

Tablo 3.4. Zemin kat kirişleri için hesap edilen hasar bölgeleri

	Mevcut yapı		C16	C14	C12	C10	S360	S220
K101	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K102	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K103	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH
K104	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K105	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	BH	GB
K106	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH
K107	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K108	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH
K109	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K110	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K111	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K112	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K113	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K114	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K115	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K116	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K117	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH

Tablo 3.5. 1. Kat kirişleri için hesap edilen hasar bölgeleri

	Mevcut yapı		C16	C14	C12	C10	S360	S220
K201	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH
K202	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K203	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH
K204	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K205	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	GB
K206	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH
K207	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K208	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	BH	BH
K209	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K210	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH
K211	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH
K212	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K213	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K214	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K215	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K216	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	GB
K217	BH	Sünek	BH	BH	BH	BH	BH	IH

Tablo 3.6. 2. Kat kirişleri için hesap edilen hasar bölgeleri

	Mevcut yapı		C16	C14	C12	C10	S360	S220
K301	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH
K302	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	IH
K303	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH
K304	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH
K305	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH
K306	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH
K307	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	BH	GB
K308	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	BH	BH
K309	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	IH
K310	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH
K311	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH
K312	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	BH	IH
K313	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	BH	BH
K314	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH
K315	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	BH	BH
K316	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	IH
K317	MH	Sünek	MH	MH	MH	MH	MH	BH

3.2. Sayısal Uygulamalara İlişkin Değerlendirmeler

Ülkemizde mevcut betonarme binaların büyük bölümünde deprem sonrasında gözle görülür bir miktarda hasar oluşmaktadır. Deprem sonrasında hasar gören binalar üzerinde yapılan çalışmalarda oluşan hasarın beton ve donatı dayanımındaki düşük kaliteden kaynaklandığı sıkça duyulan yorumlardan olmaktadır. Beton ve donatı kalitesindeki düşüklüğün bina performansına olan etkisini belirlemek üzere seçilen üç katlı betonarme bina üzerinde yapılan performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Basit eğilme etkisindeki çift donatılı dikdörtgen bir kesitte taşıma gücü momenti Denklem 2.1 yardımıyla belirlenebilir.

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \sigma'_s (d - d') \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde a kesitler için eşdeğer basıç bloğu derinliği olup, beton sınıfına bağlı olarak belirlenen k_1 katsayısına ve tarafsız eksen derinliğine (c) derinliğine bağlı olarak $a = k_1 c$ bağıntısı ile hesaplanmaktadır [29]. Bağıntıdaki diğer parametreler;

A_s : Çekme donatısı alanı

f_{yd} : Boyuna donatının tasarım akma dayanımı

A'_s : Basınc donatısı alanı

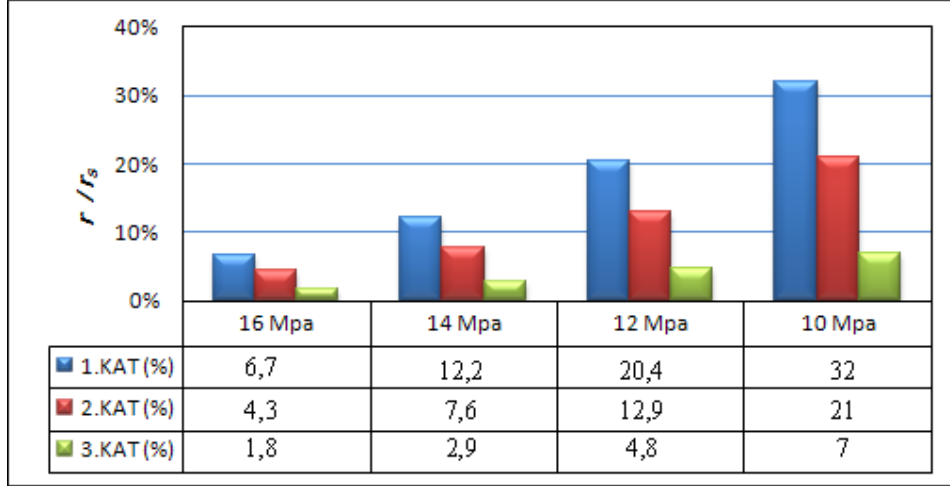
σ'_s : Basınc donatısındaki gerilme

d : faydalı yükseklik

d' : Beton örtüsü kalınlığı

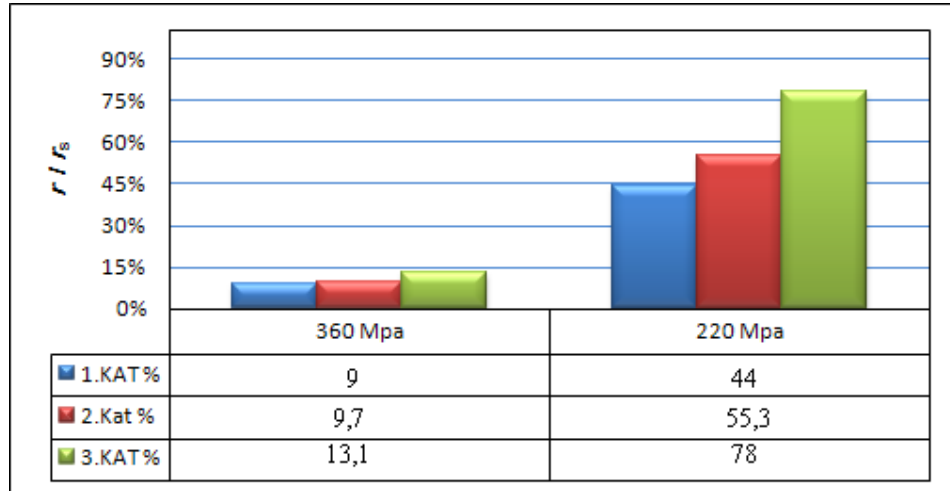
Denklem 3.1' de verilen bağıntıda kesitlere ait hesaplanan moment kapasitelerinde beton sınıfına bağlı parametre yalnızca $a = k_1 c$ olması, bu parametrenin de hesaplanan M_r değerini büyük ölçüde değiştirmemesi eğilme etkisindeki elemanların taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde donatıyı betona göre daha önemli kılmaktadır.

Mevcut yapı baz alınarak; beton basınc dayanımındaki düşüklüğün kolonlar üzerinde meydana getirdiği hasar oranındaki artış miktarı şekil 3.1.'de verilmektedir. Hasar oranlarının belirlenmesinde her kat için ortalama r / r_s değerleri dikkate alınmaktadır.



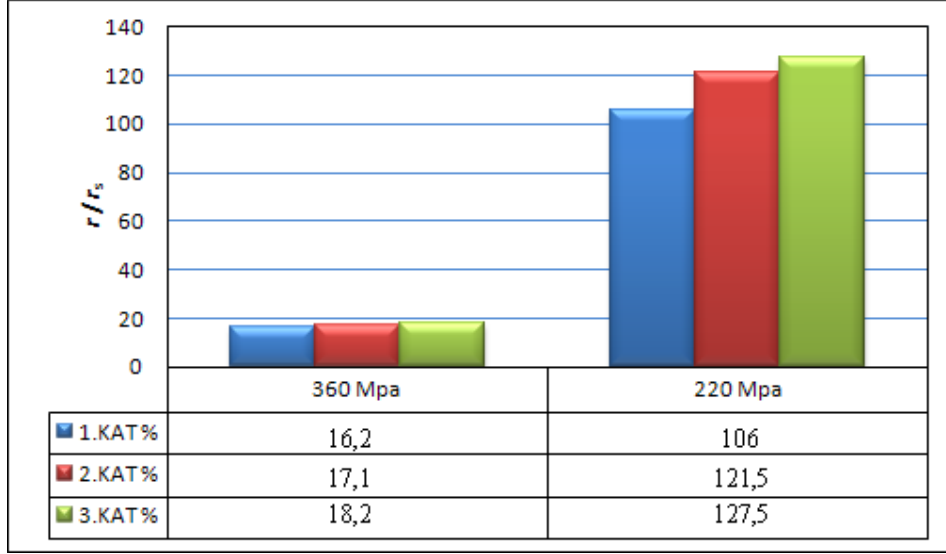
Şekil 3.1. Beton dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak kolonlarda meydana gelen hasar artışı (%)

Mevcut yapı baz alınarak; donatı akma dayanımındaki düşüklüğün kolonlar üzerinde meydana getirdiği hasar oranındaki artış miktarı şekil 3.2.'de verilmektedir. Hasar oranlarının belirlenmesinde her kat için ortalama r / r_s değerleri dikkate alınmaktadır.



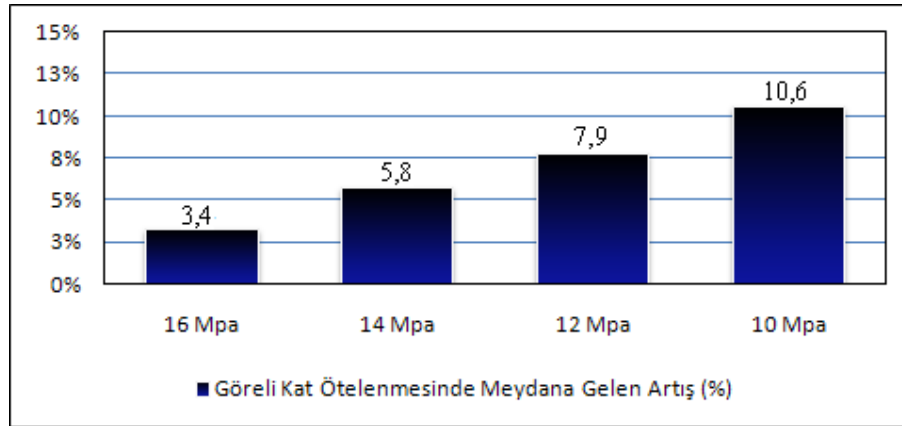
Şekil 3.2. Donatı dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak kolonlarda meydana gelen hasar artışı (%)

Mevcut yapı baz alınarak; donatı akma dayanımındaki düşüklüğün kirişler üzerinde meydana getireceği hasar oranındaki artış miktarı şekil 3.3.'de verilmektedir. Hasar oranlarının belirlenmesinde her kat için ortalama r / r_s değerleri dikkate alınmaktadır.



Şekil 3.3. Donatı dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak kirişlerde meydana gelen hasar artışı (%)

Beton elastisite modülünde meydana gelen değişimi göz önüne alarak hesaplanan görelî kat öteleme değerlerinin projesine göre inşa edilen yapıda elde edilen görelî kat öteleme değerine göre değişimi Şekil 3.4 verilmektedir.



Şekil 3.4. Beton sınıfındaki düşüklüğe bağlı olarak görelî kat ötelenmesinde meydana gelen artış (%)

Mevcut yapının performans hesabında kullanılan beton ve donatı dayanımına ait değerlerde meydana gelen değişmeye bağlı olarak yapı performansında meydana gelen değişim her bir durum için aşağıda verilmektedir.

- Mevcut yapı “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamaktadır.
- Beton basınç dayanımının 16 MPa’a düşmesi durumunda yapı “Can Güvenliği” performans seviyesini gevrek elemanların güçlendirilmesi koşulu ile sağlamaktadır.
- Beton basınç dayanımının 14 MPa’a düşmesi durumunda, alt ve üst bölgelerinde minimum hasar bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti dağılımı (% 40,5) % 30’u geçmesinden dolayı yapı “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamamaktadır.
- Beton basınç dayanımının 12 MPa’a düşmesi durumunda, alt ve üst bölgelerinde minimum hasar bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti dağılımı (% 50,9) % 30’u geçmesinden dolayı yapı “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamamaktadır.
- Beton basınç dayanımının 10 MPa’a düşmesi durumunda, alt ve üst bölgelerinde minimum hasar bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti dağılımı (% 62,7) % 30’u geçmesinden dolayı yapı “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamamaktadır.
- Donatı akma dayanımının 360 MPa’a düşmesi durumunda, yapı “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamaktadır.
- Donatı akma dayanımının 220 MPa’a düşmesi durumunda, göçme bölgesindeki kiriş hasar oranı (% 75) % 20’yi geçmesinden dolayı yapı “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlamamaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, projede öngörülen beton ve donatı dayanımlarının yapıda sağlanamaması durumunda bina performansının bu durumdan nasıl etkilendiğini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda dört farklı beton ve iki farklı donatı dayanımı dikkate alınarak üç katlı bir yapının performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan çıkartılan başlıca sonuçlar aşağıda sunulmaktadır:

1. Beton basınç dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak kirişlerin kırılma türlerinde dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir.
2. Beton basınç dayanımındaki düşüklüğün kolonların taşıma gücünde kirişlere göre daha olumsuz bir rol oynamıştır. Beton dayanımındaki düşüklük moment taşıma kapasitesinde azalmaya yol açtığı gibi yapının ani göçmesine yol açabilecek olan gevrek kırılmalara neden olmuştur. Mevcut yapıda kolonların tümünde sünek kırılma görülürken, beton dayanımı 16MPa'a düştüğünde kolonların % 8,33'ü, 14MPa'a düştüğünde % 19,44'ü, 12MPa'a düştüğünde % 36'sı, 10MPa'a düştüğünde ise % 58,33'ü gevrek kırılma durumuna düşmektedir.
3. Beton basınç dayanımında meydana gelen düşüklüğün bir başka olumsuz etkisi de donatı ile beton arasındaki aderans üzerinedir. Donatı ile beton arasında yeterli aderansın sağlanamaması, donatıda akma meydana gelmeden beton kırılmasına yol açarak birçok yapının depremde ağır hasarlar almasına neden olmaktadır.
4. Beton basınç dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak yapı genelinde kolonların hasar bölgelerinde meydana gelen değişiklik aşağıdaki gibidir. Mevcut yapıda kolonların % 16,66'sı BH, % 83,33'ü MH bölgesindedir. Beton dayanımında meydana gelen düşüklüğe bağlı olarak belirlenen hasar bölgeleri; 16MPa için % 55,55'i BH, % 44,44MH; 14MPa için % 61,11'i BH, % 38,88MH; 12MPa için % 66,66'sı BH, % 33,33MH; 10MPa için % 66,66'sı BH, % 33,33MH şeklinde gerçekleşmiştir.
5. Beton ve donatı dayanımında meydana gelen düşüklüğe bağlı olarak kolonlarda meydana gelen hasar artışı katlara göre farklılık göstermektedir.

6. Beton elastisite modülü beton dayanımındaki düşüklüğe bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu değişimi göz önüne alarak belirlenen görelî kat öteleme değerlerinde değişim belirlenmiştir. Mevcut yapı için belirlenen öteleme değerinde, 16 MPa için % 3,4, 14 MPa için % 5,8, 12 MPa için % 7,9, 10 MPa için % 10,6'lık bir artış meydana gelmektedir.
7. Donatı akma dayanımında meydana gelen değişmeye bağlı olarak kolon hasar bölgelerinde farklılık gözlenmektedir. Mevcut yapıda kolonların % 16,66'sı BH, % 83,33'ü MH bölgesindedir. Donatı dayanımının 360 MPa'a düşmesi durumunda kolonların % 41,66'sı BH, % 58,33'ü MH; 220 MPa'a düşmesi durumunda ise % 83,33'ü BH, % 16,66'sı MH bölgesinde kalmaktadır.
8. Donatı akma dayanımında meydana gelen değişmeye bağlı olarak kiriş hasar bölgelerinde farklılık gözlenmektedir. Mevcut yapıda kirişlerin % 60,78'i BH, % 39,21'i MH bölgesindedir. Donatı dayanımının 360 MPa'a düşmesi durumunda kirişlerin % 74,50'si BH, % 24,49'u MH; 220 MPa'a düşmesi durumunda ise % 47'si GB, % 27,45'i IH, % 25,49'u BH bölgesinde kalmaktadır.
9. Seçilen üç katlı betonarme bina üzerinde beton ve donatı dayanımında meydana gelen düşüklüğü göz önüne alarak gerçekleştirilen performans analizlerinde, bazı durumlar için hedeflenen performans düzeyinin sağlanamadığı görülmüştür.
10. Seçilen üç katlı betonarme bina üzerinde elde edilen yapı hasarları kat sayısının artması, donatı ve betona ait parametrelerde meydana gelebilecek olumsuzlukların yapıda aynı anda bulunmasına durumunda büyük değerlere ulaşacaktır.
11. Ülkemizde son yıllarda meydana gelen ve birçok can ve mal kaybına neden olan yapı hasarlarında malzeme kalitesindeki düşüklüğün önemli oranda rol oynadığı bu çalışmadan da görülmüştür. Bunun önüne geçmek için betonda yeterli kalitenin sağlanması ve projede donatıya ait detay ve diğer özelliklerin eksiksiz bir şekilde yapıya uygulanması gereklidir.

5. KAYNAKLAR

1. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1998.
2. DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007
3. Uygun, G., Celep, Z., Betonarme bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği (2007) deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi, İstanbul, 2007.
4. ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California, 1996.
5. FEMA-273, Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, 1997.
6. FEMA-356, Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, 2000.
7. FEMA-440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency, 2005.
8. Eurocode-8, Design of Structures for Earthquake Resistance Part 3: Strengthening and Repair of Buildings, Brussels, 2005.
9. Özer, E., Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme, Ders Notları, 2005.
10. TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
11. Özer, E., Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde 2007 Türk Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı, 2008.
12. TS-10465, Beton Deney Metotları- Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini, T.S.E., 1992.
13. Sucuoğlu, H., Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Adana Şubesi, 2008.
14. Genç, M., Farklı Yapısal Özelliklere Sahip Betonarme Yapıların Çeşitli Çözüm Yöntemleriyle Performansa Dayalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
15. Özer, E., Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri, Ders Notları, 2008.

16. Aydın, İ., Betonarme Binaların Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, C.B.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2006.
17. Iancovici, M., Fukuyama, H., Kusunoki, K., The Assessment of The Reinforced Concrete Building Structures Based on The Seismic Performance Concept, 5.th International Congress on Advances in Civil Engineering, İ.T.Ü., İstanbul, 2002.
18. İrtem, E., Türkler, K., Hasgöl, U., Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, 6. Uluslar Arası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, ACE- 2004, Boğaziçi Üniversitesi, 2004, İstanbul, 442-45.
19. Arel, H. Ş., Performansa Dayalı Sismik Tasarımda Betonarme Yapıların Süneklik Düzeylerinin Yapı Performansına Katkısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü., Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
20. İrtem, E., Türker, K., Hasgöl, U., Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, Deprem Sempozyumu, 2005.
21. Aydinoğlu, M. N., Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi, 2006.
22. Sucuoğlu, H., Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi, 2008.
23. Kocaman, C., Güçlendirme Yönetmeliği, Deprem Araştırma Daire Başkanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2008.
24. Erenler, A., Depreme Dayanıklı Betonarme Yapı Tasarımı-1, İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi, 2007.
25. STA4-CAD V11, Çok Katlı Betonarme Yapıların Analiz ve Tasarımı, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti, İstanbul, 2004.
26. Sta4-, Güçlendirme Prosedürü, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti, İstanbul, 2009.
27. İdecad 5 Enterprise 5.510 Versiyonu Kullanma Kılavuzu, İstanbul, 2007.
28. TS-498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
29. Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Onur ARAZ, 1984 yılında Gümüşhane’de doğdu. Lise eğitimini Gümüşhane Lisesi’nde tamamladı. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazandı. 2003 yılında bölümler arası geçişle İnşaat Mühendisliği bölümüne geçiş yaptı. 2006 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, aynı yıl, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Bekar olan ARAZ İngilizce bilmektedir.