

**MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN 2007 DEPREM
YÖNETMELİĞİNE GÖRE PERFORMANSININ
BELİRLENMESİ VE BİR GÜÇLENDİRME ÖNERİSİ**

Halime ÇAKAR

**Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU
MART-2015**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN 2007 DEPREM
YÖNETMELİĞİNE GÖRE PERFORMANSININ
BELİRLENMESİ VE BİR GÜÇLENDİRME ÖNERİSİ

Yüksek Lisans Tezi

HALİME ÇAKAR
(091125105)

Anabilim Dalı: Yapı Eğitimi

Programı: Yapı Eğitimi

Danışman: Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

MART -2015

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN 2007 DEPREM
YÖNETMELİĞİNE GÖRE PERFORMANSININ
BELİRLENMESİ VE BİR GÜÇLENDİRME ÖNERİSİ**

Halime ÇAKAR
(091125105)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Savunulduğu Tarih:

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU (F.Ü.)**

Diğer Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. Teoman AKSOY (F.Ü.)**

Doç. Dr. Yüksel ESEN (F.Ü.)

MART –2015

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca başta her türlü desteğini esirgemeyen, verdiği akademik bilgilerle üzerinde çalıştığım tezin bu aşamaya gelmesinde büyük emeği olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU' na, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Halime ÇAKAR

Elazığ-2015

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET V	
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLOLAR LİSTESİ	IX
KISALTMA LİSTESİ.....	X
SİMGE LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	13
2. PERFORMANS KAVRAMI	17
2.1. Performans Düzeyleri	17
2.1.1. Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK).....	17
2.1.2. Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG).....	17
2.1.3. Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ).....	18
2.1.4. Göçme Durumu	18
2.2. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri.....	19
3. 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRİLMESİ.....	21
3.1. Binalardan Bilgi Toplanması.....	21
3.2. Bilgi Düzeyleri.....	22
3.2.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi.....	22
3.2.2. Betonarme Binalarda Orta Bilgi Düzeyi	23
3.2.3. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi	23
3.3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri	24
3.3.1. Kesit Hasar Sınırları	24
3.3.2. Kesit Hasar Bölgeleri.....	24
4. GÜÇLENDİRİLMESİ YAPILACAK BİNANIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ	25
4.1. Binanın Genel Özellikleri.....	25
4.2. Binadan Toplanan Bilgiler.....	26
4.3. STA4CAD V13.1 Programı Kullanılarak Yapının Modellenmesi	27
4.4. Sta4CAD V13.1 Programı Kullanılarak Yapının Deprem Performansının Belirlenmesi	27

4.4.1. Deprem Yüklerinin Belirlenmesi.....	28
4.4.2. Düzensizliklerin İrdelenmesi	31
4.4.2.1. Planda düzensizlik durumlarının irdelenmesi	31
4.4.2.2. Düşey doğrultuda düzensizlik durumlarının irdelenmesi	33
4.4.5. Görelî kat öteleme kontrolü	39
4.4.6. Kolonların Performans Değerlendirilmesi	39
4.4.7. Kolon Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Kontrolü.....	50
4.4.8. Kirişlerin Performans Değerlendirilmesi	51
4.4.9. Bina Performansının Belirlenmesi	52
5. MEVCUT BİNANIN GÜÇLENDİRME ÖNERİSİ	53
5.1. Sta4Cad Paket Programı ile Analiz ve Bina Güçlendirme Önerisi	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ	64
EKLER	65

ÖZET

Bu çalışmada, 1975 yılında yapılmış mevcut çerçeve sistemli betonarme bir binanın 2007 deprem yönetmeliğine göre performans analizi yapılarak güçlendirme önerisi yapılmıştır. Bu kapsamda “2007 deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliği” bölüm 7’ye göre konut türü yapılar için öngörülen “Can Güvenliği” performans seviyesi araştırılmıştır.

Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, mevcut donatılar girildikten sonra beton kalitesine göre yapı tanımlanmış ve yapının kapasitesi ortaya çıkartılmıştır. Bunun için yapı elemanlarının hasar durumu belirlenmiştir. Elemanlarda oluşacak hasarın sınıflandırılması için hasar sınırları belirlenmiştir. Yapıdaki bütün elemanların hasarı belirlendikten sonra, yapı içindeki hasar dağılımına ve oranına göre yapının performansı ortaya çıkarılmıştır.

İkinci aşamada ise yapı Sta4Cad v13.1’de “Deprem Yapı Güçlendirme Projesi” seçeneğinden “Çatlamış kesite göre analiz” seçeneği ve bütün yapının mevcut malzemesi E2 olarak seçilerek, mevcut malzeme dayanımları seçilmiştir. Yapılan performans analizi sonucunda, bazı kolonlarda kesit yetersizliği, kesme güveliği yetersizliği ve kuşatılmış kolon kontrolünü sağlamayan taşıyıcı kolon elemanları tespit edilmiştir. Bu kolonlar mevcut yapıda güçlendirilmesi gereken gevrek elemanlardır. Bu elemanların kesme kapasite yetersizliği nedeniyle bina sisteminin iyileştirilmesine yönelik güçlendirme önerisine gidilmiştir. Güçlendirme önerisi için, programa ait deprem yapı güçlendirme projesi opsiyonunda, yapılacak takviye elemanlar için panel ve manto opsiyonları seçilmiştir. Yapı performans analizi Sta4Cad v13.1’de tekrar yapılmış ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapıdaki düzensizlikler ve kolon kapasiteleri kontrol edilmiştir.

Bu çalışma sonunda yapının “Can Güvenliği” performans seviyesini karşıladığı görülmüş ve yapı için alternatif bir güçlendirme önerisi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 2007 Deprem yönetmeliği, Mevcut bina performans değerlendirmesi, Bina güçlendirilmesi, Hasar düzeyi, Can güvenliği

SUMMARY

The Determination of the performance of an existing Reinforced Concrete Building According to the 2007 Earthquake Regulations and a Recommendation of Strengthening

In this study, conducted in 1975 existing reinforced concrete building frame system performance analysis performed according to the regulations of the 2007 earthquake retrofit is proposed. In this context, the "2007 Ordinance on Buildings in Earthquake Zone" section according to the type of housing structures envisaged for 7 "Life Safety" performance level was investigated.

The study consists of two stages. In the first step, with existing reinforcement of concrete structures defined by the quality and capacity of the structure was revealed. Construction elements for this damage, was determined. Damage will occur in the classification of elements was determined to limit the damage. After determining all the elements in the structure of the damage, structure damage in the distribution and performance according to the rate structure was uncovered.

In the second stage structure v13.1 Sta4CAD in "Earthquake Building Retrofit Project " option from the " cracked -section analysis based " option and selecting all construction material present as E2, the current strength of materials are selected. As a result of analysis of performance, while maintaining control of the colon beset packing column elements are determined. These columns are brittle elements in the current structure needs to be strengthened. Cutting capacity due to lack of this element for the improvement of building systems to strengthen the recommendations have been made. Recommendations for strengthening the program structure of the seismic strengthening project option, the option will be reinforcing elements are selected for the panel and mantle. V13.1 Sta4CAD performance analysis structure in accordance with the results obtained in the rebuilt structure and the data are checked for irregularities, and the column capacity.

At the end of this study, do the " Life Safety" have been shown to meet the performance level and a strengthening of alternative proposals for the structure is given.

Keywords : Turkish Seismic Design Code 2007, Performanceevaluation of theexistingbuilding, strengthening the level of damage , life safety

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Kesit Hasar Bölgeleri	23
Şekil 4.1. Binanın 3 Boyutlu Görüntüsü	24
Şekil 4.2. Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu [TDY-2007]	30
Şekil 4.3. Normal Kat Planı	35
Şekil 4.4. -X Deprem Yönü Zemin Kat Kolon Hasar Durumu	39
Şekil 4.5. +X Deprem Yönü Zemin Kat Kolon Hasar Durumu	39
Şekil 4.6. -Y Deprem Yönü Zemin Kat Kolon Hasar Durumu	40
Şekil 4.7. +Y Deprem Yönü Zemin Kat Kolon Hasar Durumu	40
Şekil 4.8. -X Deprem Yönü 1. Kat Kolon Hasar Durumu	41
Şekil 4.9. +X Deprem Yönü 1. Kat Kolon Hasar Durumu	41
Şekil 4.10. -Y Deprem Yönü 1. Kat Kolon Hasar Durumu	42
Şekil 4.11. +Y Deprem Yönü 1. Kat Kolon Hasar Durumu	42
Şekil 4.12. -X Deprem Yönü 2. Kat Kolon Hasar Durumu	43
Şekil 4.13. +X Deprem Yönü 2. Kat Kolon Hasar Durumu	43
Şekil 4.14. -Y Deprem Yönü 2. Kat Kolon Hasar Durumu	44
Şekil 4.15. +Y Deprem Yönü 2. Kat Kolon Hasar Durumu	44
Şekil 4.16. -X Deprem Yönü 3. Kat Kolon Hasar Durumu	45
Şekil 4.17. +X Deprem Yönü 3. Kat Kolon Hasar Durumu	45
Şekil 4.18. -Y Deprem Yönü 3. Kat Kolon Hasar Durumu	46
Şekil 4.19. +Y Deprem Yönü 3. Kat Kolon Hasar Durumu	46
Şekil 4.20. -X Deprem Yönü 4. Kat Kolon Hasar Durumu	47
Şekil 4.21. +X Deprem Yönü 4. Kat Kolon Hasar Durumu	47
Şekil 4.22. -Y Deprem Yönü 4. Kat Kolon Hasar Durumu	48
Şekil 4.23. +Y Deprem Yönü 4. Kat Kolon Hasar Durumu	48
Şekil 4.24. S115 Kolonunun Kuşatılma Kontrolü	50
Şekil 5.1. Mevcut binanın Sta4Cad 3D modeli	53
Şekil 5.2. Güçlendirme Proje Opsiyonları	54
Şekil 5.3. Bina Güçlendirme Kalıp Planı	56
Şekil 5.4. Güçlendirilmiş Bina 3D Modeli	57

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri	20
Tablo 3.1. Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları.....	22
Tablo 4.1 Binaya Ait Röleve Bulguları	26
Tablo 4.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceğı Binalar [TDY-2007]	28
Tablo 4.3.Binanın Kat Kütlesi.....	29
Tablo 4.4. Hareketli Yüğü Katılım Katsayısı (n)	29
Tablo 4.5. Katlara Etkiyen Deprem Kuvvetleri	30
Tablo 4.6. X Doğrultusundaki A1 Düzensizliklerinin Kontrolü ($\pm\%5$)	32
Tablo 4.7. Y Doğrultusundaki A1 Düzensizliklerinin Kontrolü ($\pm\%5$)	32
Tablo 4.8. A2 Döşeme Sürekliliğı	33
Tablo 4.9. X Doğrultusunda Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliğı	33
Tablo 4.10. Y Doğrultusunda Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliğı	34
Tablo 4.11. X Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğı($\pm\%5$)	34
Tablo 4.12. Y Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğı($\pm\%5$)	35
Tablo 4.13. Kirişlerin Kapasite Tablosu.....	37
Tablo 4.14. Mevcut Donatılara Göre Kolonların Kapasite Tablosu.....	37
Tablo 4.15. Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (rs)	38
Tablo 4.16. Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (rs)	38
Tablo 4.17. Göreli Kat Ötelemesi Oranları.....	39
Tablo 4.18. Kirişlerin hasar yüzdeleri	52
Tablo 4.19. Kolon Kesme Kuvveti Dağılımı	52
Tablo 4.20. Can Güvenliğini Sağlamayan Elemanların Dağılımı	52
Tablo 5.1. Güçlendirilmiş Bina Göreli Kat Öteleme Kontrolü	58
Tablo 5.2. Kiriş Hasar Yüzdeleri	59
Tablo 5.4. Alt ve Üst Kesitlerinde Minimum Hasar Bölgesini Aşan Kolonların Kesme Kuvveti Dağılımı.....	59
Tablo 5.5. Can Güvenliğini Sağlamayan Eleman Dağılımı	59
Tablo 5.6. Güçlendirilmiş Bina Performans Sonucu.....	60

KISALTMA LİSTESİ

CG	: Can Güvenliği Performans Düzeyi
TDY'07	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi Performans Düzeyi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım Performans Düzeyi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
TS500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

SİMGE LİSTESİ

Ac	:Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
Asw	:Enine donatı alanı
Ao	:Etkin Yer ivmesi Katsayısı
A(T)	:Spektral ivme Katsayısı
bw	:Kirişin gövde genişliği
fck	:Karakteristik beton dayanımı
fcu	:Mevcut beton dayanımı
fcd	:Betonun tasarım çekme dayanımı
fyd	:Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
fyk	:Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
fywd	:Enine donatının tasarım akma dayanımı
fywk	:Enine donatının karakteristik akma dayanımı
fctm	:Karakteristik beton çekme dayanımı
g	:Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s ²)
H	:Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
h	:Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
Hcr	:Kritik perde yüksekliği
H w	:Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde Yüksekliği
I	:Bina Önem Katsayısı
ln	:Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği
lw	:Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
mi	:Binanın i'inci katının kütlesi ($m = w / g$)
n	:Hareketli Yük Katılım Katsayısı
r	:Etki/kapasite oranı
Ra(T)	:Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
rs	:Etki/kapasite oranının sınır değeri
s	:Enine donatı aralığı
S(T)	:Spektrum Katsayısı
TA ,TB	:Spektrum Karakteristik Periyotlar
Tx	:X yönü bina Periyodu
Ty	:Y yönü bina Periyodu

V_c	:Betonun kesme dayanımına katkısı
V_{cr}	:Beton eğik çatlama dayanımı
V_{dy}	:Kirişin herhangi bir kesitinde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti
V_e	:Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
V_r	:Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
V_t	:Binaya etkiyen toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
V_{tx}	:X deprem yönü toplam taban kesme kuvveti
V_{ty}	:Y deprem yönü toplam taban kesme kuvveti
V_w	:Etriyenin kesme dayanımına katkısı,
W	:Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
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
η_{bi}	:i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
η_{ci}	:i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
η_{ki}	:i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
λ	:Eşdeğer Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
d	:Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
ρ	:Kesitteki çekme donatısı oranı
ρ'	:Kesitteki basınç donatısı oranı
$b\rho$	:Mevcut malzeme dayanımlarını kullanarak hesaplanan kesit dengeli donatı oranı
$\emptyset$	:Donatı çapı

1. GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler sonrasında, mevcut yapı stokumuzun önemli bir bölümünün deprem güvenliğinin ne denli yetersiz olduğunu ortaya çıkarmıştır. Meydana gelen depremlerin büyüklüklerine oranla yapılarda daha fazla hasar, can ve mal kaybı olmuştur. Bu durum üzerinde yapılan araştırmalarda , ülkemizde inşa edilen yapıların önemli bir bölümünün depreme karşı yeterli güvenliği sağlamadığı ortaya çıkmıştır. [1]

Deprem yükleri etkisi altında betonarme yapıların taşıyıcı elemanlarında yapısal hasarlar meydana gelmektedir. Yapı güvenliğini yeniden sağlamak için, 2007 deprem yönetmeliğine uygun olmayan yapılarda hasar görmemiş sistemlerin de güçlendirilmesi, son yıllarda zorunlu olarak uygulama alanı bulmuştur. Bunun temel nedeni ise, seçilmiş olan taşıyıcı sistemin tasarım kurallarına uymayarak düzenlenmesi, yapım hataları ve genelde yerinde ölçümler ile elde edilen beton dayanımlarının, proje dayanımının çok altında olmasıdır. [1-2]

Bu çalışmada, konu ile ilgili literatürler ve bilimsel araştırma yöntemleri esas alınarak incelenmiştir. Depreme karşı güçlendirilecek yapının projeye uygunluğunun tespiti, beton ve çelik sınıfının belirlenmesi, proje ve zemin etütleri göz önüne alınarak ön çalışmalar yapılmıştır. Mevcut yapının statik ve dinamik analizini yapan, bir paket program ile modellendikten sonra tüm kolon, kirişlerin beton ve çelik karakteristik değerleri ile elastisite modülü tanımlanmıştır. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik göre yapıda tespit edilen yetersiz taşıyıcı elemanların güçlendirmesi ele alınarak mevcut kolonların ve perde duvarın bir kısmının mantolanması, tercih edilmiştir. [3]

Söz konusu çalışmalardaki, uygulamalar, çözüm önerileri ve sonuçlar bir bütün halinde değerlendirilmiştir.

Binaların güçlendirmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda bina performansının doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan yöntemler ile yöntemlerle belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

○ Cihat YILDIRIM 'ın çalışması

Bu çalışmada, 8 katlı konut türü mevcut bir perdeli-çerçeveveli betonarme yapının TDY-2007'de verilen doğrusal elastik yöntemlerden 'Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi' kullanılarak performans analizi yapılmıştır. Bu yapının konut türü yapılar için " (TDY-2007) (Bölüm-7)'de öngörülen 'Can Güvenliği' performans seviyesini sağlamadığı saptanmış ve bir güçlendirme önerisi sunulmuştur. [4]

○ Okan KÖSE'nin çalışması

Bu çalışmada, 1975 Deprem Yönetmeliğine göre beş kata kadar projelendirilmiş ve uygulamada üç katı yapılmış binaya ilave iki kat yapılması durumunda 2007 deprem yönetmeliğine göre güçlendirme önerisi yapılmıştır. Mevcut yapının statik ve dinamik analizini yapan, Sta4Cad v13.1 paket programı ile modellendikten sonra tüm kolon, kirişlerin beton ve çelik karakteristik değerleri ile elastisite modülü tanımlanmıştır. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik göre yapıda tespit edilen yetersiz taşıyıcı elemanların güçlendirmesi ele alınarak mevcut kolonların bir kısmının mantolanması, öngörülen açıklıklara ve dış akslarda bina dışına doğru her iki yönde betonarme perde duvar ilavesi tercih edilmiştir. Söz konusu çalışmalardaki, uygulamalar, çözüm önerileri ve sonuçlar bir bütün halinde değerlendirilmiştir. [5]

○ İBRAHİM ÖZGÜR'ün çalışması

Bu çalışmada betonarme yapılardaki taşıyıcı elemanların güçlendirilmesi için mantolama tekniğı kullanılmıştır. Bu yöntemde güçlendirme gereken elemanların etrafına yeni bir eleman teşkil edilir. Bu amaç doğrultusunda yapıda bulunan hasarlı ve kesitleri yetersiz olan kolonlar, kirişler, perdeler ve temel sistemi lokal veya genel olarak güçlendirilir. Değişik perde düzeni için sistem STA4CAD paket program yardımıyla çözümlenerek bu elemanlara gelen kesit tesirleri tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Sonuç kısmında güçlendirme için yapılacak genel çalışma verilerek statik sistem için seçilecek en uygun güçlendirme modeli verilmiştir. [6]

○ Fatih ALTUN'nun çalışması

Bu çalışmada, 1999 Marmara Depremi sonucunda orta hasarlı ve 6 katlı betonarme karkas bir yapıda, yapılan güçlendirme çalışmaları aşamaları verilmiştir. Çalışmada, hasar noktaları tespit edilmiş, mevcut projenin yerinde ve laboratuvarında elde edilen zemin ve beton dayanımı deney sonuçları ile donatı düzeni bilgilerine göre, statik çözümü yapılmıştır. Çözüm sonucunda, statik sistemin rölatif kat deplasmanlarının çok yüksek oluşu nedeniyle, rijitlik artırılarak oluşan rölatif kat deplasmanlarının azaltılması için "kolon mantolama +perdeleme" sistemi ile takviye çalışmasına gidilmiştir. Bu çözüm yöntemi ile rölatif kat deplasmanları azalmış ve kolonlara gelen kesme kuvvetleri de büyük oranda perdeler tarafından aktarıldığı için, yapı güvenliği yeniden sağlanabilmiştir . [7]

○ Ferhat KIRAN'nın çalışması

Bu tez çalışmasında birinci örnek yapıda TDY-2007 yönetmeliğine göre tasarlanmış bir binada Doğrusal Elastik Hesap yöntemlerinden Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. İkinci örnek yapıda ise Doğrusal Elastik Hesap yöntemlerinden Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi Yöntemi kullanılmıştır. Bölüm 7 deki değerlendirme kuralları çerçevesinde örnek binaların deprem performansı belirlenmiştir. Analiz için SAP2000, Xtract V.3.08, STA4CAD V.11 programları kullanılmıştır. [8]

○ İsmet Semih ATEŞ'in çalışması

Bu çalışmada mevcut yapıların performans analizinin çeşitli paket programların güvenilirliği, yönetmelik hükümleri ile uyumluluğu araştırılmıştır. Çalışmada STA4-CAD, ETABS gibi yapıların tasarımını mühendisler için kolaylaştıran programların güçlendirme çalışmalarındaki performansları 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. [9]

○ Safiye MURAT'ın çalışması

Bu tez çalışmasında, 2 katlı mevcut bir okul binasının düzenli bir aks sistemine sahip, taşıyıcı sistemi perdeli-çerçeveveli betonarme yapının TDY-2007'de verilen

Doğrusal Elastik yöntemlerden “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılarak performans analizi yapılmıştır. [10]

○ Hüseyin AKYILDIZ ‘ın Çalışması

1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşa edilen mevcut bir yapının deprem güvenliğinin kontrolü ve güçlendirme çalışması yapılmıştır. Bu mevcut yapının 2007Deprem Yönetmeliğinin şart ve gereklerini karşılayabiliyor mu, bu yapılar eski yönetmeliğe tam uyularak inşa edilmiş olsalar bile güçlendirme çalışması gerekiyor mu gibi soruların cevaplarını bulmak içindir. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre yapının taşıyıcı sistemi 2007 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak projelendirildikten sonra uygun inşa edildiği koşulu ile statik itme analizi tekrarlanmıştır. Yeni analiz sonuçlarına göre güçlendirme çalışması yapılmış ve bu çalışmanın yeterli olup olmadığını araştırmak için statik itme analizi yeniden uygulanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.[11]

○ BİLAL YÖRÜKCÜ’ün çalışması

Yapı maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı hasar görmüş veya olumsuz yönde kullanım fonksiyonuna sahip yapıları yıkmamanın ekonomik olmadığı ve bu yapıların onarım ve güçlendirilmesi yoluna gidilmesinden bahsetmektedir. Ülkemiz ve dünyada olan büyük depremlerden sonra onarım ve güçlendirme yöntemleri büyük ölçüde gelişerek, yönetmeliklerde yer almış bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada betonarme bir yapının çelik elemanlarla güçlendirilmesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçların söz konusu yapının deprem davranışını karşıladığı görülmüştür.[12]

○ HAKAN TONYALI’nın çalışması

Ülkemiz topraklarının büyük bir kısmı 1. derece deprem kuşağındadır ve sık sık büyük ölçekli depremlerle sarsılmaktadır. Depremlerde zarar gören yapıların yerine yenilerinin yapılmasının gerektirdiği zaman ve para kaybı düşünüldüğünde depreme dayanıklı yapı yapmak kadar mevcut yapıların güçlendirilmesinin de üzerinde çalışılması gereken önemli bir konu olduğu anlaşılır.Oluşan hasarların hepsi doğru güçlendirme yöntemi ile düzeltilebilir. Yeni yapılacak yapıların da doğru kaideler ve sorumluluk bilinciyle yapılması ile deprem sorunu çözülecektir.[13]

2. PERFORMANS KAVRAMI

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 (düzeyleri) ile tanımlanır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir. Bu bölümde bina önem katsayısının kullanılması yerine çok seviyeli performans kavramları kullanılır. [3,14]

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile bağlantılıdır ve dört farklı hasar durumu esas alınmıştır.

2.1. Performans Düzeyleri

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007’de dört farklı bina deprem performans seviyeleri *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*, *Can Güvenliği Performans Düzeyi*, *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*, *Göçme Durumu* olarak verilmiştir.

2.1.1. Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK)

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda (diğer taşıyıcı elemanlarının tümü *Minimum Hasar Bölgesi*’nde olmak şartı ile) kirişlerin en fazla %10’u *Belirgin Hasar Bölgesi*’ne geçebilir. Eğer gevrek olarak hasar gören elemanlar var ise güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*’nde olduğu kabul edilir.

2.1.2. Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG)

Yapılar kullanabilir düzeydedir. Taşıyıcı sistemde hasar yoktur. Çerçeve arasındaki dolgu duvarlarda X şeklinde çatlaklar mevcuttur. Yapıda yatay deplasmanın kat yüksekliğine oranı 1/200-1/350 arasındadır

Hasarlar, sıva çatlakları, pencere-cam kırılmaları, taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşan çatlaklardan ibaret ise, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile binaların *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir. Onarım yapılarak kullanılır.

2.1.3. Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ)

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yükleri taşımak için yeterlidir, ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Bu durumdaki binalar *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'ndedir.

2.1.4. Göçme Durumu

Bu seviye taşıyıcı sistemin güç tükenmesi sınırında bulunması durumuna karşı gelir. Yatay kuvveti karşılayan sistemde önemli hasarlar oluşmuş olup, yanal rijitlik ve dayanımda azalmalar başlamıştır. Buna rağmen düşey yük karşılamaya devam etmektedir.

Binanın tümünde stabilite olmasına rağmen, düşen parçalardan dolayı binanın içinde ve dışında önemli yaralanma tehlikesi bulunmaktadır. Artçı depremlerin meydana gelmesiyle bina yıkılabilir. Bu tür binalarda genellikle güçlendirme teknik ve ekonomik açıdan kabul edilebilir değildir.

Sonuç itibarıyla bina, *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'ni sağlayamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır.

2.2. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

2.2.1. Yeni yapılacak binalar için ivme spektrumu

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değeriendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere ayrıca aşağıda belirtilen iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır:

- ❖ 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, spektrumun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır.
- ❖ 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise ordinatlarının yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri

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

3.2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRİLMESİ

Deprem güvenliği değerlendirilecek mevcut bir binada yapılacak olan durum saptaması çalışmalarının temel hedefi binayı tanımaktır. TDY-2007 Bölüm 7’de [3] ‘*Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi*’ ana konu başlıkları özetle şu şekildedir;

- * Binalardan bilgi toplanması
- * Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri,
- * Deprem hesabına ilişkin genel ilke 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

3.1. Binalardan Bilgi Toplanması

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.

3.2. Bilgi Düzeyleri

TDY-2007 bölüm 7.2.2’de [3] binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre “sınırlı”, “orta” ve “kapsamlı” olmak üzere üç farklı düzeyde olup her düzey için Tablo 3.1.’de verilen katsayılar öngörülmüştür. Bilgi düzeyi sınırlıdan kapsamlıya doğru gittikçe bilgi düzey katsayısı artmaktadır. Buna paralel olarak da binadan toplanan malzeme, taşıyıcı sistem ve temele ait veriler nitelik ve nicelik yönünden artmaktadır

Tablo 3.1. Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları 0

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

3.2.1. 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. 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. 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 olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her katta kolonlardan veya perdelerden TS-10465’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.

3.2.2. 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 dolgu duvarlarının her kattaki yerini, açıklıklarının, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir.

Eleman Detayları: Pas payları sıyrılarak donatı kontrolü yapılacak perde, 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. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile 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) alınarak deney yapılacaktır. 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 edilecektir. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

3.2.3. 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 sayılacak ve bina orta bilgi düzeyine uygun olarak incelenecektir.

Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolü yapılacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile 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) alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir.

3.3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri

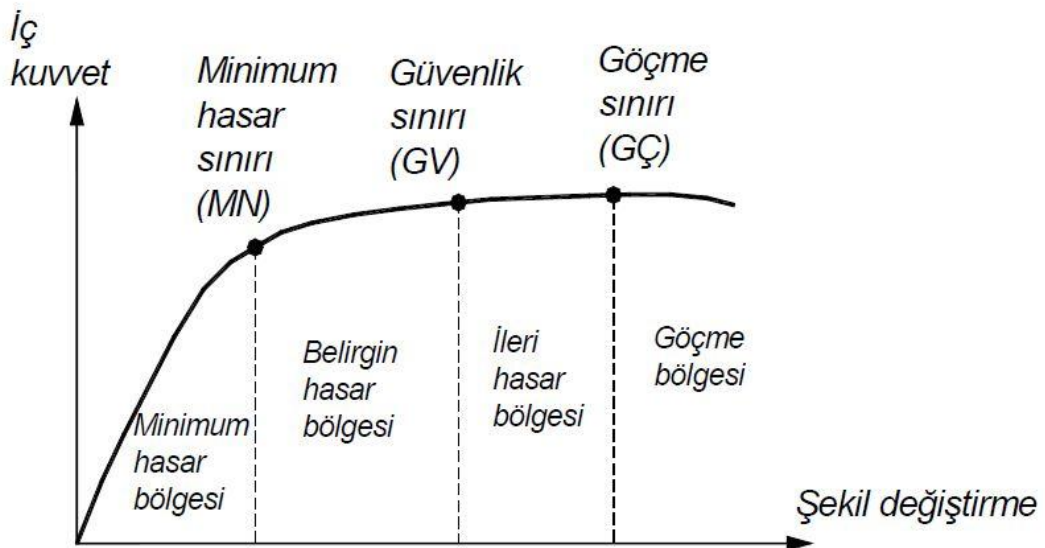
3.3.1. Kesit Hasar Sınırları

TDY-2007 bölüm 7.3’de sünnek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)’dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

3.3.2. Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitleri hesap bölgelerine göre sınıflandırılmış olup Şekil 3.1.’ de bu 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.

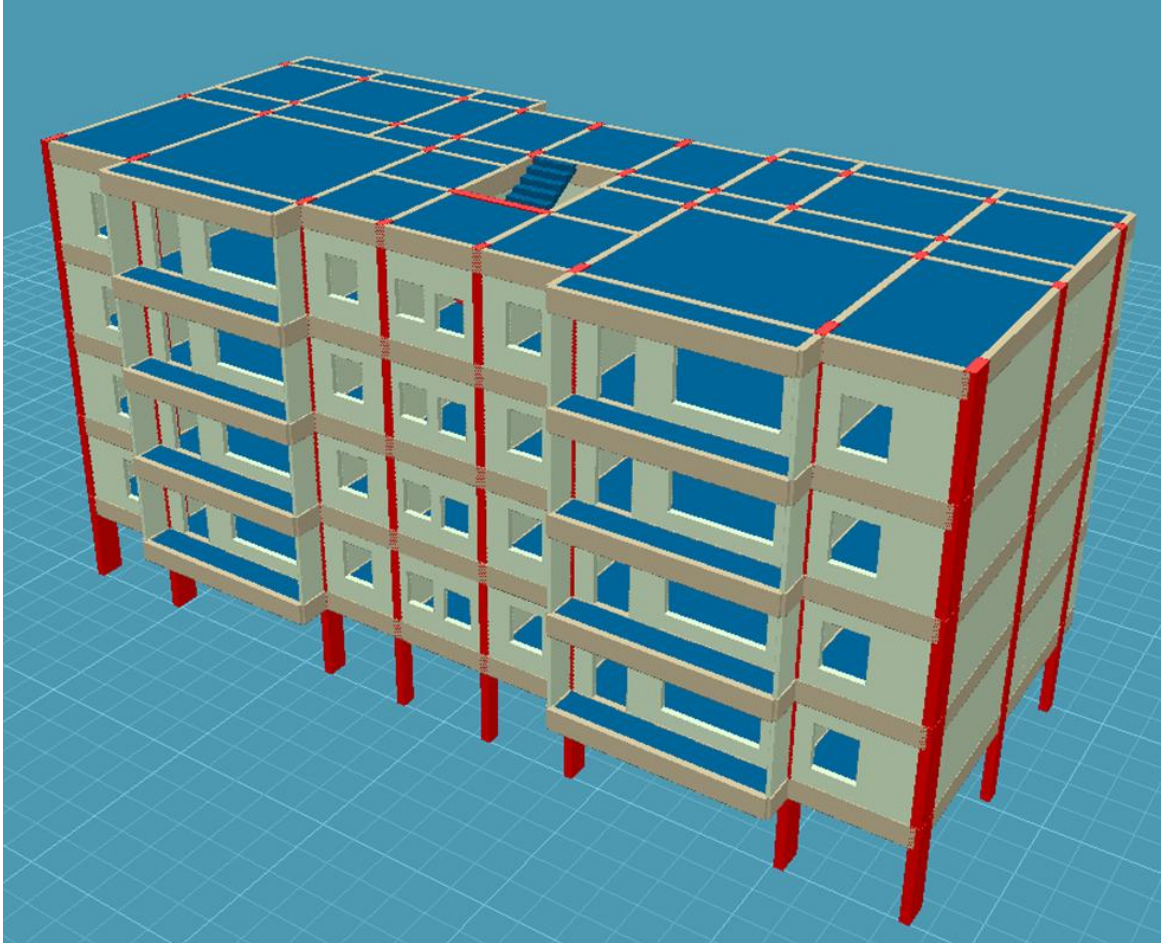


Şekil 3.1. Kesit Hasar Bölgeleri

4. GÜÇLENDİRİLMESİ YAPILACAK BİNANIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

4.1. Binanın Genel Özellikleri

Bina 1975 yılında inşa edilmiş olup, Fırat Üniversitesi Veteriner fakültesi lojmanlarına aittir. yapılmış betonarme karkas yapı olup, Zemin+ 4 Normal kat olarak inşa edilmiştir. İncelenen yapı 1975 Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış olup, düşey taşıyıcı elemanları çerçeve yapı tipindedir. Binaya ait herhangi bir nedenden dolayı güçlendirme yapılmamıştır.



Şekil 4.1. Binanın 3 Boyutlu Görüntüsü

4.2. Binadan Toplanan Bilgiler

Yerinde yapılan incelemeler sonucunda sisteme ait bir takım parametreler elde edilmiştir.

Tablo 4.1 Binaya Ait Röleve Bulguları

Kat Adedi	5
Kat yüksekliği	2.80 m
Döşeme kalınlığı	14 cm
Döşemelerde sıva + kaplama ağırlığı	0.562 t/m ²
Hareketli yükler	0.32 t/m ²
	Merdiven 0,702 t/m ²
Ölü Yük:	0.727 t/m ²
Dış duvar kalınlığı	19 cm
Dış duvar malzemesi	Delikli tuğla (20/20/19 cm)
Dış duvar birim ağırlığı	1.52 t/m
İç duvar kalınlığı	13 cm
İç duvar malzemesi	Delikli tuğla (20/20/13 cm)
İç duvar birim ağırlığı	1.24t/m
Yerel zemin sınıfı	Z3 D Grubu (T _a =0.15, T _b =0.60)
Bina önem katsayısı	1.0
Beton sınıfı	C 12 (f _{ck} = 12MPa)
Çelik sınıfı	S220 (f _{yk} = 220 MPa)

Kiriş Boyutları;

- **Ana Kirişler;** 20/60 cm
- **Kolon Boyutları;** 25/40-25/75 cm
- **Perde Duvar Boyutları;** 25/310 cm

Elde edilen bulgular, binanın taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacaktır. Eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler ışığında ele alınan bina **“Kapsamlı Bilgi Düzeyi”** nde olduğu kabul edilmiştir. *‘Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007’* Bölüm 7.2.2 maddesi uyarınca

incelenen bina taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacak mevcut malzeme dayanımını belirlemek için “*bilgi düzeyi katsayısı*” 1,00 alınır.

4.3. STA4CAD V13.1 Programı Kullanılarak Yapının Modellenmesi

Mevcut yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve yapı tipinde olup, y yönünde atılmıştır. Yapının üç boyutlu modellenmesinde *Structural Analysis For Computer Aided Design v13.1(Sta4-CAD v13.1)* programı kullanılıp, yapı iki durumda incelenecektir. [15]

Birinci durumda yapının tanımlanması bittiğinde, yapının kapasitesi ortaya çıkacak ve yapı elemanlarının hasar durumu belirlenecektir. TDY-2007 Bölüm 7.5.2’de elemanlarda oluşacak hasarın sınıflandırılması için hasar sınırları ve aralıkları kavramları getirilmiştir.

Binanın tüm elemanlarının hasar durumu tespitleri yapılır. Yapının kapasite ve hasar durum sonuçları ***Ek-1A ve Ek-1B***’de verilmiştir.

İkinci durumda ise, hasarlı elemanlar mantolama ve ilave perdeler ile güçlendirildikten sonra binanın performansı yeniden belirlenecektir. Elde edilen analiz sonuçları ***Ek-2A ve Ek-2B***’de verilmiştir.

4.4. Sta4CAD V13.1 Programı Kullanılarak Yapının Deprem Performansının Belirlenmesi

TDY-2007’ de mevcut yapıların değerlendirilmesinde "dayanım" yerine "kapasite" kavramı ortaya sürülmüştür. Bilindiği gibi yeni bir yapı tasarlanırken bu yapıya gelen dış yükler belirlenmekte, yapının bu dış yükler altında gerekli dayanım ve koşulları sağlanması beklenmekte ve buna göre tasarım yapılmaktadır. Mevcut bir yapının yeterli olup olmadığı incelenirken karşımıza kapasite kavramı çıkar. Buna göre belirlenen dış yükler altında yapının davranışı incelenir, doğrusal ve doğrusal olmayan davranış altında bazı elemanlarda hasarlar oluşmasına izin verilebilir. Fakat doğrusal olmayan davranış gereği yapıda hasar gören elemanların karşılayamadığı kuvvetler hasar görmeyen elemanlara aktarılacak, yani yapı kapasitesine göre yüklere mukavemet edecektir.

Bina deprem performansının doğrusal elastik yöntem ile belirlenmesinde, düşey yükler altında ve deprem yükleri altında olmak üzere iki ayrı analiz yapılmalıdır.

Binadan toplanan bilgilerden yararlanarak düşey yük analizi $G+nQ$ yüklemesi altında Doğrusal Elastik Analiz yapılır ve yatay yük analizi için TDY-2007 Bölüm 2.7’deki doğrusal elastik yöntem olan “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ile binanın performansı belirlenir. Yapının tipine göre yapıdan beklenen performans seviyeleri değişmektedir. Yapıdan beklenen performans seviyeleri Tablo 2.1’de belirtilmiştir. Bu tabloya göre tasarım ivme spektrumu ve istenen yapı performansı değişecektir. Tablo 4.2’ye göre, yapı 1. Derece deprem bölgesinde, her katta burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \leq 2$ koşulunu sağladığından ve toplam bina yüksekliği $H=14.20m \leq H_N=25m$ olduğundan “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” uygulanır.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile analizde **Yönetmelik Bölüm 2,7’de** belirtilen kurallara ek olarak dikkat edilmesi gereken hususlardan bazıları şunlardır: Taban kesme kuvvetinin **Yönetmelik Denk. 2.4’** e göre hesabında $R_a=1$ ve $I=1$ olarak alınacaktır ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılacaktır. I katsayısı birinci moda ait kütle katılımını göz önünde bulundurmak içindir. Bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0 değerlerinde 0.85 olarak alınır.

Tablo 4.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar [TDY-2007]

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25 \text{ m}$
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40 \text{ m}$
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40 \text{ m}$

4.4.1. Deprem Yüklerinin Belirlemesi

Binanın doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

Yönetmelik 2.7.4.1’e göre **Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin** uygulanması durumunda binanın deprem doğrultusundaki hacim doğal titreşim periyodu hesabı;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^n F_{fi} d_{fi}}} \quad (4.1)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. 'Rayleigh Oranı' olarak bilinen bu denklemde:

m_i : i. kat kütlesini,

F_{fi} : i. kata etkiyen fiktif yük değerini,

d_{fi} : Fiktif yükler altında i. kat yatay deplasmanını

göstermektedir. Yönetmelik 2.7.4.'e göre her iki doğrultuda etkin periyodun hesaplanması **Ek-1**'de gösterilmiştir.

Kat Ağırlıklarının Hesabı

Yapıya ait kat ağırlıkları:

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

şeklinde hesaplanmaktadır. Denklemde:

w_i : Toplam kat ağırlığını,

g_i : i. kata ait ölü yük toplamını,

q_i : i. kata ait hareketli yük toplamını

göstermektedir. Denklem 4.2'ye göre yapının her iki yönü için deprem hesabında kullanılacak toplam kütlesi Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3.Binanın Kat Kütlesi

KAT	Kat Sabit Yük (ton)	Kat Hareketli Yük (ton)	Kat Ağırlığı (ton)	Kat Kütlesi (ton)
5	192.15	44.39	2015.62	205.466
4	370.04	60.46	3808.01	388.176
3	360.39	60.92	3714.69	378.664
2	360.39	60.92	3714.69	378.664
1	361.25	60.85	3722.91	379.502
			W_t	1730.472

Hesaplarda kullanılan kat bilgileri aşağıda tabloda verilmiştir. Yönetmelik Tablo4.4'e göre hareketli yük katılım katsayısı, $n=0.30$ alınır.

Tablo 4.4. Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, 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

Binaya etki eden eşdeğer deprem yükleri

Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü:

$$V_i = W A(T_I) / R_a(T_I) V_i \quad (4.3)$$

Denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemlerde:

W : Binanın toplam ağırlığı

$A(T_I)$: Binaya ait spektral ivme katsayısını,

$R_a(T_I)$: Deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir.

Binaya ait spektral ivme katsayısı:

$$A(T_I) = A_0 I S(T_I) \quad (4.4)$$

bağıntısı ile, Deprem yükü azaltma katsayısı ise,

$$R_a(T_I) = 1.5 + (R - 1.5) T_I / T_A \quad (0 \leq T_I \leq T_A) \quad (4.5)$$

$$R_a(T_I) = R \quad (T_A < T_I) \quad (4.6)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

$$F_i = (V_i - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum w_i H_i} \quad (4.7)$$

denklemleri ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri kat hizalarına dağıtılır. Deprem tepe yükü $F_{tx}=16.22$ ton $F_{ty}=16.22$ ton olarak *Sta4cad v13.1* programında hesaplanmıştır. Katlara etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri Tablo 4.5' te verilmiştir.

Tablo 4.5. Katlara Etkiyen Deprem Kuvvetleri

KAT	X Yönü		Y yönü	
	Eşdeğer Dep. Yön. (ton)	Kat Tipi	Eşdeğer Dep. Yön. (ton)	Kat Tipi
5	114.701	Üst Kat	114.701	Üst Kat
4	142.101	Normal Kat	142.101	Normal Kat
3	98.605	Normal Kat	98.605	Normal Kat
2	58.592	Normal Kat	58.592	Normal Kat
1	18.619	Zemin Kat	18.619	Zemin Kat
Σ	432.618	Genel	432.618	Genel

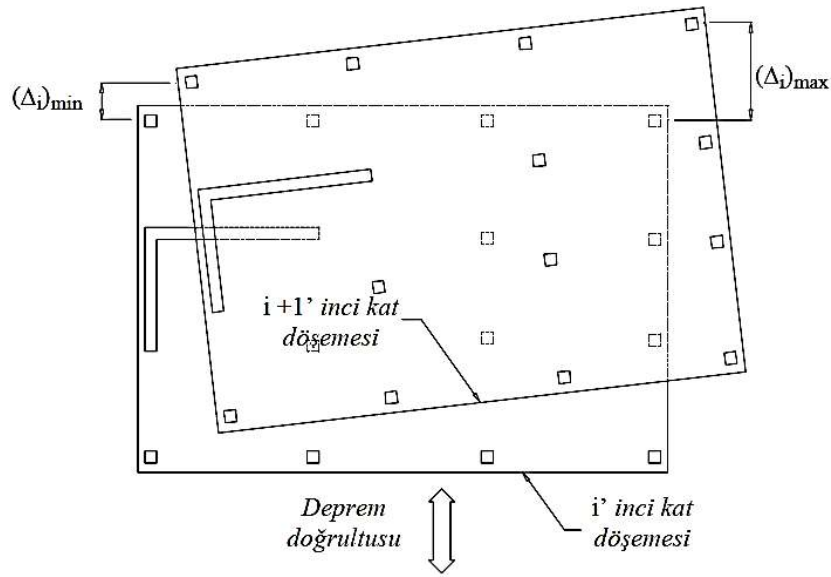
4.4.2. Düzensizliklerin İrdelenmesi

Aşağıdaki düzensizliklerin irdelenmesi için yapılan hesaplarda $\pm X$ ve $\pm Y$ deprem yönlerinde elde edilen hesap sonuçları verilmiştir.

4.4.2.1. Planda düzensizlik durumlarının irdelenmesi

A1 Burulma Düzensizliğinin İrdelenmesi

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu (Şekil 4.2) [$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2$] Görel kat ötelemelerinin hesabı, $\pm \%5$ ek dış merkez dik etkileri de göz önüne alınarak Yönetmelik 2.7'ye göre yapılacaktır.



Şekil 4.2. Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu [TDY-2007]

Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda:

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = 1/2 [(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}]$$

$$\text{Burulma düzensizliği katsayısı : } \eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}}$$

$$\text{Burulma düzensizliği durumu : } \eta_{bi} > 1.2$$

Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de burulma düzensizliği kat sayısının η_{bi} 'nin hesaplanması için gerekli olan kat yer değiştirmeleri, 4.4.1.'de hesaplanan **Eşdeğer Deprem Yükleri** altında yapılan analiz sonucunda elde edilmiştir.

Tablo 4.6. X Doğrultusundaki A1 Düzensizliklerinin Kontrolü ($\pm\%5$)

Kat	Δ_{imin} (m)	Δ_{imax} (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}
5	0.0046935	0.0049354	0.0048145	1.03
4	0.0056546	0.0055986	0.0056266	1.00
3	0.0065939	0.0062264	0.0064102	1.03
2	0.0064482	0.0057620	0.0061051	1.06
1	0.0042283	0.0035019	0.0038651	1.09

Tablo 4.7. Y Doğrultusundaki A1 Düzensizliklerinin Kontrolü ($\pm\%5$)

Kat	Δ_{imin} (m)	Δ_{imax} (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}
5	0.0024603	0.0025322	0.0024963	1.01
4	0.0037732	0.0039187	0.0038460	1.02
3	0.0049282	0.0051400	0.0050341	1.02
2	0.0054182	0.0056749	0.0055466	1.02
1	0.0039669	0.0041831	0.0040750	1.03

Binada $\pm X$, $\pm Y$ yönlerinde **A1** burulma düzensizliği oluşmamıştır. Ancak **TDY-2007 2.7.3.3**'e göre burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} , her katta eşdeğer deprem yükü hesabı için verilen üst sınır değerinin altındadır. ($\eta_{bi} \leq 2$)

A2 Döşeme Sürekliliğinin İrdelenmesi

TDY-2007 Tablo2.1'de düzensiz binalarda **A2** döşeme süreksizliği durumu:

- I. Merdiven ve asansör boşlukları dahil boşluk alanlarının toplamının kat brüt alanının $1/3$ 'ünden fazla olması durumu
- II. Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşlukları bulunmamaktadır.
- III. Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu bulunmamaktadır.

Tablo 4.8. A2 Döşeme Sürekliliği

KAT	Kat alanı (m ²)	boşluk alanı (m ²)	Oran	Kontrol
5	320.11	22.90	0.072	TAMAM
4	320.11	22.90	0.072	TAMAM
3	320.11	22.90	0.072	TAMAM
2	320.11	22.90	0.072	TAMAM
1	320.11	22.90	0.072	TAMAM

Tüm katlarda mevcut boşluk alanları, toplam alanın 1/3'ünden küçük olduğundan **A2** düzensizliği yoktur.

A3 Planda Çıkıntılar Bulunması

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu olmadığından, binada **A3** düzensizliği yoktur.

4.4.2.2. Düşey doğrultuda düzensizlik durumlarının irdelenmesi

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı'na oranı olarak tanımlanan , *Dayanım Düzensizliği Katsayısı* η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumu.

B1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliğinin (Zayıf Kat) İrdelenmesi

Tablo 4.9. X Doğrultusunda Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği

	A-Kolon (m ²)	A-Perde (m ²)	A-Duvar (m ²)	Etkili Kesme Alanı (m ²)	η_{ci}
Kat	$\sum A_w$	$\sum A_g$	$\sum A_k$	$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k$	$(\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{ih}$
5	4.13	0.78	13.29	6.90	1.00
4	4.13	0.78	13.29	6.90	1.00
3	4.13	0.78	13.29	6.90	1.00
2	4.13	0.78	13.29	6.90	1.00
1	4.13	0.78	0.00	4.91	0.71

Tablo 4.10. Y Doğrultusunda Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği

	A-Kolon (m ²)	A-Perde (m ²)	A-Duvar (m ²)	Etkili Kesme Alanı (m ²)	η_{ci}
Kat	$\sum A_w$	$\sum A_g$	$\sum A_k$	$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k$	$(\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{ih}$
5	4.13	0.00	14.54	6.31	1.00
4	4.13	0.00	14.54	6.31	1.00
3	4.13	0.00	14.54	6.31	1.00
2	4.13	0.00	14.54	6.31	1.00
1	4.13	0.00	0.00	4.13	0.65

$\eta_{ci}=i$ 'nci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı, binada her iki ana doğrultuda ve her η_{ci} katsayısı 0.80 değerinden büyük olduğu için **B1 düzensizliği** bulunmamaktadır. Sadece 1. Katın Y doğrultusunda 0,71 ve 0,65 < 0,80 olduğundan **B1** düzensizliği vardır.

B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğinin (Yumuşak Kat) İrdelenmesi

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i 'inci kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{hi} 'nin 2,0'den fazla olması durumu.

$$[\eta_{hi} = (\Delta i / h_i)_{ort} / (\Delta i+1 / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \text{ veya } \eta_{hi} = (\Delta i / h_i)_{ort} / (\Delta i-1 / h_{i-1})_{ort} > 2.0]$$

Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm \%5$ ek dış merkezlik etkileri de göz önüne alınarak 2,7'ye göre yapılacaktır.

Tablo 4.11. X Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğinin ($\pm \%5$)

Kat	$R\Delta_x/h$	Θ_i	η_{bi}
5	0.00658	0.00288	1.03
4	0.00808	0.00466	1.00
3	0.00942	0.00628	1.03
2	0.00921	0.00713	1.06
1	0.00604	0.00553	1.09

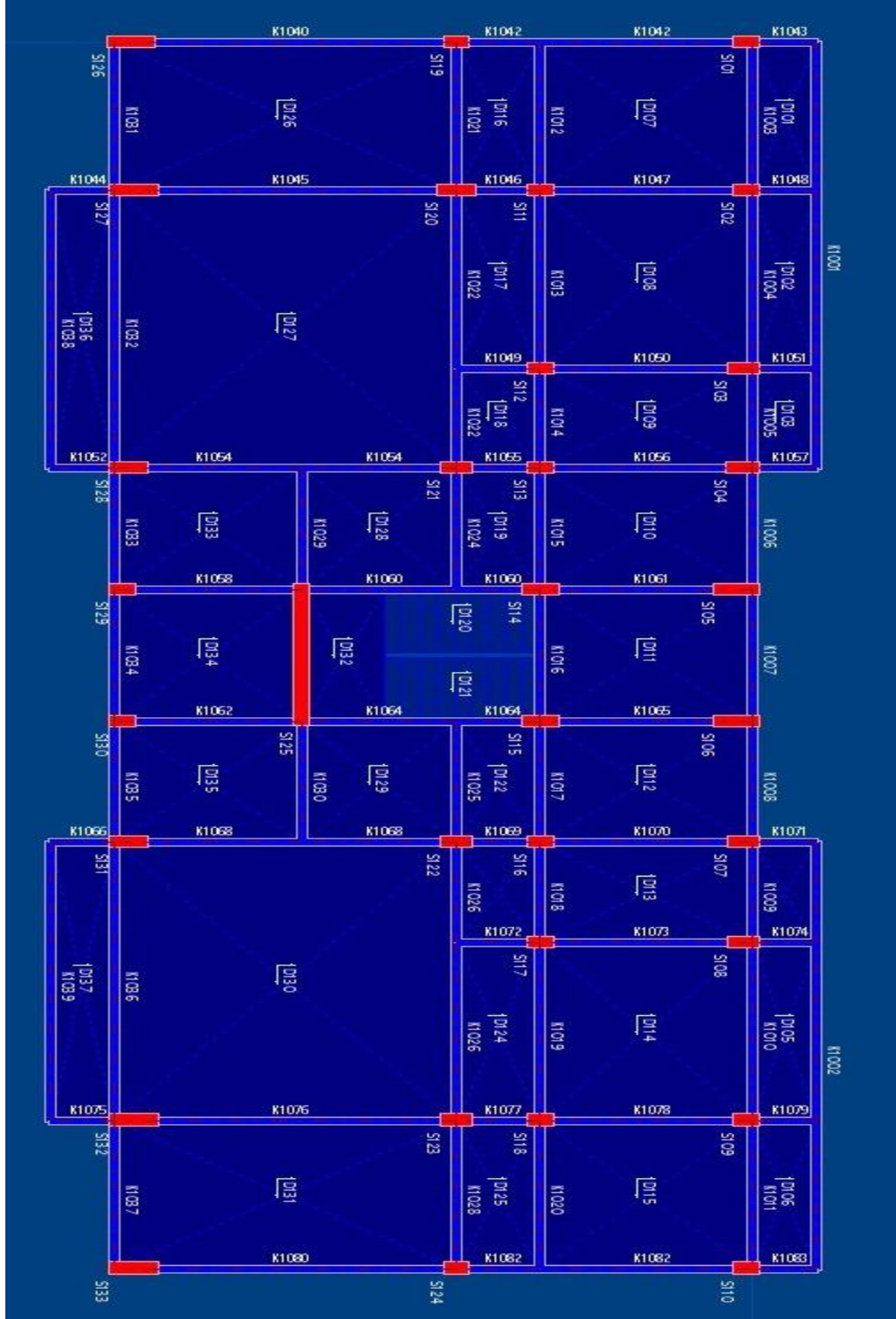
Tablo 4.12. Y Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğin($\pm\%5$)

Kat	$R\Delta_x/h$	θ_i	η_{bi}
5	0.00338	0.00150	1.01
4	0.00560	0.00318	1.02
3	0.00734	0.00493	1.02
2	0.00811	0.00648	1.02
1	0.00598	0.00583	1.03

$\eta_{hi}=i$ 'nci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı, binada her iki ana doğrultuda ve her η_{hi} katsayısı 2,00 değerinden küçük olduğu için **B2 düzensizliği** bulunmamaktadır.

B3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliğinin İrdelenmesi

Taşıyıcı sistemin elemanlarının (kolonların) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması durumu bulunmamaktadır.



Şekil 4.3. Normal Kat Planı

4.4.3. Eleman Kapasitelerinin Hesabı

Hesaplanan eleman kapasiteleri *Bilgi Düzeyi Katsayısı* ile çarpılmalıdır. Örnek bina için Tablo 3,1’de verilen *Bilgi Düzeyi Katsayısı* 1,00 ’dur.

Kiriş Kapasite Hesabı

Tablo 4.13. Kirişlerin Kapasite Tablosu

Kiriş No	Bw D (cm)	Ln	a b	Sol Sag	Asu (cm ²)	Asa (cm ²)	Mra'	Mru' Mg+Mq	Mra	Mru	VdVr	Vlim
K103	20	3.250	0.125	Sol	5.66	6.79	16.70	13.57 > -1.38	17.89	14.61	9.99 <32.74	49.28
	60		0.125	Sag	4.93	4.52	11.33	11.87 > -2.00	12.37	13.06	12.44<32.74	49.28
K104	20	3.900	0.125	Sol	4.93	3.39	8.71	11.87 > 1.71	9.46	12.57	7.75<32.74	49.28
	60		0.125	Sag	5.40	3.39	8.72	12.97 > -1.61	9.43	13.71	7.69<32.74	49.28

Tablonun devamı Ek-1B’ de dir.

Kirişlerin sünek eleman sayılabilmesi için bu elemanların eğilme kapasitesiyle uyumlu olarak hesaplanan düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti V_d ’nin bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500’e göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r ’yi aşmaması gerekmektedir. Kirişlerin kapasite sonuçları **Ek-1B**’de verilmiştir.

Kolonların Kapasite Hesabı

Tablo 4.14. Mevcut Donatılara Göre Kolonların Kapasite Tablosu

KOLON NO	BOYUT (cm)	MEVCUT DONATI	MEVCUT As(cm ²)	-X		+X		-Y		+Y	
				N _d	M _r	N _d	M _r	N _d	M _r	N _d	M _r
S101	25×40	2×4ø16 + 2×2ø14 (gövde)	22.23	85.27	10.09	22.34	9.07	89.23	18.74	26.00	17.46
S102	25×40	2×5ø16 + 2×3ø14 (gövde)	29.33	36.52	11.28	58.51	11.65	34.79	21.90	94.40	21.70

Tablonun devamı Ek-1B’ de dir.

TDY-2007 Bilgilendirme Eki 7A’ya göre; örnek yapıdaki kolonların malzeme özellikleri, donatı yerleşimi ve kesit özellikleri dikkate alınarak deprem doğrultusu ile uyumlu tasarım eğilme momenti ve normal kuvvet kapasiteleri hesaplanmış ve **Ek-1B**’de sunulmuştur.

4.4.4. Yapı Elemanlarında Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yönteminde, bir yapısal elemanın hasar durumunu belirlemek için Etki/kapasite oranı olarak tanımlanan bir “r” sayısı kullanılır. Bu oran kolon, kiriş ve perde gibi yapısal elemanların her bir kritik kesitinde hesaplanır.

Hasar sınırını belirleyen “etki/kapasite” (r) oranı, eleman kesitine gelen deprem etkisinin, kesit artık kapasite momentine bölünmesi ile elde edilir. Bir elemanın hangi hasar bölgesinde olduğunu, o elemanın en çok hasarlı olan kesiti belirler. Bir elemanda birbirine dik 2 deprem doğrultusu için her iki yönde de “r” sayıları hesaplanır.

Kritik kesitlerde hesaplanan “r” sayıları, DBYBHY’07 Tablo 7.2, 7.3 ve 7.5’de verilen sınır değerler ($r_{sınır}$) ile karşılaştırılarak kesitin hangi hasar bölgesinde olduğu belirlenir.[3]

Tablo 4.15. Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

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

Tablo 4.16. Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

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

Sınır değerlerin belirlenebilmesi için bütün yapısal elemanların kırılma biçimi (sünek veya gevrek) ve elemanın sargılanma durumu (var veya yok) belirlenmeli, kolon ve kirişler de ise kesme kuvveti düzeyi ($V/b_w \cdot d \cdot f_c$) hesaplanması gerekmektedir. Bunlara ek olarak kolonlarda basınç kuvveti oranı ($N/A_c f_c$), kirişlerde ise basınç donatısı oranı ($p - p'/p_b$) hesaplanır ve bu değerlere karşılık gelen ($r_{\text{sınır}}$) değeri tablodan alınır. Ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

4.4.5. Göreli kat ötelemesi kontrolü

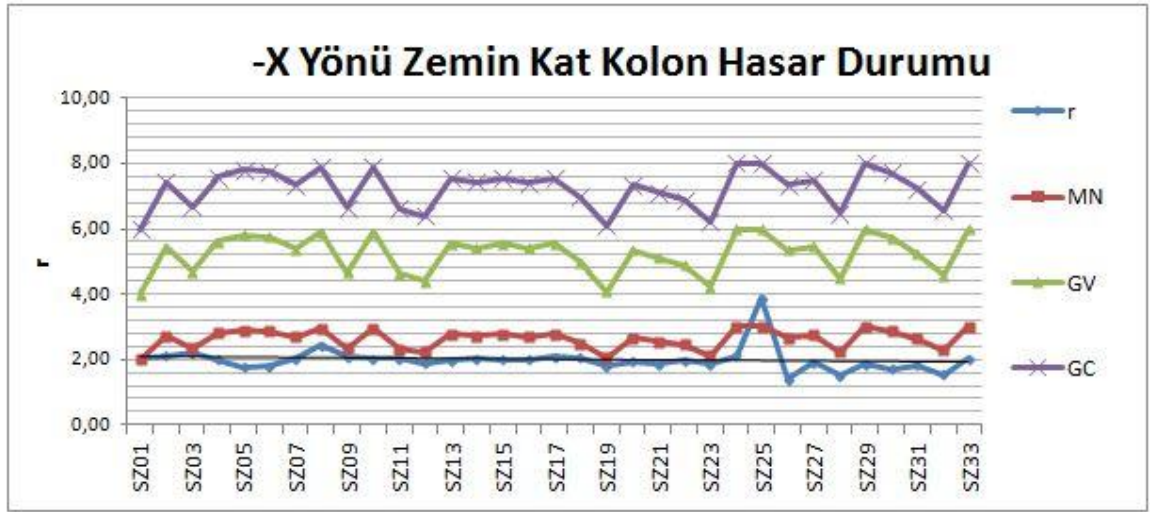
Tablo 4.17. Göreli Kat Ötelemesi Oranları

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

Kritik kesitlerde hesaplanan “r” sayıları, DBYBHY’07 tablo 7.2, 7.3 ve 7.5’de verilen sınır değerler ($r_{\text{sınır}}$) ile karşılaştırılarak kesitin hangi hasar bölgesinde olduğu belirlenir. Tablo 4.17’de δ_{ji} i’inci katta j’inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yer değiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelemesini, h_{ji} ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir.

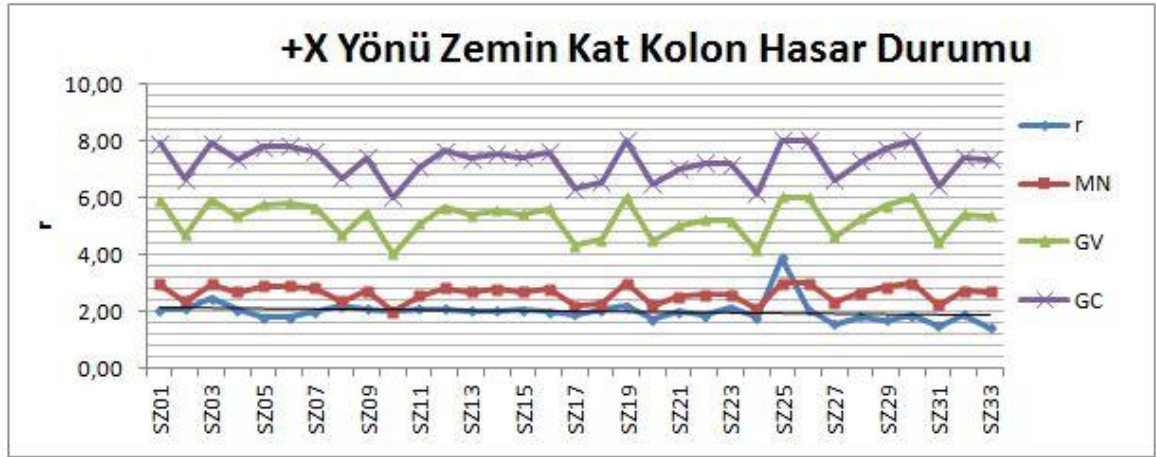
4.4.6. Kolonların Performans Değerlendirilmesi

Kolonların hesaplanan normal kuvvet ve moment kapasitesi $r = \frac{Md}{Mr}$ formülü ile elemana ait etki/kapasite (r) katsayısı hesaplanmıştır. Daha sonra kolonların sınır değerler ile (r) katsayısı karşılaştırılarak kolonların eleman düzeyinde “Hasar Sınırı” belirlenmiştir. Herhangi bir kolonun hasar bölgesi belirlenirken en çok hasar gören kesiti dikkate alınmıştır. Her iki deprem doğrultusundaki diğer kolonların performans değerlendirilmesine ait hesap detayları **Ek-1B**’de yer almaktadır



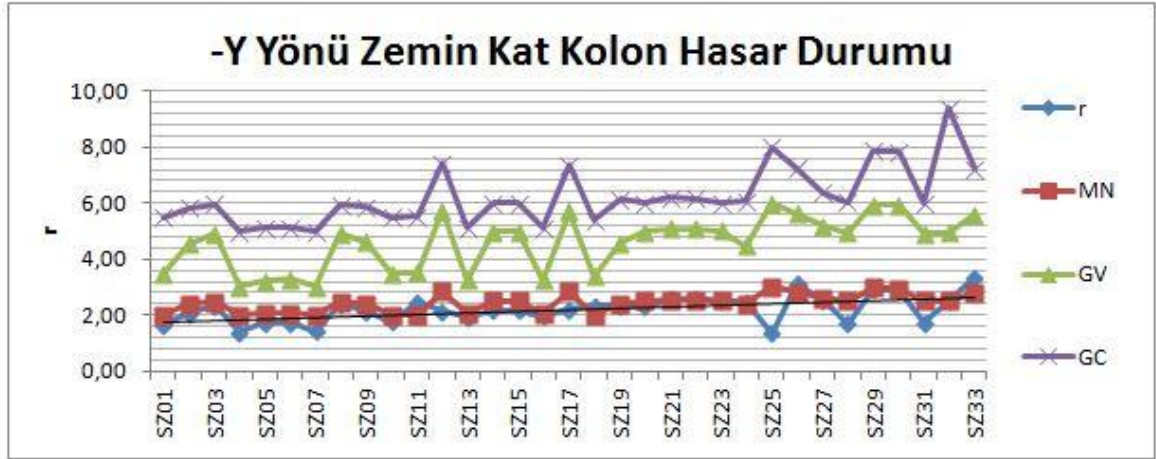
Şekil 4.4. -X Deprem Yönü Zemin Kat Kolon Hasar Durumu

Zemin kat -X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 840.82 \text{ ton}$ 'dur. -X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar SZ01, SZ25 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 480.73 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $480.73/840.82 = \%57.2$ 'dur.



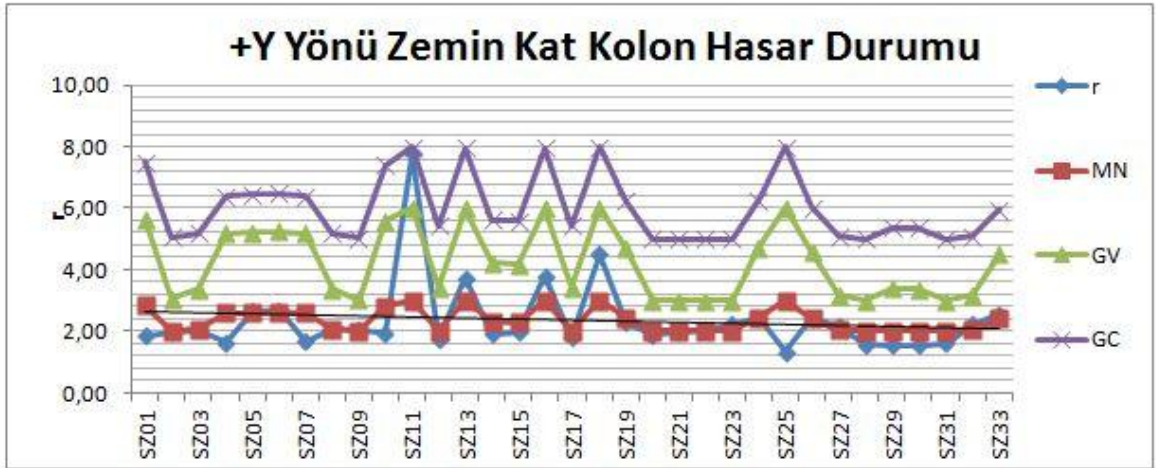
Şekil 4.5. +X Deprem Yönü Zemin Kat Kolon Hasar Durumu

Zemin kat +X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 840.73 \text{ ton}$ 'dur. +X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar SZ10, SZ25 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 480.79 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $480.79/840.73 = \%57.2$ 'dir.



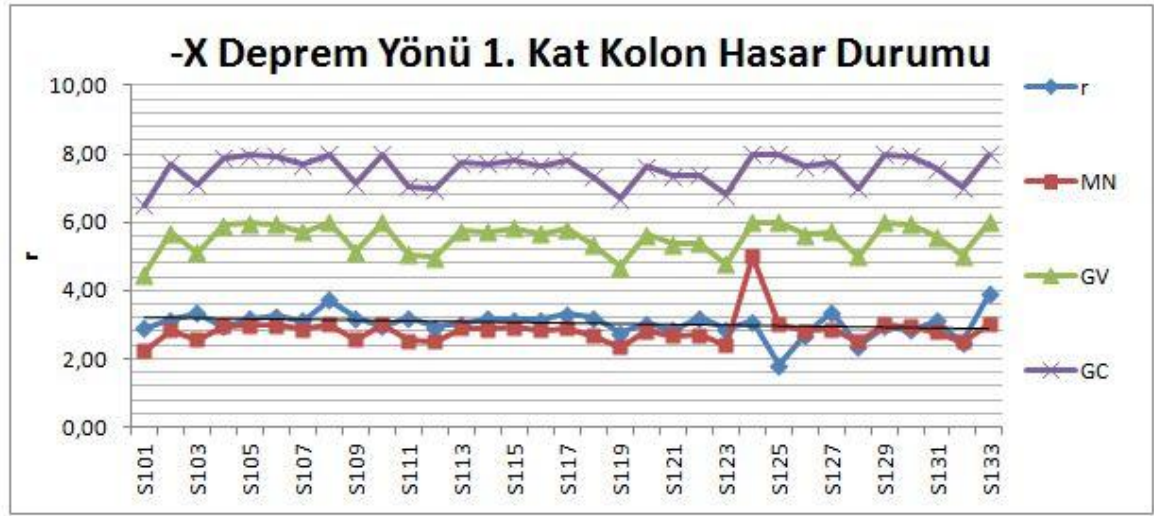
Şekil 4.6. -Y Deprem Yönü Zemin Kat Kolon Hasar Durumu

Zemin kat -Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 856,60 \text{ ton}$ 'dur. -Y yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar SZ11, SZ18, SZ21, SZ22, SZ23, SZ24, SZ26, SZ33 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 489.04 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $489.04 / 840.73 = \%20.4$ 'tür.



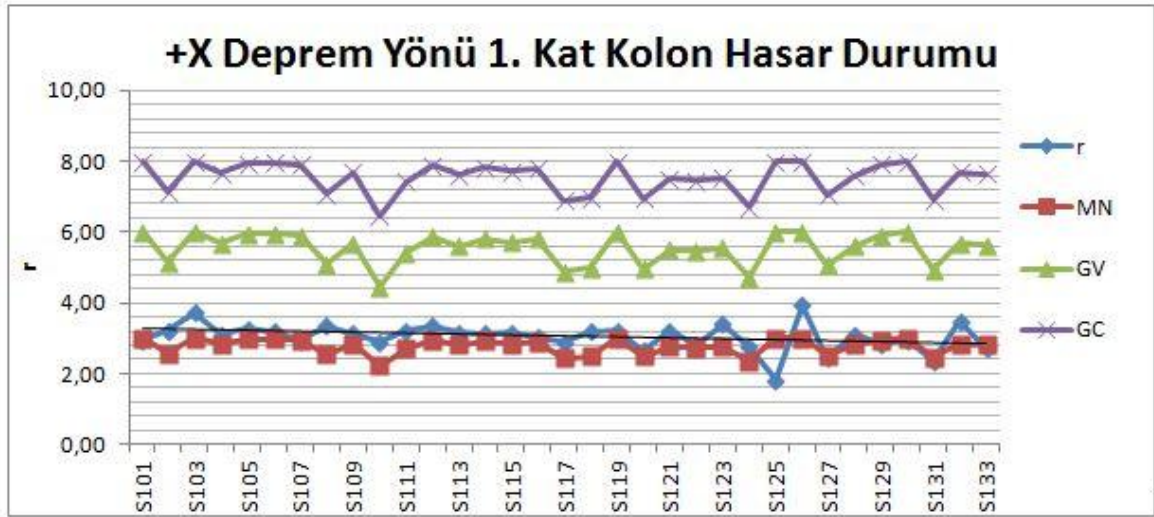
Şekil 4.7. +Y Deprem Yönü Zemin Kat Kolon Hasar Durumu

Zemin kat +Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 859,98 \text{ ton}$ 'dur. +Y yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolon SZ05, SZ09, SZ11, SZ13, SZ16, SZ18, SZ22, SZ23, SZ26, SZ27 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 217.87 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $217.87 / 859.98 = \%25.3$ tür.



Şekil 4.8. -X Deprem Yönü 1. Kat Kolon Hasar Durumu

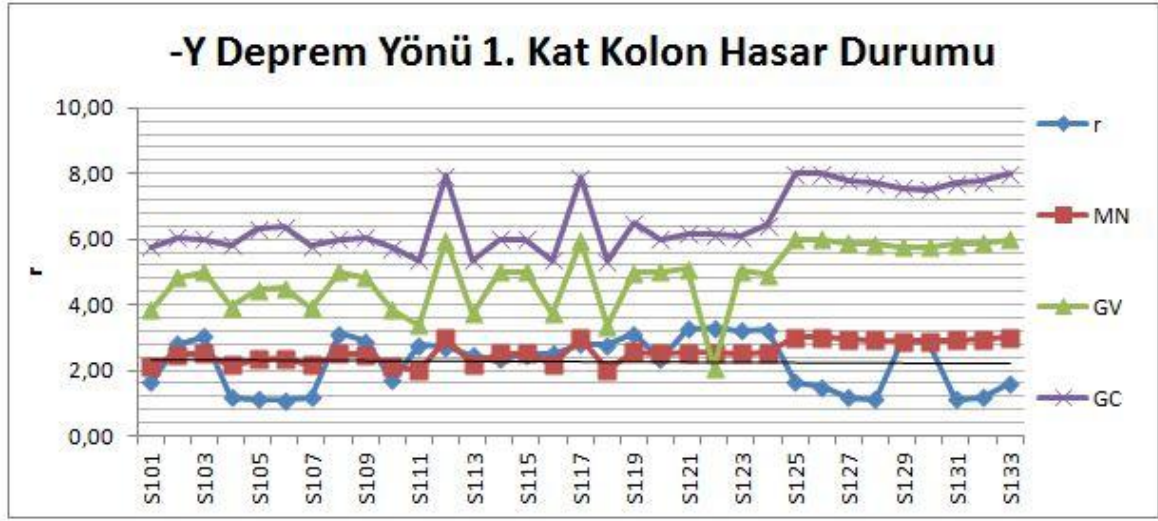
1. kat -X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 671,41 \text{ ton}$ 'dur. -X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S101, S102, S103, S104, S105, S106, S107, S108, S109, S111, S112, S113, S114, S115, S116, S117, S118, S119, S120, S121, S122, S123, S127, S131, S133 olup taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 286.95 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $286.95 / 671.41 = \%42.7$ 'dir.



Şekil 4.9. +X Deprem Yönü 1. Kat Kolon Hasar Durumu

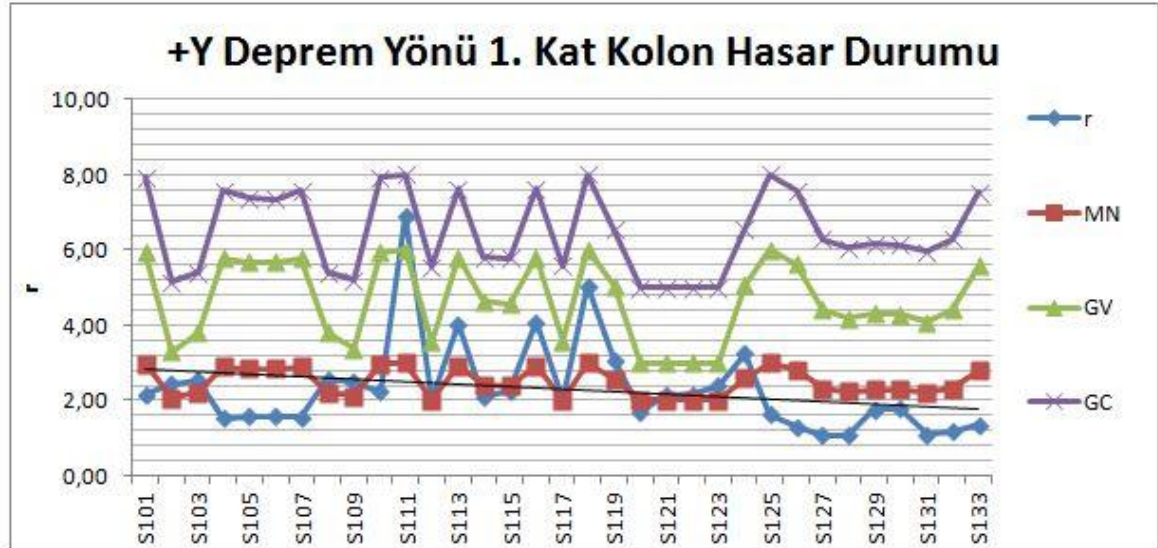
1. kat +X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 668,34 \text{ ton}$ 'dur. +X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S102, S103, S104, S105, S106, S108, S109, S110, S111, S112, S113, S114, S115, S116, S117, S118, S119, S120, S121, S122, S123, S124, S126, S128, S132 olup, taşınması gereken kesme

kuvveti $V_e = 270.56 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $270.56 / 668.34 = \%40.5$ 'tir.



Şekil 4.10. -Y Deprem Yönü 1. Kat Kolon Hasar Durumu

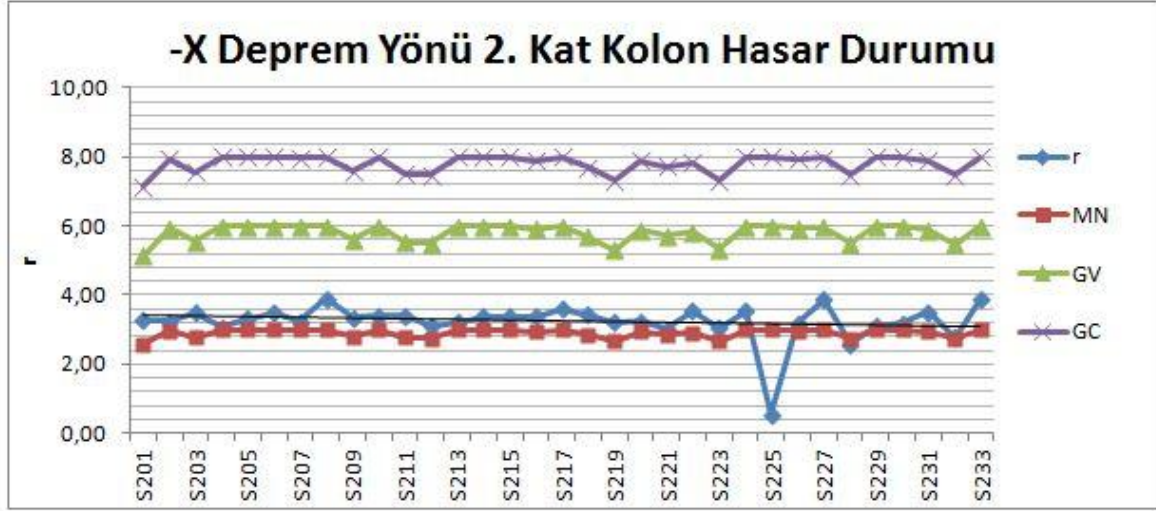
1. kat -Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 719.30 \text{ ton}$ 'dur. -Y yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S102, S103, S108, S109, S111, S113, S116, S118, S119, S121, S122, S123, S124, S129 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 284.72 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $284.72 / 719.30 = \%39.6$ 'dır.



Şekil 4.11. +Y Deprem Yönü 1. Kat Kolon Hasar Durumu

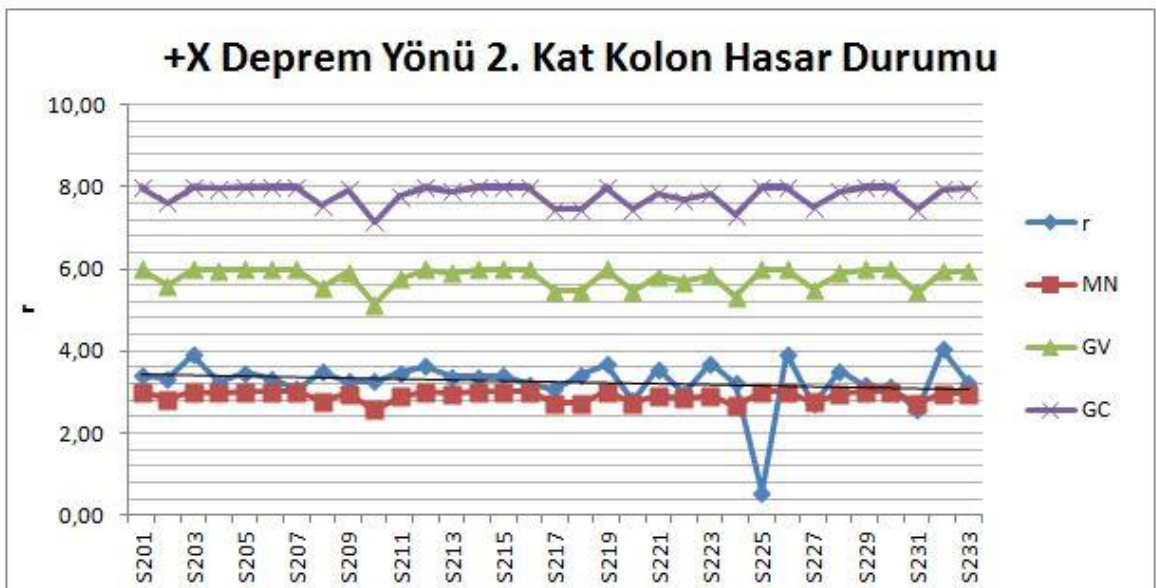
1. kat +Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 731.26 \text{ ton}$ 'dur. +Y yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S102, S103,

S108, S109, S111, S113, S116, S117, S118, S119, S121, S122, S123, S124 olup, taşıması gereken kesme kuvveti $V_e = 277.62$ ton 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $277.62/731.26 = \%38.0$ 'dir.



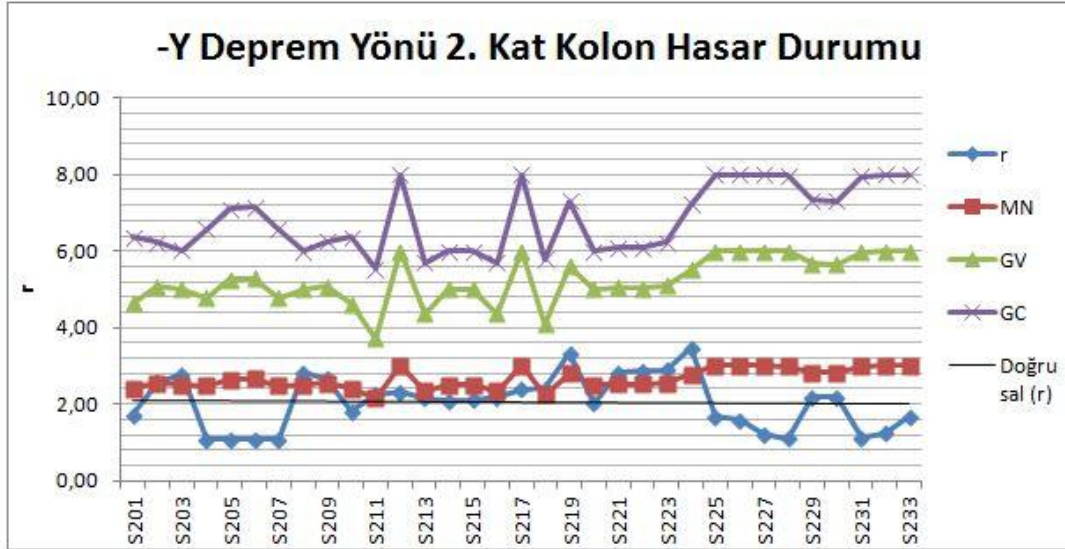
Şekil 4.12. -X Deprem Yönü 2. Kat Kolon Hasar Durumu

2. kat -X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 553.85$ ton 'dur. -X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S201, S202, S203, S204, S205, S206, S207, S208, S209, S210, S211, S212, S213, S214, S215, S216, S217, S218, S219, S220, S221, S222, S223, S224, S226, S227, S229, S230, S231, S232, S233 olup, taşıması gereken kesme kuvveti $V_e = 334,11$ ton 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $334.11/553.85 = \%60.3$ 'tür.



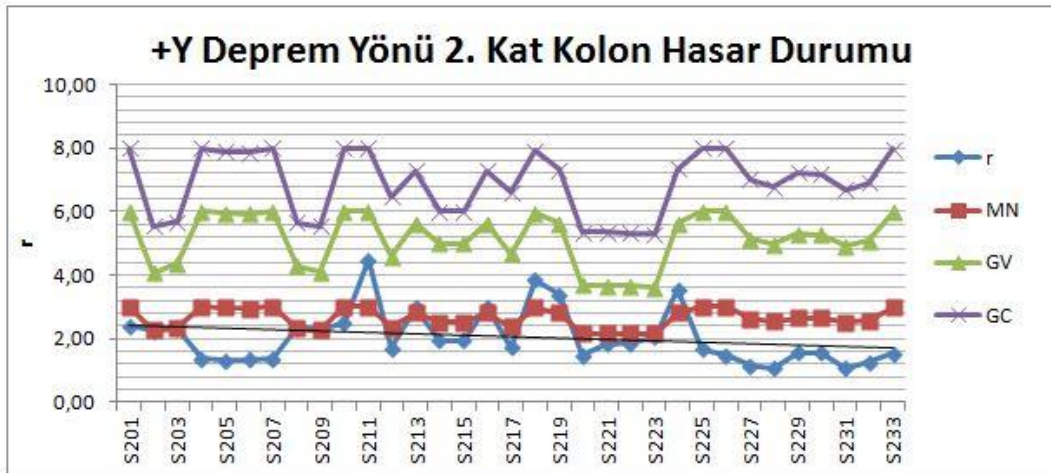
Şekil 4.13. +X Deprem Yönü 2. Kat Kolon Hasar Durumu

2. kat +X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 550.19 \text{ ton}$ 'dur. +X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S201, S202, S203, S204, S205, S206, S207, S208, S209, S210, S211, S212, S213, S214, S215, S216, S217, S218, S219, S220, S221, S222, S223, S224, S226, S228, S229, S230, S232, S233 taşıması gereken kesme kuvveti $V_e = 521.28 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $521.28/550.19 = \%94.7$ 'dir.



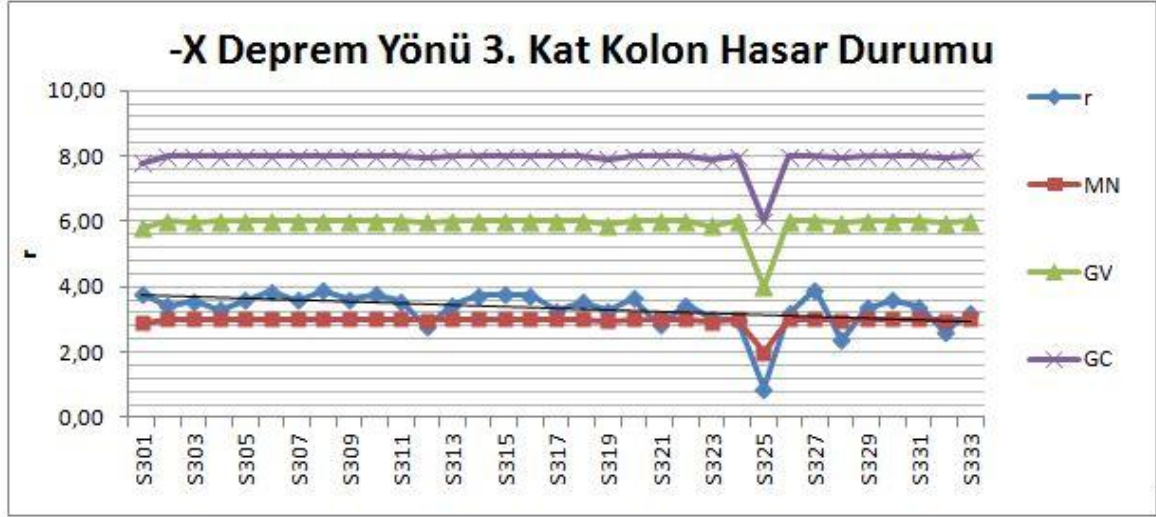
Şekil 4.14. -Y Deprem Yönü 2. Kat Kolon Hasar Durumu

2. kat -Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 666.93 \text{ ton}$ 'dur. -Y yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S202, S203, S208, S209, S211, S218, S219, S221, S222, S223, S224 olup, taşıması gereken kesme kuvveti $V_e = 443.12 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $443.12/666,93 = \%66.4$ 'dür.



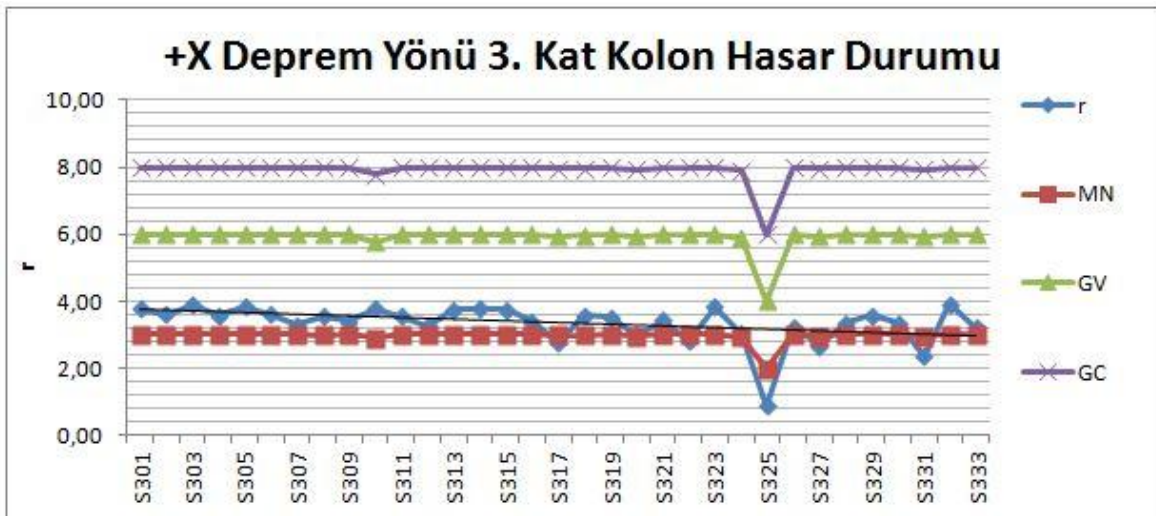
Şekil 4.15. +Y Deprem Yönü 2. Kat Kolon Hasar Durumu

2. kat +Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 670.64 \text{ ton}$ 'dur. +Y yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S208, S209, S211, S213, S216, S218, S219, S224 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 556.37 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $556.37/670.64 = \%83.0$ 'dır.



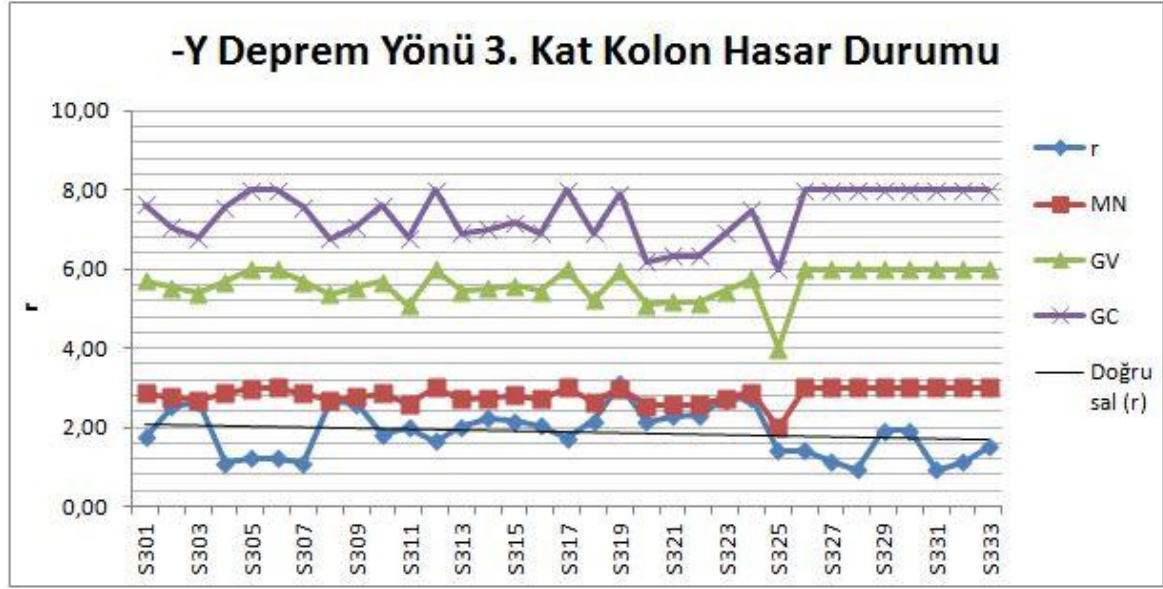
Şekil 4.16. -X Deprem Yönü 3. Kat Kolon Hasar Durumu

3. kat -X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 388.80 \text{ ton}$ 'dur. -X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S312, S321, S324, S325, S328, S332 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 242.37 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $242.37 / 388.80 = \%62.3$ 'tür.



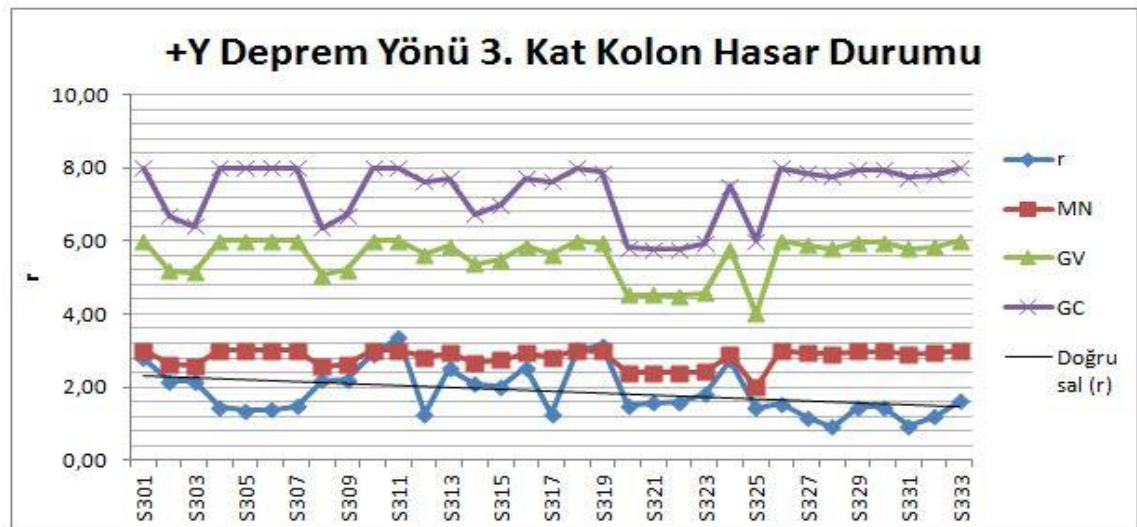
Şekil 4.17. +X Deprem Yönü 3. Kat Kolon Hasar Durumu

3. kat +X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 388.37 \text{ ton}$ 'dur. +X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S317, S322, S325, S327, S331 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 248.47 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $248.47/388.37 = \%64.0$ 'dır.



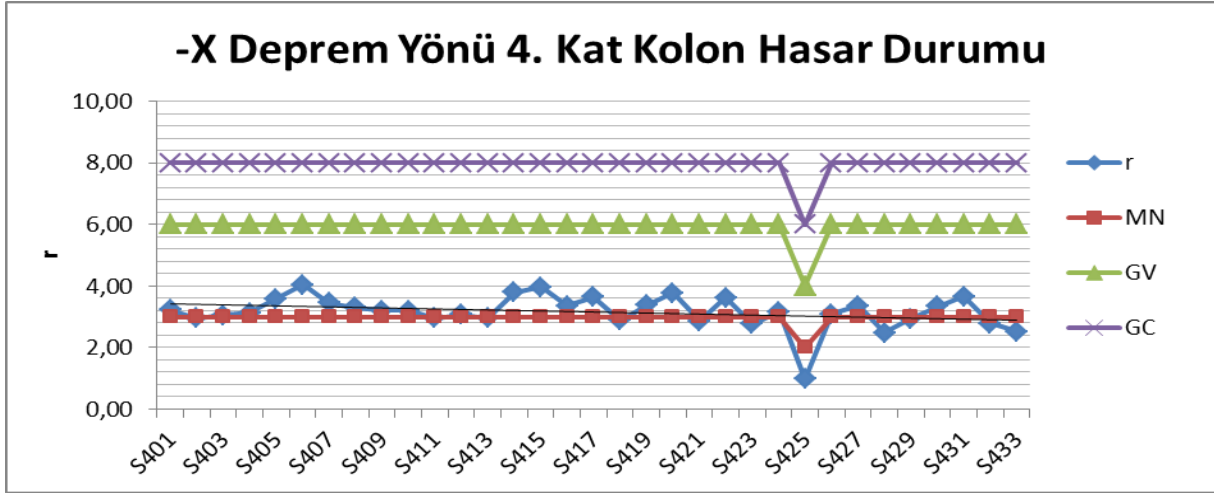
Şekil 4.18. -Y Deprem Yönü 3. Kat Kolon Hasar Durumu

3. kat -Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 507.47 \text{ ton}$ 'dur. -Y yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S319 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 10.74 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $10.74/ 507.47 = \%2.1$ 'dir.



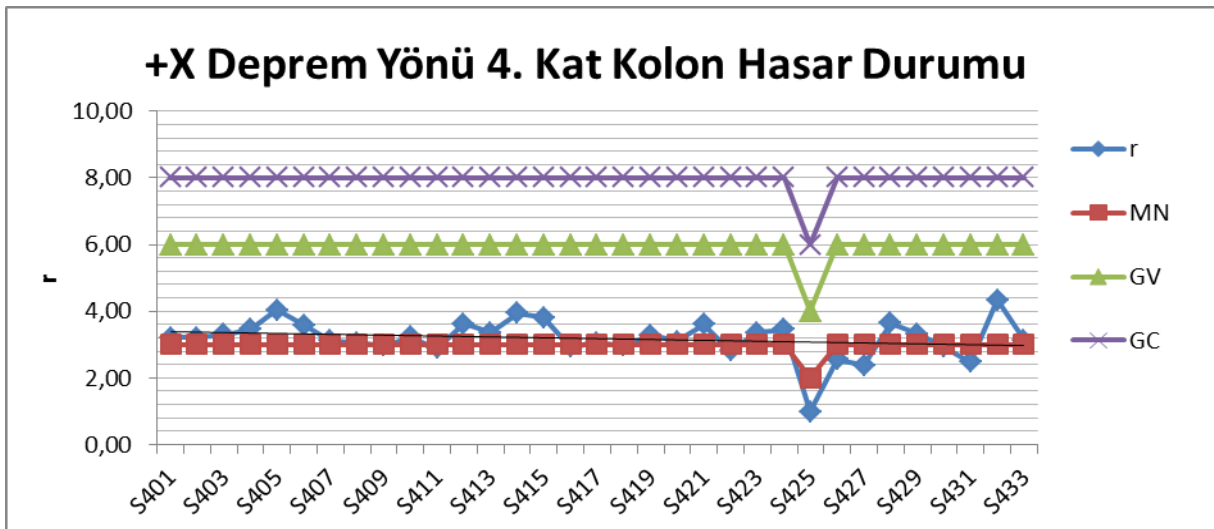
Şekil 4.19. +Y Deprem Yönü 3. Kat Kolon Hasar Durumu

3. kat +Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e=514.84 \text{ ton}$ 'dur. +Y yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S301, S311, S318, S319 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e= 35.03 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $35.03/514.84 = \%6.8$ 'dir.



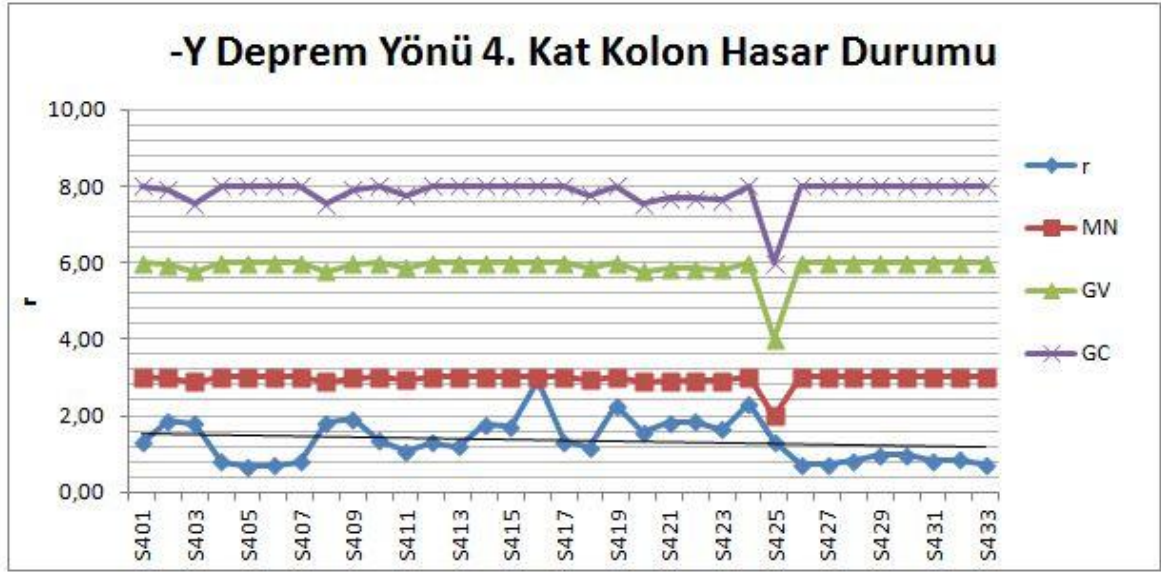
Şekil 4.20. -X Deprem Yönü 4. Kat Kolon Hasar Durumu

4. kat -X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e=264.08 \text{ ton}$ 'dur. -X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S401, S403, S404, S405, S406, S407, S408, S409, S410, S412, S414, S415, S416, S417, S419, S420, S422, S424, S426, S427, S430, S431 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e=146.62 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $146.62/264.08 = \%55.5$ 'tir.



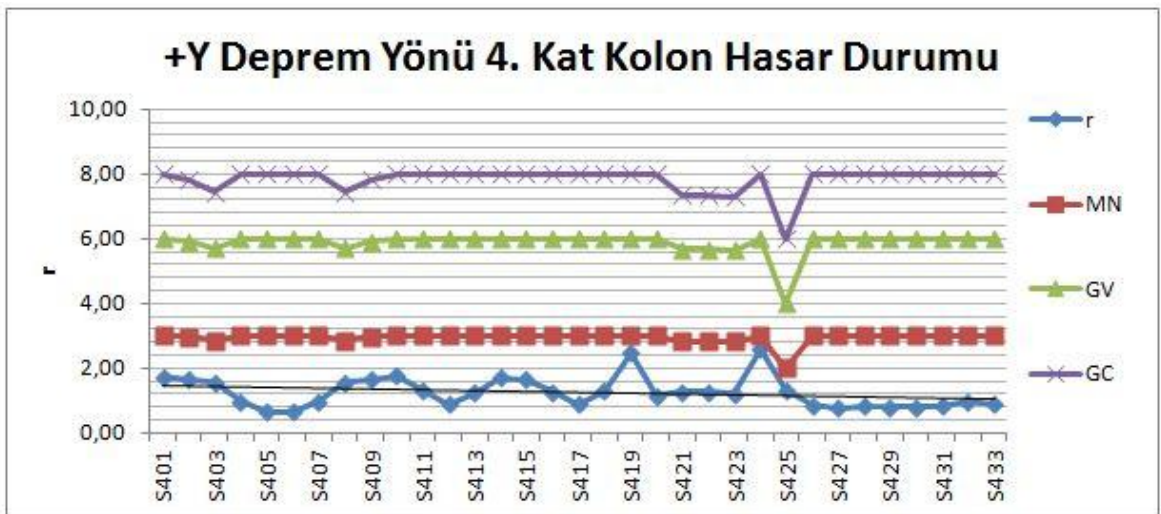
Şekil 4.21. +X Deprem Yönü 4. Kat Kolon Hasar Durumu

4. kat +X yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 263.92 \text{ ton}$ 'dur. +X yönünde belirgin hasar bölgesinde olan kolonlar S401, S402, S403, S404, S405, S406, S407, S408, S410, S411, S412, S413, S414, S415, S417, S419, S420, S421, S423, S424, S428, S429, S432, S433 olup, taşınması gereken kesme kuvveti $V_e = 152.10 \text{ ton}$ 'dur. Belirgin hasar bölgesinde olan kolonların taşıdığı kesme kuvvet yüzdesi $152.10/263.92 = \%57.6$ 'dır.



Şekil 4.22. -Y Deprem Yönü 4. Kat Kolon Hasar Durumu

4. kat -Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 313.35 \text{ ton}$ 'dur. -Y yönündeki kolonlarda herhangi bir belirgin hasar bölgesi oluşmamıştır.



Şekil 4.23. +Y Deprem Yönü 4. Kat Kolon Hasar Durumu

4. kat +Y yönündeki kolonlar tarafından taşınması gereken toplam kesme kuvveti $V_e = 325.09$ ton ‘dur. +Y yönündeki kolonlarda belirgin hasar bölgesi oluşmamıştır.

4.4.7. Kolon Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Kontrolü

TDY-2007 Bölüm 7.5.2.6’ya göre betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin kontrolü yapılmıştır. Denklem 4.8’de hesaplanan kesme kuvvetlerinin denklem 4.9 ve denklem 4.10’a göre hesaplanan kesme dayanımlarını aşmaması gerekir. Aşması durumunda ilgili eleman gevrek hasar gören eleman olarak tanımlanmıştır. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme kuvveti, Denklem 4.8 ile hesaplanacaktır.

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{S1} + A_{S2}) - V_{kol} \quad (4.8)$$

Kirişin kolona sadece bir taraftan saplandığı ve öbür tarafta devam etmediği durumlar için $A_{S2}=0$ alınacaktır. Herhangi bir birleşim bölgesinde Denk.(4.8) ile hesaplanan kesme kuvveti, göz önüne alınan deprem doğrultusunda hiçbir zaman aşağıda verilen sınırları aşmayacaktır. Bu sınırların aşılması durumunda, kolon ve/veya kiriş kesit boyutları büyütülerek deprem hesabı tekrarlanacaktır.

Kuşatılmış birleşimlerde:

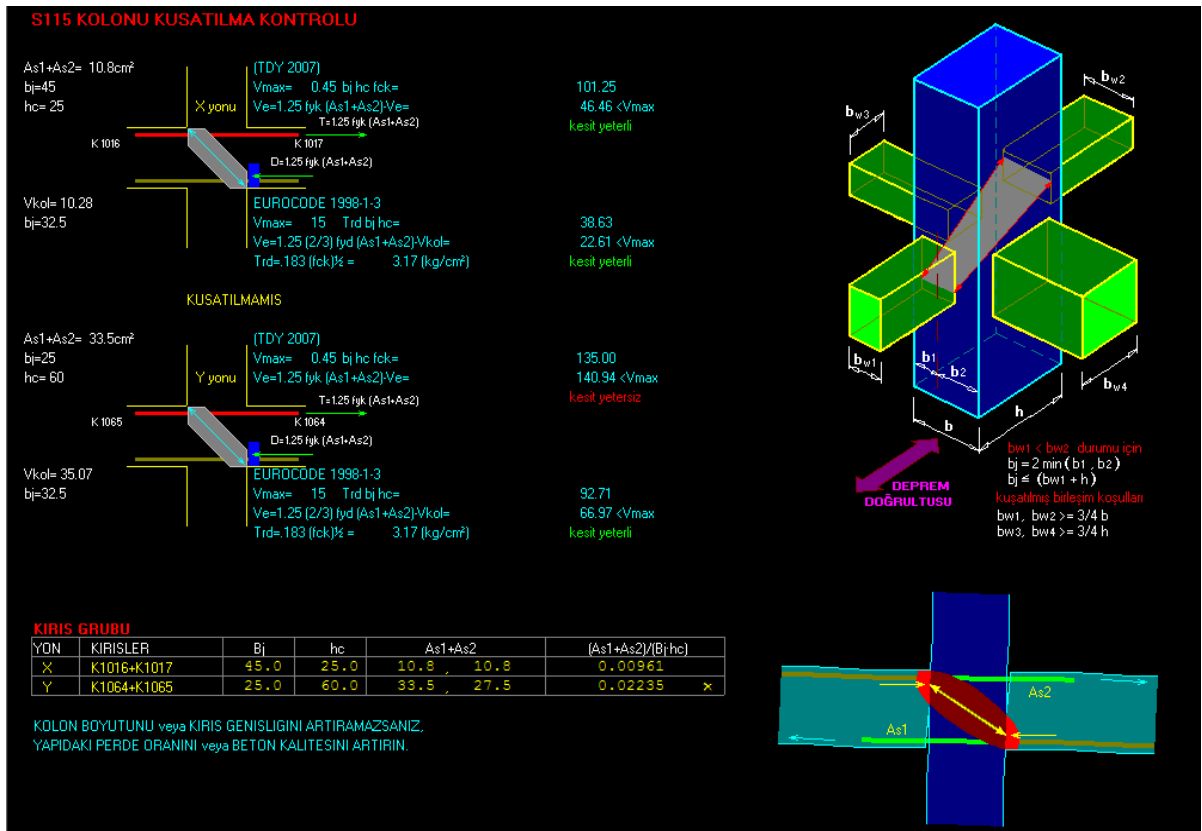
$$V_e \leq 0.60 b_j h f_{cd} \quad (4.9)$$

Kuşatılmamış birleşimlerde:

$$V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd} \quad (4.10)$$

$V_e < V_r$ olduğu durumlarda kiriş birleşim bölgesinin kesme bakımından güvenli olduğu ve $V_e \geq V_r$ durumlarda ise güçlendirilmesi gereken gevrek elemanlar ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında *kolon-kiriş birleşimi* olarak tanımladığımız *kesit yetersizliği*, *kesme güvelliği yetersizliği* ve *kuşatılmış kolon birleşim* sonucu güçlendirilmesi gereken gevrek elemanlar olarak *SZ03, SZ04, SZ05, SZ06, SZ08, SZ15, SZ23, SZ25, SZ27, SZ28, SZ31, SZ32, S102, S103, S104, S105, S106, S107, S108, S109, S115, S22, S124, S127, S128, S129, S130, S131, S132, S133, S202, S203, S204, S205, S206, S207, S208, S209, S227, S228, S229, S230, S231, S232, S302, S303, S305, S306, S308, S309, S327, S328, S331, S332, S427, S428, S431 ve S432* kolonları görülmektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerine ait hesap detayları *Ek-1B*'de yer almaktadır. Aşağıdaki şekilde *S115* kolona ait kuşatılmış kolon örneği verilmiştir.



Şekil 4.24. S115 Kolonunun Kuşatılma Kontrolü

4.4.8. Kirişlerin Performans Değerlendirilmesi

Matematik modeli oluşturulan yapı, *Sta4Cad v13.1* programında kirişlerin deprem yönündeki eşdeğer deprem kuvvetleri (M_d) bulunmuştur. Deprem kuvvetinin artık moment kapasitesine (M_r) bölünmesiyle kirişlerin etki/kapasite (r) oranı hesaplanmıştır. TDY-2007 Tablo7.2 yardımıyla Etki/Kapasite (r_s) değeri hesaplanmıştır. Kirişler için hesaplanan (r) oranı ile (r_s) oranı karşılaştırılarak kirişlerin kesit düzeyinde hasar sınırı belirlenmiştir. Bu hasar sınır değerleri *Ek-1B*'de verilmiştir.

4.4.9. Bina Performansının Belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemlerinden *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile yapılan performans analizi sonucunda ele alına yapının taşıyıcı elemanlarında her iki doğrultudaki deprem etkisi altında hesaplanan hasar yüzdeleri Tablo 4.18, Tablo 4.19 ve Tablo 4.20’de özetlenmektedir.

Tablo 4.18. Kirişlerin hasar yüzdeleri (%)

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB
5	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
4	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	92.1	7.9	0.0	0.0
3	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	94.7	5.3	0.0	0.0	92.1	7.9	0.0	0.0
2	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	97.4	2.6	0.0	0.0	94.7	5.3	0.0	0.0
1	93.9	6.1	0.0	0.0	93.9	6.1	0.0	0.0	97.4	2.6	0.0	0.0	84.2	15.8	0.0	0.0
Max.									100.					15.8		0.0

Tablo 4.19. Kolon Kesme Kuvveti Dağılımı (%)

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB
5	69.5	30.5	0.0	0.0	68.1	31.9	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
4	43.0	57.0	0.0	0.0	41.5	58.5	0.0	0.0	97.9	2.1	0.0	0.0	95.0	5.0	0.0	0.0
3	31.7	68.3	0.0	0.0	35.5	64.5	0.0	0.0	68.7	31.3	0.0	0.0	82.9	17.1	0.0	0.0
2	49.1	50.9	0.0	0.0	49.5	50.5	0.0	0.0	61.9	38.1	0.0	0.0	60.0	39.3	0.0	0.0
1	88.5	11.5	0.0	0.0	88.6	11.4	0.0	0.0	80.4	19.6	0.0	0.0	62.3	37.3	0.0	0.0
Max.						100.0			100.0						0.7	

Tablo 4.20. Can Güvenliğini Sağlamayan Elemanların Dağılımı (%)

Kat No	X		Y	
	Kiriş %	Kolon %	Kiriş %	Kolon %
5	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	0/33 (%0.0)
4	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	0/33 (%0.0)
3	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	0/33 (%0.0)
2	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	1/33 (%0.03)
1	0/33 (%0.0)	0/33 (%0.0)	0/38 (%0.0)	1/33 (%0.03)

Hemen Kullanım Durumu Yeterlilik Kontrolü:

Tablo 4.18 ve Tablo 4.19’nin incelenmesi neticesinde görüleceği gibi, her bir kattaki kirişlerin ve kolonların %10’dan fazlasının **Belirgin Hasar Bölgesinde** olduğu ve bu nedenle binanın **“Hemen Kullanım”** koşulunu sağlayamadığı anlaşılmaktadır.

Can Güvenliği Yeterlilik Kontrolü:

Tablo 4.18, Tablo 4.19, Tablo 4.20’de görüleceği gibi yapıda **İleri Hasar Bölgesinde** kiriş veya kolon bulunmamaktadır. Dolayısıyla binanın **“Can Güvenliği Performans”** düzeyini sağladığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda ele alınan yapının “*Can Güvenliği*” performans düzeyini sağladığı, “*Hemen kullanım*” koşulunu sağlayamadı bazı kolonların gevrek davranış gösterdiği ve bu kolonların güçlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

5. MEVCUT BİNANIN GÜÇLENDİRME ÖNERİSİ

Zemin + 4 Normal Katlı bina TDY-2007, Bölüm 7.9’da binaların güçlendirilmesi, deprem hasarlarına neden olacak kusurlarının giderilmesi, deprem güvenliğini arttırmaya yönelik olarak yeni elemanlar eklenmesi, kütle azaltılması, mevcut elemanlarının deprem davranışlarının geliştirilmesi, kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması türündeki işlemleri içerir.

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

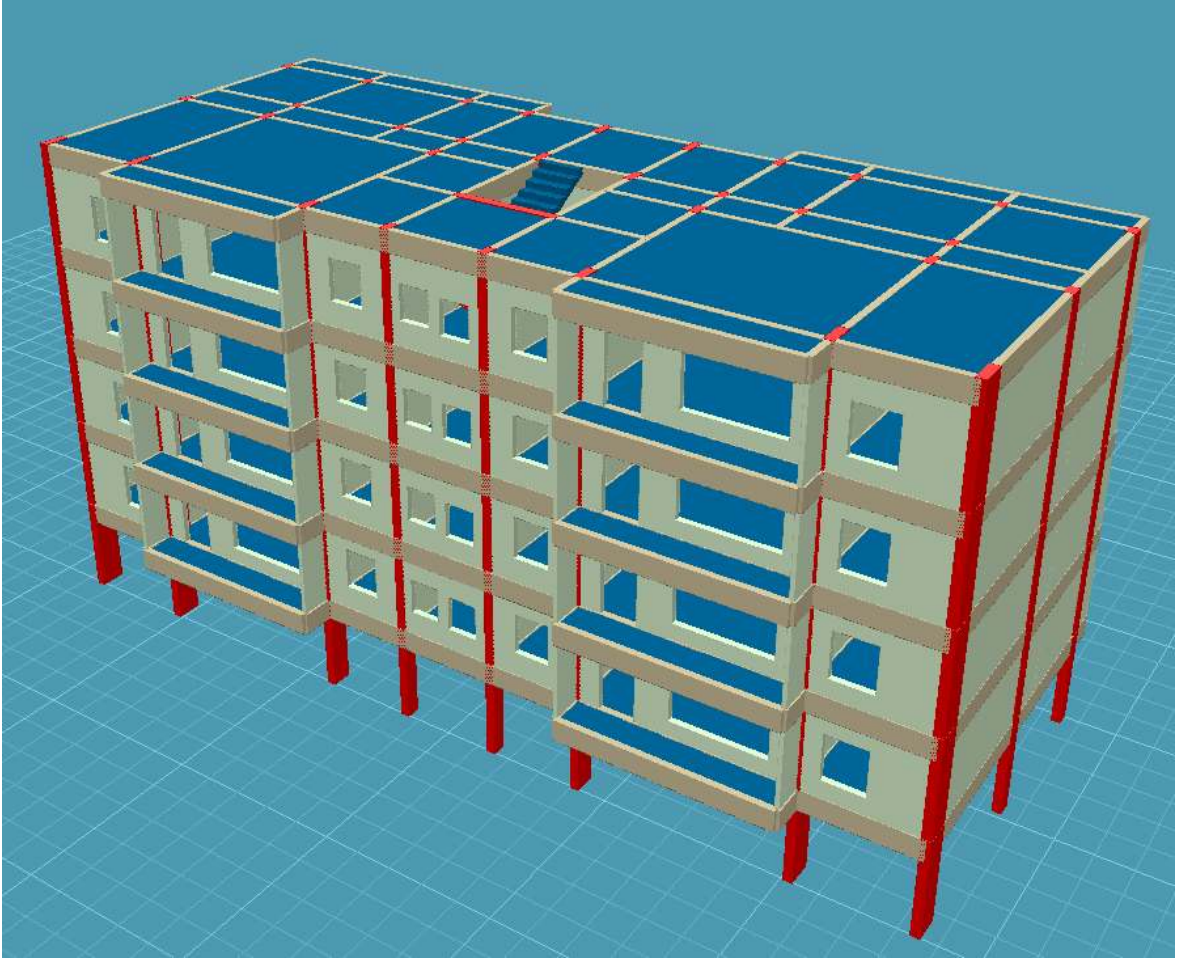
Binanın kolon, kiriş ve birleşim bölgesi gibi deprem yüklerini karşılayan elemanlarında dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin arttırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler, “*eleman güçlendirmesi*” olarak tanımlanır.

Binanın taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin arttırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, binaya yeni elemanlar eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, deprem etkilerinin azaltılması amacıyla binanın kütlelerinin azaltılması işlemleri “*sistem güçlendirmesi*” olarak tanımlanır.

Bu çalışmada, güçlendirilen elemanların deprem güvenliklerinin hesaplanmasında, mevcut binalar için hesap yöntemleri ve değerlendirme esasları kullanılacaktır. Güçlendirme yapılacak elemanların tasarımında, verilen özel kurallarla birlikte, yürürlükte olan diğer standart ve yönetmeliklere uyulacaktır[16-17].

5.1. Sta4Cad Paket Programı ile Analiz ve Bina Güçlendirme Önerisi

Şekil 5.1’de verilen mevcut binanın 3D modeli oluşturularak, *Sta4Cad v13.1* bilgisayar paket programı kullanılarak güçlendirmesi yapılmıştır. *Sta4Cad v13.1*’de **TDY-2007Bölüm 7**’yi esas alan bir güçlendirme bölümü bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Mevcut binanın Sta4Cad 3D modeli

Sta4Cad v13.1'de izlenecek yol; ilk olarak, yapının matematiksel modeli oluşturularak kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapı tanımlaması iki başlık altında toplanabilir;

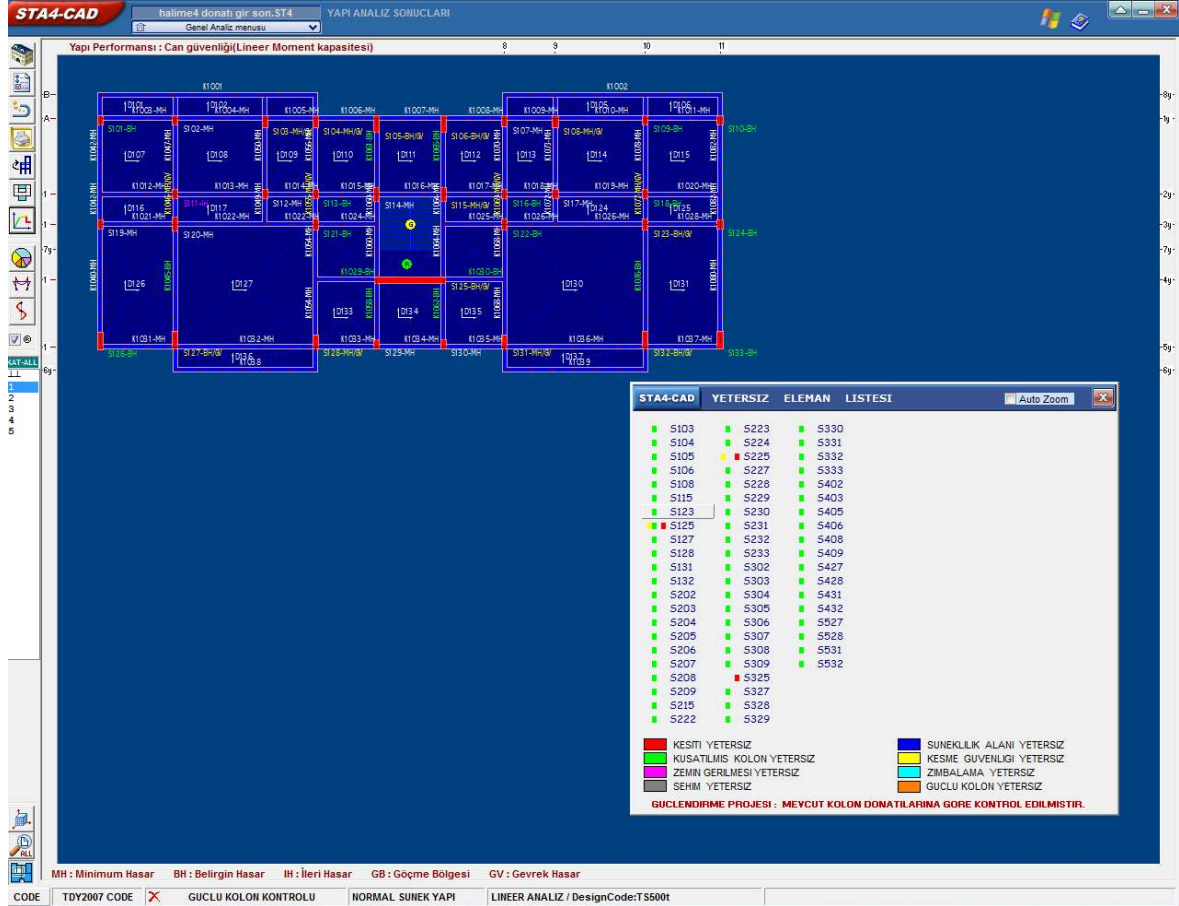
1. Geometri ve malzemenin belirtilmesi
2. Yapının içinde bulunan donatının belirtilmesi

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır.

Birinci aşamada yapı tanımlaması bittiğinde, yapının kapasitesi ortaya çıkartılmıştır. Bunun için yapı elemanlarının hasar durumu belirlenmiştir. Elemanlarda oluşacak hasarın sınıflandırılması için hasar sınırları ve aralık kavramları getirilmiştir. Yapıdaki bütün elemanların hasarı belirlendikten sonra, yapı içindeki hasar dağılımına ve oranına göre yapının performansı ortaya çıkarılmıştır. (*Ek-1B*)

Malzeme ataması bittikten sonra, genel yapı bilgisi penceresinde süneklik katsayısı $R=4$ alınmış ve süneklik katsayısı sadece yeni eklenen malzemeler için kullanılmıştır. Mevcut elemanların değerlendirilmesinde bu katsayı kullanılmayacaktır.

İkinci aşamada ise yapı *Sta4Cad v13.1*'de "*Deprem Yapı Güçlendirme Projesi*" bölümünden "*Çatlamış kesite göre analiz*" opsiyonu seçilerek yapının mevcut malzemesi **E2** ($E=27000\text{kg/cm}^2$, C16 ve $f_{yk}=2200\text{kg/cm}^2$) seçilmiştir. Şekil 5.2'de mevcut yapının güçlendirme malzemesi **E1** ($E=285000\text{kg/cm}^2$, C20 ve $f_{yk}=4200\text{kg/cm}^2$) proje opsiyonları verilmiştir.



Şekil 5.2. Güçlendirme Proje Opsiyonları

Deprem yapı güçlendirme projesi işaretlenmesi, projenin güçlendirme projesi kontrollerinin yapılmasını, hesap ve çizimlerinde bu opsiyonların dikkate alınması sağlanır. Yapı performansı kontrolü, *TDY-2007* yönetmeliğinin güçlendirme ile ilgili kuralların yanı sıra altındaki opsiyonlara göre kontrol edilir. Bina bilgi düzeyi katsayısı, *TDY-2007* yönetmelikte tanımlanan tablo 7.2'de (bu çalışmada Tablo 3.1) değerleri içerir ve 1,0 alınır. Donatı kenetlenme boyu, *TDY-2007 yönetmeliğinin* 7.4.15'teki kesit kapasite hesaplarında kullanılır.

Kiriş düşey yük moment çarpanı, *TDY-2007 yönetmeliğinin* 7.5.2.3-a' da ki kiriş kapasite hesaplarında kullanılan $M_g + M_q$ toplam momentinin çarpanı olarak hesaplarda

dikkate alınır. TS500' deki yeniden moment dağılımı gibi düşünülebilir. Kiriş hareketli yük çarpanı, *TDY-2007 yönetmeliğinin 7.4.3*'de aynı şekilde kapasite hesaplarında hareketli yük tesirlerinin çarpanı olmaktadır. Deprem hesaplarında kullanılan hareketli yük azaltma katsayısı ile uyumlu olmalıdır.

Kolon uçlarında kesit yetersizliği, kesme güveliği yetersizliği ve kuşatılmış kolon kontrolü, *TDY-2007 yönetmeliğinin 7.5.2.6*'da yetersizlik durumunda elemanları göçme bölgesinde kabul edilir.

Çatlamış kesite göre analizde; *TDY-2007 yönetmeliğinin 7.4.13*'demevcut elemanların donatısına göre çatlamış kesit atalet momentine göre rijitlik matrislerini moment alan metodu ile hazırlar. Yeni elemanlarda ise $1.4 Mg + 1.6 Mq$ ' dan elde edilen donatı alanına göre çatlamış kesit atalet momentleri kullanılır. [3-14].

Kat kat beton dökümüne göre düşey yük analizi, genel proje opsiyonlarında değiştirilen bu özellik sonradan yapılan perde ve mantoların düşey yük momentlerinin daha büyük olmasının azaltır, zaten düşey yükü taşıyan mevcut elemanların düşey yük momentlerinin gerçeğe uygun olarak almasını sağlamaktadır. Kendi içinde iki analizle hesaplanmaktadır.

Bu bölümde, yapılan performans analizi sonucunda kesit yetersizliği, kesme güveliği yetersizliği ve kuşatılmış kolon kontrolünü sağlamayan taşıyıcı elemanlar **SZ03, SZ04, SZ05, SZ06, SZ08, SZ15, SZ23, SZ25, SZ27, SZ28, SZ31, SZ32, S102, S103, S104, S105, S106, S107, S108, S109, S115, S22, S124, S127, S128, S129, S130, S131, S132, S133, S202, S203, S204, S205, S206, S207, S208, S209, S227, S228, S229, S230, S231, S232, S302, S303, S305, S306, S308, S309, S327, S328, S331, S332, S427, S428, S431 ve S432** kolonları olarak tespit edilmiştir. Bu kolonlar mevcut yapıda güçlendirilmesi gereken gevrek elemanlardır. Bu elemanların kesme kapasite yetersizliği nedeniyle Bölüm 7.10'da verilen “**Betonarme Binaların Güçlendirmesine**” göre, bina sistemin iyileştirmesine yönelik güçlendirme önerisine gidilmiştir.

Güçlendirme önerisi için, programa ait deprem yapı güçlendirme projesi opsiyonun da, yapılacak takviye elemanlar için panel ve manto opsiyonları seçilmiştir. Yapının yaşı, yapı sistemi ve mevcut malzeme özellikleri göz önüne alınarak yeni takviye elemanlarının kullanılması için R katsayısı 4 alınmıştır.

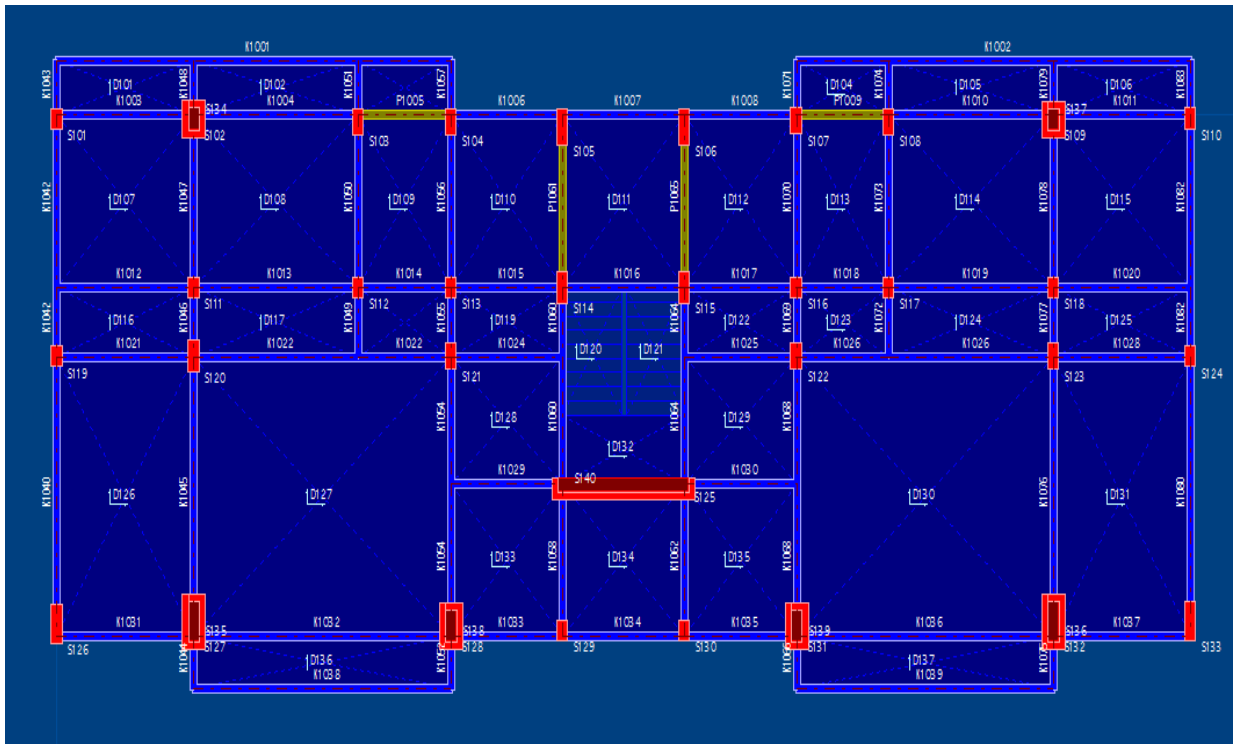
Perdelerin modellenmesi

Perde duvarın güçlendirmesi kolonlar arası bölme duvarların yerine kullanılarak az hacim kaybı ve az maliyetle yapılmıştır.

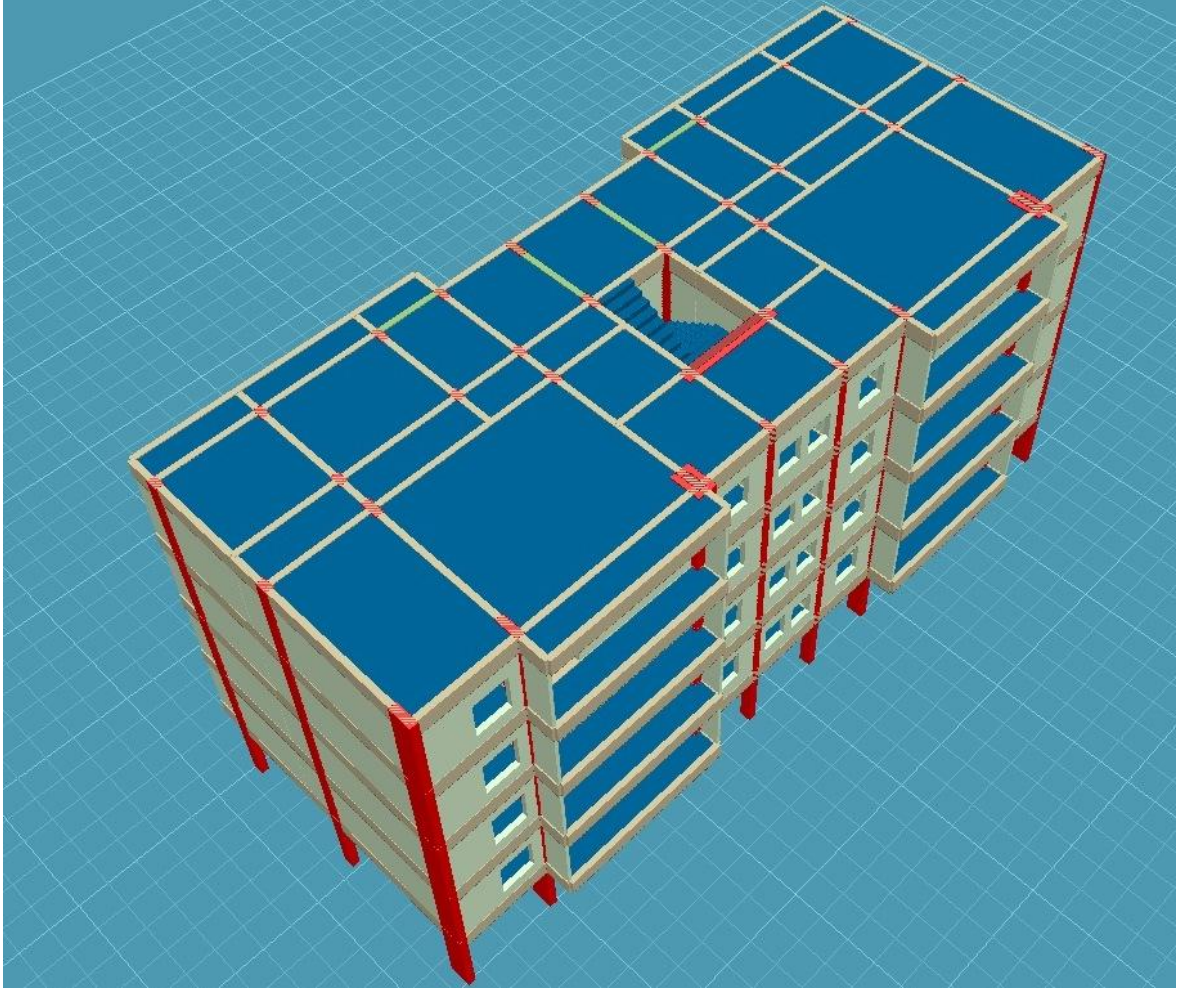
- Perdenin yapı boyunca sürekliliği sağlanmıştır.
- Yüksek sünek perde özelliklerine uyulmuştur.
- İki kolon arasındaki güçlendirme, perdenin dar kesiti 35 cm seçilmiştir.

Mantoların Modellenmesi

- Düşey yükler altında yetersizlik gösteren kolonlar, lokal bir takviye elemanı olan mantolama 15 cm kalınlığında tüm kat boyunca yapılmıştır. Kolonların mantolaması eksenel yük, moment ve kesme kuvveti taşıma güçleri arttırılmıştır.



Şekil 5.3. Bina Güçlendirme Kalıp Planı



Şekil 5.4. Güçlendirilmiş Bina 3D Modeli

Tablo 5.1. Güçlendirilmiş Bina Göreli Kat Öteleme Kontrolü

[$\max (R \cdot \Delta / h) :$ MH < 0.01 < BH < 0.03 < IH < 0.04 < GB]

Kat	hi	X yönü	$R_x \cdot \Delta x / h$	Y yönü	$R_y \cdot \Delta y / h$
5	3.00	0.0084171	MH	0.0064053	MH
4	2.80	0.0092993	MH	0.0075713	MH
3	2.80	0.0094465	MH	0.0080917	MH
2	2.80	0.0081125	MH	0.0074234	MH
1	2.80	0.0043960	MH	0.0043417	MH

Tablo 5.1’de göreli kat ötelemeleri *TDY-2007*’de verilen **Can Güvenliği Performans Seviyesinin** çok altında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2. Kiriş Hasar Yüzdeleri (%)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB
5	93.5	6.5	0.0	0.0	93.5	6.5	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
4	93.5	6.5	0.0	0.0	93.5	6.5	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
3	93.5	6.5	0.0	0.0	93.5	6.5	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	93.5	6.5	0.0	0.0	93.5	6.5	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	96.8	3.2	0.0	0.0	96.8	3.2	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.		6.5							100.							

Tablo 5.3. Kolon Kesme Kuvveti Dağılımı (%)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB	MH	BH	IH	GB
5	92.4	7.6	0.0	0.0	92.4	7.6	0.0	0.0	95.4	4.6	0.0	0.0	98.9	1.1	0.0	0.0
4	96.2	3.8	0.0	0.0	96.2	3.8	0.0	0.0	95.5	4.5	0.0	0.0	97.9	2.1	0.0	0.0
3	97.7	2.3	0.0	0.0	97.7	2.3	0.0	0.0	95.4	4.6	0.0	0.0	98.2	1.8	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	99.2	0.8	0.0	0.0	98.9	1.1	0.0	0.0
1	69.1	30.9	0.0	0.0	69.1	30.9	0.0	0.0	93.8	6.2	0.0	0.0	95.4	4.6	0.0	0.0
Max.	100.					30.9										

Tablo 5.4. Alt ve Üst Kesitlerinde Minimum Hasar Bölgesini Aşan Kolonların Kesme Kuvveti Dağılımı (%)

KAT NO	(-X)		(+X)		(-Y)		(+Y)	
	MH	BH+IH+GB	MH	BH+IH+GB	MH	BH+IH+GB	MH	BH+IH+GB
5	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0
4	99.5	0.5	99.5	0.5	100.	0.0	100.	0.0
3	99.6	0.4	99.6	0.4	100.	0.0	99.1	0.9
2	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0
1	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0
Max.	100.							0.9

Tablo 5.5. Can Güvenliğini Sağlamayan Eleman Dağılımı (%)

KAT NO	X yönü		Y yönü	
	Kiriş (%)	Kolon (%)	Kiriş (%)	Kolon (%)
5	0/31 (00.0)	0/44 (00.0)	0/36 (00.0)	0/44 (00.0)
4	0/31 (00.0)	0/44 (00.0)	0/36 (00.0)	0/44 (00.0)
3	0/31 (00.0)	0/44 (00.0)	0/36 (00.0)	0/44 (00.0)
2	0/31 (00.0)	0/44 (00.0)	0/36 (00.0)	0/44 (00.0)
1	0/31 (00.0)	0/44 (00.0)	0/36 (00.0)	0/44 (00.0)

Kiriş ve kolonların *Can Güvenliği'* ni sağlamayan eleman dağılımı Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.6. Güçlendirilmiş Bina Performans Sonucu

Bina yatay yük kapasite oranı 1. kat : $V_r/V_e=650.26/465.5=1.397$
Can güvenliği durumu, Güçlendirme yeterlidir.
Can güvenliği yeterlilik kontrolü:
Kiriş Hasar oranı= $(IH=\%0.0 \leq \%30)$, $(GB=\%0)$
Kolon Hasar oranı= $(IH=\%0.0 \leq \%20)$, $(GB=\%0)$
Ust kat Vc oranı= $(IH=\%0.0 \leq \%40)$, $(GB=\%0)$
Plastiklesen kolon Vc oranı= $(BH+IH+GB=\%0.9 \leq \%30)$, $(GB=\%0)$

Bina performans sonucu Tablo 5.6’da taşıyıcı eleman olan kirişlerde ve kolonlarda *Göçme Bölgesi* hasar oranı olmadığı görülmektedir. Binanın güçlendirilmiş haliyle yönetmeliğin öngördüğü ***Hemen Kullanım ve Can Güvenliği Performans Seviyesi***’ ne uygun bir deprem performansı sergileyeceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Yapılmış Mevcut Betonarme Bir Binanın 2007 Yönetmeliğine Göre Güçlendirme Önerisi incelenmiştir. Binanın TDY-2007’de verilen ***“Doğrusal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine”*** göre deprem performansı irdelenip, buna uygun bir güçlendirme sunulmuştur.

Binanın genel özellikleri ve binadan toplanan bilgiler *Sta4Cad v13.1* paket programında aktarılarak yapının modellenmesi oluşturulmuştur. Daha sonra, yapısal elemanların mevcut donatı miktarları ve tespit edilen beton basınç dayanımı göz önüne alınarak, TDY-2007’de öngörülen şartlara uygun olarak elemanların eğilme momentleri ve kesme kuvveti kapasiteleri hesaplanmıştır [18,19].

Yapının her bir taşıyıcı elemanı için r (etki/kapasite) oranları hesaplanmış, TDY 2007’de verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak elemanların hasar düzeyleri belirlenmiştir.

Doğrusal eşdeğer deprem yüğü yöntemiyle yapılan çalışmanın sonucunda;

Güçlendirme Öncesi

- Tablo 4.18 ve Tablo 4.19 görüleceği gibi Binanın *X* yönünde istenilen performansı sağlayamadığı ve bu yöndeki kolon ve kirişlerin *%10*’dan fazlasının ***Belirgin Hasar Bölgesinde*** olduğu tespit edilmiştir. *X* yönünde oluşan hasarlardan dolayı

“Hemen Kullanım” koşulunu sağlayamadığından gevrek elemanların güçlendirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

- X yönünde %10’dan fazlasının belirgin hasar bölgesinde olması sebebi, bu yönde deprem perdesinin olmaması ve kolanların tümünün Y yönünde atılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum da kolonların kesit yetersizliği, kesme güvelliği yetersizliği ve kuşatılmış kolon probleminin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Sonuç olarak, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda ele alınan yapının **“Can Güvenliği”** performans düzeyini sağladığı, **“Hemen kullanım”** koşulunu sağlayamadı bazı kolonların gevrek davranış gösterdiği ve bu kolonların güçlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Güçlendirme Sonrası

- Binanın X ve Y doğrultusunda ileri hasar bölgesinde kiriş ve kolon bulunmadığından **“Can Güvenliği Performans”** düzeyi sağlanmıştır.
- Bina güçlendirme sonrası performansı kirişlerde ve kolonlarda göçme bölgesi hasar oranına rastlanmadığı görülmektedir. Güçlendirme sonrası binanın güçlendirilmiş haliyle yönetmeliğin ön gördüğü **“Hemen Kullanım”** ve **“Can Güvenliği Performans”** seviyesine uygun bir deprem performansı sergilediği düşünülmektedir.
- Bu çalışmada, güçlendirme modeli olarak tüm katlarda gevrek eleman davranışı sağlayan kolonlar arasına ilave perdeler ve kolon mantolamaları yapılmıştır. İlave perdeler ve kolonların beton dayanımı **C20**, donatı **S420** seçilerek yapının genel malzeme özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır.
- Sonuç olarak; ele alınan yapı örneğinde de ortaya çıktığı gibi ülkemizdeki birçok yapının depreme dayanıklı olarak yapılmadığı bilinmektedir. Özellikle stratejik ve sosyal öneme sahip resmi binalar (okullar, hastaneler, vb.) depremlere karşı yeterince dayanıklı değildir ve bu yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2004) Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul
- [2] Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2005), Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul
- [3] Deprem Yönetmeliği, Mart, (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- [4] Cihat YILDIRIM, “2007 Deprem Yönetmeliği’ne Göre Mevcut Bir Yapının Performansının Belirlenmesi ve Bir Güçlendirme Önerisi”, Y.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [5] Okan KÖSE "1998 Deprem Yönetmeliğine göre yapılmış mevcut betonarme bir binanın 2007 Deprem Yönetmeliğine göre güçlendirme önerisi" Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [6] İbrahim Özgür (2001) “ Depremde Hasar Gören Yapıların Güçlendirilmesi ” Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
- [7] Fatih Altun, H. Bekir Kara, Erdal Uncuoğlu, Okan Karahan “Betonarme Yapılarda Deprem Hasarları Ve 6 Katlı Bir Yapının Güçlendirme Çalışmaları” G.Ü.-FenBil.Derg.,16(2):309-318,2003
- [8] Ferhat KIRAN, “Binaların performans analizi için kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin incelenmesi” Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
- [9] İsmet Semih ATEŞİ “Mevcut Binaların Depreme Karşı Performans Analizi İçin Kullanılan Alternatif Yöntem ve Paket Programların Karşılaştırılması” Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
- [10] Safiye Murat “Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Atölyesi Binasının 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Güçlendirme Projesinin Hazırlanması ”Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bitirme Tezi. 2013
- [11] Hüseyin AKYILDIZ, “Betonarme Bir Binanın Güçlendirme Öncesi ve Sonrası Yapı Performansının Belirlenmesi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2007.
- [12] Bilal YÖRÜKCÜ, “Hasarlı yapıların onarım güçlendirme ilkeleri” Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007

- [13] Hakan TONYALI “Betonarme Binalarda Duvar Etkisi Ve Güçlendirilmesi” İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü” Bitirme Tezi. 2006
- [14] İnel, M., Bilgin, H. ve Özmen, H. B., (2007), “Mevcut Kamu Yapılarının Performans Değerlendirmesi” Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı/444-445-2006/4-5
- [15] SAT4CAD-v13.1, 20, Yapıların Üç Boyutlu Dinamik Analiz ve Tasarımını Yapabilen Bilgisayar Programı.
- [16] TS-498, 1997. “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [17] TS-500, 2001. “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [18] Özer, E. Mayıs, (2005), “Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım”
- [19] Sucuoğlu, H., (2007), “2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı/444-445-2006/4-5

ÖZGEÇMİŞ

Halime ÇAKAR 1982 yılında Malatya’da doğdu. 1999 yılında Malatya İmam Hatip Lisesi’nden mezun oldu. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Yapı Ressamlığı Öğretmenliği bölümüne girmeye hak kazandı. 2008 yılında lisans programından mezun oldu. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

EKLER