İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PERFORMANS ANALİZİNDE DOĞRUSAL ELASTİK EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN İTME ANALİZİ YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zafer KANBİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PERFORMANS ANALİZİNDE DOĞRUSAL ELASTİK EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN İTME ANALİZİ YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zafer KANBİR
(501071122)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki HASGÜR

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501071122 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Zafer KANBİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"PERFORMANS ANALİZİNDE DOĞRUSAL ELASTİK EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN İTME ANALİZİ YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zeki HASGÜR** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Zekai Celep** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Feridun ÇILI .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi: **8 Haziran 2012**

Eşime ve Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında engin bilgi ve tecrübesiyle her konuda yardımını benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zeki Hasgür'e ve öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği bulunan tüm hocalarıma teşekür eder, saygılarımı sunarım.
Tez çalışmalarına birlikte başladığımız ancak sağlık problemleri nedeniyle devam edemediğimiz değerli hocam Sayın Prof. Dr. Melike ALTAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunar, acil şifalar dilerim.
Ayrıca, her zaman yanımda olan Aileme ve bana verdiği destekten güç aldığım sevgili Eşime sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2012

Zafer KANBİR
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Konu 1
1.2 Tezin Amacı 2
2. YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ **3**
2.1 Binalardan Bilgi Toplanması 3
2.1.1 Binalardan toplanacak bilginin kapsamı 3
2.1.2 Bilgi düzeyleri 3
2.1.2.1 Sınırlı bilgi düzeyi 4
2.1.2.2 Orta bilgi düzeyi 4
2.1.2.3 Kapsamlı bilgi düzeyi 4
2.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri 4
2.2.1 Kesit hasar sınırları 5
2.2.2 Kesit hasar bölgeleri 5
2.3 Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi 6
2.3.1 Hemen kullanım performans seviyesi 6
2.3.2 Can güvenliği performans seviyesi 7
2.3.3 Göçmenin öncesi performans seviyesi 8
2.3.4 Göçme durumu 8
2.4 Dikkate Alınacak Deprem Etkisi 9
2.5 Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Seviyeleri 10
2.6 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar 11
2.7 Deprem Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi 12
2.7.1 Betonarme yapı elemanlarının hasar seviyeleri 13
2.7.1.1 Kolon ve perdelerde etki/kapasite oranları 15
2.7.2 Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması 16
2.8 Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi 17
2.8.1 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol 17
2.8.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi 18
2.8.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi 20
2.8.4 Artımsal mod birleştirme yöntemi 25
2.8.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi 26

2.8.6 Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi 27
2.8.7 Betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri 27
3. MEVCUT BETONARME BİNA ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER 29
3.1 Giriş 29
3.2 Mevcut Yapının Özellikleri 29
3.3 Hedeflenen Performans Seviyesi 29
3.4 Gerekli Donatı Miktarlarının Hesaplanması 32
3.4.1 Bina ağırlığının bulunması 32
3.4.2 Eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi 33
3.5 Bina Deprem Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem İle Belirlenmesi 34
3.5.1 Analiz yöntemi 34
3.5.2 Kullanılan analiz programı ve işlem adımları 35
3.5.3 Binanın analiz programında modellenmesi 36
3.5.4 Düşey yükler altında hesap 38
3.5.5 Plastik mafsalların atanması 40
3.5.6 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi 41
3.5.6.1 Gerekli şartların kontrolü 41
3.5.7 Tepe yer değiştirmesi isteminin hesaplanması 45
3.5.8 Yapı elemanlarında gevrek kırılma kontrolleri 48
3.5.8.1 Kirişlerde kesme güvenliği kontrolü 48
3.5.8.2 Kolonlarda kesme güvenliği kontrolü 49
3.5.8.3 Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği kontrolü 50
3.5.9 Kesit hasar durumlarının belirlenmesi 50
3.5.10 Bina deprem performansının değerlendirilmesi 58
3.6 Bina Deprem Performansının Doğrusal Elastik Yöntem İle Belirlenmesi 60
3.6.1 Analiz Yöntemi 60
3.6.2 Kullanılan analiz programı ve işlem adımları 60
3.6.3 Düşey yük analizi 61
3.6.4 Yatay yük analizi 62
3.6.5 Yapı elemanlarında gevrek kırılma kontrolleri 64
3.6.5.1 Kirişlerde kesme güvenliği kontrolü 64
3.6.5.2 Kolonlarda kesme güvenliği kontrolü 65
3.6.5.3 Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği kontrolü 70
3.6.6 Kesit hasar durumlarının belirlenmesi 70
3.6.7 Bina deprem performansının değerlendirilmesi 80
4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 83
KAYNAKLAR 87
ÖZGEÇMİŞ 89

KISALTMALAR

CG	**:** Can Güvenliği Performans Seviyesi
DBYBHY 2007	**:** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
GV	**:** Güvenlik Sınırı
GÇ	**:** Göçme Sınırı
GÖ	**:** Göçme Öncesi Performans Seviyesi
HK	**:** Hemen Kullanım Performans Seviyesi
KKO	**:** Kolon-kiriş moment kapasiteleri oranı
MN	**:** Minimum Hasar Sınırı
TS	**:** Türk Standardı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları 4
Çizelge 2.2 : Deprem etkisi parametreleri. 10
Çizelge 2.3 : Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans seviyeleri. 10
Çizelge 2.4 : Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs) 14
Çizelge 2.5 : Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs) 14
Çizelge 2.6 : Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs) 15
Çizelge 2.7 : Göreli kat ötelemesi sınırları 16
Çizelge 3.1 : Mevcut yapının özellikleri 32
Çizelge 3.2 : Kolon ve kiriş boyutları 32
Çizelge 3.3 : Kat ağırlıkları 33
Çizelge 3.4 : Deprem hesabında kullanılan yapı bilgileri 33
Çizelge 3.5 : Eşdeğer deprem yükleri 34
Çizelge 3.6 : Kolon eksenel kuvvetleri ve çatlamış kesit rijitlikleri 38
Çizelge 3.7 : Modal kütle katılım oranları ve periyotlar 41
Çizelge 3.8 : X yönünde itme analizi adımları 43
Çizelge 3.9 : Y yönünde itme analizi adımları 44
Çizelge 3.10: X yönü itme eğrisi koordinat dönüşümü 45
Çizelge 3.11: Y yönü itme eğrisi koordinat dönüşümü 45
Çizelge 3.12: Kirişlerde kesme güvenliği 49
Çizelge 3.13: Kolonlarda kesme güvenliği 49
Çizelge 3.14: Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği 50
Çizelge 3.15: +X yönü kiriş hasar seviyeleri 51
Çizelge 3.16: +X yönü kolon hasar seviyeleri 53
Çizelge 3.17: +Y yönü kiriş hasar seviyeleri 55
Çizelge 3.18: +Y yönü kolon hasar seviyeleri 56
Çizelge 3.19: Eşdeğer deprem yükleri 62
Çizelge 3.20: Kirişlerde kesme güvenliği 65
Çizelge 3.21: S101 kolonu için hesaplanan kapasite değerleri 67
Çizelge 3.22: Kolonlarda kesme güvenliği 69
Çizelge 3.23: Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği 70
Çizelge 3.24: Betonarme sünek kirişler için etki/kapasite oranları (rs) 71
Çizelge 3.25: Betonarme sünek kolonlar için etki/kapasite oranları (rs) 71
Çizelge 3.26: +X yönü kiriş hasar seviyeleri 72
Çizelge 3.27: +X yönü kolon hasar seviyeleri 74
Çizelge 3.28: +Y yönü kiriş hasar seviyeleri 76
Çizelge 3.29: +Y yönü kolon hasar seviyeleri 78
Çizelge 3.30: Göreli kat ötelemeleri 81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri 6
Şekil 2.2 : Tasarım depremi ivme spektrumu 9
Şekil 2.3 : Kolonlarda moment ve normal kuvvet kapasitelerinin (M_K,N_K) hesaplanışı 16
Şekil 2.4 : Plastik moment – plastik dönme grafiği 20
Şekil 2.5 : $T_1^{(1)} \geq T_B$ olması durumunda performans noktasının belirlenmesi 23
Şekil 2.6 : $T_1^{(1)} < T_B$ olması durumunda performans noktasının belirlenmesi (1) .. 24
Şekil 2.7 : $T_1^{(1)} < T_B$ olması durumunda performans noktasının belirlenmesi (2) .. 25
Şekil 3.1 : Binanın 3 boyutlu modeli. 30
Şekil 3.2 : Binanın tipik kat kalıp planı. 31
Şekil 3.3 : Kiriş kesitinin tanımlanması 37
Şekil 3.4 : Kolon kesitinin tanımlanması 37
Şekil 3.5 : Moment M3 plastik mafsalı 40
Şekil 3.6 : PMM plastik mafsalı 41
Şekil 3.7 : X yönünde oluşan plastik mafsallar 42
Şekil 3.8 : Y yönünde oluşan plastik mafsallar 42
Şekil 3.9 : X yönü itme eğrisi 43
Şekil 3.10: Y yönü itme eğrisi 44
Şekil 3.11: X yönü modal kapasite diyagramı 46
Şekil 3.12: Y yönü modal kapasite diyagramı 46
Şekil 3.13: X yönünde modal yer değiştirme isteminin bulunması 47
Şekil 3.14: Y yönünde modal yer değiştirme isteminin bulunması 47
Şekil 3.15: XTRACT programı kullanılarak elde edilen moment-eğrilik grafiği 51
Şekil 3.16: +X yönü 1. kat kiriş hasar durumu 52
Şekil 3.17: +X yönü 1. kat kolon hasar durumu 54
Şekil 3.18: +Y yönü 1. kat kiriş hasar durumu 56
Şekil 3.19: +Y yönü 1. kat kolon hasar durumu 58
Şekil 3.20: Düşey yüklerin tanımlanması 61
Şekil 3.21: Eşdeğer deprem yüklerin tanımlanması 62
Şekil 3.22: Binanın +X yönündeki şekil değiştirme durumu 63
Şekil 3.23: Binanın +Y yönündeki şekil değiştirme durumu 63
Şekil 3.24: S101 Kolonu alt ucu kapasitelerinin hesaplanması 65
Şekil 3.25: S101 Kolonu alt ucu M-N etkileşim diyagramı 66
Şekil 3.26: S101 Kolonu üst ucu kapasitelerinin hesaplanması 66
Şekil 3.27: S101 Kolonu üst ucu M-N etkileşim diyagramı 67
Şekil 3.28: Kolonlarda kesme isteminin hesaplanışı 68
Şekil 3.29: +X yönü 1. kat kiriş hasar durumu 73
Şekil 3.30: +X yönü 1. kat kolon hasar durumu 75

Şekil 3.31: +Y yönü 1. kat kiriş hasar durumu 77
Şekil 3.32: +Y yönü 1. kat kolon hasar durumu 80

PERFORMANS ANALİZİNDE DOĞRUSAL ELASTİK EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN İTME ANALİZİ YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Ülkemizde meydana gelen depremlerin büyük çapta hasara ve can kayıplarına yol açması mevcut yapı stoğunun yeterli deprem güvenliğine sahip olmadığını göstermektedir. Depremle mücadelede en önem etken depreme dayanıklı yapılar inşa etmektir. Bununla birlikte yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların da depreme dayanıklı hale getirilmesi gerekmektedir. Mevcut yapıların deprem güvenliğinin arttırılması için güçlendirilmeleri ya da güçlendirmenin ekonomik olmadığı durumda yıkılıp yeniden yapılmaları gerekmektedir. Bu işlemlerin güvenilir bir şekilde yapılmasının ilk koşulu mevcut yapıların deprem performanslarının doğru bir şekilde belirlenmesidir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'de mevcut betonarme binaların değerlendirilmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan iki yöntem tanımlanmaktadır. Doğrusal elastik yöntem yeni binaların tasarımında kullanılan yöntemin genişletilmişi olarak görülebilir. Yeni binalarda tüm taşıyıcı sistem için öngörülen tek bir R_a Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, mevcut binada taşıyıcı eleman kesiti esasına bağlı olarak r = etki/kapasite biçiminde hesaplanmakta ve öngörülen sınır değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Doğrusal eleastik yöntemler ikiye ayrılır:

I. Eşdeğer deprem yükü yöntemi.

II. Mod birleştirme yöntemi.

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi ise, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı esas alınarak yapılan incelemeye dayanmaktadır. Ancak, doğrusal olmayan statik itme analizi olarak ifade edilen bu çözümlemenin, doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile önemli derecede farklılık gösterdiği bilinmektedir. Bu durumun aksine Deprem Yönetmeliği (2007)' de her iki yöntem benzer yaklaşıma sahip kabul edilerek, birbirine paralel olduğu düşünülmüştür. Doğrusal elastil olmayan yöntemler üçe ayrılır:

I. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi.

II. Artımsal mod birleştirme yöntemi.

III. Zaman tanım alanında analiz yöntemi.

Bu çalışmada, mevcut betonarme bir konut binasının deprem performansının belirlenmesi için *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*

2007'de öngörülen doğrusal elastik *"eşdeğer deprem yükü"* ve doğrusal elastik olmayan *"artımsal eşdeğer deprem yükü (itme analizi)"* yöntemleri kullanılmış ve her iki yöntem ile elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Dört bölümden oluşan yüksek lisans tezinin birinci bölümü, konunun açıklanmasına ayrılmış, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi konusunda Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'de yer alan bilgiler aktarılmıştır. Yapılardan bilgi toplanması, kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri, yapı elemanlarının hasar seviyeleri, bina performans seviyeleri gibi konular açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, sayısal incelemeler yer almaktadır. Bu bölümde, mevcut betonarme binanın deprem performansı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'de tanımlanan doğrusal elastik eşdeğer deprem yükü ve doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü (itme analizi) hesap yöntemleri ile belirlenmiştir.

Son bölüm elde edilen sonuçların değerlendirilmesine ayrılmıştır.

COMPARISON OF THE LINEAR EQUIVALENT EARTHQUAKE LOAD AND THE NON-LINEAR PUSHOVER EVALUATION METHODS OF PERFORMANCE ANALYSIS

SUMMARY

Occurrence of major material damage and loss of lives in earthquakes in our country show that the earthquake safety of existing building stock is not enough. The most important factor in the fight against the earthquake is to build earthquake-resistant structures. However, structures that does not have sufficient seismic safety should be made earthquake-resistant. Existing buildings should be strengthened to improve their earthquake safety. If strengthening is not economic they should be reconstructed. To operate this process reliable, it is necessary to determine earthquake performance of existing structures correctly.

Turkish Earthquake Code (2007) gives two methods for seismic safety evaluation of existing buildings. These are linear and nonlinear methods. The linear method can be regarded as an extension of the method used for the newly designed buildings to the existing buildings. The Turkish Earthquake Code assumes a specific seismic load reduction factor, R_a by requiring precautions for obtaining a structural system of high ductility. However, in existing building demand and capacity ratio of the cross sections evaluated and compared to their limiting values given in the Turkish Earthquake Code. The main reason of the difference is due to variations of ductility in the members of the existing buildings. It is possible to ensure a specific ductility level in the buildings to be designed. However, identified ductility level must be taken into consideration in the existing building. According to Turkish Earthquake Code. The linear methods divided into two:

I. Equivalent earthquake load method.
II. Mode superposition method.

The non-linear evaluation method considers the elasto-plastic behavior of the structural system and has two application procedures: Incremental equivalent static seismic load by considering contributions of the single mode or multi modes and the nonlinear dynamic analysis of the system. The first one is called static pushover analysis of single or multi modes. There are considerable differences between the nonlinear static pushover analysis and the nonlinear dynamic analysis. However, Turkish Earthquake Code (2007) states these methods by implying that they have almost the same accuracy. The non-linear methods divided into three. First and second methods are static methods and third method is dynamic method:

I. Incremental equivalent earthquake load method.
II. Incremental mode superposition method.
III. Time history analysis method.

In this study, the linear "*equivalent earthquake load*" and the non-linear *"incremental equivalent earthquake load (pushover)"* evaluation methods given by 2007 Turkish Earthquake Code are used to determine the earthquake performance of a reinforced concrete building. The numerical results obtained by these methods are compared.

Reinforced concrete building selected for performance analysis, is the building that examined in the 2007 Turkish Earthquake Code Book of Examples. However, the results were compared by analysis of the performance for different soil and material classes on the same structural system. C16-S220 materials are considered instead of C25-S420 and Z2 soil class is considered instead of Z3. Structure with these characteristics was analyzed using SAP2000 and amount of necessary reinforcement were calculated. Later, the building is considered as an existing one and its seismic safety is investigated by applying the requirements of the Turkish Earthquake Code given for existing buildings.

In the first chapter of this master thesis, which consists of four chapters, explanation of the subject, purpose and scope are given.

The second chapter gives general information about the seismic evaluation of the existing building, according to 2007 Turkish Earthquake Code. Performance levels of structural elements, performance concepts of buildings, section damage limits, damage zones and damage categories are explained in this chapter. And also in this chapter, information is given about the linear and non-linear methods used in the study.

Numerical analysis is located in the third chapter. The seismic performance of the existing reinforced concrete building is determined according to linear elastic equivalent earthquake load and non-linear incremental equivalent earthquake load (pushover) evaluation methods defined by the 2007 Turkish Earthquake Code.

Firstly, necessary conditions for the use of these methods have been checked. It has seen that the building have the necessary conditions. These conditions are summarized below.

For linear equivalent earthquake load method:

I. Number of stories must be less than 8.

II. Total building height must be under 25 meters.

III. Torsional irregularity coefficient, ηbi must be smaller than 1,4.

For non-linear incremental equivalent earthquake load method:

I. Number of stories must be less than 8.

II. Torsional irregularity coefficient, ηbi must be smaller than 1,4.

III. Modal participation mass ratio for first mode must be greater than %70.

Final chapter covers the evaluation of results obtained in this study.

In both methods, the performance of the building in the X direction and Y direction is similar. When we consider that the period of the building in two directions is almost the same, horizontal stiffness in the X and Y directions can be said to be close to each other. In this case, the building can be expected to show the same performance in both directions.

In the pushover analysis of the sample building, it is seen that there is not any coloumn or beam in advanced damage zone. However, this is not sufficient to ensure the life safety level of performance. On the 1. and 2. floor, minimum damage level is exceeded at both ends of the vast majority of the columns. This means that the building is seriously under risk of earthquake. The results of analysis made with this method, building is in collapse status.

Column dimensions of the building close to each other and there is no strong column or concrete wall in both directions so all the columns on a floor have similar damages. Vertical load capacity of columns with square cross section is sufficient, but can not show adequate performance in terms of horizontal load-carrying capacity. To increase the horizontal load carrying capacity, shear walls or columns which are stronger in a direction can be used instead of the columns with square cross section. Of course, this columns and walls must be placed in a balanced manner in two directions.

In the linear elastic analysis using equivalent earthquake load method, all conditions of life safety performance level are satisfied and the building is in life safety performance level.

The same building has examined in the 2007 Turkish Earthquake Code Book of Examples with C25-S420 materials and S3 soil class. As can be seen in that study, the analysis in both methods give the same result. Here ,the building provides life safety performance level.

In first-degree seismic zone the sample building does not have enough earthquake safety with existing structural system and C16-S220 material classes. Especially, in terms of strong column condition, the building is insecure.

For changing this negative situation, the building should be strengthened to improve its earthquake safety. Increasing the size of columns or adding shear walls to system can be recommended.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Nüfusun büyük çoğunluğunun deprem kuşağı üzerinde yaşadığı ülkemizde depremler, tarih boyunca büyük mal ve can kayıplarına yol açmıştır. Bunun en önemli sebebi yapılarımızın deprem güvenliğine sahip olmamasıdır. Gerek kırsal kesimde gerek şehirlerdeki yapılarımızın büyük çoğunluğu mühendislik görmemiş yapılardır. Cumhuriyet'in kurulmasından sonra sosyal ve ekonomik yapının giderek değişmesi nedeniyle Anadolu'da köy ve kasabalarda yaşayan insanlar büyük şehirlere göç etmişlerdir. Bu insanların çoğu şehir varoşlarında yaptıkları tek katlı gecekondu tipi yapılar ya da az katlı betonarme yapılarda yaşamaya başlamışlardır. Bu yapıların nerdeyse tamamı denetimsiz yapılmıştır. Bunun yanında, şehir merkezinde yapılan yapıların özellikle de kamu binalarının çoğu da ne yazık ki yeteri kadar denetlememiş, projelerine bağlı kalınmamış, gerekli dayanıma sahip yapı malzemeleri kullanılmamıştır.

Bu tablo, gelişmiş ülkelerde herhangi bir yıkıma yol açmayacak büyüklükteki depremlerin ülkemizde ciddi mal ve can kayıplarına yol açmasına sebep olmaktadır. 1999 yılında meydana gelen Marmara depreminde resmi rakamlara göre yaklaşık 17000 kişinin ölmesi ve yaklaşık 100.000 yapının kullanılamaz hale gelmesi neticesinde toplum deprem gerçeğini acı bir şekilde hatırlamıştır. Depremle mücadelede en önemli etken kuşkusuz depreme dayanıklı yapılar inşa etmektir. Bununla birlikte mevcut yapı stokunun da depreme dayanıklı hale getirilmesi de büyük önem taşımaktadır. Bunun ilk adımı mevcut yapıların deprem performansının saptanmasıdır. Ortaya çıkan performans seviyesine göre, binanın güçlendirilmesi gerekebileceği gibi, güçlendirmenin ekonomik olmadığı durumlarda binanın yıkılıp yeniden inşa edilmesi seçeneği de değerlendirilebilir. Bu kapsamda, 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliği'nin 7. Bölümü "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" ne ayrılmıştır **[1]**. Bu tez çalışmasında da Deprem Yönetmeliği'nin bu bölümü esas alınmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, mevcut betonarme yapıların deprem performansının belirlenmesinde kullanılan ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007)'de yer alan doğrusal elastik "eşdeğer deprem yükü yöntemi" ile doğrusal elastik olmayan "artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi"ni (itme analizi) karşılaştırılmalı olarak incelemektir. Bu amaçla, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Örnekler Kitabı'nda farklı malzeme ve zemin grubunda yer alan 14. ve 15. örnekteki betonarme yapı ele alınmıştır **[2]**. Bu yapıya ait taşıyıcı sistemde değişiklik yapılmadan, malzeme sınıfları C25-S420 yerine C16-S220 ve zemin sınıfı da Z3 yerine Z2 alınarak giriş verilerinde değişiklik yapılmıştır. Bahsi geçen her iki yöntemle bu yapı üzerinde sayısal incelemeler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece bu iki yöntem birbiriyle karşılaştırıldığı gibi, mevcut malzeme dayanımı ve zemin özelliklerindeki değişimin performansa etkileri de incelenmiştir.

2. YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut binaların ve bina türündeki yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarının alınmasında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri **2007 Deprem Yönetmeliği Bölüm 7**' de verilmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde, söz konusu temel ilkeler ve hesap kuralları ile betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirme ve güçlendirme yöntemleri açıklanmıştır.

2.1 Binalardan Bilgi Toplanması

2.1.1 Binalardan toplanacak bilginin kapsamı

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilir.

Binalardan bilgi toplanması sırasında, yapısal sistemin tanımlanması, bina ve yapı elemanlarının boyutları ile malzeme özelliklerinin belirlenmesi, temel sistemi ve zemin özelliklerinin saptanması gerekir. Sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğu kontrol edilir. Binada varsa mevcut hasar, yapısal değişiklik veya ilavelerin de tespit edilip değerlendirmede dikkatte alınması gerekmektedir.

2.1.2 Bilgi Düzeyleri

Binalardan elde edilen bilgilerin kapsamına göre üç bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak **Çizelge 2.1** 'de gösterilen bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmıştır. Bilgi düzeyleri

sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılmıştır. Bu bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır.

2.1.2.1 Sınırlı bilgi düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

2.1.2.2 Orta bilgi düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Taşıyıcı sistem projeleri mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılır, proje bilgileri kontrol edilir.

2.1.2.3 Kapsamlı bilgi düzeyi

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

Çizelge 2.1: Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

2.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirmesi genel olarak iki farklı ölçüte göre yapılabilmektedir. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) temelli değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve lineer teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmaktadır. Yapı elemanlarının, kırılma biçimleri de dikkate alınarak, gerekli kapasiteleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Yapı elemanlarının beklenen hasar durumlarından kat hasar durumlarına, bundan da bina hasar durumlarına geçilerek performans belirlenir.

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemleri ise, yer değiştirme ve şekil değiştirme esasına dayanır. Genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan sistem hesabına dayanan bu yöntemlerde belirli bir deprem etkisi için binadaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları sünek ve gevrek olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığı ile ilgilidir. Buna göre, betonarme elemanlar, kırılma türleri eğilme ise sünek, eksenel basınç kuvveti veya kesme kuvveti ise gevrek olarak sınıflandırılmaktadır. Gevrek kırılma davranışı gösteren yapı elemanları çok sınırlı bir şekil değiştirme yapar ve ani olarak kırılırlar. Bu, istenmeyen bir durumdur.

Sünek yapılar ya da yapı elemanları ise, dayanımlarını yitirmeden önce önemli şekil değiştirmeler yaparlar. Sünek kesitlerdeki bu iç kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi **Şekil 2.1 ‘**de gösterilmiştir. İlk bölümde elastik davranışa işaret eden bir doğrusal kısım yer alır. Daha sonra elasto-plastik davranış ortaya çıkar. Elastik ötesi davranışın belirgin başlangıcı Minumum Hasar Sınırı ve iç kuvvetlerin azalarak tükenmenin ortaya çıktığı Göçme Sınırı nispeten daha kolay tanımlanır. Kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırı olan Güvenlik sınırı ise bu iki sınırın arasında ortaya çıkar.

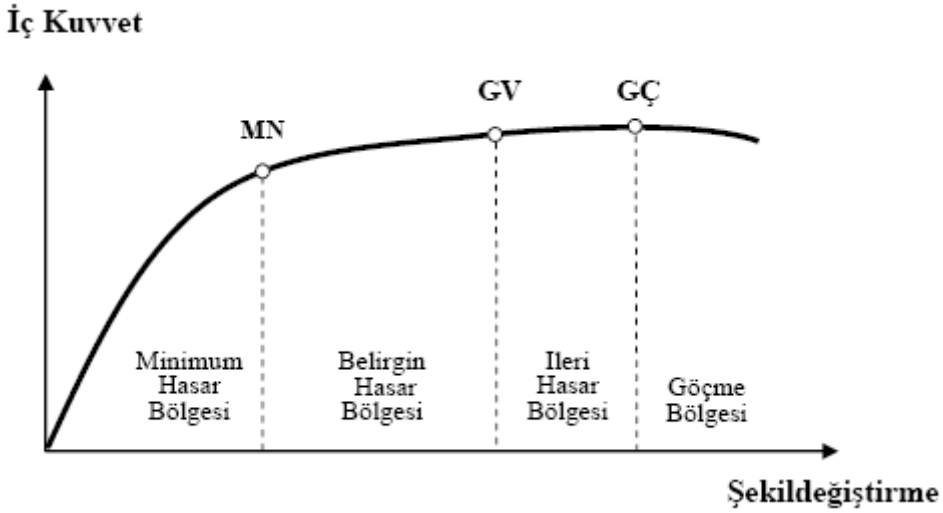
2.2.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durumu tanımlanmaktadır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırıdır. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırı, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

2.2.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitleri Minimum Hasar Sınırı’na (MN) ulaşmayan elemanlar minimum hasar bölgesinde, Minimum Hasar Sınırı (MN) ile Güvenlik Sınırı (GV) arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesinde, Güvenlik Sınırı (GV) ile Göçme Sınırı (GÇ) arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesinde, Göçme Sınırı’nı aşan elemanlar ise

göçme bölgesinde kabul edilmektedir. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri **Şekil 2.1**'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.

Taşıyıcı sistemlerde sünek kolon ve kirişlerin iki ucu en çok zorlanan bölümleridir ve deprem etkisi altında bu bölümlerde hasar olması beklenir. Bu elemanların kesitlerinden daha ileri hasar bölgesinde bulunanı o elemanın hasar bölgesini belirler. Perdelerde de en çok zorlanan kesitlerin, yani genellikle mesnet kesitlerinin hasar bölgesi elemanın hasar bölgesini belirler. Bu şekilde kesit hasar durumundan eleman hasar durumu belirlenir. Eleman hasar durumundan da kat hasar durumuna geçilir ve kat hasar durumları göz önüne alınarak taşıyıcı sistemin performans düzeyi belirlenir. Değerlendirmenin, binanın her iki doğrultusu için ayrı ayrı yapılması gerekir.

2.3 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Deprem performans seviyesi, binaların maruz kalmaları beklenen deprem etkisi altında yapı elemanlarında meydana gelecek hasar seviyesiyle ilişkilidir. Dört farklı hasar durumu için performans seviyeleri tanımlanmıştır. Eleman hasar seviyelerinin belirlenmesinin ardından bazı kurallar yardımıyla bina deprem performans seviyesine karar verilir. Aşağıda bu kuralar açıklanmıştır.

2.3.1 Hemen kullanım performans seviyesi

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 çatlamalar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeylerdedir.

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 güçlendirilmesi kaydı ile, bu durumda bina Hemen Kullanım Performans Seviyesi'nde kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

2.3.2 Can güvenliği performans seviyesi

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 aşırı hasar oluşmamıştır.

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

a. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
b. İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
c. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden kolonların kirişlerden güçlü olma şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

2.3.3 Göçme öncesi performans seviyesi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yükleri taşımada yeterlidir; ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümünde yıkılmalar görülebilir. Yapıda kalıcı ötelemeler oluşmuştur.

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

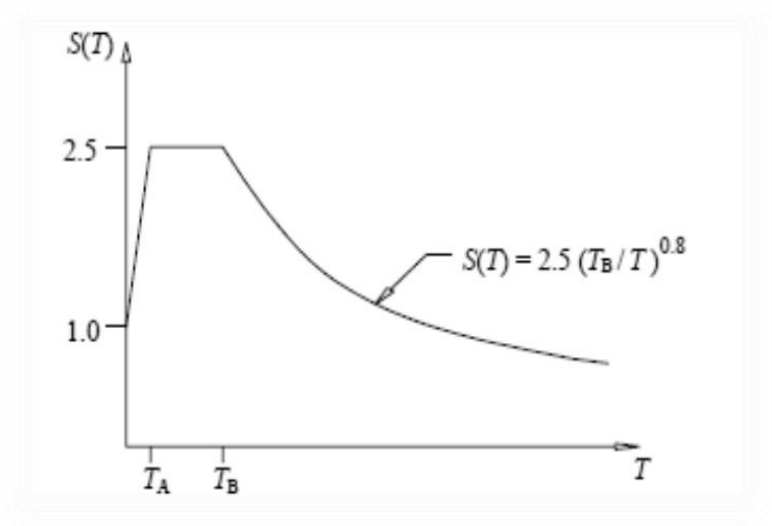
a. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
b. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden kolonların kirişlerden güçlü olma şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler)
c. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve güçlendirilmelidir ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

2.3.4 Göçme durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyenler düşey yükleri taşıyabilmektedir, ancak rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.4 Dikkate Alınacak Deprem Etkisi

Mevcut binaların deprem performanslarının incelenmesinde dikkate alınacak üç farklı deprem etkisi tanımlanmıştır. **Çizelge 2.2**'de gösterilen bu depremlerden Tasarım Depremi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve ivme spektrumu **DBYBHY 2007 bölüm 2.4'**de verilen deprem etkisine karşılık gelmektedir. Bu, aynı zamanda bina önem katsayısı I=1 olan yeni konut binalarının tasarımında dikkate alınan deprem etkisidir. Tasarım depremi, binanın ömrü buyunca maruz kalma ihtimalinin düşük olduğu bir depremdir.



Şekil 2.2: Tasarım depremi ivme spektrumu.

50 yılda aşılma olasılığı %50 olan Kullanım Depremi'nin ivme spektrumu **Şekil 2.2'**de verilen spektrumun yaklaşık olarak yarısı olarak kabul edilmiştir. Bu deprem, binanın ömrü boyunca maruz kalabileceği bir deprem olarak kabul edilebilir.

En büyük depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2 dir ve binanın ömrü boyunca bu depreme maruz kalma ihtimali çok düşüktür. Bu depremin ivme spektrumu **Şekil 2.2**'deki ivme spektrumunun yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 2.2: Deprem etkisi parametreleri.

Deprem Türü	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu	Deprem Etki Katsayısı
En Büyük Deprem	2%	2475 yıl	~1.5
Tasarım Depremi	10%	474 yıl	1
Kullanım Depremi	50%	72 yıl	~0.5

2.5 Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Seviyeleri

Deprem yönetmeliğinde, mevcut binalarda sağlanması gereken performans seviyeleri, deprem etkisi, binanın kullanım amacı ve türüne göre sınıflandırılmıştır. (**Çizelge 2.3**). Genel olarak yapıların küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri can güvenliğini sağlayan sınırlı hasarla atlatması, çok büyük depremleri ise toptan göçme olmadan atlatması beklenmektedir.

Çizelge 2.3: Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans seviyeleri.

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

2.6 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

Binaların deprem performanslarının belirlenmesinde 2.7'de tanımlanan Doğrusal Elastik ve 2.8'da tanımlanan Doğrusal Elastik Olmayan yöntemler kullanılmaktadır. Ancak teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemler sonucu yapılan performans değerlendirilmelerinin birebir aynı sonucu vermeleri beklenmemektedir. Aşağıda tanımlanan kurallar her iki yöntemde de geçerlidir.

Deprem etkisinin tanımında elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak fakat farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde 2.4'e göre yapılan değişiklikler göz önüne alınacak, ayrıca deprem hesabında tanımlanan bina önem katsayısı uygulanmayacaktır (I=1.0)

Binaların deprem performansları, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirecektir. Hareketli düşey yükler, göz önüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanacaktır. Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak ve ayrıca ek dış merkezlik uygulanmayacaktır. Mevcut binaların taşıyıcı sistemindeki belirsizlikler, binadan toplanan verilerin kapsamına göre 2.1 de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları ile hesaplanacaktır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasında,

a) Analizde beton ve donatı çeliğinin 2.1 de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacak,

b) Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir,

c) Etkileşim diyagramlarını uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenebilirler.

Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

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

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

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

Eksenel basınç kuvveti N_D'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenecektir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılacaktır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılacaktır.

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

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

2.7 Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

Burada "Doğrusal Elastik" tanımıyla kast edilen taşıyıcı sistemin davranışının doğrusal olduğunu değildir. Her eleman için göz önüne alınan etki / kapasite oranı, (r) katsayısı ile doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artımı göz önüne alınmaktadır. Çözüm işlemi doğrusal olmakla beraber taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı da göz önüne alınır. Binaların deprem performanslarının belirlenmesi için kullanılacak doğrusal elastik hesap yöntemleri, **DBYBH 2007 bölüm 2.7'**de verilen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve **bölüm 2.8'**de verilen Mod Birleştirme Yöntemi'dir. Bu yöntemlerle ilgili olarak aşağıda belirtilen ek kurallar uygulanacaktır.

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın

hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanacaktır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) **Denklem 2.1**'e göre hesabında 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.

$$V_t = \frac{WA\ T_1}{R_a\ T_1} \geq 0.1 A_0 IW \qquad \textbf{(2.1)}$$

Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta *R*a=1 alınacaktır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınacaktır.

2.7.1 Betonarme yapı elemanlarının hasar seviyeleri

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar seviyelerinin belirlenmesinde kiriş, kolon ve perde elemanların etki/kapasite oranları (r) olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılacaktır. Betonarme elemanların kırılma türü eğilme ise sünek, kesme ise gevrek olarak sınıflandırılırlar. Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti Ve'nin, **2.1**'de tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesi Vr'yi aşmaması gereklidir. Bu koşulları sağlamayan betonarme elemanlar, "*gevrek olarak hasar gören eleman*" olarak tanımlanacaktır.

Sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında R_a=1 alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir **(Denklem 2.2)**. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır **(Denklem 2.3)**. Etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır.

$$r = \frac{M_E}{M_A} \qquad (\mathbf{2.2})$$

$$M_A = M_K - M_D \qquad (\mathbf{2.3})$$

Sarılma bölgesindeki enine donatı koşulları bakımından **DBYBHY 2007'deki ilgi bölümlerden 3.3.4**'ü sağlayan betonarme kolonlar, **3.4.4**'ü sağlayan betonarme kirişler ve uç bölgelerinde **3.6.5.2**'yi sağlayan betonarme perdeler "sargılanmış", sağlamayanlar ise "sargılanmamış" eleman sayılır. "Sargılanmış" sayılan elemanlarda sargı donatılarının **DBYBHY 2007 bölüm 3.2.8**'e göre "özel deprem etriyeleri ve çirozları" olarak düzenlenmiş olması ve donatı aralıklarının yukarıda belirtilen maddelerde tanımlanan koşullara uyması zorunludur.

Hesaplanan etki/kapasite oranları (r), **Çizelge 2.4-2.6**'de verilen sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilecektir. Çizelgelerdeki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır.

Çizelge 2.4: Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s).

Sünek Kirişler			**Hasar Sınırı**		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	**Sargılama**	$\frac{Ve}{b_w d f_{ctm}}$	**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	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Çizelge 2.5: Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s).

Sünek Kolonlar			**Hasar Sınırı**		
$\frac{N_K}{A_c f_c}$	**Sargılama**	$\frac{Ve}{b_w d f_{ctm}}$	**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	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

Çizelge 2.6: Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s).

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

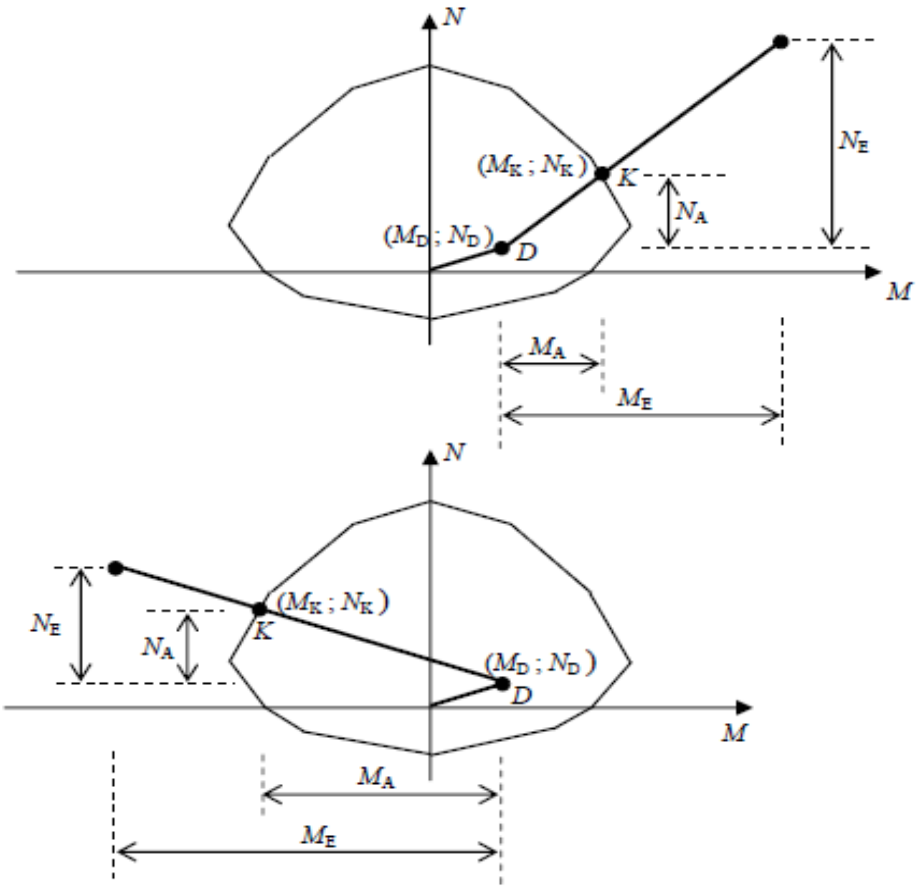
2.7.1.1 Kolon ve perdelerde etki/kapasite oranları

Doğrusal elastik yöntemler ile yapılan hesapta, moment – eksenel kuvvet etkisi altındaki kolon ve perde kesitlerinde etki/kapasite oranı (r)'nin belirlenmesi için uygulanabilecek yöntemler aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Herhangi bir kolon veya perde kesitinin **2.6** (c)'ye göre doğrusallaştırılan moment–eksenel kuvvet etkileşim diyagramı **Şekil 2.3**'de görülmektedir. Şekildeki D noktasının koordinatları, düşey yüklerden meydana gelen M_D–N_D çiftine karşı gelmektedir. D noktasından başlayan ve etkileşim diyagramının dışına çıkan ikinci doğru parçasının yatay ve düşey izdüşümleri ise, Ra = 1 için deprem hesabından elde edilen ve depremin yönü ile uyumlu olan M_E–N_E çiftine karşı gelmektedir (**Şekil 2.3**'de M_E'nin işaretlerinin farklı olduğu iki durum ayrı ayrı gösterilmiştir). İkinci doğru parçasının etkileşim diyagramını kestiği K noktasının koordinatları, kolon veya perde kesitinin N_K eksenel kuvvet kapasitesi ve buna karşı gelen M_K moment kapasitesidir.

Şekil 2.3'deki K kesişme noktasının koordinatları olan M_K veya N_K'nın geometrik veya sayısal olarak elde edilmesi durumunda, düşey yük hesabından M_D veya N_D, deprem hesabından ise M_E veya N_E bilindiğine göre, kesitin eğilme ve eksenel kuvvet altındaki etki/kapasite oranı doğrudan hesaplanabilir. Kolon kesitinin moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet N_K, hasar sınırlarını tanımlayan **Çizelge 2.5**'de göz önüne alınacak olan eksenel kuvvettir.

Şekil 2.3'deki ikinci doğrunun ucunun etkileşim diyagramının içinde kalması durumunda bu yöntem uygulanamaz. $r < 1$ olmasına karşı gelen bu durumda etki/kapasite oranının hesabına esasen gerek olmadığı açıktır.



Şekil 2.3: Kolonlarda moment ve normal kuvvet kapasitelerinin (M_K,N_K) hesaplanışı.

2.7.2 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katında kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için **Çizelge 2.7**'de verilen değeri aşmayacaktır. Aksi durumda yapılan hasar değerlendirilmeleri göz önüne alınmayacaktır.

Çizelge 2.7: Göreli kat ötelemesi sınırları.

Göreli Kat Ötelemesi Oranı	**Performans Düzeyi**		
	Hemen Kullanım	**Can Güvenliği**	**Göçmenin Önlenmesi**
$(\delta_{ji})/h_{ji}$	0.01	0.03	0.04

(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.

2.8 Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

Mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde 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, bu bölümde tanımlanmış bulunan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılır. 2007 Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi", "Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi" ve "Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi"dir. İlk iki yöntem, deprem yönetmeliğinde doğrusal olmayan yöntemlerle deprem performansının belirlenmesi için temel alınan "Artımsal İtme Analizi"nde kullanılacak olan yöntemlerdir.

2.8.1 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol

Artımsal İtme Analizi kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde **2.6**'da tanımlanan genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için **2.8.2**'de tanımlanan kurallara uyulacaktır.

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır.

Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları "modal yerdeğiştirme-modal ivme" olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait "modal kapasite diyagramı" elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte, **2.4**'de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yer değiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yer değiştirme istemine karşı gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılması durumunda, göz önüne alınan bütün modlara ait "modal kapasite diyagramları" ile birlikte modal yer değiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

Plastikleşen kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve **2.8.6**'ya göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için **2.8.7**'de tanımlanan ilgili birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, kesme kuvveti kapasiteleriyle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

2.8.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış çeşitli modeller kullanılabilmekte olup, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile, **DBYBHY 2007'**de yer alan ve aşağıda özetlenen ilgili kısımlarda doğrusal elastik olmayan analiz için *yığılı plastik davranış modeli* esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal 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 oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu (Lp), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır.

$$L_p = 0{,}5h \qquad (\mathbf{2.4})$$

Hw / ℓw ≤ 2.0 olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekil değiştirmeler göz önüne alınmayacaktır. Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.

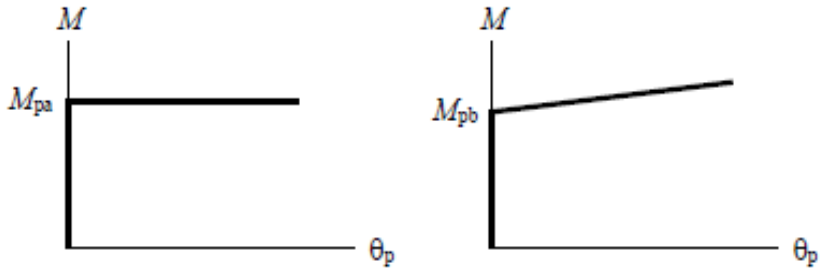
Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitin, teorik olarak plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir.

a. Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği göz önüne alınmalıdır.
b. Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri 2.6 (c) uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenebilir.

İtme analizi modelinde kullanılacak olan plastik kesitlerin iç kuvvet – plastik şekil değiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir.

1. İç kuvvet – plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir. (**Şekil 2.4.1**) Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınır.
2. Pekleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda (**Şekil 2.4.2**), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel 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.



(1) (2)

Şekil 2.4: Plastik moment - plastik dönme grafiği.

2.8.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi yapılır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

Bu yöntemin uygulanabilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gereklidir:

a) Binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması gerekir.

b) Herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir.

c) Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanacaktır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki

birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme göz önüne alınacaktır. Burada tanımlanan sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları "tepe yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi elde edilecektir. Tepe yer değiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yer değiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları "modal yerdeğiştirme – modal ivme" olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir;

a) (i)' inci itme adımında, deprem doğrultusunda hakim moda ait modal ivme;

$$a_1^{(\dot{\mathrm{I}})} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \qquad (\mathbf{2.5})$$

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

b) (i)' inci itme adımında birinci moda ait modal yer değiştirme;

$$d_1^{(\dot{\mathrm{I}})} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}} \qquad (\mathbf{2.6})$$

şeklinde hesaplanır. Bu denklemde Γ_{x1} birinci moda ait modal katkı çarpanı, Φ_{xN1} binanın N' inci katında x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliğidir.

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

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \qquad (2.7)$$

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

İtme analizi sonucunda, modal kapasite diyagramı ile birlikte elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yer değiştirme, diğer deyişle modal yer değiştirme istemi hesaplanır. Tanım olarak modal yer değiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlineer) spektral yer değiştirme S_{di1} 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \qquad (2.8)$$

Doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yer değiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yer değiştirme S_{de1}' e bağlı olarak elde edilir**.(Denklem 2.9)**

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \qquad (2.9)$$

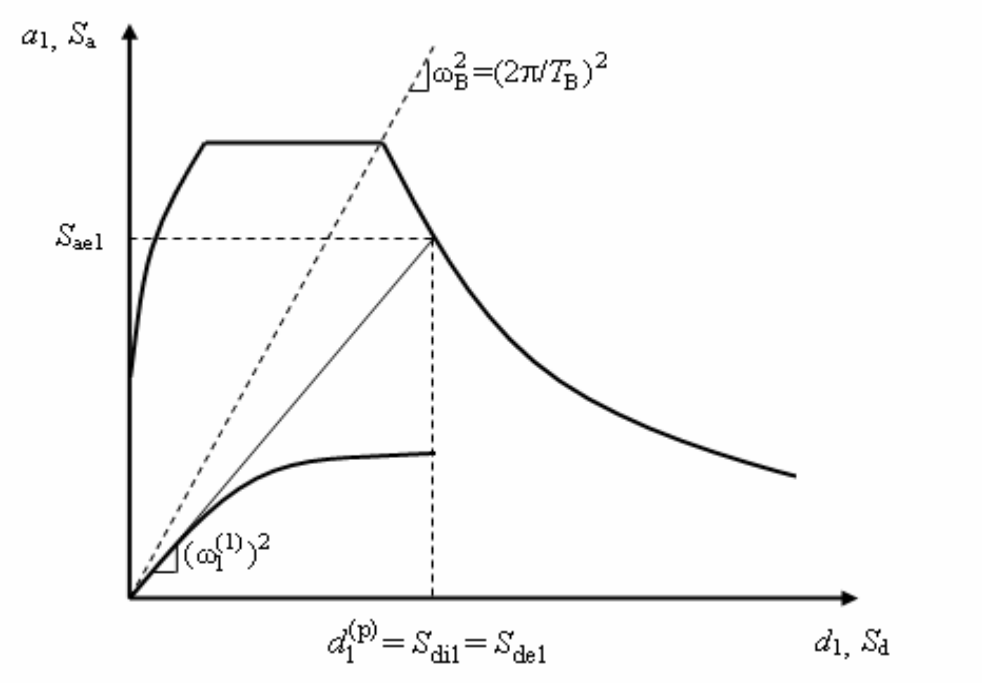
Doğrusal elastik (lineer) spektral yer değiştirme S_{di1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1}' den hesaplanır.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \qquad (2.10)$$

Denklem(2.9)'da yer alan spektral yer değiştirme oranı C_{R1}, başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$'in değerine bağlı olarak belirlenir. $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, **2.4**'de tanımlanan ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$) , doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yer değiştirme S_{di1}, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan

eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait lineer elastik spektral yer değiştirme, S_{de1} 'e eşit alınacaktır. Buna göre **Denklem 2.9**'daki spektral yer değiştirme oranı:

$$C_{R1} = 1 \qquad (\mathbf{2.11})$$

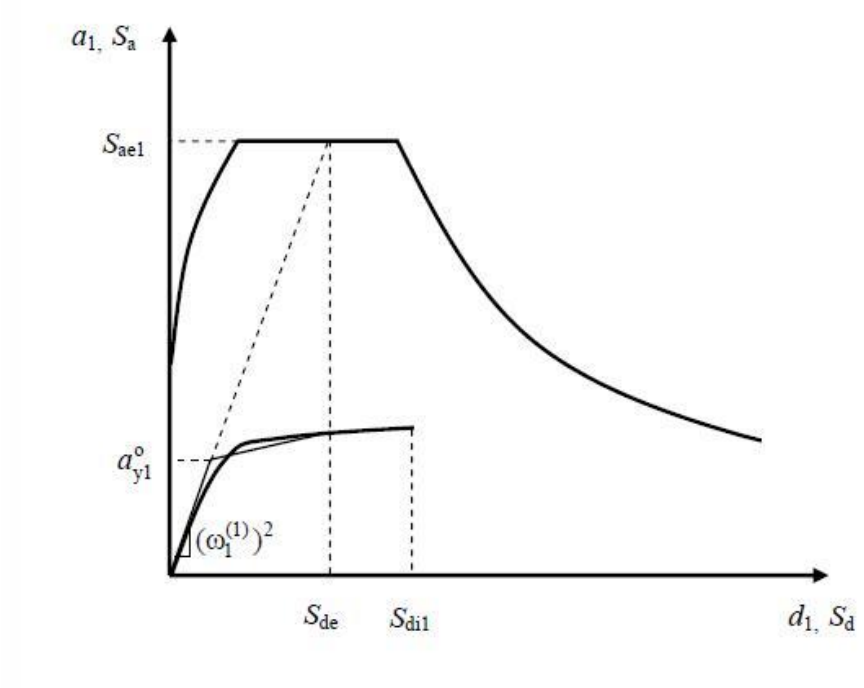


Şekil 2.5: $T_1^{(1)} \geq T_B$ olması durumunda performans noktasının belirlenmesi.

Spektral yer değiştirme oranı C_{R1}, $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B' den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$) ise ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanır;

a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki (i = 1) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır. ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) (**Şekil 2.6**)

b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında C_{R1} = 1 kabulü yapılarak, eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Ardından, **Denklem (2.9)** ile S_{dil} doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme hesaplanır. Bu hesapta, C_{R1} değeri **Denklem (2.12)**' den bulunur.



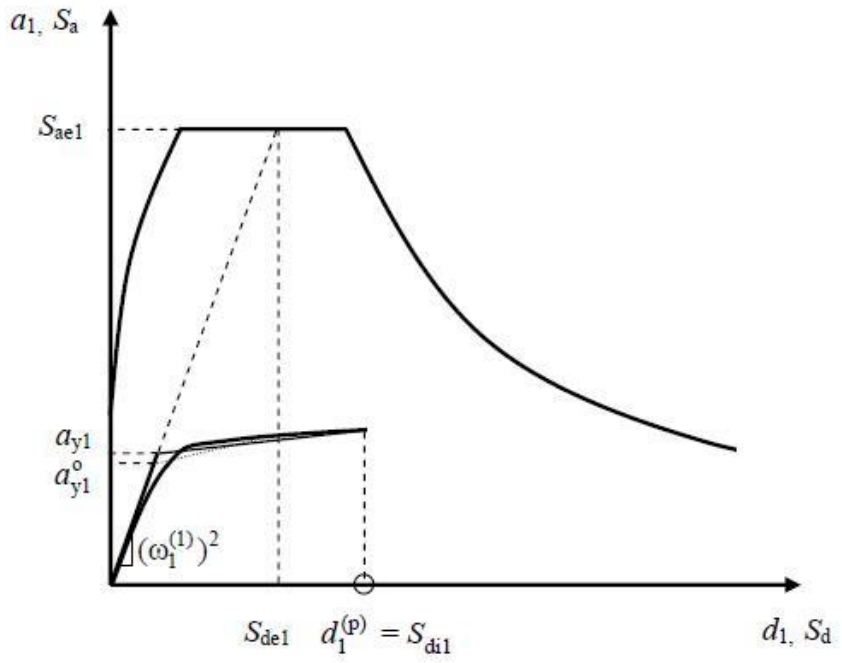
Şekil 2.6: $T_1^{(1)} < T_B$ olması durumunda performans noktasının belirlenmesi (1).

$$C_{R1} = \frac{1 + \ R_{y1} - 1 \ T_B/T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \qquad (\mathbf{2.12})$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir ve şu şekilde hesaplanır;

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \qquad (\mathbf{2.13})$$

b) S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1}, R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.(**Şekil 2.7**)



Şekil 2.7: $T_1^{(1)} < T_B$ olması durumunda performans noktasının belirlenmesi (2).

Son itme adımı i = p için **Denklem (2.8)**' e göre belirlenen modal yer değiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin **Denklem (2.14)**' da yerine konulması ile x deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1}\Gamma_{x1}.d_1^{(p)} \qquad (\mathbf{2.14})$$

2.8.4 Artımsal mod birleştirme yöntemi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nde, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'i artımsal olarak uygulanır.

2.8.1'de anlatılan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile itme analizinin en önemli sakıncası, taşıyıcı sistemin deprem davranışının sadece birinci moddaki davranıştan ibaret olduğunun varsayılmasıdır. Bu nedenle yöntem, çok katlı olmayan ve deprem doğrultusuna göre planda simetrik veya simetriğe yakın olan binalarla sınırlıdır. Bu koşullara uymayan binalarda uygulanmak üzere birden fazla titreşim modunun göz önüne alındığı çok sayıda itme analizi yöntemi önerilmiş ise de, bu

yöntemlerin büyük bölümü taşıyıcı sistemin global dayanım ve deformasyon kapasitelerinin belirlenmesi ile yetinmektedir. Tanımlanan belirli bir depremin etkisi altında performans değerlendirmesi için gerekli olan istem büyüklüklerini elde etmeyi amaçlayan yöntemlerin sayısı çok sınırlıdır. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile itme analizinde, her bir plastik kesitin oluşumunda tüm modların katkıları göz önüne alınabilmekte; plastik dönmeler ile iç kuvvet istemleri, itme analizi dışında ek analizlere gerek kalmaksızın, doğrudan elde edilebilmektedir.

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile itme analizinde, ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında "adım adım doğrusal elastik" davranış esas alınır. Modal ölçeklendirme ile monotonik olarak arttırılan modal yer değiştirmeler göz önüne alınarak, her adımda mod birleştirme kurallarının uygulandığı bir doğrusal (lineer) davranış spektrumu analizi gerçekleştirilir. Bu analizin sonuçlarından yararlanılarak, adım sonunda sistemde oluşan plastik kesit belirlenir; yer değiştirme, plastik şekil değiştirme, iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve sonuçta deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

2.8.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nde, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak kabul edilen bir deprem hareketi altında sistemin hareket denklemi adım adım entegre edilir. Analiz sırasında 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. Daha sonra beton ve donatı çeliğinin birim uzama-kısalma talepleri belirlenerek performans seviyesi tespit edilir.

Bu yöntemle yapılacak analizde kullanılacak yapay, kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketleri **Deprem Yönetmeliği Bölüm 2.9.1** ve **Bölüm 2.9.2'**ye göre belirlenecek ve analizde **Deprem Yönetmeliği Bölüm 2.9.3** göz önüne alınacaktır.

En kapsamlı çözüme ulaşılan bu yöntemde çok sayıda kabul bulunmaktadır. Bu nedenle sonuçların titiz bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.8.6 Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik olmayan yöntemlerle yapılan hesap sonucunda herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, ϕ_p aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \qquad (\mathbf{2.15})$$

Uygun bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, **Denklem (2.15)** ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilecektir:

$$\phi_t = \phi_{y+}\phi_p \qquad (\mathbf{2.16})$$

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.

2.8.7 Betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden **2.8.5**'e göre elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir.

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:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \ , \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \qquad \mathbf{(2.17)}$$

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

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \qquad \mathbf{(2.18)}$$

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

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \qquad \textbf{(2.19)}$$

3. MEVCUT BETONARME BİNA ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER

3.1 Giriş

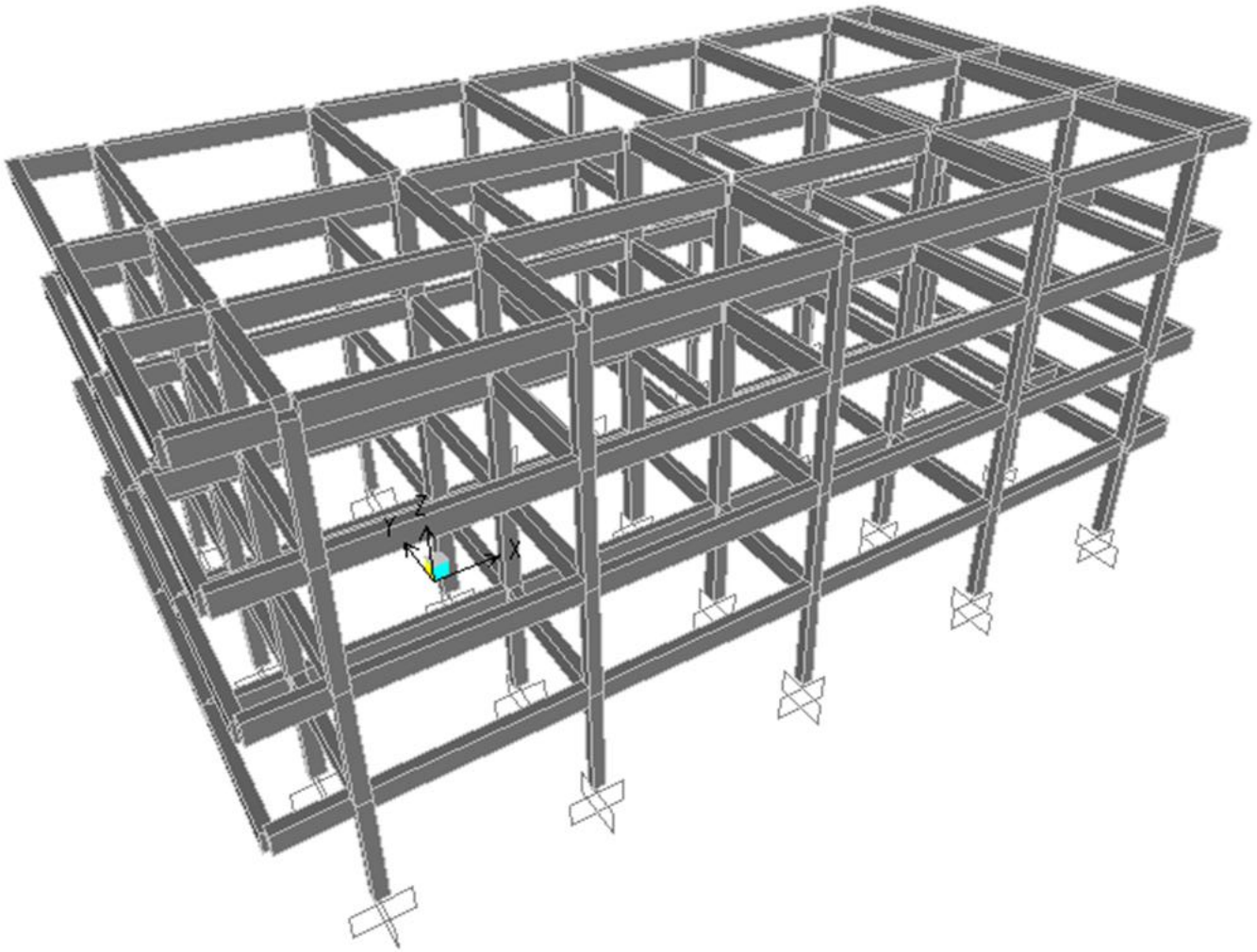
Bu bölümde, mevcut bir betonarme konut binasının deprem performansı doğrusal elastik "eşdeğer deprem yükü yöntemi" ve doğrusal elastik olmayan "artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi" ile belirlenmiştir. Performans analizi için seçilen ve üzerinde çalışılan betonarme bina, "*DBYBHY 2007 Örnekler Kitabı örnek 14 ve 15'de incelenen konut binası*" dır. Ancak aynı taşıyıcı sistem üzerinde farklı zemin ve malzeme sınıfları için performans analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. C25-S420 olan malzeme sınıfları C16-S220 olarak, Z3 olan zemin sınıfı ise Z2 olarak ele alınmış, yapı bu özelliklerle SAP 2000 programında analiz edilerek gerekli donatı miktarları hesaplanmıştır **[3]**. Bu şekilde elde edilen yapı mevcut kabul edilerek performans incelemeleri yapılmıştır.

3.2 Mevcut Yapının Özellikleri

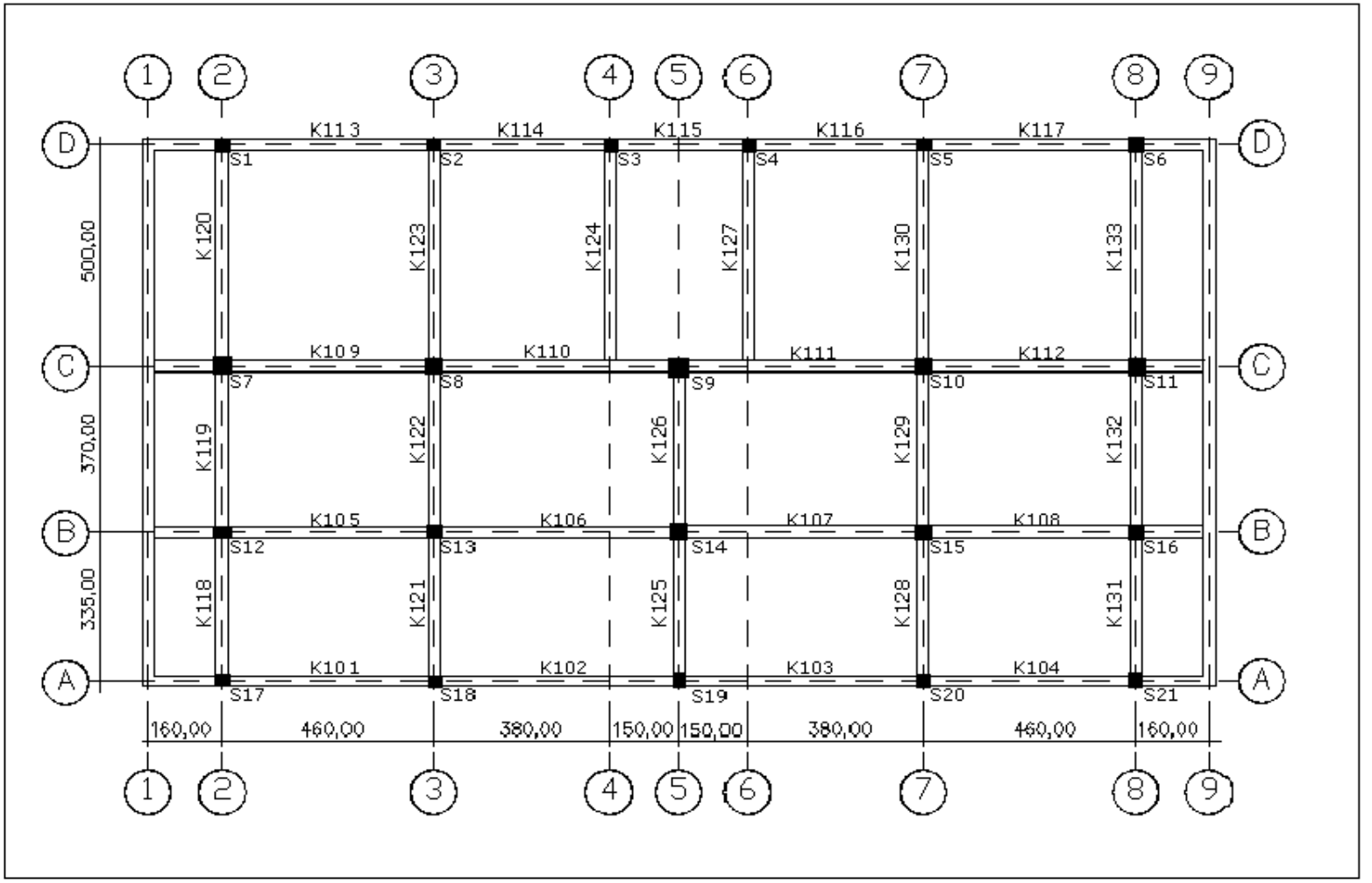
Performansı incelenecek yapı, zemin ve 3 normal kattan oluşan toplam 4 katlı betonarme bir konut binasıdır. Bina, kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemiyle inşa edilmiş olup, perde bulunmamaktadır. Döşeme sistemi kirişli plak döşemedir. Bina Y eksenine göre simetriktir. Binanın diğer özellikleri **Çizelge 3.1'de**, üç boyutlu sistem modeli **Şekil 3.1**'de, tipik kat kalıp planı **Şekil 3.2**'de gösterilmiştir.

3.3 Hedeflenen Performans Seviyesi

Mevcut yapılardan beklenen performans seviyeleri, bölüm 2.5'de gösterildiği gibi yapı türüne ve buna bağlı olarak dikkate alınacak deprem düzeyine göre belirlenir. Yapının kullanım amacına ve önemine göre, Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG) ve Göçme Öncesi (GÖ) performans seviyelerinden birini sağlaması beklenir. Ele aldığımız yapı konut türü bir bina olduğu için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depreminde Can Güvenliği performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir.



Şekil 3.1: Binanın 3 boyutlu modeli.



Şekil 3.2: Binanın tipik kat kalıp planı.

Çizelge 3.1: Mevcut yapının özellikleri.

Kat sayısı	4
Kat yüksekliği	2,7 m
Kat alanı	287,8 m2
Döşeme tipi	Kirişli plak döşeme
Döşeme kalınlığı	12 cm
Bulunduğu şehir	İstanbul
Deprem Bölgesi	1. Derece
Zemin Sınıfı	Z2
Spektrum karakteristik periyotları	T_a=0,15 , T_b=0,4
Yapı önem katsayısı, I	1
Hareketli yük katılım katsayısı	0,3
Mevcut beton dayanımı	16 Mpa
Mevcut çelik dayanımı	220 Mpa

Çizelge 3.2: Kolon ve kiriş boyutları.

KOLON	bx (mm)	by (mm)
S 01	300	300
S 02	300	250
S 03	300	300
S 04	300	300
S 05	300	250
S 06	300	300
S 07	350	350
S 08	400	350
S 09	450	400
S 10	400	350
S 11	350	350

KOLON	bx (mm)	by (mm)
S 12	350	300
S 13	350	300
S 14	350	400
S 15	350	300
S 16	350	300
S 17	300	300
S 18	300	250
S 19	250	300
S 20	300	250
S 21	300	300
KİRİŞ	**bx (mm)**	**h (mm)**
Tüm Kirişler	250	500

3.4 Gerekli Donatı Miktarlarının Hesaplanması

3.4.1 Bina ağırlığının bulunması

Bina düşey yükleri hesaplanırken taşıyıcı sistem elemanlarının zati ağırlıkları analiz programı tarafından hesaplanmış, duvar yükleri çizgisel yük olarak kirişlere etki ettirilmiştir. Döşeme sabit ve hareketli yükleri de ayrıca yüklenmiş. **Deprem**

Yönetmeliği Bölüm 2.7.1'e göre bulunan kat ağırlıkları ve bunlara bağlı olarak bina toplam ağırlığı **Çizelge 3.3**'de verilmiştir.

Çizelge 3.3: Kat ağırlıkları.

KATLAR	Kat Ağırlıkları (w_i) (kN)	Kat Kütleleri (m_i) (kNs^2/m)
4	1887,24	192,44
3	3037,26	309,71
2	3037,26	309,71
1	3097,21	315,83
	11058,97	**1127,69**

Toplam Bina Ağırlığı= **11058,97 kN** Toplam Bina kütlesi = **1127,69 kNs^2/m**

3.4.2 Eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

Çizelge 3.4: Deprem hesabında kullanılan yapı bilgileri.

Deprem bölgesi	1. Derece
A_0	0,4
Zemin sınıfı	Z2
Spektrum karakteristik periyotları	T_A=0,15s , T_B=0,4s
Yapı önem katsayısı, I	1
Hareketli yük katılım katsayısı, n	0,3
Beton dayanımı	16 MPa
γ_{mc}	1,5
Çelik dayanımı	220 MPa
γ_{mc}	1,15
Süneklik katsayısı, R	8
T_x,T_y	0,53

$T_1 > T_B$ $S\ T_1 = 2{,}5(T_B\ T_1)^{0,8}$ **(3.1)**

$S\ T_1 = 2{,}5(0{,}4\ \ 0{,}53)^{0,8} = 2{,}0$

$$A\ T_1 = A_0\ I\ S\ T_1 \quad \textbf{(3.2)}$$

$A\ T_1 = 0{,}4\ .\ 1.\ 2{,}0 = 0{,}8$

$T_1 > T_A$ $R_a\ T_1 = R$ **(3.3)**

$$V_t = \frac{WA\ T_1}{R_a\ T_1} \geq 0{,}1A_0\ I\ W \qquad (\mathbf{3.4})$$

$$V_t = \frac{11058{,}96\ .0{,}8}{8} = 1105{,}90 \geq 442{,}36\ kN$$

$$\Delta F_N = 0{,}0075\ N\ V_t \qquad \mathbf{(3.5)}$$

$$\Delta F_N = 0{,}0075\ .4\ .1105{,}90 = 33{,}18\ kN$$

Çizelge 3.5 : Eşdeğer deprem yükleri.

Kat	h_i (m)	H_i (m)	W_i (kN)	W_i*H_i (kNm)	F_i (kN)	F_i+ΔF_N (kN)
4	2,7	10,8	1887,24	20382,19	313,48	**346,66**
3	2,7	8,1	3037,26	24601,81	378,38	**378,38**
2	2,7	5,4	3037,26	16401,21	252,25	**252,25**
1	2,7	2,7	3097,22	8362,49	128,62	**128,62**
					Toplam:	**1105,90**

Bulunan düşey ve yatay yükler TS 500 **[4]**'deki yük kombinasyonlarıyla SAP 2000 analiz programına girilmiş ve donatı hesaplamaları yapılmıştır. Daha sonra bulunan bu donatılar mevcut yapının performans analizi için sistemin modellenmesi sırasında elemanlarda mevcut bulunan donatı olarak sisteme girilmiş ve performans analizleri yapılmıştır.

3.5 Bina Deprem Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem İle Belirlenmesi

3.5.1 Analiz yöntemi

Deprem yönetmeliğinde mevcut betonarme binaların güvenliğinin değerlendirilmesinin performans kavramına dayalı olarak yapılması ön görülmüştür. Performans seviyesi depremden sonra binanın alacağı hasar seviyesiyle ölçülür. Yapı elemanlarının hasar seviyeleri tespit edilerek bir bütün olarak binanın hasar seviyesi ortaya çıkarılır. Bu amaçla kullanılabilecek yöntemlerden "artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi" kullanılarak ele alınan binanın performansı belirlenecektir.

Genel olarak, mevcut betonarme binaların deprem performansının hesaplanması üç adımda yapılabilir:

1. Kapasitenin Belirlenmesi: Taşıyıcı sistem elemanlarının geometrik ve mekanik özellikleri belirlenerek deprem etkisi altında zorlanacak kesitlerin kapasitelerinin tespit edilmesi.
2. Talebin Belirlenmesi: Göz önüne alınacak deprem etkisi altında ortaya çıkacak kesit etkileri, şekil değiştirmeler ve yer değiştirmelerin belirlenmesi.
3. Hasar Seviyesinin ve Performansın Tespiti: Kapasite ve talebin karşılaştırılmasıyla deprem sonrası gerçekleşmesi beklenen hasarın ve buna bağlı olarak performans seviyesinin belirlenmesi.

3.5.2 Kullanılan analiz programı ve işlem adımları

Yapının doğrusal olmayan davranışının analizinde Sap 2000 programı kullanılmıştır. (SAP 2000, Nonlinear Structural Analysis Program, CSI Berkeley). Piyasada ve pek çok akademik çalışmada kullanılan bu analiz programının bu çalışmada nasıl kullanılacağı aşağıda kısaca anlatılmıştır.

- Taşıyıcı sistem mevcut geometrik ve mekanik özellikleriyle programda modellenir. Burada, mevcut donatı miktarları ve donatı yerleşimlerinin de sisteme girilmesi gerekmektedir.
- Düşey yükler tanımlanır. Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin (G+nQ) göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait etkin eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı yapılarak kolonların eksenel basınç kuvvetleri (N_D) hesaplanır. N_D değerleri kullanılarak, Bölüm 2.6'da anlatıldığı üzere çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri hesaplanarak programa tanımlanır.
- Belirtilen donatı alanları ve malzeme dayanımları göz önüne alınarak plastik mafsal özellikleri program tarafından belirlenir ve ilgili kesitlere atanır.
- Modal analiz yapılarak periyotlar ve mod şekli genlikleri bulunur.
- Yatay yükler tanımlanır. (Ex, Ey). Artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımı, her katta, deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle $(m_i\Phi_i)$ orantılı olacak şekilde tanımlanır.
- Artımsal itme analizinden önce kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal elastik olmayan bir statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları artımsal itme analizinin başlangıç koşullarını oluşturmaktadır.

- Artımsal itme analizi yapılarak *taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi* eğrisi elde edilir.
- Elde edilen *taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi* eğrisi, koordinatları modal yer değiştirme- modal ivme olan hakim moda ilişkin *modal kapasite eğrisi*'ne dönüştürülür ve bu eğri kullanılarak *tepe yer değiştirmesi istemi* hesaplanır. (Bölüm 2.8.3)
- Elde edilen tepe yer değiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar ikinci bir itme analizi yapılarak kesitlerdeki plastik dönme değerleri (θ_p) bulunur. Plastik dönme değerlerinin plastik mafsal boyuna (L_p) bölünmesiyle elde edilen plastik eğrilikler (ϕ_p), elastik eğrilikler (ϕ_e) ile toplanarak toplam eğrilik(ϕ_t) değerleri hesaplanır. **(3.6 – 3.7)**.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \qquad (\mathbf{3.6})$$

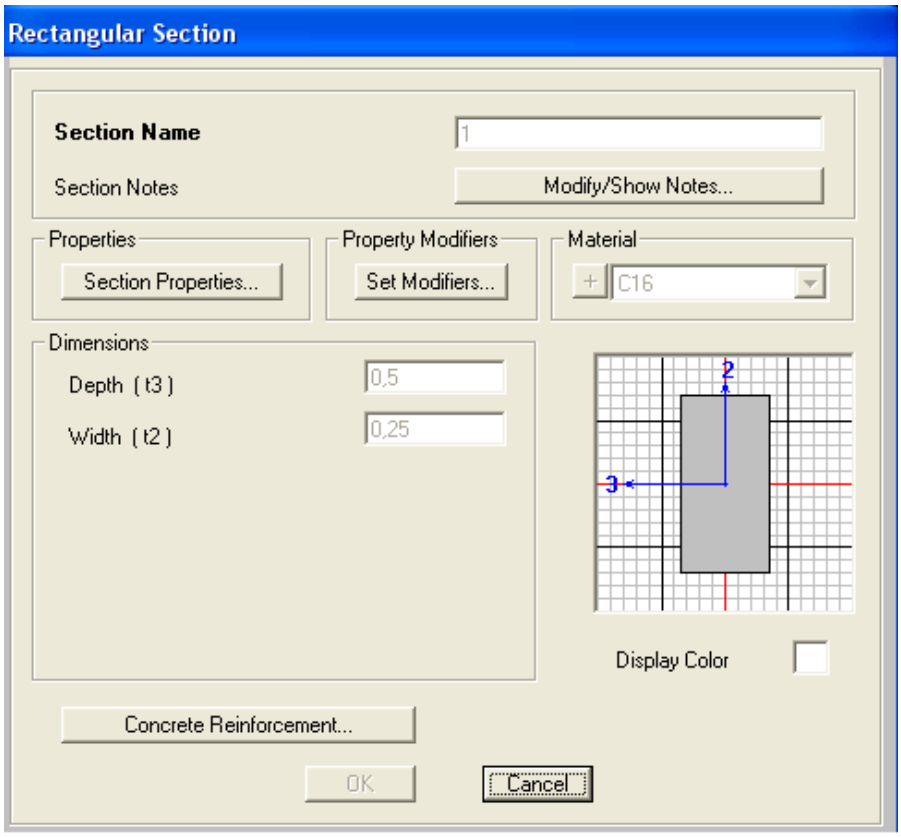
$$\phi_t = \phi_p + \phi_e \qquad (\mathbf{3.7})$$

- Bu toplam eğrilik istemi kullanılarak betonun basınç birim şekil değiştirme istemi (ε_c) ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi (ε_s) moment eğrilik analizinden hesaplanır. Hesaplanan bu değerler kesit hasar sınırları ile karşılaştırılarak kesit bazında hasar düzeyleri belirlenir. Plastikleşen tüm kesitlerde hesaplanan hasar düzeylerinden binanın performans seviyesi belirlenir.

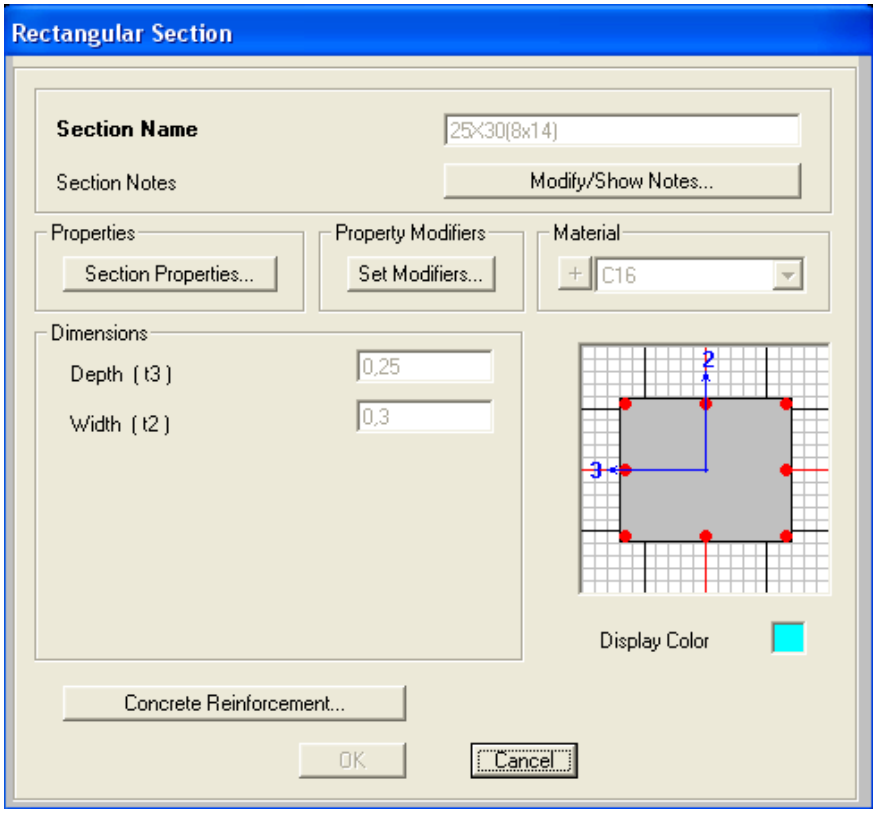
3.5.3 Binanın analiz programında modellenmesi

Mevcut bir binanın analizi yapılacağı için malzeme dayanımları TS 500' de verilen malzeme katsayılara bölünmeden kullanılmıştır. Öncelikle yapı elemanlarının malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Bu amaçla SAP 2000 define menüsünden beton ve donatı çeliği için malzemeler oluşturulmuştur.

Malzeme tanımının ardından kolon ve kirişlere atanacak çubuk eleman kesitleri ile döşemelere atanacak Shell eleman tanımlanmıştır. Kolon ve kirişler mevcut yapıdaki boyutlarıyla oluşturulmuş ve mevcut donatı alanları her kesit için ayrıca belirlenmiştir. Sistemde döşemeler de modellendiği için kiriş kesitleri tablalı değil dikdörtgen kesit olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.3: Kiriş kesitinin tanımlanması.



Şekil 3.4: Kolon kesitinin tanımlanması.

3.5.4 Düşey yükler altında hesap

İncelenen yapı sistemi modellenip yapıya etkiyen düşey yükler tanımlandıktan sonra, yapı önce düşey yükler altında analiz ettirilmiştir. Binanın doğrusal olmayan hesap yöntemi ile değerlendirilmesinde çatlamış kesite ait rijitlikler kullanılacaktır. Çatlamış kesit rijitlikleri tüm kirişler için $0.40EI_0$ olarak dikkate alınmıştır. Kolonlar için ise düşey yükler altında okunan eksenel yüklere bağlı olarak,

$N_D /(A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $0.40\ EI_0$

$N_D /(A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $0.80\ EI_0$

değerleri kullanılmıştır. N_D nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılarak çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri tüm sistem için tanımlanmıştır. Kolon eksenel kuvvetleri ve buna bağlı olarak çatlamış kesit rijitlikleri **Çizelge 3.6**'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6: Kolon eksenel kuvvetleri ve çatlamış kesit rijitlikleri.

Kolon	G	Q	N_D	A_C	$N_D/(A_c f_{cm})$	EI_e/EI_0
	KN	KN	KN	m^2	KN/m^2	
S101	389,71	81,04	414,02	0,09	0,184	0,51
S102	384,25	65,29	403,84	0,075	0,215	0,55
S103	374,94	62,38	393,65	0,09	0,175	0,50
S104	374,94	62,38	393,65	0,09	0,175	0,50
S105	384,25	65,29	403,84	0,075	0,215	0,55
S106	389,71	81,04	414,02	0,09	0,184	0,51
S107	653,27	159,43	701,10	0,1225	0,229	0,57
S108	735,65	159,76	783,57	0,14	0,224	0,57
S109	778,27	161,54	826,73	0,18	0,184	0,51
S110	735,65	159,76	783,57	0,14	0,224	0,57
S111	653,27	159,43	701,10	0,1225	0,229	0,57
S112	511,51	118,93	547,19	0,105	0,208	0,54
S113	576,33	120,15	612,38	0,105	0,233	0,58
S114	666,16	138,90	707,83	0,14	0,202	0,54
S115	576,33	120,15	612,38	0,105	0,233	0,58
S116	511,51	118,93	547,19	0,105	0,208	0,54
S117	311,36	57,05	328,48	0,09	0,146	0,46
S118	362,65	53,78	378,78	0,075	0,202	0,54
S119	381,14	57,50	398,39	0,075	0,212	0,55
S120	362,65	53,78	378,78	0,075	0,202	0,54
S121	311,36	57,05	328,48	0,09	0,146	0,46
S207	476,07	111,39	509,49	0,1225	0,166	0,49
S208	534,73	114,03	568,94	0,14	0,163	0,48

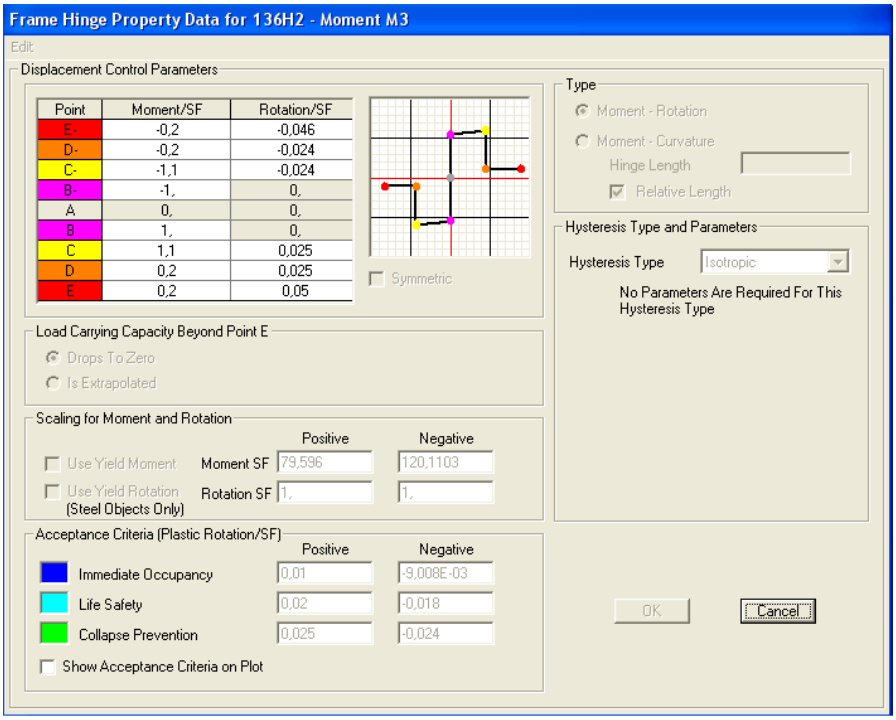
S209	567,68	115,60	602,36	0,18	0,134	0,45
S210	534,73	114,03	568,94	0,14	0,163	0,48
S211	476,07	111,39	509,49	0,1225	0,166	0,49
S212	372,54	83,14	397,48	0,105	0,151	0,47
S213	416,51	85,23	442,08	0,105	0,168	0,49
S214	485,56	98,69	515,16	0,14	0,147	0,46
S215	416,51	85,23	442,08	0,105	0,168	0,49
S216	372,54	83,14	397,48	0,105	0,151	0,47
S217	229,24	40,95	241,52	0,09	0,107	0,41
S218	260,40	39,01	272,10	0,075	0,145	0,46
S219	274,02	41,43	286,44	0,075	0,153	0,47
S220	260,40	39,01	272,10	0,075	0,145	0,46
S221	229,24	40,95	241,52	0,09	0,107	0,41
S301	178,93	33,45	188,96	0,09	0,084	0,40
S302	166,86	28,02	175,27	0,075	0,093	0,40
S303	167,51	26,96	175,60	0,09	0,078	0,40
S304	167,51	26,96	175,60	0,09	0,078	0,40
S305	166,86	28,02	175,27	0,075	0,093	0,40
S306	178,93	33,45	188,96	0,09	0,084	0,40
S307	300,99	64,28	320,27	0,1225	0,105	0,41
S308	335,68	68,74	356,30	0,14	0,102	0,40
S309	357,80	69,96	378,79	0,18	0,084	0,40
S310	335,68	68,74	356,30	0,14	0,102	0,40
S311	300,99	64,28	320,27	0,1225	0,105	0,41
S312	234,29	47,76	248,62	0,105	0,095	0,40
S313	258,49	50,71	273,71	0,105	0,104	0,41
S314	305,29	59,10	323,02	0,14	0,092	0,40
S315	258,49	50,71	273,71	0,105	0,104	0,41
S316	234,29	47,76	248,62	0,105	0,095	0,40
S317	143,85	24,11	151,08	0,09	0,067	0,40
S318	157,60	23,64	164,70	0,075	0,088	0,40
S319	166,17	24,90	173,64	0,075	0,093	0,40
S320	157,60	23,64	164,70	0,075	0,088	0,40
S321	143,85	24,11	151,08	0,09	0,067	0,40
S401	72,29	9,30	75,08	0,09	0,033	0,40
S402	58,99	9,53	61,84	0,075	0,033	0,40
S403	62,54	8,98	65,23	0,09	0,029	0,40
S404	62,54	8,98	65,23	0,09	0,029	0,40
S405	58,99	9,53	61,84	0,075	0,033	0,40
S406	72,29	9,30	75,08	0,09	0,033	0,40
S407	126,65	16,95	131,73	0,1225	0,043	0,40
S408	135,97	23,46	143,01	0,14	0,041	0,40
S409	146,56	23,67	153,66	0,18	0,034	0,40
S410	135,97	23,46	143,01	0,14	0,041	0,40
S411	126,65	16,95	131,73	0,1225	0,043	0,40

S412	97,07	12,54	100,83	0,105	0,038	0,40
S413	101,38	16,81	106,42	0,105	0,041	0,40
S414	124,96	19,49	130,81	0,14	0,037	0,40
S415	101,38	16,81	106,42	0,105	0,041	0,40
S416	97,07	12,54	100,83	0,105	0,038	0,40
S417	57,54	7,00	59,64	0,09	0,027	0,40
S418	54,42	8,27	56,90	0,075	0,030	0,40
S419	58,83	8,34	61,33	0,075	0,033	0,40
S420	54,42	8,27	56,90	0,075	0,030	0,40
S421	57,54	7,00	59,64	0,09	0,027	0,40

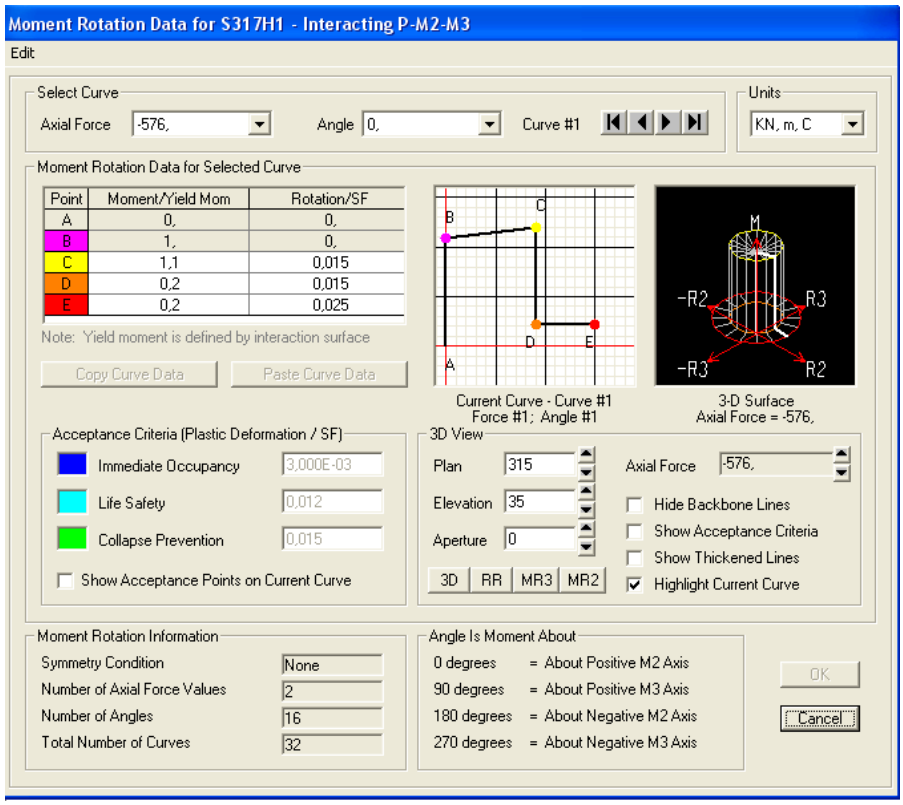
3.5.5 Plastik mafsalların atanması

İtme analizinde, plastik mafsal hipotezi uyarınca, plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı kabulü yapılmaktadır. Plastik mafsalların, deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve kirişlerin uçlarında oluşabileceği kabul edilir.

Sap 2000 de itme analizi yapılmadan önce de kesitlere plastik mafsal ataması yapılmaktadır. Binadaki kolonlar için hem iki doğrultuda eğilme hem de normal kuvvet etkilerini dikkate alan PMM (P-M2-M3), kirişler için sadece eğilmeyi dikkate alan M3 (veya M2) mafsalları çubuk elemanların i ve j uçlarına tanımlanmıştır. **(Şekil 3.5** ve **Şekil 3.6)**



Şekil 3.5: Moment M3 plastik mafsalı.



Şekil 3.6: PMM plastik mafsalı.

3.5.6 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

3.5.6.1 Gerekli şartların kontrolü

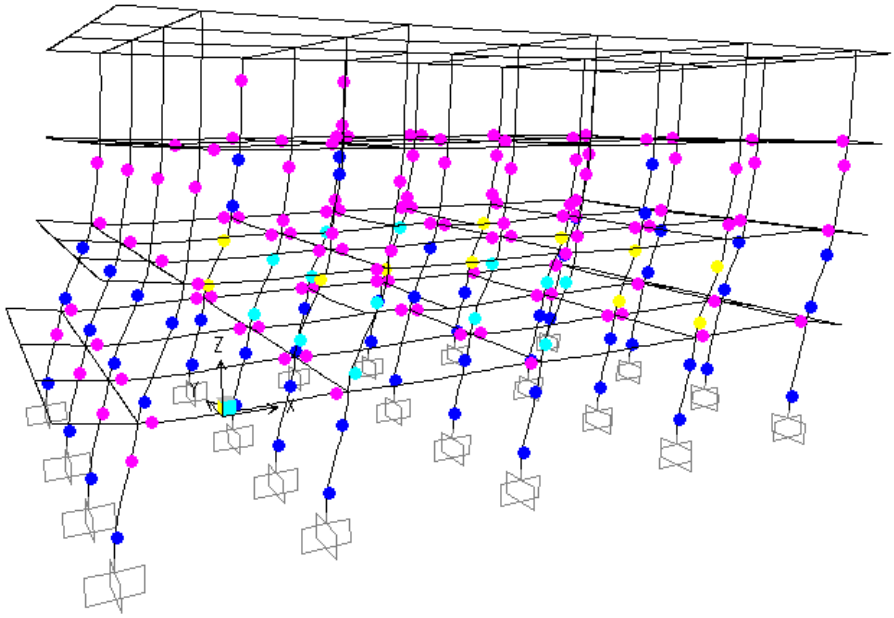
- Binanın toplam kat sayısı 8'den azdır.
- Her katta, her iki doğrultuda (X,Y) burulma düzensizliği katsayısı, η_{bi} 1,4'den küçüktür.
- Her iki doğrultuda modal kütle katılım oranı 0,70'den büyüktür.

Çizelge 3.7: Modal kütle katılım oranları ve periyotlar.

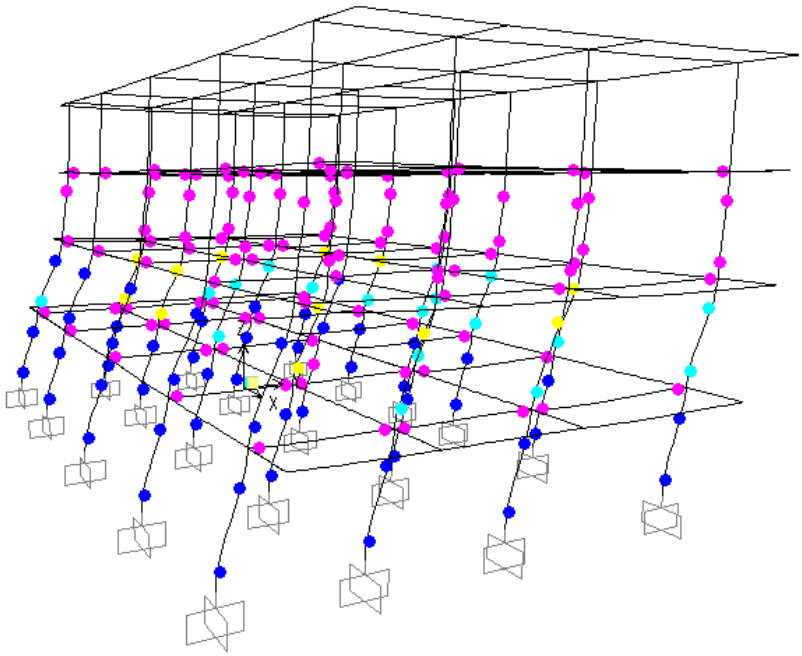
Mod	Periyod	UX	UY
1	0,750619	0,81789	0
2	0,746789	0	0,85412
3	0,720737	0,03161	0
4	0,254025	0	0,10335
5	0,253114	0,0947	0

Hesaplanan çatlamış kesit rijitliklerinin, plastik mafsalların ve iki doğrultuda pushover yüklemelerinin modele girilmesinin ardından, doğrusal olmayan itme

analizinin başlangıç adımı için öncelikle düşey yükler, adım adım G+nQ yüklemesine ulaşılıncaya kadar arttırılmıştır. Daha sonra göz önünde bulundurulan doğrultudaki hakim moda ait mod şekliyle uyumlu olarak artan yükler altında adım adım itme analizi yapılarak plastik mafsalların oluşması izlenmiştir



Şekil 3.7: X yönünde oluşan plastik mafsallar.



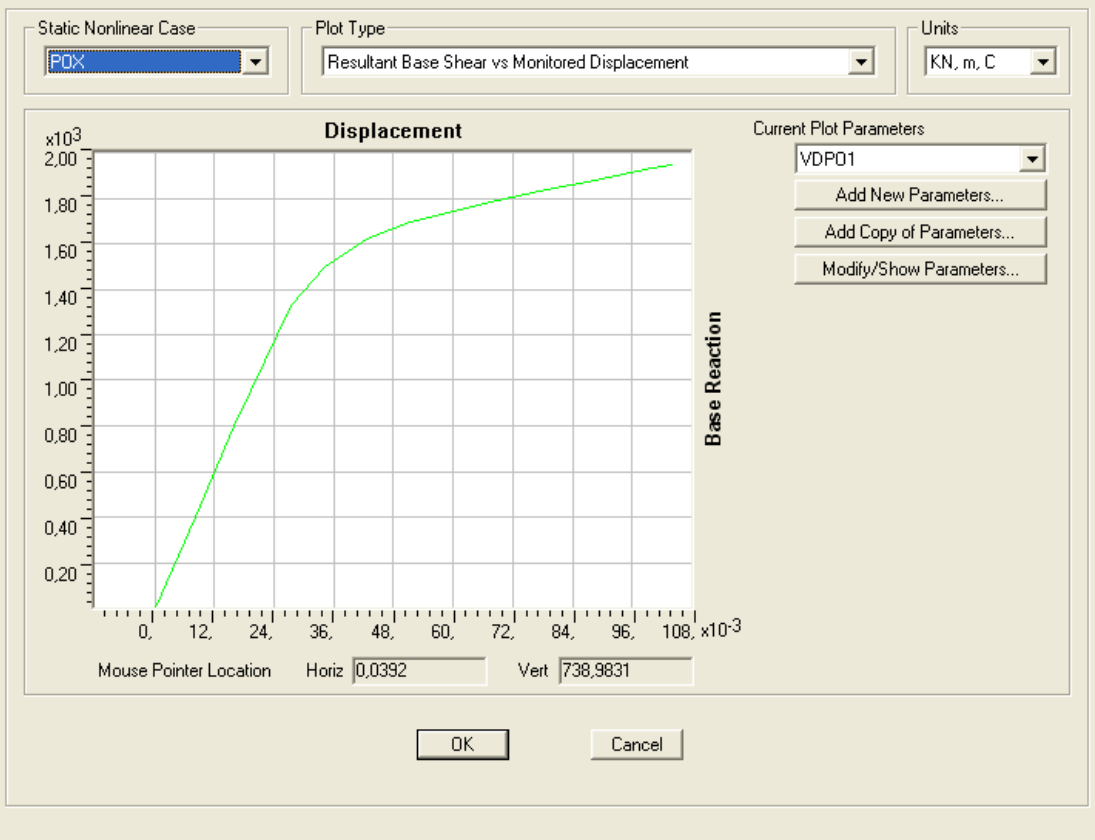
Şekil 3.8: Y yönünde oluşan plastik mafsallar.

Çizelge 3.8: X yönünde itme analizi adımları.

Pushover Curve - POX

Step	Displacemer	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	-2,205E-16	0,000	464	0	0	0	0	0	0	0	464
1	0,008000	399,864	464	0	0	0	0	0	0	0	464
2	0,016000	799,727	464	0	0	0	0	0	0	0	464
3	0,019186	958,979	463	1	0	0	0	0	0	0	464
4	0,027489	1326,803	419	45	0	0	0	0	0	0	464
5	0,034047	1499,317	368	96	0	0	0	0	0	0	464
6	0,042563	1619,894	335	129	0	0	0	0	0	0	464
7	0,051177	1693,219	308	138	18	0	0	0	0	0	464
8	0,060380	1739,375	298	126	40	0	0	0	0	0	464
9	0,069067	1786,616	294	111	59	0	0	0	0	0	464
10	0,077168	1827,591	289	105	70	0	0	0	0	0	464
11	0,088478	1880,871	282	109	65	8	0	0	0	0	464
12	0,099926	1935,038	273	116	53	18	0	4	0	0	464
13	0,103822	1949,063	272	113	55	13	0	11	0	0	464
14	0,104317	1950,144	272	111	57	13	0	11	0	0	464

X yönündeki itme analizi sonucu, 14 adımda toplam 192 plastik mafsal oluşmuştur. Adım adım taban kesme kuvveti- tepe yer değiştirmesi değerleri ve oluşan plastik mafsal sayıları **Çizelge 3.8** 'da, bu değerlerden elde edilen itme eğrisi de **Şekil 3.9**'da gösterilmiştir.



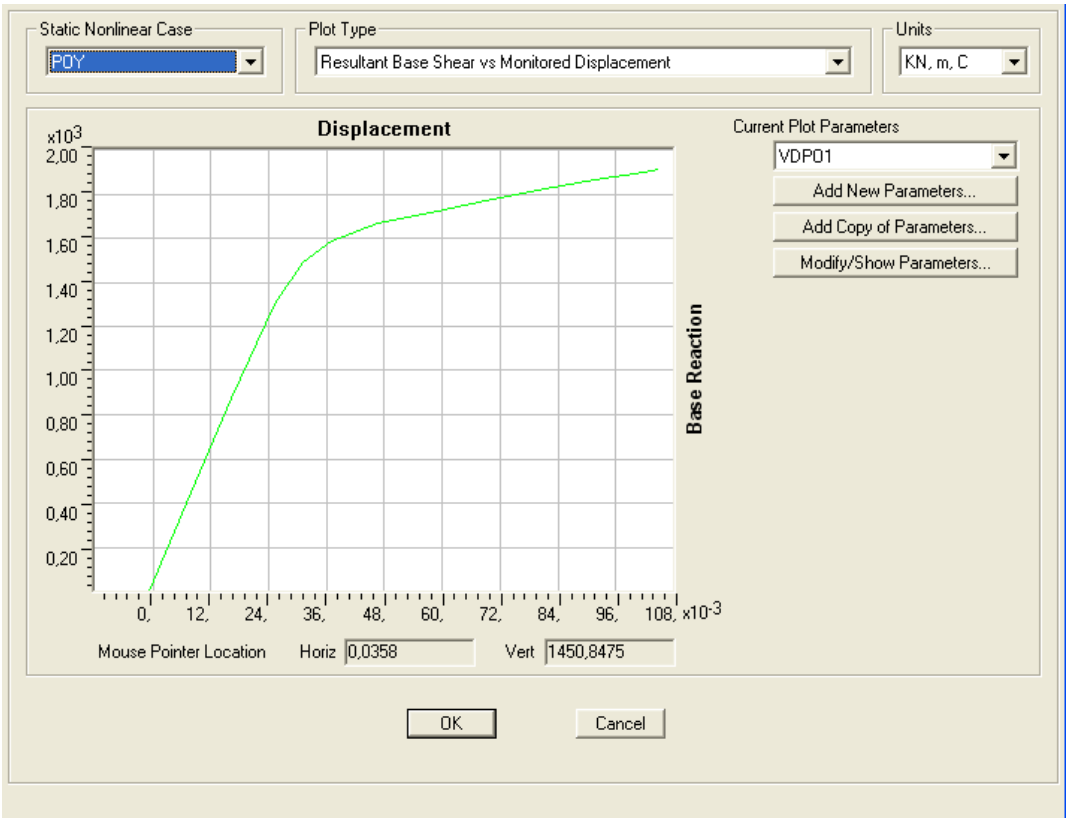
Şekil 3.9: X yönü itme eğrisi.

Y yönündeki itme analizi sonucunda ise, 14 adımda toplam 190 plastik mafsal oluşmuştur **(Çizelge 3.9).** Elde edilen itme eğrisi de **Şekil 3.10** 'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9: Y yönünde itme analizi adımları.

Pushover Curve - POY

Step	Displacemer	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	-0,000726	0,000	464	0	0	0	0	0	0	0	464
1	0,007914	449,691	464	0	0	0	0	0	0	0	464
2	0,016116	876,552	462	2	0	0	0	0	0	0	464
3	0,025137	1302,954	423	41	0	0	0	0	0	0	464
4	0,031167	1493,151	367	97	0	0	0	0	0	0	464
5	0,036965	1583,853	331	133	0	0	0	0	0	0	464
6	0,046531	1667,134	307	151	6	0	0	0	0	0	464
7	0,058935	1722,334	297	109	58	0	0	0	0	0	464
8	0,068870	1767,670	289	104	71	0	0	0	0	0	464
9	0,081391	1823,224	286	99	78	1	0	0	0	0	464
10	0,091498	1864,094	281	100	71	11	0	1	0	0	464
11	0,101898	1901,463	275	106	56	21	0	6	0	0	464
12	0,105007	1909,994	274	107	53	18	0	12	0	0	464
13	0,105017	1910,044	274	107	53	18	0	12	0	0	464
14	0,105020	1910,051	274	107	53	18	0	12	0	0	464



Şekil 3.10: Y yönü itme eğrisi.

3.5.7 Tepe yer değiştirmesi isteminin hesaplanması

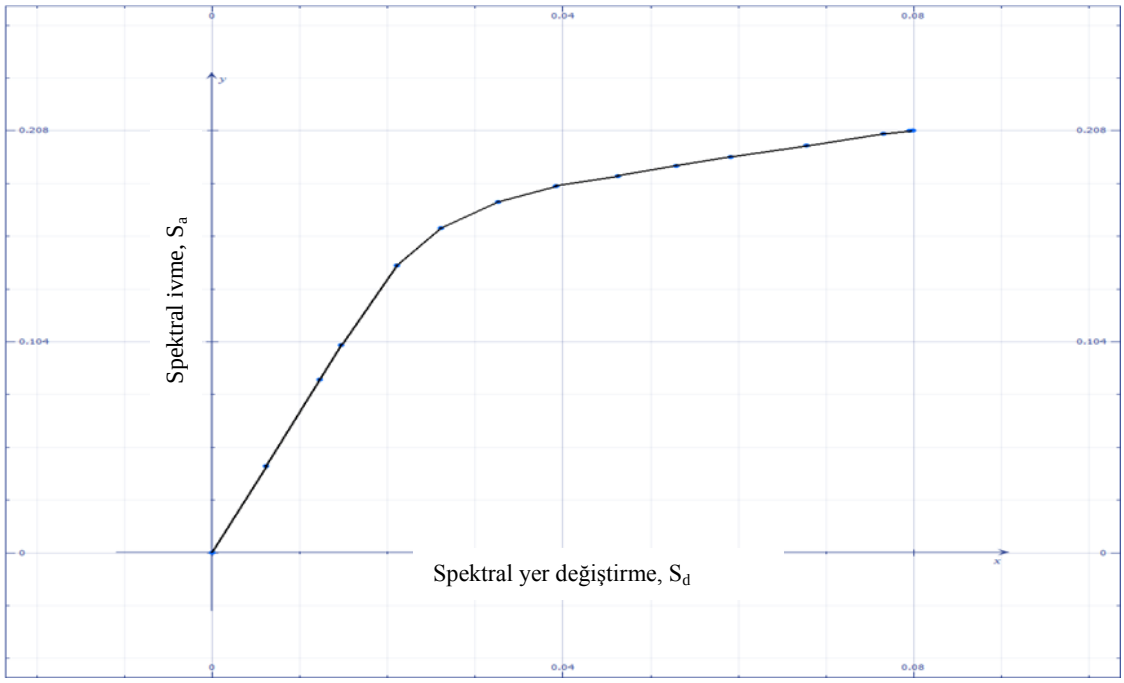
Koordinatları "tepe yer değiştirmesi" – "taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi, **Deprem Yönetmeliği Bölüm 7.6'da** verilen koordinat dönüşümleri uygulanarak koordinatları "modal yer değiştirme – modal ivme" olan modal kapasite diyagramı'na dönüştürülmüştür. **(Çizelge 3.10 - 3.11 ve Şekil 3.11 - 3.12)**

Çizelge 3.10: X yönü itme eğrisi koordinat dönüşümü.

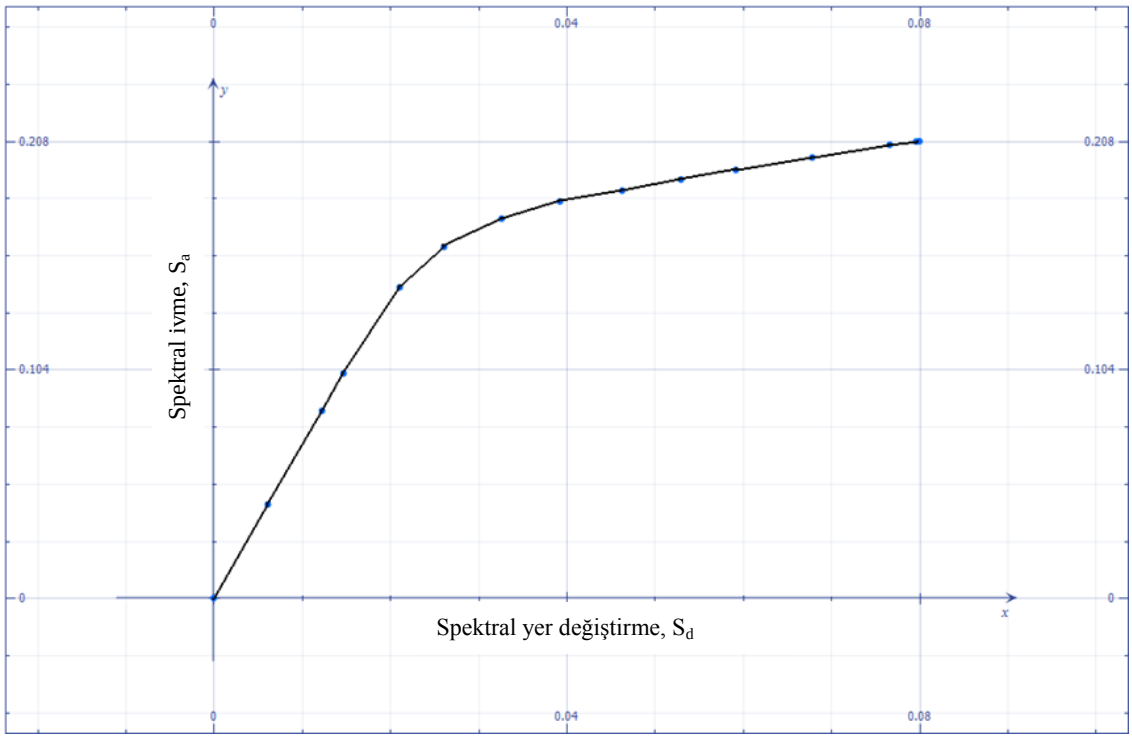
Adım	Uxi	Vxi	di	ai	ai/g
0	0,000	0,000	0,0000	0,000	0,0000
1	0,008000	399,864	0,0062	0,417503	0,0426
2	0,016000	799,727	0,0123	0,835005	0,0851
3	0,019186	958,979	0,0148	1,001282	0,1021
4	0,027489	1326,803	0,0212	1,385331	0,1413
5	0,034047	1499,317	0,0262	1,565455	0,1596
6	0,042563	1619,894	0,0328	1,691351	0,1725
7	0,051177	1693,219	0,0394	1,76791	0,1803
8	0,060380	1739,375	0,0465	1,816102	0,1852
9	0,069067	1786,616	0,0532	1,865427	0,1902
10	0,077168	1827,591	0,0595	1,90821	0,1946
11	0,088478	1880,871	0,0682	1,96384	0,2002
12	0,099926	1935,038	0,0770	2,020397	0,2060
13	0,103822	1949,063	0,0800	2,03504	0,2075
14	0,104317	1950,144	0,0804	2,036169	0,2076

Çizelge 3.11: Y yönü itme eğrisi koordinat dönüşümü.

Adım	Uxi	Vxi	di	ai	ai/g
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,007914	449,691	0,00610	0,467584	0,048
2	0,016116	876,552	0,01243	0,911429	0,093
3	0,025137	1302,954	0,01938	1,354797	0,138
4	0,031167	1493,151	0,02403	1,552562	0,158
5	0,036965	1583,853	0,02850	1,646873	0,168
6	0,046531	1667,134	0,03588	1,733467	0,177
7	0,058935	1722,334	0,04544	1,790864	0,183
8	0,068870	1767,670	0,05310	1,838003	0,187
9	0,081391	1823,224	0,06275	1,895768	0,193
10	0,091498	1864,094	0,07055	1,938264	0,198
11	0,101898	1901,463	0,07856	1,97712	0,202
12	0,105007	1909,994	0,08096	1,98599	0,203
13	0,105017	1910,044	0,08097	1,986042	0,203
14	0,105020	1910,051	0,08097	1,98605	0,203



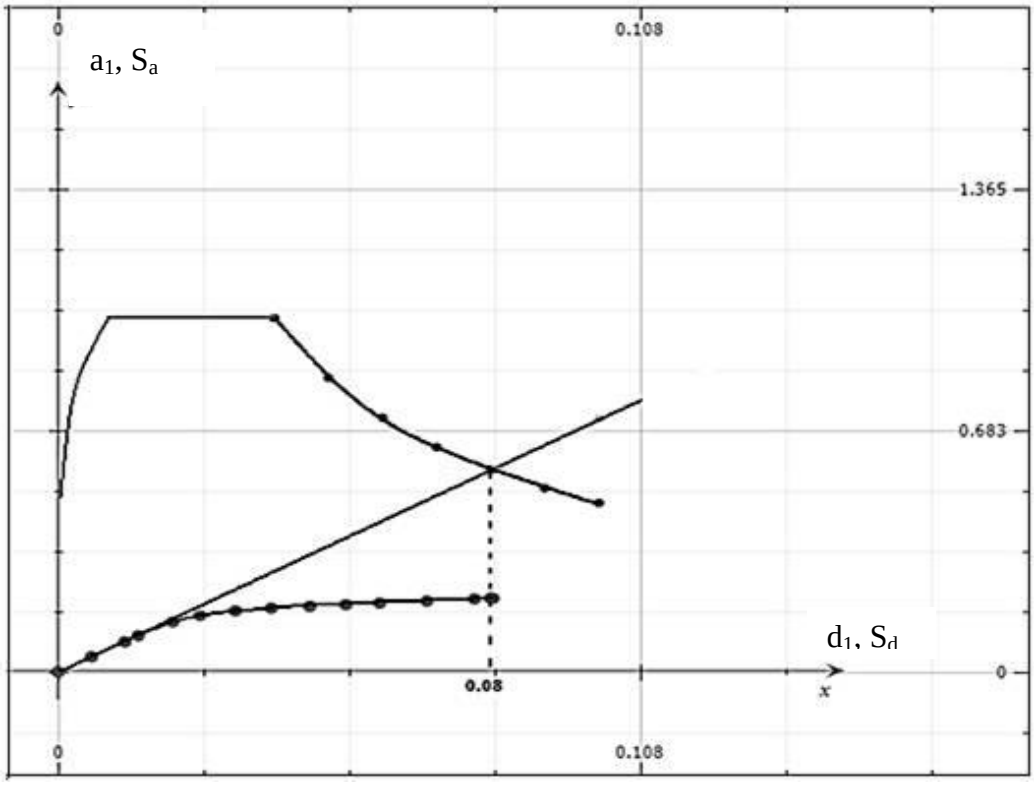
Şekil 3.11: X yönü modal kapasite diyagramı.



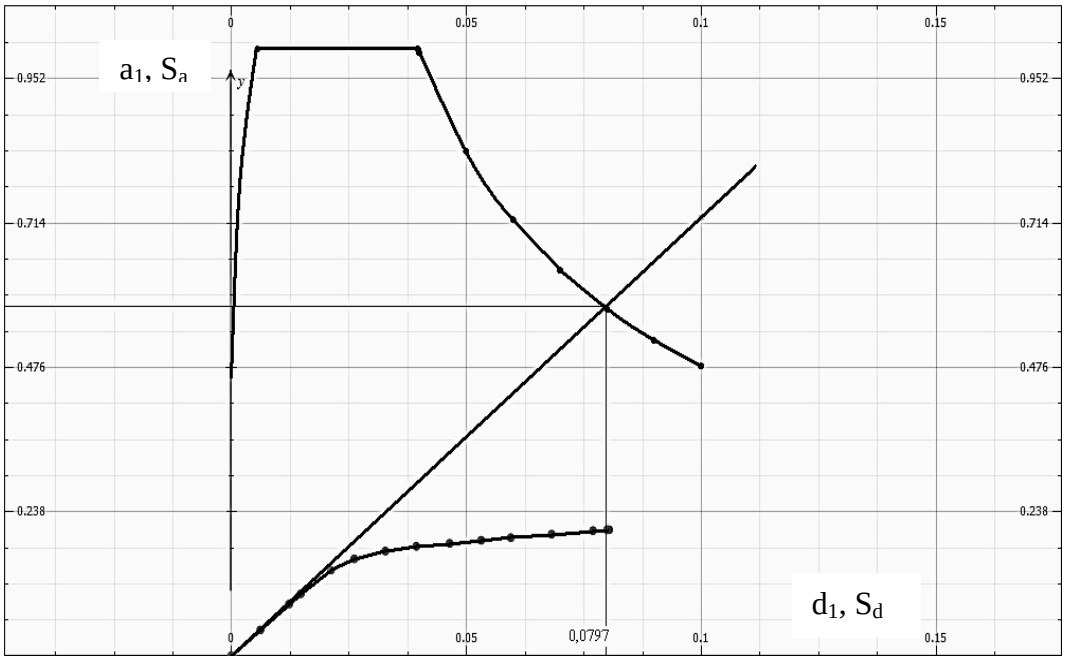
Şekil 3.12: Y yönü modal kapasite diyagramı.

Sistemin hedef deplasman değerinin belirlenmesi için elastik spektrum eğrisi ile modal kapasite eğrisinin kesiştirilmesi gerekir. Bu iki eğriyi kesiştirmek için

kapasite eğrisinin elastik duruma çevrilmelidir. Bu işlem kapasite eğrisinin başlangıç teğetinin çizilmesiyle yapılabilir. **(Şekil 3.13 - 3.14)**



Şekil 3.13: X yönünde modal yer değiştirme isteminin bulunması.



Şekil 3.14: Y yönünde modal yer değiştirme isteminin bulunması.

X yönünde hakim moddaki doğal titreşim periyodu T_1=0,751s, ilgili yerel zemin sınıfına ilişkin spektrum karakteristik periyodu T_B=0,40s'den büyük olduğu için, hakim moda ait modal yer değiştirme istemi (d_1), eşit yer değiştirme ilkesi uyarınca T_1 periyoduna karşılık gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirmeye (S_{de1}) eşit alınarak d_1=0.08m olarak hesaplanmıştır.

Dikkate alınan deprem doğrultusundaki hedef tepe yer değiştirmesi istemi;

$U_{xN} = \Phi_{xN1}\Gamma_{x1}d_1$

U_{xN} = 1x0,08x1,298 = 0,104m **(3.8)**

olarak hesaplanır.

Y yönündeki birinci doğal titreşim periyodu T_1=0,747s, ilgili yerel zemin sınıfına ilişkin spektrum karakteristik periyodu T_B=0,40s'den büyük olduğu için, hakim moda ait modal yer değiştirme istemi (d_1), eşit yer değiştirme ilkesi uyarınca T_1 periyoduna karşılık gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirmeye (S_{de1}) eşit alınarak d_1=0.0797m olarak hesaplanmıştır.

Y yönündeki hedef tepe yer değiştirmesi istemi;

$U_{yN} = \Phi_{yN1}\Gamma_{y1}d_1$

U_{yN} = 1x0,0797x1,297 = 0,103m **(3.9)**

olarak hesaplanır.

3.5.8 Yapı elemanlarında gevrek kırılma kontrolleri

3.5.8.1 Kirişlerde kesme güvenliği kontrolü

Kiriş uçlarındaki kesme kuvveti istemi (V_e), itme analizinin performans noktasına ulaştığı durumdaki kesme kuvvetidir. Kirişlerin kesme kuvveti kapasiteleri ise TS 500 'e göre hesaplanır.**(3.10)**

$$V_r = 0{,}52 f_{ctm}\, b_w\, d + \frac{A_{sw}}{s}\, f_{ywd}\, d \qquad (\mathbf{3.10})$$

Her iki yönde tüm kiriş kesitlerinde kesme istemi kesme kuvveti kapasitenden küçüktür ve tüm kirişler sünek olarak hasar gören elmanlardır. Örnek olarak seçilen akslardaki kesme güvenliği kontrolleri **Çizelge 3.12**'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.12: Kirişlerde kesme güvenliği.

Yön	Kiriş	V_{ei}	V_{ej}	V_r	Durum
(+X)	K109	21,90	78,79	203,18	SÜNEK
(+X)	K110	5,36	120,74	203,18	SÜNEK
(+X)	K111	5,63	79,98	203,18	SÜNEK
(+X)	K112	22,61	36,11	203,18	SÜNEK
(+Y)	K121	16,68	87,95	203,18	SÜNEK
(+Y)	K122	12,25	66,53	203,18	SÜNEK
(+Y)	K123	2,75	52,58	203,18	SÜNEK

3.5.8.2 Kolonlarda kesme güvenliği kontrolü

Kolonlarda kesme kuvveti istemi (V_e), performans noktasına kadar yapılan artımsal itme analizi ile hesaplanır. Kesme kapasitesi ise TS 500 uyarınca **Denklem 3.11**'daki gibi hesaplanır.

$$V_r = 0{,}52 f_{ctm} b_w d\left(1 + \nu \frac{N}{A_c}\right) + \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \qquad (\mathbf{3.11})$$

Tüm kolonlar için hesaplanan kesme istemleri kesme kapasitelerinden küçüktür ve tüm kolonlar sünek elemanlardır. Örnek akslar için hesaplanan değerler **Çizelge 3.13'de** gösterilmiştir.

Çizelge 3.13: Kolonlarda kesme güvenliği.

Yön	Kolon	V_e	V_r	Durum
(+X)	S107	120,28	172,68	SÜNEK
(+X)	S108	154,27	184,53	SÜNEK
(+X)	S109	188,25	226,57	SÜNEK
(+X)	S110	158,82	184,53	SÜNEK
(+X)	S111	111,70	172,71	SÜNEK
(+Y)	S118	47,38	111,35	SÜNEK
(+Y)	S113	98,10	146,13	SÜNEK
(+Y)	S108	134,81	184,53	SÜNEK
(+Y)	S102	61,35	111,37	SÜNEK

3.5.8.3 Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği kontrolü

Kolon kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliği kontrolü **Deprem Yönetmeliği Bölüm 3.5.2** 'ye göre aşağıdaki denklemlerle yapılır:

$$V_e = 1{,}25 f_{ym}(A_{s1} + A_{s2)} - V_{kol} \qquad (\mathbf{3.12})$$

Kuşatılmış birleşimlerde: $V_r = 0{,}60\ b_j\ h\ f_{cd}$ $(\mathbf{3.13})$

Kuşatılmamış birleşimlerde: $V_r = 0{,}45\ b_j\ h\ f_{cd}$ $(\mathbf{3.14})$

Denklem (3.13) ve **Denklem (3.14)'**da f_{cd} yerine mevcut beton dayanımı, **Denklem (3.12)**'deki V_{kol} yerine birleşim bölgesine birleşen kolonların doğrusal olmayan analiz ile hesaplanan kesme istemlerinin küçük olanı kullanılır.

Kolon kiriş birleşim bölgelerinde yapılan hesaplamalar sonucu tüm birleşimlerin bölgelerinde kesme güvenliğinin sağlandığı belirlenmiş, örnek akslardaki sonuçlar **Çizelge 3.14**'de gösterilmiştir.

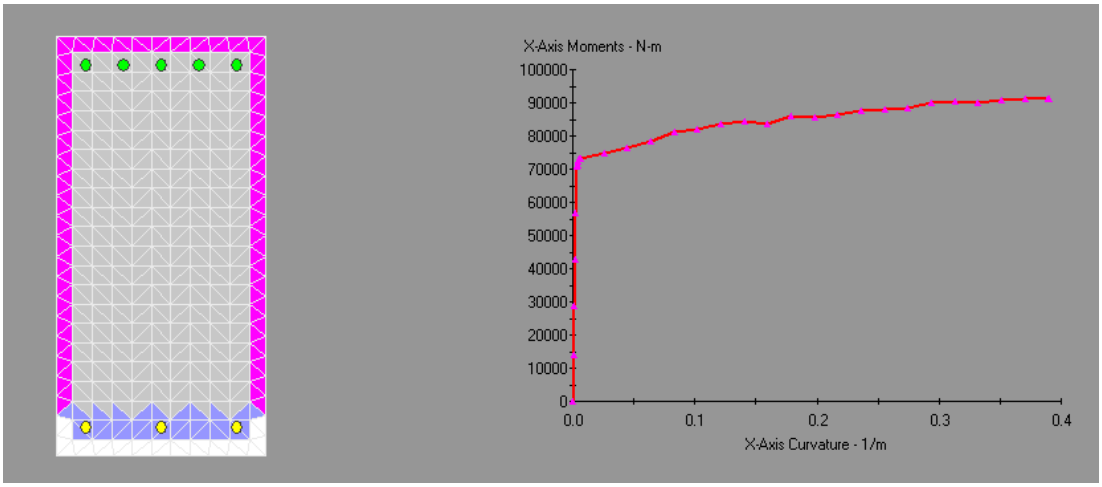
Çizelge 3.14: Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği.

Yön	Birleşim	V_e	V_r	Durum
(+X)	S107	475,17	862,40	GÜVENLİ
(+X)	S108	428,05	1008,10	GÜVENLİ
(+X)	S109	573,47	1296,00	GÜVENLİ
(+X)	S110	440,08	1008,10	GÜVENLİ
(+X)	S111	461,70	862,40	GÜVENLİ
(+Y)	S118	81,78	540,00	GÜVENLİ
(+Y)	S113	311,56	756,00	GÜVENLİ
(+Y)	S108	420,91	1008,10	GÜVENLİ
(+Y)	S102	155,89	540,00	GÜVENLİ

3.5.9 Kesit hasar durumlarının belirlenmesi

Bulunan tepe yer değiştirme istemine (performans noktası) kadar ikinci bir itme analizi yapılarak plastikleşen kesitlerdeki plastik dönme değerleri (θ_p) ve buna bağlı olarak plastik eğrilikler (ϕ_p) hesaplanmıştır. Bu plastik eğriliklere kesitlerin plastikleşmeye erişinceye kadar yaptığı elastik akma eğrilikleri (ϕ_y) eklenerek toplam eğrilik (ϕ_t) değerleri bulunmuştur. Bu toplam eğrilik değerleri kullanılarak betonun ve çeliğin birim şekil değiştirme istemi moment eğrilik analizinden hesaplanarak kesit bazında hasar düzeyleri belirlenmiştir.

Kesitlerde plastikleşmeye ulaşılıncaya kadar meydana gelen elastik akma eğrilikleri ve toplam eğrilik istemine karşılık gelen donatı ve beton şekil değiştirme durumları XTRACT Kesit Analiz Programı **[5]** vasıtasıyla hesaplanmıştır **(Şekil 3.15)**.



Şekil 3.15 : XTRACT programı kullanılarak elde edilen moment-eğrilik grafiği.

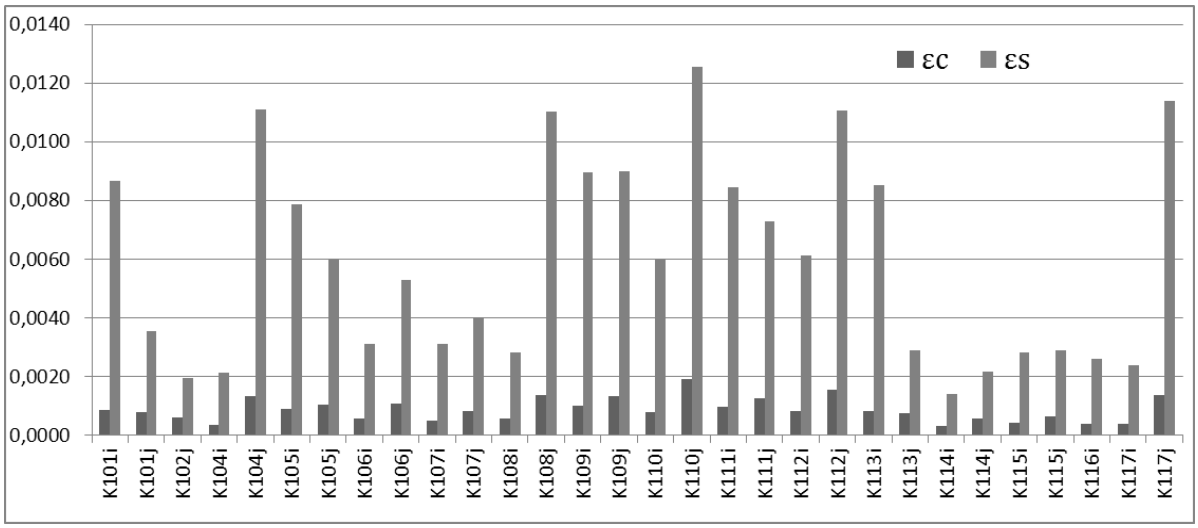
1. ve 2. Katlar için hesaplanan birim şekil değiştirme istemleri ve hasar seviyeleri aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 3.15: +X yönü kiriş hasar seviyeleri.

KİRİŞ		εc	εs	(εc)MN	(εc)GV	(εc)GC	(εs)MN	(εs)GV	(εs)GC	Hasar Seviyeleri			
										Beton	Çelik	Kesit	Eleman
K101i	*i*	0,0008	0,0087	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K101j	*j*	0,0008	0,0035	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K102j	*j*	0,0006	0,0019	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K104i	*i*	0,0004	0,0021	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	**BH**
K104j	*j*	0,0013	**0,0111**	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	BH	**BH**	
K105i	*i*	0,0009	0,0079	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K105j	*j*	0,0011	0,0060	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K106i	*i*	0,0006	0,0031	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K106j	*j*	0,0011	0,0053	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K107i	*i*	0,0005	0,0031	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K107j	*j*	0,0008	0,0040	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K108i	*i*	0,0006	0,0028	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	**BH**
K108j	*j*	0,0014	**0,0110**	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	BH	**BH**	
K109i	*i*	0,0010	0,0090	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K109j	*j*	0,0014	0,0090	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K110i	*i*	0,0008	0,0060	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	**BH**
K110j	*j*	0,0019	**0,0125**	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	BH	**BH**	
K111i	*i*	0,0010	0,0085	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K111j	*j*	0,0013	0,0073	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K112i	*i*	0,0008	0,0061	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	**BH**
K112j	*j*	0,0015	**0,0111**	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	BH	**BH**	
K113i	*i*	0,0008	0,0085	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K113j	*j*	0,0008	0,0029	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	

Çizelge 3.15 (devam): +X yönü kiriş hasar seviyeleri.

KİRİŞ		εc	εs	(εc)MN	(εc)GV	(εc)GC	(εs)MN	(εs)GV	(εs)GC	Hasar Seviyeleri			
										Beton	Çelik	Kesit	Eleman
K114i	*i*	0,0003	0,0014	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K114j	*j*	0,0006	0,0022	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K115i	*i*	0,0004	0,0028	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K115j	*j*	0,0007	0,0029	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K116i	*i*	0,0004	0,0026	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K117i	*i*	0,0004	0,0024	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	**BH**
K117j	*j*	0,0014	**0,0114**	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	BH	**BH**	
K201	*i*	0,0007	0,0073	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K201	*j*	0,0006	0,0021	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K202	*j*	0,0005	0,0013	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K204	*j*	0,0012	0,0084	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K205	*i*	0,0007	0,0061	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K205	*j*	0,0009	0,0056	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K206	*i*	0,0005	0,0025	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K206	*j*	0,0009	0,0052	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K207	*j*	0,0007	0,0026	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K208	*j*	0,0012	0,0091	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K209	*i*	0,0008	0,0055	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K209	*j*	0,0011	0,0052	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K210	*i*	0,0005	0,0024	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	**BH**
K210	*j*	0,0016	**0,0102**	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	BH	**BH**	
K211	*i*	0,0008	0,0053	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K211	*j*	0,0010	0,0047	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K212	*i*	0,0005	0,0022	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K212	*j*	0,0013	0,0091	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K213	*i*	0,0007	0,0072	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K213	*j*	0,0006	0,0021	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K214	*j*	0,0007	0,0045	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K215	*i*	0,0004	0,0039	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K215	*j*	0,0007	0,0047	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	
K216	*i*	0,0004	0,0042	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K217	*i*	0,0003	0,0015	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	MH
K217	*j*	0,0012	0,0087	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	0,060	MH	MH	MH	



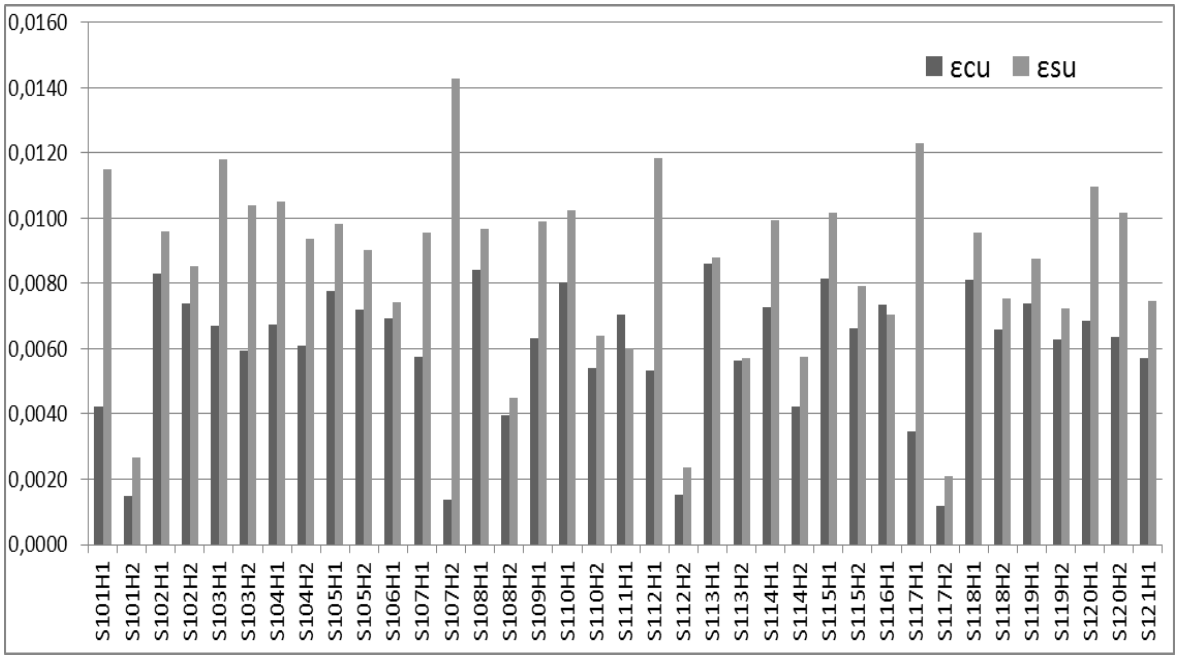
Şekil 3.16: +X yönü 1. kat kiriş hasar durumu.

Çizelge 3.16: +X yönü kolon hasar seviyeleri.

KOLON	εcu	εcg	εsu	$(\varepsilon cu)_{MN}$	$(\varepsilon cg)_{GV}$	$(\varepsilon s)_{MN}$	$(\varepsilon s)_{GV}$	Hasar Seviyeleri			
								Beton	Çelik	Kesit	Eleman
S101H1	**0,0042**	0,0028	**0,0115**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S101H2	0,0015	0,0011	0,0027	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	MH	MH	
S102H1	**0,0083**	0,0066	0,0096	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S102H2	**0,0074**	0,0059	0,0085	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S103H1	**0,0067**	0,0050	**0,0118**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S103H2	**0,0059**	0,0044	**0,0104**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S104H1	**0,0068**	0,0051	**0,0105**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S104H2	**0,0061**	0,0046	0,0094	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S105H1	**0,0078**	0,0062	0,0098	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S105H2	**0,0072**	0,0050	0,0090	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S106H1	**0,0069**	0,0056	0,0074	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S107H1	**0,0058**	0,0044	0,0096	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S107H2	0,0014	0,0011	**0,0143**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	**BH**	**BH**	
S108H1	**0,0084**	0,0070	0,0097	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S108H2	**0,0040**	0,0033	0,0045	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S109H1	**0,0063**	0,0051	0,0099	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S110H1	**0,0080**	0,0066	**0,0103**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S110H2	**0,0054**	0,0045	0,0064	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S111H1	**0,0070**	0,0059	0,0060	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S112H1	**0,0053**	0,0039	**0,0118**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S112H2	0,0015	0,0012	0,0024	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	MH	MH	
S113H1	**0,0086**	0,0072	0,0088	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S113H2	**0,0056**	0,0047	0,0057	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S114H1	**0,0073**	0,0057	0,0099	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S114H2	**0,0042**	0,0033	0,0058	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S115H1	**0,0081**	0,0066	**0,0102**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S115H2	**0,0066**	0,0054	0,0079	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S116H1	**0,0074**	0,0061	0,0071	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S117H1	0,0035	0,0020	**0,0123**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	**BH**	**BH**	**BH**
S117H2	0,0012	0,0009	0,0021	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	MH	MH	
S118H1	**0,0081**	0,0064	0,0096	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S118H2	**0,0066**	0,0053	0,0075	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S119H1	**0,0074**	0,0055	0,0088	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S119H2	**0,0063**	0,0047	0,0072	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S120H1	**0,0069**	0,0051	**0,0110**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S120H2	**0,0064**	0,0048	**0,0102**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S121H1	**0,0057**	0,0045	0,0075	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S201H1	**0,0057**	0,0037	**0,0164**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S201H2	**0,0062**	0,0039	**0,0182**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S202H1	**0,0125**	0,0091	**0,0246**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S202H2	**0,0133**	0,0097	**0,0269**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S203H1	**0,0103**	0,0070	**0,0246**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S203H2	**0,0100**	0,0068	**0,0243**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S204H1	**0,0151**	0,0104	**0,0354**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S204H2	**0,0095**	0,0066	**0,0218**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S205H1	**0,0129**	0,0093	**0,0261**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S205H2	**0,0123**	0,0088	**0,0259**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S206H1	**0,0073**	0,0055	**0,0123**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S206H2	**0,0082**	0,0061	**0,0143**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S207H1	**0,0064**	0,0044	**0,0163**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S207H2	**0,0070**	0,0047	**0,0194**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S208H1	**0,0095**	0,0074	**0,0190**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S208H2	**0,0114**	0,0088	**0,0236**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	

Çizelge 3.16 (devam): +X yönü kolon hasar seviyeleri.

KOLON	εcu	εcg	εsu	$(\varepsilon cu)_{MN}$	$(\varepsilon cg)_{GV}$	$(\varepsilon s)_{MN}$	$(\varepsilon s)_{GV}$	Hasar Seviyeleri			
								Beton	Çelik	Kesit	Eleman
S209H1	**0,0066**	0,0051	**0,0151**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S209H2	**0,0072**	0,0055	**0,0174**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S210H1	**0,0104**	0,0066	**0,0220**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S210H2	**0,0115**	0,0088	**0,0247**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S211H1	**0,0079**	0,0062	**0,0117**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S211H2	**0,0088**	0,0069	**0,0136**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S212H1	**0,0060**	0,0040	**0,0173**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S212H2	**0,0064**	0,0042	**0,0193**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S213H1	**0,0108**	0,0082	**0,0203**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S213H2	**0,0124**	0,0094	**0,0237**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S214H1	**0,0097**	0,0070	**0,0199**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S214H2	**0,0103**	0,0074	**0,0215**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S215H1	**0,0111**	0,0082	**0,0243**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S215H2	**0,0123**	0,0089	**0,0280**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S216H1	**0,0075**	0,0059	**0,0120**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S216H2	**0,0083**	0,0064	**0,0138**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S217H1	**0,0041**	0,0020	**0,0182**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S217H2	**0,0054**	0,0031	**0,0188**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S218H1	**0,0112**	0,0083	**0,0206**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S218H2	**0,0119**	0,0088	**0,0223**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S219H1	**0,0113**	0,0076	**0,0204**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S219H2	**0,0115**	0,0077	**0,0212**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S220H1	**0,0112**	0,0078	**0,0256**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S220H2	**0,0115**	0,0080	**0,0268**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	
S221H1	**0,0063**	0,0045	**0,0128**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	BH
S221H2	**0,0071**	0,0054	**0,0150**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	BH	BH	BH	



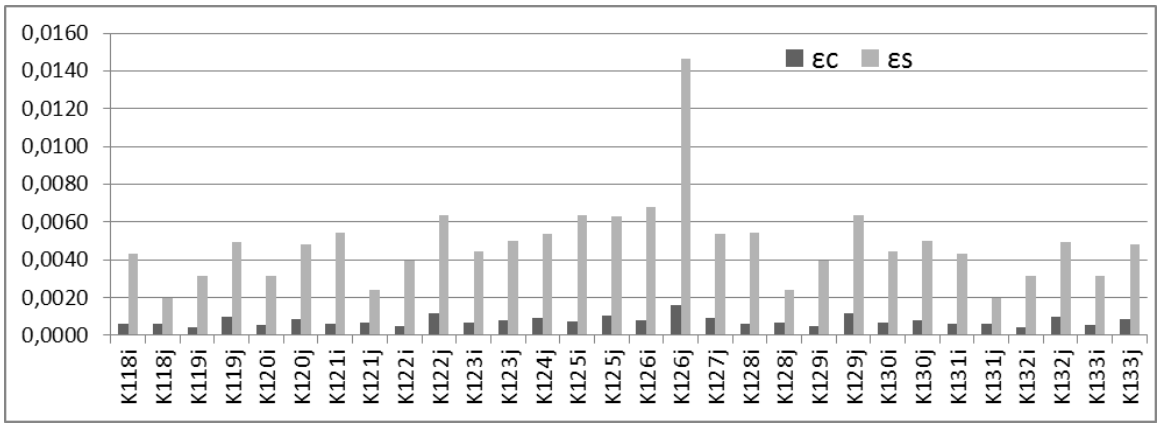
Şekil 3.17: +X yönü 1. kat kolon hasar durumu.

Çizelge 3.17: +Y yönü kiriş hasar seviyeleri.

KİRİŞ		ε_c	ε_s	$(\varepsilon_c)_{MN}$	$(\varepsilon_c)_{GV}$	$(\varepsilon_c)_{GC}$	$(\varepsilon_s)_{MN}$	$(\varepsilon_s)_{GV}$	Hasar Seviyeleri			
									Beton	Çelik	Kesit	Eleman
K118i	*i*	0,0006	0,0044	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K118j	*j*	0,0006	0,0020	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K119i	*i*	0,0004	0,0032	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K119j	*j*	0,0010	0,0049	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K120i	*i*	0,0005	0,0031	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K120j	*j*	0,0009	0,0048	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K121i	*i*	0,0006	0,0054	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K121j	*j*	0,0007	0,0024	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K122i	*i*	0,0005	0,0039	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K122j	*j*	0,0012	0,0064	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K123i	*i*	0,0007	0,0045	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K123j	*j*	0,0008	0,0050	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K124j	*j*	0,0009	0,0054	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K125i	*i*	0,0008	0,0064	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K125j	*j*	0,0011	0,0063	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K126i	*i*	0,0008	0,0068	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	**BH**
K126j	*j*	0,0016	**0,0147**	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	**BH**	**BH**	
K127j	*j*	0,0009	0,0054	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K128i	*i*	0,0006	0,0054	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K128j	*j*	0,0007	0,0024	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K129i	*i*	0,0005	0,0039	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K129j	*j*	0,0012	0,0064	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K130i	*i*	0,0007	0,0045	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K130j	*j*	0,0008	0,0050	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K131i	*i*	0,0006	0,0044	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K131j	*j*	0,0006	0,0020	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K132i	*i*	0,0004	0,0032	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K132j	*j*	0,0010	0,0049	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K133i	*i*	0,0005	0,0031	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K133j	*j*	0,0009	0,0048	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K218	*i*	0,0005	0,0044	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K219	*i*	0,0004	0,0019	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K219	*j*	0,0007	0,0030	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K220	*j*	0,0008	0,0040	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K221	*i*	0,0005	0,0040	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K222	*i*	0,0004	0,0021	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K222	*j*	0,0009	0,0039	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K223	*i*	0,0004	0,0016	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K223	*j*	0,0006	0,0032	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K224	*j*	0,0008	0,0036	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K225	*i*	0,0006	0,0062	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K225	*j*	0,0009	0,0049	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K226	*i*	0,0007	0,0056	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K226	*j*	0,0012	0,0097	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K227	*j*	0,0008	0,0036	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K228	*i*	0,0005	0,0040	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH

Çizelge 3.17 (devam): +Y yönü kiriş hasar seviyeleri.

KİRİŞ		εc	εs	(εc)MN	(εc)GV	(εc)GC	(εs)MN	(εs)GV	Hasar Seviyeleri			
									Beton	Çelik	Kesit	Eleman
K229	*i*	0,0004	0,0021	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K229	*j*	0,0009	0,0039	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K230	*i*	0,0004	0,0016	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K230	*j*	0,0006	0,0032	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K231	*i*	0,0005	0,0044	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K232	*i*	0,0004	0,0019	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH
K232	*j*	0,0007	0,0030	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	
K233	*j*	0,0008	0,0040	0,0035	0,0135	0,0180	0,010	0,040	MH	MH	MH	MH



Şekil 3.18 : +Y yönü 1. Kat kiriş hasar durumu.

Çizelge 3.18: +Y yönü kolon hasar seviyeleri.

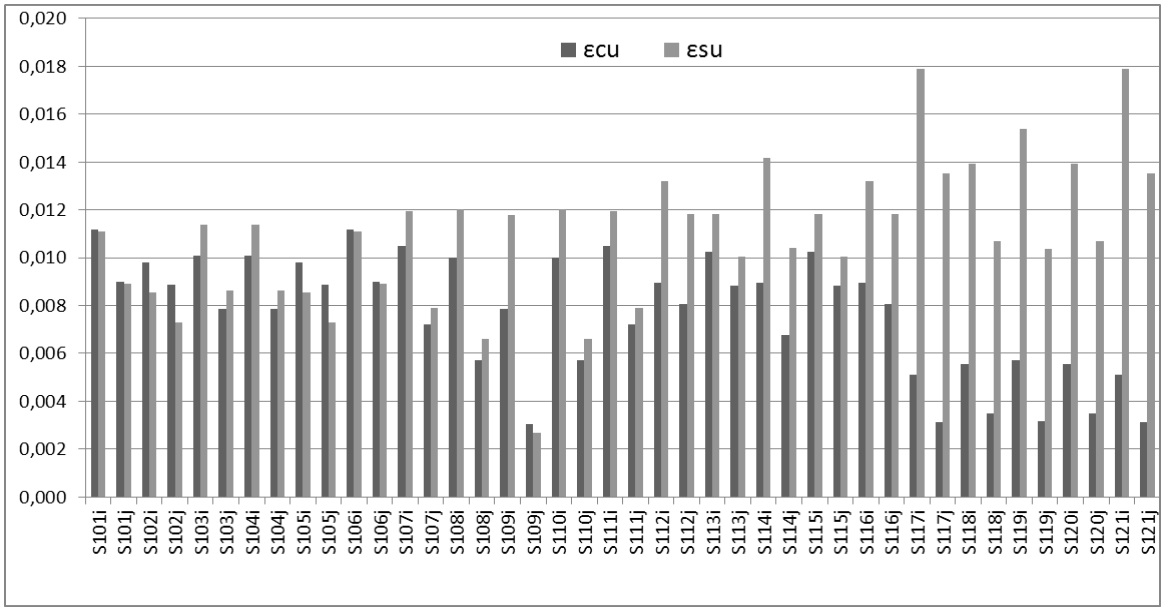
KOLON		εcu	εcg	εsu	(εc)MN	(εc)GV	(εs)MN	(εs)GV	Hasar Seviyeleri			
									Beton	Çelik	Kesit	Eleman
S101i	*i*	**0,011**	0,009	**0,011**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S101j	*j*	**0,009**	0,006	0,009	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S102i	*i*	**0,010**	0,008	0,009	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S102j	*j*	**0,009**	0,006	0,007	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S103i	*i*	**0,010**	0,008	**0,011**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S103j	*j*	**0,008**	0,006	0,009	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S104i	*i*	**0,010**	0,008	**0,011**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S104j	*j*	**0,008**	0,006	0,009	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S105i	*i*	**0,010**	0,008	0,009	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	**BH**
S105j	*j*	**0,009**	0,006	0,007	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S106i	*i*	**0,011**	0,009	**0,011**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S106j	*j*	**0,009**	0,006	0,009	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S107i	*i*	**0,010**	0,009	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S107j	*j*	**0,007**	0,006	0,008	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S108i	*i*	**0,010**	0,008	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S108j	*j*	**0,006**	0,004	0,007	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S109i	*i*	**0,008**	0,007	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S109j	*j*	0,003	0,003	0,003	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	MH	MH	
S110i	*i*	**0,010**	0,008	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S110j	*j*	**0,006**	0,004	0,007	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	

Çizelge 3.18 (devam): +Y yönü kolon hasar seviyeleri.

KOLON		Ɛcu	Ɛcg	Ɛsu	(Ɛc)MN	(Ɛc)GV	(Ɛs)MN	(Ɛs)GV	Hasar Seviyeleri			
									Beton	Çelik	Kesit	Eleman
S111i	*i*	**0,010**	0,009	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S111j	*j*	**0,007**	0,006	0,008	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	MH	**BH**	
S112i	*i*	**0,009**	0,007	**0,013**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S112j	*j*	**0,008**	0,006	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S113i	*i*	**0,010**	0,008	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S113j	*j*	**0,009**	0,007	**0,010**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S114i	*i*	**0,009**	0,007	**0,014**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S114j	*j*	**0,007**	0,005	**0,010**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S115i	*i*	**0,010**	0,008	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S115j	*j*	**0,009**	0,007	**0,010**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S116i	*i*	**0,009**	0,007	**0,013**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S116j	*j*	**0,008**	0,006	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S117i	*i*	**0,005**	0,003	**0,018**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S117j	*j*	0,003	0,002	**0,014**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	**BH**	**BH**	
S118i	*i*	**0,006**	0,003	**0,014**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S118j	*j*	0,003	0,002	**0,011**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	**BH**	**BH**	
S119i	*i*	**0,006**	0,004	**0,015**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S119j	*j*	0,003	0,002	**0,010**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	**BH**	**BH**	
S120i	*i*	**0,006**	0,003	**0,014**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S120j	*j*	0,003	0,002	**0,011**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	**BH**	**BH**	
S121i	*i*	**0,005**	0,003	**0,018**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S121j	*j*	0,003	0,002	**0,014**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	MH	**BH**	**BH**	
S201	*i*	**0,011**	0,008	**0,018**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S201	*j*	**0,011**	0,009	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S202	*i*	**0,012**	0,009	**0,016**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S202	*j*	**0,014**	0,010	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S203	*i*	**0,010**	0,007	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S203	*j*	**0,010**	0,008	**0,021**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S204	*i*	**0,010**	0,007	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S204	*j*	**0,010**	0,008	**0,021**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S205	*i*	**0,012**	0,009	**0,016**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S205	*j*	**0,014**	0,010	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S206	*i*	**0,011**	0,008	**0,018**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S206	*j*	**0,011**	0,009	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S207	*i*	**0,010**	0,007	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S207	*j*	**0,012**	0,009	**0,025**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S208	*i*	**0,009**	0,005	**0,017**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S208	*j*	**0,010**	0,007	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S209	*i*	**0,006**	0,005	**0,012**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S209	*j*	**0,008**	0,006	**0,017**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S210	*i*	**0,009**	0,005	**0,017**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S210	*j*	**0,010**	0,007	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S211	*i*	**0,010**	0,007	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S211	*j*	**0,012**	0,009	**0,025**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S212	*i*	**0,010**	0,007	**0,025**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S212	*j*	**0,010**	0,007	**0,024**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S213	*i*	**0,011**	0,008	**0,023**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S213	*j*	**0,012**	0,008	**0,026**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S214	*i*	**0,009**	0,007	**0,021**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S214	*j*	**0,010**	0,007	**0,022**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S215	*i*	**0,011**	0,008	**0,023**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S215	*j*	**0,012**	0,008	**0,026**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S216	*i*	**0,010**	0,007	**0,025**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S216	*j*	**0,010**	0,007	**0,024**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	

Çizelge 3.18 (devam): +Y yönü kolon hasar seviyeleri.

KOLON		εcu	εcg	εsu	(εc)MN	(εc)GV	(εs)MN	(εs)GV	Hasar Seviyeleri			
									Beton	Çelik	Kesit	Eleman
S217	*i*	**0,006**	0,004	**0,022**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S217	*j*	**0,006**	0,003	**0,021**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S218	*i*	**0,007**	0,004	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S218	*j*	**0,007**	0,004	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S219	*i*	**0,006**	0,004	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S219	*j*	**0,006**	0,004	**0,020**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S220	*i*	**0,007**	0,004	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S220	*j*	**0,007**	0,004	**0,019**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	
S221	*i*	**0,006**	0,004	**0,022**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	**BH**
S221	*j*	**0,006**	0,003	**0,021**	0,0035	0,0135	0,010	0,040	**BH**	**BH**	**BH**	



Şekil 3.19 : +Y yönü 1. Kat kolon hasar durumu.

3.5.10 Bina deprem performansının değerlendirilmesi

İncelenen yapı konut türü bir bina olduğu için, tasarım depremi etkisinde Can Güvenliği performans seviyesini sağlaması gerekmektedir. Deprem yönetmeliği uyarınca can güvenliği performans seviyesinin sağlanması için gerekli şartlar şunlardır;

a. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.

b. İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
c. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden kolonların kirişlerden güçlü olma şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

Değerlendirilmesi yapılan binada, her iki yönde ileri hasar seviyesinde bulunan kiriş ve kolon bulunmamaktadır ve yukarıda verilen şartlardan ilk ikisi sağlanmaktadır. Ancak, her iki yönde de ilk iki kat kolonlarının büyük çoğunluğunun alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar sınırı aşılmıştır. Bu durumda, yukarıda c şıkkında verilen şart sağlanamamıştır. Aynı koşulun Göçme Öncesi Performans Seviyesi'nde de yer alması nedeniyle bina bu seviyeyi de sağlayamamaktadır. Bina mevcut haliyle **Göçme Durumu**'ndadır.

Bina performans seviyesinin belirlenmesinde, "hasar durumu kirişlerde oran olarak verilirken, kolonlarda kesme kuvvetine bağlı olarak verilmesi, önemli ve daha önemli kolonların ayrılması bakımından dikkat çekicidir. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi anlamlı bir şekilde olumsuz bir durum olarak kabul edilmektedir. Benzer şekilde güçlü kolon kavramının olumlu yanının ortaya çıkarıldığı görülmektedir" **[6].**

Burada deprem performansı araştırılan yapıda, kolonların büyük çoğunluğunun Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçmesine rağmen, kirişlerin görece daha az hasar görüyor olması güçlü kolon şartı bakımından binanın yetersiz olduğunu göstermektedir. Ayrıca binanın ilk iki katında, iki ucunda da Minimum Hasar Seviyesi aşılan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, toplam kesme kuvvetine oranının %30'un üstünde olması binanın kat mekanizmasıyla göçebileceği ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenlerle Can Güvenliği ve Göçme Öncesi Performans Seviyeleri'ni aşan bina **Göçme Durumu**'ndadır ve mevcut haliyle kullanımı can güvenliği açısından sakıncalıdır.

3.6 Bina Deprem Performansının Doğrusal Elastik Yöntem İle Belirlenmesi

3.6.1 Analiz yöntemi

Bina deprem performansının doğrusal elastik yöntemle hesabında, **Bölüm 2.7**'de anlatılan "Eşdeğer Deprem Yükü" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak yapılan performans analizinde öncelikle yapının düşey yükler ve deprem yükleri altında analizi yapılarak kesit etkileri hesaplanmış, bu etkiler kullanılarak kesitlerdeki moment ve normal kuvvet kapasiteleri bulunmuştur (M_K, N_K). Moment ve normal kuvvet kapasiteleri dikkate alınarak bulunan etki/kapasite oranları (r), deprem yönetmeliğindeki sınır değerlerle karşılaştırılarak kesit hasar seviyeleri ve taşıyıcı sistem performans seviyesi tespit edilmiştir.

3.6.2 Kullanılan analiz programı ve işlem adımları

Performans analizi yapılacak binanın bilgisayar ortamında modellenerek kütlelerle uyumlu düşey yükler ve eşdeğer deprem yükleri altında analizi SAP 2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Performans analizinde izlenen işlem adımları aşağıda özetlenmiştir:

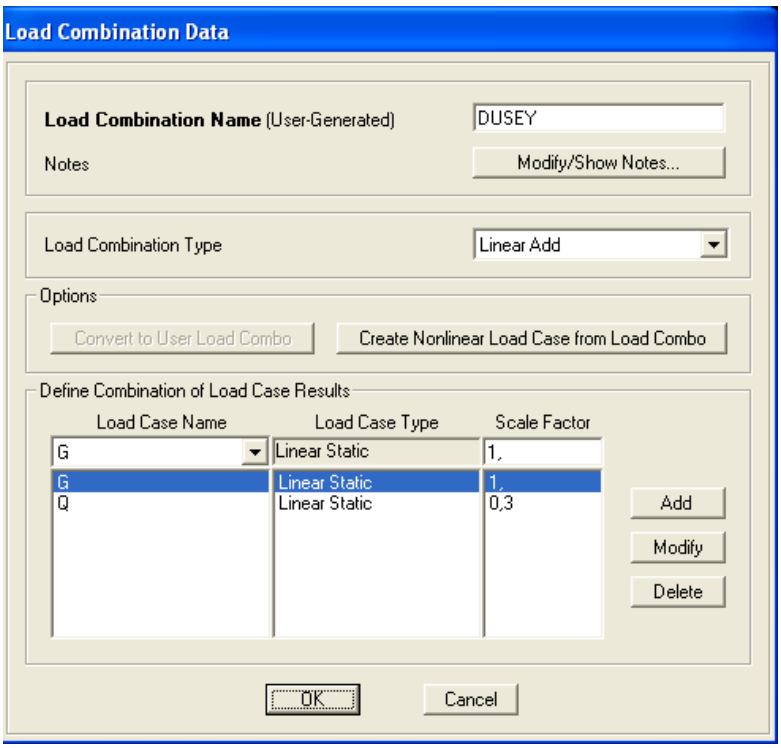
- Taşıyıcı sistem öncelikle düşey yükler altında çözülerek M_D moment etkileri ve N_D normal kuvvet etkileri bulunmuştur. Burada dikkate alınacak düşey yüklerle ilgili, TS 500'deki yük kombinasyonlarında verilen G+Q yüklemesinin mi deprem yönetmeliğinde verilen G+nQ yüklemesinin mi dikkate alınacağı konusunda iki farklı yaklaşımdan söz edilebilir. **Deprem Yönetmeliği Bölüm 7.4.3** ve **7.4.7**'de hareketli düşey yüklerin (Q), deprem hesabında göz önüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanacağı belirtilmiş ve **2.7.1.2**'deki deprem yüklerinin hesabına işaret edilmiştir. **Bölüm 2.7.1.2**'de ise, toplam bina ağırlığının (W) hesaplanmasında kullanılacak kat ağırlıklarının (w_i) şu şekilde hesaplanacağı belirtilmiştir:

  $$w_i = g_i + nq_i \qquad \textbf{(3.15)}$$

  Deprem yönetmeliğindeki bu hususlar dikkate alınarak hesaplarda G+nQ yüklemesi dikkate alınmıştır.

- Deprem yükleri altında analiz yapılarak M_E ve N_E kesit etkilerinin belirlenmesi için eşdeğer deprem yükleri hesaplanmıştır. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün (taban kesme kuvveti), **Deprem Yönetmeliği Denklem 2.4**'e göre hesabında Ra=1 olarak alınmış ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılmıştır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 alınmaktadır.
- Kiriş ve kolon uçlarında N_K normal kuvvet kapasiteleri ve M_K eğilme momenti kapasiteleri hesaplanmıştır. Kolon kapasitelerinin hesaplanmasında **Deprem Yönetmeliği Bilgilendirme Eki 7A** dikkate alınmış, hesaplar MS Excel programında oluşturulan formülasyonlarla yapılmıştır.
- Kolonlarda, kirişlerde ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sünek davranış şartları kontrol edilmiştir.
- Kolon ve kirişlerde r, etki kapasite oranları hesaplanarak yönetmelikte verilen sınır değerlerle karşılaştırılmış ve yapı elemanlarında hasar seviyeleri bulunmuştur. Bulunan bu hasar seviyeleri dikkate alınarak bina performans seviyesi tespit edilmiştir.

3.6.3 Düşey yük analizi



Şekil 3.20: Düşey yüklerin tanımlanması.

Düşey yükler (G+nQ) analiz programında **Şekil 3.20**' de görüldüğü gibi tanımlanmıştır. Ele alınan yapı konut türü bir bina olduğu için hareketli yük katılım katsayısı, n=0,3 olarak alınmıştır.

3.6.4 Yatay yük analizi

Düşey yüklerle uyumlu kat kütleleri ve bu kütlelerle uyumlu eşdeğer deprem yükleri hesaplanmış ve aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.19: Eşdeğer deprem yükleri.

ΣW	11058,96 kN
$Ra(T1)$	1
I	1
A_0	0,4
T_A	0,15 s
T_B	0,40 s
λ	0,85

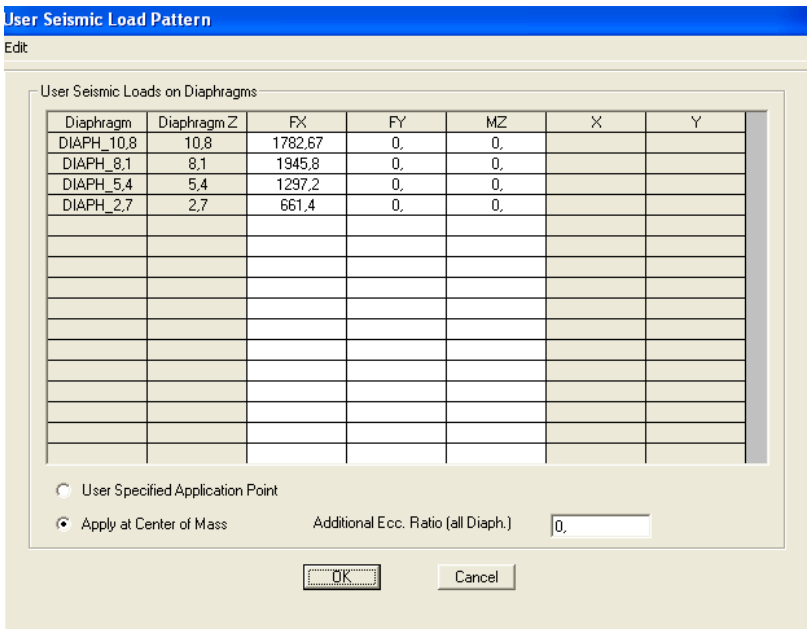
(a)

T_x	0,75 s
T_y	0,75 s
$S(T_{x,y})$	1,51 g
$Vt_{x,y}$	5687,07 kN
$\Delta F_{Nx,y}$	170,61 kN

(b)

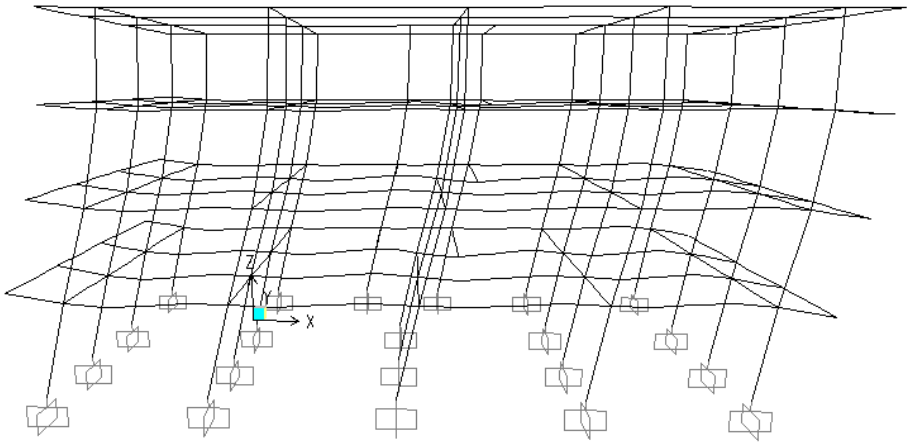
Kat	h_i	H_i	W_i	W_i*H_i	Fi	$F_i+\Delta F_N$
4	2,7	10,8	**1887,236**	20382,15	1612,06	**1782,67**
3	2,7	8,1	**3037,262**	24601,82	1945,80	**1945,80**
2	2,7	5,4	**3037,257**	16401,19	1297,20	**1297,20**
1	2,7	2,7	**3097,215**	8362,481	661,40	**661,40**

(c)

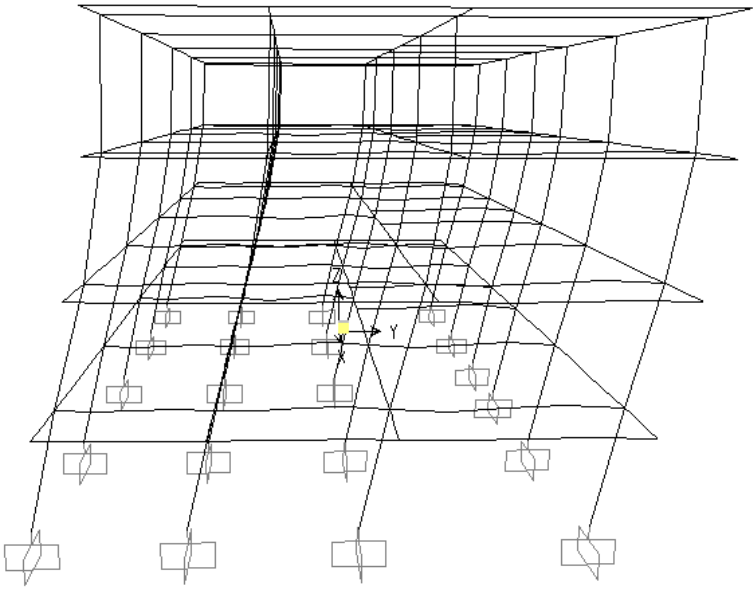


Şekil 3.21: Eşdeğer deprem yüklerin tanımlanması.

Hesaplanan eşdeğer deprem yükleri analiz programına tanımlanarak yatay yük analizi yapılmıştır. Binanın +X yönündeki şekil değiştirme durumu **Şekil 3.22'**de**,** +Y yönündeki şekil değiştirme durumu **Şekil 3.23'**de gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Binanın +X yönündeki şekil değiştirme durumu.



Şekil 3.23: Binanın +Y yönündeki şekil değiştirme durumu.

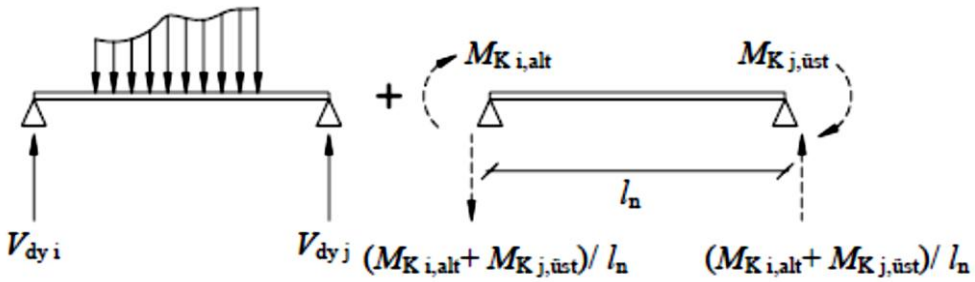
3.6.5 Yapı elemanlarında gevrek kırılma kontrolleri

3.6.5.1 Kirişlerde kesme güvenliği kontrolü

Kiriş uçlarındaki kesme kuvveti istemi (V_e), moment kapasiteleriyle ($M_{Ki,alt}$, $M_{Kj,üst}$) uyumlu kesme kuvveti ile düşey yük analizi ile hesaplanan kesme kuvvetlerinin (V_{dyi}, V_{dyj}) toplamına eşittir (**Denklem 3.16** ve **Denklem 3.17**). *Ve*'nin hesabında pekleşmesiz moment kapasiteleri kullanılmıştır.

$$V_{ei} = V_{dyi} - \frac{M_{Ki,alt} + M_{Kj,üst}}{l_n} \qquad (3.16)$$

$$V_{ej} = V_{dyj} + \frac{M_{Ki,alt} + M_{Kj,üst}}{l_n} \qquad (3.17)$$



Kiriş uçlarındaki moment kapasiteleri Prof. Dr. Uğur Ersoy tarafından önerilen yaklaşık formülle **[7]** hesaplanmıştır **(Denklem 3.18).**

$$M_r = A_s f_y \ d - d' \qquad (3.18)$$

Kirişlerin kesme kuvveti kapasiteleri ise TS500 'e göre bulunmuştur **(Denklem 3.19)**

$$V_r = 0{,}52 . f_{ctm} . b_w . d + \frac{A_{sw}}{s} . f_{ywd} . d \qquad (3.19)$$

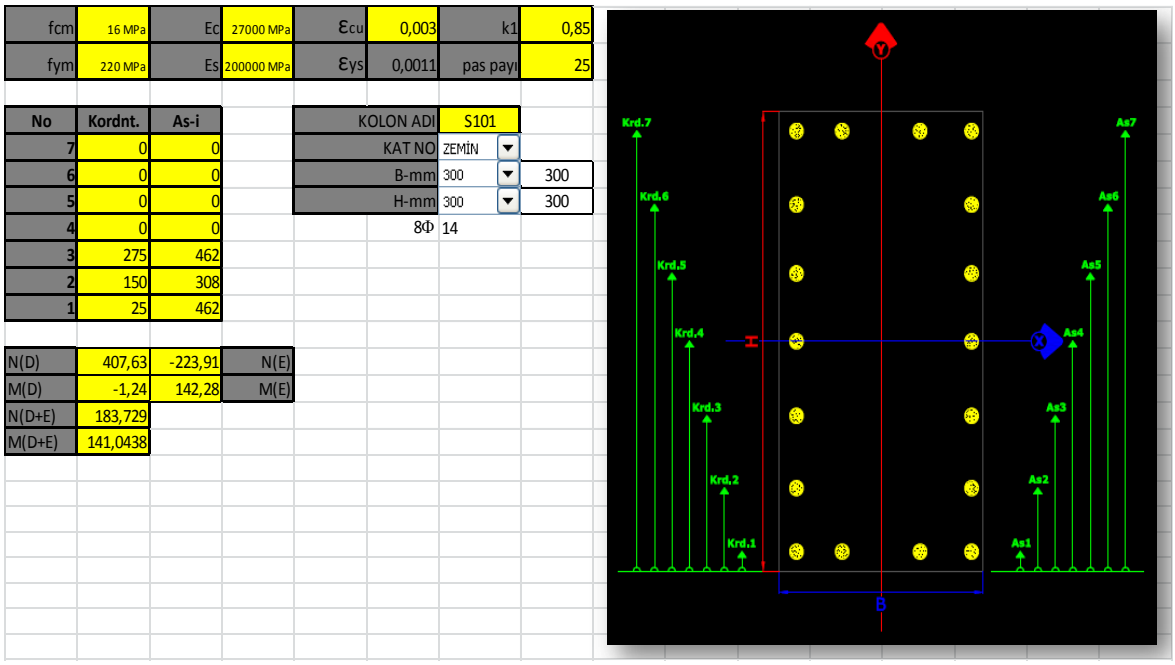
Elde edilen kesme kuvveti istemleri ve kesme kuvveti kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Her iki yönde tüm kiriş kesitlerinde kesme istemi kesme kuvveti kapasitenden küçüktür ve tüm kirişler sünek olarak hasar gören elmanlardır. Örnek olarak, +X yönünde C aksındaki, +Y yönünde 3 aksındaki kirişler için kesme güvenliği kontrolleri **Çizelge 3.20**'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20: Kirişlerde kesme güvenliği.

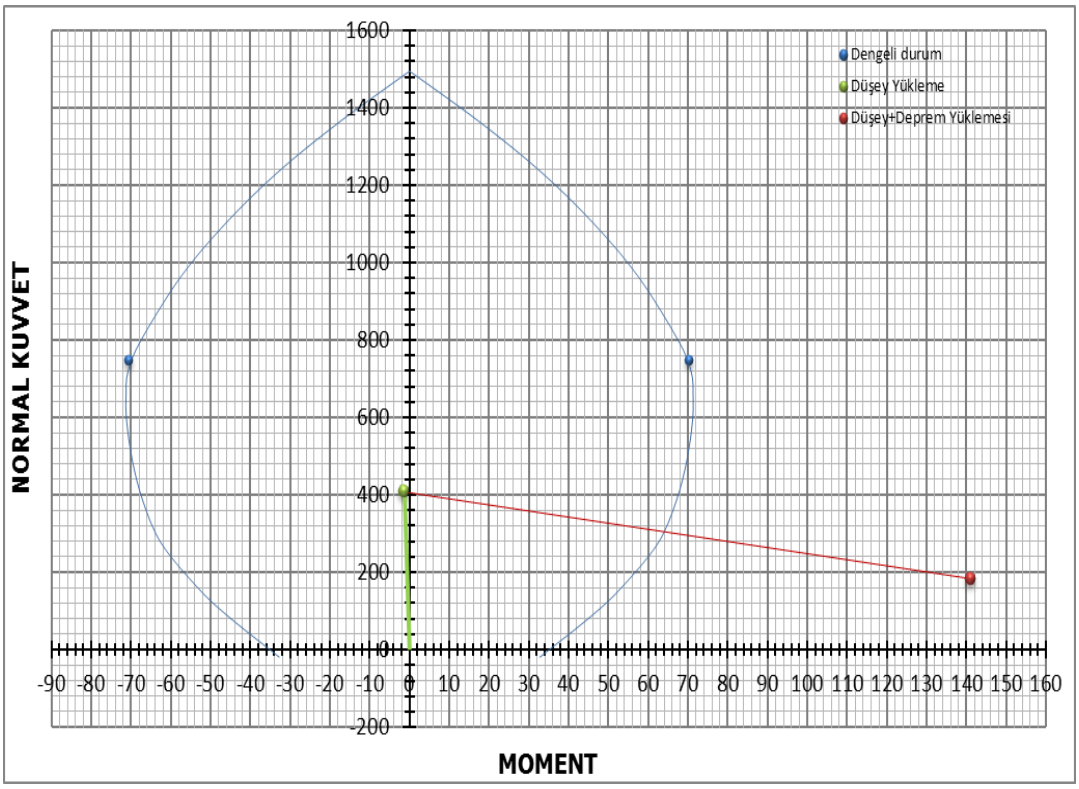
Yön	KİRİŞ	$M_{Ki,alt}$	$M_{Kj,üst}$	V dyi	V dyj	ln	Vei	Vej	Vr	Durum
(+X)	K109	79,596	124,443	-40,36	41,99	4,23	7,93	90,28	203,18	SÜNEK
(+X)	K110	79,596	175,032	-50,73	78,72	4,88	1,50	130,95	203,18	SÜNEK
(+X)	K111	99,495	124,443	-78,72	50,73	4,88	32,78	96,67	203,18	SÜNEK
(+X)	K112	79,596	124,443	-41,99	40,36	4,23	6,30	88,65	203,18	SÜNEK
(+Y)	K121	45,738	91,476	-23,26	32,25	3,08	21,36	76,87	203,18	SÜNEK
(+Y)	K122	45,738	121,275	-29,19	33,79	3,38	20,30	83,28	203,18	SÜNEK
(+Y)	K123	76,23	76,23	-52,78	36,19	4,70	20,34	68,63	203,18	SÜNEK

3.6.5.2 Kolonlarda kesme güvenliği kontrolü

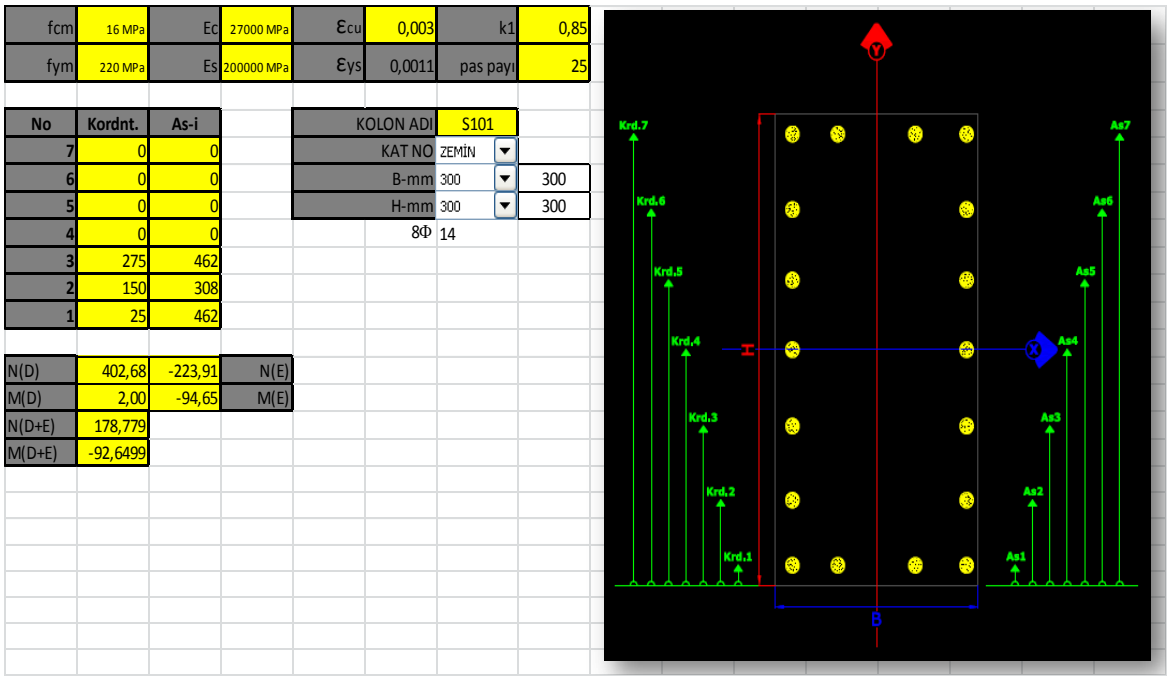
Öncelikle kolon kesitlerindeki M_K moment kapasiteleri **Deprem Yönetmeliği Bilgilendirme Eki 7A'**ya göre hesaplanmıştır. İşlemler Excel programı vasıtasıyla yapılmıştır. Örnek olarak S101 kolonunun +X yönündeki kapasitelerinin hesabı **Şekil 3.24 - Şekil 3.27**'de gösterilmiştir.



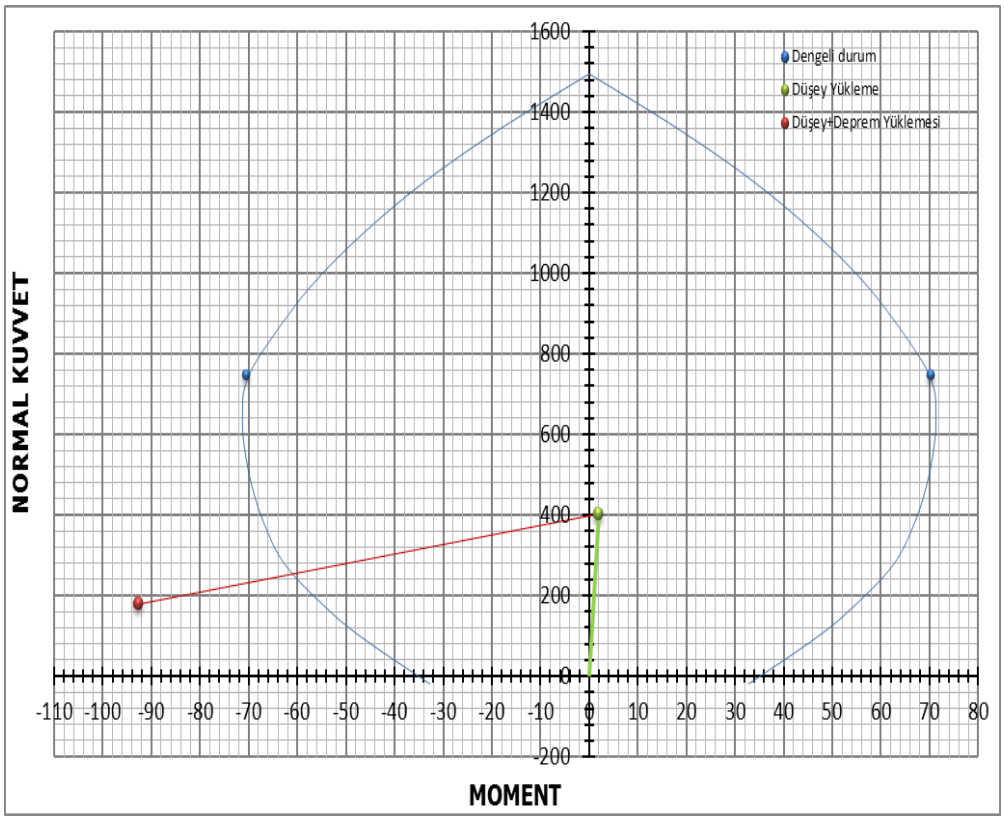
Şekil 3.24: S101 Kolonu alt ucu kapasitelerinin hesaplanması.



Şekil 3.25: S101 Kolonu alt ucu M-N etkileşim diyagramı.



Şekil 3.26: S101 Kolonu üst ucu kapasitelerinin hesaplanması.



Şekil 3.27: S101 Kolonu üst ucu M-N etkileşim diyagramı.

Çizelge 3.21: S101 kolonu için hesaplanan kapasite değerleri.

Kolon		**N_K** (kN)	**M_K** (kNm)
S101	i	305,0	64,0
S101	j	252,0	-61,0

Kolonlarda kesme kuvveti istemi (*Ve*), kiriş moment kapasiteleriyle uyumlu olarak hesaplanır. Bir birleşim bölgesinde kolon-kiriş kapasite oranı (KKO), 1' den büyükse (kolonlar kirişlerden güçlü ise); bağlanan kirişlerin moment kapasiteleri toplamı, bağlanan kolonların alt ve üst ucuna rijitlikleri oranında dağıtılır. Birleşim bölgesinde KKO değerinin 1'den küçük olması durumunda birleşim bölgesine bağlanan kolonların ilgili uçlarına gelebilecek maksimum moment, kolonların eksenel kuvvet istemleriyle uyumlu olarak hesaplanan moment kapasiteleridir (M_K).

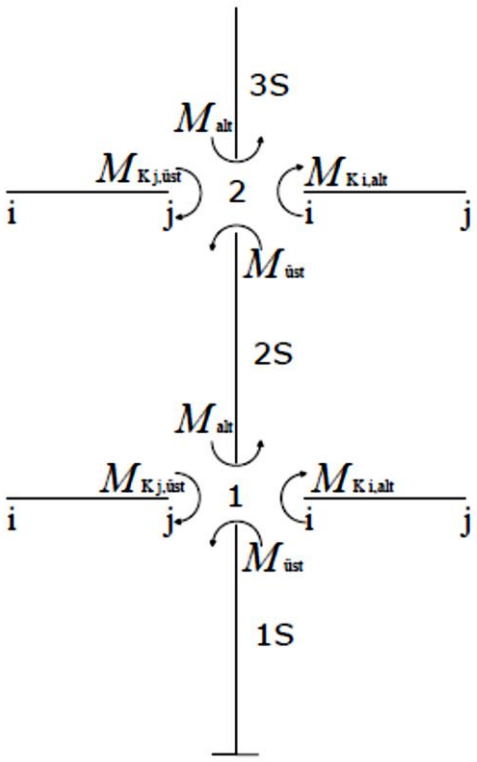
Şekil 3.28'da gösterilen 2S kolonunun pozitif yöndeki deprem yüklemesi için kesme istemi şu şekilde hesaplanır:

$$M_{\text{üst}} = \frac{M_{\text{üst},dep}}{M_{\text{üst},dep} + M_{alt,dep}} \left(M_{Ki,alt} + M_{Kj,\text{üst}}\right) \qquad (\mathbf{3.20})$$

Burada, $M_{Ki,alt}$ ve $M_{Kj,\text{üst}}$ 2S kolonunun üst ucuna bağlanan kirişlerin deprem yönü ile uyumlu moment kapasiteleridir. $M_{\text{üst},dep}$ 2S kolonunun üst ucunda yatay yük analizi ile hesaplanan moment, $M_{alt,dep}$ ise 3S kolonunun alt ucunda yatay yük analizi ile hesaplanan momenttir.

$$M_{alt} = \frac{M_{alt,dep}}{M_{\text{üst},dep} + M_{alt,dep}} \left(M_{Ki,alt} + M_{Kj,\text{üst}}\right) \qquad (\mathbf{3.21})$$

Denklem 3.21'de, $M_{Ki,alt}$ ve $M_{Kj,\text{üst}}$ 2S kolonunun alt ucuna bağlanan kirişlerin deprem yönü ile uyumlu moment kapasiteleridir. $M_{\text{üst},dep}$ 1S kolonunun üst ucunda yatay yük analizi ile hesaplanan moment, $M_{alt,dep}$ ise 2S kolonunun alt ucunda yatay yük analizi ile hesaplanan momenttir.



Şekil 3.28: Kolonlarda kesme isteminin hesaplanışı.

M_{alt} ve $M_{\text{üst}}$ hesaplandıktan sonra kolon kesme istemi *V*e şu şekilde hesaplanır:

$$V_e = \frac{\left(M_{alt} + M_{\text{üst}}\right)}{l_n} \qquad (\mathbf{3.22})$$

Kolonlar için hesaplanan kesme istemleri TS 500 uyarınca **Denklem 3.23**'e göre hesaplanan kesme kapasiteleriyle karşılaştırılmıştır. Tüm kolonlarda kesme istemleri kesme kapasitelerinden küçüktür ve tüm kolonlar sünek olarak hasar gören elemanlardır. Örnek olarak, +X yönünde C aksındaki, +Y yönünde 3 aksındaki 1. kat kolonları için yapılan hesaplar **Çizelge 3.22'de** gösterilmiştir.

$$V_r = 0{,}52 f_{ctm} b_w d\left(1 + \nu \frac{N}{A_c}\right) + \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \qquad (\mathbf{3.23})$$

Çizelge 3.22: Kolonlarda kesme güvenliği.

S107	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	132,0	-	-	275,42	-	132,0	-	107,64	192,44	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	126,0	79,59	124,4	151,44	160,03	104,81	1,43			
S108	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	166,0	-	-	438,85	-	166,0	-	122,50	238,16	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	166,0	79,59	124,4	283,19	291,71	103,51	1,85			
S109	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	211,5	-	-	557,86	-	211,5	-	160,17	281,4	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	211,0	99,5	175,03	272,00	286,72	140,88	1,37			
S110	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	165,0	-	-	438,85	-	165,0	-	122,05	234,63	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	164,0	79,59	124,4	283,19	291,71	103,51	1,47			
S111	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	135,0	-	-	275,42	-	135,0	-	109,00	214,78	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	134,0	79,59	124,4	151,44	160,03	104,81	0,89			
S118	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	47,0	-	-	115,00	-	47,0	-	32,02	121,02	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	45,5	45,74	-	94,67	99,57	23,45	3,27			
S113	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	104,0	-	-	248,4	-	104,0	-	79,26	171,84	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	104,0	45,74	91,47	204,68	215,52	70,37	1,81			
S108	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	144,0	-	-	365,19	-	144,0	-	112,24	224,24	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	142,5	76,23	121,27	240,58	261,83	102,93	1,02			
S102	M_{Ki}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Malt**	*KKO*	*Ve*	*Vr*	*DURUM*
	58,2	-	-	110,57	-	58,2	-	44,37	134,37	**SÜNEK**
	M_{Kj}	$M_{ki,alt}$	$M_{kj,üst}$	$M_{dep,alt}$	$M_{dep,üst}$	**Müst**	*KKO*			
	58,2	-	76,23	83,73	89,63	39,41	0,76			

3.6.5.3 Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği kontrolü

Kolon kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliği kontrolü **Deprem Yönetmeliği Bölüm 3.5.2** 'ye gör aşağıdaki denklemlerle yapılır:

$$V_e = 1{,}25.f_{ym}\,(A_{s1} + A_{s2)} - V_{kol} \qquad (\mathbf{3.24})$$

Kuşatılmış birleşimlerde: $V_r = 0{,}60\ b_j\ h\ f_{cd}$ $(\mathbf{3.25})$

Kuşatılmamış birleşimlerde: $V_r = 0{,}45\ b_j\ h\ f_{cd}$ $(\mathbf{3.26})$

Denklem (3.25) ve **Denklem (3.26)'**de f_{cd} yerine mevcut beton dayanımı, **Denk(3.24)**'deki V_{kol} yerine birleşim bölgesine birleşen kolonların hesaplanan kesme istemlerinin küçük olanı kullanılır.

Kolon kiriş birleşim bölgelerinde yapılan hesaplamalar sonucu tüm birleşimlerin bölgelerinde kesme güvenliğinin sağlandığı belirlenmiş, örnek akslardaki sonuçlar **Çizelge 3.23**'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.23: Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği.

Yön	Birleşim	V_e	V_r	Durum
(+X)	S107	475,17	862,40	GÜVENLİ
(+X)	S108	428,05	1008,10	GÜVENLİ
(+X)	S109	573,47	1296,00	GÜVENLİ
(+X)	S110	440,08	1008,10	GÜVENLİ
(+X)	S111	461,70	862,40	GÜVENLİ
(+Y)	S118	81,78	540,00	GÜVENLİ
(+Y)	S113	311,56	756,00	GÜVENLİ
(+Y)	S108	420,91	1008,10	GÜVENLİ
(+Y)	S102	155,89	540,00	GÜVENLİ

3.6.6 Kesit hasar durumlarının belirlenmesi

Kolon ve kirişlerde kesit hasar durumlarının belirlenmesi için etki-kapasite oranları (r), yönetmelikte verilen sınır değerlerle (r_s) karşılaştırılır. Herhangi bir kesitte etki-kapasite oranı, deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin (M_E), kesit artık moment kapasitesine (M_A) bölünmesiyle elde edilir.

$$r = \frac{M_E}{M_A} \qquad (\mathbf{3.27})$$

Kesit artık moment kapasitesi ise, kesit kapasitesi (M_K) ile düşey yük analiziyle hesaplanan moment (M_D)'nin farkına eşittir.

$$M_A = M_K - M_D \qquad (3.28)$$

Kiriş kesitlerinde dikkate alınacak r_s sınır değerleri, donatı oranı, gerekli sargılamanın var olup olmadığı ve kesitteki kesme kuvveti istemine göre belirlenir. Kesitte çekme donatısı oranıyla (ρ) basınç donatısı oranı (ρ') arasındaki farkın dengeli donatı oranından (ρ_b) küçük olması kesitin sünek davranış yapacağını gösterir. (ρ- ρ')/ ρ_b değeri oranı arttıkça r_s değeri azalır. Kesitte deprem yönetmeliğine göre gerekli miktarda sargı donatısının bulunması sünekliği arttıracağından r_s değerlerini de arttırır. Ayrıca yüksek kesme istemi sünekliği azaltacağından r_s değerlerinin de azalmasına neden olur. Aşağıda sargılamanın "var" olduğu sünek kirişler için hasar sınırları verilmiştir.

Çizelge 3.24: Betonarme sünek kirişler için etki/kapasite oranları (r_s).

Sünek Kirişler			**Hasar Sınırı**		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	**Sargılama**	$\frac{Ve}{b_w d\ f_{ctm}}$	**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

Kolon kesitlerinde dikkate alınacak r_s sınır değerleri, kesitteki eksenel kuvvet istemi, gerekli sargılamanın var olup olmadığı ve kesitteki kesme kuvveti istemine göre belirlenir. Eksenel kuvvetin artması kolonun sünekliğini azaltacağından r_s değerlerinin de azalmasına sebep olacaktır.

Çizelge 3.25: Betonarme sünek kolonlar için etki/kapasite oranları (r_s).

Sünek Kolonlar			**Hasar Sınırı**		
$\frac{N_K}{Ac\ f_c}$	**Sargılama**	$\frac{Ve}{bw\ d\ f_{ctm}}$	**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	1.5	2.5	3.5

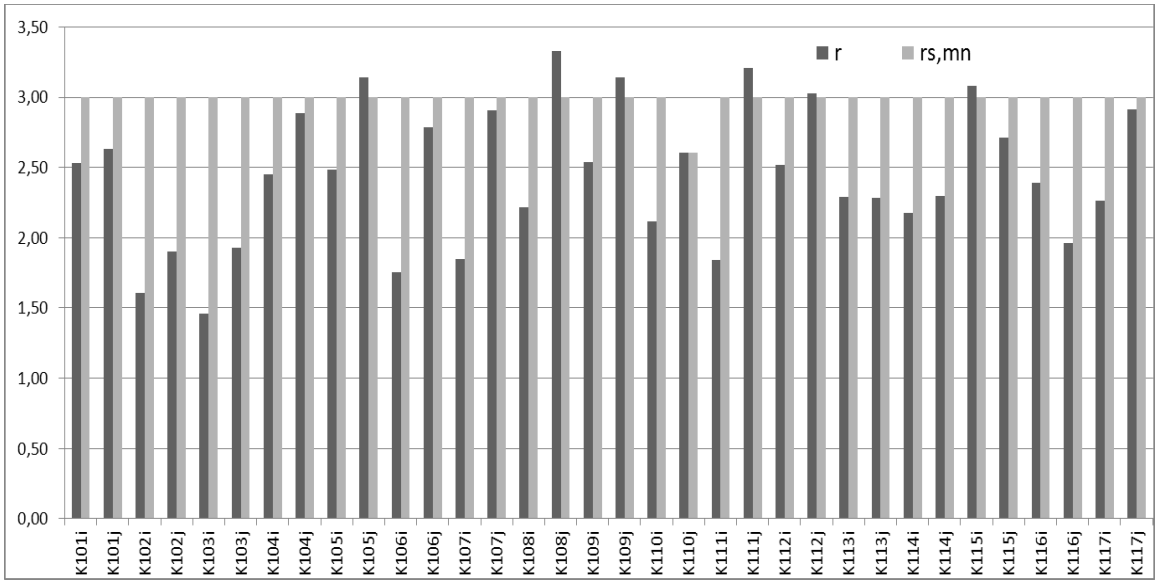
Kesitte deprem yönetmeliğine göre gerekli miktarda sargı donatısının bulunması sünekliği ve dolayısıyla r_s değerlerini arttırırken, yüksek kesme istemi sünekliği r_s değerlerini azaltır. **Çizelge 3,7'de** sargılamanın "var" olduğu sünek kolonlar için hasar sınırları verilmiştir.

Çizelge 3.26: +X yönü kiriş hasar seviyeleri.

Kiriş		(ρ-ρ') / ρb	Ve / bw*d*fctm	r	r_s MN	r_s GV	r_s GÇ	Kesit Hasar Durumu	Kiriş Hasar Durumu
K101	*i*	-0,067	0,040	2,53	3	7	10	MH	MH
K101	*j*	0,101	0,402	2,63	3	5,40	7,61	MH	
K102	*i*	-0,101	0,045	1,61	3	7	10	MH	MH
K102	*j*	0,101	0,378	1,90	3	5,40	7,61	MH	
K103	*i*	-0,101	0,049	1,46	3	7	10	MH	MH
K103	*j*	0,101	0,373	1,93	3	5,40	7,61	MH	
K104	*i*	-0,101	0,003	2,45	3	7	10	MH	MH
K104	*j*	0,067	0,365	2,89	3	5,27	7,40	MH	
K105	*i*	-0,065	0,038	2,49	3	7	10	MH	**BH**
K105	*j*	0,065	0,483	3,14	3	5,26	7,39	**BH**	
K106	*i*	-0,065	0,014	1,75	3	7	10	MH	MH
K106	*j*	0,100	0,507	2,78	3	5,40	7,60	MH	
K107	*i*	-0,100	0,046	1,84	3	7	10	MH	MH
K107	*j*	0,065	0,475	2,91	3	5,26	7,39	MH	
K108	*i*	-0,065	0,031	2,21	3	7	10	MH	**BH**
K108	*j*	0,065	0,477	3,33	3	5,26	7,39	**BH**	
K109	*i*	-0,099	0,048	2,54	3	7	10	MH	**BH**
K109	*j*	0,099	0,543	3,14	3	5,40	7,60	**BH**	
K110	*i*	-0,099	0,009	2,12	3	7	10	MH	**BH**
K110	*j*	0,167	0,788	2,61	2,605	5,67	8,00	**BH**	
K111	*i*	-0,167	0,197	1,84	3	7	10	MH	**BH**
K111	*j*	0,099	0,581	3,21	3	5,40	7,60	**BH**	
K112	*i*	-0,099	0,038	2,52	3	7	10	MH	**BH**
K112	*j*	0,099	0,533	3,03	3	5,40	7,60	**BH**	
K113	*i*	-0,067	0,016	2,29	3	7	10	MH	MH
K113	*j*	0,101	0,407	2,28	3	5,40	7,61	MH	
K114	*i*	-0,101	0,039	2,18	3	7	10	MH	MH
K114	*j*	0,067	0,363	2,30	3	5,27	7,40	MH	
K115	*i*	-0,067	0,152	3,08	3	7	10	**BH**	**BH**
K115	*j*	0,067	0,391	2,71	3	5,27	7,40	MH	
K116	*i*	-0,067	0,082	2,39	3	7	10	MH	MH
K116	*j*	0,101	0,407	1,96	3	5,40	7,61	MH	
K117	*i*	-0,101	0,002	2,26	3	7	10	MH	MH
K117	*j*	0,067	0,390	2,91	3	5,27	7,40	MH	
K201	*i*	-0,101	0,016	2,51	3	7	10	MH	MH
K201	*j*	0,101	0,379	2,12	3	5,40	7,61	MH	
K202	*i*	-0,101	0,045	1,33	3	7	10	MH	MH
K202	*j*	0,101	0,378	1,55	3	5,40	7,61	MH	
K203	*i*	-0,101	0,049	1,19	3	7	10	MH	MH
K203	*j*	0,101	0,373	1,60	3	5,40	7,61	MH	
K204	*i*	-0,101	0,005	2,01	3	7	10	MH	MH
K204	*j*	0,101	0,368	2,39	3	5,40	7,61	MH	

Çizelge 3.26 (devam): +X yönü kiriş hasar seviyeleri.

Kiriş		(ρ-ρ') / ρb	Ve / bw*d*fctm	r	r_s MN	r_s GV	r_s GÇ	Kesit Hasar Durumu	Kiriş Hasar Durumu
K205	*i*	-0,067	0,005	2,31	3	7	10	MH	**BH**
K205	*j*	0,067	0,440	3,05	3	5,27	7,40	**BH**	
K206	*i*	-0,067	0,050	1,64	3	7	10	MH	MH
K206	*j*	0,065	0,468	2,68	3	5,26	7,39	MH	
K207	*i*	-0,065	0,062	1,48	3	7	10	MH	MH
K207	*j*	0,067	0,456	2,85	3	5,27	7,40	MH	
K208	*i*	-0,067	0,008	2,07	3	7	10	MH	**BH**
K208	*j*	0,067	0,436	3,25	3	5,27	7,40	**BH**	
K209	*i*	-0,049	0,048	2,01	3	7	10	MH	MH
K209	*j*	0,099	0,542	2,49	3	5,40	7,60	MH	
K210	*i*	-0,099	0,013	1,71	3	7	10	MH	MH
K210	*j*	0,124	0,762	2,53	2,58	5,50	7,74	MH	
K211	*i*	-0,124	0,196	1,48	3	7	10	MH	MH
K211	*j*	0,099	0,580	2,57	3	5,40	7,60	MH	
K212	*i*	-0,099	0,007	2,01	3	7	10	MH	**BH**
K212	*j*	0,049	0,501	3,16	3	5,20	7,30	**BH**	
K213	*i*	-0,101	0,029	2,22	3	7	10	MH	MH
K213	*j*	0,067	0,362	2,33	3	5,27	7,40	MH	
K214	*i*	-0,067	0,016	1,84	3	7	10	MH	MH
K214	*j*	0,067	0,340	2,62	3	5,27	7,40	MH	
K215	*i*	-0,067	0,084	3,47	3	7	10	**BH**	**BH**
K215	*j*	0,067	0,323	2,95	3	5,27	7,40	MH	
K216	*i*	-0,067	0,027	2,66	3	7	10	MH	MH
K216	*j*	0,067	0,350	2,03	3	5,27	7,40	MH	
K217	*i*	-0,067	0,001	1,84	3	7	10	MH	MH
K217	*j*	0,101	0,392	2,37	3	5,40	7,61	MH	



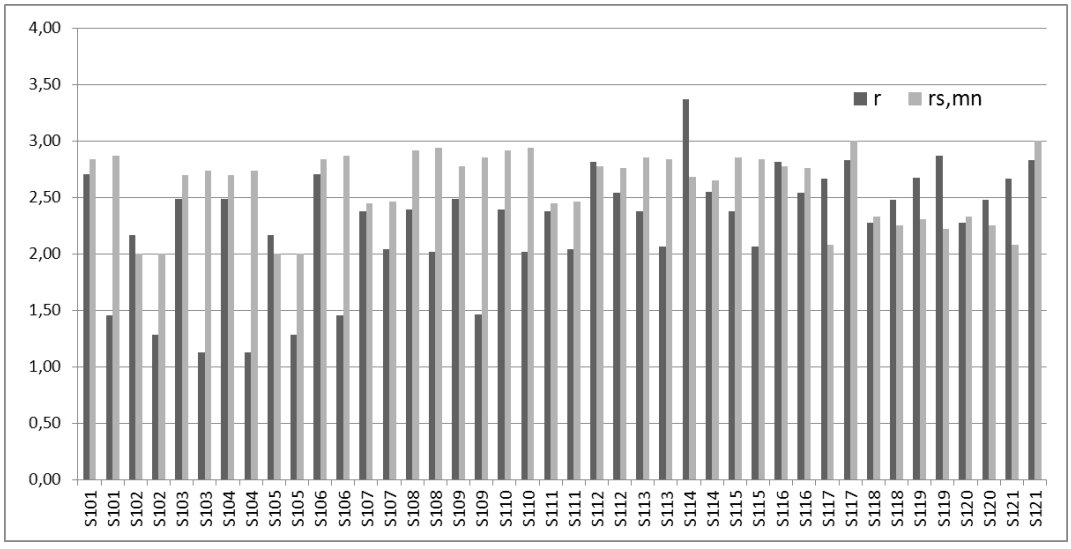
Şekil 3.29: +X yönü 1. kat kiriş hasar durumu.

Çizelge 3.27: +X yönü kolon hasar seviyeleri.

Kolon		r	N_K / Ac*fcm	Ve / bw*d*fctm	r_s MN	r_s GV	r_s GÇ	Kesit Hasar Durumu	Kolon Hasar Durumu
S101	*i*	2,18	0,21	0,49	2,37	4,75	6,75	MH	MH
S101	*j*	1,60	0,18		2,25	4,50	6,50	MH	
S102	*i*	2,38	0,34	0,66	2,80	5,59	7,59	MH	MH
S102	*j*	2,02	0,34		2,79	5,57	7,57	MH	
S103	*i*	2,79	0,24	0,50	2,45	4,91	6,91	**BH**	**BH**
S103	*j*	2,35	0,23		2,43	4,87	6,87	MH	
S104	*i*	2,59	0,29	0,51	2,64	5,28	7,28	MH	MH
S104	*j*	2,39	0,29		2,64	5,28	7,28	MH	
S105	*i*	2,32	0,34	0,66	2,81	5,62	7,62	MH	MH
S105	*j*	2,11	0,34		2,80	5,59	7,59	MH	
S106	*i*	2,07	0,36	0,55	2,86	5,72	7,72	MH	MH
S106	*j*	1,30	0,39		2,98	5,95	7,95	MH	
S107	*i*	2,10	0,27	0,68	2,58	5,16	7,16	MH	MH
S107	*j*	1,25	0,21		2,38	4,76	6,76	MH	
S108	*i*	2,59	0,36	0,67	2,88	5,76	7,76	MH	MH
S108	*j*	1,81	0,37		2,89	5,77	7,77	MH	
S109	*i*	2,64	0,29	0,67	2,64	5,28	7,28	MH	MH
S109	*j*	1,36	0,29		2,63	5,26	7,26	MH	
S110	*i*	2,71	0,34	0,66	2,80	5,60	7,60	MH	MH
S110	*j*	1,72	0,33		2,77	5,54	7,54	MH	
S111	*i*	2,02	***0,45***	0,68	2,00	4,00	6,00	**BH**	MH
S111	*j*	1,21	***0,52***		2,00	4,00	6,00	MH	
S112	*i*	2,47	0,25	0,62	2,51	5,01	7,01	MH	MH
S112	*j*	1,56	0,20		2,34	4,69	6,69	MH	
S113	*i*	2,35	0,39	0,72	2,97	5,94	7,94	MH	MH
S113	*j*	1,88	0,39		2,98	5,96	7,96	MH	
S114	*i*	2,78	0,31	0,55	2,71	5,42	7,42	**BH**	**BH**
S114	*j*	1,88	0,31		2,70	5,40	7,40	MH	
S115	*i*	2,44	0,35	0,71	2,82	5,64	7,64	MH	MH
S115	*j*	1,82	0,34		2,78	5,57	7,57	MH	
S116	*i*	2,31	***0,41***	0,65	2,00	4,00	6,00	**BH**	MH
S116	*j*	1,40	***0,46***		2,00	4,00	6,00	MH	
S117	*i*	2,31	0,16	0,45	2,20	4,39	6,39	**BH**	**BH**
S117	*j*	1,76	0,13		2,10	4,21	6,21	MH	
S118	*i*	2,57	0,34	0,59	2,80	5,61	7,61	MH	MH
S118	*j*	2,29	0,34		2,81	5,62	7,62	MH	
S119	*i*	2,33	0,33	0,49	2,77	5,54	7,54	MH	MH
S119	*j*	2,01	0,33		2,76	5,52	7,52	MH	
S120	*i*	2,73	0,28	0,57	2,61	5,21	7,21	**BH**	**BH**
S120	*j*	2,23	0,27		2,58	5,15	7,15	MH	
S121	*i*	2,07	0,29	0,54	2,62	5,25	7,25	MH	MH
S121	*j*	1,34	0,31		2,71	5,43	7,43	MH	
S201	*i*	1,52	0,15	0,46	2,17	4,34	6,34	MH	MH
S201	*j*	1,79	0,15		2,17	4,35	6,35	MH	
S202	*i*	2,50	0,24	0,56	2,47	4,94	6,94	**BH**	**BH**
S202	*j*	2,43	0,24		2,46	4,93	6,93	MH	
S203	*i*	2,74	0,18	0,47	2,25	4,51	6,51	**BH**	**BH**
S203	*j*	2,59	0,17		2,25	4,49	6,49	**BH**	
S204	*i*	2,41	0,21	0,47	2,36	4,71	6,71	**BH**	**BH**
S204	*j*	2,67	0,20		2,34	4,68	6,68	**BH**	

Çizelge 3.27 (devam): +X yönü kolon hasar seviyeleri.

Kolon		r	N_K / Ac*fcm	Ve / bw*d*fctm	r_s MN	r_s GV	r_s GÇ	Kesit Hasar Durumu	Kolon Hasar Durumu
S205	*i*	2,34	0,25	0,56	2,49	4,99	6,99	MH	**BH**
S205	*j*	2,56	0,24		2,48	4,95	6,95	**BH**	
S206	*i*	1,42	0,26	0,53	2,55	5,10	7,10	MH	MH
S206	*j*	1,45	0,26		2,52	5,05	7,05	MH	
S207	*i*	1,72	0,20	0,56	2,35	4,70	6,70	MH	MH
S207	*j*	1,86	0,21		2,36	4,72	6,72	MH	
S208	*i*	2,06	0,26	0,59	2,54	5,09	7,09	MH	MH
S208	*j*	2,43	0,26		2,53	5,06	7,06	MH	
S209	*i*	1,36	0,21	0,60	2,38	4,75	6,75	MH	MH
S209	*j*	1,60	0,21		2,37	4,73	6,73	MH	
S210	*i*	2,27	0,25	0,59	2,50	5,00	7,00	MH	MH
S210	*j*	2,27	0,25		2,49	4,99	6,99	MH	
S211	*i*	1,48	0,33	0,58	2,77	5,54	7,54	MH	MH
S211	*j*	1,76	0,32		2,73	5,47	7,47	MH	
S212	*i*	1,73	0,18	0,52	2,27	4,54	6,54	MH	MH
S212	*j*	1,93	0,18		2,28	4,56	6,56	MH	
S213	*i*	2,45	0,28	0,64	2,60	5,19	7,19	MH	B H
S213	*j*	2,81	0,27		2,58	5,16	7,16	**BH**	
S214	*i*	1,95	0,23	0,53	2,43	4,85	6,85	MH	MH
S214	*j*	2,12	0,23		2,42	4,83	6,83	MH	
S215	*i*	2,72	0,26	0,64	2,52	5,04	7,04	**BH**	**BH**
S215	*j*	2,63	0,25		2,51	5,02	7,02	**BH**	
S216	*i*	1,54	0,30	0,66	2,68	5,35	7,35	MH	MH
S216	*j*	1,71	0,29		2,64	5,28	7,28	MH	
S217	*i*	1,68	0,11	0,42	2,05	4,10	6,10	MH	MH
S217	*j*	1,95	0,11		2,04	4,08	6,08	MH	
S218	*i*	2,25	0,25	0,56	2,49	4,97	6,97	MH	**BH**
S218	*j*	2,52	0,24		2,47	4,94	6,94	**BH**	
S219	*i*	2,12	0,24	0,47	2,46	4,92	6,92	MH	MH
S219	*j*	2,18	0,23		2,45	4,89	6,89	MH	
S220	*i*	2,50	0,21	0,55	2,35	4,70	6,70	**BH**	**BH**
S220	*j*	2,37	0,20		2,34	4,68	6,68	**BH**	
S221	*i*	1,51	0,21	0,50	2,37	4,73	6,73	MH	MH
S221	*j*	1,52	0,20		2,34	4,69	6,69	MH	



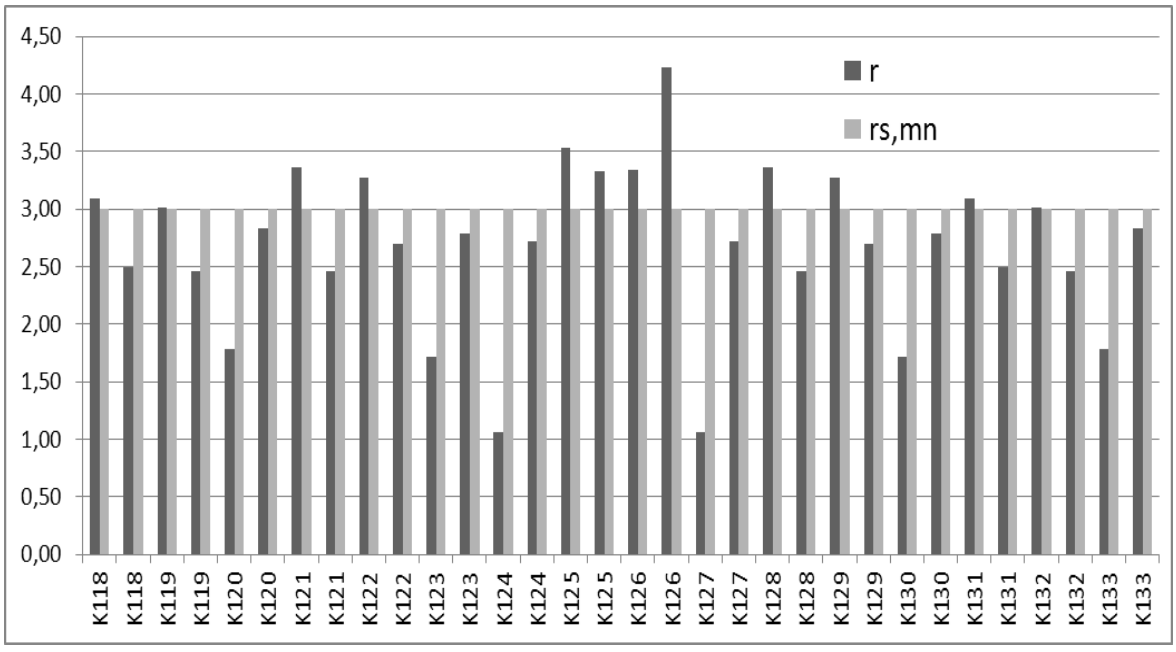
Şekil 3.30: +X yönü 1. kat kolon hasar durumu.

Çizelge 3.28: +Y yönü kiriş hasar seviyeleri.

Kiriş		(ρ-ρ') / ρb	Ve / bw*d*fctm	r	r_s MN	r_s GV	r_s GÇ	Kesit Hasar Durumu	Kiriş Hasar Durumu
K118	*i*	-0,067	0,152	3,09	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K118	*j*	0,101	0,478	2,49	3,00	5,40	7,61	MH	
K119	*i*	-0,101	0,124	3,02	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K119	*j*	0,100	0,492	2,46	3,00	5,40	7,60	MH	
K120	*i*	-0,100	0,075	1,78	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K120	*j*	0,067	0,442	2,83	3,00	5,27	7,40	MH	
K121	*i*	-0,034	0,128	3,36	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K121	*j*	0,101	0,462	2,46	3,00	5,40	7,61	MH	
K122	*i*	-0,101	0,122	3,27	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K122	*j*	0,100	0,501	2,70	3,00	5,40	7,60	MH	
K123	*i*	-0,100	0,122	1,71	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K123	*j*	0,018	0,413	2,79	3,00	5,07	7,11	MH	
K124	*i*	-0,009	0,004	1,06	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K124	*j*	0,067	0,415	2,72	3,00	5,27	7,40	MH	
K125	*i*	-0,034	0,189	3,53	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K125	*j*	0,065	0,544	3,33	3,00	5,26	7,39	**BH**	
K126	*i*	-0,065	0,130	3,35	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K126	*j*	0,031	0,493	4,23	3,00	5,12	7,19	**BH**	
K127	*i*	-0,009	0,004	1,06	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K127	*j*	0,067	0,415	2,72	3,00	5,27	7,40	MH	
K128	*i*	-0,034	0,128	3,36	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K128	*j*	0,101	0,462	2,46	3,00	5,40	7,61	MH	
K129	*i*	-0,101	0,122	3,27	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K129	*j*	0,100	0,501	2,70	3,00	5,40	7,60	MH	
K130	*i*	-0,100	0,122	1,71	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K130	*j*	0,018	0,413	2,79	3,00	5,07	7,11	MH	
K131	*i*	-0,067	0,152	3,09	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K131	*j*	0,101	0,478	2,49	3,00	5,40	7,61	MH	
K132	*i*	-0,101	0,124	3,02	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K132	*j*	0,100	0,492	2,46	3,00	5,40	7,60	MH	
K133	*i*	-0,100	0,075	1,78	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K133	*j*	0,067	0,442	2,83	3,00	5,27	7,40	MH	
K218	*i*	-0,074	0,087	3,11	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K218	*j*	0,074	0,415	2,33	3,00	5,30	7,44	MH	
K219	*i*	-0,074	0,094	2,40	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K219	*j*	0,065	0,461	2,28	3,00	5,26	7,39	MH	
K220	*i*	-0,065	0,073	1,41	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K220	*j*	0,067	0,447	2,30	3,00	5,27	7,40	MH	
K221	*i*	-0,034	0,102	2,62	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K221	*j*	0,074	0,436	2,29	3,00	5,30	7,45	MH	
K222	*i*	-0,074	0,121	2,59	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K222	*j*	0,100	0,499	2,11	3,00	5,40	7,60	MH	
K223	*i*	-0,100	0,122	1,35	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K223	*j*	0,018	0,414	2,23	3,00	5,07	7,11	MH	

Çizelge 3.28 (devam): +Y yönü kiriş hasar seviyeleri.

Kiriş		(ρ-ρ') / ρb	Ve / bw*d*fctm	r	r_s MN	r_s GV	r_s GÇ	Kesit Hasar Durumu	Kiriş Hasar Durumu
K224	*i*	-0,009	0,006	0,84	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K224	*j*	0,067	0,420	2,22	3,00	5,27	7,40	MH	
K225	*i*	-0,067	0,128	3,54	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K225	*j*	0,076	0,484	3,11	3,00	5,31	7,46	**BH**	
K226	*i*	-0,076	0,067	3,29	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K226	*j*	0,034	0,431	3,91	3,00	5,13	7,20	**BH**	
K227	*i*	-0,009	0,006	0,84	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K227	*j*	0,067	0,420	2,22	3,00	5,27	7,40	MH	
K228	*i*	-0,034	0,102	2,62	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K228	*j*	0,074	0,436	2,29	3,00	5,30	7,45	MH	
K229	*i*	-0,074	0,121	2,59	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K229	*j*	0,100	0,499	2,11	3,00	5,40	7,60	MH	
K230	*i*	-0,100	0,122	1,35	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K230	*j*	0,018	0,414	2,23	3,00	5,07	7,11	MH	
K231	*i*	-0,074	0,087	3,11	3,00	7,00	10,00	**BH**	**BH**
K231	*j*	0,074	0,415	2,33	3,00	5,30	7,44	MH	
K232	*i*	-0,074	0,094	2,40	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K232	*j*	0,065	0,461	2,28	3,00	5,26	7,39	MH	
K233	*i*	-0,065	0,073	1,41	3,00	7,00	10,00	MH	MH
K233	*j*	0,067	0,447	2,30	3,00	5,27	7,40	MH	



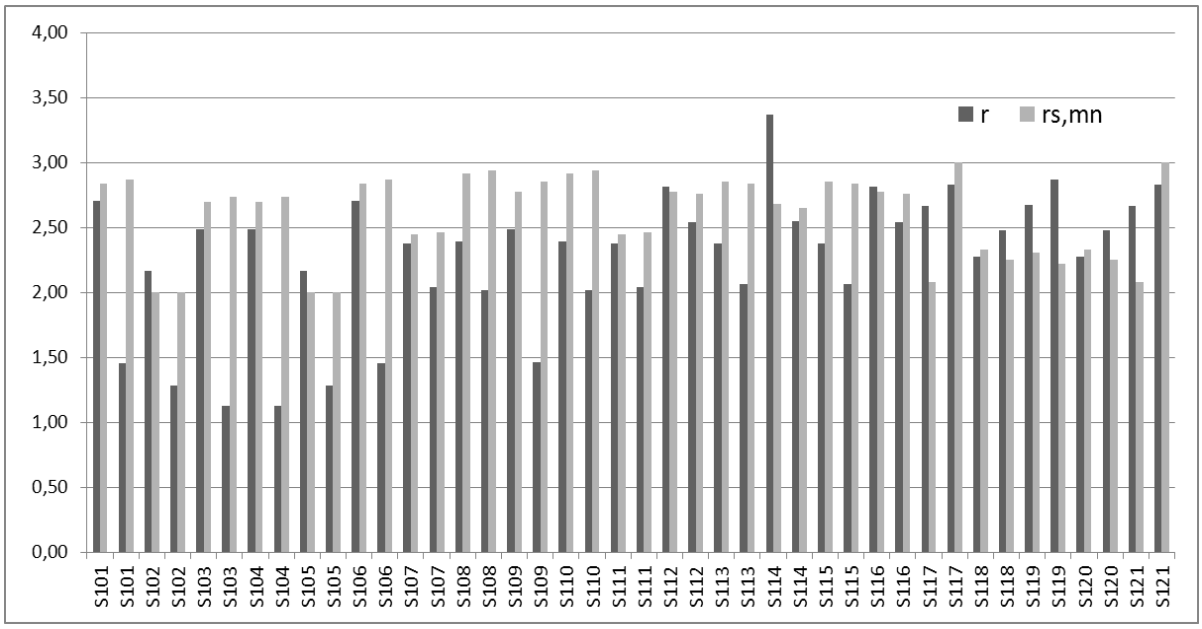
Şekil 3.31: +Y yönü 1. kat kiriş hasar durumu.

Çizelge 3.29: +Y yönü kolon hasar seviyeleri.

Kolon		r	N_K / Ac*fcm	Ve / bw*d*fctm	r_s MN	r_s GV	r_s GÇ	Kesit Hasar Durumu	Kolon Hasar Durumu
S101	*i*	2,70	0,35	0,46	2,84	5,67	7,67	MH	MH
S101	*j*	1,45	0,36		2,87	5,74	7,74	MH	
S102	*i*	2,16	***0,42***	0,47	2,00	4,00	6,00	**BH**	**BH**
S102	*j*	1,28	***0,43***		2,00	4,00	6,00	MH	
S103	*i*	2,49	0,31	0,46	2,70	5,40	7,40	MH	MH
S103	*j*	1,13	0,32		2,73	5,46	7,46	MH	
S104	*i*	2,49	0,31	0,46	2,70	5,40	7,40	MH	MH
S104	*j*	1,13	0,32		2,73	5,46	7,46	MH	
S105	*i*	2,16	***0,42***	0,47	2,00	4,00	6,00	**BH**	**BH**
S105	*j*	1,28	***0,43***		2,00	4,00	6,00	MH	
S106	*i*	2,70	0,35	0,46	2,84	5,67	7,67	MH	MH
S106	*j*	1,45	0,36		2,87	5,74	7,74	MH	
S107	*i*	2,38	0,38	***0,67***	*2,45*	*4,39*	*5,39*	MH	MH
S107	*j*	2,04	0,39		*2,46*	*4,42*	*5,42*	MH	
S108	*i*	2,39	0,38	0,62	2,92	5,83	7,83	MH	MH
S108	*j*	2,01	0,38		2,94	5,88	7,88	MH	
S109	*i*	2,48	0,33	0,47	2,77	5,55	7,55	MH	MH
S109	*j*	1,46	0,36		2,85	5,70	7,70	MH	
S110	*i*	2,39	0,38	0,62	2,92	5,83	7,83	MH	MH
S110	*j*	2,01	0,38		2,94	5,88	7,88	MH	
S111	*i*	2,38	0,38	***0,67***	*2,45*	*4,39*	*5,39*	MH	MH
S111	*j*	2,04	0,39		*2,46*	*4,42*	*5,42*	MH	
S112	*i*	2,81	0,33	0,52	2,77	5,55	7,55	**BH**	**BH**
S112	*j*	2,54	0,33		2,76	5,52	7,52	MH	
S113	*i*	2,38	0,36	0,59	2,86	5,71	7,71	MH	MH
S113	*j*	2,06	0,35		2,84	5,67	7,67	MH	
S114	*i*	3,37	0,30	0,57	2,68	5,35	7,35	**BH**	**BH**
S114	*j*	2,55	0,30		2,65	5,30	7,30	MH	
S115	*i*	2,38	0,36	0,59	2,86	5,71	7,71	MH	MH
S115	*j*	2,06	0,35		2,84	5,67	7,67	MH	
S116	*i*	2,81	0,33	0,52	2,77	5,55	7,55	**BH**	**BH**
S116	*j*	2,54	0,33		2,76	5,52	7,52	MH	
S117	*i*	2,67	0,12	0,34	2,08	4,16	6,16	**BH**	**BH**
S117	*j*	2,82	0,10		3,00	6,00	8,00	MH	
S118	*i*	2,27	0,20	0,34	2,33	4,66	6,66	MH	**BH**
S118	*j*	2,48	0,18		2,25	4,51	6,51	**BH**	
S119	*i*	2,67	0,19	0,42	2,31	4,61	6,61	**BH**	**BH**
S119	*j*	2,87	0,17		2,22	4,43	6,43	**BH**	
S120	*i*	2,27	0,20	0,34	2,33	4,66	6,66	MH	**BH**
S120	*j*	2,48	0,18		2,25	4,51	6,51	**BH**	
S121	*i*	2,67	0,12	0,34	2,08	4,16	6,16	**BH**	**BH**
S121	*j*	2,82	0,10		3,00	6,00	8,00	MH	

Çizelge 3.29 (devam): +Y yönü kolon hasar seviyeleri.

Kolon		r	N_K / Ac*fcm	Ve / bw*d*fctm	r_s MN	r_s GV	r_s GÇ	Kesit Hasar Durumu	Kolon Hasar Durumu
S201	*i*	2,31	0,25	0,41	2,50	5,00	7,00	MH	MH
S201	*j*	1,49	0,24		2,48	4,95	6,95	MH	
S202	*i*	2,30	0,28	0,42	2,61	5,22	7,22	MH	MH
S202	*j*	1,39	0,28		2,59	5,18	7,18	MH	
S203	*i*	1,95	0,22	0,40	2,41	4,81	6,81	MH	MH
S203	*j*	1,16	0,22		2,39	4,77	6,77	MH	
S204	*i*	1,95	0,22	0,40	2,41	4,81	6,81	MH	MH
S204	*j*	1,16	0,22		2,39	4,77	6,77	MH	
S205	*i*	2,30	0,28	0,42	2,61	5,22	7,22	MH	MH
S205	*j*	1,39	0,28		2,59	5,18	7,18	MH	
S206	*i*	2,31	0,25	0,41	2,50	5,00	7,00	MH	MH
S206	*j*	1,49	0,24		2,48	4,95	6,95	MH	
S207	*i*	2,15	0,28	0,61	2,59	5,17	7,17	MH	**BH**
S207	*j*	2,96	0,27		2,58	5,16	7,16	**BH**	
S208	*i*	1,86	0,27	0,56	2,57	5,14	7,14	MH	**BH**
S208	*j*	2,57	0,27		2,56	5,12	7,12	**BH**	
S209	*i*	1,32	0,25	0,21	2,50	5,00	7,00	MH	MH
S209	*j*	1,58	0,24		2,48	4,95	6,95	MH	
S210	*i*	1,86	0,27	0,56	2,57	5,14	7,14	MH	**BH**
S210	*j*	2,57	0,27		2,56	5,12	7,12	**BH**	
S211	*i*	2,15	0,28	0,61	2,59	5,17	7,17	MH	**BH**
S211	*j*	2,96	0,27		2,58	5,16	7,16	**BH**	
S212	*i*	2,77	0,24	0,50	2,46	4,93	6,93	**BH**	**BH**
S212	*j*	2,97	0,24		2,45	4,91	6,91	**BH**	
S213	*i*	2,78	0,26	0,50	2,54	5,08	7,08	**BH**	**BH**
S213	*j*	2,89	0,26		2,53	5,06	7,06	**BH**	
S214	*i*	2,47	0,22	0,46	2,40	4,81	6,81	**BH**	**BH**
S214	*j*	2,69	0,22		2,39	4,78	6,78	**BH**	
S215	*i*	2,78	0,26	0,50	2,54	5,08	7,08	**BH**	**BH**
S215	*j*	2,89	0,26		2,53	5,06	7,06	**BH**	
S216	*i*	2,77	0,24	0,50	2,46	4,93	6,93	**BH**	**BH**
S216	*j*	2,97	0,24		2,45	4,91	6,91	**BH**	
S217	*i*	2,08	0,10	0,23	3,00	6,00	8,00	MH	MH
S217	*j*	2,97	0,09		3,00	6,00	8,00	MH	
S218	*i*	1,88	0,15	0,25	2,17	4,33	6,33	MH	**BH**
S218	*j*	2,58	0,15		2,16	4,33	6,33	**BH**	
S219	*i*	2,16	0,15	0,28	2,16	4,32	6,32	MH	**BH**
S219	*j*	2,94	0,15		2,16	4,32	6,32	**BH**	
S220	*i*	1,88	0,15	0,25	2,17	4,33	6,33	MH	**BH**
S220	*j*	2,58	0,15		2,16	4,33	6,33	**BH**	
S221	*i*	2,08	0,10	0,23	3,00	6,00	8,00	MH	MH
S221	*j*	2,97	0,09		3,00	6,00	8,00	MH	



Şekil 3.32: +Y yönü 1. kat kolon hasar durumu.

3.6.7 Bina deprem performansının değerlendirilmesi

Performans analizi yapılan bina konut binası olduğu için Can Güvenliği Performans Seviyesi'ni sağlaması gerekmektedir. Doğrusal elastik yöntemle yapılan analizde, **3.5.10**'da verilen koşullara ek olarak göreli kat ötelemelerinin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Can Güvenliği Performans Seviyesi için göreli kat ötelemeleri oranının sınırı 0.03'dür.

Eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapılan doğrusal analiz sonucu, her iki yönde de İleri Hasar Seviyesi'ne geçen kolon veya kiriş bulunmamaktadır.

Her iki yönde de alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetleri, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin %30'undan azdır. (Alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden **Deprem Yönetmeliği Denklem 3.3**'e göre kuvvetli kolon şartını sağlayan kolonlar bu hesaba dahil edilmemiştir.)

Göreli kat ötelemeleri her iki yönde Can Güvenliği Performans Seviyesi için verilen sınırın altındadır **(Çizelge 3.30).**

Doğrusal yöntemle yapılan analiz sonucu binanın **Can Güvenliği Performans Seviyesi** 'nde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.30: Göreli kat ötelemeleri.

		+X Yönü		+Y Yönü		Sınır
Kat	**Hi(m)**	**δmax**	**δmax/Hi**	**δmax**	**δmax/Hi**	
1	2,7	0,0207	0,0077	0,0204	0,0076	0,03
2	2,7	0,0246	0,0091	0,0235	0,0087	0,03
3	2,7	0,0160	0,0059	0,0154	0,0057	0,03
4	2,7	0,0025	0,0009	0,0021	0,0008	0,03

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mevcut betonarme konut binasının performans analizi doğrusal elastik eşdeğer deprem yükü ve doğrusal elastik olmayan itme analizi yöntemleriyle yapılmıştır. Her iki yöntemde de, binanın +X yönündeki performansı ile +Y yönündeki performansının aynı olduğu görülmüştür. Binanın iki yöndeki periyodunun neredeyse aynı olduğu göz önüne alındığında, X ve Y yönlerindeki yatay rijitliklerin birbirine yakın olduğu söylenebilir. Bu durumda, her iki yöndeki performansların aynı olması beklenen bir sonuçtur.

Örnek betonarme konut binasının doğrusal elastik olmayan itme analizi yöntemi ile yapılan performans analizinde, İleri Hasar Bölgesi'ne geçen kolon veya kiriş bulunmamaktadır. Ancak bu durum binanın Can Güvenliği Performans Seviyesi'ni sağlaması için yeterli olmamıştır. 1. ve 2. katta kolonların büyük çoğunluğunun her iki ucunda Minimum Hasar Seviyesi'nin aşılması, binanın ciddi anlamda risk altında olduğu anlamına gelir.

Deprem Yönetmeliğinde hasar sınırları kirişler için oran olarak verilirken kolonlar için kolon kesme kuvvetine bağlı olarak verilmiştir. Örneğin Can Güvenliği Performans Seviyesi için kirişlerin %30'unun İleri Hasar Seviyesi'ne geçebileceği belirtilmişken, kolonlar için, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin en fazla %20 sinin İleri Hasar Seviyesi 'ne geçen kolonlar tarafından taşınabileceği vurgulanmıştır. Üstelik kolonlar için tek sınırlama bu değildir. Kolonun iki ucunda da Minimum Hasar Sınırı'nın aşılması son derece olumsuz bir durum olarak görülmüş ve iki ucunda da hasar oluşan kolonlar tarafından taşınacak kesme kuvveti % 30'la sınırlandırılmıştır. Bu şartın sağlanamaması halinde, hiçbir eleman İleri Hasar Seviyesi'ne geçmiyor olsa bile, bina Göçme Durumu'nda olabilmektedir. Bu durum, kolonların kirişlerden güçlü olması şartına büyük önem verildiğini ve kat mekanizmasıyla toptan göçme ihtimalinden mümkün olduğunca uzaklaşılmasının istendiğini göstermektedir.

Ele alınan binanın kolon boyutlarının birbirine yakın olmasının ve iki doğrultuda da yatay deprem yüklerinin taşınmasında daha fazla katkı sağlayacak kuvvetli

kolonların veya perdelerin bulunmamasının, bir kattaki bütün kolonların benzer hasara uğramasına yol açtığı savunulabilir. Kare kesitli kolonların düşey yükler açısından yeterli olmalarına rağmen yatay yük taşıma kapasitesi bakımından yeterli performans göstermedikleri düşünülmektedir. Bu tür kolonlar yerine bir doğrultuda daha kuvvetli kolonlar ya da perdeler kullanarak yatay yük taşıma kapasitesi arttırılabilir. Kuşkusuz, bu kolon veya perdelerin iki doğrultuda dengeli bir şekilde yerleştirilmesi uygun olacaktır.

Doğrusal elastik hesap yöntemlerinden Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılarak yapılan analizde ise Can Güvenliği Performans Seviyesi'nin tüm şartlarının sağlandığı görülmüştür. İki yöntemle yapılan performans analizinde farklı sonuçların ortaya çıkmasının iki temel sebebinden söz edilebilir:

1. "Doğrusal davranışın göz önüne alınması ile kapasitenin daha yüksek bulunduğu belirlenebilmektedir" [8]. Yapılan performans analizinde de buna uygun şekilde, doğrusal elastik yöntemde hasar oranları, doğrusal olmayan yönteme göre görece daha azdır.
2. Doğrusal yöntemlerle yapılan analizde de, iki ucunda birden hasar oluşan kolonlar tarafından taşınacak kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetinin % 30'uyla sınırlandırılmıştır. Ancak, doğrusal olmayan yöntemlerden farklı olarak, düğüm noktalarının ikisinde birden kolonların kirişlerden güçlü olma şartının sağlandığı kolonlar bu hesabın dışında tutulmuştur. Yapılan analizde bu husus göz önüne alındığında, hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetleri verilen sınırın altında kalmaktadır.

Bu çalışmada C16-S220 malzemeleri ve Z2 zemin sınıfı için performans analizi yapılan binanın, farklı malzeme ve zemin özelliklerinde ele alındığı DBYBHY 2007 Örnekler Kitabı örnek 14 ve 15'de de doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle performans analiz yapılmıştır. Bu örneklerde malzeme sınıfları C25 ve S420, zemin sınıfı ise Z3 olarak ele alınmıştır. Örneklerde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, iki yöntemle yapılan analizde de Can Güvenliği Performans Seviyesi'nin sağlanmış olduğu görülmektedir.

Malzeme sınıfları C25-S420'den C16-S220'ye düşürülerek yapılan analizlerde Can Güvenliği Performans Seviyesi sağlanamamıştır. Kuşkusuz, malzeme dayanımlarının düşmesinin performans seviyesinde azalmaya yol açması beklenebilir. Ancak,

burada, zemin sınıfının Z3'den Z2'ye çıkarılarak iyileştirilmesinin performans seviyesinin korunması için yeterli olmadığı görülmektedir.

Sonuç olarak, ele alınan bina mevcut taşıyıcı sistemi ve C16-S220 beton ve çelik malzeme sınıflarındaki mevcut dayanımları ile 1. Derece deprem bölgesinde depreme karşı yeterli performansı gösterememiştir. Özellikle kolonların kirişlerden güçlü olması şartı açısından bina yetersizdir. Bu olumsuz durumun değiştirilmesi için, kolon boyutlarının arttırılması ya da sisteme perdeler eklenmesi şeklinde güçlendirme yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **DBYBHY** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,* Ankara.

[2] **Aydınoğlu, M. N., Celep, Z., Özer, E. ve Sucuoğlu, H.** (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Örnekler Kitabı, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.

[3] **SAP 2000** (2000). Structural Analysis Program, *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California.

[4] **TS-500** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[5] **XTRACT** (2001). Cross Sectional Analysis of Components, *Imbsen Software System,* Sacramento.

[6] **Celep, Z.**, (2008). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Yayıncılık, İstanbul.

[7] **Ersoy, U.,** (1998). Betonarme Kiriş ve Kolonların Moment Kapasitelerinin Saptanması, İMO Teknik Dergi, Yazı 128

[8] **Celep, Z.**, (2010). Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme, İMO İstanbul Bülten, Sayı 109, İstanbul

[9] **TS-498,** (1987). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[10] **Darılmaz, K.,** (2008). Betonarme Düzlem Çerçeve Bir Yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Performans Değerlendirmesi, İMO İstanbul Bülten, Sayı 94, İstanbul

[11] **Ersoy, U., Özcebe, G.,** (2001). Betonarme; Temel İlkeler, TS 500–2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap, Evrim Yayınevi, Ankara.

[12] **Celep, Z.**, (2010). Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme, İMO İstanbul Bülten, Sayı 109, İstanbul

[13] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, (2005). Betonarme Yapılar, Beta Yayıncılık, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Zafer Kanbir, 1985 yılında Kars'ta doğdu. İlköğrenimini İstanbul İnanç Türkeş İlköğretim Okulu'nda, orta ve lise öğrenimini Kartal Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi'nde yaptı. 2003 yılında liseden mezun olarak Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne başladı ve 2007 yılında bu bölümden mezun oldu. 2008 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Yapı Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2007 yılında İstanbul'da özel bir şirkette şantiye şefi olarak çalışmaya başlamış ve halen bu görevini sürdürmektedir.