PERFORMANSI YETERSİZ BİR YAPI ÜZERİNE GÜÇLENDİRME ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRMELERİ

Çağatay Usul
161412204

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seyit Çeribaşı

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Temmuz, 2020

PERFORMANSI YETERSİZ BİR YAPI ÜZERİNE GÜÇLENDİRME ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRMELERİ

Çağatay Usul
161412204
Orcid: 0000-0002-7791-931X

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seyit Çeribaşı

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Temmuz , 2020



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

maltepe üniversitesi	LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI	Doküman No	FR-178
		İlk Yayın Tarihi	01.03.2018
		Revizyon Tarihi	23.01.2020
		Revizyon No	01
		Sayfa	1

23/07/2020

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bulguların sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; çalışmanın Maltepe Üniversitesinde kullanılan "bilimsel intihal tespit programı" ile tarandığını ve öngörülen standartları karşıladığını beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Çağatay Usul

Hazırlayan: Enstitü Sekreterliği	Onaylayan: Kalite Yönetim Koordinatörlüğü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, özellikle de tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Seyit Çeribaşı'na teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında karşılaştığım sorunların çözümünde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Ömer Atacan Kadıoğlu ve Tolga Akbaş'a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiçbir zaman eksik etmeyen, her daim bana destek olan sevgili annem Merih Usul'a, kardeşim Ömer Faruk Usul'a, ayrıca özel ilgi ve alakasıyla çalışmalarımda yaptığım araştırma bölümünde engin bilgileri ve tecrübesi ile beni yönlendiren, desteğini özveri ile sağlayan babam Dr.Mustafa Usul'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımda bana yeterli ortamı sağladığı ve psikolojik olarak verdiği desteklerden ötürü eşim Merve Özyılmaz Usul'a teşekkür ederim.

Çağatay Usul

Temmuz 2020

ÖZ

PERFORMANSI YETERSİZ BİR YAPI ÜZERİNE GÜÇLENDİRME ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRMELERİ

Çağatay Usul
Yüksek Lisans Tezi
Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Deprem Mühendisiği Yüksek Lisans Programı
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Seyit Çeribaşı
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2020

Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan mevcut bir okul binası modellenerek "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018" esasları dahilinde deprem performansı incelenmiş, zaman tanım aralığında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemini kullanarak analiz edilmiştir. Mevcut bina konumuna göre yatay tasarım spektrumu "Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması"ndan elde edilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılmak amacıyla PEER veritabanından 11 adet deprem kayıt çifti elde edilmiştir. Elde edilen ivme kayıt değerleri Seismomatch programı kullanılarak yatay tepki spektrumuna göre ölçeklenerek eşleştirilmiştir. TBDY 2018'e göre yapı ileri performans hedefi ve değerlendirme yaklaşımı belirlenmiştir. Bina üç boyutlu olarak ETABS programı kullanılarak modellenmiştir. Doğrusal olmayan analizi gerçekleştirebilmek için doğrusal olmayan malzemeler tanımlanmıştır. Beton modeli olarak "Mander Sargısız Beton Modeli" kullanılmıştır. Betonarme kesitlere etkin kesit rijitliği çarpanları uygulanarak beton kesitleri çatlatılmış ve rijitlikleri azaltılmıştır. Yapı elemanlarına yığılı plastik davranış teorisine göre plastik mafsallar tanımlanmış ve şekildeğiştirme sınır değerleri belirlenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yüklemeler tanımlanarak yapı gerçek deprem kayıtları altında analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yapı, gerekli performans düzeyini sağlamadığı için deprem performansı yetersiz olarak belirlenmiştir. Mevcut bina yetersiz kesitlerde merkezi diyagonal tip çapraz çelik çerçeve kullanılarak yapı güçlendirilmiştir. Çapraz çelik elemanların doğrusal olmayan davranışlarını incelemek için çapraz çelik elemanlara plastik mafsal atanarak eksenel basınç ve çekme şekildeğiştirme sınırları belirlenmiştir. Güçlendirme sonrası yapı tekrardan analiz edilerek şekildeğiştirme sınır değerleri kontrol edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yapı gerekli performans seviyesini yakalamıştır.

Anahtar Sözcükler: 1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz; 2. Sismik Performans Analizi; 3. Merkezi Çaprazı Çelik Çerçeve; 4. Deprem; 5. Güçlendirme.

ABSTRACT

STRUCTURAL STRENGTHENING STUDIES AND ASSESMENT OF AN INADEQUATE PERFORMANCE BUILDING

Çağatay Usul
Master Thesis
Department of Structures and Earthquake Engineering
Structures and Earthquake Engineering Programme
Advisor: Asst. Prof. Seyit Çeribaşı
Maltepe University Graduate School, 2020

In this study, an existing school building in Istanbul modeled "Turkey Earthquake Building Regulation 2018" principles have been examined within the seismic performance was analyzed using the nonlinear time history analysis method. According to the current building location, horizontal design spectrum Earthquake Hazard Map of Turkey was obtained from Interactive Web Applications. In order to be used in nonlinear time history analysis, 11 earthquake record pairs were obtained from the PEER database. The acceleration record values which are obtained were scaled and matched according to the horizontal response spectrum using the Seismomatch program. According to TBDY 2018, structure advanced performance target and assessment approach have been determined. The building was modeled in three dimensions using the ETABS program. Nonlinear materials have been identified to perform nonlinear analysis. "Mander Unconfined Concrete Model" was used as the concrete model. The concrete sections were cracked and their stiffness was reduced by applying effective section stiffness factors to reinforced concrete sections. According to the lumped plasticity model behavior, plastic hinges have been defined to the building elements and deformation limit values have been determined. The Nonlinear time history loading were defined and the structure was analyzed under real earthquake records. As a result of the analysis, the earthquake performance was determined to be insufficient since the structure did not provide the required level of performance. The building has been strengthened by using a central diagonal type braced frame in insufficient sections. In order to examine the nonlinear behavior of the braced elements, the plastic hinge was assigned to determine the axial comression and tension deformation limits. After reinforcement, the structure was re-analyzed and the deformation limit values were checked. According to the results of the analysis, the structure has achieved the required level of performance.

Keywords: 1. Nonlinear Time History Analaysis; 2. Seismic Performance Analysis 3. Concentrically Braced Steel Frame; 4. Earthquake; 5. Strengthening.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZ v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
TABLOLAR LİSTESİ ix
ŞEKİLLER LİSTESİ x
KISALTMALAR xii
ÖZGEÇMİŞ xvi
BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
Örnek Çalışma 5
BÖLÜM 2. MEVCUT YAPININ DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DEĞERLENDİRME ESASLARININ BELİRLENMESİ 7
Mevcut Binanın Tanıtımı 7
AFAD İnternet Sitesi Kullanılarak Verilerin Elde Edilmesi 9
Deprem Yer Hareket Düzeylerinin ve Bölgesel Zemin Sınıfının Seçilmesi 9
Spektral İvme Katsayıların Hesaplanması 10
Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Elde Edilmesi 11
Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Elde Edilmesi 11
Yapının Kullanım Sınıfının ve Önem Katsayısının Bulunması 12
Bina Deprem Tasarımı Sınıfının Belirlenmesi 12
Binanın Yüksekliğinin Belirlenmesi ve Sınıflandırılması 12
Sismik Etki Altında Yapının Performansının Hedefi Belirlenmesi ve Yapıya Etki Ettirilecek Tasarım Yaklaşımı Belirlenmesi 12
Seçilen Ham Deprem Kayıtları 13
Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları 16
BÖLÜM 3. MEVCUT BETONARME BİNANIN TBDY 2018'E GÖRE PERFORMANS ANALİZİ 19
Doğrusal Olmayan Modelleme 19
Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri Tanımlanması 19
Betonarme Kolon ve Kiriş Elemanları İçin Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları Uygulanması 23

Betonarme Kolon ve Kiriş Elemanları İçin Plastik Mafsal Tanımlanması ve Atanması 30
Doğrusal Olmayan Yüklerin Tanımlanması 37
Betonarme Kolon ve Kiriş Plastik Dönme Sınırlarının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi 45
Mevcut Binanın Performans Analizi 46
BÖLÜM 4. MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BİNANIN TBDY 2018'E GÖRE PERFORMANS ANALİZİ 53
Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri Tanımlanması 53
Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanı Tanımlanması ve Çerçeve Sisteminin Oluşturulması 54
Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanlar İçin Plastik Mafsal Tanımlanması ve Atanması 56
Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Plastik Dönme Sınırlarının Belirlenmesi 58
Güçlendirilmiş Binanın Performans Analizi 61
BÖLÜM 5. SONUÇ 65
Öneriler 68
KAYNAKÇA 69

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1 Mevcut Bina Özellikleri 7

Tablo 2 Seçilen Depremremlerin Verileri 14

Tablo 3 Kolonlara Etkiyen Eksenel Yük Değerleri 26

Tablo 4 Eksenel Yüklere Göre Hesaplanan Akma Momenti ve Akma Eğriliği Değerleri 28

Tablo 5 Katlardaki Kolonlar İçin Hesaplanmış Etkin Kesit Rijitlikleri 29

Tablo 6 Katlardaki Kirişler İçin Hesaplanan Etkin Kesit Rijitlikleri 29

Tablo 7 22 Adet Deprem Analizindeki Kolon Dönme Değerleri (Kısmi) 48

Tablo 8 1.Kat Kolonlarının Performans Düzeyi (Kısmi) 49

Tablo 9 22 Deprem Analizi Ortalaması Kolon Hasar Adetleri ve Oransal Dağılımları 51

Tablo 10 22 Deprem Analizi İH ve KH Kolon Kesme Kuvvetleri ve Oransal Dağılımları 52

Tablo 11 Merkezi Çaprazlı Çelik Kesit Tipi Belirlenmesi 58

Tablo 12 Eksenel Basınç ve Akma Dayanımı Hesaplanması 60

Tablo 13 (KH) için Eksenel Basınç ve Çekme Akma Şekildeğiştirme Sınır Değerleri. 60

Tablo 14 Güçlendirme Sonrası 1.Kat Kolonlarının Hasar Bölgeleri (Kısmi) 61

Tablo 15 Güçlendirme Sonrası 22 Deprem Analizi Ortalaması Kolon Hasar Adetleri ve Oransal Dağılımları 63

Tablo 16 Güçlendirme Sonrası 22 Deprem Analizi İH ve KH Kolon Kesme Kuvvetleri ve Oransal Dağılımları 64

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Mevcut Bina Tipik Kat Planı 8
Şekil 2 Mevcut Bina Tip Kesit 8
Şekil 3 Türkiye Deprem Tehlike Haritası [15] 9
Şekil 4 TDTH İnteraktif Web Uygulaması Veri Girişi [14] 10
Şekil 5 Kartal Okul Binasının Yatay Elastik Tasarım Spektrumu 11
Şekil 6 Kartal Okul Binasının Düşeydeki Elastik Tasarım Spektrumu 11
Şekil 7 Seçilen Depremlerde Oluşan Bazı Hasarlar 13
Şekil 8 Seçilen Bazı Deprem Kayıtlarının İvme-Zaman Grafikleri (kısmi) 15
Şekil 9 Ölçeklendirme İşleminden Önce Tüm İvme Kayıtları ve Hedef Spektrumun İvme-Periyot Grafiği 16
Şekil 10 Landers Depreminin Ham ve Hedef Spektrum ile Eşleştirilmiş İvme-Periyot Grafiği 17
Şekil 11 Tüm Kayıtların Ölçeklendirme ve Eşleştirme Sonrası İvme-Periyot Grafiği 18
Şekil 12 Tüm Kayıtların Hedef Spektrum ile Eşleştirilmiş Bileşke Ortalamalarının İvme-Periyot Grafiği 18
Şekil 13 C30/37 Beton Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri 20
Şekil 14 C30/37 Betonu Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği 21
Şekil 15 B420C Donatı Çeliği Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri 22
Şekil 16 B420C Donatı Çeliği Birim Uzama Grafiği 22
Şekil 17 Kolon ve Kiriş Elamanları İçin Kesit Modellenmesi 23
Şekil 18 ETABS'da Modellenen Binanın 3D görüntüsü 23
Şekil 19 Kesit İçin Moment Eğrilik Grafiği Çizdirilmesi 24
Şekil 20 Oluşturulan Kesitin Moment Eğrilik Değerleri 26
Şekil 21 Programa Girilen Kolon ve Kiriş Etkin Kesit Rijitlikleri 30
Şekil 22 Kolonlara Atanacak Plastik Mafsal Tipi 31
Şekil 23 Kolonlara Atanacak Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi 31
Şekil 24 Kolonlara Atanacak Plastik Mafsalın Moment-Dönme İlişkisinin Belirlenmesi 32
Şekil 25 Kolonlara Atanan Plastik Mafsalın, Eksenel Yük – Moment Eğrileri Etkileşim Yüzeyi Tanımlaması 33
Şekil 26 Kirişlere Atanacak Plastik Mafsal Tipi 34
Şekil 27 Kirişlere Atanacak Plastik Mafsalın Moment-Dönme İlişkisinin Belirlenmesi 34

Şekil 28 Kolonlara Plastik Mafsalların Atanması 35
Şekil 29 Kirişlere Plastik Mafsalların Atanması 36
Şekil 30 ETABS'da Kolon ve Kiriş Uç Noktalarına Atanan Plastik Mafsalların Tip Kesiti 36
Şekil 31 Doğrusal Olmayan Plastik Mafsal Analiz Model Kontrolü 37
Şekil 32 Eşleştirilmiş Deprem Kayıtlarının ETABS Programına Tanımlanması 38
Şekil 33 Eşleştirilmiş Kobe Depremi 00 Bileşeni İvme Kaydı 39
Şekil 34 Modal Yüklemenin Ritz Vektörüyle Tanımlanması 40
Şekil 35 Doğrusal Olmayan Düşey Yükleme "Initial Nonlinear Static" 42
Şekil 36 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yük Tanımlama 43
Şekil 37 Rayleigh Orantılı Sönüm Matrisi Değerleri Tanımlanması 44
Şekil 38 Kesit Hasar Bölgeleri [21] 46
Şekil 39 Kolonlardaki Plastik Mafsallarda Oluşan En Büyük Dönme Değeri 48
Şekil 401.Kattaki Göçme ve İleri Hasar Bölgesindeki Kolonlar 50
Şekil 41 2.Kattaki Göçme ve İleri Hasar Bölgesindeki Kolonlar 50
Şekil 42 S275 Yapı Çeliği Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri 54
Şekil 43 TUBO400x400x25 Kesit Özellikleri 55
Şekil 44 Merkezi Çaprazlı Çelik Binanın 3 Boyutlu Görünüşü 55
Şekil 45 Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanlara Atanacak Mafsal Tipi 56
Şekil 46 Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanlar İçin Plastik Mafsal Tanımlanması 57
Şekil 47 Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanlar İçin Plastik Mafsal Atanması 58
Şekil 48 1.Kat ve 2. Kat İçin İleri Hasar Bölgesindeki Kolonlar 62

KISALTMALAR

A_c : Çapraz enkesit alanı [m2]

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

B : Boylam

BH : Belirgin Hasar Performans Düzeyi

BKS : Bina Kullanım Sınıfları

BYS : Bina Yükseklik Sınıfı

DD-1 : Deprem Düzeyi-1

DGT : Dayanıma Göre Tasarım

DTS : Deprem Tasarım Sınıfı

d : Kiriş enkesit yüksekliği [m]

d_b : Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) [m]

d_c : Kolon enkesit yüksekliği [m]

E : Enlem

E : Yapı çeliği elastisite modülü, E : 2×10^8[kN/m2]

EI : Kesit bürüt eğilme rijitliği

$(EI)_e$: Yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi veya perdeninetkin kesit rijitliği

ETABS : Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems

F_S : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

F_1 : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı

F_{ye} : Yapı çeliğinin beklenen akma gerilmesi [kN/m2]

F_{cr} : Kritik burkulma gerilmesi

$\mathbf{F_u}$: Yapı çeliğinin karakteristik çekme dayanımı

$\mathbf{F_y}$: Yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi

$\mathbf{f_{ce}}$: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı [MPa]

$\mathbf{f_{ck}}$: Betonun karakteristik basınç dayanımı [MPa]

fe : Taşıyıcı sistem için hesaplanan doğrusal (elastik) dayanım talebi

fy : Taşıyıcı sistemin akma dayanımı

$\mathbf{f_{ye}}$: Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]

$\mathbf{f_{yk}}$: Çeliğin karakteristik akma dayanımı [MPa]

g : Yerçekimi ivmesi [g = 9.81 m/s2]

GÖ : Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

h : Kesit yüksekliği [m]

$\mathbf{H_N}$: Bina Yüksekliği (Rijid Bodrum Hariç)

I : Bina Önem Katsayısı

i : Atalet yarıçapı

K : Burkulma katsayısı

KH : Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

L : Çubuk boyu

$\mathbf{l_c}$: Çapraz boyu [m]

$\mathbf{L_p}$: Plastik mafsal boyu [m]

$\mathbf{L_s}$: Kesme açıklığı [m]

$\mathbf{M_u}$: Göçme öncesi moment [kNm]

$\mathbf{M_y}$: Etkin akma momenti [kNm]

NGA : The National Geospatial-Intelligence Agency

$\mathbf{P_c}$: Çelik elemanın beklenen eksenel basınç dayanımı [kN]

$\mathbf{P_{ye}}$: Çelik elemanın beklenen eksenel akma kuvveti [kN]

PEER : Pasicif Earthquake Engineering Research Center

$\mathbf{S_{ae}\ (T)}$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]

$\mathbf{S_{aeD}(T)}$: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]

$\mathbf{S_{de}\ (T)}$: Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [m]

$\mathbf{S_S}$: Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı

$\mathbf{S_1}$: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

$\mathbf{S_{DS}}$: Kısa periyod bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı

$\mathbf{S_{D1}}$: 1.0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı

SAP2000 : Structural Analysis Program 2000

SH : Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

ŞGDT : Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım

T : Doğal titreşim periyodu [s]

$\mathbf{T_A}$: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

$\mathbf{T_{AD}}$: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

$\mathbf{T_B}$: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

$\mathbf{T_{BD}}$: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

$\mathbf{T_L}$: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]

$\mathbf{T_{LD}}$: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]

Tp : Binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]

TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

$\mathbf{(VS)_{30}}$: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]

Φ_y : Akma eğriliği [m^{-1}]

Φu : Göçme öncesi eğrilik [m^{-1}]

θy : Akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi [rad]

$\theta_p^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]

$\theta_p^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]

$\theta_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]

Δ_C : Çelik elemanın eksenel basınç dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesi [m]

Δ_T : Çelik elemanın eksenel çekme dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesi[m]

ÖZGEÇMİŞ

Çağatay Usul

Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Eğitim

Derece	*Yıl*	*Üniversite, Enstitü, Anabilim Dalı*
Y.Ls.	2020	Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı
Ls.	2015	Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Lise	2007	Anıttepe Anadolu Lisesi

İş/İstihdam

Yıl	*Görev*
2019 -	Teknik Ofis Mühendisi. Simit Sarayı
2018-2018	İnşaat Mühendisi. GB Group
2018-2019	Teknik Ofis Sorumlusu. Al Bawakir Group
2016-2018	Planlama ve Maliyet Kontrol Mühendisi. YPU
2015-2016	Şantiye Saha Şefi. Enam İnşaat

Mesleki Birlik/Dernek Üyelikleri

Yıl	*Kurum*
2015	Üyelik: İnşaat Mühendisleri Odası

Alınan Burs ve Ödüller

Yıl	*Burs/Ödül*
2012	Boğaziçi Üniversitesi Uluslararası Design&Construct Çelik Köprü Yarışması Dünya'da 5. Sıra

Kişisel Bilgiler

Doğum yeri ve yılı : Erzurum, 1990 Cinsiyet: E
Yabancı diller : İngilizce (çok iyi)
e-posta : usulcagatay@gmail.com

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Deprem kuşağında bulunan ülkemizdeki 2019 ve 2020 yıllarında yaşanan depremlerde oluşan hasarlar ve can kayıpları göz önüne alındığında, hala yüksek oranda depreme dayanıksız yapıların mevcut olduğu görülmektedir. Doğu Anadolu ve Ege Bölgeleri'nde yaşanan büyük depremlerin meydana getirdiği hasarlar, beklenen Marmara Depremi'ne İstanbul'daki yapıların ne kadar dayanıklı olabileceği sorusunu doğurmaktadır. Deprem olmadan bile yıkılan binalar söz konusu olduğundan dolayı, sismik performansı yetersiz binalara güçlendirme uygulanması bu tezin ana konusu olmuştur. Bu çerçevede İstanbul'da ki mevcut bir okul binasının deprem performans hedefini yakalayamadığı belirlenmiş ve konu ile ilgili güçlendirme yoluna başvurulmuştur.

Konu ile ilgili yapılan literatür araştırmalarında doğrusal elastik olmayan ve doğrusal olan yöntemler dahil olmak üzere, çapraz çelik çerçeve sistemlerini ve yönetmelik farklarını içeren tez, dergi yayını, vb. çalışmaları incelenip sonuçlar hakkında bilgi edindilmiştir. Yapılan incelemelerdeki yorumlamalara şu şekilde yer verilmiştir;

Şahin, tezinde betonarme çerçeveli mevcut bir binayı 2019 Deprem Yönetmeliği Taslağı'na göre zaman alanında analizini yaparak güçlendirme çalışması yapmıştır. Yaptığı araştırmada gerçekte yapılan bir binanın rölevesini almış, deneysel çalışma ile destekleyerek malzeme özelliklerini tanımlamış ve bu verileri SAP2000 programına aktarıp analizini gerçekleştirmiştir. Programda kolon kiriş birleşim bölgelerine plastik mafsallar atamış ve kesit özelliklerini programın section designer özelliğini kullanarak belirlemiştir. Deprem kayıtlarını, zaman tanım alanında analiz yaparken süreyi uzatacağından dolayı bir adet deprem kaydını tek yönde yapıya uygulamıştır. Analiz sonuçlarından elde ettiği dönme değerlerini, şekildeğiştirme sınırları ile karşılaştırıp hedef performans altında kalan elemanları belirlemiştir. Güçlendirme ile ilgili farklı yöntemleri araştırıp avantaj ve dezavantajlarından bahsetmiştir. [1]

Üstün, çalışmasında çelik çerçeveli mevcut bir binayı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemini kullanarak incelemiş ve değerlendirmiştir. Analizini

yaptığı bina gerçekte inşa edilmemiş olup, proje aşamasında kalan bir binadır. Binanın ana çerçevesini ETABS programını kullanarak modellemiş, kesit bazındaki analizlerini yaparken XTRACT programını kullanmıştır. Onbir farklı deprem kayıt çiftini kullanmıştır. Analiz sonuçlarını eski ve yeni yönetmeliklere göre hesaplayıp sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmasında sınırlı ve yüksek süneklik düzeylerinin deprem performansına önemini vurlgulamıştır. [2]

Buzuku, 24 katlı betonarme çerveveli bir binayı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle analiz etmiştir. Modelleme kısmında ETABS programını kullanmış, malzeme kesit özelliklerini plastik mafsal teorisine göre belirlerken XTRACT programını kullanmış ve bu iki programın değerlerini karşılaştırmıştır. Onbir adet deprem kayıt çiftini zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle yapıyı analiz etmiştir. DBYBHY2007 yönetmeliğini kullanarak projelendirilmiş yapıyı, TBDY2018 ve EC8 yönetmeliğine göre ayrı ayrı değerlendirmiş ve sonuçlarını karşılaştırarak çalışmasını tamamlamıştır. Sonuç olarak eski yönetmeliğe göre inşa edilen binanın TBDY2018 ve EC8 yönetmelikleriyle karşılaştırıldığında uygun performans gösterdiğini bulmuştur. [3]

Akbaş, çalışmasında biribirine bağ kiriş ile bağlı iki mevcut binayı önce dinamik açıdan incelemek için deneysel bir çalışma yapmış, sonrasında bu binaları modal analiz yöntemiyle bilgisayar programı üzerinde modelleyerek dinamik açıdan sonuçları karşılaştırmış ve aynı zamanda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapmıştır. Modelleme ve kesit analizi kısmını incelemek için SAP2000 programını kullanmış, yerdinde ölçüm yaptığı titreşim verilerini ARTEMIS programını kullanarak analiz etmiştir. Onbir farklı deprem kayıt çiftini kullanmıştır. Bu kayıtları ölçeklendirme işlemini STA4CAD programı aracılıyığyla yapmıştır. Zaman tanım alanında yapmış olduğu analizde, yapıların taşıyıcı ve yük aktaran elemanlarının peformans analizini ve taban kesme kuvvetlerinin, binaların bağlı ve bağlı olmadığı durumlarındaki sonuçlarıyla birlikte değerlendirmiştir. [4]

Şimşek, beton dolgulu kompozit kolonlu ve çelik kirişli bir yapı tasarlamış ve bu yapıyı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizle incelemiştir. Yapıyı önce ETABS programında modelleyerek dayanıma göre tasarım yapmış ve analiz etmiştir, ardından da OpenSees programıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz

yapmıştır. Kompozit ve kompozit olmayan elemanlar için göreli kat öteleme kontrollerini ETABS ve OpenSees programı için bulduğu sonuçlarla karşılaştırarak yapmıştır. Ayrıca iki programında analiz sonucundaki titreşim modlarının birbiriyle uyumlu olduğunu saptamıştır. Tasarımını yaptığı yapının hedef performans düzeyini sağladığını gözlemlemiştir. [5]

Koç, çalışmasında üç farklı ivme kayıt setlerini, tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde ölçeklendirerek, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizini yapmış ve analiz sonuçlarını öteleme talepleri doğrultusunda istatistiksel olarak incelemiştir. Tek serbestlik dereceli sistem için maksimum öteleme talepleri ve varyasyon katsayısı değerlerinin seçilen ivme setlerine göre farklı sonuç verdiğini saptamıştır. İvme kayıtlarını TBDY 2018'e göre ölçeklendirmiş ve bu aşamada kullandığı katsayıların mertebesinin ötelenme taleplerine önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varmıştır. Yönetmeliğe göre yapılan analiz sonucundan elde edilen maksimum öteleme taleplerinin ortalamaları kullanılırsa, herhangi ölçeklendirme stratejisinin kullanılabileceği sonucunu elde etmiştir. [6]

Hothot, kompozit taşıyıcı sisteme sahip bir 50 katlı biryapıyı farklı yönetmeliklerden ve farklı bilgisayar programlarından yararlanarak modellemiş ve bu yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizini yapmıştır. Dört farklı model oluşturup sonuçlarını incelemiştir. Önce yapıya dışardan destek eleman tanımlamamış sonrasında değişik katlarda burkulma önlenmiş çelik çapraz elemanlar kullanarak güçlendirme yapmıştır. Kullandığı çapraz elemanların, yapının bu elemanlar dışındaki doğrsual olmayan davranışdan uzaklaştırdığını gözlemlemiştir. Çapraz eleman kullanımının akma sönümlemesini artırdığını bulmuştur. [7]

Kanat, 28 katlı çelik çerçeveli bir yapıyı 2007 deprem yönetmeliğine göre modellemiş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizini yapmıştır. Yapıyı önce protatip olarak OpenSees programı ile modellemiş ardından SAP2000 programını kullanarak tüm yapıyı modellemiştir. Modelleme yaparken güçlendirme kısmında üç farklı çelik çapraz taşıyıcı sistem kullanmıştır. Analiz sonuçlarında yapının göreli kat ötelemelerini, elemanlarının şekil değiştirmelerini, güçlendirme elemanlarının şekil değiştirmelerini, ve kesme ile moment değerlerini karşılaştırmıştır. En yüksek göreli kat

öteleme değerlerinin güçlendirilen bölgelerde olduğunu bulmuştur. Taşıyıcı elemanların kesme ve moment değerlerinin sınır değerlerini aşmadığını gözlemlemiştir. [8]

Şenoğlu, tezinde 47 katlı bir binayı ETABS programını kullanarak tasarlamış, zaman tanım alanında doğrusal olaymayan analizini yapmıştır. Tasarım aşamasında Amerikan ve 2007 Türkiye deprem yönetmeliklerinden faydalanmış, yük hesabı ve analiz parametrelerinin değerlendirilmesinde 2007 Türkiye Deprem yönetmeliğinden ve İstanbul Yüksek Bina yönetmeliklerinden faydalanmıştır. Yeterli performans seviyesini yakalamak için kolon boyutlarını artırmıştır. Binanın çekirdek bölgesinde merkezi çelik çapraz kullanmıştır. Göreli kat ötelemelerin hesabında maksimum değerin seçilmesi yapının performans değerinini önemli ölçüde etkilediğini saptamıştır. [9]

Zengin, performans bazlı sismik değerlendirme çalışmalarında deprem kayıtlarının ve bu kayıtların ölçeklendirilmesinin önemini araştırmıştır. Kayıtlar seçilirken PEER ve RESORCE kaynaklarından faydalanmıştır. Farklı kayıtların ve ölçeklendirme yöntemlerinin 12 katlı bir bina üzerinde incelemesini gerçekleştirmiştir. Depremin yoğunluğu ve sismik riskin değerlendirilmesi için Gaussian kırılım modeli kullanılmıştır. Bu çalışmaların sonucunu istatistiksel bir model olarak sunmuş ve yer hareketi ile yapının tepkisindeki belirsizlikleri Gaussian kırılım modeli ile nasıl gerçekleştirildiğini göstermiştir. [10]

Saral, 31 katlı betonarme bir binanın zaman alanında doğrusal olmayan analizi ve itme analizini yaparak sonuçlarını karşılaştırmıştır. Daha önceden 2007 deprem yönetmeliği ve İzmir'de yapılacak yüksek binalar yönetmeliklerini esas alarak STA4CAD programıyla modellemesi yapılmış bir yapıyı, SAP2000 programında modelleyerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizini ve itme analizini yapmıştır. Analizde yedi adet deprem çiftini kullanmıştır. Kolon ve kiriş elamanlarında plastik mafsal tanımlamak için ise XTRACT programını kullanmıştır. Zaman tanım alanında yapılan analiz ile itme analizleri sonuçları değerlendirildiğinde, göreli kat ötelemeleri, plastik dönme ve kesme kuvvetleri değerleri birbirlerine yakınlık göstermiştir. Fakat en büyük kat kirişleri plastik dönme değerlerinde farklılık olduğunu bulmuştur. [11]

Yıkılmaz, betonarme bloklardan oluşan bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizini yapmış ve viskoz sönümleyiciler ile güçlendirmesini yapmıştır. Yapıyı modellerken DBYBHY 2007 yönetmeliğinden yararlanmış olup güçlendirme aşamasında FEMA 273 yönetmeliğinden faydalanmıştır. Yapı analizini SAP2000 programıyla yapmış olup, elemanların kesitlerini XTRACT programı ile tanımlamıştır. Üç adet deprem kayıt seçmiş olup bu kayıtları analiz için kullanmıştır. Sonuç olarak performans hedeflerini aşan yapı elemanlarında viskoz sönümleyiciyi kullanarak güvenli tarafta kaldığını göstermiştir. [12]

Ömerbeyoğlu, kompozit yapıdaki bir binayı TBDY 2018'e tasarlamış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizini yaparak bina tasarımı yapmıştır. Yapının modellemesini ETABS programı ile yapmış olup, kompozit elamanlarının tasarımını ve kontrolünü, MATLAB ve OpenSees programlarıyla yapmıştır. Onbir adet deprem kayıt çiftini analiz için kullanmıştır. Sonuç olarak tasarladığı yapının, belirlenen performans seviyesini geçmediğini elde etmiştir. [13]

Örnek Çalışma

TBDY 2018' de yer alan performans hedeflerinde belirlenmiş aralık içerisinde, yetersiz performansa sahip bir binanın, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesaplama yöntemini kullanarak, performans seviyesinin yükselitilmesi istenmektedir. Ana hedef yönetmelikteki belirlenen performans düzeyini sınırları içerisine, mevcut yapının performans düzeyini getirmektir. İlgili performans düzeyini yakalamak için, yapının performans açısından yetersiz olduğu bölgelere, çelik çapraz çerçeve sistemiyle güçlendirme yapmak amaç edinilmiştir.

Zaman tanım alanında analiz gerçekleştirmek için yığılı plastik davranış modeli baz alınarak doğrusal olmayan malzemeler tanımlanacaktır. Doğrusal davranış elde etmek için yine doğrusal olmayan yükleme tanımlamaları belirlenecek ve yapının daha önce gerçekleşmiş deprem takımlarına göre davranışı incelenecektir. Yapı eleman kesitlerinin hasar sınırları tanımlanacak ve oluşturulan sınır değerlere göre hangi performans bölgesinde kaldığı belirlenecektir. Değerlendirmesi yapılan kesitlerin ilgili kattaki oranına göre elemanların hasar bölgeleri belirlenecektir. Böylece tüm yapının deprem etkisi altındaki performansı tespit edilecektir.

Yetersiz deprem performansı gösteren elemanlarda güçlendirme yaparak tekrar analiz edilip, hedeflenen performans düzeyinin yakalanıp yakalanamayacağı kontrol edilecektir.

BÖLÜM 2. MEVCUT YAPININ DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DEĞERLENDİRME ESASLARININ BELİRLENMESİ

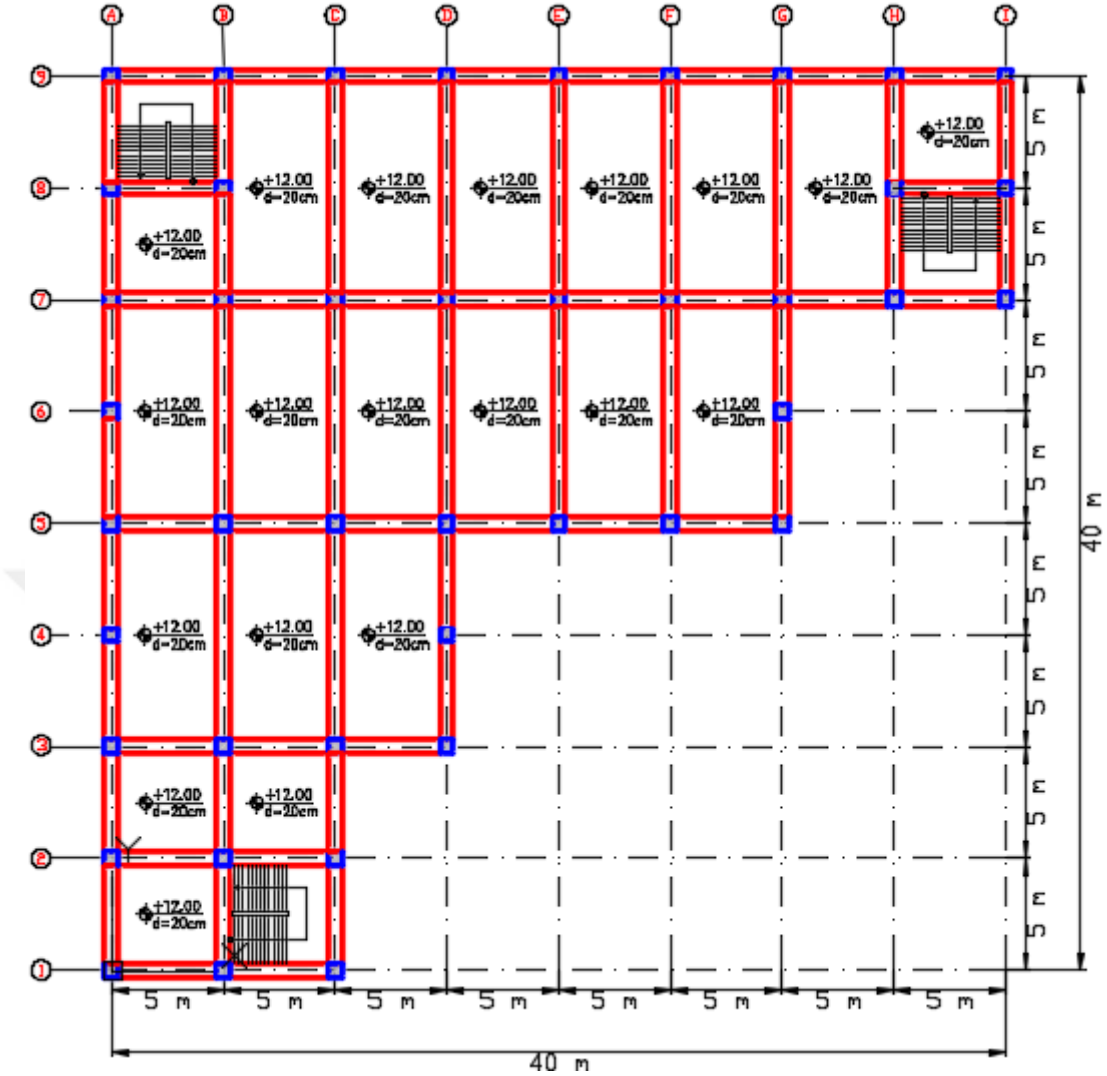
Bu bölümün amacı, betonarme çerçeveye sahip mevcut bir okul binasının geometrik özelliklerini belirleyip, seçilen bölgenin yeni deprem yönetmeliğindeki uyulması gereken aşamalara göre inceleyip hesaplamaktır.

Mevcut Binanın Tanıtımı

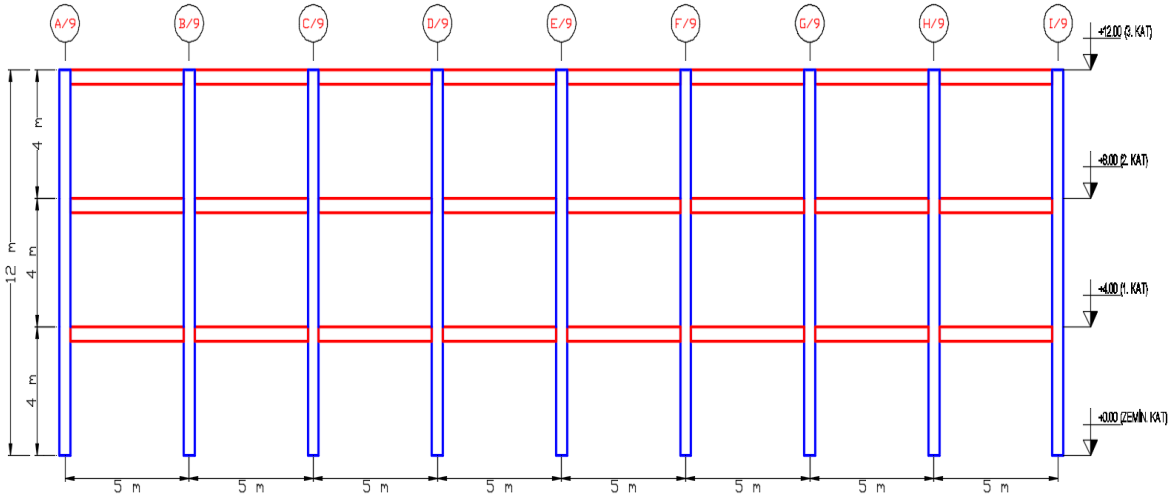
İstanbul'un Kartal ilçesinde bulunan bir okul projesi olduğu varsayılarak, statik olarak dayanıklı fakat deprem performansına dayanıksız plan ve kesit çalışması oluşturulmuştur. Bina zemin kat ve 2 normal kattan oluşmaktadır. Bodrum kat bulunmamaktadır. Hiçbir katta betonarme perde mevcut değildir. Sadece kolon, kiriş, döşeme ve merdiven boşluklarından oluşmaktadır. Betonarme perde bulunmamaktadır. Plan kesiti incelendiğinde simetriklik söz konusu değildir. Binaya ait plan ve tip kesitler **Şekil 1 ve 2**'deki gibi gösterilmiştir. Mevcut binanın sayısal özellikleri **Tablo 1**'deki gibi belirtilmiştir.

Tablo 1 Mevcut Bina Özellikleri

Özellik	Birim	Açıklama
Bina Yüksekliği	m	12
Aks Arası Mesafe	m	5
Kat Sayısı	ad	3
Kat Yükseklikleri	m	4
Kolon Kesiti	cm	60x60
Kiriş Kesiti	cm	60x60
Döşeme Kalınlığı	cm	20
Beton Sınıfı	br	C30/37
Betonarme Çeliği	br	B420C
Zemin Sınıfı	br	ZD
Enlem Konumu	°	40.886753
Boylam Konumu	°	29.208126



Şekil 1 Mevcut Bina Tipik Kat Planı



Şekil 2 Mevcut Bina Tip Kesit

AFAD İnternet Sitesi Kullanılarak Verilerin Elde Edilmesi

Mevcut okul binasının İstanbul'un Kartal ilçesindeki deprem verileri [14] internet sitesinden alınmıştır. Veriler alınırken girdi olarak haritadaki enlem-boylam, deprem yer hareketi ve yerel zemin sınıfını belirleyip yükledikten sonra, Afad sitesi rapor halinde harita spektral ivme katsayılarını, en büyük yer ivmesini ve hızını, tasarım spektral ivme katsayılarını, köşe peryotlarını çıktı şeklinde vermektedir.

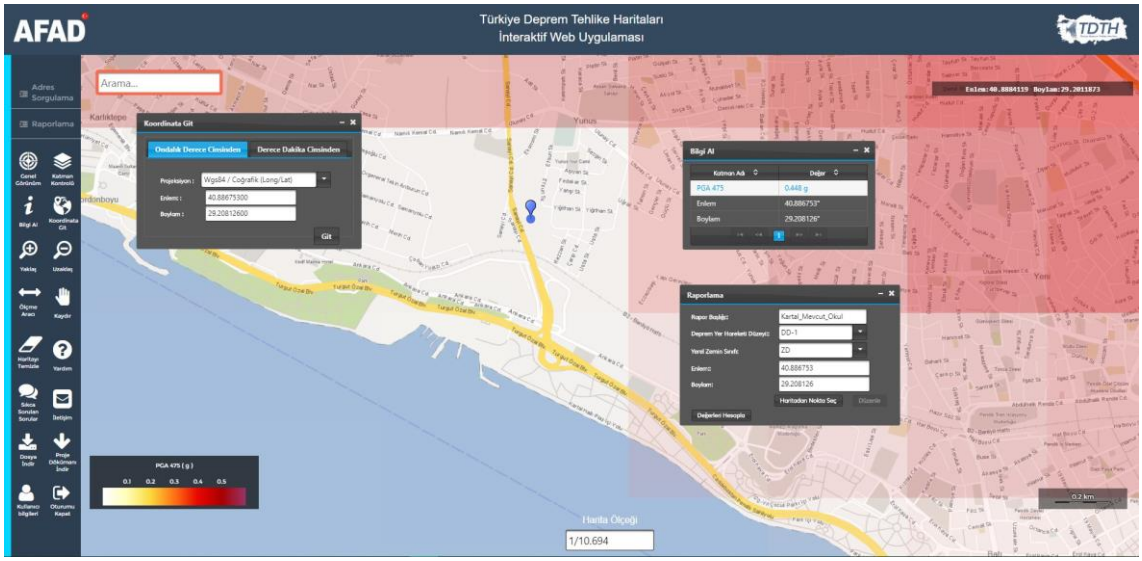
Yeni yönetmelikle birlikte yeni deprem tehlike haritası da (**Şekil 3**) yayınlanmıştır. Eski yönetmelikte yapı konumu, dört deprem bölgesinden hangisine denk geliyorsa ilgili bölge seçilip analizde kullanılıyordu fakat yeni yönetmelikte koordinat bazlı veri kullanımı mümkün hale geldi.



Şekil 3 Türkiye Deprem Tehlike Haritası [15]

Deprem Yer Hareket Düzeylerinin ve Bölgesel Zemin Sınıfının Seçilmesi

E-devlet sitesi üzerinden kimlik bilgileri ile girilen afad sistemine menüden seçilen binanın konumu için koordinatlara git menüsü **Şekil 4**'deki gibi kullanılır. Raporlama menüsünden raporun başlığını, depremin yer hareketi düzeyini, yerel zeminin sınıfını, ondalık derece cinsinden seçilen enlem ve boylam değereri girilerek yada haritadan seçilerek değerleri hesapla butonuna tıklanır ve rapor oluşturulur.



Şekil 4 TDTH İnteraktif Web Uygulaması Veri Girişi [14]

Girdiler;

- Kartal bölgesinde seçilen mevcut okul konumunun koordinatları; E : 40.886753°, B: 29.208126°
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi olarak DD-1 (50 sene boyunca aşılma olasılığının yüzde 2 [yani tekrarlanma peryodunun 2475 yıl olduğu]) alınmıştır.
- Bölgesel Zemin Sınıfı "ZD" seçilmiştir.

Çıktılar;

Deprem yer hareketi spektrumları yukarıdaki girdilere göre % 5 sönüm oranı kullanarak tanımlanmıştır. Yerel Zemin Etki Katsayılarını belirlerken enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır.

- S_S = 1.901, S_1 = 0.537, PGA= 0.753, PGV= 47.400

Spektral İvme Katsayıların Hesaplanması

Web uygulamasından elde edilen harita spektral ivme katsayıları yönetmelikte belirlenen tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülmüştür. Yerel zemin sınıfı ZD kullanılarak kısa ve 1 saniye periyot bölgeleri için zemin etki katsayısına karşılık gelen tasarım spektral ivme katsayıları **Denklem (2.1)** ve **Denklem (2.2)** kullanılarak bulunmuştur.

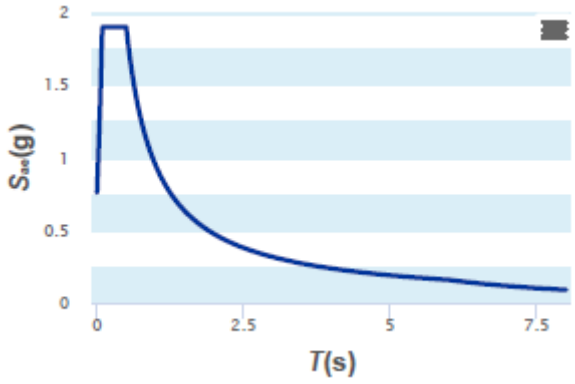
$$S_{DS} = S_S \times F_S = 1{,}901 \times 1 = 1{,}901 \quad (2.1)$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0{,}537 \times 1{,}763 = 0{,}947 \quad (2.2)$$

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Elde Edilmesi

TDTH interaktif web uygulamasından elde edilen köşe periyotları şu şekildedir;

- $T_{A=}$ 0,100 (s), T_B= 0,498(s), $T_{L=}$ 6,000 (s)

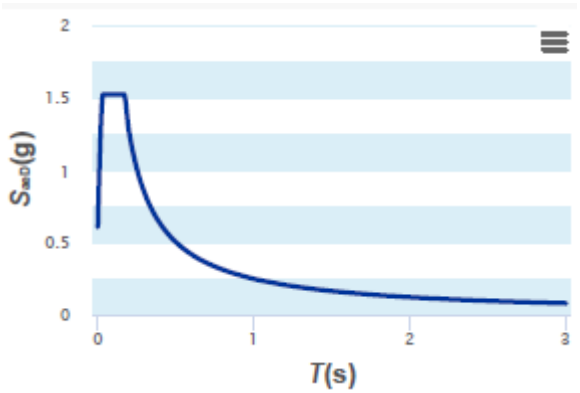


Şekil 5 Kartal Okul Binasının Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Elde Edilmesi

TDTH interaktif web uygulamasından elde edilen köşe periyotları şu şekildedir;

- $T_{AD=}$ 0,033 (s), T_{BD}= 0,166 (s), $T_{LD=}$ 3,000 (s)



Şekil 6 Kartal Okul Binasının Düşeydeki Elastik Tasarım Spektrumu

Yapının Kullanım Sınıfının ve Önem Katsayısının Bulunması

Mevcut bina okul yapısının kullanım hedefi deprem sonrasında kullanılması kullanan kişilerin uzun zaman aralığında ve yoğunlukla bulunduğu binaların sınıfında olduğu için BKS=1 alınmıştır ve bu değerle örtüşen önem katsayısı I= 1,5 olarak yönetmelikteki Tablo 3.1'den belirlenmiştir.

Bina Deprem Tasarımı Sınıfının Belirlenmesi

Binanın deprem tasarımının sınıfı belirlenirken kullanım sınıfı olan BKS=1, DD-2'ye ve S_{DS}'ye göre seçilecektir.Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı yukarıdaki bölümde hesaplanmış ve değeri $S_{DS:}$ 1,901 olarak belirlenmiştir. Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı $0,75 \leq S_{DS=}1,901$ ve BKS=1 koşulunu sağladığı için yönetmelik Tablo 3.2'den Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)=1a olarak belirlenmiştir.

Binanın Yüksekliğinin Belirlenmesi ve Sınıflandırılması

Mevcut yapı 3 katlıdır ve her kat için mevcut yükseklik 4 m'dir. H_N=12 m Bina Yüksekliği bina tabanından ölçüçülerek belirlenmiştir. Bina tabanı ise temel üst kotu olarak tanımlanmıştır.

Yönetmelik Tablo 3.3'den H_N=12 ve DTS=1a koşullarını sağlayan bina yükseklik sınıfı BYS=6 olarak belirlenmiştir.

Sismik Etki Altında Yapının Performansının Hedefi Belirlenmesi ve Yapıya Etki Ettirilecek Tasarım Yaklaşımı Belirlenmesi

TBDY 2018'e göre DGT ve ŞGDT olmak üzere iki tasarım seçeneği karşımıza çıkmaktadır. Yönetmelik bu tasarımları belirlerken binanın yeni olup olmaması, yalıtımlı bina olup olmaması ve yüksek bina olup olmaması gibi durumları göz önüne alarak bir seçim yaptırıyor. Sünek davranış gösteren, yani elastik bölgede olup, sonra iç kuvveti koruyarak şekil değiştirmeyi gösterebilen elemanlar için, yönetmelikte iç kuvvet şekildeğiştirme durumlarına göre performans düzeyleri belirlenir. Gevrek davranışta ise depreme dayanıklı yapı tasarımında göçmeyi önlemek gereklidir.

Mevcut okul binasının verileri olan deprem yer düzeyi hareketi DD-1 ve deprem dayanım sınıfı 1a değerleri yönetmelikteki Tablo 3.4 içerisinde karşılaştırıldığında, mevcut bina için ileri performans hedefi KH yani kontrollü hasar ve değerlendirme yaklaşımı ŞGDT yani şekil değiştirmeye göre tasarım olarak belirlenmiştir.

Seçilen Ham Deprem Kayıtları

Aktif deprem bölgesinde yer alan ülkemizde son zamanlarda oluşan depremler nedeniyle meydana gelen ağır hasar ve can kayıpları, depreme dayanıklı yapı tasarımının ne denli öneme sahip olduğunu bir kez daha gözler önüne sermektedir. Mevcut bina İstanbul'un Kartal ilçesinde yer aldığından ve bu bölge yüksek risk altında olmasından kaynaklı yüksek ölçekte deprem kayıtları seçilmiştir. Yüksek ölçekte ham deprem verileri, hem Türkiye, hem de Dünya'nın çeşitli bölgelerinden olmak üzere 11 adet deprem kayıt çifti, yani toplamda 22 deprem kaydı seçilmiştir.



Düzce Depremi [15]



Kobe Depremi [16]



Darfield Depremi [17]



Landers Depremi [18]

Şekil 7 Seçilen Depremlerde Oluşan Bazı Hasarlar

Şekil 7'de seçilen depremlerin bazılarının gerçekleştikten sonra çekilen fotoğraflarında büyük depremlerde karşılaşılabilecek durumlar görülmektedir. Mevcut yapının bu ölçekteki depremlere vereceği tepki incelenmek istenmiştir.

Kullanılan kayıt çiftleri PEER NGA –West 2 [19] veri tabanından seçilmiştir. Tüm kayıtlar ilgili depremlerin yatay bileşenleridir. Belirlenen tek ivme kaydına ait iki adet yatay bileşen seçilmiştir. Fay mekanizması olarak yanal atımlı ve ters atımlı olmak üzere iki tür üzerinde yoğunlaşılmıştır. Seçilen deprem kayıtları ve mevcut binanın zemin koşulları değerlendirmeye tabi tutulmamıştır. 22 adet deprem kaydının özellikleri **Tablo 2**'de belirtilmiştir.

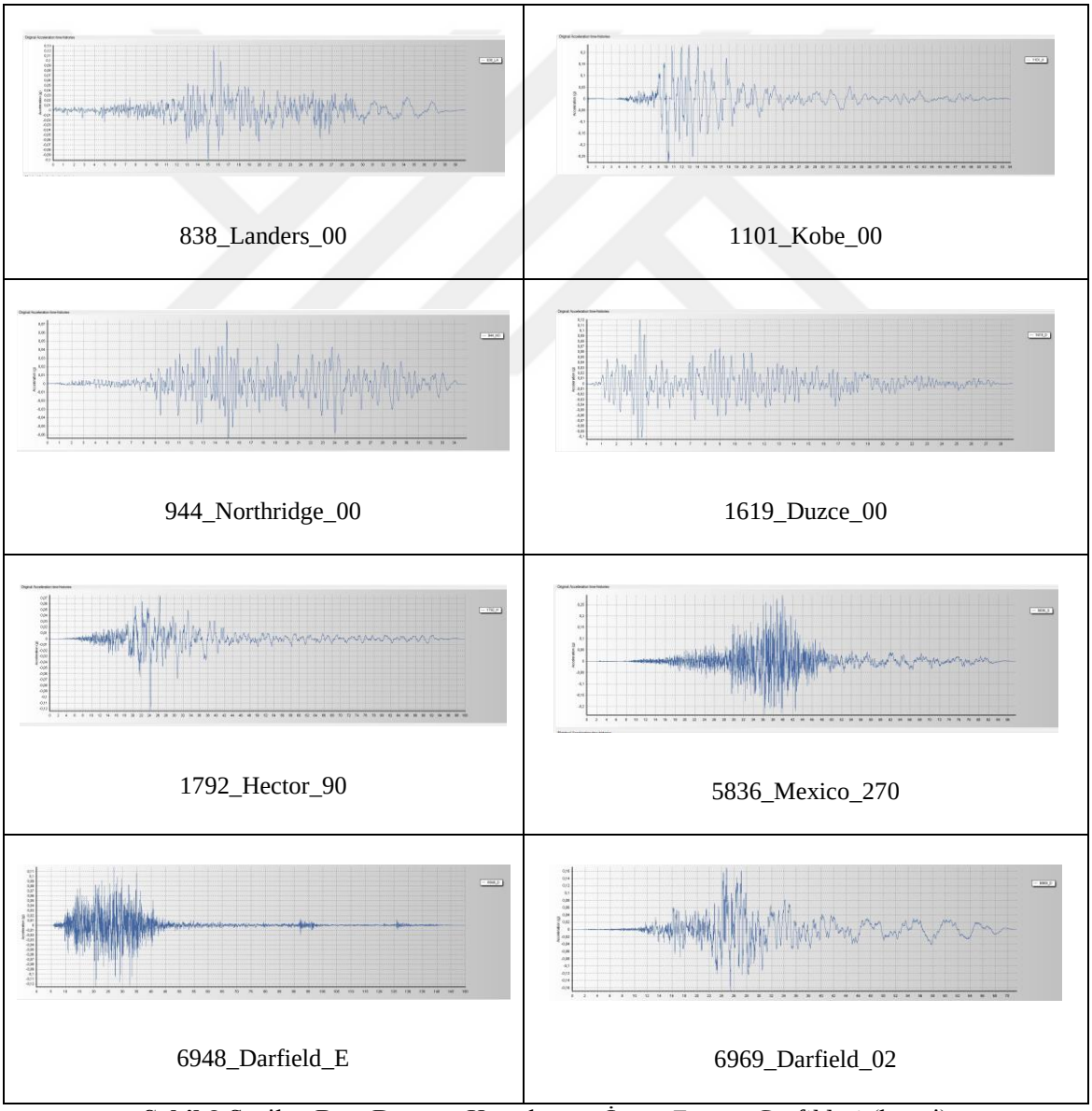
Tablo 2 Seçilen Depremremlerin Verileri

No	Peer Kayıt No	Deprem	Moment Büyüklüğü	Fay Mekan-izması	t (sn)	Δt (sn)	En Yakın Uzaklık (km)	Zemin (vs30) (m/s)	İstasyon	Bileşen (H1)	Bileşen (H2)
1	0838	Landers (1992)	7,28	Yanal Atımlı	39,96	0,02	34,86	370	Barstow	BRS000	BRS090
2	944	Northridge (1994)	6,69	Ters Atımlı	35,19	0,01	67,8	269	Anaheim - W Ball Rd	WBA000	WBA090
3	946	Northridge (1994)	6,69	Ters Atımlı	28,4	0,02	50,4	572	Antelope Buttes	ATB000	ATB090
4	1101	Kobe, Japan (1995)	6,90	Yanal Atımlı	53,98	0,01	11,34	256	Amagasaki	AMA000	AMA090
5	1614	Duzce (1999)	7,10	Yanal Atımlı	42,31	0,01	11,46	481	Lamont 1061	1061-N	1061-E
6	1616	Duzce (1999)	7,10	Yanal Atımlı	43,14	0,01	23,41	517	Lamont 362	365-N	365-E
7	1619	Duzce (1999)	7,10	Yanal Atımlı	21,575	0,005	34,3	535	Mudurnu	MDR000	MDR090
8	1792	Hector Mine (1999)	7,13	Yanal Atımlı	59,95	0,02	41,81	383	Amboy	ABY090	ABY360
9	5836	El Mayor-Cuc. Mexico (2010)	7,20	Yanal Atımlı	87,485	0,005	29	265	Metoland Geot. Array	EMO360	EMO270
10	6948	Darfield, New Zealand (2010)	7,00	Yanal Atımlı	64,66	0,02	30,63	482	OZS	OXZE	OXZN
11	6969	Darfield, New Zealand (2010)	7,00	Yanal Atımlı	71,43	0,005	20,86	247	Styx Mill. Transfer St.	SMTCN88V	SMTCS20W

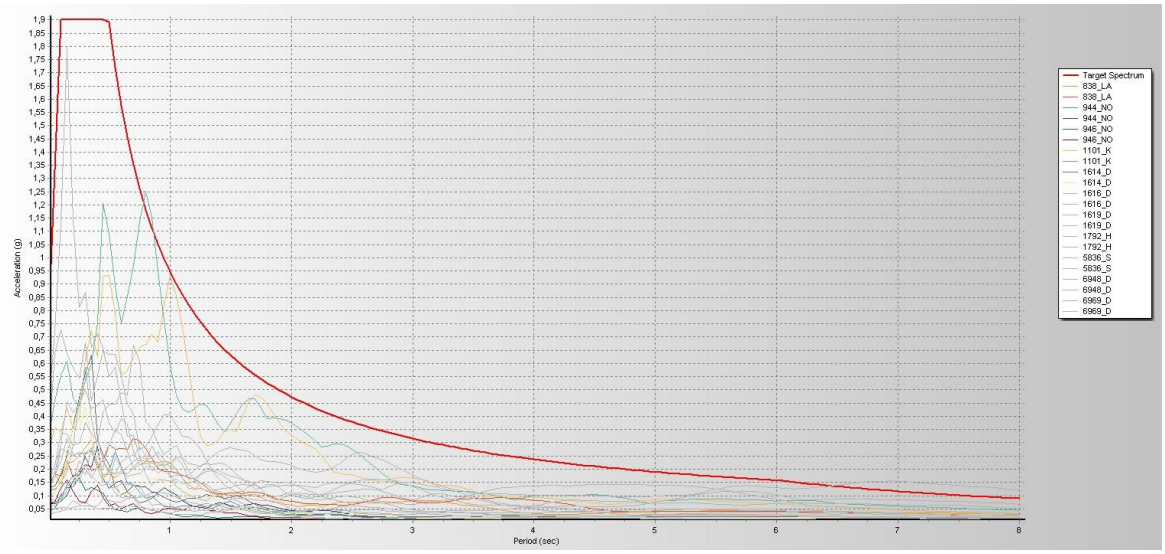
Seçilen depremler sırasıyla; Landers (1992), Northridge (1994), Kobe (1995), Düzce (1999), Hector Mine (1999), El Mayor-Cucapah (2010) ve Darfield (2010) depremleridir. **Şekil 8**'de ilgili depremlerin bazılarının ivme-zaman grafikleri paylaşılmıştır. Bu kayıtlar için herhangi bir işlem yapılmamış olup ham verilerdir. İvme zaman serisi kayıtlarının birimleri "g" yani yerçekimi ivmesidir. Tek bir depremin

yapıya her iki yönden etki ettirilmesi için ilgili depremlerin her iki yatay bileşen kayıtları da kullanılmıştır. TBDY 2018'de üç boyutlu hesalaplama yaparken minimum onbir adet kayıt seçilmesi ve tek bir deprem için en fazla üç kayıt sayısının ise maksimum üç adet seçilmesi şeklinde sınırlama getirdiği için kayıtlar bu kısıtlamaya göre seçilmiştir.

Ölçeklendirme ve eşleştirme işlemleri yapılmadan önceki tüm kayıtların hedef spektrum ile ilişkisi **Şekil 9**'de gösterilmiştir. 22 adet ivme kaydının hedef spektrumun altında kaldığı görülmektedir. Daha sonra bu kayıtlar ilgili parametreler kullanılarak hedef spektrumla eşleştrilecektir.



Şekil 8 Seçilen Bazı Deprem Kayıtlarının İvme-Zaman Grafikleri (kısmi)



Şekil 9 Ölçeklendirme İşleminden Önce Tüm İvme Kayıtları ve Hedef Spektrumun İvme-Periyot Grafiği

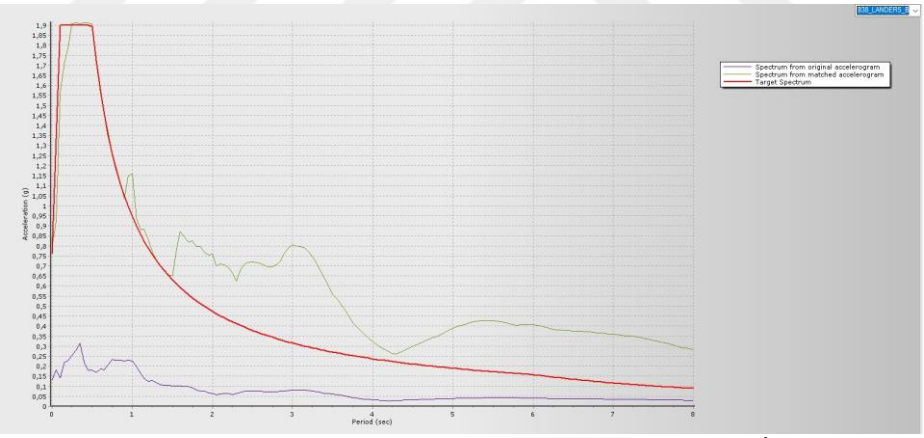
Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları

Seçilen ivme kayıtlarını, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanabilmek için, tasarım spektrumuna uyumlu hale getirilip, ölçeklendirilmesi gerekir. Ölçeklendirme çalışması için önce ETABS programı kullanılmıştır. Fakat tek bir ivme kaydı yüklenmesi için çok uzun süre almıştır. Aynı süreç yüklenen ivme kaydının hedef spektruma göre ölçeklendirilip eşleştirilme aşamasında da fazlaca süre aldığından ve toplamda 22 adet kayıt çifti olduğundan dolayı daha hızlı işlem yapılacak bir program tercih edilmiştir. Seçilen kayıtların ölçeklendirilip tasarım spektrumuna uyumlu hale getirilmesi için SeismoMatch programı kullanılmış ve çok hızlı sonuç elde edilmiştir.

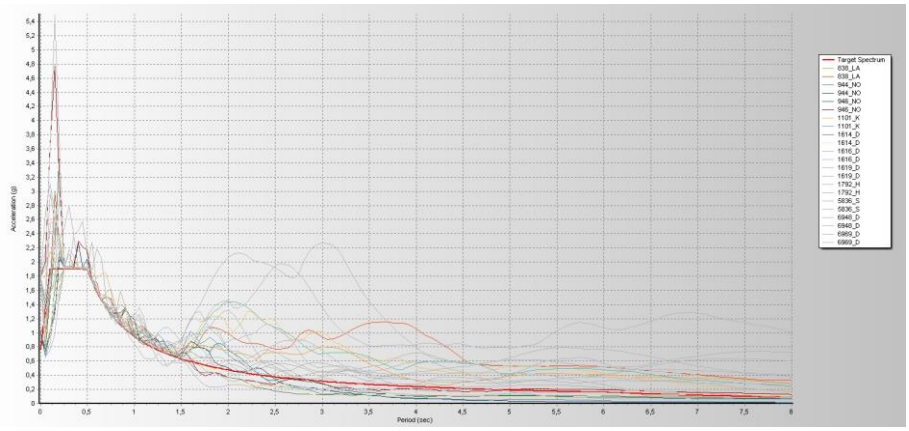
SeismoMatch yazılımı SeismoSoft'un yazdığı alt programlardan birisidir. Birden fazla deprem kaydının, ivme, hız ve yer değiştirme değerlerinin, hedef spektruma göre ölçeklendirme ve uyuşturulmasını sağlar. İlgili işlemlerin yapıldıktan sonra karşılaştırılması, çıktı şeklinde sunulması vb. yönden kullanışlı araçlara sahiptir. Hedef spektrumu oluşturmak için dünyanın çeşitli ülkelerinde kullanılan yönetmeliklerin değerleri program içerisinde entegre halde bulunmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı SeismoMatch yazılımı tercih edilmiştir.

Yönetmelikte belirtilen ölçeklendirmede, üç boyutlu hesaplama yöntemi kullanılırken, seçilen tüm deprem kayıt çiftlerinin her iki yöndeki ivme spektrumlarının bileşkesinin alınıp, bu bileşke spektrumlarının $0,2T_p$ ve $1,5T_p$ periyotları aralığındaki genliklerinin hesaplanan tasarım spektrumun aynı aralığına denk gelen genliklerine oranının 1,3'den küçük olmaması gereklidir. İlgili değerler SeismoMatch programına girilerek ölçeklendirme ve eşleştirme işlemleri tamamlanmıştır.

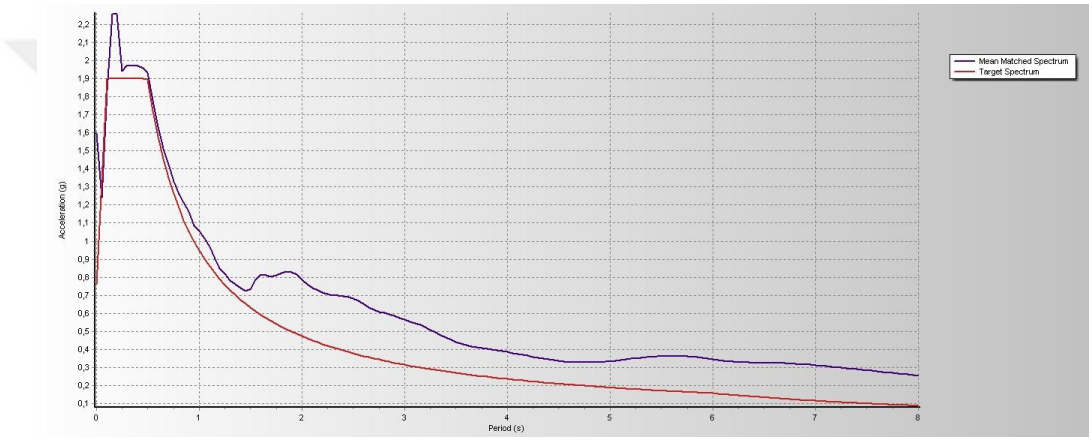
Şekil 10'da Landers Depreminin ham halinin hedef spektrum ile eşlenmiş hali ile ilişkisi gösterilmektedir. Mor olan çizgi ölçeklendirme yapılmamış halini belirtmektedir. Ölçeklendirme işlemi sonrasında (yeşil çizgi) Landers ivme kaydının hedef spektrum (kırmızı çizgi) çizgisiyle eşleştiği görülmektedir. **Şekil 11**'da ise tüm deprem kayıtlarının hedef spektrumla eşleştirilmiş hali gösterilmektedir. **Şekil 12**'de ise 22 kaydın hedef spektrum ile eşleştirilmiş bileşke verilerinin ortalamasının, hedef spektrum ile ilişkisi gösterilmektedir. Bu grafikte TBDY 2018'de belirlenen koşulların sağlandığı gösterilmiştir.



Şekil 10 Landers Depreminin Ham ve Hedef Spektrum ile Eşleştirilmiş İvme-Periyot Grafiği



Şekil 11 Tüm Kayıtların Ölçeklendirme ve Eşleştirme Sonrası İvme-Periyot Grafiği



Şekil 12 Tüm Kayıtların Hedef Spektrum ile Eşleştirilmiş Bileşke Ortalamalarının İvme-Periyot Grafiği

BÖLÜM 3. MEVCUT BETONARME BİNANIN TBDY 2018'E GÖRE PERFORMANS ANALİZİ

Okul binasının gerçekte var olup, depreme göre tasarımının yetersiz olduğu varsayımı üzerine yapı modellenmiştir. Mevcutta bulunan bina varsayımı için taşıyıcı elemanların özellikleri, gerçekte tasarlanan değerlere yakın ölçülerde seçilmiştir. Aks arası açıklıklar okul kullanımına uygun olarak (koridorlar, derslikler vb.) büyük seçilmiştir. Yapının temel kısmı statik ve dinamik açıdan tam yeterlilikte olduğu varsayılarak, yapılan performans analizi zeminden çatı katına kadar olan bölüm için yapılmıştır. Mevcut yapının deprem performans seviyesini düşürmek için betonarme perde kullanılmamıştır.

Doğrusal Olmayan Modelleme

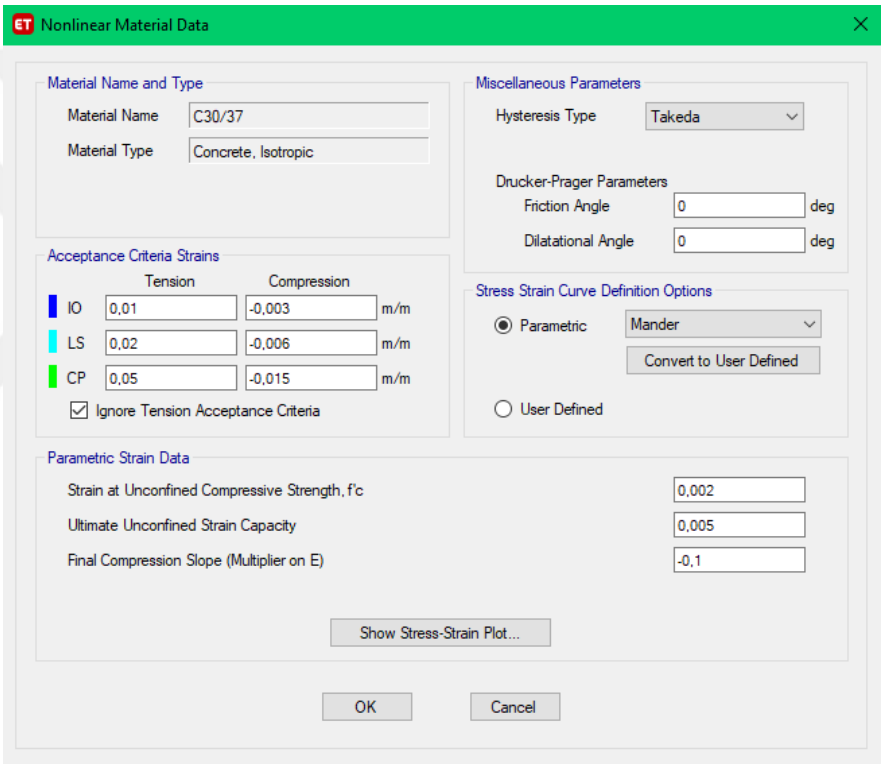
Binanın deprem anındaki gerçeğe yakın davranışını belirleyebilmek için doğrusal olmayan modellemeye ihtiyaç vardır. Doğrusal olmayan analiz üç farklı metod ile yapılabilir. Bu metodlar sırası ile; tek modlu itme analizi, çok modlu itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizdir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, adım adım deprem hareketinin yapıya etki ettirilerek diğer iki metoddan daha gerçekçi olması sebebiyle bu tezde kullanılmıştır.

Davranış modellemesi yaparken dayanıma göre tasarım yerine şekil değiştirmeye göre tasarım daha gerçekçidir. Çünkü yapı elemanlarına herhangi bir azaltma katsayısı kullanmadan bir analiz yapılıp, elemanlarda oluşan şekil değiştirme değerleri ve şekildeğiştirme oranları daha detaylı bir şekilde incelenebilir. Doğrusal modelleme için yapıdaki statik elemanlar yaylı ve yığılı plastik davranış olmak üzere iki ayrı metodla modellenebilir. Bu tez çalışmasında TBDY 2018 baz alınıp, ETABS programı kullanılarak yığılı plastistik davranış ile modelleme yapılmıştır.

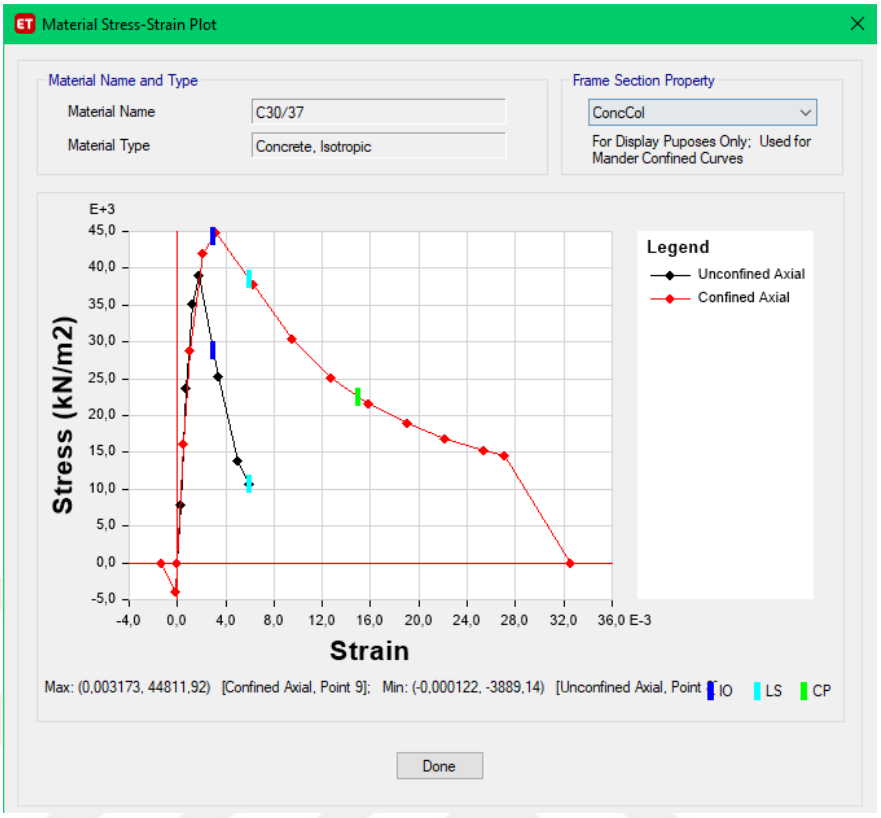
Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri Tanımlanması

Modellemede C30/37 beton sınıfı kullanılmıştır. ETABS programından ilgili betonun doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin verileri **Şekil 13**'de gösterilmiştir. C30/37 beton sınıfının sargılı ve sargısız beton modelini tanımlayan, gerilme

şekildeğiştirme grafiği **Şekil 14**'de gösterilmiştir. Mander sargısız beton modeline göre beton modelini oluşturmak amacı ile "Stress Straing Curve Definition Data" bölümünden "Mander" modeli seçildikten sonra, "Parametric Strain Data" bölümündeki sargısız beton basınç birim uzamasını ifade eden, "Strain at Unconfined Compressive Strength" kısmına "0,002" değeri girilmiş olup, sargısız maksimum beton basınç birim uzama değerini ifade eden "Ultimate Unconfined Strain Capacity" değerine ise "0,005" değeri girilmiştir. Bu değerler TBDY 2018'deki sargısız beton modelini tanımlayan Ek 5A kısmından alınmıştır. Beton için akma malzeme dayanımı yerine %30 artırılmış beklenen malzeme dayanımı kullanılmıştır.

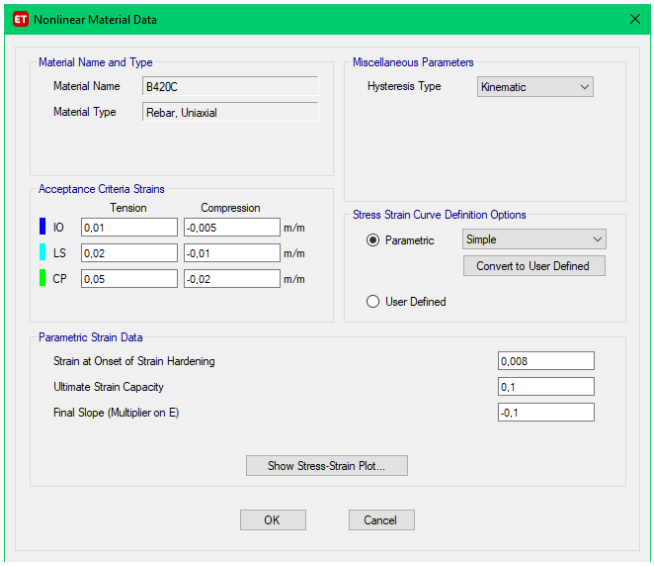


Şekil 13 C30/37 Beton Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri

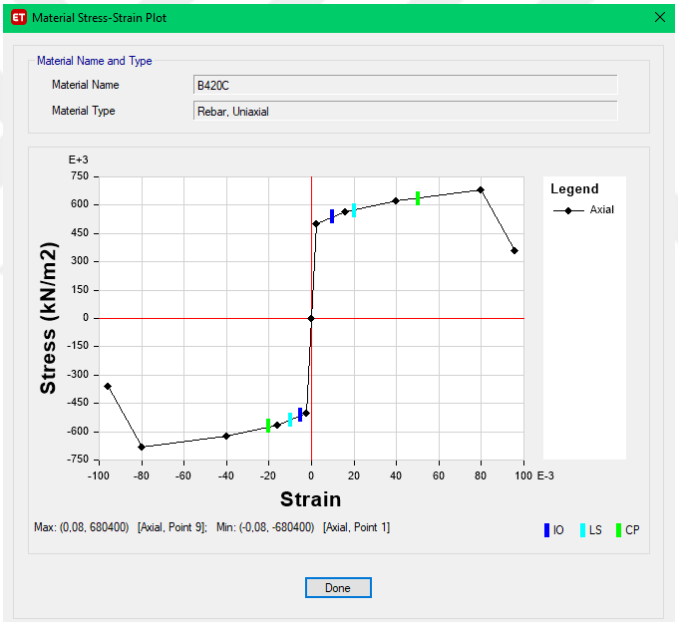


Şekil 14 C30/37 Betonu Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği

Modellemede B420C betonarme çeliği kullanılmıştır. ETABS programından ilgili çelik sınıfının doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin verileri **Şekil 15**'te gösterilmiştir. B420C çelik sınıfı için programda kullanılan davranış modeli ise **Şekil 16**'da gösterilmiştir. Doğrusal olmayan yöntemle şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılması amacıyla TBDY 2018'deki Ek 5A kısmındaki donatı çeliği modeline ait bilgiler kullanılmıştır. Bu sebep ile "Parametric Strain Data" kısmında yer alan, gerinim sertleşmesini ifade eden "Strain Onset of Strain Hardening" kısmına "0,008" değeri girlmiştir. Maksimum gerinim kapasitesini ifade eden "Ultimate Strain Capacity" kısmına "0,1" değeri girilmiştir. Betonarme çeliği için akma malzeme dayanımı yerine %20 artırılmış beklenen malzeme dayanımı kullanılmıştır.

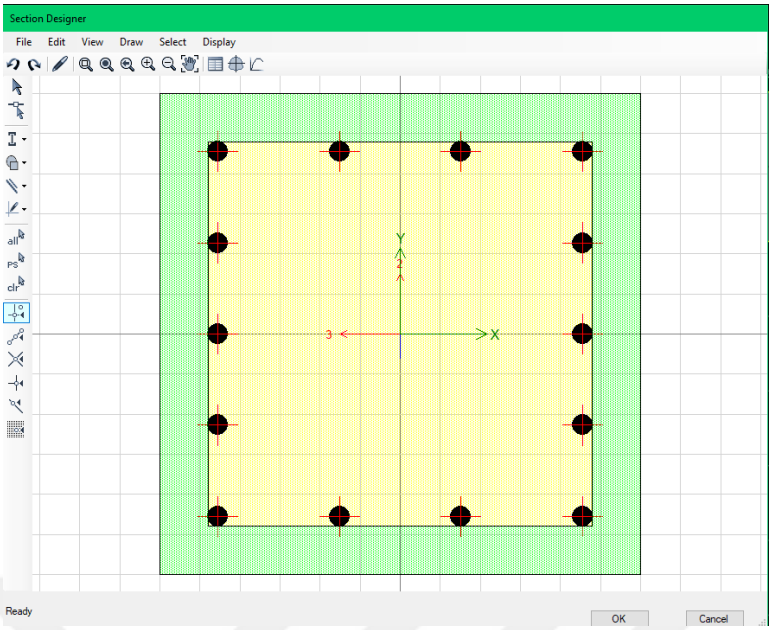


Şekil 15 B420C Donatı Çeliği Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri

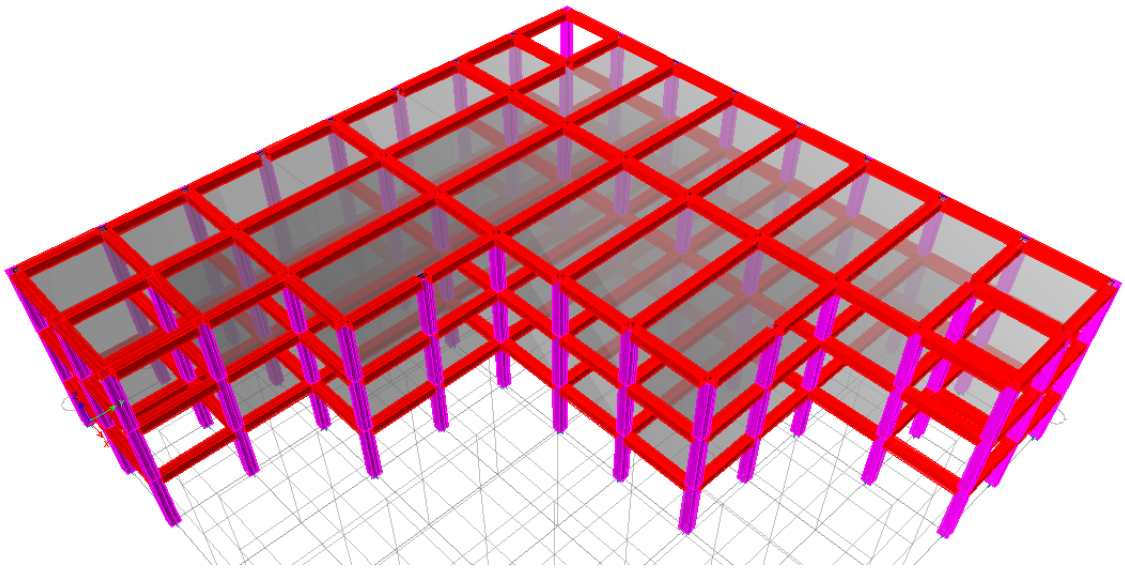


Şekil 16 B420C Donatı Çeliği Birim Uzama Grafiği

Kolon ve kirişler için "Section Designer" menüsü kullanılarak **Şekil 17**'deki gibi 60x60 cm boyutlarına görekesit tanımlaması yapılmıştır. Bu tanımlamada Mander Sargısız Beton Modeli uygulanmıştır. Döşemeler ise 20 cm kalınlığında membran olarak modellenmiştir. Döşemelere ölü yük kendi ölü yüklerine ek olarak kaplama yükü adı altında 2,5 kN/m², hareketli yük adı altında 5 kN/m² düzgün yayılı yükler atanmıştır. Binanın ETABS programında oluşturulan üç boyutu modeli **Şekil 18**'deki gibidir.



Şekil 17 Kolon ve Kiriş Elamanları İçin Kesit Modellenmesi



Şekil 18 ETABS'da Modellenen Binanın 3D görüntüsü

Betonarme Kolon ve Kiriş Elemanları İçin Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları Uygulanması

Kolon ve kirişlerlerin uçlarına plastik mafsal atanacağı için ve bu uçlar ile plastik mafsallar arasındaki kısımın yığılı plastik davranış olarak modellenmesi için ilgili bölgelere etkin kesit rijitliği uygulanacaktır. Etkin kesit rijitliği belirlemek için **Denklem (3.1) ve (3.2)**'de yer alan kesit akma momenti ve kesit akma eğriliğine

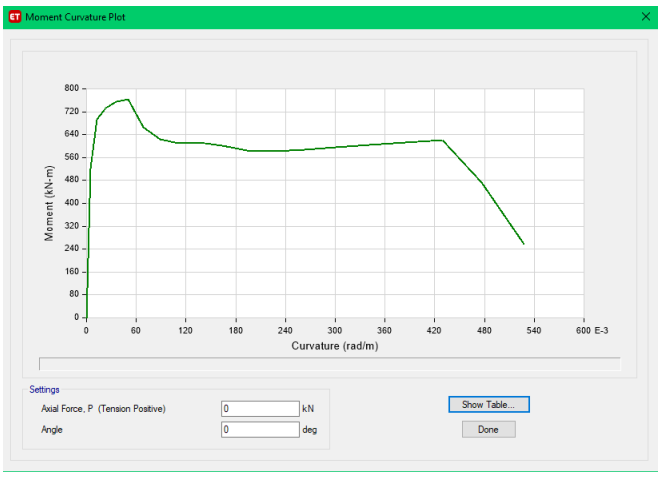
ihtiyaç vardır. Etkin kesit rijitliği belirlemede kullanılacak moment ve eğrilik değerleri için **Şekil 17**'de "Display > Moment-Curvature Curve" menüsüne tıklandığında "Moment-Curvature Plot" penceresi açılır. Bu menüde ilgili kesite gelen eksenel yük ve ve ilgili kesitin açı değerleri girilerek moment eğrilik grafiği **Şekil 18**'daki gibi elde edilir.

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y}\frac{L_s}{3} \tag{3.1}$$

Denklem (3.1)'de yer alan M_y değeri kolon ve kiriş uç noktalaraına tanımlanan plastik mafsal etkin akma momentini belirtir. θ_y değeri kolon ve kiriş uç noktalaraına tanımlanan plastik mafsal etkin akma dönmelerinin ortalamasını belirtir. Ls değeri tanımlanan kesit için momentin kesme kuvvetine oranını yani kesme açıklığını ifade eder. θ_y değerini belirlemek için **Denklem (3.2)** kullanılır.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta\left(1 + 1.5\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \tag{3.2}$$

Denklem (3.1)'de yer alan L_s kolon kesit uzunluğunun yani net açıklığın yarısıdır. η değeri kolon ve kirişlerde "1", perdelerde "0," alınmaktadır. h değeri betonarme kesit yüksekliğini ifade etmektedir. d_b değeri kolon kesitindeki ortalama boyuna donatı çapını ifade etmektedir. f_{ce} değeri betonun beklenen basınç dayanımını *ve* f_{ye} değeri betonarme çeliğinin ortalama akma dayanımını ifade etmektedir.



Şekil 19 Kesit İçin Moment Eğrilik Grafiği Çizdirilmesi

Burada moment taşıma kapasitesini eksenel yük belirlediği için eksenel yük değeri ve açı değerleri girilip, "Show Table" butonu tıklandığında, moment ve eğrilik değerlerini program, tablo şeklinde 20 nokta için "Φ_u" ve "Mu" değerlerini **Şekil 20**'deki gibi vermektedir. ETABS programındaki section designer menüsünde akma momenti "M_y" ve akma eğriliği yani "Φ_y" değerleri gösterilmemektedir. Bu değerleri elde etmek için aynı kesit özellikleri Sap2000 programında tanımlanarak, idealleştirilmiş Caltrans modelinden elde edilen "Φ_u" ve "Mu" yani göçme öncesi akma ve moment değerleri ile "Φ_y" ve "M_y" değerleri arasındaki oran, ETABS programındaki "Φ_u" ve "Mu" değerlerine enterpolasyon yöntemi ile uygulanmıştır. **Tablo 3**'de yer alan eksenel yükler **Şekil 19**'daki "Axial Force, P" bölümünde, başına "-" işareti eklenip girilerek, "Angle" kısmında da "0" ve "90" derece değerlerine ait kat kolonları için moment-eğrilik grafiği çizdirilmiştir. Kirişler için eksenel yük kısmı doldurulmadan "0" ve "180" derece değerlerine ait kat kirişleri içinde moment-eğrilik grafikleri çizdirilmiştir.

Moment Curvature Data"

	Point	Moment kN-m	Curvature rad/m
▶	1	0	0
	2	521,9304	0,005
	3	692,8933	0,013
	4	732,9725	0,023
	5	755,5833	0,035
	6	764,3404	0,05
	7	666,1278	0,068
	8	622,9674	0,088
	9	609,3078	0,111
	10	612,2724	0,136
	11	602,6737	0,164
	12	584,628	0,194
	13	581,892	0,227
	14	587,5164	0,262
	15	594,6547	0,3
	16	602,9523	0,341
	17	612,2071	0,384
	18	622,2275	0,429
	19	473,1772	0,477
	20	257,8961	0,527

1 / 20

Şekil 20 Oluşturulan Kesitin Moment Eğrilik Değerleri

Tablo 3 Kolonlara Etkiyen Eksenel Yük Değerleri

Z.KAT				
Story	Column	Output Case	Station	P
			m	kN
Story1	C1	G+0.6Q	0	-216
Story1	C2	G+0.6Q	0	-487
Story1	C3	G+0.6Q	0	-1059
Story1	C4	G+0.6Q	0	-1077
Story1	C5	G+0.6Q	0	-1074
Story1	C6	G+0.6Q	0	-1078
Story1	C7	G+0.6Q	0	-1076
Story1	C8	G+0.6Q	0	-672
Story1	C9	G+0.6Q	0	-402
Story1	C10	G+0.6Q	0	-481
Story1	C11	G+0.6Q	0	-677
Story1	C12	G+0.6Q	0	-596
Story1	C13	G+0.6Q	0	-697
Story1	C14	G+0.6Q	0	-596
Story1	C15	G+0.6Q	0	-680
Story1	C16	G+0.6Q	0	-657
Story1	C17	G+0.6Q	0	-411
Story1	C18	G+0.6Q	0	-1575
Story1	C19	G+0.6Q	0	-1995
Story1	C20	G+0.6Q	0	-2030
Story1	C21	G+0.6Q	0	-2038
Story1	C22	G+0.6Q	0	-2021
Story1	C23	G+0.6Q	0	-1405
Story1	C24	G+0.6Q	0	-500
Story1	C25	G+0.6Q	0	-225
Story1	C26	G+0.6Q	0	-548
Story1	C27	G+0.6Q	0	-428
Story1	C28	G+0.6Q	0	-1063
Story1	C29	G+0.6Q	0	-1083
Story1	C30	G+0.6Q	0	-1393
Story1	C31	G+0.6Q	0	-548
Story1	C32	G+0.6Q	0	-431
Story1	C35	G+0.6Q	0	-225
Story1	C36	G+0.6Q	0	-481
Story1	C37	G+0.6Q	0	-1363
Story1	C38	G+0.6Q	0	-425
Story1	C39	G+0.6Q	0	-1989
Story1	C40	G+0.6Q	0	-1985
Story1	C41	G+0.6Q	0	-1556
Story1	C42	G+0.6Q	0	-791
Story1	C43	G+0.6Q	0	-864
Story1	C44	G+0.6Q	0	-842
Story1	C45	G+0.6Q	0	-489

1.KAT				
Story	Column	Output Case	Station	P
			m	kN
Story2	C1	G+0.6Q	0	-144
Story2	C2	G+0.6Q	0	-326
Story2	C3	G+0.6Q	0	-703
Story2	C4	G+0.6Q	0	-718
Story2	C5	G+0.6Q	0	-715
Story2	C6	G+0.6Q	0	-718
Story2	C7	G+0.6Q	0	-716
Story2	C8	G+0.6Q	0	-449
Story2	C9	G+0.6Q	0	-268
Story2	C10	G+0.6Q	0	-321
Story2	C11	G+0.6Q	0	-453
Story2	C12	G+0.6Q	0	-399
Story2	C13	G+0.6Q	0	-468
Story2	C14	G+0.6Q	0	-399
Story2	C15	G+0.6Q	0	-456
Story2	C16	G+0.6Q	0	-438
Story2	C17	G+0.6Q	0	-275
Story2	C18	G+0.6Q	0	-1047
Story2	C19	G+0.6Q	0	-1329
Story2	C20	G+0.6Q	0	-1354
Story2	C21	G+0.6Q	0	-1360
Story2	C22	G+0.6Q	0	-1347
Story2	C23	G+0.6Q	0	-934
Story2	C24	G+0.6Q	0	-337
Story2	C25	G+0.6Q	0	-151
Story2	C26	G+0.6Q	0	-368
Story2	C27	G+0.6Q	0	-287
Story2	C28	G+0.6Q	0	-706
Story2	C29	G+0.6Q	0	-723
Story2	C30	G+0.6Q	0	-928
Story2	C31	G+0.6Q	0	-368
Story2	C32	G+0.6Q	0	-289
Story2	C35	G+0.6Q	0	-150
Story2	C36	G+0.6Q	0	-320
Story2	C37	G+0.6Q	0	-905
Story2	C38	G+0.6Q	0	-286
Story2	C39	G+0.6Q	0	-1325
Story2	C40	G+0.6Q	0	-1319
Story2	C41	G+0.6Q	0	-1033
Story2	C42	G+0.6Q	0	-529
Story2	C43	G+0.6Q	0	-574
Story2	C44	G+0.6Q	0	-560
Story2	C45	G+0.6Q	0	-326

2.KAT				
Story	Column	Output Case	Station	P
			m	kN
Story3	C1	G+0.6Q	0	-69
Story3	C2	G+0.6Q	0	-161
Story3	C3	G+0.6Q	0	-347
Story3	C4	G+0.6Q	0	-354
Story3	C5	G+0.6Q	0	-352
Story3	C6	G+0.6Q	0	-354
Story3	C7	G+0.6Q	0	-354
Story3	C8	G+0.6Q	0	-222
Story3	C9	G+0.6Q	0	-131
Story3	C10	G+0.6Q	0	-160
Story3	C11	G+0.6Q	0	-224
Story3	C12	G+0.6Q	0	-200
Story3	C13	G+0.6Q	0	-231
Story3	C14	G+0.6Q	0	-200
Story3	C15	G+0.6Q	0	-225
Story3	C16	G+0.6Q	0	-218
Story3	C17	G+0.6Q	0	-134
Story3	C18	G+0.6Q	0	-530
Story3	C19	G+0.6Q	0	-670
Story3	C20	G+0.6Q	0	-686
Story3	C21	G+0.6Q	0	-691
Story3	C22	G+0.6Q	0	-685
Story3	C23	G+0.6Q	0	-478
Story3	C24	G+0.6Q	0	-165
Story3	C25	G+0.6Q	0	-72
Story3	C26	G+0.6Q	0	-178
Story3	C27	G+0.6Q	0	-139
Story3	C28	G+0.6Q	0	-349
Story3	C29	G+0.6Q	0	-355
Story3	C30	G+0.6Q	0	-468
Story3	C31	G+0.6Q	0	-178
Story3	C32	G+0.6Q	0	-141
Story3	C35	G+0.6Q	0	-73
Story3	C36	G+0.6Q	0	-162
Story3	C37	G+0.6Q	0	-460
Story3	C38	G+0.6Q	0	-134
Story3	C39	G+0.6Q	0	-666
Story3	C40	G+0.6Q	0	-666
Story3	C41	G+0.6Q	0	-525
Story3	C42	G+0.6Q	0	-263
Story3	C43	G+0.6Q	0	-286
Story3	C44	G+0.6Q	0	-288
Story3	C45	G+0.6Q	0	-165

Kolonlara gelen eksenel yük, moment taşıma kapasitesini doğrudan etkilemektedir. **Şekil 19**'daki "Axial Force, P" kısmına girilecek eksenel yükleri belirlemek için, yapının "G+0,6Q" yük kombinasyonu altında analizi yapılmış ve bu analizin sonucunda her kolona etkiyen eksenel yük değerleri **Tablo 3**'deki gibi elde edilmiştir. Tabloda her katta 43 kolon, toplamda 129 kolon için eksenel yük değerleri verilmiştir. Analiz çıktısında her bir kolonun üst, orta ve alt uçlarına gelen eksenel yük değerleri bulunmaktadır. Tablodaki station sütunundaki "0" değeri kolonun üst ucunu belirtmektedir.

Etkin kesit rijitlik değerlerini tek tek her bir eleman için girmek yerine, hemde güvenli tarafta kalmak adına, her kat için maksimum eksenel yük değeri seçilerek, ilgili kattaki tüm kolonlar için de aynı maksimum değer baz alınarak etkin kesit rijitlikleri hesaplanmıştır. **Tablo 4**'de her bir kat için seçilen maksimum eksenel yük etkisi altındaki Moment ve Eğrilik değerleri, "0" ve "90" dereceleri için yer almaktadır.

Tablo 4 Eksenel Yüklere Göre Hesaplanan Akma Momenti ve Akma Eğriliği Değerleri

		M_y	Φ_y	M_y	Φ_y	M_y	Φ_y
	br	*kN-m*	*rad/m*	*kN-m*	*rad/m*	*kN-m*	*rad/m*
0	°	1000,360	0,00678	885,446	0,00502	703,027	0,00618
90	°	1025,105	0,00660	922,782	0,00741	744,572	0,00817
P	*kN*	-2038,627		-1360,342		-691,448	
		1.KAT		**2.KAT**		**3.KAT**	

Bulunan akma momenti ve akma eğriliği değerleri **Denklem (3.1) ve (3.2)**'de kullanılarak **Tablo 5 ve 6**'daki gibi etki kesit rijitlikleri hesaplanmıştır. **Tablo 5**'deki "x" ve "y" yönleri "0" ve "90" derece açıları referans alınarak diğer değerler ilgili sütunlara yazılmıştır. Plastik mafsal akma dönmesi "θy" hesaplandıktan sonra etkin kesit rijitlikleri kolonlar için M2 ve M3 yönlerinde, kirişler için ise M3 yönünde hesaplanmıştır. Kirişlerde etkin kesit rijitlikleri hesaplanırken **Şekil 19**'da "Angle" değerlerine "0" ve "180" derece değerleri için eksenel yük değerleri "Axial Force, P" kısmı "0" kalacak şekilde Moment ve Eğrilik değerleri ETABS'dan alınıp bu değerlerin ortalaması kullanılmıştır. Kirişler mevcut binada 5 m ve 10 m olmak üzere iki farklı açıklığa sahip olduğundan TIP-I ve TIP-II olarak iki sütunda hesaplanmıştır.

Tablo 5 Katlardaki Kolonlar İçin Hesaplanmış Etkin Kesit Rijitlikleri

KOLON ETKİN KESİT RİJİTLİKLERİ HESAPLANMASI

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y}\frac{L_s}{3}$$

$$\theta_y = \frac{\Phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta\left(1 + 1.5\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\Phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}}$$

AÇIKLAMA	BİRİM	1.KAT		2.KAT		3.KAT	
Yön	x/y	x-x	y-y	x-x	y-y	x-x	y-y
Betonarme Kesit	cm	60x60	60x60	60x60	60x60	60x60	60x60
Net Açıklık	m	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
L_s	m	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
η		1	1	1	1	1	1
b	m	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
h	m	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
I	m^4	0,0108	0,0108	0,0108	0,0108	0,0108	0,0108
E	kN/m²	32.000.000	32.000.000	32.000.000	32.000.000	32.000.000	32.000.000
EI	kN.m²/rad	345.600	345.600	345.600	345.600	345.600	345.600
d_b	m	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
f_{ye}	kN/m²	504	504	504	504	504	504
f_{ce}	kN/m²	39	39	39	39	39	39
Φy	rad/m	0,00678	0,00660	0,00502	0,00741	0,00618	0,00817
My	kN.m	1000,3601	1025,1048	885,4464	922,7822	703,0273	744,5722
θ_y	rad	0,00785	0,00770	0,00641	0,00836	0,00736	0,00898
$(EI)_e$	kN.m²/rad	84.995,18	88.779,36	92.116,49	73.570,81	63.702,04	55.255,20
Etkin Kesit Rijitliği	M2	0,24594	-	0,26654	-	0,18432	-
Etkin Kesit Rijitliği	M3	-	0,25688	-	0,21288	-	0,15988

Tablo 6 Katlardaki Kirişler İçin Hesaplanan Etkin Kesit Rijitlikleri

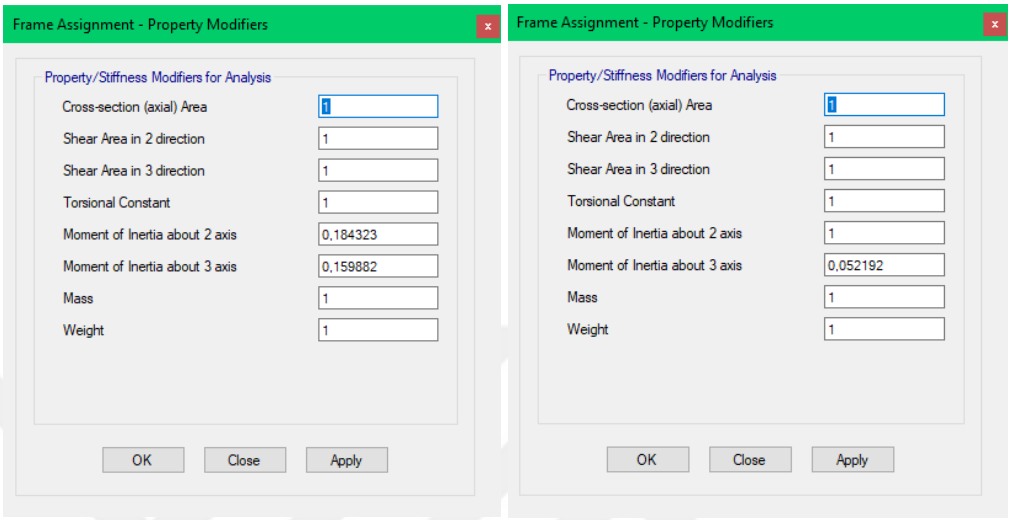
KİRİŞ ETKİN KESİT RİJİTLİKLERİ HESAPLANMASI

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y}\frac{L_s}{3}$$

$$\theta_y = \frac{\Phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta\left(1 + 1.5\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\Phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}}$$

AÇIKLAMA	BİRİM	TIP-I	TIP-II
Yön	x/y	x-x	x-x
Betonarme Kesit	cm	60x60	60x60
Net Açıklık	m	5	10
L_s	m	2,5	5
η		1	1
b	m	0,6	0,6
h	m	0,6	0,6
I	m^4	0,0108	0,0108
E	kN/m²	32.000.000	32.000.000
EI	kN.m²/rad	345.600	345.600
d_b	m	0,2	0,2
f_{ye}	kN/m²	504	504
f_{ce}	kN/m²	39	39
$\Phi_y{}^0(+)$	rad/m	0,00591	0,00591
$\Phi y^{180}(-)$	rad/m	0,00591	0,00591
$\Phi_y{}^{ort}$	rad/m	0,00591	0,00591
$M_y{}^0(+)$	kN.m	408,855	408,855
$M_y{}^{180}(-)$	kN.m	408,855	408,855
$M_y{}^{ort}$	kN.m	408,855	408,855
θy	rad	0,01889	0,02354
$(EI)_e$	kN.m²/rad	18.037,67	28.942,75
Etkin Kesit Rijitliği	M3	0,0522	0,0837

Hesaplanan etkin kesit rijitlikleri ilgili yapı elemanları ETABS programı üzerinde seçilerek "Assign > Frame > Property Modifiers" menüsünden, 129 adet kolon için M2 ve M3 yönlerinde, 195 adet kiriş için M3 yönününde etkin kesit rijitlikleri **Şekil 21'**deki gibi atanmıştır.

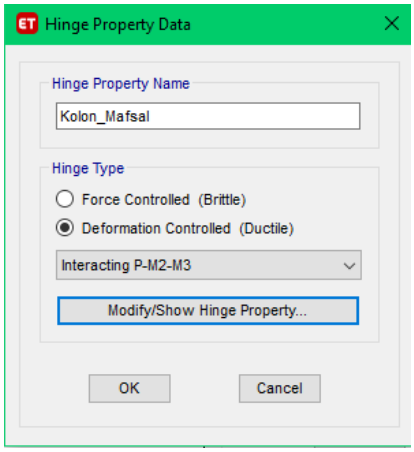


Şekil 21 Programa Girilen Kolon ve Kiriş Etkin Kesit Rijitlikleri

Betonarme Kolon ve Kiriş Elemanları İçin Plastik Mafsal Tanımlanması ve Atanması

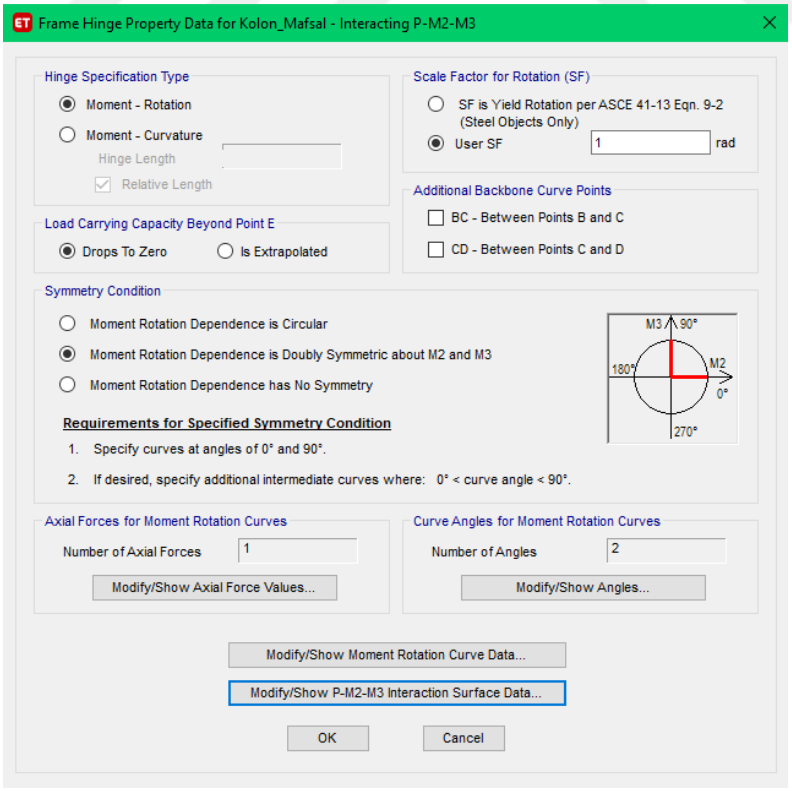
Depremden dolayı meydana gelen momentlerin oluştuğu yapı elemanlarının kesitlerine, plastik mafsalların tanımlanması gerekir. Kolonlarda alt ve üst uçlara, kirişlerde ise sağ ve sol uçlara mafsallar tanımlanmıştır. Kolonlarda M2 ve M3 yönlerinde eğilme momenti mafsalları tanımlanmış, kirişlerde ise sadece M3 yönünde eğilme momenti mafsalı tanımlanmıştır.

Kolonlar için "Define > Section Properties > Frame/Wall Nonlinear Hinges" menüsünden varsayılan olarak "User Defined" seçildikten sonra açılan menüden "Add New Property" seçeneği tıklanarak kolon mafsal tipi **Şekil 22**'deki gibi belirlenmiştir. "Hinge Type" kısmında sünek yani "deformation controlled" seçeneği seçilerek, altında yer alan P, M2 ve M3 yönlerindeki birbirini etkileyen seçeneği seçilmiştir.



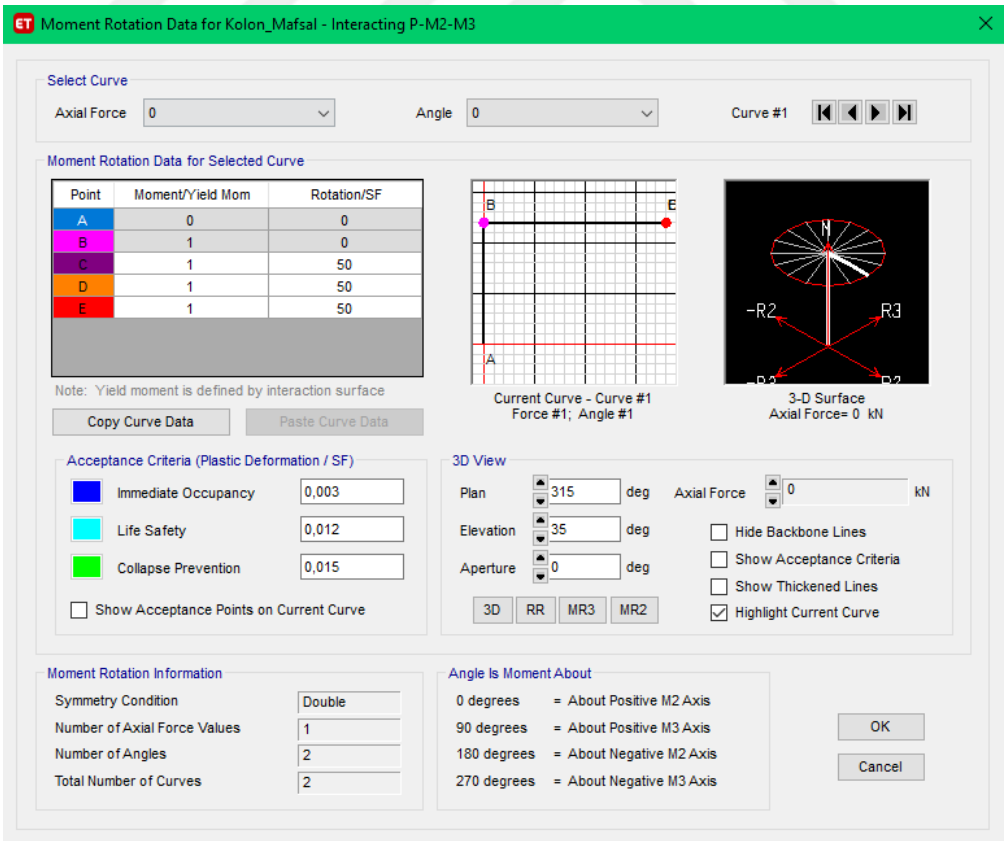
Şekil 22 Kolonlara Atanacak Plastik Mafsal Tipi

Oluşturulan plastik mafsala Moment-Dönme ilişkisini tanımlamak için **Şekil 22**'daki "Modify/Show Hinge Property" butonuna tıklanmıştır. Açılan menüde "Hinge Specification Type" kısmında moment-dönme seçeneği seçilmiştir. Kolonda M2 ve M3 yönlerinde simetrik davranışı belirlemek için "Symmetry Condition" başlığı altındaki ikinci seçenek seçilerek, program yandaki şekildede seçilen seçeneğe göre yönleri kırmızı çizgi ile belirtmektedir.



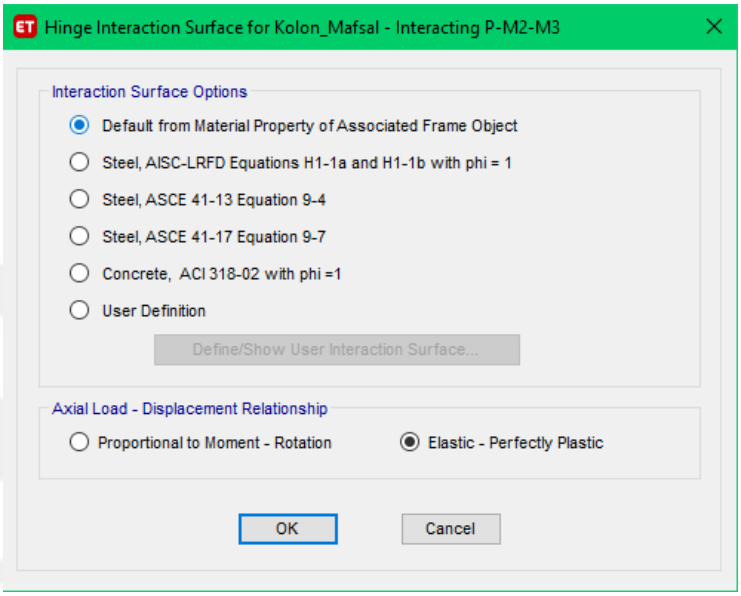
Şekil 23 Kolonlara Atanacak Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi

TBDY 2018 yönetmeliğinde kesitin önce elastik dönme yaptığı sonrasında akma momentine geldiği ve bu sırada plastik dönmenin gerçekleştiği belirtilmektedir. Elastik ve plastik dönme ilişkisinin belirlenmesi için **Şekil 23**'deki "Modify/Show Moment Rotation Curve Data" butonu tıklanır. Açılan menüde **Şekil 24**'de "Moment Rotation Data for Selected Curve" kısmında, A noktası başlangıç noktasını ifade eder, B noktasına kadar elastik davranış gerçekleştiği varsayılır, C noktasında plastik dönme gerçekleşir. D, E ve F noktalarında ise akma gerçekleştikten sonra ek kapasite kullanılmadığı için C noktası ile aynı dönme değerleri girilmiştir. Bu tanımlama analiz öncesinde olduğu için, yani kolon kesitinin analiz anında dönmesinin değeri bilinmediğinden dolayı, Dönme/Akma Dönmesi kısmına büyük bir değer "50" girilerek analizin bulunmak istenen değerde kesilmeden devam etmesi sağlanmıştır. Moment/Akma Momenti oranı ise ek kapasite durumu kullanılmadığı için "1" girilmiştir. "Acceptance Criteria" bölümünde performans hedefleri belirlenip, plastik mafsalın dönme sınırları diagram üzerinde kontrol edilmesi için kullanılabilir. Fakat bu tez kapsamında tüm elemanlardaki plastik dönme sınırları el ile hesaplanmıştır.



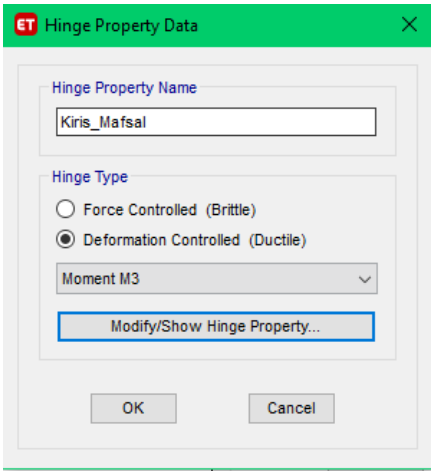
Şekil 24 Kolonlara Atanacak Plastik Mafsalın Moment-Dönme İlişkisinin Belirlenmesi

Eksenel Yük – Moment Eğrileri ilişkisini tanımlamak amacıyla **Şekil 23**'deki "Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data" butonu tıklanarak belirlenir. Açılan menüde **Şekil 24**'deki "Interaction Surface Options" bölümündeki ilk seçenek seçilir. Burada seçilen seçenek, Section Designer menüsündeki tanımlanan kolon kesitindeki (**Şekil 17**) eksenel yük – moment eğrileri etkileşiminin doğrudan elde edilmesini sağlamaktadır.



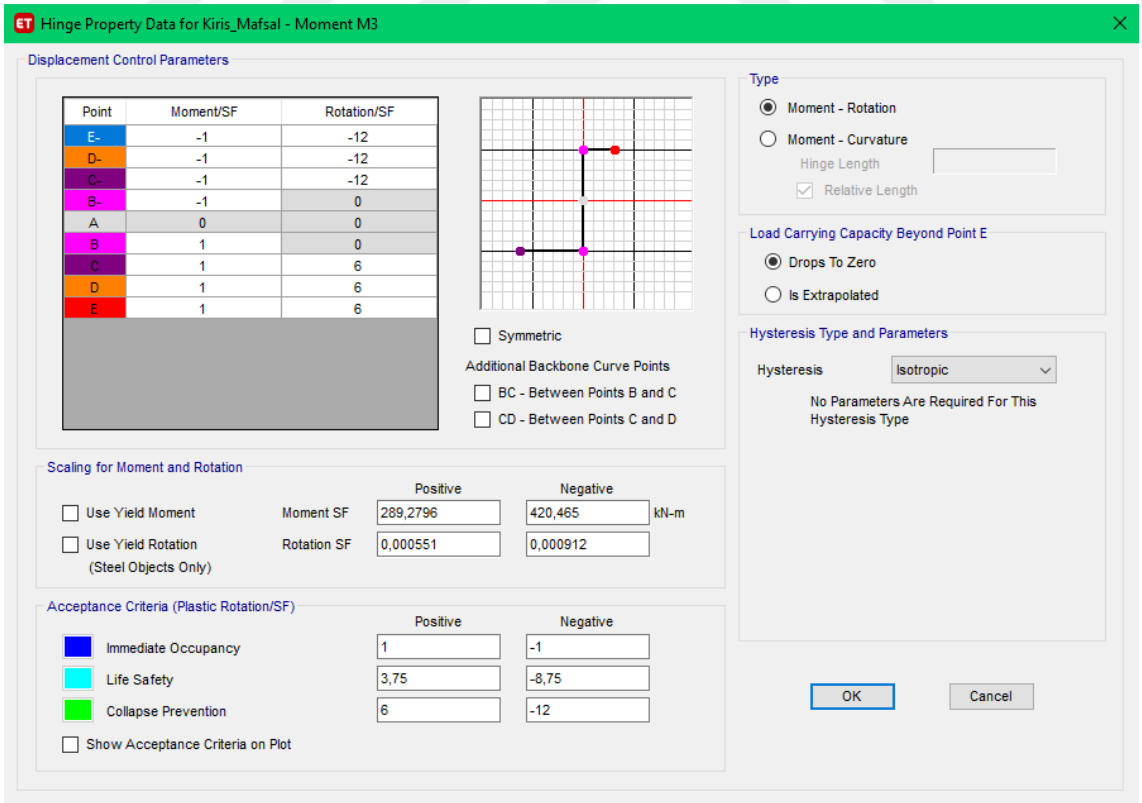
Şekil 25 Kolonlara Atanan Plastik Mafsalın, Eksenel Yük – Moment Eğrileri Etkileşim Yüzeyi Tanımlaması

Kirişler için "Define > Section Properties > Frame/Wall Nonlinear Hinges" menüsünden varsayılan olarak "User Defined" seçildikten sonra açılan menüden "Add New Property" seçeneği tıklanarak kiriş tipi belirlenir. "Hinge Type" kısmında sünek yani "deformation controlled" seçeneği seçilip altında yer alan M3 yönünde birbirini etkileyen seçeneği **Şekil 25**'deki gibi seçilir.



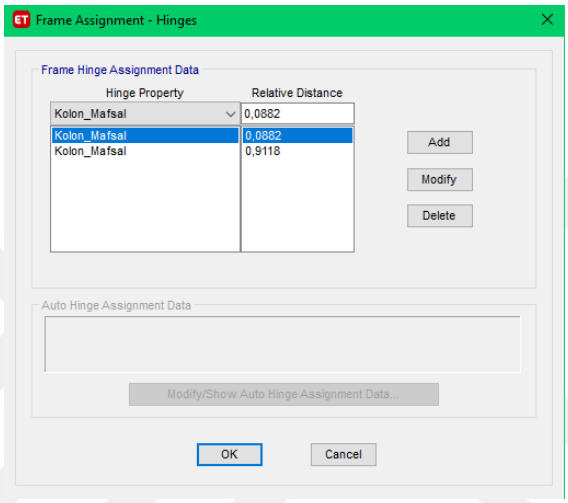
Şekil 26 Kirişlere Atanacak Plastik Mafsal Tipi

"Modify/Show Hinge Property" butonuna tıklandığında **Şekil 26**'daki gibi moment-dönme ilişkisi tanımlanabilir. Bu bölümdeki "Scaling for Moment and Rotation" kısmında yer alan "Moment SF" kısmına Section Designer menüsünden elde ettiğimiz pozitif ve negatif akma momenti değerleri yazılır. "Rotatiton SF" kısmına ise ilgili akma momentine denk gelen akma eğriliği değeri yazılır.



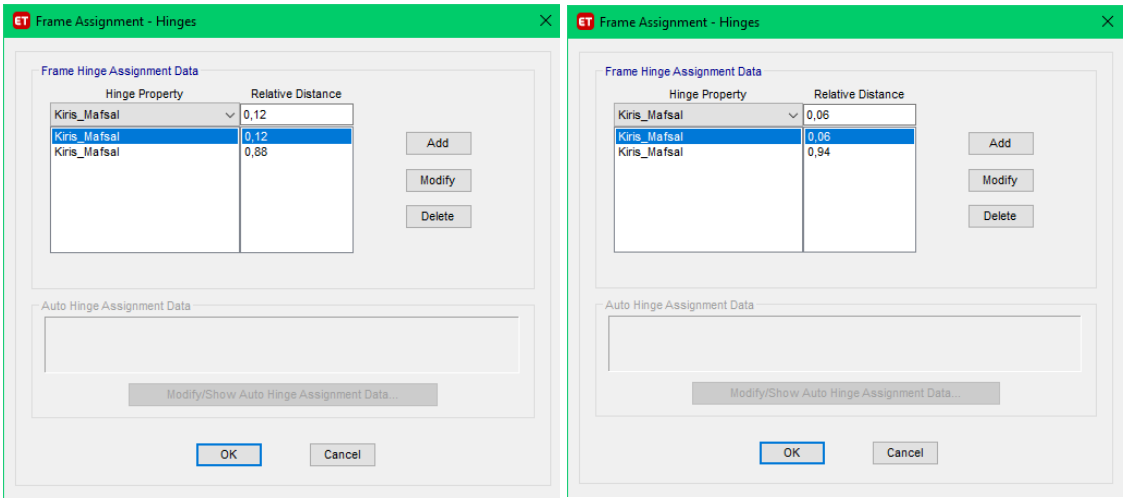
Şekil 27 Kirişlere Atanacak Plastik Mafsalın Moment-Dönme İlişkisinin Belirlenmesi

Kolonların alt ve üst bölgelerine plastik mafsallar **Şekil 28**'deki gibi atanmıştır. TBDY2018'e göre plastik mafsalın boyu kesit yüksekliğinin yarısına eşittir. (L_p=600x½=300 mm). Bu hesaba göre plastik mafsalın mesnet kesitinden uzaklığı 300mm olarak belirlenmiştir. Kolonların boyları tüm yapıda eşit ve net açıklık 3,4 m olduğundan ve mafsalların boyuda 0,3 m olduğundan, plastik mafsal boyunun kolon uzunluğuna oranı 0,088 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre plastik mafsallar kolon yüksekliklerinin 0,088 ve 0,912 katlarına denk gelen uzunluklara atanır.

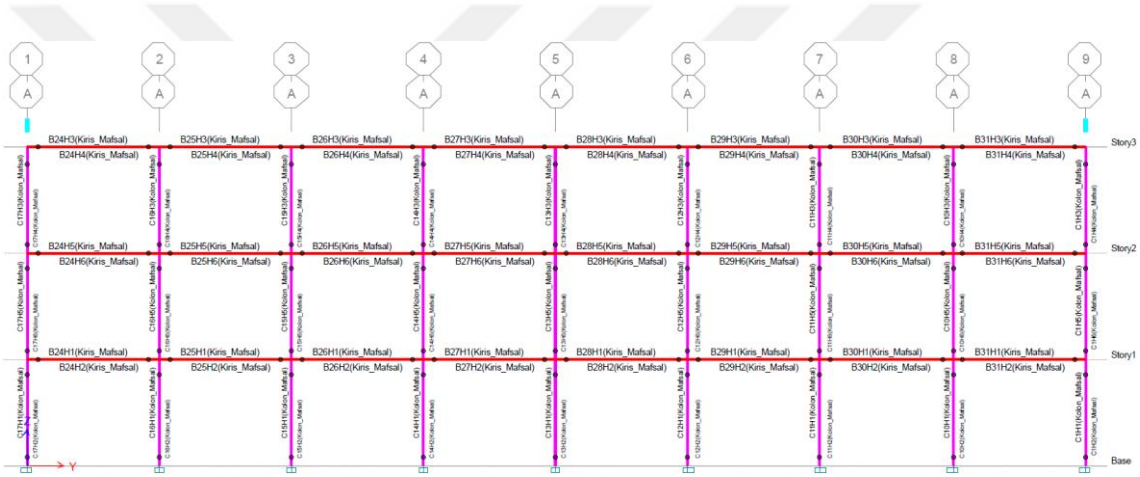


Şekil 28 Kolonlara Plastik Mafsalların Atanması

Kirişlerde plastik mafsalın boyu kesit yüksekliğinin yarısına eşittir. (L_p=600x½=300 mm). Kısa konsol etkisi göz önünde bulundurularak, plastik mafsallar kiriş uçlarında kolon yüzeyinden 300 mm mesafede konumlandırılmıştır. İki adet kiriş tipi bulunmasından dolayı, TIP-I kiriş boyları için net açıklık 5 m ve mafsal konumu 0,6 m olduğundan, plastik mafsal boyunun kiriş uzunluğuna oranı yaklaşık olarak 0,12 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre plastik mafsallar kiriş uzunluklarının yaklaşık olarak 0,12 ve 0,88 katlarına denk gelen uzunluklara atanır. TIP-II kiriş boyları için 10 m ve mafsal konumu 0,6 m olduğundan, plastik mafsal boyunun kiriş uzunluğuna oranı yaklaşık olarak 0,06 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre plastik mafsallar kiriş uzunluklarının yaklaşık olarak 0,06 ve 0,94 katlarına denk gelen uzunluklara atanır. Bu belirlenen özelliklere göre TIP-I ve TIP-II kirişlerine atanan plastik mafsallar **Şekil 29**'daki gibidir. ETABS programında, kolonlarda üst ve alt bölgelerde, kirişlerde ise sağ ve sol bölgelerine atanan plastik mafsalların A aksı tip kesit görünümü **Şekil 30**'da gösterilmiştir.

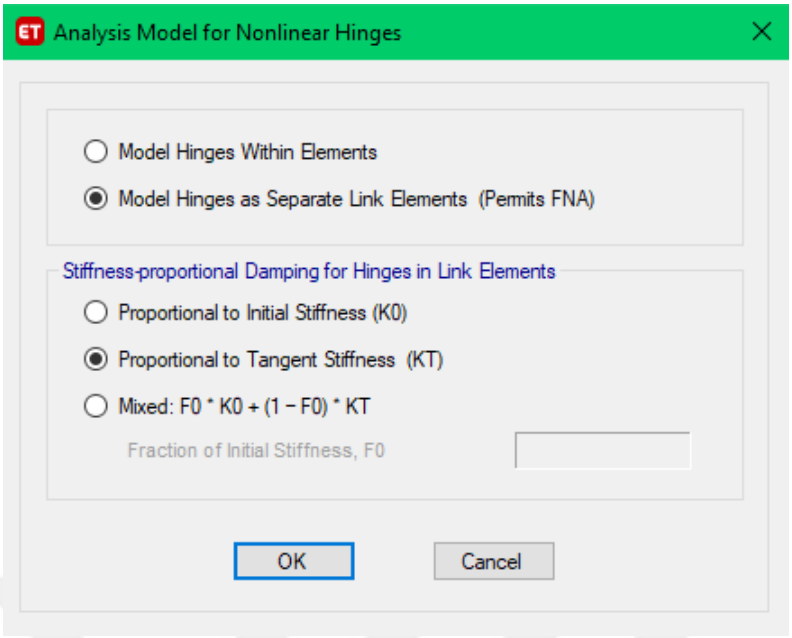


Şekil 29 Kirişlere Plastik Mafsalların Atanması



Şekil 30 ETABS'da Kolon ve Kiriş Uç Noktalarına Atanan Plastik Mafsalların Tip Kesiti

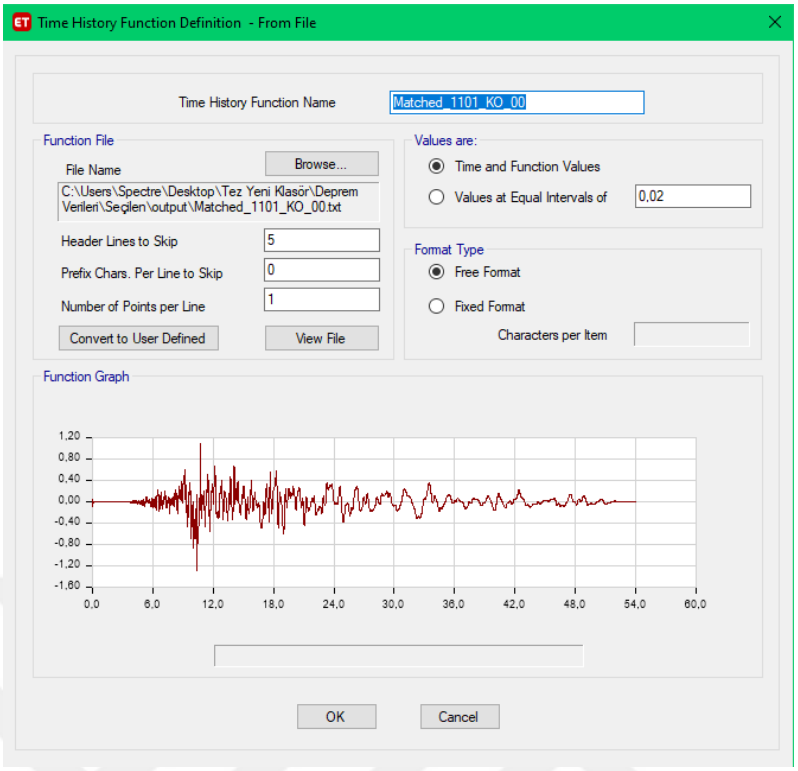
Gerekli tüm plastik mafsallar atandıktan sonra, analiz modelinin doğrusal olmayan mafsal tanımına göre çalışıp çalışmayacağını kontrol etmek için "Analyze > Analys Model for Nonlinear Hinges" menüsüne bakılır. **Şekil 31**'deki açılan menüde ilk kısımda, hızlı doğrusal olmayan analiz modelini uyguladığımız için ve modeldeki mafsalların ayrı bağlantı elemanları olarak baz alınması için ikinci seçenek seçilir. Bağlantı elemanlarının rijitlik bağıntılı sönüm matrisini belirlemek için, hem "Direct Integraton" hemde "FNA" modelinde tanjant rijitliğine bağlı seçeneği yani "proportional to Tangent Stiffness (KT)" seçilir.



Şekil 31 Doğrusal Olmayan Plastik Mafsal Analiz Model Kontrolü

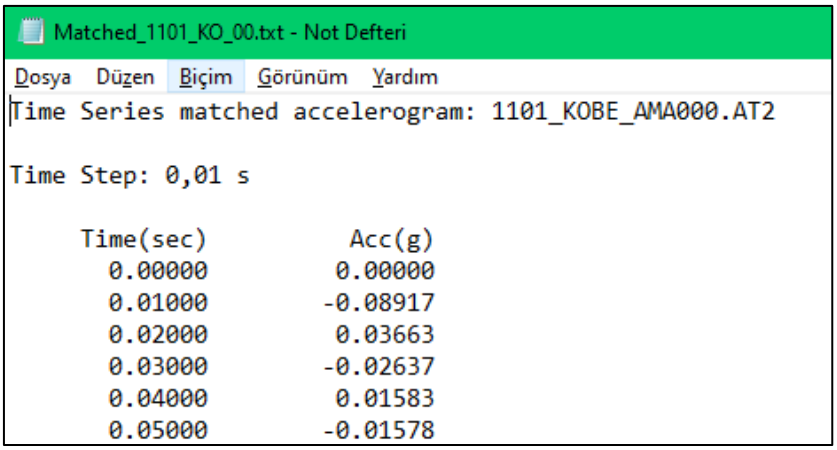
Doğrusal Olmayan Yüklerin Tanımlanması

SeismoMatch programı ile ölçeklendirilen tüm ivme kayıtlarını, ETABS programına aktarırken, Define>Functions>Time History menüsünden "Choose Function Type to Add" > From File seçeneğinden **Şekil 32**'deki gibi yüklemesi yapılır.



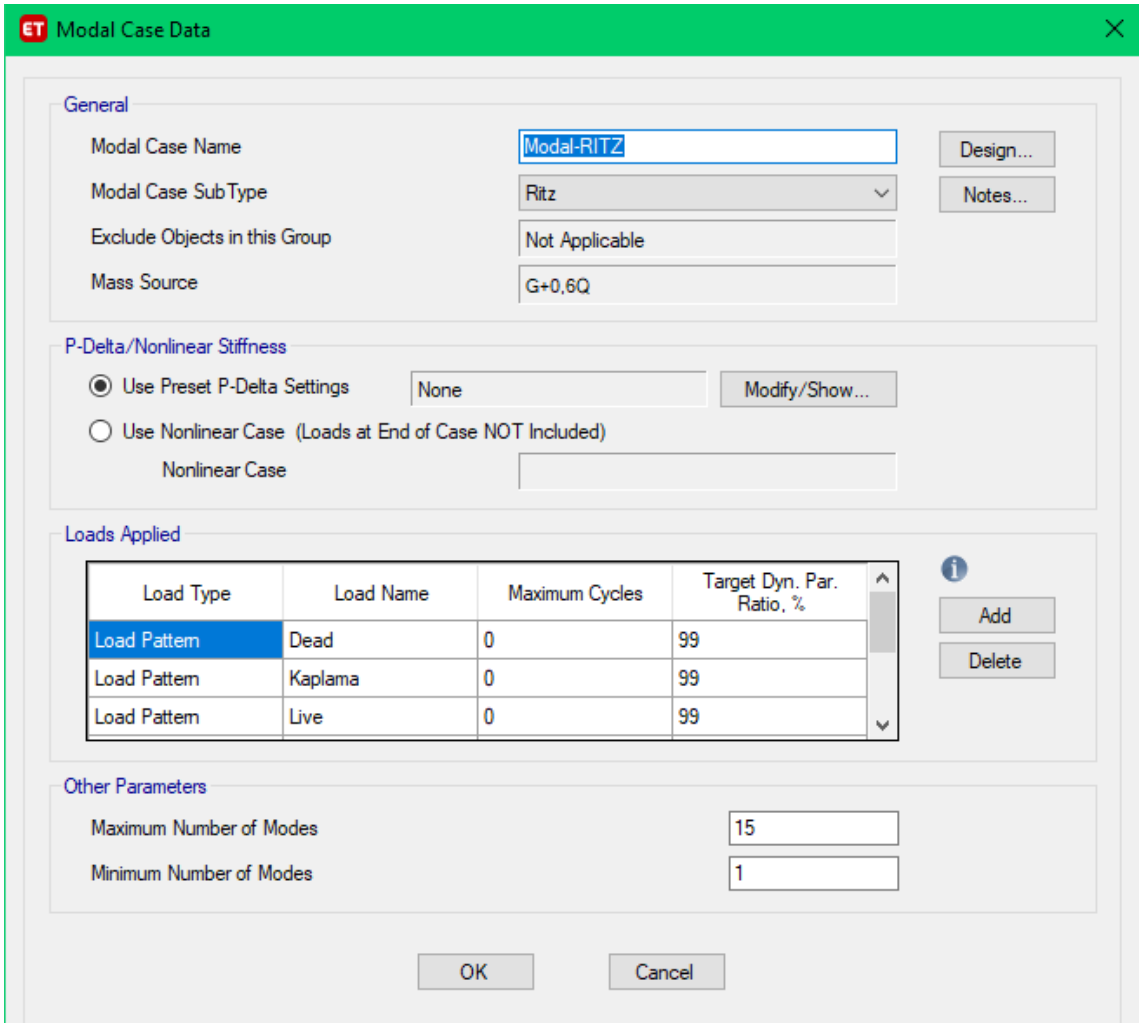
Şekil 32 Eşleştirilmiş Deprem Kayıtlarının ETABS Programına Tanımlanması

Eşleştirilmiş kayıtların programa yüklenmesi aşamasında verilerin doğru tanımlanması çok önemlidir. SeismoMatch programı tarafından eşleştirilen kayıtlar zaman ve ivme değerleri olarak iki sütun halinde programa yüklenmiş olup "Values are:" menüsünden "Time and Function Values" seçeneği aktif edilmiştir. İvme kayıtlarının bulunduğu dosyada programın ivme-zaman grafiğini çizebilmesi için hangi satırların atlanıp, bir satırda kaç verinin bulunduğu "Function File" kısmından belirlenmiştir. Eşleştirilmiş 1101 Peer kayıt numaralı Kobe depreminin 00 bileşeni kayıt dosyasında (**Şekil 33**) ilk 5 satırdan sonra grafik verileri başlıyor, bu sebepten dolayı "Head Lines to Skip" kısmına "5" değeri yazılmıştır. Grafik için gerekli verilerin başladığı satırda ise zaman ve ivme değerleri yer aldığı için "Number of Points Per Line" kısmına "1" değeri girilmiştir.



Şekil 33 Eşleştirilmiş Kobe Depremi 00 Bileşeni İvme Kaydı

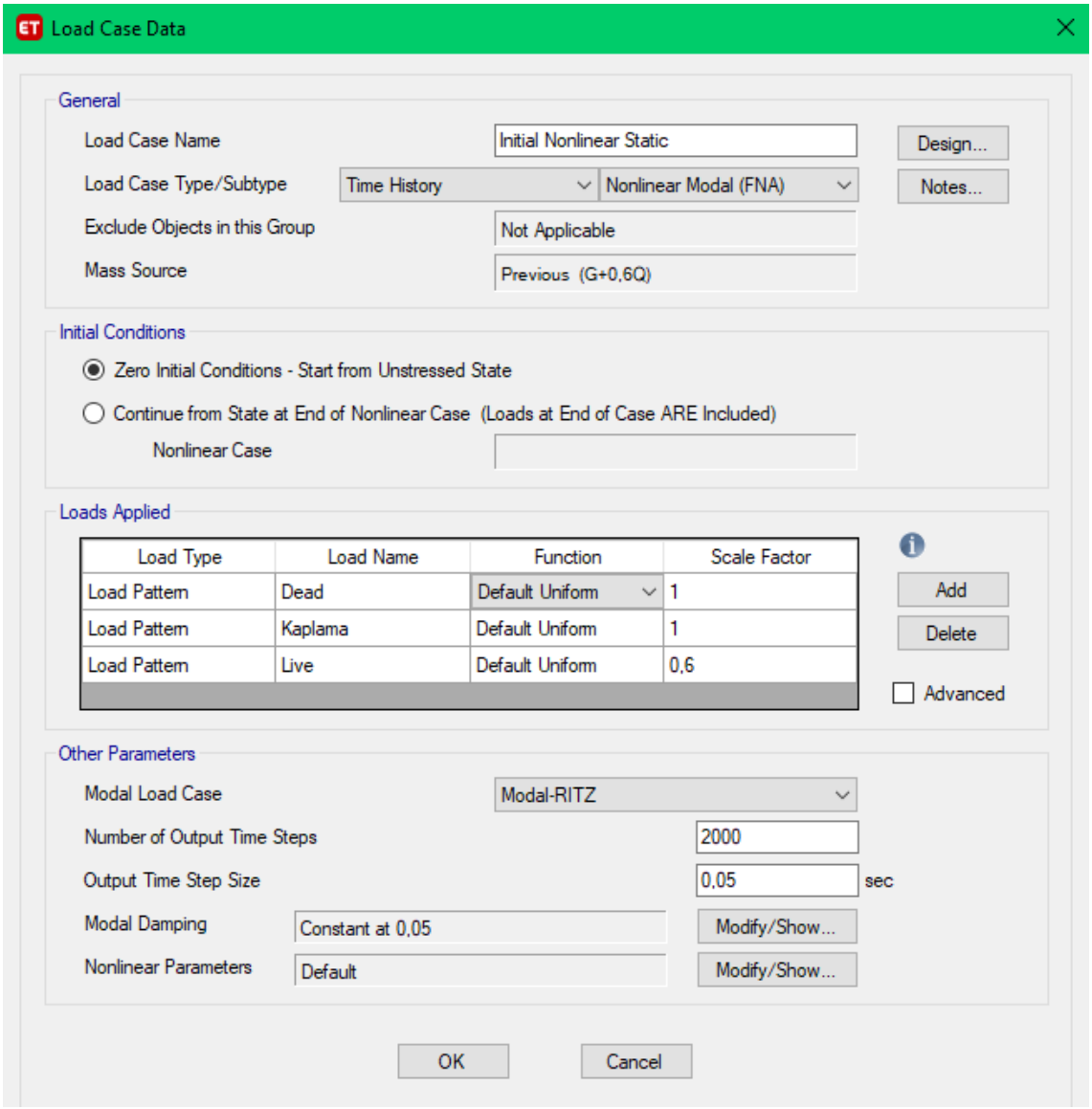
Zaman tanım alanında doğrusal analizin, tüm ivme kayıtları için hızlı bir şekilde sonuç almak amacıyla ve aynı zamanda "Direct Integration" metoduyla çok yakın değerlere sahip bir metod olan, "Nonlinear Modal (FNA)" ile yapılması planlanmıştır. Hızlı doğrusal olmayan analizi gerçekleştirebilmek için ETABS programında yeni modal yük tanımlanması gereklidir. Bunun için "Define > Modal Cases > Add New Case" menüsünden **Şekil 34**'deki gibi yeni modal yük belirlenir. Açılan ekranda "Modal Case Sub Type" bölümünden "Ritz" vektörü seçilir. Daha sonra "Loads Applied" bölümünden "Add" butonu tıklanıp bu vektör tipi kullanılarak uygulanacak yükler belirlenir. Bu yükler; yapıya etkiyecek düşey yükler, her iki yatay doğrultudaki ivme yükleri ve bağlantı elemanı olarak çalıştırılacak plastik mafsal tiplerinin ümünü içeren yüklerdir. Yüklerin hedef katılım oranları, yatay yöndeki ivme değerleri için %95, diğer tüm yükler için %99 olarak tanımlanmıştır. "Other Parameters" kısmındaki "Maximum Number of Modes" kısmına, bina tepkisini kapsayacak şekilde "15" değeri verilmiştir.



Şekil 34 Modal Yüklemenin Ritz Vektörüyle Tanımlanması

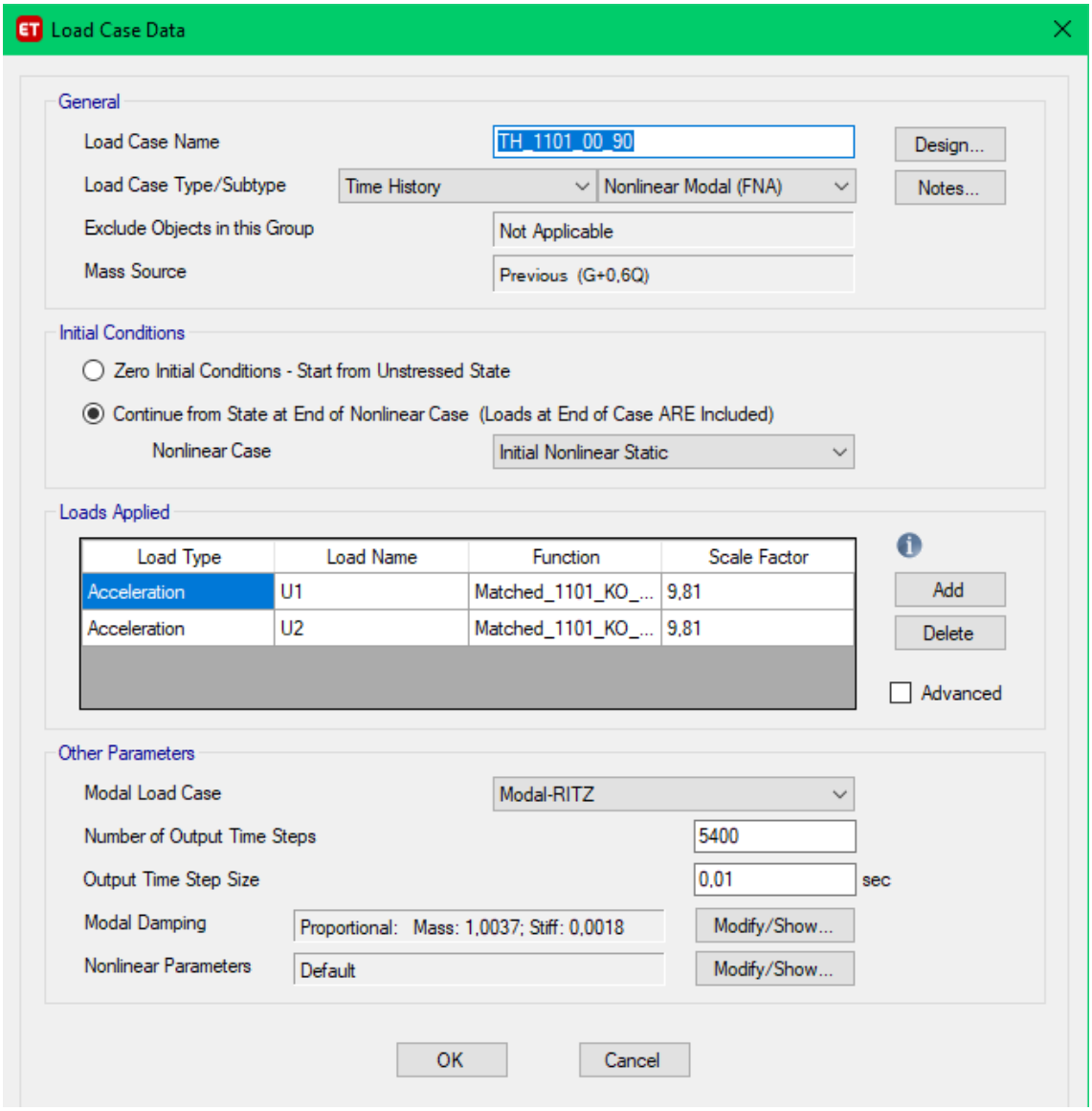
Zaman tanım alanında analiz için düşey yük ayrı bir yükleme olarak tanımlanmıştır. Yapı öncelikli olarak düşey yükler altında yükledikten sonra bu durumun oluşturduğu doğrusal olmayan statik yükleme **Şekil 35**'deki gibi tanımlanır. Uygulanan yükler içerisinde ölü yük direkt olarak etki ettirilirken, hareketli yük mevcut yapı okul binası olduğundan dolayı, hareketli yük kütle katılım sayısı "*n*" 0,6 ile çarpılarak etki ettirilir. Bu yükleme programda "Initial Nonlinear Static" olarak adlandırılmıştır. "Initial Nonlinear Static" yüklemesinin uygulanmasının sebebi; doğrusal olmayan hesap ile yapılacak deprem hesabı öncesinde yatay deprem etkisi haricindeki statik düşey yüklerin mevcut bina taşıyıcı sistemine artımsal olarak uygulanan, doğrusal olmayan statik yüklemedir. Bu yükleme sonucundaki oluşan kuvvet ve şekildeğiştirme verileri yatay deprem hesabına başlangıç koşulu olarak eklenecektir.

Başlangıç koşulundaki doğrusal olmayan statik artımsal yük tanımlarken, bu başlangıç koşulunun yük tipi, ETABS programındaki "Direct Integration" metodunda "Nonlinear Static" olarak seçilirken, bu tezde kullanılan "Nonlinear Modal (FNA)" metdodunda ise yük tipi "Time History" alt yükleme tipi ise yine "Nonlinear Modal (FNA)" olarak seçilmektedir. Bu durum Fast Nonlinear Analysis yöntemini uygulamak için gerekli bir adımdır. Modal yükleme türünü belirlemek için **Şekil 35** 'deki "Other Parameters" menüsü altındaki "Modal Load Case" bölümünde "Modal-RITZ" seçeneği seçilerek, ritz vektörlerine göre modal yükleme durumu belirlenmiştir. Modal sönüm matrisi belirlemek için"Other Parameters" bölümündeki "Modal Damping" kısmında "Modify/Show" butonu tıklanarak sönüm oranı %5 olarak belirlenmiştir. Çıktı zaman adımı büyüklüğünü belirlemek için "Other Parameters" bölümündeki "Output Time Step Size" kısmına, binanın hakip periyotunun onda biri hesaplanarak (0,476*0,1≈0,05) yazılır. Çıktı zaman adımı sayısını da belirlemek için, seçilen tüm depremlerin süresini kapsayacak şekilde, çıktı zaman adımı ile çarpıldığında "100 saniye" değerini vermesi için "Other Parameters" bölümündeki "Number of Output Time Steps" kısmına "2000" değeri girilmiştir.



Şekil 35 Doğrusal Olmayan Düşey Yükleme "Initial Nonlinear Static"

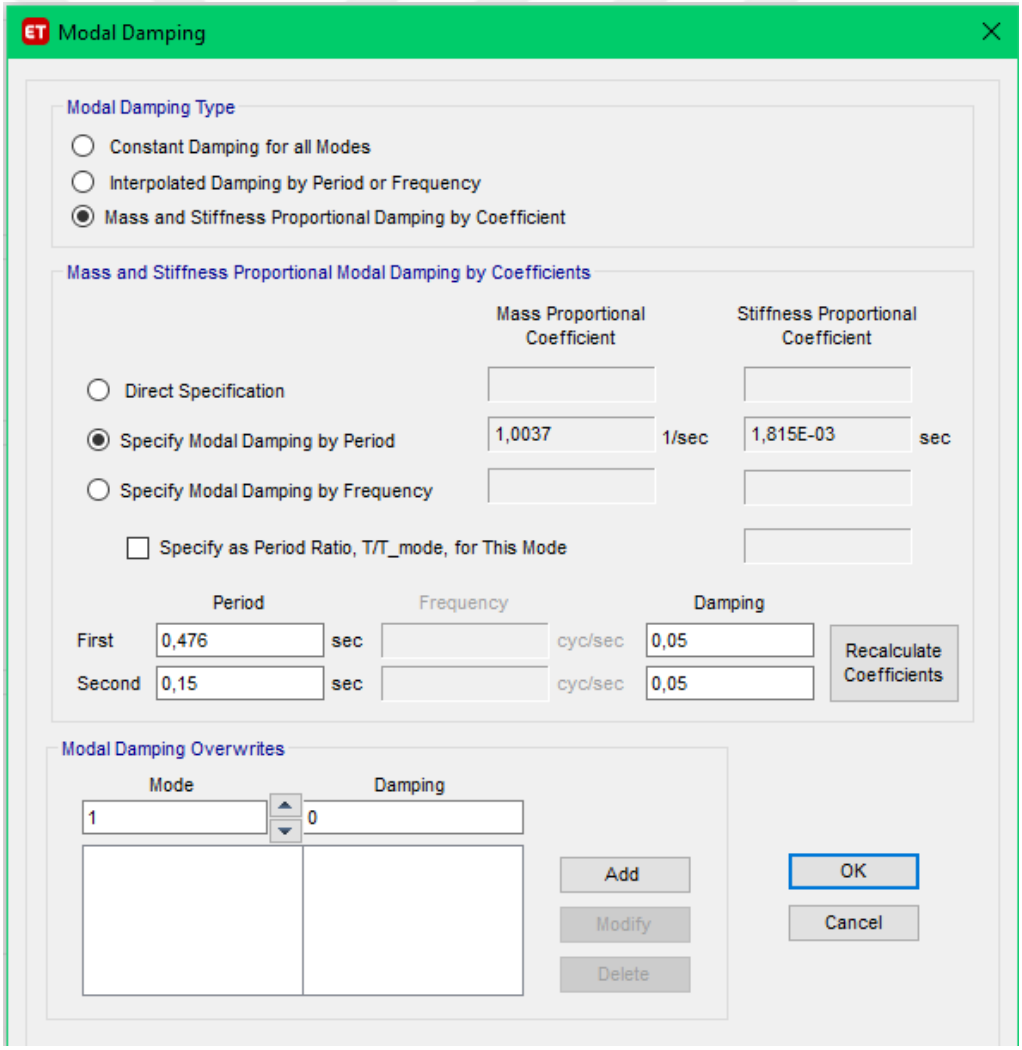
"Initial Nonlinear Static" yüklemesi tanımladıktan sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan yük tanımlaması **Şekil 36**'daki gibi yapılır. Bu yüklemede başlangıç koşulu olarak bir önceki belirlediğimiz "Initial Nonlinear Static" seçilir ve böylece "Initial Nonlinear Static" yüküne dahil edilen yükler, zaman tanım alanında doğrusal olmayan yüklemeye dahil edilir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yüklemede, her bir ivme kaydının iki bileşeni de bu yüklemeye dahil edilir. Seçilen kayıtlarda ivme değerleri "g" yani yer çekimi ivmesi cinsinden olduğu için 9,81 m/s² katsayısı ile çarpılmıştır. Bu yüklemenin zaman adımlarını belirlerken eşleştirilmiş ivme kayıtlarındaki adımlara ve toplam veri sayısına uygun olarak girilmiştir.



Şekil 36 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yük Tanımlama

Yüklemenin zaman tanım alanında analiz olduğunu belirtmek için "Load Case Type" kısmı "Time History" olarak seçilmiş "subtype" kısmı ise "Nonlinear Modal (FNA)" olarak seçilmiştir. Eşleştirilmiş ivme kayıtlarının her iki yatay bileşenleri 90 derece döndürülüp, diğer tüm parametreler aynı kalacak şekilde yeni bir yük daha tanımlanmıştır. Döndürme işlemi "Loads Applied" kısmındaki U1 ve U2 yönlerinde kullanılan, 1101 Peer kayıt nolu Kobe depremi 00 ve 90 yönlerindeki ivme kayıtlarının yerleri değiştirilerek, yeni yükleme tanımlanmasıyla gerçekleşir. Bu yöntem tüm ivme kayıt çiftlerinde tanımlanmıştır. Böylece yapıya 22 adet kayıt çifti yüklemesi tanımlanmıştır.

Viskoz sönüm matrisi, Rayleigh orantılı sönüm matrisi kullanılarak **Şekil 37**'deki gibi oluşturulmuştur. Değerleri değiştirmek için **Şekil 36**'deki "Other Parameters" menüsü altında bulunan "Damping" kısmına "Modift/Show" butonuna tıklanarak girilebilir. Açılan pencerede "Mass And Stiffness Proportional Modal Damping by Coefficient" menüsü altındaki "Specify Damping by Period" kısmı seçilir. Sönüm oranı olarak %5 seçilmiştir. Modal_Ritz analizinden elde edilen kütle katılım oranlarından birinci periyot kısmına binanın hakim periyotunu girilmiştir, ikinci periyot kısmına ise modal kütle katılımının %95'i geçtiği ilk kısmının periyotu girilmiştir. Değerler girildikten sonra "Recalculate Coefficients" butonu tıklanarak girilen birinci ve ikinci periyot değerleri %5'lik sönüm oranına göre hesaplanarak kütle ve rijitlik orantılı katsayılar bulumaktadır.



Şekil 37 Rayleigh Orantılı Sönüm Matrisi Değerleri Tanımlanması

Betonarme Kolon ve Kiriş Plastik Dönme Sınırlarının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyine göre ve yığılı plastik davranış modeline göre yapılan değerlendirmede, hesaplanan plastik dönmeler **Denklem 3.3**'de tanımlanmıştır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3}\left[(\phi_u - \phi_y)L_p\left(1 - 0{,}5\frac{L_p}{L_s}\right) + 4{,}5\phi_u d_b\right] \quad (3.3)$$

Denklemde yer alan ϕ_u değeri eksenel kuvvet altındaki kolonun maksimum eğrilik değerini ifade etmektedir. L_p değeri plastik mafsalın boyu yani plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğunu ifade eder ve etkili olduğu kesitin yüksekliğinin yarısı olarak belirlenir. d_b değeri boyuna donatı çapını ifade etmektedir. ϕ_y değeri de tanımlanan kesitteki akma eğriliğini ifade etmektedir.

Kontrollü hasar (KH) performans düzeyine göre yapılan değerlendirmede, toplam dönme sınırı **Denklem 3.4**'de tanımlanmıştır.

$$\theta_p^{(KH)} = 0{,}75\theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (3.4)$$

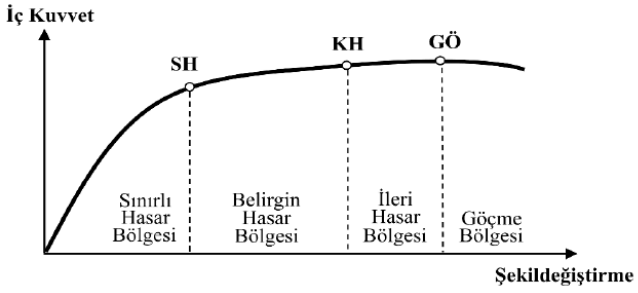
Etkin kesit rijitliği tanımlanan ve Sınırlı hasar (SH) performans düzeyine göre yapılan değerlendirmede, plastik mafsal oluşumuna izin verilmediği için bu değer **Denklem 3.5**'de "0" olarak tanımlanmıştır.

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (3.5)$$

Belirlenen bu üç kesit hasar sınırlarının arasında kalan bölgeler TBDY 2018'de kesit hasar bölgeleri olarak tanımlanmıştır. Buradan yola çıkarak önce tanımlanan kesitlerin hasar durumları belirlenecek daha sonrada yapı elemanlarının hasarı, ilgili kesitlerin çoğunlukta bulunduğu kesit hasar bölgesine göre belirlenecektir.

Mevcut Binanın Performans Analizi

Mevcuttaki binaların yada güçlendirme işlemi yapılmak istenen binalarda uygulanacak performans tanımı **Şekil 38**'de bulunan dört hasar bölgesine göre yapılmıştır.



Şekil 38 Kesit Hasar Bölgeleri [21]

Zaman tanım alanında yapılan analizin sonucunda, sınırlı hasar bölgesi performans düzeyinin sağlanması için mevcut binanın katlarından birindeki kirişlerin maksimum %20'si belirgin hasar bölgesinde kalabilir ve diğer tüm elemanlar sınırlı hasar bölgesinde kalmak durumundadır.

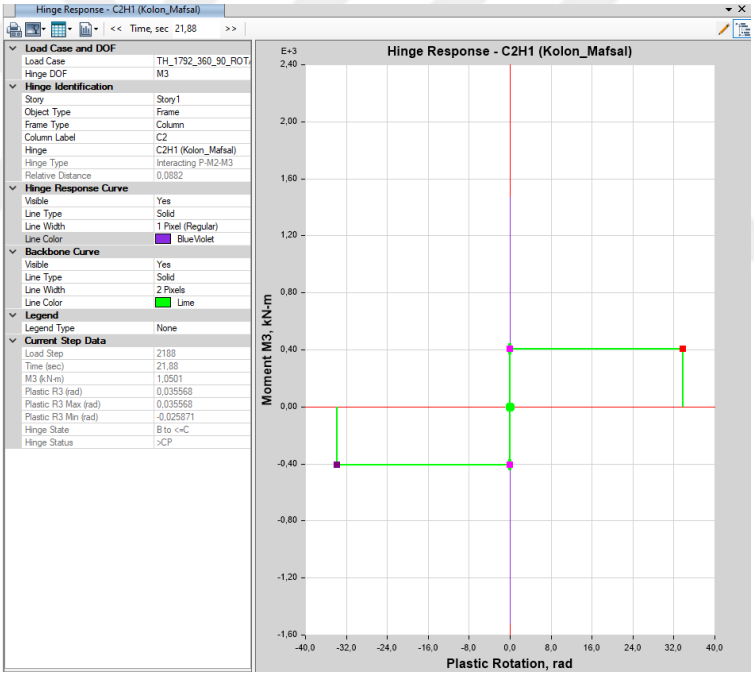
Zaman tanım alanında yapılan analizin sonucunda, kontrollü hasar bölgesi performans düzeyinin sağlanması için öncelikle gevrek davranış gösteren yapı elemanları mevcut ise bunların güçlendirilmesi gerekmektedir. Daha sonra ikincil kirişleri kapsam dışında tutarak, mevcut binanın katlarından birindeki kirişlerin maksimum %35'i ileri hasar bölgesinde kalabilir. Bu şart ile birlikte ileri hasar bölgesinde bulunan kolonların, binanın her katındaki kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine, %20 oranından daha az katkıda bulunması gerekmektedir. Yapının en üst katındaki ileri hasar bölgesinde kalan kolonların taşıdığı kesme kuvveti toplamının, ilgili kattaki kolonların taşıdığı kesme kuvveti toplamlarına oranı maksimum %40'dır. Bu şartların dışında kalan tüm taşıyıcı elemanlar sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgelerinde kalmak durumundadırlar. Fakat kat kolonlarının, her iki uç bölgesinde birden belirgin hasar düzeyini aşan elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, ilgili katta bulunan bütün düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı maksimum %30'dur.

Zaman tanım alanında yapılan analizin sonucunda, göçmenin önlenmesi performans düzeyinin sağlanması için öncelikle gevrek davranış gösteren bütün elemanların göçme bölgesinde olması şartı aranmalıdır. Sonrasında mevcut binanın katlarından birinde, ikincil kirişler kapsam dışında tutulularak, kirişlerin maksimum %20'si göçme bölgesinde bulunabilir. Diğer tüm yapı elemanlarının sınırlı hasar, belirgin hasar yada ileri hasar bölgelerinden birinde olması gereklidir. Fakat kat kolonlarının, her iki uç bölgesinde birden belirgin hasar düzeyini aşan elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, ilgili katta bulunan bütün düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı maksimum %30'dur.

Denklem (3.3), (3.4) ve (3.5) kullanılarak 129 kolon ve 195 kiriş için plastik dönme sınırları belirlenmiş olup, zaman tanım alanında doğrusal analiz sonuçlarından elde edilen kolon ve kirişlere atanan plastik mafsal sonuçları ile değerlendirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, kolonlarda meydana gelen en büyük dönme değeri, birinci kattaki C2 numaralı kolona tanımlanan C2H1 numaralı plastik mafsalda **Şekil 39**'daki gibi belirtilmiştir. Dönme değeri 1792 Peer kayıt numaralı Hector Madeni depreminin 90 derece döndürülmesi sonucunda oluşmuş olup, M3 yönünde ve kolon üst ucunda, 21,88'inci saniyede "0,035568 rad/m" olarak elde edilmiştir. 22 Deprem analizinden C2H1 numaralı plastik mafsalda, M3 yönünde oluşan ortalama dönme değeri ise "0,01896 rad/m"dir. Elde edilen ortalama dönme değeri, C2H1 numaralı plastik mafsalın M3 yönündeki (GÖ) performans sınırını yani "0,004716 rad/m" değerini geçtiği için 1.Kat'daki C2 numaralı kolon göçme durumundadır. Bu performans değerlendirmesi tüm kolonlar için tek tek yapılmıştır. Üçüncü kattaki bazı kolonların dönme değerleri **Tablo 7**'deki gibi belirtilmiştir. Tablo 1039 satırdan oluştuğu için sadece bir kısmı gösterilmiştir.

Tablo 7 22 Adet Deprem Analizindeki Kolon Dönme Değerleri (Kısmi)

KAT NO	KOLON NO	MAFSAL NO	YÖN	BÖLGE	838	838RO	944	944RO	946	946RO	1101	1101RO	1614	1614RO	1616	1616RO	1619	1619RO	1792	1792RO	5836	5836RO	6948	6948RO	6969	6969RO	Ortalama
3.KAT	C36	C36H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C36H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C36H4	R2	ALT	0	0	-1,4E-07	0	0	0	-3E-06	0	-1,1E-05	0	0	-3,5E-05	0	0	-0,000005	-0,00003	0	0	0	0	0	0	-0,000004
		C36H4	R3	ALT	0	0	0,000001	0	0	0	0,000006	0	0,000011	0	0	0	0	0	0	0,00004	0	0	0	0	0	0	0,000003
	C37	C37H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C37H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C37H4	R2	ALT	0,000077	0	0	0,000078	0	0	0	0,000101	0	0,000053	0,00013	0	0	0,000008	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000020
		C37H4	R3	ALT	-0,00005	0	0	-5,1E-05	0	0	5,19E-08	-8,3E-05	0,000013	0,000035	0,000053	0,000026	0,00004	0,000007	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
	C38	C38H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C38H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C38H4	R2	ALT	0,000023	0	0	0,000037	0	0	-1,1E-05	0,000032	0	0,000056	0,000026	0	0	0	-0,000074	0	0	0	0	0	0	0	0,000004
		C38H4	R3	ALT	-0,00001	0	0	-1,6E-05	0	0	0,000007	-2,1E-05	0	0,000023	0,000012	0	0,000017	0	1,294E-08	0	0	0	0	0	0	0	0,000001
	C39	C39H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C39H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C39H4	R2	ALT	0	0	0	0	0	0	0	0,000009	0	0	0,000019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000001
		C39H4	R3	ALT	0	0	0	0	0	0	0	-8E-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
	C40	C40H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C40H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C40H4	R2	ALT	0	0	0	0	0	0	-8E-06	0	0	0	0,000013	0	0	0	0	-1,3E-05	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C40H4	R3	ALT	0	0	0	0	0	0	0,000009	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000018	0	0	0	0	0	0	0,000001
	C41	C41H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C41H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C41H4	R2	ALT	0,00008	0	0	0,000084	0	0	0	0,000129	0	0,000063	0,00016	0	0	0,000027	0	-0,00002	0	0	0	0	0	0	0,000024
		C41H4	R3	ALT	-0,00005	0	0	-0,00005	0	0	0,000012	-7,5E-05	0,000039	0,000047	0,000076	0,00005	0,00006	0,000029	0	0,000047	0	0	0	0	0	0	0,000009
	C42	C42H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C42H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C42H4	R2	ALT	0,000006	0	0	0,00001	0	0	-4,4E-05	0,000027	0	0,000007	0,00004	-7E-06	0	0	-0,000038	-3,9E-05	0	0	0	0	0	0	-0,000002
		C42H4	R3	ALT	-4E-06	0	0	-7E-06	0	0	0,000044	-2,4E-05	0	0,000003	0,000021	0,000004	0,000002	0	0,000004	0,000037	0	0	0	0	0	0	0,000004
	C43	C43H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C43H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C43H4	R2	ALT	0,000047	-0,00001	-1E-06	0,000048	0	0	-5,8E-05	0,000081	-1E-06	0,000034	0,00007	-0,00005	0	0,000006	-0,000015	-0,00011	0	0	0	0	0	0	0,000002
		C43H4	R3	ALT	-3,1E-05	0,000015	0,000002	-3,1E-05	0	0	0,000069	-7,4E-05	0,000021	0,000023	0,000053	0,000019	0,000029	0,000007	0,000012	0,000125	0	0	0	0	0	0	0,000011
	C44	C44H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C44H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C44H4	R2	ALT	0,000085	0	0	0,000104	0	0	-3,4E-05	0,00011	0	0,000044	0,000136	-3E-06	0	0	-0,000097	-4,4E-05	0	0	0	0	0	0	0,000014
		C44H4	R3	ALT	-3,6E-05	0	0	-4,4E-05	0	0	0,000038	-7,2E-05	0	0,000019	0,000008	0,000003	0,000015	0	0,000006	0,000062	0	0	0	0	0	0	0,000000
	C45	C45H3	R2	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C45H3	R3	ÜST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000
		C45H4	R2	ALT	0,000081	0	0	0,000101	0	0	-3,2E-05	0,00008	0	0,00011	0,00008	-1E-06	-0,000027	0	-0,000045	-1,6E-05	0	0	0	0	-0,000012	0	0,000015
		C45H4	R3	ALT	-3,3E-05	4,02E-09	0	-3,1E-05	0	0	0,000029	-5,2E-05	1,54E-09	0,000019	0,000023	0,000006	0,000044	0	0,000002	0,000006	0	0	0	0	0,000001	0	0,000001



Şekil 39 Kolonlardaki Plastik Mafsallarda Oluşan En Büyük Dönme Değeri

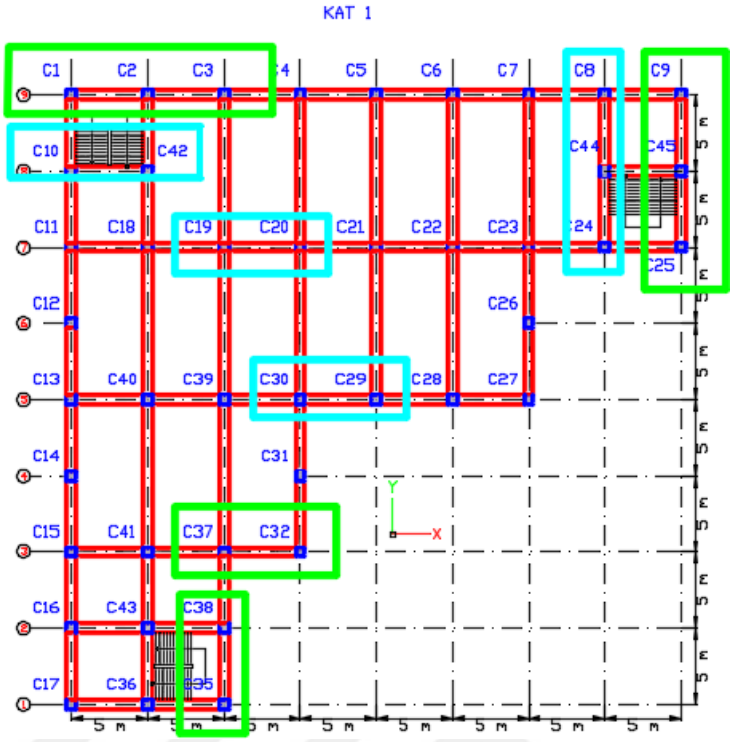
Kolonlarda her iki yatay doğrultuda olmak üzere elemanların üst ve alt uç bölgelerine tanımlanan plastik mafsalların sonuçları incelenmiştir. Her katta 43 adet olmak üzere toplamda 129 adet kolondan 516 adet plastik mafsal analizi elde edilmiştir. 22 adet analizden elde edilen dönme değerlerinin ortalaması alınmıştır. Betonarme kesitin eksenel kuvvet altındaki maksimum dönme "ϕ_u" ve akma dönme değerleri "ϕ_y" **Denklem 3.3**'de yerlerine konularak göçmenin önlenmesi $\theta_p^{(GÖ)}$ plastik dönme sınır

değeri elde edilmiştir. Sonrasında elde edilen değer de **Denklem 3.4**'de yerine konularak kontrollü hasar $\theta_p^{(KH)}$ plastik dönme sınır değeri elde edilmiştir. Sınırlı hasar $\theta_p^{(SH)}$ plastik dönme sınır değeri **Denklem 3.5**'deki gibi "0" alınmıştır. Bu değerler **Tablo 8**'deki gibi kontrol edilerek plastik mafsal hasar bölgeleri belirlenmiştir. 1.Kat ve 2.Kat kolonlarının tüm kesit hasar bölgesi değerleri fazla veri kalabalığı oluşturcağından, sadece 1.Kat kolonlarına ait kesir hasar bölgelerinin bazıları gösterilmiştir.

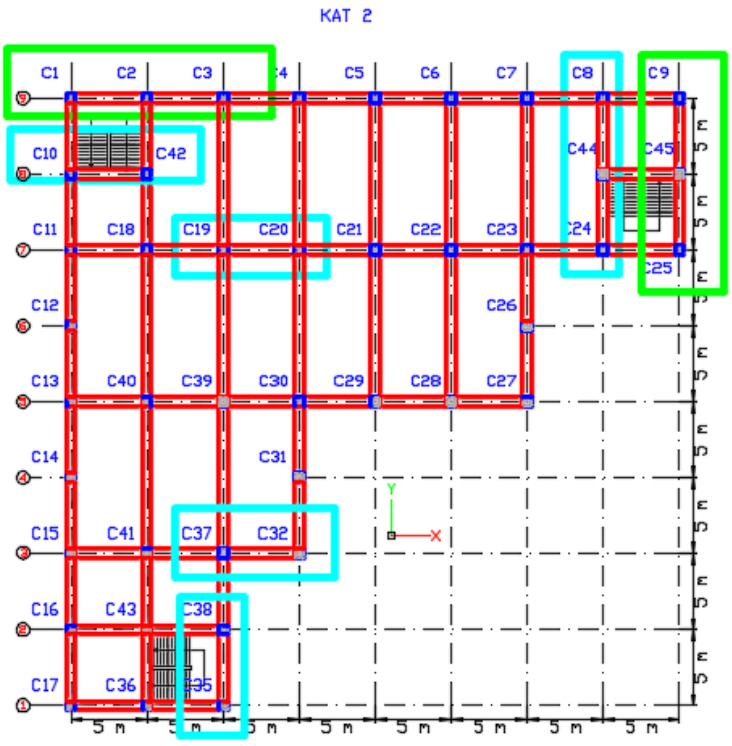
Tablo 8 1.Kat Kolonlarının Performans Düzeyi (Kısmi)

KAT NO	KOLON NO	MAFSAL NO	YÖN	BÖLGE	L_p	L_S	d_b	ϕ_u	ϕ_y	22 DEPREM	$\theta_p^{(GÖ)}$	$\theta_p^{(KH)}$	$\theta_p^{(SH)}$	KESİT HASAR BÖLGESİ
KAT 1	C1	C1H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,017589	0,004683	0,003512	0	GÖÇME
		C1H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,018474	0,004716	0,003537	0	GÖÇME
		C1H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,003865	0,004692	0,003519	0	İLERİ HASAR
		C1H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,003946	0,004729	0,003547	0	İLERİ HASAR
	C2	C2H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,016658	0,004683	0,003512	0	GÖÇME
		C2H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,018960	0,004716	0,003537	0	GÖÇME
		C2H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,004261	0,004692	0,003519	0	İLERİ HASAR
		C2H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,004327	0,004729	0,003547	0	İLERİ HASAR
	C3	C3H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,016570	0,004683	0,003512	0	GÖÇME
		C3H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,018045	0,004716	0,003537	0	GÖÇME
		C3H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,003745	0,004692	0,003519	0	İLERİ HASAR
		C3H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,003865	0,004729	0,003547	0	İLERİ HASAR
	C9	C9H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,015423	0,004683	0,003512	0	GÖÇME
		C9H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,014231	0,004716	0,003537	0	GÖÇME
		C9H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,003547	0,004692	0,003519	0	İLERİ HASAR
		C9H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,003654	0,004729	0,003547	0	İLERİ HASAR
	C25	C25H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,011260	0,004683	0,003512	0	GÖÇME
		C25H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,011156	0,004716	0,003537	0	GÖÇME
		C25H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,002249	0,004692	0,003519	0	BELİRGİN HASAR
		C25H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,002145	0,004729	0,003547	0	BELİRGİN HASAR
	C32	C32H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,027560	0,004683	0,003512	0	GÖÇME
		C32H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,024699	0,004716	0,003537	0	GÖÇME
		C32H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,003125	0,004692	0,003519	0	BELİRGİN HASAR
		C32H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,003047	0,004729	0,003547	0	BELİRGİN HASAR
	C35	C35H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,012980	0,004683	0,003512	0	GÖÇME
		C35H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,011987	0,004716	0,003537	0	GÖÇME
		C35H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,002080	0,004692	0,003519	0	BELİRGİN HASAR
		C35H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,002050	0,004729	0,003547	0	BELİRGİN HASAR
	C37	C37H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,028496	0,004683	0,003512	0	GÖÇME
		C37H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,023649	0,004716	0,003537	0	GÖÇME
		C37H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,003059	0,004692	0,003519	0	BELİRGİN HASAR
		C37H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,003135	0,004729	0,003547	0	BELİRGİN HASAR

22 depremin analizinin ortalamasından elde edilen kolonların hasar bölgeleri 1.Kat ve 2.Kat için **Şekil 40 ve 41**'deki gibi gösterilmiştir. Açık yeşil renk göçme hasar bölgesinde bulunan kolonları göstermektedir. Turkuaz renk ileri hasar bölgesinde bulunan kolonları göstermektedir. Diğer kolonlar belirgin ve sınırlı hasar bölgelerinde bulunmaktadırlar. Belirgin hasar sınırını geçen çok sayıda kolon olduğu için, sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgesindeki kolonlar **Şekil 40 ve 41**'de gösterilmemiştir. 3.Kat'da belirgin hasar sınırını geçen kolon olmadığı için ilgili kat planı gösterilmemiştir. Performans analizi sonrası tüm kirişler sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgelerinde olup herhangi bir sınır değeri aşmadığı için ayrıca belirtilmemiştir.



Şekil 401.Kattaki Göçme ve İleri Hasar Bölgesindeki Kolonlar



Şekil 41 2.Kattaki Göçme ve İleri Hasar Bölgesindeki Kolonlar

1.Kat'da bulunan 43 kolonun 22 depremin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizinin ortalamasından elde edilen hasar dağılımları **Tablo 9**'da belirtilmiştir. Bu tablo incelendiğinde 3.Kat'da ileri hasar ve göçme bölgesinde bulunan kolonun olmadığı, 2.Kat'daki kolonların 11 tanesi ileri hasar ve 6 tanesi göçme bölgesinde yer alırken, 1.Kat'daki kolonların 9 tanesi ileri hasar ve 10 tanesinin göçme bölgesinde olduğu yani 1.Kat'daki kolonların performans düzeyi üst katlara göre daha kötü olduğu görülmektedir. Ayrıca her bir katta bulunan ilgili kesit hasar bölgelerine ait kolon adetlerinin kattaki toplam kolon adetine oranı da bu tabloda belirtilmiştir.

Tablo 9 22 Deprem Analizi Ortalaması Kolon Hasar Adetleri ve Oransal Dağılımları

KAT	SINIRLI HASAR		BELİRGİN HASAR		İLERİ HASAR		GÖÇME	
	Adet	*%*	*Adet*	*%*	*Adet*	*%*	*Adet*	*%*
3.KAT	26	*60%*	17	*40%*	0	*0%*	0	*0%*
2.KAT	10	*23%*	16	*37%*	11	*26%*	6	*14%*
1.KAT	8	*19%*	16	*37%*	9	*21%*	10	*23%*
TOPLAM	**44**	***34%***	**49**	***38%***	**20**	***16%***	**16**	***12%***

22 adet depremin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizinden elde edilen, belirgin hasar sınırını geçen kolonlara gelen kesme kuvvetleri ve bu kuvvetlerin ilgili katlardaki toplam kesme kuvvetlerine oranları **Tablo 10**'daki gibi belirtilmiştir. 1.Kat'a kolonlarına gelen toplam kesme kuvvetlerinin en büyüğü Y yönünde 33.087 kN olarak, 1792 PEER kayıt numaralı Hector Madeni depreminden ve X yönünde ise 33.026 kN olarak, bu depremin 90 derece döndürülerek mevcut yapıya uygulanmış deprem çiftinden meydana gelmiştir. Tablo incelendiğinde kesme kuvvetleri V2 yani X yönü ile V3 yani Y yönündeki kesme kuvveti değerleri bulunmaktadır. X yönü için ileri hasar ve göçme bölgesindeki kolonlara gelen kesme kuvvetlerinin ilgili kattaki toplam kesme kuvvetlerine oranı %39 ile %45 arasında değişmektedir. Y yönü için bu oran %39 ile %44 arasında değişmektedir. Bu değerlerden, 2.Kat ve 1.Kat'daki belirgin hasar sınırını geçen kolonların ilgili katlardaki toplam kesme kuvvetlerine oranlarının, göçmenin önlenmesi performans düzeyinde tanımlanan %30 sınırını geçtiği için mevcut yapı göçme durumunda olduğu anlaşılmaktadır. Bölüm 2'de belirlenen yapı tasarım yaklaşımı kontrollü hasar olduğundan dolayı, mevcut bina bu hedef içerisine güçlendirme yolu ile alınmaya çalışılacaktır.

Tablo 10 22 Deprem Analizi İH ve KH Kolon Kesme Kuvvetleri ve Oransal Dağılımları

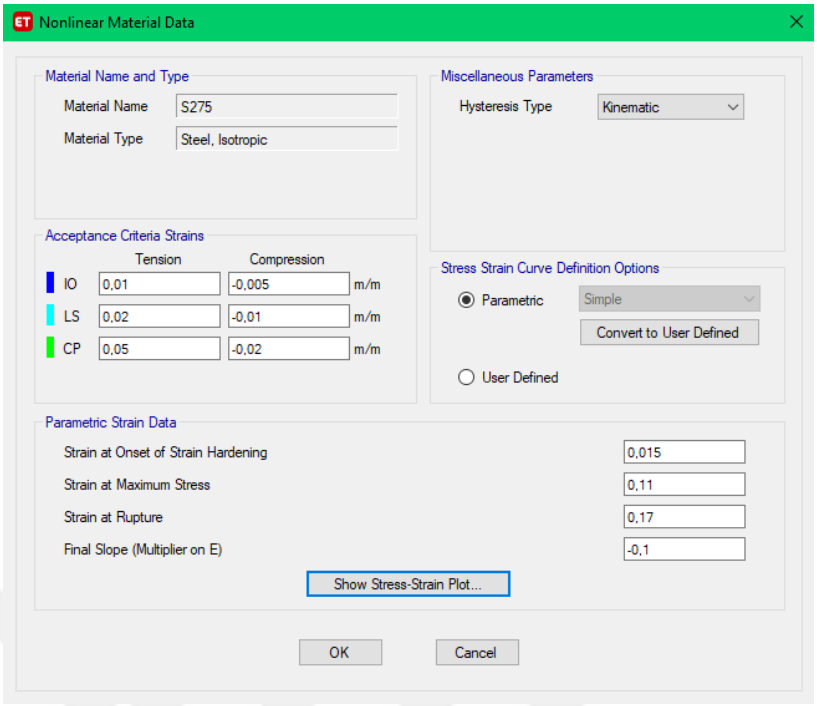
DEPREM	KAT	V2				V3				ΣV2	ΣV3
		İLERİ HASAR		GÖÇME		İLERİ HASAR		GÖÇME		ΣV	ΣV
		kN	%	kN	%	kN	%	kN	%	kN	kN
838	2.KAT	4.429	*26%*	2.315	*14%*	4.834	*26%*	2.494	*13%*	16.947	18.550
838	1.KAT	5.180	*20%*	6.199	*24%*	5.302	*18%*	6.987	*24%*	25.687	28.755
838_RO	2.KAT	4.730	*26%*	2.530	*14%*	4.398	*26%*	2.175	*13%*	18.149	16.780
838_RO	1.KAT	5.753	*20%*	6.582	*23%*	4.704	*18%*	6.247	*24%*	28.071	25.525
944	2.KAT	4.166	*26%*	2.207	*14%*	4.584	*26%*	2.297	*13%*	15.952	17.525
944	1.KAT	4.928	*20%*	5.762	*24%*	4.947	*19%*	6.455	*24%*	24.233	26.680
944_RO	2.KAT	4.467	*26%*	2.359	*14%*	4.319	*26%*	2.116	*13%*	17.113	16.452
944_RO	1.KAT	5.312	*20%*	6.263	*24%*	4.598	*18%*	6.213	*25%*	26.188	24.975
946	2.KAT	4.471	*26%*	2.328	*14%*	4.101	*26%*	2.082	*13%*	17.106	15.736
946	1.KAT	5.235	*20%*	6.363	*24%*	4.392	*18%*	5.939	*25%*	26.025	24.223
946_RO	2.KAT	4.032	*26%*	2.114	*14%*	4.359	*26%*	2.176	*13%*	15.441	16.661
946_RO	1.KAT	4.825	*20%*	5.598	*24%*	4.679	*18%*	6.307	*25%*	23.611	25.603
1101	2.KAT	4.595	*26%*	2.450	*14%*	4.716	*26%*	2.350	*13%*	17.637	18.005
1101	1.KAT	5.413	*20%*	6.539	*24%*	4.998	*18%*	6.811	*25%*	26.833	27.356
1101_RO	2.KAT	4.604	*26%*	2.396	*14%*	4.792	*26%*	2.393	*13%*	17.613	18.290
1101_RO	1.KAT	5.371	*20%*	6.527	*24%*	5.079	*18%*	6.870	*25%*	26.701	27.632
1614	2.KAT	3.001	*26%*	1.548	*14%*	3.239	*26%*	1.623	*13%*	11.442	12.448
1614	1.KAT	3.494	*20%*	4.240	*24%*	3.426	*18%*	4.635	*25%*	17.371	18.857
1614_RO	2.KAT	3.223	*26%*	1.675	*14%*	3.089	*26%*	1.563	*13%*	12.306	11.893
1614_RO	1.KAT	3.798	*20%*	4.474	*24%*	3.274	*18%*	4.444	*25%*	18.710	18.063
1616	2.KAT	4.553	*26%*	2.464	*14%*	5.661	*26%*	2.775	*13%*	17.471	21.517
1616	1.KAT	5.480	*20%*	6.491	*24%*	6.113	*19%*	7.888	*24%*	26.954	32.687
1616_RO	2.KAT	5.352	*26%*	2.802	*14%*	4.575	*26%*	2.328	*13%*	20.504	17.503
1616_RO	1.KAT	6.324	*20%*	7.399	*24%*	4.974	*18%*	6.655	*25%*	31.112	26.982
1619	2.KAT	3.558	*26%*	1.836	*13%*	5.195	*26%*	2.626	*13%*	13.609	19.860
1619	1.KAT	4.177	*20%*	5.012	*24%*	5.652	*19%*	7.234	*24%*	20.668	30.401
1619_RO	2.KAT	4.962	*26%*	2.627	*14%*	3.389	*26%*	1.746	*13%*	19.029	13.083
1619_RO	1.KAT	5.971	*21%*	6.678	*23%*	3.594	*18%*	4.809	*24%*	29.024	19.887
1792	2.KAT	4.677	*26%*	2.367	*13%*	5.757	*26%*	2.765	*13%*	17.871	21.814
1792	1.KAT	5.433	*20%*	6.683	*25%*	6.076	*18%*	8.378	*25%*	27.147	33.087
1792_RO	2.KAT	5.483	*26%*	2.959	*14%*	4.608	*26%*	2.334	*13%*	21.092	17.662
1792_RO	1.KAT	6.531	*20%*	7.595	*24%*	5.014	*18%*	6.587	*24%*	32.026	27.349
5836	2.KAT	3.219	*26%*	1.710	*14%*	3.837	*26%*	1.951	*13%*	12.307	14.740
5836	1.KAT	3.817	*20%*	4.460	*24%*	4.110	*18%*	5.395	*24%*	18.756	22.496
5836_RO	2.KAT	3.865	*26%*	2.016	*14%*	3.235	*26%*	1.647	*13%*	14.783	12.438
5836_RO	1.KAT	4.609	*20%*	5.289	*23%*	3.468	*18%*	4.544	*24%*	22.508	18.842
6948	2.KAT	3.690	*26%*	1.895	*13%*	3.961	*26%*	1.954	*13%*	14.090	15.152
6948	1.KAT	4.293	*20%*	5.299	*25%*	4.187	*18%*	5.703	*25%*	21.453	23.017
6948_RO	2.KAT	3.971	*26%*	2.048	*13%*	3.724	*26%*	1.817	*13%*	15.176	14.231
6948_RO	1.KAT	4.675	*20%*	5.534	*24%*	3.921	*18%*	5.446	*25%*	23.087	21.633
6969	2.KAT	3.471	*26%*	1.854	*14%*	4.858	*26%*	2.474	*13%*	13.301	18.585
6969	1.KAT	4.078	*20%*	4.870	*24%*	5.286	*19%*	6.869	*24%*	20.163	28.480
6969_RO	2.KAT	4.647	*26%*	2.512	*14%*	3.450	*26%*	1.787	*13%*	17.844	13.299
6969_RO	1.KAT	5.600	*20%*	6.428	*24%*	3.763	*18%*	5.043	*25%*	27.340	20.549

BÖLÜM 4. MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BİNANIN TBDY 2018'E GÖRE PERFORMANS ANALİZİ

Mevcut yapıları güçlendirmenin amacı, deprem etkisi ile binada oluşacak olan hasarları göz önüne alarak can güvenliğinin sağlanmasıdır. Yetersiz performans düzeyini iyileştirmek için toplam yapı kütlesinin azaltılması, yetersiz kesitlerin deprem performansının artırılması, yeni yapı elemanları eklenmesi ve deprem yükünden oluşan kuvvetlerin sağlıklı bir şekilde diğer yapı elemanlarına aktarılması şeklinde yöntemler kullanılabilir. TBDY 2018'de bulunan güçlendirme türleri eleman bazında ve sistem bazında olmak üzere iki çeşit altında toplanmıştır. Eleman bazında güçlendirme yapılırken deprem yükünü taşıyan elemanların dayanımının ve şekildeğiştirme kapasitelerinin artırılması yaklaşımı ele alınır. Sistem bazında yapılan güçlendirmelerde ise, taşıyıcı sistemin dayanımının ve şekil değiştirme kapasitelerinin artırılması, yapıya yeni taşıyıcı elemanlar eklenmesi, düğüm noktalarının güçlendirilmesi ve yapı kütlesinin azaltılması gibi yaklaşımlar ele alınmaktadır. Bu tez kapsamında sistem bazında güçlendirme ele alınarak taşıyıcı sisteme yeni çerçeve eklenmesi yaklaşımı izlenmiştir.

Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri Tanımlanması

Yapıya eklenecek çerçeve sisteminde kullanılacak çelik elemanlar için S275 yapı çeliğinin doğrusal olmayan özellikleri **Şekil 40**'daki gibi belirlenmiştir. Yapı çeliği için akma malzeme dayanımı yerine %30 artırılmış beklenen malzeme dayanımı kullanılmıştır.

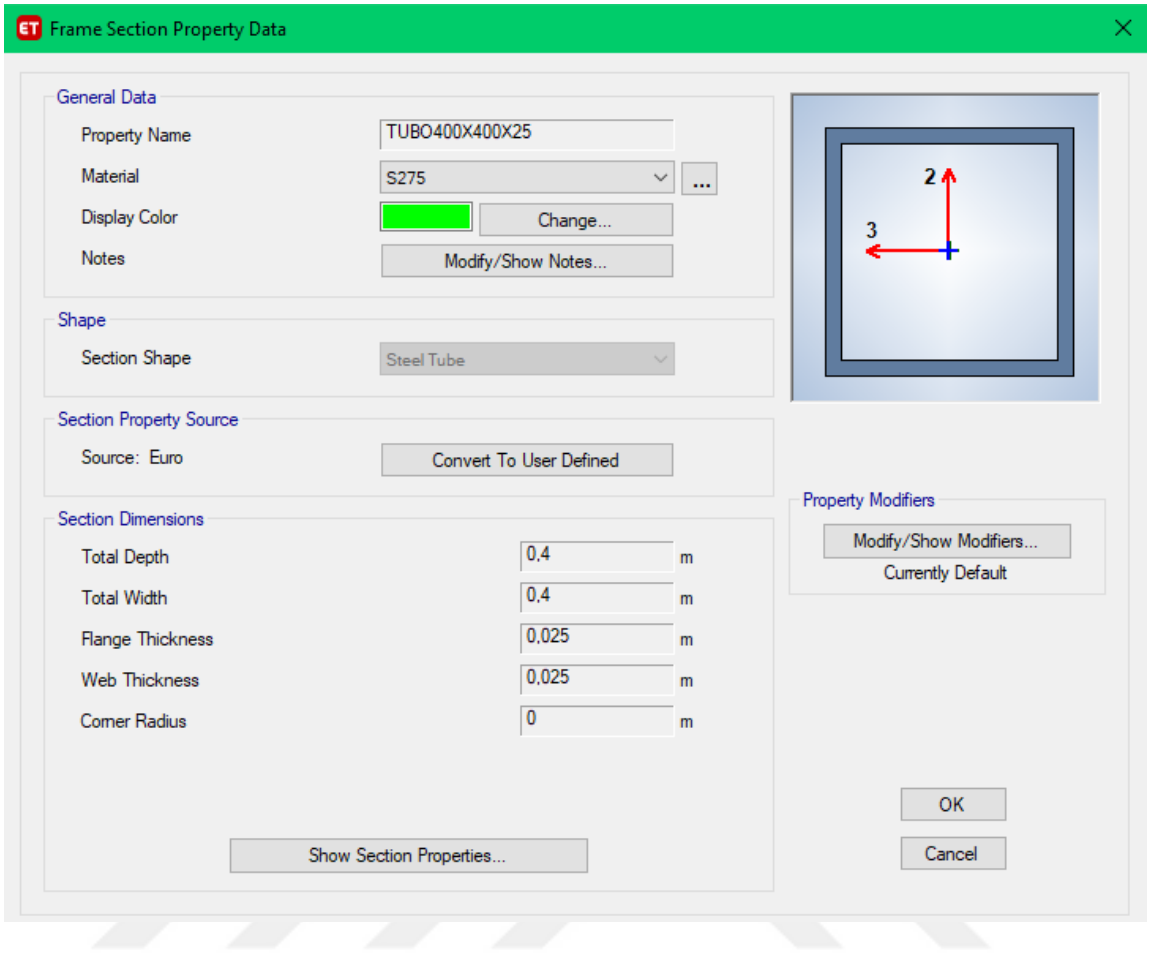


Şekil 42 S275 Yapı Çeliği Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri

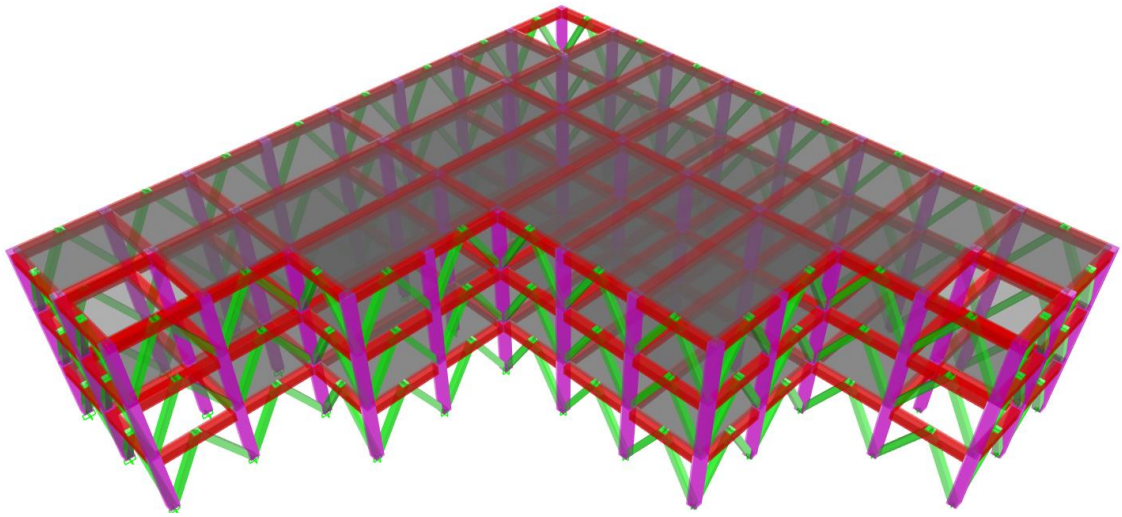
Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanı Tanımlanması ve Çerçeve Sisteminin Oluşturulması

Yetersiz deprem performansına sahip mevcut binanın, performansını iyileştirmek yani depremden gelen yatay yükler altındaki performansını artırmak amacı ile merkezi çaprazlı çelik kullanılmasına karar verilmiştir. Çelik çaprazlı perde seçilmesinin bir diğer sebebi, betonarme perdeye göre daha hafif olmasından dolayıdır. Bu durum güçlendirilecek binaya betonarme perdeye göre daha az deprem yükü etki etmesine sebep olacaktır. Doğrusal olmayan analiz için sünek davranış gösteren eleman ile sistem oluşturmak adına güçlendirme kısmında merkezi çapraz çelik tercih edilmiştir. Güçlendirme yaparken ters V çelik çapraz uygulanmıştır. Güçlendirilen binanın üç boyutlu görünüşü **Şekil 44**'deki gibidir.

Merkezi çelik çapraz elamanlarda kullanılacak TUBO400x400x25, kesit özellikleri **Şekil 43**'deki gibi tanımlanmıştır. İlgili kesitte kullanılacak çelik özelliğini belirlemek için "Material" kısmından önceden tanımlanan S275 yapı çeliği seçilmiştir. Atanan kutu kesitler her katta 64 adet olmak üzere 3 kat için toplamda 192 adet merkezi çaprazlı çelik ile güçlendirme yapılmıştır.



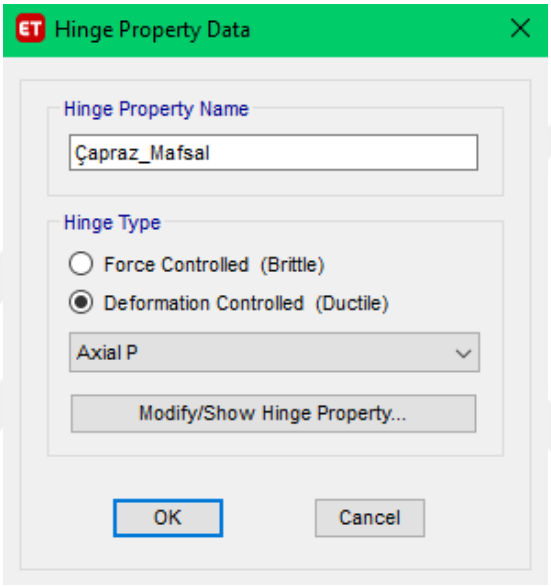
Şekil 43 TUBO400x400x25 Kesit Özellikleri



Şekil 44 Merkezi Çaprazlı Çelik Binanın 3 Boyutlu Görünüşü

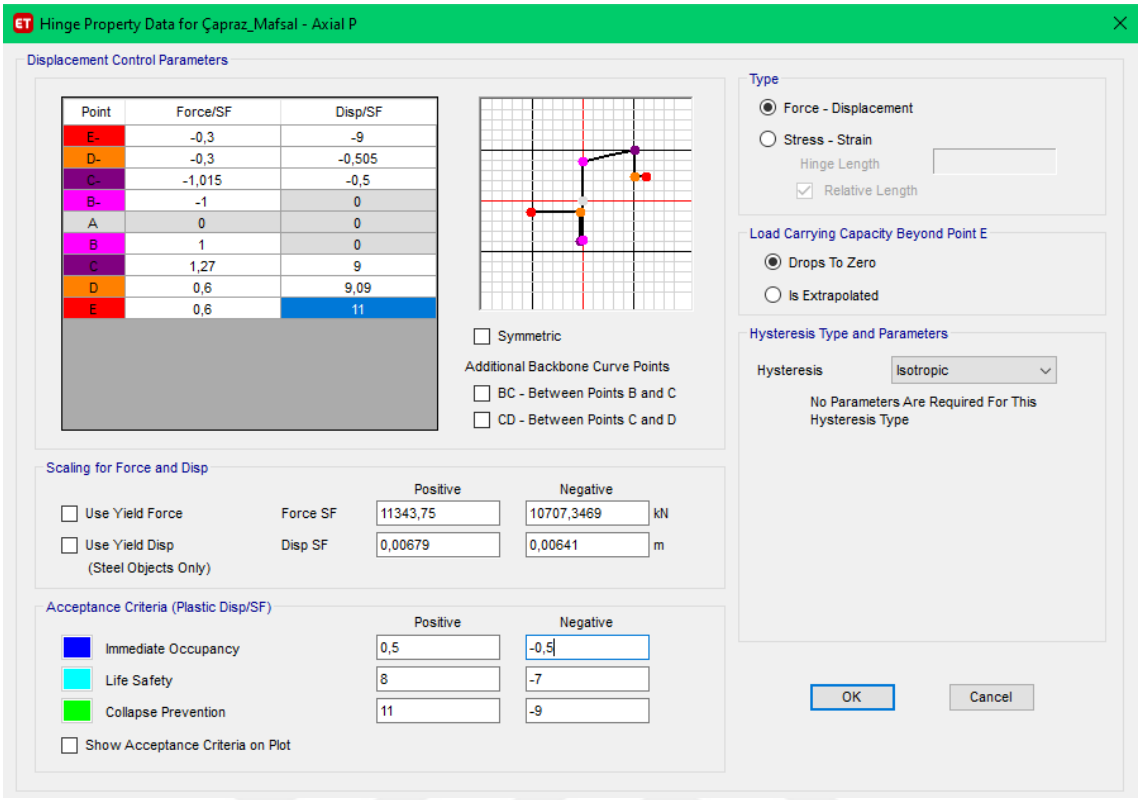
Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanlar İçin Plastik Mafsal Tanımlanması ve Atanması

Çelik çapraz elemanlar için ETABS programındaki "Define > Section Properties > Frame/Wall Nonlinear Hinges" menüsünden varsayılan olarak "User Defined" seçildikten sonra açılan menüden "Add New Property" seçeneği tıklanarak kolon mafsal tipi **Şekil 45**'daki gibi belirlenir. "Hinge Type" kısmında sünek yani "deformation controlled" seçeneği seçilip altında yer alan eksenel yükü ifade eden "Axial P" seçeneği seçilir.



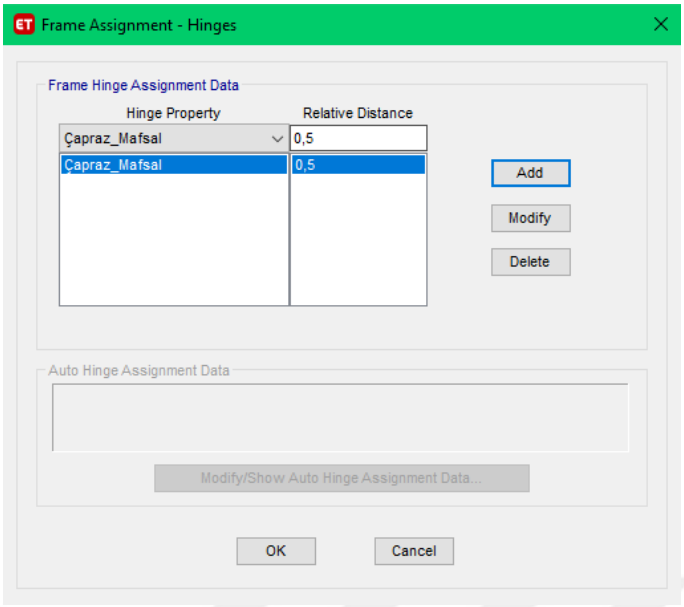
Şekil 45 Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanlara Atanacak Mafsal Tipi

Oluşturulan plastik mafsala Moment-Dönme ilişkisi tanımlamak için **Şekil 45**'deki "Modify/Show Hinge Property" butonuna tıklanır. Açılan menüde "Hinge Specification Type" kısmında moment-dönme seçeneği seçilir. "Scaling for Force and Disp" kısmındaki "Use Yield Force" ve "Use Yield Disp" kutularındaki tik işaretleri kaldırılıp gerekli değerler girilir. D ve E noktalaraına büyük değerler girilerek plastik deformasyon sınırlamasına engel olmak istenir.



Şekil 46 Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanlar İçin Plastik Mafsal Tanımlanması

Oluşturulan plastik mafsalları TUBO400x400x25 kesitlerine atamak için, üç boyutlu olarak çizilen tüm kutu kesit profiller seçilip ardından "Assign > Frame > Hinges" menüsünden **Şekil 47**'deki gibi atanır. Açılan menüdeki "Hinge Property" kısmına önceden belirlenen "Çapraz_Mafsal" seçilir ve yanındaki "Relative Distance" kısmına "0,5" değeri verilerek plastik mafsalın çelik çapraz elemanın ortasına atanması sağlanır. Toplamda 192 adet çelik çapraz için 192 tane plastik mafsal atanmıştır.



Şekil 47 Merkezi Çaprazlı Çelik Elemanlar İçin Plastik Mafsal Atanması

Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Plastik Dönme Sınırlarının Belirlenmesi

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde çelik çaprazlar için kontrollü hasar şekildeğiştirme sınırı, eksenel plastik şekildeğiştirmeler cinsinden **Denklem 4.1** ve **Denklem 4.2**'de belirtilmiştir.

Narin Kesitler: $$\frac{Kl}{r} \geq 4{,}2\sqrt{\frac{E}{F_y}}\ için\ 6\Delta_c \qquad (4.1)$$

Tok Kesitler: $$\frac{Kl}{r} \leq 2{,}1\sqrt{\frac{E}{F_y}}\ için\ 5\Delta_c \qquad (4.2)$$

Tablo 11 Merkezi Çaprazlı Çelik Kesit Tipi Belirlenmesi

K	l	I	A	r	E	F_y	$\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{Kl}{r}$	$2{,}1\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$4{,}2\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	KESİT TİPİ
-	m	m^4	m^2	m	kN/m²	kN/m²					
1	4,717	0,000883	0,0375	0,15345	2,00E+08	2,75E+05	26,97	30,74	56,63	113,27	TOK

Buradaki "*K*" değeri burkulma boyu katsayısı olup çapraz elemanlar yapıya pin uçlu olarak tanımlandığı için "1" olarak alınır. "*l*" değeri çapraz eleman boyu, "r" değeri dönme yarıçapını ifade etmekte olup $\sqrt{\frac{I}{A}}$ formülü ile hesaplanır. Formüldeki "I" atalet

momenti olup **Şekil 43**'de "Show Section Properties" kısmından çapraz çelik eleman kutu kesit olduğundan dolayı 33 ve 22 yönleri için aynı elde edilmiştir. "A" değeri kesit alanını ifade etmekte olup yine aynı menüden alınmıştır. "E" değeri yapı çeliğinin elastisite modülünü, "F_y" değeri de yapı çeliğinin akma gerilmesini ifade eder. Bu alınan verilere göre **Denklem 4.1** ve **4.2** hesaplandığnda çelik eleman tok kesit olarak belirlenmiştir.

Çapraz elemanların eksenel basınç kuvveti altında akma şekildeğiştirmesi **Denklem 4.3**'de, eksenel çekme kuvveti altında akma şekildeğiştirmesi ise **Denklem 4.4**'de verilmiştir.

Eksenel Basınç Akma Şekildeğiştirmesi: $$\Delta_c = \frac{P_c l_c}{E A_c} \quad (4.3)$$

Eksenel Çekme Akma Şekildeğiştirmesi: $$\Delta_T = \frac{P_{ye} l_c}{E A_c} \quad (4.4)$$

Bu denklemlerdeki "P_c" çelik çaprazın beklenen eksenel basınç dayanımını, "P_{ye}" çelik çaprazın beklenen akma dayanımını, "l_c" çelik çaprazın boyunu, "E" çelik çaprazın elastisite modülünü, "A_c" ise çaprazın enkesit alanını ifade etmektedir.

"P_c" ve "P_{ye}" değerlerini elde etmek için Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'ten [20] yararlanılmıştır. Tok kesitli çelik çapraz için eksenel basınç altında karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı hesabı "P_n" **Denklem 4.5**'de verilmiştir.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (4.5)$$

Buradaki "F_{cr}" değeri kritik burkulma gerilmesini, "A_g" değeri ise kayıpsız enkesit alanını ifade etmektedir. "F_{cr}" değeri **Denklem 4.6** yada **4.7**'deki gibi hesaplanır.

$$\frac{L_c}{i} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(veya\ \frac{F_y}{F_e} \leq 2{,}25\right) için\ F_{cr} = \left[0{,}658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \quad (4.6)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(veya\ \frac{F_y}{F_e} > 2{,}25\right) için\ F_{cr} = 0{,}877 F_e \quad (4.7)$$

Buradaki "F_e" değeri elastik burkulma gerilmesini, "F_y" yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesini, "i" değeri atalet yarıçapını, "L_c" çapraz eleman burkulma boyunu yani "KL" değerini belirtmektedir. "F_e" değeri **Denklem 4.8**'deki gibi hesaplanacaktır.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} \tag{4.8}$$

Çapraz çelik eksenel akma dayanımı "P_y" ise **Denklem 4.9**'daki gibi hesaplanmıştır.

$$P_y = F_y A_g \tag{4.9}$$

Buradaki denklemlerde akma dayanımları karakteristik değerler olduğu için TBDY 2018'deki Tablo 5.1'deki beklenen dayanımı alınarak, yani karakteristik değer %30 artırılarak beklenen akma değeri elde edilmiştir. Gerekli değerler **Denklem 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve 4,9**'da yerine konulmuş, eksenel basınç ve çekme akma kuvveti değerleri **Tablo 12**'daki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 12 Eksenel Basınç ve Akma Dayanımı Hesaplanması

Lc	I	A_c=A_g	i	E	F_y	F_e	F_{cr}	P_n	P_c=1,30*P_n	P_y	P_{ye}=1,3*P_y
m	m^4	m^2	*m*	*kN/m²*	*kN/m²*	*kN/m²*	*kN/m²*	*kN*	*kN*	*kN*	*kN*
4,717	0,000883	0,0375	0,15345	2,00E+08	2,75E+05	2.088.947	260.257	9.760	12.688	10.313	13.406

Çapraz elemanlara gelen eksenel basınç ve akma değerleri hesaplandıktan sonra, **Denklem 4.3 ve 4.4**'de yerlerine konulmuştur. Bu denklemlerde **Tablo 13**'deki gibi hesaplanarak eksenel basınç ve çekme akma şekildeğiştirme sınır değerleri kontrollü hasar performans hedefi için belirlenmiştir.

Tablo 13 (KH) için Eksenel Basınç ve Çekme Akma Şekildeğiştirme Sınır Değerleri

l_c	E	A_c	P_c	P_{ye}	SH	KH	$GÖ$	SH	KH	$GÖ$
m	*kN/m²*	m^2	*kN*	*kN*	$0,5\Delta_C$	$5\Delta_C$	$7\Delta_C$	$0,5\Delta_T$	$5\Delta_T$	$7\Delta_T$
4,717	2E+08	0,0375	12.688	13.406	0,00399	0,039898	0,055857	0,004216	0,042158	0,059021

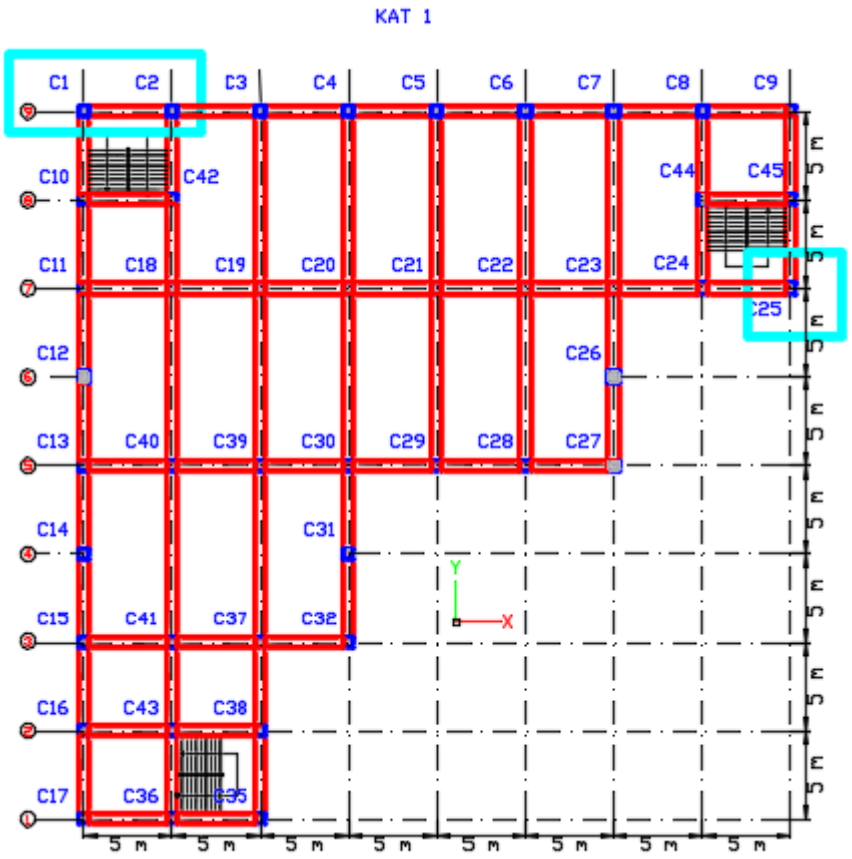
Güçlendirilmiş Binanın Performans Analizi

Güçlendirme ilk olarak hasarlı kolonların olduğu bölgelerde gerçekleştirilmiştir. Güçlendirme yaptıktan sonra ilgili kolonlarda istenen performans hedefi yakalanmıştır fakat tekrar yapılan analiz sonucunda bu sefer farklı kolonlarda performans yetersiz kalmıştır. Bu şekilde tüm kolonlarda yeterli performans sağlanana kadar güçlendirme işlemi devam etmiştir.

Güçlendirme işleminden önceki performansı yetersiz olan kolonların, merkezi çelik çapraz sistemi ile güçlendirilmesi sonrası performansının göçme bölgesinden sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgelerine geçtiği **Tablo 14'**de görülmektedir. Güçlendirme sonrası, 1. Kat ve 2.Kat'da sadece C1, C2 ve C25 numaralı kolonlarda **Şekil 48**'deki gibi ileri hasar göçme bölgesi görülmektedir.

Tablo 14 Güçlendirme Sonrası 1.Kat Kolonlarının Hasar Bölgeleri (Kısmi)

KAT NO	KOLON NO	MAFSAL NO	YÖN	BÖLGE	L_p	L_s	d_b	ϕ_u	ϕ_y	22 DEPREM	$\theta_p^{(GÖ)}$	$\theta_p^{(KH)}$	$\theta_p^{(SH)}$	KESİT HASAR BÖLGESİ
KAT 1	C1	C1H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,003641	0,004683	0,003512	0	İLERİ HASAR
		C1H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,003572	0,004716	0,003537	0	İLERİ HASAR
		C1H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,000313	0,004692	0,003519	0	BELİRGİN HASAR
		C1H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,000610	0,004729	0,003547	0	BELİRGİN HASAR
	C2	C2H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,003597	0,004683	0,003512	0	İLERİ HASAR
		C2H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,003588	0,004716	0,003537	0	İLERİ HASAR
		C2H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,000232	0,004692	0,003519	0	BELİRGİN HASAR
		C2H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,000002	0,004729	0,003547	0	BELİRGİN HASAR
	C3	C3H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,000910	0,004683	0,003512	0	BELİRGİN HASAR
		C3H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,001093	0,004716	0,003537	0	BELİRGİN HASAR
		C3H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,000000	0,004692	0,003519	0	SINIRLI HASAR
		C3H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,000000	0,004729	0,003547	0	SINIRLI HASAR
	C9	C9H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,001050	0,004683	0,003512	0	BELİRGİN HASAR
		C9H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,001137	0,004716	0,003537	0	BELİRGİN HASAR
		C9H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,000000	0,004692	0,003519	0	SINIRLI HASAR
		C9H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,000000	0,004729	0,003547	0	SINIRLI HASAR
	C25	C25H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,000991	0,004683	0,003512	0	BELİRGİN HASAR
		C25H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,000989	0,004716	0,003537	0	BELİRGİN HASAR
		C25H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,000000	0,004692	0,003519	0	SINIRLI HASAR
		C25H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,000000	0,004729	0,003547	0	SINIRLI HASAR
	C32	C32H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,000974	0,004683	0,003512	0	BELİRGİN HASAR
		C32H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,001006	0,004716	0,003537	0	BELİRGİN HASAR
		C32H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,000000	0,004692	0,003519	0	SINIRLI HASAR
		C32H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,000000	0,004729	0,003547	0	SINIRLI HASAR
	C35	C35H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,000936	0,004683	0,003512	0	BELİRGİN HASAR
		C35H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,000969	0,004716	0,003537	0	BELİRGİN HASAR
		C35H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,000000	0,004692	0,003519	0	SINIRLI HASAR
		C35H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,000000	0,004729	0,003547	0	SINIRLI HASAR
	C37	C37H1	R2	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006780	0,001039	0,004683	0,003512	0	BELİRGİN HASAR
		C37H1	R3	ÜST	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006599	0,001041	0,004716	0,003537	0	BELİRGİN HASAR
		C37H2	R2	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006731	0,000000	0,004692	0,003519	0	SINIRLI HASAR
		C37H2	R3	ALT	0,3	1,7	0,025	0,023000	0,006524	0,000000	0,004729	0,003547	0	SINIRLI HASAR



Şekil 48 1.Kat ve 2. Kat İçin İleri Hasar Bölgesindeki Kolonlar

Güçlendirme öncesi en fazla dönme değerinin elde edildiği 1.Kat'daki C2 numaralı kolon tekrar incelenmiştir. Güçlendirme sonrasında 1792 PEER kayıt numaralı Hector Mine depreminin 90 derece döndürülmesi ile yapılan yükleme analizinden elde edilen dönme değeri ise "0,00452 rad/m" dir. 22 Deprem analizinden C2H1 numaralı plastik mafsalda, M3 yönünde oluşan ortalama dönme değeri ise "0,003588 rad/m"dir. Elde edilen ortalama dönme değeri, C2H1 numaralı plastik mafsalın M3 yönündeki (KH) performans sınırını yani "0,003537 rad/m" değerini geçtiği için 1.Kat'daki C2 numaralı kolon (İH) bölgesindedir. Bu şekilde tüm elemanların performans durumları değerlendirilmiştir.

Güçlendirme sonrası kolonların hasar adetlerini ve oransal dağılımlarını **Tablo 15**'deki gibi incelediğimizde göçme bölgesinde hiçbir kolonun geçmediği görülmektedir. 3.Kat'daki kolonlardan güçlendirme sonrası ileri hasar ve göçme bölgesinde her hangi bir kolon bulunmamaktadır.

Tablo 15 Güçlendirme Sonrası 22 Deprem Analizi Ortalaması Kolon Hasar Adetleri ve Oransal Dağılımları

KAT	SINIRLI HASAR		BELİRGİN HASAR		İLERİ HASAR		GÖÇME	
	Adet	*%*	*Adet*	*%*	*Adet*	*%*	*Adet*	*%*
3.KAT	35	*81%*	8	*19%*	0	*0%*	0	*0%*
2.KAT	30	*70%*	10	*23%*	3	*7%*	0	*0%*
1.KAT	28	*65%*	12	*28%*	3	*7%*	0	*0%*
TOPLAM	**93**	***72%***	**30**	***23%***	**6**	***5%***	**0**	***0%***

Güçlendirme sonrası, 22 adet depremin analizinden sonra kolonlara gelen kesme kuvvetleri ve bu kuvvetlerin oransal dağılımları **Tablo 16**'da görülmektedir. Güçlendirme sonrasında yapıdaki bütün kolonlara gelen kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. İleri hasar bölgesine 1.Kat ve 2.Kat'da sadece 3 kolon geçtiği için bu kolonlara gelen kesme kuvvetleri ve oransal dağılımları tabloda ele alınmıştır.

Merkezi çelikli çapraz elemanların plastik mafsal sonuçları incelenmiş olup, sadece %43'inde şekildeğiştirme görülmüştür, geri kalan mafsalların %57'sinde şekildeğiştirme gözlenmemiştir. Elde edilen değerler, şekildeğiştirme sınır değerlerinin çok altında kaldığından dolayı ve veri kalabalığı oluşturmamak adına tablo olarak eklenmemiştir.

Tablo 16 Güçlendirme Sonrası 22 Deprem Analizi İH ve KH Kolon Kesme Kuvvetleri ve Oransal Dağılımları

DEPREM	KAT	V2				V3				ΣV2	ΣV3
		BELİRGİN HASAR		İLERİ HASAR		BELİRGİN HASAR		İLERİ HASAR		ΣV	ΣV
		kN	%	kN	%	kN	%	kN	%	kN	kN
838	2.KAT	82	*30%*	20	*7%*	316	*41%*	16	*2%*	274	775
838	1.KAT	443	*27%*	86	*5%*	915	*33%*	161	*6%*	1.638	2.798
838_RO	2.KAT	120	*33%*	24	*7%*	274	*31%*	17	*2%*	364	885
838_RO	1.KAT	704	*28%*	137	*5%*	579	*37%*	113	*7%*	2.556	1.586
944	2.KAT	76	*29%*	18	*7%*	277	*37%*	12	*2%*	262	752
944	1.KAT	503	*27%*	103	*5%*	582	*36%*	92	*6%*	1.898	1.596
944_RO	2.KAT	65	*30%*	16	*7%*	276	*42%*	11	*2%*	218	652
944_RO	1.KAT	394	*26%*	85	*6%*	678	*35%*	117	*6%*	1.520	1.951
946	2.KAT	93	*25%*	33	*9%*	382	*43%*	20	*2%*	381	881
946	1.KAT	662	*24%*	133	*5%*	1.596	*30%*	277	*5%*	2.717	5.263
946_RO	2.KAT	223	*31%*	52	*7%*	290	*44%*	22	*3%*	710	665
946_RO	1.KAT	1.432	*27%*	297	*6%*	876	*33%*	144	*5%*	5.394	2.682
1101	2.KAT	96	*30%*	22	*7%*	276	*42%*	14	*2%*	320	664
1101	1.KAT	621	*27%*	120	*5%*	540	*37%*	94	*7%*	2.289	1.445
1101_RO	2.KAT	68	*30%*	18	*8%*	286	*38%*	14	*2%*	231	752
1101_RO	1.KAT	394	*26%*	77	*5%*	791	*33%*	150	*6%*	1.487	2.365
1614	2.KAT	62	*28%*	15	*7%*	290	*43%*	12	*2%*	221	667
1614	1.KAT	398	*26%*	84	*5%*	678	*35%*	123	*6%*	1.544	1.952
1614_RO	2.KAT	83	*31%*	19	*7%*	268	*43%*	13	*2%*	264	623
1614_RO	1.KAT	499	*27%*	114	*6%*	607	*36%*	105	*6%*	1.882	1.700
1616	2.KAT	79	*27%*	22	*8%*	287	*39%*	12	*2%*	286	741
1616	1.KAT	513	*25%*	105	*5%*	650	*35%*	112	*6%*	2.042	1.844
1616_RO	2.KAT	84	*29%*	22	*8%*	284	*41%*	13	*2%*	288	698
1616_RO	1.KAT	536	*25%*	103	*5%*	702	*35%*	120	*6%*	2.111	2.030
1619	2.KAT	36	*27%*	9	*7%*	261	*34%*	9	*1%*	136	774
1619	1.KAT	233	*25%*	50	*5%*	418	*42%*	56	*6%*	917	993
1619_RO	2.KAT	45	*31%*	9	*6%*	251	*33%*	9	*1%*	147	766
1619_RO	1.KAT	268	*26%*	57	*5%*	401	*40%*	52	*5%*	1.044	998
1792	2.KAT	70	*28%*	19	*8%*	296	*52%*	13	*2%*	254	572
1792	1.KAT	437	*25%*	82	*5%*	777	*34%*	142	*6%*	1.714	2.318
1792_RO	2.KAT	95	*31%*	22	*7%*	271	*54%*	14	*3%*	308	501
1792_RO	1.KAT	604	*26%*	120	*5%*	588	*37%*	103	*6%*	2.300	1.598
5836	2.KAT	240	*32%*	51	*7%*	311	*35%*	27	*3%*	755	885
5836	1.KAT	1.515	*12%*	310	*3%*	793	*5%*	161	*1%*	12.307	14.740
5836_RO	2.KAT	128	*31%*	32	*8%*	363	*43%*	25	*3%*	410	852
5836_RO	1.KAT	716	*28%*	138	*5%*	1.685	*30%*	302	*5%*	2.600	5.572
6948	2.KAT	115	*28%*	29	*7%*	308	*39%*	16	*2%*	409	786
6948	1.KAT	765	*26%*	149	*5%*	875	*33%*	155	*6%*	2.967	2.670
6948_RO	2.KAT	123	*30%*	31	*8%*	298	*34%*	14	*2%*	406	875
6948_RO	1.KAT	790	*26%*	153	*5%*	983	*32%*	179	*6%*	3.000	3.080
6969	2.KAT	83	*28%*	25	*8%*	299	*33%*	16	*2%*	300	897
6969	1.KAT	524	*26%*	109	*5%*	852	*33%*	152	*6%*	2.039	2.593
6969_RO	2.KAT	110	*30%*	25	*7%*	280	*28%*	14	*1%*	365	992
6969_RO	1.KAT	713	*26%*	150	*5%*	727	*34%*	137	*6%*	2.751	2.149

BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu çalışmada, TBDY 2018 esasları dahilinde, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemini kullanarak, mevcuttaki bir betonarme binanın deprem performansı analiz edilmiştir ve yetersiz olan elemanlar güçlendirilerek hedef performans elde edilmeye çalışılmıştır.

Mevcut yapı okul binası olarak ele alınmıştır. Konum olarak da İstanbul'un Kartal ilçesi seçilmiştir. TBDY 2018'e göre yapının performans hedefi belirlenmiştir. Binanın konumuna göre yatay tepki spektrumu elde edilmiştir. Yapıya etkitilecek, Landers (1992), Northridge (1994), Kobe (1995), Düzce (1999), Hector Mine (1999), El Mayor-Cucapah (2010) ve Darfield (2010) depremlerine ait 22 adet ivme kaydı PEER veri tabanından elde edilmiştir. Daha sonra bu kayıtlar Seismomatch programı vasıtasıyla yatay elastik tasarım spektrumuna göre eşleştrilip ölçeklendirilmiştir.

Mevcut yapının üç boyutlu modeli ETABS 18 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Modelleme'de yapı kütlesi belirlemek için kütle kaynağı tanımlanmıştır.

Membran olarak modellenen döşemelere hareketli yük ve kaplama yükleri tanımlanmıştır. Betonarme kesitler section designer menüsünden mander sargısız beton modeli baz alınarak modellenmiştir. Doğrusal olmayan davranışı gözlemleyebilmek adına tüm elemanların doğrusal olmayan malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Yapı önce doğrusal statik yükleme altında analizi yapılarak kolonlara gelen eksenel kuvvetler elde edilmiştir. Bu eksenel kuvvetler neticesindeki kolonun moment-eğrilik grafiği elde edilmiştir. Betonareme kesitlere etkin kesit rijitliği çarpanları uygulanarak kesitler çatlatılmıştır ve bu sayede rijitik azaltılmıştır. Yapının ritz vektörleri kullanılarak modal analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda binanın tepkisi belirlenmiştir. Betonarme, ve çelik kesitlere yığılı plastik mafsal teorisine göre plastik mafsallar tanımlanarak doğrusal olmayan davranış sınır değerleri incelenmiştir. Bu sınır değerler üzerinden kesit performansı elde edilmiştir.

Doğrusal olmayan analizi gerçekleştirebilmek için doğrusal olmayan yük tanımlamaları yapılmıştır. Bu çerçevede yapıya önce düşey yükler altında doğrusal olmayan statik yükleme yapılmış ve bu yükleme değeri zaman tanım alanında doğrusal olmayan yüklemeye başlangıç koşulu olarak tanımlanmıştır. Modal analizden elde edilen bina hakim periyotları rayleigh orantılı sönüm matrisi kullanılarak doğrusal

olmayan yüklemenin sönüm oranı belirlenmiştir. Yükleme yine modal analizde kullanılan ritz vektörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu durum zaman tanım alanında hızlı analiz için gerekli bir adımdır. Her bir depremin iki yatay bileşeni bir adet yüklemede kullanılmış ve daha sonra bu yatay bileşenleri 90 derece döndürülüp tekrar etki ettirilmiştir. 11 adet deprem kayıt çiftine ait 22 tane yükleme belirlenmiştir. Bu yüklemeler altında yapının analizi yapılmıştır ve plastik mafsaldan elde edilen dönme değerleri sınır değerler ile karşılaştırıldığında yapının 22 deprem ortalamasına göre yetersiz performans gösterdiği belirlenmiştir.

Yetersiz performansı hedef performans düzeyine getirmek için merkezi çaprazlı çelik elemanlarla yapı güçlendirilmeye çalışılmıştır. Merkezi çaprazlı çelik eleman olarak kutu kesit kullanılmıştır. Merkezi çapraz sistemi olarak ise ters V sistemi kullanılmıştır. Doğrusal olmayan çelik çapraz davarnışını incelemek adına çelik kesitlere plastik mafsallar atanmıştır. Bu mafsallar için sınır değerler belirlenmiş ve bu sınır değerlere göre güçlendirme sonrasındaki analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Güçlendirme sonrası çelik elemanlarda performans sınır değerleri aşılmamıştır. Betonarme kolon ve kiriş elemanlarda ise performans düzeyi hedef performans düzeyinin altında yer alarak yapı güçlendirilmiştir.

Analiz sonuçlarını yorumlamak gerekirse;

Performansı değerlendirilen mevcut yapıda kirişler için incelenmiştir ve performans sınır değerleri aşılmadığından dolayı detaylı tablo çıktısı tezde yer almamıştır. Tüm kiriş elemanlar sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgelerinde yer almaktadır.

Kolonlardaki sınır değerleri, **Tablo 8**'de 22 depremin analizinden elde edilen ortalamalarla karşılaştırılarak eleman hasar bölgeleri belirlenmiştir. Kolonlarda oluşan en büyük dönme değeri 1.Kat'daki C2 numaralı kolonda C2H1 numaralı plastik mafsalda gerçekleşmiştir. Bu dönme değeri 1792 PEER kayıt numaralı Hector Mine depreminin 90 derece döndürülerek etkitilmiş olan yüklemesinden, M3 yönünde ve kolon üst ucunda, 21,88'inci saniyede "0,035568 rad/m" olarak elde edilmiştir. Diğer tüm kat kolonlarında da yine en büyük dönme değerlerine bu deprem kaydından elde edilen sonuçlardan ulaşılmaktadır.1792 PEER kayıt numaralı depremin, 90 derece döndürülmesiyle yapılan analizin sonucunda, yapıya daha büyük dönme değerleri sonuçları vermiştir.

22 deprem sonucunda kolonlarda oluşan hasa dağılımlarını gösteren **Tablo 9**'da, yapıda 3.Kat'da ileri hasar ve göçme bölgelerinde bulunan kolon olmazken, 2.Kat'da kontrollü hasar sınır değerini geçen kolon oranı %40, 1.Kat'da kontrollü hasar sınır değerini geçen kolon oranı %44 dür. Bu sonuçlara göre 22 adet deprem ortalamasının yapıya etkisi en çok 1.Kat'da oluşmaktadır.

Kolonlara gelen kesme kuvveti değerleri ve oransal dağılımlarını incelemek için **Tablo 10**'a baktığımızda ise X ve Y yönlerinin her ikisinde birden en fazla kesme kuvveti yine Hector Mine depreminin 90 derece döndürülerek etkitilmiş deprem yükünden kaynaklanmaktadır. 2.Kat'daki göçme ve ileri hasar bölgelerinde yer alan kolonlara gelen kesme kuvvetlerinin, 2. Kat'daki toplam kesme kuvvetine oranı ortalama olarak X yönünde %40, Y yönünde ise %39 dur. 1.Kat'daki göçme ve ileri hasar bölgelerinde yer alan kolonlara gelen kesme kuvvetlerinin, 1. Kat'daki toplam kesme kuvvetine oranı ortalama olarak X yönünde %44, Y yönünde ise %43'dür. Bu durum göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlamadığından yapı göçme durumunda yer almakta olup can güvenliği açısından sıkıntılıdır. Yapının performans hedefi kontrollü hasar performans düzeyi olmakta olup çıkan sonuç hedefin dışındadır.

Yapı güçlendirildikten sonra performans değerlendirmesine güçlendirme elemanlarıda dahil edilmiştir. Çelik çaprazların şekildeğiştirme sınırları **Tablo 13**'de belirlenmiştir. Yapı güçlendirken önce sadece performansı yetersiz olan kolon elemanların olduğu bölgelerde güçlendirme yapılmış olup, diğer elemanlarda işlem yapılmadan analiz tekrarlanmıştır. Çıkan analiz sonucunda performansı başta yetersiz olan kolonların performansları iyileşmiş fakat bu sefer farklı kolonlarda performans yetersiz kalmıştır. Alınan sonuç değerlendirildiğinde yapı kat geometrisinde simetriklik yaratacak şekilde güçlendirme yapılıp analiz tekrar edilmiş olup bu sefer daha farklı kolonlarda perfomanslar kötüleşmiştir. Bu durumun sonucu olarak tüm yapı dışından merkezi çarpazlı çelik elemanla güçlendirilmiş ve tekrar analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucunda belirlenen hedefe ulaşılmıştır.

Güçlendirme sonrasında 1.Kat'daki C2 numaralı kolon tekrar incelenmiştir. Güçlendirme öncesi 1792 PEER kayıt numaralı depremden elde edilen sonuç, C2H1 mafsalı için M3 yönünde "0,035568 rad/m" göçme durumundan, güçlendirme sonrasında "0,00452 rad/m" ileri hasar bölgesine geçmiştir. En kritik sonuç elde edilen C2 kolonunda, güçlendirme sonrasında iyileştirme olmuştur fakat kontrollü hasar

bölgesine geçmemiştir. 22 Deprem ortalamasından elde edilen dönme değerleri karşılaştırıldığında, aynı mafsal için M3 yönünde güçlendirme öncesinde "0,01896 rad/m" göçme durumundan, güçlendirme sonrasında "0,003588 rad/m" ileri hasar bölgesine geçmiştir. Ortalama değerler karşılaştırıldığında da kontrollü hasar performans seviyesi, en kritik mafsal için sağlanamamıştır.

Son güçlendirme aşamasından elde edilen sonuçlarda, **Tablo 15** incelendiğinde 3.Kat'da ileri ve göçme hasar bölgesinde herhangi bir eleman bulunmayıp tüm elemanlar sınırlı ve belirgin hasar bölgelerinde bulunmaktadır. 2. Kat ve 1.Kat'da sadece üç kolon ileri hasar performans bölgesine geçmiş olup, göçme bölgesine hiçbir kolon geçmemiştir. Hasar dağılımlarından güçlendirmenin sistem performansını iyileştirdiği açıkça görülmektedir.

TBDY 2018'e göre belirlenen Kontrollü Hasar performans düzeyine göre inceleyecek olursak, kirişlerdeki dönme değerleri çok küçük olduğundan performans yetersizliği söz konusu olmamıştır. Kolon elemanlarda ise 3. Kat'da ileri hasar bölgesine geçen kolon olmadığı için bu koşul sağlanmıştır. Son olarak belirgin hasar düzeyini aşan elemanlara gelen kesme kuvvetinin ilgili kattaki toplam kesme kuvvetine oranı %30'u aşmaması gerekiyor. Bu durumda 2. Kat'da bu oran X yönünde ortalama %7 iken Y yönünde ortalama %2'dir. 1.Kat'da ise X yönünde %5 iken Y yönünde ortalama %6 dır. Sonuç olarak kontrollü hasar performans düzeyi sınır değerinin, yani %30'un çok altında kaldığından dolayı yapı, hedeflenen performans seviyesine ulaşmıştır.

Öneriler

Yapıya etkiyen sismik kuvvetleri bir izolatör yardımı ile absorbe etmek yerine mevcut yapıyı güçlendirme yoluna gidilmiştir. Okul, hastane vb. yapı önem katsayısı yüksek olan yapılar için yapıya gelen deprem ivmesini azaltmaya yönelik yapının analizinde sismik izolatörler kullanılabilir. Güçlendirme aşamasında merkezi çaprazlı çelik çaprazlar ile burkulması önlenmiş çelik çaprazlar vb. sistem uygulanarak aradaki farklar incelenebilir. Yapıda sistem bazında güçlendirme yerine yapı eleman bazında güçlendirme yöntemleri yani, kolon ve kirişlerin sarılması, kolonların eğilme kapasitelerinin artırılması yada kütle azaltımı vb. de kullanılabilir.

KAYNAKÇA

[1] Y. Şahin, «Mevcut Bir Betonarme Binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Zaman Tanım Alanında Analizinin Yapılarak Performansının Belirlenmesi Ve Çelik Güçlendirme Önerileri,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.

[2] Ç. Üstün, «Çelik Çerçeve Taşıyıcı Sistemli Mevcut Bir Binanın Güncellenen Yönetmelikler Altında Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle Değerlendirilmesi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.

[3] J. Buzuku, «Seismic Performance Evaluation Of 24 Story Rc Building By Nonlinear Time History Analysis Utilizing TBDY2018 And E8,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.

[4] T. Akbaş, «İki Betonarme Binada Bağ Kirişileri Etkisinin Operasyonel Modal Analiz Ve Sonlu Eleman Yöntemleriyle Belirlenmesi,» T.C. Maltepe Üniversitesi, İstanbul, 2020.

[5] Y. E. Şimşek, «Taşıyıcı Sistemi Beton Dolgulu Kompozit Kolon Ve Çelik Kirişlerden Oluşan Bir Binanın Tasarımı Ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018.

[6] M. Koç, «İvme Kayıtlarının Ölçeklendirilmesinin Zaman Tanım Alanında Analizlerden Elde Edilen Maksimum Ötelenme Taleplerine Etkisi,» Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2019.

[7] Y. M. Hothot, «Betonarme Çekirdek Perdeli Ve Çelik Taşıyıcı Sisteme Sahip Yüksek Binaların Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi,» Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, 2018.

[8] M. Kanat, «28 Katlı Çelik Bir Binanın Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2017.

[9] G. Şenoğlu, «Kompozit Yüksek Bir Yapının Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yöntem Kullanılarak Belirlenmesi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2016.

[10] E. Zengin, «Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz İçin Önerilen Kayıt Seçim Ve Ölçeklendirme Yöntemi,» Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2016.

[11] E. Saral, «Betonarme Yüksek Binaların Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri İle Deprem Performanslarının Belirlenmesi,» Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2015.

[12] A. R. Yıkılmaz, «Büyük Açıklıklı Betonarme Yapıların Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yöntemle Belirlenmesi Ve Viskoz Sönümleyiciler İle Güçlendirilmesi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.

[13] F. Ömerbeyoğlu, «Taşıyıcı Sistemi Çelik Gömme Kompozit Kolonlar Ve Çelik Kirişlerden Oluşan Bir Binanın Tasarımı Ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.

[14] AFAD, «Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması,» [Çevrimiçi].

[15] A. D. D. Başkanlığı. [Çevrimiçi]. Available: https://deprem.afad.gov.tr/galeri.

[16] K. C. Hall, «The Great Hanshin-Awaji Earthquake Statistics and Restoration Progress,» Kobe City Hall, Kobe, 2009.

[17] S. F. o. D. Earthquake, «Reddit,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.reddit.com/r/CatastrophicFailure/comments/fw4n54/wildly_bent_railway_tracks_after_the_2010/.

[18] A. Elliot, «Advancing Earth and Space Science,» [Çevrimiçi]. Available: https://blogs.agu.org/tremblingearth/2012/06/28/landers-20/.

[19] P. E. E. R. Center, «PEER Ground Motion Database,» University of California, [Çevrimiçi]. Available: https://ngawest2.berkeley.edu/.

[20] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, 2018.

[21] TBDY, «Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,» 2018.

[22] E. H. Program, USGS, [Çevrimiçi]. Available: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/ci3144585/origin/detail.

[23] T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, «AFAD,» [Çevrimiçi]. Available: https://deprem.afad.gov.tr/depremdetay?eventID=246572.

[24] AFAD, «Türkiye Deprem Tehlike Haritası,» 2018. [Çevrimiçi].

[25] U. G. Survey. [Çevrimiçi]. Available: https://pubs.usgs.gov/of/1996/ofr-96-0263/.