

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLİ MEVCUT BİR BİNANIN
GÜNCELLENEN YÖNETMELİKLER ALTINDA ZAMAN TANIM ALANINDA
DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağlar ÜSTÜN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLİ MEVCUT BİR BİNANIN
GÜNCELLENEN YÖNETMELİKLER ALTINDA ZAMAN TANIM ALANINDA
DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağlar ÜSTÜN

501141055

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501141055 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Çağlar ÜSTÜN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇELİK ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLİ MEVCUT BİR BİNANIN GÜNCELLENEN YÖNETMELİKLER ALTINDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Erişan Filiz PİROĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 02 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 13 Haziran 2019





Eşime ve aileme,



ÖNSÖZ

Gerek lisans gerekse yüksek lisans öğrenimim boyunca hem akademik hem de insani açıdan bana çok değerli katkıları olan ve de yüksek lisans öğrenimim boyunca bana sabırla ve anlayışla yol gösteren kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Varlığıyla hayatıma anlam katan, desteğini her an hissettiğim, huzur ve mutluluk kaynağım, sevgili eşim Deniz Hazel DİREN ÜSTÜN'e, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, beni her zaman karşılıksız seven aileme, canım annem Emine ÜSTÜN'e ve meslektaş olmaktan gurur duyduğum babam Niyazi ÜSTÜN'e, bilgisi ve zekasıyla bana her zaman güven veren biricik kardeşim Yiğit ÜSTÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. İyi ki varsınız.

Bu çalışma hazırlanırken mevcut yapı verilerini temin ettiğim, vaktini ve tecrübesini esirgemeyen İnş. Yük. Müh. Adnan ŞİRİN'e teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Çağlar ÜSTÜN
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
2. DBYBHY İLE TBDY’NİN KARŞILAŞTIRILMASI	5
2.1 Deprem Yer Hareketi	5
2.1.1 Deprem yer hareketi düzeyleri	6
2.1.2 Yerel zemin sınıfları.....	6
2.1.3 Elastik tasarım spektrumları.....	7
2.1.4 Zaman tanım alanında deprem yer hareketleri.....	7
2.2 Değerlendirme ve Tasarım İçin Genel Esaslar.....	8
2.2.1 Bina önem katsayısı ve BKS.....	9
2.2.2 Deprem tasarım sınıfları.....	9
2.2.3 Bina yükseklik sınıfı	9
2.2.4 Bina performans düzeyleri	9
2.2.5 Bina performans hedefleri.....	10
2.2.6 Binalarda düzensizlikler.....	10
2.3 Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımları	10
2.3.1 Dayanıma göre tasarım (DGT).....	11
2.3.1.1 Eşdeğer deprem yükü	11
2.3.1.2 Mod birleştirme.....	11
2.3.1.3 Mod toplama	11
2.3.2 Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT).....	12
2.3.2.1 İtme yöntemleri	12
2.3.2.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	12
3. MEVCUT ÇELİK BİNANIN ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ	15
3.1 Binalardan Bilgi Toplanması	15
3.1.1 Mevcut binanın özellikleri	15
3.1.2 Yükler ve birleşimleri	17
3.2 Analizde Yapılan Kabuller.....	18
3.2.1 Matematik modeli	18
3.2.2 Malzeme modeli.....	19
3.2.3 Davranış modeli	20
3.3 Taşıyıcı Sistemin Özellikleri.....	21

3.3.1	Elemanların süneklik düzeyi	22
3.3.2	Elemanların şekildeğiştirme sınırları	24
3.3.2.1	Kirişlerin plastik dönme sınırları.....	25
3.3.2.2	Kolonların plastik dönme sınırları.....	26
3.3.2.3	Kolon – kiriş birleşim bölgeleri plastik dönme sınırları	27
3.4	Deprem Yer Hareketleri	28
3.4.1	Kayıtların seçimi	28
3.4.2	Kayıtların dönüştürülmesi	29
3.4.3	Sönüm oranı	30
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	31
4.1	Analiz Sonuçları	31
4.1.1	Taban kesme kuvvetleri	31
4.1.2	Kat ötelenmeleri	31
4.1.3	Eleman bazında hasar	32
4.2	Değerlendirme	34
4.3	Öneriler.....	34
	KAYNAKLAR.....	37
	EKLER.....	39
	ÖZGEÇMİŞ.....	57

KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CQC	: Tam karesel birleştirme
CTBUH	: Council on Tall Buildings and Urban Habitat
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
ETABS	: Bina türü sistemlerin yapısal analizinin yapıldığı sonlu elemanlar programı
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
SRSS	: Karelerinin toplamının karekökü kuralı
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlike Haritası (2018)
XTRACT	: Kesit analiz programı



SEMBOLLER

b	: Yarım başlık genişliği (mm)
C_a	: Gerekli aksenal kuvvet dayanımının tasarım aksenal kuvvet dayanımına oranı
$(c_u)_{30}$: Zeminin üst 30 m'deki ortalama drenajsız kayma dayanımı (kPa)
d	: Kiriş enkesit yüksekliği (mm)
E	: Yapı çeliği elastisite modülü (MPa)
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_y	: Yapı çeliği akma gerilmesi (MPa)
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
G	: Sabit yükler
$GÖ$: Göçmenin önlenmesi
h	: Gövde yüksekliği (mm)
I	: Bina önem katsayısı
I_b	: Kiriş kesitinin atalet momenti (m^4)
I_k	: Kolon kesitinin atalet momenti (m^4)
KH	: Kontrollü hasar
l_b	: Kiriş elemanın boyu (m)
l_k	: Kolon elemanın boyu (m)
M_2	: Çelik kesitin zayıf ekseni
M_3	: Çelik kesitin güçlü ekseni
n	: Hareketli yük kütle katılım katsayısı
$(N_{60})_{30}$: Zeminin üst 30 m'deki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı
P	: Kesitte bulunan aksenal kuvvet (kN)
P_c	: Çelik elemanın basınç dayanımı (kN)
P_y	: Çelik elemanın akma dayanımı (kN)
Q	: Hareketli yükler
SH	: Sınırlı hasar
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı

S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
t	: Başlık kalınlığı (mm)
t_w	: Gövde kalınlığı (mm)
$(V_s)_{30}$: Zeminin üst 30 m'deki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)
W_p	: Kesitin plastik mukavemet momenti (m ³)
θ_y	: Akma dönmesi (rad)



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Deprem yer hareketlerinin detayları.....	6
Çizelge 3.1 : Binadaki profillerin enkesit özellikleri.....	24
Çizelge 3.2 : Kirişlerde şekildeğiştirme sınırları	25
Çizelge 3.3 : Süneklik düzeyi sınırlı kolonlarda şekildeğiştirme sınırları.....	26
Çizelge 3.4 : Tam nüfuziyetli küt kaynaklı birleşim sınırları	27
Çizelge 3.5 : Birleşim bölgeleri şekildeğiştirme sınırları	27
Çizelge 3.6 : Kullanılan deprem kayıtları.....	28
Çizelge D.1 : Modal kütle katılımı.....	49



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Büyük depremlerdeki can kayıpları	2
Şekil 2.1 : Türkiye deprem tehlike haritası	5
Şekil 3.1 : Binanın tipik kat planı	16
Şekil 3.2 : Binanın matematik modeli	19
Şekil 3.3 : Yapı çeliği idealleştirilmiş gerilme-şekildeğiştirme grafiği	20
Şekil 3.4 : Yığılı plastik davranış	21
Şekil 3.5 : I profillerde kesit özellikleri	22
Şekil 3.6 : Hedef ve ortalama spektrumlar	29
Şekil 3.7 : Sönüm oranı-yapı yüksekliği ilişkisi.....	30
Şekil 4.1 : Göreli kat ötelenmeleri.....	32
Şekil 4.2 : Kesit hasar sınırları	32
Şekil 4.3 : Kolonlarda SH plastik mafsallık değerleri (M2 ve M3).....	33
Şekil A.1 : K1 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil A.2 : K1 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil A.3 : K2 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil A.4 : K2 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil A.5 : K3 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	42
Şekil A.6 : K3 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.....	42
Şekil A.7 : K4 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	42
Şekil A.8 : K4 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.....	42
Şekil A.9 : K5 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	43
Şekil A.10 : K5 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.....	43
Şekil A.11 : K6 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	43
Şekil A.12: K6 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.....	43
Şekil A.13 : K7 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	44
Şekil A.14 : K7 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.....	44
Şekil A.15 : K8 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	44
Şekil A.16 : K8 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.....	44
Şekil A.17 : K9 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.....	45

Şekil A.18 : K9 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği	45
Şekil A.19 : K10 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği	45
Şekil A.20 : K10 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği	45
Şekil A.21 : K11 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği	46
Şekil A.22 : K11 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği	46
Şekil B.1 : İnteraktif sismik tehlike harita raporu	47
Şekil C.1 : ETABS sonlu elemanlar analiz modeli	48
Şekil E.1 : HEA340 moment-eğrilik grafiği.....	50
Şekil E.2 : IPE360 moment-eğrilik grafiği	50
Şekil E.3 : IPE300 moment-eğrilik grafiği	51
Şekil F.1 : Kolonlarda plastik mafsallar	52
Şekil F.2 : Kirişlerde plastik mafsallar	53
Şekil G.1 : 1.kat C1 kolonu alt ucu iskelet eğrisi	54
Şekil G.2 : 1.kat C2 kolonu alt ucu güçlü ekseninde iskelet eğrisi	55
Şekil G.3 : 1.kat C8 kolonu alt ucu zayıf ekseninde iskelet eğrisi	55
Şekil G.4 : 1.kat kirişleri iskelet eğrisi örnekleri	56

ÇELİK ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLİ MEVCUT BİR BİNANIN GÜNCELLENEN YÖNETMELİKLER ALTINDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Geçmişten bugüne Türkiye sınırları içinde ve çevresinde ağır can ve mal kayıpları doğurmuş çok sayıda deprem meydana gelmiştir. AFAD'ın güncel raporuna göre Türkiye, 1900'den bu yana kaydedilen büyük depremler göz önüne alındığında, 77 adet deprem ile dünya sıralamasında dördüncüdür. Bu veriler ışığında, depremlerin Türkiye için çok önemli bir tehdit olduğu ve şehirleşmenin bu tehlike göz önüne alınarak yapılması gerektiği söylenebilir. Bu sebeple yapı inşası sırasında uygulanması gereken kurallar bütünü olarak, deprem yönetmelikleri geliştirilmiştir. Gelişen teknoloji ve bilimsel araştırmalarla birlikte yürürlükte olan yönetmeliklerdeki uygulama zorluklarının, problemlerin ve eksiklerin giderilmesi, yapısal analizlerin kapsamının ve detaylarının genişletilmesi, yapılan binaların depreme dayanıklılığı açısından bir ihtiyaçtır. Ülkemizde bu ihtiyaçlara cevap vermek adına, belirli aralıklarla yeni yönetmelikler çıkartılmış ve yapıların tasarım ve değerlendirme kurallarında geliştirmeler yapılmıştır.

Yakın dönemde yapılan değişikliklerden ilki deprem yönetmeliğinin güncellenmesidir. Yılbaşından itibaren geçerli olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, kısaca TBDY'dir. Bir diğer değişiklik ise çelik yapıların hesap yöntemlerine dair esasların yenilenmesidir. Ayrıca deprem bölgeleri haritası da baştan aşağıya değiştirilerek Türkiye Deprem Tehlike Haritaları adında yeni ve interaktif bir yapıya dönüşmüştür. Yapılan yeniliklerle kullanılan tasarım, hesap ve değerlendirme kriterlerinde büyük değişimler olmuştur. Dolayısıyla yönetmelik değişiklikleri olmadan önce inşa edilen binaların geliştirilen yöntemler altında yeniden yapımının irdelenmesi ve mevcut yapıların değerlendirilmesi ihtiyacı doğmuştur.

Bu tez çalışmasında, 2012 yılında konut olarak kullanılmak üzere projelendirilen ancak, yapı ruhsatı alındıktan sonra uygulamasından vazgeçilen taşıyıcı sistemi moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı bir bina, TBDY ile mevcut yapı sistemlerinin değerlendirilmesi başlığı altında incelenecektir. TBDY ile birlikte artık eski yönetmeliklerde bulunmayan çelik bina sistemleri için performans koşulları tanımlanmıştır. Bu değişiklikten önce mevcut çelik yapılar tasarım aşamasındaki kurallara göre değerlendirilmekteydi. Bu çalışma ile konut olarak kullanılmak üzere projelendirilmiş bir binanın performansı belirlenmiştir.

Buna ek olarak, deprem yönetmeliğinde meydana gelen temel değişikliklerin göz önüne alınarak irdelenmesi amaçlanmıştır. Kapsamı eskisine göre büyük oranda arttırılan yeni yönetmeliğin irdelenmesi başlı başına bir konu olduğundan, yapılan karşılaştırma aşamalarında değerlendirmesi yapılacak olan bina için geçerli olan yaklaşıma odaklanılmıştır.

Analiz kapsamında zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak mevcut binanın performans değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca analiz aşamalarında güncel yabancı yönetmeliklerden de yararlanılmıştır. Deprem kayıtları uluslararası bir veri tabanından temin edilmiş ve TBDY’de tanımlanan yöntemler ışığında akademik lisansa sahip ticari bir program kullanılarak işlenmiştir. Çözümlenmeler de benzer şekilde akademik lisansa sahip ticari bir sonlu elemanlar programı kullanılarak, binanın projelerine uygun matematik modeli oluşturularak yapılmıştır. Binanın yatay deprem yükü taşıyıcı elemanları çubuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Bu sebeple doğrusal olmayan yöntemde plastik mafsallı teorisi olarak da bilinen yığılı plastik davranış modeli tercih edilmiştir. Malzemenin doğrusal olmayışı başlığı altında güncel yönetmelik ve uluslararası yönetmelikler ışığında pekleşen ideal elasto-plastik malzeme davranışı seçilmiştir.

Sonuç bölümünde binaya gelen deprem kuvvetleri, binanın yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri irdelenmiştir. Deprem kuvvetleri açısından yeni ve yürürlükten kaldırılan yönetmeliğe göre hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Analiz yönteminde doğrudan hesaba katılan ikinci merteye etkileri ve binanın davranışı için fikir vermesi açısından görelî kat ötelenmeleri de incelenmiştir. Eleman bazında oluşan hasarlar tek tek değerlendirilerek binanın deprem performansı belirlenmiştir.

AN ASSESSMENT OF NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS OF AN EXISTING STEEL FRAME STRUCTURE UNDER NEW REGULATIONS

SUMMARY

From past to present, there has been many earthquakes which caused heavy damage and losses occurred within the borders of Turkey and surrounding. According to the current report of AFAD, Turkey is the fourth in the world rankings with 77 big earthquakes since 1900. In this context, it is very important that earthquakes pose a threat to Turkey and it can be said that urbanization should be made taking into account the danger. Therefore, earthquake regulations have been developed as a set of rules that should be applied during construction. With the help of developing technology and scientific research, it is a necessity to eliminate the difficulties, deficiencies and problems in the regulations in force, to extend the scope and details of the structural analysis, in terms of earthquake resistance of the buildings. In order to meet these needs in our country, new regulations have been issued periodically and improvements have been made in the design and evaluation rules of the buildings.

The first of these changes is the revision of the earthquake regulations. Another change is the revision of the principles regarding the calculation methods of steel structures. In addition to the earthquake zone maps it has also been turned into a new and interactive structure called the Turkey Earthquake Hazard Map of changing from top to bottom. There have been major changes in the design, calculation and evaluation criteria used with the innovations. Therefore, before the regulation changes, there was a need to examine the reconstruction of the buildings constructed under new methods and to evaluate the existing buildings.

Since the steel structures' performance criteria are added to the evaluation of existing structures with the new regulation, applications and regulations can be further improved by increasing the evaluation studies. Problems that may arise in the application can be quickly resolved.

In DBYBHY (old seismic code), the rules for determining the earthquake performance were valid only for reinforced concrete and prefabricated reinforced concrete buildings. With the new regulation, steel structures were added to earthquake performance criteria.

The examination of the new Turkish Building Seismic Code 2018 (TBDY), which has been greatly increased compared to the old one, is an issue in itself. In the comparison stages, the approach which is valid for the building to be evaluated is focused. Within the scope of the analysis, the performance assessment of the existing building according to the new regulation was performed by using nonlinear time history analysis method that can be applied in all structures without any conditions. The results of these analyzes are known in the literature as the most reliable method of analysis. In addition, current foreign regulations were utilized during the analysis.

In this thesis, a 5-storey building consisting of steel moment-resisting frames with structural system, which was designed to be used as a residence in 2012 but was abandoned after the building license was obtained, will be examined under the title of evaluation of existing building systems with new seismic code. In addition, it is aimed to examine the fundamental changes in earthquake regulations.

Evaluation of existing structures begins with the step of gathering information from buildings. The information to be obtained in the new regulation is divided into two categories as limited and comprehensive. In the evaluation made within the scope of this study, the building was analyzed in accordance with the comprehensive knowledge level and projects.

Since there were no recorded earthquakes in the area where the building is located, the local ground conditions of the structure were taken into consideration as the starting point for the selection of earthquake records. Since the shear wave velocity is 174 m/s, twenty-four earthquake recordings with values close to this value were found. Afterwards, non-convergent and inefficient records were eliminated and eleven earthquake records were selected. Since the earthquake regulation requires harmonization with the earthquakes in the region in order to use simulated records, simulated earthquake records were not used in this study. All recordings were obtained from PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) Berkeley, ngawest2 database. When selecting the records from PEER, the design spectrum of the building can be defined interactively to the site before the search step and a search can be made to converge to the design spectrum. Earthquake records were taken from the database and it is processed using a commercial program with an academic license in the light of the methods described at TBDY.

Two horizontal components of each record will be used in nonlinear time history calculations and a second calculation will be made for the same earthquake by changing the direction of the components and a total of twenty-two analyzes will be performed. Since two components are used together in this method, earthquake forces in two directions are already combined. As a result, the greatest absolute arithmetic means of the twenty-two analyzes will be obtained.

The analyzes were made by using a commercial finite element program and a mathematical model suitable for the building projects. Since the horizontal earthquake load bearing elements were modeled using only frame elements, the plastic hinge theory was preferred as the nonlinear method. The slabs were modeled with shell finite elements and the largest 50 cm square finite element meshes were automatically arranged in the analyzes. Since the slabs are included in the model, no additional diaphragm definition is made. Geometric nonlinearity, also known as P-Delta effect, calculations will be automatically considered thanks to the feature of the program. Under the heading of material nonlinearity, the hardening ideal elasto-plastic material model has been selected which in accordance with the new regulations and international standards.

According to TBDY, the building should not have any element passing to the forward damage zone in order to have a controlled damage level. For concrete buildings, a certain percentage of beams and some vertical bearing elements may pass to the upper region according to the shear force ratio on the floor. However, exceptional cases in reinforced concrete in steel structures do not apply.

In steel structures, the ductility level on the basis of elements is determined under the limit values given according to the cross-sectional conditions. The performance of the

structural system elements is determined in the light of the changing limits defined according to the ductility level of the elements. There are limit values for each element depending on the type of structural system. The rotation of columns, beams and the joining regions of these elements should be evaluated for the moment resisting steel frame systems.

There are three performance limits in the literature for structural systems and the corresponding limits in the new regulation are as follows; immediate occupancy (SH), life safety (KH), collapse prevention (GÖ). According to TBDY, this building must meet the conditions of life safety.

As a result of the investigations; Although the lowest strength structural steel given in the standards is used and the ductility level of the system is limited, the building-controlled damage provides earthquake performance since there are no elements passing to the life safety performance level.

In addition, at the end of this study, when the ductility level of some elements is limited and some of is high, there is a lack of explanation as to whether the elements will be evaluated separately or if they will be limited according to the unfavorable state of the system.

Steel structure systems have the advantages of being easily strengthened, dismantled and reusable and highly recyclable. However, it is a known fact that steel buildings are much less preferred in our country compared to reinforced concrete buildings. In the light of these features compared to other building systems; this work has emerged with the desire of strengthening rather than demolish-rebuilding, thus increasing the useful life of buildings and reducing waste and making more environmentally friendly buildings.

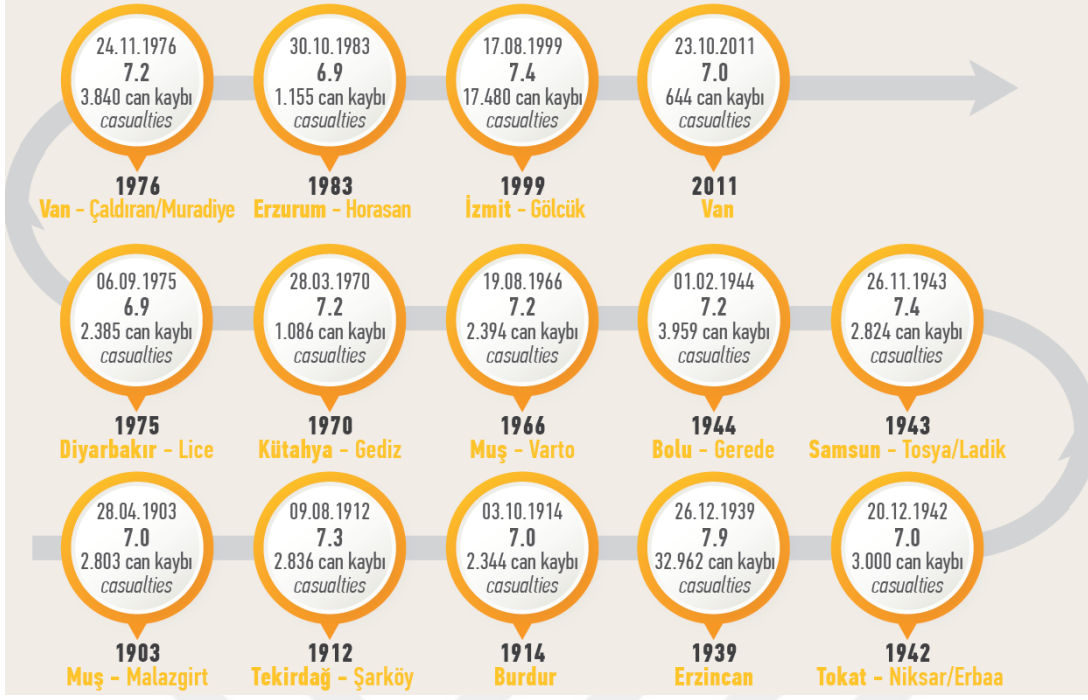


1. GİRİŞ

Türkiye bütün coğrafyasıyla bir deprem ülkesidir. Tarih boyu ülkemizin sınırları dahilinde ve çevresinde birçok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiştir. “1900’den günümüze meydana gelen büyük depremler bakımından Türkiye 77 deprem ile dünyada dördüncü sırada yer almaktadır” (AFAD, 2018, s.8). Bu depremler ağır can ve mal kayıpları doğurmuştur (Şekil 1.1). Her geçen gün gelişen teknoloji ve yapılan bilimsel çalışmalarla birlikte yürürlükte olan yönetmeliklerdeki uygulama zorluklarının ve karşılaşılan problemlerin giderilmesi, yapısal analizlerin kapsamının ve detaylarının genişletilmesi bir ihtiyaçtır.

Ülkemizde de bu ihtiyaçlara cevap vermek adına, belirli aralıklarla yönetmelikler yenilmiş ve yapıların tasarım ve değerlendirme kurallarında değişiklikler olmuştur. Bunlardan biri çelik yapıların hesap yöntemlerine dair esasların yenilenmesidir. Aralık 1980’den beri kullanılmakta olan TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları standardı yerine otuz beş yıldan fazla bir süre sonra, Şubat 2016’da Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar yönetmeliği Resmi Gazete’de yayınlanarak Eylül 2016’da yürürlüğe girmiştir. Bu değişikliklerden bir diğeri deprem yönetmeliğinin güncellenmesidir. 2007’den beri yürürlükte olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) yerine tam on bir yıl sonra Mart 2018’de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) yayınlanmış ve tartışmaya açılarak yürürlüğe girmesi için yılbaşına kadar zaman tanınmıştır. Ayrıca TBDY ile paralel olarak kullanılmakta olan deprem bölgeleri haritası da baştan aşağıya yenilenecek Türkiye Deprem Tehlike Haritaları adında yeni bir yapıya dönüşmüştür. Deprem bölgesi kavramı ortadan kalkmış, interaktif olarak koordinat bazlı bir sistem yürürlüğe konulmuştur.

Tüm bu gelişmeler sonucunda birkaç yıl öncesine kadar kullanılan tasarım, hesap ve değerlendirme kriterlerinde büyük değişimler olmuş, analizler yeni bir yapıya bürünmüştür. Dolayısıyla bu değişiklikler olmadan önce inşa edilen binaların yeni yöntemler altında yeniden yapımının irdelenmesi ve mevcut yapıların değerlendirilmesi doğal bir neden ve güncel bir konudur.



Şekil 1.1: Büyük depremlerdeki can kayıpları (AFAD, 2018, s.46).

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Çelik yapı sistemlerinin kolayca güçlendirilebilmesi, sökülüp yeniden kullanılabilirliği ve yüksek oranda geri dönüştürülebilmesi gibi üstünlükleri bulunmaktadır (Erşen, Çelik Yapılar, s. 7). Ancak ülkemizde çelik binaların betonarme binalara nazaran çok daha az tercih edilmesi bilinen bir gerçektir. Diğer yapı sistemlerine göre sahip oldukları bu özellikleri ışığında; yık-yeniden yap anlayışı yerine güçlendirmenin tercih edilmesi, böylelikle binaların kullanım ömürlerinin arttırılması ve atıkların azaltılarak daha çevreci binaların yapılması arzusuyla bu çalışma ortaya çıkmıştır.

Çalışmanın esas amacı, 2012 yılında konut olarak kullanılmak üzere yapılması planlanarak projelendirilen, taşıyıcı sistemi yalnızca moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı bir binanın, yakın zamanda yürürlüğe giren TBDY ile mevcut bina sistemlerinin değerlendirilmesi başlığı altında incelenmesi ve deprem performansının belirlenmesidir.

Eski yönetmelikte mevcut çelik yapılar incelenirken, yapılacak değerlendirmeler tasarım başlığı altında verilen kurallara göre uygulanmaktaydı. TBDY ile birlikte artık çelik bina sistemleri için performans koşulları tanımlanmıştır. Bu güncelleme

dolayısıyla çalışmanın ikincil maksadı olarak, deprem yönetmeliğinde meydana gelen değişikliklerin göz önüne alınarak karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Yeni yönetmeliğin içeriği eskisine göre büyük oranda arttırılmıştır. Ahşap, hafif çelik, deprem yalıtımlı, yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı ve düzenli yerinde dökme betonarme binaların basitleştirilmiş hesabı için kurallar içeren yeni bölümler ilave edilmiştir. Başkaca, var olan bölümler güncellenerek hem tasarım hem de mevcut binaların incelenmesi başlıkları altında birtakım değişiklikler yapılmıştır. Bu sebeplerden ötürü, iki yönetmeliğin irdelenmesi başlı başına bir konu olduğundan, yapılan karşılaştırma aşamalarında değerlendirmesi yapılacak olan bina için geçerli olan yaklaşıma odaklanılmıştır.



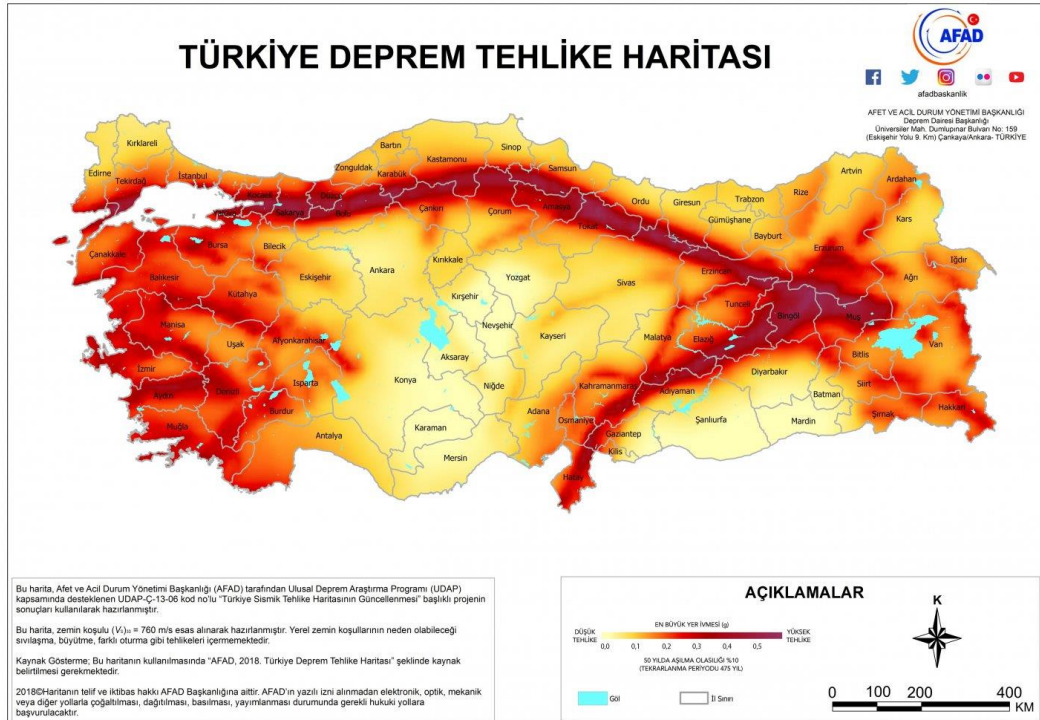


2. DBYBHY İLE TBDY’NİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde yakın zamanda kullanıma sunulan TBDY’nin eski yönetmelikle olan farklılıkları ve benzerlikleri genel anlamda incelenecektir. Karşılaştırma aşamalarında değerlendirilmesi yapılacak olan bina ile doğrudan ilişkili olan bölümler ele alınmıştır.

2.1 Deprem Yer Hareketi

TBDY öncelikle güncellenen deprem tehlike haritalarından bahsetmektedir. Bilindiği gibi eski yönetmelikte kullanılan haritada Türkiye dört derecede olmak üzere deprem bölgelerine ayrılmaktaydı. Yeni interaktif haritalarda bölge kavramı ortadan kaldırılarak, adrese ve koordinatlara dayalı olarak yer çekimi ivmesi biriminden, en büyük yer ivmesi değerleri tanımlanmıştır (Şekil 2.1). Yapısal analizler için gerekli olan değerlere <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH> internet adresinden erişilmekte ve site üzerinden rapor hazırlanabilmektedir.



Şekil 2.1: Türkiye deprem tehlike haritası (TDTH, 2018).

İnteraktif web uygulaması üzerinden elde edilecek verilerin temel değişkenleri, tasarım ve değerlendirme yaklaşımlarında kullanılacak olan deprem yer hareketi düzeyi ve yerel zemin sınıfıdır. Hesaplamalarda kullanılacak olan diğer veriler, binaların adresine ve bu değerlere bağlı olarak belirlenmektedir. Böylece her yapı kendisine özel elastik tasarım spektrumlarına göre hesaplanacaktır.

2.1.1 Deprem yer hareketi düzeyleri

TBDY deprem yer hareketlerini istatistiksel olarak DD-1; en büyük deprem yer hareketi, DD-2; standart tasarım deprem yer hareketi, DD-3 ve DD-4; servis deprem yer hareketi olmak üzere dört düzeyde tanımlamaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: Deprem yer hareketlerinin detayları.

Deprem yer hareketi düzeyi	50 yılda aşılma olasılığı	Tekrarlanma periyodu (yıl)	Görülme sıklığı
DD-1	%2	2475	Çok seyrek
DD-2	%10	475	Seyrek
DD-3	%50	72	Sık
DD-4	%68	43	Çok sık

DBYBHY de temel olarak, şiddetli depreme karşılık tanımlanan tasarım depremi, spektral ivmelerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem, kavramını kullanmaktaydı.

Tasarım depremine doğrudan uyguladığı katsayılarla bağlı olarak tanımladığı diğer iki deprem düzeyi, sadece mevcut bina türü yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi bölümünde yer almaktaydı. Mevcut yapıların performans düzeyinin belirlenmesinde geçerli olan bu deprem seviyeleri, binaların kullanım amaçları ve türlerine göre tasarım depremi esas alınarak oluşturulan ivme spektrumunun ordinatının yarısı ve 1.5 katı olarak tanımlanan 50 yılda aşılma olasılığı %50 ve %2 olan depremlerdir.

2.1.2 Yerel zemin sınıfları

DBYBHY'ye göre yerel zemin sınıfları iki aşamada belirlenmekteydi. Öncelikle zeminler özelliklerine göre A, B, C ve D grubu olarak tanımlandıktan sonra, en üst zemin tabakası kalınlığı ve zemin grubuna bağlı olarak Z1, Z2, Z3 ve Z4 olmak üzere

dört adet yerel zemin sınıfına ayrılmaktaydı. TBDY'ye göre artık zeminler cinslerine göre doğrudan ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olmak üzere altı zemin sınıfına ayrılmaktadır. Bu aşamada ayrıca ZF sınıfı zeminler belirli özelliklerde özel analiz ve değerlendirme gerektiren zeminler olarak tanımlanmaktadır. ZF sınıfına giren zeminlere ait zemin etki katsayıları bu analizlerle belirlenecektir.

2.1.3 Elastik tasarım spektrumları

Deprem hesaplarında kullanılacak elastik tasarım spektrumları, yapının adresine bağlı olarak deprem tehlike haritalarından elde edilecek spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 ile yerel zemin sınıfına ve harita spektral ivme katsayılarına bağlı olarak elde edilen yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1 kullanılarak oluşturulur. TBDY'ye göre analizlerde kullanılmak üzere üç adet elastik tasarım spektrumu tanımlanmıştır. Bunlardan ilki ve en önemlisi bütün hesap yöntemlerinde kullanılan yatay elastik tasarım spektrumudur. Oluşturulan bu spektrumdan binanın hakim periyotlarına göre spektral ivme değerleri elde edilir. Bu spektrum DBYBHY'de elastik deprem yüklerinin elde edilmesi için kullanılan spektrumun yerini almıştır. İkincisi, bu ivme değerleri kullanılarak ampirik bir formülle oluşturulan yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumudur. İtme yöntemleriyle yapılacak deprem hesaplarında kullanılmak üzere tanımlanmıştır. Son olarak eski yönetmelikten farklı olarak TBDY'de düşey elastik tasarım spektrumu kavramı yer almaktadır. Yatay elastik tasarım spektrumuna benzer ancak farklı formüllerle oluşturulur. Düşey deprem etkisi hesabının gerekli olduğu, ayrıyeten belirtilmiş yapısal elemanları içeren ve belli deprem tasarım sınıfına giren binalarda, sadece o yapısal elemanların hesabı için kullanılacaktır.

İki yönetmelik de ayrıca istenirse veya gerekli olduğu durumlarda birtakım şartlarla sahaya özel ivme spektrumlarının oluşturulabilmesine olanak tanımaktadır.

2.1.4 Zaman tanım alanında deprem yer hareketleri

Bu bölümde zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi ve bu kayıtların ölçeklendirmesi veya dönüştürülmesi için gerekli kurallardan bahsedilmektedir. Öncelikli olarak TBDY'nin koyduğu ve eski yönetmelikle arasında olan ilk fark "Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır." (TBDY, 2018, s.11) maddesidir. Ayrıca

yapılacak hesaplar için en az on bir kayıt/kayıt takımı kullanılacak ve aynı depremden seçilecek kayıt/kayıt takımı sayısı en fazla üç adetle sınırlandırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda on bir kaydın ortalaması alınacaktır. DBYBHY ise hesaplar üç kayıtla yapıldığında sonuçlardan en büyüğünün, en az yedi kayıtla yapıldığında sonuçların ortalamasının kullanılmasının gerektiğini söylemekteydi. İlaveeten, yapay olarak elde edilen veya benzeştirilmiş kayıtların kullanılabilirliği maddesi iki yönetmelikte de mevcuttur.

TBDY'ye göre kayıt/kayıt takımlarının ölçeklendirilmesinde, hesaplanacak deprem yönündeki hakim periyodun 0.2 ila 1.5 katı arasındaki genlikleri kullanılacaktır. Eski yönetmelikte bu değerler hakim periyodun 0.2 ila 2 katı idi. Basit ölçeklendirme, bir veya iki boyutlu hesap için; kullanılacak bütün kayıtlara ait spektrumların ortalamasının ordinatlarının bu aralıklarda yenilenen elastik ivme spektrumunun ordinatlarından küçük olmaması, üç boyutlu hesap içinse; deprem kaydı takımlarının yatay bileşenlerine ait spektrumlarının kareleri toplamının karekökü ile elde edilen bileşke spektrumun bu aralıklarda yenilenen elastik ivme spektrumunun ordinatlarının 1.3 katından daha küçük olmamasına göre yapılacaktır. DBYBHY'de hesaplarda boyut ayrımı yapılmamakta ve ölçeklendirmede ortalamaların elastik spektral ivme ordinatlarının %10'u kadar altına inmesine izin verilmekte idi.

Ek olarak yeni yönetmelik spektral uyuşum sağlaması koşulu ile dönüştürme yapılabilmesi maddesini içermektedir. Bu yöntemde tüm periyotlar için deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tasarım spektrumunun ordinatlarından küçük olmaması şartını sağlamak zorundadır. Yapılan analizlerde kayıtların dönüştürülmesi yöntemi kullanılmıştır.

2.2 Değerlendirme ve Tasarım İçin Genel Esaslar

TBDY ile birlikte bu başlık altında birçok yeni tanım ortaya konmuştur. Bu tanımlara bağlı olarak da binaların tasarımı ve değerlendirilmesi yaklaşımları kategorize edilmiştir. Uygulanacak analiz yöntemleri bu kategorilerin ışığında, deprem yer hareketi düzeylerine karşı gelen performans hedeflerine göre seçilecektir. Yönetmelik, yapı sahibinin istemesi halinde daha ileri performans hedeflerinin uygulanmasına olanak tanımaktadır.

2.2.1 Bina önem katsayısı ve BKS

Yeni yönetmelikte karşımıza çıkan bina kullanım sınıfı tanımı, önceki yönetmeliklerde de deprem hesaplarında bir güvenlik katsayısı olarak var olan ve yapıların kullanım amaçlarına göre belirlenen bina önem katsayısı (I) ile birebir ilişkilendirilmiştir. DBYBHY'deki dört tür revize edilerek üç farklı BKS ile gruplandırılmıştır.

2.2.2 Deprem tasarım sınıfları

Bina kullanım sınıfına ve DD-2 yer hareketine göre seçilen kısa periyot tasarım spektral ivmesine bağlı olarak, tablodan deprem tasarım sınıfı değeri belirlenir. DTS, analiz yaklaşımı seçiminde doğrudan kullanılan bir değerdir. Eski yönetmelikte böyle bir sınıf ayrımı yoktur.

2.2.3 Bina yükseklik sınıfı

Binalar, tabanından üst kotuna kadar olan yüksekliğe göre sekiz sınıfa ayrılmıştır. DTS'ye göre farklı aralıklarda olan bu yüksekliklerden en büyüğü, yüksek binalar olarak tanımlanmıştır. Yüksek binaların BYS değeri 1'dir ve bina yüksekliği ile ters orantılı şekilde sıralanmışlardır. İstenen analiz yönteminin belirlenmesinde yükseklik sınıfı, özellikle BYS değeri 2 ve 3 olan binalar için önemli bir unsurdur.

Bina tabanı tanımı, bodrum perdelerinin mevcudiyeti ve sağlaması gereken yeni şartlara göre temel üstü veya bodrum perdelerinin üzerindeki kat döşemesi seviyesi olarak belirtilmiştir. Önceki yönetmelikte doğrusal hesap adımlarında yer alan bodrum perdeleri kriterleri, TBDY'de yükseklik sınıfları kavramıyla birlikte açıklanmıştır.

2.2.4 Bina performans düzeyleri

Performans düzeyleri, binanın taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasarların şiddetini tarif etmektedir. Kesintisiz kullanım (KK), sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi olmak üzere dört grupta toplanmıştır. Kesit düzeyinde hasar sınırları da bina performans düzeyleriyle benzer isimler taşımaktadır.

DBYBHY'de adları hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi olan performans kriterleri mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi bölümünde kullanılmaktadır. Tasarım aşamasında ise farklı deprem şiddetleri altındaki hasarlardan sadece ana ilke olarak bahsedilmektedir (DBYBHY, 2007, s. 1).

2.2.5 Bina performans hedefleri

Her binanın deprem yer hareketi düzeyine ve deprem tasarım sınıfına göre sağlaması gereken performans hedefleri vardır. Uygulanacak tasarım ve değerlendirme yaklaşımı yeni yapılacak binalar için, mevcut binalar için ve bunlardan bağımsız sadece yüksek bina sınıfına giren yapılar için ayrı ayrı oluşturulan tablolardan seçilecektir. Deprem yalıtımlı binalara özel olarak yeni yapılacak veya mevcut yalıtımlı binalar için üstyapı ve altyapı ayrımı da gözetilerek farklı tablolar tanımlanmıştır. Ayrıca tablolarda bulunmayan hafif çelik, ahşap ve yığma binalar için sağlaması gereken performans hedefi DD-2 depremi için kontrollü hasar performans hedefi olarak ifade edilmiştir.

2.2.6 Binalarda düzensizlikler

Yeni yönetmelikte de düzensiz binaların tanımında ve türlerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Düzensizlik koşullarında ise farklılaşan iki detay göze çarpmaktadır. Birincisi, A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda kat döşemelerinin yük transferi hesabı için sonlu elemanlar modeli kurulması şartı getirilmiştir. Diğeri ise, kolonun iki ucundan mesnetli kirişe oturması düzensizliğinde yükleri arttırma şartı yerine düşey deprem hesabının yapılması istenmektedir.

2.3 Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımları

Bina sistemlerinin hesaplanmasında kullanılan analiz prosedürleri literatürde iki ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlar;

1. Doğrusal yöntemler

- Lineer statik
- Lineer dinamik modal spektrum
- Zaman tanım alanında modal lineer dinamik

2. Doğrusal olmayan yöntemler

- Doğrusal olmayan statik (pushover)
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik yöntemlerdir (ASCE/SEI 41-17, 2017, ss. 71-76).

TBDY’de kapsamı artan ve yeniden düzenlenen en önemli bölümlerden biri hiç şüphesiz analiz yöntemleridir. DBYBHY bir kısım hesap yöntemini tasarım aşaması kapsamına alırken, diğeri kısmı ise mevcut binaların değerlendirilmesi aşamasında

uygulanacak hesap yöntemleri olarak tanımlamaktaydı. Yeni yönetmelikte uluslararası standartlara paralel olarak analiz yöntemleri benzer bir yöntemle gruplanmış, doğrusal ve doğrusal olmayan hesap esasları için ayrı bölümler ve bu sebeple de daha önce açıklanan analiz yöntemi seçim kriterleri oluşturulmuştur.

Tasarım spektrumunun hesaplanmasındaki değişiklik de tüm analiz yöntemlerinde birtakım değişikliklerin oluşmasını beraberinde getirmiştir.

2.3.1 Dayanıma göre tasarım (DGT)

Dayanımına göre tasarım başlığı altında toplanan hesap esasları doğrusal analiz yöntemleridir. Doğrusal hesap yöntemlerinde hesaplar azaltılmış deprem kuvvetleriyle süneklik kapasitesine göre yapılır. Sistemin doğrusal elastik sınır yükünden sonraki taşıma gücünden yararlanılamaz.

2.3.1.1 Eşdeğer deprem yükü

Bu yöntem lineer statik yöntemdir. İki yönetmelikte de olan ve çok sık kullanılan elastik hesap yöntemidir. Uygulanması için düzensizlik ve bina yükseklik sınırı şartlarının yerine getirilmesi gerekmektedir. Ampirik formüllerle, hesap yapılan deprem yönündeki hakim periyoda göre deprem yükü bulunur.

2.3.1.2 Mod birleştirme

Lineer dinamik yönteme karşı gelir. Önceki yönetmeliklerde de kullanılan en temel yöntemlerden biridir. Hiçbir şart aranmaksızın her türlü yapıda analiz yöntemi olarak seçilebilir. Mod katkılarının birleştirilmesi aşamasında modlar arasındaki bir kurala bağlı olarak Karelerin toplamının karekökü (SRSS) veya her zaman Tam karesel birleştirme (CQC) kuralı kullanılabilir. TBDY'deki önemli bir revize hesaba katılacak yeterli mod sayısı kuralında yapılmıştır. Eski yönetmelikte %90 olan değer %95'e yükseltilmiştir.

2.3.1.3 Mod toplama

TBDY'ye yeni bir başlık olarak eklenerek kullanıma sunulan, önceki yönetmelikte zaman tanım alanında hesap yöntemleri bölümünde kısaca açıklanan, literatürde zaman tanım alanında doğrusal dinamik analiz olarak geçen hesap yöntemidir. Bir deprem kaydının birbirine dik iki doğrultuda aynı anda etkiyen bileşenleri altında; iç kuvvet, görelî kat ötelemesi ve yerdeğiştirme bileşenlerinin bütün titreşim modlarına

karşı gelen katkılarının zamana bağlı olarak doğrudan toplanması ile yapılmaktadır. Zaman tanım alanında yapılan hesaplarda on bir kayıt kullanılacak ve kayıtların doğrultuları değiştirilerek aynı deprem için ikinci hesap yapılarak toplam yirmi iki analiz yapılacaktır. Sonuç olarak yirmi iki analizin en büyük mutlak aritmetik ortalaması elde edilecektir.

2.3.2 Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT)

Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım başlığı altında toplanan hesap esasları ise doğrusal olmayan analiz yöntemleridir. Adından da anlaşılacağı üzere değerlendirme aşamalarında bu bölümdeki yöntemler uygulanacaktır. DBYBHY’de mevcut binaların doğrusal elastik yöntemlerle değerlendirilmesi, yeni yönetmelik seçenekleri arasında yer almamaktadır. Ayrıca yüksek binalar, tam ard-germeli önüretimli binalar ve deprem yalıtımlı binaların altyapı ve yalıtım sistemleri gibi ileri performans hedefi gerektiren veya yapı sahibinin isteği vb. özel durumlarda tasarım aşamasında da kullanılacaktır. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin uygulanabilmesi için mevcut bir binaya veya bir ön tasarıma ihtiyaç vardır.

Davranışın doğrusal olmayışı teorisi üç şekilde ortaya çıkabilir; malzemenin doğrusal elastik olmayan davranışı, geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teori ve iki davranışın bir arada görülmesi. İkinci mertebe etkileri olarak isimlendirilen geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan davranış, TBDY’de belirtildiği üzere hesaplarda göz önüne alınacaktır. Malzeme modellerinde ise taşıyıcı sistemlere uygun önerilerde bulunmuştur.

2.3.2.1 İtme yöntemleri

Yeni yönetmelikte bu başlık altındaki hesap esasları Tek modlu itme ve Çok modlu itme yöntemleridir. DBYBHY’de Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve Artımsal mod birleştirme yöntemi olarak isimlendirilen bu analizler sadece mevcut yapıların değerlendirilmesi başlığı altında kullanılmaktaydı. TBDY’de de itme yöntemlerinin kullanılabilmesi için BYS, birinci modun katkı oranı ve düzensizlik gibi bir takım benzer şartlar belirtilmiştir.

2.3.2.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Bu analiz TBDY’de ifade edildiği gibi “... deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının

zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir” (TBDY, 2018, s. 80).

Bu yöntemle yapılan analizlerin sonuçları, literatürde en güvenilir sonuçların alındığı analiz yöntemi olarak bilinmektedir. Yapıların depremler altındaki davranışları gerçeğe en yakın şekilde incelenebilmektedir (FEMA 451, 15-5a-4).

Hiçbir şart gözetmeksizin bütün yapılarda uygulanabilen bir analiz yöntemidir. TBDY ile birlikte yüksek binalar için zorunlu tutulmuştur.

Sonuçlar zaman tanım alanında doğrusal hesapta olduğu gibi on bir kayıt takımının her iki doğrultuda da aynı anda etkilmesi ile yirmi iki analiz sonucunun en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak alınacaktır.

Buna ek olarak, her analizde ikinci mertebe etkilerinin göz önüne alınması zorunlu tutulmuştur.

Tez çalışması dahilinde yapılacak değerlendirmede, analiz aşamasında hesap yöntemi olarak bu yöntem kullanılmıştır.



3. MEVCUT ÇELİK BİNANIN ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Bu başlık altında mevcut binanın analizi yapılırken, TBDY ile DBYBHY’de mevcut binaların değerlendirilmesi bölümünde meydana gelen değişiklikler göz önüne alınacaktır. İrdeleme, binanın özellikleri ve uygulanan hesap yöntemi çerçevesinde kapsamlandırılmıştır.

3.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Yönetmeliklerde mevcut yapıların değerlendirilmesi binalardan bilgi toplanılması adımıyla başlar. Yeni yönetmelikte elde edilecek bilgiler sınırlı ve kapsamlı olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Eğer binanın projeleri mevcut ve en az belirtilen ölçüde elemanda yapılan kontroller projelerle uyumluluk gösteriyorsa kapsamlı, projeler mevcut değil veya uyumlu değilse yapılacak saha ve röleve çalışmalarına göre kapsamlı veya sınırlı bilgi düzeyine göre değerlendirme yapılır. İki kategoride de gerekli şartlar ve belirli oranlar dahilinde malzeme örneği alınıp deneyi yapılarak, yapının mevcut malzeme dayanımları tayin edilir. Elemanların kapasite hesaplarında bu malzeme dayanımları kullanılır. Ayrıca sınırlı bilgi düzeyi için kapasiteler, mevcut malzeme dayanımına göre hesaplandıktan sonra doğrudan %25 oranında azaltılır. Sınırlı bilgi düzeyi sadece BKS = 3 olan binalar için uygulanabilir. BKS değeri 1 ve 2 olan binaların kapsamlı bilgi düzeyine göre incelenmesi zorunludur.

DBYBHY’de bilgi düzeyleri üç sınıfa ayrılmaktaydı. Kapasite hesaplarında 0.90 katsayısı kullanılan orta bilgi düzeyi, yeni yönetmelikle birlikte kaldırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmede bina, kapsamlı bilgi düzeyine ve projelerine uygun olarak analiz edilmiştir.

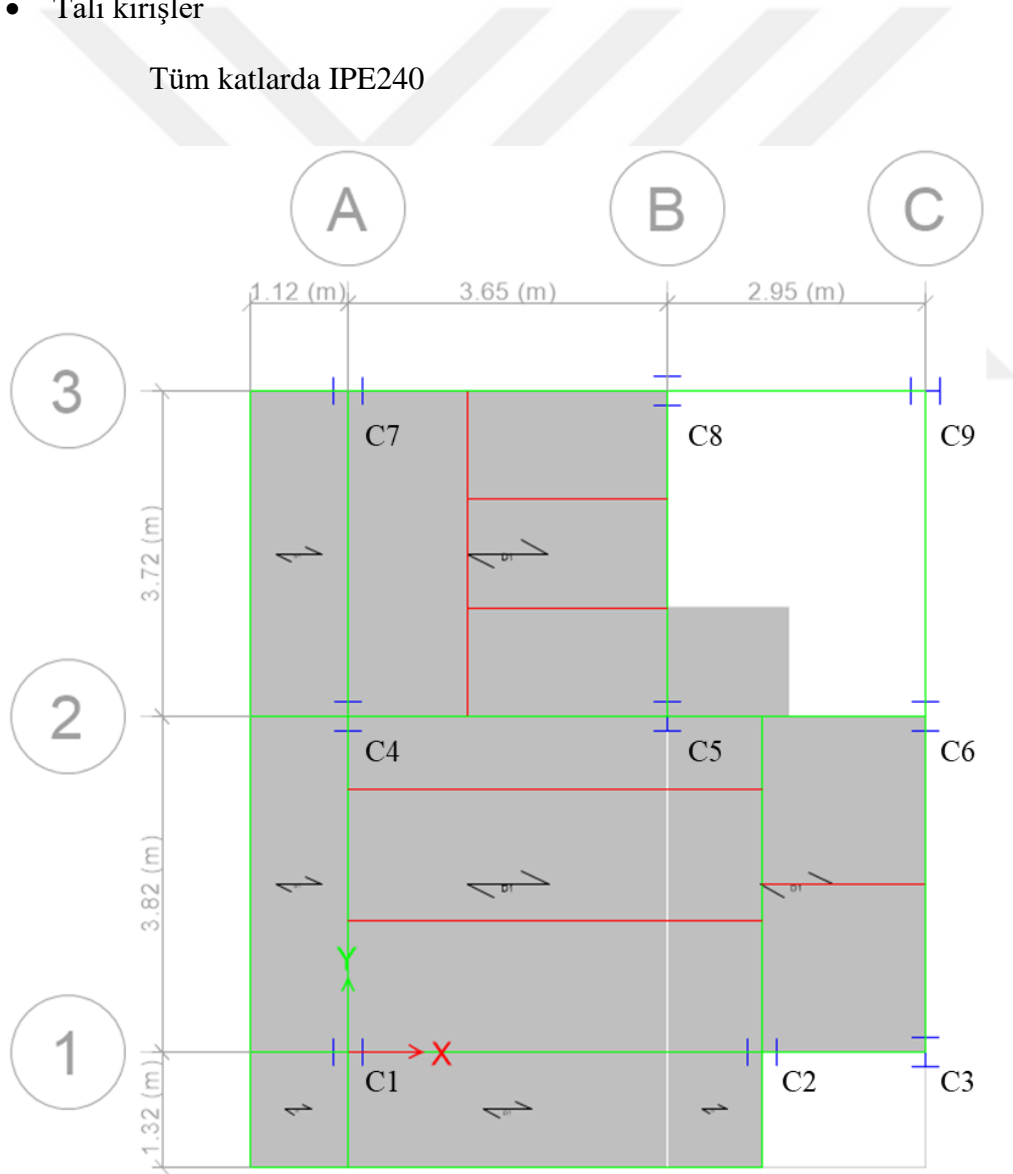
3.1.1 Mevcut binanın özellikleri

Bina 2012 yılında Eskişehir ili, Tepebaşı ilçesi, Bahçelievler mahallesinde konut olarak kullanılmak üzere projelendirilmiş fakat uygulanmamıştır. Bina toplam

yüksekliği 14.35 metre olup, kat yükseklikleri 2.87 metre olan 5 normal kattan oluşmaktadır. Taşıyıcı sistemi moment aktaran çerçevelerle oluşturulmuştur. Yapı planında dikdörtgen şeklindedir ve boyutları uzun doğrultu için 8.98 metre iken, kısa doğrultu için 7.84 metredir (Şekil 3.1).

Binada kullanılan çelik profiller şunlardır:

- Kolonlar
Tüm katlarda HEA340
- Çerçeve kirişleri
1.katta IPE360
Üst katlarda IPE300
- Tali kirişler
Tüm katlarda IPE240



Şekil 3.1: Binanın tipik kat planı.

Projeye göre yapı çeliği malzeme sınıfı ST37'dir. Döşeme sistemi olarak 10 cm kalınlığında kompozit döşeme kullanılması tasarlanmıştır. Döşemede ve temelde kullanılan beton sınıfı C25'dir.

Binanın zemin özellikleri DBYBHY'ye göre D grubu, Z4 yerel zemin sınıfındadır. Ulaşılan zemin etüd raporuna göre binanın zemin değerleri;

- Kayma dalgası hızı, $(V_s)_{30}$: 174 m/s
- Standart penetrasyon darbe sayısı, $(N_{60})_{30}$: 11
- Drenajsız kayma dayanımı, $(c_u)_{30}$: 75 kPa'dır.

Bu değerler ışığında yeni yönetmeliğe göre binanın yerel zemin sınıfı ZE olarak tayin edilmiştir. Zeminde sıvılaşma riski bulunmamaktadır. Zemin emniyet gerilmesi 8 t/m^2 , yatak katsayısı 900 t/m^3 'tür. 60 cm kalınlığında radye plak, temel sistemi olarak projelendirilmiştir. C9 kolonu temele sabit mesnetli, diğer kolonlar ankastre mesnetli olacak şekilde tasarlanmıştır.

Hesap raporuna göre bina eşdeğer deprem yükü yöntemine göre tasarlanmıştır. Taşıyıcı sistemi her iki yönde de süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşmaktadır. DBYBHY'de taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan 16 m ve daha alçak yapılarda bina önem katsayısı 1 ve 1.2 olanlar için süneklik düzeyi normal çerçevelerin kullanılmasına izin verilmekteydi. Yeni yönetmelikte ise taşıyıcı sistemi moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan süneklik düzeyi sınırlı sistemlerin kullanılması için BYS'nin 7 veya 7'den büyük olması ve bina önem katsayısının 1 veya 1.2 olması gerekmektedir. Ayrıca tasarım spektral ivme, S_{DS} , değeri 0.5 ve 0.5'ten büyük olanlar için yapı yüksekliği, 0.5'ten küçük olanlara göre daha da sınırlı olmaktadır.

Mevcut yapının interaktif tehlike raporuna göre (EK B), harita spektral ivme, S_s , değeri 0.666, buna bağlı olarak S_{DS} değeri 0.955 olarak elde edilmiştir. Diğer parametreleri BKS = 3, $I = 1$, DTS = 1, BYS = 6'dır. Bu parametreler sonucunda eğer aynı bina yeni yönetmeliğe göre tasarlanmak istense, taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi sınırlı olarak seçilemeyecektir.

3.1.2 Yükler ve birleşimleri

Hesap raporundan elde edilen bilgilere göre binaya etkiyen düşey yükler şu şekildedir;

Trapez sac + 10 cm betonarme döşeme	: 2.60 kN/m ²
Kaplama	: 1.00 kN/m ²

Asma tavan + tesisat	: 0.50 kN/m ²
Çelik konstrüksiyon	: 0.80 kN/m ²
İzolasyon (Çatı döşemesinde)	: 0.20 kN/m ²

Ayrıca hareketli yükler raporla paralel olarak, TS 498'e göre konutlar için 2 kN/m² ve çatı arası odalar için de 1.5 kN/m² olarak alınmıştır. Bölme duvar taşıyan döşemeler için yine raporda belirtildiği üzere hareketli yüklere 1.5 kN/m² ilave edilmiştir.

Yeni yönetmelikte hareketli yük kütle katılım katsayısı, n , değerinde bir değişiklik yapılmamıştır. Bina konut olarak tasarlandığından bu değer 0.3 olarak alınmıştır. İlaveten kar yükünün deprem kombinasyonlarına etkisi %30 yerine %20 olacak şekilde değiştirilmiştir. Şekildeğiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme yönteminde yüklerin birleşimi şu şekilde tanımlanmıştır:

$$G + n Q + 0.2 S + E_d^{(H)} \quad (3.1)$$

Burada her iki doğrultudaki deprem etkilerinin birleşimi olan yatay deprem yükü, $E_d^{(H)}$, doğrusal olmayan hesaplarda deprem yer hareketlerinin her iki doğrultusu da aynı anda etkidiği için kendiliğinden elde edilmekte, ayrıca bir birleştirme gerektirmemektedir.

Yönetmelikte belirtildiği üzere doğrusal olmayan analiz yapılırken deprem hesabına geçmeden önce statik düşey yüklerin sisteme zamanla artarak etkilmesi gerekmektedir. Her bir deprem analizi durumu başlangıç koşulu olarak bu doğrusal olmayan statik yükleme adımını kullanacaktır. Sonuçlar 22 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz koşulunun ortalaması alınacak şekilde birleştirilecektir.

Analizlerde düşey yüklerin şekildeğiştirmiş eksenden dolayı getirmiş olduğu ilave momentler, *ikinci merteye* etkileri, programın özelliği sayesinde otomatik olarak hesaba katılmıştır.

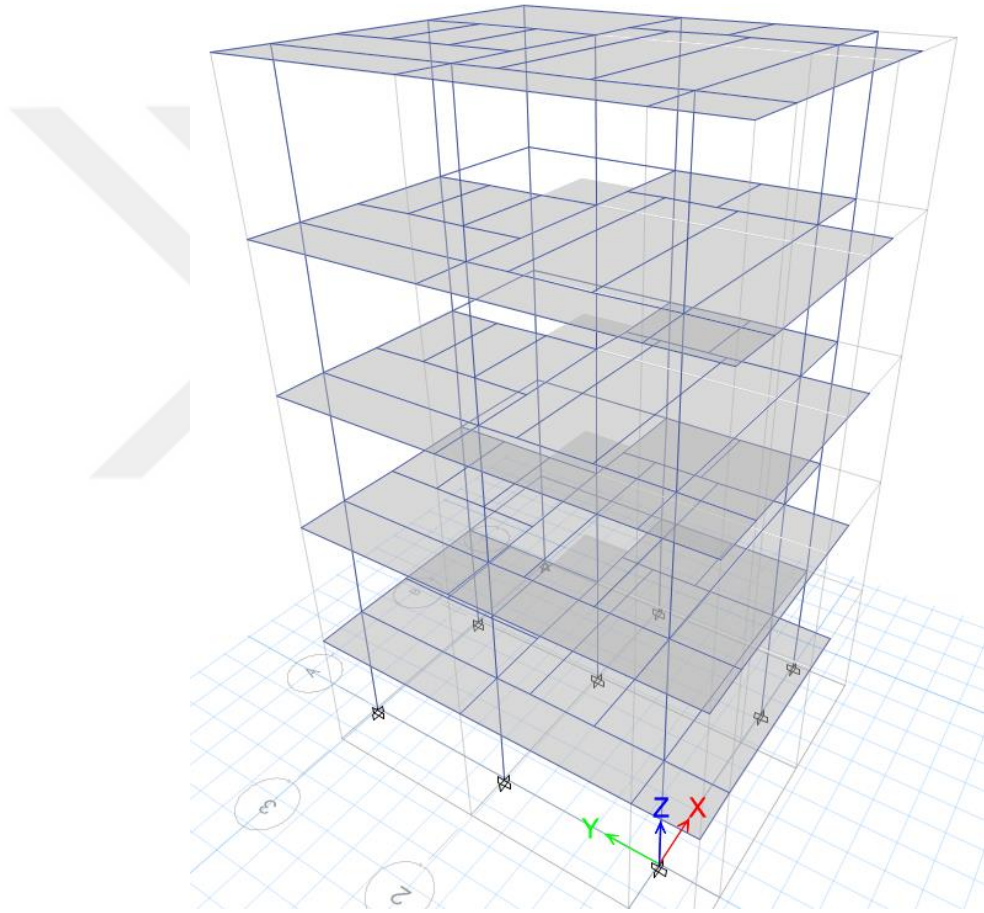
3.2 Analizde Yapılan Kabuller

3.2.1 Matematik modeli

Yapının sonlu elemanlar modeli üniversitenin lisans sağladığı ETABS v15.2.2 programı ile oluşturulmuş (Şekil 3.2 ve EK C) ve çözümlenmeler bu program vasıtasıyla yapılmıştır. Binanın yatay deprem yükü taşıyıcı elemanları çubuk sonlu

elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Döşemeler ise kabuk sonlu elemanlarla modellenmiş ve analizlerde sonlu eleman parçaları otomatik olarak, en büyük 50 cm kenarlı kare olacak şekilde düzenlenmiştir. Döşemeler modele dahil edildiğinden ayrıca bir diyafram tanımı yapılmamıştır.

Bina modeli oluşturulurken modellemenin sonucu olarak birtakım idealleştirmeler yapılmıştır ancak, model binanın davranışını gerçeğe en uygun biçimde yansıtacak şekilde kurulmuştur. Uygulanan hesap yönteminde kullanılmamasına rağmen bina davranışı hakkında fikir vermesi açısından EK D’de mod özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.2: Binanın matematik modeli.

3.2.2 Malzeme modeli

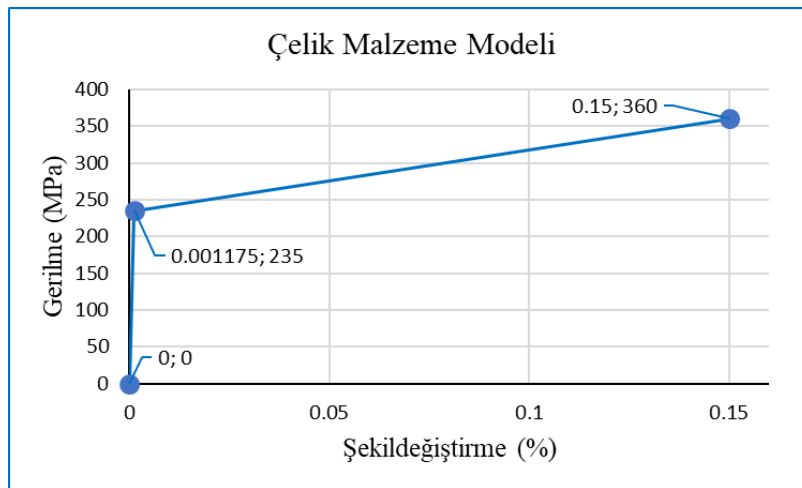
TBDY’ye göre mevcut çelik yapının malzeme dayanımı belirlenirken kapsamlı bilgi düzeyi için; en az bir elemandan örnek alınarak uygunluğu kontrol edilecektir, denmektedir (TBDY, 2018, s.311).

Aynı şekilde kaynaklı birleşimden bir parça ve bulonlu birleşimden bir cıvata da kontrol edilecektir.

Projede kullanılan yapı çeliği ST37, yeni çelik yapılar yönetmeliğine göre profil kalınlıkları 40 mm'den küçük olduğundan, akma gerilmesi, F_y , 235 MPa ve çekme dayanımı 360 MPa olan S235 sınıfına karşı gelmektedir. Binanın projelendirilme aşamasında bir mühendislik hizmeti aldığı ve binadan örnek elde edilemeyecek olması göz önüne alınarak, analizde projede belirtilen malzeme dayanımı, mevcut malzeme dayanımı olarak kabul edilmiştir.

Şekildeğiştirmeye göre tasarım yaklaşımında beklenen malzeme dayanımları kullanılmaktadır. Yapı çeliği sınıfına göre dayanımlar %10 ile %50 arasında arttırılmaktadır. S235 çeliği için beklenen akma gerilmesi karakteristik akma gerilmesinin 1.5 katıdır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde ise beklenen malzeme dayanımları yerine bilgi düzeyinin gerekli şartlarına göre karakteristik dayanımlar kullanılmaktadır.

Güncel yönetmeliğe göre çelik taşıyıcı sistemler için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplarda standart elasto-plastik çevrim modeli kullanılabilir (TBDY, 2018, s.74). Analizlerde bu tavsiye ışığında, binanın yakın zamanda projelendirilmiş olmasından dolayı malzemenin beklenen dayanımı gösterme ihtimali ve malzemenin doğrusal olmayan dayanımından daha fazla yararlanma düşüncesi ile Şekil 3.3'te verilen pekleşen ideal elasto-plastik malzeme modeli seçilmiştir. Yapı çeliği için elastisite modülü, E , yönetmelikte belirtildiği üzere 200000 MPa olarak alınmıştır.

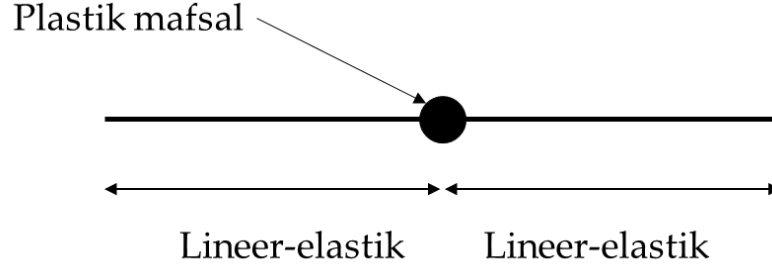


Şekil 3.3: Yapı çeliği idealleştirilmiş gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

3.2.3 Davranış modeli

Yapının bütün yatay yük taşıyıcı elemanları çubuk elemanlardan oluşturulduğundan, doğrusal olmayan yöntem olarak *plastik mafsal* teorisi olarak da bilinen yığılı plastik

davranış modeli tercih edilmiştir. Bu yöntemde Şekil 3.4'te görüldüğü gibi doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı, onun dışındaki bölgelerin doğrusal davranmaya devam ettiği kabul edilir (İleri yapı statığı ders notları).



Şekil 3.4: Yığılı plastik davranış (İleri yapı statığı ders notları).

Bu bağlamda XTRACT programında kesit analizleri yapılmış olup (EK E), profillerin moment eğrilik özellikleri belirlenmiştir. Binada plastik mafsals oluşması beklenen noktalar, yönetmelikte belirtildiği gibi kolon ve kirişlerin uç bölgeleri olmak üzere analiz modeline tanımlanmıştır. Tali kirişlerde ve kiriş ortalarında plastik mafsals oluşması beklenmediğinden analiz süresini uzatmamak adına bu noktalara plastik mafsals tanımı yapılmamıştır.

3.3 Taşıyıcı Sistemin Özellikleri

Yönetmeliklerde bina taşıyıcı sistemleri doğrusal olmayan davranışlarına göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar:

- Süneklik düzeyi yüksek sistemler: Tamamı süneklik düzeyi yüksek elemanlardan oluşan sistemlerdir.
- Süneklik düzeyi sınırlı sistemler: Tamamı süneklik düzeyi sınırlı elemanlardan oluşan sistemlerdir.
- Süneklik düzeyi karma sistemler: Süneklik düzeyi yüksek ve sınırlı elemanların birlikte kullanıldığı sistemlerdir.

Sistemlerin doğrusal olmayan davranışlarını tasarım aşamasında doğrusal hesaplarda göz önüne almak açısından süneklik düzeylerine göre taşıyıcı sistem davranış katsayıları tanımlanır (Celep, 2014, s. 402). Doğrusal hesaplarda sistemlerin türüne göre deprem yükleri bu katsayılar kullanılarak belirlenen değerlere bölünerek azaltılır. Yeni yönetmelikle birlikte dayanım fazlalığı katsayısı kavramı da taşıyıcı sistem

davranış katsayısı ile birlikte kullanılmak üzere doğrusal hesaplara dahil edilmiştir. Bina sistem türüne göre; taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve bina yükseklik sınıfları aynı tablodan seçilecektir. İlaveten, eski yönetmelikte kullanılan süneklik düzeyi normal tanımı, süneklik düzeyi sınırlı olarak değiştirilmiştir.

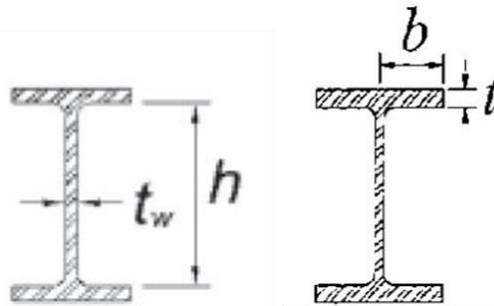
Doğrusal olmayan hesaplarda ise bu katsayılar kullanılmaz. Tasarım aşamasında doğrusal hesapla yapılan ön tasarım veya değerlendirme başlığı altında toplanan bilgiler sonucunda mevcut binanın kesitleri bilindiğinden, binaya gelen deprem yükleri doğrudan kullanılır ve deprem yükleri altında elemanların doğrusal olmayan davranışları incelenir.

Çelik yapılarda eleman bazında süneklik düzeyi, enkesit koşullarına göre verilen limit değerler altında belirlenir. Taşıyıcı sistem elemanlarının performansları ise elemanların süneklik düzeylerine göre tanımlanan şekildeğiştirme sınırları ışığında tespit edilir.

3.3.1 Elemanların süneklik düzeyi

Elemanların süneklik düzeyi profillerin enkesit özelliklerine göre hesaplanır. Enkesitin rijitleştirilmiş ve rijitleştirilmemiş parçalarının elverişsiz olanına göre süneklik düzeyi sınırlı veya süneklik düzeyi yüksek elemanlar olarak belirlenir (TBDY, ss. 169-170). Enkesit parçalarının uzunluk/kalınlık oranları, diğer bir deyişle narinlik değerleri, verilen sınır değerleri aşmayacaktır.

Binada kullanılan hadde I profillerinden örnek verilmek gerekirse, kesitin başlıkları rijitleştirilmemiş, gövdeleri ise rijitleştirilmiş parçalarıdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: I profillerde kesit özellikleri (TBDY, ss. 169-170).

TBDY’de enkesit koşullarının hesaplanması, yenilenen çelik yapılar yönetmeliğine paralel olarak tamamen değiştirilmiştir ancak sınır değerler çelik yapılar yönetmeliğine göre daha küçüktür.

Binada kullanılan I profillerin enkesit sınır şartları şunlardır:

Rijitleştirilmemiş elemanlarda:

- Süneklik düzeyi yüksek elemanlar için

$$\frac{b}{t} < 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 8.75 \quad (3.2)$$

- Süneklik düzeyi sınırlı elemanlar için

$$\frac{b}{t} < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.1 \quad (3.3)$$

Rijitleştirilmiş elemanlarda:

- Süneklik düzeyi yüksek elemanlar için

$$C_a \leq 0.125 \text{ ise } 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93C_a) \quad (3.4a)$$

$$C_a > 0.125 \text{ ise } 0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.4b)$$

- Süneklik düzeyi sınırlı elemanlar için

$$C_a \leq 0.125 \text{ ise } 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2.75C_a) \quad (3.5a)$$

$$C_a > 0.125 \text{ ise } 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.33 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.5b)$$

Rijitleştirilmiş elemanların formülünde yer alan C_a katsayısı kesitteki aksenal kuvvetin oranıdır. Karşılıklı etki diyagramı göz önüne alınarak elemanların normal kuvvet ile momentin birlikte etkimesindeki davranışına göre süneklik düzeyini sınırlandırmak için bu oran hesaplarda yer almaktadır. Kesitte normal kuvvet arttıkça moment kapasitesi azalır. Kiriş elemanlarda normal kuvvet ihmal edilebilecek seviyede

olduğundan bu oranın narinliğe etkisi yoktur. Kolonlarda ise normal kuvvetin etkisi önemlidir.

Binadaki her kolonda düşey yükler altındaki normal kuvvetin oranı tek tek hesaplanmış ve rijitleştirilmiş elemanlarda süneklik düzeyi her bir kolon için kontrol edilmiştir. Kolon ve kirişlere ait hesaplanan enkesit değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kolonların rijitleştirilmiş parçaları için fazlaca değer olduğundan tabloda en elverişsiz sonuç paylaşılmıştır.

Çizelge 3.1: Binadaki profillerin enkesit özellikleri.

Eleman türü	Profil	h / t_w	b / t
Kolon	HEA340	25.6	9.1
Kiriş	IPE360	37.3	6.7
Kiriş	IPE300	35.0	7.0

Bütün kirişlerde hem başlık hem de gövde bölgeleri süneklik düzeyi yüksektir. Tüm kolonlarda ise rijitleştirilmiş elemanlar süneklik düzeyi yüksek çıkmaktayken, rijitleştirilmemiş parçalara göre süneklik düzeyi sınırlı olmaktadır. Bu sebeple kolonların performans limitleri belirlenirken süneklik düzeyi sınırlı olacaktır.

Bu kısımda yeni yönetmelikte bir belirsizlik bulunmaktadır. Kiriş elemanlar süneklik düzeyi yüksek olmasına rağmen, kolonlar süneklik düzeyi sınırlı olduğundan elemanların ayrı ayrı mı değerlendirileceği, yoksa sistemin elverişsiz durumuna göre mi bir sınırlandırılma yapılacağına dair bir açıklama yapılmamıştır.

İncelenen bina için kolon enkesitinin rijitleştirilmemiş parçalarının değeri süneklik düzeyi yüksek sınırını aşmakta ancak arada farkın çok az olduğu gözle çarpılmaktadır. Bundan hareketle mevcut binada aynı profil tipindeki bir üst boyuta sahip olan HEA360 profil kullanılsaydı, kolonlar da süneklik düzeyi yüksek sınıfına gireceklerdi. Dolayısıyla elemanların şekildeğiştirme sınırları daha fazla olacaktır.

3.3.2 Elemanların şekildeğiştirme sınırları

Yeni yönetmelik ile birlikte doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere çelik yapıların plastik şekildeğiştirme sınırları tanımlanmıştır (TBDY, ss. 98-102). Böylelikle çelik binalardaki deprem yükü taşıyıcı elemanların performansları belirlenecektir. Kolon ve kiriş elemanlar her bir taşıyıcı sistem için ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak diğer elemanlar için sınır değerler bulunmaktadır. Moment aktaran

çerçeve sistemler için kolon ve kirişlere ilaveten değerlendirilmesi gereken, bu elemanların birleşim bölgelerinin şekildeğiştirmesidir. *Kayma bölgesi* adı da verilen bu bölge, kolon ve kiriş başlıkları arasında kalan alandır (TBDY, 2018, s. 174).

Mevcut binaların değerlendirilmesinde elemanların şekildeğiştirme limitleri hesaplanırken kullanılan malzeme dayanımı mevcut malzeme dayanımıdır. Dolayısıyla formüllerdeki beklenen değerler mevcut dayanımlar altında elde edilecektir.

3.3.2.1 Kirişlerin plastik dönme sınırları

Yönetmelikte denklem 3.6'ya göre kirişlerin akma dönmesi tanımlanmıştır. Kirişlerin eğilme etkisindeki plastik şekildeğiştirmelerinin performans sınırları, akma dönmeleri, θ_y , kullanılarak belirlenecektir.

$$\theta_y = \frac{W_p F_y l_b}{6 E I_b} \quad (3.6)$$

W_p : Kesitin plastik mukavemet momenti

F_y : Yapı çeliği akma gerilmesi

l_b : Kiriş elemanın boyu

E : Yapı çeliği elastisite modülü

I_b : Kiriş kesitinin atalet momenti

Çizelge 3.2'de kiriş elemanlar için yönetmelikteki plastik dönme sınırları hem süneklik düzeyi yüksek hem de süneklik düzeyi sınırlı elemanlar için akma dönmesi cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.2: Kirişlerde şekildeğiştirme sınırları.

Kiriş (Eğilme)	Plastik Dönme Sınırları (rad)		
	SH	KH	GÖ
Süneklik düzeyi yüksek	10y	60y	90y
Süneklik düzeyi sınırlı	0.250y	30y	40y

Kiriş elemanların süneklik düzeyinin yüksek olmasına rağmen kolonların süneklik düzeyinin sınırlı olmasından dolayı hem sistemin uyumlu olması hem de daha güvenli tarafta kalmak açısından, kirişlerin performans limitleri de süneklik düzeyi sınırlı olarak kabul edilerek belirlenmiştir.

Binadaki kirişlerde akma dönmeleri kiriş boyu farklılıkları sebebiyle 0.0015 ile 0.007 rad arasında değişkenlik göstermektedir. Performans kriterlerine karşı gelen plastik dönme sınırları, bu akma dönmeleri ile her kiriş için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Güçlü ekseninde eğilme davranışı olarak da modeldeki plastik mafsallara veri girişi yapılmıştır.

3.3.2.2 Kolonların plastik dönme sınırları

Yönetmelikte denklem 3.7'ye göre kolonların akma dönmesi tanımlanmıştır. Formüle göre kolonların akma dönmesi bulunurken, elemanlar üzerindeki aksenal akma kuvvetinin etkisi de göz önüne alınarak hesaplanacaktır.

$$\theta_y = \frac{W_p F_y l_k}{6 E I_k} \left[1 - \frac{P}{P_y} \right] \quad (3.7)$$

W_p : Kesitin plastik mukavemet momenti

F_y : Yapı çeliği akma gerilmesi

l_k : Kolon elemanın boyu

E : Yapı çeliği elastisite modülü

I_k : Kolon kesitinin atalet momenti

P : Kesitte bulunan aksenal kuvvet

P_y : Çelik elemanın akma dayanımı

Elemanların süneklik düzeylerine ve üzerlerindeki aksenal basınç kuvvetinin oranına göre akma dönmesine bağlı olarak plastik dönme sınırları belirlenmiştir. Çizelge 3.3'te süneklik düzeyi sınırlı kolon elemanlar için yönetmelikteki, eğilme durumunda şekildeğiştirme sınırları akma dönmesi cinsinden verilmiştir. Normal kuvvetin oranının (P/P_c) %20'den fazla olması, plastik dönme sınırını katbekat azaltmaktadır. Normal kuvvetin oranı %50'den fazla olan kolonlarda plastik şekildeğiştirmelere süneklik düzeyi fark etmeksizin izin verilmemektedir.

Çizelge 3.3: Süneklik düzeyi sınırlı kolonlarda şekildeğiştirme sınırları.

Normal kuvvetin oranı	Plastik Dönme Sınırları (rad)		
	SH	KH	GÖ
$P/P_c < 0.2$	0.25 θ_y	3 θ_y	4 θ_y
$0.2 \leq P/P_c \leq 0.5$	0.25 θ_y	0.7 θ_y	1 θ_y

P_c : Çelik elemanın basınç dayanımı

Binada en alt katlar için maksimum basınç kuvveti yaklaşık 500 kN, normal kuvvet oranı ise %30 mertebelerindedir. Kolonlarda akma dönmeleri güçlü eksen (M3) etrafında yaklaşık 0.003 rad iken, zayıf eksen (M2) etrafında yaklaşık 0.004 rad'dır. Üst katlara çıkıldıkça eksenel basınç kuvveti azaldığından akma dönmesi değeri artmaktadır ancak değişim çok çok küçük değerlerle sınırlı kalmaktadır. Bu sebeple tüm katlardaki plastik dönme sınırları bu akma dönmeleri kullanılarak hesaplanmış ve veriler, güçlü ve zayıf ekseninde olmak üzere modelde kolon uç noktalarına M3 ve M2 plastik mafsal olarak atanmıştır.

İlk iki kattan sonra normal kuvvet oranı %20'nin altına gerilediğinden tablodan görülebileceği üzere KH ve GÖ plastik dönme limitleri bu katlar için çok daha büyüktür.

3.3.2.3 Kolon – kiriş birleşim bölgeleri plastik dönme sınırları

Binaya ait hesap raporundan elde edilen bilgilere göre kolon-kiriş birleşim bölgelerinde tam nüfuziyetli küt kaynaklı birleşimler kullanılmıştır.

Moment aktaran çerçeve sistemlerin kayma bölgelerindeki şekildeğiştirme sınır durumları tam nüfuziyetli küt kaynaklı birleşim tipi için Çizelge 3.4'teki gibidir. Dönme biriminden değerler kiriş yüksekliğini ifade eden d 'ye bağlı olarak belirlenecektir. Başlık levhalı ve alın levhalı birleşim tipleri içinse sınır şartları, yönetmelikten doğrudan dönme biriminde alınacaktır.

Çizelge 3.4: Tam nüfuziyetli küt kaynaklı birleşim sınırları.

Plastik Dönme Sınırları (rad)		
SH	KH	GÖ
0.026 – 0.00063 <i>d</i>	0.0323 – 0.00045 <i>d</i>	0.043 – 0.00060 <i>d</i>

Binada kullanılan çerçeve kirişlerinin yüksekliğine göre kayma bölgelerinin plastik dönme limitleri hesaplanmış (Çizelge 3.5) ve analiz modeline tanımlanmıştır.

Çizelge 3.5: Birleşim bölgeleri şekildeğiştirme sınırları.

Profil	Plastik Dönme Sınırları (rad)		
	SH	KH	GÖ
IPE360	0.0257	0.0321	0.0428
IPE300	0.0258	0.0321	0.0428

3.4 Deprem Yer Hareketleri

3.4.1 Kayıtların seçimi

Binanın bulunduğu bölgede kayıtlı geçmiş depremler bulunamadığından, kayıtların seçimi için çıkış noktası olarak yapının yerel zemin koşulları göz önüne alınmıştır. Kayma dalgası hızı 174 m/s olduğundan öncelikle bu değere yakın değerlere sahip 24 adet deprem kaydı bulunmuştur. Daha sonra aralarından kayıtların ölçeklenmesi sırasında yakınsamayan ve verimli olmayan kayıtlar elenerek 11 adet deprem kaydı seçilmiştir (Çizelge 3.6).

Deprem yönetmeliği benzeştirilmiş kayıtların kullanılabilmesi için bölgede meydana gelen depremlerle olan uyumun sağlanmasını istediğinden, bu çalışmada benzeştirilmiş deprem kaydı kullanılmamıştır. Tüm kayıtlar PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) Berkeley, ngawest2 veri tabanından elde edilmiştir (<https://peer.berkeley.edu/peer-strong-ground-motion-databases>). Kayıtlar PEER'dan seçilirken arama adımından önce binanın tasarım spektrumu interaktif olarak siteye tanımlanabilmekte ve tasarım spektrumuna yakınsayacak şekilde arama yapılması sağlanabilmektedir.

Çizelge 3.6: Kullanılan deprem kayıtları.

Kayıt	PEER Kayıt No	Deprem Adı	Yıl	Maksimum İvme (g)*	Magnitüd	(Vs) ₃₀ (m/s)
K1	178	Imperial Valley - 06	1979	0.39	6.53	162.94
K2	718	Superstition Hills - 01	1987	0.48	6.22	179
K3	729	Superstition Hills - 02	1987	0.45	6.54	179
K4	780	Loma Prieta	1989	0.54	6.93	169.72
K5	1147	Kocaeli	1999	0.42	7.51	175
K6	1599	Düzce	1999	0.56	7.14	175
K7	2715	Chi-Chi, Taiwan - 04	1999	0.40	6.2	169.52
K8	2955	Chi-Chi, Taiwan - 05	1999	0.41	6.2	169.52
K9	3302	Chi-Chi, Taiwan - 06	1999	0.56	6.3	169.84
K10	4100	Parkfield-02, CA	2004	0.57	6	173.02
K11	4107	Parkfield-02, CA	2004	0.64	6	178.27

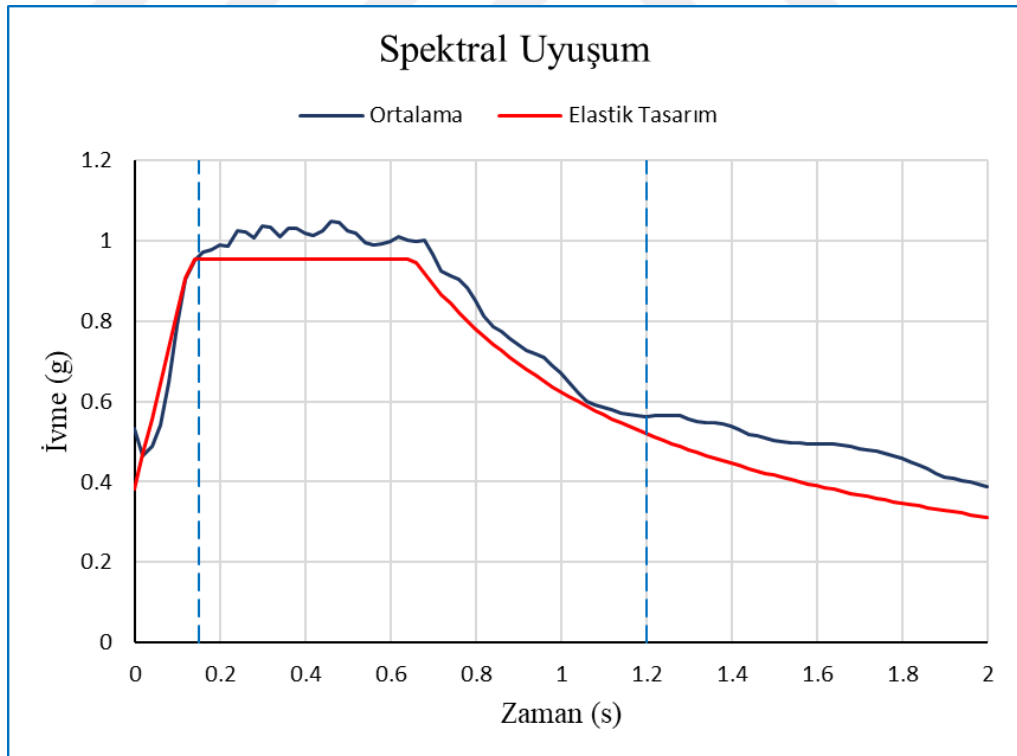
* Dönüştürülmüş kaydın değerleri

Seçilen kayıtlar arasında dünyanın çeşitli bölgelerinde gerçekleşen büyük depremler ile ülkemizde gerçekleşen önemli depremler yer almaktadır.

Ölçeklenmiş kayıtlara ait ivme-zaman grafikleri EK A'da verilmiştir. Grafiklerde birbirine dik doğrultudaki her iki yatay bileşen H1 ve H2 olmak üzere ayrı ayrı bulunmaktadır.

3.4.2 Kayıtların dönüştürülmesi

Kayıtların dönüştürülmesi yönetmelikte belirtilen spektral uyuşum kuralına göre SeismoMatch 2018 programı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle TBDY'ye göre yapıya ait yatay elastik tasarım spektrumu oluşturulmuştur. Her kaydın iki yatay bileşeni de binanın elastik tasarım spektrumuna yakınsayacak şekilde düzenlenmiştir. Akademik lisans kullanımından ötürü sınırlı iterasyon kapasitesine sahip olduğundan hedef olarak - basit ölçeklendirmede olduğu gibi - yapının hakim periyodunun 0.2 ve 1.5 katı seçilmiştir. Bu aralığın büyük çoğunluğu spektrumun köşe periyotları arasına düşmektedir. İki boyutlu analiz yapıldığından 22 kayıt doğrudan kullanılmış ve eşleştirilen ortalama spektrumun ordinatlarının, 0.2 ve 1.5 hakim periyot aralığında (0.15s ile 1.2s) elastik tasarım spektrumunun ordinatlarından daha düşük olmayacak şekilde uyuşum göstermesi sağlanmıştır (Şekil 3.6).



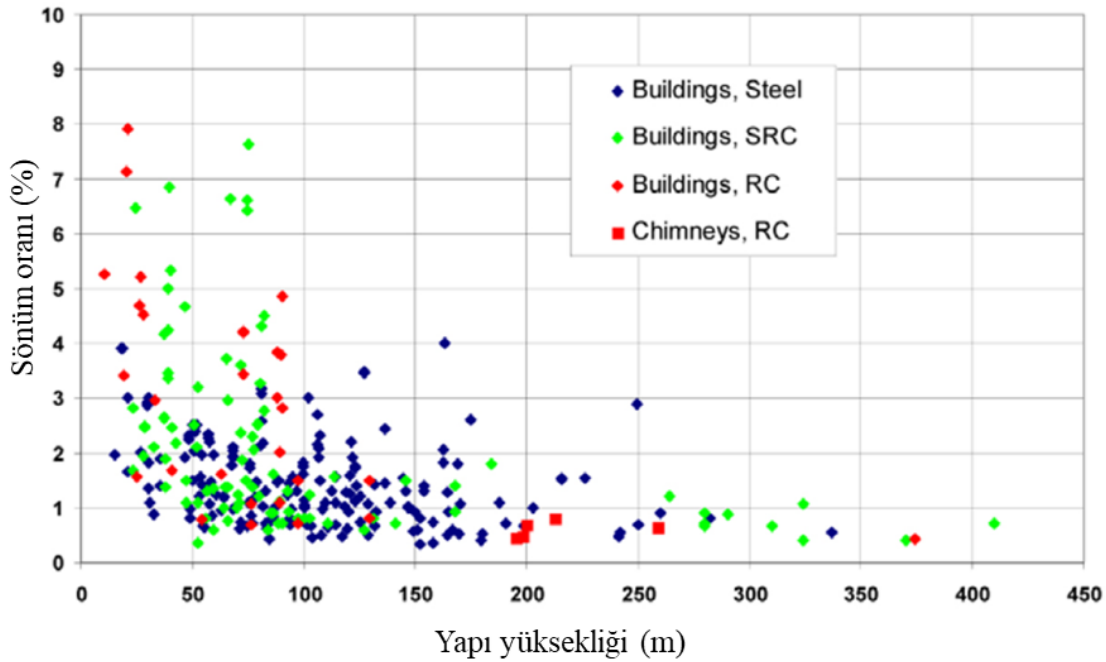
Şekil 3.6: Hedef ve ortalama spektrumlar.

3.4.3 Sönüm oranı

Binaların yapısal olmayan elemanları da sönüm oranını etkilediğinden her yapıda sönüm oranı değişkenlik göstermektedir ve kesin olarak bilinmemektedir. Uluslararası yönetmeliklerde de alınacak sönüm oranı değerleri çeşitlilik göstermektedir. Ancak bazı yapı tipleri için belli değerler aralığında olduğu tahmin edilmektedir. Örneğin betonarme yapılarda ve çelik yapılarda farklılık göstermektedir. Ayrıca binalar yükseldikçe sönüm oranı düşer.

Chopra, yapı dinamiği kitabında çelik yapılar için; binaya etkiyen kuvvetler altında akma dayanımının oranına ve birleşim tiplerine bağlı olarak %2 ile %15 arasında sönüm oranları vermekteyken (Chopra, 2012, s. 454), Japonya'da yapılan kapsamlı bir çalışmaya göre (CTBUH, 2008) yapı sistemine ve yüksekliğine bağlı olarak sönüm oranı değişimi Şekil 3.7'de görülmektedir.

Yeni deprem yönetmeliği şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım başlığı altında aksi belirtilmedikçe sönüm oranı %5 alınacaktır, demektir (TBDY, 2018, s.75). Yüksek binalar bölümünde ise %2.5 özel maddesi yer almaktayken, mevcut yapılar için (yüksek binalar hariç) herhangi başka bir değerden bahsedilmemiştir. Bu sebeple analizlerde sönüm oranı değeri %5 alınmıştır.



Şekil 3.7: Sönüm oranı-yapı yüksekliği ilişkisi (CTBUH, 2008, s. 20).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde yapısal çözümlene sonuçları incelenerek, mevcut binanın değerlendirilmesi yapılacak ve deprem performansı belirlenecektir. Yeni yönetmeliğe göre bina, normal performans hedefi olarak DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında kontrollü hasar (KH) performansı göstermelidir.

4.1 Analiz Sonuçları

4.1.1 Taban kesme kuvvetleri

Yapının sabit ve azaltılmış hareketli yükler ($G + nQ$) altındaki ağırlığı 2571 kN'dir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile; eski yönetmelikten hesaplanan taban kesme kuvveti iki doğrultuda da 1911 kN iken, TBDY'ye göre aynı yöntemle bulunan değer 2159 kN'dur.

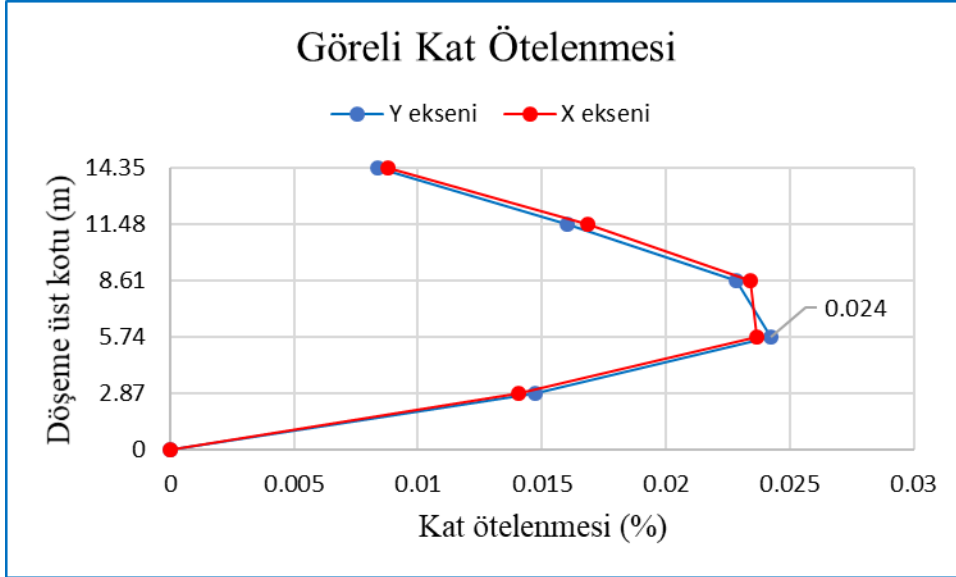
Zaman tanım alanındaki yükleme durumlarından binaya gelen taban kesme kuvvetleri, lineer statik yöntemlerle hesaplanan değerlere yakınlık göstermektedir. Buradan hareketle sonuçların tutarlı olduğu kanısına varılmıştır. Çizelge 3.6'da verilen kayıtlar kullanılarak elde edilen sonuçlara göre; X doğrultusunda gelen en büyük yatay deprem kuvveti 2182 kN ile K7'den, Y doğrultusunda gelen en büyük yatay deprem kuvveti ise 2012 kN ile K4'den etkimiştir.

Yeni yönetmelikle birlikte bu yapı için hesaplanan taban kesme kuvvetinde yaklaşık %13'lük bir artış olmuştur. Kayıtlardan gelen maksimum değerlere daha yakın çıkan sonuçla yeni yönetmeliğin daha güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.

4.1.2 Kat ötelenmeleri

Mevcut veya yeni yapılacak binalarda yüksek binalar hariç olmak üzere, zaman tanım alanında hesapta kat ötelenmeleri açısından bir tahkik bulunmamaktadır. Eski yönetmelikte mevcut yapıların doğrusal elastik yöntemle performansının belirlenmesinde göreceli kat ötelenmeleri kontrolü için sınır değerler bulunmaktaydı.

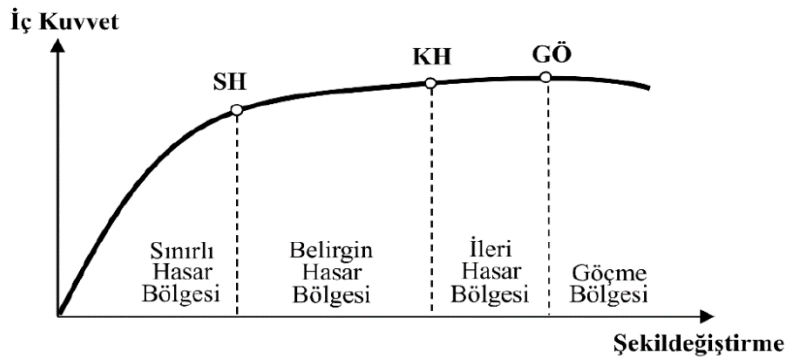
Analizlerde ikinci mertebe etkileri istenildiği gibi otomatik olarak hesaplara dahil edilse de bina davranışı için fikir vermesi açısından bu veriler de paylaşılmıştır (Şekil 4.1). Değerler diğer sonuçlara paralel olarak 22 kaydın ortalamasından elde edilmiştir. En büyük değer binanın uzun doğrultusunda ikinci katta oluşmaktadır.



Şekil 4.1: Göreli kat ötelenmeleri.

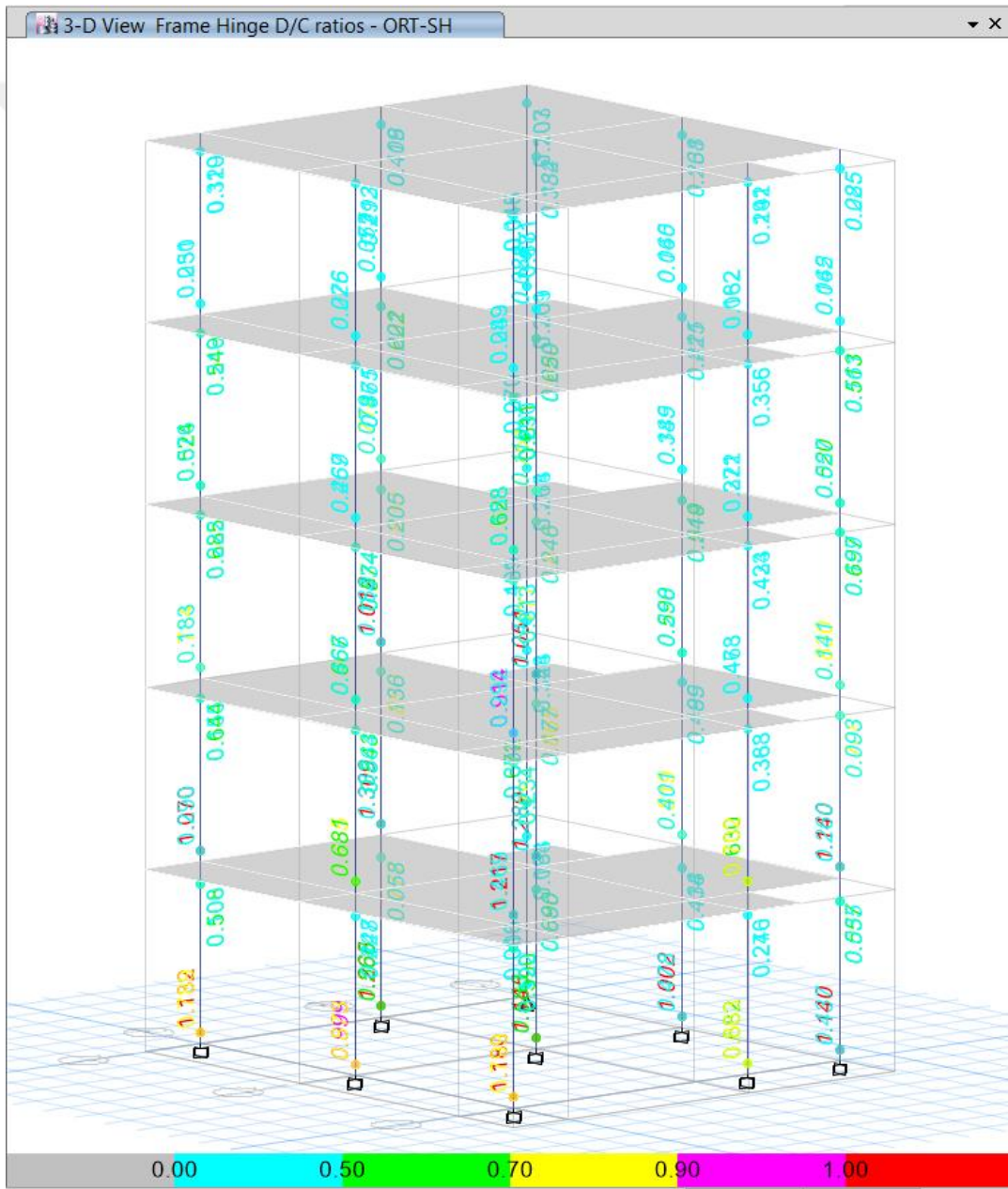
4.1.3 Eleman bazında hasar

Yönetmeliğe göre tüm elemanların hasar seviyelerine bakılarak yapının genel deprem performansına karar verilmektedir. Kesit düzeyinde sınıflandırma yapabilmek için üç hasar durumu tanımlanmıştır. Sınırlı hasar (SH), Kontrollü hasar (KH) ve Göçme öncesi hasar (GÖ) limitlerine göre elemanlarda oluşacak hasarlar sınırlı hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi, ileri hasar bölgesi veya göçme bölgesinde yer alırlar (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Kesit hasar sınırları (TBDY, 2018, s. 312).

22 kaydın ortalaması sonucunda yapıda bütün elemanlar elastik olarak çalışmasına rağmen, sınırlı hasar düzeyine karşı gelen plastik dönme limiti çok düşük olduğundan bazı kolonlar belirgin hasar bölgesine geçmiştir (Şekil 4.3). Akma dönmesinin yüzde 25'ine karşılık gelen bu limit hem süneklik düzeyi sınırlı hem de süneklik düzeyi yüksek olan sistemler için aynıdır. Sınırlı hasar seviyesiyle amaçlanan doğrusal olmayan davranışın çok düşük seviyede tutulmasıdır. Yapıda belirgin hasar bölgesine geçen kiriş ve ileri hasar bölgesine geçen kolon bulunmamaktadır. Kayma bölgeleri kontrolünde ise hiçbir birleşim bölgesi kontrollü hasar sınırını aşmamış, neredeyse tamamı sınırlı hasar bölgesinde kalmaktadır.



Şekil 4.3: Kolonlarda SH plastik mafsıl değerleri (M2 ve M3).

4.2 Değerlendirme

TBDY'ye göre binanın kontrollü hasar performans seviyesine sahip olabilmesi için ileri hasar bölgesine geçen elemanı olmaması gerekmektedir. Betonarme binalar için belli bir yüzdede kirişler ve kattaki kesme kuvveti oranına göre bir kısım düşey taşıyıcı elemanlar bir üst bölgeye geçebilir. Ancak çelik yapılarda betonarmedeki istisnai durumlar geçerli değildir.

DBYBHY'de deprem performansının belirlenmesi için açıklanan kurallar sadece betonarme ve prefabrike betonarme binalar için geçerliydi. Yeni yönetmelikle birlikte çelik yapılar da deprem performans kriterlerine eklenmiştir. Böylelikle yapılan tahkikler sonucunda; standartlarda verilen en düşük dayanımlı yapı çeliği kullanılmasına ve taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi sınırlı olmasına rağmen, ileri hasar bölgesine geçen hiçbir eleman bulunmadığından (EK F), bina kontrollü hasar deprem performansını sağlamaktadır.

EK G'de kolonlardan ve kirişlerden bazı örnek iskelet eğrisi sonuçları paylaşılmıştır. Görüleceği üzere elemanlar elastik olarak çalışmakta, plastikleşme davranışı gösteren eleman bulunmamaktadır. Bütün kolon ve kirişlerde sonuçlar aynıdır.

4.3 Öneriler

Elemanların elastik davranış göstermesine rağmen, süneklik düzeylerinin sınırlı olmasından dolayı performans limitlerinin görece düşük olması, süneklik düzeyi yüksek sistemler tercih edilerek binaların güvenle taşıyabileceği doğrusal olmayan şekildeğiştirme kapasitelerinin artırılmasının, deprem performansı açısından son derece önemli olduğu sonucunu ön plana çıkarmaktadır.

Yeni yönetmelikle birlikte çelik yapılar performans kriterlerinin, mevcut yapıların değerlendirilmesi bölümüne eklenmesi sebebiyle yapılacak değerlendirme çalışmalarının artırılması ile uygulamalar ve yönetmelikler daha da geliştirilebilir. Uygulamada ortaya çıkabilecek sorunlar hızlı bir şekilde giderilebilir.

Örneğin bu çalışma kapsamındaki mevcut bina için bazı elemanların süneklik düzeyi sınırlı bazı elemanların ise süneklik düzeyi yüksek olduğundan elemanların ayrı ayrı mı değerlendirileceği, yoksa sistemin elverişsiz durumuna göre mi sınırlandırılma yapılacağına dair bir açıklama eksikliği göze çarpmaktadır. Tasarım aşamasında

yeterli süneklik düzeyi elde edilecek enkesitler seçilebilir ancak mevcut yapıların değerlendirilmesi aşamalarında bu konu belirsizlik yaratmaktadır.

Ayrıca yine mevcut yapılar değerlendirilirken eski yönetmeliğe göre süneklik düzeyi sınır şartları değiştirildiğinden, süneklik düzeyi sınırlı limit değerini aşan elemanlar ve bu elemanlara sahip sistemlerin değerlendirilme olasılığı konusunda da herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

İlaveten farklı tipteki deprem kayıtlarının binalar üzerindeki davranışlarını araştırmak adına benzer yapılarda daha fazla inceleme yapılarak elde edilen veriler çoğaltılabilir. Mevcut binaların değerlendirilmesi aşamalarında ise yapılara ölçüm cihazlarının konulması teşvik edilerek hali hazırda binalar hakkında bir çalışma yapılmışken, sönüm oranı ve yapı sağlığı izleme konusunda araştırmalar yapılması kolaylaştırılabilir.



KAYNAKLAR

- AFAD**, (2018). *Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, erişim linki: <https://www.afad.gov.tr/upload/Node/35429/xfiles/Turkiye_de_Afetler.pdf> erişim tarihi: 13.03.2019.
- ASCE/SEI 41-17 seismic evaluation and retrofit of existing buildings.** (2017). Reston, Virginia: ASCE.
- Celep Z.**, (2014). *Yapı Dinamiği* (5. bs.). İstanbul: Damga Dağıtım.
- Chopra, A. K.** (2012). *Dynamics of Structures: Theory and Application of Earthquake Engineering, 4/e*, New Jersey: Prentice Hall.
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH)** (2008). *Recommendations for the Seismic Design of High-rise Buildings*, Chigago: CTBUH.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.** (2007). T. C. Resmi Gazete, 26454, 6 Mart 2007.
- Erşen N.** (t.y.). *Çelik Yapılar ve Çözümlemiş Problemler* (5. bs.). İstanbul: Birsen Yayınevi.
- ETABS** (Versiyon 15.2.2) [Bilgisayar yazılımı]. Walnut Creek, CA: Computers and Structures, Inc.
- Özer, E. ve Orakdöğen E.** (2008). *İleri Yapı Statiği Ders Notları*, İ.T.Ü., 14.10.2008.
- SeismoMatch** (Versiyon 2018.1.1) [Bilgisayar yazılımı]. Pavia, Italy: Seismosoft.
- TDTH**, (2018). *Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, erişim linki: <<https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>>, erişim tarihi: 25.04.2019.
- The University of Memphis, Department of Civil Engineering.** (2019) *Structural Analysis for Performance-based Earthquake Engineering, Instructional Material Complementing, FEMA 451, Design Examples, Methods of Analysis* [İnternet sunum dosyası] erişim linki: <http://www.ce.memphis.edu/7119/PDFs/FEAM_Notes/Topic15-5a-AdvancedAnalysisPart1.pdf>
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.** (2018). T. C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018.
- XTRACT** (Versiyon 3.0.8) [Bilgisayar yazılımı]. Rancho Cordova, CA: TRC Bridge Design Software.
- Url-1** <<http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>>, erişim tarihi: 20.03.2019.
- Url-2** <<https://peer.berkeley.edu/peer-strong-ground-motion-databases>>, erişim tarihi: 20.03.2019.



EKLER

EK A: Deprem kayıtlarının dönüştürülmüş ivme-zaman grafikleri

EK B: Sismik tehlike haritası raporu

EK C: Binanın sonlu elemanlar modeli

EK D: Binanın titreşim modları

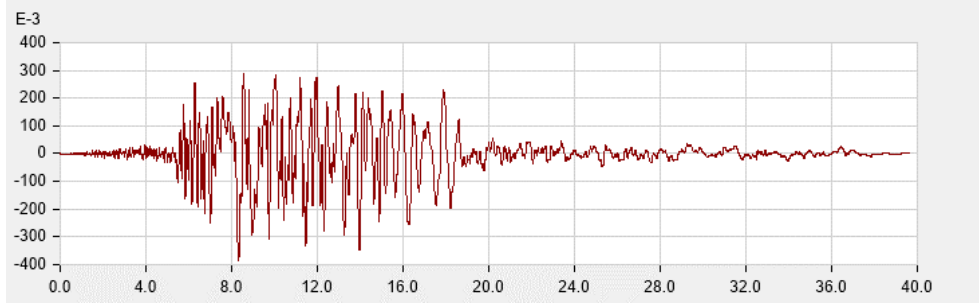
EK E: Moment-eğrilik grafikleri

EK F: Bina ölçeğinde plastik mafsallar

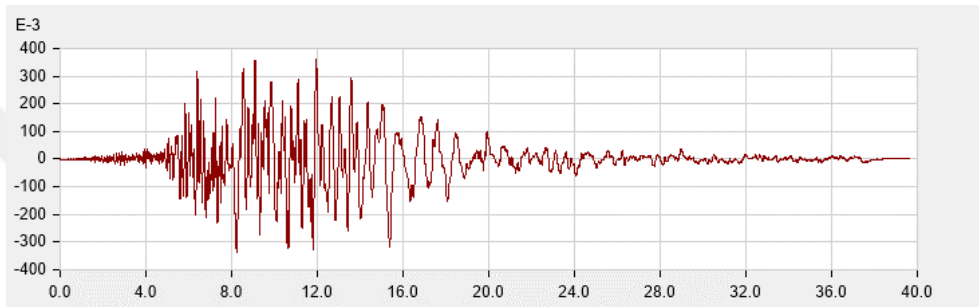
EK G: Plastik mafsalların iskelet eğrilerinden örnekler



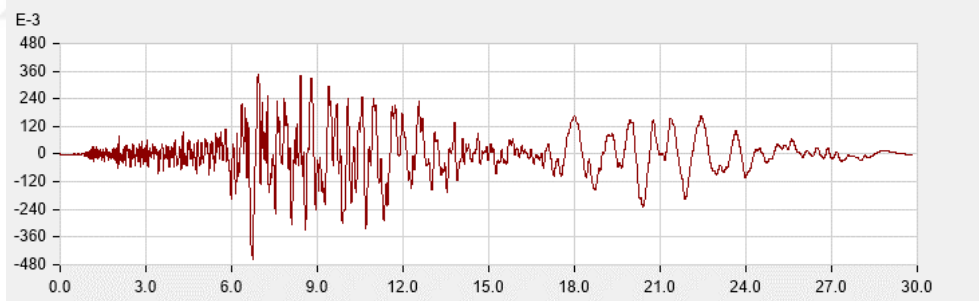
EK A : Deprem kayıtlarının dönüştürülmüş ivme-zaman grafikleri (x eksenı ivme (g), y eksenı zaman (s))



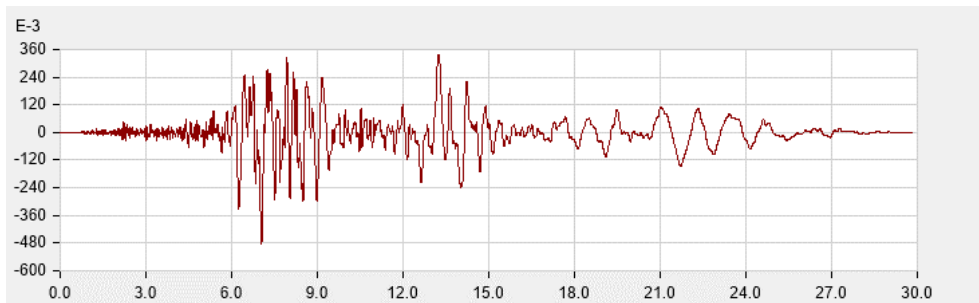
Şekil A.1: K1 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



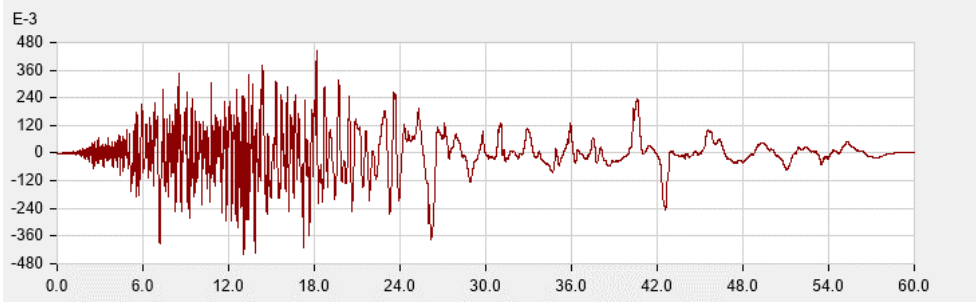
Şekil A.2: K1 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



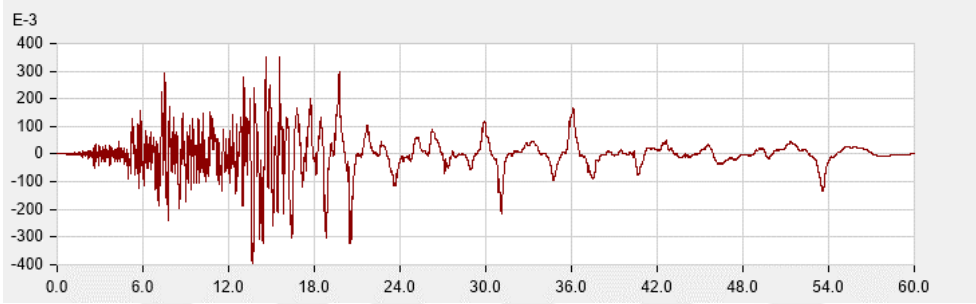
Şekil A.3: K2 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



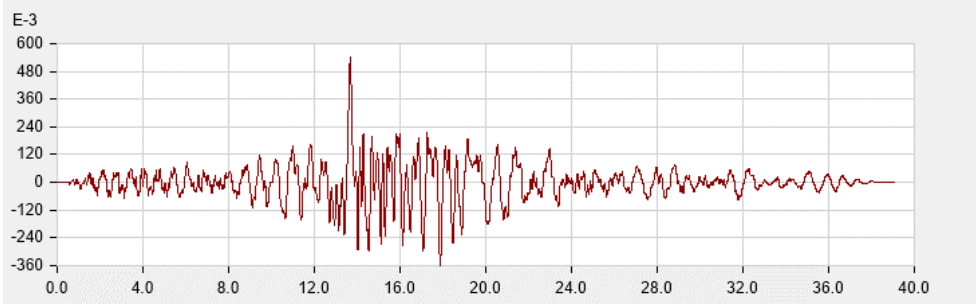
Şekil A.4: K2 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



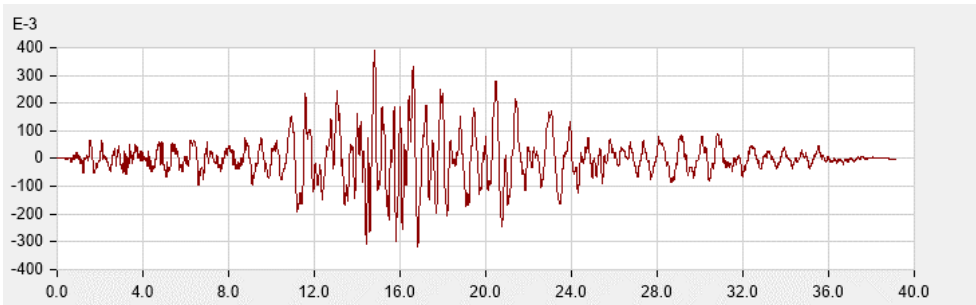
Şekil A.5: K3 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



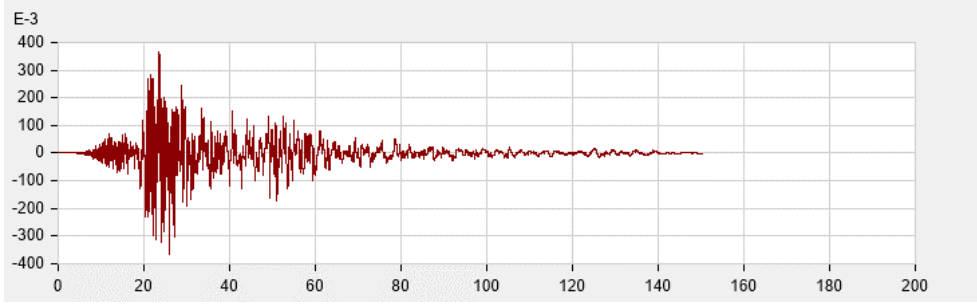
Şekil A.6: K3 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



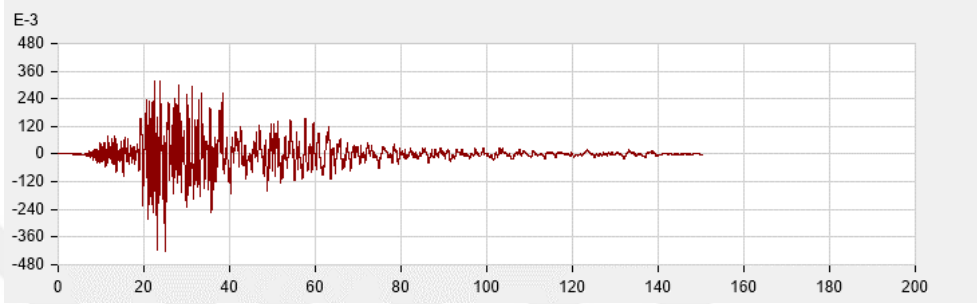
Şekil A.7: K4 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



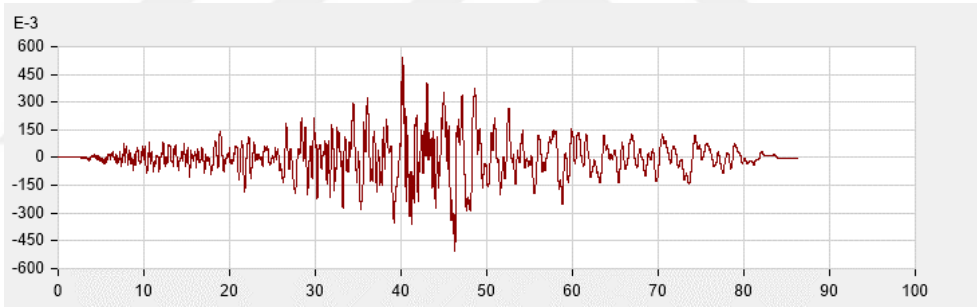
Şekil A.8: K4 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



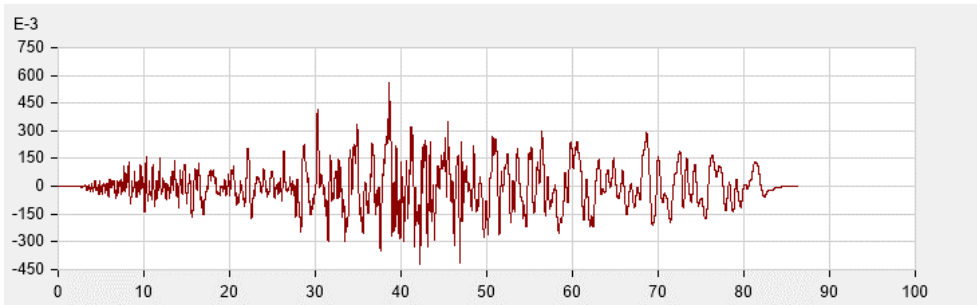
Şekil A.9: K5 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



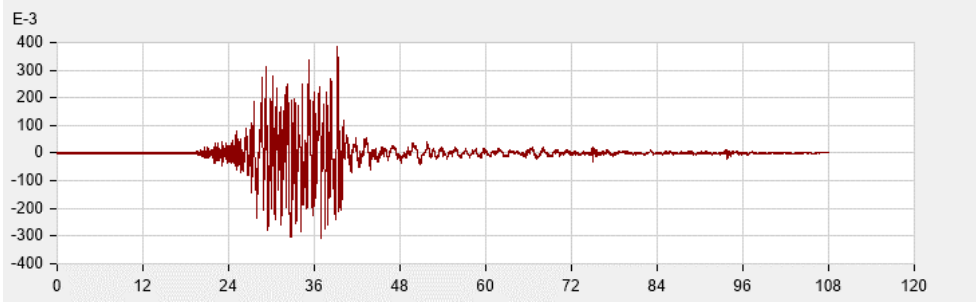
Şekil A.10: K5 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



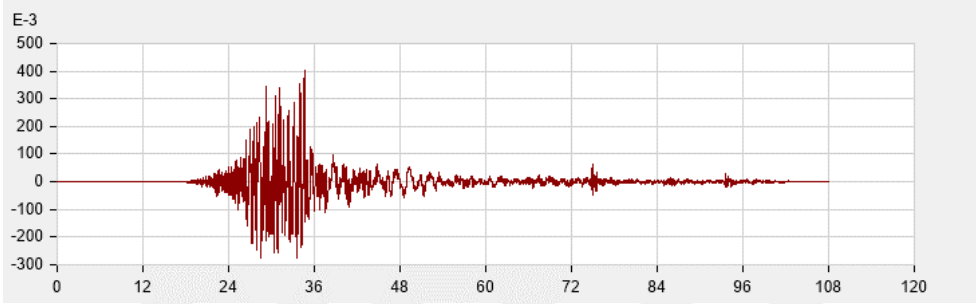
Şekil A.11: K6 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



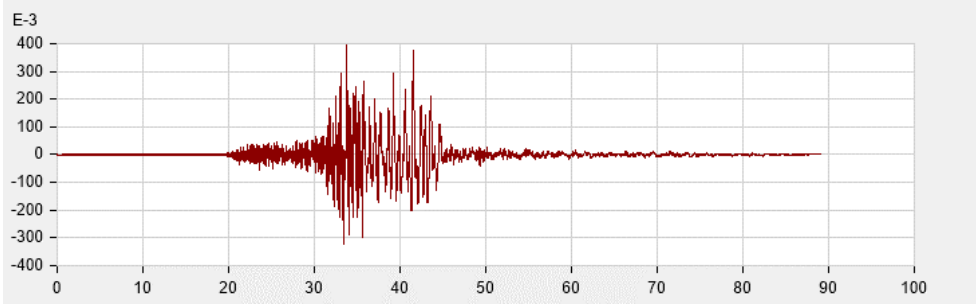
Şekil A.12: K6 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



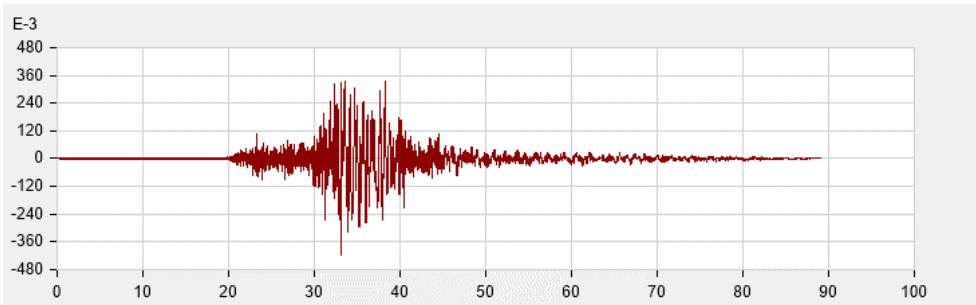
Şekil A.13: K7 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



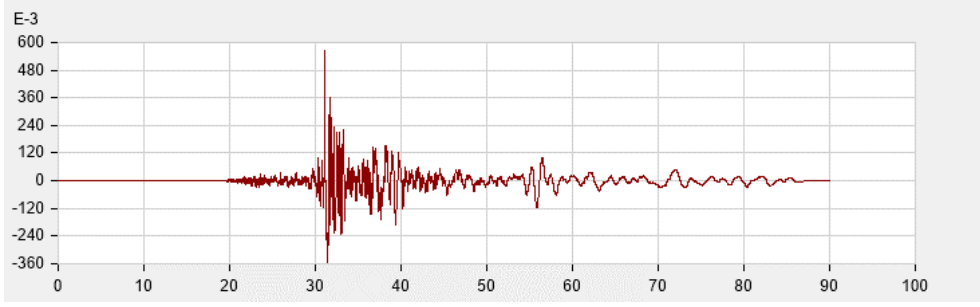
Şekil A.14: K7 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



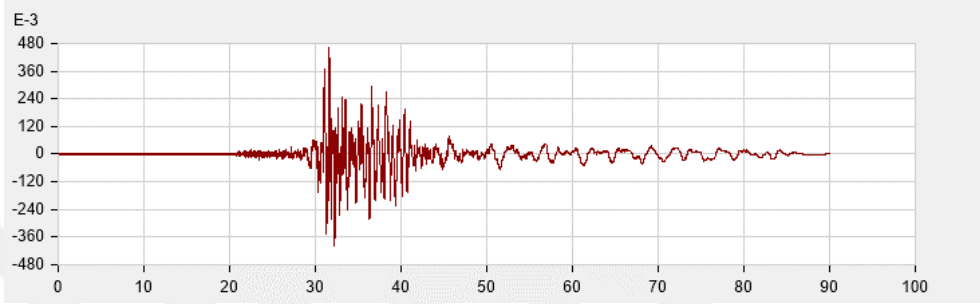
Şekil A.15: K8 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



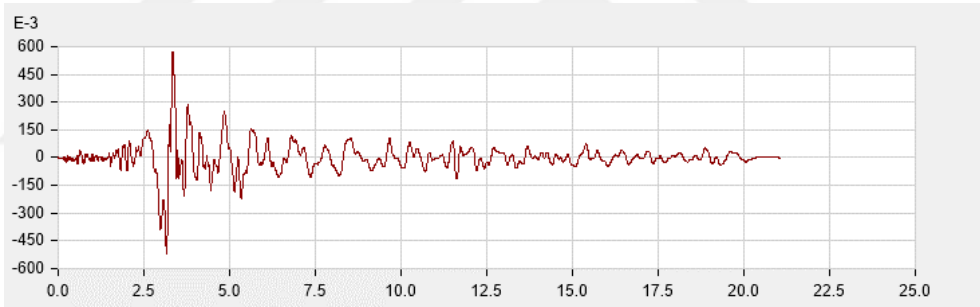
Şekil A.16: K8 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



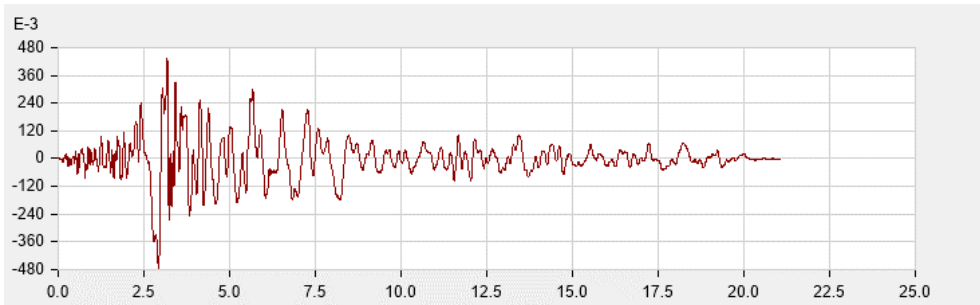
Şekil A.17: K9 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



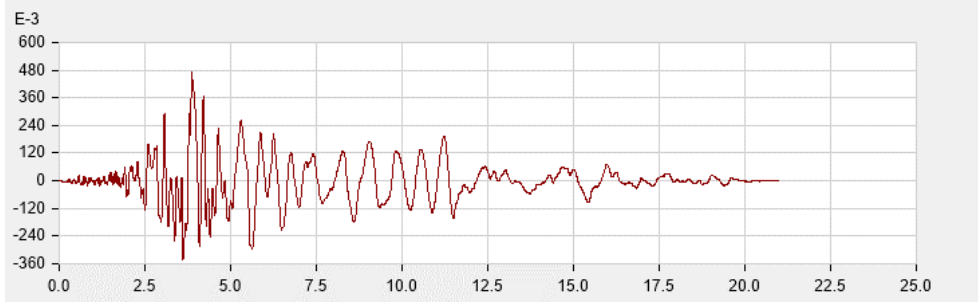
Şekil A.18: K9 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



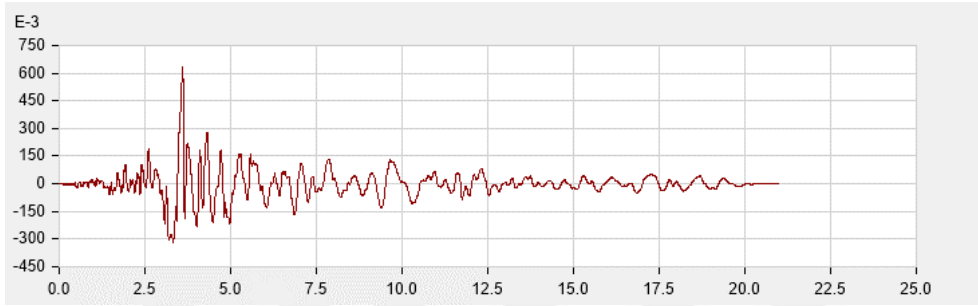
Şekil A.19: K10 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



Şekil A.20: K10 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.



Şekil A.21: K11 kaydı H1 yönü ivme-zaman grafiği.



Şekil A.22: K11 kaydı H2 yönü ivme-zaman grafiği.

EK B: Sismik tehlike haritası raporu



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Tez Bina	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $P_f > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller
Enlem:	39.789427°	
Boylam	30.515304°	

Çıktılar

$S_S = 0.666$ $S_1 = 0.179$ $PGA=0.283$ $PGV=17.083$

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

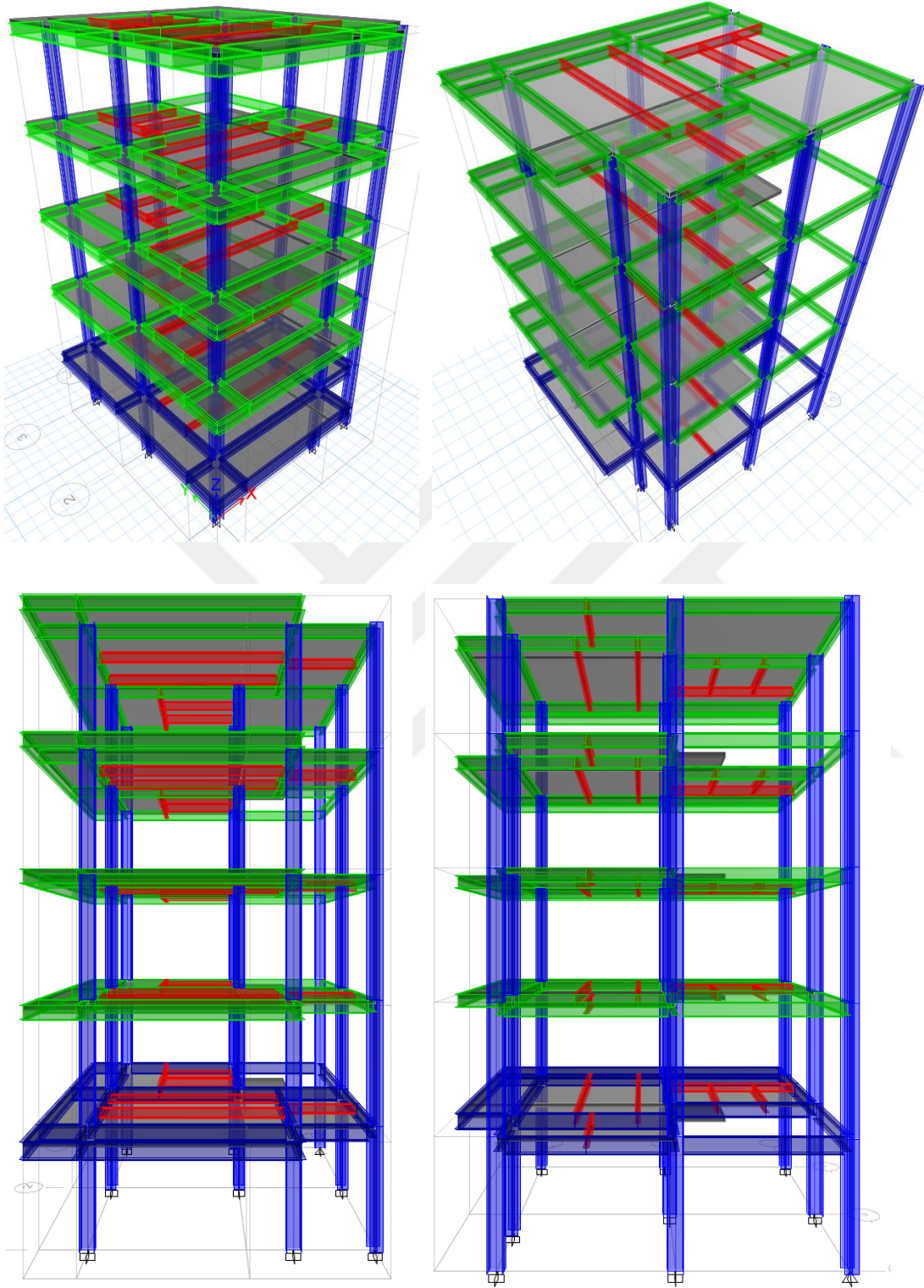
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil B.1: İnteraktif sismik tehlike harita raporu.

EK C: Binanın sonlu elemanlar modeli



Şekil C.1: ETABS sonlu elemanlar analiz modeli.

EK D: Binanın titreşim modları

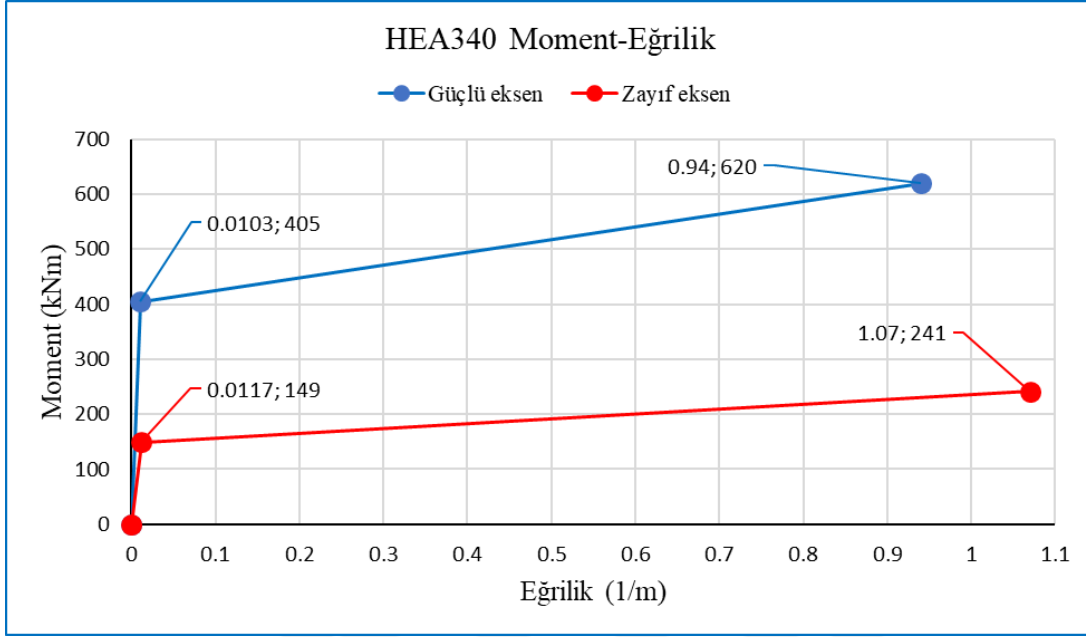
Çizelge D.1: Modal kütle katılımı.

Mod	Periyot (s)	Mux (%)	Muy (%)	\sum Mux (%)	\sum Muy (%)
1	0.782	0.0869	0.6402	0.0869	0.6402
2	0.757	0.7185	0.0942	0.8054	0.7343
3	0.557	0.0085	0.0681	0.8138	0.8025
4	0.25	0.0237	0.0877	0.8375	0.8902
5	0.242	0.0978	0.025	0.9354	0.9151
6	0.177	0.0011	0.0118	0.9365	0.9269
7	0.143	0.0139	0.028	0.9504	0.9549
8	0.137	0.0286	0.0153	0.979	0.9702

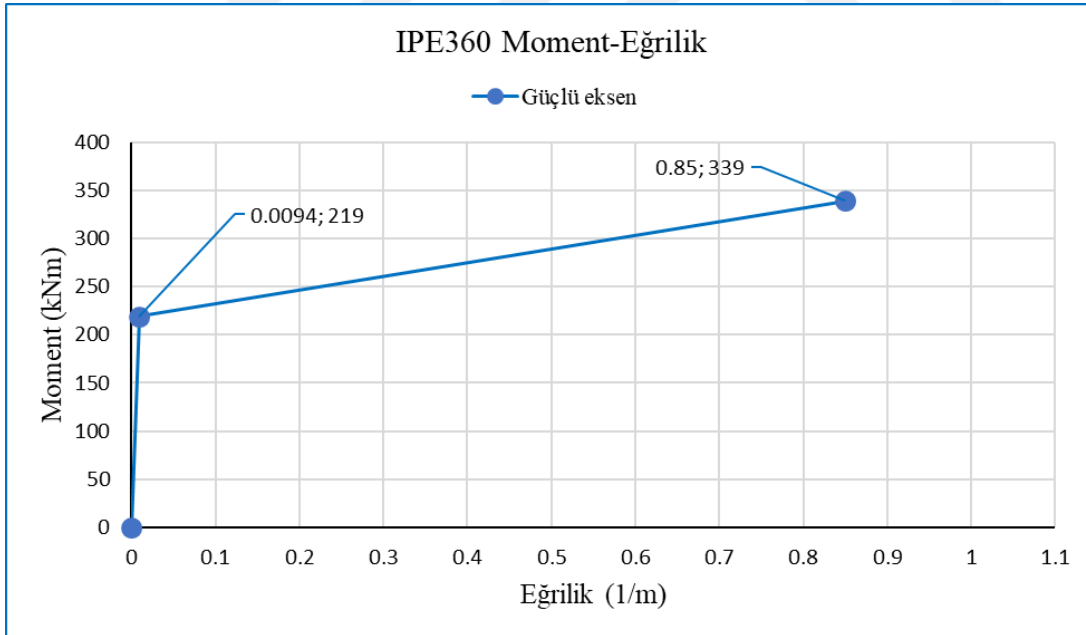
Mux : Mod etkisine X doğrultusundaki kütle katılımı

Muy : Mod etkisine Y doğrultusundaki kütle katılımı

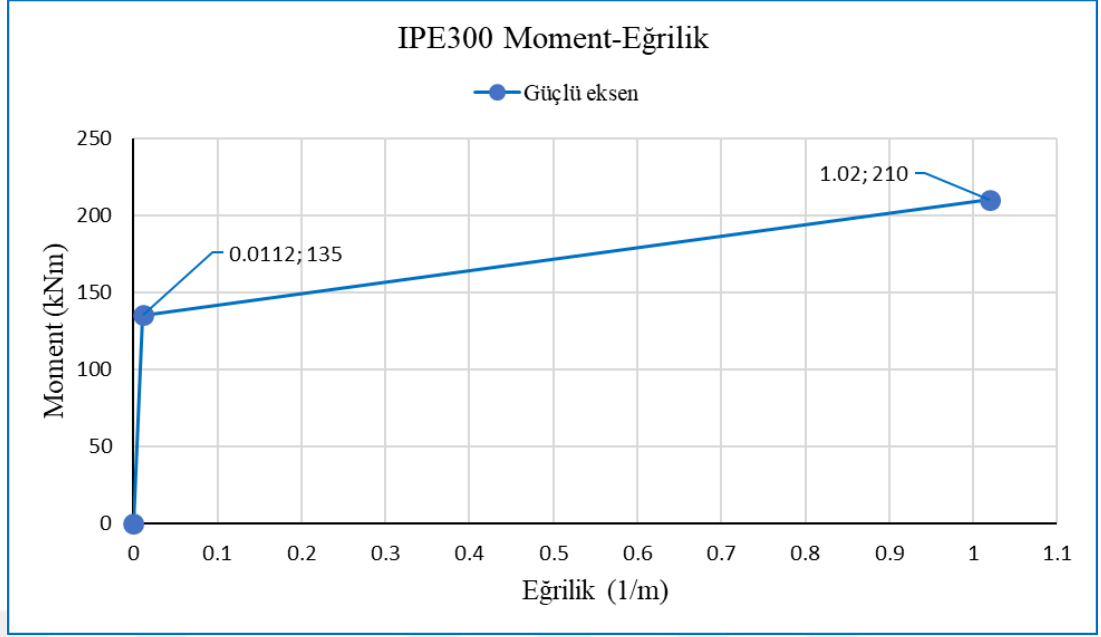
EK E: Moment-eğrilik grafikleri



Şekil E.1: HEA340 moment-eğrilik grafiği.

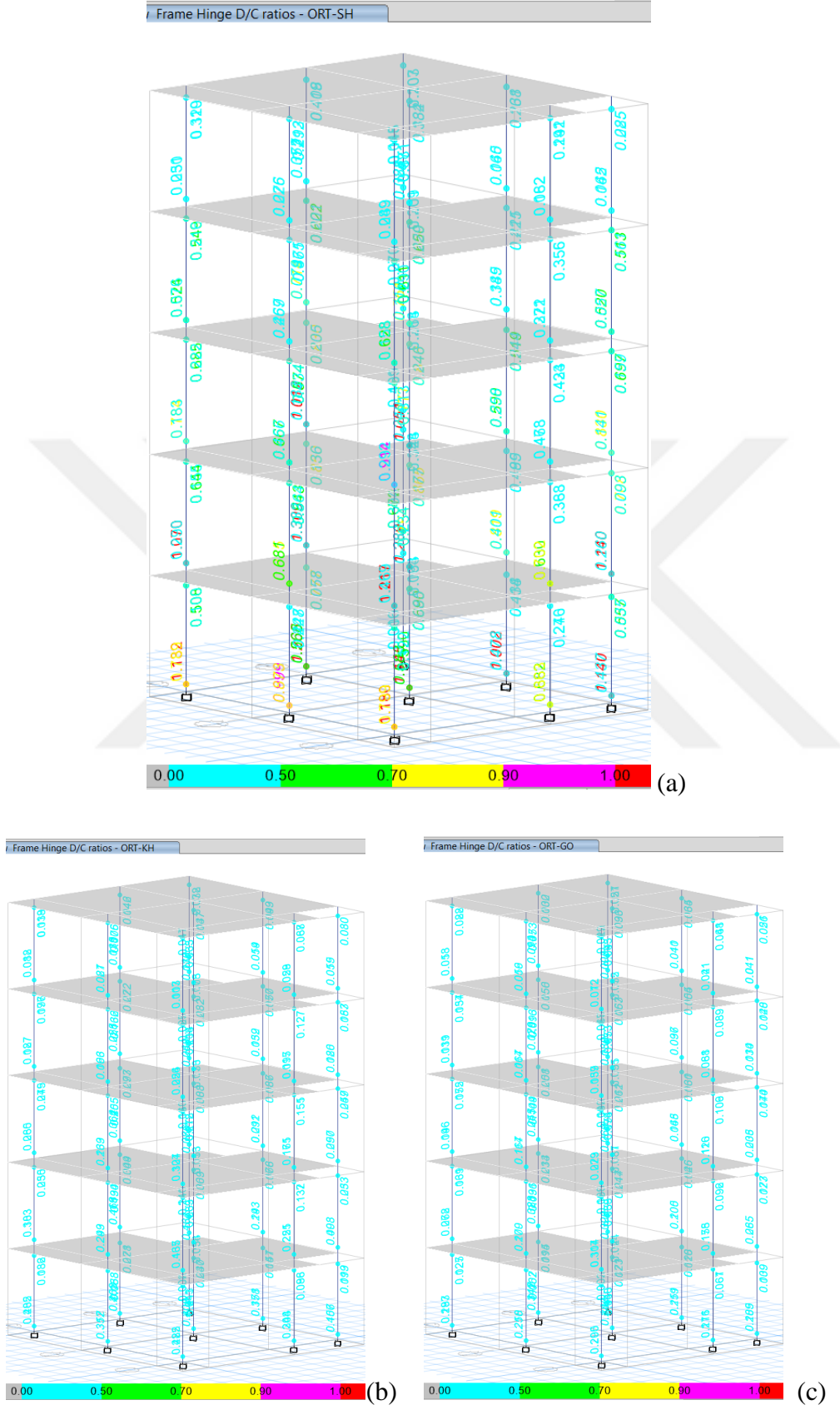


Şekil E.2: IPE360 moment-eğrilik grafiği.



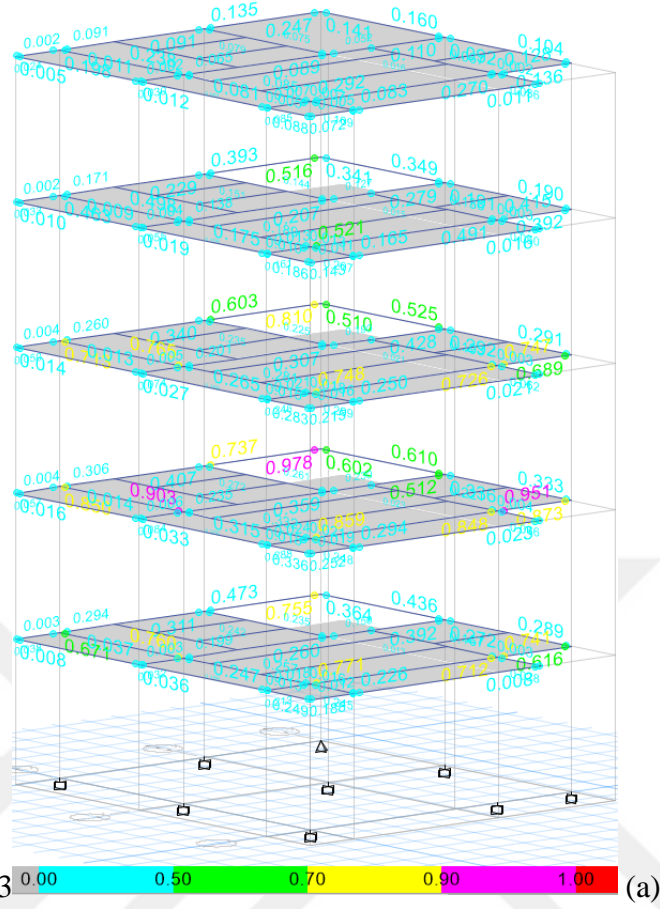
Şekil E.3: IPE300 moment-eğrilik grafiği.

EK F: Bina ölçeğinde plastik mafsallar

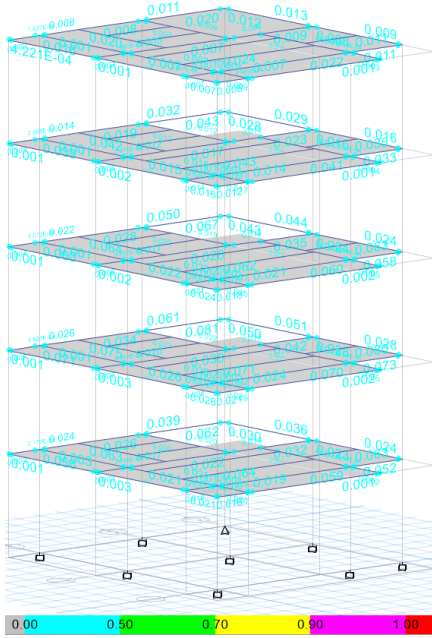


Şekil F1: Kolonlarda plastik mafsallar: (a) SH, (b) KH, (c) GÖ.

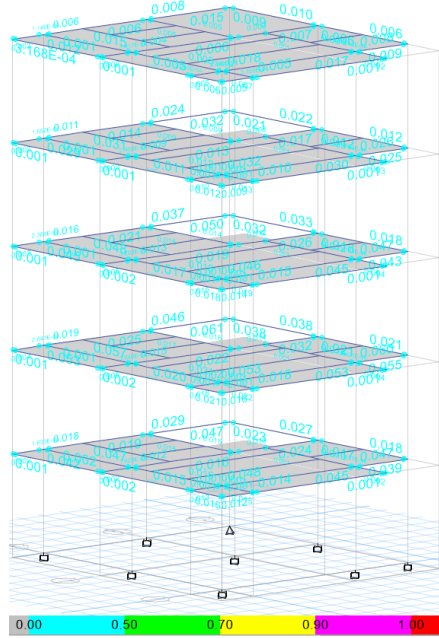
Frame Hinge D/C ratios - ORT-SH



Frame Hinge D/C ratios - ORT-KH

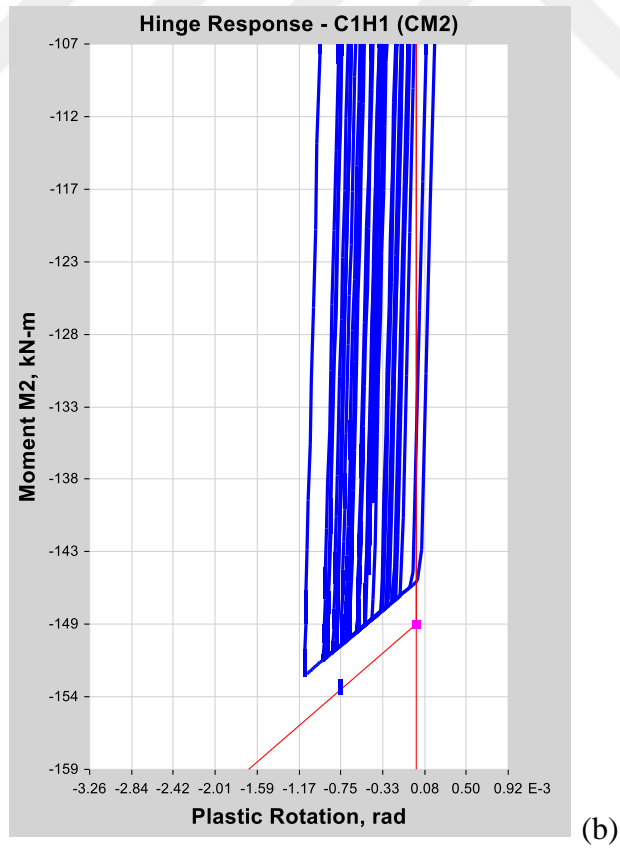
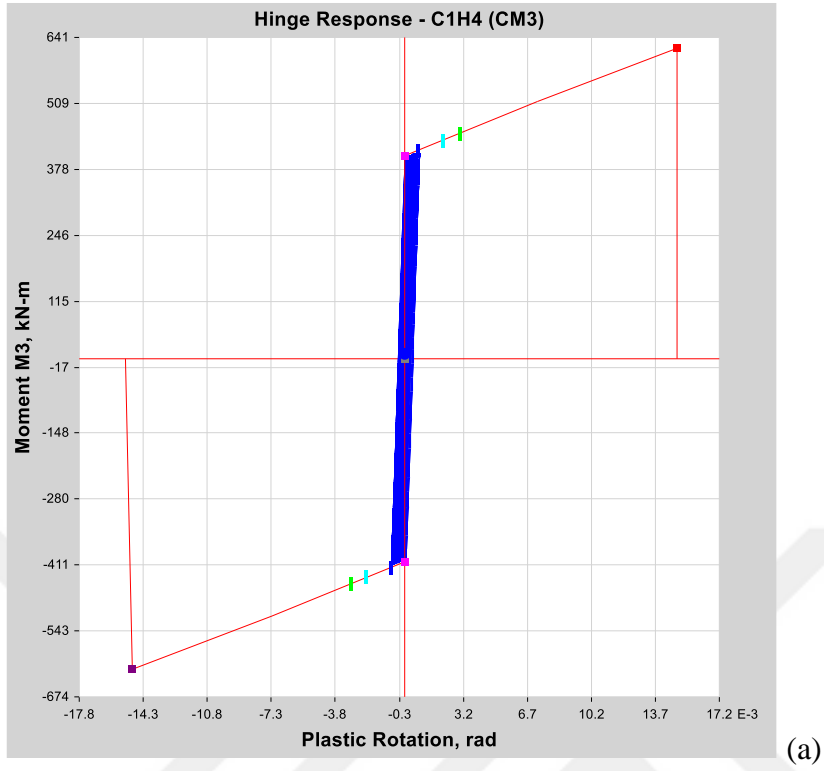


Frame Hinge D/C ratios - ORT-GÖ

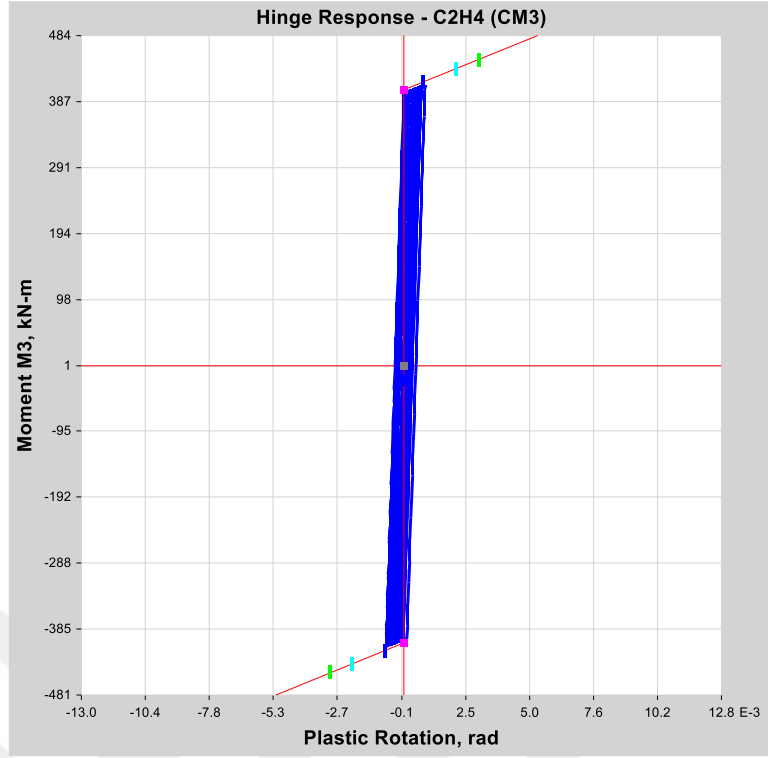


Şekil F2: Kirişlerde plastik mafsallar: (a) SH, (b) KH, (c) GÖ.

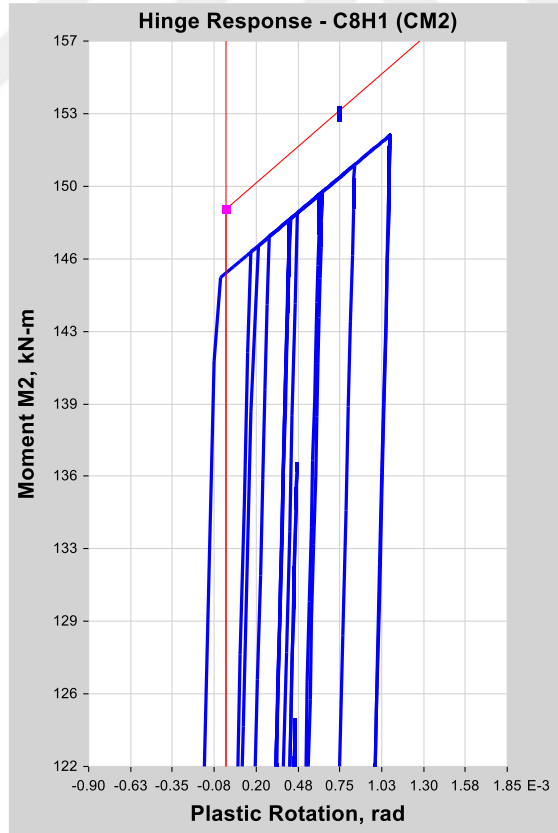
EK G: Plastik mafsalların iskelet eğrilerinden örnekler



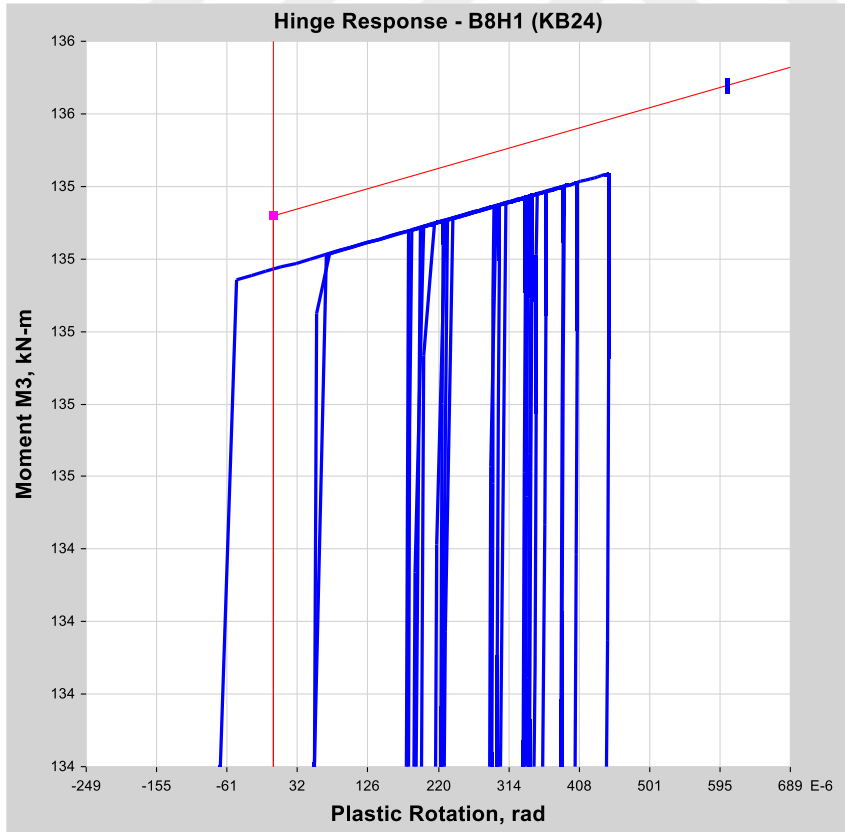
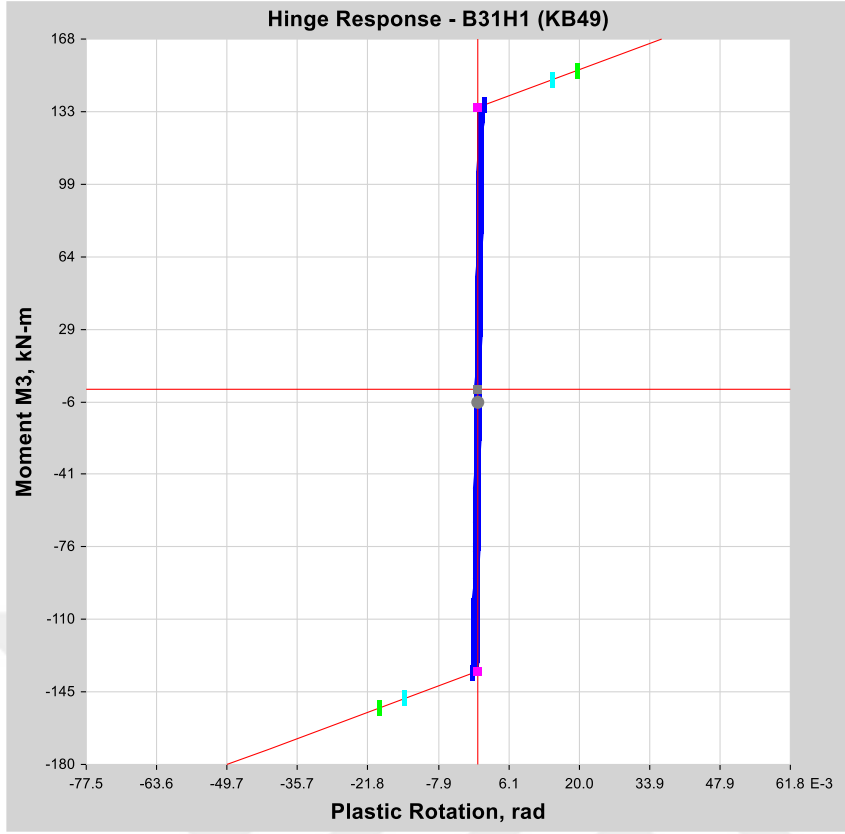
Şekil G.1: 1.kat C1 kolonu alt ucu iskelet eğrisi: (a) Güçlü eksen, (b) Zayıf eksen.



Şekil G.2: 1.kat C2 kolonu alt ucu güçlü eksende iskelet eğrisi.



Şekil G.3: 1.kat C8 kolonu alt ucu zayıf ekseninde iskelet eğrisi.



Şekil G.4: 1.kat kirişleri iskelet eğrisi örnekleri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Çağlar ÜSTÜN
Doğum Tarihi ve Yeri : 1988, Eskişehir
E-posta : ustunc@itu.edu.tr / ustuncaglar@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2006-2011, EKSEN Mühendislik ve Müşavirlik Laboratuvar Hiz. Ltd. Şti. – Yönetici ve Laboratuvar sorumlusu
- 2006-2019, ÜSTÜN İnşaat Mühendislik Hiz. Tur. Tic. San. Ltd. Şti. – Yönetici ve Proje mühendisi
- 2015-2018, RISE Mühendislik & Danışmanlık A.Ş. – Proje mühendisi