

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOMENT AKTARAN ÇELİK ÇERÇEVELİ BİR YAPININ HASAR
GÖREBİLİRLİK ANALİZİ İÇİN BİR YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ

ABDURRAHMAN AKCAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2020

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOMENT AKTARAN ÇELİK ÇERÇEVELİ
BİR YAPININ HASAR GÖREBİLİRLİK
ANALİZİ İÇİN BİR YAZILIMIN
GELİŞTİRİLMESİ

ABDURRAHMAN AKCAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE

2020

T.C.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**DEVELOPING A SOFTWARE FOR
FRAGILITY ANALYSIS OF A STEEL
MOMENT FRAME**

ABDURRAHMAN AKCAN
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE
2020

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/01/2020 tarih ve 2020/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/04/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Abdurrahman AKCAN'ın tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem ve Yapı Mühendisliği Programı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR (GTÜ)

ÜYE : Dr. Öğretim Üyesi Ülgen Mert TUĞSAL (GTÜ)

ÜYE : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet GÜLLÜ (Gedik Üniversitesi)

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Ümit DEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Depreme dayanıklı yapıların tasarımında önemli bir parametre yapıların öngörülen deprem şiddetinde, performansının belirlenmesidir. Kırılabilirlik fonksiyonlarıyla elde edilen hasar görebilirlik analizleri, yapıların performanslarını olasılıklı olarak ifade etmektedir. Kırılabilirlik eğrilerinin oluşturulması, depremlerin sebep olabileceği risklerin tahmin edilmesinde ve depremlerin yapılar üzerinde ekonomik etkilerinin öngörülmesinde önemlidir. Bu çalışmada 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY-2018 yönetmeliğine göre tasarlanmış 5 katlı moment aktaran çelik çerçeveli bir sistemin, tanımlanan hasar limit durumlarına bağlı olarak kırılabilirlik eğrilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Yani yapıda oluşabilecek hasar durumlarının olasılık olarak hesaplanması öngörülmüştür. Kırılabilirlik eğrilerinin elde edilmesinde artımsal dinamik analiz yöntemi uygulanmıştır. Artımsal dinamik analiz yönteminin uygulanmasında PEER (Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi) yer hareketi veri tabanından elde edilen 11 adet deprem çifti kullanılmış olup, her deprem analizinde yapıya ait spektral ivme şiddet ölçüsü olarak ele alınmıştır. Hasar ölçütü olarak ise katlar arası ötelenmenin maksimum değeri kullanılmıştır. Bu çalışmadaki diğer bir amaç; artımsal dinamik analiz yöntemini gerçekleştirip, ardından kırılabilirlik eğrilerini çıkarabilecek bir kod yazılmasıdır. 5 katlı çelik yapının modellenmesi ve analizler OpenSees programıyla TCL komut dili aracılığıyla tamamlanmıştır. Açık kaynaklı program olan OpenSees ve Python bir arada kullanılmıştır. Modeller OpenSees ile oluşturulurken, analizler Python aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Python yazılım dili kullanılarak analizler tek bir kod içinde tamamlanmıştır. Yazılan Python kodu, oluşturulan OpenSees modelinde, depreme ait şiddet ölçüsünü belirli limitlerle arttırarak analizleri yaparken, her bir şiddet ölçüsüne bağlı olarak her bir deprem analizi sonucunda yapıda oluşan maksimum katlar arası ötelenmeyi çıktı olarak vermektedir. Analizlerin sonucunda 11 adet depremin analiziyle yapıya ait IDA grafikleri elde edilmektedir. Hasar limit durumları, Can Güvenliği, Hemen Kullanım, Göçme Önlenmesi olarak tanımlanmıştır. IDA sonuçları, belirlenen hasar limit durumlarına bağlı olarak kırılabilirlik eğrileri tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Artımsal dinamik analiz, kırılabilirlik eğrileri, Çelik yapılar, Moment aktaran çerçeveler

SUMMARY

An important parameter in the design of earthquake resistant structures is the determination of the performance of the structures at the predicted earthquake intensity. The damage limit analysis obtained by the fragility functions that express the performance of the structures in probabilistic way for specific intensity level. Creating fragility curves is important in predicting the risks caused by earthquakes and predicting economic effects on earthquakes. In this study, it is aimed to obtain the fragility curves of a 5-storey steel moment frame designed according to the TBDY-2018 specification that has been began to use on January 1, 2019, depending on the defined damage limit conditions. In other words, it is foreseen to calculate the damage states that may occur in the structure as probability. Incremental dynamic analysis method has been applied to obtain fragility curves. In the incremental dynamic analysis, 11 earthquake pairs obtained from PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) ground motion database were used. The spectral acceleration of the structure was taken as a measure of intensity (IM) in each earthquake analysis. As the damage measure (DM), the maximum value of the drift between the floors was used. Another purpose in this study; writing a code that can perform incremental dynamic analysis using Python. Modeling and analysis of the 5-storey steel structure was completed with the OpenSees program through the TCL command language. OpenSees and Python are open source programs used together. While the models were created with OpenSees, the analyzes were carried out via Python. Analyzes were completed in a single code using the Python software language. In the OpenSees model, while the Python code that is written, analyzes the earthquake intensity by increasing it with certain limits, it gives the output between the maximum drift as a result of each earthquake analysis based on each severity measure. As a result of the analyzes, IDA graphics of the building are obtained by 11 earthquake analyzes. Damage limit states are defined as Life Safety, Immediate Occupancy, Collapse Prevention. The IDA results are used within the Baker (2015) fragility curve function depending on the specified damage limit states. The fragility curves of the structure are developed.

Keywords: Incremental dynamic analysis (IDA), Fragility curves, Steel structures, Special moment frames,

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yine bu süre boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesini paylaşan değerli eşim Seyhan Okuyan AKCAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmada yine bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Arş. Gör. Ali YEŞİYURT'a teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte yine hep yanımda oldukları için sevgili aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ	xx
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	3
1.2. Kapsam	4
2. SİSMİK TASARIM	5
2.1. TBDY 2018'e Göre Tasarım	11
2.1.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında İzlenecek HesapAdımları	12
2.2. Türk Çelik Yönetmeliği (TÇY 2016)'ya Göre Tasarım	33
2.2.1. Malzeme Bilgisi	34
2.2.2. Tasarım Prensipleri	35
2.2.3. Yükler ve yük birleşimleri	35
2.2.4. Kullanılabilirlik Sınır Durumları için Tasarım	37
2.2.5. Eleman En kesit Özellikleri	38
2.2.6. Stabilite Tasarımı	40
2.2.7. Eksenel Basınç Kuvveti Etkisi	41
2.2.8. Eğilme Momenti Etkisi (TÇY 2016 Bölüm 9)	45
2.2.9. Kesme Kuvveti Etkisi (TÇY 2016 Bölüm 10)	51
2.2.1. Bileşik Etkiler (TÇY 2016 Bölüm 11)	52
3. ANALİZ YÖNTEMLERİ	53
3.1. Statik Analiz Yöntemi	54

3.1.1.	Doğrusal Analiz	54
3.1.2.	Doğrusal Olmayan Analiz	56
3.2.	Dinamik Analiz Yöntemi	57
3.2.1.	Doğrusal Analiz	57
3.2.2.	Doğrusal Olmayan Analiz	59
3.3.	Kırılgenlik Eğrisi	60
3.3.1.	Şiddet Ölçüsü	61
3.3.2.	Limit durumlar ve hasar ölçüleri	61
3.3.3.	Hasar Eğrileri	62
3.3.4.	Kırılgenlik Fonksiyonlarının Oluşturulması	63
3.4.	Artımsal Dinamik Analiz Yöntemi (IDA)	64
4.	SAYISAL ÖRNEK	68
4.1.	Yapı Bilgileri	68
4.2.	Yükler ve Yük Birleşimleri	72
4.2.1.	Düşey Yükler ve İlgili Yük Birleşimleri	72
4.2.2.	Deprem Yükleri ve İlgili Yük Birleşimleri	74
4.2.3.	Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Hesabı	77
4.2.4.	Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi	78
4.2.5.	İlgili Yük Birleşimleri	79
4.3.	Yapı Analizleri	81
4.3.1.	Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	81
4.3.2.	İkinci Mertebe Etkileri	84
4.3.3.	Düzensizliklerin Kontrolü	86
4.4.	Boyutlandırma Hesapları	87
4.4.1.	İkincil Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması	87
4.4.2.	Ana Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması	90
4.4.3.	Kolonların Boyutlandırılması	95
4.5.	Detay Hesapları	103
4.5.1.	Kiriş-Kolon Birleşim Bölgesinin Tasarımı	103
4.5.2.	Kolon Ek Detayının Tasarımı	112

4.6.	Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Kontrolleri	113
4.7.	Artımsal Dinamik Analiz Hesapları	114
4.7.1.	Deprem Kayıtlarının Seçimi	115
4.7.2.	Yapının Sayısal Modellenmesi	121
4.7.3.	Malzeme Davranışı ve Özellikleri	123
4.7.4.	Eleman Tanımlamaları	124
4.7.5.	Yük ve Kütle Tanımlamaları	125
4.7.6.	Periyotların Okunması	126
4.7.7.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	126
5.	SONUÇLAR	133
	KAYNAKLAR	131
	ÖZGEÇMİŞ	134

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kisaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CDF	: Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
CP	: Göçme Önlenmesi
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DM	: Hasar Ölçütü
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
FEMA	: Amerikan Federal Acil Durum Yönetim Kurumu
GKT	: Güvenlik Katsayılarıyla Tasarım
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
HAZUS	: Hasar Tahmin Metodolojisi
IDA	: Artımsal Dinamik Analiz
IM	: Şiddet Ölçüsü
IO	: Hemen Kullanım
LS	: Can Güvenliği
NEHRP	: Amerikan Ulusal Deprem Tehlikelerini Azaltma Programı
PGA	: Maksimum Yer İvmesi
PGD	: Maksimum Yer Değiştirme
PGV	: Maksimum Yer Hızı
$S_{a(T)}$	: Spektral İvme
ŞGDT	: Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım
YDKT	: Yük ve Dayanım Kat Sayıları ile Tasarım
$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]
$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]
$(V_s)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]

$*M_{pb}$	: Kiriş-kolon birleşim bölgesinde, birleşen kirişlerin her biri için karakteristik plastik moment dayanımlarının a 1.1R katı ile kiriş ucundaki olası plastik mafsaldaki kesme kuvvetinden dolayı kolon ekseninde meydana gelen ek eğilme momentinin toplamı ile belirlenen eğilme momenti
$*M_{pc}$	: Kiriş-kolon birleşim bölgesinde depremin yönü ile uyumlu olarak, kolon eğilme momenti dayanımlarını en küçük yapan tasarım eksenel kuvvetleri gözönüne alınarak hesaplanan üst veya alt kat kolon eğilme momenti dayanımı
A	: Enkesit alanı
Ae	: Etkin net enkesit alanı
b_f	: Kiriş enkesitinin başlık kalınlığı
c_f	: Kolon enkesitinin başlık kalınlığı
d	: Kiriş enkesit yüksekliği [m]
d_c	: Kolon enkesit yüksekliği [m]
$d_{fi}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirme [m]
e	: %5'lik ek dışmerkezlik [m]
E	: Yapı çeliği elastisite modülü, $E:2 \times 10^8$ [kN/m ²]
Ed	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi
$E_d^{(H)}$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(X)}$	: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$	: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F_{cre}	: Olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesi

$F_{fi}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda i'inci kata etki ettirilen fiktif yük [kN]
$F_{iE}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü [kN]
F_S	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_{yb}	: Kiriş malzemesinin karakteristik akma gerilmesi
F_{yc}	: Kolon malzemesinin karakteristik akma gerilmesi
F_{ye}	: Yapı çeliğinin beklenen akma gerilmesi [kN/m ²]
g	: Yerçekimi ivmesi [$g=9.81 \text{ m/s}^2$]
G	: Sabit yük
H	: Zemin yatay itkisi
h	: Enkesit yüksekliği
H_c	: Kolon yüksekliği
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği
H_N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam yüksekliği [m]
h_o	: Kesit başlıklarının merkezleri arasındaki uzaklık
H_{ort}	: Düğüm noktasının üstündeki ve altındaki kolon yüksekliklerinin ortalaması
I	: Yapı önem katsayısı
i	: Atalet yarıçapı
I_b	: Kiriş kesit eylemsizlik momenti [m ⁴]
I_k	: Kolon kesit eylemsizlik momenti [m ⁴]
i_y	: Kiriş enkesitinin zayıf eksenine göre atalet yarıçapı
K	: Burkulma katsayısı
L	: Çubuk boyu
l_b	: Kiriş boyu [m]
L_b	: Basınç başlığının yanal doğrultuda mesnetlendiği veya enkesitin çarpılmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık
l_k	: Kolon boyu [m]
M_a	: (GKT) yük birleşimleri esas alınarak belirlenen gerekli eğilme dayanımı

M_{av}	: (GKT) yük birleşimleri esas alınarak, kiriş uçlarında olası plastik mafsallardaki kesme kuvveti nedeniyle kolon ekseninde meydana gelen ek eğilme momenti
m_i	: i'inci katın toplam kütlesi [t]
M_p	: Karakteristik plastik eğilme dayanımı
M_{pc}	: Kolonun karakteristik plastik eğilme dayanımı
M_{pe}	: Plastik moment kapasitesi [kNm]
M_{pr}	: Olası eğilme momenti kapasitesi
M_r	: Gerekli eğilme dayanımı
m_t	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi [t]
M_u	: (YDKT) yük birleşimleri esas alınarak belirlenen gerekli eğilme dayanımı
M_{uc}	: Kiriş-kolon birleşiminde, kirişin kolon yüzündeki gerekli eğilme momenti dayanımı
M_{uv}	: (YDKT) yük birleşimleri esas alınarak, kiriş uçlarında olası plastik mafsallardaki kesme kuvveti nedeniyle kolon ekseninde meydana gelen ek eğilme momenti
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N_{dm}	: Düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında hesaplanan kolon eksenel kuvveti
P_a	: (GKT) yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı
P_{ac}	: Arttırılmış deprem etkileri gözönüne alınarak, (GKT) yük birleşimleri için hesaplanan gerekli eksenel basınç kuvveti
P_{br}	: Yanal destek elemanlarının gerekli eksenel kuvvet dayanımı
P_{no}	: Kompozit kolon enkesitinin eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_r	: Gerekli eksenel kuvvet dayanımı
P_u	: (YDKT) yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı

P_{uc}	: Arttırılmış deprem etkileri gözönüne alınarak, (YDKT) yük birleşimleri için hesaplanan gerekli eksenel basınç kuvveti
P_y	: Akma sınır durumunda eksenel kuvvet dayanımı
P_{ysc}	: Çelik çekirdek eksenel kuvvet akma dayanımı
Q	: Hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
R_t	: Olası çekme dayanımının karakteristik çekme dayanımına oranı
R_y	: Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
R_{yb}	: Kirişte olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
R_{yc}	: Kolonda olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
S	: Kar yüğü
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{aeD}(T)$	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{de}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral yer değıştirmesi [m]
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
T	: Doğal titreşim periyodu [s]
t	: Kalınlık
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

T_L	:	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_{LD}	:	Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_p	:	Binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]
t_t	:	Takviye levhası kalınlığı
$V_{tE}^{(X)}$	:	(X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
W_p	:	Plastik mukavemet momenti [m3]
w_t	:	Gövde kalınlığı
η_{bi}	:	i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
η_{ci}	:	i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
η_{ki}	:	i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1: Türkiye tektonik haritası.	5
2. 2: Farklı yönetmeliklere ait spektrumların karşılaştırılması.	9
2. 3: Yerel zemin sınıfları	13
2. 4: Türkiye deprem haritası	14
2. 5: Spektral ivme katsayıları	14
2. 6: F_s ve F_1 değerleri	15
2. 7: Yatay elastik spektrumların tanımlanması	16
2. 8: Yatay elastik tasarım spektrumu	16
2. 9: Düşey elastik spektrumun tanımlanması	17
2. 10: Düşey elastik tasarım spektrumu	17
2. 11: TBDY 2018 Tablo 3.1	18
2. 12: TBDY 2018 Tablo 3.2	19
2. 13: TBDY 2018 Tablo 3.3	19
2. 14: TBDY 2018 Tablo 3.4	20
2. 15: Kaynak metali özellikleri	23
2. 16: R_y ve R_t katsayıları	24
2. 17: GKT yük birleşimleri	24
2. 18: Dayanım fazlalığı katsayısı	26
2. 19: TBDY 2018 Tablo 9.3	28
2. 20: TBDY 2018 Denklem 9.2 ve 9.3	29
2. 21: Kapasitesi korunan bölgeler	30
2. 22: Kolonların kirişlerden güçlü olması durumu.	31
2. 23: Kolon kiriş birleşimi	32
2. 24: Süreklilik levhaları	33
2. 25: TÇY 2016 Tablo 2.1A	34
2. 26: TÇY 2016 Tablo 2.2	34
2. 27: YDKT yük kombinasyonları.	36
2. 28: GKT yük kombinasyonları.	36
2. 29: TÇY 2016 Tablo 5.1A	39
2. 30: İkinci mertebe etkileri	40

2. 31: Yerel burkulma sınır durumu	41
2. 32: Genel burkulma sınır durumu	42
2. 33: Eğilmeli burkulma türü	43
2. 34: Burulmalı burkulma türü	43
2. 35: Eğilmeli burulmalı burkulma durumu	44
2. 36: TÇY 2016 Denklem 8.1,8.2 ve 8.3	45
2. 37: Elastik ve plastik moment durumları	46
2. 38: TÇY 2016 Tablo 5.1B	48
2. 39: Tutulu olmayan boya göre karakteristik moment dayanımı	49
2. 40: TÇY 2016 Birleşik etkilerin hesabı	52
3. 1: Analiz yöntemleri.	53
3. 2: Taban kesme kuvveti ve katlara dağılımı.	55
3. 3: İtme eğrisi.	56
3. 4: Spektral ivme-yer değiştirme- talep yer değiştirme'nin elde edilmesi.	57
3. 5: Tasarım spektrumu.	58
3. 6: Kırılmalık eğrisi.	67
4. 1 Üç boyutlu sistem görünüşü	69
4. 2 Normal kat planı	70
4. 3 Tipik sistem en kesiti (A aksı çerçevesi).	70
4. 4: Kolon-kiriş birleşim detayı.	104
4. 5: Kolon ek detayı.	113
4. 6: Yapıya ait tasarım spektrumu.	116
4. 7: Ölçeklenen deprem kayıtları.	117
4. 8: RSN 164 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	117
4. 9: RSN 212 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	118
4. 10: RSN 548 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	118
4. 11: RSN 832 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	118
4. 12: RSN 1762 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	119
4. 13: RSN 2714 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	119
4. 14: RSN 3757 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	119
4. 15: RSN 3852 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	120
4. 16: RSN 6060 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	120
4. 17: RSN 6891 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	120
4. 18: RSN 6891 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.	121

4. 19: 3 açıklıklı modelin düğüm ve eleman numaraları.	122
4. 20: 5 açıklıklı modelin düğüm ve eleman numaraları.	122
4. 21 Çelik Malzeme Modeli Tanımı.	123
4. 22 Malzeme modelinin OpenSees Tcl komut diliyle tanımlanması.	123
4. 23: OpenSees Tcl komut dilinde yapının elemanlarının tanımlanması.	124
4. 24 OpenSees modelinde etkiyecek ölü yük ve hareketli yük tanımlı.	125
4. 25: OpenSees modelinde kütle atama ve kat ağırlıklarının hesaplanması.	125
4. 26 'Eigen' komutu kullanılarak yapının titreşim periyotlarının hesabı.	126
4. 27 Y-Aksı 3 açıklıklı modele ait IDA eğrisi.	127
4. 28 X-Aksı 5 açıklıklı modele ait IDA eğrisi.	128
4. 29 Geliştirilen programın IDA algortitması.	129
4. 30: 3 Açıklıklı çerçeveye ait kırılmalık eğrisi.	131
4. 31: 5 Açıklıklı çerçeveye ait kırılmalık eğrisi.	131
4. 32 Geliştirilen programın kırılmalık eğrisi algoritması.	132

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
4. 1: Taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit profilleri.	71
4. 2: Yapıya ait koordinat ve zemin sınıfı bilgileri.	71
4. 3: Spektral ivme katsayıları.	71
4. 4: Düşey yükler.	72
4. 5: Düşey yük birleşimleri için fiktif yüklerin hesaplanması.	73
4. 6: Kat ağırlıkları ve kat kütleleri.	74
4. 7: Fiktif yüklerden oluşan kat yer değiştirmeleri (X yönü).	75
4. 8: Fiktif yüklerden oluşan kat yer değiştirmeleri (Y yönü).	75
4. 9: Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.	78
4. 10: (X) Doğrultusunda görelî kat ötelemelerinin kontrolü.	82
4. 11: (Y) Doğrultusunda görelî kat ötelemelerinin kontrolü.	83
4. 12: İkinci mertebe gösterge değerleri.	85
4. 13: Burulma düzensizliği katsayıları.	86
4. 14: Bulonlu başlık levhalı moment aktaran birleşim sınırları.	105
4. 15: 11 Adet deprem kaydı (PEER).	115
4. 16: Tasarım spektrumu parametreleri.	116
4. 18: X ve Y aksı modellerinde yapının titreşim periyotları.	126
4. 19 Çelik çerçeveler için katlar arası ötelenme limit durumları.	130

1. GİRİŞ

Türkiye, depremselliği yüksek olan bir bölgedir. Kuzey Anadolu Fay Hattı, tektonik bir aktivite alanıdır. Türkiye’de deprem tehlikesi yüksek olan bölgeler Deprem Tehlike Haritasında belirtilmiştir. En son 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiş, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı (mükerrer) Resmî Gazete’ de yayımlanmıştır. Yeni harita 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yeni harita en güncel deprem kaynak parametreleri, deprem katalogları ve yeni nesil matematiksel modeller dikkate alınarak detaylı olarak hazırlanmıştır. Yeni haritada, deprem bölgeleri yerine en büyük yer ivmesi değerleri gösterilmiş ve “deprem bölgesi” kavramı ortadan kaldırılmıştır [1].

Doğal afetlerden biri olan depremin sebep olabileceği can ve mal kayıpları önlenebilmektedir. Depremin yıkıcı etkilerinden kaçınmak için depreme dayanıklı yapı tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler tasarım yönetmeliklerinde detaylı olarak açıklanmıştır. TBDY-2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği), yapıların sismik tasarımda kullanılması gereken analiz yöntemlerini açıklamaktadır. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizler, yapıların tasarım sürecinde uygulanmaktadır. Bu yönetmelik ile sismik tasarımda yapıların dayanıma göre tasarımına ek olarak şekil değiştirmeye göre tasarım yapılması da eklenmiştir. Şekil değiştirmeye göre tasarım, yapılar için yönetmelikte tanımlanan deprem düzeyine karşı ulaşması gereken performans hedefine ulaşmasını öngörmektedir. Performans hedefine göre tasarım, kuvvetli yer hareketi etkisi altında yıkımları, can ve mal kayıplarını en aza indirmektedir.

Yapılardaki hasarlar, çoğunlukla binaların deprem performansı ile doğrudan ilişkilidir ve depremde meydana gelen can ve mal kayıpları ile diğer ekonomik ve sosyal kayıpların da temel nedenidir. Yapıların depreme maruz kaldıklarındaki davranışlarını doğru tahmin edebilmek için dinamik analizler kullanılarak performans durumu belirlenmelidir. Performans hedefine göre tasarımı yapılan elemanların, doğrusal olmayan davranışlarını, göz önünde bulundurmayı gerektirmektedir. Kesitlerin plastik şekil değiştirme kapasitesinin hesaplanması gerekmektedir. Bina performans tahmini için bir yöntem statik itme (pushover) analizidir. Bu yöntemde yapısal elemanların plastik şekil değiştirme kapasitesi tanımlanır ve binanın elastik

ötesi bölgedeki davranışı elde edilir. Statik itme analizi sonucunda taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı ile binanın kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğriyi elde etmek için yanal kuvvetler, binanın tepe noktasının yer değiştirmesinin belirlenen bir yer değiştirme değerine ulaşmaya kadar, monolitik olarak arttırılır [2].

Binanın performans tahmini için bir yöntem de doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi, yapıların performans değerlendirmesi ve tasarımı açısından güvenli sonuçlar vermektedir. Binalarda oluşabilecek hasarın önceden tahmin edilmesi ihtiyacı, deprem riski taşıyan pek çok yerleşim bölgesindeki, mevcut binaların hasar görebilirliğinin belirlenmesini mühendislik çalışmalarında önemli bir araştırma konusu haline getirmiştir [3]. Deprem-hasar ilişkisi çeşitli deprem parametreleri için olasılık dağılımları şeklinde verilmektedir. Hasar olasılık matrisleri ve hasar görebilirlik eğrileri deprem düzeyi-hasar ilişkisini olasılıklı olarak göstermektedir [4].

Baker (2015) [5] tarafından açıklanan kırılmalılık eğrileri kullanılarak, yapıların olasılıklı olarak belirlenen deprem şiddet ölçeğine bağlı, yapıların hasar limitlerini aşma durumları incelenebilmektedir. Muhtemel depremlerde binalarda oluşabilecek çeşitli hasar seviyelerinin önceden tahmin edilmesinde hasar görebilirlik eğrileri yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Hasar görebilirlik eğrileri deprem düzeyini temsil eden belli bir parametre ile yapısal hasar ilişkisini matematiksel olarak ifade etmeye yöneliktir [7].

Kırılmalılık eğrileri, [8] Artımsal Dinamik Analiz (IDA) yöntemi kullanılarak elde edilebilmektedir. IDA yaygın olarak uygulanabilir bir yöntem ve yapısal performansı değerlendirmek için çok amaçlı bir araçtır. IDA, yapısal performans seviyesini bir dizi sismik yer hareketi altında değerlendirmek için iyi bilinen yaklaşımlardan biridir. Bu analiz yöntemi, birçok depremin belirli bir deprem şiddet parametresine göre ölçeklendirilip, yapının doğrusal olmayan davranışlarının tahmin edilmesini sağlamaktadır. IDA, ölçekli deprem yer hareketinin bir dizi doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizini gerçekleştirerek limit durum kapasitesini ve sismik talebi tahmin edebilir. Bu yöntemde bir grup yer hareketi, belirlenen deprem şiddet parametresine (PGA, $S_a(T)$, vb.) bağlı olarak, her bir deprem kaydı ölçeklendirilir [8] - [9]. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler şiddet parametresine bağlı olarak ölçeklendirilen deprem kayıtlarıyla gerçekleştirilir. Bu analizler sonucunda yapı, belirlenen hasar indekslerine göre değerlendirilir. Hasar indeksleri katlardaki kesme kuvveti, yapısal elemanlardaki dönme, katlar arası ötelenme gibi parametreler olabilir. Analizler sonucunda, deprem şiddet düzeyine

bağlı hasar düzeyini gösteren grafik elde edilir. Bu grafik yapıya ait artımsal dinamik analiz eğrisidir. Yapının olasılıklı hasar limit durumunu hesaplamada kullanılır.

Yapısal modelleme ve analizler farklı programlar (Sta4CAD, SAP2000, ETABS, OpenSees vb) ile gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasında analizleri gerçekleştirmek üzere OpenSees programı kullanıldı. OpenSees, Tcl komut dili ile kullanılan açık kaynaklı, sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir yapısal modelleme ve analiz programıdır. OpenSees'in gelişimi Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi tarafından desteklenmektedir. OpenSees, deprem mühendisliğinde yapısal sistemlerin modelleme ve hesaplama sonucunda, performansını tahmin etmek için kullanılan bir yazılımdır.

Yapının analizinde kullanılacak deprem sayısının artmasıyla, hasar görebilirlik eğrileri, yapıların deprem düzeyi-hasar limit düzeyi ilişkisi daha çok netleşmektedir. Birçok deprem analizinin aynı anda gerçekleştirilmesi, yazılım dilleri (C++, C#, Java, Python vb.) kullanılarak gerçekleştirilebilir. Açık kaynaklı bir yazılım dili olan Python genel amaçlı, çok yönlü ve popüler bir programlama dilidir. Bu tez çalışmasında Python yazılım dili ile yazılan kod ile IDA hesapları yapılmış olup hasar görebilirlik eğrileri çıkarılmıştır.

Bu çalışmada TCY-2016 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre 5 katlı moment aktaran çerçeveli çelik yapı OpenSees ile modellenmiştir. Sayısal analizler, Python açık kaynaklı yazılım dilinde oluşturulan çerçeve kod ile tamamlanıp, tekrarlı artımsal dinamik analizler geliştirilen Python kodu ile gerçekleştirilmiştir. TBDY2018'e göre tasarlanan yapının, artımsal dinamik analiz sonuçları kullanılarak, yapıya ait hasar görebilirlik eğrileri üç farklı hasar limit düzeyi olan Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Önlenmesi için elde edilmiştir.

1.1. Amaç

Yapıların belirli bir şiddetteki deprem etkisi altında performans durumlarının olasılıklı yöntemlerle değerlendirilmesi sismik tasarımının daha gerçekçi olmasını sağlamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında TBDY-2018 yönetmeliğine göre tasarlanmış çelik moment aktaran 5 katlı bir yapı OpenSees ile modellenmiştir. Bu çalışmanın amaçlarında biri, OpenSees ile oluşturulan modelin artımsal dinamik analizlerinin gerçekleştirebilecek bir Python kodunun yazılmasıdır. Bu çalışmadaki

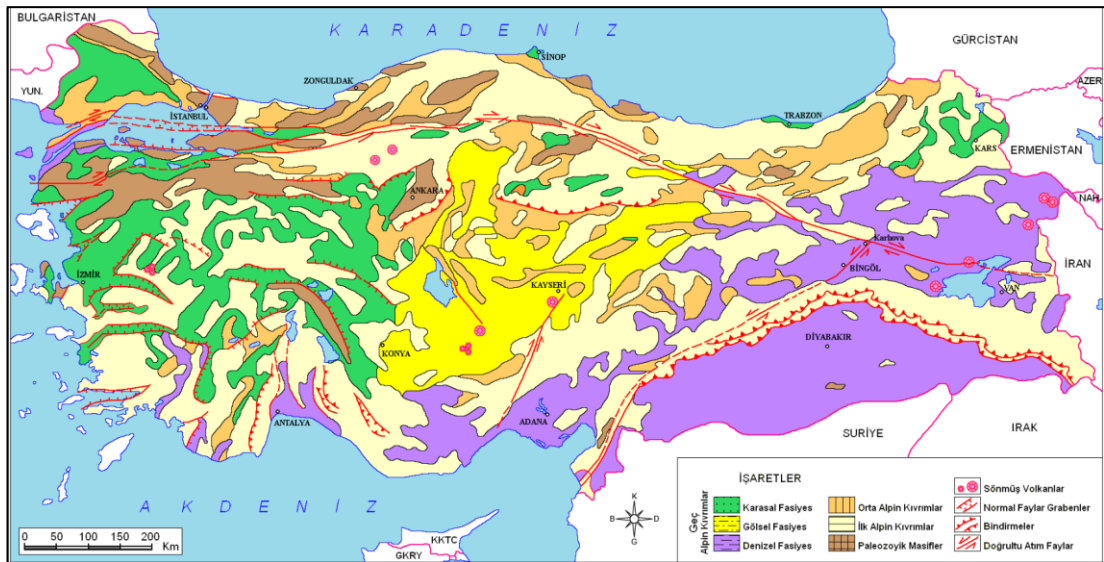
diğer bir amaç ise, yapının performansının olasılıklı olarak ifade edebilmek için, hasar limit durumlarına bağılı olarak kırılmalık eğrilerinin oluşturulmasıdır.

1.2. Kapsam

Bu tez çalışmasında, 5 katlı moment aktaran çelik çerçeve 1 Ocak 2019 yılında yürürlüğe giren TBDY-2018 yönetmelik koşulları kullanılarak modellendi. Bölüm 2, sismik tasarım kavramını, Türkiye’de kullanılan sismik tasarım yönetmeliklerini, TBDY-2018 yönetmeliğini ve TÇY2016 yönetmeliğini detaylı olarak açıklamaktadır. Bölüm 3 yapı analiz yöntemlerini, artımsal dinamik analiz yöntemini ve kırılmalık fonksiyonlarını detaylı olarak açıklamaktadır. Bölüm 4, bu tez çalışmasında yapılan sayısal örneği açıklamaktadır. 5 katlı çelik moment aktaran yapının TBDY-2018 yönetmeliğine göre tasarlanması, bu yapının OpenSees ile modellenmesi, Python yazılım dili ile yazılan artımsal dinamik analiz kodu kullanılarak elde edilen, artımsal dinamik analiz sonuçları, hasar limit durumlarına bağılı olarak kırılmalık eğrilerinin elde edilmesi Bölüm 4’te detaylı olarak açıklanmıştır. Bölüm 5’te ise bu çalışmanın sonuçları anlatılmaktadır.

2. SİSMİK TASARIM

Depremler tüm dünyada insanlar, çevre ve doğa için büyük tehlike oluşturmaktadır. Can ve mal kaybını önlemek için yapıların, depreme karşı dayanıklı olarak tasarlanması gerekmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı göz önünde bulundurulması gereken faktörler; deprem ve özellikleri, yerel zemin ve geoteknik koşullar, yapısal malzemeler ve kaliteleri, mimari tasarım ve taşıyıcı sistemdir. Sismik tasarımın yapılarda nasıl uygulanacağı uzmanlar tarafından hazırlanan deprem yönetmeliklerinde detaylı olarak tanımlanmıştır. Bu yönetmelikler bir yapının deprem etkisinden en az hasarla, can ve mal kaybı olmayacak şekilde davranmasını öngörmektedir. Şekil 2.1’de Türkiye tektonik haritasını göstermektedir [10].



Şekil 2. 1: Türkiye tektonik haritası.

Türkiye deprem ülkeleri arasında yer almaktadır. Ülkemizdeki birinci derecede deprem alanları, aynı zamanda faylara paralel olarak üç kuşak hâlinde uzanmaktadır.

Kuzey Anadolu fay kuşağı: ülkemizdeki en uzun fay hattını oluşturmaktadır. Yaklaşık 1400 km uzunluğunda olan bu hat, batıda Saroz Körfezi'nden başlar; Marmara Denizi, Adapazarı, Düzce, Bolu, Çankırı, Erzincan ve Erzurum üzerinden doğuya uzanır. Ülkemizde görülen yıkıcı depremlerin yarısından fazlası bu kuşakta gerçekleşmiştir. Kuzey Anadolu fay hattı, yeryüzünde en çok deprem üreten yanal atımlı faylardan biridir.

Doğu Anadolu fay kuşağı: Afrika kıtasının doğusunda başlayan bu fay hattı ülkemizde Hatay-Kahramanmaraş oluşu üzerinden Doğu Anadolu'ya uzanan fay hattıdır. Doğu Anadolu fay kuşağını oluşturan bu deprem bölgesi, Malatya ve Elâzığ'dan geçerek Bingöl'e yakın bir yerde Kuzey Anadolu fayı ile kesişmektedir.

Batı Anadolu fay alanı: Ülkemizdeki fay kuşaklarından biri de Batı Anadolu fay alanıdır. Ege'nin kıyı kesimi ile Göller Yöresini kapsayan bu bölgedeki fay hatları çoğunlukla doğu-batı doğrultusunda uzanan graben alanlarının sınırlarını izlemektedir. Batı Anadolu fay kuşağı da ülkemizdeki önemli deprem alanlarından.

Türkiye'de sismik tasarım amaçlı yönetmelik ilk olarak 1940 yılında yayınlanmıştır. 2018 yılında yayınlanan 'Türkiye Deprem ve Bina Yönetmeliği' en güncel olan yönetmeliktir. 1940 yılından 2018 yılına kadar bu yönetmelikler yaşanan depremlere ve artan bilgi birikimiyle göre değişiklik gösterip güncellenmiştir. 1999 Gölçük depreminde yaşanan kayıplar, depreme dayanıklı yapı tasarımında çalışmaları arttırmış, deprem yönetmeliğinde güncellenmeye gidilmesini gerektirmiştir. Sismik tasarımda en önemli bir gelişim olarak görülen DBYBHY 2007 ile getirilen yapının performans hedefinin tanımlanmasıdır.

Ülkemizde yürürlüğe girmiş yönetmelikler sırasıyla [11] ;

- 1940 yılında 'Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata ait İtalyan Yapı Talimatnamesi',
- 1944 yılında 'zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi',
- 1949 yılında 'Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği',
- 1953 yılında 'Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik',
- 1962 yılında 'Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik',
- 1968 yılında 'Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik',
- 1975 yılında 'Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik',
- 1998 yılında 'Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik',
- 2007 yılında 'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'
- 2018 yılında 'Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'dir.'

1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY-2018 [12] kapsamından biri, yeni yapılacak binaların deprem etkisi altında tasarımı ile mevcut binaların

değerlendirilmesi ve güçlendirme tasarımıdır. Dayanıma göre tasarıma ek olarak, performansa dayalı tasarım, şekil değiştirmeye göre tasarım olarak eklenmiştir. Depremden önce yapıların maruz kalabilecekleri depreme karşı olasılıklı da olsa performans hedefinin belirlenmesi önemli bir adım olmaktadır. 1940-2018 yılları arasında değişen Türkiye deprem tasarım yönetmelikleri ve onların genel içerik ve değişimleri sırasıyla aşağıda ifade edilmiştir [13].

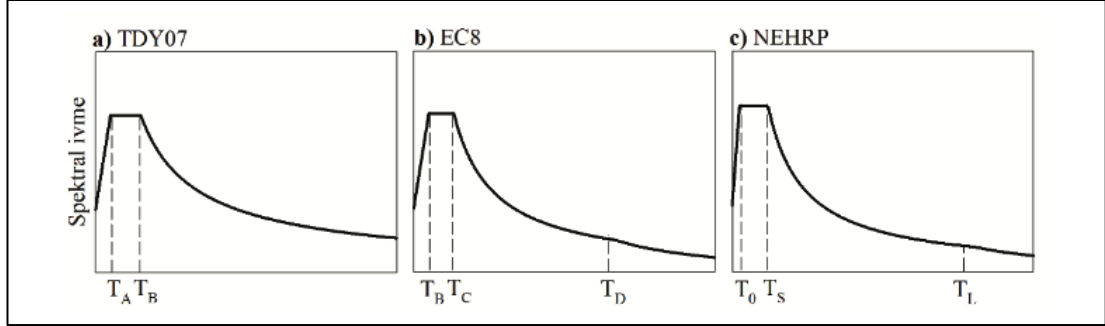
- 1940 Sismik Düzenleme: Sismik tasarım için ilk prosedür getirilmiş ve taban kesme katsayısı 0.10 olarak dikkate alınmıştır.
- 1944 Sismik Düzenleme: Sismik bölge tanımı yer almıştır ve taban kesme kuvveti katsayısı 0.4-0.10 arasında alınmıştır.
- 1961 Sismik Düzenleme: Yapının tipine ve zemin tipine dayalı olarak yapı-zemin etkileşimi dolaylı olarak dikkate alınmıştır.
- 1968 Sismik Düzenleme: Süneklik kavramı kolon ve kirişlerin etriyelerle sarılmasıyla içeriğe dahil edilmiştir. Sismik tasarımda kolon, kiriş ve perde duvarlar için minimum boyutlar tanımlandı. Bina önem katsayısı ifade edildi. Yanal kuvvetlerin ters üçgen dağılımı olarak yapı üzerinde dağıldığı ifade edilmiştir.
- 1975 Deprem Yönetmeliği: Süneklik eleman ve yapısal olarak detaylı bir şekilde belirtilmiş. Süneklik kavramı, tasarım ve analiz aşamasında göz önünde bulundurulmuştur. 1972'de yayınlanan sismik bölge haritası dikkate alınmıştır. Yapısal sistemin konfigürasyonuna bağlı olarak düzenli ve düzensiz yapı ayırımı tanımlandı. Düzensiz ve yüksek katlı yapılar için dinamik analiz gereksinimi dahil edildi.
- 1998 Deprem Yönetmeliği: Kapasite tasarım ilkeleri getirildi. Tasarım depreminin meydana gelme olasılığı dâhil edildi. Tasarım depremine karşı kabul edilebilir yapısal performansın tanımlandı. Elastik tasarım spektrumu tanımı yapıldı. Sismik yük azaltma faktörü, süneklik fonksiyonu olarak ortaya konulmuştur. Yapı önem faktörünün daha ayrıntılı tanımı dahil edilmiştir. Düzensizliklerin sınıflandırılması anlatılmıştır.
- 2007 Deprem Yönetmeliği: Sismik güvenlik değerlendirmesi ve güçlendirme hakkında yeni ve kapsamlı bölüm eklenmiştir. Bu bölüm, elastik olmayan ve elastik olmayan performansa dayalı analiz yaklaşımlarını içermektedir. Çeşitli

bina türleri için farklı tasarım depremleri ve performans seviyeleri tanımlanmıştır. Geleneksel ya da ileri malzemeler kullanılarak güçlendirme tekniklerinin prensipleri ve detayları dahil edilmiştir.

- 2018 Deprem Yönetmeliği: 2007 yönetmeliğinde tanımlanan deprem bölgesi tanımı yerine 2018 deprem tehlike haritasında her nokta deprem bölgesi olarak tanımlanmıştır. Tasarım spektrumu, deprem seviyesi ve zemin sınıfına bağlı olarak, yapının bulunduğu yerin yerel koordinat değerlerine bakıp elde edilmektedir. Kısa periyot spektral ivme katsayısı (S_s) ve uzun periyot (1.0 sn.) harita spektral ivme katsayısı (S_1)'in kullanılmaktadır. Aynı ilçede bulunan yapılar için tek tip spektrum yerine kendi koordinatlarına ait zemin parametrelerine bağlı olarak tasarım spektrumları elde edilmektedir. 2018 yönetmeliğinde kullanılan spektral ivme katsayılarında, koordinatlar, zemin sınıfları ve koordinatların faya yakınlığı bu katsayıların aldığı değerler tasarım spektrumuna etki etmektedir. 2007 TBDY'de tanımlanan 4 zemin sınıfı yerine 6 zemin sınıfına yer verilmiştir. Yapı tasarımı için dayanıma göre tasarım ve şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemlerini gerekli kılmaktadır. Bu durum yapının sismik performansının tasarım aşamasında hesaplanmasını gerekli kılmaktadır. Dört farklı deprem yer hareket düzeyi belirlenmiştir. Bu deprem yer hareket düzeyleri içerisinde DD-2 olarak tanımlanan yer hareket düzeyinin 2007 yönetmeliğinde kullanılan standart deprem yer hareket düzeyine karşı gelmektedir.

Doğrusal hesap yöntemi, tanımlanan tasarım spektrumu kullanmayı gerektirir. Tasarım spektrumları, yapıların doğal titreşim periyoduna göre deprem etkisi altında maruz kalacakları yatay veya düşey yükleri belirlemek için kullanılır. Spektrum eğrisi (tepki spektrumu), kuvvetli yer hareketi veri tabanındaki ivme kayıtları kullanılarak farklı doğal titreşim periyoduna sahip tek serbestlik dereceli sistemlerin, belirli bir sönüm oranı dikkate alınarak yer hareketi etkisi altında yapacakları en büyük davranış değerleri hesaplanarak elde edilir [14]. Tasarım spektrumları ise bölgenin sismik özelliklerini ve zemin koşullarını dikkate alarak oluşabilecek maksimum deprem etkilerini göz önüne alabilmek için farklı yer hareketi ivme kayıtlarından hesaplanan tepki spektrumlarına düzgünleştirilmiş bir zarf eğrisi uydurulmasıyla elde edilmektedir [14].

Türk Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) [12] Eurocode-8 Avrupa Standardı (EC8) [15] ve NEHRP [16] Amerikan Şartnamesi kapsamında yer alan tasarım spektrumlarının genel görünüşü Şekil 2.2 'de verilmektedir [14].



Şekil 2. 2: Farklı yönetmeliklere ait spektrumların karşılaştırılması.

Bu şekillerde, EC8 spektrumunda TB ve TC ve NEHRP spektrumunda T0 ve TS tasarım spektrumu köşe periyotlarını gösterirken TD ve TL sabit yer değiştirme (veya uzun periyoda geçiş) bölgesinin (veya platosunun) başlangıç periyodunu temsil etmektedir. TBDY2018'de spektrum köşe periyotları sadece TA ve TB değerleri ile temsil edilir. TA ve TB değerleri deprem tehlike haritasından yapının haritadaki koordinatlarına ait zemin koşullarına deprem düzeyine bağlı olarak elde edilen kısa periyot ve uzun periyot ivme katsayılarıyla hesaplanmaktadır. Tasarım spektrumları kullanılarak belirlenen deprem düzeyinin yapıya etki ettiğinde yapıda oluşabilecek iç kuvvetler ve yer değiştirmeler hesaplanmaktadır.

Sismik tasarım aşamasının adımlarında biri olan performansa dayalı tasarım, yeni yapıların tasarımı ya da mevcut yapıların değerlendirilmesi amacı ile sismik hasarın daha gerçekçi olarak tanımlanmasıdır. Maksimum ötelenme, maksimum görelî kat ötelenmesi, süneklik talebi gibi parametreler yapıların performans hedeflerinin tanımlanmasında kullanılmaya başlanmıştır. TBDY-2018 yönetmeliğiyle birlikte sismik tasarım şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemiyle yapıların tasarım aşamasında performans hedeflerinin belirlenmesini ve o hedefe göre tasarlanmasını gerektirmektedir. Yapı performansı seçilen bir yer hareketi seviyesine göre birçok gelişmiş yöntemle belirlenebilir. Bunlar lineer statik, lineer olmayan (non-lineer) statik, lineer dinamik, lineer olmayan (non-lineer) dinamik analiz yöntemleri olarak sıralanabilir.

TBDY-2018 sismik tasarımda

- Doğrusal Hesap Yönteminin Uygulama Kapsamı
- Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri ve Uygulama Kapsamı
- Sabit Tek Modlu İtme Analizi ile Performans Analiz hesap yöntemlerini önermektedir.

Performans seviyeleri hasar durumları ile tanımlanır. Sismik tasarımda ele alınan performans hedefleri arasında hemen kullanım, can güvenliğinin sağlanması ve depremde sonra ekonomik kayıpların azaltılması temel ölçütlerdir. Tanımlanan bu ölçütler çerçevesinde yapının en ekonomik şekilde tasarımı performansa dayalı tasarımın diğer bir boyutudur. Performansa dayalı sismik tasarım yapının küçük depremlerde hiç hasar almadan, orta şiddetteki depremlerde onarılabilecek hasarlarda, şiddetli depremlerde de büyük hasarlar olmasına rağmen yıkılmasını önlemeyi hedeflemektedir.

Buna karşılık olabilecek deprem hareketleri ise:

- Çok sıklıkla görülen, 50 yıl içinde %68 olasılıkla görülen depremler (servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.)
- Hafif ancak sıklıkla görülen, 50 yıl içinde %50 olasılıkla görülen depremler
- Orta şiddette nadir görülen, 50 yıl içinde %10 olasılıkla görülecek deprem
- Şiddetli ancak çok nadir, 50 yıl içinde %2 olasılıkla görülecek deprem olarak gruplanabilir.

Sismik tasarımda önerilen hesap yöntemlerinden biri de doğrusal olmayan analiz yöntemleridir. Statik itme analizi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri malzemelerin, yapının doğrusal olmayan davranışını göz önünde bulundurularak sismik tasarımı tamamlamaktadır. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri sonucunda yapısal olarak ve eleman düzeyinde yapının performans hedefi belirlenmektedir. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, yapının doğrusal olmayan davranışını tespit edebilmek amacıyla yapısal elemanlarda plastik mafsalları tanımlayı kullanmayı gerektirmektedir. Plastik mafsalları tanımlama gereği olarak, yük taşıma kapasitesine erişen kesitler daha fazla yük almadan şekil değiştirmelerine devam

ederler. Deprem etkisinde yapıda olan plastik yer değiştirmeler hesaplanarak yapıya ait performans durumu belirlenmektedir. Mevcut binalarda, plastik şekil değiştirmelerin belirlenmesiyle yapıda güçlendirme ihtiyacına karar verilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı 2018 TBDY yönetmeliğiyle yeni tasarım yöntemlerini, tasarım parametrelerini gündeme getirmiştir. şekil değiştirmeye göre tasarımı gerekli kılarak, yapıların özellikle sismik olarak güvende tasarlanabilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada kullanılan yapı TBDY-2018 yönetmeliğine göre tasarlanmıştır. TBDY-2018 yönetmeliği tasarım aşamaları bu bölüm kapsamında detaylı olarak açıklanacaktır.

2.1. TBDY 2018'e Göre Tasarım

2016 yılında ilk taslağı çıkan ve 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 [12] (TBDY 2018) 17 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler yönetmelikte yer alan sıraya göre aşağıda belirtilmiştir:

- Genel Hükümler
- Deprem Yer Hareketi
- Binaların Değerlendirilmesi ve Tasarımı İçin Genel Esaslar
- Binaların Dayanıma Göre Tasarımı İçin Hesap Esasları
- Binaların şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarımı İçin Hesap Esasları
- Yapısal Olmayan Bina Elemanlarının Tasarım Esasları
- Yerinde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Ön üretimli Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar
- Çelik Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Hafif Çelik Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Yığma Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Ahşap Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar

- Mevcut Bina Sistemlerinin Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Temel Zemini ve Temellerin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Düzenli Yerinde Dökme Betonarme Binalar İçin Basitleştirilmiş Tasarım Kuralları

2.1.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında İzlenecek Hesap Adımları

Bu çalışmadaki moment aktaran çelik çerçeveli sistem TBDY-2018 [12] yönetmeliğine göre tasarlandı. Tasarlanma aşamasında göz önüne alınan TBDY-2018 kısımları bu bölümde ele alınmıştır.

2.1.1.1. Deprem yer hareketi düzeyinin seçimi

Binaların deprem etkisi altında tasarımında esas alınacak deprem yer hareketlerine ilişkin veriler TBDY-2018 Bölüm 2.2’de tanımlanmıştır. Bu bölümde yer alan deprem yer hareketi düzeyleri aşağıda verildiği gibidir. Deprem yer hareketi düzeyi belirlenir.

2.1.1.1.1. Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD1)

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

2.1.1.1.2. Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

2.1.1.1.3. Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

2.1.1.1.4. Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

2.1.1.2. Yerel zemin sınıfının belirlenmesi

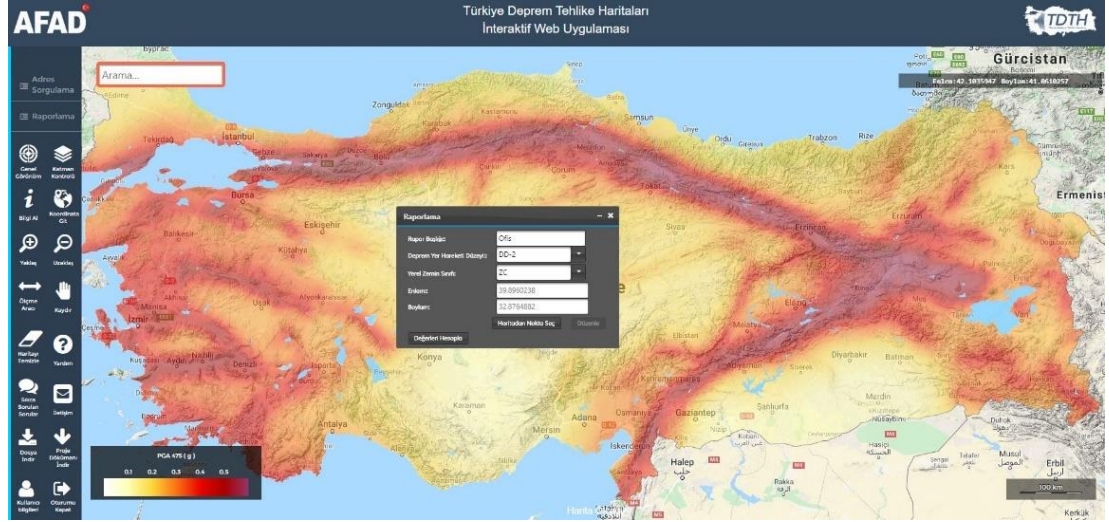
TBDY-2018 Bölüm 16.4'e göre yerel zemin sınıfları belirlenir. Şekil 2. 3 yerel zemin sınıflarını açıklamalarıyla göstermektedir [12].

Tablo 16.1 – Yerel Zemin Sınıfları				
Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killeri, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killeri, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killeri, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killeri.			

Şekil 2. 3: Yerel zemin sınıfları

2.1.1.3. Spektral ivme katsayılarının belirlenmesi (S_s ve S_1)

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH) üzerinde yapının konumuna ait koordinatlar, deprem yer hareketi düzeyi ve yerel zemin sınıfı değerleri girilip, yapıya ait S_s ve S_1 spektral ivme değerleri okunur. Şekil 2.4 'te gösterilen bu haritalara www.turkiye.gov.tr üzerinden ulaşılır [12].



Şekil 2. 4: Türkiye deprem haritası

2.1.1.4. Tasarımda kullanılacak spektral ivme kayıtları S_{DS} ve S_{D1} 'in belirlenmesi

Önceki başlıkta belirlenen S_s ve S_1 spektral ivme değerleri TBDY-2018 denklem 2.1'e göre S_{DS} ve S_{D1} tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülür. Şekil 2.5 spektral ivme katsayılarının hesaplama yöntemini göstermektedir.

2.3.2.2 – 2.3.2.1'de tanımlanan *harita spektral ivme katsayıları* S_s ve S_1 , aşağıdaki şekilde *tasarım spektral ivme katsayıları* S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürülür:

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_s F_s \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Burada F_s ve F_1 2.3.3'te tanımlanan *yerel zemin etki katsayıları*'nı göstermektedir.

Şekil 2. 5: Spektral ivme katsayıları

Formüldeki F_s ve F_1 değerleri, yerel zemin sınıfı, S_s ve S_1 'e göre TBDY-2018 Tablo 2.1 ve 2.2'deki gibi belirlenir. Şekil 2.6 ile kısa periyot bölgesi için ve 1.0 ssaniyelik bölge için yerel zemin etki katsayılarının olduğu tablo verilmiştir [12].

Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Şekil 2. 6: F_s ve F_1 değerleri

2.1.1.5. Yatay ve düşey elastik tasarım spektrumlarının tanımlanması

TBDY 2018’de[12] tanımlanan yatay elastik spektrum hesap yöntemi Şekil 2.7 ile açıklanmıştır.

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

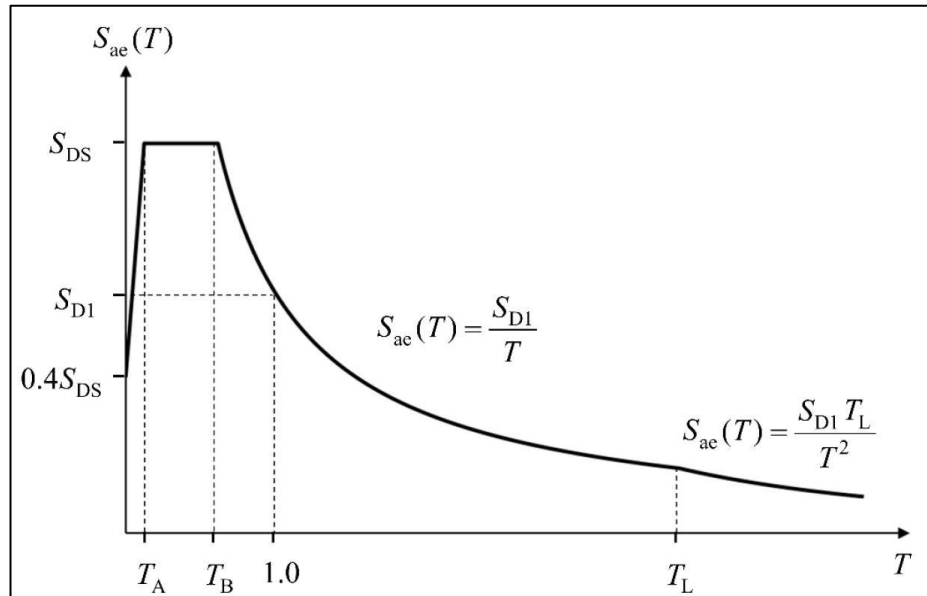
Burada S_{DS} ve S_{D1} 2.3.2.2’de tanımlanan *tasarım spektral ivme katsayıları*’nı, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu *köşe periyotları* T_A ve T_B **Denk.(2.3)** ile S_{DS} ve S_{D1} ’e bağlı olarak tanımlanır:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{2.3}$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s alınacaktır.

Şekil 2. 7: Yatay elastik spektrumların tanımlanması

Şekil 2.7 ’de gösterilen TBDY-2018 denklem 2.2 ve 2.3’e göre Şekil 2. 8gösterilen yatay elastik tasarım spektrumu çıkarılır.



Şekil 2. 8: Yatay elastik tasarım spektrumu

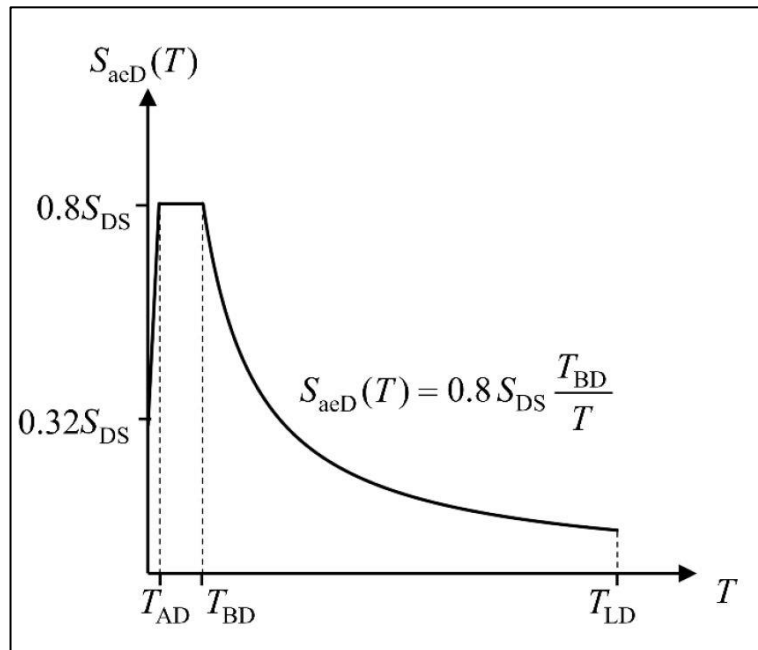
Düşey elastik tasarım spektrumu ise Şekil 2. 9'da gösterilen denklem 2.5 ve 2.6'ya göre Şekil 2. 10'da gösterilen düşey elastik tasarım spektrumu çıkarılır [12].

$$\begin{aligned}
 S_{aeD}(T) &= \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_{AD}) \\
 S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} & (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \\
 S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} & (T_{BD} \leq T \leq T_{LD})
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Denk.(2.5)'te yer alan T_{AD} ve T_{BD} düşey spektrum *köşe periyotları* ile T_{LD} periyodu **Denk.(2.6)**'da verilmiştir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \tag{2.6}$$

Şekil 2. 9: Düşey elastik spektrumun tanımlanması



Şekil 2. 10: Düşey elastik tasarım spektrumu

2.1.1.6.Bina kullanım sınıfı (BKS) ve bina önem sınıfının (I) belirlenmesi

TBDY-2018 Bölüm 3.1'e göre deprem tasarım sınıflarının belirlenmesinde kullanılmak üzere Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve binaların kullanım amaçlarına bağlı olarak Bina Önem Sınıfı (I) katsayıları belirlenir. Bu katsayılar Şekil 2. 11 ile gösterilen TBDY-2018 Tablo 3.1'de verilmiştir [12].

Tablo 3.1 – Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları		
Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Şekil 2. 11: TBDY 2018 Tablo 3.1

2.1.1.7. Deprem tasarım sınıflarının belirlenmesi (DTS)

DD-2 Deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} ve bina kullanım sınıfına bağlı olarak Şekil 2. 12’de gösterilen TBDY-2018 Tablo 3.2’ye göre belirlenir [12].

Tablo 3.2 – Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)		
DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Şekil 2. 12: TBDY 2018 Tablo 3.2

2.1.1.8. Bina yükseklik sınıfının belirlenmesi (BYS)

TBDY-2018 Bölüm 3.3.2’de Bina yüksekliği (H_N) ve DTS’ye göre Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) TBDY-2018 Tablo 3.3’te gösterilmiştir. Bu tablo Şekil 2.13 ile gösterilmiştir [12].

Tablo 3.3 – Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları			
Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Şekil 2. 13: TBDY 2018 Tablo 3.3

TBDY-2018 Bölüm 13' göre $BYS=1$ olan binalar yüksek binalar olarak sınıflandırılacaktır.

2.1.1.9. Performans hedeflerinin ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

Deprem tasarım sınıflarına göre (DTS) ve deprem yer hareketlerine göre Şekil 2.14'te gösterilen TBDY-2018 Tablo 3.4'te mevcut veya yeni yapılacak yapılara ait performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları belirlenir [12].

Tablo 3.4. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları				
(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Öntüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$)				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	—	—	KH	ŞGDT
(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ($BYS = 1$)				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT
(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Öntüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar dışında – $BYS \geq 2$)				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

Şekil 2. 14: TBDY 2018 Tablo 3.4

2.1.1.10. Dayanıma göre tasarım (DGT) (Doğrusal Hesap)

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımında:

- Öngörülen belirli bir performans hedefi için tanımlanan taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine karşı gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir.
- Azaltılmış deprem yükleri altında taşıyıcı sistemin doğrusal deprem hesabı yapılır. Bu hesaptan bulunan eleman azaltılmış iç kuvvetleri, diğer yüklerden oluşan iç kuvvetlerle birleştirilerek dayanım talepleri elde edilir.
- Eleman dayanım talepleri, öngörülen performans hedefi için tanımlanmış bulunan eleman iç kuvvet kapasiteleri (dayanım kapasiteleri) ile karşılaştırılır.
- Deprem hesabından elde edilen göreceli kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır [12].

2.1.1.11. Şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞGTD) (Doğrusal Olmayan Hesap)

Şekil değiştirmeye Göre Tasarım/Değerlendirme (ŞGTD) yaklaşımında:

- Öngörülen performans hedefleri ile uyumlu deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistemin hesabı yapılır
- Sünek davranışa ilişkin şekil değiştirme talepleri ve gevrek davranışa ilişkin dayanım talepleri elde edilir.
- Elde edilen şekil değiştirme ve iç kuvvet öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak tanımlanan şekil değiştirme ve dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır [17].

2.1.1.12. Çelik yapı tasarımı bölümü (Bölüm 9)

TBDY-2018 9.Bölümünde depreme dayanıklı çelik bina tasarımı için özel kurallardan bahsedilmiştir. Bu kurallar başlıklarıyla incelenecektir.

2.1.1.12.1. Çelik taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması

Bu bölümde yatay yük taşıyıcı sistemler, Süneklik Düzeyi Yüksek, Süneklik Düzeyi Sınırlı ve Süneklik düzeyi karma olmak üzere 3 bölüme ayrılmıştır.

- Süneklik düzeyi yüksek sistemler, yönetmelikte sisteme ait belirtilen koşulları sağlayan moment aktaran çelik çerçeveler, merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler, burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveler, moment aktaran çelik çerçeveler ile çaprazlı çelik çerçevelerin birleşiminde oluşan sistemlerden oluşmaktadır.
- Süneklik düzeyi sınırlı sistemler, yönetmelikte sisteme ait belirtilen koşulları sağlayan moment aktaran çelik çerçeveler, merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ve bu ikisinden birleşiminden oluşan sistemleri içermektedir.
- Süneklik düzeyi karma sistemler, süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin süneklik düzeyi yüksek çelik çaprazlı çerçeveler veya betonarme perdelerle birlikte kullanılması ile oluşturulan sistemler süneklik düzeyi karma sistemler olarak tanımlanmıştır [9].

2.1.1.12.2. Dayanıma göre tasarımda güvenlik katsayılarıyla tasarım (GKT) ve yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT) yöntemlerinin kullanılması

Düşey yükler ile deprem yüklerinin ortak etkileri altında yapılacak kesit hesapları ve birleşimlerin tasarımı için uygulama kuralları, YDKT ve GKT yöntemleri için yönetmelikte ayrı ayrı belirtilmiştir.

2.1.1.12.3. Malzeme koşulları

“Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik” (TÇY 2016)’te tanımlanan tüm yapısal çelik malzemeleri TBDY-2018 yönetmeliği kapsamında kullanılabilir. Ancak bu malzemeler belirli koşulları sağlamalıdır. Bu koşullar;

- Doğrusal olmayan davranışta elemanların karakteristik akma gerilmelerinin 355 Mpa değerini aşmaması gerekmektedir.

- Deprem yükleri etkisindeki birleşimler ve eklerdeki (8.8) veya (10.9) kalitesindeki bulonlar tam önçekme verilerek kullanılacaktır. Kesme kuvveti etkisi altındaki birleşimlerde dış açılmamış gövde en kesiti kayma düzleminde olacaktır.
- Kaynaklı birleşimlerde kaynak yöntemine ve çelik malzemeye göre seçilen kaynak metalinin akma gerilmesi, birleştiği elemanların akma gerilmesinde daha düşük olmayacaktır. Deprem yükleri etkisindeki tüm kaynaklarda TBDY-2018 Tablo 9.1’de, Şekil 2.15’te verilen değerler kullanılacaktır [12].
- Bulonlar ve kaynaklar, birleşimde aktarılan kuvveti veya bu kuvvetin bir bileşenini paylaşacak şekilde bir arada kullanılamazlar [12].

Tablo 9.1 – Deprem Yükleri Etkisindeki Elemanların Birleşim ve Eklerinde Kullanılacak Kaynak Metali Özellikleri		
Kaynak Metali Sınıfı	E 480	E 550
Karakteristik Akma gerilmesi, N/mm ²	400	470
Min. Çekme dayanımı, (F_E) N/mm ²	480	550
Min. Uzama, %	22	19
Çentik Tokluğu (CVN)	-18°C de min. 27J	

Şekil 2. 15: Kaynak metali özellikleri

2.1.1.12.4. Olası malzeme dayanımı

TBDY-2018 9. Bölümde ilgili maddelerde gerekli görülen yerlerde, çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerinin tasarımında olası malzeme dayanımları kullanılacaktır. F_y karakteristik akma dayanımı yerinde $R_y F_y$, F_u karakteristik çekme dayanımı yerine $R_t F_u$ değeri kullanılacaktır. Çelik malzeme sınıfına ve eleman türüne bağlı olarak bu değerler TBDY-2018 Tablo 9.2’de Şekil 2. 16’da gösterildiği gibi verilmiştir [12].

Tablo 9.2 – R_y ve R_t Katsayıları		
Yapı Çeliği Sınıfı ve Eleman Türü	R_y	R_t
S 235 çeliğinden imal edilen hadde profilleri ve levhalar	1.4	1.1
S 275 çeliğinden imal edilen hadde profilleri ve levhalar	1.3	1.1
S 355 çeliğinden imal edilen hadde profilleri ve levhalar	1.25	1.1
S 460 çeliğinden imal edilen hadde profilleri	1.1	1.1
Boru ve Kutu profiller	1.4	1.3
Donatı çeliği	1.2	1.2

Şekil 2. 16: R_y ve R_t katsayıları

2.1.1.12.5. Yük birleşimleri

Çelik yapı elemanları TÇY 2016’da bölüm 5.3’te verilen yük birleşimlerine göre boyutlandırılacaktır. Deprem etkisini içeren yük birleşimleri için YDKT yöntemi kullanıldığında TBDY-2018 madde 4.4.4.2(a) esas alınacaktır. GKT kullanıldığında ise TBDY-2018 denklem 9.1’de verilen Şekil 2.17’de gösterilen yük birleşimleri kullanılacaktır [12].

$G + 0.75Q + 0.75S \pm 0.75(0.7E_d)$	(9.1a)
$G \pm 0.7E_d$	(9.1b)
$0.6G + 0.75H \pm 0.7E_d$	(9.1c)

Şekil 2. 17: GKT yük birleşimleri

2.1.1.12.6. Deprem etkilerinin büyütülmesi (Dayanım fazlalığı katsayısı)

TBDY-2018 9. Bölümün ilgili maddelerinde açıklanan yerlerde, çelik yapı elemanları ile birleşimlerinin gerekli dayanımlarında deprem etkilerinin dayanım fazlalığı katsayısıyla (D) ile çarpılarak büyütülmesiyle elde edilen iç kuvvetler, önceki bölümde tanımlanan yük birleşimlerinde kullanılmasıyla elde edilecektir. Ancak bu iç kuvvetler, kapasite tasarımı ilkesinin gereği olarak, pekleşme ve malzeme dayanım artışı etkileri de göz önüne alınarak tanımlanan akma (mekanizma) durumu ile uyumlu

i kuvvetlerden daha büyük alınmayacaktır [12]. Dayanım fazlalığı katsayıları taşıcı sistem türüne ve sünekliğine bağlı olarak TBDY-2018 Tablo 4.1’de, Şekil 2.18’de verilmiştir [12].

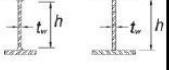
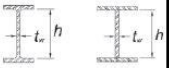
Tablo 4.1 (devamı)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
B. ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
B1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
B11. Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçevelerle karşılandığı binalar			
MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar:	7	2.5	$BYS \geq 4$
MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	5	2.5	$BYS \geq 6$
B12. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)			
MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar:	7	2.5	$BYS \geq 2$
MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	5	2.5	$BYS \geq 6$
B13. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)			
MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar:	6	2.5	$BYS \geq 2$
MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	5	2.5	$BYS \geq 6$
B14. Düşey yüklerin bağlantıları mafsallı önüretimli ve iki doğrultulu çerçeveler ile, deprem etkilerinin tamamının ise <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 7$
B15. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	—
B2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
B21. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme bağ kirişli (boşluklu) veya boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar			
MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar:	5	2.5	$BYS \geq 5$
MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	4	2.5	$BYS \geq 6$
B3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.7)			
B31. Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	$BYS = 8$
B32. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçeveler ile, yerinde dökme <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	3	2	$BYS \geq 7$
B33. Deprem yüklerinin tamamının önüretimli betonarme düşey çift cidarlı paneller tarafından karşılandığı <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> binalar	4	2	$BYS \geq 6$
B34. Deprem yüklerinin tamamının önüretimli betonarme düşey tek cidarlı paneller tarafından karşılandığı <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> binalar	3	2	$BYS \geq 7$

Şekil 2. 18: Dayanım fazlalığı katsayısı

2.1.1.12.7. En kesit koşulları

Süneklik düzeyi yüksek ve sınırlı olarak tasarlanacak sistemlerde elemanların en kesitlerinin başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/et kalınlığı oranları TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen, Şekil 2.19'da gösterilen değerleri aşmamalıdır [12].

Tablo 9.3 – Enkesit Koşulları					
	Eleman Tanımı	Narinlik Oranı	Sınır değerler		Açıklama
			Süneklik Düzeyi Yüksek Elemanlar, λ_{hd}	Süneklik Düzeyi Sınırlı Elemanlar, λ_{md}	
Rijitleştirilmiş Elemanlar	Dikdörtgen kutu kesitler	b/t			
	Yapma dikdörtgen kutu kesitler ve I kesitinden kutu şeklinde teşkil edilmiş kesitlerin başlıkları	b/t	$0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}^{[a]}$	
	I kesitinden kutu şeklinde teşkil edilmiş kesitlerin yan levhaları ve çapraz eleman olarak kullanılacak yapma kutu kesitler	h/t			
	Çapraz eleman olarak kullanılacak I veya yapma I kesitlerin gövdeleri	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Kiriş veya kolon olarak kullanılacak I veya yapma I kesitlerin gövdeleri ^[b]	h/t_w	$C_a \leq 0.125$ ise $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93 C_a)$	$C_a \leq 0.125$ ise $3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2.75 C_a)$	
	Kiriş veya kolon olarak kullanılacak I profilinden kutu şeklinde teşkil edilen enkesitlerin yan levhaları	h/t	$C_a > 0.125$ ise $0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$C_a > 0.125$ ise $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.33 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Kiriş veya kolon olarak kullanılacak yapma kutu enkesitlerin gövdeleri	h/t	$C_a = \frac{\Omega_c P_a}{F_y A}$, $\Omega_c = 1.67$ (GKT) $C_a = \frac{P_u}{\phi_c (F_y A)}$, $\phi_c = 0.90$ (YDKT)		
	Boru enkesitli elemanlar	D/t	$0.038 \frac{E}{F_y}$	$0.044 \frac{E}{F_y}^{[c]}$	

Şekil 2. 19: TBDY 2018 Tablo 9.3

2.1.1.12.8. Kirişlerde stabilite bağlantıları

Süneklik düzeyi yüksek veya sınırlı olarak tasarlanan çelik çerçevelerin kirişlerinin alt ve üst başlıkları Şekil 2.20 'de verilen, TBDY-2018 denklem 9.2 ve 9.3'teki koşulları sağlayacak şekilde yanal burkulmaya karşı desteklenecektir [12].

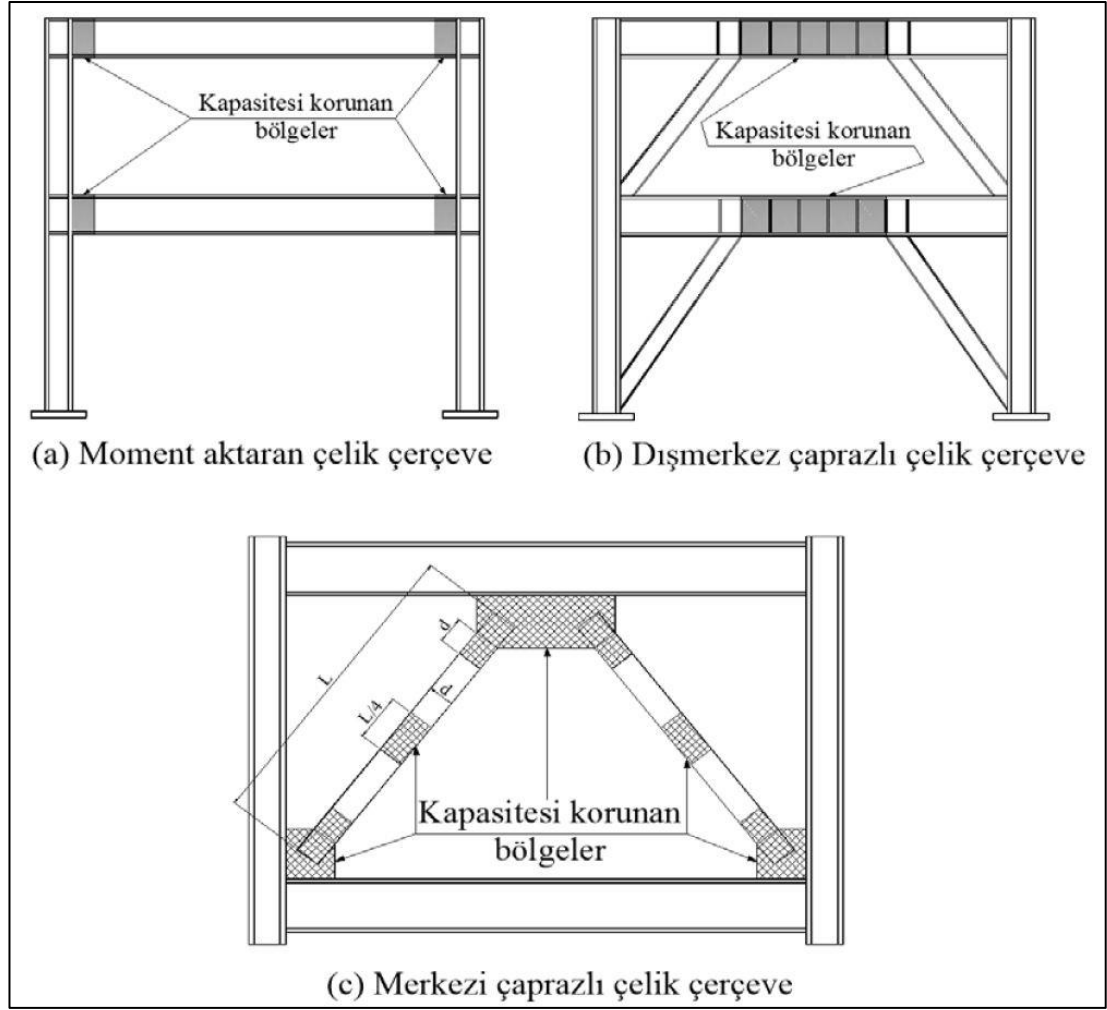
$L_b \leq 0.086 i_y \frac{E}{F_y} \quad (9.2)$
(b) Deprem yükü taşıyıcı sistemlerin <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> elemanlar olarak tasarlanan kirişlerinde
$L_b \leq 0.17 i_y \frac{E}{F_y} \quad (9.3)$

Şekil 2. 20: TBDY 2018 Denklem 9.2 ve 9.3

2.1.1.12.9. Süneklik düzeyi yüksek yatay yük taşıyıcı sistemler için kapasitesi korunmuş bölgeler

Bu bölgelerde ilgili elemanların doğrusal olmayan davranışlarını olumsuz yönde etkileyebilecek ani en kesit değişimlerine, ek detayı uygulanmasına, boşluklara, eleman bağlantılarına ve başlıklı kayma elemanlarının kullanılmasına izin verilmez. TBDY-2018 Şekil 9.1'de bu bölgeler, Şekil 2.21'de gösterilmiştir.

Yapıdaki deprem yükünü aktaran veya aktarmayan tüm kolonlarda ekler, giriş başlıklarının kolona birleşim bölgesinin 1.2 m uzağında yapılması gerekmektedir. Kolon net yüksekliği 2.4 m.'den az ise kolon eki net yüksekliğin ortasından yapılabilir. Kolon ekleri bulonlu, köşe ve küt kaynaklı yapılabilir. Ekin küt kaynaklı olması durumunda tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılacaktır.



Şekil 2. 21: Kapasitesi korunan bölgeler

2.1.1.12.10. Süneklik düzeyi yüksek ve sınırlı moment aktaran çerçeveler

Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveler, deprem etkileri altında kirişlerinin önemli ölçüde, kiriş-kolon birleşimlerinin kayma bölgesinin ise sınırlı miktarda doğrusal olmayan şekil değiştirme yapabilme özelliğine sahip olduğu taşıyıcı sistemlerdir [12].

Süneklik düzeyi yüksek çerçeve boyutlandırılmasında genel koşullar;

- En kesit koşulları TBDY-2018 tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmayacaktır.
- Kiriş başlıkları TBDY-2018 bölüm 9.2.8'de verilen stabilite şartlarını sağlayacaktır.

- Kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu sağlanacaktır. TBDY-2018 Denklem 9.7, 9.8a, 9.8b, 9.9a, 9.9b, 9.9c, 9.9d'daki denklemlere göre Şekil 2.22'de gösterildiği gibi bu tahkik yapılacaktır.
- Tek katlı binalar ve yüksek katlı binaların son katı hariç olmak üzere, süneklik düzeyi yüksek çerçeveler güçlü kolon zayıf kiriş koşulunu sağlamalıdır.
- Kiriş kolon birleşim bölgelerinde, birleşim en az 0.04 radyan görelî kat ötelemesini sağlayacak kapasitede olmalıdır.
- Kayma bölgesi yeterli kesme kuvveti dayanımına sahip olacaktır.
- Kolon gövdesinin her iki yüzeyine süreklilik levhaları kirişlerin başlık hizalarına denk gelecek şekilde, şekil 2.24'te gösterildiği gibi yerleştirilecektir. Bu sayede kirişlerdeki çekme ve basınç kuvvetleri kolona güvenle aktarılacaktır [12].
- Kiriş-kolon birleşim bölgelerinin boyutlandırılmasında TBDY-2018 Ek.B'de verilen, Şekil 2.23'te belirtilen esaslardan yararlanılacaktır [12].

9.3.2. Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu

9.3.2.1 – Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerin veya betonarme perdeli-çelik çerçeveli sistemlerin çerçevelerinin her bir kiriş-kolon düğüm noktasında, gözönüne alınan deprem doğrultusunda, **Denk.(9.7)** ile uyumlu olarak kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulunun sağlandığı gösterilecektir (**Şekil 9.2**).

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1.0 \quad (9.7)$$

Denk.(9.7) deki M_{pc}^* kolon eğilme momenti kapasiteleri **Denk.(9.8a)** veya **Denk.(9.8b)** ile hesaplanacaktır. M_{pb}^* kiriş eğilme momenti kapasiteleri, **Denk.(9.9a)** veya **Denk.(9.9b)** ve zayıflatılmış kiriş enkesitli birleşim kullanılması durumunda ise **Denk.(9.9c)** veya **Denk.(9.9d)** ile hesaplanacaktır.

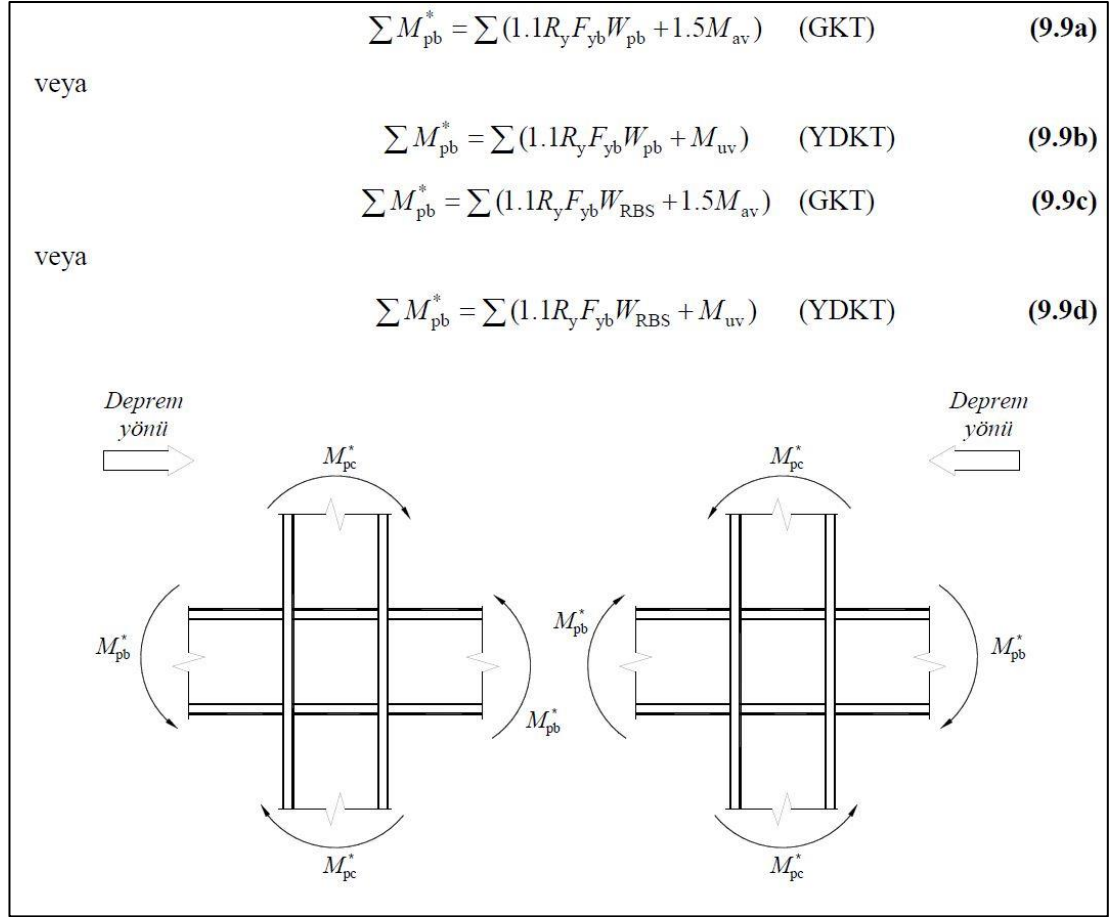
Kolon eğilme momenti kapasitelerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu eğilme momenti kapasitelerini en küçük yapan, **9.3.1.3** ile elde edilen P_{ac} (GKT) veya P_{uc} (YDKT) gerekli eksenel basınç kuvveti gözönüne alınacaktır.

$$\sum M_{pc}^* = \sum W_{pc} (F_{yc} - 1.5 P_{ac} / A_g) \quad (\text{GKT}) \quad (9.8a)$$

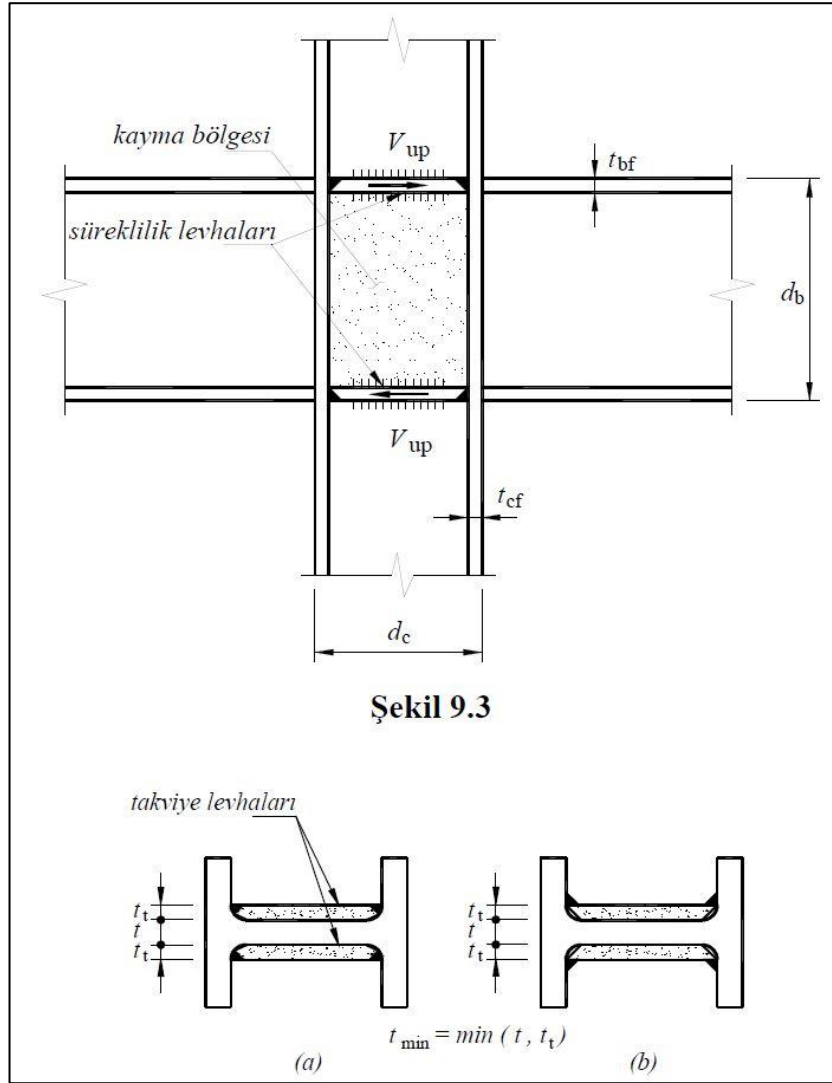
veya

$$\sum M_{pc}^* = \sum W_{pc} (F_{yc} - P_{uc} / A_g) \quad (\text{YDKT}) \quad (9.8b)$$

Şekil 2. 22: Kolonların kirişlerden güçlü olması durumu.



Şekil 2. 23: Kolon kiriş birleşimi



Şekil 2. 24: Süreklilik levhaları

2.2. Türk Çelik Yönetmeliği (TÇY 2016)'ya Göre Tasarım

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği [18] 1 Eylül 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik 16 bölüm 4 ekten oluşmaktadır

Bu bölümde TÇY 2016 yönetmeliğine göre tasarlanan bu tez çalışmasında kullanılan yapı modelinin hesap adımları incelenecektir.

2.2.1. Malzeme Bilgisi

TÇY 2016 [18] bölüm 2.1’de tanımlanan yapısal çelik malzemelerinin özellikleri Şekil 2.25’te, TÇY 2016 Tablo 2.1A ve B’de verilmiştir [18].

Bu çalışmada kullanılan malzemeler sıcak haddelenerek üretilmiş S275 ve S355 sınıfına ait yapısal çelik malzemesidir.

TABLO 2.1A – SICAK HADDELENMİŞ YAPISAL ÇELİKLERDE KARAKTERİSTİK AKMA GERİLMESİ, F_y VE ÇEKME DAYANIMI, F_u				
Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Şekil 2. 25: TÇY 2016 Tablo 2.1A

Birleşimlerde kullanılan bulonların karakteristik değerleri TÇY 2016 Tablo 2.2’de, Şekil 2.26’da gösterildiği gibi verilmiştir [18].

TABLO 2.2 – BULONLARIN KARAKTERİSTİK AKMA GERİLMELERİ, F_{yb} VE ÇEKME DAYANIMLARI, F_{ub} , (MPa)							
Bulon sınıfı	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
F_{yb}	240	320	300	400	480	640	900
F_{ub}	400	400	500	500	600	800	1000

Şekil 2. 26: TÇY 2016 Tablo 2.2

2.2.2. Tasarım Prensipleri

Çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerinin tasarımı YDKT (yük ve katsayıları ile tasarım) veya GKT (güvenlik katsayıları ile tasarım) yöntemlerinden biri kullanılarak yapılabilir. Bu tez çalışmasında YDKT yöntemi kullanılmıştır.

2.2.2.1.YDKT (yük ve dayanım katsayıları ile tasarım)

Tüm yapısal elemanlar için, tasarım dayanımı ϕR_n , TÇY 2016 bölüm 5.3.1’de verilen YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım denklem 2.1’de gösterildiği gibi R_u değerine eşit veya daha büyük olması gerekir.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.1)$$

2.2.2.2. GKT (Güvenlik katsayıları ile tasarım)

Tüm çelik yapı elemanları ve birleşimleri için güvenli dayanım R_n/Ω , TÇY 2016 bölüm 5.3.1’de verilen GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, TÇY 2016 denklem 5.2’de belirtildiği gibi R_a ’ya eşit veya daha büyük olması gerekir.

2.2.3. Yükler ve yük birleşimleri

Tasarımda esas alınacak karakteristik yükler için TS498 yönetmeliği kullanılacaktır. Kar yükleri için TS EN 1991-1-3 ve rüzgâr yükleri için ise TS EN 1991-1-4 yönetmelikleri göz önünde bulundurulacaklardır. Deprem etkileri için ise TBDY-2018 yönetmeliğindeki koşullar göz önünde bulundurulacaktır.

Gerekli dayanımı belirlemek için göz önünde bulundurulacak yük birleşimleri YDKT için TÇY 2016 bölüm 5.3.1’de, GKT için ise 5.3.2’de verilmiştir.

2.2.3.1.YDKT için yük birleşimleri

Bu yöntemle göre gerekli dayanım R_u , Şekil 2.27’de belirtilen yük birleşimlerine göre belirlenecektir.

- | | |
|------|--|
| (1) | $1.4G$ |
| (2a) | $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$ |
| (2b) | $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$ |
| (3) | $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$ |
| (4) | $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$ |
| (5) | $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$ |
| (6) | $0.9G + 1.6W$ |
| (7) | $0.9G + 1.0E$ |

Şekil 2. 27: YDKT yük kombinasyonları.

2.2.3.2.GKT için yük birleşimleri

Bu yöntemle göre gerekli dayanım R_a , Şekil 2.28’de belirtilen aşağıda verilen yük birleşimlerine göre belirlenecektir.

- | | |
|------|---|
| (1) | G |
| (2) | $G + Q$ |
| (3) | $G + (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$ |
| (4) | $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$ |
| (5a) | $G + 1.0W$ |
| (5b) | $G + 0.7E$ |
| (6a) | $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75W$ |
| (6b) | $G + 0.75Q + 0.75S + 0.75(0.7E)$ |
| (7) | $0.6G + W$ |
| (8) | $0.6G + 0.7E$ |

Şekil 2. 28: GKT yük kombinasyonları.

Bu yük birleşimlerinde yer alan yükler aşağıda verilmiştir.

- G : Sabit yük
- Q : Hareketli yük
- Q_r : Çatı hareketli yükü
- S : Kar yükü
- R : Yağmur yükü
- W : Rüzgar yükü
- E : Deprem etkisi
- F : Akışkan madde basınç yükü
- T : Sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkileri
- H : Yatay zemin basıncı, zemin suyu basıncı, yığılı madde basıncı [13]

2.2.4. Kullanılabilirlik Sınır Durumları için Tasarım

Ön görülen yükler altında yapının kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirmesidir ve kullanıcının konfor koşullarını sağlamasıdır. Bu sınır durumlar belirli yük birleşimleri altında yapının yer değiştirme ve ivme gibi büyüklükleri ile tanımlanır. Kullanılabilirlik sınır durumlarının kontrollerinde;

- Sabit yükler, hareketli yükler veya kar yükleri altındaki düşey yer değiştirme kontrollerinde denklem 2.2 ve 2.3'te verilen yük birleşimleri,

$$(G+Q) \quad (2.2)$$

$$(G+0.5S) \quad (2.3)$$

- Yatay yer değiştirme kontrollerinde ise denklem 2.4'te verilen yük birleşimi kullanılır [12].

$$(G+0.5Q+W) \quad (2.4)$$

Bu kontrollerde sınır değerler olarak düşey yer değiştirme kontrollerinde, düşey yer değiştirmenin açıklığa oranı 1/300, konsol elemanlarda 1/150 oranını aşmayacaktır.

2.2.5. Eleman En kesit Özellikleri

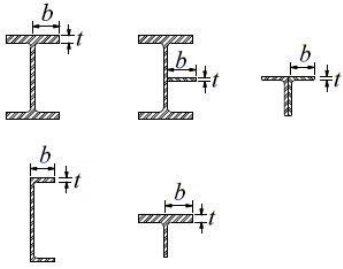
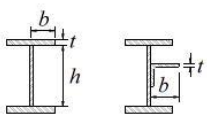
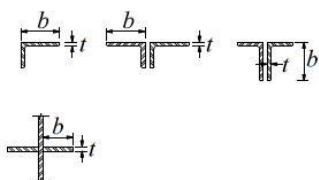
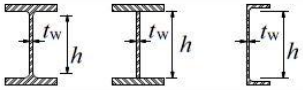
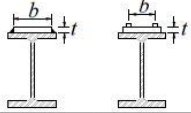
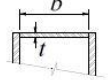
Yerel burkulma sınır durumu göz önüne alınarak;

- Eksenel basınç etkisindeki en kesitler, narin ve narin olmayan en kesitler olarak
- Eğilme momenti etkisindeki en kesitler, kompakt, kompakt olmaya ve narin en kesitler olarak sınıflandırılır.

Bu sınıflandırma eleman en kesitini oluşturan elemanların genişlik (çap)/kalınlık oranlarına bağlı olarak tanımlanır.

TÇY 2016 Tablo 5.1A'da rijileştirilmiş ve rijitleştirilmemiş en kesit parçaları için genişlik/kalınlık oranlarına göre Şekil 2.29'da belirtilen sınır değerler verilmiştir [18].

TABLO 5.1A – EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİNDEKİ ENKESİT PARÇALARI İÇİN GENİŞLİK / KALINLIK ORANLARI

	Durum	Tanım	Genişlik / Kalınlık Oranı, λ	Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değeri, λ_r	Enkesit
Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçası	1	Hadde I-profillerinin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar, boşluksuz olarak sürekli birleştirilen çift korniyerlerin dış kolları, U- ve T-profillerin başlıkları	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Yapma I-profillerin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar ve korniyerlerin dış kolları	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ ^[a]	
	3	Tek korniyerlerin kolları, birbirlerine boşluklu olarak bağlanan çift korniyerlerin kolları ve tüm rijitleştirilmemiş elemanlar	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	T-profillerin gövdeleri	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Rijitleştirilmiş Enkesit Parçası	5	U-profillerin ve çift simetri eksenli I-profillerin gövdeleri	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Üniform kalınlıklı dikdörtgen ve kare kutu enkesitlerin gövde ve başlıkları	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Birleşim araçları arasında kalan takviye levhaları ve diyafram levhaları	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Tüm diğer rijitleştirilmiş enkesit parçaları	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Boru enkesitli elemanlar	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

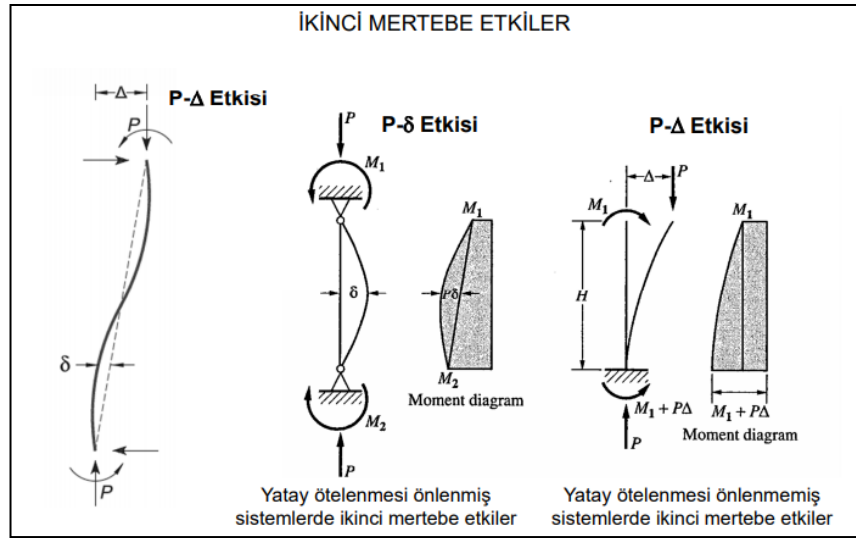
Şekil 2. 29: TÇY 2016 Tablo 5.1A

2.2.6. Stabilit e Tasarımı

Yapı sistemlerinin stabilite tasarımı, eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin (yer değiştirmelerin) denge denklemlerine etkisini göz önüne alan ikinci mertebe teorisi 'ne göre analiz yapılmasını ve hesaplanan iç kuvvetlerin elemanların mevcut dayanımları ile karşılaştırılmasını öngörmektedir [18].

Yapı sistemlerinin stabilitesini etkileyen başlıca faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Elemanların eğilme, kayma ve eksenel şekil değiştirmeleri ile yapı sisteminin yer değiştirmesinde etkili olan diğer tüm şekil değiştirmeler.
- Geometrik  n kusurlar (ilkel kusurlar).
- Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler.
- Eleman şekil değiştirmesine ait ($P - \delta$) ve sistem yer değiştirmesine ait ($P - \Delta$) ikinci mertebe etkiler şekil 2.30'da gösterilmiştir [18].



şekil 2. 30: İkinci mertebe etkileri

- İkinci mertebe teorisinde denge denklemleri yapı sisteminin şekil değiştirmiş eksenini üzerinde yazılmaktadır. Yapı sisteminin şekil değiştirmiş eksenini analizin başında bilinmediğinden, ikinci mertebe teorisi doğrusal (lineer) değildir.
- Bu nedenle, süperpozisyon prensibi geçerli olmadığından düşey işletme yüklerinin ilgili yük katsayıları ile çarpımından oluşan toplam düşey yükleri altında analiz yapılır. Toplam düşey yükleri, YDKT y k birleşimlerinden elde

edilen yüklemeden veya GKT yük birleşiminin 1.6 katına eşit bir yüklemeden elde edilirler [14].

Yönetmelikte yapısal stabiliteyi etkileyen yukarıdaki faktörleri göz önüne alan aşağıdaki yöntemlerin uygulama kuralları tanımlanmıştır.

- Genel (doğrudan) analiz yöntemi
- Burkulma boyu (etkin uzunluk) yöntemi

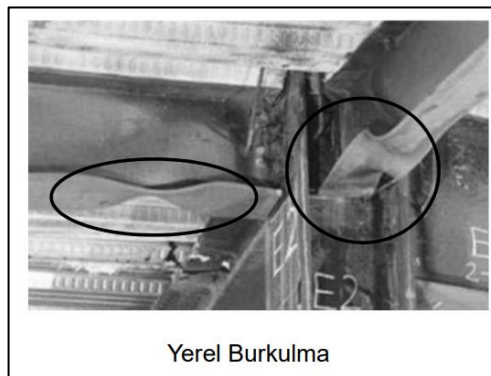
İkinci mertebe etkileri, yaklaşık ikinci mertebe analizi ile yaklaşık olarak hesaplara katılabilmektedir.

2.2.7. Eksenel Basınç Kuvveti Etkisi

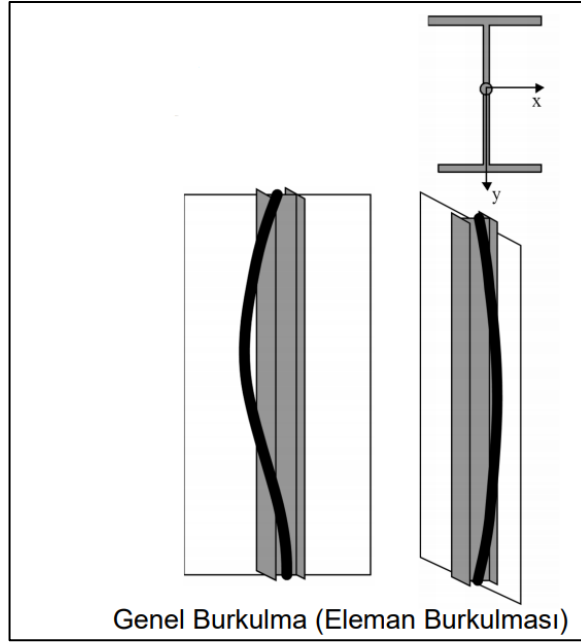
Basınç elemanlarının dayanımı mesnetlenme koşullarına ve elemanların serbest boylarına bağlıdır. Bu elemanlarda göçme genellikle burkulma sınır durumuna göre belirlenir. Sadece çok kısa basınç çubukları tam dayanım kapasitelerine kadar eksenel kuvvet alabilirler.

2.2.7.1. Burkulma sınır durumları

Eksenel basınç kuvveti etkisi altındaki çelik yapı elemanlarında yerel burkulma ve genel burkulma sınır durumları Şekil 2.31 ve 2.32’de gösterildiği gözlenir [18].



Şekil 2. 31: Yerel burkulma sınır durumu



Şekil 2. 32: Genel burkulma sınır durumu

2.2.7.1.1. Yerel burkulma

Başlık elemanının yerel burkulma narinliği denklem 2.5 ile gövde elemanın narinliği ise denklem 2.6 ile hesaplanır.

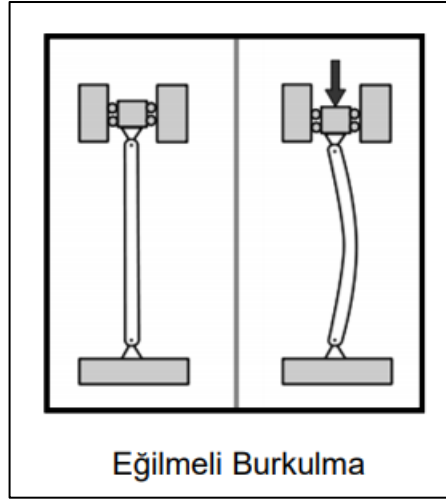
$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (2.5)$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (2.6)$$

Elemanlarda yerel burkulma oluşmaması için hesaplanan λ değerlerinin, TÇY 2016 tablo 5.1A’da verilen λ_r sınır değerini Şekil 2.29’da gösterildiği gibi aşmaması gerekmektedir.

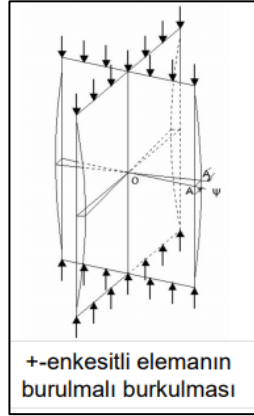
2.2.7.1.2. Genel burkulma

Kesitin eksenlerinden biri etrafında oluşan eğilme deformasyonudur. Şekil 2.33 ‘te gösterilen eğilme burkulması olarak da tanımlanır [18]. Bu burkulma türü çift simetri eksenli I-en kesitli elemanlarda, boru ve kutu elemanlarda kritik olan burkulma türüdür.



Şekil 2. 33: Eğilmeli burkulma türü

Elemanların boyuna en kesiti boyunca oluşan burkulma türü ise burulmalı burkulma olarak tanımlanır. Şekil 2.34 ile gösterilmiştir.[18] Bu burkulma türü çok narin en kesitli elemanları bulunan, çift simetri I-en kesitli, +-en kesitli veya sırt sırta teşkil edilmiş dört köşebentten oluşan basınç elemanlarında görülebilmektedir.



Şekil 2. 34: Burulmalı burkulma türü

Eleman en kesitinin kayma merkezi ile ağırlık merkezinin çakışmadığı durumlarda eğilme ve burulma şekil değiştirmelerinin ortak etkisi olarak eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumu oluşur. T-en kesitli, U-en kesitli, eşit kollu köşebentler gibi tek simetri eksenine sahip olan ve simetri eksenini bulunmayan elemanlarda bu durum gözlenir. Eğilmeli burulmalı burkulma durumu Şekil 2.35'te gösterilmiştir [18].



Şekil 2. 35: Eğilmeli burulmalı burkulma durumu

Eksenel basınç kuvveti etkisi altındaki elemanların davranışlarını belirleyen etkiler,

- Mesnetleme koşulları
- Narinlik oranları (L/i)
- Dış merkezlik etkileri
- Elemanlardaki artık gerilmeler
- Dış merkezlik etkileri

Bu etmenler her bir eleman için farklı davranışlar göstermesine neden olur.

2.2.7.2. Tasarım esasları (TÇY 2016 Bölüm 8.1.2)

Karakteristik basınç dayanımı, P_n , eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma veya eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumlarına göre hesaplanan değerlerden en küçüğü olarak alınacaktır.

YDKT yöntemi için basınç dayanımı $\phi_c P_n$, $\phi_c=0.9$ veya

GKT yöntemi için basınç dayanımı P_n/Ω_c , $\Omega_c=1.67$ olarak hesaplanır.

2.2.7.3. Karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı (TÇY 2016 Bölüm 8.2)

TÇY 2016 tablo 5.1A'ya göre narin olmayan en kesitli elemanlar için karakteristik basınç dayanımları TÇY 2016 Denklem 8.1, 8.2 ve 8.3'te sırasıyla Şekil 2.36'da gösterildiği gibi verilmiştir [18].

$P_n = F_{cr} A_g$	(8.1)
Burada, <i>kritik burkulma gerilmesi</i> , F_{cr} , Denk.(8.2) veya Denk.(8.3) ile elde edilecektir.	
$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{(veya } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \text{) için}$	
$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y$	(8.2)
$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{(veya } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \text{) için}$	
$F_{cr} = 0.877 F_e$	(8.3)

Şekil 2. 36: TÇY 2016 Denklem 8.1,8.2 ve 8.3

2.2.8. Eğilme Momenti Etkisi (TÇY 2016 Bölüm 9)

Kuvvetli ekseninde eğilme etkisi altındaki I en kesitli elemanların alt ve üst başlıklarına yakın bölgelerde eleman lifleri boy değiştirir. İncelenen elemanda alt lifler çekmeye üst lifler ise basınca çalışır.

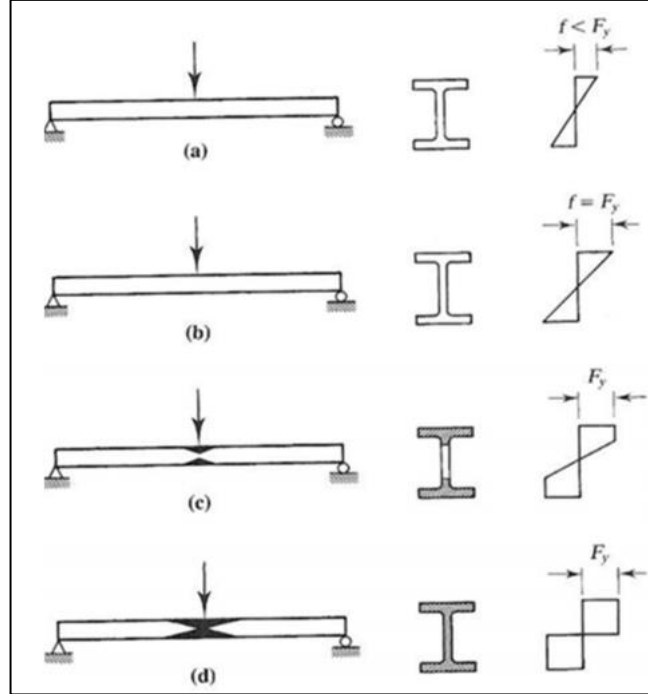
Eğilme etkisindeki elemanların dış liflerinde akma gerçekleşmiş ise bu elastik momenttir. Bu elastik moment değeri denklem 2.27'deki gibi hesaplanacaktır.

$$M_y = F_y W_{ex} \quad (2.7)$$

Eğilme etkisindeki elemanların tüm kesit boyunca liflerinde akma gerçekleşmiş ise bu plastik momenttir. Bu plastik moment değeri denklem 2.8'deki gibi hesaplanacaktır.

$$M_y = F_y W_{px} \quad (2.8)$$

Kesitlerde oluşabilecek elastik ve plastik moment durumları Şekil 2.37’de gösterilmiştir [18].



Şekil 2. 37: Elastik ve plastik moment durumları

2.2.8.1.Kirişlerin stabilitesi

Kuvvetli eksen yönünde eğilme etkisi altındaki I-en kesitli kiriş elemanların karakteristik moment dayanımı değeri (M_n) üç sınır durumdan küçük olanına eşittir. Bu sınır durumlar aşağıdaki gibidir.

- Akma sınır durumu
- Yerel burkulma sınır durumu
- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

2.2.8.1.1. Akma sınır durumu

Kirişler, yerel ve yanal burkulma sınır durumlarına ulaşmayacak şekilde boyutlandırılırsa kirişin en kesiti plastik moment dayanımına ulaşabilir ve akma sınır durumu oluşabilir.

Bu koşullar altında kirişin karakteristik moment dayanımı plastik moment dayanımına eşit olur.

Bu değer denklem 2.9'daki gibi hesaplanacaktır.

$$M_n = M_p = F_{ypx} \quad (2.9)$$

Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisi için yerel burkulmada tanımlar:

- λ : Başlık veya gövde parçaları için genişlik/kalınlık oranları
- λ_p : Kompakt/kompakt olmayan en kesit parçası için sınır narinlik
- λ_r : Kompakt olmayan/narin en kesit parçası için sınır narinlik
- $\lambda \leq \lambda_p$: Kompakt en kesit parçası
- $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$: Kompakt olmayan en kesit parçası
- $\lambda > \lambda_r$: Narin en kesit parçası [13].

λ_p ve λ_r değerleri TÇY 2016 tablo 5.1B'de, Şekil 2.38'de gösterildiği gibi verilmektedir [18].

TABLO 5.1B – EĞİLME MOMENTİNİN BASINÇ BİLEŞENİ ETKİSİNDEKİ ENKESİT PARÇALARI İÇİN GENİŞLİK / KALINLIK ORANLARI

	Durum	Tanım	Genişlik/ Kalınlık Oranı, λ	Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değerleri		Enkesit
				λ_p (kompakt / kompakt olmayan)	λ_r (kompakt olmayan / narin)	
Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçası	10	Hadde I-profiller, U-profiller ve T-enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Tek ve çift simetri eksenli yapma I-enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a] [b]	
	12	Tek korniyerlerin kolları	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Zayıf eksen etrafında eğilme etkisindeki tüm I-enkesitli elemanlar ve U-profiller	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	T-enkesitli elemanların gövdeleri	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Rijitleştirilmiş Enkesit Parçası	15	U-profillerin ve çift simetri eksenli I-elemanların gövdeleri	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Tek simetri eksenli I-enkesitli elemanların gövdeleri	h_c/t_w	$\frac{h_c}{h_y} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq \lambda_r$ $\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2$ [c]	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Üniform cidar kalınlıklı kutu enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Takviye levhaları ve birleşim araçları arasında kalan diyafram levhaları	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Kutu enkesitli elemanların gövdeleri	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Boru enkesitli elemanlar	D/t	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	
	21	Yapma kutu enkesitlerin başlıkları	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

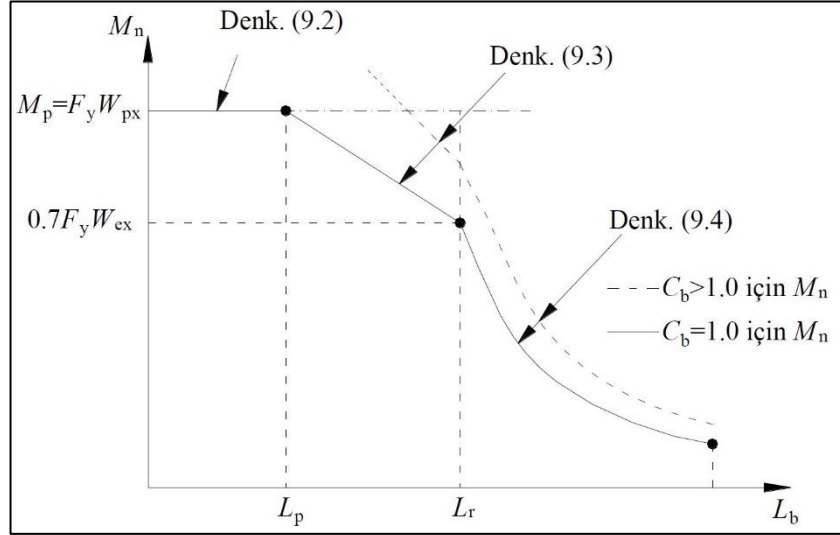
Şekil 2. 38: TÇY 2016 Tablo 5.1B

2.2.8.1.2. Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

TÇY 2016 bölüm 9’da belirtilen kurallara göre basit eğilme altındaki elemanların tasarımı yapılacaktır. Bu tez çalışmasındaki durum bölüm 9.2’de belirtilen kurallara uymaktadır.

TÇY 2016 bölüm 9.2.2’de (a), (b) ve (c) maddelerinde kiriş elemanın tutulu olmayan boyuna bağlı olarak karakteristik eğilme dayanımları TÇY 2016 denklem 9.2, 9.3 ve 9.4’te sırasıyla verilmiştir.

Kiriş elemanının yanal olarak desteklenmeyen boyu L_b ’ye bağlı olarak değişimi ve moment düzeltme katsayısı olan C_b ’nin etkisi TÇY 2016 şekil 9.1’de gösterilmiştir. Şekil 2.39 ile tutulu olmayan boya göre karakteristik moment dayanımı ilişkisi gösterilmiştir [18].



Şekil 2. 39: Tutulu olmayan boya göre karakteristik moment dayanımı

- $L_b \leq L_p$ ise yanal burulmalı burkulma sınır durumunun göz önüne alınmasına gerek yoktur. Bu durumda karakteristik moment dayanımı denklem 2.10’daki gibi hesaplanacaktır.

$$M_n = F_y W_{px} \quad (2.10)$$

- $L_p < L_b \leq L_r$ ise karakteristik moment dayanımı denklem 2.11’deki gibi hesaplanacaktır.

$$M_n = C_b [M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right)] \leq M_p \quad (2.11)$$

- $L_b > L_r$ ise karakteristik moment dayanımı denklem 2.12'deki gibi hesaplanacaktır.

$$M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p \quad (2.12)$$

Denklemine göre hesaplanacaktır.

Burada F_{cr} değeri kritik gerilme değeridir. TÇY 2016 denklem 9.5'e göre hesaplanacaktır. Bu denklem, denklem 2.13'te gösterilmiştir.

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J_c}{W_{ex} h_0} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} \quad (2.13)$$

L_p ve L_r uzunlukları ise sırasıyla denklem 2.14 ve 2.15'e göre hesaplanacaktır.

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\left(\frac{E}{F_y} \right)} \quad (2.14)$$

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_0} \right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \right)^2}} \quad (2.15)$$

Çift simetri I-en kesitli elemanlarda $c=1.0$ alınır.

Etkin atalet yarı çapı ise denklem 2.16'ye göre hesaplanacaktır.

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}} \quad (2.16)$$

2.2.9. Kesme Kuvveti Etkisi (TÇY 2016 Bölüm 10)

Bu tez çalışmasında kesme kuvveti etkisi incelenecek olan eleman I-en kesitlidir. Gövde düzleminde kesme kuvveti etkisindeki I-en kesitli elemanlarda kayma gerilmeleri TÇY 2016 bölüm 10.2’de verilen kurallara göre belirlenecektir.

TÇY 2016 denklem 10.1’e göre karakteristik kesme kuvveti dayanımı belirlenecektir. Bu denklem, denklem 2.17’de belirtilmiştir.

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (2.17)$$

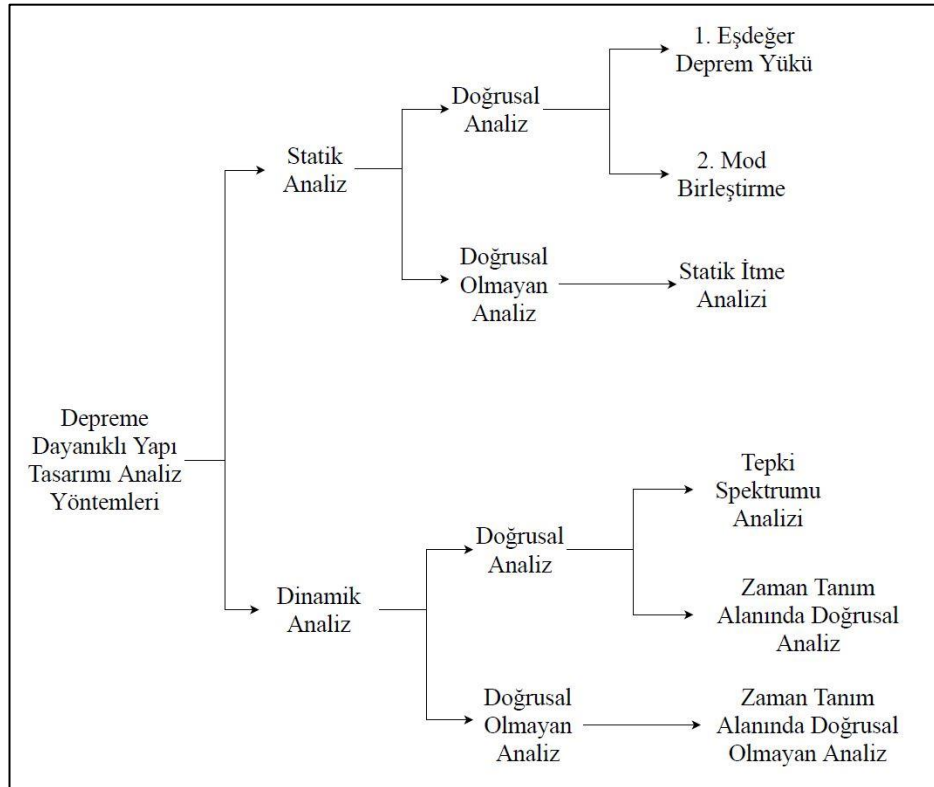
Kesme kuvveti etkisi altındaki elemana ait tasarım kesme kuvveti dayanımı ϕV_n (YDKT) Güvenli kesme kuvveti dayanımı ise V_n/Ω_v (GKT)’dir. TÇY 2016 bölüm 10.2.1(a) dışında kalan tüm elemanlar için $\phi_v = 0.9$ (YDKT) veya $\Omega_v = 1.67$ (GKT) alınarak, bu bölümde verilen kurallar çerçevesinde belirlenecektir. Gövde düzleminde kesme kuvveti etkisindeki tek ve çift simetri eksenli I-kirişlerin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesinde TÇY 2016 Bölüm 10 uyarınca iki farklı yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler;

- Gövdede düşey ara rijitlik levhalarının bulunmasından bağımsız olarak, gövde levhasının kesme etkisinde akmaya ulaşması veya kesme etkisinde burkulması sınır durumları ile kesme kuvveti dayanımının Yönetmelik 10.2 uyarınca belirlendiği genel yöntem.
- Gövdede düşey ara rijitlik levhaları ile oluşturulan paneller ile gövdenin burkulma sonrası dayanımı gözönüne alınarak, Yönetmelik 10.3 uyarınca çekme alanı katkısının kesme kuvvetinin dayanımının belirlenmesinde dikkate alındığı yöntem [13].

3. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Ülkemizde bulunan aktif faylar günümüze kadar birçok büyük depreme neden oldu. Bu depremler ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini her defasında çok acı tecrübelerle hatırlattı. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımını amaçlayan yönetmelikler geliştirildi. Bu yönetmelikler hem yeni yapılacak yapılar hakkında hem de mevcut yapıların değerlendirilmesi hakkında sınırlamalar, koşullar getirmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik kuvvetleri belirlemek için sismik analiz yöntemleri mevcuttur. Uygulanan analiz yöntemi yapının elastik veya elastik olmayan bir şekilde davranıp davranmadığı konusunda bilgi verir. Sismik analiz esas olarak statik analiz ve dinamik analiz olmak üzere ikiye ayrılır. Statik ve dinamik analiz yöntemleri kendi içinde doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri olarak iki gruba ayrılırlar. Bu analiz yöntemleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1: Analiz yöntemleri.

3.1. Statik Analiz Yöntemi

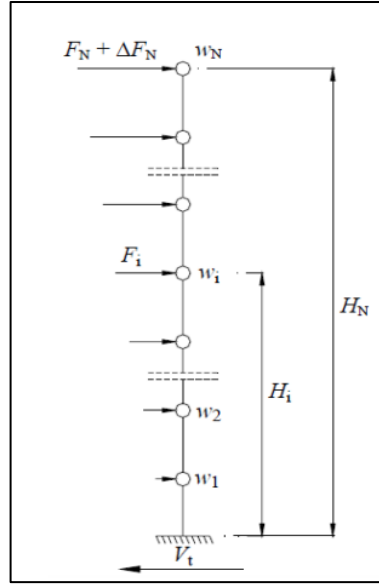
3.1.1. Doğrusal Analiz

Bu analizde, yapıya etki eden statik kuvvet sonucu yapı elastik olarak davranır. Sınırlı yüksekliğe sahip düzenli yapı için kullanılabilir. Elastik analizde, tüm deprem süresi boyunca yapının rijitlik özelliklerinin sabit olduğu varsayılmaktadır. Doğrusal analiz, Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1.1.1.Eşdeğer deprem yükü

Eşdeğer deprem yükü, yapının bulunduğu bölgenin deprem geçmişinden yola çıkılarak ileriki dönemde maruz kalabileceği deprem kuvvetlerinin yapı üzerine yatay statik tekil yükler ile etki ettirilmesidir. Eşdeğer deprem yükünün hesaplanması ve yapılara ektirilmesi durumu 2018 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’inde detaylı olarak anlatılmıştır. Eşdeğer deprem yükü depremden dolayı yapıya zeminden etkiyecek olan taban kesme kuvvetinin yapıya etkisiyle oluşacak kesme kuvvetlerinin yapı boyunca statik olarak ektirilmesidir.

Eş değ er yükü yöntemi, yapının bulunduğu konuma bağlı zemin koşullarını göz önüne alan deprem tasarım spektrumunu kullanmaktadır. Yapının kendi baskın periyot değerine karşılık gelen spektral ivme değeri yapının tasarım spektrumundan elde edilir. Yapının toplam kütlesi ve elde edilen spektral ivme ile yapıdaki taban kesme kuvveti hesaplanır. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, hesaplanan ve binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (Taban Kesme Kuvveti) kuvvet, katlara ağırlıkları ve yüksekliklerine bağlı olarak dağıtılır. Bu kuvvetler etkisinde yapıda ve yapısal eleman kesitlerinde meydana gelen elastik deformasyonlar tespit edilir. Bu yöntem Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 2: Taban kesme kuvveti ve katlara dağılımı.

Deprem düzeyi veya yapı türü ne olursa olsun 40 metreden yüksek binalar için eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılamaz. Bu tür yapılar için zaman tanım alanında analiz hesap yöntemleri kullanılmalıdır.

3.1.1.2. Mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yöntemi, yapının her bir modunun ayrı ayrı elastik olarak analiz edildikten sonra her mod etkisinin yapının davranışına katkısının birleştirilmesini kapsamaktadır.

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Herhangi bir r 'inci titreşim modunda göz önüne alınacak ivme spektrumu ile o moda ait yapının tepki ve kuvvet analizleri tamamlanır. Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yer değiştirme ve görel kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi Karelerin Toplamının Karekökü (SRSS) veya Tam Karesel Birleşim Kuralı (CQC) metotlarının uygulanmasıyla elde edilir.

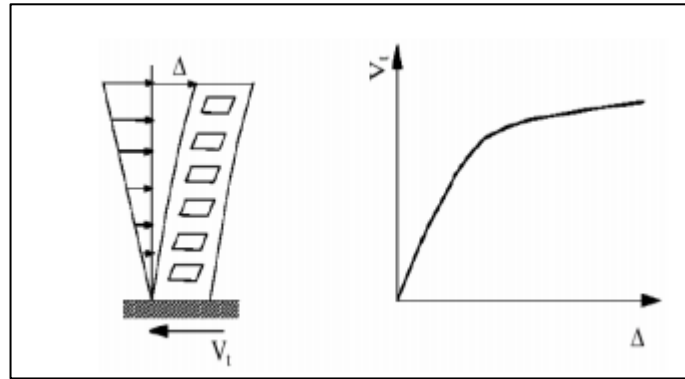
3.1.2. Doğrusal Olmayan Analiz

Bu analiz, yapıya etki eden statik kuvvet sonucunda oluşan elastik olmayan deformasyonları çözümlmek için kullanılabilir. Elastik olmayan analizde, yapının rijitliği elastik bölgede sabit kalırken, elastik olmayan bölgede azalım gösterebilmektedir. Doğrusal olmayan statik analiz, yapının mukavemeti, deformasyonu ve sünekliği ve talep dağılımı hakkında bilgi vermek için basit bir yöntem olan statik itme analiz yöntemi ile yapılır.

3.1.2.1. Statik itme analizi

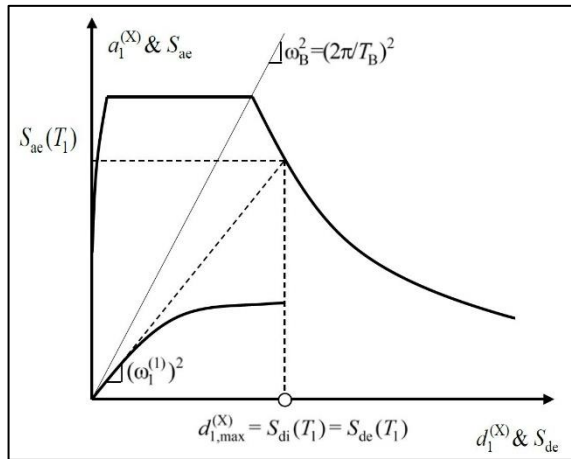
Statik itme analizi, deprem etkisi sonucunda yapıda meydana gelen iç kuvvetler, deformasyonlar, eleman performansını hesaplayabilen doğrusal olmayan statik analiz prosedürüdür. Bu metot ile yapı elemanlarının hasarları sonrası yapı içindeki kuvvet dağılımı ve yapının davranışı değerlendirilebilmektedir. Artımsal statik itme (pushover) analizi, önceden belirlenmiş bir dağılıma göre yatay yüklerin sisteme etki ettirilmesi ve bu yüklerin belirli bir eşik değerine kadar adım adım artırılması prensibine dayanmaktadır [19].

Bu eşik değeri, önceden belirlenmiş olan bir yatay yer değiştirme limiti olabilir. Artımsal statik itme analizinin her adımında, iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler hesaplanır ve yapının global itme eğrisi yani kapasite eğrisi (pushover curve) belirlenir (Şekil 3.3). Kapasite eğrisi, statik itme analizinin her adımında belirlenen taban kesme kuvveti ile tepe noktası yatay yer değiştirmesinin doğrusal ötesi değişimini göstermektedir [20].



Şekil 3. 3: İtme eğrisi.

Statik artımsal itme analizi (pushover) bina taşıyıcı sistemine genellikle baskın mod olan birinci mod şekli dikkate alınarak etki ettirilir. Analizden önce, taşıyıcı sistem düşey yük etkisi altında analiz edilerek kiriş ve kolonlara ait çatlamış kesit eğilme rijitlikleri ve plastik mafsallar ilgili elemanlara atanarak artımsal olarak yükleme yapılmıştır. Plastik mafsalların atanmasıyla, elemana ait kesitin lineer olmayan davranışı tanımlanır. Artımsal yükleme analizi sonucunda yapıya ait statik itme eğrisi elde edilir. Elde edilen itme eğrisinden kapasite diyagramı çizilir. Yapıya ait, yönetmeliğe göre belirlenmiş tasarım depreminden ivme spektrumuna geçilerek, modal yer değiştirme talebi belirlenir ve taşıyıcı sistem belirlenen bu talebe kadar yeniden itme analizi yapılır. Talep değerine kadar yapılan statik itme analizi sonucunda, yapısal elemanlardaki hasar düzeyi Şekil 3.4'te gösterildiği gibi belirlenir ve yapının genel hasar düzeyine karar verilir.



Şekil 3. 4: Spektral ivme-yer değiştirme- talep yer değiştirme'nin elde edilmesi.

3.2. Dinamik Analiz Yöntemi

Bu yöntemde, yapıya etki eden kuvvet zamana göre değişir. Dinamik analiz yapının deprem kuvvetlerine karşı tepkilerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Doğrusal dinamik analiz ve doğrusal olmayan dinamik analiz olarak ikiye ayrılır.

3.2.1. Doğrusal Analiz

Doğrusal analiz yönteminde yapı elastik olarak davranır ve zamana bağlı olarak değişen kuvvete karşı elastik davranmaya devam eder. Elastik analizde yapının rijitlik

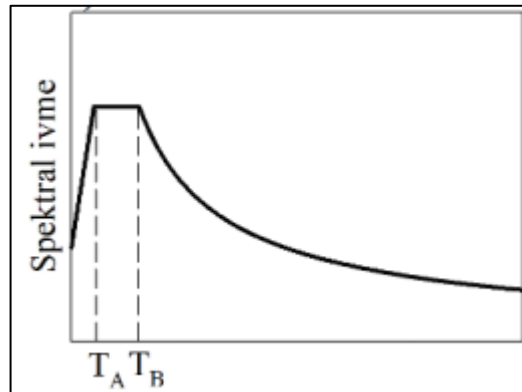
özelliklerinin tüm deprem süresi boyunca sabit olduğu varsayılır. Doğrusal dinamik analiz, tepki spektrumu yöntemi ve elastik zaman tanım alanında analiz yöntemi olarak iki gruba ayrılır.

3.2.1.1. Tepki spektrumu analizi

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının doğal titreşim periyoduna bağlı olarak, depreme maruz kalan bir yapıya etkiyecek olan deprem yüklerinin belirlenmesinde, deprem yönetmeliklerinde tanımlanan tasarım spektrumları kullanılmaktadır. Farklı zemin türleri ve dönüş periyotları dikkate alınarak, sismik tehlike analiz sonuçlarına bağlı olarak tasarım spektrumları elde edilir. Tasarım spektrumları, gerçek yer hareketi ivme kayıtları kullanılarak veya yer hareketi tahmin modellerinin yardımıyla elastik ivme spektrumları hesaplanıp ve bunlar üzerinde işlem yapılarak elde edilmiştir [14].

Tasarım spektrumları ise bölgenin sismik özelliklerini ve zemin koşullarını dikkate alarak oluşabilecek maksimum deprem etkilerini göz önüne alabilmek için farklı yer hareketi ivme kayıtlarından hesaplanan tepki spektrumlarına düzgünleştirilmiş bir zarf eğrisi uydurulmasıyla elde edilmektedir [14].

Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan tasarım spektrumlarının genel görünüşü Şekil 3.5'te verilmektedir. Bu spektrum, Türkiye'de meydana gelmiş depremlerden derlenen bir veri seti kullanılarak zemin, mesafe ve deprem büyüklüğüne bağlı olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. 5: Tasarım spektrumu.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, tepki spektrumu analiz yönteminde yönetmelikte tanımlanan spektrum kullanılmaktadır. Yapının hâkim doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yapıya etki edebilecek spektral ivme tasarım spektrumundan belirlenir. Bina kütleline bağlı olarak, elde edilen spektral ivmenin yapıda oluşturabileceği iç kuvvetler, deformasyonlar hesaplanır. Tepki spektrumu, tek serbestlik dereceli sistemlerin %5 sönüm oranı varsayımıyla lineer dinamik analiz çözümüyle elde edilmiştir. Bu analiz sonucunda yapısal sistemin elastik tepki değerleri elde edilir.

3.2.1.2.Zaman tanım alanında doğrusal analiz

Zaman tanım alanında hesap yöntemi, yapı davranışı göz önüne alınarak taşıyıcı sisteme bir ivme kaydının her bir adımının sırsıyla etki ettirilerek yapının analiz edilmesidir. Doğrusal zaman tanım alanında analiz yöntemi yapının elastik davrandığını düşünerek, deprem hareketi sonucu yapıda oluşan iç kuvvet ve deformasyonlar hakkında bilgi verir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi, kullanılacak olan deprem kayıtlarının yapıya ait tasarım spektrumuyla uyumla olacak şekilde ölçeklendirilmesini gerektirmektedir. Doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucunda yapının maruz kaldığı deprem kuvveti sonucunda oluşan zaman tanım alanında elastik yer değiştirme, hız değerleri elde edilir. Yapısal elemanlarda oluşan elastik olmayan şekil değiştirmeler hakkında bilgi alamayız.

3.2.2. Doğrusal Olmayan Analiz

Doğrusal olmayan analizde, zamana göre değişen kuvvet etkisindeki yapı, elastik olmayan davranışlar izin verilerek elastik davranışın ötesinde davranır. Deprem sırasında yapının gerçek davranışını hesaplayabilen bu yöntem zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemini kapsamaktadır.

3.2.2.1.Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz

Yukarıdaki analiz yöntemlerinden sismik olarak uyarılmış yapı için en güvenilir yöntem doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemidir bu yöntem dinamik analizin en gelişmiş ve doğru yöntemidir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri, yapının lineer olmayan davranışını da göz önüne alarak,

deprem yüklerinin binaya doğrudan etkililerek analizlerin gerçekleştirilmesi nedeniyle, yapı davranışı hakkında daha net bilgi vermektedir. Ayrıca bu yöntem yapının elastik davranmadığı durumunu da göz önüne almaktadır. Deprem ivme kaydı etkisi boyunca yapıda oluşan yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklükleri meydana getiren deprem isteminin en büyük değerleri belirlenir. Bu hesap yönteminde kullanılan ivme kayıtları, daha önceki depremlerden toplanan veri ya da yapay yolla üretilen ivme verisi olabilir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi, kullanılacak olan deprem kayıtlarının yapıya ait tasarım spektrumuyla uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmesini gerektirmektedir. Bu hesap yönteminde kullanılacak ivme kaydı depremin büyüklüğü, fay tipi, faya olan mesafe, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği gibi parametrelere bağlı olarak seçilmektedir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda yapının maruz kaldığı deprem kuvveti sonucunda oluşan zaman tanım alanında yer değiştirme, hız değerleri elde edilir. Yapısal elemanlarda oluşan elastik olmayan şekil değiştirmeler her bir ivme adımında değerlendirilir.

3.3. Kırılgenlık Eğrisi

Depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli bir parametre de yapının performans düzeyinin belirlenmesidir. Performans hesabı, yapının hasar düzeyi hakkında bilgi vermektedir. Kırılgenlık kavramı, yapıların sismik davranışını olasılıklı olarak incelemektedir. Yer hareketinin şiddetine bağlı olarak yapıda oluşabilecek hasar düzeyinin aşılma olasılığının tespiti yapı sağlığı, can ve mal kaybının önüne geçebilmek için önemlidir. Kırılgenlık eğrileri, bir yapısal sistemin yer hareketi şiddetine bağlı olarak önceden belirlenen hasar düzeyinin aşılma olasılığını göstermektedir. Bu eğriler yapının hasar analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılırlar. Kırılgenlık analizleri, kuvvetli yer hareketinden dolayı yapıda oluşabilecek riskli durumları ve ortaya çıkabilecek ekonomik kayıpları en aza indirmede önemli rol oynamaktadır.

Kırılgenlık eğrilerinin hesaplanmasında, şiddet ölçüleri, limit-hasar durumları, hasar ölçüleri tanımlamaları ve kırılgenlık fonksiyonları kullanılmaktadır.

3.3.1. Şiddet Ölçüsü

Şiddet Ölçüsü (IM) belirli bir limit durum olasılığının aşılması karşısında çizilen referans yer hareketi parametresidir [21].

Şiddet ölçüsü yapı sisteminde hasara sebep olabilecek ölçü derecesine göre seçilir. Araçsal ve deneysel olmak üzere iki ölçek sınıfı bulunmaktadır. Deneysel ölçek sınıfında Mercalli-Cancani-Sieberg Şiddet Ölçeği (MCS), Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Ölçeği Avrupa Makro Sismik Ölçek (EMS-98). Makro sismik şiddet ölçekleri yer alırken, araçsal şiddet ölçekleri yer sarsıntısının büyüklüğü veya ivme kaydının parametrelerinden oluşmaktadır. Araçsal şiddet ölçekleri yapıların hasar analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlıca araçsal şiddet ölçekleri; Spektral İvme (Sa), Spektral Yer Değiştirme (SD), Spektral Hız (SV), Maksimum Yer İvmesi (PGA), Maksimum Yer Değiştirmesi (PGD), Maksimum Yer Hızı (PGV) olarak seçilebilmektedir. Bu çalışmada maksimum yer ivmesi PGA şiddet ölçüsü olarak seçilmiştir. Limit durumu olasılığı PGA değerlerine bağlıdır deprem etkisi arttıkça binanın limit durumu aşma olasılığı artacaktır.

3.3.2. Limit durumlar ve hasar ölçüleri

Yapısal sistemlerin risk analizinde, limit durumları yapıda meydana gelebilecek hasar sınırlarını tanımlamada kullanılır. Hasar ölçütü olarak, yapının yer değiştirme kapasitesi limit durumu, göreceli kat ötelemesi, kalıcı deformasyon kullanılabilir ve hasar düzeyi, hasar ölçütünün limit durumuna bağlı olarak ifade edilir.

Yapısal Performans limit durumları; Göçme Önlenmesi (CP), Can Güvenliği (LS) ve Hemen Kullanım (IO) 'dur.

Hemen Kullanım (IO): Bu seviyede, deprem sonrası hasar, yapı güvenli kalır, kolayca onarılabilen yapıda hafif hasar meydana gelmiştir. Yapının temel sismik sistemleri, deprem öncesi tasarım sertliğini ve yapının mukavemetini korur.

Can Güvenliği (LS): Bu seviyede, yapının bazı unsurları ve bileşenleri ciddi şekilde hasar görür ve can ve mal kaybı riski vardır. Yapıyı onarmak mümkündür.

Göçme Önlenmesi (CP): Bu seviyede, deprem sonrası hasar, binanın kısmi veya toplam çöküşün eşiğinde olduğu seviyede olmalıdır. Yapı, Sismik yüke dayanıklı sistemin mukavemetinde ve sertliğinde önemli bir bozulmanın yanı sıra Kapsamlı hasara da maruz kalmıştır. Yapı, yeniden kullanım için güvenli değildir.

Bu çalışmada hasar ölçütü, tepe noktasına bağlı olarak yapının yatay ötelenmesi limit durum olarak alınarak belirlenmiştir. FEMA 356'ya göre, çökmeyi önleme (CP), can güvenliği (LS) ve hemen kullanım (IQ) dahil üç sınır durumu tanımlanacaktır. Limit durum ve hasar ölçütü analizleri bu çalışmada 4. bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

3.3.3. Hasar Eğrileri

Hasar olasılık eğrileri farklı yöntemlerle elde edilebilir [21].

Bu yöntemlerden birkaçı;

- Gözleme dayalı hasar olasılık eğrileri: Gözleme dayalı hasar olasılık eğrileri önceden yaşanan depremlerde gözlemlenmiş hasar istatistiklerine dayanarak oluşturulmaktadır. Bu yöntem, gözlenen sınırlı bir bölgeyi ele alır ve incelediği hasar istatistik bilgeleri genel sonuca varmak için yeterli değildir. Deprem mühendisliğinde ampirik kırılma fonksiyonları Kustu ve ark. (1982) ve Seew Merz (1991), santral ekipmanı için depremle ilgili kırılma fonksiyonları elde etmede kullanılmıştır.
- Yargıya dayalı hasar olasılık eğrileri: Bu eğriler verilerin yetersizliği durumunda, hasar istatistiği hakkında bilgi verebilecek uzmanlara danışılarak elde edilir. ATC-13 (Uygulamalı Teknoloji Konseyi 1985) California binaları için çok sayıda yargı temelli kırılma işlevi derlemektedir [22].
- Analitik hasar olasılık eğrileri: Deprem büyüklüğüne bağlı olarak, yapı modellerinin bilgisayar modelleme programları yardımıyla çözümlenmesinden hasar olasılık eğrileri elde edilebilmektedir. Bu durum farklı deprem büyüklüklerine maruz kalan yapının hasar istatistiğinin yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Hasar eğrilerine oluşturmada göz önünde bulundurulmuş, yapının görece kat öteleme ve yer değiştirme talebi parametreleri bilgisayar programlarında kurulan yapı modellerinde dinamik ya da statik doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle hesaplanabilmektedir. Analitik hasar olasılık eğrileri, diğer yöntemlerle kıyaslandığında istatistiksel olarak hasar düzeyi belirlemede daha detaylı bilgi vermektedir. Czarnecki'nin (1973) doktora tezi, yapı bileşeni kırılma işlevlerini yapısal analizle elde eden ilk eserlerden biridir [22].

- Birleştirilmiş hasar olasılık eğrileri: Bu yöntem yargıya dayalı, gözleme dayalı ve analitik yollarla elde edilen kırılgenlik hesaplamalarının birleştirilmesiyle kırılgenlik fonksiyonu elde etmektedir. Hazus-MH'nin deprem modülündeki kırılgenlik fonksiyonunun birçoğunun böyle hibrit bir yaklaşımla yaratıldığı söylenebilir. Her üç yöntem de uzun zamandır kullanılmasına rağmen, Porter ve ark. (2007), bunları kategorize eden ve kırılgenlik işlevi oluşturmak için bu yöntemlerden herhangi biri ile standart prosedürler sunmaktadırlar [22].

3.3.4. Kırılgenlik Fonksiyonlarının Oluşturulması

Hasar görebilirlik eğrileri ise, belirli bir deprem parametresine bağlı olarak (S_a , S_d , PGA vb.) belirli Deprem mühendisliğinde kırılgenlik fonksiyonu kavramı Kennedy ve ark. (1980) tarafından, bir nükleer santralin bir bileşeninin başarısızlık sıklığı ile bir depremde pik yer ivmesi arasında olasılıksal bir ilişki olarak tanımlanmakta kullanılmıştır. Kırılgenlik fonksiyonu, bir deprem veya başka bir yıkıcı olay sonucunda istenmeyen bir durumun meydana gelme olasılığını (tanımlanmış bir sınır durumuna ulaşma veya aşma) ifade eden bir matematiksel işlev olarak tanımlanabilir [22].

Dinamik yapısal analiz kullanılarak kırılgenlik fonksiyonlarının tahmini, sismik değerlendirme sürecinde önemli bir adımdır. Kırılgenlik fonksiyonları, bir takım yer hareketlerinin kullanılarak dinamik doğrusal olmayan analizleri sonucundaki verilerin kullanılmasıyla elde edilmektedir. Kırılgenlik fonksiyonu, bir binanın yıkılmadan önce tolere edebileceği deprem düzeyini ifade eder. Başka bir deyişle, kırılgenlik fonksiyonu, yer hareketlerinin şiddet ölçüsünün bir fonksiyonu olarak, bir yapının çökme olasılığını veya ilgili bazı diğer limit durumlarını belirler. Hasar seviyesine ulaşılması veya aşılması olasılığını ilişkilendiren ve deprem riskinin grafiksel olarak gösterimini sağlayan fonksiyonlardır.

Kırılgenlik fonksiyonları genel olarak alan hasarı gözlemleri, statik yapısal analizler gibi çeşitli yaklaşımlar kullanılarak türetilir [23]. Dinamik yapısal analizden geliştirilen analitik kırılgenlik fonksiyonlarında, seçilen IM düzeylerine bağlı olarak her seviyede gerçekleştirilen analizlerin sayısı ve bu analiz sonucunda elde edilen veriler toplanır [21].

Bir kırılmalık fonksiyonunu tanımlamak için genellikle lognormal kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılır [5]. Yer hareketinin yoğunluk ölçüsüne bağlı olarak bir yer hareketinin yapının hasar limitine ulaşma olasılığını denklem 3.1 ile açıklanmıştır.

$$P(C | IM = x) = \Phi \left(\frac{\ln(x / \theta)}{\beta} \right) \quad (3.1)$$

$P(C | IM = x)$, $IM = x$ ile bir yer hareketinin yapının çökmesine neden olma olasılığıdır. $\Phi()$ standart normal kümülatif dağılım fonksiyonudur (CDF). θ kırılmalık fonksiyonunun medyanıdır (% 50 çökme olasılığı olan IM seviyesi) ve β $\ln IM$ 'in standart sapmasıdır. Denklem 3.1, belirli bir yapının çökmesine neden olan yer hareketlerinin IM değerlerinin lognormal olarak dağıtıldığını göstermektedir. (ör. Ibarra ve Krawinkler 2005; Porter ve ark.2007; Bradley ve Dhakal 2008; Ghafory-Ashtiany ve ark.2010; Eads ve ark.2013). Denklem 1 içinde yer alan θ ve β değerleri yapı analizi sonuç elde edilir. Bu parametrelerin tahmini değerleri θ' and β' olarak ifade edilecektir [5].

Kırılmalık fonksiyonların elde edilmesinde Artımsal Dinamik Analiz (IDA), Kesikli Artımsal Dinamik Analiz ve Çoklu Çizgi Analiz yöntemleri kullanılmaktadır [5].

Bu çalışmada, kırılmalık fonksiyonları, bir takım yer hareketleri kullanılarak dinamik doğrusal olmayan analizlerle, Artımsal Dinamik Analizi yöntemiyle elde edilmiştir. Artımsal Dinamik Analiz (IDA) yöntemi, yapının kırılmalık fonksiyonu için kullanılacak olan her bir yer hareketinin ölçeklenerek yapıda yıkılmaya neden olduğu şiddet ölçüt düzeyini incelemektedir. [8]-[24]. Bu fonksiyonların elde edilmesinde yer hareketlerinin şiddet ölçüsünün bir fonksiyonu olarak maksimum yer ivmesi (PGA) kullanılmıştır.

3.4. Artımsal Dinamik Analiz Yöntemi (IDA)

Artımsal dinamik analiz (IDA), sismik yükler altında yapısal performansı daha kapsamlı bir şekilde tahmin etmek için kullanılan bir parametrik analiz yöntemidir [8]. Vamvatsikos (2002) [8] IDA'nın önemli bir potansiyele sahip olduğunu ve sadece performansa dayalı deprem mühendisliği için bir çözüm olmadığını belirtmektedir.

Başka bir deyişle, bunun ötesine geçme ve araştırmacılara sismik yük altında yapısal davranış hakkında daha doğru tahminler verme kabiliyetine sahiptir. IDA, seçilen bir yerdeki belirli bir yapı için performans sınır durumlarını belirterek yapının sismik davranışını tahmin eden bir yöntemdir. Yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilerek yapının elastik durumdan çöküşe kadar tüm yapısal davranışları incelenir. IDA prosedüründe, her biri birden fazla yoğunluk seviyesine ölçeklendirilmiş olan bir yapısal modele bir dizi seçilmiş yer hareketi kaydı uygulanır [8]. IDA, çok ölçekli yer hareketi kayıtları dizisi altında bir dizi doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi gerçekleştirerek limit durum kapasitesini ve sismik talebi tahmin edebilir. Seçilen yer hareketi sismik kapasiteyi değerlendirmek için yoğunluk, yapısal kapasite küresel çöküşe ulaşmaya kadar kademeli olarak artırılmaktadır. IDA zarflarını özetleyerek, üzerlerinde limit durumları tanımlayarak ve olasılıksal yapısal hasarın kırılma eğrileriyle sonuçları elde ederek, performans dayalı deprem mühendisliğinin amaçlarına ulaşılabilir [24]. IDA yönteminin temel amaçları aşağıda özetlenmiştir;

- Kuvvetli yer hareketi seviyelerinde yapısal davranışın daha iyi anlaşılması.
- Yapının sismik yapısal kapasite seviyesini tahmin etmek.
- Bir yer hareketi kaydının potansiyel düzey aralığına karşı tepki veya talep aralığını kapsamlı bir şekilde anlamak.
- Sismik yer hareketi yoğunluğunun artmasıyla yapısal tepki niteliğinin dağılımını gösterin.
- Farklı sismik yer hareketi kayıtlarının stabilitesini ve değişkenliğini göstermek için çoklu kayıt IDA eğrisini türetilir.

Artımsal Dinamik Analiz, her bir yer hareketi için yapıda göçme başlayacak şekilde şiddet ölçüsünü ölçeklendirerek analizlerin tamamlanmasını gerektirmektedir [8]-[25]. Belirlenen şiddet ölçüsüne göre ölçeklendirilen yer hareketiyle yapılan dinamik doğrusal olmayan analiz yöntemiyle önceden tanımlanan hasar parametresinde değişim ve limit durumları incelenir. Belirli bir analiz için yer hareketinin göçmeye neden olup olmadığını belirleyen bir kriter vardır. Bu çalışmada hasar parametresi olarak yapıdaki katlar arasındaki maksimum öteleme değeri ele alındı.

IDA yöntemiyle, seçilen yer hareketi yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak Göçme Önlenmesi, Can Güvenliği ve Hemen Kullanım açısından beklenen hasarı gösteren kırılmalık eğrileri elde edilir. Artımsal Dinamik analizleri sonucunda elde edilen kırılmalık eğrileriyle, verilen bir şiddet ölçüsü seviyesinde yapının tanımlanan hasar limitine ulaşma olasılığı hesaplanmaktadır. Kırılmalık fonksiyonu, yıllık ortalama yapısal göçme oranını hesaplamak için bir yer hareketi tehlike eğrisi ile de birleştirilebilir [26][27].

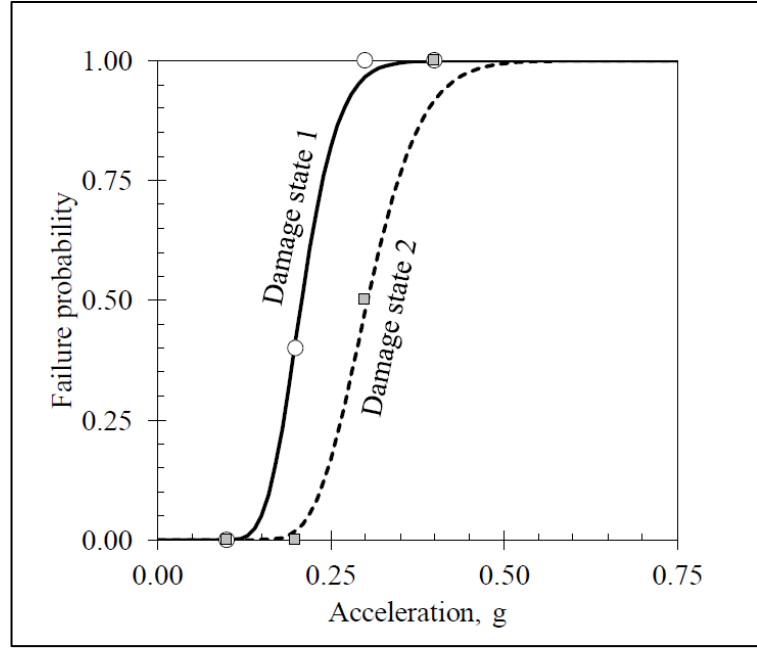
Kırılmalık eğrilerinde yatay eksen seçilen deprem parametresini, düşey eksen ise hasarın önceden belirlenmiş hasar seviyelerine erişmesinin veya onları aşmasının birikimli olasılığını göstermektedir [28]. Kırılmalık fonksiyonu parametreleri, her bir yer hareketinin çökmenin başlangıcına ilişkin şiddet ölçüsü değerlerinin logaritmaları alınarak ve bunların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak tahmin edilebilir [26]. Depremde hasar-olasılık dağılımının lognormal dağılıma uyduğu varsayımına bağlı olarak hasar görülebilirlik eğrileri genel olarak lognormal birikimli dağılım fonksiyonu ile ifade edilir [6].

Kırılmalık fonksiyonu parametreleri, her bir yer hareketinin çökmenin başlamasıyla ilişkili IM değerinin logaritmaları alınarak ve ortalama ve standart sapmalarının hesaplanmasıyla bu verilerden tahmin edilebilir [26]. Belirli bir IM düzeyinde (x) çökme olasılığı, çökmenin x'ten daha düşük bir seviyede meydana geldiği kayıtların oranı olarak tahmin edilebilir. Bu olasılıklar kırılmalık eğrilerinde ampirik bir kümülatif dağılım fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

$$\ln \theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln IM_i \quad (3.2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln (IM_i / \theta))^2} \quad (3.3)$$

Denklem 3.2 ve denklem 3.3'te bulunan n , göz önünde bulundurulmuş yer hareketlerinin sayısı ve IM_i , i 'nci yer hareketinin sonucu oluşan çökmenin başlangıcı ile ilişkili IM değeridir. $\ln \theta$ ve β , $\ln IM$ değerlerini ifade eden normal dağılımın, sırasıyla, ortalama ve standart sapmasıdır. IM 'nin lognormal olarak dağılmış olması durumunda $\ln IM$ 'nin ortalamasının IM 'nin medyanına eşittir. Bulunan değerlere uyan kırılmalık eğrisi örneği aşağıdaki Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 6: Kırılgnlık eğrisi.

Belirlenen hasar durumlarına bağlı olarak elde edilebilecek kırılgnlık eğrisi örneği Şekil 3.6'daki gibidir. FEMA P-58[29], kırılgnlık fonksiyonları seti içermektedir. FEMA P-58 kırılgnlık fonksiyonlarının çoğu deprem sonrası gözlemlerden veya laboratuvar deneylerinden elde edilir. Bazıları yapısal analize, bazıları da uzman görüşüne dayanmaktadır. HAZUS-MH teknik el kitabı [25] 4 farklı hasar durumunda (hafif, orta, kapsamlı, binadaki kaymaya duyarlı yapısal olmayan tüm bileşenlere olasılıksal hasar tanımlayan bir dizi bütün bina kırılgnlık fonksiyonu vardır.

4. SAYISAL ÖRNEK

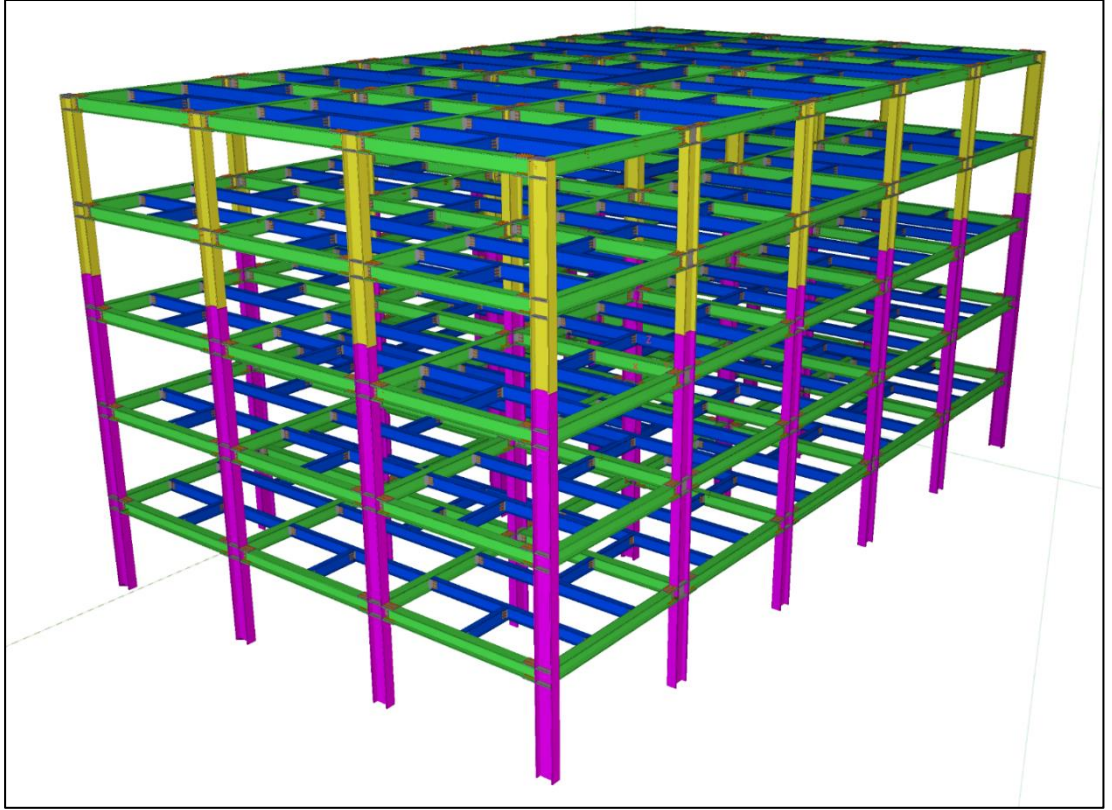
Bu bölümde kullanılan model, ‘AFAD Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Örnekler Kitabı (2018, Ankara)’nın 9A numaralı örneğinden alınmıştır. 5 katlı bir çelik işyeri binasının düşey ve yatay yükler altında analizi ve seçilen elemanların Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği (TÇY) [18] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) [12] uyarınca kontrolleri açıklanacaktır. TÇY’de prensipleri verilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yaklaşımı benimsenmiştir. Burkulma boyu yöntemi kullanılmıştır ve raporlanan tüm iç kuvvetler ikinci mertebe analizi sonucu elde edilmiştir.

4.1. Yapı Bilgileri

Üç boyutlu genel sistem görünüşü Şekil 4.1 'de, normal kat planı Şekil 4.2'de, tipik sistem en kesiti Şekil 4.3'te verilen beş katlı işyeri binasının her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi, TBDY 9.3'te tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen, süreklilik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerden oluşmaktadır.

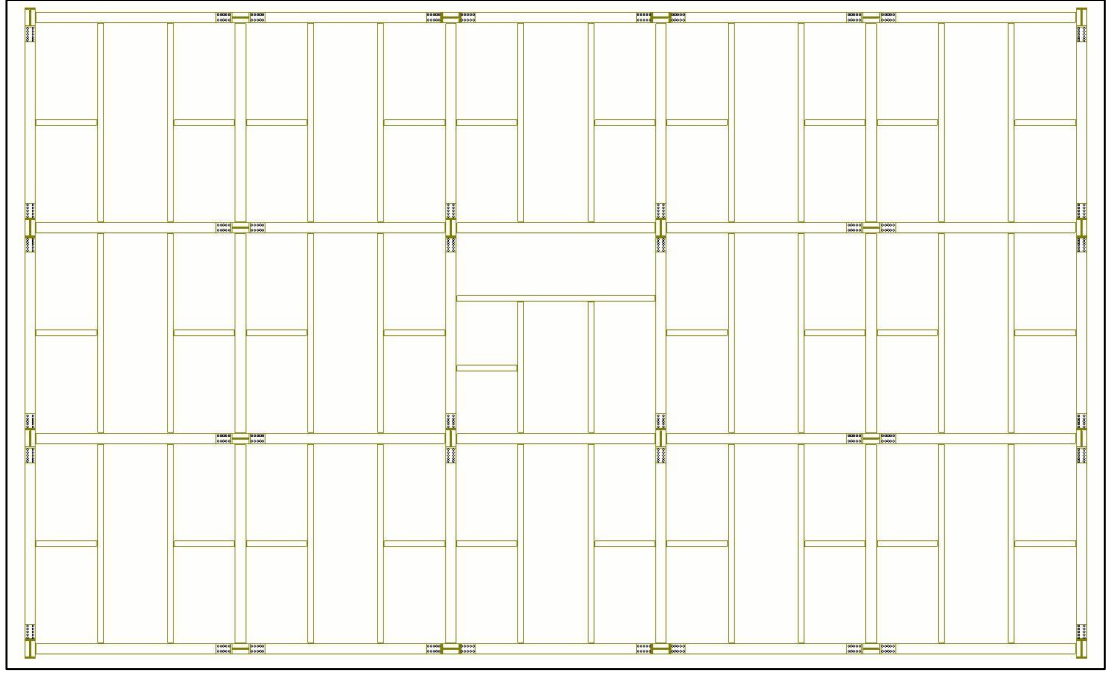
Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez sac levhalar üzerinde yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmektedir. Düzlemi içinde rijit bir diyafram oluşturan betonarme döşemenin çelik kirişlere bağlantısı için, boyutları ve yerleşimi konstrüktif olarak seçilen başlıklı çelik ankrajlardan yararlanılmıştır. Bu çalışmada çelik kirişlerin, düşey ve yatay yükler altında, betonarme döşeme ile kompozit olarak davranması hesaba katılmamaktadır.

İki metre aralıkla teşkil edilen ikincil ara kirişler, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmaktadır. Akslardaki ana çerçeve kirişlerinin bağlantısı ise, kolonların zayıf eksenleri doğrultusunda mafsallı, kuvvetli eksenleri doğrultusunda rijittir. Kolonlar +0.00 kotunda, temele ankastre olarak mesnetlenmektedir.

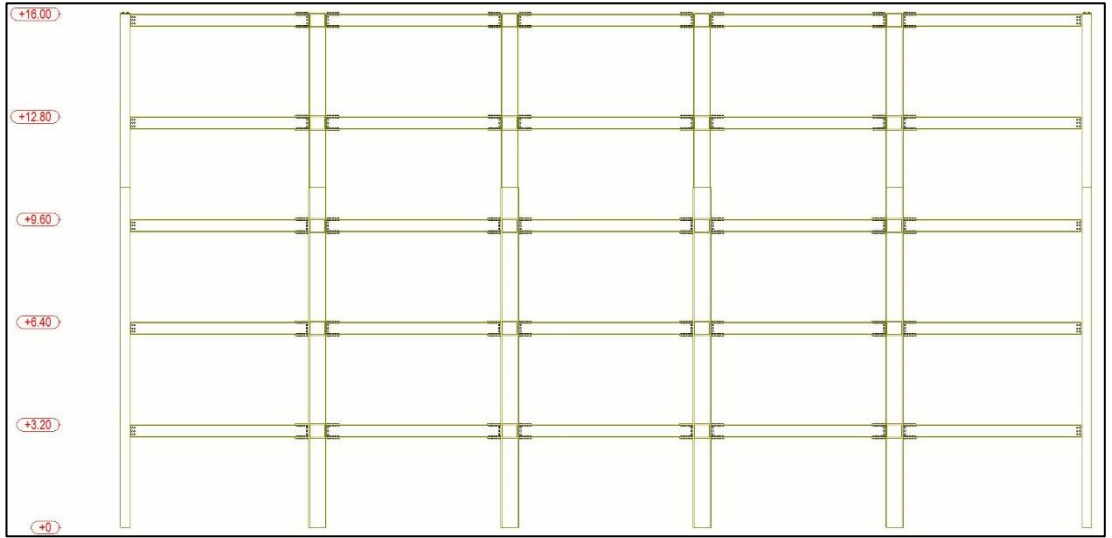


Şekil 4. 1 Üç boyutlu sistem görünüşü

Yapının kiriş elemanları S275 çelik sınıfına ($F_y=275 \text{ MPa}$ ve $F_u=430 \text{ MPa}$) kolon elemanları S355 çelik sınıfına ($F_y=355 \text{ MPa}$ ve $F_u=510 \text{ MPa}$) aittir. Taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit profilleri Tablo 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4. 2 Normal kat planı



Şekil 4. 3 Tipik sistem en kesiti (A aksı çerçevesi).

Tablo 4. 1: Taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit profilleri.

Taşıyıcı Sistem Elemanı	En kesit Profili
İkincil kirişler (tüm katlarda)	IPE 360
A, B, C, D Aksları ana kirişleri (tüm katlarda)	HE 400 A
2, 3, 4, 5 Aksları ana kirişleri (tüm katlarda)	HE 400 A
1,6 Aksları ana kirişleri (1. ve 2. katta)	HE 450 A
1,6 Aksları ana kirişleri (3., 4. ve 5. katta)	HE 400 A
+0.00 / +7.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 550 B
+7.00 / +16.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 550 A

Yapı Kocaeli ilinde konumlanmakta olup koordinat ve zemin sınıfı bilgileri Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4. 2: Yapıya ait koordinat ve zemin sınıfı bilgileri.

Enlem	40.830998
Boylam	29.422056
Yerel Zemin Sınıfı	ZC

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak elde edilen spektral ivme katsayıları ve tasarım spektral ivme katsayıları Standart Deprem Yer Hareketi (DD-2) ve Sık Deprem Yer Hareketi (DD-3) için Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Tablo 4. 3: Spektral ivme katsayıları.

	DD-2	DD-3
S_s	1.227	0.48
S_1	0.337	0.124
S_{DS}	1.4724	0.624
S_{D1}	0.5055	0.186
T_A	0.07s	0.06s
T_B	0.34s	0.3s

TBDY Tablo 3.1'e göre işyeri amaçlı kullanılacak olan yapı için Bina Kullanım Sınıfı BKS=3 olarak elde edilir. Bu kullanım sınıfına ait bir bina için Bina Önem Katsayısı $I=1.0$ hesaplarda kullanılmalıdır. TBDY Tablo 3.2 kullanılarak BKS=3 ve $0.75 \leq S_{SD}$ durumu için Deprem Tasarım sınıfı DTS=1 elde edilir. TBDY Tablo 3.3 kullanılarak DTS=1 ve $10.5 \leq H_N=16.0 \leq 17.5$ için Bina Yükseklik Sınıfı BYS=6 elde edilir. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar için TBDY Tablo 4.1'de verilen $BYS \geq 3$ koşulu sağlanmaktadır. TBDY Tablo 4.4'e göre DTS=1 ve $BYS \geq 4$ koşulları sağlandığı için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılabilir.

4.2. Yükle ve Yükle Birleşimleri

4.2.1. Düşey Yükle ve İlgili Yükle Birleşimleri

Yapıya etkiyen düşey yükle Tablo 4.4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. 4: Düşey yükle.

Çatı Döşemesi	Çatı Kaplaması	1	kN/m ²
	Trapez Sac+Betónarme Döşeme	2.1	kN/m ²
	Asma Tavan+Tesisat+İzolasyon	0.7	kN/m ²
	Çelik Kontrüksiyon	0.74	kN/m ²
	Toplam (G)	4.54	kN/m ²
	Çatı Hareketli Yüğü (Q _r)	0.8	kN/m ²
	Çatı Kar Yüğü (S)	1.2	kN/m ²
Normal Kat Döşemesi	Kaplama	0.5	kN/m ²
	Trapez Sac+Betónarme Döşeme	2.1	kN/m ²
	Asma Tavan+Tesisat	0.5	kN/m ²
	Bölme Duvarları	1	kN/m ²
	Çelik Konstrüksiyon (Kolonlar Dahil)	1.06	kN/m ²
	Toplam (G)	5.16	kN/m ²
	Hareketli Yüğü (Q)	2.0	kN/m ²
	Dış Duvar Yüğü	3.0	kN/m

TÇY 5.3.1'e göre YDKT'de düşey yükler için 3 farklı birleşim tanımlanmaktadır. Bunlar denklem 4.1, 4.2 ve 4.3'teki gibi özetlenebilir.

$$1.4G + N_{1X} + N_{1Y} \quad (4.1)$$

$$G + Q \quad (4.2)$$

$$G + (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (4.3)$$

TÇY 6.2.2 uyarınca geometrik ön kusurların modellenmesi için fiktif yükler kullanılmıştır.

TÇY Denk. (6.1)'e göre fiktif yükler YDKT yük birleşimleri ile belirlenen, (i) katı döşemesine etkiyen Y_i yükü kullanılarak denklem 4.4'teki gibi hesaplanmıştır ve hesap detayları Tablo 4.5'te verilmektedir.

$$N_i = 0.002\alpha Y_i \quad (4.4)$$

Tablo 4. 5: Düşey yük birleşimleri için fiktif yüklerin hesaplanması.

Kat	G	Q Q _r	S	G _d	Y _i Birleşim (1) (kN)	N _{1X} , N _{1Y} (kN)	Y _i Birleşim (2a) (kN)	N _{2aX} , N _{2aY} (kN)	Y _i Birleşim (2b) (kN)	N _{2bX} , N _{2bY} (kN)
Çatı	3.2	0.8	1.2	0	3432.68	6.87	3979.10	7.96	3266.30	6.53
4	3.2	2	0	3	4303.06	8.61	3688.34	7.38	5416.34	10.83
3	3.2	2	0	3	4303.06	8.61	3688.34	7.38	5416.34	10.83
2	3.2	2	0	3	4303.06	8.61	3688.34	7.38	5416.34	10.83
1	3.2	2	0	3	4303.06	8.61	3688.34	7.38	5416.34	10.83

4.2.2. Deprem Yükleri ve İlgili Yük Birleşimleri

4.2.2.1. Binanın hâkim doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, TBDY 4.7.3'e göre binanın her iki deprem doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyotları TBDY denk. (4.26) ile hesaplanabilir. Bu denklem, denklem 4.5'te verilmiştir.

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2} \quad (4.5)$$

Bu denklemde, m_i toplam kat kütlelerini göstermektedir ve TBDY Denk.(4.16) kullanılarak Tablo 4.6'da detaylandırılan şekilde elde edilebilir. Hareketli yük katılım katsayısı işyeri türü bina için TBDY Tablo 4.3 kullanılarak $n=0.3$ olarak belirlenebilir. Benzer şekilde çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u göz önüne alınmıştır.

Tablo 4. 6: Kat ağırlıkları ve kat kütleleri.

Kat	Alan (m ²)	evre (m)	G (kN)	Q Qr (kN)	S (kN)	Gd (kN)	Wi (kN)	mi (kNs ² /m)
atı	540	96	4.54	0.8	1.2	0	2775.91	283.06
4	540	96	5.16	2	0	3	3397.62	346.46
3	540	96	5.16	2	0	3	3397.62	346.46
2	540	96	5.16	2	0	3	3397.62	346.46
1	540	96	5.16	2	0	3	3397.62	346.46
						Toplam	16366.37	1668.91

TBDY Denk.(4.26)'daki F_{fi} fiktif kuvvetleri kat kütleleri ve kat yükseklikleri ile orantılı kuvvetlerdir ve denklem 4.6 ile hesaplanabilir.

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{iE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (4.6)$$

TBDY 4.7.3.1' e göre Denk.(4.23)'te parantez içinde verilen yük için herhangi bir değer alınabilir. Bu örnekte bu değer 1000 kN olarak alınacaktır. Bu şekilde hesaplanan F_{fi} fiktif kuvvetleri Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'in ikinci kolonunda verilmişlerdir.

Tablo 4. 7: Fiktif yüklerden oluşan kat yer değiştirmeleri (X yönü).

Kat	F_{fi} (kN)	d_{fi} (m)	m_i (kNs ² /m)	$m_i d_{fi}^2$	$F_{fi} d_{fi}$
Çatı	290.03	0.0256	283.06	0.19	7.42
4	283.99	0.0222	346.46	0.17	6.32
3	212.99	0.0170	346.46	0.10	3.62
2	141.99	0.0103	346.46	0.04	1.46
1	71.00	0.0037	346.46	0.00	0.26
Toplam				0.498	19.075

Tablo 4. 8: Fiktif yüklerden oluşan kat yer değiştirmeleri (Y yönü).

Kat	F_{fi} (kN)	d_{fi} (m)	m_i (kNs ² /m)	$m_i d_{fi}^2$	$F_{fi} d_{fi}$
Çatı	290.03	0.0243	283.06	0.17	7.04
4	283.99	0.0209	346.46	0.15	5.92
3	212.99	0.0157	346.46	0.08	3.33
2	141.99	0.0093	346.46	0.03	1.33
1	71.00	0.0034	346.46	0.00	0.24
Toplam				0.437	17.865

(X) ve (Y) doğrultularında kat kütle merkezine etkitilen F_{fi} fiktif kuvvetleri altında analizi ile elde edilen d_{fi} yatay yer değiştirmeleri her bir doğrultu için Tablo 4.7

ve Tablo 4.8'in üçüncü kolonunda görülmektedir. Bu büyüklükler denklem 4.5'te yerlerine konularak yapı sisteminin (X) ve (Y) doğrultularındaki hakim doğal periyotları hesaplanır. Bu hesaplar 4.7 ve Tablo 4.8 üzerinde gösterilmiştir.

(X) doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodu

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2} = 2\pi \left(\frac{0.498}{19.075} \right)^{1/2} = 1.015 \text{ s}$$

Yapı analizi modelinden elde edilen hâkim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)} = 1.015 \text{ s}$ dir.

(Y) doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodu

$$T_p^{(Y)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(Y)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(Y)} d_{fi}^{(Y)}} \right)^{1/2} = 2\pi \left(\frac{0.437}{17.865} \right)^{1/2} = 0.98 \text{ s}$$

Yapı analizi modelinden elde edilen hâkim doğal titreşim periyodu $T_p^{(Y)} = 0.98 \text{ s}$ dir.

TBDY 4.7.3.2'ye göre binanın denklem 4.5 ile hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodunun deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri ampirik hâkim doğal titreşim periyodunun 1.4 katından daha fazla alınmayacaktır. Ampirik hakim doğal titreşim periyodu TBDY Denk.(4.27) ile denklem 4.7'deki gibi hesaplanabilir.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} = 0.08 \times 16^{3/4} = 0.64 \text{ s} \quad (4.7)$$

$T_p^{(X)} = 1.015 > (1.4)(0.64) = 0.896 \text{ s}$ olduğu için $T_p^{(X)} = 0.896 \text{ s}$ kullanılacaktır.

$T_p^{(Y)} = 0.98 > (1.4)(0.64) = 0.896 \text{ s}$ olduğu için $T_p^{(Y)} = 0.896 \text{ s}$ kullanılacaktır.

4.2.3. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Hesabı

TBDY Tablo 4.1 'e göre moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeve sistemler için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$ olarak tanımlanmıştır. TBDY 4.2.1 'e göre deprem yükü azaltma katsayısı denklem 4.8'deki gibi belirlenebilir.

$$T_p > T_B \text{ için } R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1} = 8 \quad (4.8)$$

TBDY 4.7.1 'e göre, göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) denklem 4.9'daki gibi hesaplanacaktır.

$$V_{tE}^{(X)} = m S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.9)$$

Binanın iki yönü için de hâkim doğal titreşim periyodu aynı olduğu için her iki yön için toplam eşdeğer deprem yükü benzer şekilde hesaplanabilir.

Yatay elastik tasarım spektral ivmesi denklem 4.10'daki gibi hesaplanacaktır.

$$T_B = 0.35s < T = 0.896s < T_L = 6s \text{ için } S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.505}{0.89} = 0.56 \quad (4.10)$$

Azaltılmış tasarım spektral ivmesi denklem 4.11'deki gibi hesaplanacaktır.

$$S_{aR} = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} = \frac{0.56}{8} = 0.07 \quad (4.11)$$

Eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvveti

$$V_{tE}^{(X)} = V_{tE}^{(Y)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) = (1668.91)(0.07)(9.81) = 1154.18 \text{ kN} \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(X)} = V_{tE}^{(Y)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) = 1154.18 \text{ kN} \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(X)} = (0.04)(1668.91)(1)(1.472)(9.81) = 963.98 \text{ kN}$$

4.2.4. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

TBDY 4.7.2'ye göre toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir. Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü her iki doğrultu için denklem 4.12'deki gibi hesaplanır.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(Y)} = 0.0075 N \Delta V_{tE}^{(X)} = (0.0075)(5)(1154.18) = 43.28 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_{NE} tepe kuvveti dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, binanın katlarına TBDY Denk.(4.23) ile dağıtılacaktır. Bu denklem, denklem 4.13'te gösterilmiştir.

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (4.13)$$

(X) ve (Y) doğrultuları için

$$F_{iE}^{(X)} = F_{iE}^{(Y)} = (1154.18 - 43.28) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j}$$

denklemleri ile hesaplanan F_{iE} eşdeğer deprem yükleri, Tablo 4.9'da verilmiştir. En üst kat döşemesine etkiyen eşdeğer deprem yükü tepe kuvvetini de içermektedir.

Tablo 4. 9: Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	$m_i H_i / \sum m_i H_i$	$F_{iE}^{(X)} = F_{iE}^{(Y)} \text{ (kN)}$
Çatı	0.290	409.33
4	0.284	353.34
3	0.213	265.01
2	0.142	176.67
1	0.071	88.34
Toplam	1.000	1292.69

4.2.4.1. Deprem yüklerinin etkiye noktaları

TBDY 4.5.10'a göre, burulma düzensizliğinin bulunmadığı binalarda katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin, ek dış merkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile, göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki bina genişliğinin +0/05'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanması öngörülmektedir. (X) ve (Y) doğrultularındaki ek dış merkezlikler

$$e_x = (\pm 0.05)(30) = \pm 1.50 \text{ m} \quad e_y = (\pm 0.05)(18) = \pm 0.9 \text{ m}$$

incelenen bu binada kat döşemelerinin simetrik olması ve yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışması nedeniyle, eşdeğer deprem yüklerinin sadece kütle merkezinin $\pm 5\%$ ek dış merkezlik kadar kaydırıldığı noktalara etkitilmesi yeterli olmakta, ayrıca kat kütle merkezine uygulanması gerekmemektedir.

4.2.5. İlgili Yük Birleşimleri

TBDY 4.4.4'e göre tanımlanan iki yük birleşiminin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu yük birleşimleri denklem 4.14 ve 4.15'te gösterilmiştir.

$$1.2G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (4.14)$$

$$0.9G + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (4.15)$$

Yatayda birbirine dik doğrultudaki deprem etkilerinin birleştirilmesi için TBDY 4.4.2'nin kuralları geçerlidir. Yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularında tanımlanan depremlerden oluşan deprem etkileri denklem 4.16 ve 4.17 ile birleştirilecektir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (4.16)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (4.17)$$

Düşey deprem etkisi TBDY 4.4.3'e göre hesaplanacaktır. Bu binada TBDY 4.4.3.1 'de belirtilen elemanların dışında bir taşıyıcı sistem bulunduğundan düşey deprem etkisi özel bir hesap yapılmaksızın denklem 4.18 vasıtasıyla yaklaşık olarak hesaplanacaktır.

$$E_d^{(Z)} \approx (2 / 3) S_{DS} G = \frac{2}{3} 1.472 = 0.98G \quad (4.18)$$

Özet olarak denklem 4.19 ve 4.20'de verilen yük birleşimlerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

$$1.2G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + (0.3)(0.98G) = 1.294G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} \quad (4.19)$$

$$0.9G + E_d^{(H)} - 0.3 \times 0.98G = 0.706G + E_d^{(H)} \quad (4.20)$$

Birbirine dik doğrultuda deprem etkilerini içerecek şekilde denklem 4.21'den 4.28'e kadar yük birleşimleri ifade edilebilir.

$$1.294G + Q + 0.2S \pm E_d^{(X1)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (4.21)$$

$$1.294G + Q + 0.2S \pm E_d^{(X2)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (4.22)$$

$$1.294G + Q + 0.2S \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y1)} \quad (4.23)$$

$$1.294G + Q + 0.2S \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y2)} \quad (4.24)$$

$$0.706G \pm E_d^{(X1)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (4.25)$$

$$0.706G \pm E_d^{(X2)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (4.26)$$

$$0.706G \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y1)} \quad (4.27)$$

$$0.706G \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y2)} \quad (4.28)$$

Burada

$E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$: (X) ve (Y) doğrultusunda kat kütle merkezine uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler,

$E_d^{(X1)}$ ve $E_d^{(X2)}$: (X) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler,

$E_d^{(Y1)}$ ve $E_d^{(Y2)}$: (Y) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetlerdir.

TBDY 9.2.6'ya göre, yönetmeliğin gerekli gördüğü yerlerde, çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının tasarımında arttırılmış deprem yüklemeleri göz önüne alınacaktır. Arttırılmış deprem yüklemelerinde, deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetler D (dayanım fazlalığı) büyütme katsayıları ile çarpılarak artırılır. TBDY Tablo 4.1 'e göre, süneklik düzeyi yüksek çerçeveler için Dayanım Fazlalığı D=3 değerini almaktadır.

4.3. Yapı Analizleri

Yapı sisteminin yukarıdaki bölümlerde hesaplanan düşey yükler ile deprem yükleri altında analizi yapılmış ve tüm yük birleşimleri için eleman iç kuvvetleri elde edilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde, analiz sonuçları değerlendirilerek, görelî kat ötelenmeleri ve ikinci mertebe etkileri kontrol edilecektir.

4.3.1. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Görelî kat ötelemelerinin kontrolü, TBDY 4.9'a göre yapılacaktır. Herhangi bir kolon için, ardışık iki kat arasındaki yatay yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelenmesi denklem 4.29 ile hesaplanır.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (4.29)$$

Bu denklemde u_i ve u_{i-1} her bir deprem doğrultusu için binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında, azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yatay yer değiştirmeleri göstermektedir. Bu örnekte, her bir deprem doğrultusu için u_i yer değiştirmelerinin en büyük değerleri, sayısal değerleri Tablo

4.9'da verilen ve %5 ek dış merkezlikle uygulanan azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelmektedir.

Her bir deprem doğrultusunda, binanın i'inci katındaki kolonlar için etkin görelî kat ötelenmesi denklem 4.30 ile hesaplanacaktır.

$$\delta_i^{(x)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(x)} \quad (4.30)$$

(X) ve (Y) doğrultularında %5 ek dış merkezlikle uygulanan azaltılmış $E_d^{(X1)}$ ve $E_d^{(Y1)}$

Deprem yükleri altında, yapı sisteminin analizi ile elde edilen u_i ve u_{i-1} yatay yer değiştirmelerinin her katta aldığı değerler Tablo 4.10 ve Tablo 4.11 'in üçüncü kolonunda, ardışık katlar arasındaki azaltılmış görelî ötelemeleri ise tabloların dördüncü kolonunda verilmiştir. Hesaplarda ana deprem doğrultusundaki deprem yüklerinden dolayı, bu doğrultuya dik doğrultudaki yer değiştirmelerin bileşke yer değiştirmeye etkisi terkedilmiştir. Her iki doğrultudaki simetri nedeniyle, burulma düzensizliği bulunmayan bu binada, söz konusu varsayımın yer değiştirmelere etkisi %1 'den daha küçük olmaktadır.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın her katındaki azaltılmış görelî kat ötelemeleri söz konusu deprem doğrultusundaki deprem yükü azaltma katsayısının bina önem katsayısına oranı, R/I ile çarpılarak etkin görelî kat ötelemeleri hesaplanmış ve tabloların beşinci kolonuna yazılmıştır. Bu değerlerin kat yüksekliklerine oranları ise tablo 4.10 ve 4.11'in son kolonunda yer almaktadır.

Tablo 4. 10: (X) Doğrultusunda görelî kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	h_i (m m)	U_{ix} (m m)	Δ_{ix} (m m)	δ_{ix} (m m) = $R / I \times \Delta_{ix}$	δ_{ix} / h_i
Çatı	3200	17.56	3.82	30.56	0.00955
4	3200	13.74	3.82	30.56	0.00955
3	3200	9.92	4.67	37.36	0.01168
2	3200	5.25	3.78	30.24	0.00945
1	3200	1.47	1.36	10.88	0.00340

Tablo 4. 11: (Y) Doğrultusunda görelî kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	h_i (m m)	U_{iy} (m m)	Δ_{iy} (m m)	δ_{iy} (m m) = $R / I_y \Delta_{iy}$	δ_{iy} / h_i
Çatı	3200	17.81	0.24	1.92	0.00060
4	3200	17.57	5.13	41.04	0.01283
3	3200	12.44	6.06	48.48	0.01515
2	3200	6.38	4.70	37.60	0.01175
1	3200	1.68	1.56	12.48	0.00390

Tablolardan görüldüğü gibi δ_i / h_i oranlarının en büyük değerleri, (X) ve (Y) doğrultularında

$$(\delta_{ix} / h_i)_{maks} = 0.011675 \text{ ve } (\delta_{iy} / h_i)_{maks} = 0.01515$$

olmaktadır. TBDY 4.9.1.3 (b)'ye göre gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılmış, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda denklem 4.31'de verilen koşul sağlanmalıdır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,maks}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016\kappa \quad (4.31)$$

λ katsayısı, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır. κ katsayısı ise çelik binalar için 0.5 alınacaktır. Buna göre katsayısı her iki doğrultu için denklem 4.32 ve 4.33'teki gibi hesaplanabilir.

DD-2 deprem yer hareketi için

$$T_B = 0.35s < T = 0.896s < T_L = 6s \text{ için } S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.5055}{0.896} = 0.56 \quad (4.32)$$

DD-3 deprem yer hareketi için

$$T_B = 0.35s < T = 0.896s < T_L = 6s \text{ için } S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.186}{0.896} = 0.207 \quad (4.33)$$

$$\lambda = \frac{0.207}{0.564} = 0.367$$

$$\frac{\delta_{i,maks}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016 \frac{0.5}{0.367} = 0.0218$$

$(\delta_{iy} / h_i)_{maks} = 0.01515 < 0.0218$ koşulu sağlandığından görelî kat ötelemeleri TBDY koşulunu sağlamaktadır.

4.3.2. İkinci Mertebe Etkileri

TBDY 4.9.2 uyarınca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri denklem 4.34'teki gibi hesaplanabilir.

$$\theta_{II,j}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (4.34)$$

Bu bağıntıda

$(\Delta_i)_{ort}$: i 'inci kat için yukarıdaki bölümde tanımlanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini,

V_i : göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın i 'inci katına etkiyen kat kesme kuvvetini,

h_i : binanın i 'inci katının kat yüksekliğini,

w_k : binanın k 'ıncı katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını göstermektedir.

Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı bu binada $E_d^{(X1)}$ ve $E_d^{(X2)}$ yüklemelerinden dolayı kat kütle merkezinde meydana gelen azaltılmış görelî kat ötelemelerinin ortalaması, (X) doğrultusu için $(\Delta_i)_{ort}$ olarak alınabilmektedir. Benzer durum (Y) doğrultusu için de geçerlidir. Her bir kat için hesaplanan ikinci mertebe gösterge değerleri Tablo 4.12'de sunulmaktadır.

Tablo 4. 12: İkinci mertebe gösterge değerleri.

Kat	h_i (m m)	V_i (kN)	$\sum_{k=i}^N w_k$	$(\Delta_{ix})_{ort}$ (m m)	$(\Delta_{iy})_{ort}$ (m m)	$\theta_{II,i}^{(X)}$	$\theta_{II,i}^{(Y)}$
Çatı	3200	409.33	2775.91	4.51	4.59	0.010	0.010
4	3200	762.68	6173.53	6.95	6.89	0.018	0.017
3	3200	1027.68	9571.14	8.76	8.24	0.025	0.024
2	3200	1204.35	12968.7	8.53	7.69	0.029	0.026
1	3200	1292.69	16366.3	4.79	4.42	0.019	0.017

TBDY 4.9.2.2'ye göre tüm katlar için hesaplanan ikinci mertebe gösterge değerlerinin maksimum değeri aşağıda verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında göz önüne alınması gereklidir (denklem 4.35).

$$\theta_{II,maks}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (4.35)$$

Bu durumda yerel ikinci mertebe etkileri, yürürlükteki çelik yönetmeliğine göre eleman tasarımında göz önüne alınabilir. Çelik binalar için $C_h=1$ alınacaktır.

$$\theta_{II,maks}^{(X)} = 0.029 \leq 0.12 \frac{3}{(1)(8)} = 0.045 \quad \theta_{II,maks}^{(Y)} = 0.026 \leq 0.12 \frac{3}{(1)(8)} = 0.045$$

koşulunu sağladığından, ikinci mertebe etkilerinin TÇY'ye göre değerlendirilmesi yeterlidir.

4.3.3. Düzensizliklerin Kontrolü

TBDY 3.6 uyarınca düzensizlik kontrolleri yapılacaktır. Bina kat planlarında çıkıntılarının olmaması, döşeme süreksizliklerinin ve döşemede büyük boşlukların bulunmaması, planda yük taşıyıcı sistemlerin düzenli olarak yerleşmesi nedeniyle sadece burulma düzensizliği kontrolü yapılacaktır. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den küçük olduğu durumda burulma düzensizliği ihmal edilebilir. $E_d^{(X1)}$ ve $E_d^{(Y1)}$ Yüklemelerinden dolayı kat kütle merkezinde meydana gelen azaltılmış görelî kat ötelemelerinin ortalaması ve maksimum değerleri kullanılarak burulma düzensizliği katsayıları Tablo 4.13 'te hesaplanmıştır.

Tablo 4. 13: Burulma düzensizliği katsayıları.

Kat	$(\Delta_{ix})_{ort}$ (m m)	$(\Delta_{ix})_{maks}$ (m m)	(X)Yönü η_{bi}	$(\Delta_{iy})_{ort}$ (m m)	$(\Delta_{iy})_{maks}$ (m m)	(Y) Yönü η_{bi}
Çatı	4.51	4.67	1.04	4.59	5.06	1.10
4	6.95	7.20	1.04	6.89	7.61	1.10
3	8.76	9.06	1.03	8.24	9.1	1.10
2	8.53	8.80	1.03	7.69	8.51	1.11
1	4.79	4.96	1.04	4.42	4.89	1.11

Burulma düzensizliği katsayıları her iki deprem yönünde ve her katta 1.2 değerinden küçük olduğu için planda düzensizlik durumları mevcut değildir.

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizliklerin ve ani rijitlik değişimlerinin olmaması ve kat kütlelerinin yapı yüksekliği boyunca değişiklik göstermemesi nedeniyle, düşey doğrultuda düzensizlik durumları mevcut değildir.

4.4. Boyutlandırma Hesapları

4.4.1. İkincil Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması

Ana çerçeve kirişlerine mafsallı olarak mesnetlenen ve deprem yükleri etkisinde olmayan normal kat ikincil döşeme kirişlerinin düşey yükler 1.2G+1.6Q yüklemesi altında dayanım ve G+Q yüklemesi altında sehim kontrolleri yapılacaktır. Düşey sabit ve hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$M_u = 84.5 \text{ kNm}; \quad V_u = 56.3 \text{ kN}$$

Seçilen kiriş kesiti IPE360 için en kesit karakteristikleri:

$$d=360 \text{ mm}, h=298.6 \text{ mm}, b_f=170 \text{ mm}, t_w=8 \text{ mm}, t_f=12.7 \text{ mm}, W_{px}=1019 \times 10^3 \text{ mm}^3, I_x=1019 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi. TÇY 5.4 uyarınca yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması denklem 4.36 ve 4.37'ye göre yapılır.

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{170}{(2)(12.7)} = 6.7 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{275}} = 10.2 \quad (4.36)$$

Gövde parçası (Tablo 5. IB, Durum 15)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{298.6}{8} = 37.3 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{275}} = 101.4 \quad (4.37)$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre en kesit, başlık ve gövde parçaları genişlik/kalınlık oranı TÇY Tablo 5.1B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-en kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , TÇY 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n (denklem 4.38)

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = (275)(1019)(10^3)(10^{-6}) = 280 \text{ kNm}; \quad (4.38)$$

Kirişin üst başlığı döşeme tarafından desteklendiği için yanal burulmalı burkulma kontrolüne gerek yoktur.

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (denklem 4.39 ve 4.40)

$$M_d = \phi_b M_n = (0.9)(280) = 252 \text{ kNm}; \quad (4.39)$$

$$\frac{M_u}{M_d} = \frac{84.5}{252} = 0.33 \quad (4.40)$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi: Çift simetri eksenli I-en kesitte TÇY 10.2.1(a) uyarınca (denklem 4.41 ve 4.42)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{298.6}{8} = 37.3 \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{275}} = 60.4 \quad (4.41)$$

olduğundan

$$\phi_v = 1 \text{ ve } C_{v1} = 1 \text{ alınacaktır.} \quad (4.42)$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n , TÇY 10.2 uyarınca TÇY Denk.(10.1) (denklem 4.43)

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_{v1} = (0.6)(275)(360)(8)(1)(10^{-3}) = 475 \text{ kN} \quad (4.43)$$

Kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (denklem 4.44 ve 4.45)

$$V_d = \phi_v V_n = 1 \times 475 = 475 \text{ kN} \quad (4.44)$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{56.3}{475} = 0.12 \quad (4.45)$$

TÇY Bölüm 15 uyarınca G+Q yüklemesi altında toplam düşey yer değiştirmelerin açıklığa oranı denklem 4.46’da gösterildiği gibi L/300 sınır değerini aşmayacaktır.

Analiz sonuçlarına göre $\delta_{maks} = 9.1 \text{ mm}$

$$\delta_{maks} = 9.1mm \leq \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} \quad (4.46)$$

4.4.2. Ana Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması

Birinci kat, B aksı çerçevesi, 2-3 aksları arası ana çerçeve kirişinin en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi $1.294G + Q + 0.2S - E_d^{(X2)} - 0.3E_d^{(Y)}$ için dayanım ve sehim kontrolleri yapılacaktır. Düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden dolayı kiriş mesnedinde oluşan iç kuvvetler aşağıdaki değerleri almaktadır. (denklem 4.47)

$$M_u = 292.3 \text{ kNm}; V_u = 152.8 \text{ kN} \quad (4.47)$$

Seçilen kiriş kesiti HE 400A için en kesit karakteristikleri:

$d=390 \text{ mm}$, $b_f=300 \text{ mm}$, $t_w=11 \text{ mm}$, $t_f=19 \text{ mm}$, $h=298 \text{ mm}$, $W_{px}=2562 \times 10^3 \text{ mm}^3$, $W_{ex}=2311 \times 10^3 \text{ mm}^3$, $I_x=45070 \times 10^4 \text{ mm}^4$, $J=189 \times 10^4 \text{ mm}^4$, $i_y=73.4 \text{ mm}$

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kirişleri TBDY 9.3.1.1' de verilen en kesit koşulları uyarınca, kiriş en kesitinin başlık ve gövde narinlik oranlarının TBDY Tablo 9.3'te verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (denklem 4.48)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2 \times 19} = 7.9 \leq \lambda_{hd} = 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{275}} = 8.1 \quad (4.48)$$

Gövde parçası (denklem 4.49)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{298}{11} = 27 \leq \lambda_{hd} = 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.45 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{275}} = 66.1 \quad (4.49)$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre en kesit, başlık ve gövde parçaları genişlik/kalınlık oranı TBDY Tablo 9.3'de verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir. TBDY 9.2.8 yatay yük taşıyıcı sistemin kirişlerinin üst ve alt başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesini ve

mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklığın denklem 4.50'deki koşulu sağlamasını öngörmektedir. TBDY Denk.(9.2)

$$L_b \leq 0.086i_y \frac{E}{F_y} \quad (4.50)$$

TBDY 9.2.8.1'e göre, betonarme döşemelerin çelik kirişler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde, kirişlerin betonarme döşemeye bağlanan başlıklarında bu koşula uyulması zorunlu değildir. Yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklığın $L_b = 2 \text{ m}$ olduğu (X) doğrultusundaki çerçeve kirişlerinde bu koşulun sağlandığı görülmektedir.

Buna karşılık, $L_b = 6 \text{ m}$ olması nedeniyle yukarıdaki koşulun sağlanmadığı (Y) doğrultusundaki çerçeve kirişleri orta noktalarından komşu kirişlere ve betonarme döşemeye bağlanarak söz konusu koşul sağlanmıştır. Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi: TÇY 5.4 uyarınca

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması:

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{(2)(19)} = 7.9 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{275}} = 10.2 \quad (4.51)$$

Gövde parçası (Tablo 5. IB, Durum 15)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{298}{11} = 27 \leq \lambda_{nd} = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{275}} = 101.4 \quad (4.52)$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre en kesit, başlık ve gövde parçaları genişlik/kalınlık oranı TÇY Tablo 5.1B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-en kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , TÇY 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = (275)(2562)(10^3)(10^{-6}) = 704.6 \text{ kNm};$$

Betonarme döşemenin kompozit etkisi nedeniyle kiriş üst başlığının yanal burkulması önlenmektedir. Buna karşılık, negatif mesnet momenti etkisinde, kiriş alt başlığının yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

Kiriş basınç başlığı mesnet noktalarında yanal olarak desteklendiğinden, $L_b=6000 \text{ mm}$ olarak belirlenir. TÇY Denk. (9.6a) (Denklem 4.53)

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = (1.76)(7.34) \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{275}} = 3484 \text{ mm} \quad (4.53)$$

TÇY Denk. (9.7a) (Denklem 4.54)

$$c=1 \quad (4.54)$$

TÇY Denk. (9.8b) (Denklem 4.55)

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}} = \frac{300}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{(29)(11)}{(300)(19)} \right)}} = 82.7 \text{ mm} \quad (4.55)$$

I-en kesitte başlık ağırlık merkezleri arası mesafe denklem 4.56'da verilmiştir.

$$h_0 = d - t_f = 390 - 19 = 371 \text{ mm} \quad (4.56)$$

değerleri ile elastik olmayan yanal burulmada sınır uzunluk, L_r TÇY Denk.(9.6b) (denklem 4.57)

$$L_r = 1.95i_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex}h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex}h_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}} \quad (4.57)$$

$$L_r = (1.95)(82.7) \frac{(200)(10^3)}{(0.7)(275)} \sqrt{\frac{(189)(10^4)(1)}{(2311)(10^3)(371)} + \sqrt{\left(\frac{(189)(10^4)(1)}{(2311)(10^3)(371)}\right)^2} \dots} \\ \dots + 6.76\left(\frac{(0.7)(275)}{(200)(10^3)}\right)^2 = 12470 \text{ mm}$$

$$L_p = 3484 < L_b = 6000 < L_r = 12470 \text{ mm}$$

olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , TÇY 9.2.2(b) uyarınca hesaplanacaktır.

Moment Düzeltme Katsayısı, C_b

Analiz sonuçlarına göre

$$M_{maks} = 292.3 \text{ kNm}, M_A=63 \text{ kNm}, M_B=62.1 \text{ kNm}, M_C=83 \text{ kNm}$$

(Mutlak değerler rapor edilmiştir).

TÇY Denk.(9.1) kullanılarak (Denklem 4.58)

$$C_b = \frac{12.5M_{maks}}{2.5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (4.58)$$

$$C_b = \frac{(12.5)(292.3)}{(2.5)(292.3) + (3)(63) + (4)(62.1) + (3)(83)} = 2.58$$

TÇY Denk.(9.3) (Denklem 4.59)

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (4.59)$$

$$M_n = 2.58 \left[704.6 - (704.6 - (0.7)(275)(2311)(10^{-3})) \left(\frac{6000 - 3484}{12470 - 3484} \right) \right] = 1630 \text{ kNm}$$

$$M_n = 1630 > 704.6 \text{ kNm}$$

$$M_n = 704.6 \text{ kNm}$$

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (Denklem 4.60)

$$M_d = \phi_b M_n = (0.9)(704.6) = 634.1 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_u}{M_d} = \frac{292.3}{634.1} = 0.46 \quad (4.60)$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi:

Çift simetri eksenli I-en kesitte TÇY 10.2.1(a) uyarınca (denklem 4.61)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{298}{11} = 27 \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{275}} = 60.4 \quad (4.61)$$

olduğundan

$\phi_v = 1$ ve $C_{v1} = 1$ alınacaktır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n , (denklem 4.62) TÇY 10.2 uyarınca TÇY Denk.(10.1)

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} = (0.6)(275)(390)(11)(1)(10^{-3}) = 708 \text{ kN} \quad (4.62)$$

Kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (denklem 4.63 ve 4.64)

$$V_d = \phi_v V_n = (1)(708) = 708 \text{ kN} \quad (4.63)$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{152.8}{708} = 0.21 \quad (4.64)$$

TÇY Bölüm 15 uyarınca G+Q yüklemesi altında toplam düşey yer değiştirmelerin açıklığa oranı 1/300 sınır değerini aşmayacaktır (denklem 4.65).

Analiz sonuçlarına göre $\delta_{maks}=4.28$ mm

$$\delta_{maks} = 4.28 \text{ mm} \leq \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} \quad (4.65)$$

Not: Dayanım hesaplarından görüldüğü gibi, kirişteki en büyük iç kuvvet dayanımın %46'sı mertebesinde dir. Bu durum, kiriş en kesit profillerinin seçiminde görel i kat ötelemelerinin sınırlandırılmasının daha etkin olmasından kaynaklanmaktadır.

4.4.3. Kolonların Boyutlandırılması

Birinci kat 2B kolonunun en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi $1.294G + Q + 0.2S - E_d^{(X2)} - 0.3E_d^{(Y)}$ için dayanım kontrolleri yapılacaktır.

Düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden dolayı kolonda oluşan iç kuvvetler aşağıdaki değerleri almaktadır. (Denklem 4.66)

$$P_u=1776 \text{ kN}, M_{rx}=293.72 \text{ kNm}, M_{ry}=7.65 \text{ kNm}, V_u=90.9 \text{ kN} \quad (4.66)$$

Seçilen kolon kesiti HE 550 B için en kesit karakteristikleri:

$d=550$ mm, $b_f=300$ mm, $t_w=15$ mm, $t_f=29$ mm, $h=438$ mm, $W_{px}=5591 \times 10^3$ mm³, $W_{ex}=4971 \times 10^3$ mm³, $W_{ey}=871.8 \times 10^3$ mm³, $J=600.3 \times 10^4$ mm⁴, $i_y=71.7$ mm, $i_x=232$ mm, $A=25410$ mm²

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kolonları TBDY 9.3.1.1' de verilen en kesit koşulları uyarınca, kolon en kesitinin başlık ve gövde narinlik oranlarının TBDY Tablo 9.3'te verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması
Başlık parçası (Denklem 4.67)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{(2)(29)} = 5.2 \leq \lambda_{hd} = 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 7.1 \quad (4.67)$$

Gövde parçası (Denklem 4.68-69-70)

$$C_a = \frac{P_u}{0.9F_y A} = \frac{1776}{(0.9)(355)(25410)(10^{-3})} = 0.22 \quad (4.68)$$

$$\lambda_{hd} = 0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - 0.22) = 2.09 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4.69)$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{438}{15} = 29.2 \leq \lambda_{hd} = 2.09 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.09 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 49.6 \quad (4.70)$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre en kesit, başlık ve gövde parçaları genişlik/kalınlık oranı TBDY Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Kolonun karakteristik basınç dayanımının belirlenmesi: 2B kolonunun kuvvetli eksenini doğrultusunda yanal ötelenmesinin önlenmemiş olduğu, zayıf eksenini doğrultusunda ise, bu doğrultudaki diğer rijit kolonlar tarafından yanal ötelenmesinin önlenildiği varsayımı yapılmıştır. Buna göre, 2B kolonunun eğilme rijitliği ve mesnet koşulları ile bu kolona bağlanan kirişlerin eğilme rijitliklerine bağlı olarak, TÇY Şekil 6.2'deki nomogramdan bulunan K_x katsayısı yardımı ile hesaplanan burkulma boyu aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$L_{cx} = (1.92)(3200) = 6144 \text{ mm}$$

Diğer yönde ise $K_y=1.0$ varsayımı ile burkulma boyu aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$L_{cy} = (1.0)(3200) = 3200 \text{ mm}$$

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması:

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum I) (denklem 4.71)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{(2)(29)} = 5.2 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 13.3 \quad (4.71)$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 5) (denklem 4.72)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{438}{15} = 29.2 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 35.4 \quad (4.72)$$

yerel burkulma sınır durumuna göre en kesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları TÇY Tablo 5.1A da verilen λ_r sınır değerini aşmadığından narin olmayan en kesit olarak değerlendirilir.

TÇY 8.2.1 uyarınca, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, x- ve y-asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Narinlik oranları (denklem 4.73 ve 4.74)

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{6144}{232} = 26.5 \quad (4.73)$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{3200}{71.7} = 44.6 \quad (4.74)$$

TÇY 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i < 200$ koşulunu sağlamaktadır. Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n ,

$$\left(\frac{L_c}{i} \right)_{maks} = maks(26.5, 44.6) = 44.6$$

olduğundan, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, y-asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} , için elastik burkulma gerilmesi, F_e , TÇY Denk.(8.4) (Denklem 4.75)

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{(\pi^2)(200)(10^3)}{44.6^2} = 992.3 \text{ MPa} \quad (4.75)$$

TÇY 8.2 uyarınca

$$44.6 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 112$$

olduğundan TÇY Denk.(8.2) (denklem 4.76)

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = \left[0.658^{\frac{355}{992.3}} \right] 355 = 305.6 \text{ MPa} \quad (4.76)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n , TÇY Denk.(8.1) (Denklem 4.77)

$$P_n = F_{cr} A_g = (305.6)(25410)(10^{-3}) = 7765.3 \text{ kN} \quad (4.77)$$

Kolonun tasarım basınç kuvveti (Denklem 4.78)

$$P_c = \phi_n P_n = (0.9)(7765.3) = 6988.77 \text{ kN} \quad (4.78)$$

Kolonun karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (Kuvvetli yönde eğilme altında). TÇY 5.4 uyarınca yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5. I B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{(2)(29)} = 5.2 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 9$$

Gövde parçası (Tablo 5. IB, Durum 15)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{438}{15} = 29.2 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 89.2$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre en kesit, başlık ve gövde parçaları genişlik/kalınlık oranı TÇY Tablo 5.1B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-en kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , TÇY 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n (Denklem 4.79)

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = (355)(5591)(10^3)(10^{-6}) = 1984.8 \text{ kNm} \quad (4.79)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

Kolon basınç başlığı kat seviyelerinde yanal olarak desteklendiğinden, $L_b=3200$ mm olarak belirlenir. TÇY Denk.(9.6a) (Denklem 4.80)

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = (1.76)(71.7) \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 2995 \text{ mm} \quad (4.80)$$

TÇY Denk.(9.7a) (Denklem 4.81)

$$c=1 \quad (4.81)$$

TÇY Denk.(9.8b) (Denklem 4.82)

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}} = \frac{300}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{(438)(15)}{(300)(29)} \right)}} = 81.6 \text{ mm} \quad (4.82)$$

I-en kesitte başlık ağırlık merkezleri arası mesafe denklem 4.83'te verilmiştir.

$$h_o = d - t_f = 550 - 29 = 521 \text{ mm} \quad (4.83)$$

değerleri ile elastik olmayan yanal burulmada sınır uzunluk, L_r TÇY Denk.(9.6b) (denklem 4.84)

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (4.84)$$

$$L_r = (1.95)(81.6) \frac{(200)(10^3)}{(0.7)(355)} \sqrt{\frac{(600.3)(10^4)(1)}{(4971)(10^3)(521)} + \sqrt{\left(\frac{(600.3)(10^4)(1)}{(4971)(10^3)(521)}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{(0.7)(355)}{(200)(10^3)}\right)^2}}$$

$$L_r = 10160 \text{ mm}$$

$$L_p = 2995 < L_b = 3200 < L_r = 10160 \text{ mm} \quad (4.85)$$

olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı, TÇY 9.2.2(b) uyarınca hesaplanacaktır.

Moment Düzeltme Katsayısı, C_b ,

Analiz sonuçlarına göre $M_{maks}=293.72 \text{ kNm}$, $M_A=221.04 \text{ kNm}$, $M_B=148.3 \text{ kNm}$, $M_C=75.57 \text{ kNm}$ (mutlak değerler rapor edilmiştir).TÇY Denk.(9.1) kullanılarak (denklem 4.86)

$$C_b = \frac{12.5 M_{maks}}{2.5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (4.86)$$

$$C_b = \frac{12.5 \times 293.72}{2.5 \times 293.72 + 3 \times 221.04 + 4 \times 148.3 + 3 \times 75.57} = 1.66$$

TÇY Denk.(9.3) (Denklem 4.87)

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (4.87)$$

$$M_n = 1.66 \left[1984.8 - (1984.8 - (0.7)(355)(4971)(10^{-3})) \left(\frac{4000 - 2995}{10160 - 2995} \right) \right]$$

$$M_n = 3120 > 1984.8 \text{ kNm}$$

$$M_n = 1984.8 \text{ kNm}$$

Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (Denklem 4.88)

$$M_{cx} = \phi_b M_n = (0.9)(1984.8) = 1786.3 \text{ kNm} \quad (4.88)$$

Kolonun karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (Zayıf yönde eğilme altında).

TÇY 5.4 uyarınca

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması:

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 13) (Denklem 4.89)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{(2)(29)} = 5.2 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 9 \quad (4.89)$$

Gövde parçası için kontrole gerek yoktur.

Yerel burkulma sınır durumuna göre en kesit, başlık parçaları genişlik/kalınlık oranı TÇY Tablo 5.1B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Bu durumda, zayıf asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-en kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , TÇY 9.6 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n (denklem 4.90)

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = (355)(1341)(10^3)(10^{-6}) = 476 \text{ kNm} \quad (4.90)$$

$$M_n = 476 < 1.6 F_y W_{ey} = (1.6)(355)(871.8)(10^3)(10^{-6}) = 495.2 \text{ kNm}$$

Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımı (denklem 4.91)

$$M_{cy} = \phi_b M_n = (0.9)(476) = 428.4 \text{ kNm} \quad (4.91)$$

Kolonun bileşik etkiler altında dayanımının kontrolü TÇY 11.1 uyarınca (Denklem 4.92)

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1776}{6988.77} = 0.25 > 0.2 \quad (4.92)$$

Olduğundan, TÇY Denk.(11.1a)) (Denklem 4.93)

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad (4.93)$$

$$\frac{1776}{6188.77} + \frac{8}{9} \left(\frac{293.72}{1786.3} + \frac{7.65}{428.4} \right) = 0.45 \leq 1$$

Kolonun karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi:

Çift simetri eksenli I-en kesitte TÇY 10.2.1(a) uyarınca, (Denklem 4.94)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{438}{15} = 29.2 \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{(200)(10^3)}{355}} = 53.1 \quad (4.94)$$

Olduğundan $\phi_v = 1$ ve $C_{v1} = 1$ alınacaktır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n ,

TÇY 10.2 uyarınca, TÇY Denk.(10.1) (Denklem 4.95)

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} = (0.6)(355)(550)(15)(1)(10^{-3}) = 1757 \text{ kN} \quad (4.95)$$

Kolonun tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (Denklem 4.96)

$$V_d = \phi_v V_n = (1)(1757) = 1757 \text{ kN} \quad (4.96)$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{90.9}{1757} = 0.05$$

TBDY 9.3.1.3 uyarınca moment aktaran çelik çerçeve kolonlarının boyutlandırılmasında, eğilme momentleri gözönüne alınmaksızın, TBDY 9.2.6'da belirtilen arttırılmış deprem etkilerinden oluşan eksenel çekme ve basınç kuvvetleri esas alınmalıdır. Kontrolü yapılan kolon elemanı $1.294G + Q + 0.2S - 3x(E_d^{(X2)} - 0.3E_d^{(Y)})$ birleşimi altında 1776 kN basınç yüküne maruz kalmaktadır. Kolon elemanına etkiyen yüklerin büyük bölümü düşey yüklerden oluştuğundan arttırılmış deprem yükleri altında eksenel yük miktarında önemli bir değişiklik olmamaktadır.

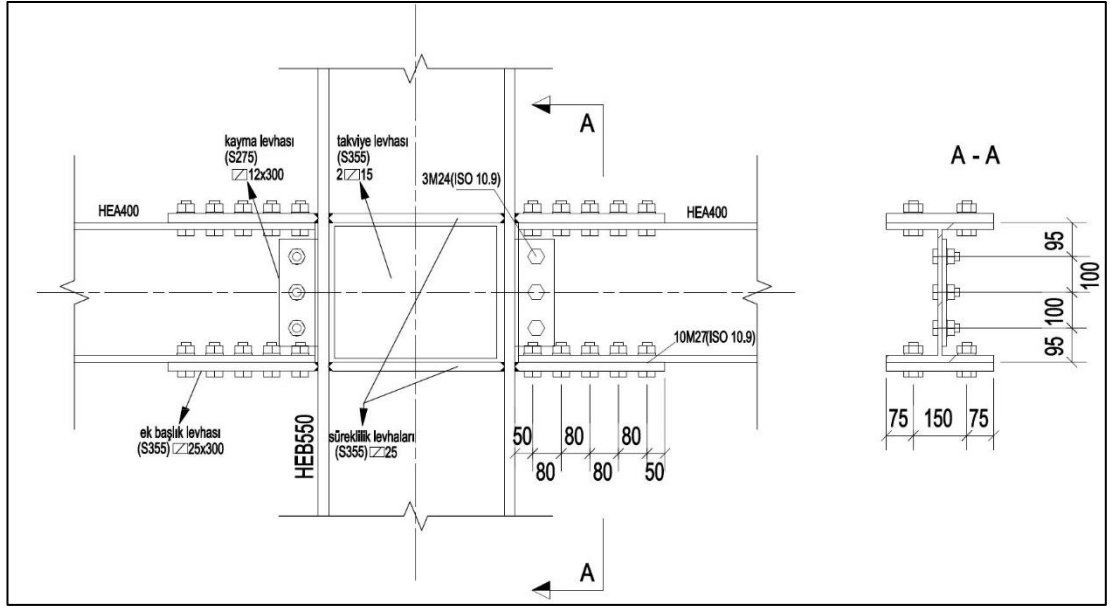
TÇY 8.2 uyarınca (Denklem 4.97)

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1776}{6421.5} = 0.28 \quad (4.97)$$

4.5. Detay Hesapları

4.5.1. Kiriş-Kolon Birleşim Bölgesinin Tasarımı

İncelenen süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemin 3. Kat, B aksı çerçevesi, 5-6 aksları kirişi ile B5 kolonunun birleşim bölgesi TBDY 9.3.4'e uygun olarak boyutlandırılacaktır. Kiriş-kolon birleşim bölgesinin oluşturulması için TBDY EK9B'de verilen Bulonlu Başlık Levhalı Birleşim detayı uygulanacaktır. Şekil 4.4'te verilen bu detayın uygulanabilmesi için ilk olarak uygulama sınırlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontrollerin detayı Tablo 4.14 'te verilmektedir.



Şekil 4. 4: Kolon-kiriş birleşim detayı.

Tablo 4. 14: Bulonlu başlık levhalı moment aktaran birleşim sınırları.

Birleşim Detayı Değişkenleri	Uygulama Sınırları
Kiriş açıklığı / en kesit yüksekliği	15.4>9
Kiriş en kesit Yüksekliği	390≤920 mm
Kiriş başlık kalınlığı	19≤25 mm
Kolon en kesit yüksekliği	5400≤920 mm
Bulon sınıfı	10.9
En büyük bulon boyutu	M 27
Bulon önçekme koşulları	Tam önçekme
Başlık levhası malzeme sınıfı	S355
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

Seçilen kiriş kesiti HE 400A için en kesit karakteristikleri:

$$d_b=390 \text{ mm}, b_f=300 \text{ mm}, t_w=11 \text{ mm}, t_f=19 \text{ mm}, W_{px}=2562 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

M 27 bulon için M 30 delik kullanılacaktır. Delik kaybından dolayı elde edilen net plastik mukavemet momenti denklem 4.98'deki gibi hesaplanabilir.

$$W_{px,net} = (2562)(10)^3 - (4)(30)(19)(185.5) = 2139060 \text{ mm}^3 \quad (4.98)$$

Plastik mafsaldaki olası maksimum moment, M_{pr} , denklem 4.99'deki gibi hesaplanabilir.

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} = \frac{275 + 430}{(2)(275)} = 1.28 \leq 1.2 \quad C_{pr} = 1.2 \quad (4.99)$$

TBDY Tablo 9.2'ye göre S 275 çeliğinden imal edilen hadde profilleri için $R_y=1.3$ (Denklem 4.100)

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y W_p = 1.2 \times 1.3 \times 275 \times 2139060 \times 10^{-6} = 917.7 \text{ kNm} \quad (4.100)$$

Kiriş uçlarındaki olası plastik mafsallık noktasının kolon yüzeyine uzaklığı

$$L_h = 50 + 80 \left(\frac{10}{2} - 1 \right) = 370 \text{ mm}$$

Kiriş uçlarındaki olası plastik mafsal noktaları arasında kalan kiriş açıklığı

$$L_n = 6000 - \frac{540}{2} - 370 = 5360 \text{ mm}$$

TBDY 9.3.4(c) uyarınca kiriş ucundaki plastik mafsal noktalarında 1.2G+0.5Q+0.2S yük birleşimi altında hesaplanan kesme kuvveti $V_d=114 \text{ kN}$

Birleşimin kolon yüzeyindeki gerekli kesme kuvveti dayanımı TBDY Denk.(9.12)'ye göre hesaplanacaktır. (Denklem 4.101)

$$V_{uc} = V_d \mu (M_{pri} + M_{prj}) / l_n = 114 + \frac{917.7 + 0}{5.36} = 285.2 \text{ kN} \quad (4.101)$$

Birleşimin kolon yüzeyindeki gerekli eğilme dayanımı TBDY Denk.(9.11)'e göre hesaplanacaktır. (Denklem 4.102)

$$M_{uc} = M_{pr} + V_{uc} l_h = 917.7 + (285.2)(0.37) = 1023.2 \text{ kN} \quad (4.102)$$

Gerekli eğilme momenti dayanımı için ek başlık levhası ve başlık bulonları tarafından aktarılması gereken çekme kuvveti

$$T_u = \frac{1023.2}{0.39} = 2623.6 \text{ kN}$$

Ek başlık levhasının tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü.

Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi.

TÇY 7.2.1 uyarınca akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n , TÇY Denk. (7.2)'ye göre hesaplanacaktır. (Denklem 4.103)

$$T_n = F_y A_g = 355 \times 25 \times 300 \times 10^{-3} = 2662.5 \text{ kN} \quad (4.103)$$

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n , sırasıyla TÇY Denk. (7.3) ve TÇY Denk. (7.1)'deki gibi hesaplanacaktır. Bu denklemler sırasıyla denklem 4.104 ve 4.105'te verilmiştir.

$$T_n = F_u A_e \quad (4.104)$$

$$A_e = U A_n \quad (4.105)$$

Etkin delik çapı

$$d_e = 30 + 2 = 32 \text{ mm}$$

$$U = 1 \text{ (TÇY Tablo 7.1 Durum 1)}$$

$$A_e = 1 \times (25 \times 300 - 2 \times 32 \times 25) = 5900 \text{ mm}^2$$

$$T_n = (510)(5900)(10)^{-3} = 3009 \text{ kN}$$

Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü:

TBDY 9B.1.4 uyarınca sünek göçme durumu için $\phi_d = 1$ ve sünek olmayan göçme durumu için $\phi_d = 0.9$ katsayıları kullanılmalıdır.

$$T_d = \phi_d T_n = 1 \times 2662.5 = 2662.5 \text{ kN}$$

$$T_d = \phi_d T_n = 0.9 \times 3009 = 2708.1 \text{ kN}$$

$$\frac{T_u}{T_d} = \frac{2623.6}{2662.5} = 0.98$$

Kiriş başlığı ek başlık levhasına nazaran blok kırılma kapasitesi açısından daha kritiktir.

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, R_n TÇY Denk.(13.19)'a göre hesaplanacaktır. (Denklem 4.106)

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (4.106)$$

$$A_{gv} = 2 \times (360 \times 19) = 13680 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 13680 - 2 \times 45 \times 32 \times 19 = 8208 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (150 - 32) \times 19 = 2242 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1 \text{ (TÇY 13.4.3)}$$

$$R_n = (0.6 \times 430 \times 8208 + 1 \times 430 \times 2242) \times 10^{-3} = 3082 \text{ kN}$$

$$R_n = (0.6 \times 275 \times 13680 + 1 \times 430 \times 2242) \times 10^{-3} = 3221 \text{ kN}$$

$$R_d = \phi_d R_n = 0.9 \times 3082 = 2773.8 \text{ kN}$$

$$\frac{T_u}{T_d} = \frac{2623.6}{2773.8} = 0.95$$

Bulon grubunun kesme yükü altında dayanımının kontrolü:

10 adet M27 10.9 kalite bulon kullanılmıştır. Bulonların dişli açılmış gövde bölümü kayma düzlemi dışında olacak şekilde tatbik edilecektir.

Bulon gövdesi için kesme kırılması sınır durumu.

Bulon malzemesinin karakteristik çekme dayanımı, F_{ub} , TÇY Tablo 2.2

$$F_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

Bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı, F_{nv} , TÇY Denk.(13.9)'a göre hesaplanacaktır. (Denklem 4.107)

$$F_{nv} = 0.563 \times F_{ub} = 0.563 \times 1000 = 563 \text{ MPa} \quad (4.107)$$

Bir bulonun karakteristik kesme kuvveti dayanımı R_{nv} ,

$$A_b = \pi \frac{27^2}{4} = 572.6 \text{ mm}^2$$

$$R_{nv} = F_{nv} n_{sp} A_b = 563 \times 1 \times 572.6 \times 10^{-3} = 322.4 \text{ kN}$$

Bir bulon deliğinin karakteristik ezilme kuvveti dayanımı, R_n

$$R_n = (1.2 \times 24 \times 19 \times 430) \times 10^{-3} = 235.2 \text{ kN} \leq (2.4 \times 27 \times 19 \times 430) \times 10^{-3} = 529 \text{ kN}$$

Ezilme sınır durumu daha kritiktir. Diğer bulon delikleri için dayanım;

$$l_c = 80 - 32 = 48 \text{ mm}$$

$$R_n = (1.2 \times 48 \times 19 \times 430) \times 10^{-3} = 470.5 \text{ kN} \leq (2.4 \times 27 \times 19 \times 430) \times 10^{-3} = 529 \text{ kN}$$

Bulon kesme sınır durumu daha kritiktir.

Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü

$$R_d = \phi_d R_n = 0.9 \times (2 \times 235.2 \times 8 \times 322.4) = 2744.6 \text{ kN}$$

$$\frac{T_u}{T_d} = \frac{2623.6}{2744.6} = 0.96$$

Kayma levhası dayanım kontrolü

Kayma levhası akma sınır durumu için

$$R_n = 0.6 F_y A_{gv} = 0.6 \times 275 \times 12 \times 300 \times 10^{-3} = 594 \text{ kN}$$

Kayma levhası kırılma sınır durumu TÇY Denk.(13.18)'e göre hesaplanacaktır.
(Denklem 4.108)

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} = 0.6 \times 430 \times 12 \times (300 - 3 \times 28) \times 10^{-3} = 669 \text{ kN} \quad (4.108)$$

Kayma levhasının kesme kuvveti dayanımının kontrolü

$$V_d = \phi_v V_n = 1 \times 594 = 594 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi_v V_n = 0.9 \times 669 = 602 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{285.2}{594} = 0.48$$

Kayma levhası bulon grubunun kesme kuvveti altında dayanımının kontrolü:

Üç adet M24 10.9 kalite bulon kullanılmaktadır. Bulonların dişli açılmış gövde bölümü kayma düzlemi dışında olacak şekilde tatbik edilecektir.

Bulonlara etkiyen kuvvetler

$$V = \frac{285.2}{3} = 95.1 \text{ kN} \quad H = \frac{285.2 \times 60}{200} = 85.6 \text{ kN}$$

$$R_u = \sqrt{95.1^2 + 85.6^2} = 128 \text{ kN}$$

Bulon gövdesi için kesme kırılması sınır durumu:

Bulon malzemesinin karakteristik çekme dayanımı, F_{ub} , TÇY Tablo 2.2

$$F_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

Bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı, F_{nv} ,

$$F_{nv} = 0.563 \times F_{ub} = 0.563 \times 1000 = 563 \text{ MPa}$$

Bir bulonun karakteristik kesme kuvveti dayanımı R_{nv} ,

$$A_b = \pi \frac{24^2}{4} = 452.4 \text{ mm}^2$$

$$R_{nv} = F_{nv} n_{sp} A_b = 563 \times 1 \times 452.4 \times 10^{-3} = 254.7 \text{ kN}$$

Bir bulon deliğinin karakteristik ezilme kuvveti dayanımı, R_n denklem 4.109'a göre hesaplanacaktır.

$$R_n = 1.2 l_c t F_u \leq 2.4 d t F_u \quad (4.109)$$

En kritik olan kenar bulon delikleri için dayanım hesaplanacaktır.

$$l_c = 50 - 0.5 \times 28 = 36 \text{ mm}$$

$$R_n = (1.2 \times 36 \times 11 \times 430) \times 10^{-3} = 204.3 \leq (2.4 \times 24 \times 11 \times 430) \times 10^{-3} = 272 \text{ kN}$$

Ezilme sınır durumu daha kritiktir.

Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü denklem 4.110'a göre yapılacaktır.

$$R_d = \phi R_n = 0.9 \times 204.3 = 183.9 \text{ kN}$$

$$\frac{R_u}{R_d} = \frac{128}{183.9} = 0.7 \quad (4.110)$$

4.5.1.1. Kayma bölgesi kontrolleri

TBDY 9.3.4.2 uyarınca, kolon ve kiriş başlıklarının sınırlandığı kayma bölgesinin gerekli kesme kuvveti dayanımı TBDY Denk.(9.13)'e göre hesaplanabilir. (denklem 4.111)

$$V_{up} = \sum M_{uc} \left(\frac{1}{d_b - t_{bf}} - \frac{1}{H_{ort}} \right) = 2 \times 1035.8 \times \left(\frac{1}{0.39 - 0.019} - \frac{1}{3} \right) = 4893 \text{ kN} \quad (4.111)$$

TÇY 13.9.6 uyarınca panel bölgesinin plastik şekil değiştirme durumunun çerçeve stabilite analizine etkisi göz önüne alınmadığında TÇY Denk.(13.29a)'ya göre hesaplanacaktır (Denklem 4.112).

$$P_r \leq 0.4 P_y \text{ için } R_n = 0.6 F_y d_c t_w \quad (4.112)$$

İlgili yük birleşimi için gerekli eksenel dayanım $P_r = 704 \text{ kN}$ elde edilmektedir.

HE 550 A kolonunun eksenel akma dayanımı

$$P_y = F_y A_g = 355 \times 21180 \times 10^{-3} = 7519 \text{ kN}$$

$$\frac{704}{7519} = 0.09 \leq 0.4 \text{ için } \phi_v R_n = 1 \times 0.6 \times 355 \times 540 \times 12.5 \times 10^{-3} = 1438 \text{ kN}$$

Kayma bölgesi kapasitesi yetersiz olduğundan iki adet $t_t=15 \text{ mm}$ kalınlığında S 355 kalite levha ile takviye edilecektir. Bu levhaların eklenmesi sonucu elde edilen dayanım aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\phi_v R_n = 1 \times 0.6 \times 355 \times 540 \times 12.5 \times (15 + 15 + 15) \times 10^{-3} = 4888 \text{ kN}$$

Kayma bölgesinin kesme dayanımının kontrolü

$$\frac{R_u}{R_d} = \frac{4893}{4888} \approx 1$$

Takviye levhaları kolon başlık levhalarına tam penetrasyonlu küt kaynak ile bağlanacağından, ayrıca kaynak tahkikine gerek olmamaktadır.

TBDY 9.3.4.2(b) uyarınca kolon gövde levhası ve takviye levhalarının minimum kalınlığı $t_{\min}=12.5 \text{ mm}$ aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$t_{\min} = 12.5 \text{ mm} \geq \frac{u}{180} = \frac{2 \times (550 + 390)}{180} = 10.4 \text{ mm}$$

TBDY 9.3.4.3 uyarınca süreklilik levhası kontrolü.

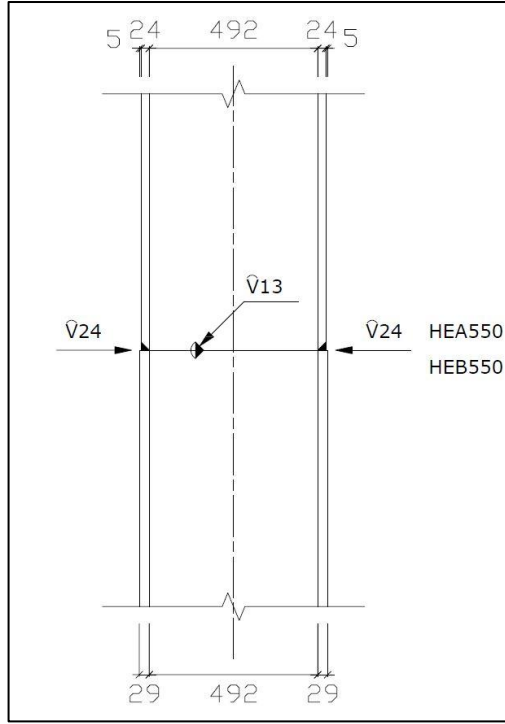
$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad 24 \leq \frac{300}{6} = 50 \text{ koşulu sağlanmadığından süreklilik levhalarına gerek vardır.}$$

Süreklilik levhalarının kalınlığı $t=25 \text{ mm}$ olarak seçilmiş ve böylece kiriş başlık kalınlığından

($b_{bf}=19 \text{ mm}$) daha az olmaması sağlanmıştır.

4.5.2. Kolon Ek Detayının Tasarımı

Kolon ek detayları TBDY 9.2.10'a uygun olarak teşkil edilecektir. Buna göre, ek detayı +8.50 kotunda ve tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılarak oluşturulacaktır. Küt kaynak kalınlıkları, birleştirilen profillerden daha küçük kesitli olanının (HE 550 A) başlık ve gövde kalınlıklarına eşit olarak, $a=24 \text{ mm}$ ve $a_w=13 \text{ mm}$ seçilecektir. Kaynak metali için E 550 elektrot seçilmiştir ve elektrotun çekme dayanımı birleşen parçaların çekme dayanımından daha fazla olduğu için kapasite koşulları kendiliğinden sağlanmaktadır.



Şekil 4. 5: Kolon ek detayı.

4.6. Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Kontrolleri

TBDY 9.3.2 uyarınca, süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan yapının B aksı çerçevesinin 3. Kat B5 düğüm noktasında kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu TBDY Denk.(9.7) ile kontrol edilecektir (Denklem 4.113).

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1 \quad (4.113)$$

Arttırılmış deprem etkileri göz önüne alınarak, YDKT yük birleşimleri için hesaplanan gerekli eksenel basınç kuvvetinin düğüm noktasının alt ve üstündeki sayısal değerleri aşağıdaki belirlenmiştir.

$$P_{uc}^{üst} = 933 \text{ kN} \quad P_{uc}^{alt} = 1445 \text{ kN}$$

Kiriş-kolon birleşim bölgesinde depremin yönü ile uyumlu olarak, kolon eğilme momenti dayanımlarını en küçük yapan tasarım eksenel kuvvetleri göz önüne alınarak

hesaplanan alt ve üst kolon eğilme momenti dayanımı TBDY Denk.(9.8b) ile hesaplanabilir (Denklem 4.114).

$$\sum M_{pc}^* = \sum M_{pc}^* (F_{yc} - P_{uc} / A_g) \quad (4.114)$$

Alt ve üst kolon kesitleri HE 550 A için $A_g = 211800 \text{ mm}^2$ ve $W_{px} = (4622)(10^3) \text{ mm}^3$

$$M_{pc}^{üst} = (4622)(10^3) \left(355 - \frac{(933)(10^3)}{21180} \right) 10^{-6} = 1437 \text{ kNm}$$

$$M_{pc}^{alt} = (4622)(10^3) \left(355 - \frac{(1445)(10^3)}{21180} \right) 10^{-6} = 1325 \text{ kNm}$$

Kiriş-kolon birleşim bölgesinde, birleşen kirişlerin her biri için plastik moment dayanımı için önceki bölümlerde hesaplanan $M_{uc}=1035.8 \text{ kNm}$ değeri kullanılabilir.

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} = \frac{1437 + 1325}{(2)(1035.8)} = 1.33 > 1$$

Kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu sağlanmıştır.

4.7. Artımsal Dinamik Analiz Hesapları

Bu çalışmada, TBDY-2018 tasarım prosedürlerine göre tasarlanmış 5 katlı moment aktaran çelik çerçeve bir yapıya IDA yöntemi uygulanmıştır. Çelik model, OpenSees programında 2 boyutlu olarak modellendi. Ardından 11 adet deprem yer hareketi kaydı seçilip spektrumla ölçeklenerek çelik çerçeve sisteme uygulandı. Deprem şiddet ölçeği olarak spektral ivme alındı. Buna göre, Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Tanım Analizi belirli bir yoğunluk seviyesine (S_a) ölçeklenmiş bir dizi yer hareketi altında uygulanmış ve daha sonra her bir dinamik analiz için IDA eğrileri türetilmiştir. Bu çalışmada, yapının maksimum katlar arası ötelenme oranı bir hasar ölçüsü (DM) ve %5 sönümlü birinci mod spektral ivmesi bir yoğunluk ölçüsü (IM) olarak kabul edilmiştir. IDA analizleri OpenSees programıyla birlikte çalışacak şekilde geliştirilen bir Python kodu ile tamamlandı.

4.7.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi

IDA gerçekleştirmek için, bir dizi doğrusal olmayan zaman çizelgesi analizi, yapıya çoklu ölçekli yer hareketi kayıtları seti altında uygulanmıştır. Sismik tasarım ve analiz için uygun bir gerçek yer hareketi setini seçme ve ölçeklendirme görevi, aynı zamanda karmaşık bir görevdir, çünkü her birinin özelliklerinde farklılıklar vardır ve dolayısıyla yapısal tepki üzerindeki etkileri farklı olacaktır.

Ayrıca, IDA sonuçlarının doğruluğu seçilen yer hareketi kayıtlarının sayısına bağlıdır. [27] tarafından yapılan araştırmaya göre, sınır durum kapasitesini ve yeterli doğrulukta yapıların sismik talebini tahmin etmek için genellikle on ila yirmi deprem kaydı seçmek yeterlidir. Seçilen onbir yer hareketi kayıt verilerinin tümü Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma (PEER) merkezinin veritabanından, alınmıştır. PEER websitesinden (<https://peer.berkeley.edu/peer-strong-ground-motion-databases>) Tablo 4.15'te belirtilen deprem kayıtları seçildi.

Tablo 4. 15: 11 Adet deprem kaydı (PEER).

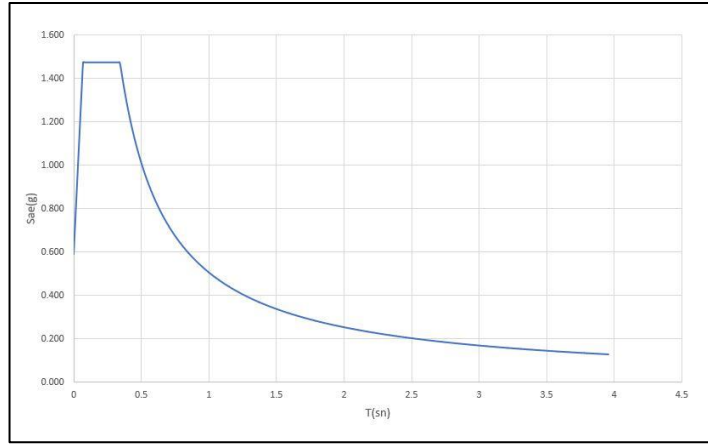
No	Deprem Adı	PGA (g)	Yıl	Büyüklik	Yatay İvme Kayıt Adı
1	"Imp. Val.-06"	0.157	1979	6.5	RSN164_.AT2
2	"Livermore-01"	0.256	1980	5.8	RSN212_.AT2
3	"Chalfant Valley-02"	0.179	1986	6.2	RSN548_.AT2
4	"Landers"	0.146	1992	7.3	RSN832_.AT2
5	"Hector Mine"	0.150	1999	7.1	RSN1762_.AT2
6	"Chi-Chi_ Taiwan-04"	0.112	1999	6.2	RSN2714_.AT2
7	"Landers"	0.139	1992	7.3	RSN3757_.AT2
8	"Chi-Chi_ Taiwan-04"	0.106	1999	6.2	RSN3852_.AT2
9	"Big Bear-01"	0.129	1992	6.5	RSN6060_.AT2
10	"Darfield_NewZealand"	0.116	2010	7.0	RSN6891_.AT2
11	"Darfield_NewZealand"	0.146	2010	7.0	RSN6948_.AT2

Bu deprem kayıtları yapıya ait TBDY-2018 spektrumu ile eşleştirilip ölçeklendi. Yapının bulunduğu konuma ait tasarım spektrumu parametreleri Türkiye Deprem Tehlike Haritasından alındı [30]. Bu parametreler Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

Tablo 4. 16: Tasarım spektrumu parametreleri.

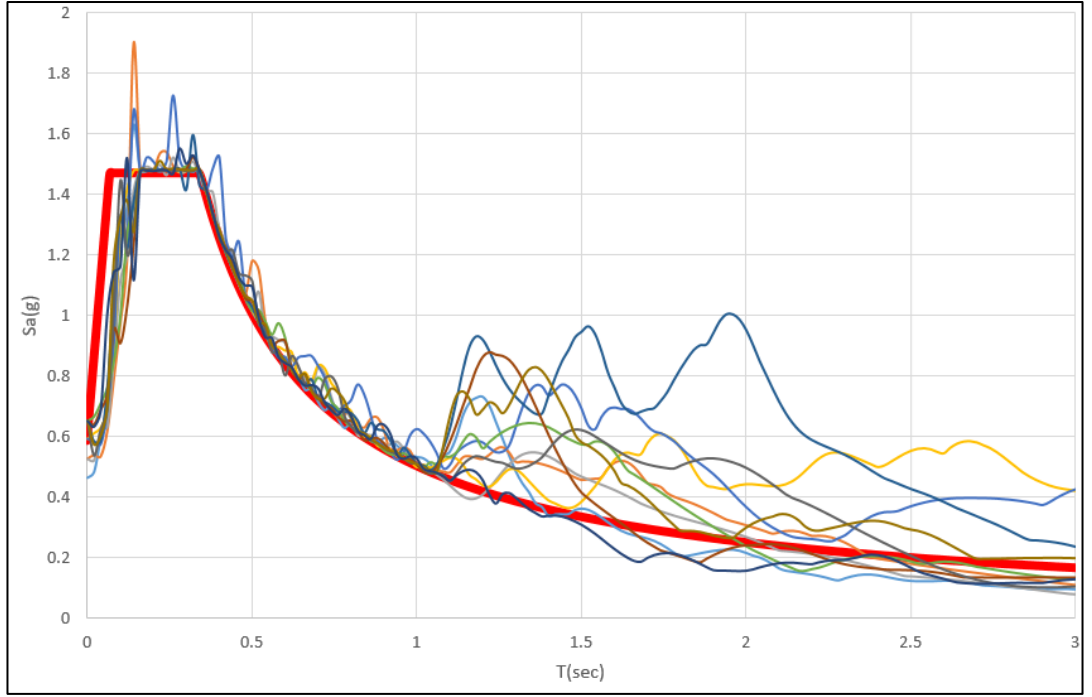
	DD-2
S_{DS}	1.4724
S_{D1}	0.5055
T_A	0.07s
T_B	0.34s
T_B	6 s

Bu verilere göre tasarım spektrumu Şekil 4.6'daki gibidir.



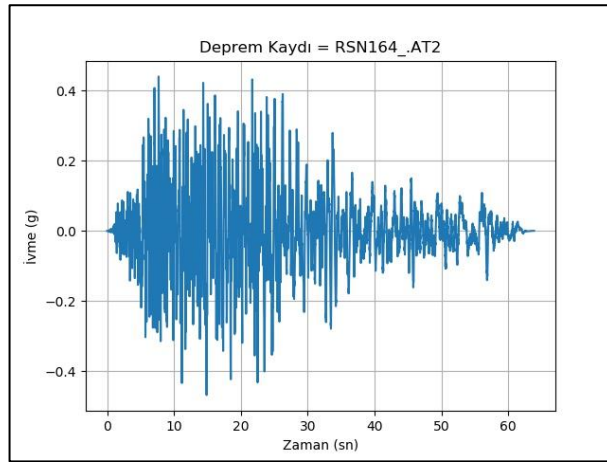
Şekil 4. 6: Yapıya ait tasarım spektrumu.

Tablo 4.15'te ölçek faktörleri gösterilmiştir. Ölçeklenen 11 adet deprem kaydı ile tasarım spektrumu Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

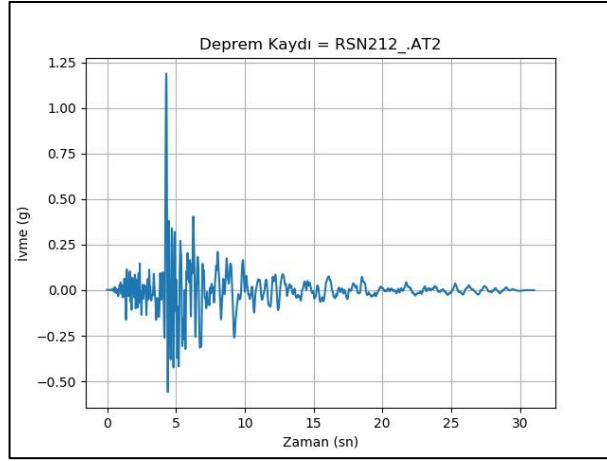


Şekil 4. 7: Ölçeklenen deprem kayıtları.

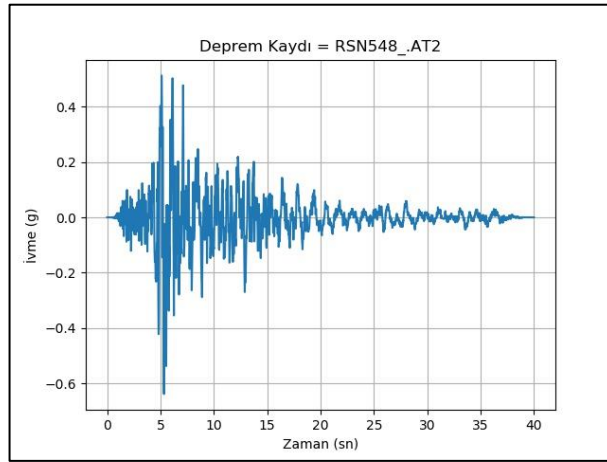
Ölçeklenen her bir depremin ivme zaman grafikleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



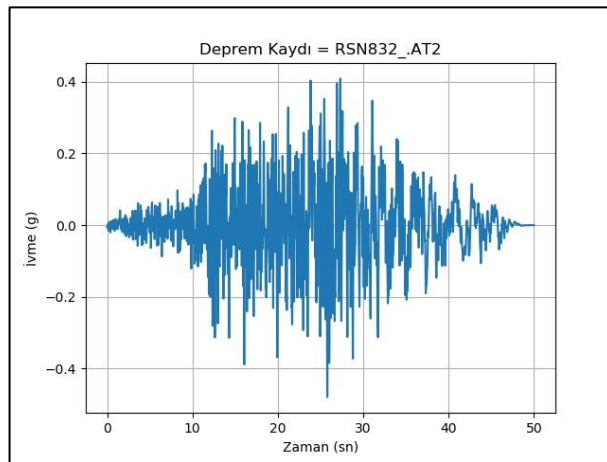
Şekil 4. 8: RSN 164 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



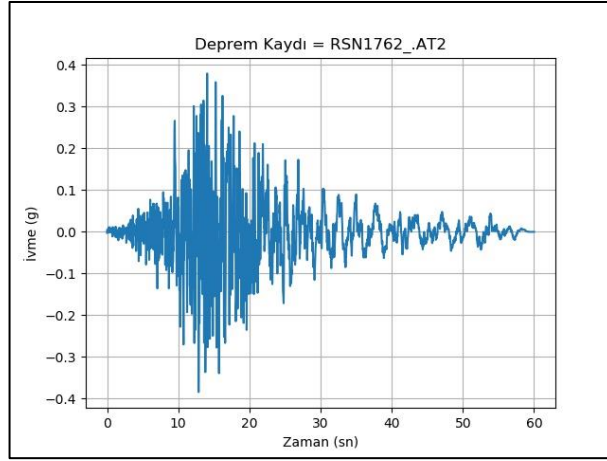
Şekil 4. 9: RSN 212 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



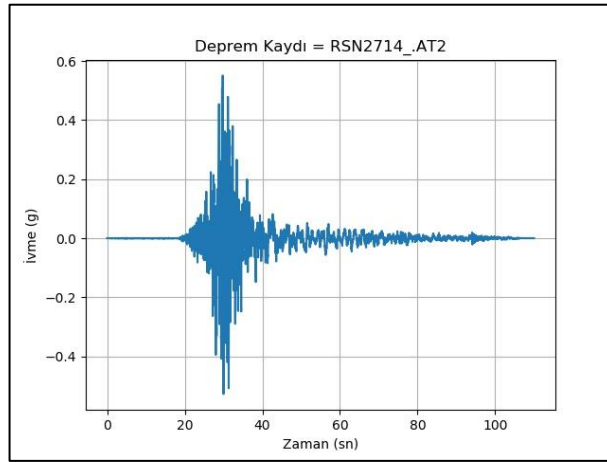
Şekil 4. 10: RSN 548 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



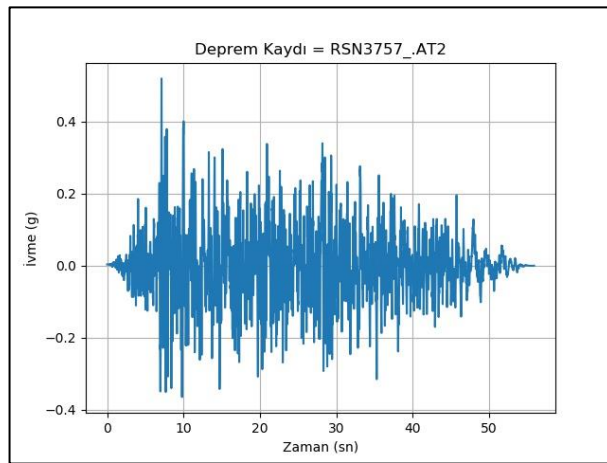
Şekil 4. 11: RSN 832 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



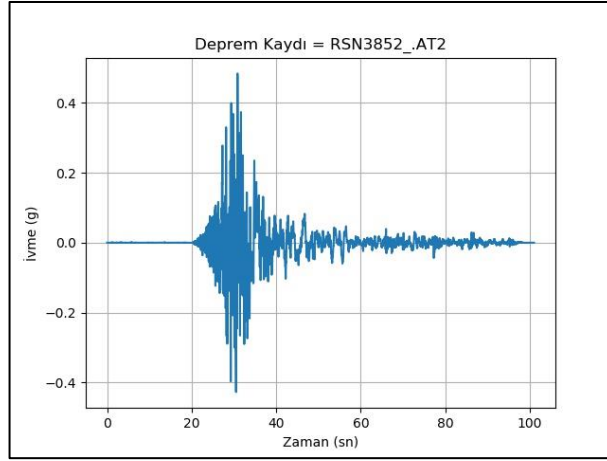
Şekil 4. 12: RSN 1762 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



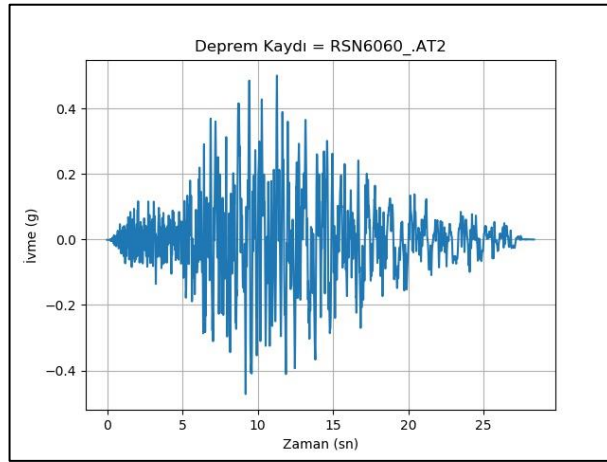
Şekil 4. 13: RSN 2714 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



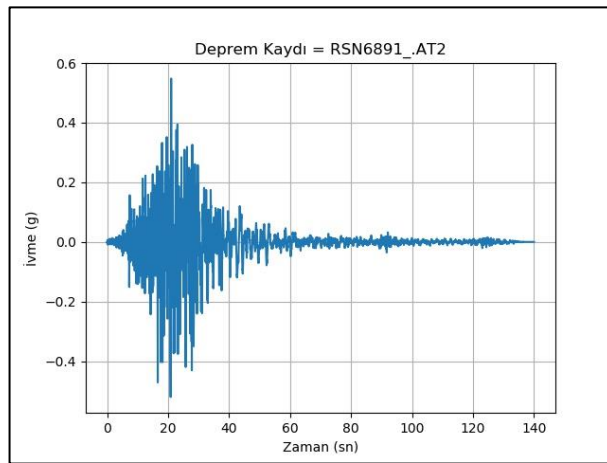
Şekil 4. 14: RSN 3757 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



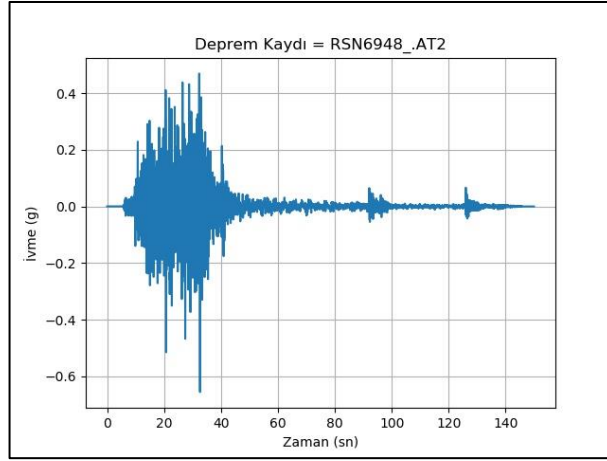
Şekil 4. 15: RSN 3852 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



Şekil 4. 16: RSN 6060 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.



Şekil 4. 17: RSN 6891 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.

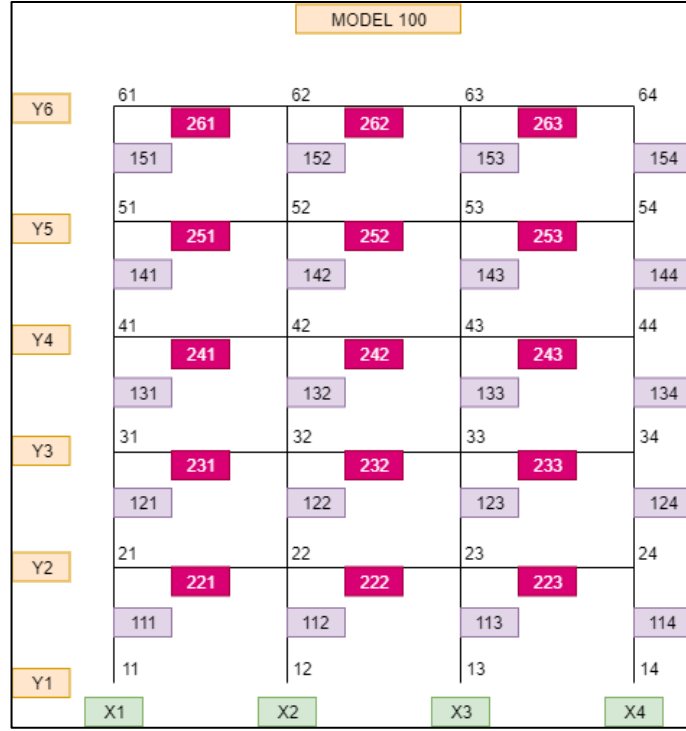


Şekil 4. 18: RSN 6891 Deprem kaydı ivme-zaman grafiği.

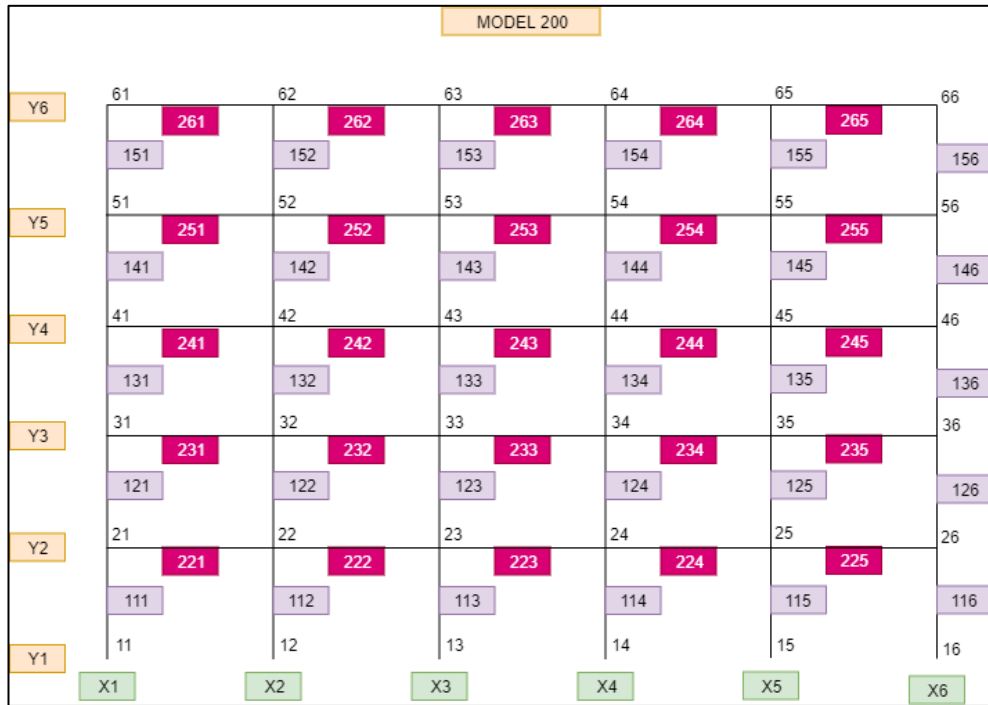
4.7.2. Yapının Sayısal Modellenmesi

Bu çalışmada kullanılan yapı sistemi, açık kaynaklı, nesne tabanlı bir sonlu eleman analizi yazılımı olan OpenSees programında modellendi. Opensees modelleme ve analiz için Tcl komut dilini kullanmaktadır. Tcl komut dilinde problem geometrisini, yüklemesini, formülasyonunu ve çözümünü tanımlanır. Tcl komut dili değişkenlerin manipülasyonu, matematiksel ifade değerlendirmesini sağlamaktadır

Yapının geometrisi x aksı yönünde 5 açıklıklı, y aksı yönünde 3 açıklıklı olarak Tcl komut dilinde elemanlar ve bu elemanların bağlantılı olduğu birleşimlerin numaralandırılmasıyla tamamlandı. Yapısal sistemin Tcl komut dilinde bağlantıları şekil 4.19 ve 4.20’de sırasıyla 3 açıklık ve 5 açıklıklı olarak gösterildi. 3 açıklıklı sistem “Model 100”, 5 açıklıklı sistem “Model 200” olarak adlandırıldı.



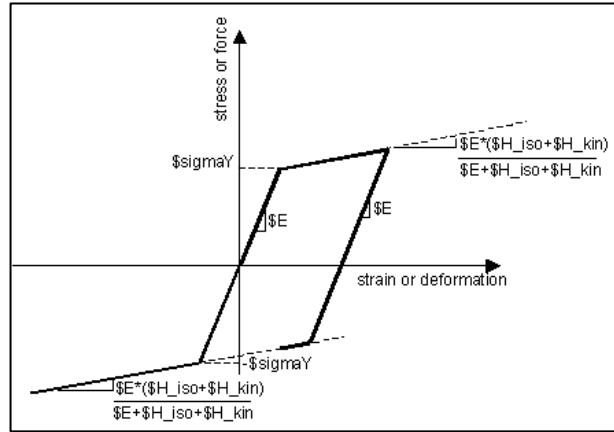
Şekil 4. 19: 3 açıklıklı modelin düğüm ve eleman numaraları.



Şekil 4. 20: 5 açıklıklı modelin düğüm ve eleman numaraları.

4.7.3. Malzeme Davranışı ve Özellikleri

Yapı sisteminde +7.00 kotuna kadar kolonların malzeme sınıfı S355, +7.00-+16.00 kotları arası kolonların ve diğer tüm yapı elemanlarının malzeme sınıfı ise S275'tir. Bu malzemelerin doğrusal olmayan davranışları OpenSees kütüphanesinde bulunan “uniaxialMaterial Hardening” malzeme modeliyle tanımlanmıştır. Bu tanımlanan malzeme modelinin davranışı şekil 4.21’de gösterilmiştir. Malzemelerin Tcl komut dilindeki tanımlanması ise şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 21 Çelik Malzeme Modeli Tanımı.

```
set Fy 275000; # kN/m2
set Fy2 355000; # kN/m2
set Es 200000000; # Steel Young's Modulus kN/m2
set nu 0.3;
set Gs [expr $Es/2./[expr 1+$nu]]; # Torsional stiffness Modulus
set Hiso 0
set Hkin 1000
set matIDhard 1
set matIDhard2 2
uniaxialMaterial Hardening $matIDhard $Es $Fy $Hiso $Hkin
uniaxialMaterial Hardening $matIDhard2 $Es $Fy2 $Hiso $Hkin
```

Şekil 4. 22 Malzeme modelinin OpenSees Tcl komut diliyle tanımlanması.

4.7.4. Eleman Tanımlamaları

Kiriş ve kolon kesitleri OpenSees Tcl komut dilinde ayrı bir dosyada “Wsection.tcl” adıyla oluşturuldu. Bu dosyada elemanların en kesit özellikleri ve fiber tanımlamaları yapıldı. Tanımlanan kesitler, OpenSees kütüphanesinde bulunan “nonlinearBeamColumn” eleman modeliyle yapıya atandı. Tanımlanan elemanlar Şekil 4.23’te gösterilmiştir.

```
# ELEMENT properties
# Structural-Steel W-section properties
# column sections1: HEB550
set d 0.55; # depth
set bf 0.3; # flange width
set tf 0.029; # flange thickness
set tw 0.015; # web thickness
set nfdw 16; # number of fibers along dw
set nftw 4; # number of fibers along tw
set nfbf 16; # number of fibers along bf
set nftf 4; # number of fibers along tf
Wsection $ColSecTag $matIDhard2 $d $bf $tf $tw $nfdw $nftw $nfbf $nftf
# column sections2: HEA550
set d 0.54; # depth
set bf 0.3; # flange width
set tf 0.024; # flange thickness
set tw 0.0125; # web thickness
set nfdw 16; # number of fibers along dw
set nftw 4; # number of fibers along tw
set nfbf 16; # number of fibers along bf
set nftf 4; # number of fibers along tf
Wsection $ColSecTag2 $matIDhard $d $bf $tf $tw $nfdw $nftw $nfbf $nftf
# beam sections: HEA400
set d 0.39; # depth
set bf 0.3; # flange width
set tf 0.019; # flange thickness
set tw 0.011; # web thickness
set nfdw 16; # number of fibers along dw
set nftw 4; # number of fibers along tw
set nfbf 16; # number of fibers along bf
set nftf 4; # number of fibers along tf
Wsection $BeamSecTag $matIDhard $d $bf $tf $tw $nfdw $nftw $nfbf $nftf

# define ELEMENTS
# set up geometric transformations of element
# separate columns and beams, in case of P-Delta analysis for columns
set IDColTransf 1; # all columns
set IDBeamTransf 2; # all beams
set ColTransfType Linear; # options, Linear PDelta Corotational
geomTransf $ColTransfType $IDColTransf; # only columns can have PDelta effects (g
geomTransf Linear $IDBeamTransf

# Define Beam-Column Elements
set np 3; # number of Gauss integration points for nonlinear curvature distribution
# columns
element nonlinearBeamColumn 111 11 21 $np $ColSecTag $IDColTransf; # level 1-2
element nonlinearBeamColumn 112 12 22 $np $ColSecTag $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 113 13 23 $np $ColSecTag $IDColTransf
```

Şekil 4. 23: OpenSees Tcl komut dilinde yapının elemanlarının tanımlanması.

4.7.5. Yük ve Kütle Tanımlamaları

Önceki bölümde belirtilmiş yapıya etki eden karakteristik yükler, kirişlere düzgün yayılı yük olarak etki edecek şekilde tanımlanmıştır. (Şekil 4.24) Daha sonra bu yükler kat seviyelerinde toplanmıştır ve her bir kattaki düğüm noktasına, ilgili düğüm noktasının yük alanı oranında kütle olarak atanmıştır. (Şekil 4.25)

```
set GammaConcrete 23.5631;          # Reinforced-Concrete floor slabs kN/m²

set QDeadRoof 27.24;                # Roof dead load per length kN/m
set QLiveRoof 4.8;                  # Roof live load per length kN/m
set QSnowRoof 7.2;                  # Roof snow load per length kN/m
set QDeadFloor 30.96;               # Floor dead load per length kN/m
set QWallFloor 3;                   # Wall load per length kN/m
set QLiveFloor 12;                  # Floor live load per length kN/m

set WeightBeamRoof [expr $QDeadRoof*$LBeam + 0.3*$LBeam*($QLiveRoof + $QSnowRoof)];
set WeightBeamFloor [expr ($QDeadFloor + $QWallFloor)*$LBeam + 0.3*$LBeam*$QLiveFloor];

puts "Cati Kirislerinin Kutlesi: $WeightBeamRoof kN"
puts "Kat Kirislerinin Kutlesi: $WeightBeamFloor kN"
```

Şekil 4. 24 OpenSees modelinde etkiyecek ölü yük ve hareketli yük tanımı.

```
mass 21 [expr ($WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;          # level 2
mass 22 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 23 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 24 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 25 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 26 [expr ($WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 31 [expr ($WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;          # level 3
mass 32 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 33 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 34 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 35 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 36 [expr ($WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 41 [expr ($WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;          # level 4
mass 42 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 43 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 44 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 45 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 46 [expr ($WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 51 [expr ($WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;          # level 5
mass 52 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 53 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 54 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 55 [expr ($WeightBeamFloor/2 + $WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 56 [expr ($WeightBeamFloor/2)/$g] 0. 0.;
mass 61 [expr ($WeightBeamRoof/2)/$g] 0. 0.;          # level 6
mass 62 [expr ($WeightBeamRoof/2 + $WeightBeamRoof/2)/$g] 0. 0.;
mass 63 [expr ($WeightBeamRoof/2 + $WeightBeamRoof/2)/$g] 0. 0.;
mass 64 [expr ($WeightBeamRoof/2 + $WeightBeamRoof/2)/$g] 0. 0.;
mass 65 [expr ($WeightBeamRoof/2 + $WeightBeamRoof/2)/$g] 0. 0.;
mass 66 [expr ($WeightBeamRoof/2)/$g] 0. 0.;

# calculate total Floor Mass
set WeightFloor2 [expr 5*$WeightBeamFloor];          # level 2 weight
set WeightFloor3 [expr 5*$WeightBeamFloor];          # level 3 weight
set WeightFloor4 [expr 5*$WeightBeamFloor];          # level 4 weight
set WeightFloor5 [expr 5*$WeightBeamFloor];          # level 5 weight
set WeightRoof [expr 5*$WeightBeamRoof];             # level 6 weight
set WeightTotal [expr $WeightFloor2 + $WeightFloor3 + $WeightFloor4 + $WeightFloor5 + $WeightRoof];
set MassFloor2 [expr $WeightFloor2/$g];              # level 2 mass
set MassFloor3 [expr $WeightFloor3/$g];              # level 3 mass
set MassFloor4 [expr $WeightFloor4/$g];              # level 4 mass
set MassFloor5 [expr $WeightFloor5/$g];              # level 5 mass
set MassRoof [expr $WeightRoof/$g];                  # level 6 mass

set MassTotal [expr $MassFloor2+$MassFloor3+$MassFloor4+$MassFloor5+$MassRoof]; # total frame mass
```

Şekil 4. 25: OpenSees modelinde kütle atama ve kat ağırlıklarının hesaplanması.

4.7.6. Periyotların Okunması

Yapının titreşim periyotları, “eigen” komutu kullanılarak özdeğer analizi sonucu elde edildi. Bu işlem Şekil 4.26’da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

```
# perform eigen analysis
#-----
set lambda [eigen -fullGenLapack 5];

# calculate frequencies and periods of the structure
#-----
set omega {}
set f {}
set T {}
set pi 3.141592

foreach lam $lambda {
    lappend omega [expr sqrt($lam)]
    lappend f [expr sqrt($lam)/(2*$pi)]
    lappend T [expr (2*$pi)/sqrt($lam)]
}

puts "periods are $T"
```

Şekil 4. 26 'Eigen' komutu kullanılarak yapının titreşim periyotlarının hesabı.

X yönü ve Y yönü sırasıyla 5 açıklıklı ve 3 açıklıklı modellere ait yapının titreşim periyotları tablo 4.18’de gösterilmiştir.

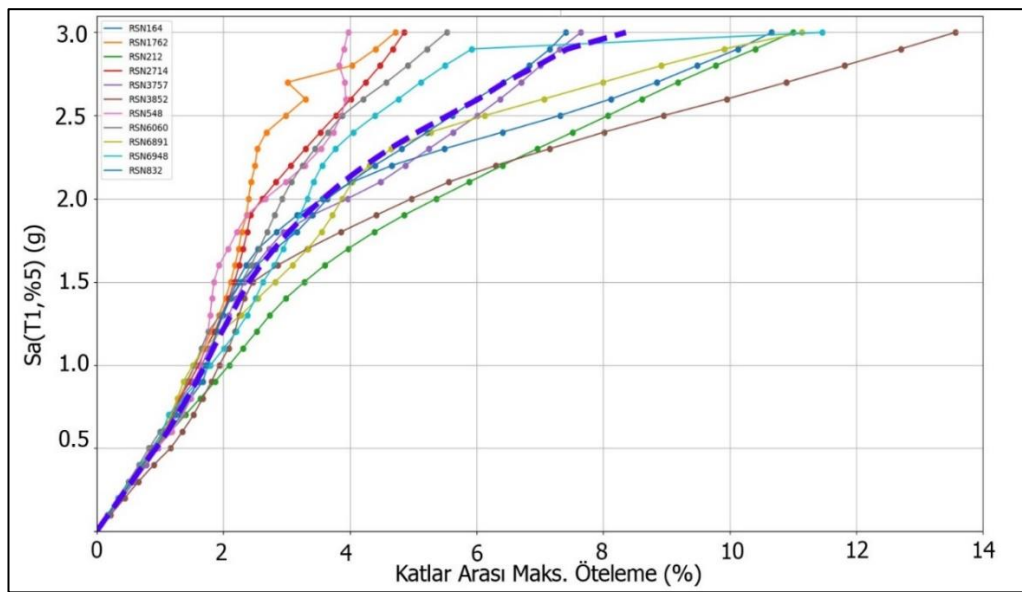
Tablo 4. 17: X ve Y aksı modellerinde yapının titreşim periyotları.

Çerçeve	T1 (sn)	T2 (sn)	T3 (sn)	T4 (sn)	T5 (sn)
X yönü (5 Açıklıklı)	0.71	0.21	0.11	0.07	0.06
Y yönü (3 Açıklıklı)	0.71	0.21	0.11	0.07	0.06

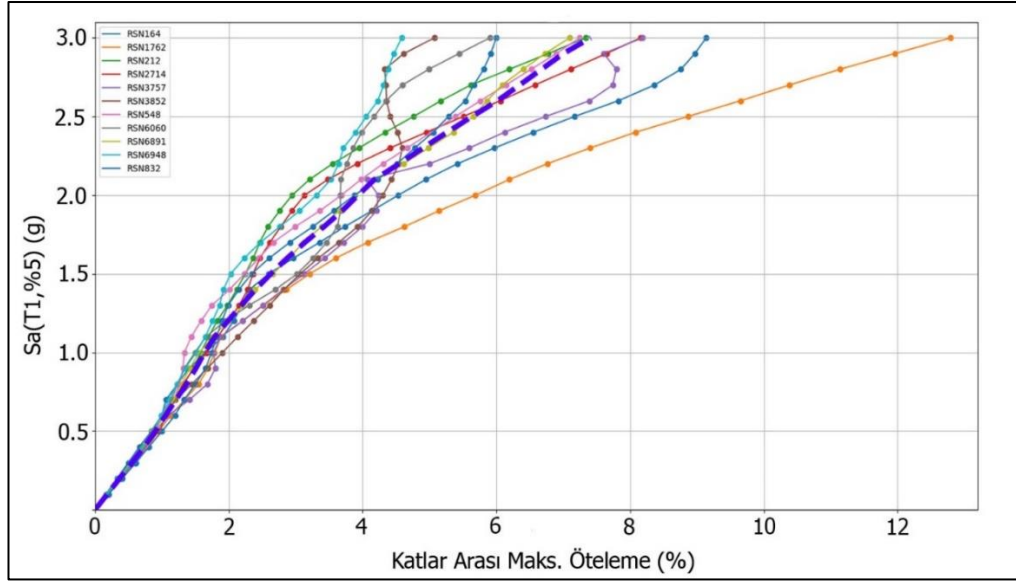
4.7.7. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

OpenSees programıyla kurulan, yapının X ve Y doğrultusunda 5 açıklıklı ve 3 açıklıklı modelleri, tanımlanan spektrumla ölçeklendirilen deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında analizleri yapıldı. Yoğunluk ölçeği olarak spektral ivme, hasar ölçeği olarak da katlar arasındaki maksimum ötelenme öngörüldü. [28] tarafından, %5'e eşit sönümleme için birinci mod spektral ivmenin, $S_a(T1, \%5)$ 'in doğru bir tahmin sağladığı için orta katlı yapılar için yeterli ve verimli bir IM seçimi olduğu kanıtlanmıştır. Artımsal dinamik analiz için kullanılacak tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiş deprem kayıtları, S_a değeri 0.1 g değerinden 0.1 g artışla 3.0 g değerine gelecek şekilde ölçeklendirildi. Deprem kayıtlarının hedef S_a değerine göre

ölçeklendirilmesiyle zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler tamamlandı. Bu analizler sonucunda S_a değeri 0.1g değerinden 0.1g artışla 3.0g değerine ulaşacak şekilde ölçeklendirilen deprem kayıtlarına maruz kalan yapının katlar maksimum öteleme değerleri hesaplandı. Sonuç olarak, 3 açıklıklı ve 5 açıklıklı yapısal sistem için her bir deprem kaydında değişen S_a değerine karşılık gelen öteleme değeri grafikleştirildi. Şekil 4.28’de 3 açıklıklı yapının 11 deprem kaydının kullanılarak, artımsal dinamik analizi sonucunu S_a - Kat ötelemesi grafiğini göstermektedir. Şekil 4.29’de 5 açıklıklı yapının 11 deprem kaydının kullanılarak, artımsal dinamik analizi sonucunu S_a -Kat ötelemesi grafiğini göstermektedir.

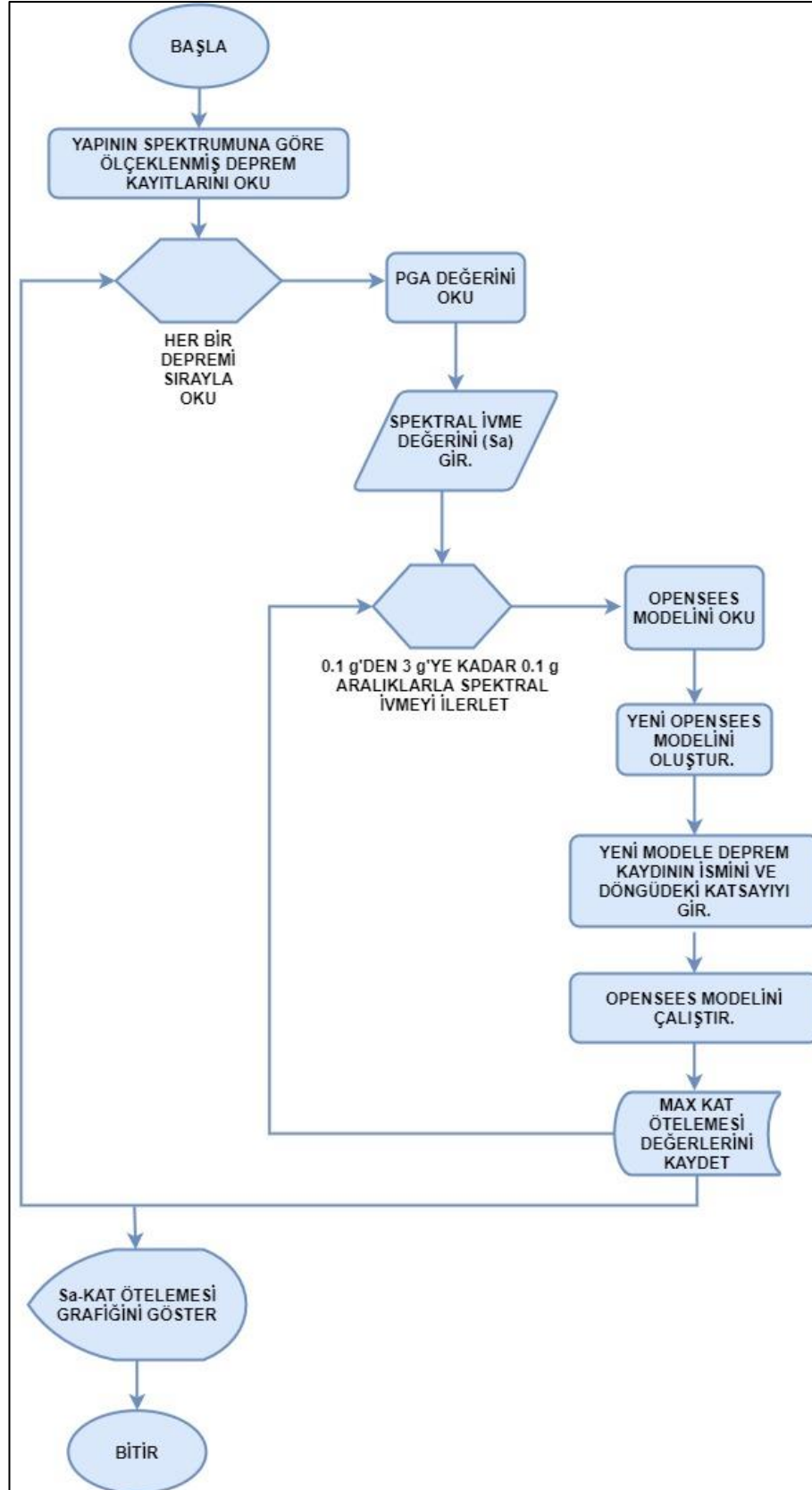


Şekil 4. 27 Y-Aksı 3 açıklıklı modele ait IDA eğrisi.



Şekil 4. 28 X-Aksı 5 açıklıklı modele ait IDA eğrisi.

Gerçekleştirilen programın algoritması şekil 4.29’da gösterilmiştir.



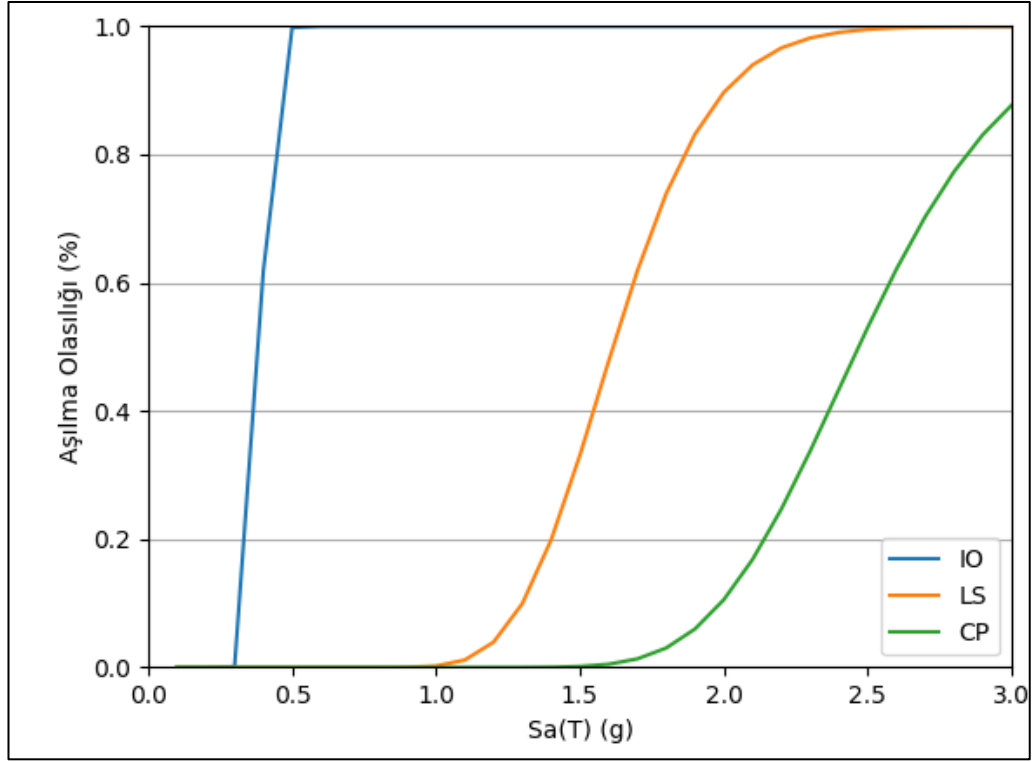
Şekil 4. 29 Geliştirilen programın IDA algoritması.

Hasar limit durumu tanımlanmasında, katlar arasındaki maksimum ötelenme değeri, FEMA-356'da çelik moment aktaran çerçeveler için tanımlanan değerler olarak kullanıldı. Tablo 4.19'da [29] çelik moment çerçeveler için ötelenme değerlerine göre hasar seviyeleri tanımlanmıştır.

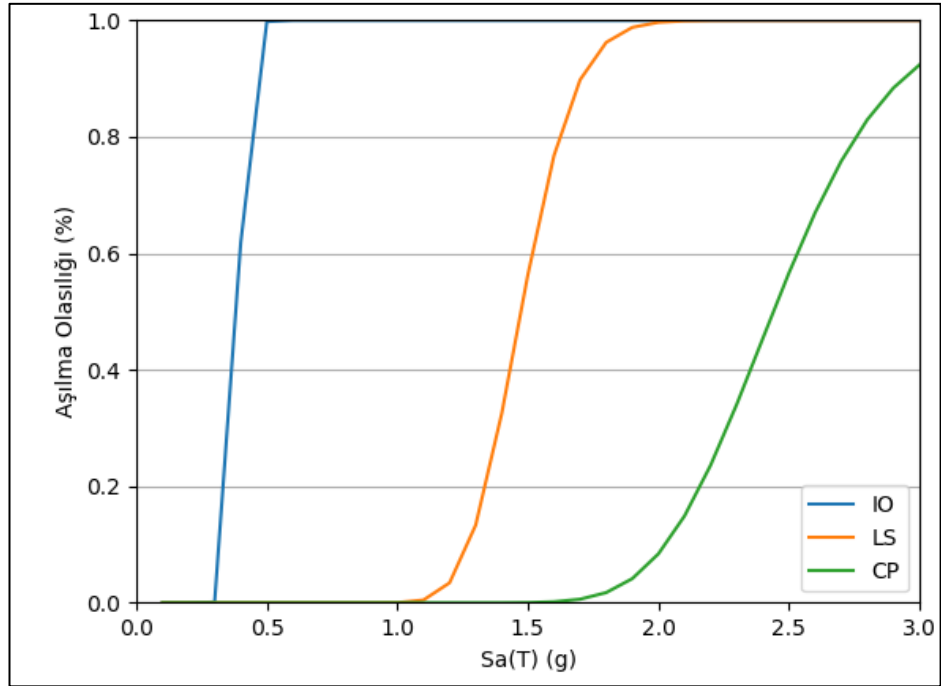
Tablo 4. 18 Çelik çerçeveler için katlar arası ötelenme limit durumları.

Ötelenme Limit Durumları	Çelik Moment Çerçeve	Çaprazlı Çerçeve
Hemen Kullanım (IO)	0.7%	0.5%
Can Güvenliği (LS)	2.5%	1.5%
Göçme Önlenmesi (CP)	5%	2%

Kırılganlık eğrileri, spektral ivme ve katlar arasındaki maksimum ötelenmenin bir fonksiyonu olarak depreme bağlı yapısal hasar olasılığını göstermektedir. Kırılganlık eğrisi standart olasılık dağılımına göre belirlenebilir (lognormal olduğu varsayılır). Tanımlanan hasar limit durumlarına bağlı olarak, bu çalışmada kullanılan sırasıyla 3 katlı ve 5 katlı moment aktaran çelik çerçevelere ait kırılganlık eğrileri Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de sırasıyla gösterilmiştir.

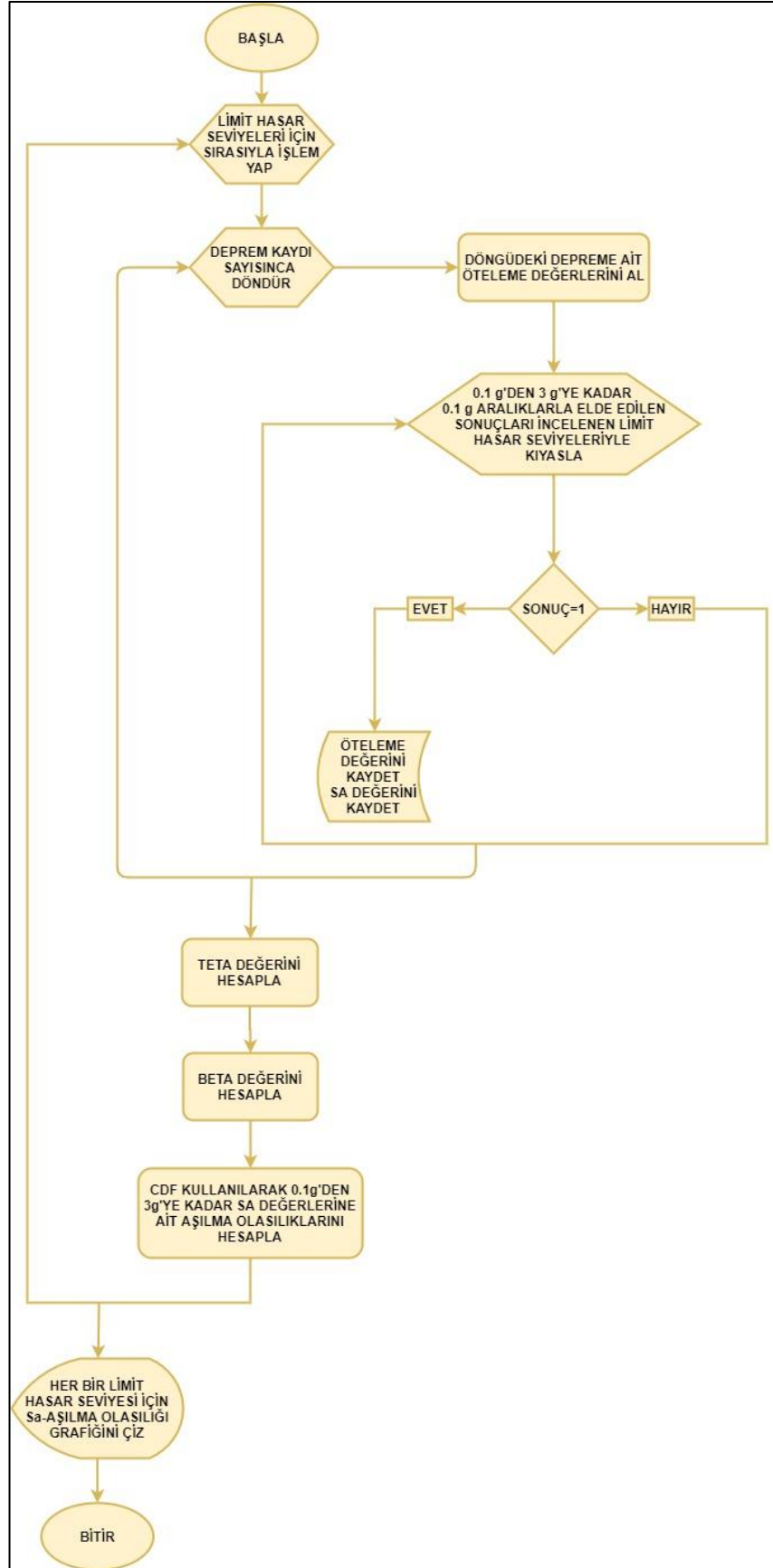


Şekil 4. 30: 3 Açıklıklı çerçeveye ait kırılmalık eğrisi.



Şekil 4. 31: 5 Açıklıklı çerçeveye ait kırılmalık eğrisi.

Geliştirilen programın kırılmalık eğrisi algoritması şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 32 Geliştirilen programın kırılmalık eğrisi algoritması.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında TBDY-2018 ve TÇY 2016 prosedürlerine göre çelik moment çerçeve OpenSees TCL komut diliyle modellenmiştir. PEER'dan alınan 11 deprem çifti seçilip, TBDY2018'e göre yapıya ait olarak tanımlanan tasarım spektrumuyla eşleştirilmiştir. Bu kayıtlar kullanılarak IDA analizleri gerçekleştirilmiştir. IDA için analizleri Python'da yazılım geliştirildi. Bu yazılım OpenSees'de modeli oluşturulan herhangi bir yapısal sistemin IDA analizlerini gerçekleştirebilecek şekilde geliştirildi. IDA eğrileri, deprem şiddet ölçüsü $S_a(T)$, hasar ölçüsü maksimum katlar arasındaki ötelenme alınarak, elde edildi. Baker (2015) [5], kırılganlık fonksiyonu kullanılarak, IDA analiz sonuçlarından, bu yapıya ait kırılganlık eğrileri hesaplandı.

Elde edilen sonuçlar irdelenmesi amacıyla performans tanımlaması FEMA-356'da belirtilen maksimum katlar arası ötelenme limit değerlerine göre yapılmıştır. Hemen kullanım, Can Güvenliği, Göçme Önlenmesi limit durumları için performans değerlendirmesi yapıldı. Bu limit durumları için ayrı ayrı kırılganlık eğrileri çizdirilip, hasar düzeyi olasılıklı olarak irdelenmiştir. Analizler ve kırılganlık eğrilerinin oluşturulmasında, yapının X ve Y yönü aksı göz önüne alınarak 2D modelleri kullanıldı. Hem 3 açıklık hem 5 açıklık olasılıklı hasar düzeyleri, tanımlanan performans hedeflerine göre hesaplanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada TÇY 2016 ve TBDY-2018 yönetmelikleri kapsamında verilen dayanıma göre tasarlanan yapı, spektral ivmesi 0.5g düzeyinde, hemen kullanım performansını aşacaktır. Yapının spektral ivmesi, 2.25g değerine ulaştığında, Can Güvenliği performans düzeyini aşmış olacaktır. Yapının spektral ivmesi, 3.00 g değerine ulaştığında, Göçme Önlenmesi performans düzeyini aşmış olacaktır.

Bu çalışmada geliştirilen Python kodunun, OpenSees modeli kurulan tüm sistemler için de kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Web 1,(1999) ,(<https://deprem.afad.gov.tr/>) (Erişim Tarihi: 10/10/2019).
- [2] Mortezaei A., & Ronagh H. R. (2013). Plastic hinge length of reinforced concrete columns subjected to both far-fault and near-fault ground motions having forward directivity. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22(12), 903-926.
- [3] Erberik M. A., Sucuoğlu H., & Acun B. (2012). Inelastic displacement response of RC systems with cyclic deterioration—An energy approach. *Journal of Earthquake Engineering*, 16(7), 937-962.
- [4] Bogoevska S., Spiridonakos M., Chatzi E., Dumova-Jovanoska E., & Höffer R. (2017). A data-driven diagnostic framework for wind turbine structures: A holistic approach. *Sensors*, 17(4), 720.
- [5] Baker J. W. (2015). Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis. *Earthquake Spectra*, 31(1), 579-599.
- [6] Ucar T., Merter O., & Duzgun M. (2012). A study on determination of target displacement of RC frames using PSV spectrum and energy-balance concept. *Structural Engineering and Mechanics*, 41(6), 759-773.
- [7] Borzi B., Pinho R., & Crowley H. (2008). Simplified pushover-based vulnerability analysis for large-scale assessment of RC buildings. *Engineering Structures*, 30(3), 804-820.
- [8] Vamvatsikos D., & Cornell C. A. (2002). Incremental dynamic analysis. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(3), 491-514.
- [9] Dolšek M., & Fajfar P. (2005). Simplified non-linear seismic analysis of infilled reinforced concrete frames. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 34(1), 49-66.
- [10] Web2,(2008),(<http://cografyaharita.com/>),(Erişim Tarihi: 20/11/2019).
- [11] Alyamaç K.E., and Erdoğan A. S. (2007). “Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri Ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları”.
- [12] İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye bina deprem yönetmeliği, TBDY-2018, Ankara, 2018.
- [13] Ilki A., & Celep Z. (2012). Earthquakes, existing buildings and seismic design codes in Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(2), 365-380.
- [14] Kale Ö. (2017). A Study Depending on the Probabilistic Seismic Hazard Analyses for Design Spectrum Parameters.

- [15] Code P. (2005). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels: European Committee for Standardization.
- [16] Council B. S. S. (1997). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part1 Provisions. FEMA302.
- [17] Web3,(2011) <http://www.imo.org.tr/>, (Erişim Tarihi: 20/12/2019).
- [18] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları”. Yönetmelik, İstanbul, 2016.
- [19] Çağlar N., Öztürk H., & Akkaya A. (2014). TDY2007’ye Göre Tasarlanmış Betonarme Bir Yapının Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri İle İncelenmesi’. Alındığı Tarih, 10, 2015.
- [20] Koçak İ. (2007). Seçilen bir kamu binasının doğrusal ötesi davranışında beton dayanımı ve etriye aralığının etkisi (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [21] Tunç Ç. (2015). Yarı Rijit Mesnetlenmiş Perdeler İle Güçlendirilen Bir Okul Binasının kırılgeçirgenlik Eğrileri (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [22] Porter K. (2015). A beginner’s guide to fragility, vulnerability, and risk. Encyclopedia of earthquake engineering, 2015, 235-260..
- [23] Porter K., Kennedy R., & Bachman R. (2007). Creating fragility functions for performance-based earthquake engineering. Earthquake Spectra, 23(2), 471-489.
- [24] Tayyebi S. M. (2014). Nonlinear Analysis Methods for Evaluating Seismic Performance of Multi-Story RC Buildings (Doctoral dissertation, Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ)).
- [25] FEMA, P. (2012). 751. 2009 NEHRP recommended seismic provisions: Design examples. Building Seismic Safety Council. Washington, DC, USA.
- [26] Ibarra L. F., & Krawinkler H. (2005). Global collapse of frame structures under seismic excitations (pp. 29-51). Berkeley, CA: Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [27] Bozza A. , Asprone D., Jalayer F., and Manfredi G.(2015), “How can insurers get prepared to catastrophes? Assessing earthquake expected losses from historical catalogue,” (pp. 3778–3792). COMPDYN 2015 - 5th ECCOMAS Thematic. Conference.onComputational. Methods in Structural. Dynamic. Earthquake. Engineering.
- [28] Uçar T., & Düzgün M. (2013). Betonarme Binalar için Artımsal İtme Analizi

Esaslı Analitik Hasar Görebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması. İMO Teknik Dergi, 402, 6421-6446.

- [29] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2012). Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 1-Methodology. Rep. No. FEMA P-58-1.
- [30] Standartları, T. (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Abdurrahman AKCAN 1989 yılında Van’da doğmuştur. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümünde lisans eğitime başlayıp 2013 yılında mezun olmuştur. Mezuniyetten sonra 2 yıl çeşitli ülkelerde saha mühendisi olarak çalışmıştır. Ardından Türkiye’de çeşitli firmalarda proje mühendisi olarak çalışmıştır. Halen özel sektörde proje mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başlamış, 2020 yılında mezun olmuştur.