

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME PREFABRİKE SANAYİ YAPILARINDA
SİSMİK SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRME

AKIN EKİNCİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME PREFABRİKE SANAYİ
YAPILARINDA SİSMİK
SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRME

AKIN EKİNCİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
PROF.DR. YASİN FAHJAN

GEBZE
2019

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**RC PRECAST INDUSTRIAL FACILITY
BUILDING RETROFITTING WITH
ENERGY DISSIPATING DEVICES**

AKIN EKİNCİ

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM**

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE

2019

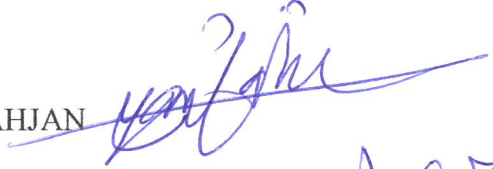
GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/07/2019 tarih ve 2019/30 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 30/07/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Akın EKİNCİ'nin tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Prof. Dr. Yasin FAHJAN



ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Can ZÜLFİKAR



ÜYE

: Prof. Dr. Kemal BEYEN



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

/ /2019 tarih ve 2019/ sayılı kararı.

ÖZET

Ülkemizdeki sanayi yapıların büyük bir kısmını, uzun yıllardır kullanılan, çok açıklıklı veya tek açıklıklı genellikle bir katlı betonarme prefabrike yapılar oluşturmaktadır. Ne yazık ki geçmiş dönemlerdeki Deprem yönetmeliklerimizin genel olarak eksik/hatalı oluşu ve özellikle prefabrike yapılar ile ilgili 1998 yönetmeliğine (TS9967 Deprem yönetmeliği olarak görülmemiştir) kadar bu tarz yapıların deprem hesabı için hiçbir özel şartın bulunmaması yapı stoğunun performansının ne düzeyde sorunlu olduğunu ilk bakışta ortaya koymaktadır. 2007 Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY-2007) bu tip yapıların tasarımı ile ilgili Bölüm 3'te kısa bir tanımlama yapılmıştır. 2018 yönetmeliğinde (TBDY 2018) bu tarz yeni yapıların tasarımı Bölüm 8 de daha kapsamlı olarak ele alınmıştır. Ancak her iki yönetmelikte de betonarme prefabrike yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili olarak spesifik konu ve detaylar bulunmamaktadır.

Günümüzde mevcut betonarme prefabrike yapıların güçlendirmesi çalışmalarında “klasik yöntemler” kullanılmaktadır. Bu güçlendirme çalışmaları, tesisler için, büyük iş kesintileri, alan kaybı ve imalat zorluklarına sebep olmaktadır.

Tez çalışmasında, 1999 Adapazarı depremi sonrasında TPB tarafından yapılan incelemeler sonucunda organize sanayi bölgesinde yıkılan örnek yapılardan A Grubu yapı tipi seçilerek mevcut deprem performansı değerlendirilmiş ve bu yapı tipi için sismik enerji sönümleyiciler ile güçlendirme çalışması yapılması çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında Lineer Sürtünmeli ve Viskoz tip enerji sönümleyiciler kullanılmıştır. Yapının benzerlik gösteren akslarından kısa ve uzun doğrultuda iki aksı belirlenmiş ve bu akslar için Zaman Tanım Alanında analizler yapılmıştır.

Analizler sonucunda mevcut yapı tepe deplasmanı ve yapı performansında sınırlı da olsa iyileşmeler görülmüştür. Yapının Göçme Durumu Performans seviyesindeki mevcut durumu uzun doğrultuda Kontrollü Hasar (Can Güvenliği) Seviyesine geliştirilmiş, kısa doğrultuda Göçme Durumu Performansı aşılamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Prefabrike Yapı, Güçlendirme, Enerji Sönümleyici, Zaman Tanım Alanında Analiz.

SUMMARY

Most of the industrial buildings in Turkey consist of multi-span or single-span and generally single story reinforced concrete prefabricated structures that have been used for many years. Unfortunately, previous seismic regulations were generally incomplete/faulty in the past and seismic provisions, especially for the prefabricated structures have never been mentioned till 1998 Earthquake Code (TS9967 cannot be considered as a seismic code) and it shows at a first glance how problematic the performance of the building stock is. A brief description was included in Chapter 3 of the 2007 Earthquake Code regarding this type of structures. In 2018 Earthquake Code, the design of such new structures is explained in more detail in Chapter 8. However, both regulations do not cover the specific issues and details regarding the evaluation and strengthening of reinforced concrete prefabricated structures.

Nowadays, “classical methods” are used for the retrofitting of the existing reinforced concrete prefabricated buildings. These retrofitting activities cause major operational interruptions, loss of space and manufacturing/erection difficulties for plants.

In the thesis study, Group-A type of structure was selected according to the classification of structures as per the results of investigations carried out by TPB after 1999 Adapazari earthquake among the demolished structures in the industrial zone, and seismic evaluation of this type of structure was carried out. Then, retrofitting study was performed with seismic energy dissipation devices.

Friction (Linear) and Viscous type dampers were used during studies. Two axes representing the structure along short and long directions were selected and Time-History analyses were carried out for these axes.

As a result of the analyzes, there have been some improvements in the top displacement and performance of the building. The “Collapse Performance Level” of the existing building was managed to level up to “Damage Control (Life Safety)” along long axis, however, “Collapse Performance Level” remained as the same along short axis.

Keywords: Precast Structure, Retrofitting, Energy Dissipating, Time History Analysis.

TEŞEKKÜR

En başta, her zaman bana inanan ve her şart altında yanımda olan aileme, tüm sabrı ve bilgisi ile çalışma süresince ilgisini hiç esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Yasin Fahjan’a, değerli jüri üyeleri Prof. Dr. Kemal Beyen ve Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Can Zülfikar hocalarıma, çalışma boyunca mesleki deneyimi, yol göstericiliği ile sonsuz destek veren kıymetli meslektaşım, dostum, İnş. Y. Müh. İzgi Şendağ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLolar DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
1.2. Benzer Çalışmalar	4
1.3. Tezin Kapsamı	6
2. PREFABRİKE YAPILAR	7
2.1. Genel Tanım	7
2.2. Tasarım Yönetmeliklerimiz	11
2.2.1. 1949 Yönetmeliği	12
2.2.2. 1953 Yönetmeliği	12
2.2.3. 1962 Yönetmeliği	13
2.2.4. 1968 Yönetmeliği	13
2.2.5. 1975 Yönetmeliği	16
2.2.6. 1998 Yönetmeliği	19
2.2.7. TS9967 Standardı	24
2.2.8. 2007 Yönetmeliği	25
2.2.9. 2018 Yönetmeliği	28
2.3. Tek Katlı Mafsallı Prefabrike Yapılarda Deprem Sonrası Hasarlar	33
2.4. Tipik Konvansiyonel Güçlendirme Yöntemleri	37
2.4.1. Güçlendirme İlkeleri	38
2.4.2. Güçlendirme Tipleri	40
2.4.2.1. Güçlendirme	41
2.4.2.2. Sistem Güçlendirilmesi	44

3. YAPI PERFORMANSI ve SİSMİK İZOLASYON	48
3.1. Performans Hedefi	48
3.1.1. FEMA 356 – ASCE 41 Performans Hedefleri	49
3.1.1.1. Yapısal Eleman Performans Seviyeleri	49
3.1.1.2. Yapısal Olmayan Eleman Performans Seviyeleri	50
3.1.1.3. Bina Performans Seviyeleri	50
3.1.1.4. Bina Performans Hedefleri	52
3.1.2. TBDY 2018 Performans Hedefleri	53
3.1.2.1. Bina Performans Hedefleri	54
3.1.2.2. Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri	55
3.1.2.3. Bina Performans Seviyeleri	56
3.2. Statik İtme Analizi (Tek Modlu)	57
3.2. Zaman Tanım Alanında Analizi	59
3.2.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi	60
3.2.2. Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme ile Ölçeklendirilmesi	60
3.3. Rayleigh Sönümü	61
3.4. Sismik İzolasyon	62
3.4.1. Enerji Sönümleyiciler	63
3.4.1.1. Deplasman Bağımlı Enerji Sönümleyiciler	65
3.4.1.2. Hız Bağımlı Enerji Sönümleyiciler	68
4. SAYISAL UYGULAMA	71
4.1. Örnek Yapı Seçimi	71
4.1.1. Örnek Yapı Özellikleri	72
4.2. Örnek Yapı Mevcut Durumu	75
4.2.1. Depremsellik	78
4.2.2. Mevcut Yapı Performansı	80
4.3. Örnek Yapı Güçlendirme Kabulleri	83
4.3.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	83
4.3.2. Mevcut Sönüm Kabülleri	84
4.3.3. İlave Sönüm Hesap Kabulleri	85
4.4. Örnek Yapı Güçlendirme Hesapları	88
5. TARTIŞMA	96
6. SONUÇLAR	97
7. GELECEK ÇALIŞMALAR	99

KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ	102
EKLER	103

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
ASCE 41	: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
FEMA356	: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency
GÖ	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi
KK	: Kesintisiz kullanım performans düzeyi
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research
RIBA	: Royal Institute of British Architects
SH	: Sınırlı hasar performans düzeyi
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlike Haritası
TPB	: Türkiye Deprem Tehlike Haritası
ZTA	: Zaman Tanım Alanında analiz
n_1	: Yapı ve zemin cinsine göre değişen katsayısı
n_2	: Deprem bölgesine göre değişen katsayı
C_0	: Bina yüksekliğine göre değişen deprem katsayısı, deprem bölge katsayısı
F	: Binaya gelen toplam deprem kuvvet
W	: Binanın toplam sismik ağırlığı
α	: Deprem zemin katsayısı
β	: Bina önem katsayısı

γ	: Bina dinamik katsayısı
T	: Hâkim Periyot
H	: Binanın temel tabakasından yüksekliği (m)
D	: Binayı etkileyen yanal kuvvetlerin doğrultusuna paralel doğrultuda bina genişliği
F_i	: Katlara etkiyen deprem kuvveti
h_i	: i. katın bina temel tabanından yüksekliği
K	: Yapı tipi katsayısı
S	: Yapı dinamik katsayısı (spektral katsayı)
I	: Yapı/Bina önem katsayısı
F_t	: Yapının en üst kat düzeyine uygulanacak münferit kuvvet
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
R	: Taşıyıcı sistem katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
T_A, T_B	: Spektrum Köşe periyotları
ΔF_N	: Yapının N'inci (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
$(\Delta_i)_{\max}$	: Göreli kat ötelenmelerinin kat içindeki maksimum değeri
TS9967	: Yapı Elemanlar, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan- Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları
N	: Toplam kat sayısı
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
PGA	: Peak Ground Accerelation (En büyük yer ivmesi) (g)

PGV	: Peak Ground Velocity (En büyük yer hızı) (cm/sn)
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
F_S	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (sn)
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri
$F_{iE}^{(x)}$	: Katlara etkiyen deprem kuvveti
$V_{tE}^{(x)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
$V_{iE}^{(x)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
$\Delta F_{NE}^{(x)}$	: Ek eşdeğer deprem yükü
$\Delta_i^{(x)}$	: (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]
$\delta_i^{(x)}$	: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi [m]
$\delta_{i,max}^{(x)}$	: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri [m]
λ	: Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
κ	: İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
c	: Rayleigh sönümü oranı
a_0	: Rayleigh sönümü kütle matrisi katsayısı (s^{-1})
a_1	: Rayleigh sönümü rijitlik matrisi katsayısı (s)
$[m]$	: Rayleigh sönümü kütle matrisi

$[k]$	: Rayleigh sönümü rikitlik matrisi
$d_{1,max}^{(X)}$	: Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yerdeğiştirmesi
$S_{di}(T_1)$	: Taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
C_R	: Spektral yerdeğiştirme oranı
W_j	: Sönümleyicilerin bir çevrimde yarattığı toplam enerji
W_k	: Yapının mevcut histerezis hareketi ile yarattığı enerji
β	: Mevcut yapının kabul edilen sönüm oranı
β_{eff}	: Yapının sönümleyicili toplam sönüm oranı
F	: Sönümleyici kuvveti
K_{eff}	: Sönümleyicinin efektif rijitliği (Sürtünmeli)
Δ	: Sönümleyici maksimum uzaması (stroke)
C_0	: Sönüm katsayısı (Viskoz- Viskoelastik)
$ \dot{D} $	: Deprem hız bileşeni
α	: Alet için tanımlanan hız üstel sabiti (0,3 – 1 arasında bir katsayı)
ρ_{sh}	: Etriye hacimsel oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1:	Tipik tek katlı prefabrike sanayi yapısı görseli. 9
2.2:	1962 yönetmeliği Co katsayısı değerleri. 13
2.3:	1975 yönetmeliği elastik tasarım spektrum grafiği. 17
2.4:	1998 yönetmeliği elastik tasarım spektrum grafiği. 22
2.5:	2018 yönetmeliği yatay elastik tasarım spektrumu grafiği. 31
2.6:	Yetersiz mesnet detayı hasar görseli. 35
2.7:	Makas devrilme hasarı görseli. 36
2.8:	Yetersiz deplasman hasarı görseli. 36
2.9:	Bir yönde aşırı deplasman hasarı görseli. 36
2.10:	Aşırı deplasman ve kolon hasarı görseli. 37
2.11:	Aşırı deplasman duvar hasarı görselleri. 37
2.12:	Tipik kolon betonarme manto donatı görseli. 41
2.13:	Kolon çelik sargı manto görseli. 43
2.14:	Karbon lifli kolon-kiriş sargı görseli. 46
2.15:	Makas ucuna ilave ankraj görseli. 46
2.16:	Makas devrilme hasarı görseli. 47
2.17:	Makas ucuna ilave levha kaynatılması (Pimli). 47
2.18:	Makas uç bölgesinin ilave levha ile sarılması. 47
3.1:	Performans hedefi-güçlendirme maliyeti kıyaslama grafiği. 53
3.2:	TBDY 2018 kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri. 56
3.3:	a) İtme eğrisi b) Modal kapasite diyagramı.. 58
3.4:	Spektral ivme-spektral deplasman ile modal kapasite diyagramı 59
3.5:	çakıştırma grafiği 62
3.5:	Mod sönüm oranlarının doğal frekansla değişimi: a) Kütleyle ve 62
	rijitlikle orantılı sönüm b) Rayleigh sönümü.
3.6:	Sismik izolasyon çeşitleri. 63
3.7:	Histerezis sönüm hesaplama grafiği. 65
3.8:	Metal sönümleyici örnek görseli. 66
3.9:	Sürtünmeli sönümleyici görseli a) X çapraz tip b) Dönmeli tip 66
	c) Lineer tip.

3.10:	a) Sürtünmeli sönümleyici kuvvet-deplasman grafiği b) Metal sönümleyici kuvvet-deplasman grafiği.	67
3.11:	a) Metal sönümleyici ilaveli yapı taban kesme kuvveti-deplasman grafiği b) Sürtünmeli sönümleyici ilaveli yapı taban kesme kuvveti-deplasman grafiği.	68
3.12:	Tipik viskoz sönümleyici görseli.	69
3.13:	Tipik viskoelastik sönümleyici görseli.	69
3.14:	a) Viskoz sönümleyici kuvvet-deplasman grafiği b) Viskoelastik sönümleyici kuvvet-deplasman grafiği.	70
3.15:	Viskoelastik sönümleyici ilaveli yapı taban kesme kuvveti-deplasman grafiği.	70
4.1:	A grubu örnek yapı görseli.	72
4.2:	Örnek yapı tipik en kesiti.	72
4.3:	Mevcut kolon donatıları.	73
4.4:	Tipik makas kesiti detayı.	74
4.5:	Tipik temel boyutları.	74
4.6:	Tipik aşık ve oluk kesiti.	75
4.7:	Mevcut yapı 3 boyutlu analiz modeli görseli.	76
4.8:	A aksı alt mesnet kolon kesiti malzeme modeli (SI1a).	77
4.9:	A aksı alt mesnet kolon kesiti (SI1a) plastik mafsallık özellikleri.	78
4.10:	Örnek yapı AFAD TDTH en büyük yer ivmesi (PGA) değeri.	79
4.11:	TBDY 2018 yatay elastik tasarım spektrumu.	79
4.12:	İtme analizi kabulleri (X yönü).	80
4.13:	Mevcut yapı performans noktası grafiği a) X yönü b) Y yönü.	81
4.14:	X yönü kolon hasar grafiği.	81
4.15:	Y yönü kolon hasar grafiği.	81
4.16:	A grubu yapı kolon hasarı.	82
4.17:	A grubu yapı deprem sonrası görseli.	82
4.18:	Deprem kayıtları-spektrum karşılaştırma grafiği (Ölçeklenmiş).	84
4.19:	Rayleigh sönümü grafiği.	85
4.20:	Kapasite spektrum yöntemi performans noktasının belirlenmesi.	86
4.21:	Sürtünmeli sönümleyici efektif sönüm hesabı parametreleri.	87
4.22:	Viskoz sönümleyici efektif sönüm hesabı parametreleri.	88

4.23:	Kısa ve uzun doğrultu sönümleyici yerleşimi (Temsili).	89
4.24:	3 aksı ve C aksı sönümleyici yerleşim planı.	89
4.25:	C aksı sürtünmeli sönümleyici Sap2000 kabulleri.	90
4.26:	3 aksı viskoz sönümleyici Sap2000 kabulleri.	91
4.27:	3 aksı sürtünmeli sönümleyicili kapasite diyagramı (Histerezis).	92
4.28:	3 aksı viskoz sönümleyicili kapasite diyagramı (Histerezis)	92
4.29:	C aksı sürtünmeli sönümleyicili kapasite diyagramı (Histerezis).	94
4.30:	C aksı viskoz sönümleyicili kapasite diyagramı (Histerezis).	94

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: 1953 yönetmeliği deprem katsayısı (C) tablosu.	12
2.2: 1953 yönetmeliği (n) katsayısı tablosu.	13
2.3: 1968 yönetmeliği deprem bölge katsayısı (C_0).	14
2.4: 1968 yönetmeliği deprem zemin katsayısı (α).	14
2.5: 1968 yönetmeliği bina önem katsayısı (β).	15
2.6: 1968 yönetmeliği hareketli yük katsayısı (n).	15
2.7: 1975 yönetmeliği deprem bölge katsayısı (C_0).	17
2.8: 1975 yönetmeliği yapı önem katsayısı (I).	17
2.9: 1975 yönetmeliği yapı tipi katsayısı (K).	18
2.10: 1998 yönetmeliği etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).	20
2.11: 1998 yönetmeliği taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).	21
2.12: 1998 yönetmeliği spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B).	22
2.13: TS9967 yönetmeliği deprem için R yapı tipi katsayısı.	25
2.14: 2007 yönetmeliği taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R.)	26
2.15: 2018 yönetmeliği kısa periyot bölgesi yerel zemin etki katsayıları.	29
2.16: 2018 yönetmeliği 1.0 saniye periyot yerel zemin etki katsayıları	30
2.17: 2018 yönetmeliği taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	33
3.1: Bina performans seviyeleri tablosu.	51
3.2: Performans hedefi tablosu.	52
3.3: TBDY 2018 yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$)	54
3.4: TBDY 2018 mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek Binalar dışında – $BYS \geq 2$)	55
3.5: TBDY 2018 yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar ($BYS=1$)	55
4.1: Seçilen deprem kayıtları tablosu (Ölçeksiz)	83
4.2: Seçilen kayıtlar ölçek katsayıları	84
4.3: Efektif sönüm azaltım katsayıları	86

4.4:	3 aksı takviyeli hal tepe deplasmanı ve sönümleyici değerleri	91
4.5	3 aksı sönümleyici takviyeli hal hasar durumu tablosu	93
4.6	3 aksı takviyeli hal tepe deplasmanı ve sönümleyici değerleri	93
4.7	C aksı sönümleyici takviyeli hal hasar durumu tablosu	95

1. GİRİŞ

Türkiye en etkin deprem kuşaklarından biri üzerinde (Akdeniz-Alp-Himalaya) yer almaktadır. Dünyadaki toplam depremlerin beşte birinin meydana geldiği bu kuşak, birbirine karşıt olarak uzanan kırıkların oluşturduğu bir ağ görünümü ile Türkiye'yi, Kuzey, Güney ve Batı'dan üç asli kırık sistemiyle kat etmekte, bu asli sistemlere, yerel kırık zonları da eklenmektedir. Deprem haritası ve bu haritaya esas sismisite verilerine göre, Türkiye topraklarının %93'ü deprem bölgeleri içinde yer almaktadır. Yeryüzünde 600 milyon insanın deprem açısından riskli bölgelerde yaşadığı tahmin edilirken Türkiye nüfusunun %98'i deprem tehdidi altında yaşamaktadır. Sanayi kuruluşlarının %98'i deprem bölgelerinde ve %73'ü de aktif fay zonları içinde yer almaktadır. Aynı şekilde barajlarımızın %95'i bu tehlikeli topraklar üzerinde bulunmaktadır [1].

Ülkemizde 20. yüzyılın başından itibaren yaklaşık 60 adet yıkıcı şiddette deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyük bir çoğunluğu ~1500 km uzunluğa sahip Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde oluşmuştur. Bu fay sistemi üzerinde meydana gelen en büyük depremler sırasıyla 1939, 1943, 1944, 1966, 1967, 1992 ve 1999, 2001 ve 2011 tarihli depremler olup bu depremlerde yaklaşık 92.000 can kaybı, 175.000 yaralanma olayı yaşanmış ve 650.000'den fazla bina kullanılamaz hale gelmiştir [2].

Marmara bölgesinde 17 Ağustos 1999 tarihinde oluşan yıkıcı deprem, İzmit'in güneydoğusunda (12 km), Kuzey Anadolu Fay hattı üstünde moment büyüklüğü M_w : 7.4 ve maksimum şiddeti X (MSK) sınıfındadır. Deprem Araştırma Dairesi tarafından bu depremin dışmerkezi 40.70N, 29.91E derinliği 15.9 km olarak belirlenmiştir. Resmi kayıtlardan alınan bilgilere göre bu depremde 66.441 konutun ve 10.901 işyerinin ağır hasara, 67.242 konutun ve 9.927 işyerinin orta hasara, 80.160 konutun ve 9.712 işyerinin hafif hasara uğramasına ve 17.479 kişinin ölmesi, 43.953 kişinin yaralanmasına neden olmuştur. 1999 depremi, 1939 yılında meydana gelen Erzincan Depremi (M_w :7.8 ve ölü sayısı: 32.962)'n den sonra can kaybı açısından son yüzyılda oluşan en büyük ikinci depremdir.

Ülkemizin sanayi yapılar genel olarak tek katlı prefabrik yapı sistemlerinde oluşmaktadır. Bu prefabrike yapılar, büyük açıklıklı tek katlı yapılardır. Tipik yapılar, kolonları üstten mafsal bağlantılı temelden ankastre bağlantılı (çanak temel)

sistemlerdir. Bu tür prefabrike betonarme binaların deprem anında tipik konsol kolon davranışı göstermeleri beklenmektedir. Ancak, tasarımı oldukça basit olan bu sistemlerdeki süreksiz mafsallı bağlantılar, zamanında yapılan elle analizleri kolaylaştırmasına rağmen yapının dinamik yükler altındaki gerçek davranışını tam olarak yansıtmadığı deprem sonrası performanslardan anlaşılmaktadır. Betonarme binaların tasarımı ve analizi betonarme malzemenin davranışındaki belirsizliklerden ötürü zor olmasının yanı sıra, bir de prefabrik binalardaki sistem mafsalların ve süreksizliklerin eklenmesi üç boyutlu prefabrik yapısal sistemin deprem kuvvetlerine tepkisinin anlaşılmasını bir hayli zorlaştırmaktadır.

1998 Ceyhan ve 1999 Marmara gibi büyük depremlerde ağır hasar gören (çoğunlukla yıkılan) prefabrike sanayi yapıları, bu tip yapıların deprem sonrası performanslarının ciddi olarak düşünülmesi ve araştırılmasına sebep olmuştur. Yaşadığımız bu depremler bizlere göstermektedir ki, yaşanabilecek can kayıplarının yanı sıra, endüstrimizin çok büyük bir kısmı ciddi risk altındadır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin (ODTÜ) Adapazarı'nda 1999 depremi sonrasında yapılan çalışmasında sanayi yapılarının %80'nin tümünden veya kısmen göçen prefabrik yapılar olduğu görülmüştür. Yine Marmara depremi sonrasında TPB (Türkiye Prefabrike Birliği) kuruluşlarının bölge genelinde rapor ettikleri hasar oranı %10 seviyesindedir. Birliğe üye olmayan kuruluşlarda hasar oranının daha da yüksek olacağı öngörülmektedir.

Ülkemizde 1960'lı yılların başından beri kullanılan prefabrike yapılar ilk dönemlerinde Avrupa'daki örnekleri kopya edilerek üretilmişlerdir. Ancak, Avrupa'da deprem riskinin düşük olması nedeniyle bu bölgelerde geliştirilen detaylar ülkemiz şartlarında -deprem durumunda- olumlu sonuçlar yaratmamıştır. Türkiye Deprem Yönetmelikleri incelendiğinde 1998 yönetmeliğine kadar prefabrike yapıların deprem hesabından bahsedilmemektedir. 1998 yönetmeliğine kadar bu açık 1992 yılında çıkan "TS 9967-Yapı Elemanları Taşıyıcı Sistemler ve Binalar – Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları" ile kapatılmaya çalışılmıştır. Bu yönetmelik kapsamında prefabrike yapılar için ilk defa (R) yapı tipi katsayısı tanımlanmıştır.

Türkiye ekonomisi açısından Sanayi bölgelerinin ve bu bölgelerdeki prefabrik yapıların değeri çok büyüktür. Genel olarak sanayi yapılarının deprem sonrası hasar durumlarının öncelikle Can Güvenliğinin sağlanması şartı ile minimum düzeyde kalması sürdürülebilirlik açısından ülke ekonomisine maksimum fayda sağlayacaktır.

1.1. Tezin Amacı

Türkiye’de sanayinin %60’ı Marmara Bölgesi’nde yer alır. İstanbul, İzmit, Bursa, Sakarya ve Tekirdağ sanayi şehirleridir. Sanayi bölgelerimizdeki yapıların büyük çoğunlu prefabrike betonarme, tek katlı, kolon alt uçları temele ankastre, çanak (yuva) temellidir. Kolon üst uçları büyük açıklık doğrultusunda genelde üçgen çatı makasları ile mafsallı birleşim yapacak şekilde bağlanmaktadır. Diğer yönde de dere kirişleri kolonlara benzer şekilde bağlanır. Çatı aşıklar da üçgen makasa mafsallı bağlantı olacak şekilde veya sadece temas ile monte edilmektedir. Uygulama ve imalat kolaylıkları, büyük açıklık geçebilme kabiliyetleri sebebi ile bu tarz yapılar yoğun olarak tercih edilmektedir.

Mevcut sanayi yapısı stoğunun büyük kısmı 20-30 yaşlarını doldurmuş durumdadır. Yapıların imal edildiği zamandaki deprem mühendisliği bilgisi, dönem yönetmeliklerindeki eksikler ve imalat detaylarındaki yetersizlikler dikkate alındığında bu tarz yapıların yeni bilgileri ışığında son dönem yönetmeliklere göre mutlaka değerlendirilmesi gerekmektedir.

Geçmiş deprem tecrübelerimiz ne yazık ki bu tarz yapı stoğunun deprem sonrası performanslarının yeterli olmadığını göstermiştir. Deprem sonrasında yapılan birçok çalışmada incelenen tüm yapılarda yetersizlikler gözlenmiş ve çeşitli güçlendirme önerileri sunulmuştur. Bu güçlendirme önerileri genel olarak birleşim bölgeleri takviyeleri, yetersiz yapı rijitliği nedeni ile, klasik yöntemler kullanılarak, kolon mantolamak (beton-çelik elemanlar ile) veya sisteme perdeler/çaprazlar eklemek şeklinde olmuştur. Bu tarz güçlendirme yöntemi yeterli dayanım sağlamakla beraber imalat esnasında ciddi imalat süresi ve alan kaybının yanı sıra ciddi iş kaybına neden olmaktadır.

Tez çalışmasında, tek katlı prefabrike yapıların yenilikçi (inovatif) yöntemlerden pasif enerji sönümleyiciler kullanarak mevcut durumlarının iyileştirilerek güçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Yenilikçi yöntemler sayesinde daha az alan kaybı, daha hızlı güçlendirme imalatı ve minimum iş kaybı sağlanması hedeflenmektedir.

1.2. Benzer Çalışmalar

Prefabrike yapılar için, Türkiye’de yapılmış tez kapsamına benzer çalışmalar için literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan tarama sonucunda Prefabrike tek katlı sanayi yapıları için yerel ve yabancı yönetmelik şartlarının irdelenmesi, mevcut performansların belirlenmesi, birleşim noktalarının tasarımlarının/kapasitelerinin irdelenmesi ve bu tarz yapıların konvansiyonel yöntemlerle güçlendirilmesi ile ilgili birçok Yüksek Lisans ve Doktora Tezi seviyesinde çalışmalara ulaşılmıştır. Türkiye içinde yapılan çalışmalar incelendiğinde bu tez çalışmasına konu olan sismik sönümleyicilerle güçlendirme konusunra bir Yüksek Lisans ve bir adet Doktora tezine (YÖK Tez Merkezi verilerine göre) ulaşılmıştır. Aşağıda sismik sönümleyiciler ile yapılan tezler ve konu ile ilgili olarak performans analiz yöntemlerinin kullanıldığı birkaç tez konusu özetlenmiştir.

Halis Gürlek [20], 2009 yılında yaptığı tez çalışması kapsamında tek katlı prefabrike endüstri yapılarının DBYBHY 2007 ve FEMA 356 yönetmeliklerine göre performans analizi üzerinde çalışmıştır. Tez çalışması sonucu olarak yapılan analiz hesapları sonucunda örnek iki çerçeve yapının performansları yönetmeliklerce benzer şekilde çıkmış ve yeterli olduğu saptanmıştır. Ayrıca kırıklı çerçeve tip makaslı yapıda doğrusal olmayan davranışın daha çok kesitte görülebilmesinden dolayı daha iyi sonuçlar (daha küçük kolon boyutu olmasına rağmen) verdiği görülmüştür.

Nihat Çetinkaya [21], 2007 yılında doktora çalışmasında prefabrik sanayi yapılarının deprem davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada elde edilen bulgular mevcut sistemlerin diyafram davranışı gösteremediği, yapının deprem sırasında belli bir limite kadar kararlı davrandığını limit aşımı sonrası ise belirsiz davranışlar sergilendiği belirtilmiştir. Deprem sonrası hasar göre yapılardaki hasar tiplerinin deney sırasında da görüldüğü ve bu tarz tasarımların en zayıf noktasının birleşimler olduğu açıklanmıştır.

Hayri Eren Şahin [22], 2013 yılındaki Tez çalışmasında prefabrike yapıların deprem performanslarının belirlenmesi için hasar olasılık eğrileri oluşturulması üzerine çalışmıştır. Çalışma kapsamında yönetmelik şartlarına uygun beş farklı yapı için zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda yapıların tamamında kolonların Can Güvenliği performansını sağladığı ancak birleşim noktalarında zafiyetler ve yetersizliklerin olduğu tespit edilmiştir. Bu durum deprem

sonrası incelenen hasarlı yapılardaki duruma benzer sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.

Fatma Betül Hasel [23], 2013 yılında yaptığı tez çalışmasında prefabrike konsol kolon yapıların tasarımlarına uygun kayıtların seçilmesi davranışının irdelenmesi üzerine çalışmıştır. Çalışma sonucunda bu tarz yapıların kolon özelliklerine bağlı olmak şartı ile çeşitli davranış katsayıları (R) önermiştir. Ayrıca, seçilecek kayıtlardaki deprem hızının yapı sisteminde meydana gelebilecek hasarın tahmininde ve tasarımda kullanılabilecek en önemli hasar parametresi olduğu yapılan çalışma ile gösterilmiştir.

Cihan Soydan [24], 2015 yılında Doktora tezi çalışmasında Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici (KES) ile hem deneysel hem analitik çalışmalar yapmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, deneysel çalışma ile analitik modellerin eşleştiğini, yapıya etkileyen deprem kuvvetinde artım olsa bile sönümleyici etkisi ile bunların yapısal elemanlara etkisinin az olduğu ispatlanmıştır. Çeşitli sönümleyici yerleşimleri ile özellikle tepe deplasmanı değerlerinin ciddi oranlarda azaltılabildiği gösterilmiştir.

Levent Aşçı [25], 1999 yılında yaptığı tez çalışmasında prefabrike endüstri yapılarının sismik davranışının azaltılması için Viskoelastik sönümleyicilerin kullanılması üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında Viskoelastik sönümleyicilerin çeşitli konfigürasyonlarda (Ters V, tek kol çapraz ve dirsek çapraz şeklinde) yapıya uygulanması ile elde edile sonuçlar irdelenmiştir. Çalışma sonucunda yapılan sismik sönümleyici takviyesi ile deprem etkilerinin tepe deplasmanı ve kolon momentlerinde azaltılabildiği görülmüştür.

1.3. Tezin Kapsamı

Tez çalışması kapsamında tek katlı sanayi tipi prefabrike yapıların güçlendirilmesinde Sismik Enerji Sönümleyicilerin kullanılmasının etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda, tez çalışması aşağıda tanımlanan bölümler halinde kurgulanmıştır.

Giriş olarak, bu bölümde tezin amacı, daha önceden Türkiye’de yapılmış benzer çalışmalar ve tezin kapsamı hakkında özet bilgiler verilmiştir.

Prefabrike Yapılar; ilgili bölümde prefabrike yapıların tarihçesi ve sanayi tipi yapıların uygulama şekilleri, Türkiye Deprem Yönetmelikleri hesap detayları ve prefabrike yapılar ile ilgili maddeler, deprem sonrasında bu tarz yapılarda görülen hasar tipleri hakkında bilgiler özet olarak sunulmuştur. Ayrıca, bölüm içinde bu tarz yapılar için yapılan klasik (konvansiyonel) yöntemlerle yapılan güçlendirme çalışmalarından bilgiler verilmiştir.

Yapı Performansı ve Sismik İzolasyon kapsamında, mevcut yapıların performans seviyeleri ve hedefleri ile ilgili olarak Amerikan ve Türk yönetmeliklerindeki tanımları özetlenmiştir. Ayrıca, TBDY 2018 kapsamında Tek Modlu Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Analiz için kurallar anlatılmıştır.

Sayısal Uygulamalarda, tez çalışması kapsamında sayısal uygulama için seçilen örnek yapının tanımı ve özellikleri, AFAD haritasına göre bölgenin depremselliği, mevcut durum performansı, deprem kayıtlarının seçilme kuralları ve yenilikçi yöntemlerle güçlendirilen yapının hesap detayları bu bölümde verilmiştir.

Sonuç olarak, Seçilen örnek yapının yenilikçi yöntemlerden Sürtünmeli ve Viskoz Tip Enerji Sönümleyiciler kullanılarak elde edilen hesap sonuçları özetlenmiştir.

2. PREFABRİKE YAPILAR

Tez çalışmasının bu kısmında ülkemizde yaygın olarak kullanılan prefabrik sanayi yapısı tiplerinin genel tanımı, geçmişten günümüze kadar yayınlanan deprem yönetmeliklerimizdeki genel yapı tasarımı kuralları ve prefabrike yapılar ile ilgili kurallar tanımlanmıştır. Geçmiş deprem tecrübelerimiz sonucunda prefabrike yapılarda görülen hasarlar ve son olarak ülkemizde genelde bu tarz yapıları güçlendirmek için kullanılan konvansiyonel güçlendirme çalışmaları ile ilgili özet bilgiler alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

2.1. Genel Tanım

Prefabrik yapı özellikle 1.Dünya savaşıdan sonra oluşan yaraların hızla sarılıp hayatın normale dönebilmesi için olabilecek en hızlı çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bugün kullanılan prefabrikasyonun temellerinin George Goodwin tarafından 1936 yılında yazılan makale ile atıldığı kabul edilebilir. Bu makale RIBA (Royal Institute of British Architects) tarafından prefabrikasyonun kullanımını cesaretlendirmesi bakımından ödüle layık görülmüştür. İlk patent 1844 yılında Frederick Ransen tarafından alınmıştır. 1855'te Francois Coignet, 1875'te W. Henry Lascelles ve birçok teknisyenin özellikle konut yapı sistemleri ile ilişkili çeşitli patentler aldığını görülmektedir.

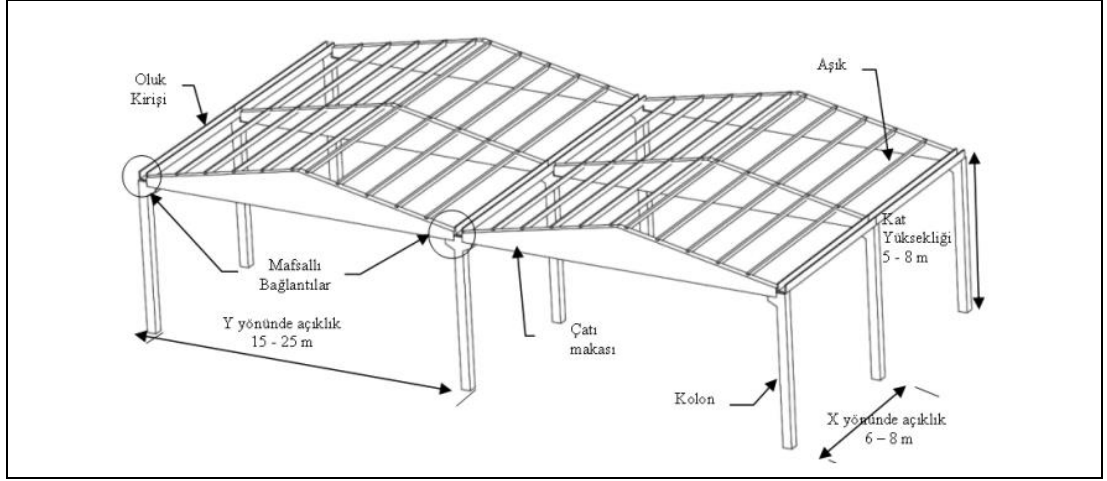
Ülkemizde 1950'li yıllarda ortaya çıkan büyük konut açığı hem inşaat firmalarının buna hazır olmayışı hem de insanların kendilerine göre çalışmaları sonucu oluşan gecekondulaşma nedeniyle prefabrikasyon geride kalmıştır. Prefabrike yapı sektörü bu nedenlerle 1960'lı yıllara kadar seri üretimli imalat sürecine başlayamamıştır.

1960'lı yıllarda ülkemizde uygulamaya başlanan prefabrike yapı inşaatları, devlet politikası olarak benimsenmiş ve ikinci beş yıllık kalkınma programında (1968-1972) yer almıştır. Ne yazık ki, o dönemde bu programla birlikte bazı çevrelerce prefabrikasyonun işsizliğe yol açacağı dile getirilerek, mümkün oldukça kullanılmaması tavsiye edilmiştir. Dünya'da 1940'lı yıllarda yaygın kullanımı başlanılan prefabrikasyon ülkemizde 1960'larda yapılan birkaç örneği saymazsak ancak 1970'li yıllarda inşaat endüstrisinde pay sahibi olmaya başlayabilmiştir.

Türkiye Prefabrike Birliği (TPB) 1984 yılında kurulmuştur. TPB ilgili kuruluşları bir araya toplamış ve bu sayede sektörel gelişimin daha hızlı ve bilimsel olarak ilerlemesi sağlanmıştır.

İnşaat sektörünün %70-80'ini oluşturan konutların sadece %5-7'si, %5-8 payı olan endüstriyel sanayi tesislerinin %75'i prefabrike yapı sistemleri ile inşa edilmiştir. Gelişmiş ülkelere baktığımız zaman; Kuzey Avrupa ülkelerinde prefabrikasyon, inşaat sektörü içinde %45-50, Avrupa Birliği ülkelerinde %25 civarındadır. Türkiye'de bu pay genel olarak sektöre baktığımızda istihdam açısından %7, imalat olarak %3 seviyelerinde kaldığı görülmektedir [6].

Ülkemizde genellikle prefabrike betonarme endüstri yapıları, tek katlı olarak konsol kolon sistemindedir. Kolon alt uçları temele ankastre olarak bağlanacak şekilde çanak (yuva) temel sistemindedir. Kolon üst uçları ise büyük açıklık yönünde üçgen çatı makasları, kısa açıklıkta (diğer yön) ise, dere kirişleri (oluk) ile kolonlara mafsallı (pin) olarak bağlanmaktadır. Çatı kaplaması olarak da kullanılan Aşıklar üçgen çatı makasına genellikle mafsallı olarak monte edilmektedir. Bu kolon-kiriş birleşimi deprem etkisi altında kolonların ters sarkaç (konsol kolon) şeklinde davranış göstermesine sebep olmaktadır. Bu sistemlerin seçilmesinin ana nedenleri arasında özel şekilleri nedeni ile (I, T vb. kolon ve kirişler) hafif yapı elemanlarına sahip olması, nakliyesinin kolay olması, fabrikada imal edilebilmesi sayesinde malzemelerin efektif kullanımı sayesinde ekonomik açıdan daha uygun oluşu vardır. Bu yapıların deprem etkisi altında davranışlarını belirleyen en önemli hususlar, kolonların dayanımı (uygun boy donatı oranı), sünekliği (düzgün ve yeterli etriye detayı-sargılama) ve eleman birleşim noktalarının yeterli ve doğru tasarlanmasıdır.



Şekil 2.1: Tipik tek katlı prefabrike sanayi yapısı görseli.

Prefabrikasyonda geleneksel sistemlerden farklı olarak ekipman ağırlıklı üretim felsefesi ve ön yatırım maliyeti bulunması nedenleriyle, genel olarak prefabrik yapı sistemlerinin ekonomik olmadığı düşüncesi yaygın bir kanıdır. Ancak, olumlu yönleri düşünüldüğünde prefabrikasyon yatırımcısına uzun vadede ekonomik anlamda önemli kazançlar vadetmektedir. Prefabrike yapıların olumlu yönlerinin bazıları aşağıda özetlenmiştir.

- i) Kalıpların tek kurulum ve tekrarlı kullanımı sayesinde seri üretim sağlanarak kalıp maliyetleri minimuma indirilir.
- ii) Kapalı fabrika ortamında üretim ve işçi sayısının şantiyelere göre daha az olması nedeni ve denetlemenin daha sıkı ve kolay olması nedeni ile iş kazalarının azaltılmasının yanı sıra iş gücünün verimli kullanılması sağlanır.
- iii) Fabrika üretimi sayesinde ürün kalitesinde istenilen seviye sağlanmakta böylece kaynakların en verimli şekilde kullanılması sağlanmaktadır.
- iv) Kapalı ortamda gerçekleştirilen üretim sayesinde dış ortam koşullarından etkilenmemesi, şantiyenin uygulama planlamasında bağımsız olarak üretilebilmesi sayesinde iş programlarında aksaklığa sebep olmaması sayesinde yapım sürelerinin azaltılmasına imkan sağlamaktadır.
- v) Beton dayanımının en önemli şartlarında kür işlemi fabrika ortamında en iyi şekilde sağlanır.
- vi) Tekrarlı ve seri üretim yapım konusunda uzmanlık geliştirilmesini sağlar.
- vii) Üretimde sağlanan kalite sayesinde daha uzun ömürlü yapı elemanları üretilmektedir.

- viii) Prefabrik elemanlarla inşa edilen yapının kullanıma biter bitmez hazır halde olması ve şantiyede uygulama süresinin kısa olması nedeni ile yatırımcıya ekonomik katkı sağlamaktadır.
- ix) Fabrika ortamında kontrollü ve kaliteli üretim sayesinde planlanan maliyetlerin uygulama sonunda büyük oranda tutturulması nedeni bütçe tutarlılığı sağlanmaktadır.

Her sistemde de olabileceği gibi prefabrike yapıların kullanımının olumsuz yönleri mevcuttur. Ancak, olumlu yönlerine kıyasla oldukça azdır. Bu olumsuz yönler aşağıda özetlenmiştir.

- i) Fabrika kurulumu, ekipmanlar için büyük hacimlere ihtiyaç duyulması ve ön yatırım ihtiyacı olması.
- ii) Düzenli finansman akışına ihtiyaç duyulmaktadır.
- iii) Prefabrike elemanların taşınma maliyetlerinin özellikle uzun mesafelerde fazla olması.
- iv) Deprem gibi dinamik yükler altında özellikle ek yerleri nedeni ile sistemin davranışında ve dayanımında sorunlar yaşanabilmektedir.
- v) Standart ve tekrarlı üretim sebebiyle elemanların mimari tasarımındaki yaratıcılığın kısıtlanması.
- vi) Prefabrikasyonun her adımında oldukça fazla sayıda işinde uzman kişi ihtiyacının olması.

Ülkemiz gibi benzer deprem riskine sahip ülkeler olan ABD, Japonya, Yeni Zelanda ve İtalya'da da tek katlı ve çok katlı olarak prefabrike yapılar kullanılmaktadır. Yukarıda bahs geçen ülkelerde prefabrike yapıların deprem karşısındaki performansının artırılması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Bu bağlamda en çok bilinen çalışma ABD ve Japonya arasında yapılan PRESS (Precast Seismic Structural Systems) programıdır. Programın amacı sismik bölgelerde uygulanabilecek ekonomik ve teknik prefabrike sistemler geliştirmek ve bu sistemlere uygun pratik dizayn kriterleri oluşturmaktadır. Bu kriterler özellikle yeni yapı tasarımı için olsa bile mevcut yapıların iyileştirilmesi için kullanılabilecek kurallar içermektedirler.

Yeni Zelanda da ise, prefabrike yapılar ülkemizdeki yaygın kullanımından

farklı olarka genellikle moment aktaran ıslak birleşimli, çok katlı veya ardgermeli sistemler olarka kullanılmaktadırlar. Bazı örneklerde taban izolatörü kullanılarak tasarlanmış çok katlı prefabrike yapı örnekleri bulunmaktadır.

2.2. Tasarım Yönetmeliklerimiz

Ülkemizde bulunduğu coğrafya nedeni ile çok sayıda deprem felaketi ile karşı karşıya gelmiştir. Deprem felaketleri çok kısa zamanda büyük bir yıkımla çok sayıda can ve mal kayıplarına sebep olurlar. Ülkemizde günümüze kadar on (10) adet deprem yönetmeliği kullanılmıştır.

- 1940-Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
- 1944-Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi
- 1949-Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
- 1953-Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1962-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1968-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1975-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1998-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 2007-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)
- 2018 – Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)

Bu bölümde prefabrike yapılar için tasarım esaslarını içeren 1992 tarihli TS9967 hakkında da özet bilgi verilecektir.

1940 yılında başlanılan yönetmelik serüveninde 1949 yönetmeliğine kadar net olarak bir deprem hesabından bahsedilmemiştir. Bu dönem aralığında daha çok yapım şekilleri ve sınırları, cezai şartlar gibi konstrüktif kurallardan bahsedilmektedir.

1949 yılından 2007 yılına kadar yönetmelikler “Afet Yönetmeliği” adıyla

çıkılmıştır ancak bu yönetmeliklerde deprem konusu daima hâkim olmuştur.

2.2.1. 1949 Yönetmeliği

İlk defa deprem bölgelerinden (1. ve 2. Derece) bahsedilmiş ve basitte olsa ilk defa deprem kuvvetinin hesaplanabilmesi için denklem tanımlanmıştır.

$$F = C(G + nP) \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de; F; deprem kuvveti, G; yapının ağırlığı, n; yapının kullanımına göre 1 ile 1/3 arasında bir katsayı, P; Yapıya etki eden hareketli yükler, C; yatay yersarsıntısı katsayısı olarak denklem ifade edilebilir. C katsayısı, birinci derece deprem bölgelerinde 0.04 ~ 0.02, ikinci derece deprem bölgelerinde ise 0.03 ~ 0.01 alınacaktır.

Çatı döşemesi üstündeki imalatın ve diğer konsol kısımların tahkikinde, yatay yer sarsıntısı katsayısı 0.15 alınır.

2.2.2. 1953 Yönetmeliği

Bir önceki yönetmelikte tanımlanan deprem kuvveti tanımı daha detaylı olarak verilmiştir. Özellikle mühendis inisiyatifine bırakılan “C” katsayıları ve “n” katsayıları için tablolar düzenlenmiştir.

Tablo 2.1: 1953 yönetmeliği deprem katsayısı (C) katsayısı tablosu.

Şartlar	1° Deprem Bölgesi	2° Deprem Bölgesi
a) Yerlikaya kalınlığı 1m.den fazla olan zeminler üzerine yapılacak yapılar için	0.02	0.01
b) Asgari kalınlığı 3 m olan sert kil zeminler üzerine yapılacak yapılar için	0.03	0.02
c) Diğer iki şıktaki zeminlerin dışında kalan zeminlerin üzerine yapılacak yapılar için	0.04	0.03

Tablo 2.2: 1953 yönetmeliği (n) katsayısı tablosu.

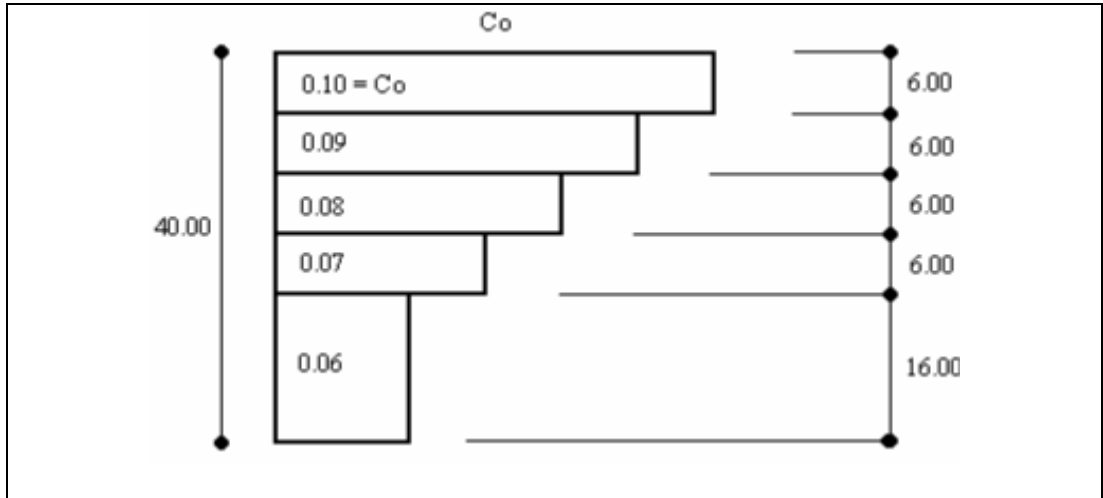
Yapı Türü	n
Sinema, tiyatro, otel, kahvehane, fabrika, umumi toplantı ve işyeri olarak kullanılacak yapılarda	1
Resmi Yapılarda	0.5
Meskenlerde	0.33

2.2.3. 1962 Yönetmeliği

Bir önceki yönetmeliğe göre deprem hesabı değiştirilmemiş ancak C katsayısının kabulü detaylandırılmıştır. Buna göre,

$$C = C_0 n_1 n_2 \quad (2.2)$$

denklemini ile hesaplanacaktır. C_0 , bina yüksekliğine bağlı değişen katsayı (bkz. Şekil-2.2), n_1 , yapı ve zemin cinsine göre değişen katsayı, n_2 , deprem bölgesine göre değişen katsayı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.2: 1962 yönetmeliği C_0 katsayısı değerleri.

2.2.4. 1968 Yönetmeliği

Ülke genelinde artan betonarme yapı etkisi ile yapıyı oluşturan elemanların genel özellikleri tanımlanmış ve konstrüktif (boyut ve donatı) kurallar getirilmiştir. Buna göre kolon ve kirişler için minimum boyutlar (kolon: 24 cm, kiriş: 15x30 cm,

döşemeler:10 cm, perdeler: 20 cm), kolon-kiriş etriye sıklaştırma bölgeleri ve donatı aralığı bilgileri tanımlanmıştır.

Deprem hesaplarında değişiklik yapılarak bölge sayısı üçe çıkarılmış ve zeminin yapıya etkisi daha çok dikkate alınmaya çalışılmıştır. Zemin etkisinin daha fazla dikkate alınması ve deprem yükünün hesaplanması ve katlara dağıtılması yönünden yönetmelik (1968) günümüz yönetmeliklerine yakın bir yaklaşım kabul edilmiştir.

$$F=CW \quad (2.3)$$

F; binaya gelen toplam deprem kuvveti, C; deprem katsayısı, W; yapı toplam ağırlığını göstermektedir.

$$C = C_0 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \quad (2.4)$$

C_0 ; deprem bölge katsayısı, α ; deprem zemin katsayısı, β ; bina önem katsayısı, γ ; bina dinamik katsayısını tanımlamaktadır.

$$W=\sum W_i \quad (2.5)$$

$$W_i = G_i + n_i P_i \quad (2.6)$$

(2.5) ve (2.6) numaralı denklemlerde, W_i ; i . katın ağırlığı, G_i ; i . kattaki zati yükler toplamı, n_i ; i . kattaki hareketli yük katsayısı, P_i ; i . kattaki hareketli yükler toplamı olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 2.3: 1968 yönetmeliği deprem bölge katsayısı (C_0).

Deprem Bölgesi	C_0
1. Derece	0.06
2. Derece	0.04
3. Derece	0.02

Tablo 2.4: 1968 yönetmeliği deprem zemin katsayısı (α).

Zemin Cinsleri	α
Sert ve yekpare kayalık zeminler	0.8
Kum, çakıl, sert kumlu kil gibi sağlam ve sıkışık zeminler, çatlak ve kolayca tabakalara ayrılan kayalar	1.0
Sulu gevşek ve yukarıdaki sağlam zeminler haricindeki daha az sağlam bilumum zeminler	1.2

Tablo 2.5: 1968 yönetmeliği bina önem katsayısı (β).

Bina Çeşidi	β
Bir deprem süresince veya hemen sonrası kullanılması zaruri binalar (PTT binaları, itfaiye binaları, kuvvet santralleri, radyo evi, pompa istasyonları, hastaneler gibi)	1.5
Önemli veya değerli malları saklayan binalar (Müzeler gibi)	
Halkın çok yığıldığı binalar (Mektepler, stadyumlar, tiyatrolar, sinemalar, ibadet mahalleri, tren istasyonları gibi)	
Halkın az yığıldığı binalar (özel ikametgah, apartmanlar, oteller, iş yerleri, lokantalar, sanayi binaları gibi)	1.0

Tablo 2.6: 1968 yönetmeliği hareketli yük katsayısı (n).

Bina Çeşidi	n
Sinema, tiyatro, okul, stadyum ve depo tipi binalarda	0.8
Sağlık yapıları, idare yapıları, otel, apartman ve ikametgâh	1.0

Denklem (2.4)'te tanımlanan “ γ ” katsayısı T 'ye (hakim periyot) bağlı olarak bir denklem ile tanımlanır.

$$T=0.09.H/\sqrt{D} \quad (2.7)$$

H ; binanın yüksekliği (m), D ; yanal kuvvetlerin doğrultusuna paralel doğrultuda bina genişliğidir (m).

$$\begin{aligned} T \leq 0.5 \text{ sn için } \gamma &= 1.0 \\ T > 0.5 \text{ sn için } \gamma &= T/0.5 \end{aligned} \quad (2.8)$$

şeklinde hesaplanır. “ γ ” hiçbir zaman 0,3'den küçük alınamaz.

Katlara etkiyen deprem kuvveti (F_i) denklem (2-9) ile hesaplanarak kullanılacaktır.

$$F_i = F \cdot (W_i h_i + \Sigma W_i h_i) \quad (2.9)$$

h_i ; i . katın bina temel tabanından yüksekliğini gösterir.

Denk. (2.9) ile depremden dolayı her kata etkiyen kat kesme kuvveti bulunur. Yapı sistemi zati, hareketli ve deprem yükleri ile birlikte yüklenerek, boyutlandırılır.

2.2.5. 1975 Yönetmeliği

Artık ülke genelindeki yapı stokunun betonarme oluşunun etkileri net olarak görülmektedir. 1975 yönetmeliği içerdiği detay ve kapsam genişliği (betonarme yapılarda) ile başarılı bir yönetmelik olarak görülmektedir. Deprem kuvveti hesabında, zemin cinsi, yapı yüksekliği, taşıyıcı sistem düzeni gibi birçok farklı parametreye dikkat edilmektedir.

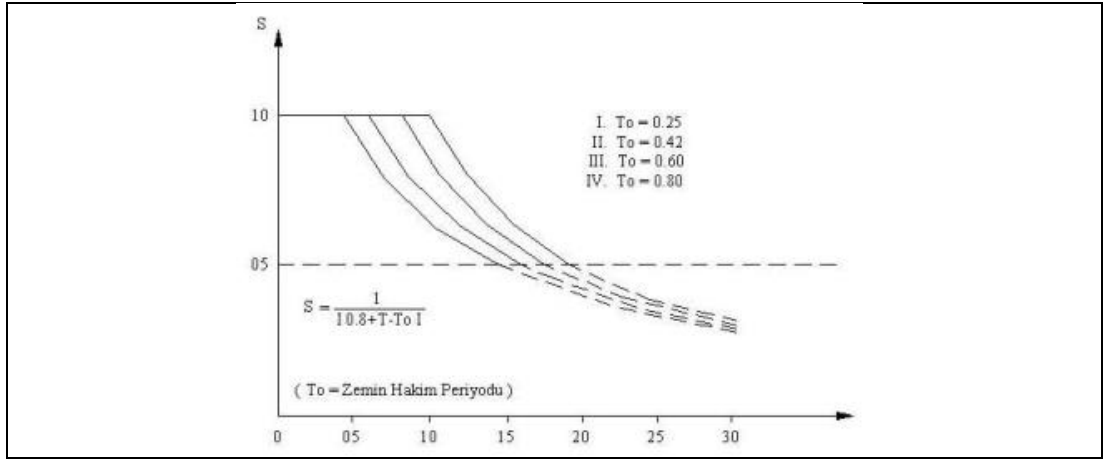
Yönetmelik kapsamında ülke dört (1., 2., 3., ve 4. Bölge) deprem bölgesine ayrılmıştır. Ayrıca, betonarme yapılar için ilk defa minimum beton sınıfı (BS225), görelî kat ötelenmesi limiti ($\Delta < h_k/400$), kolonlarda beton sınıfına göre maksimum donatı oranı (0.03~0.04), perde en kesit oran kabulleri (en boy oranı 1'e 5) gibi kurallar tanımlanmıştır. Kolon ve kirişler için sarılma bölgeleri ve enine donatı kuralları daha açık ve detaylı çizimlerle anlatılmıştır. Kolon kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği tanımları detaylıca verilmiştir.

Yapıların taşıyıcı sistemleri açısından “Düzenli yapılar” ve “Düzensiz yapılar” tanımı yapılmıştır. Özellikle Düzensiz yapılar için dinamik analiz şartı getirilmiş ve bu amaçla Mod Süperpozisyonu ile spektral analiz ile Zaman Tanım Alanında Analiz kuralları tanımlanmıştır.

Deprem yatay kuvveti (F) hesap formülü Denk. (2.3)'te olduğu gibidir. Ancak, C deprem katsayısının hesaplanması spektral analiz için tekrar düzenlenmiştir. Buna göre

$$C = C_0 \cdot K \cdot S \cdot I \quad (2.10)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Denklemden, C_0 ; deprem bölge katsayısı, K ; yapı tipi katsayısı, S ; yapı dinamik katsayısı (spektral katsayı), I ; yapı önem katsayısıdır.



Şekil 2.3: 1975 yönetmeliği elastik tasarım spektrum grafiği.

Tablo 2.7: 1975 yönetmeliği deprem bölge katsayısı (C_0).

Deprem Bölgesi	C_0
1. Derece	0.10
2. Derece	0.08
3. Derece	0.06
4. Derece	0.03

Tablo 2.8: 1975 yönetmeliği yapı önem katsayısı (I).

Yapı Cinsi	I
Bir deprem süresince ya da hemen sonra kullanılması zorunlu yapılar (PTT, itfaiye ve radyo evi yapıları, kuvvet santralleri, pompa istasyonları, hastaneler, istasyon ve terminaller, rafineriler v.b.)	1.50
Önemli ve değerli malları saklayan yapılar. (müzeler v.b.)	1.50
Halkın çok yığıldığı yapılar (Okullar, Spor Tesisleri, Tiyatrolar, Sinema ve Konser Salonları)	1.50
Halkın az yığıldığı yapılar (Özel konutlar, Oteller, İşyerleri, Endüstri Yapıları v.b.)	1.00

Tablo 2.9: 1975 yönetmeliği yapı tipi katsayısı (K).

Aşağıda tanımı ayrıca yapılmamış tüm taşıyıcı sistemler	1
Tüm perde duvarlı kutu sistemler	1.33
Çerçeveleri yatay yüklerin tamamını taşıyabilen çerçeve taşıyıcı sistemler (Dolgu duvarı tipleri a, b ve c için dip nota bakınız)	
1. Düktil çerçeveler (çelik veya betonarme)	a) 0.60 b) 0.80 c) 1.00
2. Düktil olmayan çerçeveler	a) 1.20 b) 1.50 c) 1.50
3. Diyagonalı çelik kafes çerçeveler	a) 1.20 b) 1.50 c) 1.60
Düktil çerçeveleri ile yatay yüklerin en az %25'ini taşıyabilen perde duvarlı sistemler	a) 0.80 b) 1.00 c) 1.20
Yığma binalar	1.5
Bağımsız zemin üstü hazneleri (Maksimum yatay kuvvet katsayısı C = 0.30)	3
Binalardan başka yapılar, bacalar, kuleler (Maksimum yatay kuvvet katsayısı C = 0.30)	2
Notlar: 1. Düktil çerçevelerin tanımı için Bölüm 6.2'ye bakınız. 2. Dolgu duvarı tipleri: a) Betonarme ya da yatay ve düşey donatılı yığma bölme duvarlı b) Donatısız yığma bölme duvarlı c) Hafif ve az bölme duvarlı ya da prefabrike beton bölme duvarlı	

Yönetmelikte katlara etkiyen deprem kuvveti (F_i) hesabında değişikliğe gidilmiştir. Buna göre,

$$F_i = (F - F_t) \cdot (W_i h_i / \sum W_i h_i) \quad (2.11)$$

denklemini ile hesaplanacaktır. F_t ; yapının en üst kat düzeyine uygulanacak münferit kuvvettir.

$$F_t = 0.004 \cdot F \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^2 \quad (2.12)$$

Yönetmelik, ilk defa çok basit ve yalın bir şekilde de olsa Çelik Yapı tasarımı hakkında bölüm içermektedir. Ayrıca, genel olarak içerdiği konstrüktif ve minimum donatı kuralları gereği “Sünek Yapı” tasarım şartlarını genel olarak içermektedir. Bu yönetmelikte prefabrik yapıların tasarımını özel olarak anlatan hiçbir kural olmayıp prefabrike yapıları ilgilendiren genel hükümler maksimum boyuna donatı sınırı, görelî kat ötelenmelerinin sınırlandırılması ve genel deprem yükü hesabıdır.

2.2.6. 1998 Yönetmeliği

Bir önceki (1975) yönetmeliğe göre radikal değişikliklere sahiptir. Yönetmelik birçok yenilik getirmiştir. 1975 yönetmeliğinde betonarme binaların tasarımında kullanılan eksikler tamamlandı. Deprem hesabı daha gerçekçi ve modern bir hal aldı. Yönetmeliğin getirdiği başlıca yenilikler, ilk kez elastik tasarım spektrumu, her bir deprem bölgesi için tanımlanan Etkin Yer İvmeleri cinsinden belirlendi. Bu spektruma göre hesaplanan doğrusal elastik eşdeğer deprem yükleri, daha sonra doğal titreşim periyoduna göre değişken olarak tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları'na (R) bölünerek yüklerin azaltılmış değerleri elde edilmektedir. Ülkemizde en yaygın bina taşıyıcı sistemi olan betonarme taşıyıcı sistemler için 1997 (1998) Yönetmeliği bölüm 7'de tasarım kuralları, şekillerle de desteklenerek ayrıntılı bir biçimde verilmiştir. Bu bağlamda, sargı donatısı koşulları ve kapasite tasarımı ilkeleri Yönetmelik'te ilk kez eksiksiz olarak tanımlanmıştır [8].

1998 yönetmeliği kapsamında ilk defa deprem etkisi altında binalar için performans hedefleri tanımlanmış ve önceden hiç belirtilmeyen binaların depremden sonra hasar görebileceği açık olarak belirtilmiştir. İlk kez Deprem olasılıksal olarak aşılma olasılığı 50 yılda %10 olan 475 yıl dönüş periyotlu “Tasarım Depremi” tanımı yapılmıştır.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için %5 sönüm oranı için elastik Spektral İvme Katsayısı $A(T)$ tanımlanmıştır.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (2.13)$$

Denklemden A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısını, I : Bina önem katsayısı, $S(T)$: Spektrum Katsayısıdır.

Yönetmelikte daha önceki yönetmeliklerde tanımlanan Yapı Tipi Katsayısı (K) yerine taşıyıcı sistemdeki süneklik düzeyini çok daha tutarlı bir biçimde temsil eden Taşıyıcı Sistem Katsayıları (R) tanımlanmıştır. R katsayıları yapı türüne Yerinde Dökme Betonarme Binalar, Prefabrike Betonarme Binalar ve Çelik Binalar için süneklik düzeyine (Normal, Yüksek) göre ayrı ayrı verilmiştir [8].

Tablo 2.10: 1998 yönetmeliği etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Toplam deprem yükü (eşdeğer) hesabı önceki yönetmeliklerden farklı olarak hakim periyota ve zemin cinsine bağlı olarak daha detaylı olarak verilmiştir.

$$V_t = WA(T_1)/R_a(T_1) > 0.10A_0IW \quad (2.14)$$

Denklemden W: Yapı sismik ağırlığı, $R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı, I: Bina önem katsayısıdır.

Tablo 2.11: 1998 yönetmeliği taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	6
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	-	5
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	-	4
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	3	5
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	4	6
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	3	-
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	7
(c) Betonarme perde durumu	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	4	-
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	8
(c) Betonarme perde durumu	4	7

Denklem (2.15)'te kullanılan Spektrum katsayısı $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina hakim periyodu T 'ye bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$S(T) = 1 + 1.5T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.15a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.15b)$$

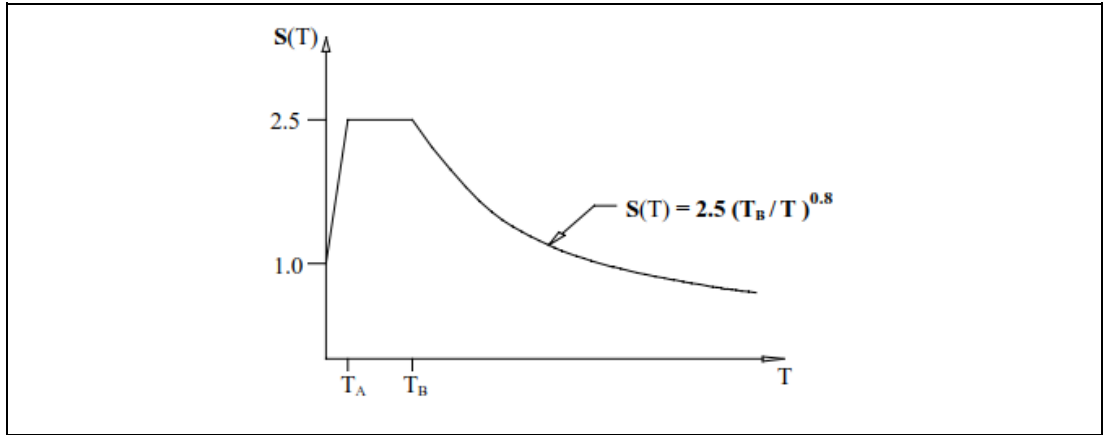
$$S(T) = 2.5(T_B/T)^{0.8} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.15c)$$

Denklem (2.15)'te tanımlanan Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B yönetmelik içinde belirtilen yerel zemin sınıflarına bağlı olarak tanımlanmıştır.

Tablo 2.12: 1998 yönetmeliği spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B).

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.1	0.3
Z2	0.15	0.4
Z3	0.15	0.6
Z4	0.2	0.9

Elastik tasarım ivme spektrumu yönetmelikte zemin sınıfına bağlı olarak yeniden yorumlanarak sunulmuştur.



Şekil 2.4: 1998 yönetmeliği elastik tasarım spektrum grafiği.

Depremde doğrusal olmayan davranışını gözönüne almak için, spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı'na, $R_a(T)$, bölünecektir. $R_a(T)$, çeşitli taşıyıcı sistemler için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve hakim periyoduna (T) bağlı olarak belirlenmektedir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5)T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.16a)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > T_A) \quad (2.16b)$$

Yönetmelikte katlara etkiyen deprem kuvveti (F_i) hesabında değişikliğe gidilmiştir. Buna göre,

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \cdot (W_i h_i / \Sigma W_i h_i) \quad (2.17)$$

denklemini ile hesaplanacaktır. ΔF_N ; yapının en üst katına etkiyen ek eşdeğer deprem yüküdür.

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.2 V_t \quad (2.18)$$

Yönetmelikte görelî kat ötelenmesi sınırı yapı davranış katsayısı (R) ve sabit bir değer olmak üzere iki koşula bağlı olarak net olarak ifade edilmiştir. Hesaplanan ötelenme değeri bu iki şartın küçük olanı geçmemelidir.

$$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.0035 \quad (2.19a)$$

$$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.02/R \quad (2.19b)$$

denkleminde $(\Delta_i)_{max}$; görelî kat ötelenmelerinin kat içindeki maksimum değerini ifade etmektedir. Yönetmelikte, tek katlı üstten mafsallı prefabrike yapılar için $R=5$ değeri verildiği için görelî ötelenme limitinin maksimum değerinin $(\Delta_i)_{max} = 0,0035 < 0.02/5=0,004$ kabul edilmesi gerekmektedir. Bu değer 1975 yönetmeliği şartına göre (0,0025) yükseltilmiş gibi görünse de artan deprem kuvveti nedeni ile bir hayli zorlayıcı bir kural halini almıştır.

1998 Afet Yönetmeliğinde prefabrike yapılara atıfta bulunulmuştur. Ancak bu bölümlerde belirtilen kurallar çok yetersizdir. Prefabrike yapılar için kısıtlı olarak tanımlanan kurallar üzerinde bile inşaat çevrelerince ciddi fikir ayrılıkları bulunmaktadır. Tasarımcıların bir kısmı belirtilen maddelerin, özellikle R katsayısı, çok hafif kaldığını savunurken bazı gruplar maddelerin çok ağır olduğunu savunmuşlardır.

Yönetmelikte, mafsallı çerçevesel Prefabrike yapıların ancak tek katlı inşaa edilmesine onay vermektedir. Çok katlı mafsallı yapılar ise ancak deprem

kuvvetlerinin tamamının yerinde dökme betonarme perdelerle taşınması şartı ile yapılabilecektir. Yönetmelik bağlantılar ile ilgili şartlar belirtmiştir. Buna göre, tek katlı mafsallı çerçevelerde, bağlantı tasarım kuvvetleri kaynaklı birleşimlerde 1.5 ile pimli birleşimlerde ise 1.2 ile arttırılacaktır.

2.2.7. TS9967 Standardı

TS9967, 1992 yılında yürürlüğe girmiş olup prefabrik ve öngerilmeli betondan imal edilmiş yapı elemanları, taşıyıcı sistemler ve binalar için tasarım ve montaj esaslarını içermektedir. Standartta, deprem hesapları için bölüm bulunmaktadır. Ancak, bu kısımda deprem hesabı konusuna sadece taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) tanımlanmış ve geri kalan kurallar için yürürlükteki afet yönetmeliğine atıf yapılmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), ise süneklik düzeyi yüksek sistemler 3,5 ve normal sistemler 2,5 olarak belirtilmiştir. Ancak, standardın yayımı tarihinde yürürlükte olan Afet Yönetmeliğinde (1975) böyle bir katsayı bulunmamaktadır. Bu iki yönetmelik farkı nedeni ile bazı tasarımcılar TS9967’de belirtilen katsayılar yerine 1975 yönetmeliği ile deprem hesaplarına devam etmişlerdir. İki yönetmelik karşılaştırıldığında TS9967’de tanımlı hesaptaki deprem kuvvetinin daha fazla olduğu açıkça görülmektedir.

TS9967’de de bağlantılara gelecek kuvvetleri artırmak öngörülmüştür. Bağlantı kuvveti $4/3$ ile çarpılarak bir daha artırılması belirtilmektedir. TS9967 yürürlüğe girdiği döneme kadar geçerli olan Afet Yönetmeliğinde (1975) bu tarz bir katsayı bulunmamaktadır.

TS9967 madde 4.1.1’de *“Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılmasında TS 500, TS 3233 ve “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” esaslarına uyulmalıdır. Ancak, bu standardın esasları da yerine getirilmelidir.”* maddesindeki açık cümle nedeni ile tasarımcılar bu yönetmeliği bir süre görmezden gelmeye devam etmişlerdir.

TS9967 standardı 2013 yılında iptal edilerek yerine “TS EN 13369 - Öndökümlü Beton Numuneler- Genel Kurallar” standardı yürürlüğe girmiştir. Bu yeni standart özel mamul standardlarında yer almayan konularda atıfta bulunulacak olan terimler ve tariflerini, gerekleri, temel performans kriterlerini, deney yöntemlerini ve uygunluğun değerlendirmesini kapsar. Deprem hesabına yönelik herhangi bir veri

bulunmamakta olup hesaplar için geçerli deprem yönetmeliğine yönlendirmektedir.

Tablo 2.13: TS9967 yönetmeliği deprem için R yapı tipi katsayısı

Yapı Tipi	Yapı Tipi Katsayısı (R)	
	Sünekliği Artırılmış (*)	Süneklik Normal
Kolon ve kirişleri ile veya çerçeve parçaları ile monolitik hale getirilmiş bir veya çok katlı prefabrike çerçeveler	5	3.5
Perdeleri yerinde dökme veya prefabrike perde çerçeveli sistemler	4.2	3.2
Prefabrike perdeli sistemler	3.3	2.6
	Deprem doğrultusunda aynı bir sıradaki kolon başlarının,	
	Eşit yerdeğiştirmelerin sağlandığı yapı	Eşit yerdeğiştirmenin sağlanamadığı yapı
Tabanı ankastre prefabrike veya yerinde dökme beton kolonlara prefabrike kirişlerin mafsallı olarak oturtulması ile meydana gelen ve kolonları temel üstünden itibaren alt 1/3 bölgeleri sargı bölgesi gibi donatılmış ve en fazla 3 katlı olan çerçeveler	3.5	2.5
(*) Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelikte belirtilen kurallara göre sünekliği artırılmış yapı.		

2.2.8. 2007 Yönetmeliği

6 Mart 2007 tarihinden itibaren yürürlüğe giren 2006 (2007) Deprem Yönetmeliği'nin bir önceki 1997 (1998) Yönetmeliği'nden en önemli farklılıklar içermektedir. Bunların başında mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi ve gereğinde güçlendirilmeleri için yönetmeliğe yeni bir bölüm eklenmiş olması gelmektedir. Bu bölümde, itme analizi yöntemleri ile birlikte zaman tanım alanında nonlinear deprem analizinin de yer aldığı Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme Yöntemleri'ne özel bir önem verilmiştir. Yeni yapılacak binaların analizi ve betonarme tasarımı ile ilgili bölümlerin, bir önceki 1997 (1998) Yönetmeliği'ne göre pek önemli bir farkları olmamasına karşılık, çelik yapılar ile ilgili bölüm yeniden yazılarak modern bir biçime kavuşturulmuştur [8].

2007 yönetmeliğinde prefabrike yapıları ilgilendiren en önemli değişiklik

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısında, (R), yapılmıştır. Buna göre, tek katlı üstten mafsallı tek katlı prefabrike yapılarda $R=3$ olarak tanımlanmıştır. 1998 yönetmeliğinde bu değer $R=5$ olarak tanımlanmaktadır. Buna göre deprem kuvveti hesabından %67 artış olmaktadır.

Tablo 2.14: 2007 yönetmeliği taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	4	6
1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	-	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	-	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	3	6
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının; üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar	-	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	7
(c) Betonarme perde durumu	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	7

2007 yönetmeliğinde prefabrike yapıları ilgilendiren en önemli değişiklik Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısında (R), yapılmıştır. Buna göre, tek katlı üstten mafsallı tek katlı prefabrike yapılarda $R=3$ olarak tanımlanmıştır. 1998

yönetmeliğinde bu değer R=5 olarak tanımlanmaktadır. Buna göre deprem kuvveti hesabından %67 artış olmaktadır. Yeni R=3 değeri TS9967’de belirtilen R değerinden küçüktür.

Yönetmelikte katlara etkiyen deprem kuvveti (F_i) hesabında değişikliğe gidilmiştir. Buna göre,

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \cdot (W_i h_i / \sum W_i h_i) \quad (2.20)$$

denklemini ile hesaplanacaktır. ΔF_N ; en üst katına etkiyen ek eşdeğer deprem yüküdür.

$$\Delta F_N = 0.075 N V_t \quad (2.21)$$

Denkleminde, N: toplam kat sayısı, V_t : Toplam taban kesme kuvvetidir.

Yönetmelikte göreceli kat ötelenmesi sınırı yapı davranış katsayısı (R) bağı olarak ifade edilmiştir.

$$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.02/R \quad (2.22)$$

Prefabrike yapılar için R katsayısında yapılan değişiklikten dolayı sınırın arttığı görülmekle birlikte artan deprem kuvveti nedeni ile zorlayıcı bir kural olmaya devam etmektedir.

2007 yönetmeliğinde de, 1998 yönetmeliğine benzer şekilde mafsallı çerçeveli Prefabrike yapıların ve çok katlı mafsallı yapıların tasarım kuralları aynen geçerli olmaya devam etmektedir.

Bağlantılarla ilgili olarak yük arttırma katsayılarında değişikliğe gidilmiştir. Buna göre, tek katlı mafsallı çerçevelerde, bağlantılara gelecek yüklerin kaynaklı bağlantılarda 2,0 ile pimli bağlantılarda ise 1,5 ile artırılması gerekmektedir. Birleşimlerde emniyet gerilmeleri en fazla %15 artırılmasına müsadede edilmiştir. Yeni belirtilen artım değerleri TS9967’de belirtilen artım katsayısı 1.33 (4/3) katsayısını da çok yaklaşık olarak kapsadığı görülmektedir ($1.50 \cdot 1.33 = 1.99$, $1.20 \cdot 1.33 = 1.59$).

2007 yönetmeliğine göre bu tür tek katlı binaların içinde, planda binanın oturma

alanının %25'inden fazla olmamak kaydı ile kısmi tek bir ara kat yapılabilir. 1998 yönetmeliğinde ise kısmi ara kat ile ilgili bir koşul bulunmamaktadır.

2.2.9. 2018 Yönetmeliği

2007 yönetmeliğindeki Bölüm 7'nin eklenmesi ve Bölüm 4'te yapılan kısmi değişiklik düşünülmezse 22 yıl sonra yapılan en kapsamlı değişikliklere sahip yönetmeliğimizdir. Yönetmelikte çok kapsamlı değişiklikler yapılmış ve uluslararası birçok modern yönetmelikle eş düzey seviyeye gelmesi sağlanmıştır.

Bu bölümde özel olarak tanımlanan deprem hareketi tanımları, kurallar TBDY 2018'dan birebir olacak şekilde alınmıştır.

Yönetmelik kapsamına birçok ilave bölüm eklenmiştir. 2007 yönetmeliğinde yedi olan bölüm sayısı on yedi bölüme çıkarılmıştır. Bu bağlamda yönetmelikte ilk kez Bölüm-8'de "Deprem Etkisi Altında Önüretimli Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar" başlığı altında prefabrike yapıların depreme karşı tasarımı için kurallar detaylı olarak belirtilmiştir.

Tez çalışmasının bu bölümünde 2018 yönetmeliğinde var olan değişimler çok genel hatları ile özellikle Prefabrike yapıları ilgilendiren kısımlarından bahsedilecektir.

2018 yönetmeliğinde yapılan en köklü değişiklik Deprem Bölgesi tanımı üzerinde yapılmıştır. 2007 yönetmeliğinde etkin yer ivmesi (A_0) üzerinden dört bölgede tanımlanan temel parametre yeni yönetmelikte, tüm ülke için, koordinata göre kısa periyot ve 1,0 sn. periyodu için Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda (TDTH) tanımlanan harita spektral ivme katsayıları (S_s ve S_1) ve yerel zemin etki katsayılarına (F_s , F_1) bağlı olarak tanımlanmaktadır.

Yeni haritadan dört deprem düzeyi (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4) ve beş yerel zemin sınıfı (ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE) için deprem parametrelerine (PGA, PGV, S_{D1} , S_{DS} , F_s , F_1) ulaşılmaktadır.

2018 yönetmelik kapsamında dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1); 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, gözönüne alınan

en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2); 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.

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

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4); 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.

Harita aracılığı ile bulunan harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 , yerel zemin etki katsayıları (F_S , F_1) kullanılarak tasarım spektral katsayıları S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürülür.

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (2.23a)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (2.23b)$$

Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1 tablolar halinde yönetmelikte verilmiştir. Tablolarda harita spektral ivme katsayılarının ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Tablo 2.15: 2018 yönetmeliği kısa periyot yerel zemin etki katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa Periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.00$
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	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.00
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Tablo 2.16: 2018 yönetmeliği 1.0 saniye periyot bölgesi yerel zemin etki katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye Periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_S \leq 0.10$	$S_S = 0.20$	$S_S = 0.30$	$S_S = 0.40$	$S_S = 0.50$	$S_S \geq 0.60$
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	2.00	1.9	1.8	1.70
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.00
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Yönetmelik kapsamında yatay elastik tasarım spektrumu revize edilmiştir. Buna göre, spektrumun plato bölümü köşe noktaları (T_A , T_B) zemin sınıfına göre değil tasarım spektral ivme katsayılarına, S_{DS} ve S_{D1} , göre belirlenecektir.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.24)$$

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi $[g]$ cinsinden tanımlanmıştır

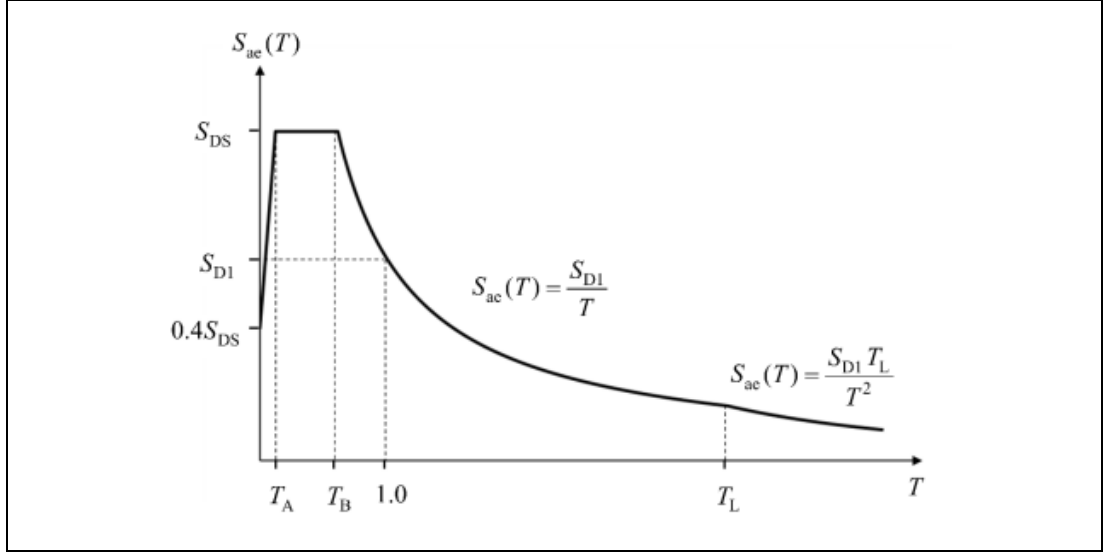
$$S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.25a)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.25b)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (2.25c)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{DS} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2.25d)$$

Denklemden T_L ; Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (sn). $T_L = 6$ sn alınacaktır.



Şekil 2.5: 2018 yönetmeliği yatay elastik tasarım spektrumu grafiği.

Yönetmelikte toplam eşdeğer deprem kuvveti ($V_{tE}^{(x)}$) ve katlara etkiyen deprem kuvveti ($F_{iE}^{(x)}$) hesabında genel olarak değişiklik yoktur. Ancak, notasyon farklılıklarının anlaşılabilmesi için aşağıda gösterilmiştir. Buna göre,

$$V_{tE}^{(x)} = m_t S_{aR} \left(T_p^{(x)} \right) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (2.26)$$

$$V_{tE}^{(x)} = \Delta F_{NE}^{(x)} + \Sigma F_{iE}^{(x)} \quad (2.27)$$

$$F_{iE}^{(x)} = (V_{tE}^{(x)} - \Delta F_{NE}^{(x)}) \cdot (m_i h_i / \Sigma m_j h_j) \quad (2.28)$$

denklemleri ile hesaplanacaktır. $\Delta F_{NE}^{(x)}$; binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yüküdür.

$$\Delta F_{NE}^{(x)} = 0.075 N V_{tE}^{(x)} \quad (2.29)$$

Denklemlerde, N: toplam kat sayısı, $V_{tE}^{(x)}$: Toplam taban kesme kuvvetidir.

Yönetmelikte göreceli kat ötelenmesi sınırı deprem düzeyini belirleyen ampirik katsayı (λ), yapının betonarme veya çelik olmasına bağlı katsayı (κ) ve yapı davranış katsayısı (R) bağlı olarak ifade edilmiştir. Etkin göreceli kat ötelenmesi, $\delta_i^{(x)}$ Denk. (2.30) ile tanımlanmıştır.

$$\delta_i^{(x)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(x)} \quad (2.30)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, $\delta_i^{(x)}$ etkin göreceli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(x)}$ gevrek malzemeden yapılmış duvarların derz durumuna bağlı olarak iki koşula bağlanmıştır. Buna göre,

- Gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0.008\kappa \quad (2.31a)$$

- Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0.016\kappa \quad (2.31b)$$

Denklem (2-31)'de, λ katsayısı, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesi'nin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım *spektral ivmesi*'ne oranıdır. κ katsayısı ise betonarme binalarda $\kappa = 1$, çelik binalarda $\kappa = 0,5$ alınacaktır.

2018 yönetmeliğinde Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısında, (R), tablosunda bazı katsayılar da değişikliğe gidilmiştir. 2018 yönetmeliğinde Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D), ve Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) değerleri tabloya eklenmiştir. Tez konusu olan üstten mafsallı tek katlı prefabrike yapılarda katsayısında değişiklik yapılamamıştır (R=3). İlgili değerler Tablo 2.17'de gösterilmiştir.

Tablo 2.17: 2018 yönetmeliği taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).

Bina Taşıyıcı Sistemi*	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
B. ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLER			
B1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
B11. Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran süneklik düzeyi yüksek ötüretimli 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 süneklik düzeyi yüksek ötüretimli çerçeveler ile, süneklik düzeyi yüksek 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 süneklik düzeyi yüksek ötüretimli çerçeveler ile, süneklik düzeyi yüksek 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 ötüretimli ve iki doğrultulu çerçeveler ile, deprem etkilerinin tamamının ise süneklik düzeyi yüksek 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 süneklik düzeyi yüksek kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-

Bağlantılarla ilgili olarak da yük arttırma katsayılarında değişikliğe gidilmiştir. Buna göre, tek katlı mafsallı yapılarda, bağlantılara gelecek yüklerin kaynaklı birleşimlerde 2,0 (D=2) ve moment aktaran birleşimlerde ise 2,5 (D=2,5) ile artırılması gerekmektedir.

2.3. Tek Katlı Mafsallı Prefabrike Yapılarda Deprem Sonrası Hasarlar

Dünya'da yaşanan sanayi devrimi ile birlikte özellikle artan sanayi yapısı ihtiyaçlarına prefabrike yapı teknolojisi çözüm sunmak mümkün olmuştur. Prefabrikasyon sayesinde yapılar bir an önce tamamlanarak üretime katılıp sağlanmıştır. Özellikle Avrupa'da bu tarz yapılara ilgi duyularak çokça tercih

edilmiştir.

Ülkemizde ise prefabrik yapıların kullanımı özel sektör yatırımlarının başladığı 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Fakat prefabrik yapıların yaygın kullanımı sanayi yatırımlarının hızla arttığı 1980'li yıllarda başlamıştır. Bu hızlı sanayileşme sürecinde sektörde faaliyet gösteren firmaların büyük bir çoğunluğu, kullandıkları sistemleri genelde Avrupa'dan aynen almış veya adapte ederek uygulamıştır. Bu tür sistemlerin alındığı pek çok Avrupa ülkesinde deprem tehlikesinin bulunmaması ise ülkemizdeki riski meydana getiren başlıca sebeptir. Prefabrik yapılar artan sanayi yapısı ihtiyacını karşılamak amacıyla deprem performansları sorgulanmadan Avrupa ülkelerinden alınmış ve ülkemizde çoğunlukla tek katlı ve birleşimleri mafsallı olarak inşa edilerek kullanılmaya başlanmıştır [10].

1998 Adana-Ceyhan ve ardından 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri ile ülkemizde prefabrike yapıların deprem performanslarının görülmesi sağlanmıştır. Depremler sonrasında yapılan birçok araştırmalar ve çalışmalar sonucunda bu yapıların çok büyük bir bölümünün ağır hasar gördüğünü veya yıkıldığını tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular özet olarak; bu tarz yapıların yanal rijitliklerinin yetersiz kaldığı, birleşim hesapları ile uygulama detaylarının hatalı ve eksik olduğu saptanmıştır. Yetersiz hesap nedeni ile özellikle tepe deplasmanları ve bu bölgelerdeki zayıf bağlantılar nedeni ile toptan göçmeler, makasların mesnetten sıyrılarak düşmesi veya devrilmesi gibi hasarlar görülmüştür.

Yaşanan büyük deprem felaketleri sonrasında (özellikle 1999 Kocaeli depremi) sonrasında tüm yapı tipleri gibi prefabrike yapıların hesap esasları tartışılır hale gelmiştir. Türkiye Deprem Yönetmelikleri tarihçesinde prefabrike yapılar için ilk defa 1998 yönetmeliğinde tepe deplasmanı sınırı, birleşim yükü arttırma (1,2) gibi hesap esasları ve Taşıyıcı Sistem Katsayısı ($R=5$) tanımlanmıştır. 2007 yönetmeliği ile bu esaslar ve katsayılar yeniden değerlendirilerek daha emniyetli tarafta kalacak şekilde değiştirilmiştir Taşıyıcı Sistem Katsayısı düşürülmüş, ($R=3$), tepe deplasmanı sınırı azaltılmış, malzeme sınıfları ve birleşim yükü arttırılmıştır (1,5).

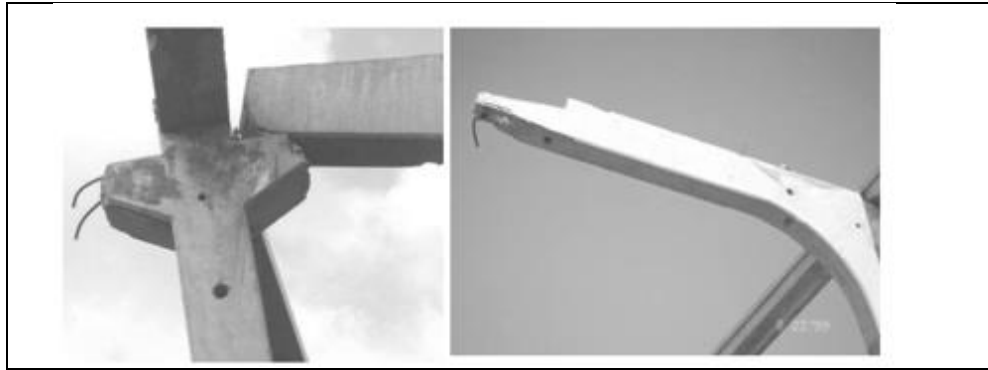
1998 ve 2007 tarihli yönetmelikler prefabrik binaların güvenliğinin artırmak ile ilgili önemli düzenlemeler içermesine rağmen, mevcut prefabrik sanayi yapısı stokunun büyük bir bölümü bu düzenlemelerden önce inşa edilen yapılardan oluşmaktadır. Bu yüzden sanayi yapısı stokumuz içinde çok büyük bir yer tutan bu yapıların deprem performanslarının belirlenmesi gerekmektedir [11].

Teorik olarak Prefabrike yapılar inşaat kurallarına göre eksiksiz tasarlanmış ve

yerinde detayları doğru olarak uygulanmışsa klasik sistem betonarme yapılara göre çok daha dayanıklı ve güvenli olacaktır. Ancak, özellikle ülkemizde depremder sonrasında yaşanan büyük yıkımların nedenleri araştırıldığında karşımıza iki ana hata sebep çıkmaktadır. Bunlardan birincisi hatalı sistem seçimidir. İkinci olarakta yönetmelik şartlarına göre yetersiz eleman seçimi ile özensiz detaylandırmaadır. Tasarım hataları dışında özellikle zemin sorunlarının eksik tespiti, uygulama sırasındaki denetim eksiklikleride deprems sornası karşılaşılan hasar veya göçme sebeplerindendir.

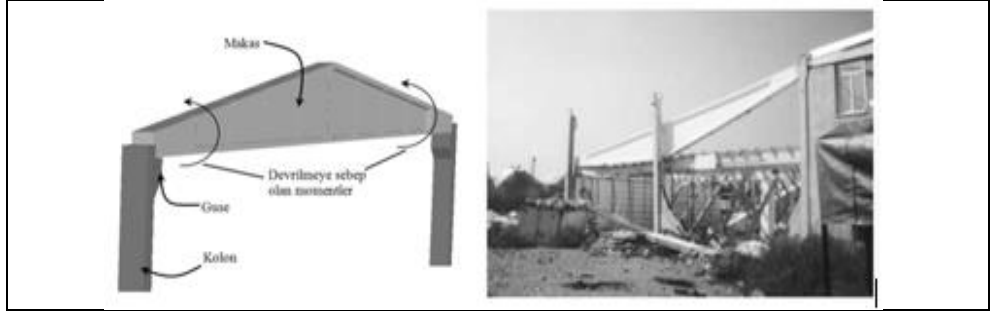
Oluşan depremler sonucunda prefabrike yapılarda görülen hasarlar ve olası sebepleri maddeler halinde aşağıda özetlenemye çalışılmıştır. Buna göre;

- Çatı makas elemanlarının kolon mesnetlerinde eksik ve yetersiz detayandırılması,



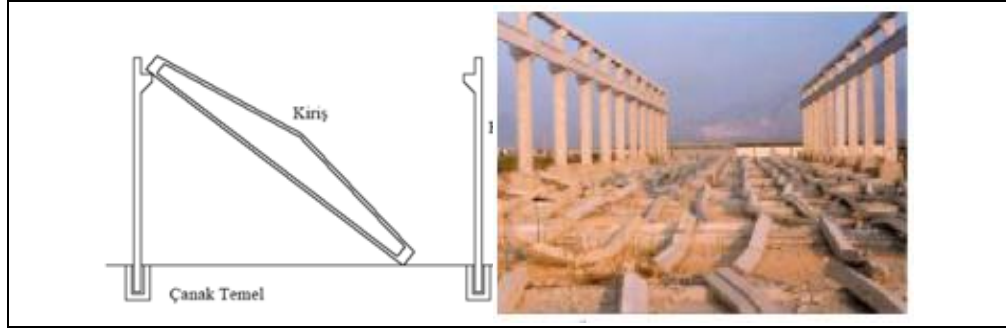
Şekil 2.6: Yetersiz mesnet detayı hasar görseli.

- Birleşim bölgelerinde sadece bir yönde hesap yapılması diğer yönden gelen kuvvetlerin dikkate alınmaması sonucunda ankraj elemanlarının çap ve boylarının yanlış hesaplanması,



Şekil 2.7: Makas devrilme hasarı görseli.

- Dilatasyon bölgeleri ve kolon tepe noktalarındaki göreceli deplasmanın hatalı hesaplanması sonucunda makas kirişlerin mesnetten kayma veya düşmelerin engellenmemiş olması,



Şekil 2.8: Yetersiz deplasman hasarı görseli.

- Özellikle tek yön dikkate alınarak yapılan hesaplar sonucunda çerçeveye dik yönde kolon boyutlarının yanlış seçilmesi ve donatı düzenindeki asimetri nedeni ile görülen hatalar,



Şekil 2.9: Bir yönde aşırı deplasman hasarı görseli.

- Kolon makas birleşimlerdeki delik dolgu malzemesinin istenilen kalitede olmaması,
- Kolon boyutlarının yanlış seçimi nedeni ile oluşan narinlikten dolayı yapının fazla deplasman yapması nedeni ile ikincil elemanların taşıyıcı sisteme zarar vermesi,



Şekil 2.10: Aşırı deplasman ve kolon hasarı görseli.

- Özellikle üç ve daha fazla aks açıklığına sahip yapılarda dış duvarlardaki duvarların yapının bütünü üzerindeki olumsuz etkileri,



Şekil 2.11: Aşırı deplasman duvar hasarı görselleri.

2.4. Tipik Konvansiyonel Güçlendirme Yöntemleri

Genel olarak güçlendirme (takviye), yapının taşıma gücünü, rijitliğini, süneklik kapasitesini ve stabilitesini veya bunlardan bir veya birkaçının mevcut durumlarından daha iyi duruma getirmek için yapılan takviye işlerinin genel adıdır. Güçlendirme çalışması için yapıda hasar olması gerekli değildir. Bir yapıda onarım veya güçlendirme yapılması için yalnızca deprem sonrası hasar görmesi şartı aranmaz. Deprem dışında da yapıda mevcut yükler, rüzgâr yükleri, yaşanan kazalar veya

kullanım hataları nedeni ile oluşan hasarlar görülebilir. Yapının hatalı ve yetersiz projelendirilmesi, uygulama hataları, zaman içinde yapının kullanım amacının değiştirilmesi, yapıların yönetmelik şartlarını sağlamaması, yapının bulunduğu bölgenin depremselliğinde görülen değişimler, zamanla bağlı olarak yapıda oluşan hasar ve zayıflık belirtileri sonucunda da yapılarda onarım ve güçlendirme gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

Onarım ve güçlendirme, teknik ve ekonomik açıdan zor ve maliyetli bir iştir. Bu nedenle uygun onarım ve güçlendirme yönteminin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun için hedeflenen performans düzeyi, şartnameler, yapının mevcut durumu, görülen hasar derecesi ve tipi, çalışmanın yapılacağı saha, ekipman ve personel, maliyet, işin süresi, çalışma sırasında yaşanacak iş kesintisinin yaraatacağı ekonomi ve sosyal kayıplar düşünülerek en uygun yöntem seçilmelidir.

Tek katlı Prefabrike yapılarda, toptan göçme haricinde, meydana gelen hasarlar genel olarak yapı sisteminin karakterinde olan yüksek tepe deplasmanı nedeni ile yapısal elemanların ve ikinci elemanların (duvarlar, ara katlar vb.) etkilenmesi ile oluşur. Bu tip yapılarda onarım, zarar görmüş bölgelerin (ek yeri, birleşim plakaları vb.) uygun yapı tamiri elemanları ile tadile edilmesi, güçlendirme ise tüm yapısal sistemde veya ağır hasar almış elemanların mevcut dayanımının ilaveler yapılarak artırılması ile yapılır. Mevcut yapılarda mimari veya yoğun alan kullanımı alanı sorunları nedeni ile yapının kısmen güçlendirilebilmesi haline de gidilebilir. Bu durum mevcut performansından daha iyi olan bir durum olup deprem sonrası oluşacak kayıpların bir kısmını azaltılması sağlanabilir. Ancak, yapılacak hesaplar sonucunda göçme bölgesi performans düzeyinde olan bir yapı için tüm yapı sisteminin iyileştirme yoluna gidilmesi daha uygun olacaktır.

2.4.1. Güçlendirme İlkeleri

Yapı güçlendirmeleri yapının durumu, işletme durumu ve tasarımcının tercihleri doğrultusunda farklılıklar gösterebilmektedir. Ancak, hemen hemen her güçlendirme çalışmasında gözönüne alınması gereken esaslar ve uygulam yöntemleri vardır. Yapının analiz çalışmaları ile yapının mevcut deprem performansı belirlendikten sonra ihtiyaca göre dayanım eksiklikleri ve/veya sistem yetersizliklerine göre aşağıda özet şeklinde tanımlanan uygulamalar tek tek veya bir

arada kullanılarak mevcut performansın artırmak sağlanabilir.

- Yapı Ağırlığının Düşürülmesi

Yapıların oluşan depremler sırasında maruz kaldıkları kuvvet dereceleri mevcut kütleleri doğru orantılıdır. Tek katlı prefabrike yapılarda yapı ağırlığının büyük bir çoğunluğu çatı kaplaması ve eleman zati ağırlıklarındandır. Bu özel durumdan dolayı bu tarz yapılarda ağırlık azaltılması çok mümkün değildir. Ancak, çatı kaplamasının olabilen en hafif malzemeler ile değiştirilmesi yapının deprem karşısındaki davranışı için olumlu bir hareket olacaktır.

- Sünekliğinin Artırmak

Klasik çerçeveli monolitik döküm betonarme yapılar, deprem kuvvetini özellikle birleşim ve kolon-kirişlerde özel olarak oluşturulan sarılma bölgeleri sayesinde enerji tüketerek sönmölmektedir. Tek katlı prefabrike betonarme yapı sistemlerinde ise tercih edilen yapısal sistem nedeni ile (mafsallı birleşimler) yüksek sönmöleme görölememektedir. Bu tarz yapısal sistemlerde yanal rijitlik sadece kolonların dayanımı ile sağlanmaktadır. Bu kolonlardaki donatı ve sargı detaylarının yetersizliği nedeniyle, yatay yerdeğıştirmeler yeterince sınırlandırılmadığı için aşırı deformasyondan oluşan hasarlar meydana gelmektedir. Bu tarz yapılarda mevcut sünelik kapasitesinin artırmak oluşan hasarların azaltılmasında etkili olacaktır.

- Yapının Dinamik Özelliklerinin İyileştirilmesi

Yapı periyodunun uzatılması ya da kısaltılması, yapının daha esnek ya da rijit bir hale getirilemesi ile, yapı periyodu zemin hakim periyodundan uzaklaştırılması ile rezonans durumunun etkileri ortadan kaldırılabilir. Tek katlı sanayi tipi prefabrike sistemlerde bunu sağlamak için yapının rijitliğinin artırmak yoluna gidilebilir. Ancak unutulmamalıdır ki, yapının rijitliğinin artırmak deprem periyodunu değıştireceğı gibi, yapı da ek deprem yükleri oluşmasına neden olacaktır. Yapının rijitliğinin artırmak için perde veya çelik çapraz eklemek dayanımı artırmasının yanı sıra sünekliğin azalmasına neden olabilecektir. Yeni elemanlar eklenerek ya da mevcut elemanların en kesitlerini arttırarak (manto sargı vb.) ilave rijitlikle beraber taşıma

gücünde artımda sağlanabilir.

- Burulma Düzensizliğinin Giderilmesi

Genel olarak yapılarda hasarlar katların veya aksların aralarındaki ağırlık ve rijitlik farkından dolayı oluşan burulma etkilerinden kaynaklanmaktadır. Tek katlı çok açıklıklı sanayi yapılarında taşıyıcı olmayan bölme duvarların akslar arasında düzenli bir biçimde yerleştirilmemiş olması yapıda ciddi hasarlara sebep olmaktadır. Özellikle düzelem çerçeve hesabı yapılan tek katlı prefabrike yapılarda burulma sonucu yapı elemanlarındna hesaplarda öngörülemeyen ilave kuvvetler oluşması muhtemeldir. Bu nedenle güçlendirme aşamasında gerekli görülen ilave betonarme perdelerin yapıya simetrik olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, özellikle dış akslardaki, duvarların kolonların hareketini engellemeyecek şekilde deprem derzli olmaları sağlanması büyük önem gerektirmektedir.

2.4.2. Güçlendirme Tipleri

Tek katlı sanayi tipi prefabrike betonarme sistemler (ters sarkaç), deprem yüklerinin tamamı kolonlar tarafından taşınmaktadır. Tüm yapının dayanımı kolonların toplam dayanımı kadardır.

Tek katlı prefabrike yapılarda genel olarak elemanların güçlendirilmesi, konvansiyonel yöntemlerden olan kolonların sarılması (beton veya çelik) ile yapılmaktadır.

Taşıyıcı sistem güçlendirmesi ise, genellikle betonarme perdeler ya da çelik çapraz ilavesi ile yapılmaktadır. Bu tarz yapılarda diyafram etkisinin olmaması, kullanım alanında oluşacak kısıtlamalar gibi nedenlerle güçlendirme tüm kolonların sarılması veya genellikle yapının dış akslarına ilave perde ve kirişler eklenmesi ile sınırlanmaktadır. Konvansiyonel yöntemlerle yapı sistemlerin güçlendirilmesi için yapılabilecek bir öneri de mesnet birleşimlerinin pinli bağlantılarının moment aktarabilen çerçeve çevrilmesi ile ilave süneklik (hasar alabilme) sağlanarak yüklerin karşılanması olabilir.

Tek katlı prefabrike betonarme yapılarda güçlendirme çalışmalarını iki başlık altında düzenlenebilir.

2.4.2.1. Güçlendirme

Betonarme kolonların güçlendirilmesindeki asıl amaç, mevcut taşıma gücü kapasitelerinin artırılmasıdır. Bu artışları sağlamak için genellikle betonarme kesit artırılır (donatılı manto), kolon çelik örgü sistem içine alınır veya lifli polimer ile sarılır.

Aşağıdaki bölümlerde güçlendirme yöntemlerinin genel prensipleri özet olarak verilmektedir.

- Kolonların Betonarme Kesit ile Mantolaması

Mantolama; kolonun mevcut kesitinin ilave kesitler ile artırmaktır. Bu yöntem ile kapasite artımı ve ilave rijitlikte elde edilmektedir.

Mantolamada en önemli husus iki farklı kesitin beraber çalışmasını (yük aktarmasını) doğru bir şekilde sağlanmasıdır. Bu bağlamda, eski ve yeni betonun aderansının sağlanabilmesi için mevcut beton paspayı sökülerek yüzey pürüzlendirilir ve iyice temizlenir. Eski yeni donatı ve beton kesitlerinin efektif olarak çalışabilmesi için eski beton yüzeyinden yeteri kadar ankraj yapılması önemlidir.



Şekil 2.12: Tipik kolon betonarme manto donatı görseli.

Genel olarak, kolon mantolamanın dört taraflı yapılması önerilmektedir. Ancak

mimari ve kullanım şartlarından dolayı kolonun bir veya iki kenarından da mantolama işlemi yapılmaktadır. Çok katlı yapılarda etkin bir mantolama yapılması için mutlaka sargılam için kullanılan ilave donatıların düğüm noktalarında da devam etmeli sağlanmalıdır. Manto kalınlığı genellikle 10-15 cm yapılmaktadır.

Güçlendirme için yeniden eklenen bölümlerde enine donatıların yönetmeliklerdeki şekilde uygun olarak kancalanmalı ve eski-yeni kesitleri ve donatıları tam olarak sarması sağlanmalıdır. Yeni yapılan manto kesitinin boy donatısı ve enine donatı şartları yönetmelikte belirtilen değerleri sağlamalıdır. Mümkün olduğu kadar eski ve yeni boy donatıları çirozlarla birbirine bağlanmalıdır.

Mantolamada kullanılacak yeni malzemelerin mukavemetleri mevcut malzeme dayanımının üstünde seçilmelidir.

- Çelik Sargı Yöntemi

Betonarme kolonların güçlendirilmesi mevcut kolonu profil çeliklerle bir örgü (kafes) gibi sarılmasıyla da yapılabilir. Bu yöntem ile kolonun mevcut taşıma gücünün artırmak yetersiz aderans ve detayların sürekliği problemleri nedeni ile oldukça zordur. Genel olarak kesme yetersizliği görülen kolonların takviyesi için kullanılması daha uygun bir yöntemdir. Hızlı olarak uygulanabilmesi ve özellikle deprem sonrası az hasarlı elemanın artçı depremlerde daha çok hasar görmesini önleyerek parçalanıp dağılmasını engelleyen (kısmi sargı etkisi) geçici destek yöntemi olarak kullanılmaktadır. Kolonun çevresine yapılacak çelik kafes de köşebent ya da lama kullanılabilir. Yük aktarımının tam olarak sağlanabilmesi için çelik elemanlar ile betonun birbirine tam temas etmesi gerekir. Gerekirse yük aktarımı için plaka ile beton arasında ankraj uygulaması da yapılabilir.

- Karbon Lif Takviyeli Kumaş/Levhalarla Onarım ve Güçlendirme

Levhalar veya kumaş benzeri halde temin edilebilen karbon lif takviyeli elemanların ağır olmaması, korozyon yapmaması, büyük ölçeklerde bulunabilirliği ve kolay uygulanabiliyor olması en büyük üstünlükleridir. Bu tarz malzemeler elastisite modülünün küçük olması ve güç tükenmesi durumunda büyük şekil değiştirmeler yapabilmesine yeteneğine sahiptir. Ancak, her zaman elastik davranış göstermesi nedeni ile malzeme düşük sünekliktedir. Tekrarlı yükler etkisi altında yapılan testlerde mukavemetinde önemli azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle,

tekrarlı yüklerin neden olduğu eğilme etkilerinin karşılaması yerine sarılama etkisi sağlayabilmeleri nedeni ile özellikle kolon ve kirişlerde kesme kuvvetine karşı kullanılmaları daha uygundur. Bu malzemeler genellikle yapışma sorunları nedeni (aderans) ile yüksek dayanıma sahip betonarme kesitlerin olduğu yapılarda kullanılması daha uygundur.



Şekil 2.13: Kolon çelik sargı manto görseli.

Bu elemanların her iki yön doğrultuda kullanılabiliyor olmaları döşemelerin takviye edilmelerinde avantaj sağlamaktadır.

Karbon lifli takviyeli şerit/levhalarla güçlendirmede dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri elemanların yapışacağı yüzeyin gerekli uygunlukta olmasıdır. Uygulamalarda bazen yapışma yüzeyinin dayanımın sağlanabilmesi için kesitin paspayı sıyrılarak yüksek mukavemetli beton ile yeni yüzey oluşturulmakta ve yapıştırma daha sonradan bu yüzeye yapılmaktadır.



Şekil 2.14: Karbon lifli kolon-kiriş sargı görseli.

2.4.2.2. Sistem Güçlendirilmesi

Yanal rijitliğin yetersizliği sanayi tipi tek katlı prefabrike yapılarda ağır deprem hasarları oluşmasına en büyük sebeptir. Yapının yanal rijitliğini artırmak için genellikle taşıyıcı sisteme yeni perdeler veya çelik çapraz elemanlarla eklenmektedir. Bu tarz ilavelerin kullanılması durumunda oluşacak tüm deprem kuvvetinin yeni elemanlarca taşınacağı unutulmamalıdır. Ayrıca artan rijitlik ve ağırlık nedeni ile deprem yüklerinin artabileceği unutulmamalıdır.

Yeni eklenen elemanların yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafenin büyümemesi, buna bağlı olarak da yapıya etkiyen burulma etkilerinin en az düzeyde olmasını sağlamak için yeni elemanların simetrik olarak yerleştirilmesine çalışılmalıdır.

Prefabrike yapıların en önemli hasar görme sebeplerinden biri olan birleşim noktalarıdır. Yanal rijitliğin yeterli olduğu (kolonların hasar almadığı) yapıların bazılarında birleşim detaylarındaki yetersizliklerden dolayı göçmeler yaşanmıştır. Bu nedenle, sistem güçlendirmesi kapsamında birleşim bölgelerinde yapılacak iyileştirmelerde bu bölümde anlatılmıştır.

- Betonarme Perde Eklenmesi

Yapıya yeni perde ekleyerek güçlendirme yöntemi, mevcut yapıların yanal dayanımlarını ciddi oranda artırmakta ve yanal ötelemeyi sınırlamakta son derece etkili olmaktadır. Yanal dayanımı zayıf binalarda tercih edilen bu güçlendirme ile yapıya gelen tüm yük yeni elemanlara aktarılarak mevcut elemanlara gelen

kuvvetlerin azaltılması sağlanmaktadır. Özellikle kesme kuvveti gibi gevrek davranışa sebep olan etkilerin azaltılması sağlanarak sistemin güçlendirilmesi sağlanabilmektedir. Perdeler, plandaki yerlerine göre dış betonarme perdeler ve iç betonarme perdeler olarak konumlandırılabilirler.

Yapı dış akslarına eklenen perdeler kullanım ve mimari detaylar açısından çokça tercih edilmektedir. Ancak mevcut sisteme dahil edilmesi ve yüklerin dış akslara mevcut elemanlar üzerinden aktarılmasındaki zorluklar genel sorunları olarak öne çıkmaktadır.

Prefabrike yapılarda genellikle özellikle uzun doğrultuda (makas yönüne dik doğrultu) çerçeve sistemi mevcut olmadığı için eklenen perdelerin (iç veya dış) sistem açısından doğru şekilde yük alabilmesi için ilave kiriş sistemleri oluşturulmalıdır. Mevcut betonarme kolonlar perde başlığı gibi kullanılabileceği gibi genellikle uygulamada mevcut kolonun etrafı mantolanarak perde ile bütünleşik kullanılması tercih edilmektedir.

Yeni eklenen tüm betonarme kesitlerde donatıların mevcut sistemdeki tüm elemanlara yeteri kadar kenetlenmesi sağlanmalıdır. İlave perdeler için mutlaka yeni temeller yapılmalıdır. Gerekli durumlarda yeni temeller ile eski temeller birleştirilebilir. Temel birleştirme ile elde edilecek büyük temel yüzeyi sayesinde artan deprem kuvveti nedeni ile zeminde gerilme aşılmasının önüne geçilebilecektir.

- Çelik Çapraz Eklenmesi

Yanal rijitlik yetersizliği durumlarında en çok kullanılan yöntem çelik çapraz eklenmesidir. Betonarme perde sistemlere göre hafif, hızlı ve kolay uygulanabilir olması en büyük artılarıdır. Yapı ağırlığında çok minimal artım olmasına rağmen yanal rijitlikteki büyük artış ile deprem kuvvetlerine karşı efektif bir sistem olarak görülmektedirler. Çapraz elemanların mutlaka hem çekme hem de basınç kuvvetlerine dayanabilecek kapasite seçilmesi önem arz etmektedir. Çapraz elemanı olarak 2L köşebentler, U veya I profiller veya bunlarla yapılan kutu kesitli elemanlar tercih edilmektedir.

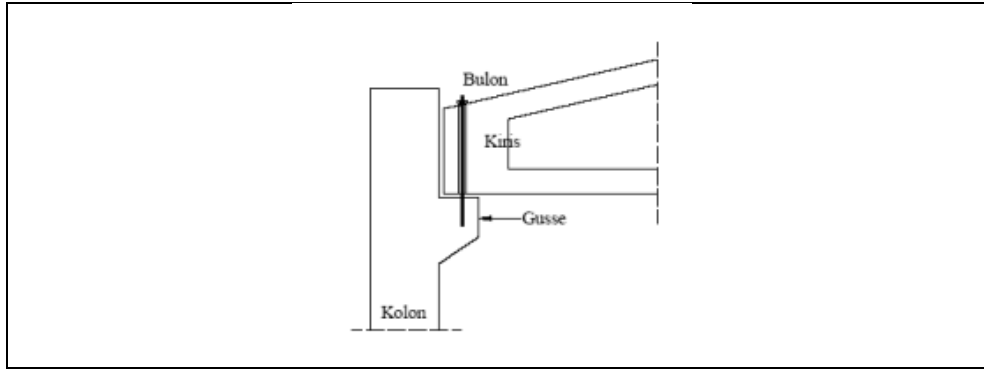
Betonarme perde veya çelik çaprazların eklenmesi tek katlı prefabrike yapılarda genellikle diyafram elemanlarını olmaması nedeni ile sistemin bütünü yerine ilgili akslarda fayda sağlamaktadır. Bu nedenle ilavelerin yapının tümünde etkili olabilmesi için, çatı seviyesinde yatay çaprazlar ile diyafram sistemi oluşturulması

gerekmektedir. Diyafram elemanları geliştirilecek özel detaylar ile kolon üst bölgelerine bağlanabilecektir. Diyafram sayesinde deprem yükleri tüm taşıyıcı elemanlar tarafından birlikte karşılanacaktır.

- Birleşimlerin Güçlendirilmesi

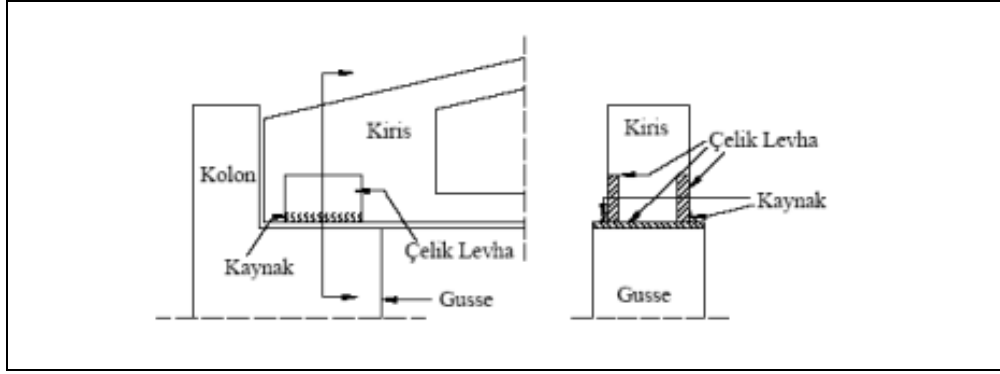
Tek katlı prefabrike yapılarda yapılabilecek bir onarım/güçlendirme methodu da birleşimlerin iyileştirilmesidir. Özellikle makas birleşim bölgesi için uygulamalarda kullanılan birkaç yöntem aşağıda sıralanmıştır.

- Üçgen makas üstünden delik delinerek kolon guse elemanının ankraj çubuklarının yapılması,



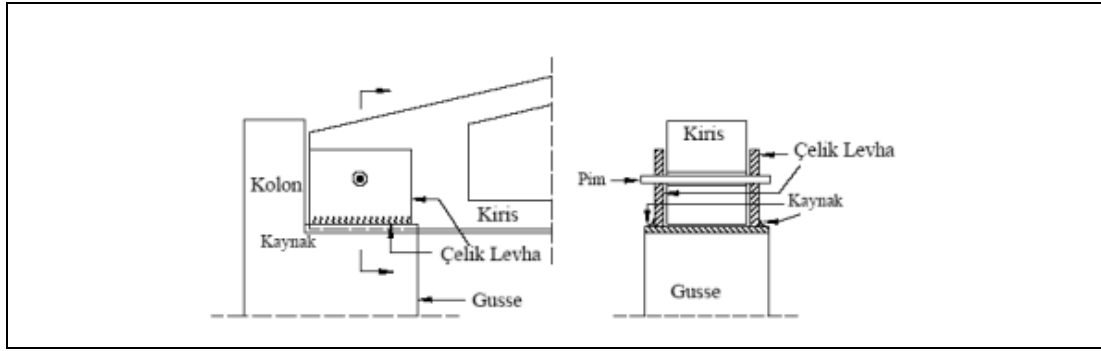
Şekil 2.15: Makas ucuna ilave ankraj görseli.

- Kolon gusesi ile üçgen makasın temas ettiği yüzeye ilave plakalar ankre edilerek yeni plakaların (guse ve makas üzerindeki) birbirine kaynatılması. Bu detayda yeni plakaların mutlaka beton yüzeylere yeteri kadar ankre edilmesi en önemli hususlardandır,



Şekil 2.16: Makas ucuna ilave levha kaynatılma görseli.

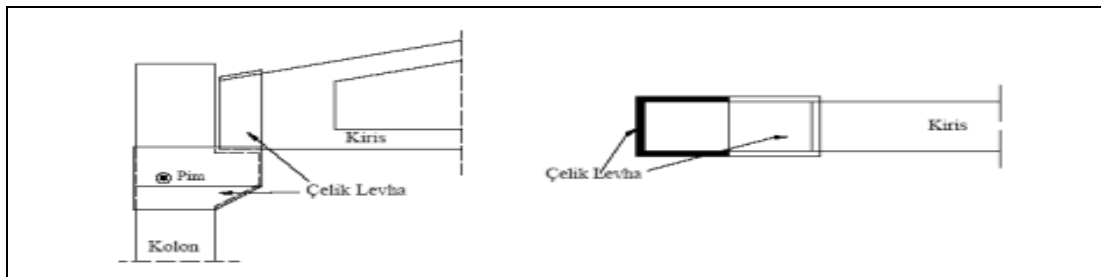
- Üçgen makasın çelik plakalar ile sarılarak ortadan ilave pin ankraj geçirilmesi. Bu yöntem ile makasın sıyrılarak düşmesi engellenebilecektir,



Şekil 2.17: Makas ucuna ilave levha kaynatılması (Pimli).

Bu yöntemde pim kullanılabileceği gibi mekanik veya kimyasal ankrajlarda kullanılabilir.

- Makas ucu ve kolon tepesinin komple plakalar ile sarılark kaynatılması,



Şekil 2.18: Makas uç bölgesinin ilave levha ile sarılması.

3. YAPI PERFORMANSI ve SİSMİK İZOLASYON

Tez çalışmasının bu bölümünde çeşitli yönetmeliklerde tanımlanan mevcut yapıların performans hedefleri hakkında bilgiler verilecektir. Bu bağlamda, performans hedefi tanımı için, Amerikan Yönetmelikleri olan FEMA 356, ASCE 41-17 ve TBDY 2018 ilgili bölümlerinden özet bilgiler alt başlıklar halinde ayrı ayrı açıklanacaktır.

3.1. Performans Hedefi

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi (performance objective) olarak tanımlanır. Genel olarak yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri (düzeyleri) ile tanımlanmaktadır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir [17].

Performans seviyeleri (performance levels) verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir. Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinasyonu olarak belirlenir [17].

Amerikan Yönetmeliklerindeki tanımlar ve kısaltmaları herhangi bir karışıklığa neden olmaması için yönetmeliklerde tanımlanan kısaltmalar şekilde kullanılacak, açıklamaları ise Türkçe yapılacaktır.

Tez kapsamında örnek yapının performans hedefi ve değerlendirilmesi TBDY 2018'a göre yapılacaktır.

3.1.1. FEMA 356 – ASCE 41 Performans Hedefleri

FEMA 356 (2000) ve ASCE 41-17 (2017) yönetmeliklerinde de taşıyıcı elemanlar performans tanımları benzer şekilde yapılmıştır. İki yönetmelikte de binaperformans seviyesi, yapısal (structural) ve yapısal olmayan (non-structural) eleman performanslarının birlikte değerlendirilmesi ile belirlenmektedir.

3.1.1.1. Yapısal Eleman Performans Seviyeleri

Yönetmeliklerde yapısal eleman performans seviyeleri beş ayrı sınıfta tanımlanmaktadır.

Hemen Kullanım (Immediate Occupancy) Performans Seviyesi (S-1)

Tüm sistemde çok az hasar vardır. Yapı rijitliği ve bütünlüğü aynen korunmaktadır.

Hasar Kontrol (Damage Control) Performans Seviyesi (S-2)

Yapıda çok az hasar vardır, kısa süreli tadilatlarla yapı kullanılabilir haldedir.

Can Güvenliği (Life Safety) Performans Seviyesi (S-3)

Yapıda önemli seviyede hasar oluşabilir. Ancak kısmi veya toptan göçme yoktur. Yapısal eleman hasarına bağlı yaralanma beklenmemektedir. Yapı büyük bir tadilat ile kullanılabilir düzeyde olabilir.

Sınırlı Güvenlik (Limited Safety) Performans Seviyesi (S-4)

Bu performans seviyesinde taşıyıcı elemanlar bazılarında çok ağır hasar görülebilir ancak yapıda toptan göçme yoktur. Mevcut performans göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha iyi olarak düşünülmektedir.

Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention) Performans Seviyesi (S-5)

Yapının toptan göçmesinin hemen öncesindeki performans seviyesidir. Yapısal elemanlarda çok ağır hasar ciddi taşıma gücü kayıpları görülmektedir. Düşey yükler altında yapı stabilitesini bir süre koruyabilir ancak yatay stabilitesi yok denecek kadar azdır. Bu nedenle ciddi can güvenliği riski bulunmaktadır.

3.1.1.2. Yapısal Olmayan Eleman Performans Seviyeleri

Yönetmeliklerde yapısal olmayan eleman performans seviyeleri beş ayrı sınıfta tanımlanmaktadır.

Kullanıma Devam (Operational) Performans Seviyesi (N-A)

Yapısal olmayan elemanlar ve tesisatta hasar görülmez. Yapının ve ekipmanların kullanımı hiç durmaz.

Hemen Kullanım (Immediate Occupancy/Position Retention) Performans Seviyesi (N-B)

Yapısal olmayan elemanlar ve tesisatta çok az hasar görülebilir. Elemanlarda basit tadilat veya değişimler gerekebilir. Çok kısa tadilat süresi ile kullanıma devam edilir.

Can Güvenliği (Life Safety) Performans Seviyesi (N-C)

Yapısal olmayan elemanlarda, tesisat ve ekipmanlarda hasar görülebilir. Ancak, herhangi bir yaralanmaya sebep olacak ekipman devrilmesi düşmesi gibi hasarlar görülmez. Onarım işleri bir miktar zaman alabilir.

Azaltılmış Hasar (Hazards Reduced) Performans Seviyesi (N-D)

Yapısal olmayan elemanlarda, tesisat ve ekipmanlarda ciddi hasar görülebilir. Görülecek hasarlar cephelerin veya asma tavanların sökülmesi gibi toplu yaralanmalara sebep olacak türde değildir.

Performansın Dikkate Alınmadığı (Not Considered) Seviye (N-E)

Bazı ekipman veya yapısal olmayan elemanların değerlendirilmesinin yapı için bir önemi olmadığı için performans kapsamı dışında tutulurlar.

3.1.1.3. Bina Performans Seviyeleri

Bina performans seviyesi, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyelerinin birlikte değerlendirilmesi ile belirlenir. Aşağıda çeşitli eleman performans seviyelerinin eşleştirilmesi ile elde edilecek beklenen *Bina Performans Seviyeleri* özet halinde Tablo 3.1’de verilmiştir. Yönetmeliklerde kullanılması önerilmeyen eşleştirmeler “ – “ ile gösterilmiştir.

Tablo 3.1’de gösterilen seviyelerinin başlıca olanları aşağıda özetlenmiştir. Bir binaya ait performans hedefinin belirlenmesinde, genelde bu performans seviyeleri dikkate alınmaktadır.

Tablodaki ikili gösterimde birinci rakam terim yapısal eleman hasarını, ikinci harf terim ise yapısal olmayan eleman hasarını temsil etmektedir.

Tablo 3.1: Bina performans seviyeleri tablosu.

Yapısal Yapısal Olmayan	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
N-A	1-A	2-A	-	-	-
N-B	1-B	2-B	3-B	-	-
N-C	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C
N-D	-	2-D	3-D	4-D	5-D
N-E	-	-	3-E	4-E	5-E

1-A: Kullanıma Devam (Operational) Yapısal Performans Seviyesi (S1 + NA)

Binada yapısal ve yapısal olmayan hiç hasar yoktur. Bina deprem öncesindeki durumu ile kullanılabilir durumdadır.

1-B: Hemen Kullanım (Immediate Occupancy) Performans Seviyesi (S1 + NB)

Binada çok az yapısal hasar bulunabilir. Yapısal rijitlik ve dayanım çok önemli ölçüde korunmaktadır. Yapısal olmayan elemanlar çalışmaya devam etmektedir. Çok zayıf ihtimalde olsa yaralanma riski olabilir.

3-C : Can Güvenliği (Life Safety) Performans Seviyesi (S3 + NC)

Hasar yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar durumu vardır. Yapıda özellikle yapısal dayanımda bir miktar kayıp vardır. Can kaybına sebep olacak bir durum yoktur. Ancak yapının güçlendirilemeden kullanılması pek mümkün değildir.

5-D: Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention) Perfor. Seviyesi (S5 + ND)

Hasar yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar durumu vardır. Yapıda özellikle yapısal dayanımda bir miktar kayıp vardır. Can kaybına sebep olacak bir durum yoktur. Ancak yapının güçlendirilemeden kullanılması pek mümkün değildir.

3.1.1.4. Bina Performans Hedefleri

Büyükluğu verilen bir deprem için öngörülen bina performansının seçilmesi ile sismik performans saptanır. Örneğin, binanın depremde hemen sonra kullanılması için, ileri seviyede bir amaç seçilebilir. Bu durumda güçlendirme maliyetinin yüksek olması göz önünde tutulması gereken bir faktör olacaktır [18].

Tablo 3.2’de Güçlendirme işleminde bir bina için göz önüne alınacak amaç, deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı olarak gösterilmiştir. İki deprem etkisi tanımlanmıştır: Tasarım Depremi (%10/50 yıl - BSE-1) ve Maksimum Deprem (%2-50 yıl – BSE-2). Performans amaçlarının seçiminde, seçilecek güvenlik seviyesinin ve kabul edilecek deprem etki seviyesi ile birlikte, yapının güçlendirme maliyeti ve depremde hemen sonra kullanım durumu da etkin birer parametredir [18].

Tablo 3.2: Performans hedefi tablosu.

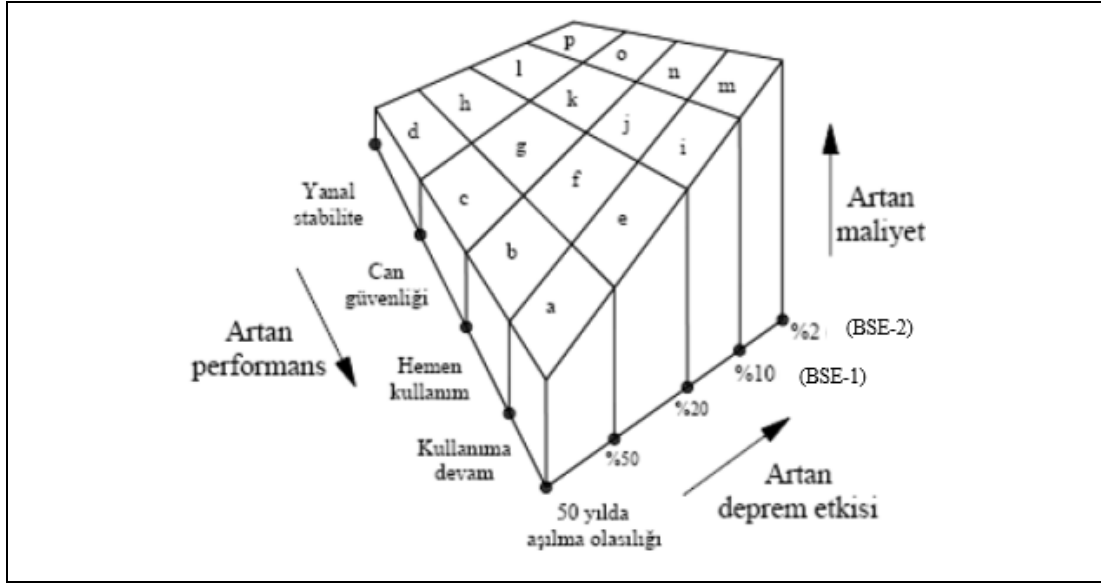
Deprem Etki Seviyesi	Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A)	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B)	Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C)	Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (5-D)
%50/50 yıl	a	b	c	d
%20/50 yıl	e	f	g	h
%10/50 yıl (BSE-1)	i	j	k	l
%2/50 yıl (BSE-2)	m	n	o	p

Tablo 3.2 değerlendirildiğinde yapılardan beklenen performans hedefleri,

- Normal yapılar (konut, işyeri vb.) için *a, f, k, p*
- Kısa süreli ve yoğun olarak insan bulunan yapılar (sinema vb.) için *e, j, o*
- Deprem sonrası kullanımı gerekli yapılar (hastane, itfaiye vb.) *i, n*
- Çok özel yapılarda (nükleer santral vb.) *m*

olarak seçilmesi uygun görülmektedir.

Şekil 3.1’de Seçilen performans hedefi, deprem etkisi ve yapı güçlendirme maliyeti tek grafikte gösterilmiştir. Grafikten anlaşılabileceği gibi bir yapı için tek hedef seçilebildiği gibi çoklu hedeflerde (farklı deprem düzeyleri için) seçilebilir. Güçlendirme maliyetinin performans hedefi seçiminde etkili bir parametre olduğu unutmamalıdır.



Şekil 3.1: Performans hedefi-güçlendirme maliyeti kıyaslama.

3.1.2. TBDY 2018 Performans Hedefleri

TBDY 2018 Bölüm 3’e göre Bina Performans Hedefleri’nin tanımına esas olmak üzere, deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için Bina Performans Düzeyleri dört ayrı düzeyde tanımlanmıştır. Buna göre, performans düzeyi tanımları aşağıda açıklanmıştır.

Bu bölümde kullanılan tüm tanımlar TBDY 2018 [19] yönetmeliğinden birebir alınmıştır. Tez çalışmasının bu bölümünde tanımlama sırası yönetmelikte belirtilen minimum hedefler, ardından eleman bazında performans seviyeleri ve en son mevcut bina performans seviyesinin tarifi şeklinde yapılacaktır.

3.1.2.1. Bina Performans Hedefleri

TBDY 2018’da tanımlanan dört farklı deprem için Deprem Tasarım Sınıfı’na (DTS) göre yapıların (mevcut veya yeni) performans hedefleri *Normal Performans Hedefleri* ve *İleri Performans Hedefleri* olmak üzere iki sınıfa değerlendirmiştir. Deprem düzeyine göre Performans hedefleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’te özet halinde verilmiştir. Tablo 3.3 ve 3.4’te tanımlanan performans hedeflerinin tanımları aşağıda sıralanmıştır.

Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi (KK)

Bina taşıyıcı sisteminde ve hiçbir elemanda hasar oluşmamıştır. Yapı deprem sonrası hiç durmadan kullanılabilir.

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi (SH)

Bina taşıyıcı sisteminde az da olsa hasar oluşmuştur. Ancak yapıda hiçbir elemanda ciddi bir rijitlik ve dayanım kaybı oluşmamıştır. Çok sınırlı miktarda doğrusal olmayan davranış gözlenmektedir.

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH)

Bina taşıyıcı elemanlarında hasar oluşmuştur. İnsanlar için can güvenliği problemi yoktur. Deprem sonrası onarım yapılarak kullanılması mümkündür.

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (GÖ)

Binada ileri derecede hasar vardır. Yapının yanal rijitliği ciddi anlamda azalmıştır. Düşey rijitlik ile yapı ayakta kalmaktadır. Yapının toptan veya kısmi göçmesi önlenmiştir. Yapının deprem sonrası kullanılması mümkün değildir.

Tablo 3.3: TBDY 2018 yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek binalar dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1, 1a, 2, 2a, 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	DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

Tablo 3.4: TBDY 2018 mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli 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

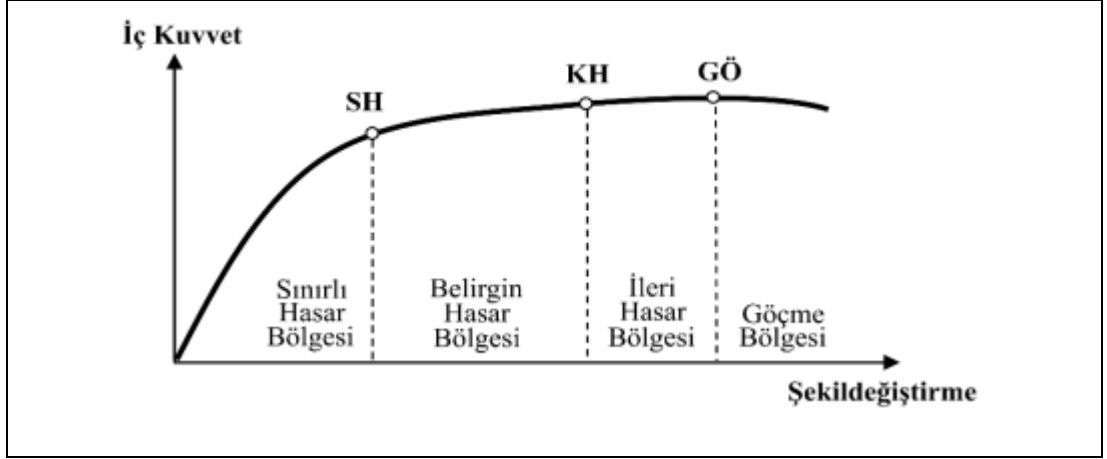
Tablo 3.5: TBDY 2018 yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar ($BYS = 1$).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1, 1a, 2, 2a, 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

3.1.2.2. Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri

TBDY 2018 Yönetmeliğinde, yapısal elemanların performans seviyeleri Amerikan yönetmelikleri ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Yönetmelikte yapısal eleman performans seviyeleri üç ayrı hasar durumu ve dört ayrı hasar sınırı tanımlanmaktadır.

Bunlar Sınırlı *Hasar* (SH), *Kontrollü Hasar* (KH) ve *Göçme Öncesi Hasar* (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir.



Şekil 3.2: TBDY 2018 kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.

Betonarme kesitte, çok az miktarda (sınırlı) doğrusal olmayan davranış gözlenmesi durumunda Sınırlı Hasar (SH), doğrusal olmayan davranışın ilerlemiş olmasına rağmen güvenliğin hala sağlandığı durum Kontrollü Hasar (KH), doğrusal olmayan davranışın ilerlemesi ile güvenlik sınırlarını aşılması muhtemel kararsız davranışın görüldüğü durum Göçme Öncesi (GÖ) sınır durumlarını belirlemektedir. Gevrek hasar alan elemanlar için sınıflandırma yapılmayacaktır.

3.1.2.3. Bina Performans Seviyeleri

TBDY 2018’da Bina Performans Seviyeleri, eleman hasarlarına göre dört ayrı seviyede olacak şekilde tanımlanmıştır.

TBDY 2018’da tanımlanan *Bina Performans Seviyelerinin* Amerikan yönetmeliklerinde tanımlanan seviyelerden en büyük farkı, bazı durumlarda kesit hasarının belirli miktarda alt performans seviyesinde olmasını kabul etmesidir.

Sınırlı Hasar Performans Seviyesi (SH)

Bu performans seviyesinde betonarme elemanlardan sadece kirişlerin %20’sinin Belirgin Hasar Bölgesinde olmasına izin verilir. Eğri kalan tüm yapısal elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesindedir. Hiçbir yapı elemanı için Gevrek Hasar’ın oluşumuna müsaade edilemez.

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH)

Kontrollü Hasar Performans Seviyesi’nde betonarme birincil kirişlerin maksimum %35’i İleri Hasar Bölgesinde olabilir. Kolon ve perdelerde ise normal katlarda İleri Hasar Bölgesinde olan elemanların kesme kuvveti toplamının kat kesme

kuvvetine oranının %20'nin altında olması şartı ile izin verilir. En üst kat kolonlarında bu oran %40'a çıkabilir. Geri kalan tüm elemanlar (kolon-kiriş-perde) Sınırlı Hasar veya Belirgin Hasar Bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta aynı anda alt ve üst uçta Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey taşıyıcı elemanlardaki kesme kuvveti oranı toplam kat kesme kuvvetinin %30'undan fazla olamaz. Hiçbir yapı elemanı için Gevrek Hasar'ın oluşumuna müsaade edilemez.

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (GÖ)

Bu performans seviyesinde betonarme elemanlardan sadece kirişlerin %20'sinin Göçme Bölgesinde olmasına izin verilir. Geri kalan tüm elemanlar (kolon-kiriş-perde) Sınırlı Hasar, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta aynı anda alt ve üst uçta Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey taşıyıcı elemanlardaki kesme kuvveti oranı toplam kat kesme kuvvetinin %30'undan fazla olamaz. Gevrek Hasar'a sahip tüm elemanların Göçme Bölgesinde olduğu kabul edilir. Yapı bu performans ile Can Güvenliği açısından sakıncalı haldedir.

Göçmenin Durumu Seviyesi (GÇ)

Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi kurallarının aşılması durumunda yapı *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın kullanımı mümkün değildir ve can güvenliği yoktur.

3.2. Statik İtme Analizi (Tek Modlu)

Tez çalışmasının bu bölümünde TBDY-2018'da doğrusal olmayan analiz yöntemleri için tanımlanan yöntemlerden biri olan *Tek Modlu İtme Yöntemleri*'nin uygulama adımları ve sınır durumları özetlenecektir. Semboller TBDY-2018 [19] ile aynı olacak şekilde düzenlenmiştir.

Tek Modlu İtme Yöntemleri, Mod birleştirme yönteminin doğrusal olarak tek modlu uygulanması sonucu elde edilen doğrusal olmayan atrım karşılığı olarak tanımlanabilir. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi'nde, her adımda kata etkiyen deprem yükü artımları, ilk adımda belirlenen sabit mod şekli ile orantılı uygulanır.

Tek Modlu İtme Yöntemleri'nin uygulanabilmesi için aşağıda burulma düzensiliğinin 1,4'ten ($\eta_{bi} < 1.4$) küçük ve aynı anda hakim moddaki kütle katılımının en az %70 olması şartı zorunludur.

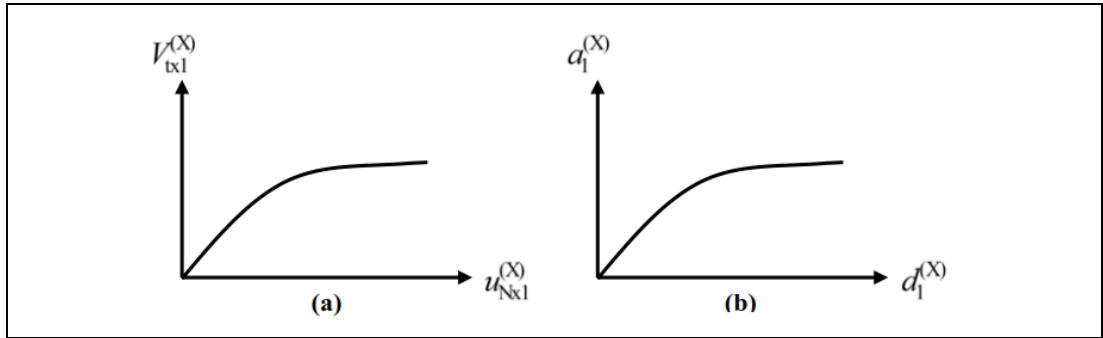
Tek modlu itme hesabında önce *taban kesme kuvveti* – *tepe yerdeğiştirmesi* ilişkisi olarak itme eğrisi çizilir. Sonraki adımda elde edilen grafiğin eksenleri

Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'e göre dönüştürülerek *Modal Kapasite Diyagramı* (modal sözde ivme – modal yerdeğiştirme) elde edilir (Bkz. Şekil 3.3).

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} \quad (3.1)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (3.2)$$

Deprem modal yerdeğiştirme talebi deprem etkisinde temsili tek serbestlik sistemin modal tek serbestlik dereceli sistemin enbüyük yerdeğiştirmesidir.



Şekil 3.3: a) İtme eğrisi b) Modal kapasite diyagramı

Modal tek serbestlik dereceli sistemde enbüyük yerdeğiştirme, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme olarak tanımlanır.

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'da $d_{1,max}^{(X)}$ modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesini, $S_{di}(T_1)$ ise taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme'yi göstermektedir.

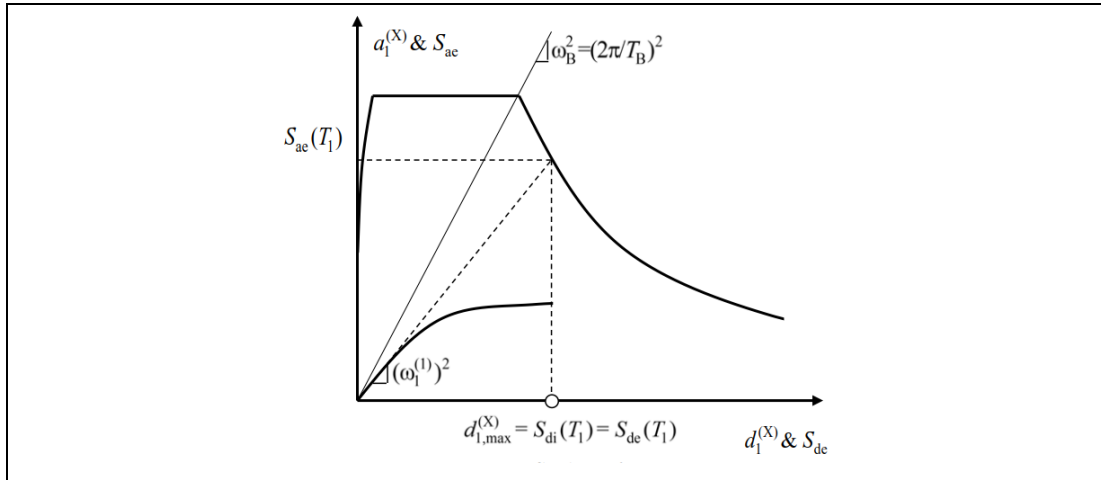
$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'de $S_{di}(T_1)$, *elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi*'ni, C_R ise spektral yerdeğiştirme oranı'nı göstermektedir.

$$C_R = 1 \quad T_1 > T_B \quad (3.5a)$$

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad T_1 \leq T_B \quad (3.5b)$$

Şekil 3.4’de eksenleri *modal yerdeğiştirme – modal sözde-ivme* (d_1 , a_1) olan modal kapasite diyagramı ile eksenleri *spektral yerdeğiştirme–spektral ivme* (S_{de} , S_{ae}) olan doğrusal deprem spektrumunun çakıştırılmış hali gösterilmiştir. Bu çakıştırma durumunda, Denklem (3.4) ile birlikte Denklem (3.5a)’nın uygulanması yapılmıştır. Bu durumda, modal kapasite diyagramı üzerinde hiçbir işlem yapılmadan, sadece birinci itme adımıındaki doğal titreşim periyodunun $T_1 > T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$ koşulunu sağladığının gösterilmesi yeterlidir.



Şekil 3.4: Spektral ivme-spektral deplasman ile modal kapasite diyagramı çakıştırma grafiği.

3.2. Zaman Tanım Alanında Analizi

Bu bölümde TBDY-2018 kapsamında Zaman Tanım Alanında Analiz (ZTA) belirlenen kayıt sayısı, kayıtların seçilmesi ve kayıtların dönüştürülmesi kurallar özetlenecektir.

Yönetmelik ZTA için yapılan doğrusal olmayan hesaplarda en az onbir (11) çift

kaydın kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Elde edilecek Modal yerdeğiştirme, onbir kaydın en büyük değerinlerin (mutlak) aritmetik ortalaması olarak elde edilecektir.

3.2.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi

Yapılarda ZTA için kayıtların seçiminde, belirlenen deprem düzeyi ile deprem büyüklükleri uygun, faya mesafesi, kaynak mekanizmaları ve zemin koşullarının uygun olması gözetilecektir. Bölgede önceden yaşanmış deprem kaydı bulunması durumunda öncelik bu kayıtlara verilecektir. Kayıt seçiminde depremlere ait büyüklük ve fay uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için *deprem tehlikesi* ayrıştırma işlemi uygulanabilir.

Yeterli sayı veya nitelikte kayıt bulunamaması durumunda benzeştirilmiş kayıtlar kullanılabilir Benzeştirilmenin kullanılması durumunda sahanın sismik kaynak, dalga yayılım ve yerel zemin özelliklerine dikkat edilecektir. Benzeştirme için kullanılacak model parametrelerinin, söz konusu bölgede meydana gelmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile uyumlu olduğu gösterilecektir.

Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecektir.

3.2.2. Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme ile Ölçeklendirilmesi

Yapı-zemin etkileşimi hesapları haricinde, ZTA'da seçilen deprem kayıtları, *basit ölçeklendirme* yöntemi ile elde edilebilir. Basit ölçeklendirme işleminde aşağıda tanımlanan kuralların sağlandığını gösterilmesi gerekmektedir.

(a) Bir veya iki boyutlu hesapta kayıtların spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genlikleri, tasarım spektrumunun aynı periyot bölgesindeki genliklerinden daha küçük olmayacaktır.

(b) Üç boyutlu hesapda seçilen her bir deprem kaydı takımının bileşke yatay spektrum (kareleri toplamının karekökü) elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot bölgesindeki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması sağlanacaktır. Yalıtımlı binalar için periyot aralığı değişebilir. Her iki yöndeki ölçeklendirme aynı katsayılar ile yapılacaktır.

3.3. Rayleigh Sönümü

Sönüm, serbest halde titreşen bir eleman veya yapının, dış kuvvetten bağımsız olarak, hareketinin zamanla azalarak sıfırlanması olarak tanımlanabilmektedir. Sönüm matrisinin bileşenlerini yapı boyutlarından, yapı elemanlarını boyutlarından ve kullanılan malzemelerin sönüm özelliklerinde doğrudan hesaplamak uygulamada mümkün değildir. Çoğu durumda incelenecek yapının sönüm özelliklerinin ya da doğal periyotlarının yapı üzerinden deneysel çalışmalar ile tespit edilmesi en uygun yöntemdir. Ancak, bu tarz deneylerin yapılabilmesi zaman, ekonomik sebepler ve uygun yükleme durumlarının (rüzgar, deprem gibi) her zaman oluşmamasından dolayı her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, günümüzde yapıların sönümü ile ilgili kabuller ve çalışmalar çok kısıtlı sayıda yapılmış deneyler ve elde edilebilmiş kayıtlar üzerinden yapılmaktadır.

Yapı sistemlerinin sabit dinamik analizler (itme analizi, eşdeğer yöntem vb.) ile yapılması durumunda sönüm oranının sabit bir katsayı olarak hesaba katılması genel kabul görmüş bir durumdur. Ancak, yapı analizlerinde zamana tanım alanında analizler yapılması durumunda sönüm mutlaka kütle ve rijitlik matrislerinin zamana bağlı olarak değişmesini dikkate alarak tanımlanmalıdır.

Zaman Tanım Alanında (ZTA) yapılacak analizlerde, deney sonuçları ile kısmen de uyumlu bir klasik sönüm modeli olan, Rayleigh Sönüm modeli yaygın olarak kullanılmaktadır.

Denklem (3.6)'da Rayleigh sönümünün genel matematiksel ifadesi gösterilmektedir.

$$c = a_0[m] + a_1[k] \quad (3.6)$$

Rayleigh sönümü ile tanımlanan sistemin n'inci modunun sönüm oranı Denklem (3.7)'de tanımlanmıştır.

$$\xi = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (3.7)$$

Bu denklemde, a_0 ve a_1 katsayıları, i ve j modları için verilen sönüm oranları ξ_i ve ξ_j 'ye bağlı olarak belirlenir. ξ_i ve ξ_j modları için matris yazılımı ile ifade edilirler.

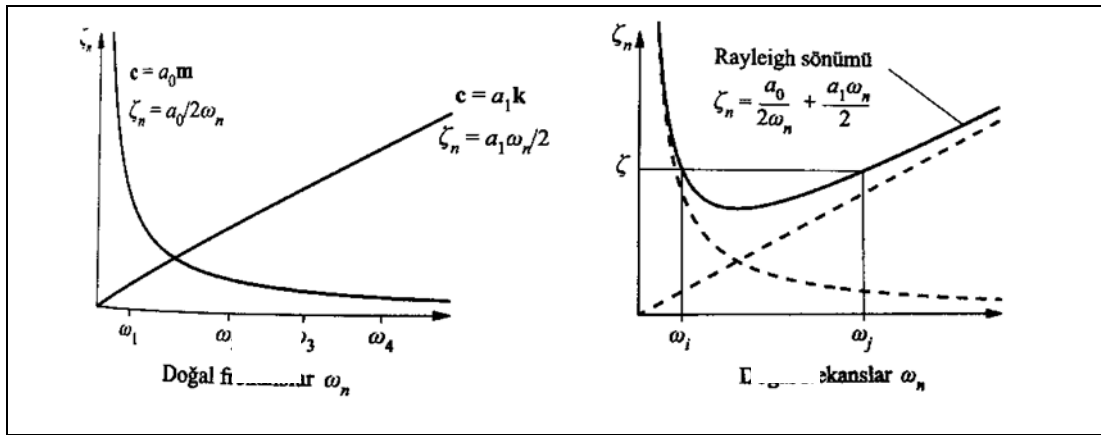
$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1/\omega_i & \omega_i \\ 1/\omega_j & \omega_j \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \xi_i \\ \xi_j \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

Denklem (3.8) çözülerek a_0 ve a_1 katsayıları bulunur. Eğer her iki modun sönüm oranının aynı veya ξ kadar olduğu varsayılırsa a_0 ve a_1 katsayıları Denklem (3.9) ve (3.10) ile hesaplanabilir.

$$a_0 = \xi \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad (3.9)$$

$$a_1 = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (3.10)$$

Katsayıların bulunması sonrasında Denklem (3.6) sönüm matrisi hesaplanır ve diğer modların sönüm oranları Denklem (3.7)'den hesaplanır. Sönüm oranlarının doğal frekansa bağlı olarak değişimi Şekil 3.5'de gösterilmiştir.

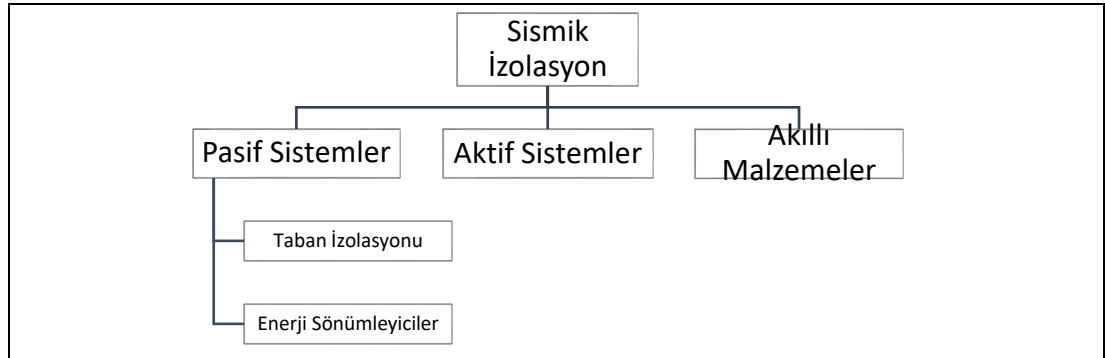


Şekil 3.5: Mod sönüm oranlarının doğal frekansla değişimi: a) Kütleye ve rijitlikle orantılı sönüm b) Rayleigh sönümü.

3.4. Sismik İzolasyon

Sismik izolasyon, uzun yıllardır yapıların özellikle deprem karşındaki risklerini azaltmak amaçlı geliştirilerek kullanılan araçlar kullanılarak yapılan dizayn yaklaşımıdır. Bu bağlamda, zaman içinde gelişen teknoloji ile beraber çok çeşitli

sistemler geliştirilmiştir. Genel olarak sismik izolasyonu üç ana başlık altında toplayarak değerlendirmek mümkündür.



Şekil 3.6: Sismik izolasyon çeşitleri.

Genel olarak bakıldığında zaman Sismik İzolasyon için kullanılan tüm araçların ortak amacı benzerlik göstermektedir. Klasik yapı tasarımında yapıya gelen etkiden (deprem) daha yüksek kapasiteli sistemler tasarlanmaktadır. Bu tasarım felsefesinin aksine Sismik İzolasyonda amaç yapıya gelen etkiyi azaltmaktır. Bu amaç ile yapı içinde klasik elemanlar (kolon, kiriş, perde vb.) ile birlikte ilave araçlar (izolatör, damper, akümülatör vb.) kullanılmaktadır. Bu araçlar türlerine göre yapının çeşitli yerlerinde konumlandırılabilirler.

Çalışmasının bu bölümünde tez çalışması konusu olan Pasif Sistemler grubundan olan Enerji Sönümleyiciler üzerinde durulacak ve sayısal uygulama da kullanılacak iki tip sönümleyici için detaylı bilgi sunulacaktır.

3.4.1. Enerji Sönümleyiciler

Özel olarak geliştirilen Enerji Sönümleyiciler sayesinde deprem enerjisinin büyük bir bölümü sönümlenmekte böylece yapının klasik taşıyıcı sistemlerine (kolon, kiriş, perde vb.) daha az kuvvet gelmesi sağlanabilmektedir. Dünyada uzun yıllardır yeni yapı tasarımında ve mevcut yapıların güçlendirilmesi çalışmalarında aktif olarak kullanılan enerji sönümleyiciler son yıllarda ülkemizde de kullanılmaya başlanmıştır.

Enerji sönümleyicilerin, yüksek sönüm kapasiteleri olması, ihtiyaca göre çok çeşitli şekillerde kullanılabilmesi, kolay montajı, az yer kaplamaları, mimari detayları çok zorlamaması, fabrika ortamında üretim nedeniyle uzun süreli garantili ve kullanım

öncesi testler sayesinde hatasız imal edilebilmeleri, deprem öncesi ve sonrası kolay kontrol edilebilmeleri en büyük avantajları olarak ön plana çıkmaktadır.

Enerji sönümleyicilerin ilk olarak tasarım kurallarının verildiği Amerika'daki çalışma SEAONC (Kuzey Kaliforniya Yapı Mühendisliği Birliği) tarafından kılavuz (guideline) olarak 1989 Loma Prieta depremi sonrasında yayınlamıştır. İlerleyen dönemlerde FEMA 273 ve FEMA 274 dokümanları hazırlanmıştır. FEMA dokümanlarında enerji sönümleyiciler için montaj, tasarım, yerleşim, minimum ve maksimum şartlar detaylıca belirtilmiştir. FEMA dokümanları 2000 yılında FEMA 356 adı altında birleştirilerek ön standart (Prestandart) haline getirilmiştir. FEMA tanımları daha sonra ASCE-41 serisi ile yönetmelik haline getirilmiştir.

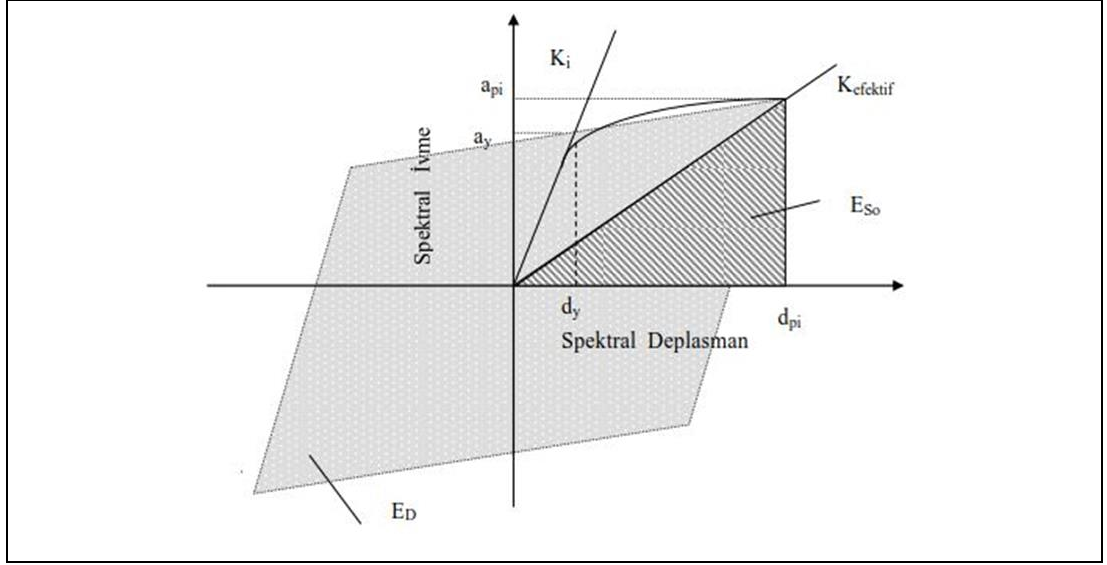
Yukarıda tanıtımı yapılan yönetmeliklerde enerji sönümleyiciler iki kategoriye ayrılmaktadırlar.

- Deplasman Bağımlı Enerji Sönümleyiciler (Displacement-Dependent)
- Hız Bağımlı Enerji Sönümleyiciler (Velocity-Dependent)

Enerji sönümleyicilerinin hepsinin genel çalışma prensibi, kendilerine özgü özellikler sayesinde deprem etkisini bünyelerinde ısı enerjisine dönüştürerek yapıya ilave sönüm katmalarıdır. Genel hesaplama kuralı olarak sönümleyicilerin bir çevrimde yarattığı toplam enerjinin (W_j) yapının mevcut histerezis hareketi ile yarattığı enerjinin (W_k) oranı yapıya ilave edilen toplam sönümün hesabında kullanılır.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{\sum_j W_j}{4\pi W_k} \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de β : Mevcut yapının kabul edilen sönüm oranı, β_{eff} : Yapının sönümleyicili toplam sönüm miktarıdır. Denklemde tanımlanan alanların grafiksel gösterimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Histerezis sönüm hesaplama grafiği.

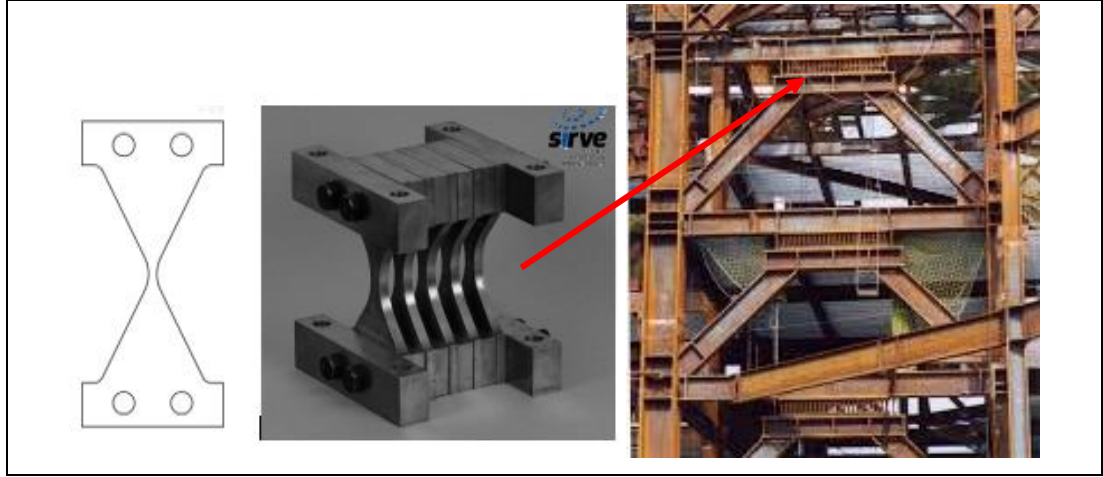
Enerji sönümleyicilerin her iki kategoride birçok çeşidi bulunmaktadır. Tez çalışmasının bu bölümünde her iki kategoride en yaygın olarak kullanılacak olan ikişer tip sönümleyici grubu hakkında özet bilgi verilecektir.

3.4.1.1. Deplasman Bağımlı Enerji Sönümleyiciler

Deplasman bağımlı sönümleyiciler genel özellikleri itibari ile yapının deformasyon (tepe ötelenmesi) kabiliyetine bağlı olarak çalışan aletlerdir. Kullanıldıkları yapılarda yarattıkları ilave sönümle beraber bir miktar ilave rijitlikte katmaktadırlar. Bu nedenle, kullanıldıkları yapılarda hesaplar sonucunda elde edilen sönüm faydasının kontrolü ile beraber ek rijitliğin getirdiği kuvvetlerde (özellikle kesme kuvvetleri) dikkatlice incelenmelidir.

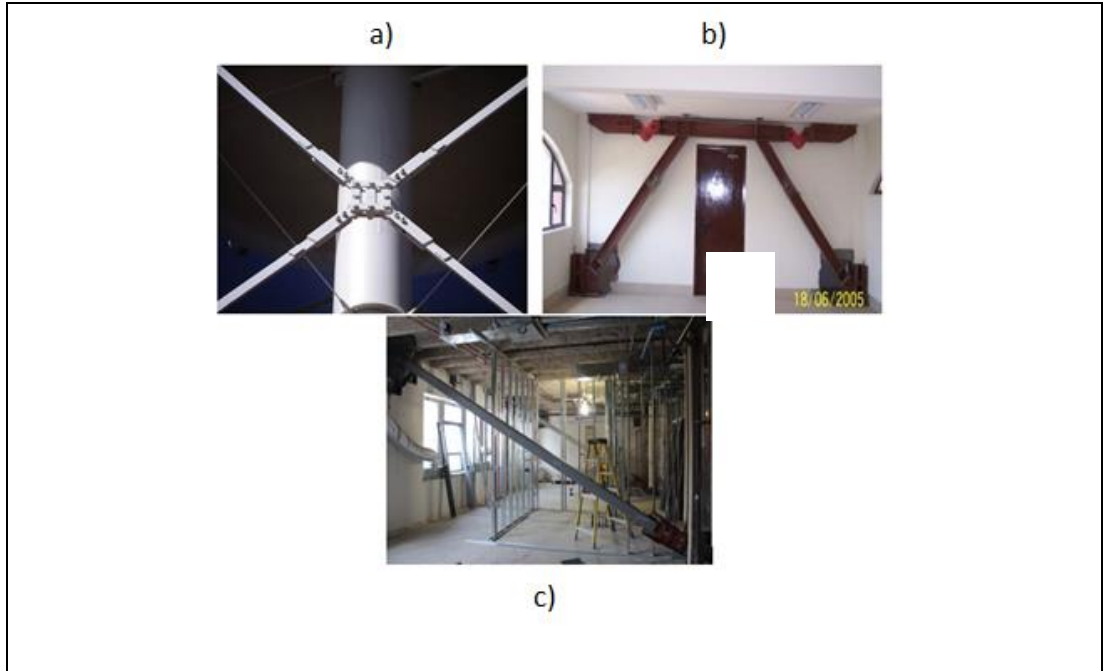
Deplasman bağımlı sönümleyiciler genel olarak “*Metal Sönümleyiciler*” ve “*Sürtünmeli Sönümleyiciler*” şeklinde gruplanmaktadır.

Metal Sönümleyiciler, deprem sonucunda oluşan kuvvetler altında akmaya ulaşan çelik veya kurşun plakalardan teşkil edilmiş elemanlardır. Genel kullanımda chevron şeklinde çaprazların uç kısmına ilave edilerek yapısal sisteme ilave edilmektedir.



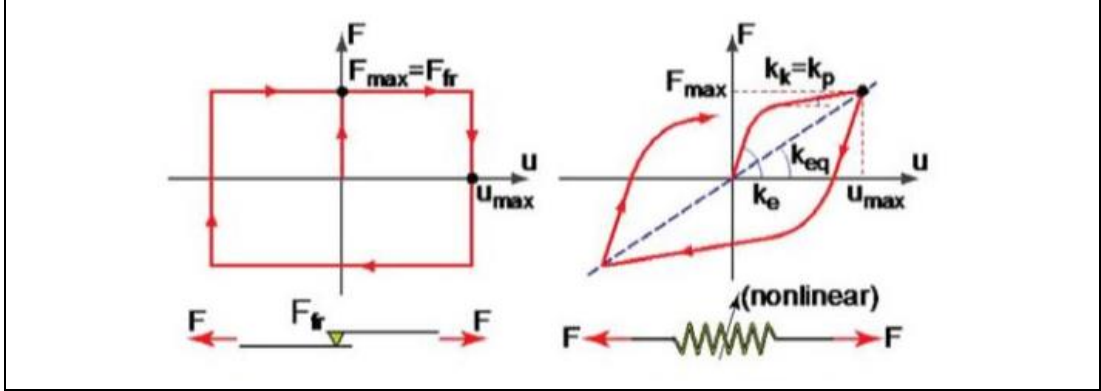
Şekil 3.8: Metal sönümleyici örnek görseli.

Sürtünmeli Sönümleyiciler, plakalar arasında özel olarak oluşturulmuş sürtünme yüzeyleri (teflon) ile teşkil edilmiş elemanlardır. Deprem sonucunda oluşan kuvvetler altında eşik değerinin aşılması sonucunda oluşan sürtünme ile sönümleme görevlerini yerine getirirler. Genel kullanımda X Çapraz Tip, Dönmeli Tip ve Lineer Tip sürtünmeli sönümleyiciler en yaygın şekilde kullanılmaktadırlar.



Şekil 3.9: Sürtünmeli sönümleyici görseli a) X çapraz tip b) Dönmeli tip c) Lineer tip.

Deplasman Bağımlı sönümleyiciler geneli itibari ile kararlı histeris davranışına sahip olmaları, kullanılan malzemelerin iyi bilinmesi ve ısı gibi çevresel faktörlerden az etkilenmesi avantajları olarak sayılabilmektedir.



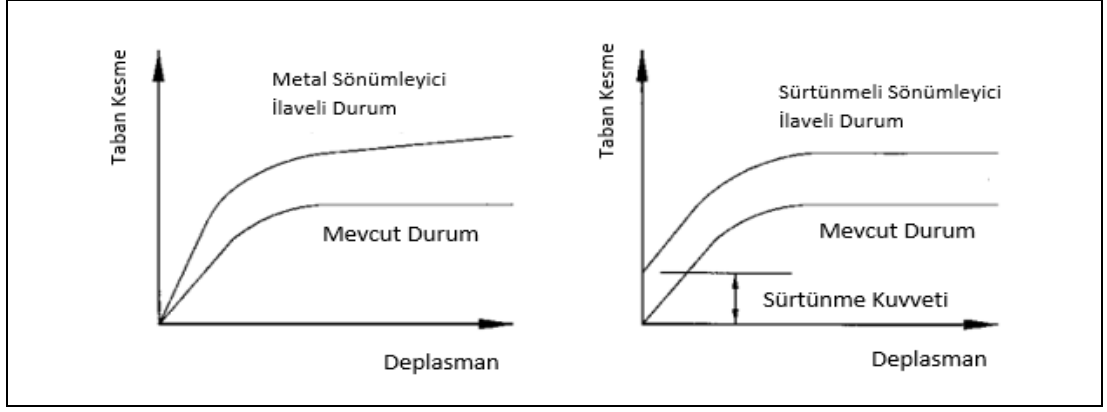
Şekil 3.10: a) Sürtünmeli sönümleyici kuvvet-deplasman grafiği b) Metal sönümleyici kuvvet-deplasman grafiği.

Sürtünmeli Sönümleyicilerin hız-kuvvet ilişkisi Denklem (3.12)'de gösterildiği tanımlanabilmektedir.

$$F = K_{eff}\Delta \quad (3.12)$$

Denklem (3.12)'de K_{eff} : Sönümleyicinin efektif rijitliğini, Δ : Sönümleyici maksimum uzamasını (stroke) göstermektedir.

Şekil 3.11'de mevcut bir yapıya ilave edilen deplasman bağımlı sönümleyici nedeni ile taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı grafiğindeki oluşan farklılıklar gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, her iki tip sönümleyici ilavesi ile taban kesme kuvveti kapasitesinin arttığı görülmektedir. Şekil 3.11a'da metal sönümleyici ilave çeliklerden dolayı yapı rijitliğinin arttığı ve sönümleyici akma kuvveti aşıldıktan sonrada bir miktar kapasitenin pekleşme sayesinde artmaya devam ettiği söylenebilir. Şekil 3.11b'de ise sürtünme yüzeylerinin yarattığı ek kuvvetten dolayı mevcut taban kesme kuvvetinin yukarı kaydırılması ile taban kesme kuvveti kapasitesinin arttırıldığı görülmektedir.



Şekil 3.11: a) Metal sönümleyici ilaveli yapı taban kesme kuvveti-deplasman grafiği
b) Sürtünmeli sönümleyici ilaveli yapı taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

3.4.1.2. Hız Bağımlı Enerji Sönümleyiciler

Hız bağımlı sönümleyiciler genel özellikleri itibari ile yapının görelî kat ötelenmesi farkından oluşan deplasmana bağılı olmak yerine depremin hız bileşeni farkına göre çalışan aletlerdir. Bu tip sönümleyiciler genellikle tüp içindeki bir akışkan bir sıvı (viskoz) veya metaller arasına yerleştirilmiş esneme kabiliyeti çok yüksek malzemeler (viskoelastik) ile imal edilmektedirler.

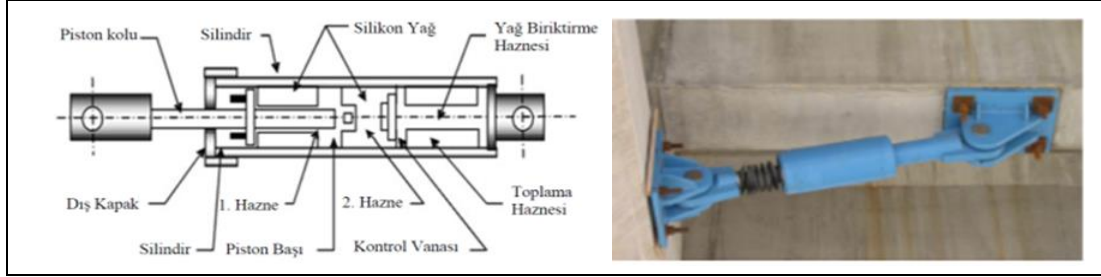
Hız bağımlı sönümleyiciler genel olarak “*Viskoz Sönümleyiciler*” ve “*Viskoelastik Sönümleyiciler*” şeklinde gruplanmaktadır. Genel kullanımda V Chevron Çapraz Tip, Lineer Tip viskoz veya viskoelastik sönümleyiciler en yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Viskoz Sönümleyiciler, genellikle kapalı bir tüp içerisinde bulunan akışkan (viskoz veya yağ) malzemenin özel ayarlanmış delik veya odacıkların içinden geçerken oluşan ısı enerji ile sönümleme yapmaktadır. Akışkanın özelliği sayesinde hareketin yavaş hızlarında az tepki verip yüksek hızlarda daha çok tepki verebilmektedir. Bu özelliği sayesinde yapıya ilave bir rijitlik katkısı olmamaktadır. Alet için özel olarak hız üstel sabiti (α) ayarlanarak doğrusal olmayan davranış sağlanabilmektedir.

Viskoz Sönümleyicilerin hız-kuvvet ilişkisi Denklem (3.13)’de gösterildiği tanımlanabilmektedir.

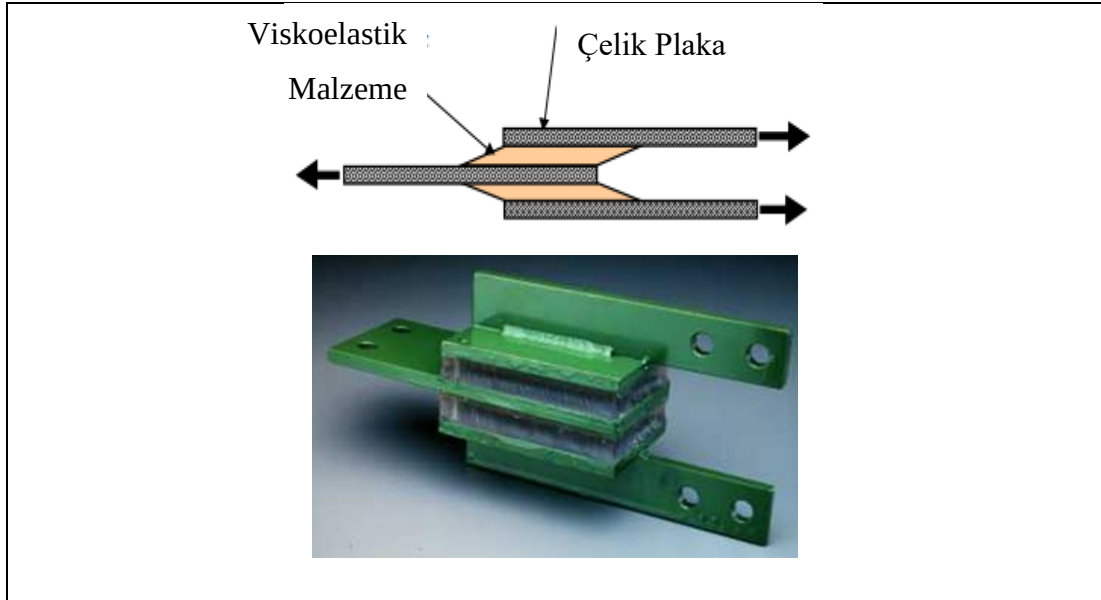
$$F = C_0 |\dot{D}|^\alpha \quad (3.13)$$

Denklem (3.13)'te C_0 : Sönüm katsayısı $|\dot{D}|^\alpha$: Depremin hız bileşeni α : Alet için tanımlanan hız üstel sabiti (0,3 – 1 arasında bir katsayı).



Şekil 3.12: Tipik viskoz sönümleyici görseli.

Viskoelastik Sönümleyiciler, metaller arasına yerleştirilmiş olan özel madde nedeni ile hem hız bağımlı hem de deplasman bağımlı olarak çalışan sönümleyici olarak tanımlanabilmektedir. Viskoelastik madde nedeni ile tarz sönümleyicilerin yapıya bir miktar rijitlik kattığı görülmektedir. Viskoelastik sönümleyicilerde hız üstel sabiti bir ($\alpha=1$) olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, sönümleyicinin davranışı doğrusal olmaktadır.

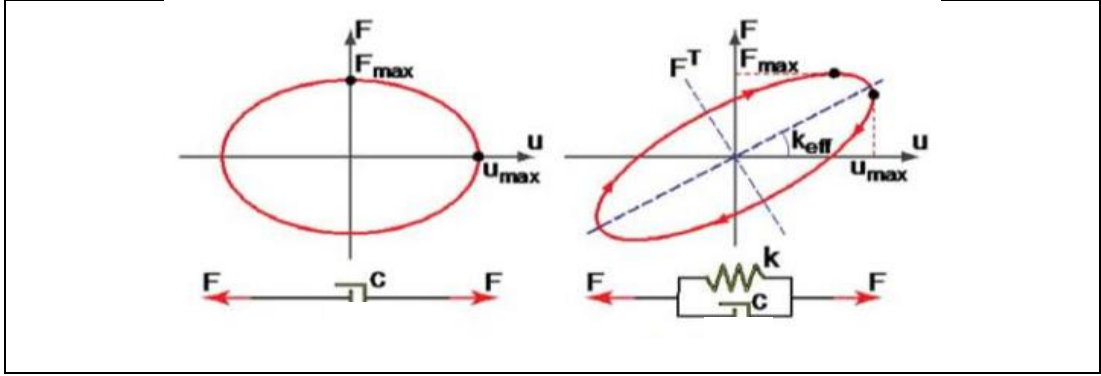


Şekil 3.13: Tipik viskoelastik sönümleyici görseli.

Viskoelastik Sönümleyicilerin hız-kuvvet ilişkisi Denklem (3.14)'de gösterildiği tanımlanabilmektedir.

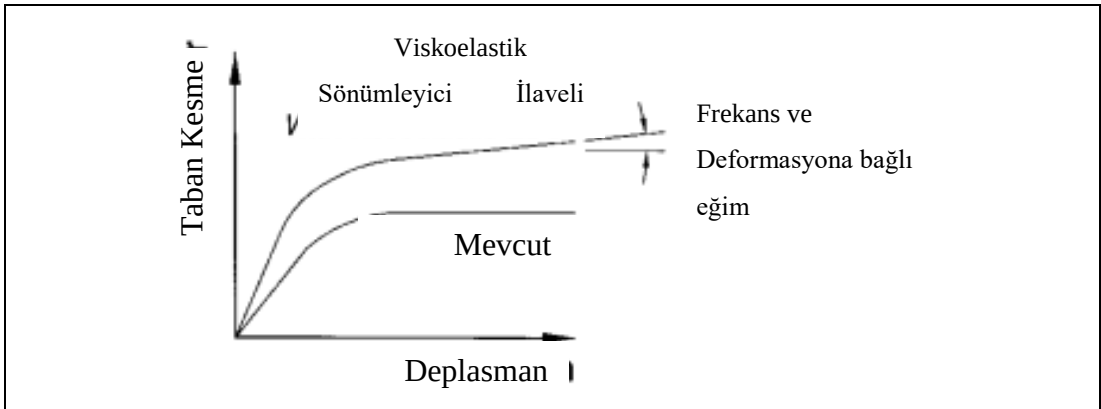
$$F = C_0 |\dot{D}| + K_{eff} \Delta \quad (3.14)$$

Denklem (3.14)'de C_0 : Sönüm katsayısı $|\dot{D}|$: Depremin hız bileşeni ($\alpha=1$ olduğu için gösterilmemiştir) K_{eff} : Sönümleyicinin efektif rijitliğini, Δ : Sönümleyici maksimum uzamasını göstermektedir.



Şekil 3.14: a) Viskoz sönümleyici kuvvet-deplasman grafiği b) Viskoelastik sönümleyici kuvvet-deplasman grafiği.

Şekil 3.15'de mevcut bir yapıya ilave edilen viskoelastik sönümleyici nedeni ile taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı grafiğindeki oluşan farklılık gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, sönümleyici ilavesi ile taban kesme kuvveti kapasitesinin arttığı görülmektedir. Viskoelastik sönümleyici malzemesinden dolayı yapı rijitliğinin arttığı ve sönümleyici akma kuvveti aşıldıktan sonrada bir miktar kapasitenin pekleşme sayesinde artmaya devam ettiği söylenebilir.



Şekil 3.15: Viskoelastik sönümleyici ilaveli yapı taban kesme kuvveti-deplasman grafiği.

4. SAYISAL UYGULAMA

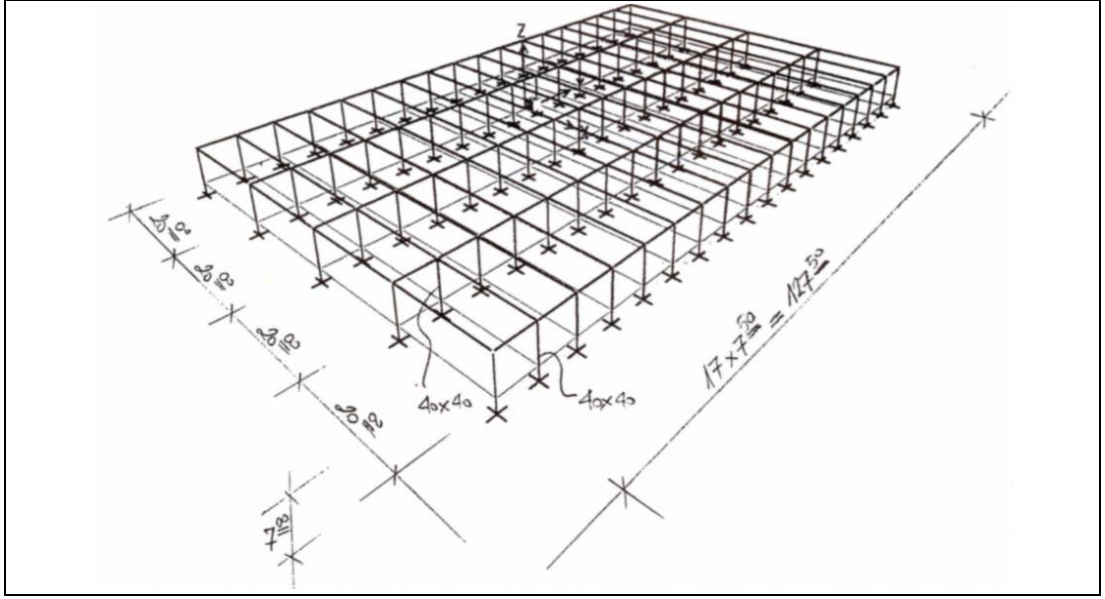
Tez çalışmasının bu bölümünde sayısal analizler için seçilen örnek yapının genel bilgileri, mevcut performansı durumu ve güçlendirilmiş durum performans seviyesi hakkında bilgi verilecektir.

4.1. Örnek Yapı Seçimi

1999 yılı Kocaeli ve Düzce depremleri sonrasında 2000 yılında Türkiye Prefabrik Birliği (TPB) tarafından depremde hasar alan bölgelerdeki sanayi bölgeleri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonrasında prefabrike sanayi yapılarındaki hasarın daha çok Adapazarı Sanayi Bölgesinde yoğun olduğu sağtanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bilgiler TPB Teknik Komite üyesi Hakan Ataköy [5] tarafından makale olarak hazırlanarak detaylıca açıklanmıştır.

Tez kapsamında sayısal uygulaması yapılacak olan yapı bu makalede tipleştirilmiş yapılardan “A Grubu” yapı olarak seçilmiştir. Bu yapı grubunun seçilmesinin nedenleri,

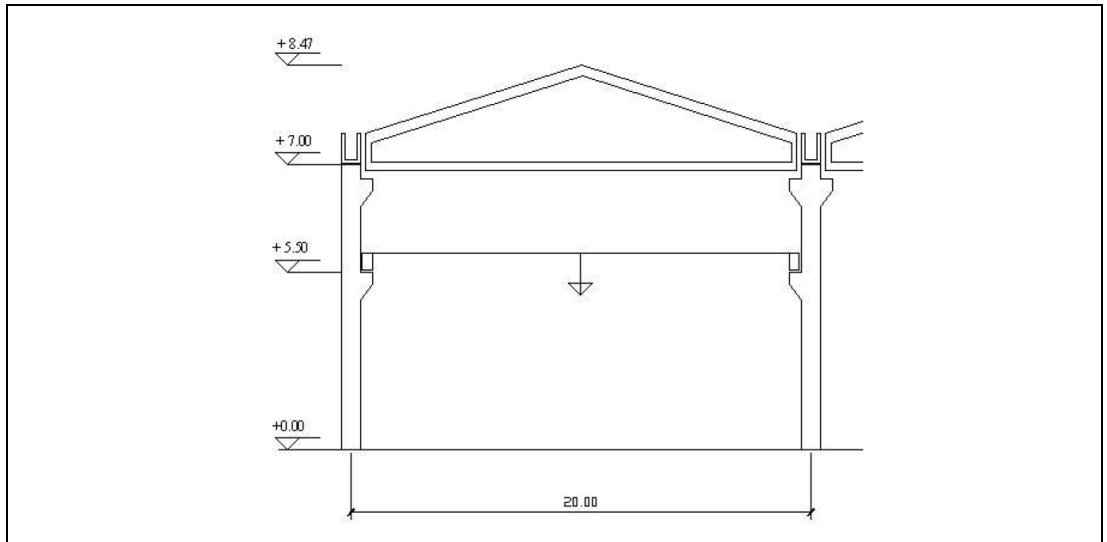
- Ülkemizde sanayi yapılarında kullanılan yapı tipinin çok büyük bir kısmını temsil etmesi,
- 1998 yılında inşaa edilmiş olamsı nedeni ile 1997 yönetmeliğine tabi olması,
- Deprem öncesinde hiçbir hasarının olmamasına rağmen deprem sonrası tamamen göçmüş olması,
- Yapının mevcut projelerinin bir kısmının var olması,
- Benzer yapı tipinin klasik (konvansiyonel) sistemle güçlendirilmesi üzerine Çağrı Şeren tarafından Yüksek Lisans tez [6] çalışması yapılmış olmasıdır.



Şekil 4.1: A grubu örnek yapı görseli.

4.1.1. Örnek Yapı Özellikleri

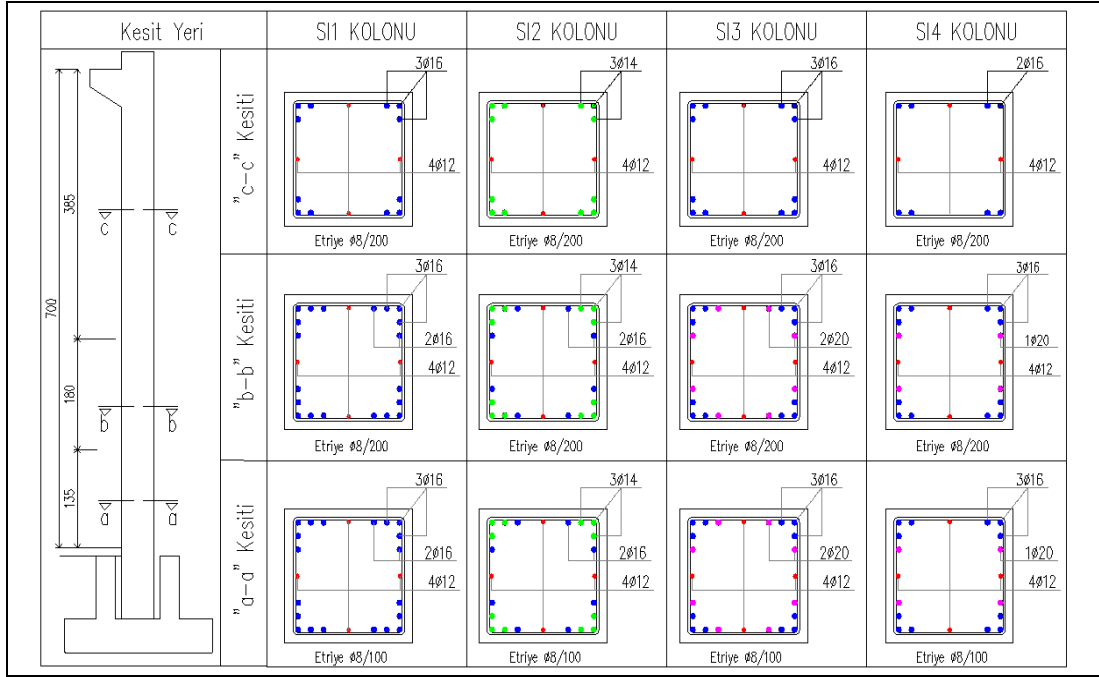
A grubu örnek yapı, 20x7.5 m tipik açıklık boyutlarında masak altına kadar 7 m yüksekliğe sahip tek katlı prefabrike yapıdır (Şekil 4.1). Makas doğrultusunda 4 (dört), makasa dik yönde 17 (onyedi) akstan teşkil olup toplamda 80x127.5 m boyutları ile yaklaşık 10,200 m² kapalı alana sahiptir.



Şekil 4.2: Örnek yapı tipik en kesiti.

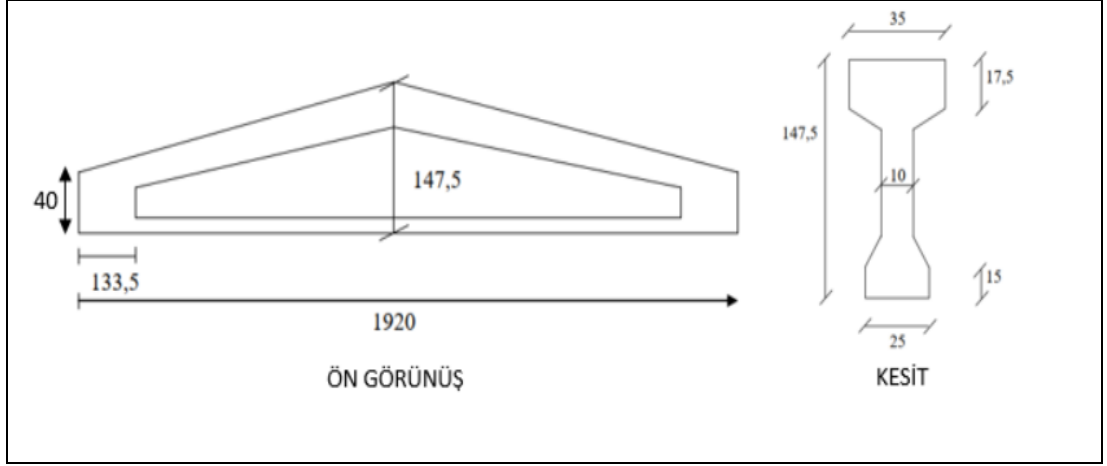
Yapıda kolonlar 40x40 cm boyutlarında ve 4 (dört) tip olacak şekilde tasarlanmıştır. Kolonlar alt mesnette ~%2,44 ila %3,3 boy donatısına sahiptir. Kolon

etrierleri çanak temel üstünde 140 cm boyunca $\Phi 8/100$ mm (BÇIIIa) kolonun geri kalanında $\Phi 8/200$ mm (BÇIIIa) olacak şekilde imal edilmiştir. Kolon boy donatıları kolon boyunca değişkenlik (çatıya doğru azalan oran) göstermektedir. Kolon yerleşim planı EK-A’da gösterilmiştir.



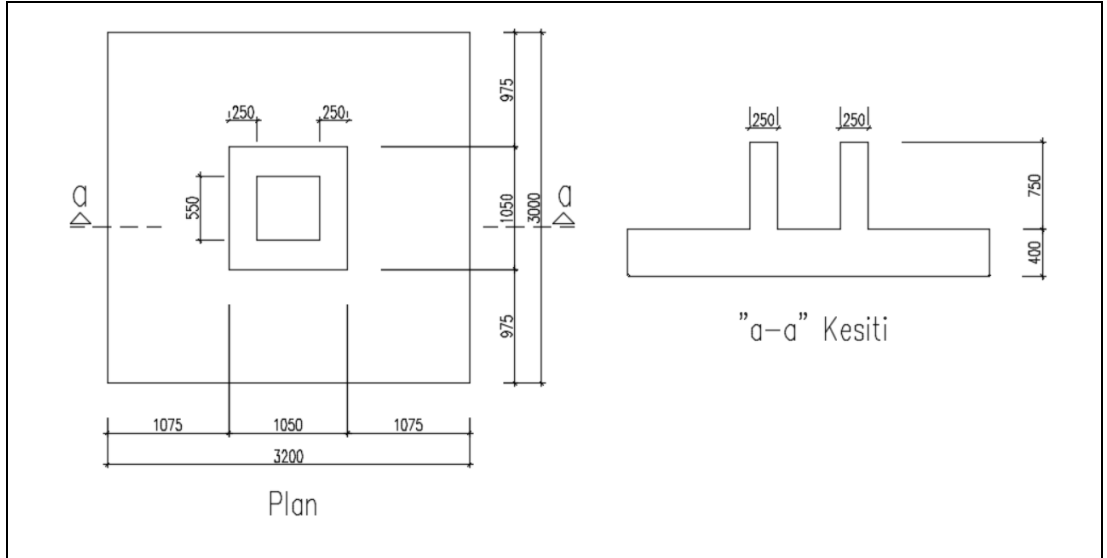
Şekil 4.3: Mevcut kolon donatıları.

Yapıda kiriş olarak 20 m açıklık (yapı kısa doğrultusu) bölümünde değişken I kesitli dolu gövdeli makas kullanılmıştır. 7.5 m aks açıklıklarında (yapı uzun doğrultusunda) U kesitli oluklar bulunmaktadır. Makaslar çift pim ($\Phi 20$ mm) ile monte edilmiştir. Oluk birleşim detayı ile ilgili bilgi edinilememiştir. Çatıda aşık elemanları 26 cm yüksekliğinde 18 cm genişliğinde değişken kesitli ters L kesit kullanılmıştır.



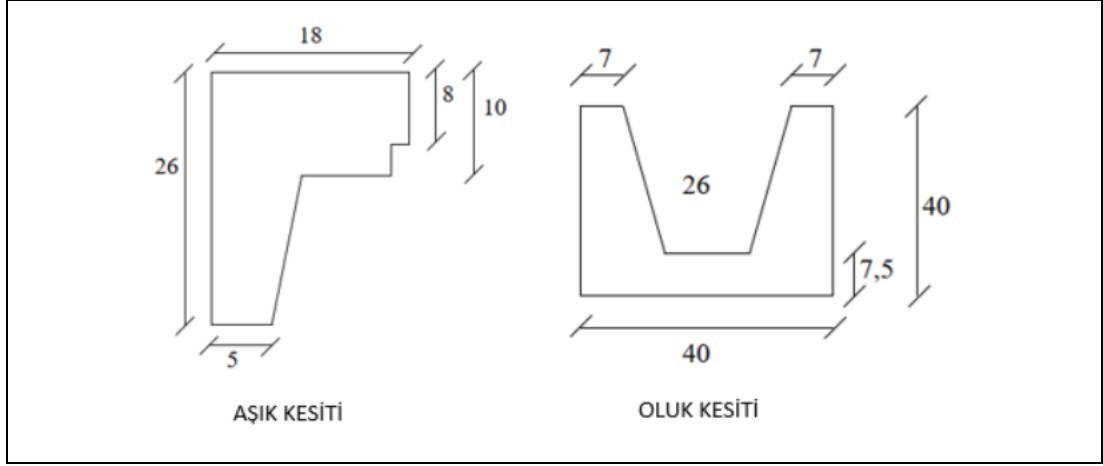
Şekil 4.4: Tipik makas kesiti detayı.

Yapı temelleri çanak (soket) temel şeklinde teşkil edilmiştir. Temel boyutları yapı kısa doğrultusunda 3,2 m ve yapı uzun doğrultusunda 3,0 m dir. Temel kalınlığı 40 cm ve temel ana donatısı $\Phi 14/200$ mm (BÇIIIa)'dır. Çanak kenar kalınlıkları 25 cm ve temel üstü çanak kenar yüksekliği 75 cm'dir.



Şekil 4.5: Tipik temel boyutları.

Yapının bulunduğu bölgede zemin sınıfının Z4 (1997 yönetmeliğine göre) olduğu ve zemin emniyetli taşıma gücünün düşey yüklerde 100 kN/m^2 olduğu depremli durumda 150 kN/m^2 olduğu görülmüştür [6].



Şekil 4.6: Tipik aşık ve oluk kesiti.

Yapı projelerinde beton sınıfı C30 (f_{ck} :30 Mpa), donatı sınıfı BÇIIIa (f_{yk} :420 Mpa) olduğu görülmüştür. Çatı kaplaması olarak “çift kat eternit” kullanıldığı projelerde görülmüştür.

4.2. Örnek Yapı Mevcut Durumu

Tez çalışmasının bu bölümünde örnek mevcut yapının TBDY-2018 bölüm 15’e göre Performans Değerlendirmesi sonuçları özetlenecektir. Performans değerlendirme yönetmelik 15.6’da tanımlanan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Tek Modlu İtme Analizi (bölüm 5.6) ile yapılacaktır.

Mevcut yapı sistemi Sap2000 (V20.2) programı ile çubuk (frame) elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Bu tarz yapı genelinde olduğu gibi örnek yapıda da diyafram kabulü yapılamamaktadır. Bu nedenle, yapının davranışından tipik konsol kolon davranışı (tek eğrilikli kolon) sergilemektedir.

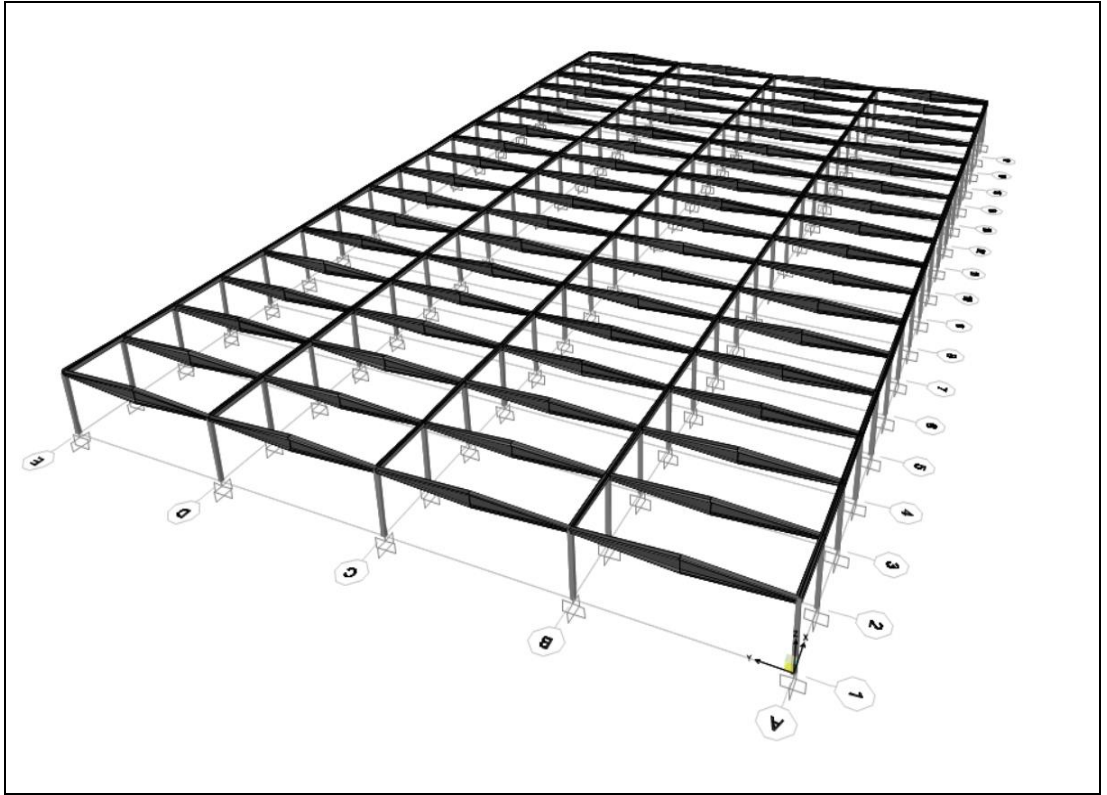
Yapılan üç boyutlu ve iki boyutlu (Düzlem) analizleri sonucunda yapının kısa ve uzun yönünde bulunan makas ve olukların yapı davranışını kısmi olarak (eksenel kuvvet dayanımı sayesinde) etkilediği görülmüştür. Bu etki sonucunda yapının mevcut durum analizlerinde tek kolon üzerinden (konsol kolon) hesaplamalar yapılması yerine iki boyutlu (düzlem) çerçeve çözümü yapılmasına karar verilmiştir. Mevcut durum analiz modelinde kolonlar alttan ankastre bağlı (fix base) olacak şekilde modellenmiştir.

Mevcut yapı hesaplarında kabul edilen düşey yükler ve değerleri aşağıda liste halinde verilmiştir.

- Zati Yük (Dead) : Yapısal Eleman Ağırlıkları
- atı Kaplaması (D1) : 0,40 kN/m² (ift Kat Eternit)
- Ekipman Yükü (D2) : 0,20 kN/m² (Havalandırma, Borulama vb.)
- Kar yükü (S) : 0,75 kN/m² (TS498, Kar bölgesi III, Rkm:40 m)
- Hareketli Yük (L) : 5,0 kN/m² (Zeminde)

Yapı mevcut projelerinde A ve B aksları arasında görülen 6 ton kapasiteli Kren'in yükleri mevcut durum performans analizlerinde ihmal edilmiştir. Aks isimlendirmesi mevcut projedeki hali ile kullanılmıştır.

Mevcut projelerin bir kısmının olmasına rağmen donatı detaylarının tam olarak bilinmemesi, yerinde malzeme testi yapılamaması TBDY 2018 madde 15.2.12'de tanımlanan Bilgi Düzeyi Katsayısı 0,75 (Sınırlı) olarak kabul edilmiştir. Kolon kesitlerinde (şekil 4.3) hesaplanan plastik mafsıl değerleri bu katsayı ile azaltılarak kullanılmıştır. Kolon etriyeleri tek kol, 90° kapalı etriye kabul edilmiş olup etriye oranı (ρ_{sh}) hesabında %30'u gözönüne alınarak hesaplanmıştır.

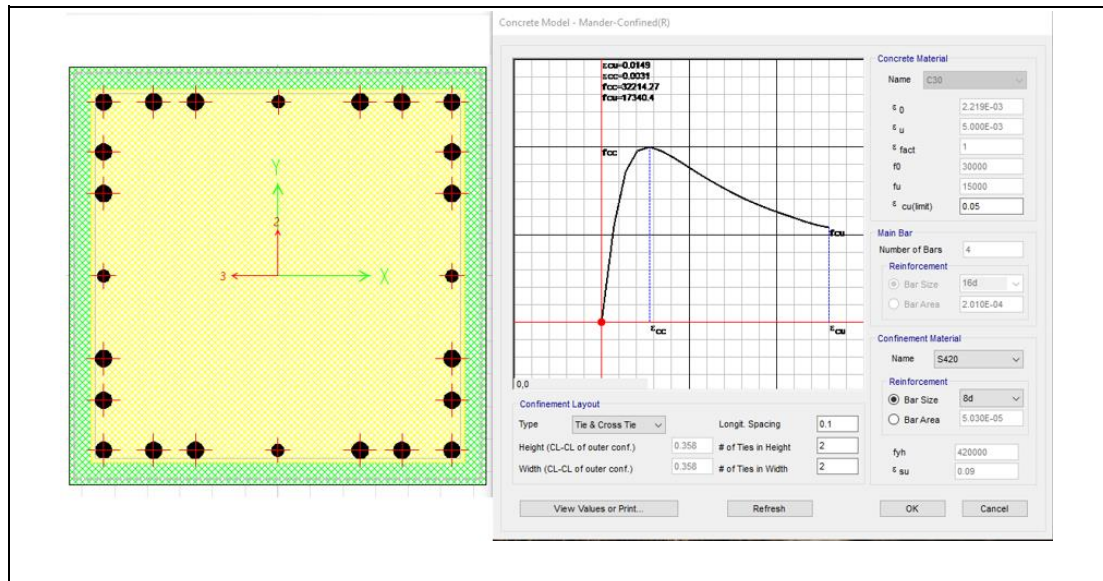


şekil 4.7: Mevcut yapı 3 boyutlu analiz modeli görseli.

Mevcut kolonlar, projeler incelenerek alt mesnet sıkılaştırma bölgesi ve orta bölgede olmak üzere toplamda oniki tip (4x3) farklı kesit oluşturacak şekilde gruplandırılmıştır (Bkz. Şekil 4.3). Tüm farklı kesitler için TBDY 2018 bölüm 5.8 uyarınca hasar limit değerleri hesaplanmış ve plastik mafsallık özellikleri programda tanımlanmıştır. Kolonlar için yığılı plastik mafsallık modeli kabulü yapılmış ve etkin kesit rijitlikleri Denklem (4.1) ile hesaplanmıştır. Oluşturulan malzeme modeli ve yığılı plastik mafsallık özelliklerini gösteren örnek değerler sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

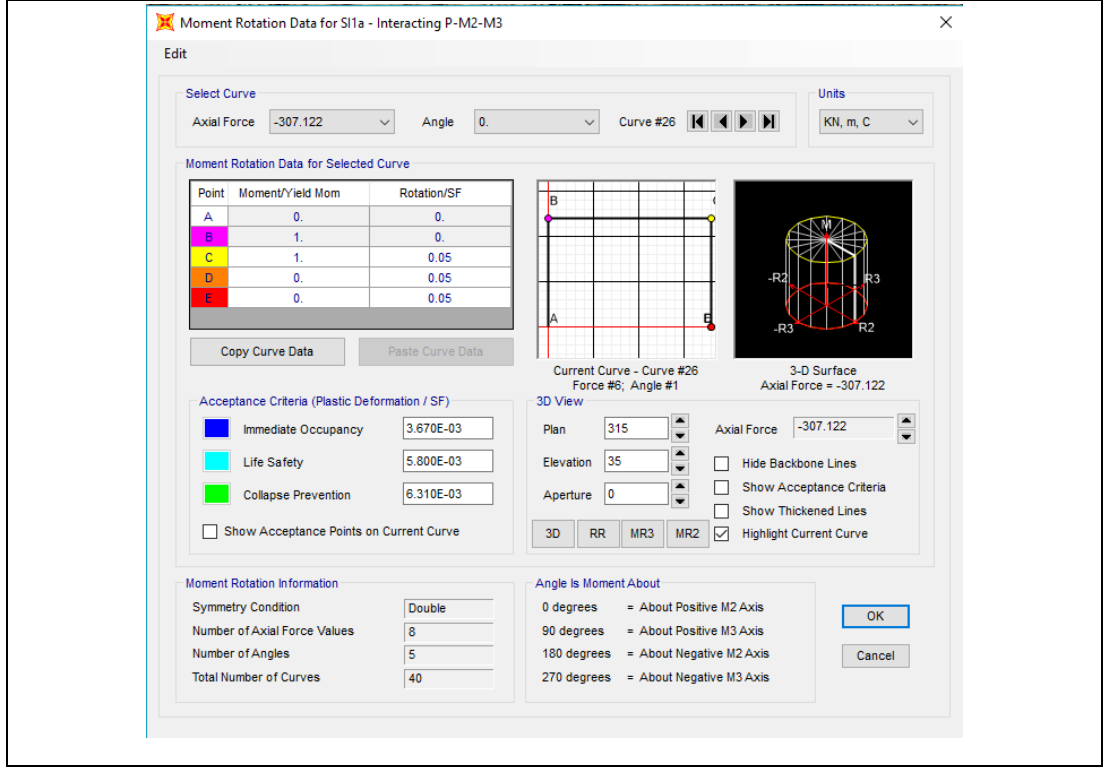
$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3} \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)’de M_y : Etkin akma momentleri ortalaması, θ_y : Akma dönmeleri ortalaması, L_s : Kesitteki moment/kesme kuvveti oranıdır.



Şekil 4.8: A aksı alt mesnet kolon kesiti malzeme modeli (SI1a).

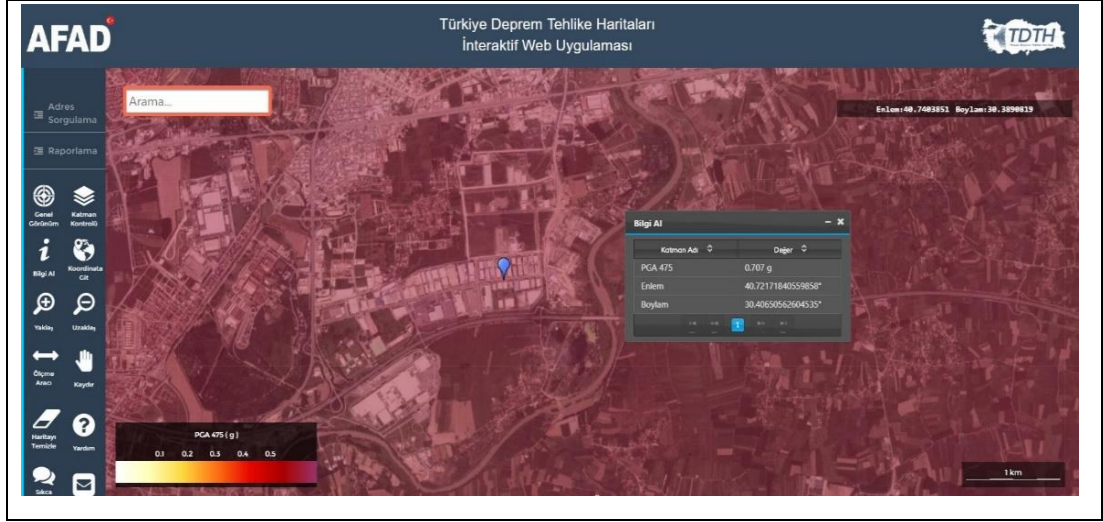
Kısa doğrultudaki üçgen I kesitli (değişken) makas ve uzun doğrultudaki U kesitli olukların kolon uçlarına (7 m kotunda) mafsallık tanımlanarak (moment aktarmayan pin bağlantı) modellenmiştir.



Şekil 4.9: A aksı alt mesnet kolon kesiti (SI1a) plastik mafsal özellikleri.

4.2.1. Depremsellik

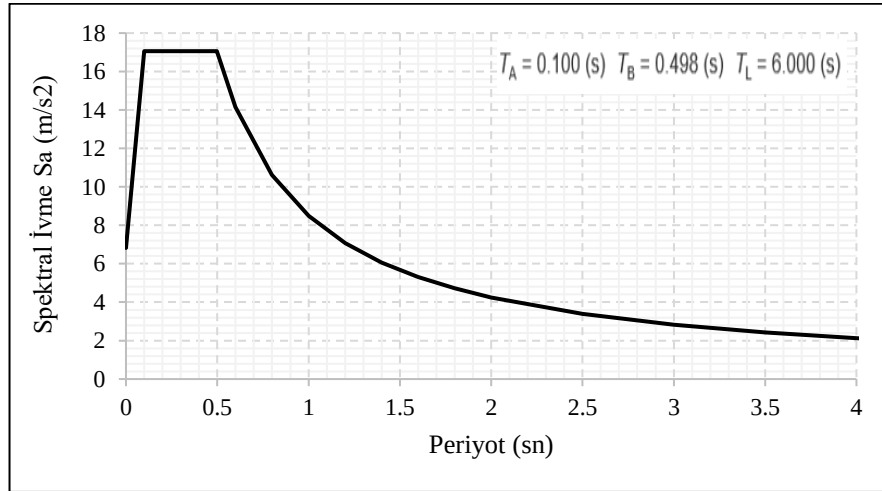
Sakarya ili Adapazarı I. Organize sanayi bölgesinde olan mevcut yapı için AFAD tarafından 2018 yılında hazırlanan TDTH (Türkiye Deprem Tehlike Haritası) verileri kullanılmıştır. Buna göre, 40.721718° enlem ve 30.406505° boylam koordinatlarında bulunan bölge için ZD sınıfı zemin için DD-2 tasarım depremi için ivme katsayıları elde edilmiştir.



Şekil 4.10: Örnek yapı AFAD TDTH en büyük yer ivmesi (PGA) değeri.

Haritadan elde edilen verileri aşağıda özetlenmiştir.

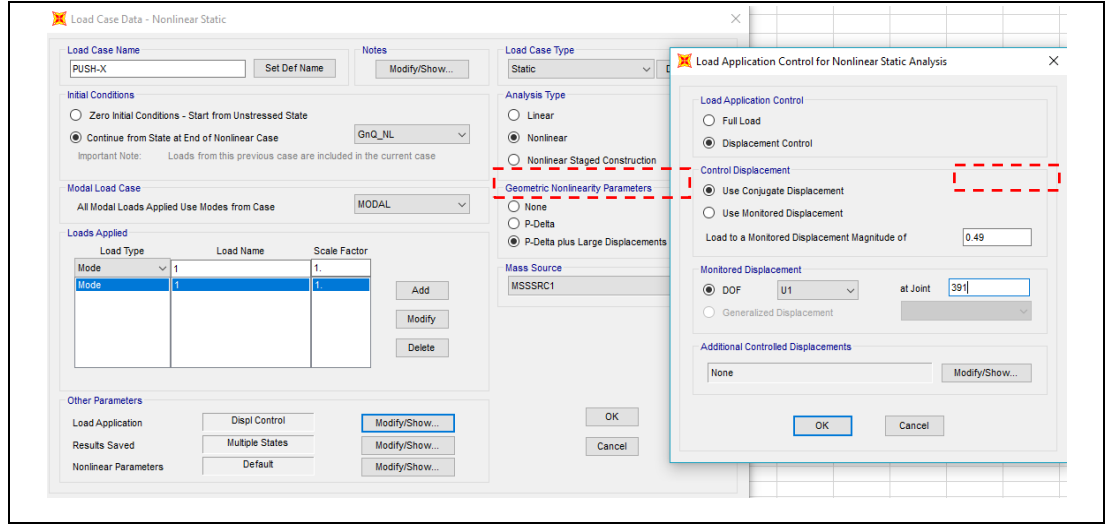
- PGA: 0.707g S_s : 1.739 F_s : 1.00
- PGV: 59.311 cm/sn S_1 : 0.474 F_1 : 1.826
- S_{DS} : $S_s * F_s = 1.739 \times 1.00 = 1.739$
- S_{D1} : $S_1 * F_1 = 0.474 \times 1.826 = 0.866$



Şekil 4.11: TBDY 2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.

4.2.2. Mevcut Yapı Performansı

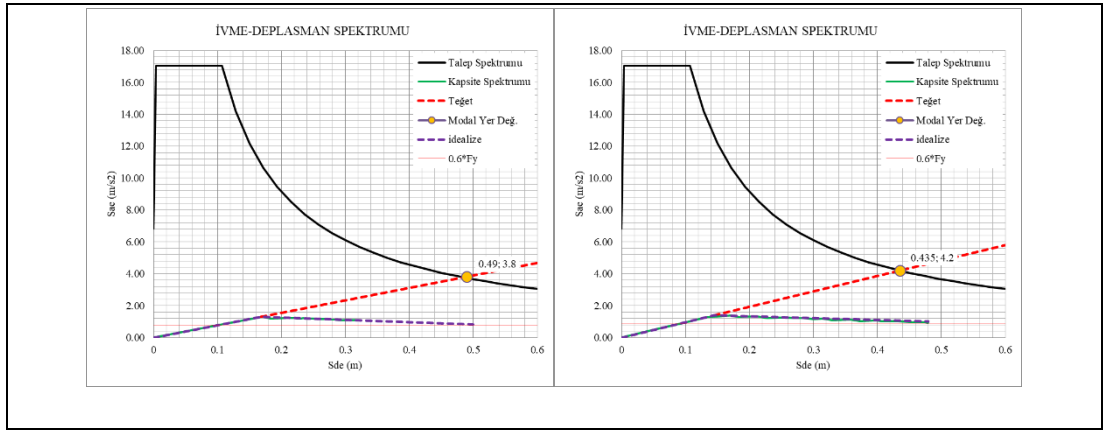
Mevcut Yapı performansının belirlenmesi için tez çalışması bölüm 3.3’de detayları tanımlanan Tek Modlu İtme Analizi kurallarına göre hesaplar yapılmıştır. Yapı aksları benzerlik gösterdiği için kısa doğrultuda 3 aksı ve uzun doğrultuda C aksı için iki boyutlu (düzlem) analizler yapılmıştır. Hesaplarda ikinci mertebe (P-Δ) etkileri göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 4.12: İtme analizi kabulleri (X yönü).

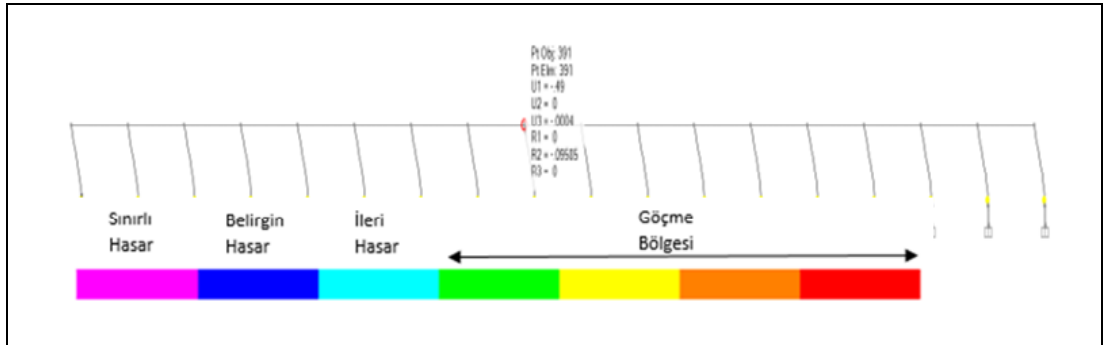
Analizler sonucunda yapının etkin kesit rijitliklerin dikkate alındığı halde uzun doğrultuda hakim modu $T_x = 2.045$ sn, kısa doğrultuda $T_y = 1.88$ sn olarak hesaplanmıştır. Konsol kolon davranışı gözlenen kare kesitli yapıda her iki yöndeki modların yakın olmasına rağmen farklı çıkmasını nedeni olarak, aks sayısı nedeni ile oluşan kütle farkı ve makas ile oluklar arasındaki eksenel rijitlik farkından bahsedilebilir.

Yapılan itme analizi sonuçlarına göre yapının uzun doğrultusunda (X yönü) performans noktası $S_{di}(T_x) = 49$ cm ve kısa doğrultusunda (Y yönü) $S_{di}(T_y) = 44$ cm olarak hesaplanmıştır.

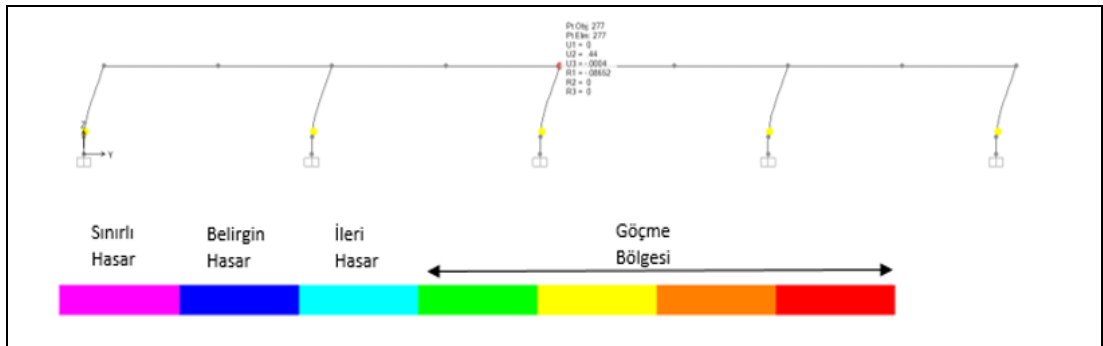


Şekil 4.13: Mevcut yapı performans noktası grafiği a) X yönü b) Y yönü.

Belirlenen performans noktasına göre akslardaki kolonların tamamı (X yönü 19 kolon, Y yönü 5 kolon) *Göçme Durumu* performans düzeyindedir. İlgili aksların Performans düzeyi grafiksel gösterimi Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14: X yönü kolon hasar grafiği.



Şekil 4.15: Y yönü kolon hasar grafiği.

Yapının deprem sonrasındaki yıkılmış fotoğrafları ile analiz sonuçları uyum göstermektedir. Fotoğraflara bakıldığında kolonların yaklaşık sıklaştırma bölgesi üstünden kırılarak toptan göçmeye sebep olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.16: A grubu yapı kolon hasarı.

Yapıdaki kolonların alt mesnetinde %2'den fazla donatı olmasına rağmen toptan göçme yaşanmasının ana sebebi etriye uçlarının 135° kancalı olmaması ve yeterince boy donatısının etriyeler ile tutulmamasından dolayı yeterli derecede sargılı beton davranışı gösterememesidir.



Şekil 4.17: A grubu yapı deprem sonrası görseli.

4.3. Örnek Yapı Güçlendirme Kabulleri

Tez çalışmasının bu bölümünde güçlendirme çalışmaları kapsamında gerçekleştirilecek olan Zaman Tanım Alanında (ZTA) analizlerinde kullanılacak deprem kayıtları ve hesap kabulleri konusunda bilgi verilecektir.

4.3.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

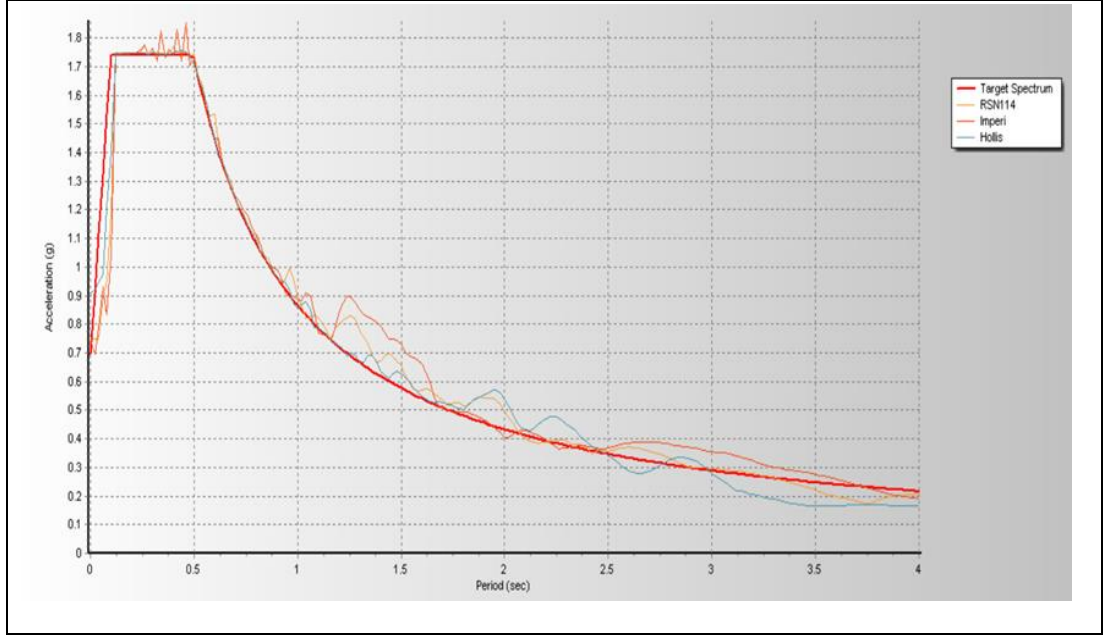
Güçlendirme analizleri kapsamında sismik sönümleyicilerin kapasitelerinin ve uzama (stroke) hesaplarının yapılması için Zaman Tanım Alanında (ZTA) kullanılacak gerçek deprem kayıtları kullanılacaktır. Bu bağlamda, 1999 Adapazarı depremi ile kayıt altına alınmış depremler de seçilmiştir.

Deprem kayıtları için *PEER NGA Ground Motion Database* [26] kullanılarak üç (3) adet kayıt seçilmiştir. Seçilen kayıtların özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Seçilen deprem kayıtları tablosu (Ölçeksiz).

Yıl	İstasyon	Magnitüd	Mekanizma	Rjb (km)	Rrup (km)	Vs30 (m/sn)
1999	Ataköy (RSN1148)	7.51	Yanal Atılım	56.49	58.28	310.01
1961	City Hall (RSN26)	5.6	Yanal Atılım	19.55	19.56	198.77
1979	Calipatria Fire St. (RSN163)	6.53	Yanal Atılım	1.38	4.83	297

PEER tabanından elde edilen ölçeksiz kayıtlar TBDY 2018’da belirtilen kurallar çerçevesinde Bölüm 4.2.1’de tanımlanan spektrum ile uyumlu hale getirilmesi için ölçeklendirmesi yapılmıştır. Ölçeklendirme işlemler *SeismoMatch* [27] programı ile yapılmıştır.



Şekil 4.18: Deprem kayıtları-spektrum karşılaştırma grafiği (Ölçeklenmiş).

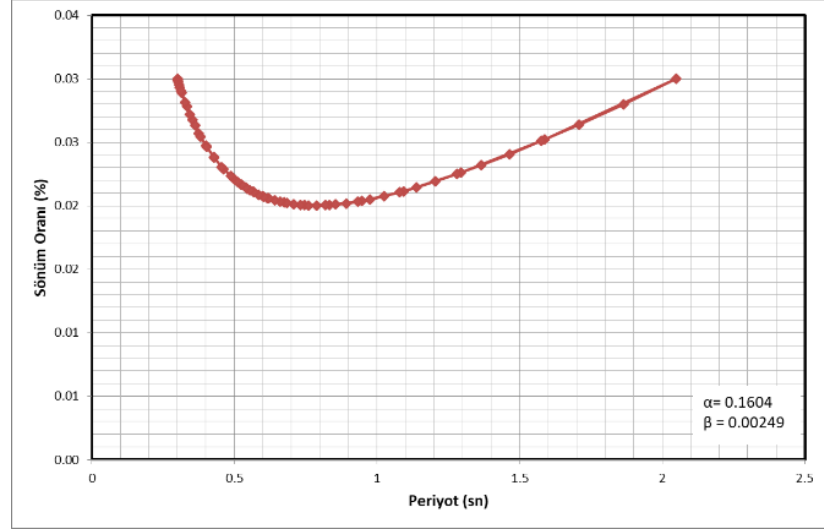
PEER tabanından elde edilen kayıtların ölçekleme katsayıları Tablo 4.2’de verilmiştir. Kayıtların karşılaştırmalı grafiksel gösterimi (ivme-hız-deplasman) ve karakteristik özellikleri Ek-B’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Seçilen kayıtlar ölçek katsayıları

Deprem	Yıl	İstasyon	Kayıt Adı	Magnitüd	Süre (sn)	Ölçek Katsayısı
Kocaeli	1999	Ataköy	ARE000.AT2	7.51	59.93	3.84
Holister-1	1961	City Hall	B-HCH181.AT2	5.6	39.93	2.085
Imperial Valley-6	1979	Fire St.	H-CAL315.AT2	6.53	39.48	4.903

4.3.2. Mevcut Sönüm Kabülleri

Güçlendirme analizleri kapsamında yapılacak Zaman Tanım Alanında (ZTA) hesaplarda yapısal sönüm kabuller Rayleigh Sönümü kabullerine göre yapılacaktır. Mevcut yapının konsol kolon olması, etriye detaylarını (90 derece kanca) ve yetersiz sıklaştırma bölgesi nedenleri ile mevcut yapının histerezis sönüm oranı 0.03 ($\beta=0.03$) kabul edilmiştir.

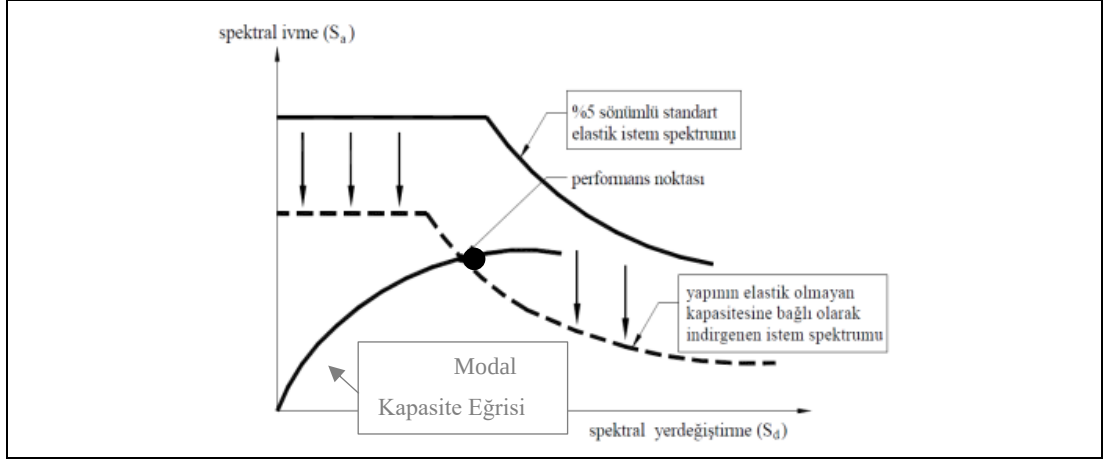


Şekil 4.19: Rayleigh sönümü grafiği.

4.3.3. İlave Sönüm Hesap Kabulleri

Tez çalışmasının bu bölümünde güçlendirme aşamasında kullanılacak olan sismik sönümleyicilerin (damper) yarattığı ilave sönümün hesaplanması kabulleri anlatılacaktır. İlave sönüm hesapları için FEMA 273/274, FEMA 356, ASCE 7 ve ASCE 41 yönetmelik ve standartlarından faydalanılacaktır.

Sismik sönümleyici ilavesi yapılmış yapının performans noktasının tayini ATC-40 ve FEMA 356' da tanımlanan *Kapasite Spektrum Yöntemine* (Capacity Spectrum Method) göre yapılacaktır. Bu yöntem kapsamında, itme analizi sonucunda elde edilen Modal Kapasite eğrisi ile ilave sönümle beraber indirgenen elastik ivme spektrumunun çakıştığı nokta performans noktası olarak belirlenmektedir.



Şekil 4.20: Kapasite spektrum yöntemi performans noktasının belirlenmesi.

Elastik ivme spektrumunun indirgenmesi için yönetmeliklerde belirli sönüm oranları için verilmiş azaltım değerleri bulunmaktadır.

Tablo 4.3: Efektif sönüm azaltım katsayıları.

Efektif Sönüm, β , (Kritik Sönüm Yüzdesi)	Sönüm Katsayısı, B_1
≤ 2	0.80
5	1.00
10	1.20
20	1.50
30	1.70
40	1.90
≥ 50	2.00

Spektrum grafiğinin azlatılması tabloda verilen B_1 katsayısına bölünmesi ile elde edilecektir. Tablo 4.3’de verilmeyen ara değerler için Denklem (4.2) kullanılabilir.

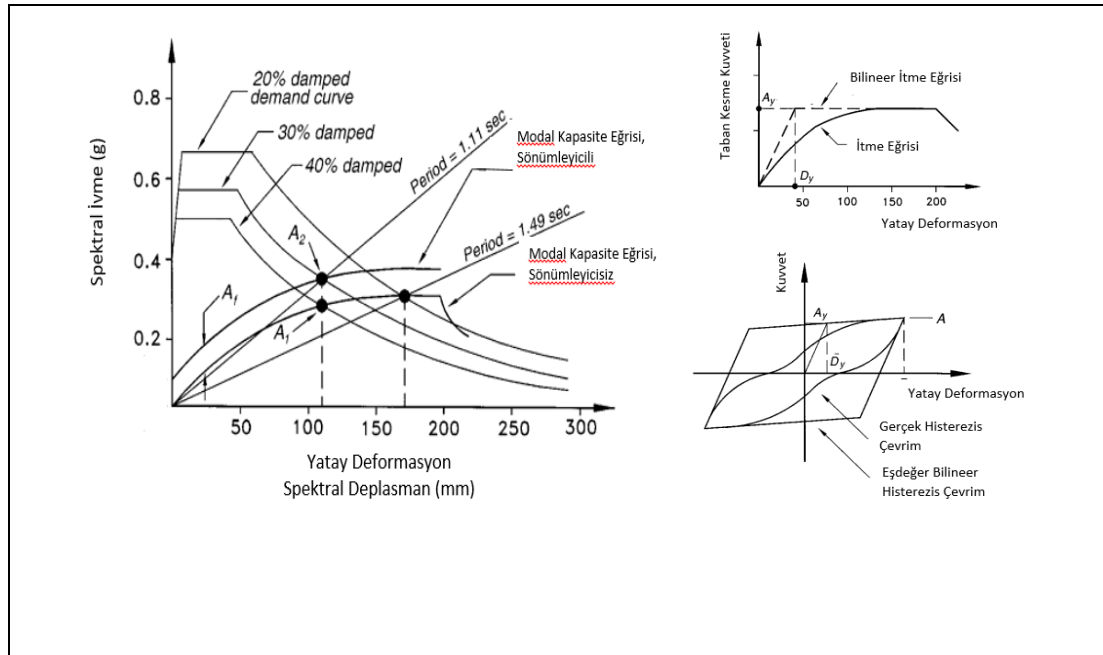
$$B_1 = 4/(5.6 - \ln(100\beta)) \quad (4.2)$$

Kapasite Spektrum Yöntemi ile grafiksel olarak elde edilen sönüm miktarının analitik yoldan hesaplanabilmesi için FEMA 274’de formüller tanımlanmıştır. İlgili formüller Sürtünmeli Tip ve Viskoz Tip sönümleyiciler için aşağıda gösterilmiştir.

Sürtünmeli Tip (Deplasman Bağımlı) sönümleyiciler için efektif sönüm oranı,

$$B_{eff} = \frac{2A_f D + 2q(A_y D - D_y A)}{\pi A_2 D} \quad (4.3)$$

ile elde edilir. Denklem (4.3)’te A_y , D_y : itme eğrisinin bilineer halinin akma noktası değerleri, A , D : itme eğrisinin kopma noktası değerleri, A_f : Sönümleyicinin kattığı ilave kuvvet, q : bilineer histeresiz çevrimi benzeştirme katsayısıdır (Bkz. Şekil 4.21)



Şekil 4.21: Sürtünmeli sönümleyici efektif sönüm hesabı parametreleri.

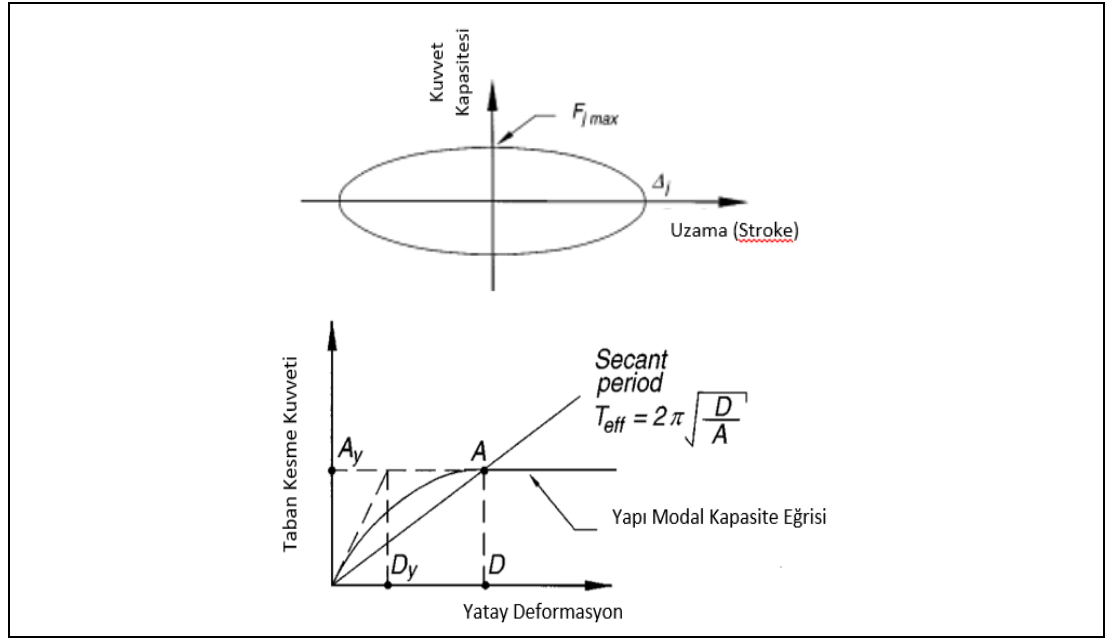
Viskoz Tip (Hıza Bağımlı) sönümleyiciler için efektif sönüm oranı,

$$B_{eff} = \frac{\frac{W_{DE}}{m} + 4q(A_y D - D_y A)}{2\pi A D} \quad (4.4)$$

ile elde edilir. Denklem (4.4)’de A_y , D_y : itme eğrisinin bilineer halinin akma noktası değerleri, A , D : itme eğrisinin secant periyot köşe değerleri, q : bilineer

histeresiz çevrimi benzeştirme katsayısı, W_{DE} : sönümleyicinin bir çevrimde harcadığı enerji (Bkz. Şekil 4.22).

SAP2000 programında Sürtünmeli sönümleyiciler Plastik (Wen) yayı, Viskoz sönümleyiciler Damper-Exponential yay modülleri kullanılarak Nonlinear Link şeklinde tanımlanacaktır.



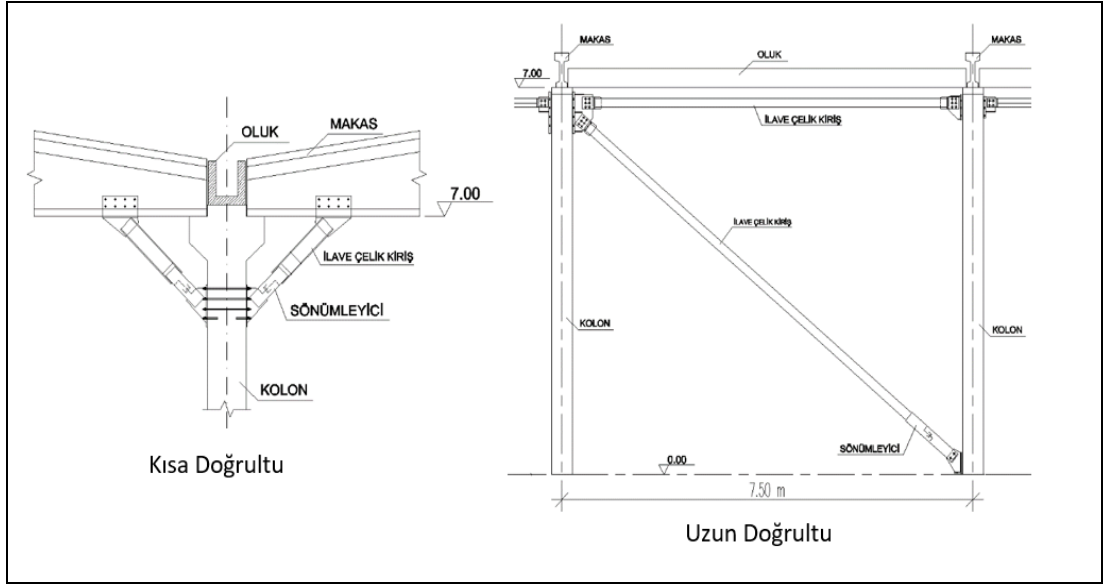
Şekil 4.22: Viskoz sönümleyici efektif sönüm hesabı parametreleri.

4.4. Örnek Yapı Güçlendirme Hesapları

Mevcut durum performansının belirlenmesi için seçilen kısa doğrultuda 3 Aksı ve uzun doğrultuda C aksında sismik sönümleyicilerle güçlendirme analizleri yapılmıştır. Yapının tümünün güçlendirilmesi için, diyafram olmaması nedeniyle, seçilen akslardaki sismik sönümleyici ilavesi benzer akslara da uygulanmalıdır.

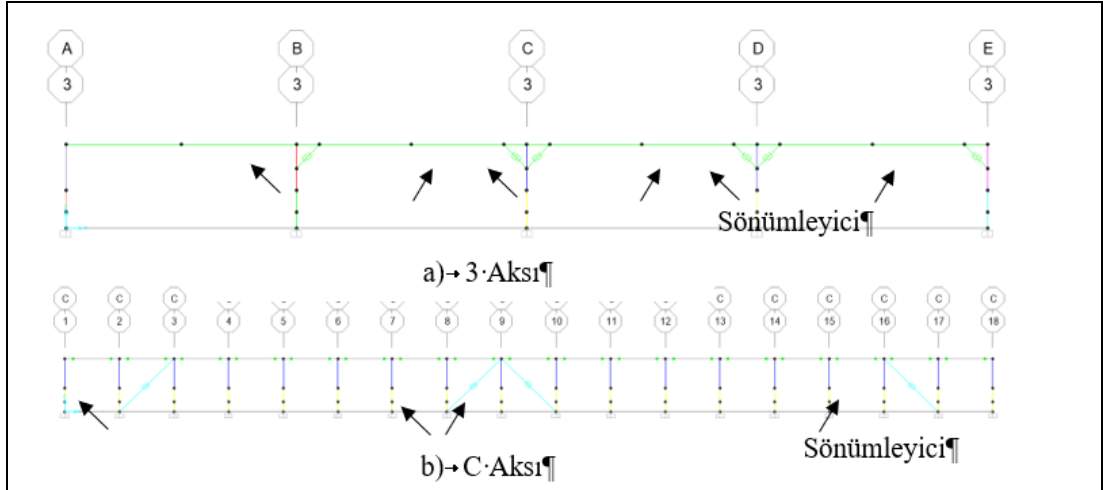
Güçlendirme için, kısa doğrultu için (3 aksı) çatı kotundan 2 m aşağıda 45° dirsek (Knee) şeklinde uzun doğrultu da ise kolon aksında tek kol diyagonal çapraz şeklinde uygulama planlanmıştır. Bu bağlamda, 3 aksında A ve B aksları (kren olan

bölüm) hariç her kolonda, C aksında ise toplamda 4 kolon aksında sönümleyici yerleştirilmiştir (Bkz.Şekil4.24).



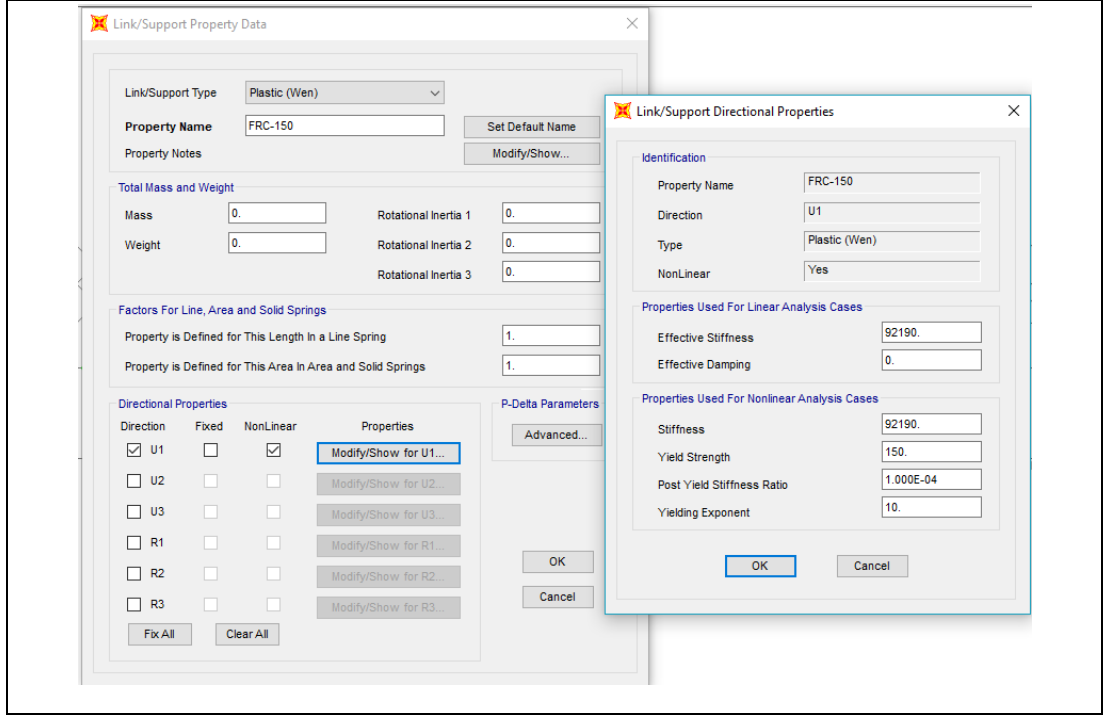
Şekil 4.23: Kısa ve uzun doğrultu sönümleyici yerleşimi (Temsili).

Zaman Tanım Alanında yapıların analizlerde sonuçlar üç kaydın maksimum olan değerleri kullanılarak tamamlanmıştır.



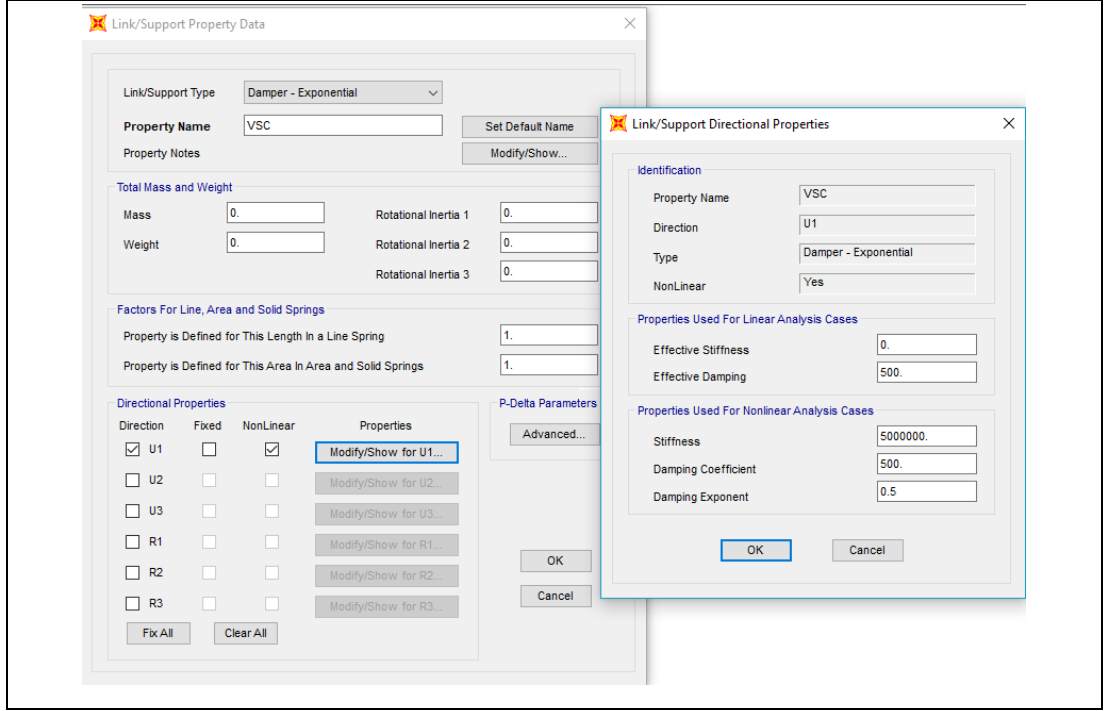
Şekil 4.24: 3 aksı ve C aksı sönümleyici yerleşim planı.

Hesaplar için kullanılan Sürtünmeli ve Viskoz sönümleyicilerin Sap2000 programında yapılan kabulleri aşağıda gösterilmiştir. Sürtünmeli sönümleyiciler için kabul edilen rijitlik kullanılan çelik kirişlerin eksenel rijitliği (EA/L), sönümleyici kapasitesi ise 3 aksında 200 kN ve C aksında 150 kN seçilmiştir.



Şekil 4.25: C aksı sürtünmeli sönümleyici Sap2000 kabulleri.

Viskoz sönümleyiciler için kabul edilen sönüm katsayısının (C) 10^4 [28] katı ve eksponansel üstel katsayısı (α) 0,5 olarak kabul edilmiştir. Bu kabullere göre, viskoz sönümleyicilerin 3 aksındaki kapasitesi 225 kN, C aksında ise 310 kN olarak seçilmiştir.



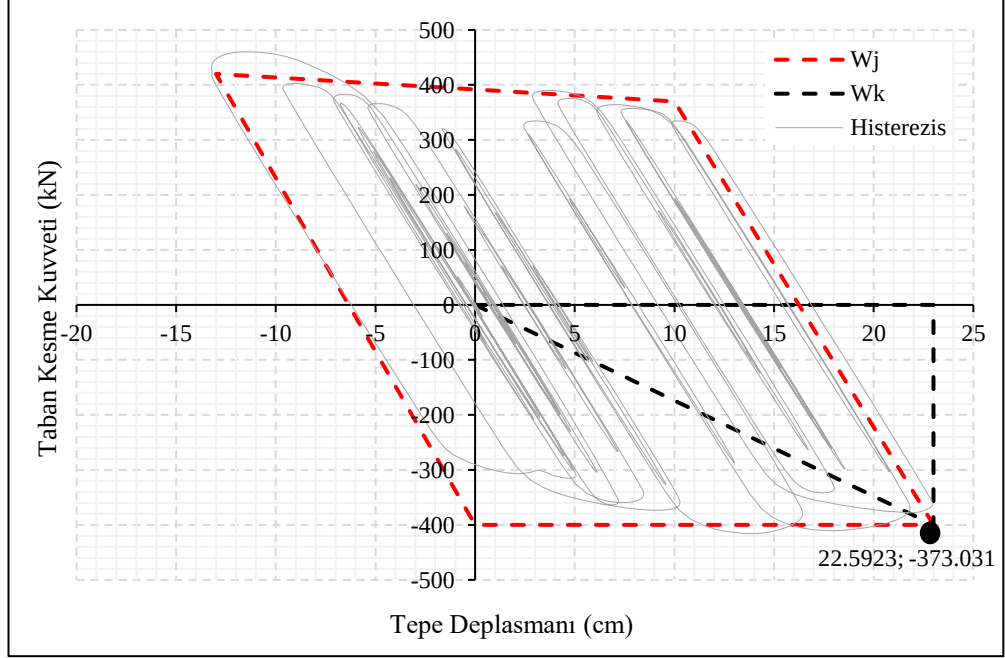
Şekil 4.26: 3 aksı viskoz sönümleyici Sap2000 kabulleri.

3 aksında (kısa doğrultu) yapılan analizler sonucunda, dirsek (knee) şeklinde 6 adet 200 kN kapasiteli Sürtünmeli Sönümleyici takviyesi ile tepe deplasmanı $\delta_{y_{max}}$: 22.95 cm hesaplanmıştır. Aynı aksta benzer sayı ve konfigürasyonda 225 kapasiteli Viskoz Sönümleyici için hesaplar tekrar edilmiştir. Bu alternatifte tepe deplasmanı $\delta_{y_{max}}$: 15.5 cm hesaplanmıştır. 3 aksında Sürtünmeli Sönümleyici takviyesi ile tepe deplasmanı %48 (22.95/44), Viskoz Sönümleyici takviyesi ile %68 (15.5/44) azaltılmıştır.

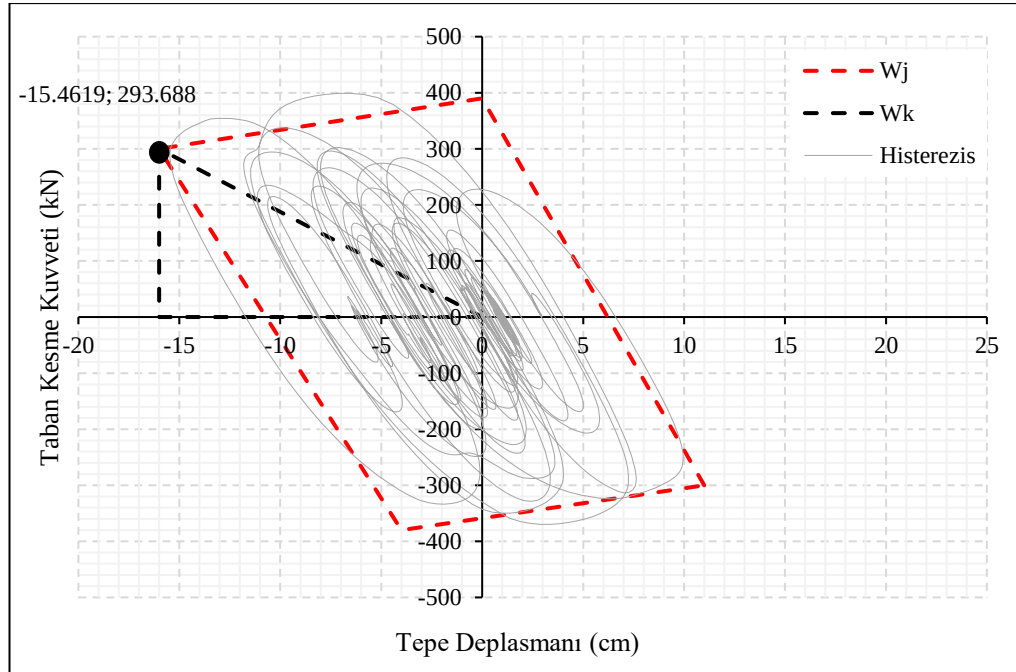
Tablo 4.4: 3 aksı takviyeli hal tepe deplasmanı ve sönümleyici değerleri.

Aks Adı	Damper Türü	Kayıt	Periyot	Tepe Deplasmanı	Damper Kuvveti - max.	Damper Uzama (Stroke) - max.	Sönüm Oranı (β_0)
3 Aksı	Sürtünmeli	RSN1148	0.84 sn	158.3 mm	200 kN	22.1 mm	27%
		RSN26		229.5 mm	200 kN	36.9 mm	34%
		RSN163		147.3 mm	200 kN	19.1 mm	27%
	Viskoz	RSN1148	1.84 sn	155.3 mm	193 kN	35.5 mm	37%
		RSN26		154.7 mm	225 kN	33.9 mm	29%
		RSN163		111.4 mm	193 kN	22.3 mm	41%

3 aksında Sürtünmeli sönümleyici takviyesi ile maksimum %34 toplam sönüm değeri (β_0), Viskoz Sönümleyici takviyesi ile maksimum %43 toplam sönüm değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.27: 3 aksı sürtünmeli sönümleyicili kapasite diyagramı (Histerezis).



Şekil 4.28: 3 aksı viskoz sönümleyicili kapasite diyagramı (Histerezis).

Tepe deplasmanı değerindeki büyük azalma ve elde edilen sönüm oranlarına rağmen aksın genel deprem performansı Göçme Bölgesi performansı düzeyindedir.

Tablo 4.5: 3 aksı sönümleyici takviyeli hal hasar durumu tablosu.

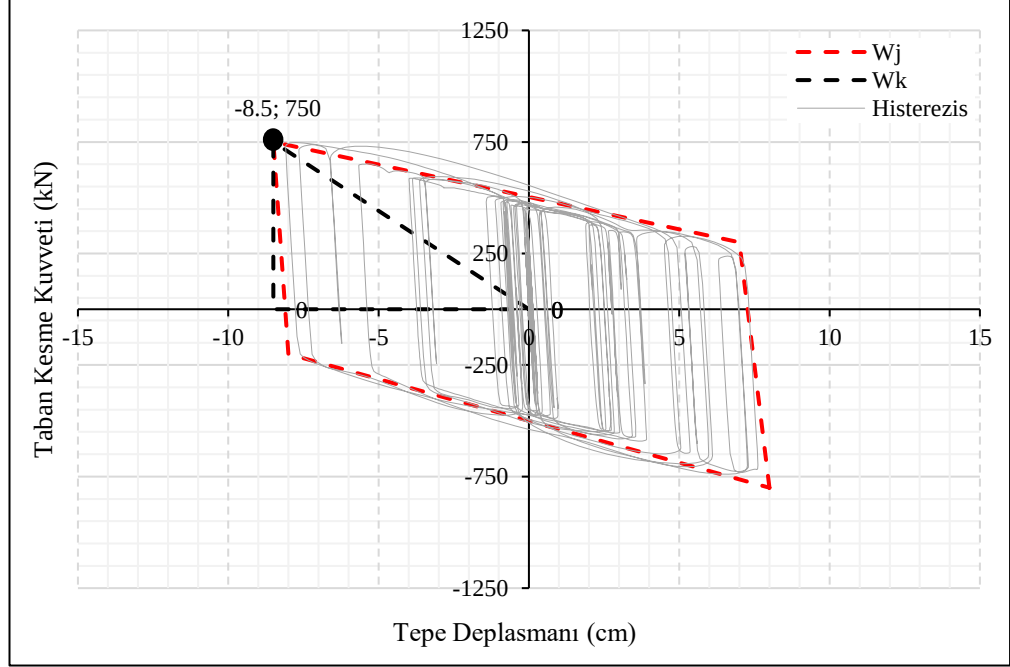
Damper Türü		Sürtünmeli Sönümleyici Model				Viskoz Sönümleyici Model			
Aks Adı	Kayıt Adı	Hasar Bölgesi	Kolon Hasar Sayısı	Hasar Yüzdesi	Aks Performansı	Hasar Bölgesi	Kolon Hasar Sayısı	Hasar Yüzdesi	Aks Performansı
3 Aksı	RSN1148 - Kocaeli	SH	1	20%	Göçme Durumu	SH	1	20%	Göçme Durumu
		BH	0	0%		BH	1	20%	
		İH	0	0%		İH	0	0%	
		GB	4	80%		GB	3	60%	
		GV	0	0%		GV	0	0%	
		Toplam	5	100%		Toplam	5	100%	
	RSN26 - Hollister	SH	1	20%	Göçme Durumu	SH	1	20%	Göçme Durumu
		BH	0	0%		BH	0	0%	
		İH	0	0%		İH	1	20%	
		GB	4	80%		GB	3	60%	
		GV	0	0%		GV	0	0%	
		Toplam	5	100%		Toplam	5	100%	
	RSN163 - Imperial Valey	SH	0	0%	Göçme Durumu	SH	2	40%	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
		BH	0	0%		BH	3	60%	
		İH	0	0%		İH	0	0%	
		GB	5	100%		GB	0	0%	
		GV	0	0%		GV	0	0%	
		Toplam	5	100%		Toplam	5	100%	

C aksında (kısa doğrultu) yapılan analizler sonucunda, tek kol çapraz diyagonal şeklinde 4 adet 150 kN kapasiteli Sürtünmeli Sönümleyici takviyesi ile tepe deplasmanı δy_{max} : 18.51 cm hesaplanmıştır. Aynı aksta benzer sayı ve konfigürasyonda maksimum 307 kapasiteli Viskoz Sönümleyici için hesaplar tekrar edilmiştir. Bu alternatifte tepe deplasmanı δy_{max} : 22.9 cm hesaplanmıştır. C aksında Sürtünmeli Sönümleyici takviyesi ile tepe deplasmanı %62 (18.51/49), Viskoz Sönümleyici takviyesi ile %53 (22.9/49) azaltılmıştır.

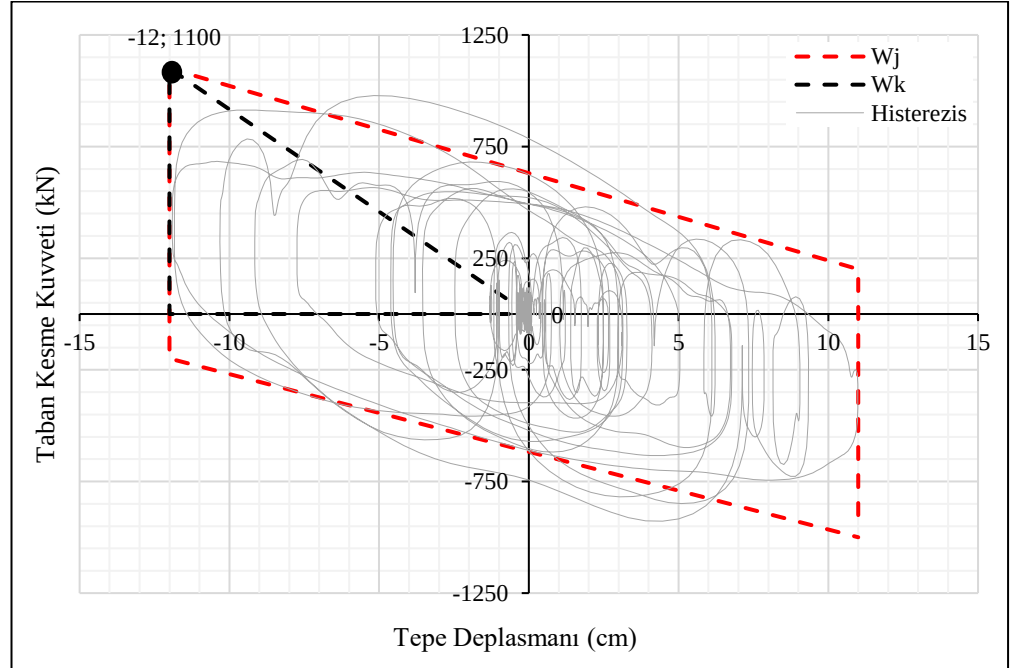
Tablo 4.6: C aksı takviyeli hal tepe deplasmanı ve sönümleyici değerleri.

Aks Adı	Damper Türü	Kayıt	Periyot	Tepe Deplasmanı	Damper Kuvveti - max.	Damper Uzama (Stroke) - max.	Sönüm Oranı (β_0)
C Aksı	Sürtünmeli	RSN1148	0.35 sn	185.1 mm	150 kN	137.1 mm	27%
		RSN26		91.3 mm	150 kN	68.1 mm	28%
		RSN163		80.9 mm	150 kN	60.3 mm	42%
	Viskoz	RSN1148	2.04 sn	229.0 mm	257 kN	168.5 mm	28%
		RSN26		150.0 mm	307 kN	110.5 mm	27%
		RSN163		119.0 mm	275 kN	87.3 mm	37%

C aksında Sürtünmeli sönümleyici takviyesi ile maksimum %42 toplam sönüm değeri (β_0), Viskoz Sönümleyici takviyesi ile maksimum %37 toplam sönüm değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.29: C aksı sürtünmeli sönümleyicili kapasite diyagramı (Histerezis).



Şekil 4.30: C aksı viskoz sönümleyicili kapasite diyagramı (Histerezis).

Tepe deplasmanı değeriindeki büyük azalma ve elde edilen sönüm oranları sayesinde Sürtünmeli Sönümleyicili modelde aksın Sınırlı Hasar performans düzeyinde olduğu görülmüştür. Viskoz sönümleyicili modelde ise tepe deplasmanı değeriindeki büyük azalma ve elde edilen sönüm oranları rağmen aksın genel deprem performansı Göçme Bölgesi performansı (tek kayıta) düzeyindedir.

Tablo 4.7: C aksı sönümleyici takviyeli hal hasar durumu tablosu.

Damper Türü		Sürtünmeli Sönümleyicili Model				Viskoz Sönümleyicili Model			
Aks Adı	Kayıt Adı	Hasar Bölgesi	Kolon Hasar	Hasar Yüzdesi	Aks Performansı	Hasar Bölgesi	Kolon Hasar	Hasar Yüzdesi	Aks Performansı
C Aksı	RSN1148 - Kocaeli	SH	18	100%	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi	SH	0	0%	Göçme Durumu
		BH	0	0%		BH	0	0%	
		İH	0	0%		İH	0	0%	
		GB	0	0%		GB	18	100%	
		GV	0	0%		GV	0	0%	
		Toplam	18	100%		Toplam	18	100%	
	RSN26 - Hollister	SH	18	100%	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi	SH	18	100%	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
		BH	0	0%		BH	0	0%	
		İH	0	0%		İH	0	0%	
		GB	0	0%		GB	0	0%	
		GV	0	0%		GV	0	0%	
		Toplam	18	100%		Toplam	18	100%	
	RSN163 - Imperial Valey	SH	18	100%	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi	SH	18	100%	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
		BH	0	0%		BH	0	0%	
		İH	0	0%		İH	0	0%	
		GB	0	0%		GB	0	0%	
		GV	0	0%		GV	0	0%	
		Toplam	18	100%		Toplam	18	100%	

C ve 3 aksında Sürtünmeli ve Viskoz Sönümleyicili modellerde yapılan kesit hesaplarına göre takviye sonrasında kolonlarda gevrek göçmeye sebep olacak kesme kuvveti yetersizliği olmadığı görülmüştür.

Çalışma kapsamında yapılan güçlendirme planlamasında yapının mevcut haline sadece yapı içinden sönümleyici takviyesi ile yapılarak kolon elemanlarında hiçbir ilave konvansiyonel güçlendirme (CRFP sarma, çelik sargı veya beton manto) çalışması yapılmaması planlanmıştır. Bu nedenle, çalışma kapsamında seçilen Sürtünmeli ve Viskoz Sönümleyici kapasiteleri arttırılarak hesaplar tekrar edilerek yapının 3 aksında da Kantrollü Hasar Performans düzeyine getirilmeye çalışmamıştır.

Yapılan sönümleyici takviyesi ile elde edilen yeni kuvvetlere göre üçgen makas-kolon birleşim bölgesi tahkikleri yapılarak bölüm 2.4.2.2’de tanımlanan ilave birleşim bölgesi önlemlerinden bir veya birkaçının alınması gerekeceği öngörülmektedir.

5. TARTIŞMA

1930'ların başında özellikle Avrupa'da yaşanan özellikle sanayi alanındaki hızlı gelişim nedeni ile yapı tasarımcıları hızlı, pratik ve güvenli bir yapım yöntemi olarak Sanayi Tipi Prefabrike Yapıları (alttan ankastre üstten mafsallı bağlantılı) tasarlamışlardır. Günün koşullarına göre hızlı imalatı, yapım maliyetlerinin önceden belirlenebilmesi ve büyük açıklıkları geçebilecek şekilde tasarlanabilmesi bu yapı türünü bir hayli popüler kılmıştır.

1960'lı yıllar ile birlikte ülkemizde başlayan sanayi gelişimi öncelerde Avrupa'da görüldüğü gibi hızlı sanayi yapısı ihtiyacı doğurmuştur. Bu dönemde yapı tasarımcılarımız Avrupa'da kullanılan Sanayi Tipi Prefabrike Yapı tasarımını olduğu gibi alarak ülkemizde kullanmışlardır. Özellikle kuzey Avrupa'da (Almanya, Fransa) kullanımı yaygın olan bu yapıların ülkemiz koşullarına aynen kullanılmasındaki göre en büyük dezavantajı kullanıldıkları bölgelerin Deprem Bölgesi olamamasıdır.

Ülkemizde sanayi bölgelerimizin özellikle Marmara bölgesinde yerleşmiş olması nedeni ile yüksek oranda deprem riski ile karşı karşıyadır. Bu tarz sanayi yapılarının yurtdışı örneklerinden kopya edilmesi ve edilmeyenlerinde yetersiz deprem hesabı ve detaylandırılması nedeni ile oluşan zafiyetlerini topraklarımızda yaşanan büyük depremlerde tekrarlı şekilde tecrübe etmiş bulunmaktayız.

Prefabrike yapıların deprem güvenliği, bu konun araştırılması ve pratik olmasının yanı sıra en az iş kaybına sebep olacak şekilde yöntemler geliştirilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Bu yapılarda, en azından Can güvenliği performansının hedeflenmesi yaşanması muhtemel can kayıplarının engellemesinin yanında özellikle ülke ekonomisinin en az zararı görecektir şekilde sürdürülebilir olması için mevcut ve yeni prefabrike yapı stoğunun mutlaka Sınırlı Hasar/Hemen Kullanım performans seviyesinde olması gerekmektedir.

6. SONUÇLAR

Sanayi yapılarının büyük çoğunluğunun 24 saat süresince birkaç vardiya şeklinde çalışan işletmeler olması nedeni ile güçlendirme çalışmalarının pratik, hızlı, en az alan kaybına ve iş kaybına neden olacak şekilde seçilmesi çok önemlidir. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında tek katlı alttan ankstre üstten mafsallı klasik tip prefabrike sanayi yapılarının güçlendirilmesi için yenilikçi yöntemlerden olan pasif koruma sistemlerinden enerji sönümleyicilerinin kullanılması planlanmıştır.

Çalışmada, 17 Ağustos 1999 depreminde TPB tarafından yapılan incelemeler sonucunda Adapazarı Organize Sanayi Bölgesinde (OSB) yıkıldığı tespit edilen A Grubu yapı seçilerek analizler yapılmıştır.

Analizlerde, Lineer Sürtünmeli Tip ve Viskoz Tip enerji sönümleyiciler kullanılmıştır. Deprem hesaplarında OSB bölgesinin 2018 TDTH kapsamında belirlenen parametreler kullanılmıştır. Tüm analizler yapıda benzerlik gösteren aksların uzun ve kısa doğrultuda birer tanesi (3 aksı ve C aksı) seçilerek iki boyutlu yapılmıştır. Sönümleyicili modellerin kesin hesapları Zaman Tanım Alanında (ZTA) analizler yapılarak tamamlanmıştır. Bu kapsamda, 3 adet deprem kaydı seçilerek sonuçlar 3 kaydın en büyüğünden seçilecek şekilde belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda yapının kısa ve uzun doğrultularında benzer enerji sönümleyiciler kullanılmasına rağmen farklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen farklı sonuçlar ilgili bölümlerde tablolar halinde verilmiştir.

3 Aksı için yapılan analizlerde Sürtünmeli Sönümleyiciler 200 kN kapasiteli 6 adet, Viskoz Sönümleyiciler ise maksimum 225 kN kapasiteli 6 adet 2x2 m dirsek (Knee) şekilde kullanılmıştır. Analizler sonucunda, yapı deplasmanı değerlerinde çok ciddi azalmalar (Sürtünmeli takviyesinde %48, Viskoz takviyesinde %68) tespit edilmesine rağmen aksın Göçme Bölgesi Performans Düzeyinde olduğu elde edilmiştir.

C Aksı için yapılan analizlerde Sürtünmeli Sönümleyiciler 150 kN kapasiteli 4 adet, Viskoz Sönümleyiciler ise maksimum 307 kN kapasiteli 4 adet kolon, dibinden tepesine doğru, tek kol diyagonal çapraz şekilde kullanılmıştır. Analizler sonucunda, yapı deplasmanı değerlerinde çok ciddi azalmalar (Sürtünmeli takviyesinde %62, Viskoz takviyesinde %53) tespit edilmiştir. Tepe deplasmanı değerindeki büyük azalma ve elde edilen sönüm oranları sayesinde Sürtünmeli Sönümleyicili modelde C

aksının *Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde* olduğu görülmüştür. Viskoz sönümleyicili modelde ise tepe deplasmanı değerindeki büyük azalma ve elde edilen sönüm oranları rağmen aksın genel deprem performansı *Göçme Bölgesi* performansı (tek kayıta) düzeyindedir.

Yapılan incelemeler sonucunda kare kesitli kolona sahip (konsol kolon) yapının güçlendirilmiş halinin iki doğrultuda farklı performans düzeyinde olmasının en büyük nedeni sönümleyiciler için seçilen konum ve geometrisinden kaynaklanmaktadır. 3 aksında (kısa doğrultu) yapı içinde alan kaybına sebep olmaması için kolon tepesine yakın noktalara bağlanacak olan sönümleyicilerden her ne kadar kapasiteleri yüksek olmasına rağmen görece çok az uzama-kısalma (stroke) yapmalarından dolayı yeterli verim alınamamıştır. C aksında ise, tek kol diyagonal çapraz şeklinde sönümleyici konfigürasyonu kullanılması nedeni ile sönümleyiciden maksimum verim alınarak *Kontrollü Hasar (Can Güvenliği)* performans düzeyi sağlanmıştır.

Yapıda 3 aksında (kısa doğrultu) güçlendirme analizleri sonrasında görülen düşük performansın yapı için seçilen güçlendirmenin sınırlı tutulması (sadece kolon tepesinde ve yapı içinde kalacak şekilde), kolon elemanlarında ilave konvansiyonel güçlendirme yapılmayacağı kabulü ve sönümleyicilerin yerleşim nedeni ile verimli kullanılamamasından olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu tarz tek katlı konsol kolon davranışı göstren sanayi yapılarının yapı içinde yeterli sayıda kullanılmasına imkan sağlanması, gerekmesi halinde küçük bir takım konvansiyonel güçlendirilmelerinde beraber kullanılması veya uygun bölümlerde yapı dışına monte edilecek sönümleyiciler ile güçlendirilebileceği tespit edilmiştir. Seçilecek Sönümleyicinin tipi, yapının mevcut yapısal eleman boyutları, malzeme kalitesi, donatı detayları, bölgenin zemin sınıfı ve fay hattına uzaklığına göre farklılıklar gösterebilecektir.

7. GELECEK ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında çalışılan yapının içinden yapılacak enerji sönümleyiciler ile güçlendirme çalışmalarının belli bir oranda fayda sağladığı görülmüştür. Prefabrike yapıların güçlendirilmesi çalışmaları kapsamında gelecek çalışmalarda sanayi yapılarının dışardan (yapı içine minimum müdahale) enerji sönümleyici sistemlerinin geliştirilmesi ve bu tarz yapıların hasar görülebilirlik derecelerinin pratik analiz yöntemleri ile öngörülebilmesi çalışmaları hedeflenmektedir.

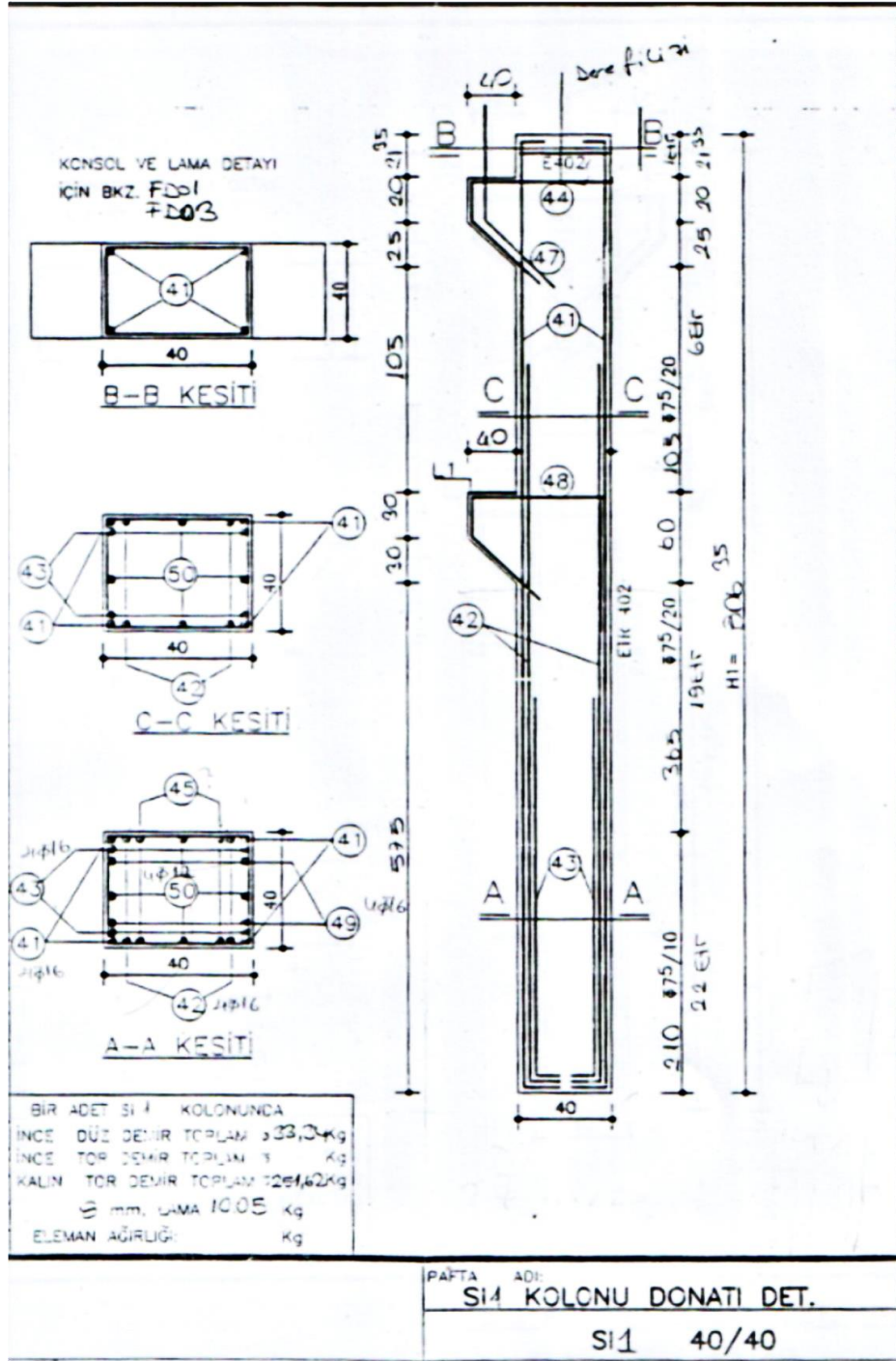
KAYNAKLAR

- [1] TMMMOB, Türkiye Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Makine Mühendisleri Odası Oda Raporu, (2012), Türkiye’de Deprem Gerçeği ve Türkiye Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Makine Mühendisleri Odası’nın Önerileri, MMO/587-ISBN: 978-605-01-0355-7, Ankamat Matbaacılık San. Ltd. Şti.
- [2] Sezen H., Elwood K. J., Whittaker A. S., Mosalam K. M., Wallace J. W., Stantoln J. F., (2000),” Structural Engineering Reconnaissance of the August 17.1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake,” Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, 20-32.
- [3] Gürlek H., (2009), “Tek Katlı Betonarme Prefabrike Endüstri Yapılarının Performans Analizi”, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [4] Çetinkaya N., (2007), “Prefabrik Betonarme Sanayi Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi.
- [5] Şahin H.E., (2013), “Deprem Bölgelerindeki Sanayi Tipi Prefabrik Yapıların Sismik Kapasitelerinin Değerlendirilmesi için Hasar Olasılık Eğrilerinin Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi.
- [6] Hasel F.B., (2013), “Prefabrik Konsol Kolonların Tasarımında Uygun Deprem Kaydı Seçimi ve Davranışın İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [7] Soydan C., (2015), “Yeni Bir Enerji Sönümleyici Elaman ve Prefabrike Yapı Sistemlerindeki Moment Aktarmayan Birleşimlere Uygulanması”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [8] Aşçı L., Viscoelastic Fluid Dampers for Reduction of Seismic Response in Precast Industrial Structures, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi
- [9] Şeren Ç., (2006), “Depreme Dayanıklı Prefabrike Betonarme Yapı Tasarımı ve Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [10] Aydınöğlu M.N., (2007), “Deprem Katsayısından Performansa Göre Tasarıma: Bir Mühendisin Bakış Açısından Deprem Mühendisliğinin 40 Yılı”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul. 16-50 Ekim.
- [11] Karaesmen E., (2001), “Prefabrication in Turkey: Facts and Figures”, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi.
- [12] Şenel Ş.M., Palancı M., Kalkan A., Yılmaz Y., (2013), “Mevcut Prefabrik Binaların Mafsallı Birleşimlerinin Kesme ve Devrilme Güvenliğinin Araştırılması”, İMO teknik Dergi, 6505-6528, 407.

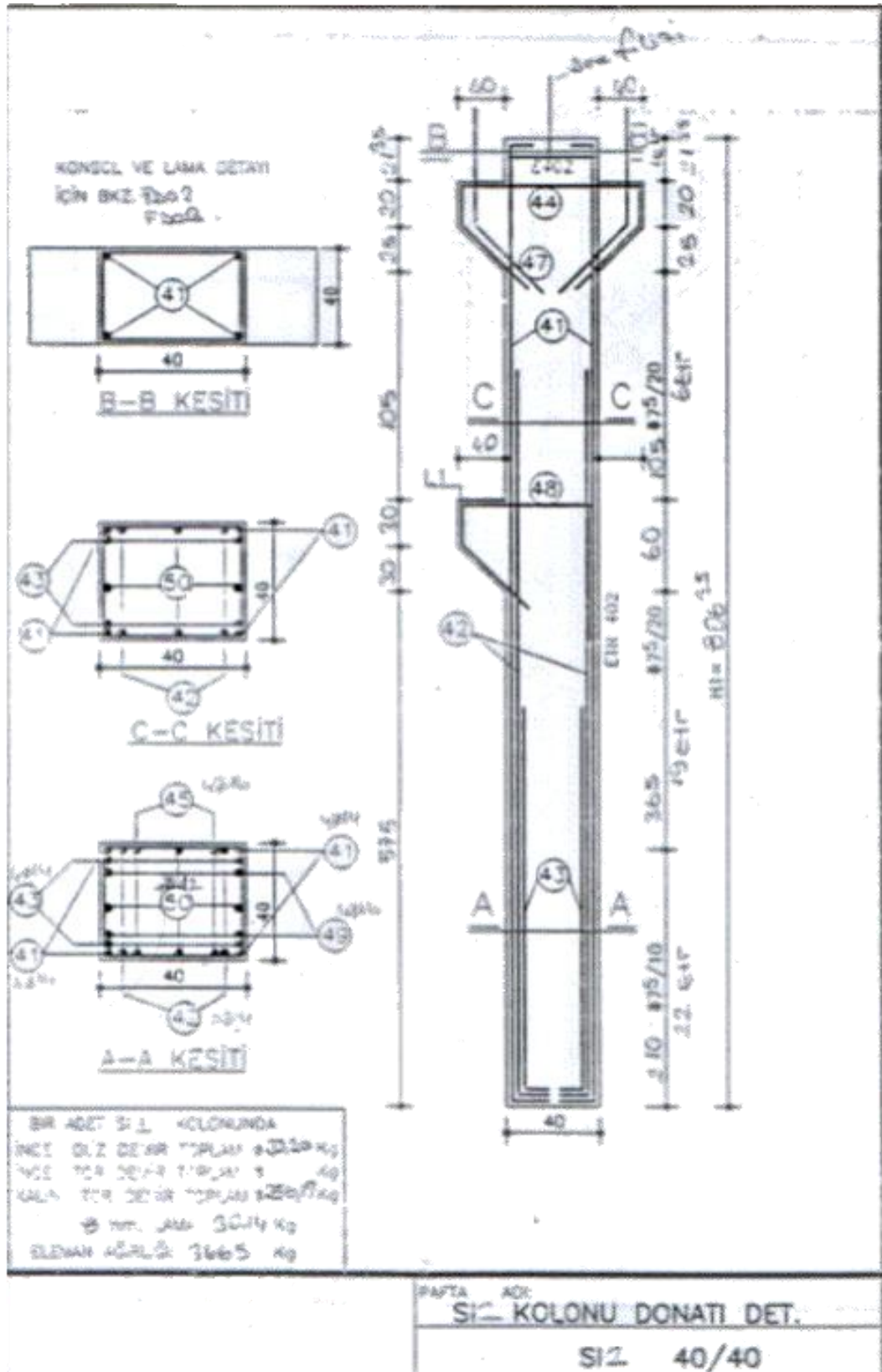
- [13] Özer E., (2009), “Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Ders Notları.
- [14] Akdeniz İ., (2008), “Mevcut Binaların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemler ile Performansının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [15] TBDY 2018, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının, Ankara.
- [16] Ataköy H., (1999), “17 Ağustos Marmara Depremi ve TPB Üyelerince Yapılan Prefabrike Yapılar”, Beton Fabrikasyon Dergisi, 52-53, 5.
- [17] Web 1, (2019), http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database, (Erişim Tarihi: 20/06/2019).
- [18] Web 2, (2019), (<http://www.seismosoft.com/en/HomePage.aspx>), (Erişim Tarihi: 24/06/2019).
- [19] CSI, (2010). CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS and SAFE, Computer and Structures Inc., Berkeley, CA.

ÖZGEÇMİŞ

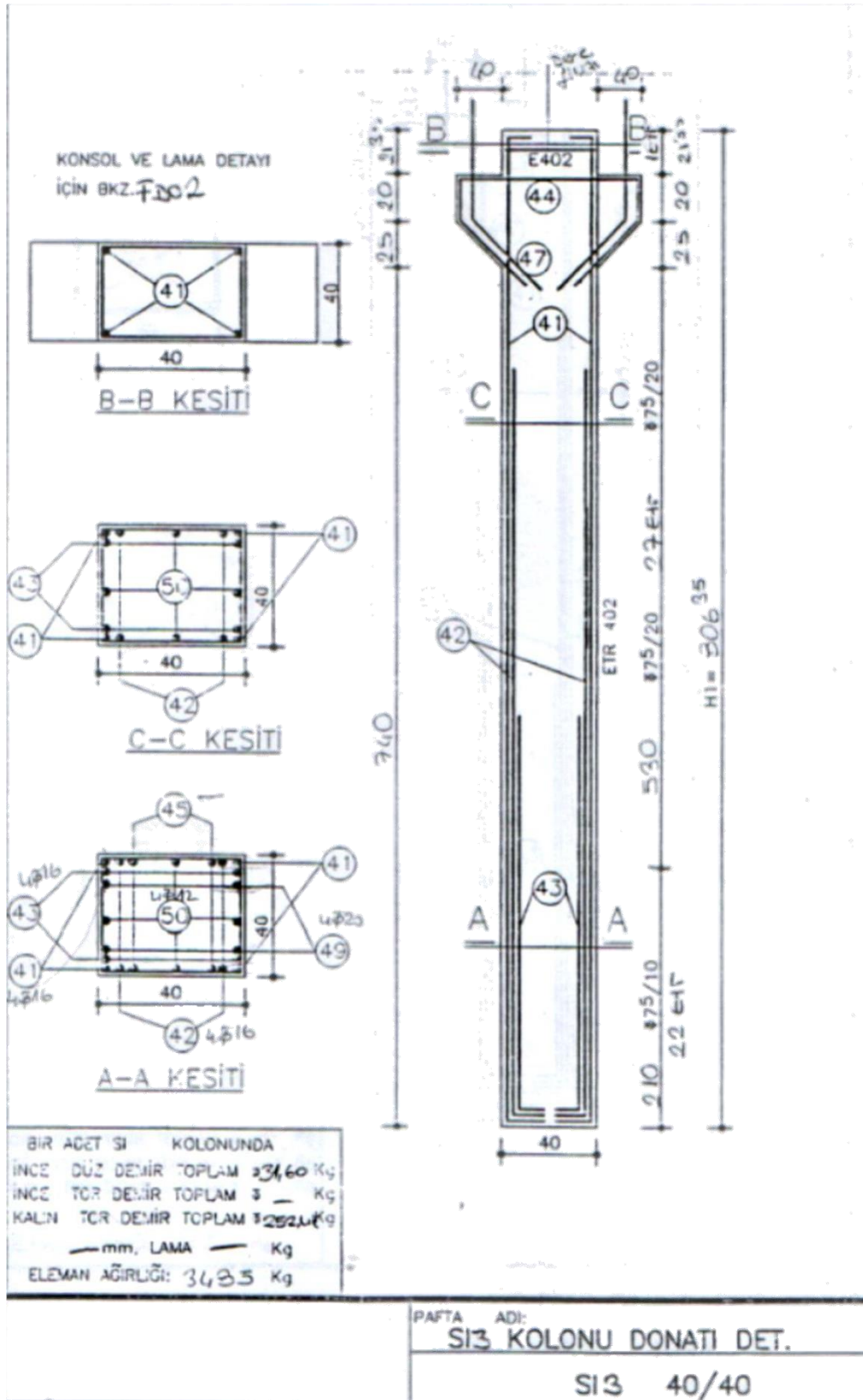
Akın Ekinci, 1982 yılında İstanbulda doğdu. Üniversite eğitimini Çanakkale 18 Mart Üniversitesinden İnşaat bölümü (önlisans), Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü (Lisans) tamamlamıştır ve Gebze Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem ve Yapı Mühendisliği Programı (Yüksek Lisans) ile tamamlamıştır. Mesleki hayatında tasarım mühendisi olarak devam etmektedir.



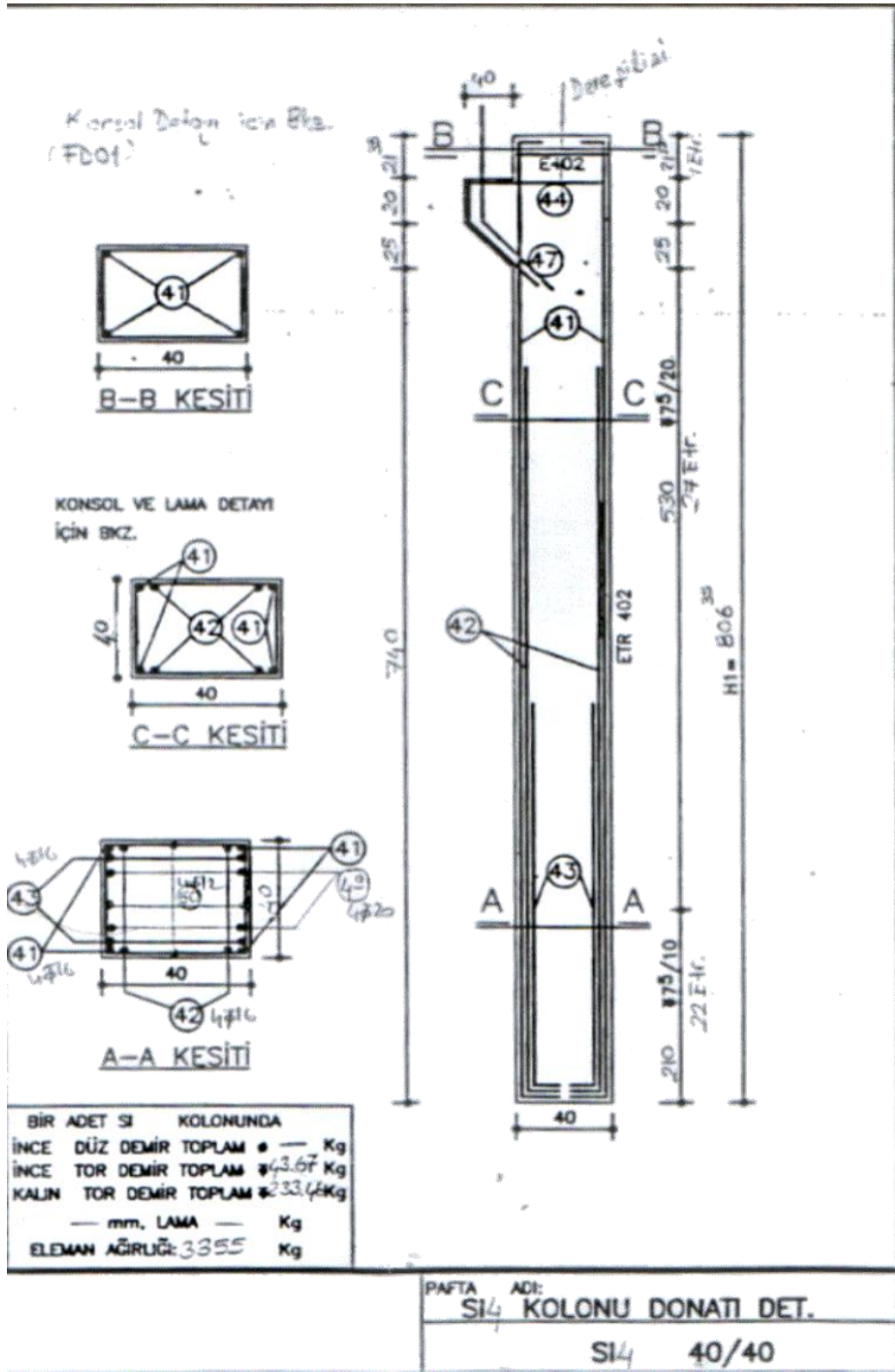
Şekil A1.2: Örnek Kolon Detayı.



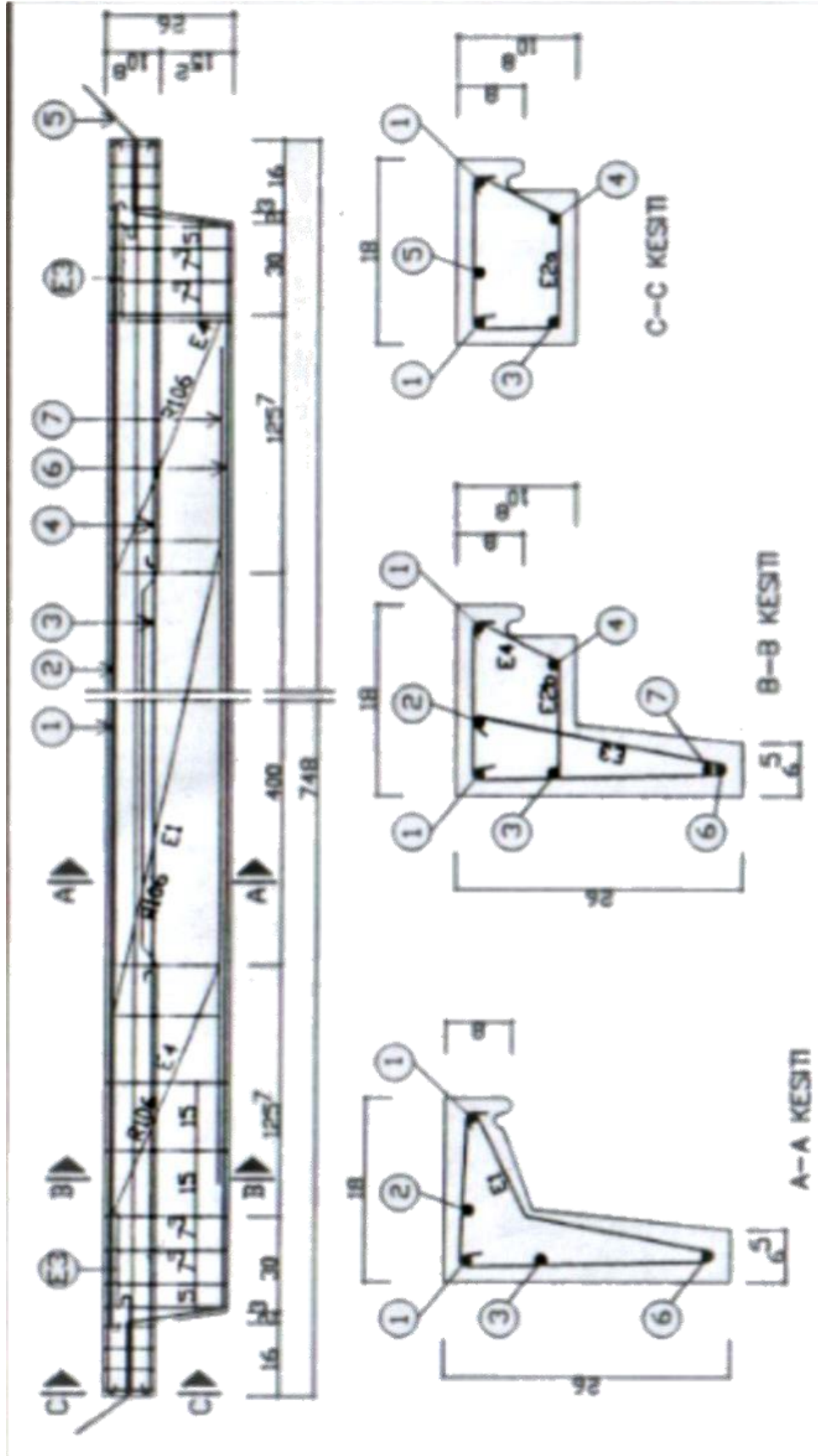
Şekil A1.3: Örnek Yapı Kolon Detayı 1.



Şekil A1.4: Örnek Yapı Kolon Detayı 2.



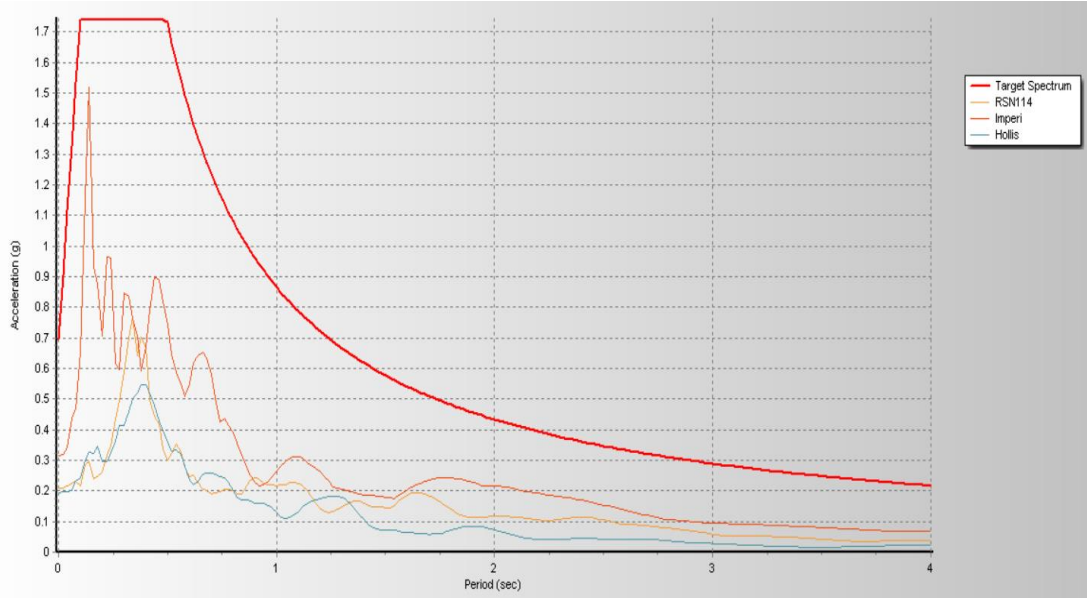
Şekil A1.5: Örnek Yapı Kolon Detayı 3.



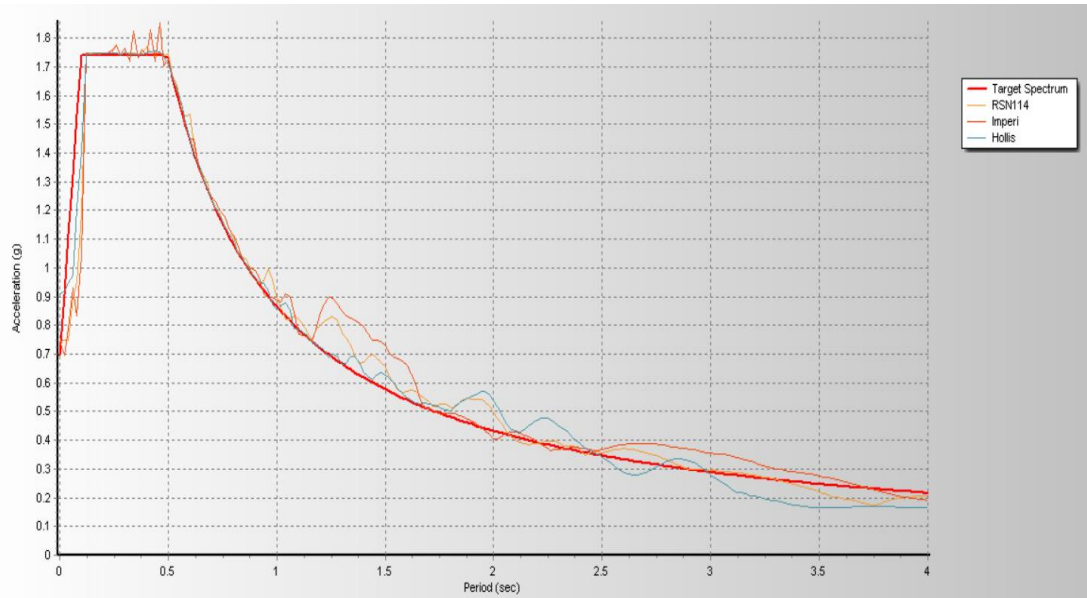
Şekil A1.6: Örnek Yapı Aşık Detayı.

Ek B: Deprem Kayıtları Grafikleri

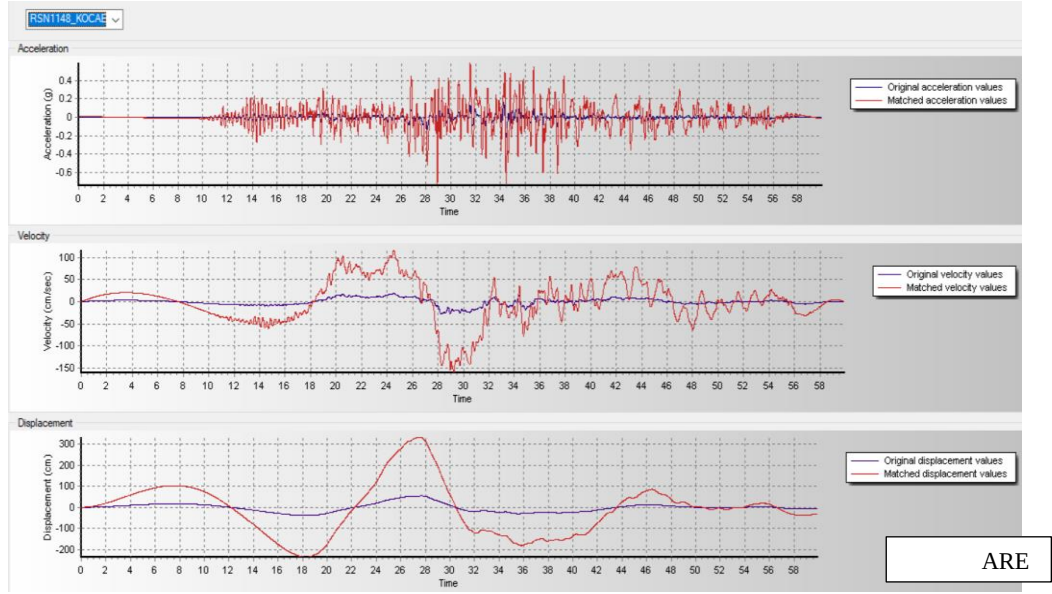
Tez çalışmasının bu bölümünde PEER Database'den elde edilen kayıtların ölçeklenmiş hallerinin grafik detayları gösterilmiştir.



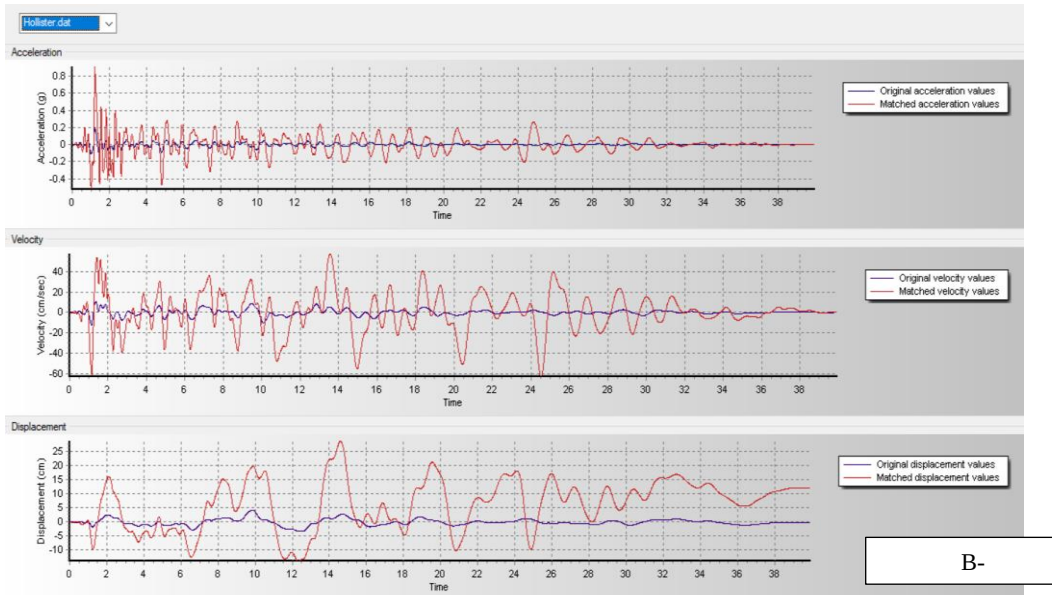
EK B1. 1: Ölçeklenmemiş kayıt-spektrum çalıştırma grafiği 1.



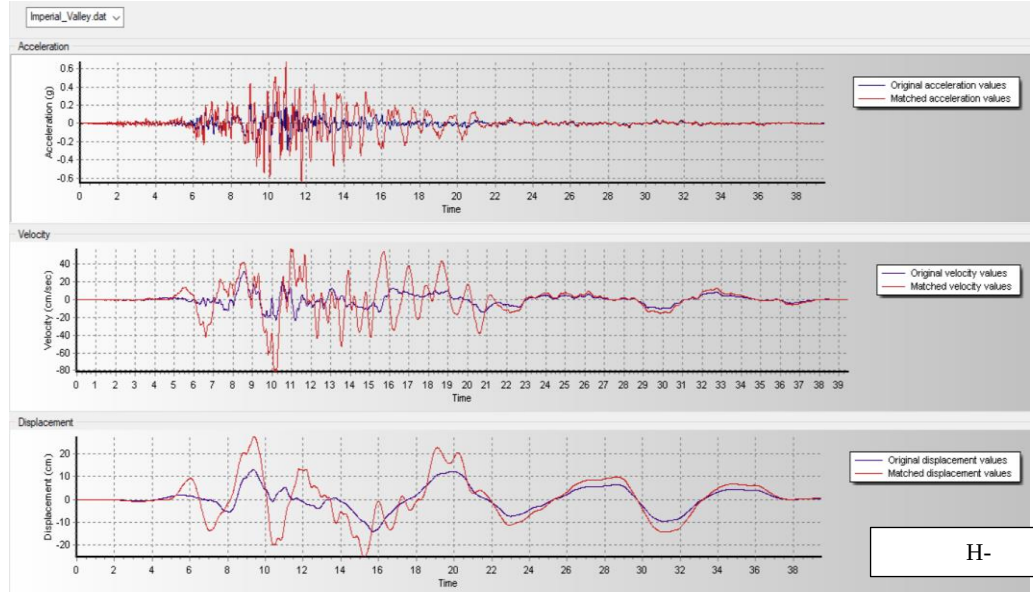
EK B1.2: Ölçeklenmiş kayıt-spektrum çalıştırma grafiği 2.



EK B1. 3: Kocaeli-Arçelik istasyonu (RSN1148) ivme-hız-deplasman grafikleri.



EK B1 4: Hollister-1 City Hall istasyonu (RSN26) ivme-hız-deplasman grafikleri.



EK 1B 5: Imperial Valley-6 Fire Station istasyonu (RSN163) ivme-hız-deplasman grafikleri.

Ground Motion Parameters for Original Accelerograms			
Accelerogram	1- RSN1148_	2- Imperial	3- Holliste
Max Acceleration (g)	0.21008	0.31520	0.19480
Max Velocity (cm/sec)	28.01016	31.49599	12.35471
Max Displacement (cm)	54.09950	14.12637	4.30014
Vmax/Amx (sec)	0.13591	0.10186	0.06465
Acceleration RMS (g)	0.02501	0.04559	0.02046
Velocity RMS (cm/sec)	7.79042	6.56596	2.73200
Displacement RMS (cm)	20.30927	5.18814	1.14019
Arias Intensity	0.57775	1.26460	0.25754
Characteristic Intensity	0.03062	0.06116	0.01849
Specific Energy Density (cm2/sec)	3637.80000	1702.48516	298.10529
Cum. Abs. Velocity (cm/sec)	821.19072	891.59951	458.61456
Acc Spectrum Intensity (g*sec)	0.17877	0.33660	0.16194
Vel Spectrum Intensity (cm)	81.19045	139.62758	56.81163
Housner Intensity (cm)	78.09331	124.01429	51.60288
Sustained Max.Acceleration (g)	0.13062	0.27170	0.07120
Sustained Max.Velocity (cm/sec)	25.70160	23.10157	9.06640
Effective Design Acceleration (g)	0.20718	0.33328	0.19825
A95 parameter (g)	0.20637	0.30963	0.19333
Predominant Period (sec)	0.34000	0.14000	0.00000
Significant Duration (sec)	22.10000	8.92000	16.53000

a)

Ground Motion Parameters for Matched Accelerograms			
Accelerogram	1- RSN1148_	2- Imperial	3- Holliste
Max Acceleration (g)	0.80673	0.72010	0.95515
Max Velocity (cm/sec)	209.08205	86.31961	66.10057
Max Displacement (cm)	436.37011	46.80869	35.46003
Vmax/Amx (sec)	0.26419	0.12219	0.07054
Acceleration RMS (g)	0.14368	0.13244	0.12649
Velocity RMS (cm/sec)	61.31476	24.66968	22.76159
Displacement RMS (cm)	163.45118	16.15573	11.71553
Arias Intensity	19.06823	10.67401	9.84655
Characteristic Intensity	0.42166	0.30289	0.28430
Specific Energy Density (cm2/sec)	225344.4519	24033.34793	20692.50920
Cum. Abs. Velocity (cm/sec)	5612.19736	3162.40847	3264.72270
Acc Spectrum Intensity (g*sec)	0.72265	0.74023	0.69404
Vel Spectrum Intensity (cm)	325.85537	320.57069	331.00322
Housner Intensity (cm)	314.23309	317.50888	314.55444
Sustained Max.Acceleration (g)	0.63559	0.66900	0.50857
Sustained Max.Velocity (cm/sec)	189.52158	74.57168	60.92557
Effective Design Acceleration (g)	0.75541	0.72370	1.00533
A95 parameter (g)	0.78423	0.70002	0.94796
Predominant Period (sec)	0.20000	0.42000	0.32000
Significant Duration (sec)	33.32000	16.54000	22.09000

b)

EK B1 6: Yer hareketleri (kayıtlar) özellikleri a) Ölçeksiz b) Ölçeklenmiş.