

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİR BİNANIN U ŞEKLİ METALİK SÖNÜMLEYİCİLER İLE
DEPREM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Talha ŞAHİN

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK

KASIM 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİR BİNANIN U ŞEKLİ METALİK SÖNÜMLEYİCİLER İLE
DEPREM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hasan Talha ŞAHİN
(802201246)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK

KASIM 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**SEISMIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A REINFORCED
CONCRETE (RC) BUILDING USING U-SHAPED METALLIC DAMPERS**

M.Sc. THESIS

**Hasan Talha ŞAHİN
(802201246)**

Department of Earthquake Engineering

Earthquake Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK

NOVEMBER 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 802201246 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hasan Talha ŞAHİN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETONARME BİR BİNANIN U ŞEKLİ METALİK SÖNÜMLEYİCİLER İLE DEPREM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ercan YÜKSEL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : 21 Ekim 2024
Savunma Tarihi : 15 Kasım 2024





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince her türlü bilgi birikimini benimle paylaşan ve çalışmalarımda bana daima yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Oğuz Cem Çelik'e teşekkürlerimi sunarım.

Mesleğimde ilgi alanımı fark etmemi sağlayan Dr. Kurtuluş Atasever'e tez çalışmam boyunca bilgi ve birikimlerini benimle paylaştığı için teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sırasında değişik aşamalarda katkılarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Fatih Sütcü, jüri üyeleri Prof. Dr. Ercan Yüksel ve Prof. Dr. Hasan Özkaynak'a içtenlikle teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her alanında desteklerini arkamda hissettiğim değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2024

Hasan Talha Şahin
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
SEMBOLLER	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. MEVCUT BETONARME BİNALARIN METAL ELEMANLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ.....	5
2.1 Metalik Sönümleyiciler ile Güçlendirme	5
2.2 Metalik Sönümleyicilere İlişkin Çalışmalara Ait Genel Değerlendirmeler	25
3. BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE BAĞLANTI ELEMANI OLARAK YENİLİKÇİ BİR ANKRAJ KULLANIMI	27
3.1 Geleneksel Ankraj	27
3.1.1 TS EN 1992-4'e göre geleneksel ankrajların çekme yükleri altındaki göçme modları.....	27
3.1.2 TS EN 1992-4'e göre geleneksel ankrajların kesme yükleri altındaki göçme modları.....	28
3.2 Disk Ankrajlar	28
3.2.1 Disk ankrajların hesap kesme kapasitesi	31
3.2.2 Disk ankrajların hesap çekme kapasitesi	32
3.2.3 Disk ankrajların uygulama kuralları	33
3.3 Disk Ankrajlar ve Geleneksel Ankrajlar ile İlgili Genel Değerlendirmeler.....	34
4. TBDY-2018'e GÖRE MEVCUT YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	37
4.1 Binalardan Bilgi Toplanması	37
4.2 Betonarme Binalardan Bilgi Toplanması	37
4.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	38
4.3.1 Kesit hasar durumları	38
4.3.2 Kesit hasar bölgeleri.....	38
4.4 Malzeme Modelleri	39
4.4.1 Sargılı ve sargısız beton modelleri.....	39
4.4.2 Çelik malzeme modeli	39
4.5 Yayılı ve Yığılı Plastik Mafsallı Yaklaşımı	40
4.6 Şekildeğiştirmelerin ve İç Kuvvetlerin Değerlendirilmesi.....	41
4.7 Mevcut Binalar için Performans Hedefleri ve Değerlendirme Yaklaşımları ...	42
4.8 Doğrusal Hesap Yöntemleri ile Deprem Hesabı	43
4.9 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Deprem Hesabı	43

4.9.1 İtme (Pushover) yöntemleri.....	43
4.9.1.1 Tek modlu itme yöntemleri.....	43
4.9.1.2 Çok modlu itme yöntemleri.....	45
4.9.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem hesabı	46
4.10 Binaların Değerlendirilmesi ve Hesap Yöntemleri Hakkında Genel Değerlendirme	46
5. 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE HASAR GÖRMÜŞ BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ.....	49
5.1 Bina Hakkında Genel Bilgi	49
5.2 Mevcut Binanın Saha Gözlemi Sonuçları	52
5.3 Sabit ve Hareketli Yükler	55
5.4 Mevcut Binanın Deprem Performans Hedefinin ve Sayısal Hesap Yönteminin Belirlenmesi.....	55
5.4.1 Bina kullanım sınıfı.....	55
5.4.2 Deprem tasarım sınıfı	55
5.4.3 Bina yükseklik sınıfı.....	56
5.4.3 Performans hedefleri	57
5.5 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Sayısal Analiz Programına Tanıtılması	58
5.6 Mevcut Binanın Bulunduğu Konuma Ait Yatay Elastik Tasarım Spektrumu ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremine Ait Tepki Spektrumlarının Karşılaştırılması.....	62
5.7 Malzeme Modelleri	65
5.8 Betonarme Elemanlara Mafsal Tanımlanması	66
5.8.1 Kirişler.....	66
5.8.2 Kolonlar.....	68
5.8.2 Betonarme perdeler	70
5.9 Etkin Kesit Rijitliklerinin Tanımlanması	70
5.10 Sayısal Modele Sönümün Tanımlanması	70
5.11 Mevcut Yapıya Ait Betonarme Eleman Hasar Durumu ve Türleri.....	72
5.11.1 Kiriş hasar durumu	73
5.11.2 Kiriş hasar türleri.....	74
5.11.3 Kolon hasar durumu	76
5.11.4 Kolon hasar türleri.....	76
5.11.5 Betonarme perdelerin hasar durumu	77
5.11.6 Betonarme perdelerin hasar türleri.....	78
5.12 Mevcut binaya ait görelî kat öteleme oranı sonuçları	79
5.13 Mevcut Binanın Deprem Performansının Değerlendirilmesi	80
6. U ŞEKLİ ÇELİK SÖNÜMLEYİCİ İLE MEVCUT YAPININ GÜÇLENDİRİLMESİ ALTERNATİFLERİ.....	81
6.1 Önerilen Güçlendirme Sistemi	81
6.2 U Şekli Metalik Sönümleyici ile Güçlendirilmiş Yapının Sayısal Modellemesi	83
6.3 Güçlendirilmiş Binanın Betonarme Eleman Hasar Durumu ve Türleri	86
6.3.1 Kiriş hasar durumu	86
6.3.2 Kiriş hasar türleri.....	86
6.3.3 Kolon hasar durumu	88
6.3.4 Kolon hasar türleri.....	89
6.3.5 Betonarme perdelerin hasar durumu	90

6.3.6 Betonarme perdelerin hasar türleri.....	90
6.4 Güçlendirilmiş Binanın Görelî Kat Ötelemesi Sonuçları.....	91
6.5 Önerilen Güçlendirme Modelinin Farklı Konfigürasyonlarda Kullanılmasının Bina Performansına Etkisi.....	92
6.5.1 Mevcut bina ve güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarının hasar durumlarının karşılaştırılması	94
6.5.2 Mevcut bina ve güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ait görelî kat ötelemesi sonuçlarının karşılaştırılması	96
6.6 Güçlendirilmiş Binada Bulunan U Şekilli Sönümleyicinin Histeretik Davranışı	97
6.7 Disk Ankrajların Hesabı.....	99
6.8 Güçlendirilen Bina Analizleri Hakkında Değerlendirmeler.....	103
7. SONUÇLAR	105
7.1 Genel Sonuçlar	105
7.1 Gelecekteki Çalışmalar için Öneriler	107
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ.....	113



KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareket düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareket düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareket düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareket düzeyi
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



SEMBOLLER

A_c	: Betonun konik kopması durumundaki etkili alan [mm^2]
A_{sh}	: Enine donatı alanı (dikdörtgen kesit) [mm^2]
B	: Beton etkin ezilme genişliği [mm]
b_k	: Çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık) [mm]
b_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu [mm]
C	: Rayleigh sönüm matrisi
c	: Kesme kuvveti yönüne dik, en yakın kenara olan mesafe [mm]
D_a	: Disk başlığının çapı [mm]
d_a	: Ankraj vidası dış çapı (mm)
d_b	: Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) [m]
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı [MPa]
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]
h_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu [mm]
K	: Rijitlik matrisi
k	: Ankraj vidası çapı ve ankraj derinliğine bağlı ampirik bir değer
Le	: Disk ekme derinliği [mm]
L_p	: Plastik mafsal boyu [m]
L_s	: Kesme açıklığı [m]
M	: Yapısal sistemin kütle matrisi
T	: Etkin eleman genişliği [mm]
T_{a1}	: Bağlantı ve ankraj vidasının akma dayanımına ulaşması durumlarından en elverişsiz olanı için disk ankraj çekme dayanımı [kN]
$T_{a1.1}$	: Bağlantı vidasının akma dayanımına ulaşması durumunda disk ankraj çekme dayanımı [kN]
$T_{a1.2}$	: Ankraj vidasının akma dayanımına ulaşması durumunda disk ankraj çekme dayanımı [kN]
T_{a2}	: Mevcut eleman betonunun konik kopması durumu için disk ankraj çekme dayanımı [kN]

T_{a3}	: Mevcut eleman ile ankraj ara yüzündeki bağ kuvvetinin kopması durumu için (sıyrılma) disk ankraj çekme dayanımı [kN]
Q_{Da}	: Disk ankraj hesap kesme dayanımı [kN]
ℓ_e	: Ankraj ekme derinliği [mm]
a	: Dayanım azaltma katsayısı
a_{01}	: Bağlantı vidasının net kesit alanı [mm ²]
a_{02}	: Ankraj vidasının en küçük kesit alanı [mm ²]
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
β	: Rijitlik matrisi katılım katsayısı [s]
γ	: Mevcut yapının beton tipi katsayısı
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
$\theta_p^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
ξ_i	: i modunun sönümü
$\rho_{sh,min}$	: İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
σ_B	: Beton basınç dayanımı [N/mm ²]
σ_{y1}	: Bağlantı vidasının akma gerilmesi [N/mm ²]
σ_{y2}	: Ankraj vidasının akma gerilmesi [N/mm ²]
τ_a	: Çekip çıkarma kuvveti etkisinde bağ dayanımı [N/mm ²]
ω_i	: i modunun dairesel frekansı
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
ϕ_u	: Göçme öncesi eğrilik [m ⁻¹]
ϕ_y	: Akma eğriliği [m ⁻¹]
$\emptyset_a$	: Bağlantı vidasının çapı [mm]

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Bilgi düzeyi katsayıları.....	38
Çizelge 4.2 : TBDY-2018'e göre performans hedefleri ve değerlendirme yaklaşımları.....	43
Çizelge 5.1 : Betonarme kiriş detayları.....	51
Çizelge 5.2 : Betonarme kolon detayları.....	52
Çizelge 5.3 : Betonarme perde detayları.....	52
Çizelge 5.4 : Yapı malzeme bilgileri.....	52
Çizelge 5.5 : Sabit ve hareketli yükler.....	55
Çizelge 5.6 : Duvar yükleri.....	55
Çizelge 5.7 : TBDY-2018'e göre bina kullanım sınıfı tablosu.....	56
Çizelge 5.8 : Deprem tasarım sınıfları.....	56
Çizelge 5.9 : TBDY-2018'e göre bina yükseklik sınıfı değerleri.....	57
Çizelge 5.10 : TBDY-2018'e göre performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları.....	58
Çizelge 5.11 : DD1 ve DD2 deprem yer hareket düzeyleri için hesaplanan harita spektral ivme katsayısı ve yerel zemin etki katsayısı değerleri	62
Çizelge 5.12 : DD1 ve DD2 deprem yer hareket düzeyleri için hesaplanan tasarım spektral ivme katsayıları ve yatay elastik tasarım spektrumu köşe periyot değerleri	62
Çizelge 5.13 : Deprem bölgelerine göre etkin yer ivme katsayısı değerleri.....	63
Çizelge 5.14 : Spektrum karakteristik periyotları.....	64
Çizelge 5.15 : G+nQ kombinasyonu altında 30cmx70cm boyutlu kolonlara etkiyen ortalama eksenel kuvvet değerleri.....	68
Çizelge 5.16 : G+nQ kombinasyonu altında 30cmx120cm boyutlu kolonlara etkiyen ortalama eksenel kuvvet değerleri.....	68
Çizelge 5.17 : Mevcut binanın periyot ve kütle katılım değerleri.....	72
Çizelge 5.18 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucu mevcut yapının hasar alan kirişlerinin kesme kontrolü.....	74
Çizelge 5.19 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucu mevcut yapının hasar alan kirişlerinin kesme kontrolü.....	75
Çizelge 5.20 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucunda mevcut binaya ait belirgin hasar bölgesindeki kolonların kesme kontrolü.....	76
Çizelge 5.21 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda mevcut binaya ait belirgin hasar bölgesindeki kolonların kesme kontrolü.....	77
Çizelge 5.22 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucunda mevcut binanın perde elemanlarda oluşan hasar durumu.....	78
Çizelge 5.23 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda mevcut binanın perde elemanlarda oluşan hasar durumu.....	78
Çizelge 5.24 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem altında mevcut binanın betonarme perdelerine ait kesme kontrolü.....	78

Çizelge 5.25 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem altında mevcut binanın betonarme perdelerine ait kesme kontrolü.	79
Çizelge 6.1 : Güçlendirilmiş binaya ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları. .	86
Çizelge 6.2 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucu güçlendirilmiş yapının hasar alan kirişlerinin kesme kontrolü.	87
Çizelge 6.3 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucu güçlendirilmiş yapının hasar alan kirişlerinin kesme kontrolü.	88
Çizelge 6.4 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucunda güçlendirilmiş binaya belirgin hasar bölgesindeki kolonların kesme kontrolü.	89
Çizelge 6.5 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda belirgin hasar bölgesindeki kolonların kesme kontrolü.	89
Çizelge 6.6 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucunda güçlendirilmiş binanın perde elemanlarda oluşan hasar durumu.	90
Çizelge 6.7 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda güçlendirilmiş binanın perde elemanlarda oluşan hasar durumu.	90
Çizelge 6.8 : M_w :7.9 büyüklüğündeki Kahramanmaraş depremi sonucunda güçlendirilmiş binanın hasar alan perdelerin kesme kontrolü.	91
Çizelge 6. 9 : M_w :7.8 büyüklüğündeki Kahramanmaraş depremi sonucunda güçlendirilmiş binanın hasar alan perdelerin kesme kontrolü.	91
Çizelge 6.10 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem altında güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ve mevcut binaya ait giriş hasar durumları.	95
Çizelge 6.11 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem altında güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ve mevcut binaya ait giriş hasar durumları.	95
Çizelge 6.12 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem altında güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ve mevcut binaya ait kolon hasar durumları.	95
Çizelge 6.13 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem altında güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ve mevcut binaya ait kolon hasar durumları.	95

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Alüminyum kayma bağlantısı ve çelik çaprazlar ile güçlendirilen betonarme çerçevenin deney düzeneği (Sahoo ve Rai, 2010).....	7
Şekil 2.2 : Kesme yükü altında aksel kuvvetlere maruz kalan kayma bağlantısı (Sahoo ve Rai, 2010).....	8
Şekil 2.3 : Çelik ve kauçuk sönümleyici içeren güçlendirme sistemi a) Güçlendirilmiş betonarme çerçeve b) Güçlendirilmiş betonarme çerçevenin deformasyon şekli c) Çelik sönümleyici d) Deprem izolasyon cihazı (Ahn ve diğ., 2016).	9
Şekil 2.4 : Artçı şok etkisine ilişkin yükleme protokolü. (Ahn ve diğ., 2016).	10
Şekil 2.5 : Bal peteği şeklindeki metalik sönümleyici ve güçlendirilmiş çerçeve şekli a) Bal peteği şekilli çelik sönümleyici b) Güçlendirilmiş çerçeve sistemi (Lee ve diğ., 2017).	12
Şekil 2.6 : ADAS ve TADAS sönümleyiciler ile güçlendirilmiş betonarme çerçeve numuneleri (TahamouliRoudsari ve diğ., 2018).	13
Şekil 2.7 : Hibrit sönümleyici düzeneği (Lee ve diğ., 2018).	14
Şekil 2.8 : Mevcut ve güçlendirilmiş çerçevenin yük-yerdeğiştirme ilişkisi (Lee ve diğ., 2018).	15
Şekil 2.9 : Deneyde kullanılan betonarme çerçeve numuneleri (Sutcu ve diğ., 2020).	19
Şekil 2.10 : GESB güçlendirme sisteminin detayları (Zhao ve diğ., 2022).	21
Şekil 2.11 : PS-LED sönümleyici a) PS-LED sönümleyiciyi oluşturan ana bileşenler b) sönümleyicinin uzunlamasına kesiti (Bruschi ve Quaglini, 2022).	22
Şekil 2.12 : PS-LED sönümleyici için önerilen sayısal modelleme (Bruschi ve Quaglini, 2022).	23
Şekil 2.13 : Çelik çaprazlı çerçeve ve hibrit bağlantılarla güçlendirilmiş bir betonarme çerçevenin şematik gösterimi (Javadi ve diğ., 2023).	24
Şekil 2.14 : Kayma bağlantısında oluşması beklenen deformasyon şekli (Javadi ve diğ., 2023).	24
Şekil 3.1 : Çekme yükü etkisinde başlı ve art montajlı bağlantı elemanlarının göçme şekilleri a) Çelik göçmesi b) Beton konik kopma göçmesi c) Sıyrılma göçmesi d) Kimyasal bağlı bağlantı elemanlarının birleşik sıyrılması ve beton göçmesi e) Beton yarıma göçmesi f) Beton patlama göçmesi (TS EN 1992-4).	28
Şekil 3.2 : Kesme yükü etkisi altındaki başlı ve art montajlı bağlantı elemanlarının kesme yükü altındaki hasar şekilleri a) Kuvvet kolsuz çelik kopma göçmesi b) Kuvvet kollu çelik kopma göçmesi c) Beton kaldıraç zorlaması göçmesi d) Beton kenar kopması göçmesi (TS EN 1992-4).	29
Şekil 3.3 : Tümleşik tip disk ankraj genel görünüm a) Kesit görünümü b) Üst görünümü.	30
Şekil 3.4 : Ayrışık tip disk ankraj genel görünüm a) Kesit görünümü b) Üst görünümü.	30
Şekil 3.5 : Şaşırtmalı düzende T etkin genişliğinin hesaplanması.....	32

Şekil 3.6 : Paralel düzende T etkin genişliğinin hesaplanması.....	32
Şekil 3.7 : Şaşırtmalı disk ankraj düzeninde konstrüktif kurallar.....	34
Şekil 3.8 : Paralel disk ankraj düzeninde konstrüktif kurallar.....	34
Şekil 4.1 : TBDY-2018'de tanımlanan kesit hasar bölgeleri.	38
Şekil 4.2 : TBDY-2018'de tanımlanan sargılı ve sargısız beton modeli.....	39
Şekil 4.3 : TBDY 2018'de tanımlanan çelik malzemesi modeli.....	40
Şekil 4.4 : Yığılı ve yayılı plastik mafsal modelleri (Deierlein ve diğ., 2010).....	41
Şekil 4.5 : İtme eğrisinin (a) modal kapasite diyagramına (b) dönüşümü.	44
Şekil 4.6 : (a) Değişken tek modlu itme yöntemi ile modal kapasitenin belirlenmesi. (b) İkinci mertebe etkilerin hesaba dahil edildiği durumda modal kapasite diyagramı.....	45
Şekil 5.1 : Normal kat kalıp resmi (plan ve kesitler).	50
Şekil 5.2 : 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde hasar görmüş binanın dıştan görünümü a) Binanın kısa doğrultusunun görünümü b) Binanın uzun doğrultusunun görünümü c) Binada gözlemlenen dış duvar hasarlarının görünümü d) Binanın merdiven kovası civarında oluşan hasarların görünümü.	53
Şekil 5.3 : 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde hasar görmüş binanın içten görünümü a-b-c) Yapısal olmayan elemanlarda gözlemlenen ileri seviye hasarlar (iç duvarların toptan göçmesi), d-e-f) Yapısal olmayan elemanlarda gözlemlenen orta seviye hasarlar (duvarların betonarme çerçevelerden ayrılması, gevrek çatlak oluşumları).	54
Şekil 5.4 : Mevcut binanın deprem istasyonlarına ve depremlerin merkez üslerine olan uzaklık bilgileri.....	59
Şekil 5.5 : 4408 numaralı istasyondan elde edilen M_w : 7.9 büyüklüğündeki depremin doğu-batı bileşeni ivme kaydı.	59
Şekil 5.6 : 4408 numaralı istasyondan elde edilen M_w : 7.9 büyüklüğündeki depremin kuzey-güney bileşeni ivme kaydı.	60
Şekil 5.7 : 0213 numaralı istasyondan elde edilen M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremin doğu-batı bileşeni ivme kaydı.	60
Şekil 5.8 : 0213 numaralı istasyondan elde edilen M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremin kuzey-güney bileşeni ivme kaydı.	61
Şekil 5.9 : Deprem kayıtlarının sayısal analiz programına tanıtılması.	61
Şekil 5.10 : DD1 ve DD2 deprem yer hareket düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrumu, DBYBHY-2007 esas alınarak hesaplanan yatay elastik tasarım spektrumu ve deprem istasyonlarından elde edilen ivme kayıtlarına ait tepki spektrumlarının karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.11 : Beton modelinin sayısal programa tanımlanması.....	65
Şekil 5.12 : Donatı modelinin sayısal programa tanımlanması.	66
Şekil 5.13 : B25x50-T1 kirişi kesit görünümü.	67
Şekil 5.14 : B25x50-T1 kirişine ait moment eğrilik ilişkisi.	67
Şekil 5.15 : B25x50-T1 kirişine ait moment eğrilik ilişkisinin ETABS programına tanıtılması.	67
Şekil 5.16 : C30x70-T1 kolonuna ait PMM ilişkisinin tanımlanması.	69
Şekil 5.17 : C30x70-T1 kolonuna ait moment eğrilik ilişkisinin tanımlanması.	69
Şekil 5.18 : TBDY 2018'de belirtilen kolon, kiriş ve perde elemanlara ait etkin kesit rijitliklerinin tanımlanması.	70
Şekil 5.19 : Rayleigh sönüm modeli (N.Shaban ve A.Caner, 2015).	71
Şekil 5.20 : Sayısal modele sönüm parametrelerinin tanımlanması.	72
Şekil 5.21 : Mevcut binanın kolon ve kiriş etiketleri.....	73

Şekil 5.22 : M_w : 7.9 ve M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremler sonucunda mevcut bina girişlerinde meydana gelen hasar durumu oranı.	73
Şekil 5.23 : M_w : 7.9 ve M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremler sonucunda mevcut bina kolonlarında meydana gelen hasar durumu oranı.	76
Şekil 5.24 : Betonarme perdelerin etiketi.	77
Şekil 5.25 : M_w : 7.9 ve M_w : 7.8 depremleri sonucunda mevcut binada gözlemlenen görel kat öteleme oranları.	79
Şekil 6.1 : Önerilen güçlendirme modeli.	82
Şekil 6.2 : UDK2'nin geometrik özellikleri (Atasever, 2015).	83
Şekil 6.3 : UDK2 isimli U şekilli metalik sönümleyicinin iki doğrulu davranışı.	84
Şekil 6.4 : U şekilli metalik sönümleyicinin Nonlinear Multilineer Link eleman olarak sayısal modelde tanımlanması.	84
Şekil 6.5 : Önerilen güçlendirme sisteminin planda yerleşimi.	85
Şekil 6.6 : Önerilen güçlendirme modeli ile 6 kata kadar güçlendirilen binanın 3 boyutlu modeli.	85
Şekil 6.7 : M_w : 7.9 ve M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremler sonucunda güçlendirilmiş bina girişlerinde meydana gelen hasar durumu oranı.	86
Şekil 6.8 : M_w : 7.9 ve M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremler sonucunda güçlendirilmiş bina kolonlarında meydana gelen hasar durumu oranı.	89
Şekil 6.9 : Güçlendirilmiş yapıya ait görel kat öteleme oranı sonuçları.	92
Şekil 6.10 : a) Önerilen güçlendirme sistemi ile iki açıklıkta 9 kata kadar güçlendirilen binanın 3 boyutlu modeli b) Önerilen güçlendirme sisteminin plandaki konumu.	93
Şekil 6.11 : a) Önerilen güçlendirme sistemi ile dört açıklıkta 9 kata kadar güçlendirilen binanın 3 boyutlu modeli b) Önerilen güçlendirme sisteminin plandaki konumu.	94
Şekil 6.12 : Mevcut bina ve tüm güçlendirilmiş konfigürasyonlarına ait görel kat öteleme oranı - X doğrultusu.	96
Şekil 6.13 : Mevcut bina ve tüm güçlendirilmiş konfigürasyonlarına ait görel kat öteleme oranı - Y doğrultusu.	97
Şekil 6.14 : K7 etiketli sönümleyicinin bina üzerindeki konumu.	98
Şekil 6.15 : M_w : 7.9 büyüklüğündeki deprem altında K7 sönümleyicisinin histeretik davranışı.	98
Şekil 6.16 : U şekilli metalik sönümleyicinin betonarme giriş ile olan bağlantı detayı.	99
Şekil 6.17 : a) Disk ankraj yerleşimi görünümü b) A-A kesiti.	100
Şekil 6.18 : Bağlantı bölgesinin plan görünümü.	101



BETONARME BİR BİNANIN U ŞEKLİ METALİK SÖNÜMLEYİCİLER İLE DEPREM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Mevcut yapı stokundaki betonarme binaların önemli bir bölümü çeşitli nedenlerden dolayı güncel deprem yönetmeliklerinde belirtilen performans seviyelerini sağlayamazlar. Yapının kullanım şeklinin değişmesi, yönetmeliklerin ve deprem tehlike haritalarının güncellenmesi, malzeme dayanım değerlerinin çeşitli dış koşullar nedeni ile düşmesi gibi nedenlerden dolayı mevcut betonarme yapılar güncel yönetmeliklerde belirtilen dayanım, rijitlik ve süneklik koşullarını karşılamayabilir. Bunlara ek olarak sünek olmayan detaylara sahip bir betonarme çerçevenin enerji yutma kapasitesi, çevrimsel yükler altında sınırlı olabilir. Bu türden sakinler, mevcut bina stoğunun hızlı bir şekilde güçlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Geleneksel güçlendirme (örneğin betonarme sisteme betonarme perde eklenmesi, betonarme elemanların mantolanması vb.) yöntemleri genellikle binaya kapsamlı müdahale gerektirir ve zaman alıcıdır. Bu çalışmada, önerilen güçlendirme yolu olarak bina mimari planına minimum müdahale ile deprem performans seviyesinin artırılması önerilmektedir. Önerilen güçlendirme sistemi U şekilli çelik sönmüleyici, rijit bir çelik kafes eleman ve disk ankrajlardan oluşmaktadır. U şekilli sönmüleyici kiriş ortasında bulunan çelik kafes elemanın üstünde konumlandırılmıştır. Sönmüleyicinin mevcut betonarme kirişe bağlantısı, özellikle düşük dayanımlı betonlarda kuvvetleri daha iyi aktarmak için özel olarak tasarlanmış disk ankrajlar ile gerçekleştirilmiştir; bilindiği kadarıyla, bu tarz bir uygulama ilk kez bu tez kapsamında ele alınmaktadır.

Önerilen güçlendirme modelinin etkinliğinin araştırılması amacı ile 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş (Nurdağı ve Ekinözü) depremlerinde ($M_w=7.9$ ve $M_w=7.8$) hasar alan betonarme bir konut binası kapsamlı bir biçimde ele alınmıştır. Konut binasında deprem sonucu oluşan hasarın tespit edilebilmesi için bina tez yürütücüsü tarafından yerinde incelenmiştir. Yapılan saha ziyareti sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarında herhangi bir ciddi hasar gözlemlenmezken, yapısal olmayan elemanlarda ileri seviye hasar tespit edilmiştir. Bu yoğun hasarın açıklanabilmesi amacıyla çalışmanın devamında mevcut bina, zaman tanım alanında analiz yöntemi ile değerlendirilmiş olup analiz sonucunda binada oluşan hasar durumu ile saha ziyaretinde tespit edilen hasar durumunun birbiri ile tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında mevcut bina için önerilen güçlendirme modelinin uygulanması durumunda göreceli kat ötelemesi oranının 1/150 (%0.67) değerini aşmayacağı gösterilmiştir; bu değer, Japonya’da bu türden güçlendirmelerde sıkça kabul gören bir tasarım hedefidir. Çalışma sonucunda güçlendirilmiş binanın göreceli kat öteleme oranı azalmış ve taşıyıcı sistem elemanlarının depreme karşı performansının iyileştiği gözlemlenmiştir.



SEISMIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A REINFORCED CONCRETE (RC) BUILDING USING U-SHAPED METALLIC DAMPERS

SUMMARY

Some of the reinforced concrete (RC) building stock in Turkey does not meet the earthquake performance level specified in the current Turkish seismic code of TBDY-2018. Main reasons for this situation in Turkey are insufficient strength of structural materials used in building construction, poor workmanship, and lack of engineering services. Two widely accepted options are possible to make deficient buildings seismically reliable. These are demolition and reconstruction or retrofitting. Demolishing and rebuilding may not always be a good option when considering construction time, cost, and environmental impacts. Buildings that are suitable for retrofitting to make them earthquake-resistant could be a good option in terms of economy and environmental impact. There are many methods to be used in the retrofitting of buildings. The most commonly used method is conventional retrofitting, which involves adding a new RC element to the existing structure and increasing the size of the element (e.g. concrete jacketing). These methods would perform well especially in buildings with strength and stiffness issues. Apart from these, there are energy-dissipating systems that add stiffness and more importantly damping to the building, or only damping, reducing seismic demands. Retrofitting buildings with energy-dissipating systems is often less time-consuming than conventional retrofitting methods. With these systems, there is also less interference with building's architecture. Since architectural intervention would be minimized, it can be more economical than conventional retrofitting methods. Energy dissipating systems can be effectively used in schools, hospitals, industrial buildings, residences, bridges, data centers, historical buildings, and tall structures.

There are many types of energy-dissipating systems. The most commonly used ones are viscous, viscoelastic, friction type, metal yielding type, and tuned mass dampers. Some of these systems may require periodic maintenance after they are installed in the building. In the second part of the study, studies on metallic dampers and retrofitting with metallic dampers are overviewed. Widely used metallic dampers in previous studies vary in size, material properties, and configurations. In general, it was found that the shape, geometry, and material strength of the selected metallic damper, as well as the way the damper is connected to the existing building element, changes the reinforced concrete frame performance. Additionally, under seismic effects, force directions in metallic dampers may vary depending on the observed deformation shape in the damper. Nowadays, U-shaped dampers are used alone or in combination with rubber-type base isolation systems. In addition, some studies have investigated the effectiveness of configurations including U-shaped dampers between RC frames.

In this thesis, a retrofitting model with a U-shaped metallic damper and rigid steel members is proposed. U-shaped steel dampers are located above the rigid steel micro frame. The proposed retrofitting model is positioned between RC frame beams in subsequent floors. When using the proposed model in building retrofitting, only the infill wall in the part to be retrofitted is removed. Apart from this, no other architectural elements need intervening. Note that necessary precautions should be taken regarding mechanical and electrical elements before retrofitting. The U-shaped metallic damper is a relatively simple energy-dissipating device to manufacture compared to other alternative energy dissipators such as buckling restrained braces (BRBs), viscous dampers, or rubber isolators. In addition, the steel members and disc anchors used in the retrofitting model are very simple to manufacture and install. Due to these features, the proposed retrofitting system aims to be produced quickly and to retrofit many vulnerable buildings.

To better examine the performance of the proposed retrofitting model under earthquake loads, a residential building damaged (mostly architectural) by the February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes ($M_w=7.9$ and $M_w=7.8$) was taken as a case study. To determine the accuracy of the numerical model to be created, a site visit was made by the thesis advisor to observe damage to the existing building as a result of the earthquake. Major nonstructural damage was observed on the infill walls and architectural elements of the building. It was observed that the architectural damage was concentrated especially on the third, fourth, and fifth floors of the building. On the other hand, concrete cracks of medium sizes were observed in the structural system of the building that could have opened and closed during the earthquake, but no serious damage was observed. After reconstruction of the infill walls and repair of the minor damage to the structural system, the building may have been reused without any problem. Unfortunately during the writing of this thesis, an information regarding the demolition of the building has been received. After this stage, seismic performance of the existing building was evaluated with nonlinear time history analyses. TBDY-2018 was used in the assessment. In TBDY-2018, the earthquake acceleration records selected for evaluation and retrofitting are matched according to the period of the structure and analyzed. The earthquake records used in this study were taken from the earthquake stations close to the location of the building, and the earthquake records were directly impacted on the structure without matching to observe the structural damage caused by the real earthquake records in the numerical model.

As a result of the time domain analyses using real earthquake records, it was concluded that the damage distribution observed in the numerically modeled structure and the damage distribution observed as a result of the field visit were similar. The earthquake performance of the existing building's columns, beams, and shear wall elements under actual earthquake records was examined according to TBDY-2018. As a result of the analyses, it was determined that the existing structure met the controlled damage (CD) performance level.

To better improve the earthquake performance of the existing building and at the same time to reduce non-structural damage in future earthquakes, alternative retrofit schemes are suggested such as asymmetric partial retrofitting until the 6th story and complete asymmetric and symmetric retrofitting along the height of the building. Relative story drift ratios observed in the retrofitted building under earthquake effects are targeted to be 1/150 (%0.67) based on the Japanese Seismic Guideline (JBDPA, 2001). As a result of the analyses performed on the retrofitted building, the damage condition of the reinforced concrete columns, beams, and shear wall elements in the structure has improved.

Some of the studies on energy-dissipating systems include the reliable connection of these systems to existing elements. Cracks that will occur during the earthquake at the points where the retrofitting elements are connected to the structural system prevent the retrofitting component from operating at sufficient capacity, thus reducing the energy dissipated during the earthquake. In addition, the cracks formed to reduce the capacity of the existing structural elements. In this thesis, disc anchors were alternatively used for the connection of the U-shaped damper to the beam to minimize interference with the structure. The analyses and proposal details reveal that such retrofit application would be viable solution to be implemented in the seismically vulnerable substandard RC multi-story building stock in mega cities of Turkey especially in Istanbul, Izmir, and Bursa.



1. GİRİŞ

Türkiye’deki betonarme yapı stoğunun önemli bir bölümü günümüzde geçerli olan TBDY-2018’de belirtilen deprem performans seviyesini karşılayamamaktadır. Yapı stoğundaki bazı binalar yapıldığı dönemdeki deprem yönetmeliğine göre yapılmış olsa da yönetmeliklerin güncellenmesi nedeni ile ilgili deprem performans hedefi sağlanamayabilir. Bunun dışında binanın yapım sürecinde gözlemlenen düşük dayanımlı malzeme kullanımı, denetim eksikliği, kötü işçilik, mühendislik hizmetinin yetersizliği gibi durumlar binanın depreme karşı performansını olumsuz şekilde etkiler. 17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi sonucunda bölgedeki birçok yapı ağır hasar almış ya da yıkılmış olup can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. Bu tarihten sonra yapı stoğunun depreme karşı dayanıklı hale getirilebilmesi için yapı denetim ve yeni deprem yönetmelikleri yayımlanmıştır. Nitelsiz ve güçlendirmeye uygun olmayan binaların yıkılıp yeniden yapılmasını konu alan kentsel dönüşüm cesaretlendirilmiştir. Ancak bu süreçte yapı stoğunun çok az bir bölümü depreme karşı dayanıklı hale getirilebilmiş, sorun tamamıyla çözülememiştir. Nitekim 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Nurdağı ve Ekinözü) depremleri sonucunda birçok betonarme yapı toptan göçmüş ya da ağır hasar almıştır. Dolayısıyla günümüz deprem yönetmeliğinde belirtilen koşulları sağlamayan binaların hızlı bir şekilde güçlendirilmesi ya da uygun değilse yıkılıp yeniden yapılması gerekmektedir. Yıkıp yeniden yapma seçeneği maliyetli olmasının yanı sıra zaman alıcı bir seçenektir. Uygun binalar daha ekonomik bir şekilde güçlendirilebilir. Gerçekçi bir güçlendirme modelinin önerilebilmesi için mevcut binadaki yapısal eksikliklerin tüm detaylarıyla belirlenmesi gerekmektedir. Yapısal eksikliklerin anlaşılabilmesi için TBDY-2018’de belirtilen şekilde mevcut yapıdan alınan malzeme numunelerinin kapasitelerinin belirlenmesi, binanın taşıyıcı sistemine ait rölövesinin çıkartılması ve betonarme eleman detaylarının belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Bu aşamalar yapıldıktan sonra TBDY-2018’de belirtilen deprem performans değerlendirmesi yapılır ve binanın ihtiyacına göre anlamlı olması koşuluyla bir güçlendirme modeli önerilir. Yapılan değerlendirme sonucunda mevcut bina için betonarme eleman düzeyinde mantolama,

lifli polimer kumaş ile sargılama, sisteme betonarme perde ekleme, çelik çapraz ekleme gibi güçlendirme seçenekleri önerilebilir. Son zamanlarda yapı ve deprem mühendisliğinde olan gelişmeler sonucunda yapıların güçlendirilmesinde enerji sönümleyici sistemler de yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Enerji sönümleyici sistemler ile güçlendirmede, geleneksel güçlendirme yöntemlerine göre binaya daha az mimari müdahalede (deprem talebinin azalması nedeniyle) bulunabilir. Böylelikle güçlendirme uygulaması süresinde kısılma da gözlemlenebilir. Bu tez çalışmasında binaların hızlı bir şekilde güçlendirilmesine olanak sağlayan bir güçlendirme alternatifi önerilmiştir. Güçlendirme sistemi U şekilli metalik sönümleyiciden, rijit bir çelik kafes sistemden ve mevcut betonarme sistemin bağlantı detaylarında kullanılmak üzere disk ankrajlardan oluşur. Önerilen güçlendirme modeli betonarme çerçeve kirişlerinin altında bir yerde konumlanmaktadır. U şekilli sönümleyici yapıya ilave sönüm katarken deprem hareketi sonucu yapıda oluşan kat kesme kuvvetlerini azaltmada yardımcı olur. Rijit çelik kafes, metalik sönümleyicinin bir bütün olarak çerçeve ile hareket etmesini engeller. Deprem esnasında U şekilli metalik sönümleyici ile binanın mevcut kirişi arasındaki yük aktarımı, çelik levha ve disk ankrajlardan oluşan bir bağlantı detayı ile sağlanmıştır. Bağlantıda kullanılan disk ankrajlar bir Japon teknolojisi olup, düşük dayanımlı betonlarda bile yüksek kesme kapasitesi sağladığından dolayı konvansiyonel ankrajla karşılaştırıldığında tercih nedeni olmaktadır. Böylelikle mevcut yapının taşıyıcı elemanlarına daha az müdahale edilmesi hedeflenmiştir. Önerilen bağlantı modeli deprem sırasında elastik bölgede kalacak biçimde tasarlanacağından sönümleyicinin döngüsel davranışını kararlı bir şekilde oluşturmasına yardımcı olur.

Tez çalışmasında önerilen güçlendirme modelinin etkinliğinin incelenmesi amacıyla, 6 Şubat 2023 yılında Kahramanmaraş depremlerinde ($M_w=7.9$ ve $M_w=7.8$) (Çelik ve diğ., 2024; Ding ve diğ., 2023) hasar görmüş mevcut birçok katlı konut binası ele alınmıştır. Mevcut binanın bu depremlere karşı performansı TBDY-2018 esas alınarak incelenmiştir. Buna ek olarak depremler sonucu binanın katları arasında oluşacak göreceli kat öteleme oranının $1/150$ 'yi aşmaması hedeflenmiştir; bu değer Japonya'da bu türden güçlendirmelerde sıkça kabul gören bir tasarım hedefidir. Mevcut bina üzerinde deprem sonucu hasarların tespit edilmesi için yerinde saha gözlemi yapılmıştır. Sonrasında mevcut binada depremler sonucunda oluşan hasar durumu TBDY-2018 esas alınarak incelenmiştir. Sayısal sonuçlardan çıkan hasar durumu ile

gerçekte gözlemlenen hasar durumu karşılaştırılmıştır. Çalışmanın devamında önerilen güçlendirme modeli ile mevcut bina güçlendirilmiş olup taşıyıcı sistem elemanlarında deprem sonucu oluşan hasar durumları ve hasar türleri TBDY-2018 esas alınarak incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda güçlendirilmiş binanın katları arasında gözlemlenen en büyük görelî kat öteleme oranı çalışma kapsamında hedeflenen 1/150 değeri altında kalmıştır. Ayrıca binanın taşıyıcı sistem elemanlarının depreme karşı performansında artış gözlemlenmiştir.

Çalışmanın ana bileşenleri aşağıda özetlenmiştir:

2. Bölüm’de geçmişte metalik sönümleyiciler üzerinde yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar özetlenmiştir. Ayrıca, metalik sönümleyici içeren güçlendirme sistemlerinin mevcut yapılara olan etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Yapıların metalik sönümleyiciler ile güçlendirilmesine ilişkin birçok çalışma olmasına karşın güçlendirme sistemlerinin mevcut yapıya olan bağlantısı ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu nedenle, 3. Bölüm’de önerilen bir güçlendirme sistemi ve bu sistemin ana çerçeveye bağlantısında kullanılabilecek disk ankrajların göçme modları ile geleneksel bağlantılarda kullanılan ankrajların göçme modları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, disk ankrajların kapasite ile ilgili bağıntılarının yanı sıra disk ankraja ilişkin konstrüktif/yapımsal kurallara da değinilmiştir.

4. Bölüm TBDY-2018’e göre mevcut betonarme binaların deprem performansının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesine ilişkin hesap ve modelleme yaklaşımlarının açıklamasına ayrılmıştır. Bu bölümün sonunda sayısal hesap yöntemlerinin üstünlükleri ve sakıncaları kısaca değerlendirilmiştir.

Önerilen güçlendirme sisteminin etkinliğinin araştırılması amacıyla 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş depremlerinde hasar almış mevcut çok katlı bir konut binası 5. Bölüm’de ele alınmıştır. Mevcut binanın, TBDY-2018’den yararlanılarak gerçek deprem kayıtları altında depreme karşı performansı detaylı bir biçimde araştırılmıştır. Mevcut yapının sayısal olarak modellenmesine ilişkin detaylara değinilmiştir. Betonarme kiriş, kolon ve perde elemanların hasar durumları ve türleri incelenmiştir. Mevcut binaya ait görelî kat öteleme oranı ile çalışma kapsamında hedeflenen 1/150 (%0.67) görelî kat öteleme oranı birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bölüm sonunda ise sayısal hesap sonuçlarından elde edilen bulgular

ile saha gözlemi sonucu elde edilen bulgular ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Çalışmanın 6. Bölümü'nde, önerilen güçlendirme sistemine ilişkin bilgilerin yanı sıra güçlendirilmiş binanın deprem performansı ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Önerilen güçlendirme sisteminin sayısal olarak modellenmesine değinilmiştir. Güçlendirilmiş binanın betonarme elemanlarına ait hasar durum ve türleri hesaplanmıştır. Güçlendirilmiş binaya ait görelî kat ötelemesi oranı ile hedeflenen görelî kat ötelemesi oranı birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bölümün sonunda ise önerilen güçlendirme sisteminin mevcut betonarme kirişe olan bağlantısında alternatif bir bağlantı detayı önerilmiştir. Bağlantı detayında kullanılan disk ankrajın hesapları detaylı olarak açıklanmıştır

Çalışmanın sonuçlarına ilişkin genel değerlendirmeler 7. Bölüm'de ele alınmış ve bundan sonraki çalışmalarda araştırma alanı olabilecek konulara değinilmiştir.

2. MEVCUT BETONARME BİNALARIN METAL ELEMANLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

Mevcut betonarme binalar için birçok güçlendirme yöntemi mevcuttur. Taşıyıcı sistem eleman boyutlarını büyütmek, mevcut yapıya yeni taşıyıcı sistem elemanı eklemek, karbon lifli polimerlerle sargılama gibi yöntemler güçlendirmede en bilinen ve uygulanan yöntemler arasındadır. Son yıllarda enerji sönümleyici cihazlar ile güçlendirme yaygınlaşmaya başlamış olup bu konuda birçok araştırma yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında metalik sönümleyiciler ile ilgili öne çıkan araştırmalar 2.1’de verilmiştir.

2.1 Metalik Sönümleyiciler ile Güçlendirme

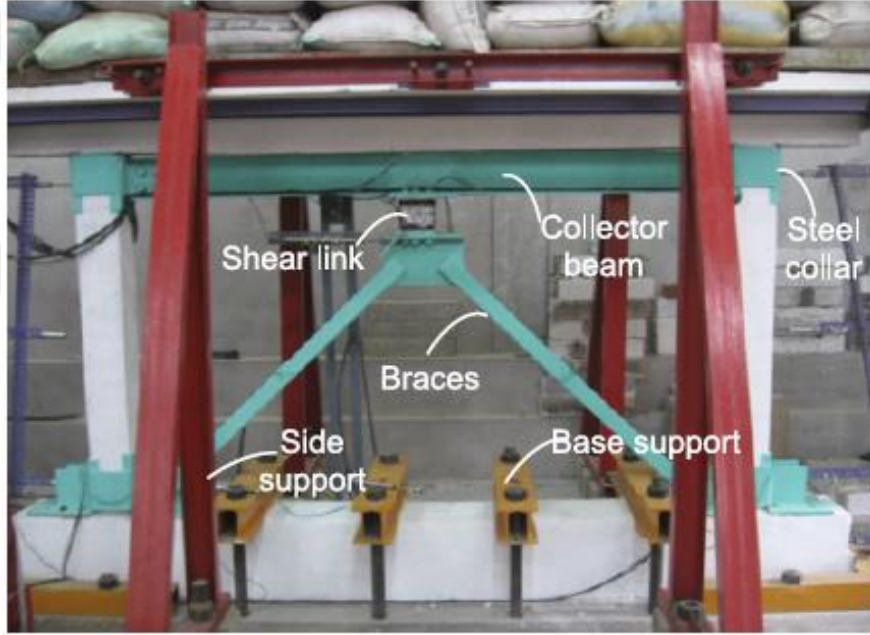
Ghobarah ve Elfath (2001) yaptıkları çalışmada az katlı ve düşük dayanımlı betona sahip betonarme binanın dışmerkez çelik eleman ve bir dikey kayma bağlantı elemanı kullanılarak deprem performansını incelemişlerdir. Çalışmadaki düşey bağlantı elemanı, dönme ve öteleme yayı bulunan bir konsol olarak modellenmiştir. Dönme yayı moment-dönme ilişkisini temsil ederken öteleme yayı kesme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisini temsil etmektedir. Her iki ilişki için deplasman seviyelerine göre formüller önerilmiştir. Çalışmanın devamında 1963 ACI koduna göre düşey yükler esas alınarak tasarlanmış sünek olmayan detaylara sahip üç katlı betonarme bir bina ele alınmıştır. Bina iki farklı şekilde güçlendirilmiştir. Bunlardan ilki merkezi ters V şekilli (chevron) çelik çaprazlar ile, ikincisi ise dışmerkez çelik çapraz ve düşey kayma elemanı içermektedir. Yapılan itme analizi sonucunda kayma bağlantısı içeren modelin yanal yük taşıma kapasitesinin geleneksel merkezi güçlendirme sisteminden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada ele alınan üç katlı bina için on iki farklı deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda dışmerkez olarak bağlanan kesme bağlantısı içeren güçlendirme sisteminin kullanılması durumunda betonarme elemanlarda daha az hasar olduğu gözlemlenmiştir. Deprem yükleri altında taşıyıcı elemanlarda

plastikleşmesi beklenen bölgelere göre bir güçlendirme tasarımı yapıldığında güçlendirmenin daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Düşük dayanımlı metalik panellerin yapı davranışına etkisi E.S. Mistakidis ve diğ. (2007) tarafından incelenmiştir. Çalışmada, panel konfigürasyonu içeren güçlendirme sistemlerinin sayısal olarak modellenmesine yardımcı olacak bir ön tasarım prosedürü önerilmiştir. Ön tasarım prosedürü, binanın sahip olması gereken toplam rijitlik, dayanım ve yerdeğiştirme kapasitesi ile ilgili bilgiler vermektedir. Ön tasarımda mevcut yapının spektral yerdeğiştirmesi hesaplandıktan sonra güçlendirilmiş yapının hedef spektral yerdeğiştirme seviyesi belirlenir. Sonraki adımda güçlendirilmiş yapının yaklaşık olarak başlangıç rijitliği ve taban kesme kapasitesi için çalışma kapsamında önerilen bağıntılar ile kullanılır. Metalik panellerin rijitlik ve kesme kapasitesi hesaplandıktan sonra binanın istenen performans seviyesini sağlaması için gerekli metalik panel adeti ve boyutları elde edilir. Çalışmanın devamında ön tasarımın gerçek bir binanın güçlendirilmesindeki etkinliğinin incelenmesi amacıyla 1968 yılında Yunanistan’da inşa edilmiş iki katlı betonarme bir bina ele alınmıştır. SAP2000 programında basitleştirilmiş bir doğrusal olmayan model önerilmiştir. Önerilen model elastoplastik davranışa sahip eşdeğer diyagonal elemanlardan oluşur. Bu modelin doğruluğunu gözlemlemek amacı ile SAP2000 programında tanımlanan metalik paneller ABAQUS programında sonlu elemanlar ile detaylı olarak modellenmiştir. Yapılan analizler sonucunda her iki modelin de birbirleri ile uyumlu sonuç verdiği ve bazı metalik panellerde burkulma davranışının meydana geldiği görülmüştür. Oluşan burkulma davranışının metalik panelin histeretik davranışını ciddi şekilde etkilemediği görülmüştür.

Sahoo ve Rai (2010) tarafından gerçekleştirilen bir deneysel çalışmada sünek detaylara sahip olmayan betonarme çerçevenin yatay kuvvet kapasitesini, rijitliğini ve enerji yutma kapasitesini arttırmak için alüminyum panelden yapılmış kayma elemanları kullanılan yapısal güçlendirme modeli önermişlerdir. Deneyde kullanılan çerçeve numunesi yalnızca ölü yükler göz önüne alınarak tasarlanmış bir binadan alınmıştır. Çevrimsel yükler altında alüminyum kayma levhasına, kesme kuvvetleri dışında bir yük etki etmemesi için levha ile betonarme çerçeve kirişi arasına çelik kiriş yerleştirilmiştir. Alüminyum levhanın alt iki ucundan chevron tipte çaprazlar bağlanarak yük aktarımı kolon alt uçlarına doğru olacak şekilde tasarlanmıştır. Çelik kirişin ve chevron şekilli çaprazların bağlandığı kolon alt ve üst uçları çelik levhalar

ile sargılanmıştır (Şekil 2.1). Numunelere %3,5 kat öteleme oranına kadar kademeli olarak çevrimsel yükleme yapılmıştır. Deney sonunda önerilen güçlendirme yönteminin sünek olmayan betonarme çerçevenin yatay yük kapasitesini, rijitliğini ve enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş çerçevenin çevrimsel yükler altında yutulan toplam enerjinin yaklaşık üçte ikisinin alüminyum kayma bağlantısı tarafından gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Deney sonunda güçlendirilmiş numunenin kolonlarında %3,5 kat ötelemesine kadar önemli bir hasar görülmemiştir. Chevron çaprazlar bu yükleme altında elastik bölgede kalmıştır. Deneyde alüminyum kayma bağlantısı her ne kadar kesme kuvvetlerinin etki ettiği yönde çalıştırılmaya çalışılsa da belirli bir kat öteleme oranından sonra çerçeve kirişinin deformasyon şeklinden dolayı, kısmen de olsa eksenel kuvvetler etkisinde kalmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.1 : Alüminyum kayma bağlantısı ve çelik çaprazlar ile güçlendirilen betonarme çerçevenin deney düzeneği (Sahoo ve Rai, 2010).

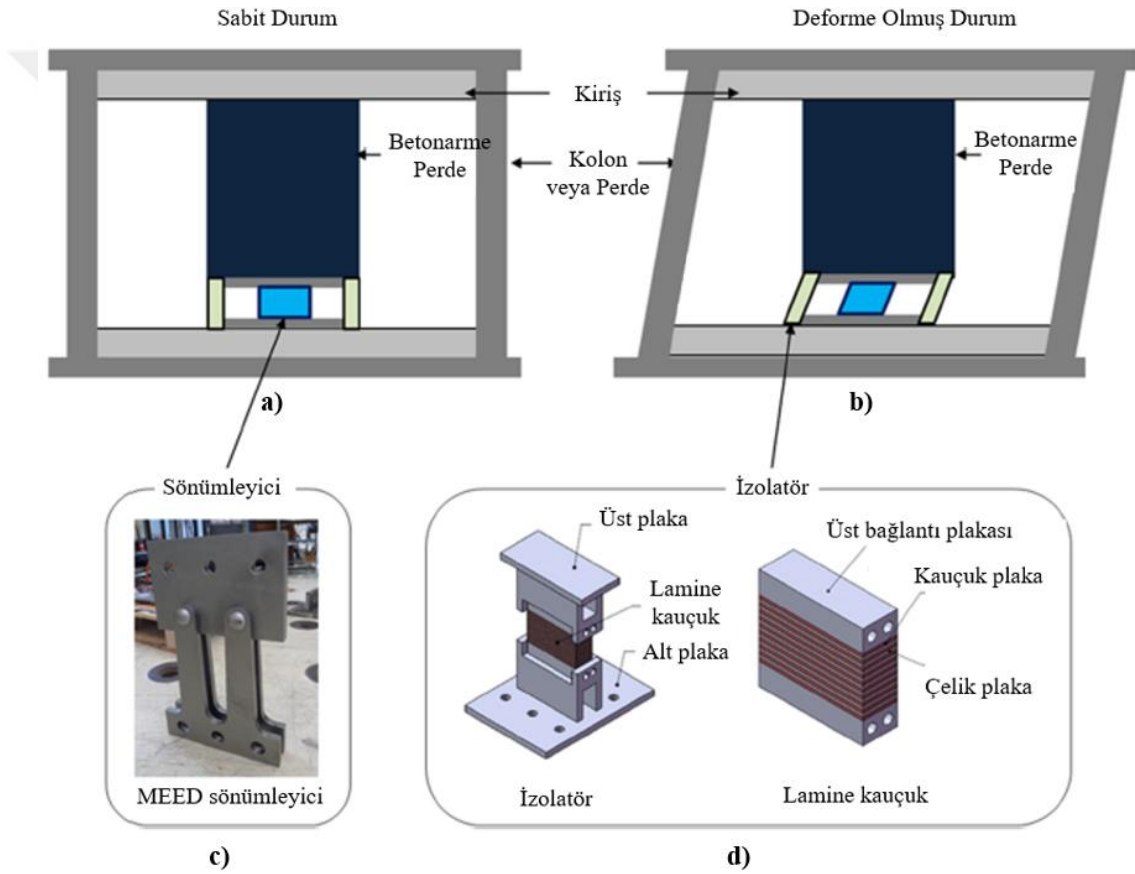


Şekil 2.2 : Kesme yükü altında eksenel kuvvetlere maruz kalan kayma bağlantısı (Sahoo ve Rai, 2010).

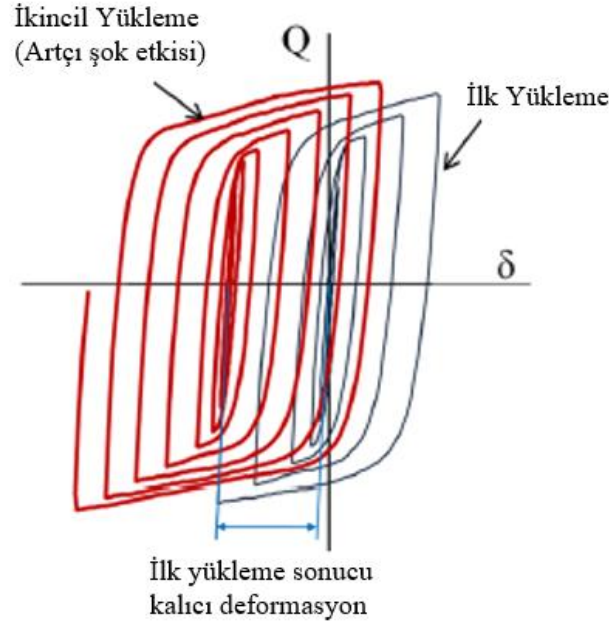
Mahrenholtz ve diğ. (2015) kimyasal ankraj ve sabitleme plakaları ile birlikte mevcut betonarme çerçeveye bağlanan burkulması önlenmiş çaprazların (BÖÇ) sismik yükler altındaki etkinliğini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada BÖÇ'ler, ankraj plakasına kaynatılan guse plakasına bulon ve kaynak yardımıyla bağlanmıştır. Son olarak ankraj plakasını betonarme kolon ve kirişe sabitlemek için ankrajlar kullanılmıştır. Bu tasarım ile birlikte BÖÇ'ler plastik yerdeğiştirme yaptığı sırada bağlantı bölgesinin elastik bölgede kalması amaçlanmıştır. Bağlantı bölgesi tasarımında BÖÇ'lere etkiyen eksenel yükler sonucu oluşan dışmerkezlilik ve deprem yükleri altında betonarme kolon ve kirişlerde oluşan ikincil etkiler dikkate alınmıştır. Deneysel çalışma sonunda BÖÇ'ler ile güçlendirilen betonarme çerçeve numunesinin güçlendirilmemiş çerçeveye göre yaklaşık beş kat daha fazla enerji yuttuğu gözlemlenmiştir. Deneylerde kullanılan ankrajlarda herhangi bir göçme mekanizması gözlemlenmez iken betonarme çerçevede oluşan ikincil yükler sonucunda ankraj plakasının iyi hizalanmamasından kaynaklanan çatlaklar oluşmuştur.

Betonarme binaları ana depreme karşı dirençli hale getirmenin yanı sıra artçı sarsıntılardan dolayı oluşabilecek yapısal hasarı da önlemek için Şekil 2.3'teki gibi betonarme duvar, çelik ve kauçuk sönümleyici içeren bir güçlendirme düzeneği Hyung-Joon Ahn ve diğ. (2016) tarafından önerilmiştir. Betonarme duvarın altına yerleştirilen çelik sönümleyici deprem sırasında enerjiyi yutarak betonarme duvarın elastikliğinin korunmasına olanak verir. Ana malzemesi kauçuk olan deprem izolasyon cihazı betonarme duvarın altında iki adet olacak şekilde yer alır ve duvarın ağırlığını taşır. Böylelikle metalik sönümleyici deprem etkileri altında yalnızca yanal kuvvetlere karşı direnç gösterir. Deneyde bir tanesi referans numune olmak üzere

toplam yedi adet betonarme çerçeve numunesi kullanılmıştır. Numunelere ilk etapta ana depremi simüle edecek olan çevrimsel yükleme verilmiş, sonrasında numunelerde oluşan kalıcı deformasyon değeri referans alınarak yeniden çevrimsel yük etki ettirilmiştir (Şekil 2.4). Yapılan deneyler sonucunda önerilen yapı sistemine uygulanan yükler altında kararlı histeretik davranış sergilemiştir. Enerjinin büyük bölümünün çelik sönümleyici tarafından yutulduğu gözlemlenmiştir. Sönümleyicinin kayma deformasyon açısı %10 radyanın üzerine çıktığında enerji yutma kapasitesi önemli ölçüde azalmıştır. Önerilen sistemin yük taşıma davranışı geleneksel duvar sistemlerinin aksine kesme kuvveti ve eğilme momenti bileşik etkisi tarafından değil, yalnızca kesme kuvveti tarafından yönetilmektedir.



Şekil 2.3 : Çelik ve kauçuk sönümleyici içeren güçlendirme sistemi a) Güçlendirilmiş betonarme çerçeve b) Güçlendirilmiş betonarme çerçevenin deformasyon şekli c) Çelik sönümleyici d) Deprem izolasyon cihazı (Ahn ve diğ, 2016).



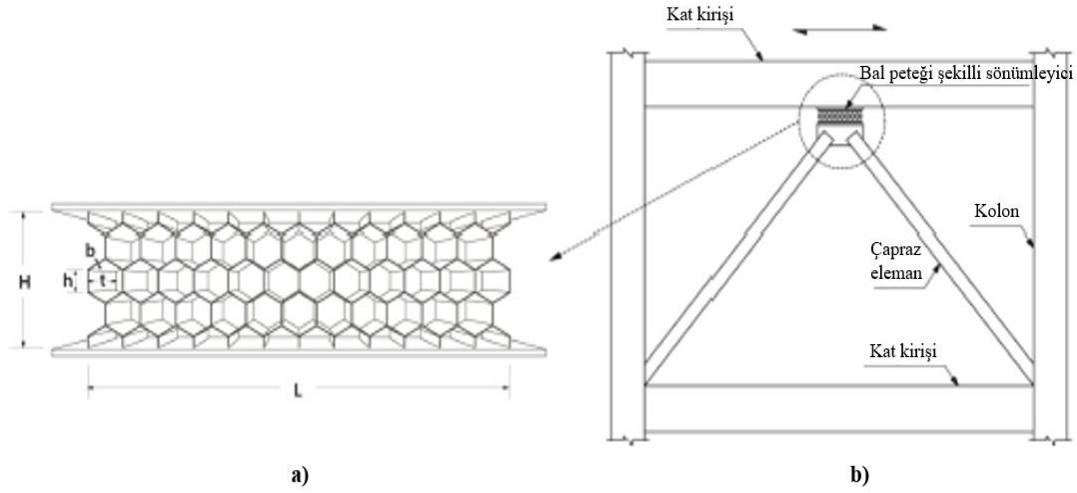
Şekil 2.4 : Artçı şok etkisine ilişkin yükleme protokolü. (Ahn ve diğ., 2016).

Madheswaran ve diğ. (2017) ½ ölçekli gerçek bir bina için sarsma masasında deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. X şekilli sönümleyici ve jeopolimer beton kompozit malzeme kullanılarak binanın deprem performansı incelenmiştir. Bina X doğrultusunda iki açıklıklı, Y doğrultusunda tek açıklıklı olup toplam 3 katlıdır. Her kat 1.6 metre yüksekliğindedir. Binanın zemin katı dışındaki katlarda tuğla dolgu duvar bulunmaktadır. Deprem yüklemesi sonucu hasar gören kolon uçları ve kolon kiriş birleşim noktaları yalnızca donatılar gözükecek şekilde betondan arındırılmıştır. Bu aşamada yapıda bir göçme meydana gelmemesi için ahşap ve çelik elemanlar ile yapının stabilizasyonu sağlanmıştır. Sonrasında hasarlı bölgelere jeopolimer beton (GPC) sürülmüştür. Binanın zemin katında dolgu duvar bulunmadığından dolayı rijitliği arttıran chevron tip çelik elemanlar ile beraber X şekilli metalik sönümleyiciler kullanılmıştır. Deney sonucunda güçlendirilmiş binanın periyodunun, rijitliğin artması sonucunda, kısaldığı görülmüştür. Ayrıca, mevcut ve güçlendirilmiş binanın deneysel ve sayısal analiz sonucu gözlemlenen periyodu birbiriyle benzerlik göstermiştir. Güçlendirilmemiş yapının zemin katındaki kat ötelemesi güçlendirme uygulaması gerçekleştikten sonra %66 azalmıştır.

U şekilli sönümleyicilerin histeretik davranışlarını gerçekçi bir şekilde tahmin eden bir model Atasever ve diğ. (2017) tarafından önermişlerdir. U şekilli sönümleyicinin sonlu elemanlar modeli ABAQUS programında oluşturulmuştur. Sönümleyicinin bağlantısında kullanılan bulon ve çelik plaka gibi bağlantı elemanları plastik

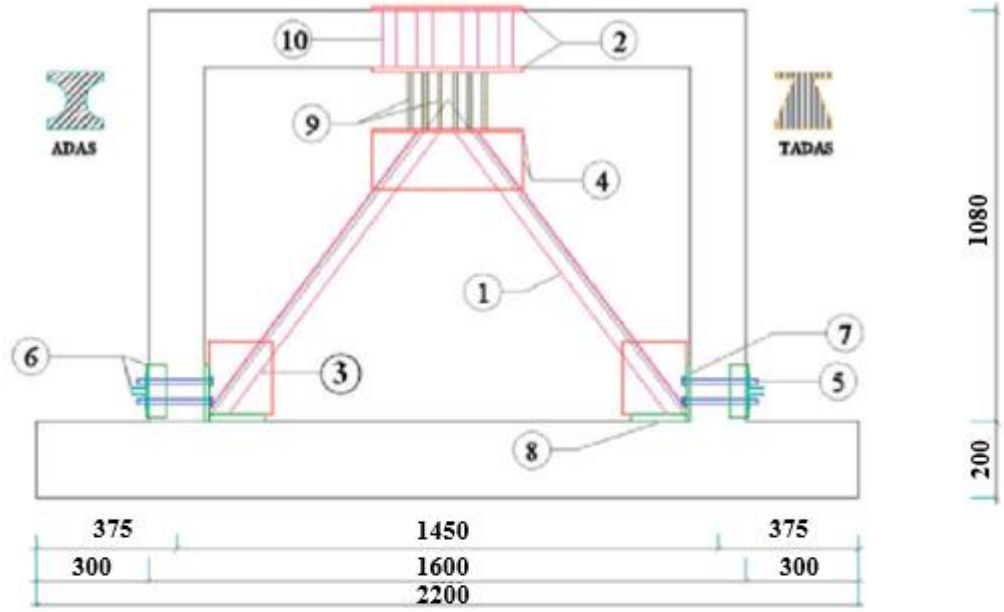
deformasyon yapmayacak şekilde tasarlanacağından bu elemanlar sonlu elemanlar modeline dahil edilmemiştir. Sonlu elemanlar modelinde sönümleyicinin kolları ve kavisli bölümü dikkate alınmıştır. Modellemede sönümleyicinin alt kolu sabit olduğu varsayılırken üst koluna çalışmada belirtilen yükleme protokolü ile yükleme yapılmıştır. Çalışmanın devamında geometrik özellikleri deneysel bir çalışmadan alınan iki katlı çelik bir bina, sabit mesnet ve yenilikçi taban izolasyon sistemi ile iki farklı şekilde sayısal olarak modellenmiş ve sismik tepkileri seçilen dört deprem kaydı için karşılaştırılmıştır. Yenilikçi taban izolasyonu sistemi düşük sönüme sahip kauçuk sönümleyici ve dört adet U şekilli sönümleyiciden oluşmaktadır. Yapılan analizler sonucunda önerilen taban izolasyon sistemi ile oluşturulan yapıda taban kesme kuvveti %90'a varan seviyelerde azalmıştır.

Lee ve diğ. (2017) bal peteği şeklinde çelik sönümleyicinin deprem performansını incelemişlerdir (Şekil 2.5). Sönümleyicinin başlangıç rijitliği ve akma dayanımı değerleri için bağıntılar önerilmiş ve sönümleyici sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek önerilen bağıntılardan elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Petek düzeni ve boyutları farklı olan 12 petek tipi sönümleyici sonlu elemanlar ile incelenmiştir. Sönümleyicilerin alt ve üst plakalarına monoton olarak artan yatay kesme kuvveti uygulanmıştır. Sönümleyici hem kabuk eleman hem katı eleman modelleri ile modellenmiş ve bunun sonucunda kapasitesi daha konservatif tarafta olan kabuk eleman modellemesi ile hesaplar devam edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda petek sönümleyici rijitliğinin petek kalınlığı/yüksekliği oranına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Sönümleyiciden istenen rijitlik ve deformasyon kapasitesi bu oran ve petek sayısı kullanılarak kolaylıkla elde edilebilmektedir. Petek tipi sönümleyici içeren güçlendirme modeli ile 3 ve 15 katlı çerçeveli sistemlerin güçlendirme tasarımları yapılarak yedi adet deprem kaydı altında zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda petek tipi sönümleyicilerin yapının rijitliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Güçlendirilen bina modellerinde kalıcı deplasmanların önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır. Ayrıca, deprem yüklemesi altında petek tipi sönümleyicilerin deprem kuvvetinin önemli bir bölümünü yuttuğu ve bu durumun yapısal elemanlarda daha az hasara yol açtığı ortaya çıkmıştır.

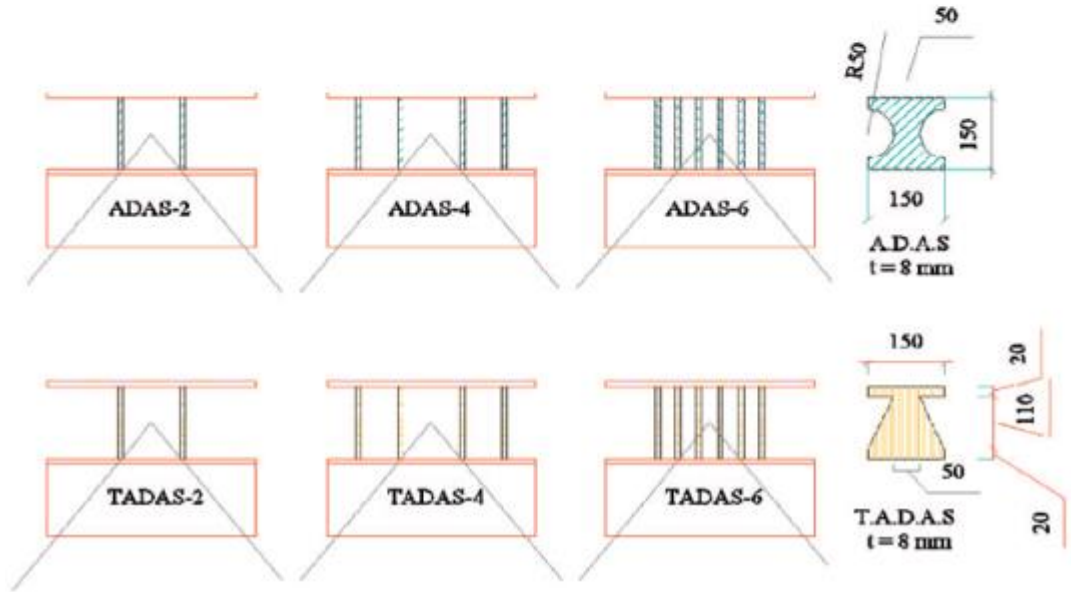


Şekil 2.5 : Bal peteği şeklindeki metalik sönümleyici ve güçlendirilmiş çerçeve şekli
a) Bal peteği şekilli çelik sönümleyici b) Güçlendirilmiş çerçeve sistemi (Lee ve diğ., 2017).

TahamouliRoudsarı ve diğ. (2018) güçlendirme ihtiyacı duyan binalar için chevron tipli çelik çapraz ile ADAS ve TADAS olarak isimlendirilen çelik sönümleyiciler kullanılarak betonarme çerçevelerin çevrimsel yükler altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler kapsamında 7 adet betonarme çerçeve üretilmiş ve bunların altısı chevron tipli çelik çaprazlar ve sırasıyla 2,4 ve 6 adet ADAS ya da TADAS sönümleyiciler ile güçlendirilmiştir (Şekil 2.6). Yükleme protokolü olarak ACI 374-05 esas alınmış olup numunelere yaklaşık %6'nın üzerindeki kayma oranına kadar yükleme yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda güçlendirilmemiş betonarme çerçeveye göre ADAS tipi sönümleyici ile güçlendirilen betonarme çerçevelerin rijitliği, taşıma gücü, sünekliği ve dayanım azaltma faktörü sırasıyla 3.8~5.9, 2.4~3.7, 2.6~2.8 ve 1.9~2.1 kat artmıştır. TADAS tipi sönümleyiciler ile güçlendirilmiş çerçevede ise aynı parametreler sırasıyla 4.1~7.3, 2.3~3.4, 1.8~2.4 ve 1.5~1.7 kat artmıştır. Güçlendirilmiş çerçevelerin enerji yutma kapasiteleri karşılaştırıldığında ADAS tipi sönümleyiciler ile güçlendirilen çerçeveler TADAS tip sönümleyici ile güçlendirilen çerçevelere göre yaklaşık %25 daha fazla enerji yutmuştur. TADAS sönümleyicilerin eşdeğer rijitliği ADAS sönümleyicilerden daha fazladır. Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında TADAS tipi sönümleyicilerin yapının lineer olmayan davranışa geçmediği ya da kısmen geçtiği küçük deprem üreten bölgelerdeki betonarme yapıların güçlendirilmesinde uygun bir alternatif olduğu, ADAS tipi sönümleyicilerin ise yüksek deprem tehlikesi bulunan bölgelerdeki riskli betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.



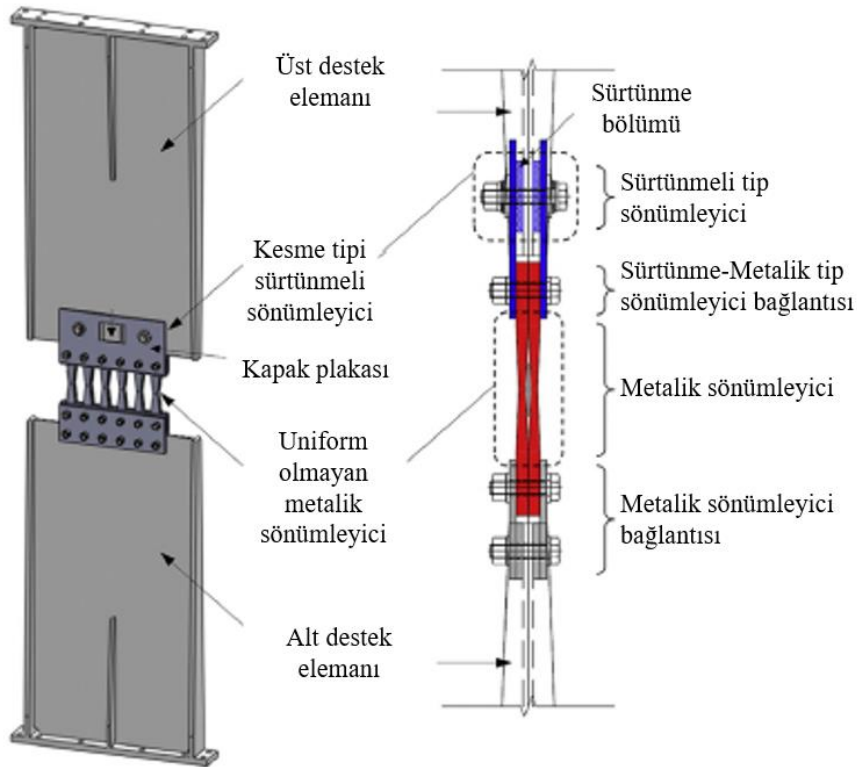
- 1: 2L50-5mm 2: PL400*150*10mm 3: PL190*170*10mm
 4: PL400*150*10mm 5: 4Bolt12 Gr-8.8 6: 4 L40-4mm
 7: PL250*150*10mm 8: PL250*150*20mm 9: ADAS or TADAS
 10: PL150*40*3mm



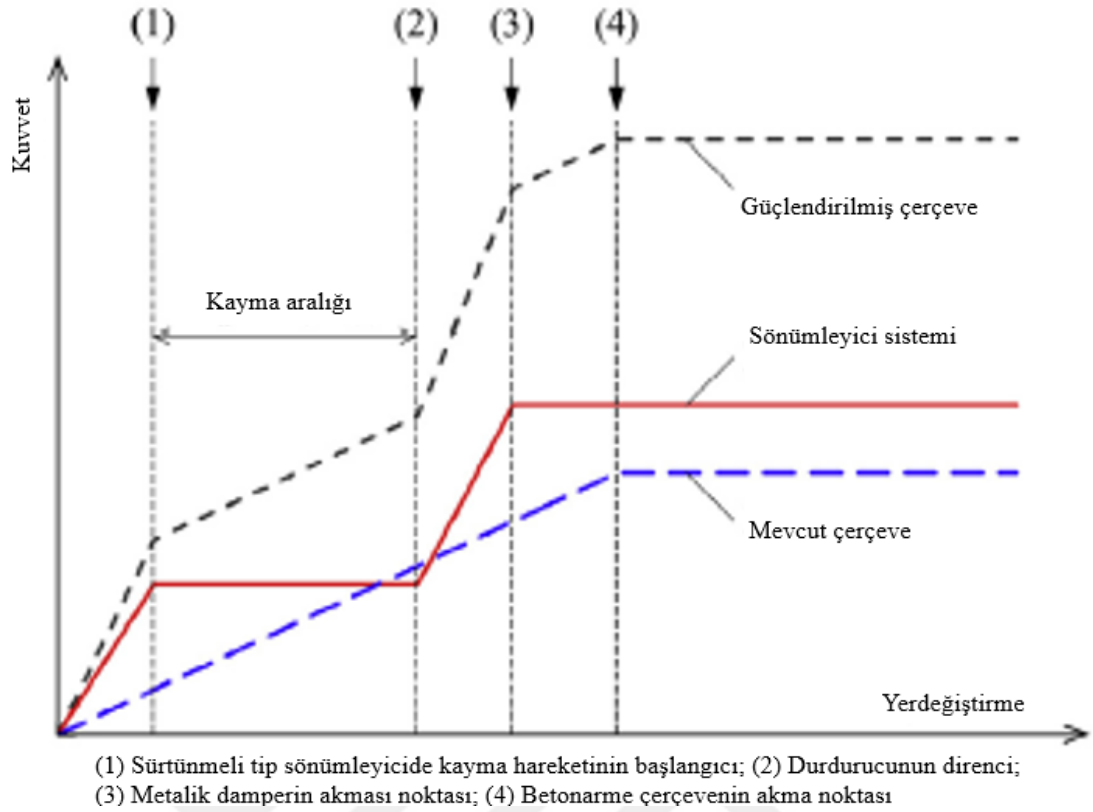
Şekil 2.6 : ADAS ve TADAS sönümleyiciler ile güçlendirilmiş betonarme çerçeve numuneleri (TahamouliRoudsari ve diğ., 2018).

Duvar tipi hibrit sönümleyici içeren betonarme çerçevelerin çevrimsel yükler altında etkinliği Lee ve diğ. (2018) tarafından araştırılmıştır. Önerilen güçlendirme sistemi metalik sönümleyici, sürtünme elemanı ve düşey olarak konumlanan çelik elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 2.7). Bu tipte bir sönümleyicinin betonarme çerçeveye eklenmesi ile birlikte ortaya çıkması beklenen davranış Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Duvar tipi sönümleyiciye etkiyen kesme kuvveti belirli bir değere

ulaştığında sürtünme elemanı kayma hareketine başlar. Bu elemandaki kayma hareketi belirli bir deplasmana ulaştıktan sonra sürtünme hareketi sona erer ve duvar tipi sönümleyicinin rijitliği tekrar artış eğilimi gösterir. Bu aşamadan sonra metalik sönümleyicide gelişen akma davranışı ile birlikte plastik deformasyon yolu ile enerji yutulur. Son olarak da betonarme çerçeve elemanlar devreye girerek elastik ötesi bir davranış gösterirler. Duvar tipi sönümleyici ile güçlendirilmiş çerçevenin bu davranışı birçok eleman ile kontrol altına alınmış olur ve böylelikle sistemi oluşturan elemanlarda oluşacak hasarlarda düşüş gözlemlenmesi beklenmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada, Güney Kore’de bulunan ve yalnızca ölü yükler göz önüne alınarak tasarlanmış bir okul binasının çerçevelerini temsil eden beş adet betonarme çerçeve numune üzerinde durulmuştur. Çerçevelere uygulanan yükleme protokolü için ACI 374.1-05 referans alınmış ve çerçevelere %2.75’lik kat öteleme oranına kadar kademeli şekilde çevrimsel yükleme yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada güçlendirilmiş çerçevelerin güçlendirilmemiş çerçeveye göre 2.04~2.71 kat arasında dayanım artışı gözlemlenmiştir. Numunelerin çatlak oluşumları kendi aralarında benzerlik göstermiştir. Özellikle kolonlardaki ileri düzeydeki çatlaklar %1.75 kat öteleme oranından sonra belirgin hale gelmiştir. Güçlendirilmiş çerçeveler güçlendirilmemiş çerçeveye göre 4.01~7.68 kat daha fazla enerji yutmuştur.



Şekil 2.7 : Hibrit sönümleyici düzeneği (Lee ve diğ., 2018).



Şekil 2.8 : Mevcut ve güçlendirilmiş çerçevenin yük-yerdeğiştirme ilişkisi (Lee ve diğ., 2018).

Geleneksel ve boşluklu ince çelik levhaların betonarme çerçevelere entegre edilerek çevrimsel yükler altındaki performansı deneysel olarak incelenmiştir (TahamouliRoudsari ve diğ., 2019). Bunun için aynı ölçek ve malzeme dayanımlarında 5 adet betonarme çerçeve numunesi üretilmiştir. Beş betonarme çerçeve numunesinin ikisinde boyutları farklı boşluklu levhalar bulunurken, diğer ikisinde de geleneksel çelik levhalar bulunmaktadır. Geriye kalan bir betonarme çerçeve numunesi ise levhaların performansının incelenmesi amacı ile güçlendirilmemiştir. Deney sonucunda güçlendirilmiş çerçevelerde, güçlendirilmemiş çerçeveye göre 1.2~1.9 kat arasında kapasite artışı gözlemlenmiştir. Levhaya boşluk açmak maksimum dayanımı ortalama %9 oranında azaltmıştır. Mevcut betonarme çerçeveye göre güçlendirilmiş çerçevelerin rijitliğinde 1.4~3.3 kat arasında artış gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş betonarme çerçevelerde çevrimsel yükleme sonucu oluşan hasar şekillerine bakıldığında levhaların çerçeve kirişi boyunca ankrajlandığı yerde çatlak sayısı oldukça az iken levha ile kolon kiriş birleşim bölgesine kadar olan kısımda çatlakların yoğun olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı geometrik özelliklere sahip boşluklu çelik sönümleyicilerin yük altındaki davranışları analitik ve deneysel olarak incelenmiştir (Kafi ve Nik-Hoosh, 2019). Analitik bölümde elastik rijitliğin hesaplanması için boşluklu çelik sönümleyicilerin sahip olduğu çelik dış kalınlığı, uzunluğu ve genişliğinin yanı sıra çelik sönümleyicinin elastisite modülüne bağlı olan bir bağıntı geliştirilmiştir. Buna ek olarak çelik sönümleyicilerde burkulma ya da kesme davranışının hâkim olması halindeki akma kuvveti ve deformasyonu için bir bağıntı önermişlerdir. Deneysel bölümde ise elastik rijitliğin ve akma dayanımının en kritik parametrelerinden olan boşluklu çelik sönümleyicinin dış boyutu ve sayısının genel davranışa etkisinin incelenmesi amacıyla 7 farklı numune üzerinde çalışılmıştır. Çelik sönümleyicilerin yerleştirildiği çelik çerçeve düzeneğine kademeli olarak 40 mm deplasman yapacak şekilde çevrimsel olarak yük etki ettirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda dış yüksekliği/dış yatay uzunluğu (h/b) oranının azaltılması durumunda dışlerdeki hâkim davranış olan burkulma davranışının yerini kesme davranışına bıraktığı gözlemlenmiştir. Çelik sönümleyicideki dış sayısını arttırmanın sönümleyicide gözlemlenen maksimum yerdeğiştirmeyi azalttığı gözlemlenmiştir. Çalışmada, sönümleyicideki h/b oranının gereğinden yüksek olması durumunda sönümleyicinin yeterli deformasyonu yapamadan deprem enerjisini yutamamasını önlemek için optimum h/b oranı önerilmiştir. Dış sayısının fazla olduğu ve h/b oranının belli bir oranda düşük olduğu numunelerde diğer numunelere göre enerji yutma kapasitesinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Chukka ve M. Krishnamurthy (2019) X şeklindeki metalik sönümleyici ve viskoz tip sönümleyicinin sismik yükler altındaki performansını karşılaştırmış ve sönümleyicinin bina içerisindeki konumunun bina davranışına etkisini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında beş, sekiz ve on katlı betonarme binaların farklı bölgelerine sönümleyiciler yerleştirilmiş ve yedi deprem kaydı göz önüne alınarak zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Metalik sönümleyicinin modellenmesinde plastik (Wen) bağlantı elemanı kullanılmıştır (Bakre ve diğ., 2006). Yapılan analizler sonucunda viskoz tip sönümleyicinin çatı deplasmanı azaltmada metalik sönümleyiciye göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Metalik tip sönümleyicinin enerji yutma kapasitesi viskoz sönümleyicinkinden daha fazla olduğu saptanmıştır. Düşük ivme değerlerine sahip depremlerde viskoz tip sönümleyici daha fazla enerji yutarken yüksek ivme değerlerine sahip depremlerde

metalik sönümleyici daha fazla enerji yutmuştur. Yapının tüm katlarına sönümleyici yerleştirilen bina modelinde maksimum çatı yerdeğiştirmesinde, göreceli kat ötelemelerinde ve enerji değerlerinde daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

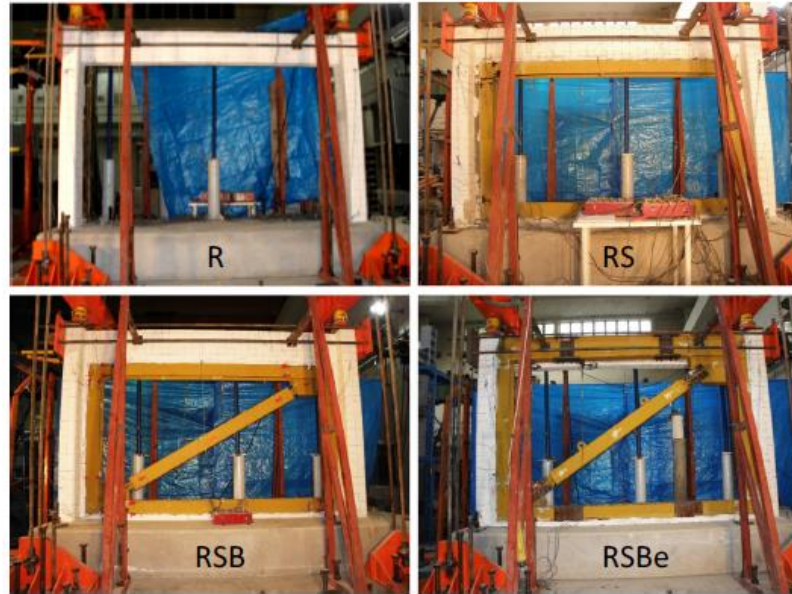
TADAS tipi sönümleyicilerin yapı davranışına ve taşıyıcı sistem elemanlarındaki hasar durumuna olan etkisi Saghafi ve diğ. (2019) tarafından incelenmiştir. Opensees programında oluşturulan sayısal modelin doğruluğunun anlaşılması için Tsai ve diğ. (1993) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadaki TADAS sönümleyici içeren betonarme çerçeveler referans olarak alınmıştır. Opensees ortamında oluşturulan çerçeve modelinin deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sonrasında sünek olmayan detaylara sahip 4, 7 ve 10 katlı mevcut ve sönümleyici ile güçlendirilmiş binaları zaman tanım alanında analiz yöntemi ile analiz etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda güçlendirilmiş yapıların maksimum yerdeğiştirmesinde ve kat deplasmanlarında azalmalar görülmüştür. Güçlendirilmiş modellerdeki taban kesme kuvveti %7~%10 arasında azalmıştır. Taban kesme kuvvetinin yapının rijitlik ve sönümleme yeteneğindeki artışa bağlı olarak artabildiği ya da azalabildiği sonucuna varılmıştır. Güçlendirilmiş binalardaki taşıyıcı elemanların birçoğu hemen kullanım (IO) ve can güvenliği (LS) performans seviyesini sağlamaktadır.

Maida ve diğ. (2019) Japonya'daki betonarme binalarda sıklıkla kullanılan ve yapısal olmayan eleman olarak sınıflandırılan hafif betonlu betonarme duvar ile çelik sönümleyici içeren bir güçlendirme sistemi önermişlerdir. Deneysel çalışma için üretilen 1/2 ölçekli betonarme çerçeveler Japonya'nın 1981 tarihli "Building Standard Law of Japan" koduna uygun olarak yapılan 10 katlı bir binadan alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yalnızca duvar içeren betonarme çerçeve numunesi 1/300 öteleme oranında dayanımına ulaşmış ve numunede büyük kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Duvar elemanının orta ve alt uç tarafına sönümleyici eklenmiş betonarme çerçeve modelleri ise referans numuneye göre daha sünek bir davranış göstermiştir. Duvarın orta kısmına eklenen sönümleyicide gözlemlenen deformasyon duvarın ucuna eklenen sönümleyicide gözlemlenen deformasyona göre daha fazladır. Dolayısıyla çelik sönümleyicinin duvar ortasına eklenmesinin daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Deneysel çalışmada sönümleyici içeren numunenin birinde beklenmedik bir şekilde bağlantı noktalarında hasar meydana gelmiş ve sönümleyicinin kesme ve burulma etkilerine maruz kaldığı gözlemlenmiştir.

Metal plaka, kauçuk malzeme ve U şekilli metalik sönümleyici içeren güçlendirme konfigürasyonlarının çevrimsel yükler altında davranışları Rahnavard ve diğ. (2020) tarafından incelenmiştir. Çalışma kapsamında betonarme çerçeve arasındaki metal plakalar sabit tutulmuş olup metalik sönümleyici ve kauçuk malzemenin etkinliği araştırılmıştır. U şekilli metalik sönümleyici içeren konfigürasyonların betonarme çerçevenin kesme kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. U şekilli sönümleyicide kullanılan çeliğin akma dayanımı arttıkça betonarme çerçevenin kesme dayanımında da artış gözlemlenmiştir. Buna karşın, betonarme çerçevenin enerji yutma kapasitesinde kayda değer bir değişiklik olmamıştır. U şekilli metalik sönümleyici ve kauçuk malzemenin birlikte kullanıldığı güçlendirilmiş betonarme çerçeve diğer konfigürasyonlara göre daha fazla kesme ve enerji yutma kapasitesine sahiptir. Mevcut ve güçlendirilmiş betonarme çerçevede oluşan çekme yükleri altında gözlemlenen deformasyon şekillerinde ise kayda değer bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Çalışma sonunda 4 katlı bir binada zaman tanım alanında analizler yapılmış ve incelenen güçlendirme konfigürasyonlarının etkinliği araştırılmıştır. Örnek yapıda gözlemlenen kat ötelemeleri tüm konfigürasyonlar için benzer değerlere sahip olmakla birlikte dağıtılan enerji miktarı farklılık göstermiştir. Kauçuk malzemeli konfigürasyonların yalnızca metalik sönümleyicinin bulunduğu konfigürasyonlardan daha fazla enerji yuttuğu gözlemlenmiştir. Kauçuk malzeme ve metalik sönümleyicinin birlikte kullanılarak güçlendirilen bina modeli diğer güçlendirme modellerine göre daha fazla süneklığe ve dolayısıyla daha fazla enerji yutma kapasitesine sahiptir.

Sutcu ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada betonarme sistemin rijitliğini ve çevrimsel yükler altında tekrar merkezlenme kapasitesini arttırmak için burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ) ve çelik çerçeve içeren bir güçlendirme sistemini deneysel olarak ilk kez Türkiye’de incelemişlerdir. Çalışmada Türkiye’de bulunan betonarme taşıyıcı sisteme sahip 5 katlı okul binasının zemin katında bulunan betonarme çerçeve neredeyse bire bir ölçek ile imal edilmiştir. Bu tür binalarda güçlendirme gereksinimi genellikle uzun doğrultuda ve kolonların zayıf yönünde olduğu için deney numunelerindeki kolonlar da zayıf yönde çalışacak şekilde üretilmiştir. Yapılan deneylerde 4 çeşit numune incelenmiştir. Bunlar sırasıyla mevcut betonarme çerçeve (R model), kapalı çelik çerçeveli betonarme çerçeve (RS model), kapalı çelik çerçeve ve BÖÇ içeren betonarme çerçeve (RSB model), eksantrik kapalı çelik çerçeve ve

BÖÇ (RSBe model) içeren betonarme çerçeve numuneleridir (Şekil 2.9). Kapalı çelik çerçeve %1 kat öteleme oranına kadar elastik kalacak şekilde tasarlanmıştır. Numuneler, Japonya Bina Afetlerini Önleme Kurumu (JBDPA) tarafından belirtilen hedef kat öteleme oranı 1/150 ve uluslararası deprem yönetmeliklerinde yer alan can güvenliği performans düzeyine karşılık gelen kat öteleme oranına (%1) kadar çevrimsel olarak önerilen yükleme protokolü uygulanmıştır. Daha sonrasında yüksek deformasyonlardaki davranışın da incelenmesi adına %3 kat öteleme oranına kadar numuneye yükleme yapılmıştır. Deney sonucunda çelik çerçeve ve BÖÇ içeren numunelerin güçlendirilmemiş numuneye göre 9 kat daha fazla yanal dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir. Hedef kat ötelemesine kadar kapalı çelik çerçevedeki gerilmeler akma dayanımının altında olduğu için çelik çerçeve tasarlandığı gibi elastik davranış göstermiştir. Dolayısıyla çelik çerçevenin merkezlenmeye olumlu katkısı belirlenmiştir. Deney sonucunda incelenen bir diğer parametre de eşdeğer sönüm oranıdır. Bu değer RSB ve RSBe modelleri için yaklaşık %17'dir. Bu değer RS ve R modellerinin eşdeğer sönüm oranının 3 katına karşılık gelmektedir. Çalışmada betonarme çerçeve ve çelik çerçeve arasındaki kompozit davranış da incelenmiş ve çelik çerçeve ile harç arasındaki etkileşimi yansıtan bir yarı kompozit model önerilmiş, önerilen modelin deney sonuçları ile uyumlu olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Deneyde kullanılan betonarme çerçeve numuneleri (Sutcu ve diğ., 2020).

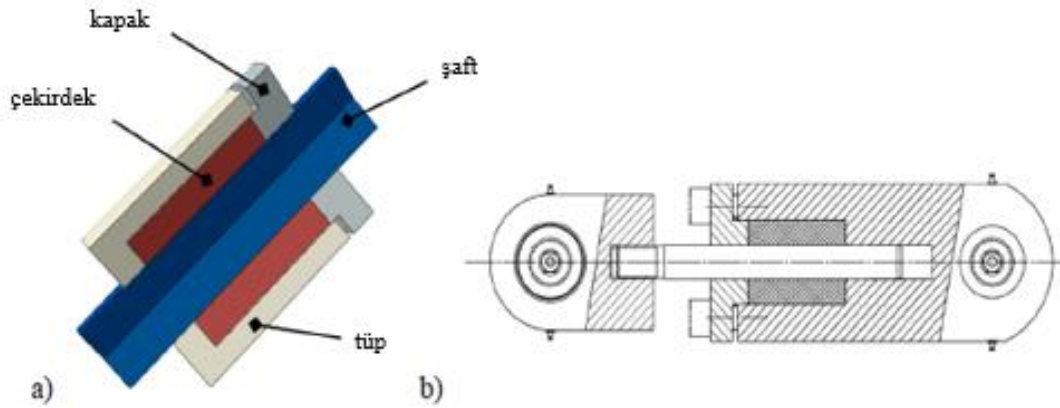
Kim ve Kim (2021) R şekilli bir çelik sönümleyici geliştirmiş ve incelemişlerdir. Çalışmada R şekilli sönümleyicinin performansını karşılaştırmak amacı ile U şekilli bir sönümleyicinin performansı da incelenmiştir. Faz 1 testinde çelik sönümleyicilere

hedef deplasman 15 mm olacak şekilde bir yükleme uygulanmıştır. Faz 1 deneyinin sonucunda R tipi sönümleyici U tipi sönümleyiciden 3.9 kat daha fazla kesme kapasitesine ve yaklaşık 4 kat daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, numunelerde gözlemlenen deformasyon şekli düzlem içi ve dışı burkulma olmadığını gösterir niteliktedir. Faz 2 testinde R tipi sönümleyici, deprem sırasında kolayca hasar görebilen ve genellikle iki perde arasında yer alan bağ kirişe entegre edilerek betonarme elemanlardaki performans incelenmiştir. Deney sonucunda sönümleyici içeren kirişte %3'lük kayma açısına kadar neredeyse hiç çatlak gözlemlenmemiştir. Sönümleyici ile güçlendirilmiş kirişin eşdeğer sönüm oranı %48.6 olarak tespit edilmiştir. Sönümleyici içermeyen numunede ise %1.3 kayma açısında büyük çatlaklar gözlemlenmiş ve deney sonlandırılmıştır.

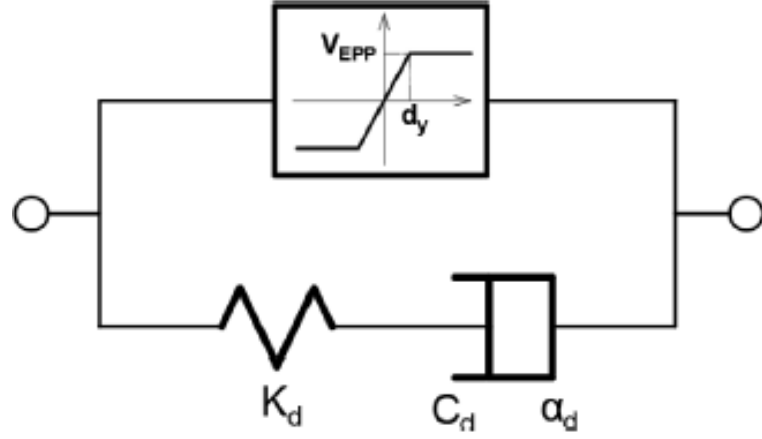
Kang-Seok Lee ve diğ. (2022) düzlem dışı deprem kuvvetlerine ve burkulma etkilerine karşı dirençli WSCS (window-type seismic control system) olarak adlandırılan bir güçlendirme modeli önermişlerdir. Bu sistem H kesitli çelik elemanlardan ve burkulmaya karşı dirençli çelik sönümleyicilerden oluşur. Çalışma kapsamında ilk olarak sönümleyici üzerinde çevrimsel testler yapılmıştır. Sönümleyicinin deplasman yaparak enerjiyi yuttuğu ve yeterli performans sunduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın devamında 1980'li yıllarda inşa edilen betonarme bir okul binasında bulunan örnek çerçeve tam ölçekli 2 adet olacak şekilde üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışma kapsamında numunelere sırasıyla 200 ve 400 cm/s² olarak ivmeler etki ettirilmiştir. Güçlendirilmemiş çerçeve numunesine PGA (En yüksek yer ivmesi) değeri 200 cm/s² etki ettiğinde numunede kesme çatlakları ve sonrasında ise göçme gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş numunede ise PGA değeri 200 cm/s² deprem kaydı etkisi altında sınırlı sayıda eğilme çatlağı belirlenmiştir. PGA değeri 400 cm/s² olan deprem yüklemesi yapıldığında ise kesme ve eğilme çatlakları belirginleşmiştir. Güçlendirilmemiş numunede sistemin göçme modunu kesme davranışı kontrol ederken güçlendirilmiş numunede eğilme davranışı kontrol etmektedir. Bu istenen bir durumdur. Çalışma sonunda doğrusal olmayan dinamik analiz ile aynı numuneler aynı yüklemeler altında analiz edilmiştir. Sonuç olarak deneysel çalışma ile sayısal çalışmanın birbirine yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Deprem sonrasında hasar gören binalar için Zhao ve diğ. (2022) tarafından bir güçlendirme sistemi önerilmiştir. Çalışmada hasar görmüş betonarme çerçevelerin Şekil 2.10'da verilen boşluklu dışmerkez çapraz sistemi (GESB) ile hızlı bir şekilde

Bruschi ve Quaglini (2022) betonarme binaların depreme karşı güçlendirilmesi için PS-LED (Prestressed LEad Damper with Straight Shaft) olarak adlandırılan düz mil, boru, kapak ve kurşun çekirdekten oluşan yeni bir histeretik sürtünmeli tip sönümleyici önermişlerdir (Şekil 2.11). Önerilen sönümleyici farklı hızlarda çevrimsel yükler altında denenmiş ve yük-deformasyon ilişkisi ortaya çıkartılmıştır. Bu ilişki göz önüne alındığında önerilen sönümleyicinin modellenmesi basit bir reolojik model ile yapılmıştır. Bu model F1 kuvveti ile ilişkili elasto-plastik davranışa sahip doğrusal olmayan bir yay ve F2 kuvveti ile ilişkili doğrusal bir yay ve bir sönüm serisinden oluşur (Şekil 2.12). Ayrıca, sönümleyicinin çelik çapraz elemanlar ile birlikte kullanıldığı konfigürasyonlarda bu sisteme ek olarak seri bağlı ek bir yay da eklenmelidir. Çalışmanın devamında önerilen sönümleyicinin deprem performansının incelenmesi amacıyla İtalya’da orta/yüksek deprem riskine sahip bölgede bulunan ve yalnızca düşey yükler esas alınarak tasarımı yapılmış 4 katlı konut binası incelenmiştir. Sönümleyici ile güçlendirilen yapının göreceli kat ötelemelerinde önemli miktarda düşüş gözlemlenmiştir. Güçlendirilen bina modelinde katlarda oluşan kesme kuvveti değerlerinde ise kayda değer bir değişiklik olmamıştır. Çalışmanın sonunda PS-LED sönümleyicinin geleneksel çelik sönümleyicilere göre daha yüksek sönümleme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.



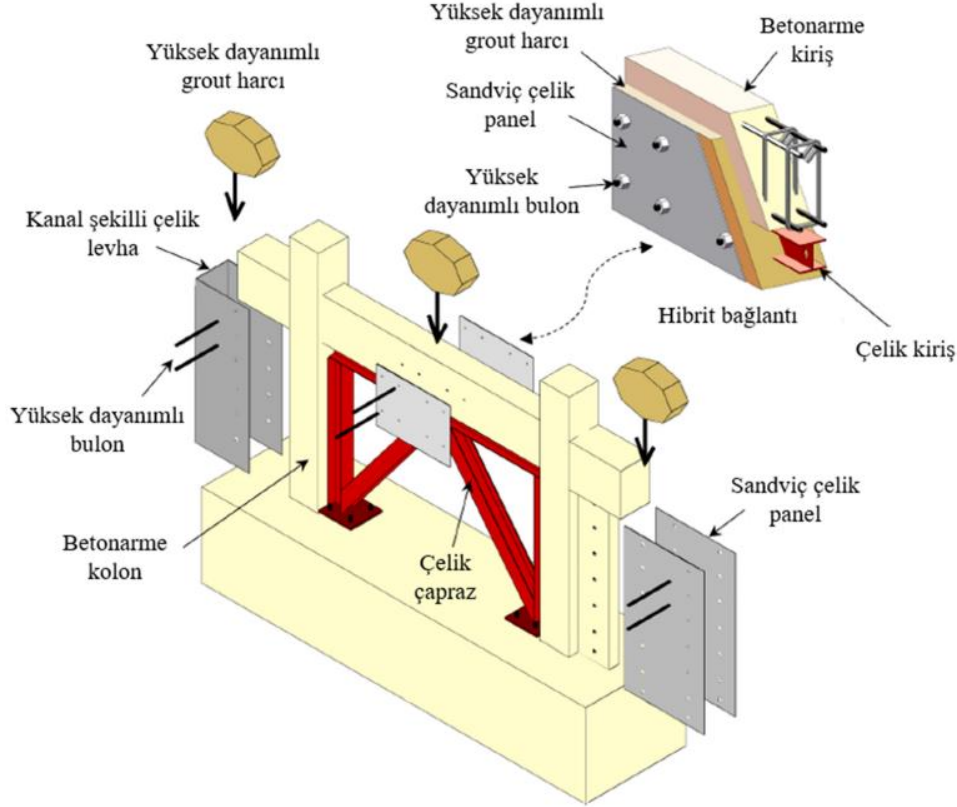
Şekil 2.11 : PS-LED sönümleyici a) PS-LED sönümleyiciyi oluşturan ana bileşenler
b) sönümleyicinin uzunlamasına kesiti (Bruschi ve Quaglini, 2022).



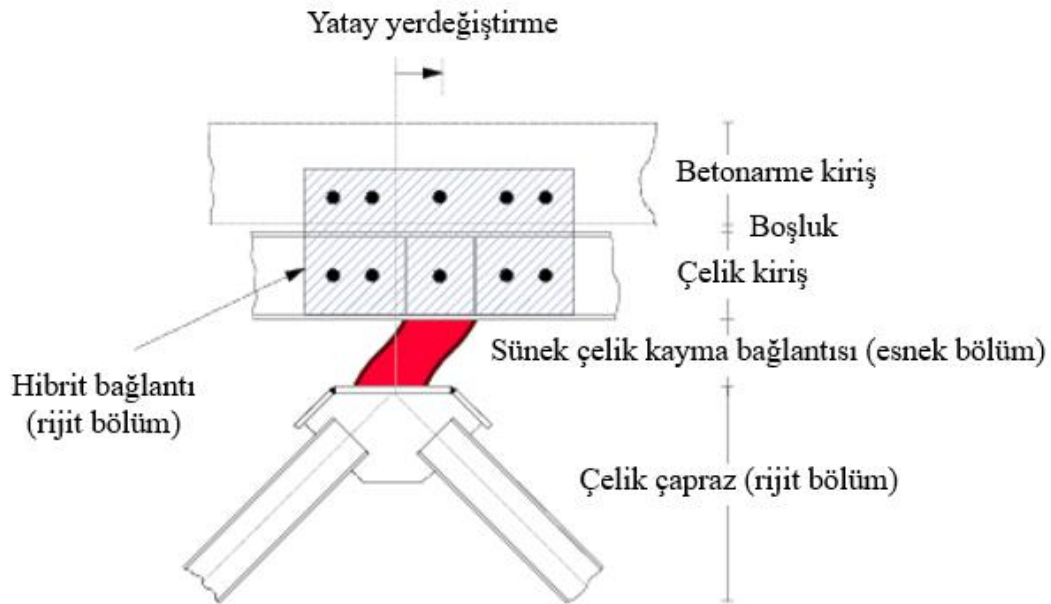
Şekil 2.12 : PS-LED sönümleyici için önerilen sayısal modelleme (Bruschi ve Quaglini, 2022).

Mevcut betonarme çerçevenin deprem etkisi altında yapısal davranışını iyileştirmek için çelik çerçeve, çelik çapraz ve düşey kayma elemanı içeren bir güçlendirme sistemi Javadi ve diğ. (2023) tarafından önerilmiştir (Şekil 2.13). Mevcut çerçeve ile sonradan eklenecek olan güçlendirme elemanlarının arasında güçlü bir bağlantı sağlanmasının yanı sıra mevcut çerçevenin kolon ve kiriş elemanlarının kesme dayanımlarını arttırmak için hibrit bir bağlantı türü önerilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen hibrit bağlantı sistemi ve kayma bağlantısında beklenen deformasyon şekli Şekil 2.14'teki gibidir. Önerilen hibrit bağlantı için mevcut çerçeve ve güçlendirme kirişine aynı hizada delikler açılmıştır. Deliklerin üzerine yerleştirilen çelik paneller yüksek dayanımlı bulonlar ile birlikte sabitlenmiştir. Son olarak çelik levha ile mevcut çerçeve arasında kalan boşluğa yüksek dayanımlı harç dökülerek hibrit bir bağlantı oluşturulmuştur. Çalışmada, 4 adet betonarme çerçeveye %5 öteleme oranına kadar çevrimsel yükleme yapılmıştır. Bu çerçevelerin biri referans betonarme çerçeve iken geri kalan üç çerçeve ise farklı şekilde sönümleyici ve farklı düzende çelik eleman içeren güçlendirilmiş çerçevelerdir. Yapılan deneysel çalışmada güçlendirilmiş çerçevelerin yanal rijitliği, dayanımı ve sünekliğinde artış gözlemlenmiştir. Önerilen hibrit bağlantı düzeneği sayesinde mevcut kirişte oluşan kesme kuvvetinin güvenli bir şekilde kesme plakasına aktarıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu bağlantı sayesinde mevcut betonarme elemanlardaki kesme göçmesi durumunun engellendiği görülmüştür. Çalışmanın sonunda, birinci katında yumuşak kat düzensizliğine sahip 4 katlı bir binanın güçlendirme öncesi ve sonrası durumu için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda mevcut binanın birinci katında deprem yüklemesi altında büyük deplasmanlar ve göçme durumunda

olan elemanlar gözlemlenmiştir. Çalışmada önerilen yöntem ile yalnızca ilk katı güçlendirilen binada ise yanal dayanım ve rijitlik artmış, kat ötelemesi %1 ile sınırlı kalmıştır.



Şekil 2.13 : Çelik çaprazlı çerçeve ve hibrit bağlantılarla güçlendirilmiş bir betonarme çerçevenin şematik gösterimi (Javadi ve diğ., 2023).



Şekil 2.14 : Kayma bağlantısında oluşması beklenen deformasyon şekli (Javadi ve diğ., 2023).

2.2 Metalik Sönümleyicilere İlişkin Çalışmalara Ait Genel Değerlendirmeler

Bu bölümde son zamanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşmaya başlayan metalik sönümleyicilere ait çalışmalar değerlendirilmiştir. Metalik sönümleyicilerin şeklinin, malzeme dayanımının, mevcut elemana bağlanış şeklinin metalik sönümleyicinin enerji yutma kapasitesine ve çevrimsel davranış biçimine etki ettiği görülmüştür. Binanın ihtiyacına göre farklı boyutlarda ve adette metalik sönümleyici kullanılabilir. Metalik sönümleyiciler yapıya ek sönüm katarak yapıya etkiyen deprem kuvvetini azaltır. Ayrıca, bazı çalışmalarda betonarme çerçeve içerisinde kullanılan metalik sönümleyicilerin, çerçevenin dayanımını ve rijitliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarda metalik sönümleyicilerin standart altı binaların depreme karşı performansını önemli miktarda iyileştirebileceği ortaya konulmuştur. Burada sözü edilen metalik sönümleyiciler dışında, gerek farklı malzemeler ile gerekse farklı konfigürasyonlarda/geometrilere metalik sönümleyicilerin geliştirilmesine devam edilmektedir. Bu türden elemanların gelişiminin en önemli nedenlerinden biri diğer türden sönümleyicilere göre daha ekonomik olmaları ve rahatlıkla uygun detayların kullanılması ile yapılara uygulanabilmeleridir.



3. BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE BAĞLANTI ELEMANI OLARAK YENİLİKÇİ BİR ANKRAJ KULLANIMI

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirmesi sırasında mevcut taşıyıcı eleman ile sonradan eklenen taşıyıcı eleman (bu çalışmada kullanılacak olan U şekilli sönümleyiciler) arasında yük aktarımını sağlayan kimyasal ankrajlar sıklıkla kullanılmaktadır; bu nedenle, olası ankraj sistemleri hakkında kısaca bilgi verilmesi hedeflenmektedir. Kimyasal ankrajlar kolay uygulanabilir yapıdadır ve hızlı bir şekilde kürlenerek yüksek yapışma mukavemeti değerlerine ulaşır. Özellikle deprem etkilerinin yoğun olduğu bölgelerde kimyasal ankrajlar, çatlamış betonda etkili performans göstermesi nedeniyle tercih edilir. Ankraj ekimi sırasında ankraj deliğinin iyi temizlenmemesi, delik yüzeyinin nemli kalması, yüksek ortam sıcaklığı nedeniyle epoksinin kimyasal yapısının bozulması gibi etkenler ankraj ile mevcut beton arasındaki aderansı azaltacağından dolayı ankrajların hesap dayanımı değerlerine ulaşmadan göçmesine neden olabilir. Bu yüzden ankraj ekimi işlemi gerçekleşirken işçilik ve çevre koşulları kontrol edilmelidir.

Günümüzde, geleneksel ankrajların kesme ve çekme dayanımını hesaplamak için kullanılan standartlar ve yönetmelikler bulunmaktadır. Ülkemizde ankraj dayanım hesapları TSE tarafından yayınlanan TS EN-1992-4 standardı esas alınarak yapılabilir. TS EN-1992-4'e göre ankrajların çekme, kesme ve bu iki kuvvetin aynı anda etki ettiği durumda farklı tipte göçme modları bulunmaktadır.

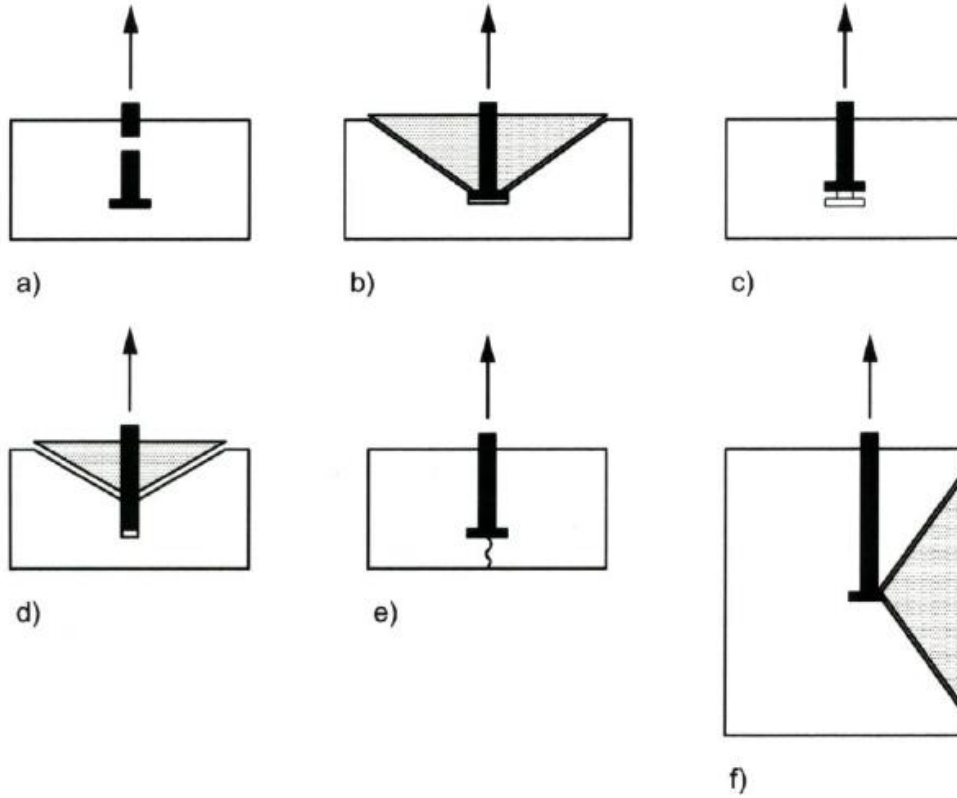
3.1 Geleneksel Ankraj

3.1.1 TS EN 1992-4'e göre geleneksel ankrajların çekme yükleri altındaki göçme modları

TS EN-1992-4'e göre çekme yükü etkisinde başlı ve art montajlı bağlantı elemanlarının olası göçme şekilleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Şekil 2.1'de belirtilen sıyrılma hasarı ve beton patlama hasarı mekanik ankrajların çekme kontrolünde göz önüne alınır. Beton yarıma hasarı ankrajların montajı sırasında gözlemlenir. TS EN-1992-4'e göre kimyasal ankrajların çekme yükleri

altındaki göçme modları bağlantı elemanı çelik göçmesi, betonun konik kopma durumu ve birleşik sıyrılma ve beton kopma göçme durumudur.



Şekil 3.1 : Çekme yükü etkisinde başlı ve art montajlı bağlantı elemanlarının göçme şekilleri a) Çelik göçmesi b) Beton konik kopma göçmesi c) Sıyrılma göçmesi d) Kimyasal bağlı bağlantı elemanlarının birleşik sıyrılması ve beton göçmesi e) Beton yarılma göçmesi f) Beton patlama göçmesi (TS EN 1992-4).

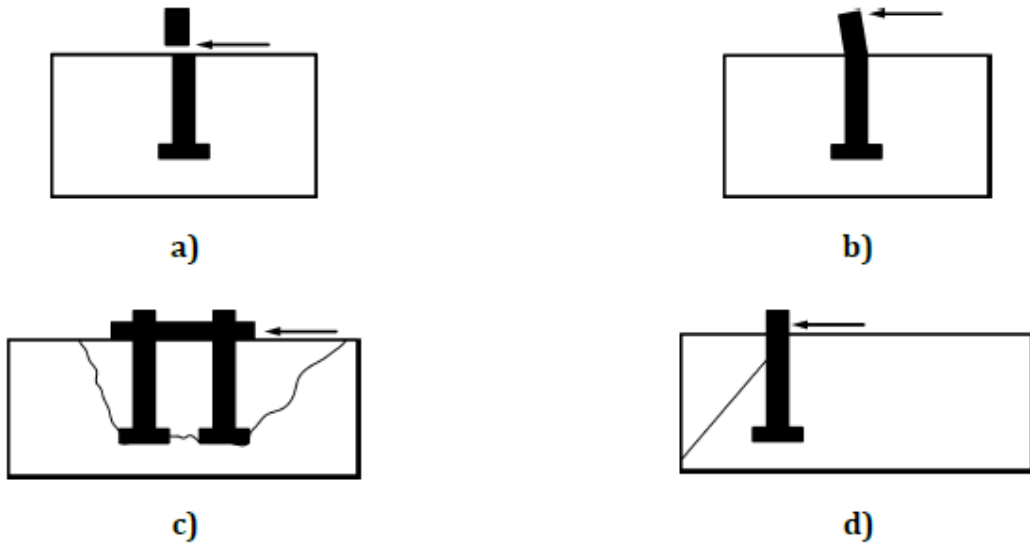
3.1.2 TS EN 1992-4'e göre geleneksel ankrajların kesme yükleri altındaki göçme modları

Başlı ve art montajlı bağlantı elemanlarının kesme yükü altında olası göçme şekilleri TS EN 1992'de Şekil 3.2'deki gibi tanımlanmıştır. TS EN1992'ye göre kimyasal ankrajların kesme yükü altındaki göçme modları çelik göçmesi, beton kaldıraç zorlama hasarı ve beton kenar kopma hasarı olmak üzere üçe ayrılmıştır.

3.2 Disk Ankrajlar

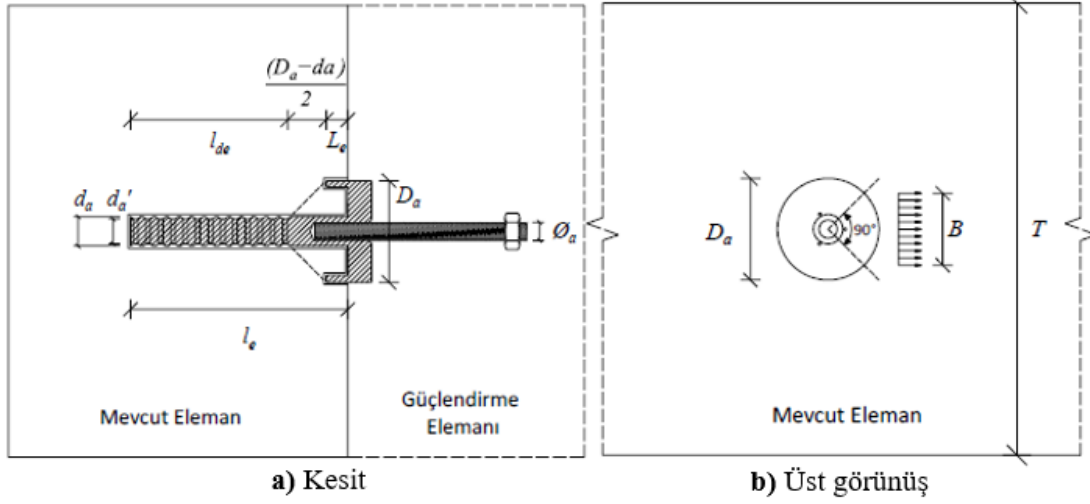
Düşük beton dayanımına sahip yapıların güçlendirilmesinde kullanılan konvansiyonel ankrajların kesme kapasitesi beton dayanımına bağlı olarak yeterli kapasiteyi sağlamayabilir. Güçlendirme elemanı ile mevcut eleman arasındaki kesme kuvvetinin aktarılması için çok sayıda konvansiyonel ankraj gerekebilir. Düşük beton basınç dayanımına sahip yapılara çok sayıda ankraj imalatı, uygulama sırasında sorun

çıkartabilmekle birlikte oldukça zaman alıcı bir işlemdir. Disk ankraj, düşük dayanımlı betonlarda yüksek kesme kuvvetlerini transfer etmek için Japonya’da geliştirilmiş özel bir ankraj türüdür. Konvansiyonel ankrajlara göre en belirgin farkı bir disk başlığına sahip olmasıdır. Geniş disk başlığı sayesinde deprem etkisi altında betonarme elemanda oluşacak kesme kuvvetlerini geniş bir alana yayarak betonda oluşacak gerilmeler azalır; bu şekliyle ahşap birleşimlerde kullanılan kamalara benzemektedir. Böylece disk ankrajlar geleneksel ankrajlara göre daha yüksek kesme kapasitesi değerlerine ulaşırlar. Dr. Öğr. Üyesi Fatih Sütçü yürütücülüğünde yapılan bir tez çalışmasında aynı koşullar altındaki geleneksel ankraj ve disk ankrajın hesap kesme ve çekme kapasitelerini karşılaştırmış olup disk ankrajın hesap kesme kapasitesinin geleneksel ankrajın hesap kesme kapasitesinin 2.4 katına, disk ankrajın hesap çekme kapasitesinin geleneksel ankrajın hesap çekme kapasitesinin 1.28 katına ulaştığı sonucuna varmıştır (Yürekli, 2023).

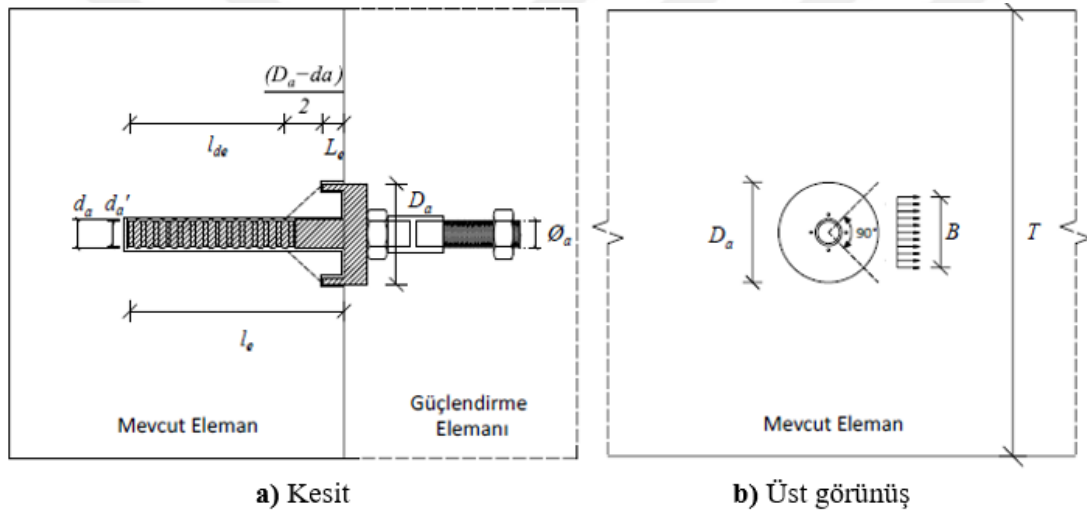


Şekil 3.2 : Kesme yükü etkisi altındaki başlı ve art montajlı bağlantı elemanlarının kesme yükü altındaki hasar şekilleri a) Kuvvet kolsuz çelik kopma göçmesi b) Kuvvet kollu çelik kopma göçmesi c) Beton kaldıraç zorlaması göçmesi d) Beton kenar kopması göçmesi (TS EN 1992-4).

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te görüldüğü üzere disk ankrajın 2 farklı üretim tipi mevcuttur. Tümleşik tip disk ankrajın disk kısmı ile ankraj vidası kısmı bir bütün olarak üretilir. Ayırışık tip disk ankrajda ise, disk kısmı ile ankraj vidası kısmı birbirinden bağımsız olarak üretilir. Kullanılacak güçlendirme sistemine göre disk ankraja manşon ve bağlantı vidası eklenebilir.



Şekil 3.3 : Tümleşik tip disk ankraj genel görünüm a) Kesit görünümü b) Üst görünümü.



Şekil 3.4 : Ayrışık tip disk ankraj genel görünüm a) Kesit görünümü b) Üst görünümü.

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te kullanılan semboller aşağıda açıklanmıştır:

- $\emptyset_a$: Bağlantı vidasının çapı (mm)
- d_a : Ankraj vidası dış çapı (mm)
- d_a' : Ankraj vidası iç çapı (mm)
- D_a : Disk çapı (mm)
- B : Beton etkin ezilme genişliği (mm)
- l_e : Ankraj ekme derinliği (mm)
- L_e : Disk ekme derinliği (mm)
- l_{de} : Etkin bağ uzunluğu (mm)
- T : Etkin eleman genişliği (mm)

3.2.1 Disk ankrajın hesap kesme kapasitesi

Disk ankraja ait hesap dayanımlarına ve tasarım aşamalarına ilişkin bilgiler Türkiye Yönetmeliklerine Göre MaSTER Disk-Ankraj® ile Yapısal Güçlendirme için Tasarım Kılavuzu'nda yer almaktadır. Yapılan deneyler sonucunda ankrajların 2 mm yatay yerdeğiştirmede kesme kapasitesine ve 1 mm düşey yerdeğiştirmede çekme kapasitesine büyük oranda ulaştığı gözlemlenmiştir. Deney sonuçları göz önüne alınarak disk ankraj hesap kesme ve çekme kapasitelerine dair bağıntılar türetilmiştir. Disk ankrajın kesme yüklemesi altında tek göçme modu olan beton ezilmesi sınır durumuna karşılık gelen hesap kesme kapasitesi denklem 3.1'de gösterilmiştir.

$$Q_{Da} = a \cdot \gamma \cdot k \cdot B \cdot L_e \cdot (T/B)^{0.63} \times 8\sigma_B^{0.5} \quad (3.1a)$$

$$a = \min \left\{ 0,9 ; 0,9 \left(\frac{\sigma_B}{22.5} + 0,2 \right) \right\} \quad (3.1b)$$

$$k = \frac{d_a \cdot \sqrt{\ell_e - L_e}}{285} \quad (3.1c)$$

$$T/B \leq 10 \quad (3.1d)$$

Burada

a : dayanım azaltma katsayısı

γ : mevcut yapının beton tipi katsayısı (normal beton için 1.0, hafif beton için 0.9)

k : ankraj vidası çapı ve ankraj derinliğine bağlı ampirik bir değer

B : Beton etkin ezilme genişliği (mm)

L_e : Disk ekme derinliği (mm)

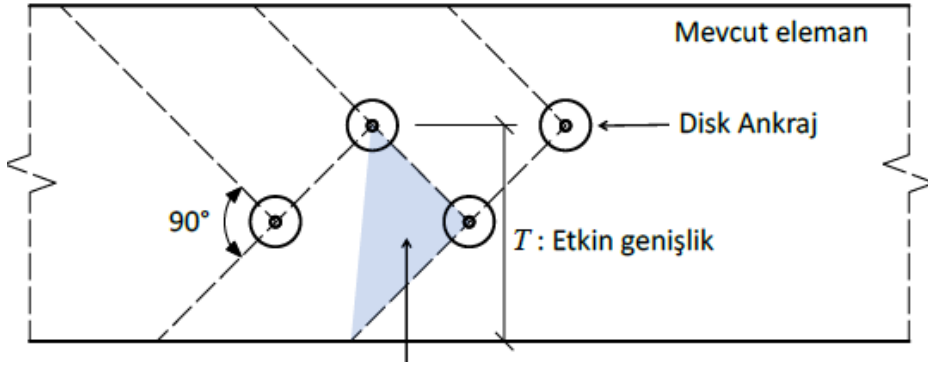
T : etkin eleman genişliği (mm)

σ_B : Beton dayanımı (N/mm²)

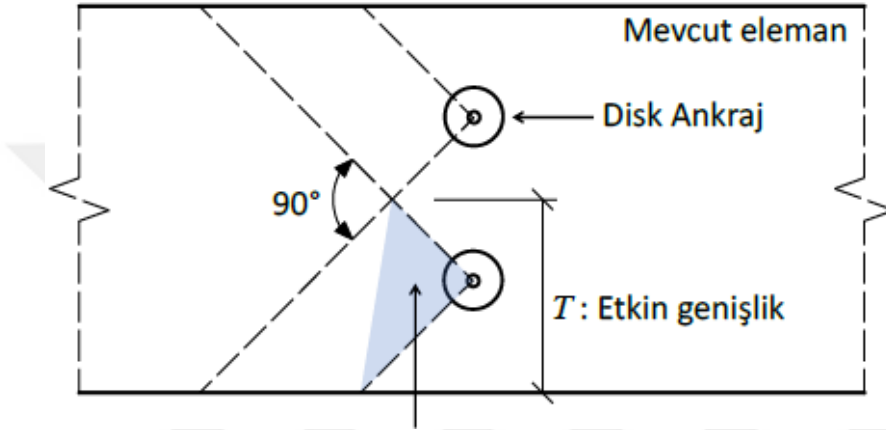
ℓ_e : Ankraj ekme derinliği (mm)

olarak tanımlanmaktadır.

Denklem 3.1'de yer alan etkin eleman genişliği T değeri ankraj düzeni şaşırtmalı ise Şekil 3.5'teki gibi, ankraj düzeni paralel ise Şekil 3.6'daki gibi hesaplanır. Etkin eleman genişliği değeri en büyük 600 mm olarak alınabilir.



Şekil 3.5 : Şaşırtmalı düzende T etkin genişliğinin hesaplanması.



Şekil 3.6 : Paralel düzende T etkin genişliğinin hesaplanması.

3.2.2 Disk ankrajın hesap çekme kapasitesi

Disk ankrajın çekme dayanımının hesabı denklem 3.2'de verilmiştir. Çekme kuvveti altında disk ankrajın üç farklı göçme sınır durumu vardır. Bunlar sırasıyla, bağlantı vidasının akmaya ulaşması durumu ($T_{a1.1}$) ile ankraj vidasının akma dayanımına ulaşması durumu ($T_{a1.2}$) için hesaplanan değer karşılaştırılması ile elde edilen durum (T_{a1}), mevcut yapı betonunun konik göçmesi durumu (T_{a2}) ve mevcut yapının betonu ile ankraj yüzeyi arasındaki bağ kuvvetlerinin yenilmesi durumudur (T_{a3}).

$$T_a = \min(T_{a1}; T_{a2}; T_{a3}) \quad (3.2a)$$

$$T_a = \min(T_{a1.1} = \sigma_{y1} \cdot a_{01}; T_{a1.2} = \sigma_{y1} \cdot a_{01}) \quad (3.2b)$$

$$T_{a2} = 0.23\sqrt{\sigma_B} \cdot A_C \quad (3.2c)$$

$$T_{a3} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_{de} \quad (3.2d)$$

Burada,

$$\ell_{de} = \ell_e - L_e - \frac{D_a - d_a}{2} \leq 15d_a \quad (3.2e)$$

$$\tau_a = \begin{cases} 10\sqrt{\sigma_B/21} \cdot \left\{0.5 \frac{c}{l_e} + 0.5\right\}; & \frac{c}{l_e} < 1 \\ 10\sqrt{\frac{\sigma_B}{21}}; & \frac{c}{l_e} \geq 1 \end{cases} \quad (3.2f)$$

Bu bağıntılardaki parametrelerin açıklaması aşağıda verilmiştir:

σ_{y1} : Bağlantı vidasının akma dayanımı (N/mm²)

σ_{y2} : Ankraj vidasının akma dayanımı (N/mm²)

a_{02} : Bağlantı vidasının net kesit alanı (mm²)

a_{02} : Ankraj vidasının zayıf kesit alanı (mm²)

A_C : Betonun konik kopması durumunda etkin alan $A_C = \pi \ell_e (\ell_e + d_a)$ (mm²)

τ_a : Çekip çıkarma kuvveti etkisinde aderans/bağ dayanımı (N/mm²)

l_{de} : Çekip çıkarma kuvveti etkisinde etkin aderans/bağ uzunluğu (mm)

D_a : (= 90 mm) Disk başlığın çapı (mm)

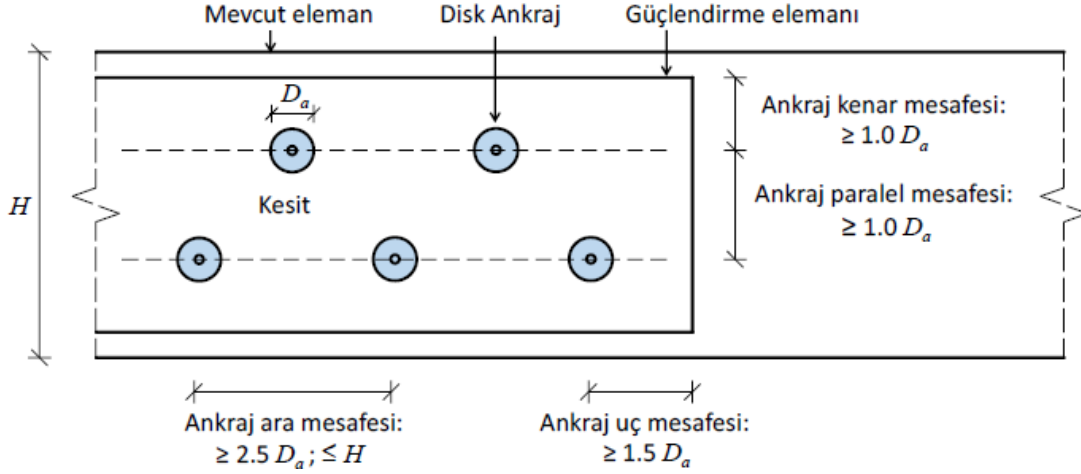
c : En yakın kenara olan mesafe (mm)

3.3 Disk ankrajın uygulama kuralları

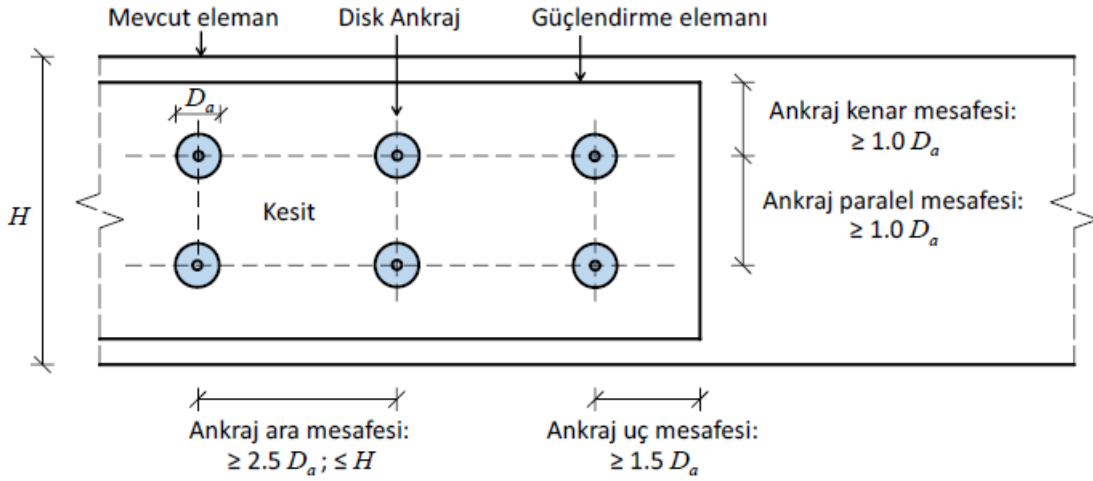
Güçlendirme elemanlarının bağlantısında kullanılacak olan disk ankrajların yerleşiminde dikkate alınması gereken birtakım kurallar mevcuttur. Bunlar;

- Ankraj ara mesafesi $\geq 2.5 D_a$ (225 mm) ve $\leq$ eleman genişliği (H) olmalıdır.
- Ankraj paralel mesafesi $\geq 1.0 D_a$ (90 mm) olmalıdır.
- Ankraj uç mesafesi $\geq 1.5 D_a$ (135 mm) olmalıdır.
- Ankraj kenar mesafesi $\geq 1.0 D_a$ (90 mm) olmalıdır.

Disk ankraja ait konstrüktif kurallar Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Şaşırtmalı disk ankraj düzeninde konstrüktif kurallar.



Şekil 3.8 : Paralel disk ankraj düzeninde konstrüktif kurallar.

3.4 Disk Ankrajlar ve Geleneksel Ankrajlar İle İlgili Genel Değerlendirmeler

Disk ankrajlar sahip olduğu geniş disk başlığı sayesinde konvansiyonel ankrajlara göre daha fazla kesme kapasitesine sahiptir. Disk ankrajlar bu özelliği sayesinde bağlantı bölgesinde özellikle kesme yönünde çalışacak şekilde konumlandırıldığında daha az adette ve kısa ekme derinliğinde uygulanarak mevcut elemana daha az müdahalede bulunulur. Böylelikle özellikle donatı oranının yüksek olması muhtemel kiriş-kolon uç bölgesi gibi yerlerde imalat kolaylığı sağlanabilir. Disk ankrajlar geleneksel çelik çaprazlı sistemlerin, enerji sönümleyici sistemlerin, yüksek kesme kapasitesi ihtiyacı bulunan beton-çelik ve beton-beton birleşimlerin bağlantı detaylarında rahatlıkla kullanılabilir.

Disk ankrajlar kesme kuvveti altında 2 mm yatay yerdeğiştirmede kapasitesinin büyük çoğunluğuna ulaşır. Bu noktadan sonra disk ankraj dayanım kaybetmeden

yerdeğiştirmesine bir süre devam eder. Bu hali ile disk ankrajlar, kesme kuvvetleri altında yüksek bir ilk rijitlik değerine sahip olmakla birlikte sünek davranış da sergiler. Disk ankrajların kesme kuvvetleri altında tek yenilme modu beton ezilmesi göçme durumudur. Geleneksel kimyasal ankrajlarda beton ezilmesi göçme durumu disk ankrajlarda görülenin aksine gevrek bir davranış sergiler.

Yükün daha geniş bir alana yayılmasını sağlayan ve yukarıda olumlu tarafları özetlenen disk ankrajları en önemli üstünlüklerinden biri düşük beton dayanımına sahip standart altı betonarme yapılarda da kullanılabilmeleridir. Türkiye’deki mevcut yapı stokunda, şehirden şehire değişmekle birlikte, beton dayanımının özellikle bir dönemin yapı grubu için 8~10 MPa aralığında olduğu bilinmektedir. Bu türden yapıların bu çalışmada önerilen metalik sönümleyiciler ile güçlendirilmesinde sisteme bağlantı noktalarında disk ankrajların olumlu sonuçlar vereceği düşünölmektedir.



4. TBDY-2018'e GÖRE MEVCUT YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

TBDY-2018 Bölüm 15'te deprem etkisi altında mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir dizi hesap kuralları belirtilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde ilgili performans ve güçlendirme yaklaşımlarının yanı sıra belirtilen hesap kuralları betonarme yapılar için özetlenmiştir.

4.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binanın taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların boyutları, geometrisi ve malzeme özelliklerinin yanı sıra binanın taşıyıcı sistem düzenine ait bilgiler, binaların yapıldığı dönemki proje ve raporlarından, binada yeni yapılacak gözlem ve ölçümlerden ve yapının taşıyıcı sisteminden alınacak malzeme numunelerine yapılacak deneylerden elde edilecektir.

Bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- 1- Yapısal sistemin tanımlanması
- 2- Bina geometrisi, temel sistemi ve zemin özelliklerinin saptanması
- 3- Varsa mevcut hasarın ve binada yapılmış değişiklik/onarımların belirlenmesi
- 4- Taşıyıcı sistem eleman boyutlarının ölçülmesi
- 5- Malzeme özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi
- 6- Sahada gözlemlenen ve deneysel olarak belirlenen veriler ile binanın projesindeki bilgilerin karşılaştırılması

4.2 Betonarme Binalarda Bilgi Düzeyleri

TBDY 2018'de, mevcut binadan bilgi toplanması sürecinde elde edilen bulguların kapsamına göre "Sınırlı Bilgi Düzeyi" ve "Kapsamlı Bilgi Düzeyi" olmak üzere iki farklı bilgi düzeyi tanımlanmıştır. Taşıyıcı sistem üzerinde yapılan deneylerin adetine ve niteliğine göre performans değerlendirmesinde kullanılacak bilgi düzeyi

belirlenmektedir. Bu bağlamda edinilen bilgi düzeyine göre eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 : Bilgi düzeyi katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

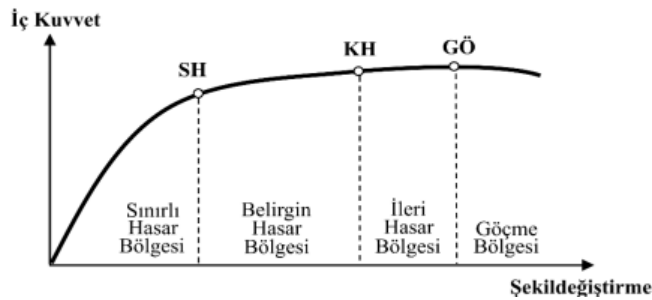
4.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

4.3.1 Kesit hasar durumları

TBDY-2018’de taşıyıcı sistem elemanları için kesit düzeyinde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) olmak üzere üç farklı hasar durumu tanımlanmıştır. Sınırlı Hasar durumundaki eleman kesitleri büyük oranda elastik davranışa sahiptir. Kontrollü Hasar durumundaki eleman kesitleri göçme davranışı göstermeden kesitin güvenli olarak sağlayabileceği inelastik davranışı tanımlamaktadır. Göçme öncesi hasar durumunda kesitte ileri düzeyde inelastik davranış oluşmaktadır. Bu tanımlamalar sünek elemanlar için geçerli olup göçme modu gevrek olan elemanlar için bu sınıflandırma geçerli değildir.

4.3.2 Kesit hasar bölgeleri

TBDY-2018’de kesit hasar durumları baz alınarak kesit hasar bölgeleri Şekil 4.1’deki gibi tanımlanmıştır. Kesit hasarı Sınırlı Hasar’a ulaşamayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi’nde, Sınırlı Hasar ile Kontrollü Hasar arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, Kontrollü Hasar ve Göçme Öncesi Hasar arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, Göçme Öncesi Hasar’ı aşan elemanlar içe Göçme Bölgesinde yer alır.



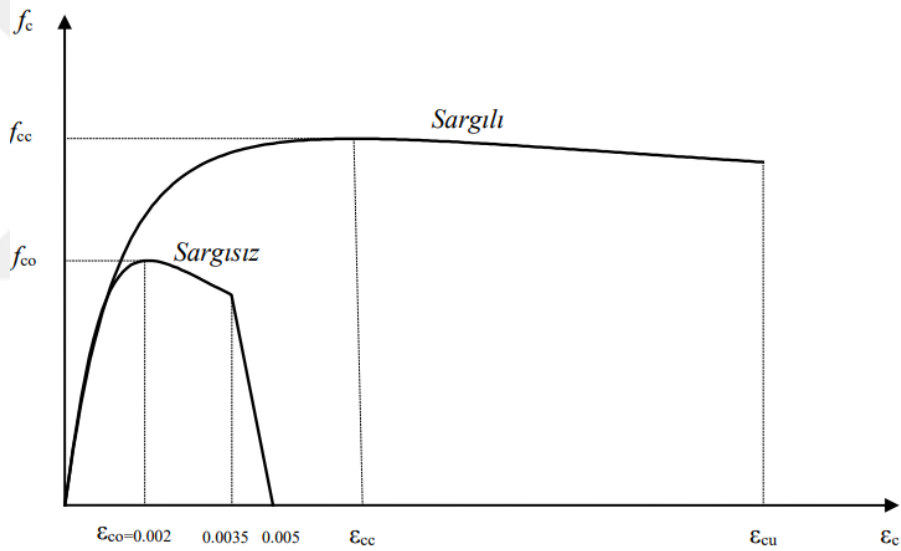
Şekil 4.1 : TBDY-2018’de tanımlanan kesit hasar bölgeleri.

4.4 Malzeme Modelleri

TBDY2018’de doğrusal olmayan yöntemler ile şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere beton ve çelik malzemesi modelleri tanımlanmıştır.

4.4.1 Sargılı ve sargısız beton modelleri

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında pas payının içerisinde kalan çekirdek beton sargılı beton davranışı gösterirken pas payının dışarısında kalan bölge ise sargısız beton davranışını gösterir. Çekirdek betonda kullanılan enine donatı, gevrek davranış gösteren beton malzemesinin daha yüksek basınç kapasitesi ile sünek bir davranış göstermesine neden olur. TBDY-2018’de tanımlanan sargılı ve sargısız beton modeli Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : TBDY-2018'de tanımlanan sargılı ve sargısız beton modeli.

Burada

ε_c : Beton basınç birim şekildeğiştirmesi

ε_{cu} : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi

f_c : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi

f_{co} : Sargısız beton dayanımı

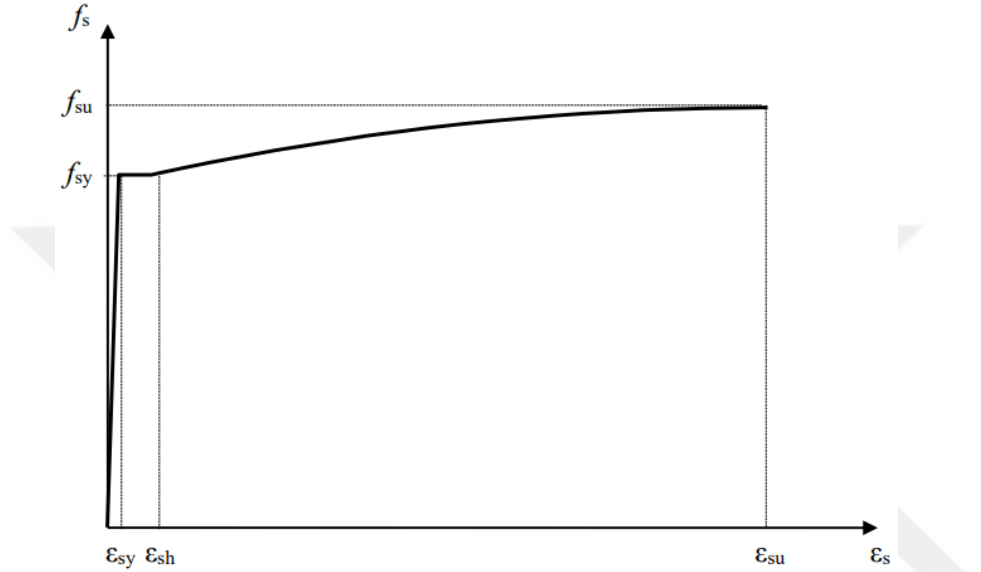
f_{cc} : Sargılı beton dayanımı

olarak tanımlanmaktadır.

Saatcioglu ve Razvi (1992) tarafından yapılan bir çalışmada dairesel kesitli kolonların sargılı beton basınç dayanımı sargısız beton basınç dayanımından yaklaşık %80 daha fazla iken dikdörtgen kesitli kolonlarda bu oran %115'lere kadar ulaşmaktadır.

4.4.2 Çelik malzeme modeli

Doğrusal olmayan yöntemlerde şekildeğiştirmeye göre hesapta kullanılmak üzere çelik malzemesine ilişkin model Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : TBDY 2018'de tanımlanan çelik malzemesi modeli.

Burada;

ϵ_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi

ϵ_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi

f_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı

f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı

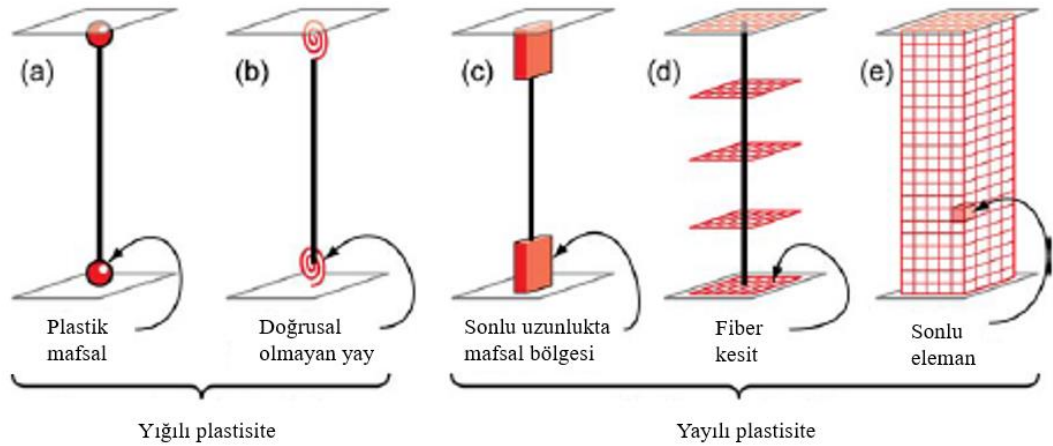
olarak tanımlanmaktadır.

4.5 Yayılı ve Yığılı Plastik Mafsal Yaklaşımı

TBDY-2018'de doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde kullanılmak üzere iki çeşit plastik mafsal tanımı kullanılmaktadır. Bunlar yayılı ve yığılı plastik mafsal modelleridir. Yığılı plastik mafsal modelinde elemanın elastik ötesi davranış sergilemesi beklenen uç bölgelerine plastik mafsal ya da doğrusal olmayan bir yay tanımlanır. Plastik mafsallara elemanda bulunduğu yerdeki kesitin kapasitesi tanımlanır. Sismik etkiler altında plastik mafsallarda gözlemlenen moment-eğrilik ya

da moment-dönme değerlerine göre elemanın hasar durumu belirlenir. Elemanın iki plastik mafsıl arasında kalan bölgesinin ise elastik davranış göstereceği varsayımı yapılır.

Yığılı plastik mafsıl modeli elemanın sınırlı bir bölgesindeki hasar durumunu gösterir. Buna karşın yayılı plastik mafsıl modellemesinde elemanın birçok bölgesindeki gerilme-şekildeğiştirme durumu dikkate alınır. Şekil 4.4'te yığılı ve yayılı plastik mafsıl modellerine ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Yığılı ve yayılı plastik mafsıl modelleri (Deierlein ve diğ., 2010).

TBDY 2018'e göre kolon, kiriş ve perde elemanlar yığılı ya da yayılı plastik mafsıl modeli ile modellenebilir. Yığılı plastik mafsıl durumunda iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu olan L_p , çalışan doğrultudaki kesitin boyutunun %50'sine eşit alınacaktır.

Yayılı plastik davranış varsayımında ise sonlu uzunluktaki plastik şekildeğiştirme bölgeleri ya da elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler sürekli biçimde gözönüne alınarak kullanılabilir.

4.6 Şekildeğiştirmelerin ve İç Kuvvetlerin Değerlendirilmesi

TBDY-2018'de tanımlanan performans düzeyleri için yayılı plastik mafsıl modeline ilişkin beton ve çelik birim şekildeğiştirme sınır değerleri, yığılı plastik mafsıl durumuna ilişkin eleman dönmesi sınır değerleri tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan betonarme elemanlar dikdörtgen kesitlidir. Dikdörtgen kesitli elemanlar için sınır değerler aşağıda verilmiştir.

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim kısalması denklem 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir;

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_w} \leq 0.018 \quad (4.1)$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (4.2)$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_1^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right); \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (4.3)$$

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için donatı çeliği birim şekil değiştirmesi ise

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (4.4)$$

belirtilmiştir. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (4.5)$$

alınmaktadır. Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen beton birim kısalması ve plastik dönme sınırları

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}; \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (4.7)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (4.8)$$

olarak verilmiştir. Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen beton birim kısalması ve plastik dönme sınırı ise denklem 4.9 ve 4.10'da verildiği gibidir:

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.025; \varepsilon_c^{(SH)} = 0.0075 \quad (4.9)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0 \quad (4.10)$$

4.7 Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve Değerlendirme Yaklaşımları

Mevcut binaların deprem performans hedefinin ve değerlendirme metodunun belirlenmesi için ilk aşamada mevcut binaya ilişkin aşağıdaki bilgilerin belirlenmesi gerekir.

- Bina kullanım sınıfı (BKS)
- Deprem tasarım sınıfı (DTS)

- Bina yükseklik sınıfı (BYS)

Yukarıda belirtilen parametreler belirlendikten sonra deprem yer hareket düzeyine bağlı olarak yapının performans hedefi ve değerlendirme yaklaşımı Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 : TBDY-2018’e göre performans hedefleri ve değerlendirme yaklaşımları.

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

4.8 Doğrusal Hesap Yöntemleri ile Deprem Hesabı

TBDY2018’e göre deprem yükleri altında binaların performanslarının belirlenmesinde kullanılacak doğrusal hesap yöntemleri olarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme yöntemini önermektedir. Doğrusal hesap yöntemlerinin uygulanabilmesi için yönetmelikte belirtilen bina yükseklik sınıfının sağlanması, B3 tipi düzensizliğin bulunmaması ve ilgili betonarme elemanlardaki etki/kapasite oranının sağlanması gerekmektedir. Kriterler sağlandığı durumda betonarme elemanların gevrek ya da sünek olmak üzere hasar türleri belirlenir.

4.9 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Deprem Hesabı

TBDY 2018’e göre şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımda kullanılabilecek doğrusal olmayan hesap yöntemleri itme (pushover) yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir.

4.9.1 İtme (Pushover) yöntemleri

TBDY-2018’de itme yöntemleri iki ana başlığa ayrılmıştır. Bunlar tek modlu itme yöntemi ve çok modlu itme yöntemidir.

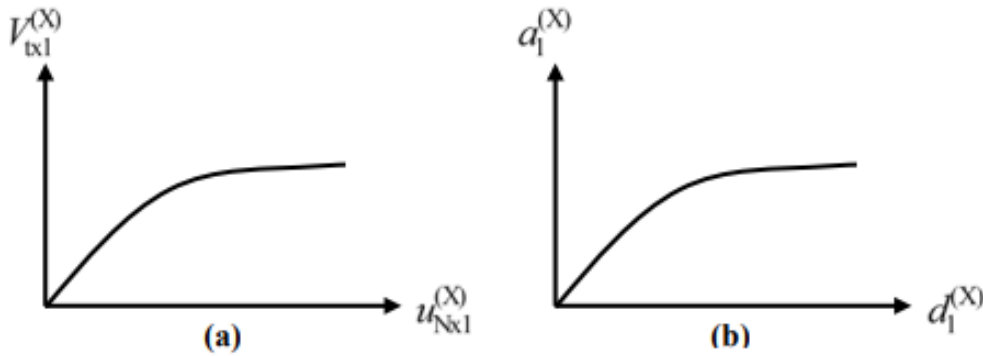
4.9.1.1 Tek modlu itme yöntemleri

TBDY-2018’e göre tek modlu itme yönteminin uygulanabilmesi için aşağıda verilen koşulların her ikisinin de sağlanması gerekmektedir:

1-) Yapının herhangi bir katı için ek dışmerkezlilik etkisi alınmaksızın, doğrusal elastik davranış göz önüne alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının 1.4'ten küçük olması gerekmektedir.

2-) İncelenen deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan yapının hâkim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine oranının en az 0.70 olması gerekmektedir. Kütle hesabında etrafında rijit perdeler olan bodrum katlarının kütleleri hesaba katılmayacaktır.

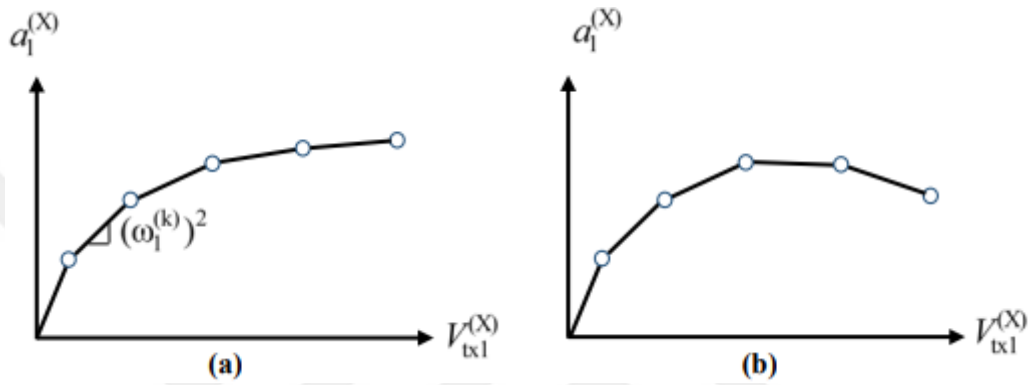
Sabit tek modlu itme analizinde mevcut bina, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki yapının birinci modundaki mod şekli ile uyumlu olacak şekilde her adımda yatay biçimde itilir. Binaya yapılan yükleme sonucunda tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti parametrelerini içeren itme eğrisi elde edilir. Elde edilen itme eğrisinin koordinatları dönüştürölerek parametreleri modal yerdeğiştirme - modal sözde ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilir (Şekil 4.5). Hesabın son aşamasında yapının bulunduğu konuma ait elastik tasarım spektrumu göz önüne alınarak yapıya ait modal yerdeğiştirme istemi ve yapının taşıyıcı sisteminde meydana gelen iç kuvvet ve plastik yerdeğiştirme taleplerinin hesabı için modal kapasite diyagramı esas alınır.



Şekil 4.5 : İtme eğrisinin (a) modal kapasite diyagramına (b) dönüşümü.

Değişken tek modlu itme analizinde ise her itme adımında yapı taşıyıcı sisteminde meydana gelecek plastik mafsallaşma durumu göz önüne alınır. Taşıyıcı elemanlarda oluşacak plastik mafsallardan dolayı yapının rijitliği, periyodu ve mod şekli değişir. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda katlara etkiyen deprem yükü ve kat yerdeğiştirme artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki her bir itme adımında, bir önceki adımda oluşan plastik mafsallardan dolayı göz önüne alınarak yenilenen serbest titreşim hesabından elde edilen değişken mod şekli ile orantılı olarak tanımlanır. Bu yöntemde

sabit tek modlu itme yönteminde elde edilen itme eğrisinin çizimine gerek kalmaksızın modal kapasite diyagramı Şekil 4.6(a)'daki gibi doğrudan elde edilir. Şekil 4.6'da eğimin değiştiği her nokta plastik mafsall oluşumlarını ifade eder. Hesabın geri kalan aşaması sabit tek modlu itme yöntemindeki gibidir. Serbest titreşim hesabında ikinci mertebe etkileri temsil eden geometrik rijitlik matrisi göz önüne alınması durumunda modal kapasite diyagramının eğimi, ileri itme adımlarında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak elastik ötesi şekildeğişiklikler artacağından dolayı Şekil 4.6(b)'deki gibi negatif değerler gözlemlenebilir.



Şekil 4.6 : (a) Değişken tek modlu itme yöntemi ile modal kapasitenin belirlenmesi. (b) İkinci mertebe etkilerin hesaba dahil edildiği durumda modal kapasite diyagramı.

4.9.1.2 Çok modlu itme yöntemi

TBDY-2018'e göre aşağıda belirtilen iki koşulun sağlandığı durumlarda, uluslararası uygulama literatüründe yer almış çok modlu itme yöntemi kullanılabilir:

1-) Çok modlu itme yönteminin, verilen tasarım spektrumuna göre özel durumda başlangıç (elastik) rijitlikleri kullanılarak doğrusal hesap için uygulanması sonucunda elde edilen tüm iç kuvvetlerin ve yerdeğişikliklerin, aynı tasarım spektrumu esas alınarak TBDY-2018 Bölüm 4'teki mod birleştirme yöntemi ile deprem hesabı sonucu elde edilen büyüklüklerle birebir aynı olduğu hesap raporunda gösterilecektir.

2-) Kullanılan çok modlu itme yönteminde binanın farklı titreşim modları için tanımlanan bağımsız sabit modal yük vektörlerinin yapıya artımsal olarak ayrı ayrı uygulanması durumunda, elde edilen modal iç kuvvetler istatistiksel olarak birleştirilmeyecek ve TBDY 2018'de belirtilen birleştirilmiş modal eleman uç yerdeğişiklikleri ve akma dönmeleri ile uyumlu olarak hesaplanacaktır.

4.9.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem hesabı

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde yapının özelliklerine uygun olarak seçilen ivme kayıtlarının ölçeklendirilip yapıya etki ettirilmesi sonucunda deprem kaydının her adımı için yapısal davranış analiz edilmiş olur. Analiz boyunca doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisi değişeceğinden sayısal hesaplarda bu etki göz önüne alınır. TBDY-2018'e göre zaman tanım alanında ana ez az 11 çift deprem kaydı seçilmesi gerekmektedir. Deprem kayıtlarının seçilmesine ve ölçeklendirilmesine dair bilgiler TBDY-2018 başlık 2.5'te yer verilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde göz önüne alınacak noktalar TBDY-2018 5.7.3'te açıklanmıştır. TBDY-2018'e göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 1 olan binalarda ise zaman tanım alanında analiz yönteminin kullanılması zorunludur. Ayrıca, binanın bulunduğu konum faya en fazla 15 km uzaklıkta ise yakın saha deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında hesap yapılmalıdır. Böylece, yönetmelik daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini amaçlamaktadır.

4.10 Binaların Değerlendirilmesi ve Hesap Yöntemleri Hakkında Genel Değerlendirme

Bu bölümde TBDY-2018'e göre betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirilmesine ilişkin bilgiler özetlenmiştir. Bir binanın doğrusal olmayan sayısal modelini oluştururken kolon ve kiriş elemanlarda yayılı ya da yığılı plastik mafsallı modeli tercih edilebilir. Yayılı plastik mafsallı modeli ilgili betonarme eleman hakkında daha doğru ve ayrıntılı sonuçlar vermesine karşın, analizlerin zamanını uzatır. Benzer şekilde, betonarme perdeler de TBDY-2018'de belirtilen koşulları sağladığı sürece çubuk eleman olarak modellenenebilir. Koşullar sağlanmadığı takdirde perdeler fiber eleman olarak modellenmelidir.

Sayısal hesap yönteminin belirlenmesinde binanın yüksekliği ve bulunduğu konum göz önüne alınır. Binanın her bir zaman adımındaki dinamik davranışının detaylı bir şekilde anlaşılması için zaman tanım alanında hesap yöntemi tercih edilebilir. Ayrıca, binanın önem derecesi ve proje gereksinimlerinden dolayı bu yöntem tercih edilebilir. İtme (pushover) analizi, zaman etkisini doğrudan hesaba katmayan, göreceli olarak daha basitleştirilmiş ancak oldukça etkin bir yöntemdir. Yapının dinamik etkileri hakkında

zaman tanım alanında analiz yöntemine göre daha az bilgi verir. Buna karşın analiz süresi, zaman tanım alanında hesap yöntemine göre daha kısadır.





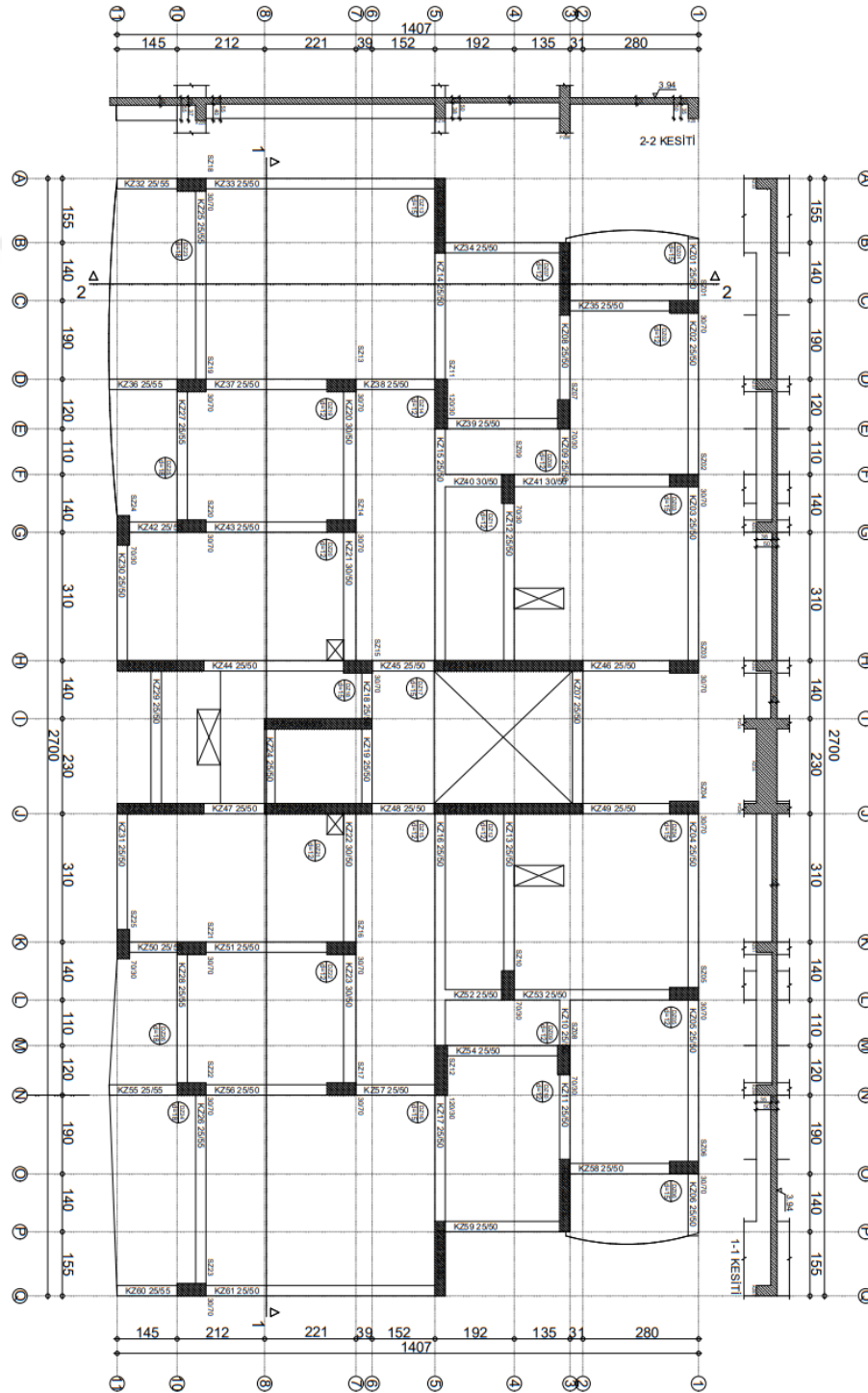
5. 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE HASAR GÖRMÜŞ BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde Türkiye'nin Adıyaman ilinde bulunan ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde ($M_w=7.9$ ve $M_w=7.8$) hasar almış bir konut binasının TBDY-2018'den faydalanarak performansı incelenmiştir. Deprem sonucu mevcut binada oluşan hasar durumunun incelenmesi için tez yürütücüsü tarafından yerinde saha ziyareti gerçekleştirilmiştir. Saha ziyareti sonucu elde edilen hasar durumu ile sayısal analizler sonucunda elde edilen hasar durumu birbiri ile karşılaştırılmıştır. Binanın TBDY-2018'e göre sağlaması gereken deprem performans seviyesi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde kontrollü hasar (KH) performans seviyesidir. Çalışma kapsamında mevcut binadaki gerçek hasar durumu incelendiğinden dolayı deprem kayıtları, DD2 deprem seviyesine karşılık gelen ivme spektrumuna eşlenmeden yapıya direkt etki ettirilmiştir. Bu koşullar altında hedeflenen deprem performans seviyesi TBDY-2018'de belirtilen kontrollü hasar performans seviyesidir. Bunun dışında çalışma kapsamında hedef görelî kat öteleme oranı Japonya'da sıklıkla uygulanan 1/150 (%0.67) olarak belirlenmiştir. Mevcut binanın değerlendirmesinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analiz için gerekli olan ivme kayıtları binanın bulunduğu lokasyona yakın olan 0213 ve 4408 numaralı deprem istasyonlarından elde edilmiştir.

5.1 Bina Hakkında Genel Bilgi

Bu çalışma kapsamında incelenen konut binası, Adıyaman İli, Merkez ilçesinde bulunan İlkfen Apartmanıdır. Binanın taşıyıcı sistemine ait bilgiler binanın var olan betonarme taşıyıcı sistem projesinden elde edilmiştir. Yapının projesi 2010 yılına ait olup yapı DBYBHY-2007 yönetmeliğî esas alınarak tasarlanmıştır. 9 kattan oluşan konut binasının taşıyıcı sistemi betonarme iskeletli bir sistemdir. Binanın kat yüksekliğî tüm kat seviyelerinde eşit olup 2.94 metredir. Yapıya ait kat kalıp resmi Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Betonarme kiriş, kolon ve perdelerle ait geometrik

özellikleri ve donatı detayları sırasıyla Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Yapının kolon, kiriş ve döşemelerindeki pas payı 2.5 cm'dir. Yapıda kullanılan malzeme bilgileri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir. Bina kiriş-plak döşeme sistemine sahip olup döşeme kalınlığı merdiven sahanlığı ve ana koridorlarda $h_f = 15$ cm, geri kalan yerlerde ise $h_f = 12$ cm'dir. Binanın bulunduğu konumda tespit edilen yerel zemin sınıfı Z3-C'dir.



Şekil 5.1 : Normal kat kalıp resmi (plan ve kesitler).

Çizelge 5.1 : Betonarme kiriş detayları.

Kesit [cm]	Alt Donatı	Üst Donatı	Gövde Donatısı	Etriye [mm]
25x50	3Φ14	4Φ12	-	Φ8/100
25x50	3Φ14	2Φ12+2Φ14	-	Φ8/100
25x50	3Φ14	2Φ12+1Φ14	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	4Φ16+2Φ14	-	Φ8/100
25x50	2Φ14+5Φ16	3Φ14+2Φ12	6Φ12	Φ8/100
25x50	4Φ14	2Φ12+4Φ16	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	3Φ14	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	6Φ14	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	5Φ16+2Φ14	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	2Φ14+3Φ16	-	Φ8/100
25x50	2Φ14+2Φ16	2Φ14+5Φ16	-	Φ8/100
25x50	3Φ14	2Φ12+1Φ14	4Φ12	Φ8/100
25x50	3Φ14	2Φ12+4Φ14	-	Φ8/100
25x50	2Φ14+4Φ16	2Φ14+4Φ16	-	Φ8/100
25x50	2Φ14+1Φ16	2Φ14+5Φ16	-	Φ8/100
25x50	2Φ12+3Φ14	2Φ14+1Φ16	-	Φ8/100
25x50	2Φ12+3Φ14	2Φ14+1Φ12	-	Φ8/100
25x50	2Φ14	2Φ12+1Φ14	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	2Φ12+3Φ16	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	6Φ14	4Φ12	Φ8/100
25x50	2Φ12+4Φ14	2Φ12+3Φ16	4Φ12	Φ8/100
25x50	4Φ14	2Φ14+2Φ16	-	Φ8/100
25x50	2Φ14+4Φ16	2Φ14+5Φ16	-	Φ8/100
25x50	2Φ14+3Φ12	2Φ12+4Φ16	-	Φ8/100
25x50	3Φ14	2Φ12+1Φ16	-	Φ8/100
25x50	2Φ14+1Φ16	2Φ12+3Φ14	-	Φ8/100
25x50	6Φ14	6Φ14	6Φ12	Φ8/100
25x50	2Φ14+3Φ16	2Φ12+3Φ16	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	2Φ12+4Φ14	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	2Φ12+3Φ14	-	Φ8/100
25x50	4Φ14	2Φ12	4Φ12	Φ8/100
25x50	3Φ14	2Φ12+2Φ16	-	Φ8/100
25x50	3Φ14	2Φ14+3Φ12	-	Φ8/100
25x50	2Φ12+1Φ14	2Φ12+3Φ16	4Φ12	Φ8/100
25x50	4Φ14	2Φ12+2Φ16	4Φ12	Φ8/100
25x50	2Φ12+4Φ14	2Φ12+3Φ16	6Φ12	Φ8/100
25x50	5Φ14	2Φ12+4Φ14	6Φ12	Φ8/100
25x50	2Φ14+4Φ12	2Φ12+2Φ16	-	Φ8/100
25x55	4Φ14	2Φ12+2Φ14	-	Φ8/100
25x55	2Φ14+1Φ12	2Φ12+3Φ14	-	Φ8/100
25x55	2Φ14	2Φ12+3Φ16	-	Φ8/100
25x55	3Φ14	2Φ12+2Φ14	-	Φ8/100
25x55	3Φ14	2Φ12+4Φ16	4Φ12	Φ8/100
25x55	3Φ14	2Φ12+5Φ14	4Φ12	Φ8/100
25x55	5Φ14	2Φ12+3Φ14	-	Φ8/100
25x55	5Φ14	2Φ12+2Φ14	-	Φ8/100

Çizelge 5.1 (devam) : Betonarme kiriş detayları.

Kesit [cm]	Alt Donatı	Üst Donatı	Gövde Donatısı	Etriye [mm]
25x55	3Φ14	2Φ12+3Φ16	4Φ12	Φ8/100
25x55	2Φ12+2Φ14	5Φ12	-	Φ8/100
25x55	3Φ14	2Φ12+1Φ14	-	Φ8/100
25x55	3Φ14	2Φ12	-	Φ8/100
30x50	3Φ14	2Φ12+2Φ14	-	Φ8/100
30x50	3Φ14	2Φ12+1Φ16	-	Φ8/100
30x50	3Φ14	2Φ12+3Φ16	-	Φ8/100
30x50	3Φ14	2Φ12+1Φ16	4Φ12	Φ8/100

Çizelge 5.2 : Betonarme kolon detayları.

Kesit [cm]	Boyuna Donatı	Etriye [mm]
30x70	12Φ16	280Φ8/150/100/100
30x70	12Φ16	37Φ8/150/70/100
30x120	18Φ16	30Φ8/100/100

Çizelge 5.3 : Betonarme perde detayları.

Kesit [cm]	Boyuna Donatı	Etriye [mm]
25x175	12Φ14+10Φ12	19Φ8/160
25x180	12Φ14+10Φ12	19Φ8/160
25x210	14Φ14+12Φ12	19Φ8/160
25x260	18Φ14+18Φ12	19Φ8/160
25x360	24Φ14+24Φ12	19Φ8/160

Çizelge 5.4 : Yapı malzeme bilgileri.

Malzeme	Malzeme Sınıfı
Beton	C25
Çelik	S420

5.2 Mevcut Binanın Saha Gözlemi Sonuçları

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta meydana gelen depremler sonucunda mevcut yapıda oluşan hasarları gözlemlemek amacı ile tez yürütücüsü tarafından yerinde saha incelemesi yapılmıştır. Yapı dışarısından yapılan ilk incelemelerde binanın bazı bölgelerindeki dış duvarların düzlem dışı etkiler nedeni ile yapıdan ayrıldığı gözlemlenmiştir. Bu hasarlar özellikle yapının orta katlarında yoğunlaşmıştır. Yapı dışından gözlemlenen bazı kiriş elemanların uç noktalarında deprem sırasında açılıp kapanabilen kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir. Hasar alan binanın dışından çekilen görseller Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Binanın iç bölgesinde yapılan

hızlı incelemeler sonucunda ise yapısal olmayan elemanlarda ileri düzeyde hasarlar gözlemlenmiştir. Mevcut binanın içerideki hasar durumunu gösteren fotoğraf Şekil 5.4'te verilmiştir. Genel olarak binanın betonarme taşıyıcı sisteminde ileri düzeyde herhangi bir aşırı denebilecek hasar gözlemlenmemiştir. Taşıyıcı elemanlardaki hasarın sınırlı düzeyde kaldığı söylenebilir. Binada gözle yapılan incelemelerde kalıcı bir yerdeğiştirme olmadığı da söylenebilir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 5.2 : 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde hasar görmüş binanın dıştan görünümü a) Binanın kısa doğrultusunun görünümü b) Binanın uzun doğrultusunun görünümü c) Binada gözlemlenen dış duvar hasarlarının görünümü d) Binanın merdiven kovası civarında oluşan hasarların görünümü.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Şekil 5.3 : 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde hasar görmüş binanın içten görünümü a-b-c) Yapısal olmayan elemanlarda gözlemlenen ileri seviye hasarlar (iç duvarların toptan göçmesi), d-e-f) Yapısal olmayan elemanlarda gözlemlenen orta seviye hasarlar (duvarların betonarme çerçevelerden ayrılması, gevrek çatlak oluşumları).

5.3 Sabit ve Hareketli Yükler

Sabit ve hareketli yükler TS498 standardı kapsamında belirtilen değerler esas alınarak sayısal modele tanımlanmıştır. Sabit yüklerin hesabında yapının projesinde belirtilen kaplama ve sıvanın miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Sabit ve hareketli yükler Çizelge 5.5'te gösterilmiştir. Yapıda bulunan iç ve dış duvar yükleri yapının ilgili girişlerine sabit yayılı yük olarak tanımlanmıştır. Mevcut yapıya ait duvar yükleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir. Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının kendi yükü ise kullanılan yapı malzemelerinin özgül ağırlıkları vasıtası ile sayısal analiz programına hesaplatılmıştır.

Çizelge 5.5 : Sabit ve hareketli yükler.

	Sabit Yük [kN/m ²]	Hareketli Yük [kN/m ²]
Döşemeler	1.5	2
Merdivenler	1.5	3.5
Balkonlar	1.5	5

Çizelge 5.6 : Duvar yükleri.

	Sabit Yük [kN/m]
İç duvar yükü	4.5
Dış duvar yükü	7.9

5.4 Mevcut Binanın Deprem Performans Hedefinin ve Sayısal Hesap Yönteminin Belirlenmesi

TBDY-2018'e göre mevcut yapıların deprem performansı hedefinin ve sayısal hesap yönteminin belirlenmesi için yapıya ait Bina kullanım Sınıfının (BKS), Bina Yükseklik Sınıfının (BYS) ve Deprem Tasarım Sınıfının (DTS) belirlenmesi gerekmektedir.

5.4.1 Bina kullanım sınıfı

TBDY-2018'e göre Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısının belirlenmesinde Çizelge 5.7'den faydalanılır. Mevcut yapı için Bina Önem Katsayısı $I=1.0$, Bina Kullanım Sınıfı $BKS=3$ değerindedir.

5.4.2 Deprem tasarım sınıfı

TBDY-2018'de belirtilen Bina Kullanım Sınıfı parametresi Çizelge 5.8'de belirtilmiştir. Mevcut yapı lokasyonunda $S_{DS} = 0.729$ değerindedir. Bu değer göz

önünde bulundurulduğunda mevcut yapının Deprem Tasarım Sınıfı DTS = 2 değerindedir.

Çizelge 5.7 : TBDY-2018'e göre bina kullanım sınıfı tablosu.

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

Çizelge 5.8 : Deprem tasarım sınıfları.

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

5.4.3 Bina yükseklik sınıfı

Bina Yükseklik Sınıfının belirlenmesinde bodrumlu ve bodrumsuz binalar ayrı olarak değerlendirilir. Bodrumlu binalarda aşağıda belirtilen koşullar sağlanır ise bina tabanı, bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanır.

- Rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan ya da en az üç taraftan çevrelemesi gerekir.
- Birbirine dik bina eksenlerinin her bir doğrultusundaki hâkim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan doğal titreşim periyodunun aynı taşıyıcı sistemde zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütleleri hesaba katılmaksızın aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyodu oranının 1.1'den küçük olması gerekir.

Yukarıdaki koşulların herhangi birini sağlamayan bodrumlu ya da bodrumsuz binaların bina tabanı temel üst kotundan itibaren tanımlanır. Bu koşullar göz önüne alınıp Çizelge 5.9 dikkate alındığında mevcut binanın Bina Yükseklik Sınıfı $BYS = 5$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.9 : TBDY-2018'e göre bina yükseklik sınıfı değerleri.

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

5.4.4 Performans hedefleri

TBDY-2018'e göre farklı deprem yer hareket düzeylerine ve deprem tasarım sınıflarına göre mevcut binaların deprem performans hedefi ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları Çizelge 5.10'da gösterilmiştir. Çalışmaya konu olan mevcut bina TBDY-2018'e göre, DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde şekildeğiştirme kriterlerine göre değerlendirildiğinde "Kontrollü Hasar" performans hedefini sağlaması gerekmektedir. Bu çalışmada 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonucunda saha gözleminde mevcut binada gözlemlenen hasar dağılımı ile sayısal modeldeki hasar dağılımı karşılaştırılacağından, deprem istasyonlarından elde edilen ivme kayıtları spektral eşleşme yapılmadan doğrudan kullanılmıştır. Kullanılan deprem ivme kayıtları altında "Kontrollü Hasar" performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir.

Buna ek olarak önerilen güçlendirme modelinin etkinliğinin incelenmesi amacıyla hedef görelî kat ötelemesi oranı 1/150 (%0.67) olarak belirlenmiştir.

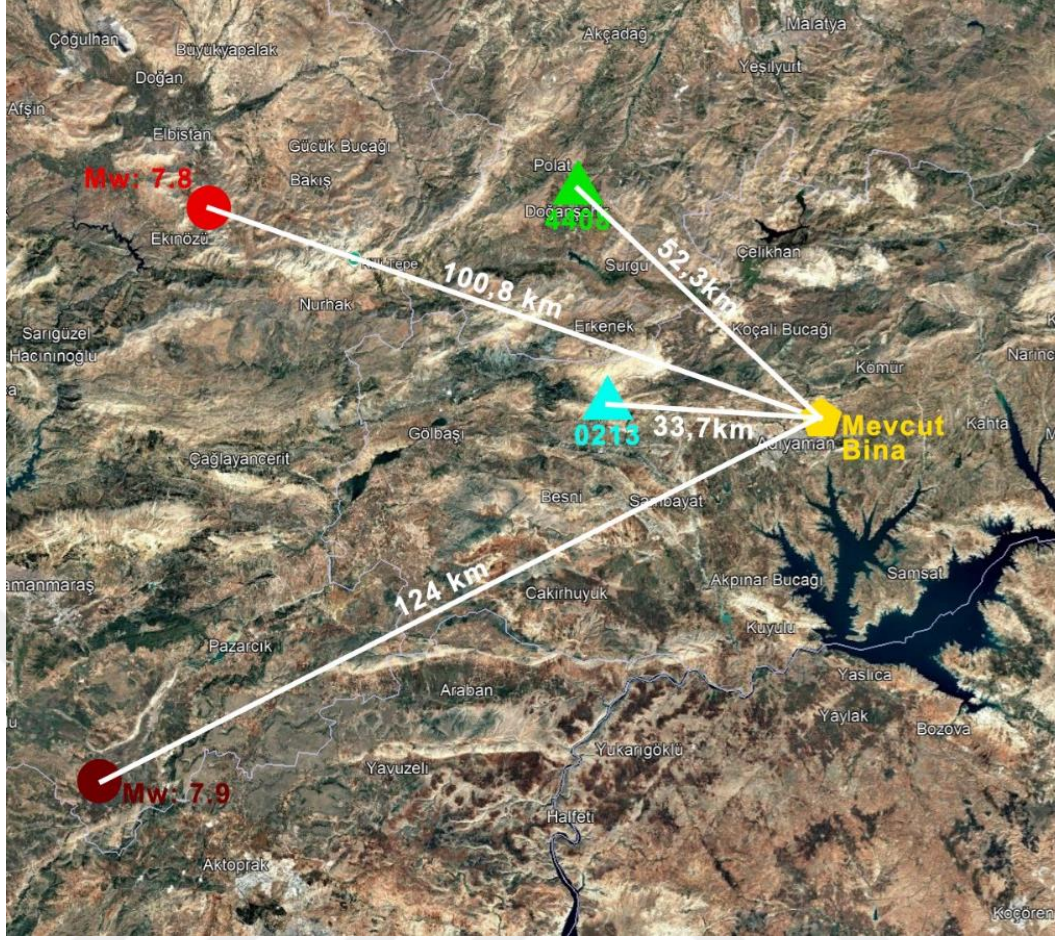
Çizelge 5.10 : TBDY-2018’e göre performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları.

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

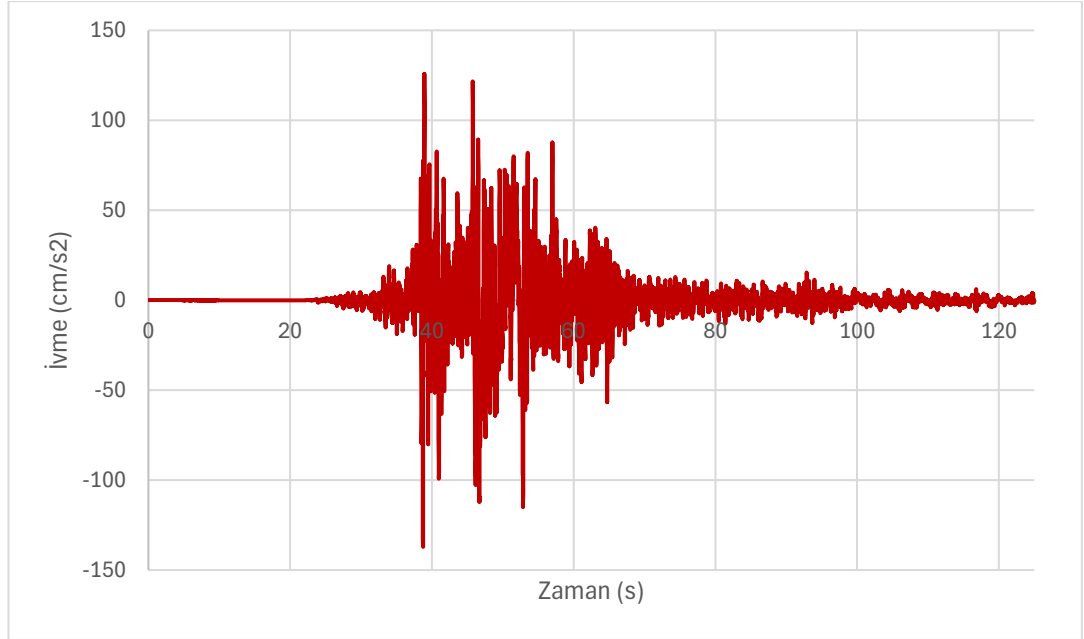
5.5 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Sayısal Analiz Programına Tanıtılması

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023’te Kahramanmaraş’ta meydana gelen depremler sonucunda mevcut konut binasında gözlemlenen hasar dağılımı ile sayısal analiz sonucu elde edilen hasar dağılımının birbirleri ile karşılaştırılmasının yanı sıra önerilen güçlendirme sisteminin etkinliğinin tam olarak incelenmesi için deprem kayıtları spektral eşleştirme yapılmadan sayısal modele doğrudan etki ettirilmiştir. Deprem ivme kayıtları AFAD Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi’nden alınmıştır. Deprem kayıtları, konut binasının olduğu konuma en yakın olan 0213 ve 4408 numaralı istasyonlarından elde edilmiştir. Moment büyüklüğü M_w : 7.9 ve M_w : 7.8 olan depremlerin merkez üslerini, çalışmadaki binanın konumunu ve ilgili deprem kayıt istasyonlarının yerleri Şekil 5.4’teki haritada gösterilmiştir. Güvenilir, binaya en yakın konumda olan 4408 numaralı deprem istasyonundan elde edilen ivme zaman grafikleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da, 0213 numaralı deprem istasyonundan elde edilen ivme zaman grafikleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Yapı bu istasyonlara kuş uçuşu yaklaşık sırasıyla 52.3 km ve 33.7 km uzaklığındadır.

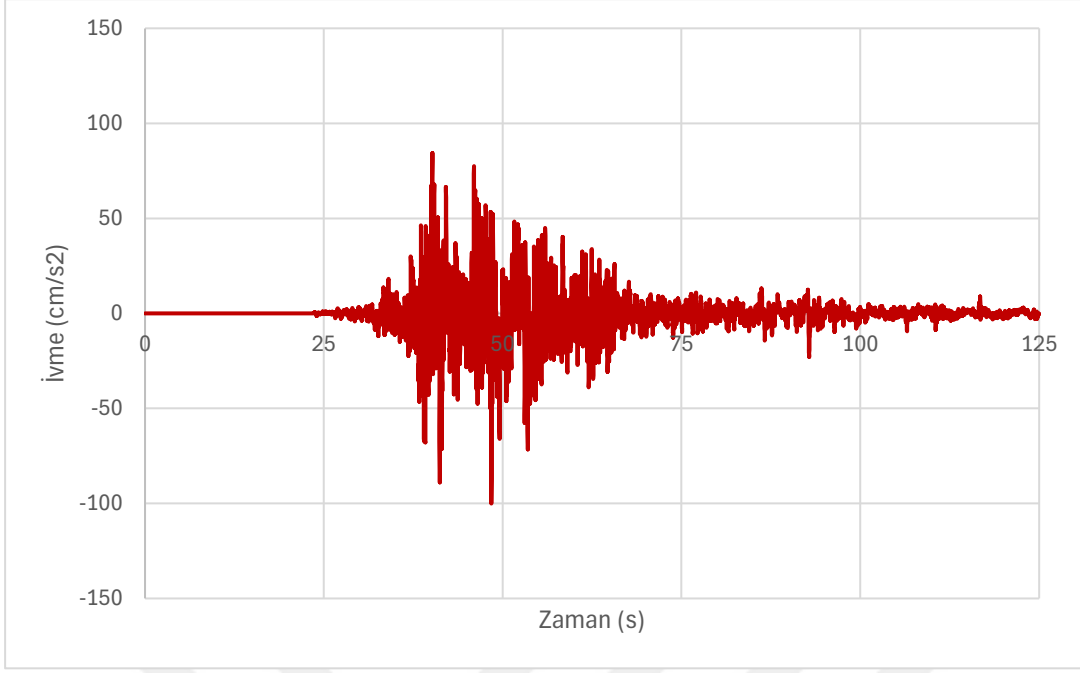
Seçilen deprem kayıtlarının ilk 20 saniyesindeki ivme değerleri 0 değerine yakın olduğundan ve analiz süresi göz önünde bulundurulduğundan dolayı bu bölüm sayısal analiz programına tanıtılmamıştır. Alınan deprem kayıtları Seismosignal programında işlenmiştir. İşlenen deprem ivme kayıtları adım sayısı ve süresi dikkate alınarak Şekil 5.9’daki gibi sayısal analiz programına tanıtılmıştır. Analizlerde depremin X ve Y doğrultusu aynı anda etki ettirilmiştir.



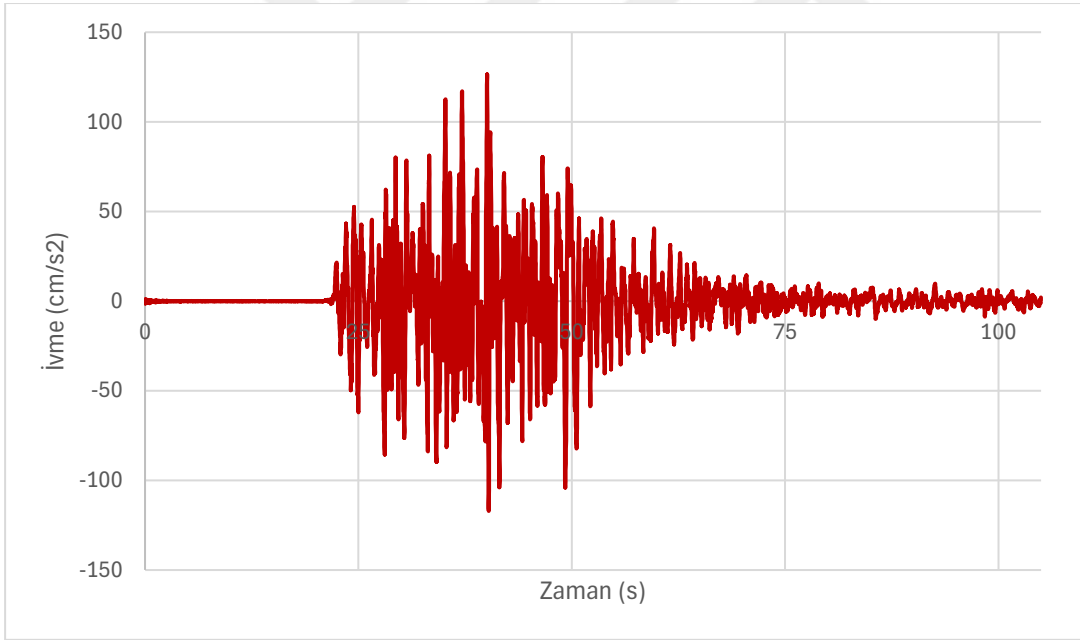
Şekil 5.4 : Mevcut binanın deprem istasyonlarına ve depremlerin merkez üslerine olan uzaklık bilgileri.



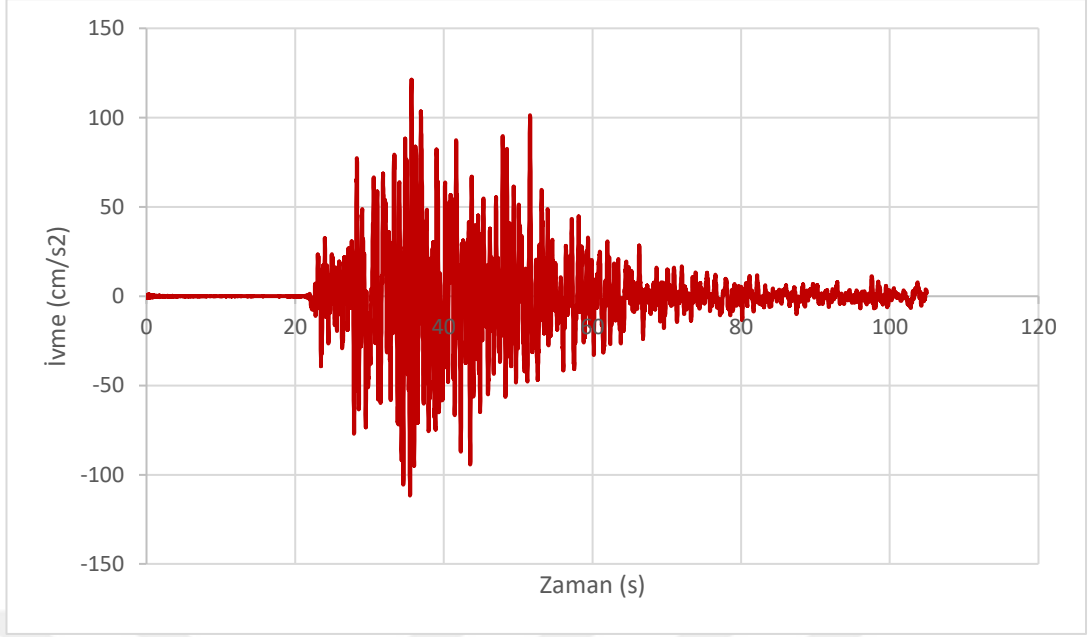
Şekil 5.5 : 4408 numaralı istasyondan elde edilen M_w : 7.9 büyüklüğündeki depremin doğu-batı bileşeni ivme kaydı.



Şekil 5.6 : 4408 numaralı istasyondan elde edilen M_w : 7.9 büyüklüğündeki depremin kuzey-güney bileşeni ivme kaydı.



Şekil 5.7 : 0213 numaralı istasyondan elde edilen M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremin doğu-batı bileşeni ivme kaydı.



Şekil 5.8 : 0213 numaralı istasyondan elde edilen M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremin kuzey-güney bileşeni ivme kaydı.

E Load Case Data

General

Load Case Name: maras76_1 [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History [Nonlinear Direct Integration] [Notes...]

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: G+0.3Q_NL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	maras76_0213e	1
Acceleration	U2	maras76_0213n	1

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 8501

Output Time Step Size: 0.01 sec

Şekil 5.9 : Deprem kayıtlarının sayısal analiz programına tanıtılması.

5.6 Mevcut Binanın Bulunduğu Konuma Ait Yatay Elastik Tasarım Spektrumu ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerine Ait Tepki Spektrumlarının Karşılaştırılması

Mevcut yapıya ait deprem parametrelerinin belirlenmesinde TBDY-2018 ve Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'ndan faydalanılmıştır. Adıyaman Merkez bölgesinde bulunan İlkfen Apartmanının konum ve yerel zemin sınıfı bilgisi aşağıda verilmiştir.

- Enlem: 37.764474° - Boylam: 38.310057°
- Yerel zemin sınıfı: ZC

TBDY 2018 esas alınarak DD1 ve DD2 deprem yer hareket düzeyleri için hesaplanan S_s (Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı), S_1 (1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı), F_1 (kısa periyot için yerel zemin etki katsayısı) ve F_2 (1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı) değerleri Çizelge 5.11'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.11 : DD1 ve DD2 deprem yer hareket düzeyleri için hesaplanan harita spektral ivme katsayısı ve yerel zemin etki katsayısı değerleri

Deprem Yer Hareket Düzeyi	S_s	S_1	F_s	F_1
DD1	1.025	0.333	1.2	1.5
DD2	0.574	0.182	1.27	1.5

Tasarım spektral ivme katsayıları (S_{DS} ve S_{D1}) denklem 5.1 ve denklem 5.2, yatay elastik tasarım spektrumu köşe periyot değerleri (T_A ve T_B) denklem 5.3 esas alınarak hesaplanır. Hesap sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.12'de özetlenmiştir.

$$S_{DS} = S_s \times F_s \quad (5.1)$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 \quad (5.2)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (5.3)$$

Çizelge 5.12 : DD1 ve DD2 deprem yer hareket düzeyleri için hesaplanan tasarım spektral ivme katsayıları ve yatay elastik tasarım spektrumu köşe periyot değerleri

Deprem Yer Hareket Düzeyi	S_{DS}	S_{D1}	T_A	T_B
DD1	1.230	0.500	0.081	0.406
DD2	0.729	0.273	0.075	0.374

Çizelge 5.12’de hesaplanan parametreler kullanılarak TBDY 2018’de belirtilen yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden denklem 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7’deki gibi tanımlanır.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.4)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (5.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (5.6)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (5.7)$$

Mevcut bina DBYBHY-2007 esas alınarak tasarlandığı için ilgili yönetmelikteki hesap adımları takip edilerek yatay elastik tasarım spektrumu hesaplanmıştır. Buna göre deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan spektral ivme katsayısı ($A(T)$) denklem 5.8’de gösterilmiştir. Denklem 5.9’da verilen %5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumunun ordinatı olan elastik spektral ivme ($S_{ae}(T)$), spektral ivme katsayısı ile yerçekimi ivmesinin (g) çarpımına karşı gelmektedir. Denklem 5.8’de yer alan etkin yer ivme katsayısı (A_0) Çizelge 5.13’te gösterilmiştir. Etkin yer ivme katsayısının belirlenmesi için Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası-1996’dan faydalanılmıştır. Buna göre, mevcut bina ikinci deprem bölgesinde yer almaktadır.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (5.8)$$

$$S_{ae}(T) = A(T)g \quad (5.9)$$

Çizelge 5.13 : Deprem bölgelerine göre etkin yer ivme katsayısı değerleri

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

DBYBHY-2007’ye göre spektrum katsayısı ($S(T)$), yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T ’ye bağlı olarak denklem 5.10, 5.11 ve 5.12 ile hesaplanır.

$$S(T) = \left(1 + 1.5 \frac{T}{T_A}\right) \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.10)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (5.11)$$

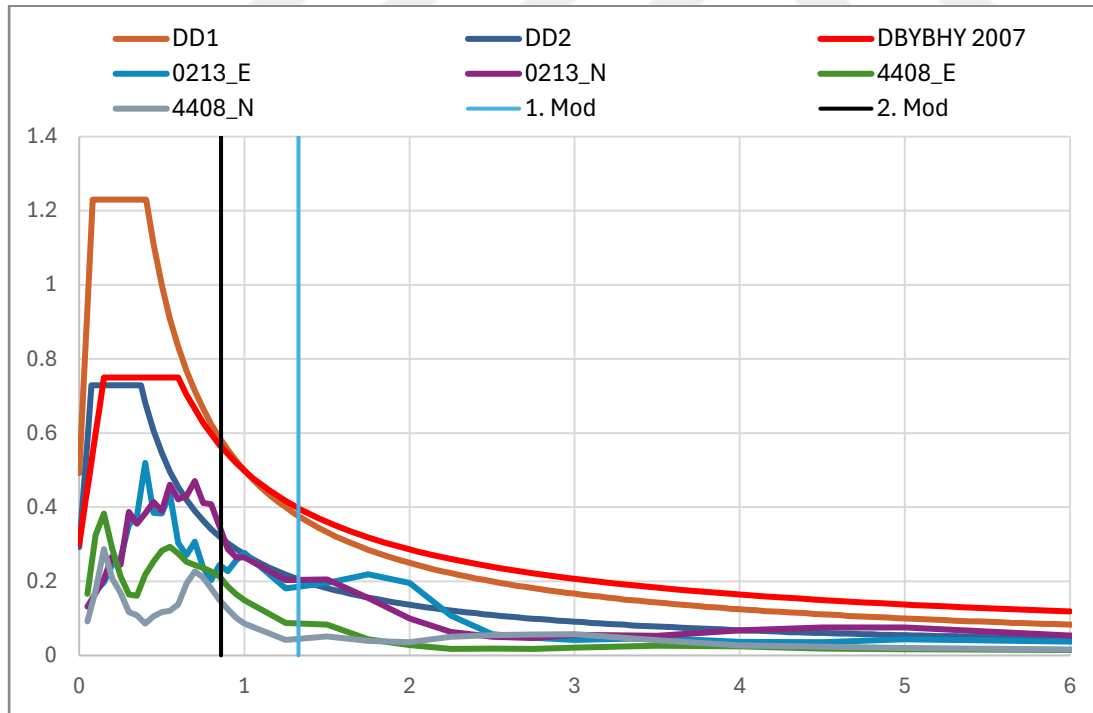
$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B \leq T) \quad (5.12)$$

Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B , yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelge 5.14'te gösterilmiştir. Mevcut binanın projesinde yerel zemin sınıfı Z3-C olarak belirtilmiştir.

Çizelge 5.14 : Spektrum karakteristik periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için yapının doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yatay elastik tasarım ivmeleri, DBYBHY-2007 esas alınarak hesaplanan yatay elastik tasarım ivmesi ve seçilen deprem kayıtlarına ait tepki spektrumları yerçekimi ivmesi [g] cinsinden karşılaştırmalı olarak Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

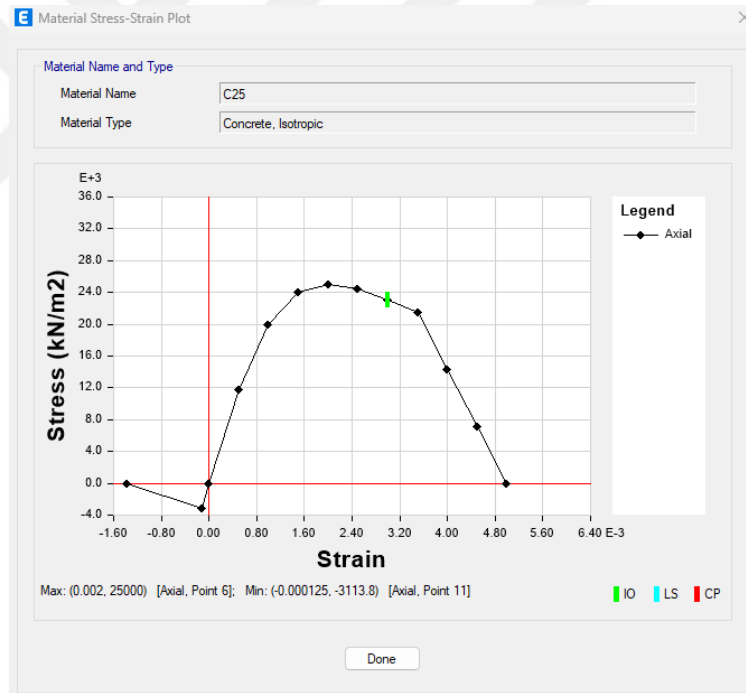


Şekil 5.10 : DD1 ve DD2 deprem yer hareket düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrumu, DBYBHY-2007 esas alınarak hesaplanan yatay elastik tasarım spektrumu ve deprem istasyonlarından elde edilen ivme kayıtlarına ait tepki spektrumlarının karşılaştırılması

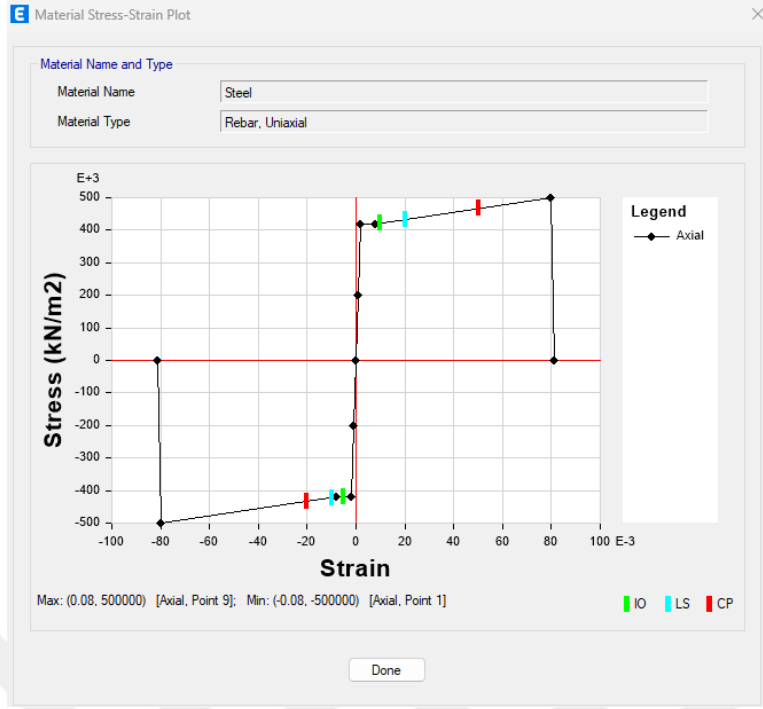
Şekil 5.10 incelendiğinde deprem istasyonlarından elde edilen ivme kayıtlarına ait tepki spektrumları, TDBY-2018'e göre DD2 için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrumunu 0.65-0.9, 1.5-2.25 ve 4.1-6 saniye aralığındaki değerlerde aştığı görülürken, DD1 ve DBYBHY-2007 esas alınarak hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerlerinin altında kaldığı anlaşılmaktadır. Mevcut bina, DBYBHY-2007 esas alınarak tasarlandığı düşünüldüğünde tepki spektrumlarının güvenli bölgede kaldığı söylenebilir.

5.7 Malzeme Modelleri

Sayısal analizlerde kullanılmak üzere sargılı-sargısız çelik ve sargılı-sargısız beton modellerinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları için TBDY-2018 EK 5A esas alınmıştır. Bu bağıntılar esas alınarak oluşturulan beton malzeme modeli Şekil 5.11'de, çelik malzeme modeli ise Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Beton modelinin sayısal programa tanımlanması.



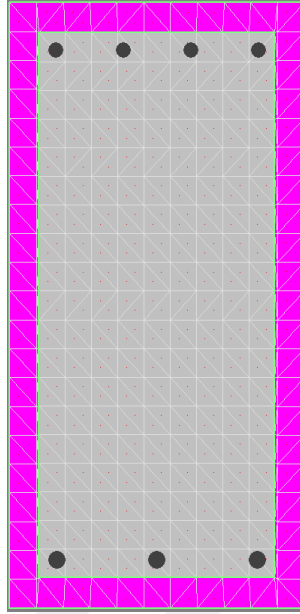
Şekil 5.12 : Donatı modelinin sayısal programa tanımlanması.

5.8 Betonarme Elemanlara Mafsal Tanımlanması

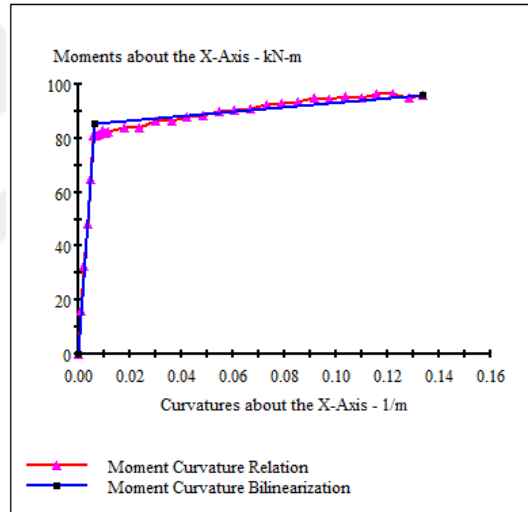
5.8.1 Kirişler

Yapının değerlendirilmesinde kullanılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için oluşturulan üç boyutlu bina modelinde betonarme kirişlere yığılı plastik mafsal tanımlanmıştır. Mafsal bölgelerinde okunan dönme değerlerine göre kirişlerin hasar durumu belirlenmiştir. ETABS programında kiriş için oluşturulan plastik mafsal modeli manuel olarak oluşturulmuştur. Bunun için her bir kiriş kesiti için XTRACT programı kullanılarak moment eğrilik değerleri hesaplanmıştır. XTRACT programından alınan moment eğrilik değerleri ETABS programında M3 mafsalı oluşturularak tanımlanmıştır.

Şekil 5.13'te mevcut binada bulunan örnek bir kiriş kesiti gösterilmiştir. Şekil 5.14'te XTRACT programı ile hesaplanan örnek kiriş kesitinin moment-eğrilik diyagramı gösterilmiştir. Kirişin akma eğrilik değerine karşılık gelen moment değeri 85.49 kNm, kiriş kesitinin maksimum eğrilik değerine karşılık gelen moment değeri ise 96.04 kNm'dir. Çalışma kapsamında TBDY 2018'de belirtilen sınırlı bilgi düzeyi ile çalışıldığı için Çizelge 4.1'de verilen sınırlı bilgi düzeyi katsayısı 0.75 ile bu değerler çarpılmış ve Şekil 5.15'teki gibi ETABS menüsüne girilmiştir. İlaveten TBDY-2018'de yığılı plastik mafsal boyu çalışan kesitin boyutunun yarısı olacak şekilde tanımlanmıştır. Örnek verilen kiriş için bu değer $0.5/2 = 0.25$ metredir.



Şekil 5.13 : B25x50-T1 kirişi kesit görünümü.



Şekil 5.14 : B25x50-T1 kirişine ait moment eğrilik ilişkisi.

Hinge Property Data for b25x50x1-h - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0.2	-27.52
D-	-0.2	-22.52
C-	-1.15	-22.52
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.15	22.52
D	0.2	22.52
E	0.2	27.52

☒ Symmetric

Additional Backbone Curve Points

☐ BC - Between Points B and C

☐ CD - Between Points C and D

Scaling for Moment and Curvature

☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Curvature (Steel Objects Only)

Positive

Moment SF 64.1 kN-m

Curvature SF 0.004 1/m

Negative

Type

☐ Moment - Rotation

☒ Moment - Curvature

Hinge Length 0.25 m

☐ Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis Isotropic

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Şekil 5.15 : B25x50-T1 kirişine ait moment eğrilik ilişkisinin ETABS programına tanıtılması.

5.8.2 Kolonlar

Mevcut yapının kolonlarına yığılı plastik mafsalları tanımlanmıştır. Kolonlar için manuel olarak tanımlanan plastik mafsalları özellikleri girişlerden farklılık göstermektedir. Yapıda bulunan kolonların her biri farklı değerde eksenel yük aldığından dolayı moment eğrilik grafiğindeki değerler farklılık gösterecektir. Bu aşamada hesap adımlarının basitleştirilmesi adına G+nQ deprem yükü kombinasyonu sonucu oluşan her bir kattaki kolonlara etkiyen ortalama eksenel yük değeri alınmış ve moment eğrilik analizleri yapılmıştır. Her kat için alınan eksenel yük değerleri 30cmx70cm boyutlu kolonlar için Çizelge 5.15'te, 30cmx120cm boyutlu kolonlar için Çizelge 5.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 : G+nQ kombinasyonu altında 30cmx70cm boyutlu kolonlara etkiyen ortalama eksenel kuvvet değerleri.

Kat	Eksenel Kuvvet (kN)
Zemin Kat	-1340
2. Kat	-1194
3. Kat	-1040
4. Kat	-888
5. Kat	-736
6. Kat	-586
7. Kat	-437
8. Kat	-288
9.Kat	-140

Çizelge 5.16 : G+nQ kombinasyonu altında 30cmx120cm boyutlu kolonlara etkiyen ortalama eksenel kuvvet değerleri.

Kat	Eksenel Kuvvet (kN)
Zemin Kat	-1515
2. Kat	-1357
3. Kat	-1194
4. Kat	-1027
5. Kat	-856
6. Kat	-683
7. Kat	-508
8. Kat	-332
9.Kat	-153

Kolonlar deprem yüklemesi altında eksenel yük ve eğilme davranışına sahip olduğu için ETABS programında P-M2-M3 mafsalları tanımlanmıştır. İlgili mafsala kolon tipleri için PMM eğrileri Şekil 5.16'daki gibi girilmiş olup farklı eksenel kuvvet değerlerine ait moment eğrilik değerleri program tarafından Şekil 5.17'deki gibi tanımlanmıştır.

Kolon ve kirişler için tanımlanan plastik mafsalların mafsal boyu TBDY-2018’de belirtildiği üzere $0.5xL_p$ olarak alınmıştır.

P-M2-M3 Interaction Surface Definition for kolon-30x70-h

User Interaction Surface Options

☐ Circular Symmetry
☐ Doubly Symmetric about M2 and M3
☒ No Symmetry

Number of Curves: 16
Number of Points on Each Curve: 11

Scale Factors (Same for All Curves)

P, kN: 5424.7635
M2, kN-cm: 57014.782
M3, kN-cm: 57014.782

☐ Include Scale Factors in Plots

First and Last Points (Same for All Curves)

Point	P	M2	M3
1	-1	0	0
11	0.186837	0	0

Interaction Surface Requirements - No Symmetry

1. A minimum of 8 P-M2-M3 curves are specified.
2. P (tension positive) increases monotonically.
3. Each curve must be convex and the interaction surface as a whole must be convex (no dimples in surface).

Interaction Curve Data

Current Curve: 1

Point	P/SF	M2/SF	M3/SF
1	-1	0	0
2	-0.848268	0.401226	0
3	-0.748533	0.621686	0
4	-0.639779	0.793902	0
5	-0.524642	0.915512	0
6	-0.394603	1	0
7	-0.288625	0.973625	0
8	-0.181855	0.876719	0
9	-0.078621	0.715056	0
10	0.033632	0.456358	0
11	0.186837	0	0

3D Plot

Plan, deg: 315
Elevation, deg: 25
Aperture, deg: 0

☒ Show All Lines
☐ Hide P Direction Lines
☐ Hide M2-M3 Lines

☐ Highlight Current Curve

OK Cancel

Şekil 5.16 : C30x70-T1 kolonuna ait PMM ilişkisinin tanımlanması.

Moment Curvature Data for kolon-30x70-h - Interacting P-M2-M3

Select Curve

Axial Force: -1340
Angle: 0
Curve #1: 1

Moment Curvature Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Curvature/SF
A	0	0
B	1	0
C	1	50
D	0.2	50
E	0.2	60

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

☒ Immediate Occupancy: 0.002
☒ Life Safety: 0.004
☒ Collapse Prevention: 0.005

☐ Show Acceptance Points on Current Curve

3D View

Plan: 315 deg
Elevation: 35 deg
Aperture: 0 deg

☐ Hide Backbone Lines
☐ Show Acceptance Criteria
☐ Show Thickened Lines
☒ Highlight Current Curve

Moment Curvature Information

Symmetry Condition: Double
Number of Axial Force Values: 9
Number of Angles: 2
Total Number of Curves: 18

Angle Is Moment About

0 degrees = About Positive M2 Axis
90 degrees = About Positive M3 Axis
180 degrees = About Negative M2 Axis
270 degrees = About Negative M3 Axis

OK Cancel

Şekil 5.17 : C30x70-T1 kolonuna ait moment eğrilik ilişkisinin tanımlanması.

5.8.3 Betonarme Perdeler

TBDY-2018’de doğrusal olmayan hesaplarda kullanılmak üzere kabuk eleman olarak modellenen perdelerde yayılı plastik mafsalları tanımlanması gerekmektedir. Sayısal modelde perde elemanlara, perdelerin enine ve boyuna donatı oranları dikkate alınarak Auto-Fiber Hinge tanımlanmıştır.

5.9 Etkin Kesit Rijitliklerinin Tanımlanması

Deprem etkileri altında yapı elemanlarının elastik ötesi davranış beklenen bölgelerinde beton bir miktar çatlayıp kesit kapasitesini kaybedecektir. Sayısal analizlerde, TBDY 2018 Bölüm 15’te belirtilen eğilme etkisindeki betonarme elemanlardaki çatlama kesite ait etkin kesit rijitliği değerlerinin tanımlanması gereğince Şekil 5.18’deki değerler kullanılmıştır.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Şekil 5.18 : TBDY 2018’de belirtilen kolon, kiriş ve perde elemanlara ait etkin kesit rijitliklerinin tanımlanması.

5.10 Sayısal Modele Sönümün Tanıtılması

TBDY-2018’de taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışa ilişkin enerji tüketimi dışında doğrusal çalışan yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşan dinamik enerji kaybı, hareket denklemlerinde viskoz sönüm matrisi ile temsil edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışma kapsamında Şekil 5.19’da tanımlanan şekliyle “Rayleigh” sönüm modeli kullanılmıştır. Rayleigh sönüm matrisi denklem 5.1’deki gibi ifade edilebilir. Denklem 5.13 ve denklem 5.14 kullanılarak yapısal sistemin iki modu için belirlenmiş sönüm oranı sistemin diğer modlarına da etki ettirilecek şekilde kullanılır.

$$C = aM + \beta K \quad (5.13)$$

Burada geçen semboller aşağıdaki gibi tanımlanır:

C : Rayleigh sönüm matrisi

M : Yapısal sistemin kütle matrisi

K : Rijitlik matrisi

a : Kütle matrisi katılım katsayısı (s^{-1})

β : Rijitlik matrisi katılım katsayısı (s)

i . moddaki sönüm için ise

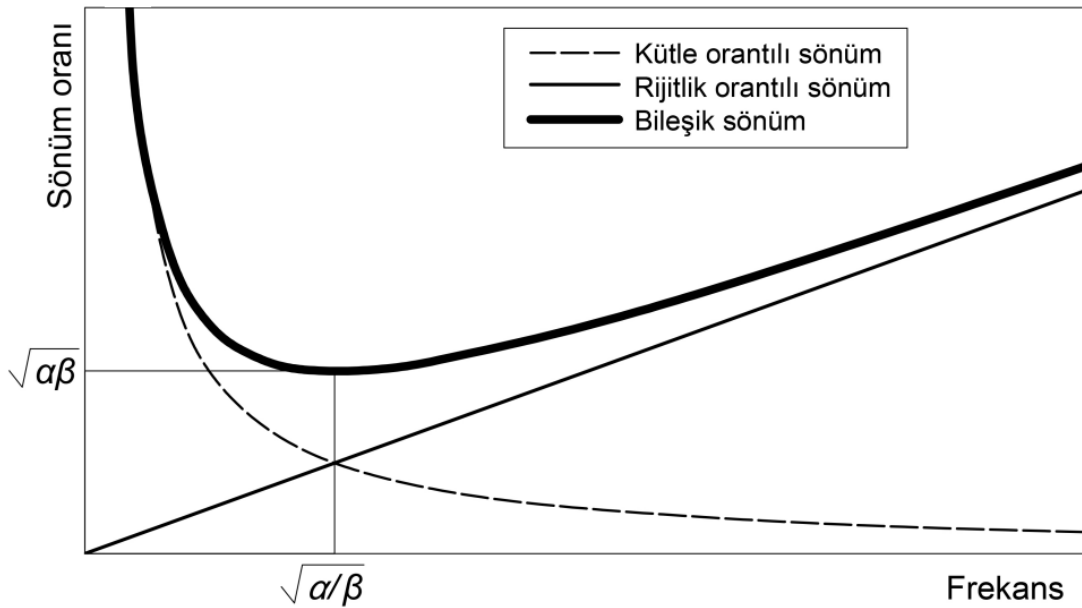
$$\xi_i = \frac{1}{2\omega_i} a + \frac{\omega_i}{2} \beta \quad (5.14)$$

yazılabilir. Burada

ξ_i : i modunun sönümü

ω_i : i modunun dairesel frekansı

alınmaktadır.



Şekil 5.19 : Rayleigh sönüm modeli (N.Shaban ve A.Caner, 2015).

Sayısal modelde Rayleigh sönümünün tanımlanması için oluşturulan üç boyutlu modelde modal analiz yapılmıştır. Modal analiz sonucu elde edilen periyot ve kütle katılım değerleri Çizelge 5.17’de gösterilmiştir. Yapının birinci ve ikinci periyodu kullanılarak ilgili sönüm Şekil 5.20’deki gibi sayısal modele tanımlanmıştır.

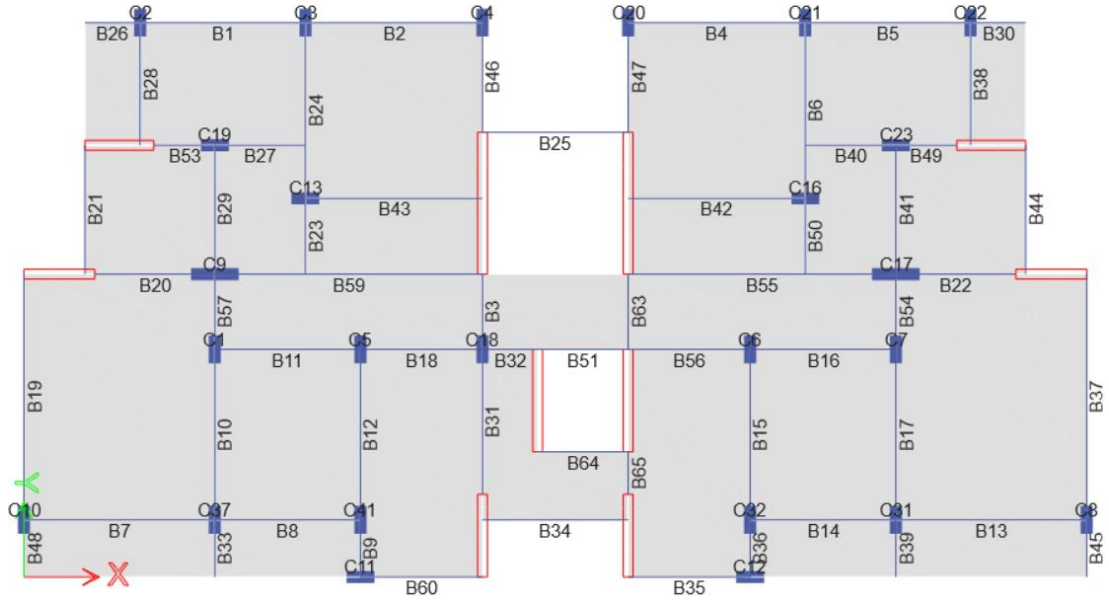
Çizelge 5.17 : Mevcut binanın periyot ve kütle katılım değerleri.

Mod	Periyot (s)	UX	UY	SumUX	SumUY
1	1.666	0.1005	0.0014	0.1005	0.0014
2	1.328	0.6469	0.0010	0.7475	0.0024
3	0.859	0.0003	0.7165	0.7478	0.7189

Şekil 5.20 : Sayısal modele sönüm parametrelerinin tanımlanması.

5.11 Mevcut Yapıya Ait Betonarme Eleman Hasar Durumu ve Türleri

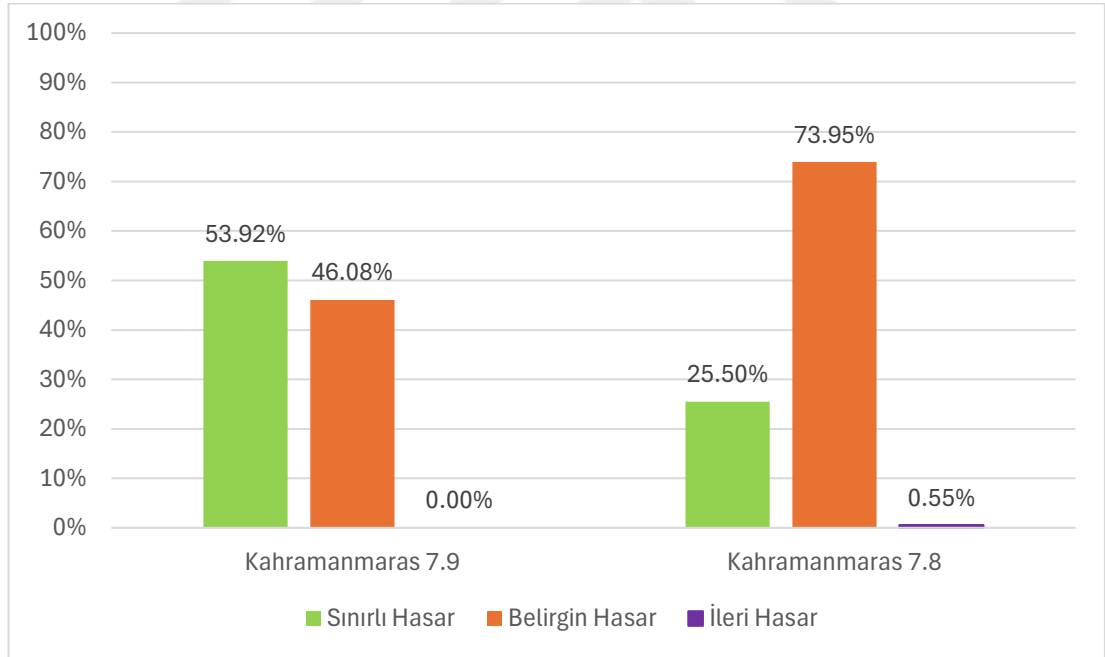
Mevcut yapının kolon ve kirişlerine ait dönme, betonarme perdelerle ait beton birim kısalma ve donatı birim şekildeğiştirme sınırları hesaplanmış olup alt başlıklarda ilgili betonarme elemanların hasar durumları belirlenmiştir. Hasar alan betonarme elemanların hasar türlerinin belirlenmesi için TS500 standardı ve TBDY-2018 esas alınarak kesme güvenliği kontrolü yapılmıştır. Binanın kolon ve kirişlerine ait etiketler Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21 : Mevcut binanın kolon ve kiriş etiketleri.

5.11.1 Kiriş hasar durumu

TBDY 2018'e göre mevcut yapıdaki kirişlerin hasar durumlarına ait bilgiler Şekil 5.22'de belirtilmiştir.



Şekil 5.22 : M_w : 7.9 ve M_w : 7.8 büyüklüğündeki depremler sonucunda mevcut bina kirişlerinde meydana gelen hasar durumu oranı.

5.11.2 Kiriş hasar türleri

Yapılan analizler sonucunda hasar alan kiriş elemanların hasar türlerini belirlemek için TS500 standardı esas alınarak kiriş kesme kontrolü yapılmıştır. Çizelge 5.18’de ve Çizelge 5.19’da kirişler geometrik boyutlarına göre sınıflandırılmış olup deprem sonucu hasar alan kat kirişlerinde gözlemlenen en büyük kesme kuvveti ile kirişlerin kesme kapasiteleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Mevcut binanın hasar gören kirişlerinin tümü sünek hasar aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.18 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucu mevcut yapının hasar alan kirişlerinin kesme kontrolü.

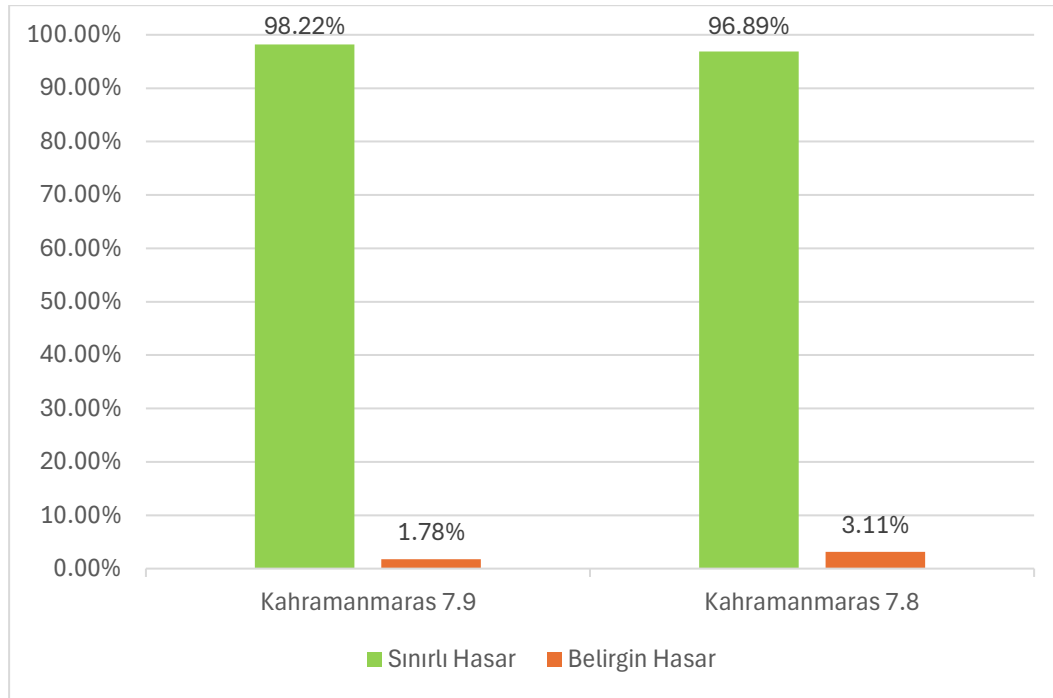
Kiriş İsmi	Boyut [cm]	Kat	V_d [kN]	V_r [kN]	V_{max} [kN]	$V_d < V_r$	$V_d < V_{max}$
B49	25x50	1	254.72	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	2	257.42	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	3	256.76	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	4	203.24	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	5	200.61	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	6	198.15	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	7	196.73	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	8	196.04	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	9	182.53	308.62	653.13	OK	OK
B13	25x55	1	84.78	341.11	721.88	OK	OK
B9	25x55	2	92.29	341.11	721.88	OK	OK
B9	25x55	3	94.68	341.11	721.88	OK	OK
B14	25x55	4	94.69	341.11	721.88	OK	OK
B14	25x55	5	93.15	341.11	721.88	OK	OK
B14	25x55	6	82.74	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	7	78.00	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	8	72.81	341.11	721.88	OK	OK
B13	25x55	9	66.67	341.11	721.88	OK	OK
B24	30x50	1	102.64	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	2	120.92	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	3	120.69	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	4	112.27	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	5	100.08	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	6	86.29	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	7	74.14	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	8	65.58	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	9	60.91	330.23	783.75	OK	OK

Çizelge 5. 19 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucu mevcut yapının hasar alan kirişlerinin kesme kontrolü.

Kiriş İsmi	Boyut [cm]	Kat	V_d [kN]	V_r [kN]	V_{max} [kN]	$V_d < V_r$	$V_d < V_{max}$
B49	25x50	1	256.92	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	2	262.55	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	3	263.81	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	4	212.01	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	5	209.63	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	6	206.26	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	7	205.19	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	8	204.14	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	9	201.77	308.62	653.13	OK	OK
B36	25x55	1	118.19	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	2	157.48	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	3	167.77	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	4	164.58	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	5	156.38	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	6	141.08	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	7	120.26	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	8	101.04	341.11	721.88	OK	OK
B7	25x55	9	72.36	341.11	721.88	OK	OK
B24	30x50	1	94.51	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	2	108.16	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	3	116.59	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	4	125.70	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	5	119.78	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	6	107.59	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	7	95.90	330.23	783.75	OK	OK
B18	30x50	8	81.09	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	9	73.52	330.23	783.75	OK	OK

5.11.3 Kolon Hasar Türleri

Mevcut yapının kolonlarına ait hasar durumu bilgileri Şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : M_w :7.9 ve M_w :7.8 büyüklüğündeki depremler sonucunda mevcut bina kolonlarında meydana gelen hasar durumu oranı.

5.11.4 Kolon hasar türleri

Mevcut yapının belirgin hasar bölgesinde kalan kolonlarının kesme güvenliği kontrolüne ait bilgiler Çizelge 5.20 ve Çizelge 5.21'de belirtilmiştir. Kolon elemanlarda herhangi bir kesme kapasitesi yetersizliği gözlemlenmemiştir. Hasar alan kolonların hepsi sünek hasar almıştır.

Çizelge 5.20 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucunda mevcut binaya ait belirgin hasar bölgesindeki kolonların kesme kontrolü.

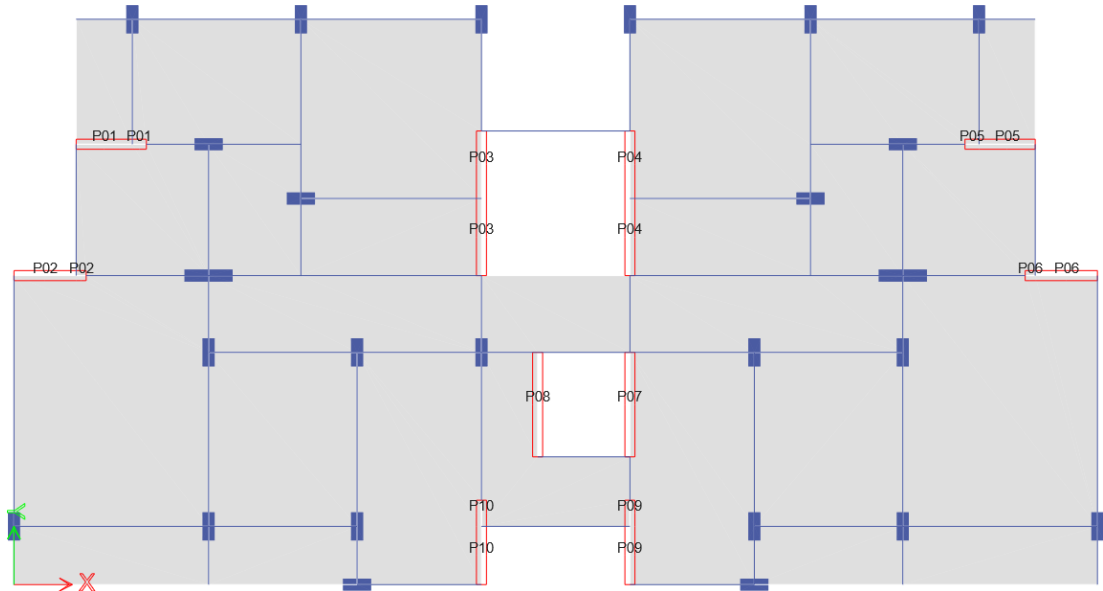
Kolon İsmi	Kat	Boyut [m]	V2-d [kN]	V3-d [kN]	V_r -2 [kN]	V_r -3 [kN]	V2 Kontrol	V3 Kontrol
C9	1	0.3x1.2	332.59	26.75	1064.96	648.64	OK	OK
C17	1	0.3x1.2	317.62	22.75	1064.96	648.64	OK	OK
C23	1	0.3x0.7	120.04	13.85	611.78	407.40	OK	OK
C23	2	0.3x0.7	159.17	13.58	611.78	407.40	OK	OK

Çizelge 5.21 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda mevcut binaya ait belirgin hasar bölgesindeki kolonların kesme kontrolü.

Kolon İsmi	Kat	Boyut [m]	V2-d [kN]	V3-d [kN]	V _r -2 [kN]	V _r -3 [kN]	V2 Kontrol	V3 Kontrol
C9	1	0.3x1.2	381.18	48.97	1064.96	648.64	OK	OK
C17	1	0.3x1.2	308.36	43.79	1064.96	648.64	OK	OK
C19	1	0.3x0.7	162.27	17.84	611.78	407.40	OK	OK
C23	1	0.3x0.7	150.93	22.68	611.78	407.40	OK	OK
C18	2	0.3x0.7	82.14	94.36	407.40	611.78	OK	OK
C19	2	0.3x0.7	193.58	24.96	611.78	407.40	OK	OK
C23	2	0.3x0.7	179.08	28.79	611.78	407.40	OK	OK

5.11.5 Betonarme perdelerin hasar durumu

Mevcut bina değerlendirmesinde betonarme perdeler kabuk eleman olarak modellendiğinden dolayı yayılı plastik mafsallı model ile modellenmiştir. Üç boyutlu modelde perdelerin isimlendirilmesi kat planı üzerinde Şekil 5.24'te gösterilmiştir. Hasar durumu değerlendirilmesinde beton ve çelik malzemesinin birim şekildeğiştirme değerleri göz önüne alınmalıdır. Yapılan analizlerde tüm perdelerin sınırlı hasar bölgesinde kaldığı tespit edilmiştir. Üç boyutlu modeldeki perde elemanların her birinin beton malzemesindeki en büyük birim kısalma ve çelik malzemesindeki en büyük birim şekildeğiştirme değerleri Çizelge 5.22 ve 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : Betonarme perdelerin etiketi.

Çizelge 5.22 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucunda mevcut binanın perde elemanlarda oluşan hasar durumu.

Perde İsmi	En büyük beton birim kısalması	En büyük çelik birim şekildeğiştirmesi	$\epsilon_C^{(G\ddot{O})}$	$\epsilon_C^{(KH)}$	$\epsilon_C^{(SH)}$	$\epsilon_S^{(G\ddot{O})}$	$\epsilon_S^{(KH)}$	$\epsilon_S^{(SH)}$	Hasar durumu
P01	0.00092	0.00283	0.0095	0.0072	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P02	0.00173	0.00192	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P03	0.00082	0.00061	0.0110	0.00832	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P04	0.00077	0.00049	0.0110	0.00832	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P05	0.00103	0.00236	0.0095	0.0072	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P06	0.00157	0.00294	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P07	0.00031	0.00003	0.0109	0.0082	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P08	0.00022	0.00008	0.0109	0.0082	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P09	0.00078	0.00037	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P10	0.00069	0.00023	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH

Çizelge 5.23 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda mevcut binanın perde elemanlarda oluşan hasar durumu.

Perde İsmi	En büyük beton birim kısalması	En büyük çelik birim şekildeğiştirmesi	$\epsilon_C^{(G\ddot{O})}$	$\epsilon_C^{(KH)}$	$\epsilon_C^{(SH)}$	$\epsilon_S^{(G\ddot{O})}$	$\epsilon_S^{(KH)}$	$\epsilon_S^{(SH)}$	Hasar durumu
P01	0.00098	0.00413	0.0095	0.0072	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P02	0.00164	0.00316	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P03	0.00110	0.00183	0.0110	0.00832	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P04	0.00109	0.00187	0.0110	0.00832	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P05	0.00104	0.00312	0.0095	0.0072	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P06	0.00186	0.00335	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P07	0.00035	0.00044	0.0109	0.0082	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P08	0.00025	0.00039	0.0109	0.0082	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P09	0.00106	0.00107	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P10	0.00094	0.00075	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH

5.11.6 Betonarme perdelerin hasar türleri

Mevcut yapının betonarme perdelerinin kesme kontrolüne ait bilgiler Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25'te gösterilmiştir. Perdelerde herhangi bir kesme yetersizliği gözlemlenmemiştir.

Çizelge 5.24 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem altında mevcut binanın betonarme perdelerine ait kesme kontrolü.

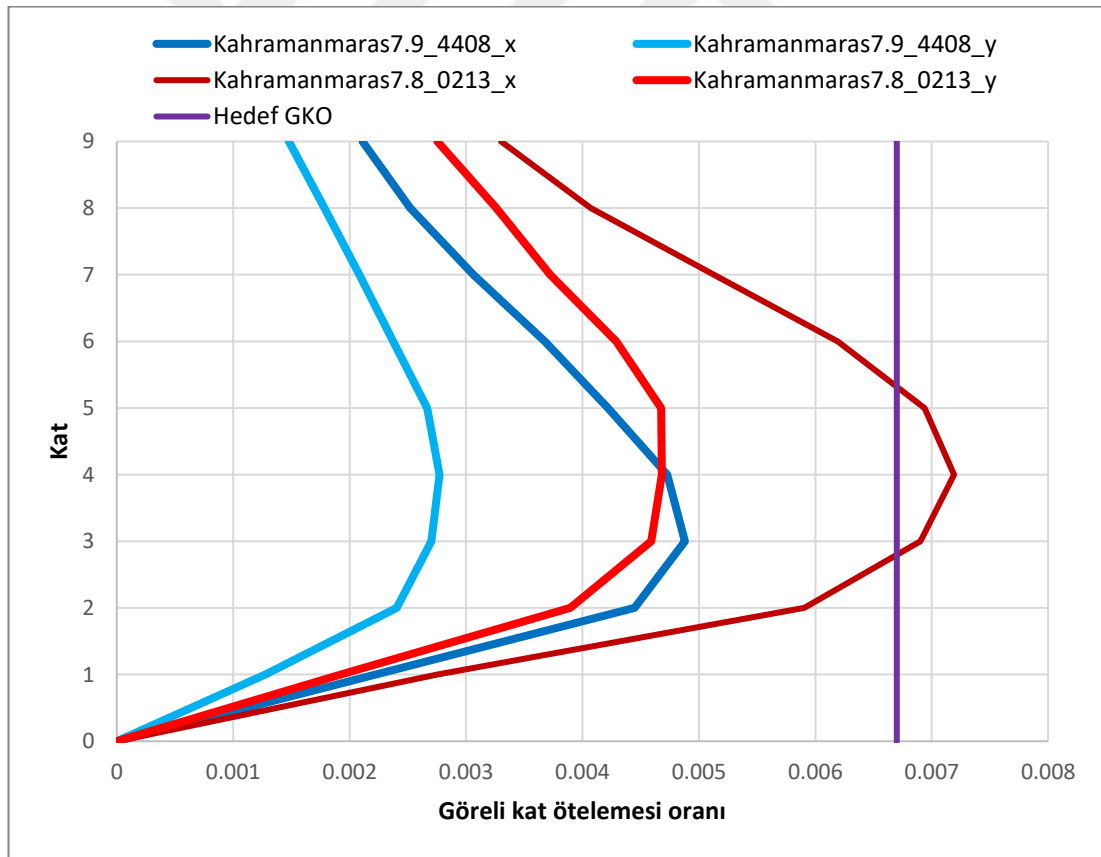
Perde İsmi	Genişlik [mm]	Uzunluk [mm]	V_d -min [kN]	V_d -max [kN]	V_r [kN]	V_{max} [kN]
P01	250	1750	-536.79	349.26	959.47	1859.38
P02	250	1800	-503.95	379.39	986.88	1912.50
P03	250	3600	-648.02	648.62	1973.76	3825
P04	250	3600	-581.96	604.88	1973.76	3825
P05	250	1750	-303.03	659.96	959.47	1859.38
P06	250	1800	-365.33	652.9	986.88	1912.50
P07	250	2600	-423.07	398.97	1425.49	2762.50
P08	250	2600	-338.64	293.06	1425.49	2762.50
P09	250	2100	-278.30	231.67	1151.36	2231.25
P10	250	2100	-299.28	245.14	1151.36	2231.25

Çizelge 5.25 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem altında mevcut binanın betonarme perdelerine ait kesme kontrolü.

Perde İsmi	Genişlik [mm]	Uzunluk [mm]	V_{d-min} [kN]	V_{d-max} [kN]	V_r [kN]	V_{max} [kN]
P01	250	1750	-667.34	344.68	959.47	1859.38
P02	250	1800	-645.98	352.04	986.88	1912.50
P03	250	3600	-667.94	793.94	1973.76	3825
P04	250	3600	-721.51	825.29	1973.76	3825
P05	250	1750	-357.62	560.33	959.47	1859.38
P06	250	1800	-455.61	530.15	986.88	1912.50
P07	250	2600	-506.15	576.78	1425.49	2762.50
P08	250	2600	-404.54	370.88	1425.49	2762.50
P09	250	2100	-462.96	272.61	1151.36	2231.25
P10	250	2100	-356.45	297.63	1151.36	2231.25

5.12 Mevcut binaya ait görel kat ötelemesi oranı sonuçları

Mevcut binaya ait görel kat ötelemesi sonuçları Şekil 5.25'te gösterilmiştir. Yapıda gözlemlenen en büyük görel kat öteleme oranı %0.72 değeri mevcut binanın 4. katında X doğrultusundadır.



Şekil 5.25 : M_w :7.9 ve M_w :7.8 depremleri sonucunda mevcut binada gözlemlenen görel kat ötelemesi oranları.

5.13 Mevcut Binanın Deprem Performansının Değerlendirilmesi

Mevcut binanın performans değerlendirmesinde yapıya ilişkin betonarme kiriş, kolon ve perdelerin hasar durumu göz önünde bulundurulduğunda yapının TBDY-2018’de belirtilen kontrollü hasar (KH) performans seviyesini sağladığı görülmektedir. Binanın hasar alan tüm betonarme elemanlarında sünek hasar durumu tespit edilmiştir. Tez yürütücüsü tarafından yapılan saha gözleminde, yapıda ileri seviye olarak nitelendirilebilecek bir hasar tespit edilmediğinden sayısal hesap sonuçları ile gerçekte oluşan hasarların birbiri ile uyumlu oldukları söylenebilir.

Binanın görelî kat öteleme oranı sonuçlarına bakıldığında ise en yüksek değerler 3,4 ve 5. katlarda hesaplanmıştır. Yapılan saha gözleminde mevcut yapıda oluşan hasarın bu katlarda yoğunlaştığı görülmüştür; bu da yerdeğiştirme kaynaklı yapısal olmayan hasarların yapılan hesaplarla uyumlu olduğunu göstermiştir.

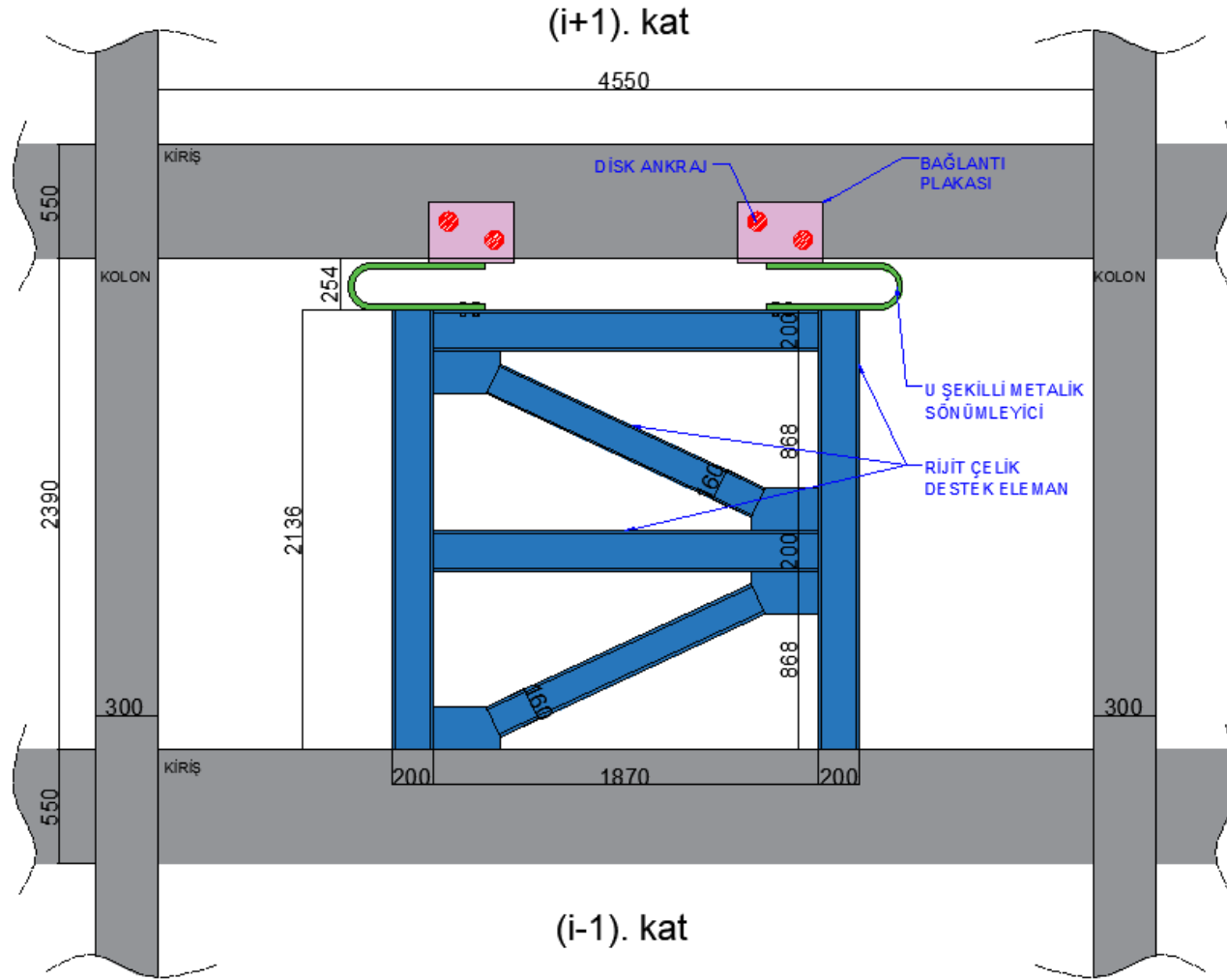
Mevcut binada gözlemlenen en büyük kat öteleme oranı %0.72 değerindedir. Bu değer, Türkiye’deki yönetmeliklerde verilen değerlerin altında kalsa da, çalışma kapsamında hedeflenen görelî kat öteleme oranı 1/150 (%0.67) değerini %7.5 aşmaktadır. İzleyen bölümde, çalışma kapsamında mevcut bina önerilen güçlendirme sistemi ile güçlendirilmiş olup katlar arası hesaplanan görelî kat öteleme oranını değerinin 1/150’yi (%0.67) aşmaması hedeflenmiş, bu hedef sağlanmıştır.

6. U ŞEKLİ ÇELİK SÖNÜMLEYİCİ İLE MEVCUT YAPININ GÜÇLENDİRİLMESİ ALTERNATİFLERİ

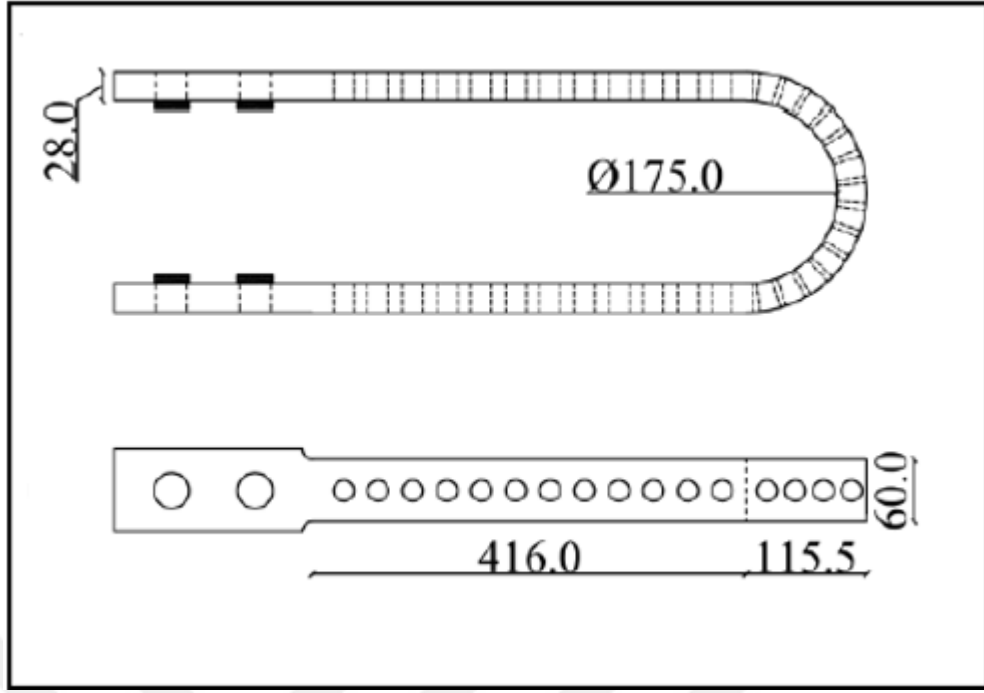
6.1 Önerilen Güçlendirme Sistemi

Bu çalışma kapsamında önerilen güçlendirme sistemi ile mevcut binanın %0.67 göreceli kat öteleme oranını sağlayacak şekilde güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede yapının depreme karşı performansının iyileştirilmesi amaçlanmış olup aynı zamanda yapısal olmayan elemanlarda oluşacak hasar durumunun daha kontrollü hale gelmesi düşünülmektedir. Önerilen güçlendirme modelini oluşturan elemanlar hızlı bir şekilde üretilebilir temin edilebilir olup bina içerisine taşınması kolaydır. Önerilen güçlendirme ile binada az yer kaplamasının yanı sıra mevcut binanın mimarisine minimum müdahale ile hızlı bir şekilde uygulaması gerçekleştirilebilir. Bu özellikler sayesinde betonarme yapı stoğundaki depreme karşı performansı zayıf olan yapıların bir bölümü hızlı, ekonomik ve güvenli bir şekilde güçlendirilebilir. Sistemin, özellikle büyük sorunları bulunan, çok katlı konutlara uygulanması hedeflenmiştir.

Önerilen güçlendirme modeli, katlar arası mevcut çerçeve kirişleri arasına yerleştirilen U şekilli metalik (çoğunlukla çelik) sönümleyici ve rijit bir çelik elemandan oluşmaktadır. U şekilli sönümleyici yapıda deprem sonucu oluşan enerjinin bir kısmını yutarak yapı üzerinde oluşan ivmeleri ve betonarme elemanlarda oluşan kuvvetleri azaltır. U şekilli sönümleyicinin mevcut kirişe bağlantısında, kiriş eleman üzerinde daha az gerilme oluşturmaması ve daha az bağlantı elemanı kullanılması nedeniyle Bölüm 3.2’de özellikleri ve tasarımı açıklanan disk ankrajlar kullanılmıştır. Böylelikle deprem sonucu bağlantı bölgelerinde oluşması beklenen çatlakların en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Önerilen güçlendirme modelinde U şekilli sönümleyici olarak Dr. Kurtuluş Atasever’in (2015) tez çalışmasında tasarlanan UDK2 isimli delikli sönümleyici kullanılmıştır; bilindiği kadarıyla betonarme yapılarda bu tür bir sönümleyicinin kullanımı ilk kez bu çalışmada önerilmektedir. Çalışma kapsamında mevcut bina üzerinde kullanılacak güçlendirme modeline ait detaylar Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Önerilen güçlendirme düzeneğinde kullanılan UDK2 sönümleyicisinin geometrik özellikleri Şekil 6.2’de gösterilmiş, ölçüler mm cinsinden verilmiştir.



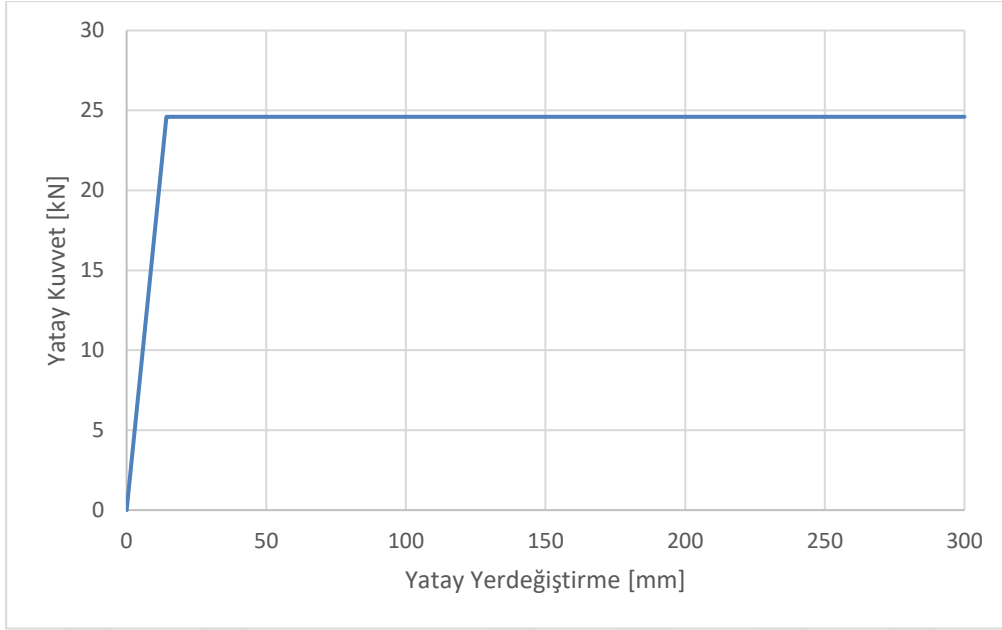
Şekil 6.1 : Önerilen güçlendirme modeli.



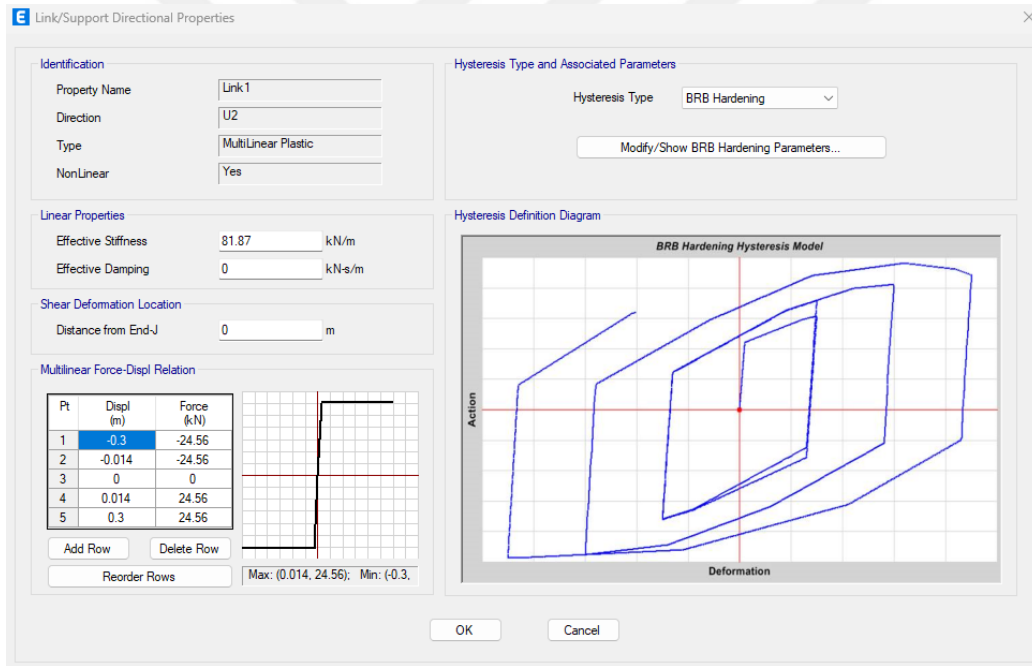
Şekil 6.2 : UDK2'nin geometrik özellikleri (Atasever, 2015).

6.2 U Şekli Metalik Sönümleyici ile Güçlendirilmiş Yapının Sayısal Modellemesi

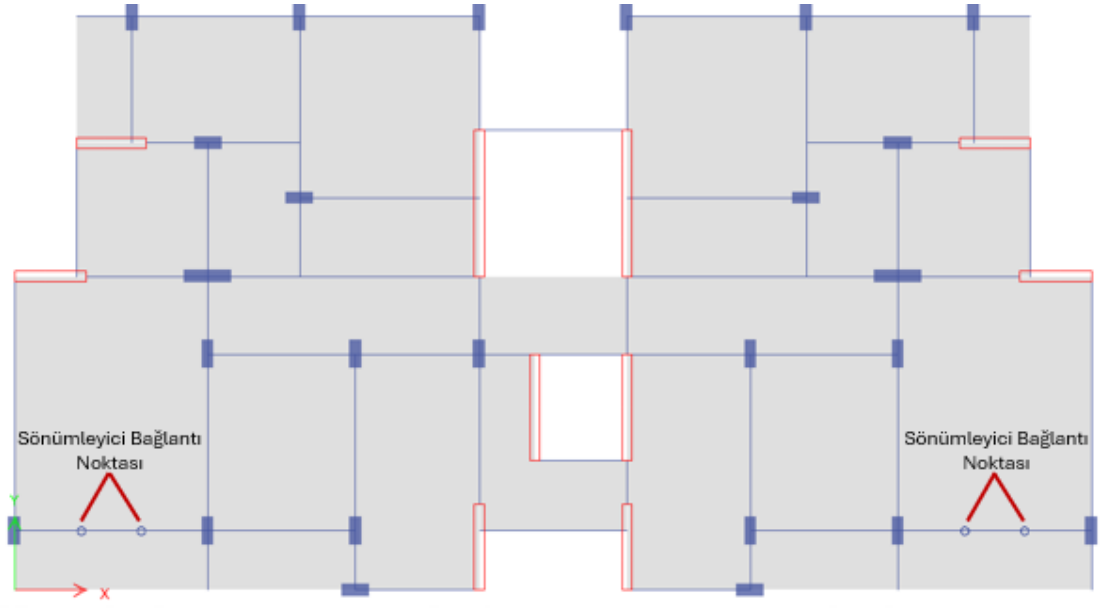
Önerilen güçlendirme sisteminde kullanılan U şekilli sönümleyici ETABS programında “Nonlinear Multilinear Plastik Link” olarak tanımlanabilir. Link tanımlamasında sönümleyiciye ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği ile birlikte çevrimsel davranışın tanımlanması gerekmektedir. Mevcut binanın güçlendirilmesinde kullanılacak UDK2 isimli U şekilli sönümleyiciye ait iki doğrulu (bilineer) kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 6.3'te gösterilmiştir. U şekilli sönümleyicinin çevrimsel davranışı, izotropik ve kinematik pekleşme davranışlarını bir bileşke halinde toplamını barındırır (Frederick ve Armstrong, 2007). Bileşke pekleşme davranışı ETABS programının link arayüzünde “BRB Hardening” histeretik eğri tipi seçilerek tanımlanabilir. İlgili link tanımlaması Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Önerilen güçlendirme sistemi bulunduğu yerin mimari fonksiyonu ve binanın taşıyıcı sistem düzeni göz önünde bulundurularak mevcut yapının ilk 6 katına iki farklı bölümde yerleştirilmiştir. Güçlendirilmiş yapı Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Güçlendirilmiş binaya ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.



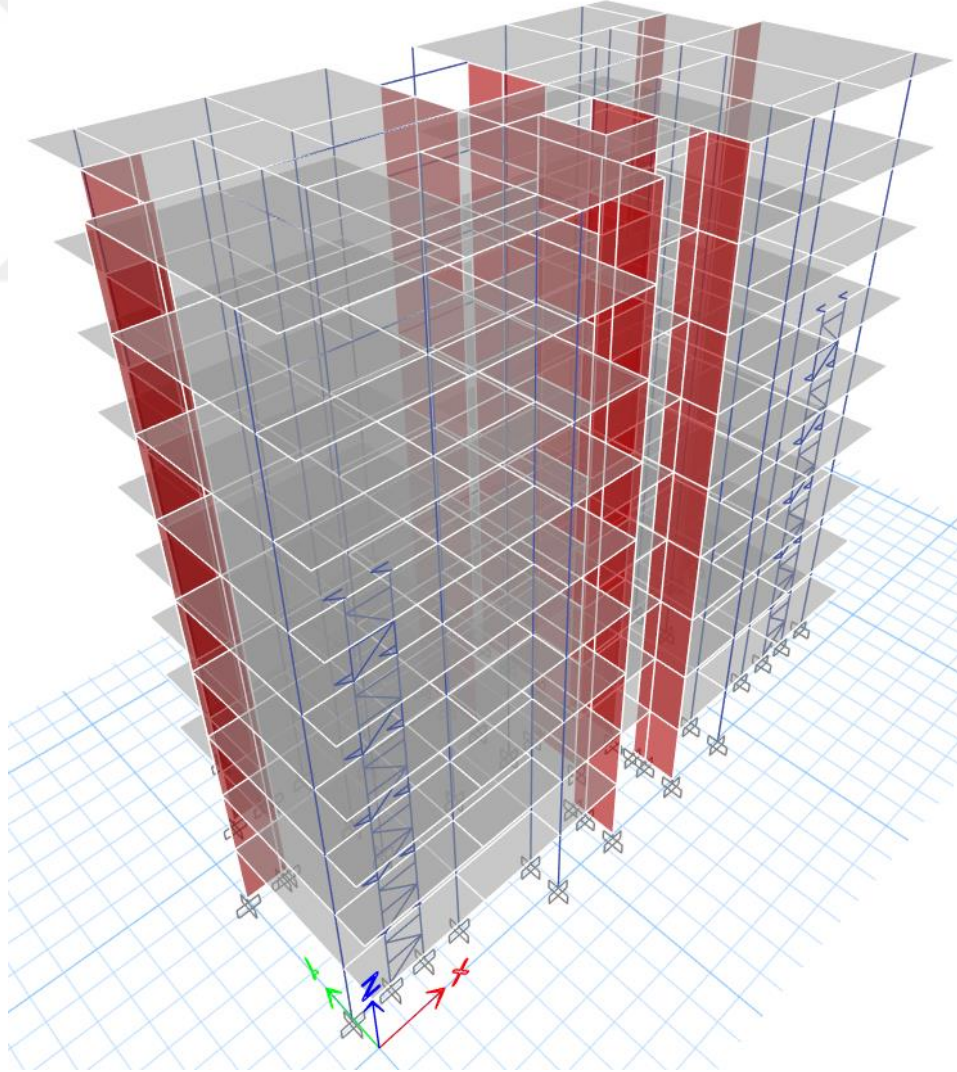
Şekil 6.3 : UDK2 isimli U şekilli metalik sönümleyicinin iki doğrulu davranışı.



Şekil 6.4 : U şekilli metalik sönümleyicinin Nonlineer Multilinear Link eleman olarak sayısal modelde tanımlanması.



Şekil 6.5 : Önerilen güçlendirme sisteminin planda yerleşimi.



Şekil 6.6 : Önerilen güçlendirme modeli ile 6 kata kadar güçlendirilen binanın 3 boyutlu modeli.

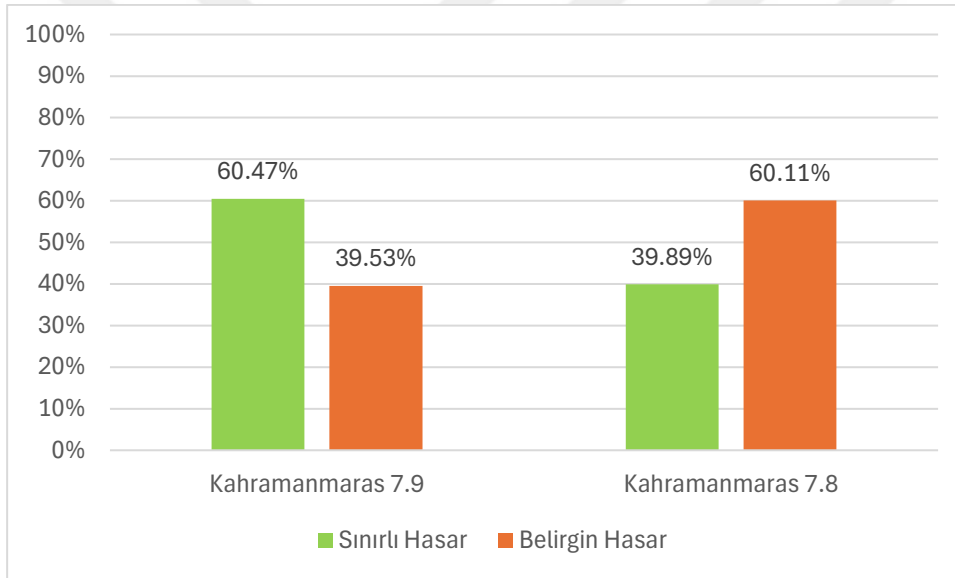
Çizelge 6.1 : Güçlendirilmiş binaya ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyot (s)	UX	UY	SumUX	SumUY
1	1.666	0.0997	0.0014	0.0997	0.0014
2	1.327	0.6477	0.0010	0.7473	0.0024
3	0.860	0.0003	0.7163	0.7476	0.7187

6.3 Güçlendirilmiş Binanın Betonarme Eleman Hasar Durumu ve Türleri

6.3.1 Kiriş hasar durumu

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri altında güçlendirilmiş yapının kirişlerine ait hasar durumu bilgisi Şekil 6.7’de gösterilmiştir. Güçlendirilmiş yapıya ait kirişler sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgesinde kalmış, ileri hasar ya da göçme bölgesine ulaşan hiçbir kiriş bulunmamaktadır.



Şekil 6.7 : M_w :7.9 ve M_w :7.8 büyüklüğündeki depremler sonucunda güçlendirilmiş bina kirişlerinde meydana gelen hasar durumu oranı.

6.3.2 Kiriş hasar türleri

Güçlendirilmiş yapı kirişlerinin hasar türlerinin belirlenmesi için kiriş kesme kontrolü yapılmıştır. Yapılan hesaplar sonucu hasar alan kirişlerin hepsinin sünek hasar aldığı belirlenmiştir. Kesme kontrolüne ilişkin bilgiler Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’te sunulmuştur.

Çizelge 6.2 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucu güçlendirilmiş yapının hasar alan kirişlerinin kesme kontrolü.

Kiriş İsmi	Boyut [cm]	Kat	V_d [kN]	V_r [kN]	V_{max} [kN]	$V_d < V_r$	$V_d < V_{max}$
B49	25x50	1	254.19	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	2	256.66	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	3	255.96	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	4	202.47	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	5	199.98	308.62	653.13	OK	OK
B49	25x50	6	197.91	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	7	195.68	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	8	196.13	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	9	185.61	308.62	653.13	OK	OK
B7	25x55	1	121.45	341.11	721.88	OK	OK
B13	25x55	2	122.17	341.11	721.88	OK	OK
B13	25x55	3	122.00	341.11	721.88	OK	OK
B13	25x55	4	127.29	341.11	721.88	OK	OK
B13	25x55	5	118.00	341.11	721.88	OK	OK
B14	25x55	6	82.69	341.11	721.88	OK	OK
B14	25x55	7	78.11	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	8	73.52	341.11	721.88	OK	OK
B13	25x55	9	65.89	341.11	721.88	OK	OK
B24	30x50	1	101.10	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	2	118.33	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	3	117.33	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	4	108.62	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	5	97.44	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	6	84.82	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	7	74.15	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	8	66.07	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	9	61.31	330.23	783.75	OK	OK

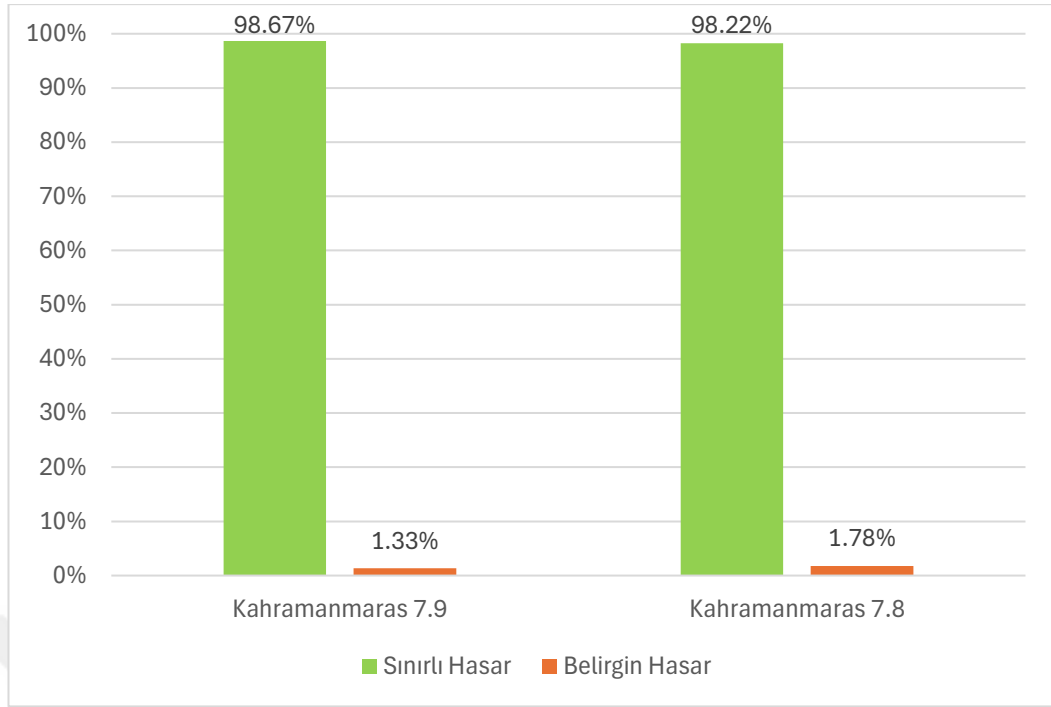
Çizelge 6.3 : $M_w : 7.8$ büyüklüğündeki deprem sonucu güçlendirilmiş yapının hasar alan kirişlerinin kesme kontrolü.

Kiriş İsmi	Boyut [cm]	Kat	V_d [kN]	V_r [kN]	V_{max} [kN]	$V_d < V_r$	$V_d < V_{max}$
B53	25x50	1	255.97	308.62	653.13	OK	OK
B53	25x50	2	259.36	308.62	653.13	OK	OK
B53	25x50	3	259.55	308.62	653.13	OK	OK
B53	25x50	4	205.30	308.62	653.13	OK	OK
B53	25x50	5	203.56	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	6	201.44	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	7	200.13	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	8	198.66	308.62	653.13	OK	OK
B65	25x50	9	197.63	308.62	653.13	OK	OK
B13	25x55	1	119.5	341.11	721.88	OK	OK
B9	25x55	2	146.33	341.11	721.88	OK	OK
B9	25x55	3	151.36	341.11	721.88	OK	OK
B9	25x55	4	141.74	341.11	721.88	OK	OK
B13	25x55	5	128.24	341.11	721.88	OK	OK
B9	25x55	6	107.40	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	7	99.01	341.11	721.88	OK	OK
B36	25x55	8	92.56	341.11	721.88	OK	OK
B13	25x55	9	70.51	341.11	721.88	OK	OK
B18	30x50	1	82.88	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	2	88.26	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	3	88.98	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	4	84.12	330.23	783.75	OK	OK
B18	30x50	5	83.30	330.23	783.75	OK	OK
B18	30x50	6	83.01	330.23	783.75	OK	OK
B18	30x50	7	79.59	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	8	71.24	330.23	783.75	OK	OK
B24	30x50	9	65.91	330.23	783.75	OK	OK

6.3.3 Kolon hasar durumu

Güçlendirilmiş yapının kolonlarına ilişkin hasar durumları Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

Kolon elemanlar sınırlı ve belirgin hasar bölgesinde kalmış olup ileri ya da göçme bölgesine geçen kolon eleman bulunmamaktadır.



Şekil 6.8 : M_w :7.9 ve M_w :7.8 büyüklüğündeki depremler sonucunda güçlendirilmiş bina kolonlarında meydana gelen hasar durumu oranı.

6.3.4 Kolon hasar türleri

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri altında güçlendirilmiş yapının belirgin hasar bölgesinde kalan kolonlarının hasar türlerinin belirlenmesi için kolon kesme kontrolü yapılmıştır. Yapılan hesaplar sonucu hasar alan kolonların hepsinin sünek hasar aldığı belirlenmiştir. Kesme kontrolüne ilişkin bilgiler Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5’te sunulmuştur.

Çizelge 6.4 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucunda güçlendirilmiş binaya belirgin hasar bölgesindeki kolonların kesme kontrolü.

Kolon İsmi	Kat	Boyut [m]	V2-d [kN]	V3-d [kN]	V _r -2 [kN]	V _r -3 [kN]	V2 Kontrol	V3 Kontrol
C9	1	0.3x1.2	330.43	23.16	1064.96	648.64	OK	OK
C23	1	0.3x0.7	117.26	12.75	611.78	407.40	OK	OK
C23	2	0.3x0.7	159.65	12.04	611.78	407.40	OK	OK

Çizelge 6.5 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda belirgin hasar bölgesindeki kolonların kesme kontrolü.

Kolon İsmi	Kat	Boyut [m]	V2-d [kN]	V3-d [kN]	V _r -2 [kN]	V _r -3 [kN]	V2 Kontrol	V3 Kontrol
C9	1	0.3x1.2	274.71	36.59	1064.96	648.64	OK	OK
C17	1	0.3x1.2	339.25	19.43	1064.96	648.54	OK	OK
C19	1	0.3x0.7	107.26	13.01	611.78	407.40	OK	OK
C19	2	0.3x0.7	158.73	19.23	611.78	407.40	OK	OK

6.3.5 Betonarme perdelerin hasar durumu

Güçlendirilmiş yapının perdelerine ait beton ve donatı birim şekildeğiştirme sonuçları Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’de gösterilmiştir. Güçlendirilmiş yapıdaki tüm perde elemanların sınırlı hasar bölgesinde yer aldığı görülmüştür.

Çizelge 6.6: M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem sonucunda güçlendirilmiş binanın perde elemanlarda oluşan hasar durumu.

Perde İsmi	En büyük beton birim kısalması	En büyük çelik birim şekildeğiştirilmesi	$\epsilon_C^{(GÖ)}$	$\epsilon_C^{(KH)}$	$\epsilon_C^{(SH)}$	$\epsilon_S^{(GÖ)}$	$\epsilon_S^{(KH)}$	$\epsilon_S^{(SH)}$	Hasar durumu
P01	0.00092	0.00266	0.0095	0.0072	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P02	0.00171	0.00180	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P03	0.00079	0.00058	0.0110	0.00832	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P04	0.00075	0.00049	0.0110	0.00832	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P05	0.00103	0.00219	0.0095	0.0072	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P06	0.00154	0.00277	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P07	0.00031	0.00003	0.0109	0.0082	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P08	0.00021	0.00008	0.0109	0.0082	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P09	0.00078	0.00035	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P10	0.00067	0.00022	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH

6.3.6 Betonarme perdelerin hasar türleri

Güçlendirilmiş yapıdaki perdelerin hasar türlerinin belirlenmesi için kesme kontrolü yapılmıştır. Kesme kontrolüne ilişkin bilgiler Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9’da gösterilmiştir. Yapıda hasar alan perdelerin sünek hasar aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 6.7 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem sonucunda güçlendirilmiş binanın perde elemanlarda oluşan hasar durumu.

Perde İsmi	En büyük beton birim kısalması	En büyük çelik birim şekildeğiştirilmesi	$\epsilon_C^{(GÖ)}$	$\epsilon_C^{(KH)}$	$\epsilon_C^{(SH)}$	$\epsilon_S^{(GÖ)}$	$\epsilon_S^{(KH)}$	$\epsilon_S^{(SH)}$	Hasar durumu
P01	0.00092	0.00283	0.0095	0.0072	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P02	0.00139	0.00324	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P03	0.00089	0.00126	0.0110	0.00832	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P04	0.00106	0.00097	0.0110	0.00832	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P05	0.00092	0.00318	0.0095	0.0072	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P06	0.00178	0.00210	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P07	0.00031	0.00015	0.0109	0.0082	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P08	0.00022	0.00011	0.0109	0.0082	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P09	0.00093	0.00101	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH
P10	0.00076	0.00048	0.0106	0.0079	0.0025	0.032	0.024	0.0075	SH

Çizelge 6.8 : M_w :7.9 büyüklüğündeki Kahramanmaraş depremi sonucunda güçlendirilmiş binanın hasar alan perdelerin kesme kontrolü.

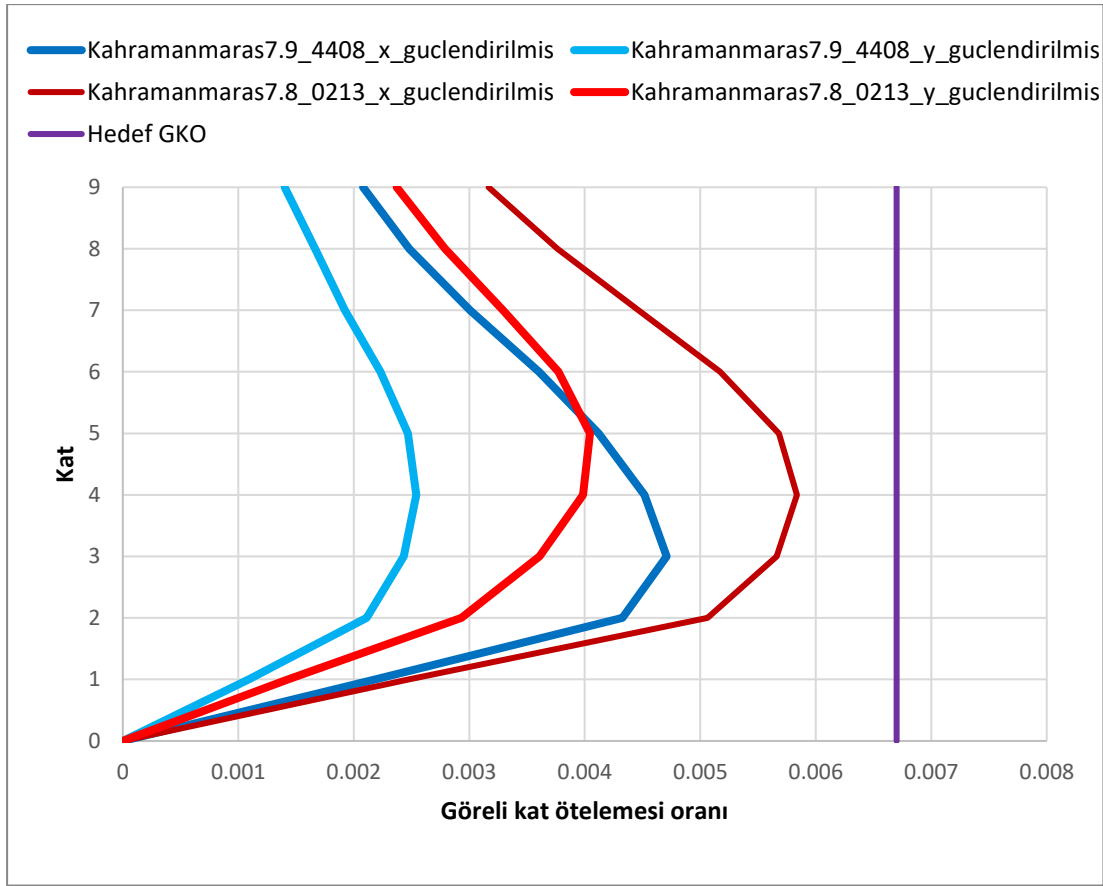
Perde İsmi	Genişlik [mm]	Uzunluk [mm]	V_d -min [kN]	V_d -max [kN]	V_r [kN]	V_{max} [kN]
P01	250	1750	-552.78	339.59	959.47	1859.38
P02	250	1800	-527.71	390.96	986.88	1912.50
P03	250	3600	-638.55	624.79	1973.76	3825
P04	250	3600	-587.54	598.31	1973.76	3825
P05	250	1750	-302.12	657.01	959.47	1859.38
P06	250	1800	-391.35	659.45	986.88	1912.50
P07	250	2600	-425.85	392.52	1425.49	2762.50
P08	250	2600	-332.19	286.28	1425.49	2762.50
P09	250	2100	-282.83	230.41	1151.36	2231.25
P10	250	2100	-287.89	235.77	1151.36	2231.25

Çizelge 6.9 : M_w :7.8 büyüklüğündeki Kahramanmaraş depremi sonucunda güçlendirilmiş binanın hasar alan perdelerin kesme kontrolü.

Perde İsmi	Genişlik [mm]	Uzunluk [mm]	V_d -min [kN]	V_d -max [kN]	V_r [kN]	V_{max} [kN]
P01	250	1750	-681.46	299.36	959.47	1859.38
P02	250	1800	-664.23	325.61	986.88	1912.50
P03	250	3600	-679.66	730.17	1973.76	3825
P04	250	3600	-718.90	810.84	1973.76	3825
P05	250	1750	-361.03	492.95	959.47	1859.38
P06	250	1800	-447.08	427.09	986.88	1912.50
P07	250	2600	-498.26	560.99	1425.49	2762.50
P08	250	2600	-405.08	369.07	1425.49	2762.50
P09	250	2100	-392.02	272.58	1151.36	2231.25
P10	250	2100	-357.16	275.93	1151.36	2231.25

6.4 Güçlendirilmiş Binanın Görelî Kat Ötelemesi Sonuçları

Güçlendirilmiş binaya ait görelî kat ötelemesi sonuçları Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Yapıda gözlemlenen en büyük görelî kat öteleme oranı %0.58 değeri güçlendirilmiş binanın 4. katında X doğrultusunda gözlemlenmiştir. Bu değeri, çalışma kapsamında hedeflenen görelî kat öteleme oranı olan %0.67 değerinin altındadır.

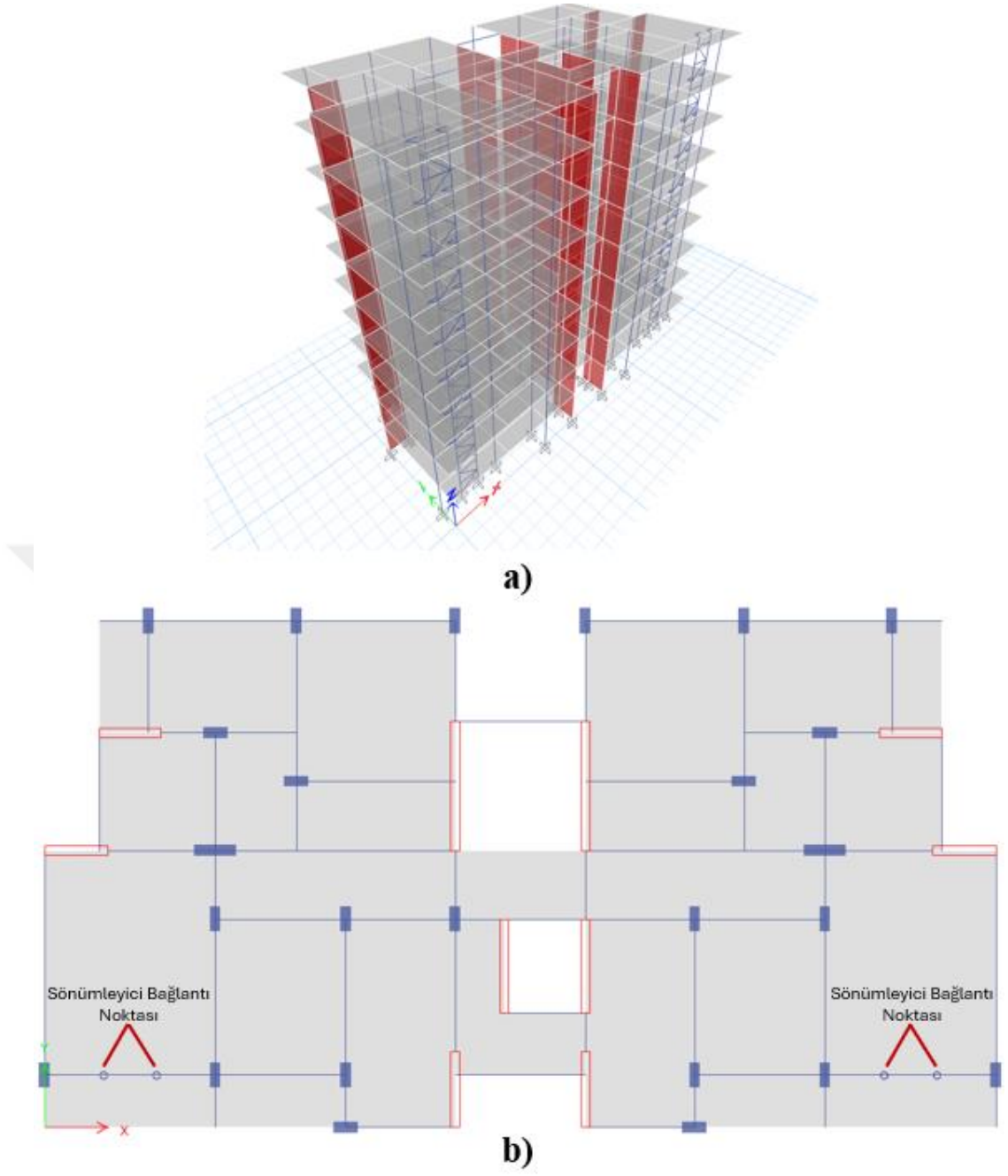


Şekil 6.9 : Güçlendirilmiş yapıya ait görel kat öteleme oranı sonuçları.

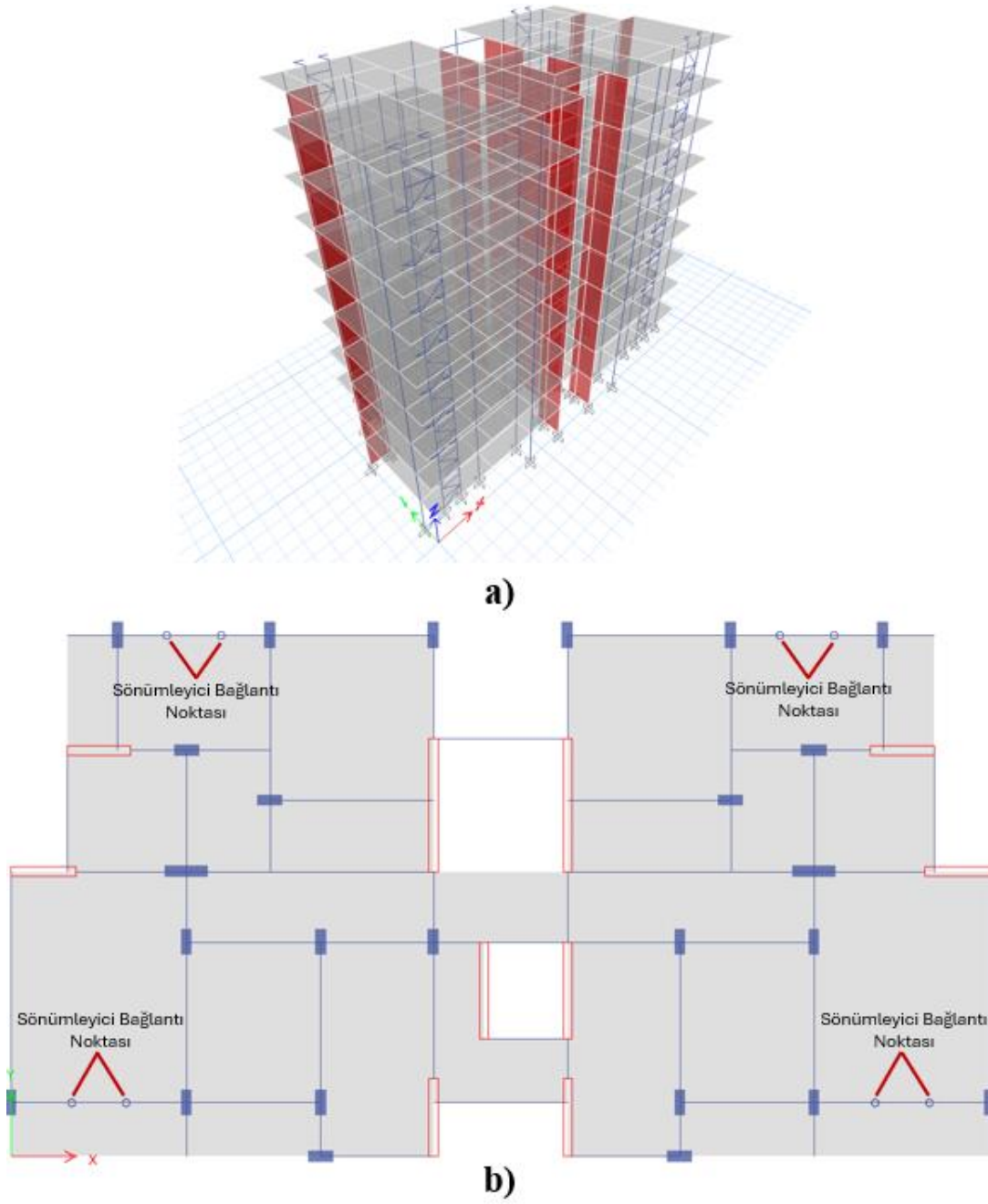
6.5 Önerilen Güçlendirme Modelinin Farklı Konfigürasyonlarda Kullanılmasının Bina Performansına Etkisi

Bu çalışma kapsamında önerilen güçlendirme modeli ilk olarak Şekil 6.6'daki gibi binanın ilk 6 katına yerleştirilmiş olup güçlendirilmiş bina elemanlarının hasar durumları, hasar türleri ve görel kat öteleme oranları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bu güçlendirme konfigürasyonu ile her katta hesaplanan görel kat öteleme oranı, çalışma kapsamında hedeflenen görel kat öteleme oranı olan 1/150 (%0.67) değerini aşmamıştır. Bu hali ile yapılan güçlendirmenin yeterli olduğu görülmektedir.

Önerilen güçlendirme modelinin farklı konfigürasyonlarda kullanımının bina performansına etkisini incelemek için çalışma kapsamında incelenen 6 kata kadar olan güçlendirmeye ek olarak iki farklı güçlendirme konfigürasyonu daha ele alınmıştır. Oluşturulan güçlendirme konfigürasyonları Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.10 : a) Önerilen güçlendirme sistemi ile iki açıklıkta 9 kata kadar güçlendirilen binanın 3 boyutlu modeli b) Önerilen güçlendirme sisteminin plandaki konumu



Şekil 6.11 : a) Önerilen güçlendirme sistemi ile dört açıklıkta 9 kata kadar güçlendirilen binanın 3 boyutlu modeli b) Önerilen güçlendirme sisteminin plandaki konumu

6.5.1 Mevcut bina ve güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarının hasar durumlarının karşılaştırılması

Mevcut bina ve güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ait kiriş hasar durumu bilgileri $M_w:7.9$ büyüklüğündeki deprem için Çizelge 6.10'da, $M_w:7.8$ büyüklüğündeki deprem için ise Çizelge 6.11'de gösterilmiştir. Mevcut bina ve güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ait kolon hasar durumu bilgileri $M_w:7.9$ büyüklüğündeki deprem için Çizelge 6.12'de, $M_w:7.8$ büyüklüğündeki deprem için ise

Çizelge 6.13'te gösterilmiştir. Mevcut binadaki ve tüm güçlendirme konfigürasyonlarındaki betonarme perdeler sınırlı hasar bölgesinde yer almaktadır.

Çizelge 6.10 : M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem altında güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ve mevcut binaya ait kiriş hasar durumları.

Konfigürasyonlar	Sınırlı Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme Bölgesi
Mevcut bina	%53.92	%46.08	%0	%0
6 kat güçlendirilmiş	%60.47	%39.53	%0	%0
9 kat güçlendirilmiş	%58.47	%41.53	%0	%0
9 kat karşılıklı güçlendirilmiş	%59.74	%40.26	%0	%0

Çizelge 6.11 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem altında güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ve mevcut binaya ait kiriş hasar durumları.

Konfigürasyonlar	Sınırlı Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme Bölgesi
Mevcut bina	%25.50	%73.95	%0.55	%0
6 kat güçlendirilmiş	%39.89	%60.11	%0	%0
9 kat güçlendirilmiş	%32.60	%67.40	%0	%0
9 kat karşılıklı güçlendirilmiş	%39.71	%60.29	%0	%0

Çizelge 6.12: M_w :7.9 büyüklüğündeki deprem altında güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ve mevcut binaya ait kolon hasar durumları.

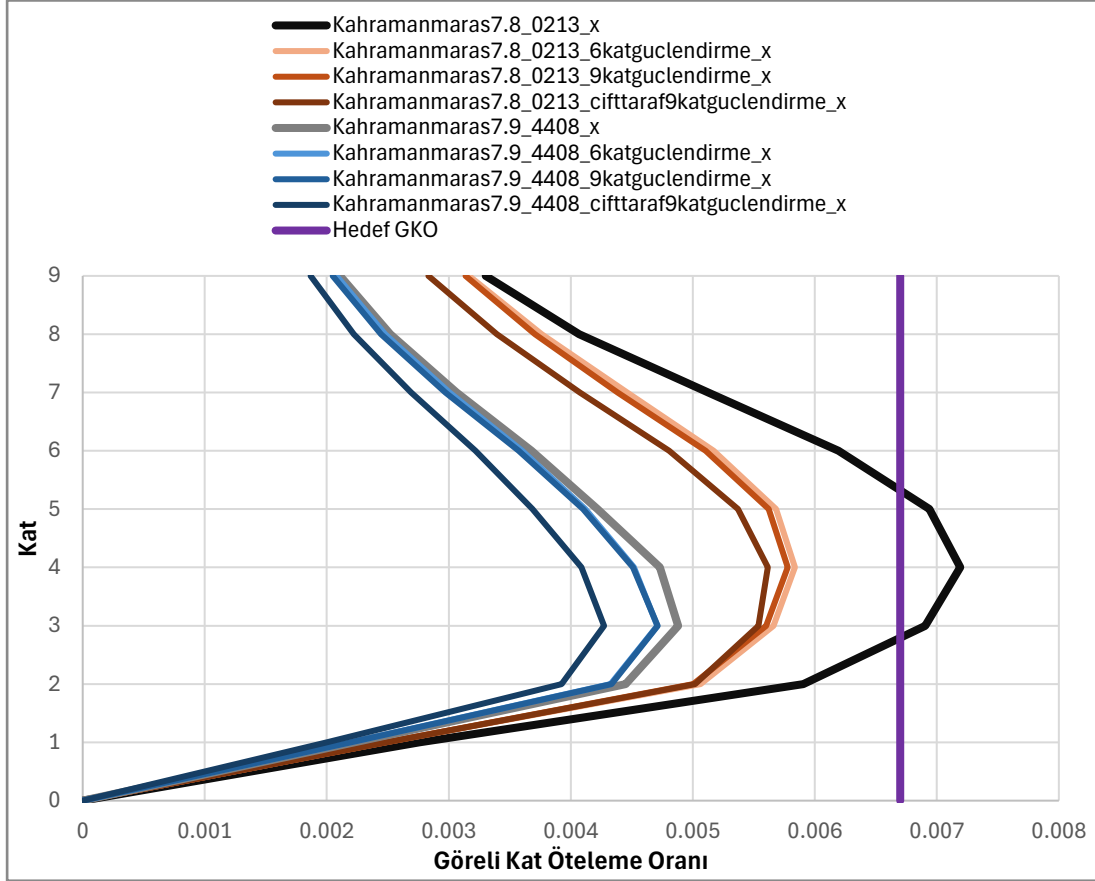
Konfigürasyonlar	Sınırlı Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme Bölgesi
Mevcut bina	%98.22	%1.78	%0	%0
6 kat güçlendirilmiş	%98.67	%1.33	%0	%0
9 kat güçlendirilmiş	%98.67	%1.33	%0	%0
9 kat karşılıklı güçlendirilmiş	%99.11	%0.89	%0	%0

Çizelge 6.13 : M_w :7.8 büyüklüğündeki deprem altında güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ve mevcut binaya ait kolon hasar durumları.

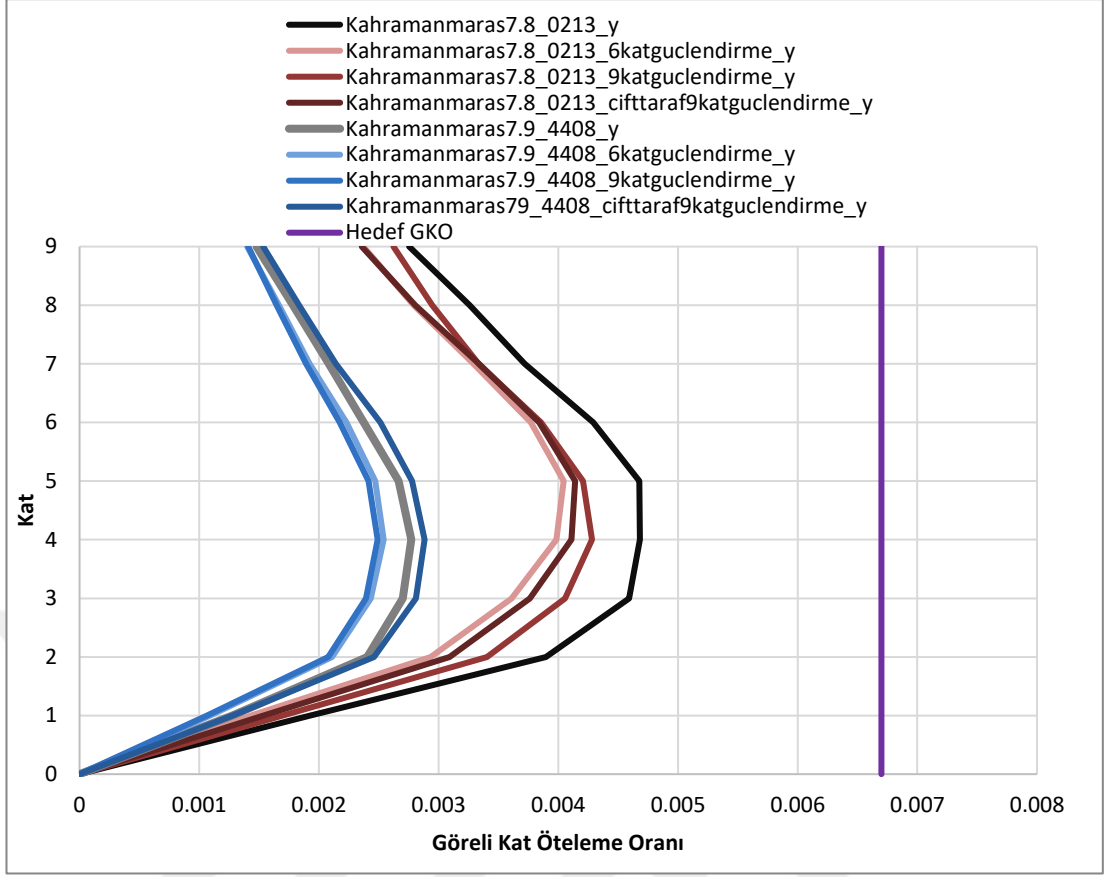
Konfigürasyonlar	Sınırlı Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme Bölgesi
Mevcut bina	%96.89	%3.11	%0	%0
6 kat güçlendirilmiş	%98.22	%1.78	%0	%0
9 kat güçlendirilmiş	%97.33	%2.67	%0	%0
9 kat karşılıklı güçlendirilmiş	%98.22	%1.72	%0	%0

6.5.2 Mevcut bina ve güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ait görel kat öteleme sonuçlarının karşılaştırılması

Mevcut bina ve güçlendirilmiş bina konfigürasyonlarına ait X doğrultusundaki görel kat öteleme oranı sonuçları Şekil 6.12’de, Y doğrultusundaki görel kat öteleme sonuçları Şekil 6.13’te gösterilmiştir.



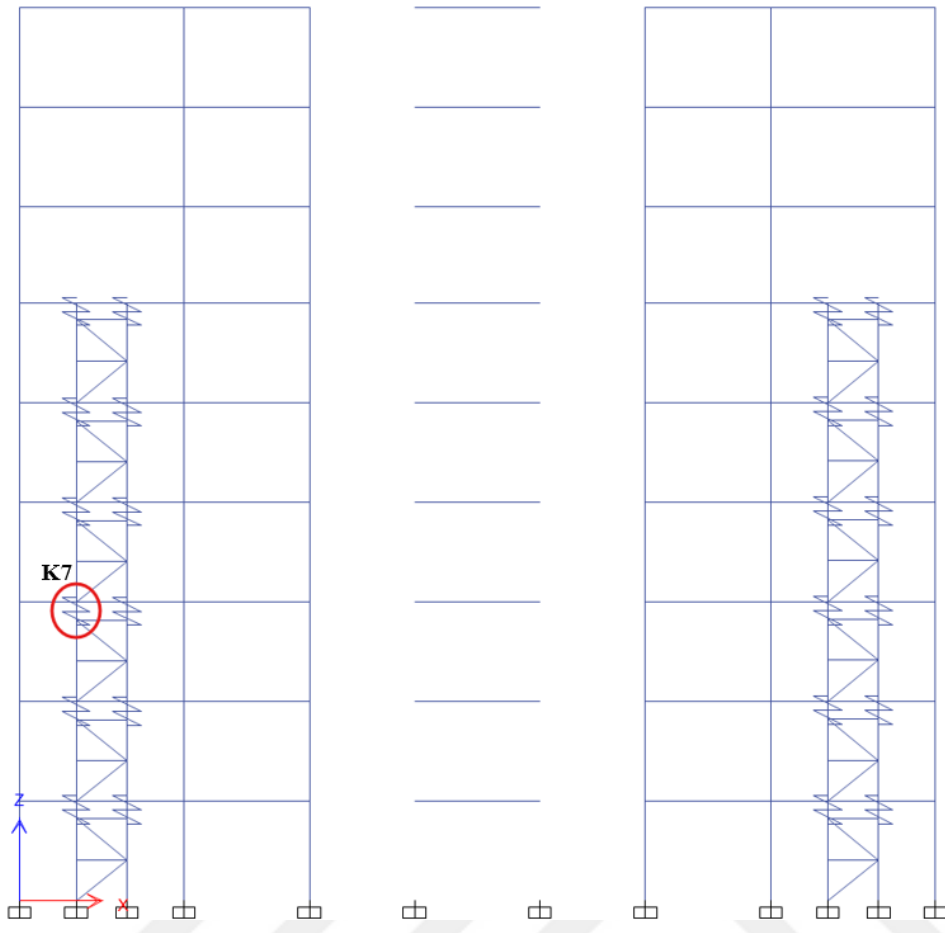
Şekil 6.12 : Mevcut bina ve tüm güçlendirilmiş konfigürasyonlarına ait görel kat öteleme oranı - X doğrultusu.



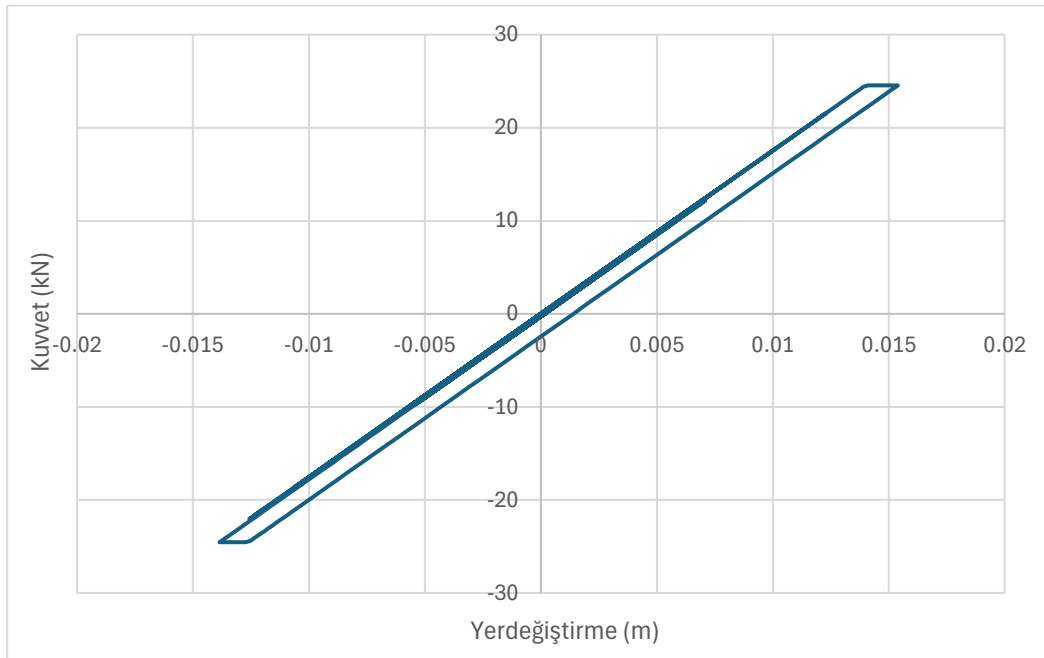
Şekil 6.13 : Mevcut bina ve tüm güçlendirilmiş konfigürasyonlarına ait görel kat öteleme oranı - Y doğrultusu.

6.6 Güçlendirilmiş Binada Bulunan U Şekli Sönümleyicinin Histeretik Davranışı

Güçlendirilmiş binada bulunan U şekilli sönümleyicilerin örnek histeretik davranışını göstermek için $M_w:7.9$ büyüklüğündeki deprem altında analiz edilen, 3 boyutlu modeli Şekil 6.6’da gösterilen 6 kata kadar güçlendirilmiş binanın 3. katında bulunan K7 etiketli sönümleyici seçilmiştir (Şekil 6.14). İlgili sönümleyiciye ait histeretik davranış Şekil 6.15’te gösterilmiştir. Elde edilen histeretik eğri inelastik davranışın ve dolayısıyla sisteme eklenen sönümün sınırlı olduğunu göstermektedir. Sönümleyicinin özelliklerinin değiştirilmesi ile (örneğin daha zayıf sönümleyici kullanımı ile) daha dolu histeretik eğrilerin elde edilebileceği açıktır.



Şekil 6. 14 : K7 etiketli sönümleyicinin bina üzerindeki konumu.



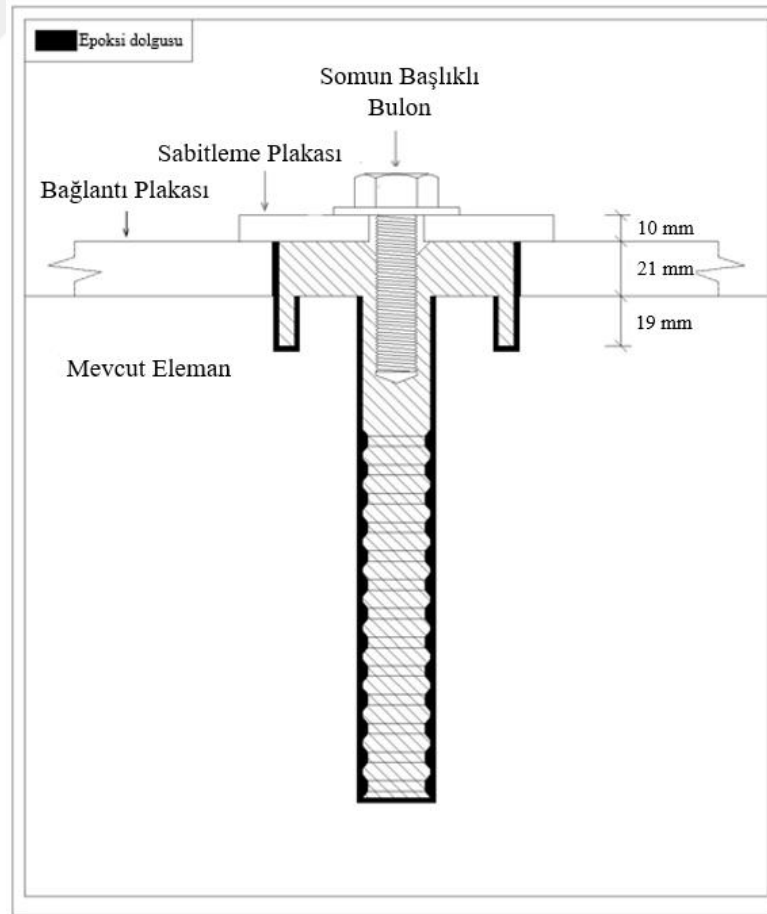
Şekil 6.15 : Mw:7.9 büyüklüğündeki deprem altında K7 sönümleyicisinin histeretik davranışı.

6.7 Disk Ankrajların Hesabı

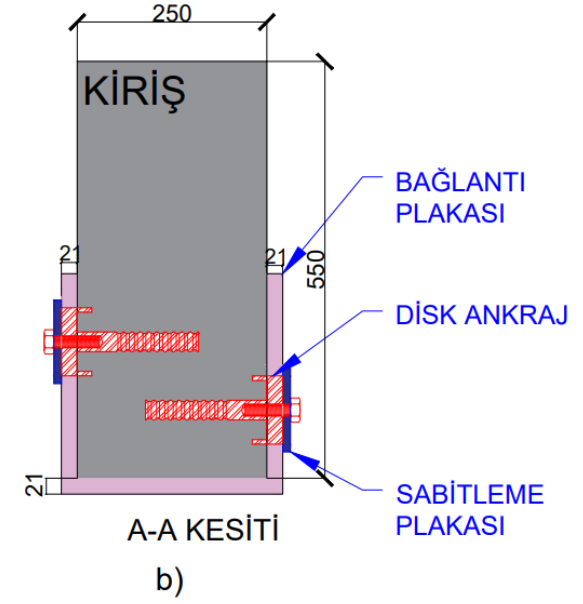
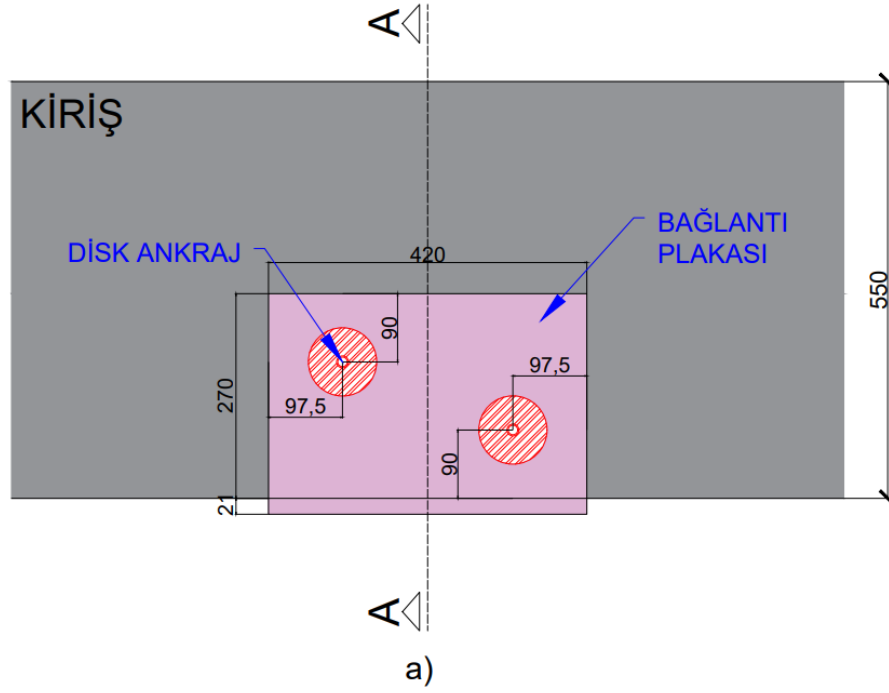
Önerilen güçlendirme modelindeki U şekilli metalik sönümleyici bağlantısında U plaka ve disk ankrajlar Şekil 6.16'da gösterildiği gibi kullanılmıştır. Bağlantı detayında sönümleyiciden gelen kesme kuvveti bağlantı plakasının ardından disk ankraja aktarılır. Önerilen güçlendirme sisteminin olası düzlem dışı davranışı sonucu bağlantı plakasında oluşacak çekme kuvveti ise ilk olarak sabitleme plakasına, ardından disk ankraja monte olan bulona iletilir.

Güçlendirilmiş yapıya ait zaman tanım alanında analiz sonucu U şekilli metalik sönümleyicide gözlemlenen en büyük kuvvet 24.6 kN olarak hesaplanmıştır. Bu kuvvet göz önüne alınarak disk ankraj hesabı yapılmıştır. Önerilen bağlantı detayına ait çizimler Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de gösterilmiştir.

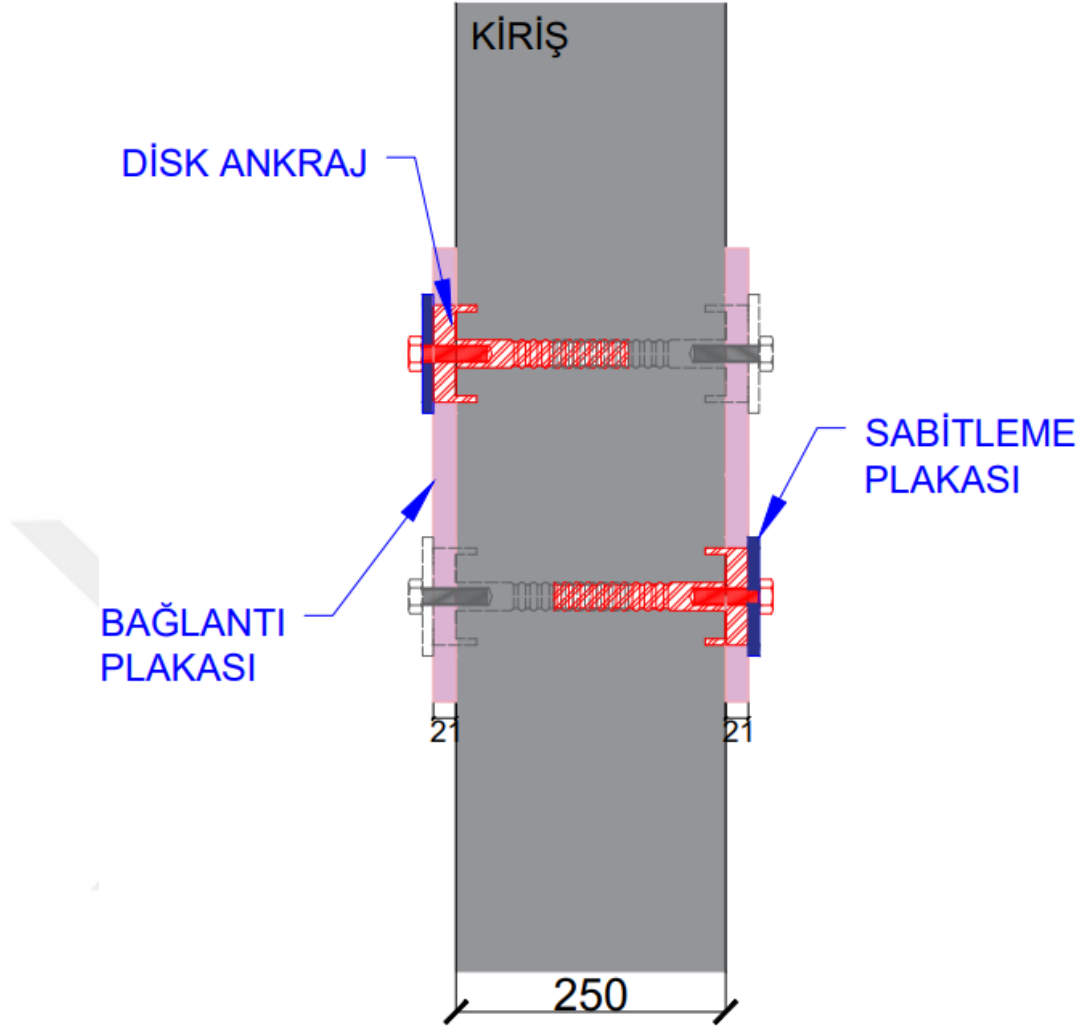
Disk ankraj kesme kapasitesi hesabı iki doğrultuda yapılmıştır. Örnek kesme kapasitesi hesabı için Şekil 6.17a'da yer alan sol taraftaki disk ankraj ele alınmıştır. Buna göre $c = 160$ mm, $T = 405$ mm, $\sigma_B = 25$ MPa, $l_e = 160$ mm, $B = 63.6$ mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.16 : U şekilli metalik sönümleyicinin betonarme kiriş ile olan bağlantı detayı.



Şekil 6.17 : a) Disk ankraj yerleşimi görünümü b) A-A kesiti.



Şekil 6.18 : Bağlantı bölgesinin plan görünümü.

T/B kontrolü için denklem 3.1d'den aşağıdaki gibi yapılır:

$$\frac{T}{B} = \frac{405}{63.6} = 6.368 \leq 10$$

a değeri denklem 3.1b'den

$$a = \min \left\{ 0,9 ; 0,9 \left(\frac{25}{22.5} + 0,2 \right) \right\}$$

$$a = \min \{ 0,9 ; 1,31 \} = 0,9$$

şeklinde elde edilir.

κ değeri denklem 3.1c'den

$$k = \frac{26 \cdot \sqrt{160 - 19}}{285} = 1.083$$

bulunur.

1 numaralı ankrajın hesap kesme kapasitesi Q_{Da} denklem 3.1a'dan

$$Q_{Da} = 0.9 \times 1 \times 1.083 \times 63.6 \times 19 \times (6.368)^{0.63} \times 8 \times 25^{0.5} = 151239 \text{ N}$$

$$Q_{Da} = 151.24 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Disk ankrajın çekme dayanımının hesabı için 3 farklı göçme modu için kapasite değerinin hesaplanması gerekir.

T_{a1} için denklem 3.2b'den

$$T_{a1} = \min\left(\frac{900 \times 157}{1000}; \frac{400 \times 380.13}{1000}\right)$$

$$T_{a1} = \min(141.3 \text{ kN}; 163.46 \text{ kN})$$

$$T_{a1} = 141.3 \text{ kN}$$

elde edilir.

Mevcut elemanın betonunun konik kopması durumu T_{a2} için denklem (3.2c)'den

$$A_c = \pi \times le \times (le + da) = \pi \times 160 \times (160 + 26) = 93493.8 \text{ mm}^2$$

$$T_{a2} = 0.23 \times \sqrt{25} \times \frac{93493.8}{1000} = 107.52 \text{ kN}$$

Ve denklem 3.2e ile denklem 3.2f'den ise

$$l_{de} = 160 - 19 - \frac{90 - 26}{2} = 109 \text{ mm} \leq 15 \times 26 = 390 \text{ mm}$$

$$\tau_a = \begin{cases} 10\sqrt{25/21} \cdot \left\{0.5 \frac{160}{160} + 0.5\right\} = 10.91 \text{ MPa} \frac{c}{e_e} < 1 \\ 10\sqrt{25/21} = 10.91 \text{ MPa} \frac{c}{e_e} \geq 1 \end{cases}$$

yazılabilir.

Burada $\frac{c}{e_e} = \frac{160}{160} = 1 \geq 1$ olduğundan dolayı τ_a değeri 10.91 MPa olarak elde edilir.

denklem 3.2d'den;

$$T_{a3} = 10.91 \times \pi \times 26 \times 109 = 97135 \text{ N} = 97.14 \text{ kN}$$

Sonuç olarak denklem 3.2a'dan

$$T_a = \min(141.3 \text{ kN}; 107.51 \text{ kN}; 97.14 \text{ kN}) = 97.14 \text{ kN}$$

değerine ulaşılır.

Disk ankrajın ilgili betonarme kiriş için hesaplanan kesme ve çekme kapasitesi değerleri göz önünde bulundurulduğunda çelik levhanın karşılıklı iki yüzüne birer adet ankraj yeterli olmaktadır. Çalışmadaki bağlantı detayında her iki yüze birer adet daha güvenlik ankrajı eklenmesi tercih edilmiştir. Böylece oldukça küçük bir alanda bağlantı disk ankrajlar yardımıyla yapılabilmektedir. Bunda beton kalitesinin yüksek olması da rol oynamıştır.

6.8 Güçlendirilen Bina Analizleri Hakkında Değerlendirmeler

Bu bölümde çalışma kapsamında hedeflenen göreceli kat öteleme oranını sağlamayan mevcut bina, önerilen güçlendirme sistemi ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme sisteminin konumlandırılmasında yapının mimari planı, yapıya ait kat ötelemeleri ve yapının taşıyıcı sistem düzeni göz önünde bulundurulmuştur. Bu koşullar göz önünde bulundurulduğunda önerilen güçlendirme sistemi iki farklı açıklıkta ve ilk olarak 6 kat boyunca konumlandırılmıştır.

Güçlendirilmiş bina üzerinde yapılan zaman tanım alanında analiz sonucunda güçlendirilmiş binaya ait betonarme elemanların hasar durumlarında bir miktar iyileşme gözlemlenmiştir. Hasar gören betonarme elemanların tümünde sünek hasar izlenmiştir.

Güçlendirilmiş bina için hesaplanan en büyük göreceli kat öteleme değeri %0.58 olup binanın 5. katında gözlemlenmiştir. Güçlendirilen binanın tüm katları için hesaplanan göreceli kat öteleme oranı değerleri, çalışma kapsamında hedeflenen 1/150 (%0.67) değerinin altındadır. Böylelikle, önerilen güçlendirme sistemi ile binaya çok az müdahale edilerek istenen performans hedefine ulaşılmıştır.

Sonrasında, iki farklı güçlendirme konfigürasyonunda çalışılmış (binanın yüksekliği boyunca güçlendirme) elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Özellikle kolon, kiriş ve perdelerin hasar durumlarındaki değişimler değerlendirilmiştir.



7. SONUÇLAR

7.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye’deki çok katlı betonarme konut stoğunu hızlı, ekonomik ve etkili bir şekilde güçlendirmeyi amaçlayan üzerinde delikler bulunan U şekilli metalik sönümleyici ve rijit çelik destek içeren bir güçlendirme sistemi önerilmiştir. Bu güçlendirme sisteminin bina ile olan bağlantısında güvenli bir bağlantı sağlamak, inşaat anında ses, toz, kir gibi etkileri azaltmak ve daha az sayıda bağlantı elemanı kullanmak amacıyla disk ankrajlar tercih edilmiştir. Bilindiği kadarıyla bu şekilde bir güçlendirme ilk kez bu çalışmada önerilmektedir.

Çalışma kapsamında önerilen güçlendirme modelinin etkinliğinin incelenmesi için 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden hasar gören Adıyaman’da yer alan mevcut bir bina ele alınmıştır. Mevcut binadaki hasarları gözlemlemek adına tez yürütücüsü tarafından yerinde saha ziyareti yapılmıştır. Bölgede meydana gelen depremler sonucunda binanın taşıyıcı sistem elemanlarında deprem sırasında açılıp kapanabilen kılcal çatlaklar tespit edilmiştir. Bunun dışında taşıyıcı sistem elemanlarında önemli sayılması gereken türden bir hasar tespit edilmemiştir. Yapısal olmayan elemanlara bakıldığında ise binanın dış cephesinde bulunan bazı dolgu duvarların deprem sırasında düzlem dışı etkiler nedeniyle binanın dışına doğru devrildiği tespit edilmiştir. Binanın iç kısmında yapılan incelemeler sonucunda yapısal olmayan elemanlarda ileri düzeyde hasar gözlemlenmiş olup binanın bu hali ile oturuma mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Toplam 9 katlı mevcut binada tespit edilen hasarın özellikle binanın 3, 4 ve 5’inci katlarında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

Mevcut bina, önerilen güçlendirme sistemi ile güçlendirilmeden önce binanın TBDY-2018’e göre deprem performansı zaman tanım alanında analiz yöntemi ile incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda mevcut binanın kontrollü hasar (KH) seviyesini sağladığı tespit edilmiştir. Mevcut binanın taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarların sünek hasar olduğu belirlenmiştir; başka bir deyişle betonarme elemanlarda kesme göçmesi oluşmamaktadır. Mevcut binanın göreceli kat öteleme oranı sonuçlarına bakıldığında en büyük değerlerin 3, 4 ve 5. katta olduğu gözlemlenmiştir.

Mevcut binada hesaplanan en büyük görelî kat öteleme oranı %0.72 olarak tespit edilmiştir. Betonarme elemanlardaki hasar durumu ve görelî kat öteleme sonuçları göz önünde bulundurulduğunda sahada gözlemlenen hasar durumu sayısal modeli doğrular niteliktedir.

Mevcut binanın önerilen güçlendirme modeli ile güçlendirilmesi sonucunda binanın depreme karşı performansı TBDY-2018'den faydalanarak değerlendirilmiştir. İlâveten güçlendirilmiş binanın hedef görelî kat öteleme oranı %0.67 olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışma kapsamında önerilen güçlendirmede kullanılacak U şekilli metalik sönümleyici daha önce başka bir çalışmada analizleri yapılan UDK2 isimli delikli sönümleyicidir. Çalışma kapsamında UDK2'nin üç boyutlu modele tanımlanması için sönümleyicinin sahip olduğu iki doğrulu davranışı ile izotropik ve kinematik pekleşme davranışlarının bir bileşke halinde toplamını barındıran çevrimsel davranışı modele tanıtılmıştır. Önerilen güçlendirme elemanları mevcut binanın katlarında gözlemlenen ötelemelerden yola çıkarak ilk 6 katına konumlandırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda M_w : 7.8 büyüklüğündeki Kahramanmaraş depremi altında mevcut bina kirişlerinin %25.50'si sınırlı hasar (SH), %73.95'i belirgin hasar (BH), %0.55'i ileri hasar (İH) bölgesinde iken güçlendirilmiş bina kirişlerinin %39.89'u sınırlı hasar (SH) ve %'60.11'i belirgin hasar (BH) bölgesinde yer aldığı tespit edilmiştir. M_w : 7.9 büyüklüğündeki deprem altında ise mevcut bina kirişlerinin %53.92'si sınırlı hasar (SH), %46.08'i belirgin hasar (BH) bölgesinde yer alırken güçlendirilmiş bina kirişlerinin %60.47'si sınırlı hasar (SH) ve %39.53'ü belirgin hasar (BH) bölgesinde yer almıştır. Mevcut binanın kolonlarının büyük bölümü sınırlı hasar bölgesinde olduğundan güçlendirilmiş yapının kolonlarında kayda değer bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Güçlendirilmiş yapının betonarme perdelerinde gözlemlenen birim şekildeğiştirme değerleri mevcut yapının betonarme perdelerinde gözlemlenen birim şekildeğiştirme değerlerine göre azalmıştır. Yapılan tüm analizlerde betonarme perdeler sınırlı hasar (SH) performans düzeyini sağlamıştır.

Depremler sonucu güçlendirilmiş binanın katları arasında gözlemlenen en büyük görelî kat öteleme oranı dördüncü katta %0.58 olarak gözlemlenmiştir. Bu değer çalışma kapsamında hedeflenen görelî kat öteleme oranı 1/150 (%0.67) değerinin altında kalmaktadır. Böylelikle önerilen güçlendirme sistemi ile çalışma kapsamında belirlenen hedefe ulaşılmıştır.

Tez kapsamında önerilen güçlendirme modelinin farklı konfigürasyonlarda kullanılması durumunda binanın deprem performansına etkisi de incelenmiştir. Bu bağlamda mevcut bina 9 kata kadar her katta belirli ve sabit iki açıklık ve dört açıklık boyunca güçlendirilmiştir. Bu iki güçlendirme konfigürasyonunda oluşan hasar durumları ve görelî kat öteleme sonuçları, 6 kata kadar güçlendirilen konfigürasyonda oluşan hasar durumları ve görelî kat öteleme sonuçları ile oldukça benzerlik göstermektedir.

Önerilen güçlendirme sisteminde disk ankraj içeren bir bağlantı alternatifi kullanılmıştır. Disk ankrajların sahip olduğu yüksek kesme kapasitesi ve yüksek ilk rijitlik değerlerinden dolayı sismik etkiler altında U şekilli metalik sönümleyici deformasyon yaparak deprem enerjisini yutarken bağlantı bölgesi elastik bölgede kalmaktadır. Böylelikle, sönümleyici kararlı bir histeretik davranış gösterebilir. Disk ankrajların bu özelliği sayesinde özellikle büyük kuvvetler etkisinde kalan sönümleyicilerin bağlantı detaylarında geleneksel ankraja göre daha güvenli bir bağlantı detayı olarak önerilebilir.

7.2 Gelecekteki Çalışmalar için Öneriler

Tez çalışması kapsamında nispeten düşük ivme değerlerine sahip deprem kayıtları ile çalışılmış ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden önemli sayılması gereken türden bir yapısal hasar almamış çok katlı bir konut yapısı üzerinde durulmuştur. Bundan sonraki çalışmalarda önerilen güçlendirme sisteminin büyük ivme değerlerine sahip depremler altında yapısal elemanlar üzerindeki etkinliği bir araştırma konusu olabilir. Bu bağlamda, özellikle sönümleyicilerin burada ele alınan konfigürasyonlar dışında şaşırtmalı konfigürasyonları, farklı kapasitelerdeki sönümleyicilerin (rijitlik, dayanım) kullanılması, farklı malzemelerdeki sönümleyicilerin kullanılması (örneğin alüminyum, bakır vb.), yapı yüksekliği boyunca en uygun/optimum davranışı sağlayabilecek sönümleyici dağılımı (örneğin sönümleyicilerin tüm katlarda aynı anda akmaya ulaşması gibi) için ölçütlerin belirlenmesi bu alanda yapılabilecek diğer çalışmalar arasındadır.



KAYNAKLAR

- Ahn, H-J., Kim, Y-J., Bae, J-H., & Jung, I-Y.** (2016). Cyclic loading test of wall damping system with steel dampers, *Advances in Structural Engineering*, 19 (8), 1262-1274
- AFAD.** (2019). Deprem Tehlike Haritaları. Erişim tarihi: 30.10.2023, www.tdth.afad.gov.tr
- AFAD.** (2020). Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi. Erişim tarihi: 30.10.2023, www.tadas.afad.gov.tr
- Atasever, K.** (2015). *U-şekilli çelik sönümleyicilerin histeretik davranışlarının modellenmesi ve düşük sönümlü kauçuk mesnetlerle birlikte sismik izolatör olarak kullanılması*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Atasever, K., Celik, O. C., & Yuksel, E.** (2017). 11.50: Modelling hysteretic behaviour of U-shaped steel dampers. *ce/papers*, 1(2-3), 3239-3248.
- Atasever, K., Celik, O. C., & Yuksel, E.** (2018). Development and cyclic behavior of U-shaped steel dampers with perforated and nonparallel arm configurations. *International Journal of Steel Structures*, 18, 1741-1753.
- Bakre, S. V., Jangid, R. S., & Reddy, G. R.** (2006). Optimum X-plate dampers for seismic response control of piping systems. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83(9), 672-685.
- Bruschi, E. & Quaglini, V.** (2022). Assessment of a novel hysteretic friction damper for the seismic retrofit of reinforced concrete frame structures. In *Structures* (Vol. 46, pp. 793-811). Elsevier.
- Celik, O. C., Ulker, M. B. C., Gocer, C., Guntepe, S., Koz, O., Eyupgiller, M. M., ... & Yaz, A.** (2024). Multidisciplinary reconnaissance investigation covering structural, geotechnical, and architectural based damage to mid-rise residential buildings following the February 6th, 2023 Kahramanmaraş, Türkiye earthquake doublets (Mw 7.8, Mw 7.6). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 182, 108738.
- Chukka, N.D.K.R. & Krishnamurthy, M.** (2019). Comparison of X-shaped metallic dampers with fluid viscous dampers and influence of their placement on seismic response of the building. *Asian Journal of Civil Engineering*, 20, 869-882.
- Computer and Structures, Inc** (Version 21.0.0) [Computer software]. Berkeley, California
- DBYBHY.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

- Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., & Willford, M. R.** (2010). Nonlinear structural analysis for seismic design. *NEHRP seismic design technical brief*, 4, 1-36.
- Ding, H., Zhou, Y., Ge, Z., Taymaz, T., Ghosh, A., Xu, H., ... & Song, X.** (2023). High-resolution seismicity imaging and early aftershock migration of the 2023 Kahramanmaraş (SE Türkiye) MW7. 9 & 7.8 earthquake doublet. *Earthquake Science*, 36(6), 417-432.
- Frederick, C. O., ve P. J. Armstrong.** (2007). A mathematical representation of the multiaxial Bauschinger effect. *Materials at high temperatures*, 24(1), 1-26
- Ghobarah, A. & Abou Elfath, H. R.** (2001). Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing. *Engineering structures*, 23(7), 745-755.
- Javadi, P., Askari, M., Vahedi, S., GhafourianHesami, A.** (2023). Retrofit of RC buildings using vertical shear links and hybrid connections. In *Structures* (Vol. 48, pp. 1788-1807). Elsevier.
- Lee, A., Lee, J., Kim, J.** (2017). Seismic retrofit of structures using steel honeycomb dampers. *International Journal of Steel Structures*, 17, 215-229.
- Lee, C-H., Ryu, J., Kim, D-H., Ju, Y.K.** (2018). Improving seismic performance of non-ductile reinforced concrete frames through the combined behavior of friction and metallic dampers. *Engineering Structures*, 172, 304-320.
- Lee, H-J., Lee, H-J., Park, H-G., Lee, J-K.** (2021). Cyclic loading test for two-story RC moment frames retrofitted with internal steel frames. *Journal of Structural Engineering*, 147(2), 04020333.
- Lee, K-S., Lee, B-G., & Jung, J-S. S-W.** (2022). Seismic Strengthening of R/C Buildings Retrofitted by New Window-Type System Using Non-Buckling Slit Dampers Examined via Pseudo-Dynamic Testing and Nonlinear Dynamic Analysis. *Applied Sciences*, 12(3), 1220
- Kafi, M.A. & Nik-Hoosh, K.** (2019). The geometric shape effect of steel slit dampers in their behavior. *Magazine of Civil Engineering*, (3 (87)), 3-17.
- Kim, S-W. & Kim, K-H.** (2021). Structural Performance of R-Type Steel Damper Used in Reinforced Concrete Members. *Applied Sciences*, 11(14), 6404.
- Madheswaran, C.K., Prakash vel, J.P., Sathishkumar, K., Rao, G.V.R. & Dingsdag, D.** (2017). Earthquake response of reinforced concrete building retrofitted with geopolymers concrete and X-shaped metallic damper. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 98, 41-52.
- Mahrenholtz, C., Lin, P-C., Wu, A., Tsai, K., Hwang, S., Lin, R., & Bhayusukma, M.Y.** (2015). Retrofit of reinforced concrete frames with buckling-restrained braces. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(1), 59-78.
- Maida, Y., Sakata, H., Qu, Z., Maegawa, T., & Suzuki, H.** (2021). Cyclic loading test of lightly reinforced concrete wall piers with slit dampers in RC frames. *Engineering Structures*, 236, 112099.

- Mistakidis, E.S., De Matteis, G., & Formisano, A.** (2007) Low yield metal shear panels as an alternative for the seismic upgrading of concrete structures. *Advances in Engineering Software*, 38(8-9), 626-636.
- Özkaynak, H., Güllü, A., Gökçe, T., Khajehdehi, A., Mahdavi, M., Azizisales, F., ... & Karadoğan, F.** (2014). Energy dissipater steel cushions. In *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul*.
- Saatcioglu, M., & Razvi, S. R.** (1992). Strength and ductility of confined concrete. *Journal of Structural engineering*, 118(6), 1590-1607.
- Saghafi, M.H., Golafshar, A., Yahyae, A., & Zareian, M.S.** (2019). Analytical assessment of reinforced concrete frames equipped with TADAS dampers. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 7(2), 138-151.
- Sahoo, D.R. & Rai, D.C.** (2010). Seismic strengthening of non-ductile reinforced concrete frames using aluminum shear links as energy-dissipation devices. *Engineering Structures*, 32(11), 3548-3557.
- Shaban, N. & Caner, A.** (2015). Sönüm Modelleri ve Yapısal Dinamik Analizlerin Güvenilirliği, 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 14-16.
- Sütcü, F., Bal, A., Fujishita, K., Matsui, R., Celik, O. C., & Takeuchi, T.** (2020). Experimental and analytical studies of sub-standard RC frames retrofitted with buckling-restrained braces and steel frames, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18 (2020), 2389-2410.
- TahamouliRoudsari, M., Eslamimanesh, M.B., J., Entezari, A.R., Noori, O., & Torkaman, M.** (2018). Experimental assessment of retrofitting RC moment resisting frames with ADAS and TADAS yielding dampers. In *Structures* (Vol. 14, pp. 75-87). Elsevier.
- TahamouliRoudsari, M., Torkaman, M., Entezari, A.R., Rahimi, H., & Niazi K, K.** (2019). Experimental investigation of strengthening reinforced concrete moment resisting frames using partially attached steel infill plate. In *Structures* (Vol. 19, pp. 173-183). Elsevier.
- Tsai, K. C., Chen, H. W., Hong, C. P., & Su, Y. F.** (1993). Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction. *Earthquake spectra*, 9(3), 505-528.
- Yürekli, M.** (2023). *Mevcut bir okul binasının harici çerçeveler ve disk ankrajlar ile depreme karşı güçlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Zhao, J., Sun, J., & Qiu, H.** (2022). Rapid seismic retrofit of damaged RC frames using gapped eccentric steel brace system equipped with dampers. *Journal of Building Engineering*, 53, 104532.
- Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings.** (2001). The Japan Building Disaster Prevention Association.
- TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.** (2000). Ankara: TSE.
- TS EN 1992-4 Eurocode 2 – Beton Yapıların Tasarımı – Bölüm 4: Betonda kullanılan sabitleme tertibatlarının tasarımı.** (2018). Ankara: TSE.

- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.** (2018). T. C. Resmî Gazete, 30364, 18 Mart 2018.
- Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.** (1996). T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye
- Türkiye Yönetmeliklerine göre MaSTER Disk-Ankraj® ile Yapısal Güçlendirme için Tasarım Kılavuzu.*** (2022). İstanbul: GKMC İnşaat ve Danışmanlık A.Ş.
- XTRACT.** (2004). Cross Section Analysis Program of Structural Engineers. Imbsen Software Systems.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Hasan Talha ŞAHİN

ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans** : 2019, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat mühendisliği

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

Şahin, H. T., Atasever, K., Sütcü, F., Çelik, O. C. (2024). Seismic Performance Improvement of a Reinforced Concrete (RC) Building with U-Shaped Metallic Dampers. *3rd International Graduate Research Symposium*, May 8-10, 2024 Istanbul, Turkey.